

# STORIA DELLA MECCANICA

---

a cura di *Virginio Cantoni, Vittorio Marchis, Edoardo Roveda*

VOLUME I



Storia della meccanica / a cura di Virginio Cantoni, Vittorio Marchis, Edoardo Rovida. - Pavia : Pavia University Press, 2014. - 2 v. : ill. ; 24 cm.

<http://purl.oclc.org/paviauniversitypress/9788896764534>

ISBN 9788896764527 (brossura)

ISBN 9788896764534 (e-book PDF)

I. Cantoni, Virginio II. Marchis, Vittorio III. Rovida, Edoardo

1. Meccanica - Storia

531 CDD 22 - Meccanica classica. Meccanica dei solidi

© 2014 Pavia University Press

ISBN: 978-88-96764-52-7

In copertina: xilografia di artista sconosciuto rappresentante un monaco del Medioevo che dice di aver trovato il punto in cui cielo e terra si toccano.

Fonte: <<http://en.wikipedia.org/wiki/File:Flammarion.jpg>>

Source: Camille Flammarion, *L'Atmosphère: Météorologie Populaire*, Paris, 1888, p. 163.

Coordinamento editoriale di Alessandra Setti

Prima edizione: marzo 2014

Editore: Pavia University Press – Edizioni dell'Università degli Studi di Pavia

Via Luino, 12 – 27100 Pavia – <<http://www.paviauniversitypress.it>>

Stampato da: DigitalAndCopy S.a.S., Segrate (MI)

*Printed in Italy*

## COMITATO SCIENTIFICO

---

### **Commissione per la Storia dell'Ingegneria della CopI - Conferenza per l'Ingegneria:**

Franco Angotti (Università di Firenze), Virginio Cantoni (Università di Pavia), Vito Cardone (Università di Salerno), Salvatore D'Agostino (Università di Napoli), Vittorio Marchis (Politecnico di Torino), Edoardo Rovida (Politecnico di Milano), Andrea Silvestri (Politecnico di Milano).

Il volume è stato realizzato con la sponsorizzazione della Conferenza per l'Ingegneria (CopI), di FINMECCANICA, della Federazione delle Associazioni Nazionali dell'Industria Meccanica Varia ed Affine (ANIMA), dell'Industria Macchine Automatiche (IMA) S.p.A. e dell'Associazione Amici del Museo del Patrimonio Industriale e con il patrocinio del Computer Vision & Multimedia Laboratory (CVML) dell'Università degli Studi di Pavia.



CopI  
Conferenza per l'Ingegneria



Computer Vision  
& Multimedia Laboratory



**ANIMA**<sup>®</sup>

FEDERAZIONE DELLE ASSOCIAZIONI NAZIONALI  
DELL'INDUSTRIA MECCANICA VARIA ED AFFINE



CONFINDUSTRIA



# INDICE

---

VOLUME I

VII *Premessa*  
Vito Cardone

XIII *Introduzione*  
Virginio Cantoni, Vittorio Marchis, Edoardo Rovida

## **Le scuole**

---

3 *Scuole di meccanica*  
Gian Francesco Biggioggero e Edoardo Rovida

39 *Note sulla storia del disegno di macchine*  
Emilio Chirone

97 *Progettazione di macchine*  
Umberto Cugini e Giancarlo Genta

139 *Meccatronica e robotica*  
Paolo Dario e Umberto Cugini

## **Dal laboratorio alla società**

---

155 *Il contributo delle misure*  
Michele Gasparetto e Sergio Sartori

213 *Associazionismo e meccanica*  
Vittorio Leoni

237 *L'industria meccanica nel Meridione d'Italia*  
Francesco Caputo

## **La meccanica dei trasporti**

---

315 *La produzione meccanica nel settore dei trasporti ferroviari.  
Uno sguardo d'orizzonte fra Ottocento e Novecento*  
Andrea Giuntini

341 *L'evoluzione della tecnologia dell'ala rotante e il contributo di Agusta Westland*  
Roberto C. Garberi

- 427 *Ruote e motori*  
Edoardo Rovida

---

**La meccanica nella produzione industriale**

VOLUME II

- 463 *Sistemi di produzione per la fabbrica del futuro*  
Francesco Jovane
- 475 *Le macchine operatrici nella produzione industriale*  
Roberto Curti e Andrea Cinotti
- 545 *La meccanica di precisione, con particolare riferimento agli strumenti  
per la misura topografica e fotogrammetrica*  
Attilio Selvini
- 573 *Sintesi storica dello sviluppo della tecnologia tessile*  
Francesco Tozzi Spadoni
- 615 *Storia degli apparecchi di sollevamento*  
Enrico Bazzaro
- 641 *La meccanica delle armi da fuoco portatili*  
Attilio Selvini e Peter Dannecker

---

**I teatri della meccanica**

- 693 *Il pensiero retroattivo tra Arte e Meccanica*  
Carlo Crespellani Porcella
- 771 *Collezioni, archivi, musei*  
Annalisa Banzi e Edoardo Rovida
- 795 *Meccanica e società*  
Adriana Di Leo
- 805 Autori
- 809 Abstract
- 811 Table of Contents
- 815 Editors

## PREMESSA

---

Ho riflettuto a lungo, prima di accogliere l'invito a stendere queste note. Da marzo scorso, infatti – portata a termine la trasformazione della CoPI, la “Conferenza dei Presidi delle Facoltà di Ingegneria”, nella più ampia CopI, la “Conferenza per l'Ingegneria” –, ho lasciato la Presidenza della Conferenza, che dall'inizio ha incoraggiato e sostenuto l'idea di Virginio Cantoni, Presidente della Commissione sulla “Storia dell'Ingegneria” della Conferenza stessa, di realizzare una Collana tematica sulla storia della tecnologia italiana. Mi ha convinto l'insistenza di Fabrizio Micari, non solo attuale Presidente della CopI ma pure responsabile del “Coordinamento della Meccanica Italiana”, il quale ha ritenuto opportuno che la Premessa a questa pubblicazione fosse affidata a chi ha vissuto l'avventura fin dall'inizio.

L'occasione mi consente pertanto di fare un piccolo bilancio dell'iniziativa, a sei anni dal suo avvio. Con questa Storia della Meccanica – che segue le pubblicazioni dedicate, rispettivamente, alla Storia della Tecnica Elettrica e alla Storia delle Telecomunicazioni – sono state edite, con cadenza biennale, tre corpose opere, le ultime in due volumi. Anch'essa, come le altre, è pienamente rispondente all'ambizioso obiettivo di colmare una grave lacuna nella già abbastanza ricca letteratura sulla storia dell'ingegneria, affrontando, per le varie aree nelle quali si è progressivamente articolata l'ingegneria italiana, l'evoluzione della ricerca, dell'insegnamento universitario, delle applicazioni e dello sviluppo industriale, l'impatto sulla società e le prospettive future.

Le prime due pubblicazioni sono nate a valle di convegni e giornate di studio organizzati in occasione di importanti celebrazioni: rispettivamente, la giornata di studi nell'ambito dei 40 anni della Facoltà di Ingegneria di Pavia, nel 2007, e i convegni per il bicentenario della nascita di Antonio Meucci e per il centenario del Nobel a Guglielmo Marconi, tenuti a Firenze e a Bologna nel 2008. Per la messa a punto di questa terza opera è stato invece organizzato uno specifico workshop sul tema, svolto al Politecnico di Milano il 28 aprile del 2011. Il percorso stavolta è stato più lungo e più laborioso, innanzi tutto perché si trattava di affrontare una storia ben più lunga e costellata di importanti eventi, non pochi all'origine di svolte epocali nella vicenda dell'umanità.

È con l'ingegneria meccanica, infatti, che nella seconda metà dell'Ottocento prende l'avvio quella che, formalmente in ambito accademico, diverrà la più

generale ingegneria industriale, al cui interno si svilupperanno prima la branca connessa alla produzione e all'utilizzazione dell'energia elettrica e poi quelle relative all'elettronica e alle telecomunicazioni che, nel corso del secolo scorso, daranno vita al nuovo settore dell'ingegneria dell'informazione. Dal punto di vista temporale e in senso stretto dal punto di vista degli studi di ingegneria, l'ingegneria meccanica è pertanto la prima ad essere codificata, circa mezzo secolo dopo l'ingegneria civile. In una visione più ampia della storia dell'ingegneria, non legata alla sola formazione degli ingegneri ma estesa pure alla ricerca e alle applicazioni nel campo della produzione, l'ingegneria meccanica è invece praticamente coeva di quella civile, che fino a quel momento la includeva e che, insieme all'ingegneria militare, risale alle prime importanti civiltà del passato: almeno da quella egizia in poi.

È però solo nel III secolo a.C. che, con la Scuola di Alessandria, si registra una svolta significativa, anticipatrice del risveglio rinascimentale e dell'ingegneria moderna. I suoi esponenti, infatti, furono tra i primi non solo a cercare leggi generali per spiegare fenomeni fisici (Archimede in capo) ma anche i primi a tentare di razionalizzare la tecnica e ad applicare conoscenze scientifiche per la costruzione di artefatti tecnici (lo stesso Archimede; Ctesibio di Alessandria, al quale sono attribuiti i *Commentari* sulle macchine pneumatiche, e si devono la pompa, l'orologio idraulico e l'organo ad acqua; il suo discepolo Filone di Bisanzio, autore di un corposo trattato di meccanica; Erone di Alessandria).

I romani – nonostante le grandi e spettacolari opere pubbliche, che li hanno fatti ritenere a ragione grandi ingegneri civili – abbandonarono questo approccio. Per oltre un millennio il progresso in campo tecnico, particolarmente significativo solo nel tardo Medioevo, con la messa a punto di macchine per la produzione di energia idraulica (mulini ad acqua e a vento) e di strumenti per il migliore sfruttamento dell'energia animale (collare di spalla, ferratura degli zoccoli, perfezionamento dell'aratro del Nord) si registra per lente evoluzioni delle tecniche nelle tradizionali pratiche artigiane, più che per opera di persone dedicatesi specificatamente alla definizione di soluzioni appropriate, nei vari campi.

L'ingegneria, intesa in senso moderno, nasce solo nel Rinascimento, con la ripresa dello sviluppo delle scienze e quando si è manifestata con forza l'esigenza di un tecnico superiore, distinto dal soldato o dal capomastro, in grado di concepire e dirigere la costruzione e l'utilizzazione di macchine idrauliche e (soprattutto dopo la messa a punto delle armi da fuoco) belliche, sempre più complesse. Non a caso, l'etimologia del termine ingegneria è connessa alla parola "ingegno", intesa però non nel senso, come alcuni ritengono, di intelletto/intelligenza/capacità quanto piuttosto a essa nel significato di congegno, macchina – appunto – per scopi civili o bellici.

Già nel XIII secolo, però, Villard de Honnecourt – che Bertrand Gille, nel già classico *Les ingénieurs de la Renaissance*, ritiene tra i precursori degli ingegneri moderni – nel suo celeberrimo taccuino si cimentava a un tempo con cattedrali e congegni di tipo meccanico, anche molto complessi per l'epoca, come la sega idraulica o il meccanismo per il moto perpetuo. Un paio di secoli dopo, pure Francesco di Giorgio Martini – anch'egli considerato da Gille e da altri studiosi precursore degli ingegneri moderni: addirittura, per Bruno Jacomy, vera e propria cerniera tra due epoche – progettava fortificazioni, edifici e macchinari (che affrontava pure nei suoi trattati). Così come Leonardo da Vinci, che fu impegnato su tanti e tali temi squisitamente ingegneristici, producendo leggi e invenzioni, pur se spesso semplicemente nella fase di intuizione, che lo collocano di diritto nella storia dell'ingegneria moderna, della quale molti lo ritengono addirittura il padre. In realtà la sua opera – che spazia dagli strumenti bellici di offesa e di difesa alle pompe e alle macchine a energia idraulica; dalla resistenza delle travi al movimento delle acque; dalle viti e gli assi dentati agli ingranaggi per la trasmissione e la trasformazione dei moti; dalle macchine operatrici per l'industria tessile alle macchine automotrici, comprese quelle per volare – non sempre è frutto di applicazione per la soluzione di problemi concreti, che caratterizza l'approccio ingegneristico, quanto piuttosto di speculazione teorica, riflessione profonda, spinta creativa e abbandono alla fervida immaginazione, il che lo farebbe collocare più tra gli scienziati e (come di fatto era) gli artisti che non tra gli ingegneri.

Ma gran parte dei componenti di quella che sarà definita da alcuni la 'Scuola italiana rinascimentale', che ebbe in Filippo Brunelleschi e in Francesco di Giorgio Martini i capostipiti e in Leonardo il maggiore esponente, era costituita da personalità poliedriche, tra le quali non mancarono gli artisti e gli umanisti (Leon Battista Alberti, Giambattista Della Porta) che non disdegnavano la riflessione scientifica e l'impegno tecnico sulle cose concrete. In *History of Mechanical Inventions*, Abbott Payson Usher ritiene che furono proprio gli esponenti di tale Scuola – nell'affrontare in maniera sistematica e razionale problemi di sollevamento delle acque, produzione di energia idraulica, meccanizzazione agraria, messa a punto di macchine operatrici per l'industria tessile – a porre le basi, anzi ad avviare di fatto, la 'meccanica delle macchine', che diverrà poi una vera e propria disciplina scientifica.

Nei secoli successivi, e in maniera definitiva dopo la prima rivoluzione industriale, della quale fu causa determinante, l'ingegneria meccanica si staccherà da quella civile, restando quest'ultima connessa alle sole opere di edificazione e di infrastrutturazione del territorio. Ancora nei primi decenni dopo la rivoluzione di Gaspard Monge nella formazione degli ingegneri, però, in ambito accademico i due settori saranno di fatto indivisi e i migliori allievi del Maestro, a cominciare dal suo principale collaboratore Jean-Pierre Nicolas Hachette, insegneranno, in taluni casi

avviandone la fondazione, discipline di entrambi i settori (oltre che discipline scientifiche di base).

Il lavoro che si presenta, in sostanza, sviluppa la maggior parte delle analisi proprio a partire dalla configurazione dell'autonomia dell'ingegneria meccanica. Rispetto alle precedenti pubblicazioni della Collana, stavolta, per quanto nel frattempo in Italia sia andata costituendosi una piccola comunità scientifica sui temi di storia dell'ingegneria, si assiste a una forte partecipazione milanese: la metà dei contributi ha almeno un autore del Politecnico di Milano, al quale appartiene un terzo di tutti gli autori. Questa deriva milanese testimonia che quella comunità scientifica sulla storia dell'ingegneria è ancora in formazione. Una contestualizzazione spazio-temporale, anche tenendo conto dello scenario internazionale, e un approccio critico, attento pure ai passaggi e agli aspetti meno felici, agli esiti negativi e talvolta decisamente drammatici che hanno caratterizzato l'evoluzione tecnologica, evidenzerebbe in tutti i campi trattati la peculiarità della situazione italiana. La lettura dei vari contributi, tuttavia, fa emergere, seppure come in filigrana, alcuni elementi di carattere generale, specificatamente legati allo sviluppo della meccanica, che mi pare il caso di evidenziare. Certi possono sembrare paradossali e sarebbe il caso di approfondirli ulteriormente, con considerazioni meno secche di quelle che è possibile fare in una premessa come questa.

In primo luogo, pare di potere affermare che la meccanica, dalla nascita dell'ingegneria moderna, sia uno dei territori in cui più palesemente scienza e tecnica, teoria e pratica, si sono sempre influenzate a vicenda: al punto che non è possibile parlare di priorità, nemmeno temporale, delle prime rispetto alle seconde, perché in essa interagiscono. Ciò può condurre a ritenere che proprio dallo sviluppo della meccanica è nata la tecnologia, che – nella concezione più compiuta e moderna, affermata dopo le considerazioni di John Kenneth Galbraith – abbraccia sia la riflessione teorica sia il fare tecnico, integrandoli con i valori culturali e le forme organizzative della società. Forse per questo tale sviluppo è alla base dell'intuitiva associazione, nell'immaginario collettivo, del progresso con lo sviluppo tecnologico.

Nello stesso tempo, però, la meccanica è anche, tra le varie branche della tecnologia, quella che più è sembrata resistere, se non proprio opporsi, al virtuosismo tecnologico e alla spasmodica ricerca dell'invenzione, finì a se stessi o funzionali solo al narcisismo dei tecnici, che hanno caratterizzato e tuttora caratterizzano tanta parte dello sviluppo tecnologico, finendo con il coinvolgere persino le costruzioni civili, con l'affermazione degli archistar. E si è invece configurata come quella in cui più pienamente si è manifestata l'importanza dell'innovazione, accanto all'invenzione, nel processo produttivo e nel progresso

sociale. Inoltre, contrariamente a quanto non pochi possano ritenere, proprio la meccanica pare essere la branca dell'ingegneria che più si oppone sia al determinismo tecnologico sia all'iper-specializzazione, alla quale preferisce semmai una cultura interdisciplinare.

A ben riflettere, lo sviluppo della meccanica, nel provare che lo sviluppo tecnologico avviene sulla base di esigenze e spinte di carattere sociale, è per molti versi la negazione della teoria del progresso lineare, continuo, inevitabile e ineluttabile, dai risultati sempre positivi, senza limiti di alcun tipo e indipendente dagli aspetti umani e sociali. Già nel Cinquecento Georg Bauer (noto come Agricola, formatosi tra Padova e Bologna, quindi anch'egli di fatto appartenente alla Scuola italiana), tra i fondatori della moderna mineralogia e della metallurgia, metteva esplicitamente in guardia dai danni ambientali e ai lavoratori causati dall'evolversi delle tecniche nelle attività estrattive; anticipando così di circa mezzo secolo Francesco Bacone, che ammoniva sui vantaggi e i pericoli del progresso delle conoscenze. Anche in seguito, pur se in genere implicitamente, lo sviluppo della meccanica è quello che più ha messo in evidenza come l'espansione e lo sviluppo tecnologico possano condurre a risultati di pessimo valore etico, dal punto sociale oltre e più che individuale, e come sia necessario invece uno sviluppo sostenibile, anche eticamente.

Per quanto detto, credo che sarebbe stato opportuno un qualche richiamo più esplicito, sulle distorte concezioni di progresso e sui limiti dello sviluppo, sulla non indipendenza della tecnologia dai valori e, quindi, sull'impossibilità di uno sviluppo tecnologico senza finalità umane e sociali. Si tratta di temi sui quali, da qualche lustro, anche le maggiori organizzazioni di organi preposti alla formazione degli ingegneri e all'accreditamento dei relativi corsi di studio mostrano grande consapevolezza. Al punto che persino l'ABET (l'Associazione statunitense di accreditamento) e la *National Academy of Engineering*, sempre degli USA, sono pervenute sulle soglie del nuovo millennio a ritenere che gli obiettivi della formazione debbano essere volti alla preparazione di ingegneri tecnicamente competenti ed eticamente sensibili e che l'aspetto più importante nella formazione professionale sia, ormai, la *engineering ethics*.

Rilevante è l'ampio spazio dedicato, in due sezioni, a macro temi di grande percezione e impatto (produzione, trasporti). Ciò è fondamentale pure per aiutare a delineare un quadro adeguato per coloro che intendono intraprendere studi di ingegneria meccanica o gestionale e che, è il caso di sottolinearlo, sono da anni la maggioranza di tutti coloro – ormai ben il 15% di tutti quelli che ogni anno si immatricolano all'università in Italia – che si immatricolano a ingegneria.

VITO CARDONE

Mi piace concludere rilevando come, per certi versi, il taglio della Collana sulla storia della tecnologia, con lo sguardo globale sulle questioni dell'ingegneria, ha anticipato l'ampliamento della sfera di interessi e di azione della Conferenza che, dopo la trasformazione dello scorso anno, non si limita più ai soli temi della formazione degli ingegneri, ma abbraccia tutte le tematiche dell'ingegneria, proprio come fa la Collana. Per tale motivo questa è ancora più funzionale al ruolo della Conferenza, che ha quindi grande interesse alla sua affermazione e alla sua circolazione.

VITO CARDONE  
*Presidente della Conferenza dei Presidi delle Facoltà di Ingegneria*  
*(ottobre 2006-febbraio 2013)*

## INTRODUZIONE

---

La serie della CoPI sulla Storia della tecnologia italiana compie un ulteriore passo. Dopo i primi due volumi, dedicati rispettivamente alla *Storia della tecnica elettrica* ed alla *Storia delle telecomunicazioni*, ecco la *Storia della meccanica*. Lo scopo è quello di fornire lo scenario complessivo dello sviluppo tecnologico e della scienza applicata degli ultimi secoli nel nostro paese. Con riferimento al contesto internazionale, viene presentata l'evoluzione delle attività di ricerca, dei risultati applicativi, del loro impatto sociale, delle associazioni, dell'industria, e dell'attività formativa con particolare riferimento a quella universitaria.

L'iniziativa è concepita in modo corale. Non solo tutte le sedi universitarie sono sollecitate a contribuire organizzando gli eventi e le conseguenti monografie tematiche, ma sono sollecitati anche contributi di storici di professione ed esperti di tecnica o protagonisti d'industria. Il contenuto cooperativo per questo genere di lavori di ampio respiro è indispensabile, nonostante le potenziali disomogeneità che tale scelta a volte comporta.

In questa terza opera ci si è posto l'obiettivo di compiere un'ampia panoramica su una scienza-tecnica che, oltre che essere una parte fondamentale, e, storicamente, forse la prima, dell'Ingegneria, ha costituito e costituisce un settore industriale di grande importanza per il nostro Paese. In Italia, infatti, esiste una miriade di piccole e medie imprese che, nel settore meccanico e nelle attività più disparate, svolgono un ruolo insostituibile per l'economia nazionale.

La meccanica può essere considerata fra le prime (se non la prima) attività umana, legata ai gesti della vita quotidiana ed alle prime azioni, per difendersi e per procacciarsi il cibo. Storicamente, la meccanica nasce basandosi sull'osservazione e sull'esperienza: le prime realizzazioni, i primi oggetti tecnici meccanici nascono sulla base della pratica. Già nell'Evo Antico iniziano le prime osservazioni scientifiche, ma esse, in generale, influenzano poco o nulla le realizzazioni. I primi carpentieri dell'antica Grecia, infatti, realizzano navi che tengono molto bene il mare, ma, molto probabilmente, non conoscono né Archimede, né il suo principio e, quindi, non sono in grado di spiegarsi in modo rigoroso perché le loro navi galleggiano. Sarà solo con il Rinascimento che scienza e tecnica si avvicinano: la tecnica inizia ed avvalersi dei risultati delle speculazioni scientifiche e la scienza si avvale degli strumenti tecnici. Nasce, così, la tecnologia ed un circolo virtuoso che, dal Rinascimento, preparerà i grandi sviluppi seicenteschi e settecenteschi, sviluppi che continuano, vertiginosamente, fino ai giorni nostri.

Con il tempo la meccanica, sviluppandosi, si integra con altre scienze-tecniche: in ordine cronologico, l'idraulica, la pneumatica, l'elettrotecnica, l'elettronica, l'informatica, fino ad arrivare, ai giorni nostri, ad una completa integrazione meccanica-elettronica-informatica, osservabile in tutti i manufatti, dal più semplice al più sofisticato.

Il Gruppo per la Storia dell'Ingegneria anche per questa terza iniziativa ha organizzato un workshop dedicato all'argomento presso il Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano: in esso si sono dati convegno molti studiosi ed appassionati dei vari aspetti della meccanica visti in prospettiva storica. Questa "passeggiata" lungo l'asse dei tempi ha permesso ai partecipanti di cogliere gli aspetti significativi dell'evoluzione delle varie macchine e delle diverse sfaccettature della meccanica. Le relazioni presentate, arricchite ed ampliate, costituiscono i capitoli di questa opera. Essi, distribuiti su due volumi, sono stati suddivisi in cinque sezioni.

Una prima sezione, denominata *Le scuole*, raccoglie gli aspetti generali, legati più direttamente alla evoluzione della formazione, dei metodi e dei sistemi applicativi e infine delle ricerche in campo meccanico. In essa sono presenti le seguenti monografie:

- *Scuole di meccanica* (Gian Francesco Biggioggero, Edoardo Rovida), un percorso dalle origini fino ad oggi che delinea la nascita dell'insegnamento delle discipline meccaniche. Vengono presentate le tre fasi della storia del pensiero meccanico: quella antica, essenzialmente speculativa e filosofica, con il rifiuto teorico della macchina e delle tecnologie; quella classica, che vede la meccanica utilizzata mediante le scienze matematiche; e quella moderna, dove i progressi tecnici e scientifici portano addirittura alcuni a considerare che la macchina inganni le speranze, trasformando l'uomo in schiavo delle proprie realizzazioni. Si delinea quindi il sorgere della figura dello "scienziato pratico", il quale si accompagna, per certi versi, alla nascita dell'ingegnere non più meramente meccanico, ma utilizzatore dell'intero sapere applicato. In particolare, viene presentata la nascita delle scuole tecniche e poi dei politecnici, che, poiché inizialmente la tecnica era essenzialmente meccanica, in linea di massima coincide con la nascita delle scuole che si possono definire meccaniche.

- *Note sulla storia del disegno di macchine* (Emilio Chirone) è un contributo focalizzato sull'evoluzione storica dei metodi di disegno tecnico in area meccanica, disegno individuato quale mezzo compatto che si affianca degnamente alla scrittura per rendere più efficace la trasmissione e la conservazione del sapere nella tecnica. In dettaglio sono delineate due strade parallele della rappresentazione grafica per trasmettere informazioni con diverse finalità: immagini realistiche e riproduzioni

codificate, realizzate tramite convenzioni e simboli. In particolare, la distinzione tra disegno artistico e disegno tecnico viene evidenziata tramite esempi di impiego e caratterizzazione. In conclusione viene aperto un discorso sull'evoluzione storica del disegno tecnico in area meccanica.

- *Progettazione di macchine* (Umberto Cugini, Giancarlo Genta) è un capitolo nel quale si riconosce come l'ideare, il progettare e il costruire le macchine abbia assorbito una rilevante parte dell'intera attività umana, attraverso l'applicazione e il trasferimento della scienza alla tecnologia - uno dei contributi più importanti della civiltà europea a partire dal XVI secolo. Tale connubio, in particolare, si intensifica e pervade la costruzione delle macchine. Sono considerati argomenti quali l'evoluzione dei materiali usati e l'unificazione degli elementi costruttivi, la produzione su larga scala, l'evoluzione di metodi e strumenti di supporto (dal CAD al PLM) e vengono sviluppati i temi correlati di sicurezza e di affidabilità, per concludere con la nascita della mecatronica (elettronica e informatica integrate nella costruzione delle macchine).

- *Meccanica e robotica* (Paolo Dario, Umberto Cugini) è un capitolo che delinea questo settore dalle origini alla sua evoluzione applicativa e diffusione capillare su vasta scala, fino alle soluzioni avveniristiche della biomeccatronica e della biorobotica. In dettaglio viene quindi presentata una delle principali sperimentazioni strategiche nazionali: il Progetto Finalizzato Robotica del CNR, nato con lo scopo di aggregare i gruppi di ricerca accademici e industriali attorno a tematiche considerate prioritarie nel quadro della programmazione della ricerca applicata nazionale, fino a giungere allo sviluppo di prototipi da trasferire al settore produttivo.

La seconda sezione, intitolata *Dal laboratorio alla società* presenta alcuni aspetti relativi all'impatto, all'organizzazione e alle strategie di penetrazione e diffusione della meccanica nella società italiana. Sono sviluppati nello specifico i seguenti aspetti:

- *Il contributo delle misure* (Michele Gasparetto, Sergio Sartori), capitolo dedicato alla genesi delle misure, al loro ruolo nella prima rivoluzione industriale, alla firma della convenzione del metro nel 1875, agli sviluppi successivi con la metrologia legale, alla nascita dell'intercambiabilità nella produzione e allo sviluppo di industrie impegnate nella produzione di strumenti di misura, per giungere alla rivoluzione portata dal microprocessore e dal software negli strumenti di misura, e concludere con l'integrazione tra macchine utensili e macchine di misura nei sistemi flessibili di produzione. Infine viene delineato il rapporto tra le nanotecnologie e le misure, e vengono presentate le nuove costanti fondamentali.

- *Associazione e meccanica* (Vittorio Leoni) esamina le associazioni scientifico-tecniche le cui attività rivestono particolare importanza nella meccanica, cercando di individuare alcuni spunti caratteristici dell'evoluzione storica dell'associazionismo in ambito meccanico. L'obiettivo è anche quello di vedere se, dalla considerazione storica, possano scaturire indirizzamenti sulle attività delle moderne associazioni, in particolare esaminando il contributo che talune di queste associazioni possono portare alla conservazione dei beni culturali meccanici ed allo studio della storia della meccanica. L'esperienza della Associazione Nazionale Industria Meccanica e Affine (ANIMA), nata nel 1914 e sviluppatasi con costante successo sino ai nostri giorni, è analizzata in dettaglio.

- *L'industria meccanica nel Meridione d'Italia* (Francesco Caputo) tratta di filosofia, scienza ed attività produttive industriali nel Meridione nei secoli XVII, XVIII e XIX, con particolare riferimento alla fabbrica delle navi, allo sviluppo dell'industria ferroviaria (val la pena di ricordare che la prima linea ferroviaria italiana è la Napoli-Portici, inaugurata nel 1839) e della fabbrica dei cannoni in seguito alla mobilitazione industriale per la Grande Guerra. In conclusione sono considerate le industrie delle automobili e quelle degli aeroplani e sono studiati due casi di aziende (Ben Vautier Metalmeccanica s.p.a. e Magaldi Industrie s.r.l.) che hanno avuto la capacità di saper rispondere ai cambiamenti, trasformando la propria produzione per assicurarsi una darwiniana sopravvivenza.

La sezione successiva è dedicata ad un aspetto specifico, ma molto importante per l'industria italiana in quanto condiziona profondamente la politica nazionale fino ai nostri giorni: *La meccanica dei trasporti*. Essa comprende contributi sugli sviluppi specifici dell'industria ferroviaria, aeronautica e automobilistica:

- *La produzione meccanica nel settore dei trasporti ferroviari. Uno sguardo d'orizzonte fra Ottocento e Novecento* (Andrea Giuntini), illustra sinteticamente, nell'arco del secolo e mezzo attraversato, il cammino di questo settore costellato da discontinuità clamorose, che ne rendono l'analisi di grande interesse. Cambiando le epoche di riferimento, mutano infatti in modo radicale le problematiche legate alla produzione ferroviaria. Ampi spazi sono riservati alla ricerca storica, sia sul versante produttivo-tecnologico, sia su quello delle singole imprese. Vengono presentate le prime aziende impegnate nella produzione ferroviaria, la nebulosa delle imprese minori e delle officine di riparazione, e le competenze assai qualificate acquisite dai tecnici italiani nel campo della progettazione ferroviaria. Si considerano infine la nazionalizzazione delle ferrovie del 1905, e il sistema delle commesse ferroviarie, per concludere ai nostri giorni con lo sviluppo dell'alta velocità.

- *L'evoluzione della tecnologia dell'ala rotante e il contributo di Agusta Westland* (Roberto C. Garberi) tratta del lungo percorso evolutivo che ha portato l'uomo alla

conquista del cielo. Dagli studi leonardeschi, ai primi esercizi di volo verticale, una ricostruzione storica sino allo sviluppo dell'ala rotante in Italia. Nonostante nel nostro Paese non siano mancate sperimentazioni portanti al volo verticale, in particolar modo vengono messe in evidenza le figure di Enrico Forlanini e soprattutto Corradino d'Ascanio, la produzione elicotteristica inizialmente avviene con tecnologia importata dall'estero, specificamente dagli Stati Uniti d'America. L'avvio della produzione in serie degli elicotteri ha luogo per iniziativa della Costruzioni aeronautiche Giovanni Agusta che, alla fine degli anni Cinquanta, produsse un elicottero leggero monoposto, l'A103, il primo interamente progettato e costruito nell'azienda. L'Agusta che avviò una intensa collaborazione con la britannica Westland, con cui nel 2000 si fuse, è ora sempre più attiva sui principali mercati elicotteristici del mondo.

- *Ruote e motori* (Edoardo Rovida) tratta dei progressi raggiunti dall'uomo, nell'avvalersi di fonti di energia diverse da quella propria muscolare, per gli spostamenti, focalizzandosi sulla storia dell'automobile. Vengono presentati i protagonisti che hanno affrontato su basi razionali il problema della produzione di lavoro meccanico e del suo utilizzo per la propulsione stradale, i costruttori di automobili, quelli di pneumatici, e i costruttori di carrozzerie nell'Ottocento e nel Novecento. Il capitolo si conclude con una considerazione finale su sviluppi e prospettive, che riguardano soprattutto gli aspetti ambientali e quelli della sicurezza, derivanti dalla enorme capillare dei mezzi di trasporto a motore su ruota.

La quarta sezione *La meccanica nella produzione industriale* è dedicata all'evoluzione storica dei metodi, di mezzi e strumenti, dell'organizzazione e delle applicazioni in alcuni settori industriali particolarmente significativi. Sono comprese le seguenti monografie:

- *Sistemi di produzione per la fabbrica del futuro* (Francesco Jovane) analizza i paradigmi produttivi, sviluppati negli ultimi cinquant'anni, per rispondere alle evoluzioni delle esigenze della società e del mercato. Le ricerche italiane hanno affrontato, cercando di anticiparli, questi cambiamenti, indicando le prospettive strategiche a livello nazionale e globale. In particolare nel capitolo sono esaminati i sistemi di produzione nel manifatturiero avanzato e specificamente il contributo del CNR alla competitività e sostenibilità di questi sistemi tramite studi strategici, progetti finalizzati, ricerca per l'innovazione e il trasferimento tecnologico.

- *Le macchine operatrici nella produzione industriale* (Roberto Curti, Andrea Cinotti) inizia con una trattazione della macchina in quanto costruito teorico, sviluppando il concetto di macchine caratterizzate dal ciclo di lavorazione, cioè macchine che svolgono un insieme di singole azioni sincronizzate per realizzare un lavoro da compiere – su uno o più prodotti contemporaneamente – attraverso una sequenza

preordinata di operazioni. Viene quindi illustrato l'esempio del modello produttivo dell'area bolognese, un centro industriale di medie e piccole imprese a specializzazione flessibile, di eccellenza internazionale nella progettazione e costruzione di macchine operatrici/automatiche. In conclusione sono presentati 'casi-macchina' e relativi 'cicli' di epoche e settori applicativi diversi.

- *La meccanica di precisione, con particolare riferimento agli strumenti per la misura topografica e fotogrammetrica* (Attilio Selvini), considerando l'ambito estremamente vasto in cui opera la meccanica di precisione, si focalizza sugli strumenti per la misura sull'oggetto (topografia) e su quelli per la misura sull'immagine (fotogrammetria). Viene trattato il contributo della meccanica di precisione nella costruzione di questi dispositivi, sia nel caso di quelli puramente ottico-meccanici che di quelli, ormai i più diffusi, di tipo opto-elettronico; è comunque mostrato come anche in piena era informatica la meccanica di precisione resta indispensabile.

- *Sintesi storica dello sviluppo della tecnologia tessile* (Francesco Tozzi Spadoni) tratta del settore tessile, che costituisce un fattore di quotidiano uso e consumo e coinvolge una serie di attività: dalle fibre alla filatura, dalla tessitura alla tintoria e/o stampa, sino alla confezione e distribuzione sul mercato, attivando e rinnovando un volume di interessi tecnico-economici di estrema rilevanza sia finanziaria che scientifica. Fin dal periodo prerinascimentale le macchine in genere, e le tessili in particolare, vennero studiate, progettate con cura e proposte ad un mercato non più prevalentemente artigianale ma anche industriale. Il capitolo tratta della filatura moderna, con menzione delle fibre tessili attualmente disponibili; presenta lo schema generale del ciclo tessile e dettagli sulla tessitura, sulla maglieria, sulla tintura e sulla stampa dei prodotti tessili fino ad un inquadramento conclusivo del valore economico del settore tessile nel contesto dell'economia globale.

- *Storia degli apparecchi di sollevamento* (Enrico Bazzaro) tratta delle macchine usate nella movimentazione interna per trasportare e sollevare materiale, semilavorati e prodotto finito, esaminando in dettaglio il caso delle gru. Vengono considerate le macchine a movimento continuo e quelle a movimento discontinuo, si introducono delle tassonomie sulle classi di utilizzo e vengono quindi presentate generalità sulle carpenterie – strutture portanti facenti parte della gru – e sui meccanismi necessari per far compiere al carico gli spostamenti voluti. In dettaglio sono quindi esaminati i casi delle gru a ponte, a cavalletto o a portale, da banchina e i ponti scaricatori.

- *La meccanica delle armi da fuoco portatili* (Attilio Selvini, Peter Dannecker) esamina in modo specifico l'apporto della meccanica in questo settore, considerando le pistole semiautomatiche, con riferimento ai sistemi di chiusura dell'otturatore, l'apertura a massa frenata e la chiusura semplice a massa. Presenta anche un breve cenno alle rivoltelle (armi corte in cui vi è come serbatoio un

tamburo girevole) e si conclude con la trattazione delle industrie del settore, riportando diverse storiche fabbriche illustrate in cartoline d'epoca e un interessante confronto tra le immagini di due fabbriche d'armi a un secolo di distanza.

L'ultima sezione, intitolata *I teatri della meccanica*, tratta alcuni aspetti artistico-culturali della meccanica, documenta alcune istituzioni per la conservazione dei beni culturali nel settore e l'impatto che il successo della meccanica ha prodotto nella società. In qualche dettaglio i contributi sono:

- *Il pensiero retroattivo tra Arte e Meccanica* (Carlo Crespellani Porcella) descrive le tappe dell'interazione tra la cultura meccanica e il pensiero artistico, per scoprire dove e quando queste combinazioni hanno prodotto nuove forme di pensiero e di espressioni artistiche o nuovi filoni e interpretazioni della meccanica. Viene sottolineato un comune patrimonio: quello del pensiero tecnico-scientifico-filosofico che pervade costantemente la cultura della società. Il capitolo percorre questo legame attraverso le opere di artisti e varie tecniche di rappresentazione, mostrando il connubio tra natura e ambiente costruito, e la possibilità di creare nuove strade per scrutare ed interpretare la realtà. Sono presentate infine alcune considerazioni sul passaggio dalla meccanica delle macchine alla teoria dei sistemi complessi che ha portato contributi fondamentali nello sviluppo del pensiero verso un nuovo rapporto tecnologia-natura, fino alle sue intersezioni con l'arte e ad una rilettura contemporanea dell'arte meccanica.

- *Collezioni, archivi, musei* (Annalisa Banzi, Edoardo Rovida) presenta alcune istituzioni di importanza fondamentale per la conservazione dei beni culturali meccanici, in quanto documentano in modo diretto gli sviluppi della meccanica nelle diverse epoche. Attraverso la ricostruzione dell'evoluzione storica della meccanica, ne consentono la conoscenza ed una corretta interpretazione e sono quindi strumenti imprescindibili per la storia della meccanica. Il contributo si conclude con una trattazione sull'evoluzione storica di soluzioni costruttive che, realizzate per via informatica, possono essere considerate il punto di incontro di musei, archivi e collezioni, costituendo un utile base per la progettazione moderna, un valido strumento didattico ed un riferimento di interesse per gli storici. Se ne presenta quindi un caso studio relativo alle sospensioni per autovetture.

- *Meccanica e società* (Adriana Di Leo) tratta dell'evoluzione dei materiali e degli impianti che ha coinvolto la società nel corso dell'Ottocento e del Novecento, rendendo difficile stabilire quale sia stato l'elemento della meccanica protagonista dell'età contemporanea, ma esplicitando come siano mutati i comportamenti sociali e gli stili di vita in seguito alle nuove forme di industrializzazione. La conclusione del capitolo invita a riflettere sulle conseguenze della diffusione della meccanica, in tanti campi del vivere civile, con il pericolo che l'evoluzione scientifica possa

oltrepassare quanto la “natura” stessa possa concedere. Inoltre i riflessi dell’economia globale creano la necessità di considerare, in modo sempre più attento e determinato, i problemi dell’ambiente, evidenziando i limiti ed i quesiti che lo sviluppo tecnologico e scientifico fa emergere nell’età contemporanea.

### *Ringraziamenti*

Siamo grati al Dipartimento di Meccanica del Politecnico di Milano per aver ospitato il workshop che ha dato il via alla realizzazione di quest’opera, alla Conferenza dei Presidi delle Facoltà di Ingegneria (CoPI) per aver promosso e sostenuto l’iniziativa e alla Commissione della CoPI sulla Storia dell’Ingegneria per l’azione costante con cui l’ha seguita e supportata. Un ringraziamento particolare ad Alessandra Setti per l’infaticabile e qualificata assistenza a curatori e autori e anche per la cura nel procurare informazioni, dati, carte e fotografie. Il progetto del libro è stato definito con un comitato di esperti a cui va tutta la nostra gratitudine: Franco Angotti, Vito Cardone, Salvatore D’Agostino, Andrea Silvestri.

Non ultimi sono da ringraziare tutti gli autori per l’entusiasmo dimostrato nell’iniziativa e la minuziosa, efficace e paziente collaborazione, con una sottolineatura particolare per Sergio Sartori, già direttore dell’Istituto Metrologico “Gustavo Colonnetti” di Torino, personalità di assoluto spicco nel quadro nazionale ed internazionale, e competentissimo autore in questo volume, che è purtroppo recentemente mancato.

VIRGINIO CANTONI, VITTORIO MARCHIS, EDOARDO ROVIDA

# LE SCUOLE

122
133

## MECCANICA.

### 1. ORGANI DELLE MACCHINE.

(vedi di sopra il num. altro indicazione le contrarie)

#### A — ORGANI DI COLLEGAMENTO.

#### 135. Chiodature.

a) Per collaje a vapore (vedi N. 171 e seguenti):

Fig. 75.

Chiodatura semplice (Fig. 75):  
 $d = 4 + 1,5s$ ;  $s = 10 + 2d$ ;  $b = 1,5d$ ;  
 diametro delle viti =  $1,8d - 2d$ ; loro  
 altezza =  $0,5d - 0,5d$ .

b) Per collaje a vapore (vedi N. 171 e seguenti):

Fig. 76.

Chiodatura doppia:  $d, b$  come sopra; distanza fra i chiodi di ciascuna fila =  $2d + 3d$ ; distanza fra due chiodi de una fila all'altra =  $10 + 2d$ . La chiodatura doppia contiene per le giunture longitudinali, separate per diam. di collaje > 305.

La stessa regola valgono per recipienti ermetici in genere soggetti a pressione.

La chiodatura semplice riduce la resistenza a circa  $50 \frac{1}{4}$ ,  
 » » doppia » » » »  $70 \frac{1}{4}$ .

b) Per giunzioni e recipienti ermetici in genere, senza o a piccola pressione:  $d = 1,5s$ ;  $s = 2,5d - 3d$ ;  $b = 1,6d$ .

c) Per travature metalliche: vedi N. 73.

Fino di un chiodo — al peso di un ferro tondo di lunghezza uguale all'area del chiodo, munito di 4 diametri per la testa.

#### 136. Bulloni e viti.

XXVII. BULLONI A VITE VESICOLARI, SISTEMA WHITWORTH.

Diametro esterno in pollici (figura)	Diametro interno in mm.	Numero dei filetti in 1 pollice (25,4 mm.)	Eccentricità del bullone in mil.	Tale e testa				
				diagramma del rivale	altezza del dado della testa			
1/4	6,35	4,72	20	58	15	17,5	7	8
3/8	9,52	6,90	18	80	65	25,5	8	9
1/2	12,70	9,52	16	100	119	37	10	11
5/8	15,87	12,70	14	120	149	50	12	13
3/4	19,05	15,87	12	140	187	63	14	15
7/8	22,22	19,05	11	160	225	77	16	17
1	25,40	22,22	10	180	263	91	18	19
1 1/8	31,75	28,57	9	200	301	105	20	21
1 1/4	34,92	31,75	8	220	339	119	22	23
1 1/2	38,10	34,92	7	240	377	133	24	25
1 3/4	41,27	38,10	6	260	415	147	26	27
2	44,45	41,27	5	280	453	161	28	29
2 1/4	47,62	44,45	4 1/2	300	491	175	30	31
2 1/2	50,80	47,62	4	320	529	189	32	33
2 3/4	53,97	50,80	3 1/2	340	567	203	34	35
3	57,15	53,97	3 1/4	360	605	217	36	37
3 1/4	60,32	57,15	3	380	643	231	38	39
3 1/2	63,50	60,32	2 3/4	400	681	245	40	41
3 3/4	66,67	63,50	2 1/2	420	719	259	42	43
4	69,85	66,67	2 1/4	440	757	273	44	45
4 1/4	73,02	69,85	2	460	795	287	46	47
4 1/2	76,20	73,02	1 3/4	480	833	301	48	49
4 3/4	79,37	76,20	1 1/2	500	871	315	50	51
5	82,55	79,37	1 1/4	520	909	329	52	53

Fino di un bullone completo con testa e dado — al peso di un ferro tondo di lunghezza uguale a quella del bullone, munito di  $5 \frac{1}{4}$  diametri.

Viti di giunzione a dritto quadrato:  $P$  = carico;  $d, d_1$  = diametro esterno e interno;  $p$  = passo. Si fa:  
 $d_1 = 0,5 \sqrt{P} - 0,5 \sqrt{P}$ ;  $d = 1,25 d_1$ ;  $p = 0,2 d$

Il dado deve comprendere  $7 \frac{P}{d^2}$  spire, ma giammai meno di 12.

#### 137. Collegamenti e cattedrature a bitta.

Fig. 75.

Fig. 76.

Fig. 77.

Fig. 78.

Fig. 79.

Fig. 80.

Fig. 81.

Fig. 82.

Fig. 83.

Fig. 84.

Fig. 85.

Fig. 86.

Fig. 87.

Fig. 88.

Fig. 89.

Fig. 90.

Fig. 91.

Fig. 92.

Fig. 93.

Fig. 94.

Fig. 95.

Fig. 96.

Fig. 97.

Fig. 98.

Fig. 99.

Fig. 100.

Due pagine tratte dal primo *Manuale dell'Ingegnere* di G. Colombo, professore di Meccanica e Costruzione di macchine nel R. Istituto tecnico superiore di Milano, edito da Ulrico Hoepli (Milano) nel 1878, usato da generazioni di studenti e professionisti e ora giunto alla 85ª edizione.

### Alcune osservazioni introduttive

I prodromi di una disciplinarietà che viene a costituire i diversi curricula scolastici ed in particolare accademici risiedono, nei vari modi e nei vari tempi, in una “didattica della cultura” che rende più agevole l’approccio del soggetto conoscente con l’universo significante della cultura umana nelle sue varie forme culturali della lingua, della scienza e dell’arte.

E ciò si sviluppa negli apparati compresi nell’ambito delle scienze della educazione che, nati in tempi remoti e come elementi secondari nel novero delle scienze, divennero in seguito un derivato della psicologia (con Piaget) fino alla elaborazione attuale di una “didattica della cultura” promossa da un gruppo di studiosi dell’Università di Perugia, anche se sul piano storico non è mai stata operata una lettura critica dei precedenti che assegnano alla didattica la sua specificità senza stretti legami alla pedagogia.

Ma le radici della didattica (*didàskein*) sono ormai spesso trascurate, perdendo così la traccia dell’opera dei molti che a ciò si sono applicati.

Non è qui il luogo di farne una analisi compiuta, ma si ritiene che alcune citazioni, anche se incomplete ed anche se limitate ai periodi più vicini, possano richiamare i cammini percorsi.

Dal greco *didàsko* si ritrova “la teoria e pratica dell’insegnare” che viene posta all’interno delle scienze della comunicazione e delle relazioni comunicative e che si pone come miglioramento della efficacia e dell’efficienza dell’insegnamento del docente e dell’apprendimento del discente (del sapere e del saper fare).

Nel nostro breve ricordare possiamo citare le “civiltà mediterranee” (Egizi, Assiri, Greci, Romani) e quindi dai sacerdoti astronomi egizi fino alla maieutica socratica ed a Quintiliano, per passare dopo diversi secoli, nel 1500-1600, alle opere di Bacone e di Cartesio (con le sue “regole per la guida dell’intelletto”) da cui si traeva il principio di “conoscere la realtà per trasformarla”, fondando su dati oggettivi, e fino alla “ratio studiorum” dei Gesuiti [1].

Una posizione particolare si può riservare a Comenio (Jan Amos Komensky [1592-1670]) [2][3] che nella sua opera *Didactica Magna* dichiara necessario che venisse operata la «istruzione a tutti gli uomini in quanto oggetti di educazione» in relazione ad una riforma o fondazione del sistema scolastico in modo che si potesse «insegnare a tutti» («di ciascun uomo si fa un uomo», «omnes omnia

docere», «omnia omnibus omnino») superando ampiamente l'ambito culturale del suo tempo.

Dall'opera di Comenio riportiamo pure affermazioni quali (ad esempio): «Didactica docendi artificium sonat» (per didattica si intende l'arte dell'insegnare) ed anche «Quod nuper eximii quidam viri, Sisiphica scholarum saxa miserati, vestigare aggressi sunt: ut dispari ausu, ita profectu dispari» (di recente alcuni uomini illustri, mossi a compassione per le fatiche sisifiche degli scolari, hanno cominciato a svolgere ricerche: come diversi sono stati i tentativi, così diversi i risultati).

Purtroppo in tali periodi le ottusità imperanti, in particolare delle strutture ecclesiastiche, hanno impedito la diffusione di queste idee "moderne" (si rammenta Campanella [4], che sostiene una educazione antiscolastica ed antilibresca, aperta a tutti e resa per tutti accessibile, così come tanti altri, che, iniziato il loro iter presso gli ordini religiosi, furono poi perseguitati e condannati dai tribunali ecclesiastici).

Anche se già con Locke (1632-1704) [5] si passa da una pedagogia che è spesso appendice di visioni di tipo filosofico e religioso, solamente con l'illuminismo ed una prima proliferazione delle istituzioni scolastiche, si hanno studiosi che descrivono vari modi di educare: Rousseau (1712-1778) [6] sostiene nel suo *Emile* la didattica «naturale» dell'«uomo nuovo» in cui l'educazione dura 25 anni ed inizia dalla nascita, portando però ad un curriculum formativo in cui si evidenzino studi (apprendimento come per gioco) atti a formare non un «dotto» ma un «gentiluomo».

Vi è pure Pestalozzi (1746-1827) [7] che orienta le sue esperienze educative ad un metodo didattico atto a conferire al discente conoscenze linguistiche, geometrico-matematiche e di formazione professionale che andranno a formare le basi della formazione culturale successiva.

Ma i prodotti pedagogici e didattici di Rousseau e di Pestalozzi si tradussero in "istituzioni scolastiche" per merito di Friedrich Fröbel (1782-1852) [8], dove già il fanciullo è portato a considerare anche l'insegnamento scientifico di tipo intuitivo (come quello religioso) pur non trascurando lettura, scrittura ed arte, sempre apprese come manifestazioni spontanee, espressioni quindi di un bisogno psicologico.

Ma chi si pone decisamente controcorrente rispetto ai contemporanei può considerarsi Herbart (1776-1841) [9] che pone la pedagogia come «disciplina scientifica» sostenuta dall'«interesse» come motore dell'apprendimento, oggettivo o soggettivo, «conoscitivo» (empirico, teorico od estetico) od «empatico partecipante» (simpatetico, sociale e religioso).

In Italia, dove le istituzioni educative erano fortemente caratterizzate da metodologie dogmatiche, all'inizio dell'Ottocento il versante educativo cercò di formulare un progetto che conciliasse Chiesa e libertà di coscienza, ponendosi

come fine pratico l'apertura di "scuole popolari": si rammentano Ferrante Aporti (1791-1858) [10] con l'istituzione di una "scuola", importante non solo dal punto di vista educativo, ma anche da quello sociale; Gino Capponi (1792-1876) [11] con scuole in cui il metodo didattico porta idee-forza quali nazione, libertà ed uguaglianza; ed infine Raffaello Lambruschini (1788-1873) [12] per il quale l'educazione si prospetta come compito complesso sia nella sua parte «indiretta», che può essere (contrariamente a Rousseau) anche positiva, sia nella sua parte di tipo «diretto» anche mediante le interazioni sociali dell'alunno, che lo rendono sempre più autonomo nell'impiego del ragionamento logico deduttivo.

E nella seconda parte dell'Ottocento si ritrova Aristide Gabelli (1830-1891) [13] che, partendo dal suo positivismo, imposta la sua proposta educativa con riferimento all'Italia postunitaria assegnando alla scuola il compito di «formare gli italiani» basandosi sul metodo scientifico (con lo sviluppo dello spirito di ricerca e della capacità di analisi) ponendo l'intelligenza a livello superiore alla sensibilità.

All'inizio del Novecento, mentre Dewey (1859-1952) [14] espone una pedagogia ispirata al pragmatismo, ma legata alle scienze sperimentali, con il compito di formare «l'uomo democratico» in scuole in cui il principio fondamentale è «imparare facendo», si ha in Jacques Maritain (1882-1933) [15][16] lo sviluppo di una filosofia che accusa la pedagogia contemporanea di occuparsi del metodo e non del fine, rivendicando invece all'uomo come persona la sua dignità e libertà mediante una funzione formativa integrale dell'educare.

In Italia si presentano in particolare le figure di Benedetto Croce [17] e di Giovanni Gentile [18], che, pur da posizioni diverse, influenzano in modo perlomeno discutibile (a nostro parere) la pedagogia e la didattica nazionale.

In particolare l'influenza antiscientifica di Croce (1866-1952) è stata particolarmente deleteria sia sul piano dell'istituzione scolastica sia per la formazione di una classe dirigente che tenesse nella dovuta considerazione l'importanza di scienza e tecnica, «con conseguente ritardo dello sviluppo tecnologico e scientifico italiano» (Giulio Giorello).

Per Gentile (1875-1944) la scuola non deve essere «di massa» ma di tipo aristocratico e dove la «filosofia è la regina della scienza»; ma tale influenza sulla tradizione pedagogica italiana ebbe quasi subito posizioni sempre più distanti assunte dagli esponenti della pedagogia neoidealista, quali Lombardo Radice (1879-1938) [19] ed Ernesto Codignola (1885-1965) [20] che insisterono su una esigenza di concretezza e di sperimentazione; la riforma Gentile fu ritoccata più volte (Bottai) con disposizioni legislative e regolamentari, però di poca applicazione.

Molte teorie si sviluppano nel frattempo, con indirizzi diversi, con metodi e modelli fra loro a volte richiamantisi e che hanno dato contributi importanti: ricordiamo ad esempio i modelli meccanicistici (Skinner ed il comportamentismo)

ed i modelli organicistici (Wertheimer e la teoria della forma) cui hanno fatto seguito molteplici altre teorie nella seconda parte del secolo (quali ad esempio il cognitivismo, la teoria della creatività, dei modelli matematici e la psicologia ecologica).

In Italia le riforme si evidenziano dopo la fine della seconda guerra mondiale e con la costituzione dell'Italia repubblicana (1948).

Alcune delle più significative sono le riforme della scuola media (1962), la liberalizzazione degli accessi all'università (1969) e, dopo mutamenti su questioni specifiche, la riforma Berlinguer (1997) che, fra l'altro, allinea l'ordinamento didattico universitario alle direttive europee, aderendo alla cosiddetta dichiarazione di Bologna ed alla dichiarazione congiunta siglata alla Sorbona nel giugno 1998 che, con le disposizioni successive, introduce l'ordinamento universitario a più livelli e dove le università sono indirizzate dalle parole chiave di «autonomia, responsabilità, valutazione ed inoltre di flessibilità e competizione».

Seguono negli anni duemila la “riforma Moratti”, le misure di Fioroni (2006-2007) e la “riforma Gelmini”, che però contengono sostanzialmente norme di carattere gestionale e di messa a punto.

## Un richiamo alla meccanica

La meccanica, intesa come “meccanica e macchine”, rispetto ad altre discipline, almeno per quanto riguarda il suo evolversi, si presenta con caratterizzazioni che si ritiene siano di qualche interesse, almeno dal punto di vista storico.

Infatti da quando l'uomo ha iniziato a servirsi di utensili come sue proprie protesi, si è sempre più circondato di “elementi esterni”.

Ma il percorso è stato poco lineare, o meglio poco fluente, come già si è potuto arguire dalle precedenti osservazioni introduttive: qui si ritiene comunque di dare qualche cenno, certo non completo, del suo sviluppo, collegandosi anche a quanto lasciatici da Alexandre Koyré (1892-1964) [21].

Le tre fasi della storia del «pensiero meccanico (meccanicistico)» possono così suddividersi:

1. il pensiero meccanico antico (da Talete [22] al Seicento): il pensiero (greco) era di tipo essenzialmente speculativo e filosofico, opponendosi al pensiero operativo, riducendo il mondo a fenomeni di moto e descrivendolo in termini matematici, con rifiuto teorico della “macchina” e delle tecnologie (anche se erano presenti le botteghe e gli artigiani);

2. la meccanica classica (da Galileo [23] e Newton [24] *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* fino agli inizi del Novecento): ricordiamo che Cartesio [25], osservando il mondo che lo circondava ed i «diversi mestieri dei nostri artigiani»,

concludeva che con la meccanica (utilizzata mediante le scienze matematiche) «diventeremo padroni e possessori della natura» ed ancora che il metodo cartesiano «non è altro che un criterio di orientamento che [...] aiuti l'uomo e che abbia come fine ultimo il vantaggio dell'uomo nel mondo»;

3. la meccanica moderna (dalle formulazioni del concetto di quanto – Planck [26]): i progressi tecnici e scientifici portano a considerare che la macchina inganna le speranze trasformando l'uomo in «schiavo della propria creazione»; il mondo, come in una «rassegnazione disperata» si rifugia nella valorizzazione del «tempo libero»; e si constata che il mondo non è semplicemente riconducibile agli schemi ordinati della meccanica classica, ma ha forme più complesse in cui la meccanica classica non sembra più corrispondere alla vera natura delle cose.

Ma ciò che ci può lasciare più perplessi sono le ragioni del «perché la scienza antica non produsse la macchina»: può affacciarsi l'idea della carenza di materie prime e di fonti energetiche che induce ad una impossibilità di accedere alle macchine ed al loro controllo “meccanico” della natura, ma comunque era imperante il “disinteresse” per la ricerca tecnica; ed anche si constatano le posizioni classiste della società basata sulla schiavitù; pur esistendo una abbondante manodopera (macchine viventi), il termine *artigiano-bànausos* è sinonimo di spregevole e si contrappone l'*otium* al *negotium*.

Anche Archimede pare (a quanto asserisce Plutarco [27]) che non tenesse conto alcuno delle macchine da lui costruite considerando il suo apporto come «pura geometria».

Vi è cioè il disprezzo per il lavoro manuale che imponeva una gerarchia di valori anche al pensiero scientifico, tenendolo lontano da finalità pratiche.

E così anche il Medioevo viene frenato nel suo procedere dagli influssi greci, anche se vi affluivano nuove correnti derivate dalle scienze arabe, che avevano introdotto un senso di maggiore fiducia nella manipolazione degli oggetti naturali: si trattava di un'apertura alla “sapienza medioevale” che, almeno fino a Galileo, apriva la strada alla innovazione tecnica.

Occorre però per dare enfasi all'interpretazione sociopsicologica, anche in relazione al rapporto fra la realtà operata dai filosofi antichi e la realtà che essi si trovavano realmente di fronte, distinguere le varie epoche soprattutto per descrivere nel modo più accurato possibile il sorgere della figura dello “scienziato pratico”, il quale, per certi versi, si accompagna alla nascita dell'ingegnere non più meramente meccanico, che ha utilizzato il “sapere tecnico” prodotto già dall'antichità.

Per una breve esemplificazione si possono fare alcuni richiami:

- 2.500.000 a.C. prime lavorazioni (scalpellatura, raschiatura);

- 500.000 a.C. utilizzo del fuoco (ottenuto spontaneamente; solo verso il 10.000 a.C. capacità di accenderlo intenzionalmente, mediante percussione o attrito);

- 20.000 a.C. arco e frecce;
- 8.000 a.C. agricoltura (Mesopotamia);
- 4.000 a.C. utilizzo della ruota;
- 3.600 a.C. utilizzo del bronzo per oggetti di fusione;

ed ancora:

- la costruzione delle piramidi con scalpelli di rame (Erodoto, V sec. a.C. [28]) e con piani inclinati, rampe e culle oscillanti, come (Diodoro Siculo, I sec. a.C. [29]) una macchina oscillante per l'elevazione dei massi con l'inserimento di "legni corti" per lo spessore durante l'elevazione;

- i collegamenti smontabili con viti di legno (il greco Archita, 428 a.C.);
- le viti per il torchio (I sec. a.C.); le viti metalliche si ottengono nel XV sec.;
- la trasformazione del moto con la coclea (vite di Archimede, 287-212 a.C.) e la vite senza fine con ruota dentata.

Occorre anche mettere in rilievo che l'uomo del Medioevo non sapeva calcolare per l'assenza di un linguaggio algebrico e aritmetico, sintomo di un disinteresse per la precisione il che costituiva quindi un sapere fondamentalmente esperienziale, tramandato ed applicato costantemente, ad esempio, nella costruzione di anfiteatri e basiliche, ponti e strade, porti e navi; così più tardi nella progettazione di macchine ed artifici "inutili": e questo aspetto si presenta ancora nel XVII secolo con gli automi e altre macchine "sorprendenti".

Ma il passaggio epocale fra l'ingegneria antica e quella moderna ruota attorno all'idea di "precisione", che Koyré sintetizza nella sua nota formulazione: «dal mondo del pressappoco all'universo della precisione».

In altre parole si tratta di quella compenetrazione di teoria e pratica che caratterizza la rivoluzione scientifica e tecnologica attraverso la realizzazione di strumenti di misurazione sempre più perfetti e la costruzione di macchine sempre più precise, e ciò ovviamente non solo con riferimento alla meccanica classica, ma alla meccanica moderna, in cui si deve sviluppare una cultura totalmente nuova, in quanto non è più del lavoro che vive la civiltà: la macchina in questo senso non offre che uno strumento da cui bisogna ottenere una possibilità di godere di maggiore libertà e ciò fa parte delle scelte politiche verso le quali dovrebbe essere indirizzata l'umanità.

## Le origini delle scuole

L'uomo, come afferma Beniamino Franklin nel 1778, è un animale che fabbrica utensili. Anche altri animali usano utensili, ma generalmente non li fabbricano (ad esempio, la lontra si posiziona a pancia in su sopra un banco di alghe e spezza i gusci dei molluschi catturati percuotendoli con un sasso o una conchiglia).

L'utensile può essere definito come il mezzo con cui l'organismo si adatta ad una particolare situazione ambientale. L'uomo inizia molto presto a costruire utensili e, quindi, ad esercitare attività tecniche.

Questi utensili e queste attività hanno richiesto da subito qualche forma di insegnamento, sia pure episodico ed, ovviamente, non istituzionalizzato: si può dire che, allora, nascono le "scuole" tecniche e poiché inizialmente la tecnica era praticamente coincidente con la meccanica, nascono le "scuole" che si possono definire "meccaniche".

La prima forma di comunicazione, intesa come trasmissione di idee, informazioni, impressioni, è quella orale, che utilizza, cioè, la voce umana come mezzo di trasmissione e l'udito come mezzo di ricezione. La tradizione orale richiede una organizzazione della comunicazione, e, quindi, del sapere, tale da poter essere facilmente imparata a memoria: grande importanza, quindi, è rivestita da formule, massime, frasi fatte e dalla ridondanza dei concetti, espressi con abbondanza di ripetizioni.

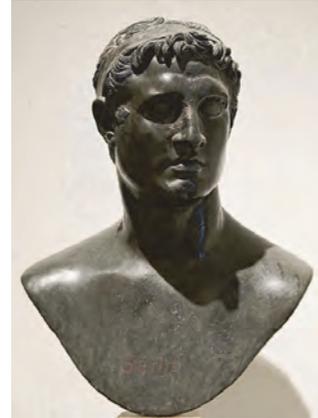
Il passo storicamente successivo è quello della comunicazione manoscritta che si ritiene inventata dai Sumeri nel IV millennio a.C.

Con la comunicazione manoscritta, la memoria perde in parte l'importanza che aveva nella comunicazione orale: la scrittura diventa essa stessa una "memoria" e l'udito, prima canale di ricezione fondamentale, viene affiancato in tale funzione dalla vista.

Si può, quindi pensare che le prime forme di "scuole meccaniche" siano state le istruzioni che il maestro, cioè il tecnico più anziano e, quindi, più esperto, impartisce agli apprendisti, attraverso la voce ed aiutandosi con schizzi e disegni per chiarire i concetti. Si può pensare che questa forma di istruzione si svolga per tutto il mondo antico ed anche, almeno in parte, nel Medioevo e nel Rinascimento.

Per quanto riguarda il mondo antico, l'esperienza certamente più significativa e, molto probabilmente, la prima forma di insegnamento istituzionalizzato, è la Scuola Alessandrina: per impulso di Tolomeo II Filadelfo (308-246 a.C.) (Fig. 1), Alessandria diviene presto un centro culturale importantissimo.

**Figura 1.** Tolomeo II Filadelfo (Museo Archeologico Nazionale di Napoli).



Due istituzioni, in particolare, rivestono grande importanza.

a) Museo (o *Mouseion*): si tratta di un complesso simile a quello che oggi sarebbe un campus universitario, con spazi, strumenti e libri a disposizione degli scienziati di tutto il mondo che, stipendiati dallo Stato, attendono alle loro ricerche. Al *Mouseion* studiano personaggi come Euclide, Archimede, Claudio Tolomeo, Ipparco, Erone.

b) Biblioteca: è ricca di oltre 500.000 volumi che contengono l'intero sapere del mondo antico. In essa nascono alcuni aspetti del libro moderno, introdotti per esigenze di catalogazione come, ad esempio, l'indicazione del titolo (sempre o spesso omesso prima) e l'indicazione dell'autore (se non noto, ne veniva assegnato uno d'ufficio).

Nel mondo antico, i rapporti fra scienza e tecnica, cioè fra il sapere speculativo e quello pratico-operativo sono pochi o nulli: tecnici e scienziati dell'antichità vivono, in genere, in mondi separati. L'obbiettivo della tecnica è, in generale, il risultato pratico, senza preoccuparsi troppo del metodo scientifico che gli "sta sotto", pur raggiungendo risultati di tutto rispetto. Ad esempio, i maestri d'ascia greci sono abilissimi costruttori di navi, ma, molto probabilmente, non sanno perché le navi galleggiano ed, ovviamente, non conoscono né Archimede, né il suo principio: sanno però come costruire navi che galleggiano egregiamente. Sarà solo con il Rinascimento che scienza e tecnica si avvicineranno, dando luogo all'inizio di un circolo virtuoso che porterà ad una grande accelerazione del progresso, accelerazione che dura fino ad oggi.

Nel mondo antico, quindi, le varie tecniche (agricola, militare, delle costruzioni, ...) si basano soprattutto sull'esperienza pratica e sulla trasmissione di informazioni fatta direttamente dal maestro, mediante la sua parola e la sua imitazione da parte degli allievi. Ciò non toglie, però, che, timidamente, nascano i

primi “manuali” tecnici, che cercano di formalizzare le conoscenze note in determinati campi: compaiono molto presto raccolte di istruzioni (ad esempio, sull’agricoltura babilonese, su alcune lavorazioni come quella del vetro) e che contengono descrizioni di metodi e procedure. A parte tali sporadici tentativi, però, la maggior parte delle informazioni tecniche sono tramandate oralmente. L’insegnamento tecnico, comunque, pur con le limitazioni sopra accennate, porta a risultati notevoli: vale la pena, a questo proposito, di considerare il seguente passo di Senofonte [30].

Proprio come i grandi mestieri sono maggiormente sviluppati nelle grandi città, così il vitto, a palazzo, è preparato in maniera di gran lunga superiore. Nei piccoli centri, lo stesso uomo fabbrica letti, porte, aratri, tavoli e spesso costruisce anche le case, e ancora è ben felice se può trovare abbastanza lavoro da sostenersi. Ed è impossibile che un uomo dai molti mestieri possa farli tutti bene. Nelle grandi città, invece, poiché sono molti a richiedere i prodotti di ogni mestiere, per vivere basta che un uomo ne conosca uno solo e spesso anche meno di uno. Per esempio, un tale fabbrica scarpe da uomo, un altro scarpe da donna e vi sono luoghi dove uno può guadagnarsi da vivere riparando scarpe, un altro tagliando il cuoio, un altro cucendo la tomaia, mentre un altro non esegue nessuna di queste operazioni, ma mette insieme le varie parti. Di necessità, chi compie un lavoro molto specializzato lo farà nel modo migliore.

In età Romana, dalla fine dell’epoca repubblicana all’inizio di quella imperiale si verifica un grande aumento dell’urbanizzazione e, conseguentemente, dei lavori e delle costruzioni: da ciò discende un’importanza sempre maggiore delle professioni tecniche ed una sempre più forte necessità di formazione. Un problema, questo, accentuato dal fatto che molti tecnici sono di lingua greca ed hanno studiato ad Alessandria d’Egitto, quali, ad esempio, Apollodoro di Damasco, Marco Vitruvio Pollione, Sesto Giulio Frontino.

Durante il Medioevo, è molto diffusa la distinzione fra scienze ed arti. Le scienze non sono finalizzate ad alcuna applicazione, ma corrispondono al sapere disinteressato, fine a se stesso, mentre le arti sono finalizzate ad applicazioni intellettuali quelle liberali e pratiche quelle servili. Nel Medioevo acquistano grande importanza numerose categorie di artigiani, quali, ad esempio, muratori, carpentieri, fabbri: questi ultimi particolarmente importanti perché realizzano gli attrezzi per tutte le altre categorie di artigiani ed anche per i contadini. Acquista anche importanza, maggiore che nel passato, la professionalità volta al coordinamento del lavoro, tra uomini e categorie, senza la quale non si sarebbero realizzate le grandi costruzioni: basti pensare alla grandi cattedrali gotiche, che hanno visto il lavoro coordinato di marmisti, barcaioli, carrettieri, scultori, muratori, capimastri, vetrai.

I beni manufatti, prima fabbricati solo nelle campagne e nei monasteri, iniziano ad essere prodotti in botteghe specializzate ed organizzate, che costituiscono forme embrionali, ma efficienti, di attività produttiva. La gerarchia della bottega vede il proprietario (maestro) che possiede attrezzi e materie prime e dirige l'attività dei lavoratori: questi sono operai (*socii*), cioè compagni di lavoro, ed apprendisti (*discipuli*) che, reclutati attorno agli 11 anni, seguono un tirocinio lungo e complesso.

Da queste considerazioni si evince l'importanza sempre maggiore della formazione e dell'addestramento.

Verso la metà del XV secolo nasce la comunicazione tipografica: essa promuove una vera e propria rivoluzione culturale, trasformando la vita intellettuale attraverso una diffusione della cultura mai vista in precedenza. L'invenzione della stampa fa sì che la comunicazione acquisti uniformità, continuità, ripetibilità ed omogeneità. Essa, inoltre svolge un'importante funzione di sviluppo delle lingue nazionali sul latino, "normalizzandone" ortografia e grammatica. Con la diffusione della cultura tipografica, la prevalenza della vista sull'udito diviene schiacciante.

Con l'avvento del libro stampato, poi, si verificano alcuni fatti socialmente significativi: ad esempio, il plagio diviene reato, la parola diviene una "merce" ed il pubblico dei lettori acquista il ruolo di nuovo mecenate.

Inoltre, la lettura diviene un fatto "privato" (nel Medioevo si legge solitamente ad alta voce) e silenzioso e, contemporaneamente, acquista un ruolo fondamentale per la diffusione crescente della cultura "di massa". Con l'avvento della stampa, inizia a formarsi l'opinione pubblica.

Con il Rinascimento scienza e tecnica si avvicinano e si influenzano reciprocamente: si passa dal puro empirismo a nuovi approcci ed iniziano, sia pure in forma embrionale, il calcolo e la sperimentazione. Molte realizzazioni inducono a studiarle più in profondità, aumentando la conoscenza dei fenomeni in base ai quali esse funzionano. Ad esempio, lo studio della dinamica induce notevoli perfezionamenti nella costruzione degli orologi i quali, con il loro progresso, spingono ad approfondimenti nel campo della dinamica.

L'importanza della formazione aumenta sempre di più. Nasce un nuovo genere letterario, la trattatistica: i trattatisti (Leonardo, Vegezio, Valturio, Agricola sono solo alcuni dei nomi più noti) realizzano ampie raccolte di disegni di macchine, che iniziano talora ad avere carattere progettuale e che giocano anche un ruolo non secondario nella formazione nel campo della meccanica.

Un'altra istituzione che dà un notevole contributo alla formazione scientifico-tecnica è costituita dalle prime Accademie: esse avvicinano scienza e tecnica, sottolineando come la tecnica sia strumento di progresso. Alcuni esempi di accademie sono le seguenti:

- *Accademia Secretorum*, Napoli (1560);

- Accademia dei Lincei (1603) (studio e diffusione della fisica, con la visione penetrante della lince);
  - *Royal Society for the Advancement of Learning* (fondata da Boyle nel 1645 col nome di *Philosophical College*) (vi appartiene Galileo e fra i suoi Presidenti ha Isacco Newton);
    - Accademia del Cimento (fondata nel 1657 da Leopoldo de' Medici);
    - Accademia delle Scienze di Londra (1662);
    - Accademia delle Scienze di Parigi (1666) fondata da Luigi XIV.

Legata al progresso delle Accademie è anche la nascita e lo sviluppo della stampa scientifica: fino ad ora la comunicazione fra studiosi avviene solo attraverso scambi epistolari, mentre da ora in avanti, spesso proprio grazie alle accademie scientifiche, nascono periodici scientifici, quali, ad esempio, il *Journal des Savants* (Parigi, 1665) e le *Philosophical Transaction* (organo ufficiale della Royal Society).

Un'altra istituzione che svolge un ruolo significativo nel campo dell'istruzione tecnica è il Collegio degli Ingegneri di Milano [31][32], fondato nel 1563. Esso, dalla fondazione al 1797, con il riconoscimento dei governi spagnolo e austriaco, cura la formazione degli aspiranti ingegneri e architetti e rilascia le "patenti" per l'esercizio della professione. Esso svolge anche la funzione di magistratura nei campi di sua competenza; le sue sentenze ("Stilati") costituiscono giurisprudenza ad ogni effetto.

Nel 1797, con legge della Repubblica Cisalpina, il Collegio viene chiuso in forza dei disposti della Libera Costituzione e le prerogative del Collegio in materia di formazione e rilascio dei diplomi passano all'Università di Pavia.

Nel 1868 il Collegio verrà riaperto, come libera associazione culturale, organizzata su nuove basi per contribuire al progresso della cultura e della pratica dell'esercizio professionale post-universitario.

## Il XVIII secolo

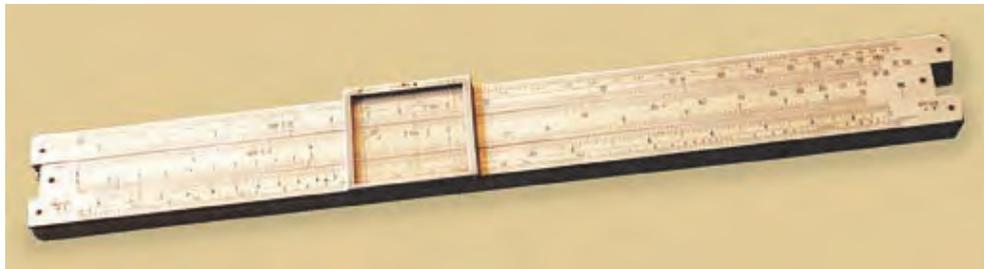
### *Caratteri generali*

Questo secolo è caratterizzato da alcuni fatti particolarmente significativi che esercitano un'influenza notevole sull'insegnamento della meccanica.

a) Hooke e De Saint Venant con la teoria dell'elasticità, da loro introdotta e sviluppata, gettano le basi della teoria della resistenza e, quindi, dei calcoli strutturali.

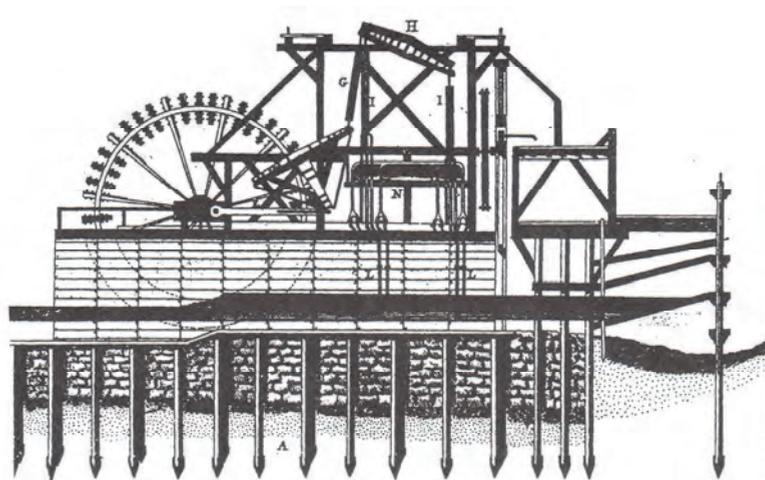
b) Il matematico scozzese John Napier (latinizzato in Nepero), vissuto però precedentemente, dal 1550 al 1617, introduce i logaritmi che si diffonderanno in questo secolo: essi costituiscono le basi del regolo calcolatore (Fig. 2) che fino agli

anni '70 del XX secolo sarà lo strumento incontrastato dei calcoli scientifico-tecnici.



**Figura 2.** Regolo calcolatore (circa 1920). Basato sulle scale logaritmiche consente, allineando parte fissa, parte mobile e cursore, di compiere molte operazioni numeriche.

c) Il matematico francese Gaspard Monge (1746-1818) getta le basi della geometria descrittiva e, quindi, delle proiezioni ortografiche che costituiranno la base dei disegni tecnici e del linguaggio universale fra tecnici. La figura 3 mostra un disegno tecnico di questo secolo, eseguito in proiezioni ortografiche.



**Figura 3.** Disegno di impianto dall'*Encyclopedie* [33].

d) Nasce in forma embrionale l'industria meccanica. Una fra le prime industrie, almeno in Italia è la Badoni. Il suo primo insediamento risale alla seconda metà del Settecento, nel territorio di Lecco e si tratta di un opificio con fucina e lavorazione dei metalli.

e) Nasce la macchina a vapore: essa rende disponibile l'energia dove e quando serve, senza sottostare ai capricci del vento ed alla localizzazione dei corsi d'acqua. La nascita della macchina a vapore costituisce una delle basi della Rivoluzione Industriale che parte in Inghilterra e si diffonderà in tutta l'Europa.

### *L'insegnamento della meccanica*

Dalle considerazioni sopra riportate si evince come in questo secolo diventi sempre più importante avere a disposizione persone preparate nel campo della meccanica. A questo scopo nascono anche alcune forme istituzionalizzate di insegnamento. Un esempio, a Milano, è costituito dalle Scuole Palatine.

Il palazzo, eretto nel 1604 sull'area del preesistente edificio del Trecento delle Scuole del Broletto, è completamente ricostruito dopo un incendio nel 1645.

Da sempre sono considerate centro di grande cultura (vi si insegna diritto, eloquenza, medicina e matematica): le Scuole Palatine hanno come docenti personaggi di primissimo piano come Carlo Maria Maggi, Giuseppe Parini e Cesare Beccaria. La figura 4 mostra uno scorcio attuale del Palazzo delle Scuole Palatine, in piazza Mercanti a Milano.

Nel campo scientifico-tecnico, alle Scuole Palatine il fisico e matematico Paolo Frisi (1728-1784) insegna meccanica ed idraulica. Le Scuole nel 1773 ricevono un nuovo assetto, arrivando ad avere 14 cattedre, fra le quali meccanica, idrostatica ed idraulica: ad esse è annesso anche il primo laboratorio milanese di fisica, poi trasportato a Brera.



**Figura 4.** Il palazzo delle Scuole Palatine a Milano.

A parte questa e poche altre istituzioni, l'insegnamento delle discipline meccaniche nel XVIII secolo avviene in larga misura ancora per azione del tecnico esperto, del maestro, che mostra, con le sue spiegazioni e con l'esempio, le operazioni da compiere nelle varie lavorazioni e nella loro successione. In questo

secolo inizia anche ad acquistare maggiore importanza l'aspetto teorico dell'insegnamento: la stampa è ormai un'arte consolidata ed il libro diviene accessibile a strati sempre più larghi della popolazione, fatta salva l'esistenza di un ancora elevato numero di analfabeti. In ogni caso, accanto all'osservazione del maestro, la lettura di testi e di manuali acquista sempre maggior peso nell'istruzione meccanica.

## Il XIX secolo

### *Caratteri generali*

Il XIX secolo è caratterizzato da grandi progressi in tutti i campi scientifico-tecnici. Nel campo della meccanica, sviluppando gli studi sulla resistenza dei materiali che già erano stati oggetto di attenzione nel secolo precedente, vengono fatti grandi progressi sulla conoscenza dei fenomeni che stanno alla base del comportamento degli organi di macchine. Ad esempio, progredisce lo studio della fatica nei metalli, soprattutto in seguito ad un grave incidente ferroviario avvenuto a Versailles nel 1842, in seguito alla rottura di un asse di una locomotiva: Rankine istituisce le prime ipotesi e, nel 1854, Braitwaite introduce il termine "fatica".

Vengono fatti progressi anche nel campo della classificazione metodica degli organi di macchine. Franz Reuleaux, ad esempio, è considerato un precursore della scienza della progettazione: in due suoi libri, infatti, scritti l'uno nel 1875 e l'altro nel 1900, fa una catalogazione degli organi di macchine in modo sistematico.

Nel XIX secolo, poi, nasce la grande industria, che aveva mosso, in forma embrionale, i primi timidi passi nel secolo precedente. Fra le grandi industrie nate in questo periodo, sono particolarmente significative le seguenti:

- Breda [34], Falck (1840);
- Riva Calzoni [35][36] (1861);
- Tecnomasio Italiano Brown Boveri [37] (1863);
- Filotecnica Salmoiraghi [38] (1875);
- Franco Tosi [39][40] (1876);
- Pomini [41] (1886);
- Borletti (1895).

Il miglioramento e lo sviluppo industriale sono grandemente influenzati dall'importazione di idee dall'estero, che avviene con numerosi viaggi di studio che imprenditori e tecnici svolgono nei Paesi più industrializzati. Ad esempio, Giovanni Battista Pirelli viaggia a lungo in Germania, Belgio, Francia a studiare l'industria della gomma, su consiglio dei suoi professori Brioschi e Colombo che, nel 1872, lo aiutano a fondare la Pirelli. Giuseppe Colombo, in particolare, gli scrive «di vedere

e di imparare il più possibile in ogni ramo di industrie e, in particolare, di soffermarsi sulla produzione della gomma, per trasferire in Italia le esperienze fatte all'estero». Un altro esempio significativo è quello di Alberto Riva: subito dopo la laurea (1870) compie un tirocinio nello stabilimento Caspar Honegger in Svizzera: l'esperienza lo porta alla fondazione della Riva.

La FAST (Federazione delle Associazioni Scientifiche e Tecniche) [42][43] è, come dice il nome, una federazione di associazioni con interessi nei vari ambiti della scienza e della tecnica e nasce nel 1897. Molte delle sue associazioni (oggi sono oltre trenta) svolgono corsi, seminari, giornate di studio, che si possono configurare come una forma di istruzione permanente. I fondatori della FAST sono personaggi di primissimo piano: Giovanni Battista Pirelli, Giuseppe Colombo, Cesare Saldini e Galileo Ferraris.

### *Insegnamento delle discipline meccaniche*

L'esigenza da parte delle industrie, di avere a disposizione numeri sempre crescenti di persone con competenze meccaniche a tutti i livelli viene soddisfatta dal fiorire delle grandi istituzioni di insegnamento.

Il XIX secolo vede fiorire un gran fermento scientifico-tecnico che ha, fra i suoi effetti, la fondazione di un gran numero di istituzioni di insegnamento (Fig. 5) [44].

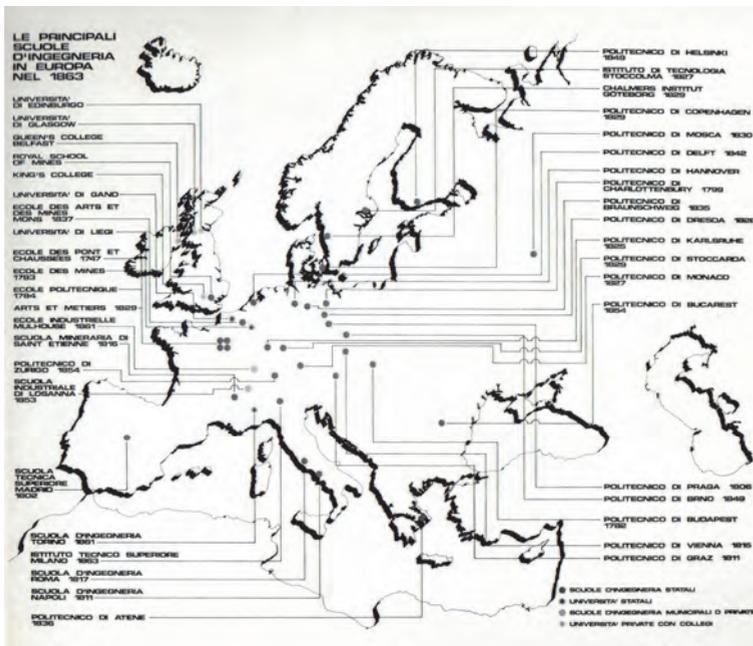


Figura 5. Le scuole di ingegneria in Europa nel 1863.

Le prime istituzioni italiane sono:

- 1811 Napoli prima facoltà italiana di ingegneria;
- 1838 Società di Incoraggiamento Arti e Mestieri di Milano [45];
- 1857 Università di Pavia “Scienza della costruzione delle macchine”;
- 1861 Politecnico di Torino;
- 1863 Politecnico di Milano [44][46][47][48][49][50][51];
- 1871 la Società di Incoraggiamento fonda la Scuola di Disegno di Macchine.

L'istruzione scientifico-tecnica è vista come una delle maggiori fonti di progresso dagli intellettuali e dagli imprenditori: essi la incoraggiano e la promuovono sia mediante viaggi di istruzione all'estero (come si è già visto), sia con la trasmissione di informazioni attraverso riviste tecniche, sia con l'attuazione dei progetti mediante istituzioni. Il fermento intellettuale che caratterizza la prima metà del secolo porta gli intellettuali ad essere più attenti a ciò che avviene in Europa ed a considerare l'ingegno un fattore economico pari ai capitali, al lavoro, alle infrastrutture.

La Legge Casati (1859) così distingue e definisce i due aspetti della cultura:

a) Cultura classica (art. 188): «ammaestrare i giovani in quegli studi mediante i quali si acquista una cultura letteraria e filosofica che apre l'adito agli studi speciali che menano al conseguimento dei gradi accademici nelle Università dello Stato»;

b) Cultura tecnica (art. 272): «dare ai giovani che intendono dedicarsi a determinate carriere del pubblico servizio, alle industrie e alle condotte delle cose agrarie, la conveniente cultura generale e speciale».

Istituzione gloriosa e benemerita nella formazione scientifico-tecnica, non solo lombarda, è la Società di Incoraggiamento Arti e Mestieri. Essa viene fondata nel 1838 da personalità di spicco degli ambienti economici e tecnici lombardi, con l'obiettivo principale di promuovere e di sviluppare il progresso del sistema produttivo regionale.

Nel 1845 nasce la Scuola-Laboratorio di Chimica Industriale, cui si aggiungono i corsi di Fisica Industriale, Geometria, Meccanica e Tessitura Serica. In seguito viene avviata la Scuola di Meccanica con corsi di Meccanica industriale, Disegno di Macchine, Geometria descrittiva, consentendo un notevole incremento delle attività.

Ancora oggi la Società di Incoraggiamento Arti e Mestieri, ente formativo tecnico accreditato presso la Regione Lombardia, promuove, in tutti i settori tecnologici, una formazione professionale molto apprezzata per qualità, mezzi didattici ed aggiornamento tecnologico.

Altra grande istituzione con diversi punti di contatto con la Società Incoraggiamento Arti e Mestieri, è il Politecnico di Milano: nasce nel 1863 per

opera di Francesco Brioschi, uomo politico, matematico e già Rettore della Università di Pavia. L'ispirazione della Scuola sono i modelli di Politecnici di area svizzero-tedesca e l'obiettivo è mirare alla promozione di una cultura scientifico-tecnica volta allo sviluppo del Paese.

La figura 6 mostra la seconda sede del “vecchio Politecnico” (attiva dal 1866 al 1927), nei pressi della piazza Cavour, in un dipinto antico di un allievo, l'ing. Maganzini, realizzato negli anni '20.



**Figura 6.** Il “vecchio Politecnico” in un dipinto dell'ing. Maganzini (anni '20).

I diplomi che si possono ottenere nel 1865 sono tre: quello di ingegnere civile, quello di ingegnere meccanico e quello di architetto civile: la tabella 1 mostra gli insegnamenti relativi ai tre corsi di diploma.

Nel 1875 viene istituito il biennio propedeutico, mediante il quale anche la preparazione teorica in matematica e nelle scienze fisiche e chimiche di base viene effettuata nell'Istituto: la durata dei corsi diviene così di 5 anni.

La figura 7 mostra un testo utilizzato al Politecnico di Milano (e, molto probabilmente, non solo) nel XIX secolo. Il testo, scritto in tedesco, testimonia l'influenza svizzero-tedesca sulla genesi del Politecnico.

La figura 8 mostra la copertina ed una tavola interna di un altro “classico” ottocentesco negli studi italiani di ingegneria meccanica.

Gli allievi, nelle lunghe ore di esercitazione dedicate al calcolo ed al disegno degli organi di macchine, utilizzano ampiamente il regolo calcolatore (Fig. 2).

	Ingegneri meccanici	Ingegneri civili	Architetti civili
I ANNO	Meccanica razionale	Meccanica razionale	Meccanica razionale
	Geognosia e mineralogia applicata	Geognosia e mineralogia applicata	Geognosia e mineralogia applicata
	Disegno. Applicazioni alla geometria descrittiva	Disegno. Applicazioni alla geometria descrittiva	Disegno. Applicazioni alla geometria descrittiva
	Manipolazioni chimiche	Manipolazioni chimiche	Disegno di figura
	Esercitazioni matematiche e teorico-pratiche	Esercitazioni matematiche teorico-pratiche	Copia di ornamenti e acquarello
	Topografia	Geodesia	Topografia
			Storia dell'architettura, convenevolezza e comodità architettonica, stile
II ANNO	Disegno di costruzione	Disegno di costruzione	Disegno di costruzione
	Fisica tecnologica	Fisica tecnologica	Fisica tecnologica
	Esercizi pratici di topografia	Esercizi pratici di topografia	Esercizi pratici di topografia
	Scienza delle costruzioni: costruzioni civili e stradali	Scienza delle costruzioni: costruzioni civili e stradali	Scienza delle costruzioni: costruzioni civili e stradali
	Meccanica industriale e condotta delle acque	Meccanica industriale e condotta delle acque	Storia dell'architettura, ecc. II
	Esercitazioni matematiche teorico-pratiche	Esercitazioni matematiche teorico-pratiche	Rilievo e restauro edifici I
	Disegno macchine	Agronomia	Copia e composizione degli ornamenti I Disegno prospettiva e acquarello a colori I
III ANNO	Idraulica fluviale	Idraulica fluviale e agricola e costruzioni idrauliche	Stili, architettura piú conveniente alla società odierna
	Meccanica industriale e costruzione di macchine	Scienza delle costruzioni e costruzioni civili	Rilievi e restauri di edifici II
	Disegno di macchine	Costruzioni in terra e stradali	Copia e composizione di ornamenti II
	Esercizi pratici di meccanica	Agronomia e economia rurale	Decorazione ornamentale interna degli edifici, suppellettili e arredi
		Esercizi pratici di geodesia	Disegno prospettiva e acquarello a colori II
		Disegno di costruzione	Disegno di costruzione
		Elementi di diritto amministrativo e giurisprudenza agricola	Elementi di diritto amministrativo e giurisprudenza agricola
		Composizione di progetti	Modellazione in creta di ornati architettonici

**Tabella 1.** Insegnamenti al Politecnico di Milano nel 1865.

**Figura 7.** Il testo *Theorie der Reibung*, edito da Teubner a Leipzig (1890).

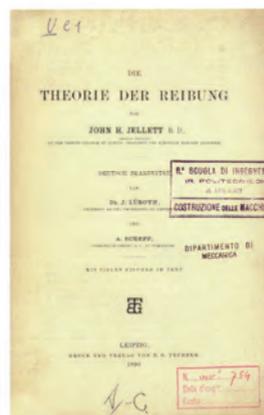




Figura 8. Il testo *Cinematica della biella piana* di L. Allievi (1895) ed una tavola dello stesso.

Lunghe ore di esercizio sono anche dedicate al disegno che costituisce l'output grafico di tutte le operazioni di progetto e di calcolo. In tale attività, gli allievi dimostrano grande abilità ed impegno (Figg. 9 e 10).

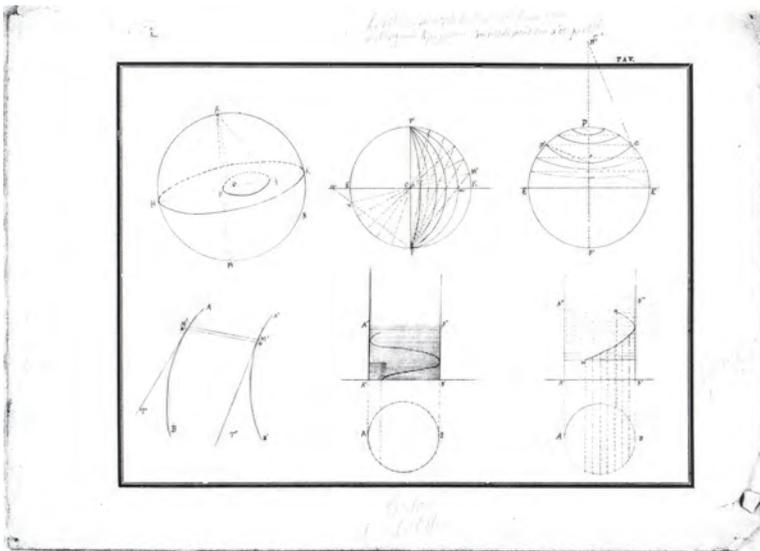


Figura 9. Esercizio didattico.

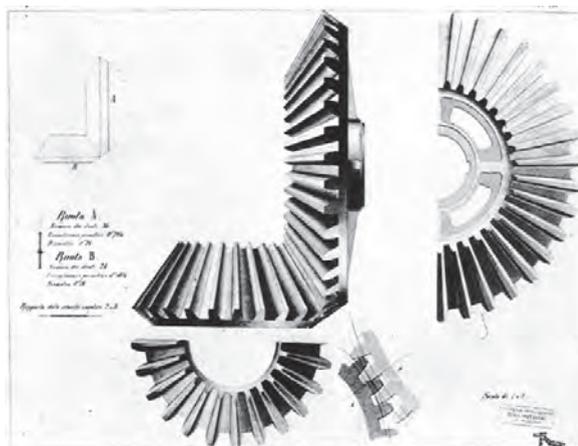


Figura 10. Elaborato di allievi.

Una importante azione di collaborazione con le scuole è data dalla nascita dell'editoria scientifico-tecnica. Personaggio particolarmente significativo in tale ambito è lo svizzero Ulrico Hoepli (1847-1945), che nel 1870 si stabilisce a Milano dove apre una libreria e la casa editrice omonima, specializzata nella manualistica e nelle edizioni scientifico-techniche: fra esse, le discipline meccaniche sono ampiamente rappresentate. Per il suo amico Ulrico Hoepli, Giuseppe Colombo, tra i fondatori del Politecnico e grande docente “meccanico”, dà vita al *Manuale dell'ingegnere* che, pubblicato nel marzo del 1878, diviene presto il titolo più famoso, almeno dal punto di vista ingegneristico, della collana dei manuali Hoepli ed un testo che, attraverso un grande numero di edizioni successive, è classico ancora oggi. Vallardi, Bernardini e Treves sono nomi di altri editori attivi nella manualistica tecnica ed in particolare meccanica.

## Il periodo 1900-1950

### *Caratteri generali*

La prima metà del XX secolo è caratterizzata da numerosi fatti ed eventi, sia scientifico-technici, sia politici. Lo sviluppo scientifico-technico continua in modo vertiginoso il cammino iniziato timidamente nel Rinascimento, le industrie, nate nel secolo precedente, si rafforzano e nascono numerose industrie nuove. Alcuni esempi sono i seguenti:

- Filatura Vogherese Carminati (1905);
- Lancia (1906) [52];

- Falck (1906);
- Alfa Romeo (1910) [53][54];
- Aeronautica Macchi (1913) [55];
- Grazioli (1919);
- Loro e Parisini (1921);
- Innocenti (1933).

In relazione allo sviluppo industriale, le scuole tecniche di ogni livello aumentano di numero, si ampliano, si potenziano per fornire mano d'opera specializzata all'industria che la richiede in modo massiccio. Ciò comporta un continuo aggiornamento dei programmi di insegnamento per "inseguire" i progressi scientifico-tecnici ed un continuo ampliarsi e progredire dei mezzi didattici. Ad esempio, questo periodo conosce un vero e proprio boom dell'editoria scientifico-tecnica e segnatamente meccanica.

Nei primi decenni del XX secolo, poi, si assiste alla nascita degli Enti normatori: in Italia, l'UNI (Ente Nazionale di Unificazione) nasce nel 1921. Nascono quindi norme, regole che dettano comportamenti in tutti i campi e, tra le prime, vengono emesse norme sulla meccanica riflesse anche dal primo nome dell'Ente italiano, UNIM (Unificazione Nazionale Italiana Meccanica). Le norme tecniche costituiscono anche un mezzo didattico di grande importanza.

Questo periodo viene anche segnato pesantemente dalle due guerre mondiali che hanno, esse pure, notevoli influenze sull'insegnamento tecnico. Ad esempio, durante la prima guerra mondiale, i laboratori scientifico-tecnici delle Università diventano stabilimenti ausiliari ed il personale viene militarizzato.

Al Politecnico di Milano, nasce il "Comitato nazionale delle invenzioni", promosso nel 1916 per iniziativa di Federigo Giordano, docente di Costruzione di Macchine. Esso esamina circa 4.000 idee e ne trova 200 meritevoli di riconoscimento innovativo. Sempre al Politecnico, il Laboratorio Sperimentale per i materiali da costruzione compie prove su materiali bellici.

La seconda guerra mondiale comporta notevoli cambiamenti nell'insegnamento: diminuiscono i docenti e gli studenti, richiamati al fronte, e la regolarità delle lezioni non è sempre garantita.

Il secondo dopoguerra vede l'industria tutta, e meccanica in particolare, costretta a riparare i danni bellici e, quindi, ad affrontare uno sforzo grandissimo: ricostruire gli stabilimenti, in buona parte distrutti, riconquistare i mercati, aggiornare le tecnologie, in buona parte rimaste al livello anteguerra, mentre altrove la guerra aveva portato innovazioni in ogni campo, preparare i nuovi tecnici, con strutture formative adeguate.

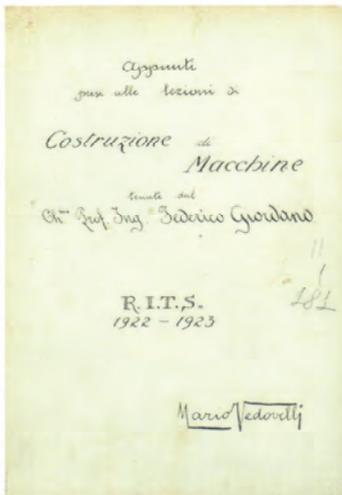
Le richieste che l'industria fa alla scuola sono notevoli, sia qualitativamente, sia quantitativamente e le istituzioni formative sono costrette a compiere grandi sforzi

per farvi fronte. I risultati sono comunque decisamente positivi ed il “miracolo economico” italiano non sarà solo un luogo comune ed un’espressione giornalistica: un contributo non secondario ad esso sarà dato proprio dalle scuole tecniche.

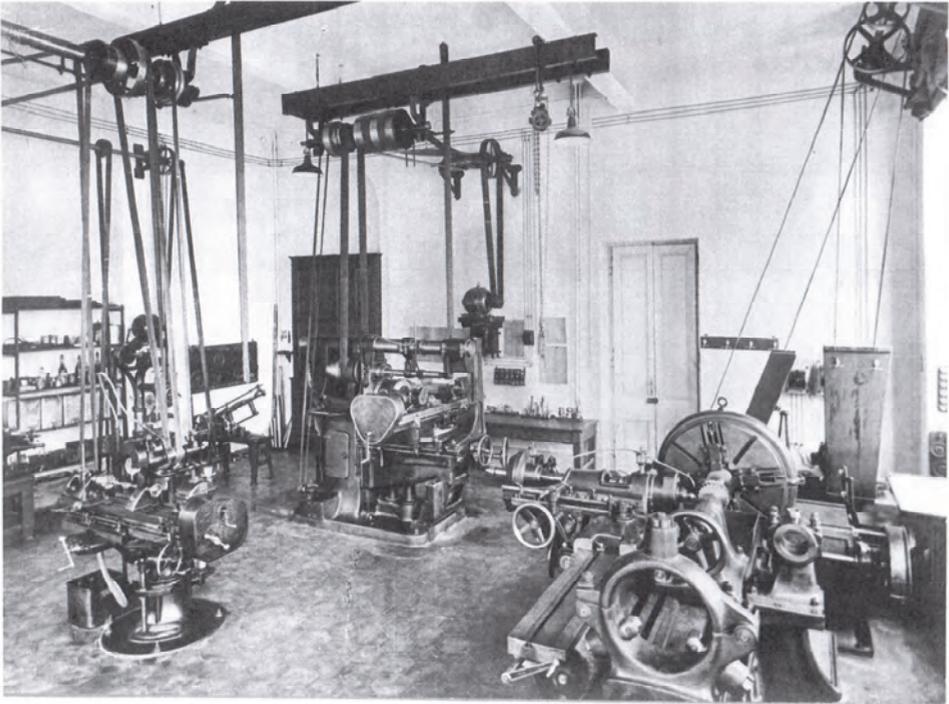
Alcuni documenti sulle tecniche didattiche della prima metà del XX secolo sono nella figure 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 e 18.



**Figura 11.** Modello di manovellismo (anni '30).



**Figura 12.** Appunti dalle lezioni di Federigo Giordano.



**Figura 13.** Gabinetto di Costruzione delle Macchine: laboratorio-officina (anni '30).



**Figura 14.** Due bielle di grandi dimensioni (quella superiore di provenienza Breda Siderurgica, quella inferiore di costruzione Franco Tosi) della collezione dei docenti di Disegno di Macchine.

**Figura 15.** Esercitazione di costruzioni meccaniche (anni '10).

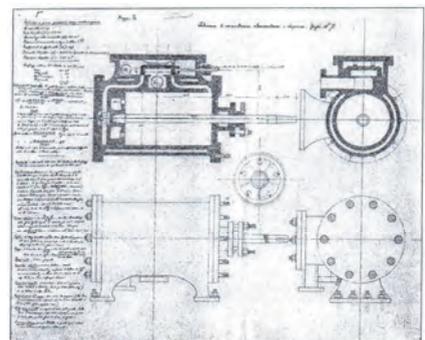
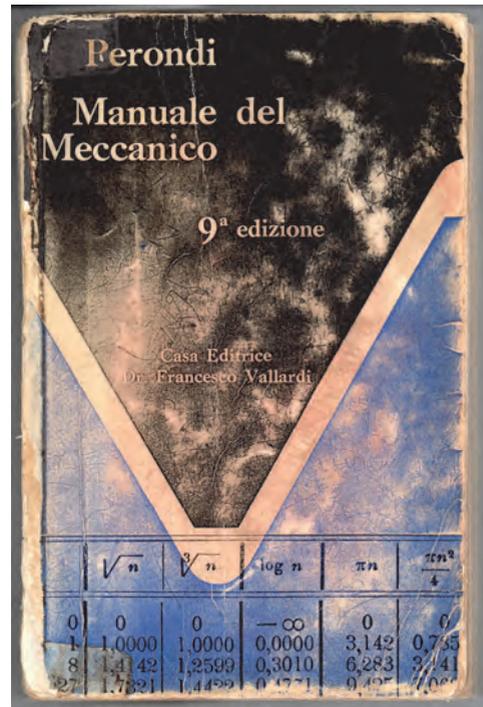




Figura 16. Un testo classico di Meccanica Razionale.



Figura 17. Un testo classico di Macchine Termiche ed Idrauliche.



**Figura 18.** Un manuale di meccanica edito dalla Casa Editrice Vallardi.

## Il periodo 1950-1970

In questo periodo continua l'evoluzione dell'insegnamento meccanico, in modo analogo al periodo precedente. L'insegnamento segue il progresso scientifico-tecnico della meccanica; essa continua la sua evoluzione, sviluppando teorie ed applicazioni ed integrandosi con le altre scienze-tecniche: elettrotecnica, idraulica, pneumatica, elettronica e, successivamente, informatica. Questo periodo vede anche le prime applicazioni del computer, prima episodiche ed isolate per poi, nei decenni successivi, arrivare ad una integrazione sempre più spinta.

In questo periodo nascono anche molte nuove università ed istituti tecnici con corsi "meccanici". Nascono, ad esempio, le facoltà di Ingegneria a Pavia (anni '60), a Brescia (1969, come "cellula figlia" del Politecnico di Milano), ad Ancona (1969).

Anche l'attività associativa è fiorente: nascono diverse associazioni con interesse meccanico che svolgono spesso una valida attività di affiancamento alle strutture universitarie, nell'ambito dell'aggiornamento dei tecnici. Eccone alcune:

- 1948 ATA (Associazione Tecnica dell'Automobile);
- 1959 AIMAN (Associazione Italiana Manutenzione);
- 1966 AIMETA (Associazione Italiana di Meccanica Teorica ed Applicata).

I mezzi e gli ausili didattici non differiscono molto da quelli del periodo precedente: sono più perfezionati, aumenta il numero di libri e di manuali scientifico-tecnici e si assiste ai primi passi dell'applicazione degli audiovisivi: in particolare il proiettore di diapositive, ampiamente utilizzato, e, alla fine del periodo, alle prime applicazioni della lavagna luminosa.

Alla fine di questo periodo, il 1968, la contestazione studentesca e la conseguente liberalizzazione degli studi, portano grandi cambiamenti sia nella popolazione studentesca, sia nelle modalità di svolgimento della didattica, cambiamenti che si attueranno soprattutto nel periodo successivo.

Le figure 19 e 20 mostrano due classici testi "meccanici", il primo degli anni '20 ed il secondo del 1961, mentre la figura 21 mostra un'edizione del classico e già citato *Manuale dell'Ingegnere* del Colombo.

Le figure 22, 23 e 24 mostrano invece esempi di elaborati didattici degli anni '50-'60.



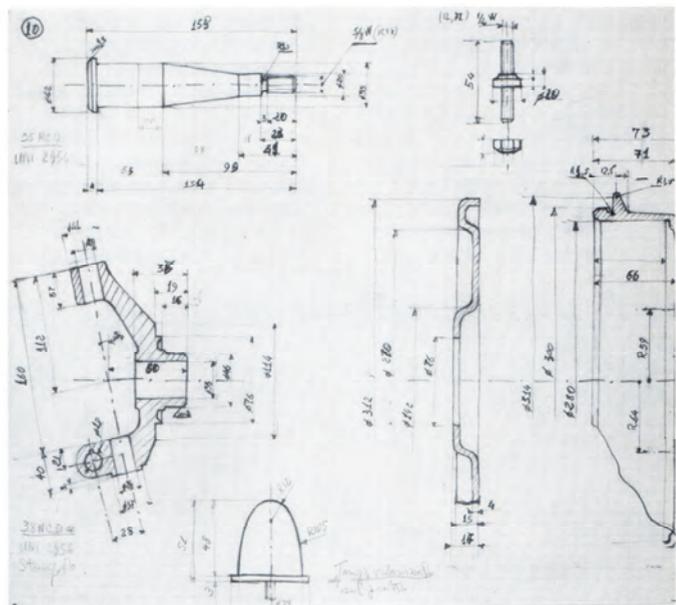
Figura 19. Un classico testo di Costruzione di macchine (anni '20).



Figura 20. Un altro classico testo della stessa materia (1961).



**Figura 21.** Il classico *Manuale dell'Ingegnere* del Colombo, nell'edizione 1959.



**Figura 22.** Un disegno di un allievo relativo all'elaborato di laurea in Costruzioni Automobilistiche (anni '50).

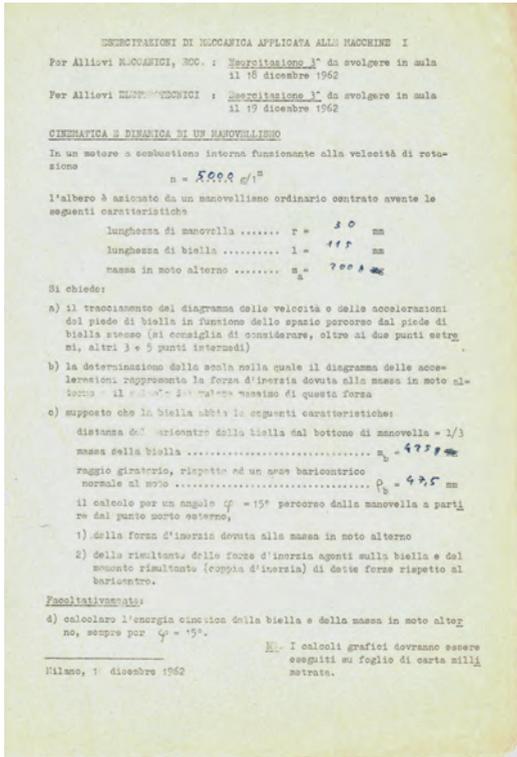


Figura 23. Un esempio di esercitazione di Meccanica Applicata alle Macchine (primi anni '60).

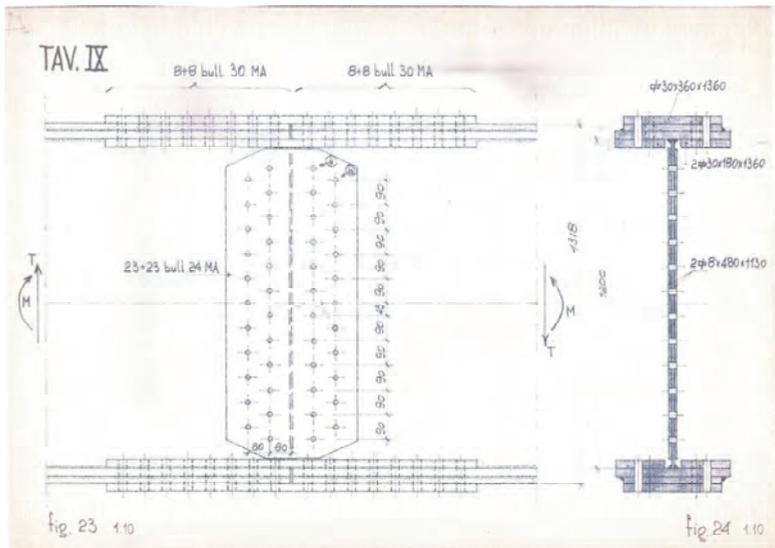


Figura 24. Un disegno didattico relativo a collegamenti strutturali (anni '60).

## Dal 1970 ad oggi

Gli sviluppi di questo periodo sono sotto gli occhi di tutti. Il progresso scientifico-tecnico, anche e soprattutto in relazione alle applicazioni sempre più ampie del computer è rapidissimo e gli sforzi della didattica per tenere dietro ad esso sono notevoli. Anche i metodi didattici sono fortemente influenzati dalle applicazioni del computer. In pochi anni, i docenti, nelle lezioni frontali, sono passati dalla lavagna con gesso e cancellino, ai lucidi per lavagna luminosa, fino alle slide per Power Point che oggi costituiscono l'arricchimento informatico per eccellenza della didattica tradizionale.

L'insegnamento tecnico incontra numerose difficoltà, legate anche al "dopo '68", quali, ad esempio:

- grandi numeri di allievi;
- allievi di preparazione spesso disomogenea;
- motivazione degli allievi talora modesta;
- grande e rapido sviluppo delle nozioni da insegnare;
- tempi di formazione sempre più ristretti.

I tentativi di personalizzare l'istruzione sono, a questo proposito, particolarmente promettenti, perché consentono, da un lato, di "automatizzare" alcune parti puramente nozionistiche dell'insegnamento, dall'altro di far sì che gli allievi seguano il ritmo di apprendimento più consono alle loro capacità. Gli sforzi di individualizzare l'istruzione, che nei periodi precedenti avevano avuto applicazioni su carta, ad esempio, sotto forma di libri programmati, con le applicazioni della multimedialità e dell'e-learning, si generalizzano e si arricchiscono con la possibilità di svolgere la didattica a distanza.

La rapidità con cui evolvono le conoscenze scientifico-tecniche rende anche sempre più importante l'istruzione permanente, che consente ai tecnici di mantenersi aggiornati nei loro specifici campi di attività [56][57]. Le università hanno spesso programmi di formazione permanente ed in questo sono validamente affiancate da numerose associazioni che nascono in questo periodo, quali, ad esempio:

- a) 1971 AIAS (Associazione Italiana di Analisi delle Sollecitazioni);
- b) 1971 ASMECCANICA (Associazione Nazionale di Meccanica);
- c) 1973 AMME (Associazione Meridionale di Meccanica);
- d) 1974 ADM (Associazione Nazionale Disegno di Macchine);
- e) 1978 AIPI (Associazione Italiana Progettisti Industriali);
- f) 1979 AIPnD (Associazione Italiana Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica);
- g) 1992 AITeM (Associazione Italiana di Tecnologia Meccanica);

h) 2009 ALP (Sezione Meccanica dell'Associazione Laureati del Politecnico di Milano).

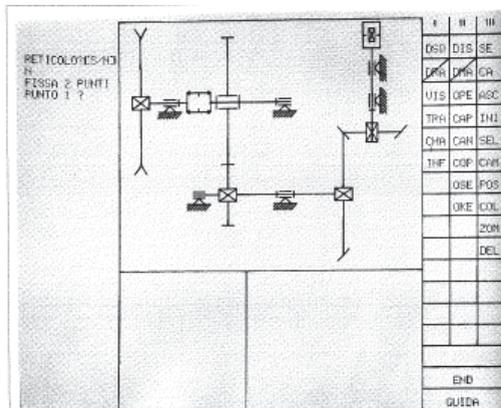
Sono poi particolarmente importanti i contatti con la realtà produttiva: in questo periodo essi diventano più stretti, anche se non quanto sarebbe forse opportuno. Ad esempio, la collaborazione con l'industria diviene importante quando si tratta di determinare i programmi di insegnamento: in [58] è descritto un esperimento, effettuato dagli autori durante un rinnovamento del programma di insegnamento del proprio corso. I nuovi contenuti sono stati determinati in base alle risposte ad un questionario inviato alle aziende meccaniche in contatto con il Servizio Placement dell'Associazione Laureati del Politecnico di Milano.

Sempre più diffusa è poi la pratica del tirocinio in aziende meccaniche per la preparazione della tesi di laurea (in taluni casi, addirittura obbligatoria): si tratta di un'attività che, oltre agli evidenti vantaggi per l'Allievo, offre vantaggi anche per l'Azienda:

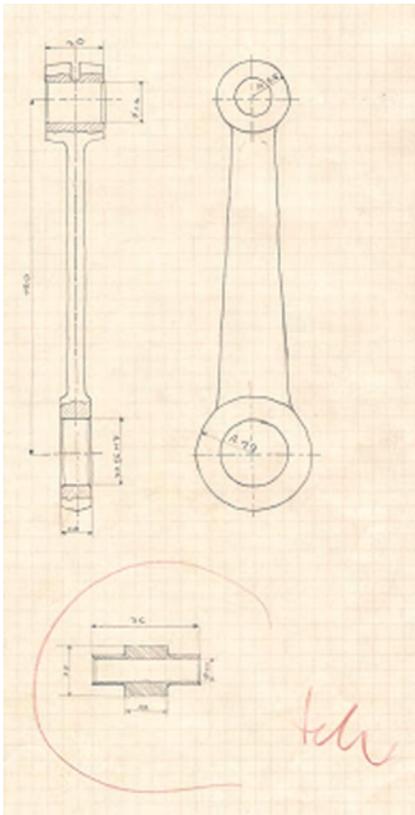
- a) l'attività svolta dall'Allievo può avviare o sostituire temporaneamente attività interne su temi ben definiti e circoscritti, che richiedano competenze universitarie;
- b) la presenza dell'Allievo in Azienda può essere vista come un arricchimento reciproco;
- c) l'argomento del tirocinio nasce da specifiche esigenze aziendali, alle quali il tirocinio stesso può dare una, almeno parziale, risposta;
- d) il costo per l'Azienda è pressoché nullo.

Alcune università poi attuano un Servizio Placement che affianca i neolaureati nella ricerca del posto di lavoro: si tratta di un servizio che ha anche una non banale valenza didattica, perché dai dati sul placement può derivare un utile feed-back per la progettazione della didattica.

Le figure 25, 26 e 27 mostrano esempi di elaborati didattici.

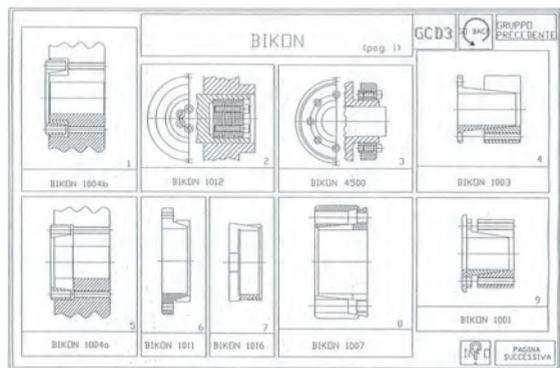


**Figura 25.** Elaborato del 1985 circa eseguito con una delle prime applicazioni grafiche del calcolatore.



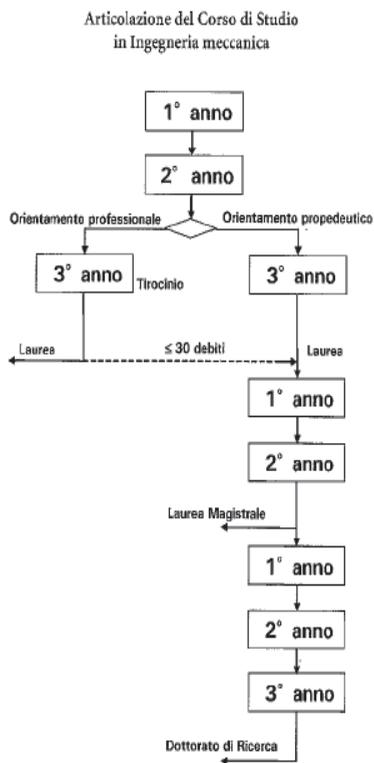
**Figura 26.** Schizzo a mano libera di organi meccanici (fine anni '80).

**Figura 27.** Elaborato del 1994 relativo ad un data-base di soluzioni costruttive eseguite su calcolatore.



Nel 1999 nasce, secondo il DM 509, il cosiddetto “3+2”, cioè uno schema di formazione “ad Y rovesciata” che porta dopo tre anni alla “Laurea”, spesso confidenzialmente chiamata “laurea breve”, che immette direttamente nel mondo del lavoro con mansioni di routine. Successivamente ai “tre anni” è possibile,

frequentandone altri due, conseguire la laurea inizialmente detta “Specialistica” e successivamente “Magistrale” che prepara a mansioni professionali legate soprattutto all’innovazione. In figura 28 si vede tale schema di percorso formativo per l’Ingegneria meccanica: in essa si vede anche la possibilità di un ulteriore modulo di 3 anni, dopo la Laurea Magistrale, il Dottorato di Ricerca che prepara a svolgere attività di ricerca scientifica sia all’università, sia nei laboratori di ricerca pubblici o privati.



**Figura 28.** Articolazione dei corsi di Ingegneria meccanica.

Le figure professionali preparate corrispondono ai seguenti profili:

a) Laureato

Il laureato in Ingegneria meccanica è un tecnico con preparazione universitaria in grado di condurre la progettazione esecutiva di prodotto e di processo, lo sviluppo di prodotti, l’installazione ed il collaudo di macchine e di sistemi

complessi, la manutenzione e la gestione di reparti produttivi, nonché lo svolgimento di attività di controllo, verifica ed assistenza tecnica.

b) Laureato magistrale

Il laureato magistrale in ingegneria meccanica è un tecnico di elevata preparazione culturale e professionale, in grado di sviluppare autonomamente progetti innovativi in termini di prodotto e di processo, dal punto di vista funzionale, costruttivo ed energetico, con scelta dei materiali e delle lavorazioni, della disposizione e gestione delle macchine e degli impianti, e dei rispettivi servizi di misura e di controllo.

Altri due livelli didattici conseguibili sono:

a) Master

L'offerta formativa non può esaurirsi nei corsi di Laurea e di Laurea Magistrale, ma deve prevedere, come accade da molti anni, anche altre iniziative complementari che possono essere fortemente differenziate tra loro per obiettivi, destinatari, livello di approfondimento, estensione. Nell'ambito di tali iniziative didattiche complementari, sono stati attivati corsi di perfezionamento scientifico e di alta formazione permanente e ricorrente e aggiornamento professionale, successivi al conseguimento della laurea o della laurea specialistica denominandoli corsi di "master universitario", alla conclusione dei quali sono rilasciati, rispettivamente, i titoli di master universitario di primo livello e di master universitario di secondo livello. A titolo di esempio, i corsi di Master Universitario del Politecnico di Milano, collocandosi successivamente a percorsi formativi di Laurea o Laurea Specialistica, sono finalizzati a formare sia figure professionali fortemente "specializzate" sia figure professionali caratterizzate da una prevalente "trasversalità" applicativa delle competenze acquisite.

b) Formazione Permanente

Questi corsi di formazione e aggiornamento, coordinati fra loro sia come scadenze temporali sia come contenuti, hanno lo scopo di venire incontro alle aziende offrendo uno strumento ben collaudato da anni di esperienza di insegnamento e di formazione, dalle centinaia di partecipanti alle numerose edizioni dei corsi precedenti, e da un corpo docente, in parte universitario e in parte proveniente da imprese specializzate, aggiornato e competente sulle specifiche tematiche trattate.

## BIBLIOGRAFIA/SITOGRAFIA

- [1] A. Bianchi, *Ratio atque institutio studiorum societatis Iesu*, Milano, BUR, 2002.
- [2] Comenio (J.A. Komensky), *Didactica magna*, Milano, Principato, 1966.
- [3] G. Giudici, *L'educazione universale (pansofia) secondo Comenio*, Bookstore, 2011.
- [4] A. Corzano, *Tommaso Campanella*, Bari, Laterza, 1961.
- [5] J. Locke, *Saggio sull'intelletto umano*, Milano, Bompiani, 2004.
- [6] J.J. Rousseau, *Emile o dell'educazione*, Milano, BUR, 2009.
- [7] J.H. Pestalozzi, *Scritti pedagogici*, Torino, UTET, 1970.
- [8] E. Formigginì Santamaria, *La pedagogia di Federico Fröbel*, Roma, Armando, 1958.
- [9] L. Credaro, *La pedagogia di G.F. Herbart*, Torino, Paravia, 1900.
- [10] M. Piseri, *Ferrante Aporti nella tradizione educativa lombarda ed europea*, Brescia, La Scuola, 2008.
- [11] A. Gambaro, *La critica pedagogica di Gino Capponi*, Bari, Laterza, 1956.
- [12] M. Casati, *Raffaello Lambruschini e la pedagogia italiana dell'Ottocento*, Brescia, La Scuola, 1964.
- [13] V.E. Lombardi, *Aristide Gabelli*, Brescia, La Scuola, 1969.
- [14] A. Visalberghi, *John Dewey*, Venezia, La Nuova Italia, 1962.
- [15] C. Scarcella, *Aspetti dell'educazione secondo Jacques Maritain*, Milano, Massimo, 1977.
- [16] J. Maritain, *L'educazione della persona*, Brescia, La Scuola, 1962.
- [17] L. Pagarella, *Una rivalutazione della filosofia di Benedetto Croce*, Libro Aperto.
- [18] A. Carlini, *Giovanni Gentile*, Roma, Editrice Italiana, 1967.
- [19] R. Mazzetti, *Giuseppe Lombardo Radice tra l'idealismo pedagogico e Maria Montessori*, Bologna, Malipiero, 1958.
- [20] E. Codignola, *La nostra scuola*, Firenze, La Nuova Italia, 1999.
- [21] A. Koyrè, *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione*, Torino, Einaudi, 2000.
- [22] P. Mazzeo, *Taletè il primo filosofo*, Bari, Laterza, 2010.
- [23] A. Zichichi, *Galileo divin uomo*, Milano, Il Saggiatore, 2001.
- [24] E.N. De Costa Andrade, *Isacco Newton. La vita e l'opera*, Bologna, Zanichelli, 1977.
- [25] R. Descartes, *Discorso sul metodo ed altri scritti*, Milano, Bompiani, 2009.
- [26] M. Planck, *L'inizio della nuova fisica*, Roma, Convegno Accademia Nazionale dei Lincei, 2000.
- [27] Plutarco, *Vite parallele: Pelopida Marcello*, Milano, Rizzoli, 1998.
- [28] A.D. Godley, *Herodotus, the histories*, Harvard University Press, 1920.
- [29] E. Murphy, *The antiquities of Egypt: a translation with notes of book of the Library of History of Diodorus Siculus*, 1990.
- [30] Senofonte, *Ciropeidia*, V-VI secolo a.C.
- [31] URL: <<http://www.collegioingegneriarchitettimilano.it>>.
- [32] E. Bregani, *Vita del Collegio Ingegneri e Architetti di Milano*, Milano, Telesma, 2010.
- [33] M. Ceccarelli, M. Cigola "Trends in the drawing of mechanisms since the early Middle Ages", *Proc. Instn. Mech. Engrs*, 215 C, 2001.
- [34] *La Breda 1886-1986*, Milano, Pizzi, 1986.
- [35] G. Ucelli, *La Riva in cento anni di lavoro 1861-1961*, Milano, Alfieri & Lacroix, 1961.

- [36] C. Sicola, *125 anni per l'energia*, 1986.
- [37] *Tecnomasio. Vicende di un'impresa elettromeccanica*, Milano, Pizzi, 1988.
- [38] A. Selvini, "La Filotecnica Salmoiraghi: centovent'anni di storia", *Boll. Soc. It. Topogr. e Fotogramm.*, 2, 1986.
- [39] G. Alvarez, *Quelli della Tosi. Storia di un'azienda*, Milano, Scheiwiller, 1985.
- [40] P. Macchione, *L'oro ed il ferro. Quelli della Tosi*, Milano, Franco Angeli, 1987.
- [41] L. Pomini, "Gli ottant'anni di vita di un'Azienda", *XV Congresso dell'Associazione Nazionale di Meccanica*, 1968.
- [42] URL: <<http://www.fast.mi.it>>.
- [43] - *1897-1997 FAST Turns One Hundred*, Milano, 1997.
- [44] *Il Politecnico di Milano 1863-1914*, Catalogo della Mostra, Milano, Electa, 1981.
- [45] C. Lacaita, *L'intelligenza produttiva*, Milano, Electa, 1990.
- [46] U. Allegretti, *L'opera degli ex-Allievi del Politecnico di Milano*, 1914.
- [47] F. Lori, *Storia del R. Politecnico*, Milano, Cordani, 1941.
- [48] *Il Centenario del Politecnico di Milano*, 1963.
- [49] *125.mo del Politecnico di Milano*, catalogo della Mostra CLUP, 1988.
- [50] *Annuario dell'Associazione Laureati del Politecnico di Milano*, 1992.
- [51] *Dal Politecnico di Milano protagonisti e grandi progetti*, Associazione Laureati del Politecnico di Milano, 2002.
- [52] *Storia della Lancia*, Lancia Pubblicità e Immagine, 1989.
- [53] G. Borgeson, *Alfa Romeo. I creatori della leggenda*, Milano, G. Nada, 1990.
- [54] P. Hull, R. Slata, *La storia dell'Alfa Romeo*, Milano, Baldini & Castoldi, 1970.
- [55] *Nieuport Macchi*, Società Anonima Nieuport Macchi, Varese.
- [56] U. Rossetti, N. Torretta, "L'aggiornamento tecnico-scientifico nella professione dell'ingegnere", *Bollettino di informazioni dell'Ordine degli Ingegneri di Torino*, 3, 1975.
- [57] G.F. Biggioggero, E. Rovida, "Proposte sulla progettazione didattica nella formazione permanente in ambito meccanico", *La Meccanica Italiana*, 184, 1984.
- [58] G.F. Biggioggero, E. Rovida, "Proposte relative alla progettazione di un corso di Disegno di Macchine", *Convegno ADM (Associazione Nazionale Disegno di Macchine)*, Udine, 28-30 maggio 1986.



## Note sulla storia del disegno di macchine

### Premessa

Se, come spesso si dice, la scrittura ha rappresentato una potente estensione del cervello umano ed un mezzo che ha consentito la trasmissione e la conservazione del sapere, non c'è dubbio che, nel settore della tecnica, il disegno le si affianchi degnamente, anzi la preceda.

Il desiderio di conservare memoria di un fatto, di una persona, di un oggetto è alla base della rappresentazione grafica (e della scrittura che ne è una forma particolare). È suggestiva la teoria richiamata da Plinio, sull'origine del disegno come contorno dell'ombra umana proiettata su una parete<sup>1</sup> (anche se i profili di mani tracciati nel Paleolitico su pareti di caverne le danno un forte sostegno).

La rappresentazione grafica procede in realtà lungo due strade parallele, una che prevede immagini realistiche o tendenti a rappresentare la realtà come appare ai nostri occhi, l'altra che, operando attraverso convenzioni e simboli, vuole trasmettere informazioni con diverse finalità<sup>2</sup>.

Per il disegno come comunemente inteso si può anche distinguere fra un disegno *artistico*, teso a suscitare emozioni o comunque a soddisfare esigenze estetiche e la cui storia riguarda la Storia dell'Arte, e un disegno *tecnico*, come rappresentazione finalizzata alla documentazione, restando da distinguere quanto di questa riguardi la progettazione, quanto l'informazione, quanto sia di supporto a forme di conoscenza ed indagine scientifica.

Questo disegno ha trasmesso e conservato nei secoli il sapere nei suoi aspetti costruttivi. Per ottenere tale risultato sono state elaborate tecniche e regole, in vario modo collegate allo sviluppo delle esigenze, soprattutto progettuali, alle quali il disegno fa fronte.

Tali regole in realtà hanno reso il disegno tecnico attuale, nella sua formulazione comune, ben lontano dall'essere, come si dice, un "linguaggio universale", defini-

---

<sup>1</sup> «De picturae initiis incerta [...] quaestio est. Aegyptii sex milibus annorum apud ipsos inventam priusquam in Graeciam transiret adfirmant [...] Graeci autem [...] apud Corinthios repertam [...] omnes umbra hominis lineis circumducta.» (Plinio, *Naturalis historia*, lib. XXXV, 5, I sec. d.C.)

<sup>2</sup> Rivediamo la scrittura come esempio ultimo di disegno convenzionale simbolico, passato attraverso pittogrammi sempre più astratti fino a nascondere il disegno iniziale, e la segnaletica, dove troviamo quotidianamente esempi significativi di trasformazione di immagini realistiche in figure simboliche.

zione che si potrebbe forse applicare solo al disegno figurativo (a parte le forme “dialettali” derivanti da variabili geografiche e cronologiche). L’area di comprensione del disegno tecnico si commisura oggi in pratica con coloro che utilizzano il disegno come trascrizione di un progetto e di istruzioni per realizzarlo.

Che il disegno tecnico così inteso abbia scarsa efficacia nella trasmissione di informazioni ai non esperti lo si vede consultando una qualsiasi opera di divulgazione: nella maggior parte dei casi l’esemplificazione e la descrizione di apparecchi e meccanismi non compaiono secondo le norme tipiche del disegno meccanico, ma sono affidate a disegni prospettici, ad assonometriche, a rielaborazioni fotografiche, generalmente con uso del colore<sup>3</sup>.



**Figura 1.** L’origine del disegno, nell’interpretazione del Camuccini, fine ’700.

Il significato stesso di “disegno” non è univoco: da un lato raffigurazione di un qualcosa di esistente da rappresentare e ricordare, dall’altro elaborazione di una realtà non ancora esistente se non nella mente di chi la vuole rappresentare; da un lato il disegno documento oggettivo realizzabile da chi vede un oggetto reale, dall’altro il progetto soggettivo legato al suo ideatore. D’altronde sui vocabolari troviamo per il termine “disegno” sia “rappresentazione grafica di oggetti reali o immaginari” sia “progetto, proposito, piano d’azione, intenzione”. Ma è opportuno evitare di aprire qui tale discussione,

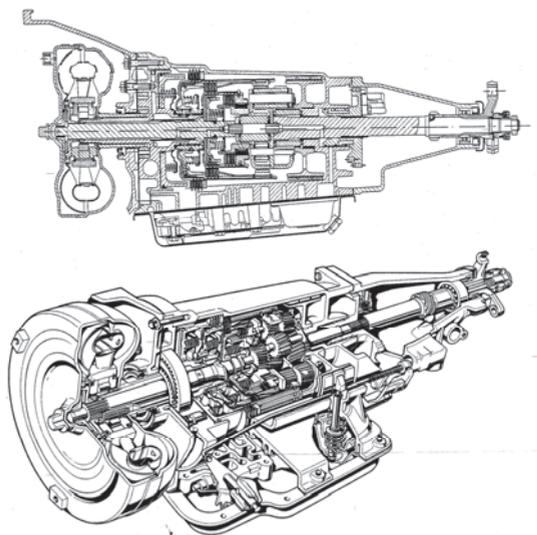
così come tralasciamo anche il dibattito che nasce quando con il nostro “disegno” confrontiamo *design*, *drawing* e le specificazioni *industrial*, *mechanical*, *technical* con le relative traduzioni approssimate o forzate su significati non propri.

---

<sup>3</sup> Analogamente chi abbia esperienza nell’insegnamento del disegno conosce le difficoltà che molti allievi incontrano nel visualizzare realisticamente gli oggetti disegnati in proiezione ortografica.



**Figura 2.** La segnaletica evidenzia il passaggio da immagini realistiche a simboliche.



**Figura 3.** La raffigurazione del cambio automatico in basso è più facilmente comprensibile della più precisa rappresentazione secondo le norme del disegno tecnico convenzionale.

Restiamo quindi nel campo del disegno tecnico semplicemente definito come *rappresentazione su un piano bidimensionale di oggetti costruiti o costruibili dall'uomo.*

## Disegno tecnico e Disegno di Macchine

Trattando di disegno di cose costruite non si può certo trascurare quanto riguarda la costruzione di edifici e di altre opere dell'ingegneria civile: a questo settore appartengono anzi i primi documenti definibili come disegni tecnici nell'ambito delle considerazioni precedenti e in esso si trova anche un gran numero di studi e scritti, frutto di un interesse alle proprie radici storiche che non ha riscontro con quanto avviene nell'ingegneria industriale<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> In Italia l'interesse in ambito accademico per la storia del disegno "meccanico" si può forse far risalire ad un convegno dell'Associazione Disegno di Macchine tenutosi a Bari nel 1984 ed

Anche se qualche riferimento al disegno architettonico si renderà necessario, in queste note si intende tuttavia rimanere nell'ambito della meccanica e di quel "disegno di macchine" o "meccanico", in sintesi "industriale", nel quale schiere di tecnici di vario livello hanno operato, che ha costituito e costituisce il collegamento indispensabile fra la creazione e l'esecuzione del progetto meccanico ed è stato in pratica lo strumento principe dello sviluppo tecnologico ed industriale.

Vediamo infatti attraverso i secoli ingegneri, inventori, progettisti produrre disegni come elementi del loro processo creativo. Disegnare per esprimere e rifinire concetti e particolari. Disegnare per convincere. Disegnare per dare istruzioni. Disegnare per registrare idee e scambiarle con altri.

Dalle prime rappresentazioni dei manufatti umani, tendenti ad illustrare la realtà con tecniche approssimative ed approssimanti, alle attuali modellazioni tridimensionali, che interagiscono con il percorso progettuale e produttivo, il disegno ha infatti accompagnato lo sviluppo della civiltà.

Gli esempi di impiego e caratterizzazione del disegno tecnico sono molti, ma per tutti vale il principio che nel disegno devono comparire gli elementi che consentano la comprensione e la costruzione di un semplice manufatto o di una intera macchina.

A tale scopo non sempre le raffigurazioni richieste devono riprodurre tutti gli aspetti della realtà, ma possono basarsi su indicazioni convenzionali, rispondenti ad un codice semplificativo.

Nel disegno meccanico (e nel suo insegnamento) ad esempio si dà poco spazio a tecniche e regole che mirino soprattutto all'illustrazione degli oggetti, con attenzione alla resa figurativa della tridimensionalità (di contro assai curate nel disegno architettonico), anche se gli strumenti di rappresentazione su base digitale attualmente sempre più sviluppati vanno cambiando radicalmente questa scelta, obbligata in passato soprattutto da esigenze di semplificazione e rapidità del disegno.

Aprendo un discorso sull'evoluzione storica del disegno tecnico in area meccanica si può ancora distinguere fra "storia del disegno di macchine" e "storia del disegno tecnico (meccanico)".

---

alla successiva Mostra "Disegni di Macchine: evoluzione di un linguaggio nello sviluppo della tecnica" del 1986 a Udine.

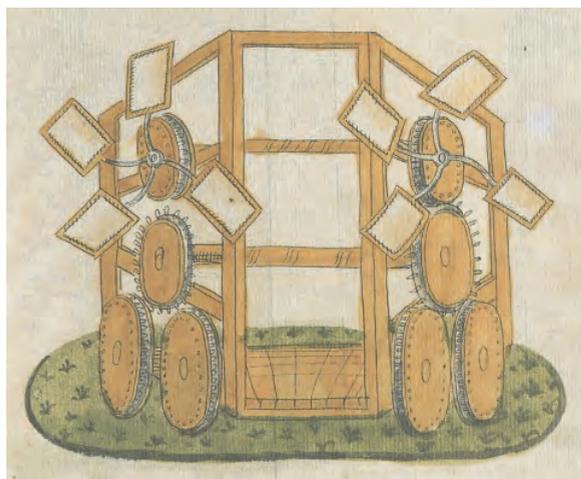
Nel primo caso si spazia su tutti i disegni legati alla raffigurazione, alla progettazione, al funzionamento delle macchine e dei meccanismi, guardando ai soggetti rappresentati, mentre nel secondo l'attenzione è posta sul linguaggio grafico utilizzato in ambito tecnico e industriale.

Nel primo caso si opera in un settore di storia della tecnica in generale, nel secondo è la storia di una tecnica specifica che viene studiata attraverso il suo elemento documentale essenziale.

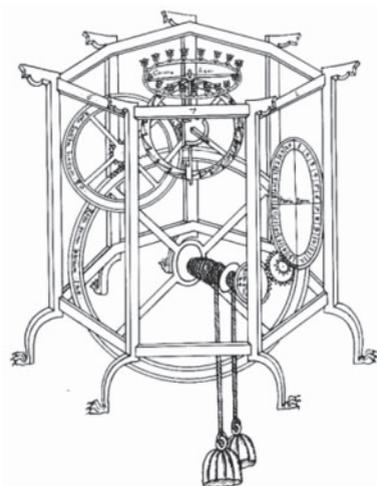
In altri termini la storia del disegno tecnico studia le immagini in sé, ovviamente valutandone la capacità di rappresentazione, e seguendo l'evoluzione di metodi, tecniche, regole di esecuzione dei disegni, senza dimenticare gli strumenti di tracciamento e di riproduzione.

Nella storia del disegno di macchine i disegni, di vario aspetto e comunque realizzati, sono i documenti che illustrano forme, strutture, particolari, in grado di far capire le capacità, le potenzialità, il funzionamento, il valore innovativo degli oggetti rappresentati, nel contesto del loro tempo<sup>5</sup>.

In pratica i relativi documenti e studi interagiscono senza problemi.



**Figura 4.** Carro a propulsione eolica  
(da Valturio, *De re militari*, 1470).



**Figura 5.** Disegno dell'orologio  
astronomico del Dondi, da un  
manoscritto del XV secolo.

A chiarimento di quanto ora detto si osservi il noto disegno del “carro a vento” presente in diverse edizioni del Valturio.

<sup>5</sup> Questa definizione consente, con una leggera forzatura, di prendere in considerazione anche le immagini ricavate da sculture, pitture o testi non direttamente destinati a scopi tecnici.

Esso rappresenta una macchina e come tale può essere preso in esame per valutare la funzionalità e la fattibilità della macchina stessa, con le varie considerazioni sulle tecnologie e le conoscenze disponibili nel XV secolo. Il disegno può però essere studiato anche per analizzare la tecnica di rappresentazione, le scelte di evidenziare o meno certi particolari ed anche le modalità di esecuzione (elementi laterali portati sul piano frontale con una distorsione che configura una specie di prospettiva intuitiva).

Un discorso analogo si può fare per l'illustrazione, anch'essa da un manoscritto del 1460, dell'orologio descritto dal suo costruttore Giovanni Dondi nel suo *Tractatus astrarii* di cent'anni prima.

Stabilito che il disegno in ogni tempo svolge un ruolo fondamentale per la conoscenza e l'innovazione tecnologica, le forme e i modi con cui esso si esprime cambiano attraverso le epoche.

Esaminando lo stesso tipo di disegno, o altri analoghi, le difficoltà di interpretazione aprono il dibattito se e come la comunicazione grafica sia effettivamente un mezzo per superare le diversità culturali nello spazio e nel tempo.

Nello spazio, la raffigurazione supera differenze di culture e di lingue, arrivando a costituire una sorta di linguaggio universale, che però man mano che si esprime attraverso codici di rappresentazione sintetica si indirizza ad un più ristretto universo di "addetti ai lavori".

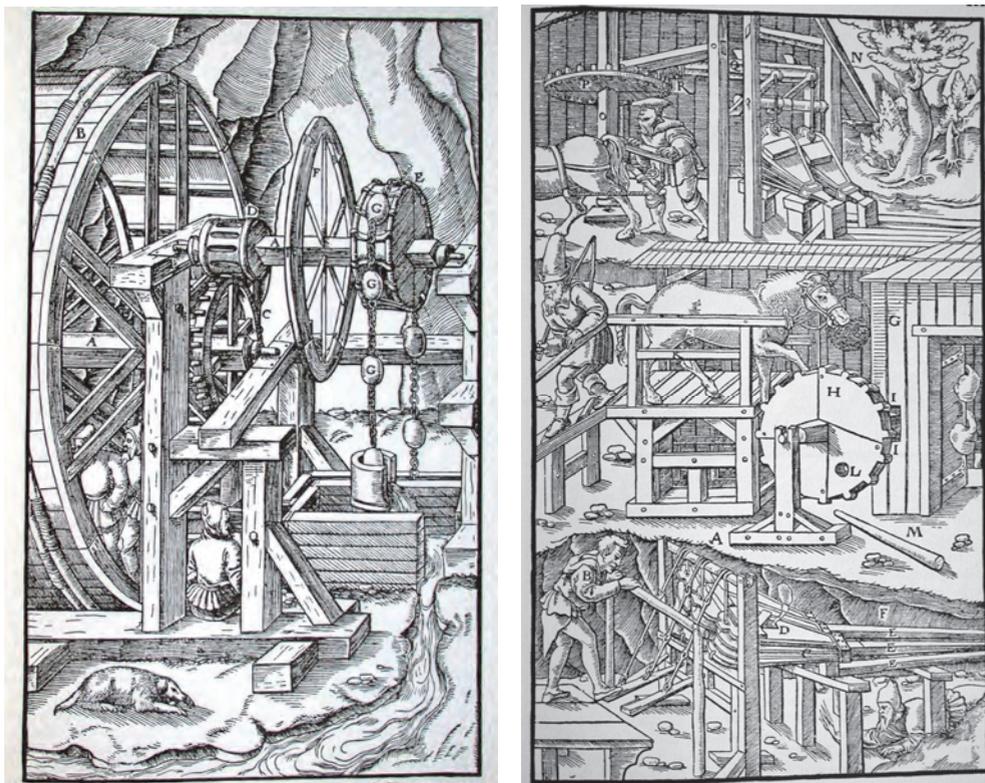
Nel tempo, i disegni del passato sono una chiave di lettura per comprendere un contesto storico in tutti i suoi aspetti (ma anche in questo caso vanno conosciute le regole di rappresentazione usate).

Rimane un punto fermo la motivazione di Agricola, che scrive nell'introduzione al *De Re Metallica* del 1556:

Non solo li [impianti e attrezzature] ho descritti, ma ho anche assunto illustratori per raffigurarne le forme, temendo che le descrizioni affidate solo alle parole potrebbero sia risultare incomprensibili ai nostri contemporanei sia causare difficoltà ai posteri<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Le oltre 300 xilografie che accompagnano il testo dimostrano la validità della scelta (e la qualità degli esecutori).



**Figura 6.** Le tavole dal *De Re metallica* del 1556 restano uno splendido esempio di immagine tecnica in cui la precisione si accompagna ad un'estetica pregevole.

### Dall'antichità al Medioevo: la ricerca del documento

Per l'antichità non ci sono pervenuti disegni costruttivi: le raffigurazioni di oggetti tecnici, in diversi contesti, sono gli unici documenti di cui possiamo disporre. Spesso si tratta di immagini istintive, senza regole né criteri geometrici, anche se espressive e talora esteticamente valide, ma comunque interessanti, perché sono una documentazione della vita dell'epoca.

I soli documenti grafici che possano essere ricondotti direttamente a finalità tecniche sono, come già detto, di area architettonica: incisioni su statue babilonesi e alcuni papiri egizi, in cui appaiono piante ed alzate, portano a ritenere che qualche documentazione grafica di progetto, preliminare alla costruzione, potesse esistere<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> Analogamente sembra che nell'antica civiltà cinese si utilizzassero disegni di viste e piante di edifici civili e militari per valutarne la possibile realizzazione.

In epoca più tarda anche Vitruvio accenna a disegni esecutivi predisposti dagli architetti, definisce la rappresentazione in pianta (icnografia) ed in alzata (ortografia) e richiama con il termine scenografia l'insieme di viste, frontale e laterali, di un edificio convergenti in un'unica raffigurazione di tipo prospettico. Un documento di particolare interesse è presentato in Figura 9.

Per macchine e meccanismi non si hanno fonti iconografiche adeguate<sup>8</sup>, anche se fin dall'epoca ellenistica nasce la meccanica, con idraulica e pneumatica.

Le immagini di macchine e strumenti devono essere ricavate da fonti indirette (sculture e dipinti), che ovviamente richiedono interpretazioni non sempre facili. Oggi siamo abituati a vedere strettamente connessi ed interagenti il mondo della scienza e quello della tecnica, mentre un'osservazione generalizzata mette in rilievo per l'antichità una forte divaricazione fra i due campi.

In realtà secondo molti studiosi questa separazione data solo dalla fine dell'età classica protraendosi fino all'inizio del XVII secolo: se per quest'ultimo termine si fa riferimento al metodo sperimentale di Galileo, per il mondo greco-romano proprio l'attenzione dei nostri umanisti ai temi filosofici e letterari ha posto in ombra la presenza in tali epoche di una connessione fra attività teorica ed applicazione pratica (si pensi ad Archimede, a Ctesibio o ad Erone).

Quanto ciò riguardi il disegno di macchine si comprende proprio considerando come i trattati degli scienziati ora ricordati, come quelli di Filone e poi di Frontino e soprattutto il più noto, quello di Vitruvio, attraversano i secoli come oggetto di analisi e dissertazioni, ma senza alcun corredo iconografico che consenta una visione più oggettiva dei meccanismi e delle macchine citate.

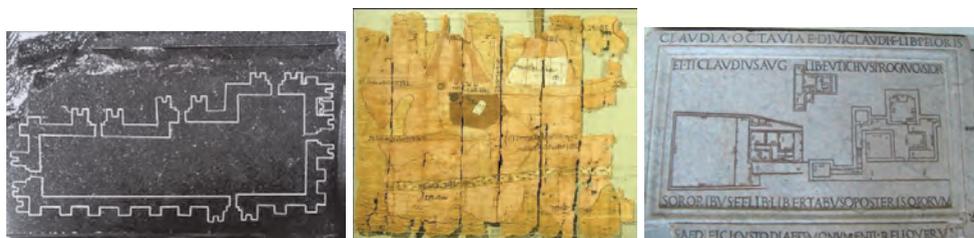


**Figura 7.** Il noto graffito della Valcamonica ci pone di fronte ad una tecnica di rappresentazione (elementi su piani ortogonali raffigurati collegati sullo stesso piano) che si incontrerà altre volte nel corso dei secoli.

<sup>8</sup> Fra le diverse considerazioni sui motivi del mancato sviluppo di idee e procedimenti tecnici pur noti a Greci e Romani, non mancano quelle che sottolineano la mancanza di capacità di raffigurare e riprodurre informazioni costruttive comprensibili e precise.



**Figura 8.** Il tema del carro consente di illustrare come rappresentazioni destinate ad altri scopi possano essere considerate una forma di documentazione anche tecnica: dallo “stendardo di Ur” (XII sec. a.C.) al vaso attico, dal bassorilievo romano al rilievo del Duomo di Fidenza è possibile conoscere forme e caratteristiche di mezzi di trasporto.



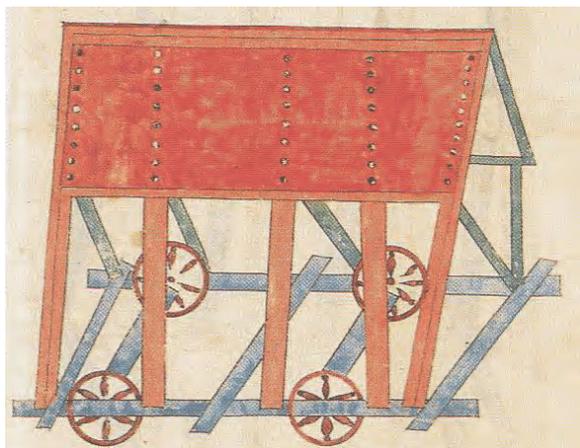
**Figura 9.** A sinistra la pianta delle mura di un tempio, incisa sulla tavoletta posta in grembo al re Gudea di Lagash nella statua del XXI sec. a.C.; in centro la pianta di miniera nel Papiro di Torino; a destra la lastra del Museo di Perugia che porta incisa la pianta di un edificio in epoca neroniana, completa di quote riportate direttamente in corrispondenza dei muri (come spesso avviene negli schizzi di rilievo odierni).

In realtà qualche immagine si trova in manoscritti di epoca bizantina o in autori arabi, primi eredi della scienza e della cultura di tale epoca. Anche in questo caso però il testo più significativo, quello di Al-Jazari sugli automi data già dal XIII secolo.

Sottolineando ancora una volta come il disegno sia la forma di espressione tipica della cultura tecnica, si conferma così come allo scienziato teorico interessasse solo

discutere ipotesi e problemi e non la possibilità di realizzazioni concrete, lasciate ad altri meno dotti<sup>9</sup>.

Dall'altro lato il tecnico pratico basa le sue conoscenze solo sull'esperienza trasmessa direttamente attraverso l'apprendistato, con la presenza fisica nello stesso luogo di maestri e di allievi impegnati a costruire secondo l'esempio e le indicazioni del maestro: un'istruzione che non richiede quindi un documento, sia esso uno scritto o un disegno, per illustrare o ricordare una tecnica.



**Figura 10.** Da un codice bizantino dell'XI secolo una "macchina" bellica. Soprattutto le applicazioni militari sono state motivo di conservazione di documenti ed immagini.

Non è un caso che il primo documento al quale si fa riferimento in ogni storia del disegno tecnico sia il quaderno di Villard d'Honnecourt, una quarantina di fogli, che verso la metà del XIII secolo, contengono dise-

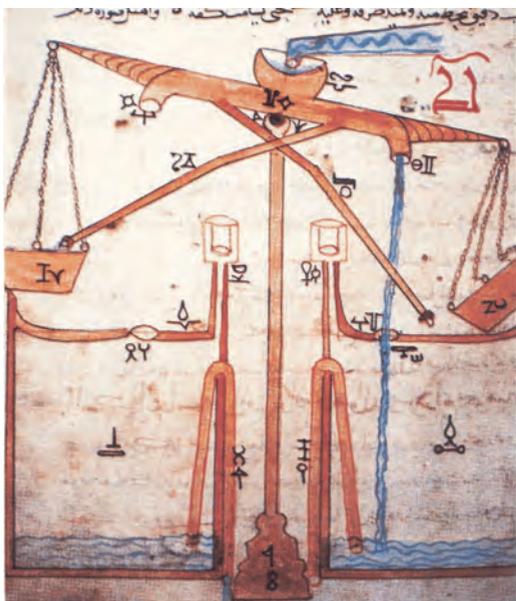
gni di geometria, architettura ed anche macchine, accompagnate da brevi note scritte. Il documento appartiene infatti al mondo dei costruttori di cattedrali, ai cantieri in cui operano centinaia di persone con lavori che si protraggono nel tempo, per cui si rende opportuno fissare in modo oggettivo, sia pure sotto forma di semplici appunti, elementi progettuali e proposte, da conservare e trasmettere nel

<sup>9</sup> Naturalmente ogni generalizzazione è pericolosa: a metà del XIV secolo Nicola Oresme, forse in anticipo sui tempi, pone la rappresentazione grafica a sostegno delle considerazioni teoriche. Nel *Tractatus de configurationibus qualitatum et motuum* in cui anticipa le basi di quello che sarà, più di due secoli dopo, il sistema di coordinate cartesiane, scrive: «le proprietà di questa [grandezza] saranno esaminate più chiaramente e più facilmente [...] disegnate in una figura piana, [...] rese chiare da un esempio visibile [...] poiché l'immaginazione delle figure aiuta grandemente la conoscenza [...]».

Si tratta però di un disegno di tipo puramente geometrico (come quello che due secoli dopo sarà fortemente esplicativo in Galileo e nei suoi allievi, quando il Cigoli in una lettera proprio a Galileo, nel 1611, scrive «[...] un matematico, sia grande quanto si vuole, trovandosi senza disegno, sia non solo un mezzo matematico, ma ancho un uomo senza ochi»), e i disegni geometrici, a differenza di quelli che documentano la tecnica, in realtà son stati presenti in varie trascrizioni dei trattati antichi, sia per la loro semplicità di esecuzione sia perché più connessi alla trattazione teorica.

tempo. La raffigurazione perde il significato di pura illustrazione di un testo scritto valido di per sé, ma racchiude l'informazione costruttiva ed il testo rimane come didascalia (in lingua volgare!).

Questo tipo di documento, il taccuino d'appunti (in cui sono presenti disegni parziali, eseguiti senza un gran rispetto di regole codificate, accompagnati da schizzi di particolari, note scritte, espressioni matematiche e quant'altro sia utile per ricordare ed elaborare successivamente un progetto, e in cui il disegno si conferma l'elemento chiave nel processo di elaborazione delle idee, trasportandole dalla mente alla carta come primo passo nel cammino dal pensiero alla realtà fisica), accompagna il percorso tecnologico attraverso i secoli e spesso aiuta a definire il *modus operandi* di scienziati ed inventori<sup>10</sup>.

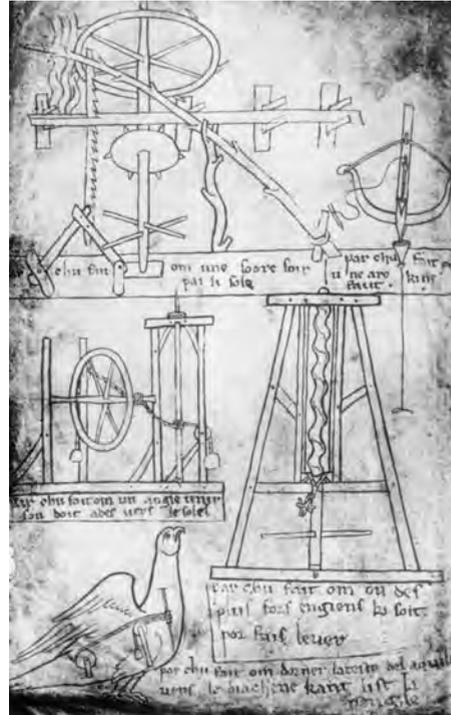


Spesso ci è pervenuto in questa forma, come scritto non destinato alla diffusione, ma talvolta ha dato origine ad una forma “pubblica” più esplicitiva, il trattato che, accanto allo scopo di insegnare o ricordare una qualche tecnica, vuole anche rendere noto ed apprezzato il nome dell'autore. Tali documenti, in queste diverse forme, cominciano ad essere numerosi dal XV secolo.

**Figura 11.** Il disegno di una pompa, dal trattato di Al Jazari *Libro sulla conoscenza degli ingegnosi meccanismi* (1205 ca.).

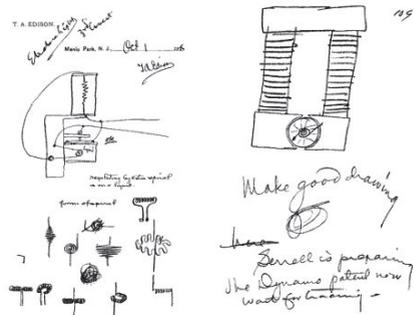
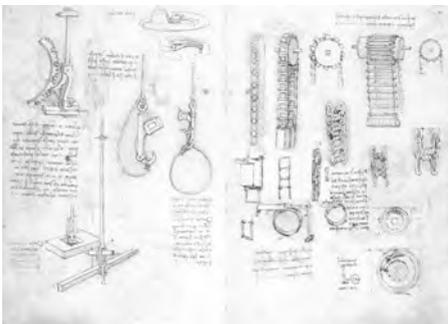
Fra i più importanti trattati manoscritti, oltre a quelli del Dondi e del Valturio prima citati, vanno ricordati il *Texaurus Regis Francie* di Guido da Vigevano (1335), il *Bellicorum Instrumentorum liber* di Giovanni Fontana (1420), il *De Ingeis* e il *De machinis* di Mariano di Jacopo, detto il Taccola (1433) ed i trattati di architettura e ingegneria di Francesco di Giorgio (ca. 1480); fuori d'Italia il *Bellifortis* di Conrad Kyeser (1405) e il *Manoscritto della guerra Hussita* di autore anonimo intorno al 1430: in tutte queste opere i numerosi disegni costituiscono la parte fondamentale.

<sup>10</sup> Con un salto di secoli e di luoghi vengono spesso citati ad esempio i taccuini di Edison.



**Figura 12.** Il *Taccuino* (o *Album*) di Villard d'Honnecourt è il primo documento grafico europeo per cui si possa parlare di disegno di macchine (anche se talora discutibile come la macchina a moto perpetuo raffigurata sopra).

Molti studiosi ritengono però che si dovrebbe parlare di “disegni tecnici” solo a partire dal XVII secolo e ciò è logico se si esaminano i disegni precedenti alla luce delle formulazioni attuali. In realtà bisogna però rifarsi al significato di disegno tecnico cui s'è accennato in premessa, la cui definizione oscilla fra la finalità della rappresentazione (disegno fatto allo scopo di fornire dati e informazioni che consentano la costruzione di un oggetto) e l'oggetto della raffigurazione stessa (tecnico in quanto presenta oggetti appartenenti alla sfera della tecnica).



**Figura 13.** Da Leonardo (a sinistra) ad Edison (a destra), gli appunti raccolti in taccuini documentano con disegni e note l'elaborazione delle invenzioni.

Se accettiamo questa definizione, sintetizzata dal Maccagni con «è disegno di macchine quel disegno che ha intenzionalmente per oggetto una macchina ed è riconducibile alle attività, alle preoccupazioni ed al modo di esprimersi dei tecnici del tempo», il punto di inizio può spostarsi al XV secolo, anche qui discutendo se le rappresentazioni di macchine, sia pure con una certa precisione di proporzioni e con alcuni componenti messi in evidenza a parte, possano essere effettivamente assimilate a disegni esecutivi nel senso attuale del termine<sup>11</sup>.

Il Medioevo utilizza metodi di rappresentazione grafica particolari, considerati primitivi per mancanza di proporzioni e di prospettiva, per la presenza di viste diverse nello stesso disegno.

Tuttavia un'analisi più attenta permette di individuare delle regole: nel disegno tecnico si ha la rappresentazione di ogni elemento secondo il punto di vista che meglio lo illustra, con qualche forma embrionale di convenzioni, come la linea ondulata a rappresentare una fune o l'immagine dell'interno vista in trasparenza.

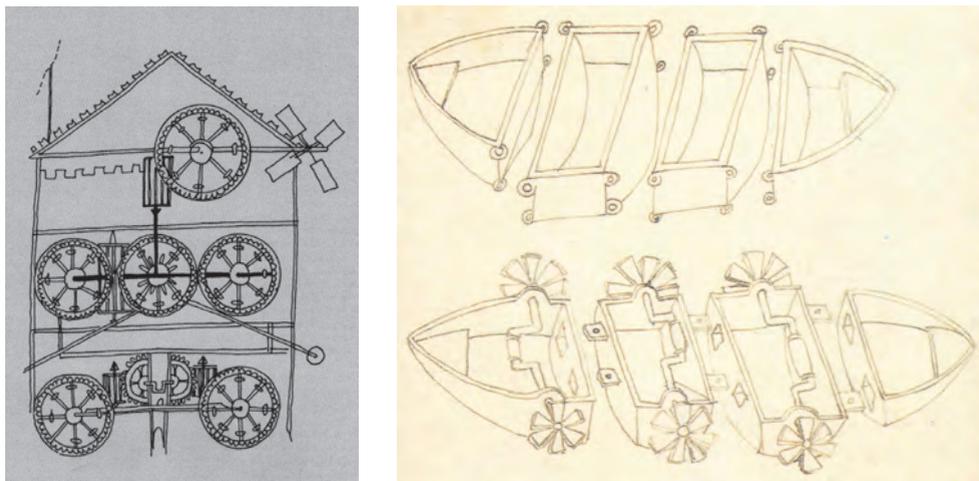
A questo proposito si può aggiungere una considerazione: si è oggi abituati a considerare come disegno esecutivo, direttamente trasformabile nell'oggetto raffigurato, quello del particolare, completo di quote (tolleranze comprese) ed indicazioni di lavorazione, che consente la realizzazione del manufatto senza necessità di contatto diretto fra ideatore ed esecutore.



**Figura 14.** Alcuni disegni significativi dai manoscritti citati nel testo: a sinistra un cannone a più canne dal *Bellifortis*; al centro un progetto avveniristico del Taccola per l'uso del riflusso di marea come forza motrice per una ruota idraulica; a destra di Francesco di Giorgio la proposta di utilizzare un cavallo come motore per una ruota calcatoria.

<sup>11</sup> Le immagini relative alla tecnica presenti su supporti di vario genere, manoscritti e libri conservati negli archivi e nelle biblioteche di monasteri, edifici pubblici, istituzioni culturali, ma anche pitture o sculture, sono in realtà in numero elevatissimo, ma i disegni definibili come tecnici, nel periodo di circa cinque secoli, dal X al XIV, possono essere compresi fra i cinque e diecimila, secondo i criteri, più o meno restrittivi, prima enunciati (cfr. Lefevre, 2004).

Nei disegni più antichi la sostanziale imprecisione o carenza di informazioni presenti fa pensare che l'esecuzione avvenisse direttamente per mano del progettista (artigiano) o sotto una sua costante supervisione. Il disegno non avrebbe in tal caso il ruolo di ponte fra ideazione e costruzione effettiva, perché queste funzioni si trovano già concentrate nelle stesse persone o sono presenti contemporaneamente nello stesso ambiente, ma solo di promemoria.



**Figura 15.** I carri semoventi nel trattato di Guido da Vigevano sono illustrati in modo approssimativo rimandando maggiori informazioni allo scritto che accompagna; discorso analogo per il disegno della barca smontabile (di anonimo del XV secolo).

Un esempio significativo si trova nei testi di accompagnamento ai disegni (ai nostri occhi piuttosto approssimativi) che illustrano il *Texaurus* di Guido da Vigevano, trattato destinato a fornire al re Filippo VI proposte per macchine belliche, da usare nella prospettiva della crociata in Terrasanta.

La frase più volte ricorrente «*ut videbitur operantis*», («come sembra [bene] al costruttore») ed addirittura, a proposito del carro semovente, «*similiter debent preparari rote posteriores et haec omnia erunt in dispositioni magistri molendinorum qui has rotas sciet concordari*», fanno pensare che si affidi direttamente all'esecutore il compito di rendere funzionale la costruzione, con gli scopi e le modalità descritte nei testi stessi.

I disegni possono essere visti quindi come un'integrazione ad un testo di per sé sufficientemente esplicativo ed un promemoria per un artefice che, sapendo il fatto suo ed in base alla sua esperienza, sia in grado di realizzare la macchina.

Il loro valore come elemento del ciclo di fabbricazione sarebbe quindi superiore a quanto si ricava da una prima impressione.

## Dal XV al XVII secolo: le belle immagini

Come prima accennato, alla fine del XIV secolo cominciano a diffondersi i trattati di argomento tecnico, prima in forma manoscritta, poi con una vera e propria esplosione all'avvento della stampa.

La “trattatistica” diviene quasi un genere letterario, nel quale, oltre agli autori classici prima ricordati, divengono famosi nomi come Vegezio, Valturio, e, altri, meno noti<sup>12</sup> o anonimi, ma non per questo meno interessanti: viene spesso citato in questo contesto Leonardo da Vinci, ma non dobbiamo dimenticare che i suoi scritti, rimasero praticamente ignoti per secoli e non ebbero la risonanza che si potrebbe pensare, legata ad alcuni progetti avveniristici<sup>13</sup>.

In verità s'è visto che fin dall'antichità classica, in un periodo che va dal III sec. a.C. al I d.C., non mancano i testi relativi a diversi settori (meccanica, idraulica, pneumatica) che attraversano i secoli e vengono citati in varie epoche, con traduzioni latine, arabe e poi nuovamente latine medioevali. Mancano tuttavia i testi originali e soprattutto le figure, che in un testo tecnico sono essenziali.

Le illustrazioni note delle macchine e delle invenzioni richiamate nei trattati classici risalgono al più proprio al '400 e sono quindi “interpretazioni” che, soprattutto nelle incisioni delle edizioni a stampa, cominciano ad essere riconducibili a disegni di carattere tecnico più vicini alle necessità esecutive, talora sotto forma di appunti, come detto in precedenza, anche se nella maggior parte dei casi ci si trova di fronte a disegni prevalentemente illustrativi, destinati non a costruttori ma ad utilizzatori o addirittura ad un pubblico più vasto di cultori, fra le persone colte ma non tecnicamente formate.

Nei trattati sono raccolte decine di disegni di macchine, talvolta fantasiose ed irrealizzabili, talaltra, con una sorta, sia pure embrionale, di formalizzazione della progettazione<sup>14</sup>.

---

<sup>12</sup> Ad esempio solo in tempi recenti si è riconosciuto il posto che meritano ai cosiddetti “ingegneri senesi”, Mariano di Jacopo e poi Francesco di Giorgio, peraltro citato nei testi di storia dell'arte per la sua attività come pittore, scultore e architetto.

<sup>13</sup> L'inevitabile riferimento a Leonardo non può nascondere anche il fatto che buona parte dei disegni leonardeschi appare più un appunto per la memoria dell'autore che un'indicazione per terzi esecutori, come ben riprova la fatica di chi ha voluto, in varie occasioni, realizzarne le invenzioni. Ciò nonostante si deve riconoscere che in Leonardo si ritrova un'attenzione fino allora non riscontrata ai particolari meccanici e di questi particolari esistono in qualche caso dei disegni che possono facilmente condurre alla pratica realizzazione in officina.

<sup>14</sup> Una fonte di grande interesse, in via di compilazione, è la grande raccolta di disegni di macchine, accompagnati dai testi relativi, sotto la definizione di *Database Machine Drawings*, nell'ambito del Progetto Archimede al Max Planck Institut fur Wissenschaftsgeschichte di Berlino.

Il testo più noto è il *De Architectura* di Vitruvio, fondamentale soprattutto per gli architetti e gli studiosi di architettura, ma che, nel libro X, tratta ampiamente di macchine di vario genere per usi civili e militari<sup>15</sup>.

Può essere interessante osservare le illustrazioni delle due edizioni più conosciute, quella del Cesariano a Como nel 1521 e quella di Daniele Barbaro a Venezia nel 1567: in quelle del primo, architetto e pratico, i disegni hanno una valenza tecnica, che nel secondo, più “letterato”, lascia posto ad aspetti più figurativi.

Fra i trattati a stampa, oltre alla riedizione dei testi preesistenti, come appunto di Vitruvio, Valturio e di altri autori già noti, vanno ricordati alcune opere di particolare importanza per la cultura tecnica ed anch’esse assai interessanti sotto l’aspetto del disegno: si tratta della *Pirotechnia* del Biringuccio (1540), del *Mechanicorum liber* di Guidubaldo del Monte (1577) e del *De Re Metallica* di Giorgio Agricola (1556).

È questo un periodo in cui si assiste anche ad una rinascita dei rapporti fra pensiero scientifico e tecnica. Scienza teorica e tecnica empirica, vissute in mondi separati e con pochi o nulli contatti, iniziano ad avvicinarsi, arricchendosi vicendevolmente, in una sorta di circolo virtuoso: muove i primi passi quella che viene comunemente definita “rivoluzione scientifica”, che trova la sua compiuta affermazione nel XVII secolo.

In realtà l’interazione fra teoria e pratica era da tempo in atto, ma in modo frammentario e casuale. L’espansione economica richiedeva ora strumenti adeguati per il miglioramento delle tecniche e non era più pensabile in alcun campo un reale sviluppo tecnologico senza l’apporto di un adeguato supporto matematico. Ciò era già parzialmente presente nella pratica progettuale dell’architettura, ma è dal ’500 che si estendono ad una grande varietà di soggetti forme di conoscenza scientifica a supporto di attività basate sull’esperienza manuale.

L’edizione degli *Elementi* di Euclide in lingua volgare (in italiano, ma comunque prima in Europa) pubblicata dal Tartaglia a Venezia, nel 1543, portava come prima motivazione che anche i commercianti, i geometri, gli artiglieri, ecc. potessero perfezionare le loro attività artigianali e professionali fruendo di una più ampia e più solida base scientifica. Si trattava quindi di togliere la conoscenza dal recinto dei “filosofi”, comunicanti fra loro in un linguaggio riservato, portandola a disposizione di tutti coloro che ne avrebbero potuto usufruire praticamente.

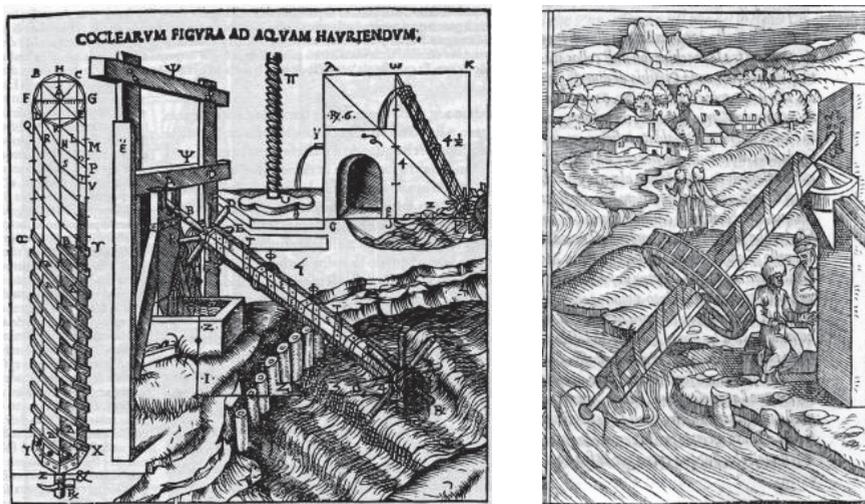
---

<sup>15</sup> Non va dimenticato che fino a tempi relativamente recenti (XIX secolo) le attività di architetto ed ingegnere si concentravano nella stessa persona: si ricordi la definizione di *ingegnere* per Francesco di Giorgio o gli ingegneri militari del ’600 e del ’700 che si occupavano di costruzioni non solo militari ma anche civili.

Tartaglia si pose al servizio di un artigianato in ascesa che auspicava un approfondimento scientifico del proprio lavoro. Maestri archibugieri e tecnici di guerra, esperti minerari e fonditori di metalli, agrimensori e commercianti devono essersi spesso rivolti al dotto Tartaglia<sup>16</sup>.

Naturalmente ciò non toglie significato all'osservazione che gli esperti fanno a proposito dei tanti disegni, di crescente qualità espressiva, che accompagnano i trattati e culminano dal punto di vista più propriamente figurativo nei "Teatri di Macchine", dal Rinascimento in poi: trattarsi cioè di disegni essenzialmente "pubblicitari", destinati in pratica ad illustrare le potenzialità dell'autore, come possibile fonte, sia in veste di progettista che di costruttore, per la preparazione di armi di gran novità ed efficacia (funzione particolarmente gradita ai governanti) nonché di apparecchiature utili ad aspetti dell'attività quotidiana (pompe, mulini, macchine per l'industria tessile o la metallurgia in genere).

Prima di soffermarsi sui "Teatri", qualche immagine dai trattati precedenti consente di rilevare alcuni passi verso le esigenze progettuali, come le viste interne per trasparenza, il disegno esploso, e progressivamente, una differenziazione fra disegno d'insieme e disegni delle varie parti, la rappresentazione di particolari ingranditi e la scala grafica che fornisce dati dimensionali ricavabili direttamente dal disegno.



**Figura 16.** La vite di Archimede è presentata in modo più tecnicamente attento dal Cesariano (a sinistra) che, oltre 40 anni dopo, dal Barbaro (a destra).

<sup>16</sup> In Klemm, 1957.

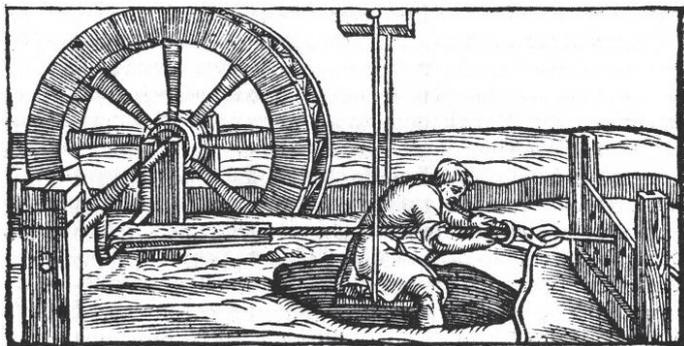


Figura 17. Una macchina per trafilatura, dalla *Pirotechnia* di Vannuccio Biringuccio (1540).

Figura 18. Il posizionamento di un cannone, dalla *Nova Scientia* del Tartaglia (1537).

Pezzo elicusto alli.45.gradi sopra al orizzonte.

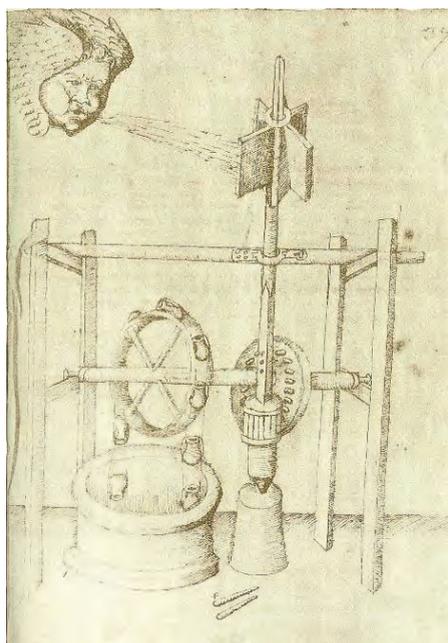
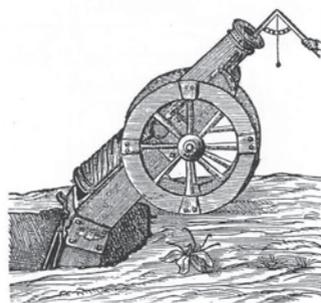
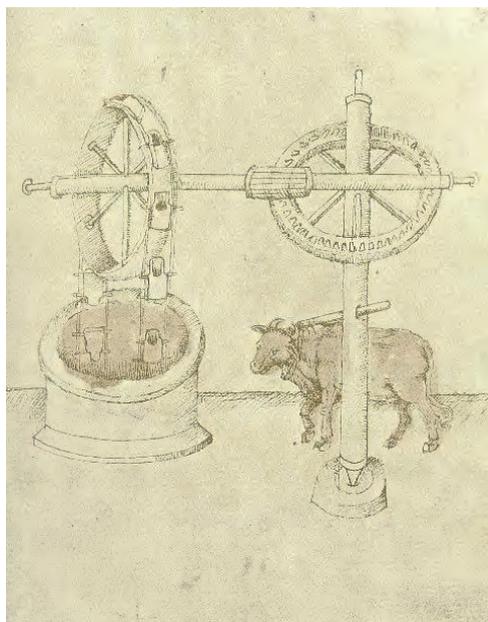
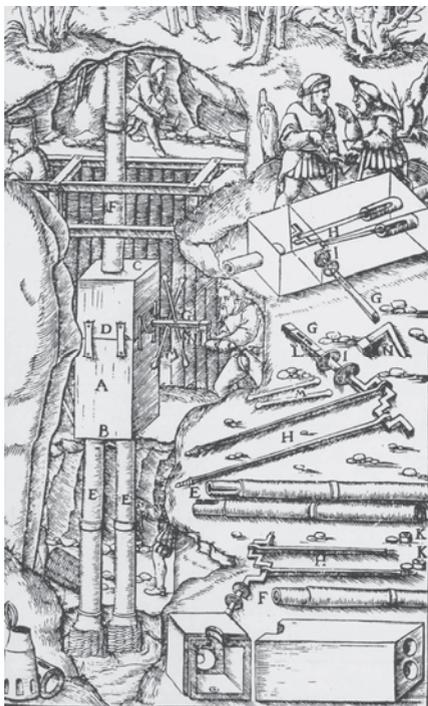
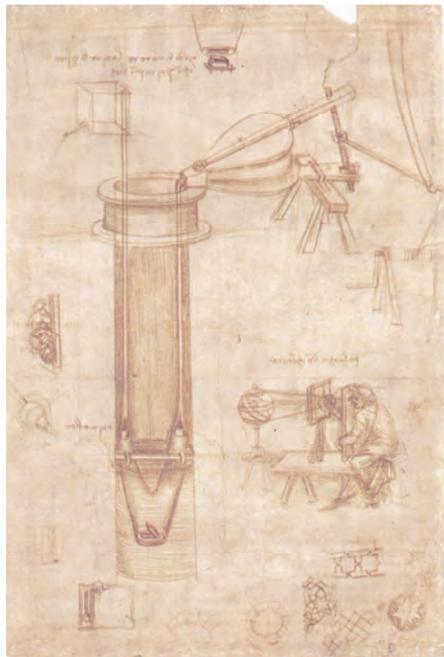


Figura 19. Di Mariano di Jacopo (il Taccola) compaiono macchine per il sollevamento di acqua ad azionamento rispettivamente animale ed eolico. Nonostante talune evidenti assurdità, si nota lo sforzo descrittivo dei meccanismi operato dall'autore.



**Figura 20.** Una pompa, in un disegno di Leonardo. Al di là della grande (e notoria!) capacità dell'esecutore, si nota la tecnica della trasparenza per rappresentare particolari interni, applicata con maggiore maestria rispetto ad esempi precedenti. Per i cultori del disegno è interessante il piccolo disegno a destra relativo allo studio della prospettiva.



**Figura 21.** Nell'illustrazione dal *De Re Metallica* il disegno è figurativo ma è stato dato spazio alla rappresentazione dei particolari.

S'è detto come il problema della trasmissione di dati costruttivi in pratica si ponga quando ideatore e costruttore non coincidono o non abbiano contatto diretto.

Per questo per secoli il disegno di costruzioni, macchine, attrezzi, non si è allontanato da rappresentazioni figurative, idonee a comunicare un'idea generale dell'oggetto, ma prive dell'esattezza necessaria per fornire indicazioni costruttive, scopo principale del disegno tecnico.

Lo studio della prospettiva e delle costruzioni geometriche influisce anche sulla correttezza rappresentativa del disegno tecnico, che rimane però vicino a quello artistico e per

secoli i disegni delle macchine resteranno spesso esteticamente pregevoli, anche quando diverrà nettamente distinto il campo d'attività del tecnico da quello dell'artista.

Le tavole dei trattatisti del '500-'600, sono piacevoli illustrazioni che però richiedono uno studio interpretativo per portare ad una concreta realizzazione degli oggetti rappresentati. D'altra parte si è già visto come il loro scopo principale fosse quello di dimostrare le conoscenze e le capacità degli autori, eventualmente da incaricare direttamente della costruzione delle macchine raffigurate.

I "Teatri di Macchine", richiederebbero un discorso più ampio proprio perché sono una sintesi di Storia del Disegno di Macchine, da un lato con le immagini delle macchine, pur con i loro difetti ed imprecisioni, e dall'altro con le diverse tecniche di disegno<sup>17</sup>.

Una panoramica di tavole tratte da diversi "Teatri di Macchine" consente di individuare una impostazione comune, pur nella differenza di modalità esecutive, legate sia alle scelte degli autori sia alle capacità dei disegnatori che portano talora nella stessa raccolta a disegni di diversa qualità espressiva ed estetica.

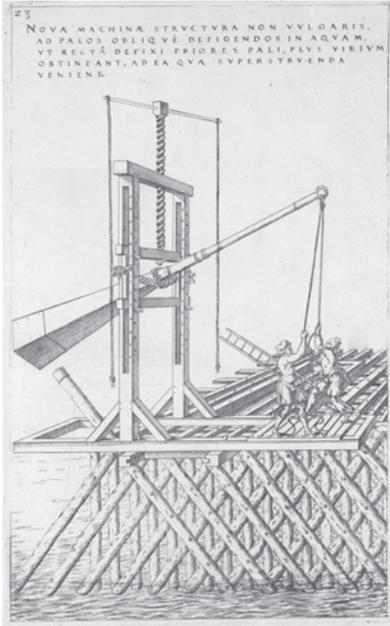
A questo proposito non manca la possibilità di sottolineare alcuni aspetti particolari, che anticipano scelte e soluzioni miranti ad informazioni più precise tese ad una possibile costruzione delle macchine presentate.

Significative appaiono allora alcune tavole dello Zonca in cui si individua un uso della rappresentazione assonometrica legato alla possibilità che essa offre di ricavare correttamente la terza dimensione, cosa impossibile con la raffigurazione in prospettiva, e anche, in funzione di questa scelta, la presenza della scala dimensionale che consente la rilevazione delle dimensioni dal disegno, una delle prime applicazioni di un metodo che sarebbe stato ampiamente utilizzato nei secoli seguenti<sup>18</sup>. Ed è anche interessante osservare come in certe tavole il disegno della macchina completa e dell'eventuale struttura che la ospita appare in prospettiva, mentre l'assonometria è usata per i particolari componenti della macchina, configurando una diversa formulazione per il disegno degli elementi di macchina rispetto a quello architettonico.

---

<sup>17</sup> Per i "Teatri di Macchine" esistono numerose trattazioni critiche e soprattutto molte ristampe, anastatiche e non, complete o parziali, proprio perché, grazie alla qualità estetica delle illustrazioni, superano l'interesse dei cultori di storia della tecnica, per inserirsi in un percorso storico ed anche artistico più generale. Si ritrova quanto già altre volte rilevato per Leonardo, ed anche Francesco di Giorgio, i cui disegni tecnici hanno destato interesse e si sono conservati per via della notorietà degli autori principalmente come artisti.

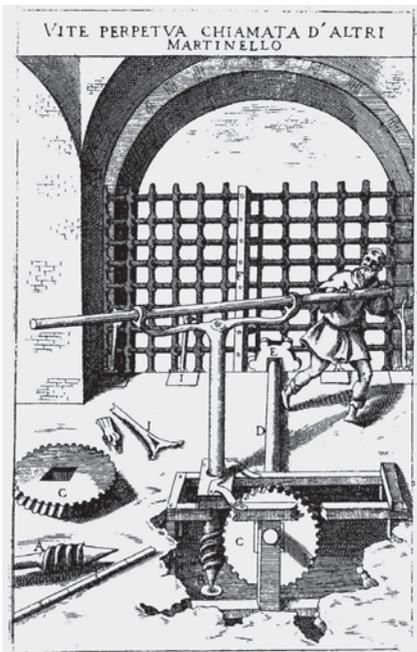
<sup>18</sup> *Machines et Inventions approuvées par l'Académie Royale des Sciences.*



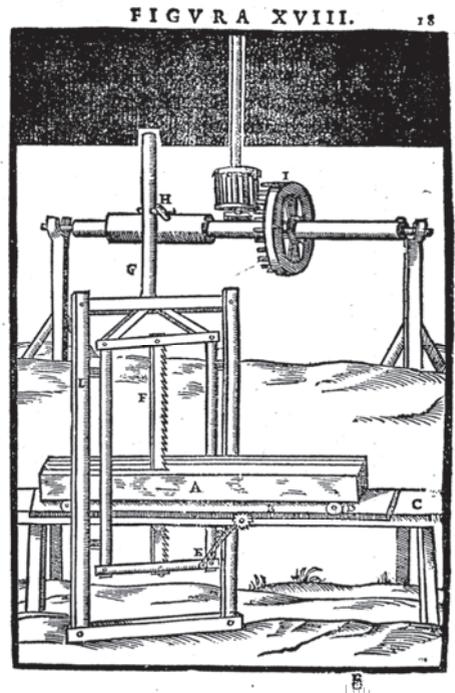
a)



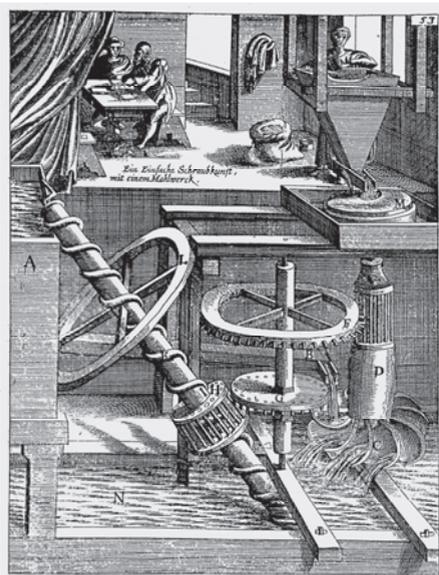
b)



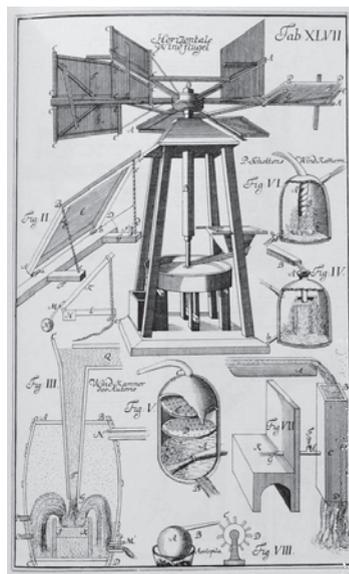
c)



d)



e)



f)

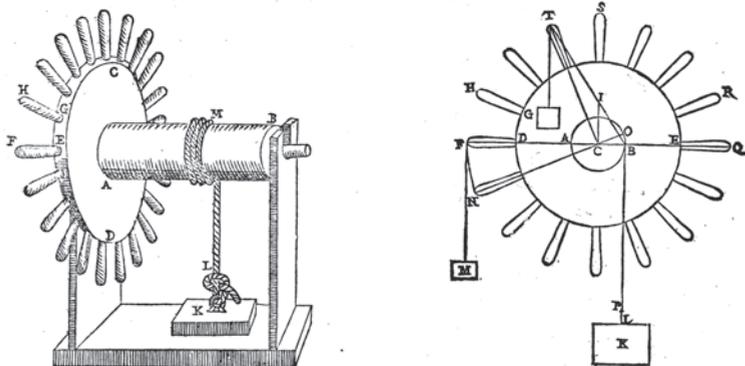
**Figura 22.** Alcune immagini significative dai “Teatri di Macchine”: a) battipalo obliquo, da Besson, 1569; b) mulino a vento, da Ramelli, 1588; c) martinetto, da Zonca, 1607; d) sega, da Branca, 1629; e) coclea, da Boeckler, 1662; f) apparecchi di sollevamento, da Leupold, 1724. Per circa due secoli, volumi di alta qualità grafica hanno fornito agli europei un’informazione su macchine innovative o rielaborate su soluzioni precedenti.

In contemporanea con la “rivoluzione scientifica” del XVI e XVII secolo si evidenzia un particolare aspetto del disegno: la sua efficacia sia come elemento di valutazione e sviluppo dei progetti, sia come strumento per la modellizzazione e lo studio dei fenomeni fisici.

Se il disegno costruttivo è un ponte fra l’ideazione e la fabbricazione dei manufatti, qui il passaggio non è fra la teoria e la pratica, ma segue un percorso inverso, da un disegno illustrativo, attraverso successive semplificazioni, ad una rappresentazione schematica, dal modello di un oggetto reale alla modellizzazione degli elementi essenziali, giungendo ad un’astrazione che consente la generalizzazione su basi matematiche. Ciò si vede già in uno dei primi testi a larga diffusione, *Le Mechaniche* di Guidubaldo Del Monte<sup>19</sup>, in cui al disegno di un verricello raffigurato come illustrazione realistica si affianca una rappresentazione geometrica che si presenta come una proiezione ortogonale e da cui si ricavano gli elementi che consentono il calcolo.

<sup>19</sup> Ci si riferisce alla traduzione italiana, pubblicata a Venezia nel 1581, del *Mechanicorum Liber* del 1577.

**Figura 23.** Nel trattato *Le Mechanique* accanto alla figura realistica compare il disegno schematico che favorisce i calcoli.



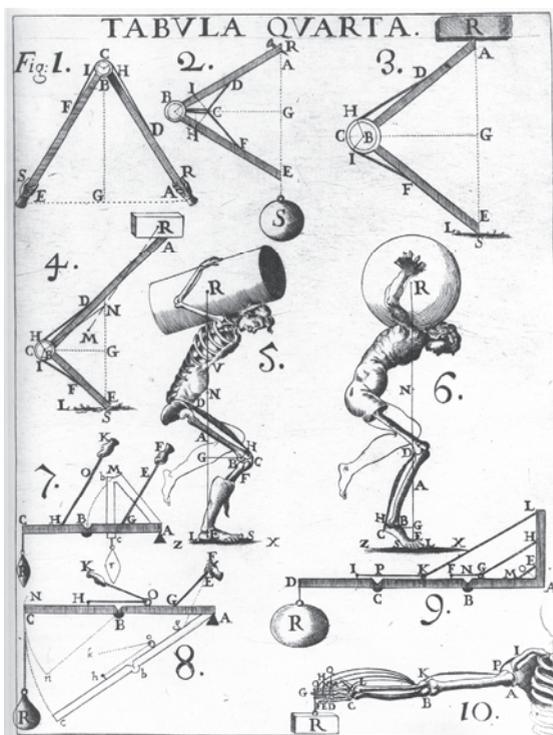
In altri termini il disegno è lo strumento che conferma quanto si era verificato per secoli, che la tecnica fornisce spunti alla scienza (e quasi mai viceversa).

**Figura 24.** Il passaggio dalla figura allo schema geometrico nel *De Motu Animalium* del Borelli (1680).

Lungo il periodo preso in esame si riescono ad individuare alcuni elementi generali, sostanzialmente riconducibili a quattro:

- capacità del disegno di supportare la divisione delle competenze e di conservare nel tempo informazioni su forme, relazioni ed utilizzo di elementi costruttivi;

- superamento dei confini della bottega artigiana e dell'apprendistato locale, con disegni miranti ad illustrare nuove tecnologie o invenzioni per le quali non era possibile basarsi solo sull'esperienza;



- documentazione idonea a sviluppare interessi più vasti possibile sulle possibilità di realizzare innovazioni utili per la società mediante macchine e meccanismi;

- supporto della modellizzazione matematico-geometrica per lo studio e lo sviluppo delle conoscenze scientifiche.

Per il disegno meccanico non ci sono ancora documenti paragonabili ai disegni esecutivi attuali. Non ponendosi evidentemente il problema delle grandi costruzioni metalliche, per le quali bisogna attendere il XIX secolo, un caso in cui l'esecuzione parte da un progetto iniziale per passare attraverso il lavoro di operatori diversi e quindi presenta la necessità di trasmissione di informazioni, analogo a quello richiesto dalle opere architettoniche, è quello delle costruzioni navali in legno (non a caso si usa il termine "architettura navale").

I dati disponibili parlano però di grande uso non di disegni ma di modelli fisici e soprattutto di sagome, basate sull'esperienza di generazioni di carpentieri.

Un discorso simile si può fare per le altre grandi costruzioni in cui sono presenti meccanismi cioè i mulini, ad acqua prima e a vento poi, per tralasciare le ruote idrauliche di vario tipo note fin dall'antichità.

Nel caso delle costruzioni navali lo sviluppo rapido che si segnala fra il 1500 e il 1700 non è però pensabile senza l'aiuto del disegno: una conferma si trova in una raffigurazione inglese datata 1568 in cui si vede un ufficio di cantiere navale con strumenti e disegni. Probabilmente si potrebbe trovare anche qualche interessante documentazione in arsenali italiani, in particolare a Venezia.

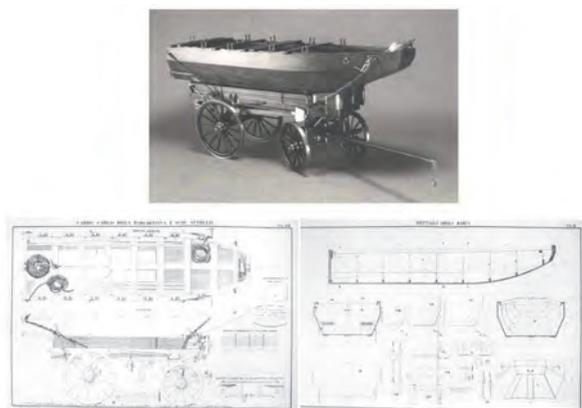
**Figura 25.** Disegno per costruzioni navali nell'Inghilterra del XVI secolo.



Opifici in cui si superava il livello artigianale per un'organizzazione già da piccola industria, con una rudimentale unificazione di elementi costruttivi, una certa specializzazione di funzioni e la necessità di un'elaborazione di progetti teorici, possono essere ritenuti proprio i diversi arsenali militari e in particolare le officine

per la fusione di cannoni. Anche in queste (come in quelle per campane, fino ai giorni nostri) l'elaborazione teorica portava per lo più alla costruzione di modelli in scala e di sagome di costruzione e controllo, con proporzionamenti modulari che in alcuni casi si rifacevano all'antichità classica<sup>20</sup>.

Il rilevamento eventuale di quote dai modelli avveniva mediante compassi, diretti o di proporzione, e questo sistema risulta venisse usato anche nei casi in cui si disponeva di disegni. Solo a partire dal XVII secolo si trovano sui disegni anche delle scale di riferimento dimensionali, espresse nelle unità di misura corrente<sup>21</sup>. La rilevazione di quote da misurazioni effettuate sul disegno (oggi rigorosamente vietata dalle norme, anche se talora viene usata nella pratica d'officina) è stata la regola fino all'800, quando, in relazione all'elaborazione da un lato di precise regole di proiezione e dall'altro dalla nascente organizzazione industriale della produzione, compaiono le indicazioni numeriche delle quote direttamente sul disegno.



**Figura 26.** Il modello di riferimento verrà prima affiancato e poi sostituito dai disegni (inizio del XIX sec., Museo d'Artiglieria di Torino).

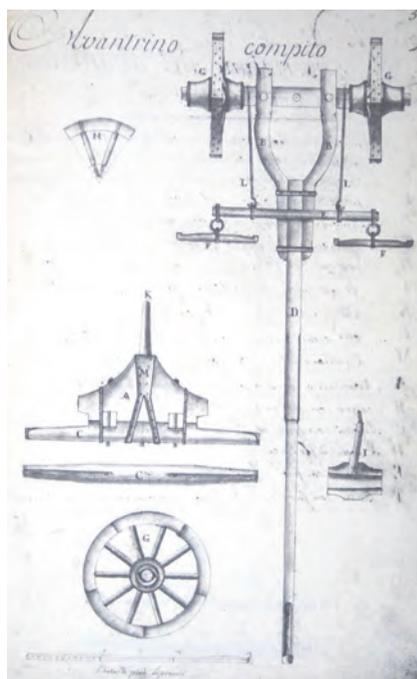
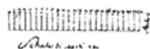
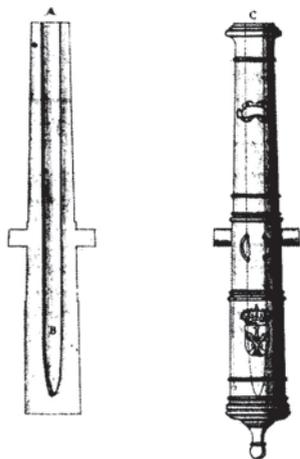
Anche per le tolleranze dimensionali, le indicazioni a disegno compaiono quasi un secolo dopo (e per le tolleranze geometriche solo nella seconda metà del XX secolo) anche se evidentemente una certa valutazione delle tolleranze doveva essere effettuata mediante calibri e profili di controllo, per lo più basati anch'essi sull'esperienza.

<sup>20</sup> In realtà, come affermato da molti autori, anche il disegno può essere considerato un modello, sia pure bidimensionale, e di conseguenza meno efficace del modello fisico nel rendere una realtà spaziale. Sarebbe allora possibile definire il disegno come un modello virtuale, e viceversa assimilare l'uso del modello per ricavare istruzioni costruttive ad una procedura di *Reverse Engineering*.

<sup>21</sup> Si trova di frequente la "scala ticonica" usata non tanto per migliorare la precisione nel rilievo delle quote dal disegno quanto per favorire la riduzione o l'aumento di scala per dimensioni ricavate dai modelli, ai quali per un lungo periodo i disegni si affiancano.

*Cannone da 16 con Camera*

*a) cono tronco*



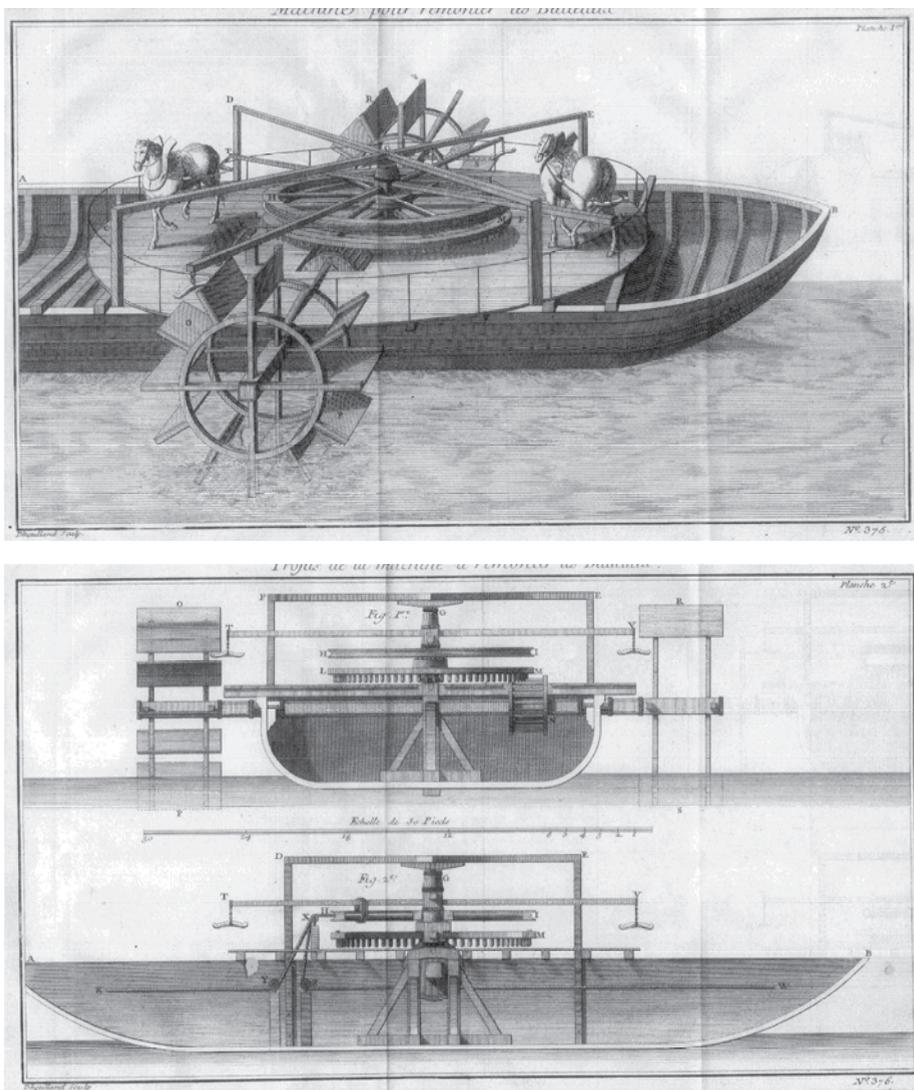
**Figura 27.** Da *Disegni d'ogni sorta di cannoni* del D'Embser (1732): si notino la rappresentazione in sezione e la scala dimensionale, espressa per il carro ed i suoi particolari in "piedi liprandi", l'unità di misura per le lunghezze in uso all'epoca negli stati sabaudi (circa 51 cm).

Ammettendo che la progettazione si basasse in primo luogo sulla ripetizione di modelli noti, con qualche piccola modifica (è pensabile che le modifiche negative sotto l'aspetto funzionale non abbiano lasciato traccia!) pur tuttavia con una paziente e faticosa ricerca si potrebbero forse trovare dei disegni funzionali alla costruzione. In questa sede si può ora proseguire il discorso solo basandosi su un esame di quanto è stato finora pubblicato.

Già nel corso del XVIII secolo, prima che nelle scuole aperte a tutti che si svilupperanno nel secolo successivo, il disegno tecnico era stato messo a punto, utilizzato e sviluppato nelle scuole e per usi militari, per cui si trovano disegni, in particolare di cannoni e dei loro accessori, con sezioni e scale dimensionali e proprio da questo ambiente si hanno esempi di disegno che anticipano ulteriori sviluppi nella direzione della standardizzazione.

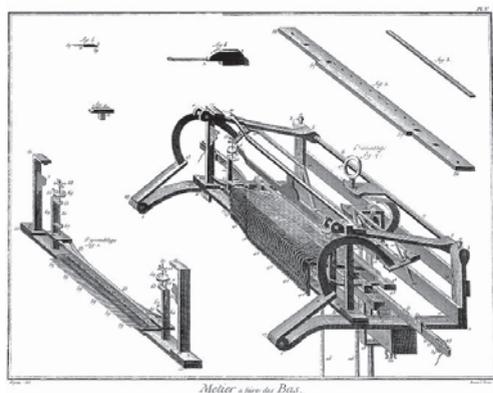
Allo stesso secolo appartengono serie di disegni che si riferiscono a invenzioni presentate ad istituzioni deputate a valutarle e a concedere brevetti e diritti di sfruttamento: come esempio riportiamo un'immagine tratta da una raccolta di

documenti dell'Accademia delle Scienze di Parigi del 1735<sup>22</sup>, relativo ad una “invenzione” che riproduce proposte già presenti nel XIII secolo, se non prima (ma qui interessa solo l'aspetto iconografico).

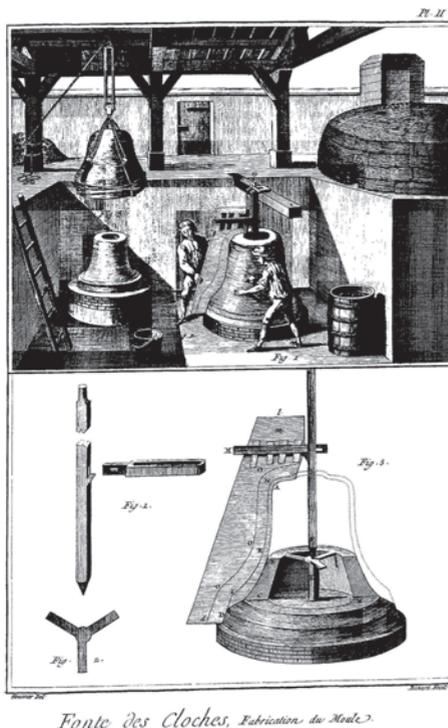


**Figura 28.** Disegni allegati all'invenzione della “macchina per fare risalire i battelli” del conte di Saxe del 1732.

<sup>22</sup> *Machines et Inventions approuvées par l'Académie Royale des Sciences*



**Figura 29.** Una tavola dall'*Encyclopedie* dedicata alla fusione delle campane, in particolare alla preparazione della forma con uso di una sagoma (a destra); da un'altra tavola particolari di una macchina per calze (sopra).



Un altro riferimento obbligato per l'iconografia tecnica settecentesca sono le tavole dell'*Encyclopedie*, alle quali tuttavia non mancano le critiche.

Non interessa qui la polemica sull'originalità o meno delle tavole stesse, in molti casi semplice riedizione di illustrazioni talora già vetuste (ed in campo divulgativo ciò non è pregio) quanto la scarsa presenza con la realtà tecnica del tempo.

È quindi ancora valida la critica che si può fare a molte raffigurazioni dei periodi precedenti: macchine considerate come fonte di meraviglia e non strumenti di lavoro, attenzione agli aspetti di curiosità e divertimento per le classi dominanti, principi ed aristocrazia prima, ricchi borghesi poi, attenzione alla macchina nel suo complesso, macchine a se stanti, senza riconoscimento della sostanziale identità dei componenti.

Naturalmente ciò non toglie nulla al valore delle tavole sotto l'aspetto iconografico né soprattutto alla grande novità dell'ampiezza del corredo illustrativo e dell'attenzione alla correttezza di rappresentazione<sup>23</sup>.

<sup>23</sup> Risulta significativo il confronto vincente con altre opere dell'epoca, magari destinate poi a grande fortuna, come l'*Encyclopaedia Britannica*.

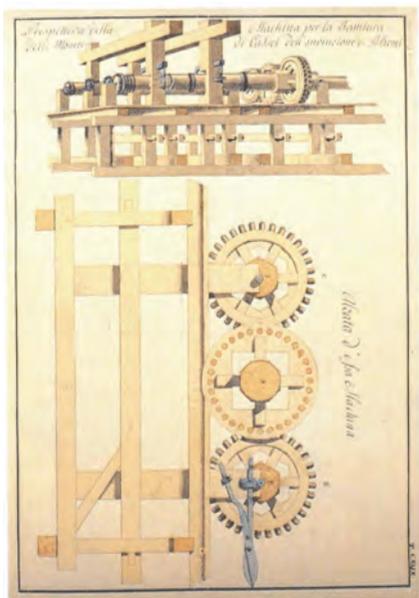
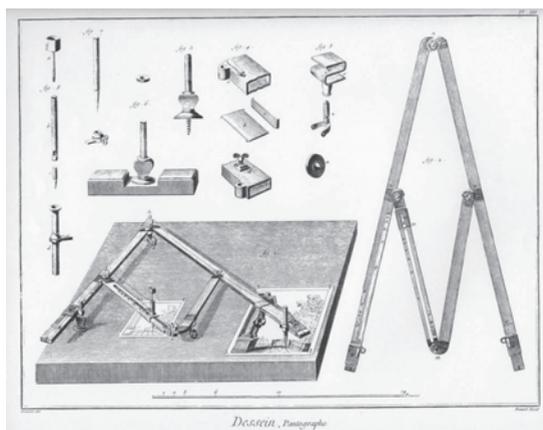
## Dagli inizi della rivoluzione industriale alla cultura positivista: l'affermazione del disegno

Il termine “rivoluzione” applicato al mondo della tecnica è contestato da molti autori: si dovrebbe parlare di momenti di accelerazione di un’evoluzione che non ha mai avuto soste significative.

**Figura 30.** Un'altra tavola dalla *Encyclopedie*: per la voce “Disegno” è illustrato il pantografo, con particolari ed esempio d'uso.

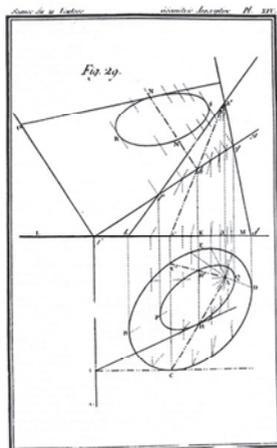
Resta comunque soprattutto un riferimento di comodità, come per molti altri periodi storici.

Nella seconda metà del '700 si sviluppano quasi contemporaneamente la rivoluzione industriale e il metodo di rappresentazione con proiezioni ortogonali su piani concorrenti.



**Figura 31.** Il disegno della macchina per coniar monete a Kassel del 1788 (scelto fra quelli a corredo della relazione del viaggio di istruzione in Europa del capitano Nicolis di Robilant nel 1749) è interessante sia perché alla raffigurazione prospettica si accompagna una vista frontale, sia perché raffigura una macchina progettata dal tecnico svedese Pohlem, del quale non si trovano disegni coevi.

La prima consisteva essenzialmente in una nuova organizzazione della produzione, accompagnata da macchine da costruire in quantità, in località diverse, assemblando parti costruite con precisione, con una progressiva dequalificazione degli addetti alle macchine ed una contemporanea necessità di tecnici in grado di seguire le varie fasi di fabbricazione ed assicurare il funzionamento degli impianti.



**Figura 32.** Una pagina dalle *Leçons de Geometrie Descriptive* di Gaspard Monge (an VII i.e. 1793).

Il secondo è il mezzo con cui realizzare, senza particolari difficoltà, immagini precise in grado di supportare adeguatamente le informazioni dimensionali ed accessorie che permettono la fabbricazione degli oggetti.

Il sistema, legato al nome di Monge e sviluppato dagli studiosi della Geometria descrittiva, come è noto venne subito riconosciuto come uno strumento di rilevante importanza, tanto da essere agli inizi coperto da segreto militare<sup>24</sup>.

Il metodo venne anche modificato per renderlo di più facile impiego, come con il cosiddetto sistema americano o del terzo diedro (noto anche come *glass-box*).

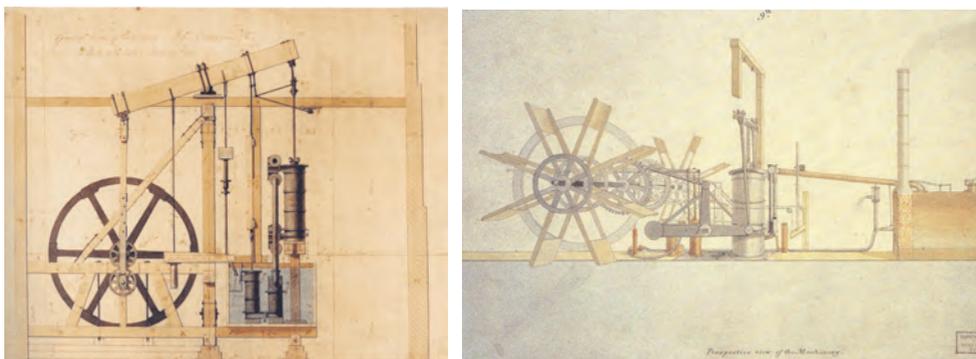
Anche in precedenza erano note tecniche per raffigurare un oggetto tramite immagini da diversi punti di vista, che mancavano però di una precisa codificazione generalizzata che mettesse in relazione precisa e univoca la posizione degli elementi nelle diverse viste.

Le relazioni fra oggetto reale e rappresentazione avevano trovato nella prospettiva, studiata dall'inizio del Rinascimento, il campo di indagine per le elaborazioni teoriche e le applicazioni pratiche. Le difficoltà di ancorare la rappresentazione prospettica agli esatti rapporti dimensionali degli oggetti, insieme all'obiettiva necessità di possedere buone capacità di illustratore, ne limitavano comunque la diffusione al campo della raffigurazione e non a quello delle prescrizioni costruttive.

Lo studio della prospettiva, più legato alle esigenze del disegno architettonico, per il disegno tecnico lascia il posto alla prospettiva parallela (assonometria) cui sono legati i nomi di Farish in Inghilterra (1820) e di Pohlke in Germania (1860)<sup>25</sup>. Dall'800 molte aziende escogitarono estesi sistemi di disegno che dettagliassero ogni aspetto del loro lavoro. L'organizzazione e il controllo passarono dagli operai qualificati agli ingegneri, che progettavano le macchine, ed ai disegnatori, che lavoravano sui particolari. Il compito dell'operaio era solo di seguire i disegni.

<sup>24</sup> Il rigoroso impianto geometrico trovò ulteriori perfezionamenti in altri studiosi (ad es. il Tramontini a Modena ad inizio '800).

<sup>25</sup> In Italia Quintino Sella introdusse nell'insegnamento i principi teorici delle proiezioni assonometriche (Q. Sella, *Sui principi del disegno e specialmente del disegno assonometrico*, Milano, 1861).



**Figura 33.** I disegni tecnici per oltre un secolo sono tracciati ad inchiostro e colorati ad acquerello, con una resa figurativa che si accompagna alla precisione dei particolari. A sinistra una macchina a vapore di Watt del 1795, a destra la macchina del vapore Clermont (1807) di Robert Fulton disegnata dall'inventore che si dimostra anche buon disegnatore.

Verso la prima metà dell'800 il disegno tecnico si presentava già come uno dei pilastri della formazione del tecnico, ai diversi livelli, dall'operaio specializzato (aritmetica e disegno), ai tecnici superiori (matematica e disegno di macchine).

Le istituzioni scolastiche in cui il disegno viene formalizzato come base per la formazione professionale compaiono in anni diversi nei vari paesi europei: prima la Francia, cui fanno seguito Inghilterra e Germania. Anche in Italia sorgono, a partire dal terzo decennio del XIX secolo, scuole professionali per l'istruzione degli operai, a Napoli, a Milano, a Torino ed in altre città.

L'insegnamento del disegno è reso obbligatorio in Francia nel 1833, in Inghilterra nel 1851, in Italia a partire dai primi anni del Regno<sup>26</sup>.

Il disegno costituisce per il meccanico un mezzo mediante il quale può rappresentare con chiarezza, acutezza e rigore i suoi pensieri e le sue riflessioni, in modo da non lasciare niente da desiderare. Una macchina disegnata è come una realizzazione ideale della stessa, ma fatta con un materiale di minor costo e più facile trattamento del ferro o dell'acciaio:

così nel 1842 il Redtenbacher sintetizzava il significato del disegno di tipo tecnico, in particolare meccanico<sup>27</sup>.

<sup>26</sup> La legge Casati, del 1859, prevede l'istituzione di scuole tecniche in cui si insegnino letteratura, storia, matematica, scienze naturali, disegno.

<sup>27</sup> In Klemm, 1954; Ferdinand Redtenbacher, al Politecnico di Karlsruhe pose le basi per l'insegnamento della Costruzione di Macchine, elemento fondamentale dell'Ingegneria Meccanica, ulteriormente sviluppata dal suo allievo Reuleaux.

Ed ancora:

Ma il disegno non è solo estremamente importante per il progetto, bensì anche per la costruzione vera e propria, in quanto con questo metodo le dimensioni e la forma di tutte le parti sono fissate in modo esatto e sicuro fin dal principio, di modo che la costruzione consiste nel riprodurre con il materiale di costruzione esattamente tutto quanto il disegno rappresenta.

Ciascuna parte costituente la macchina può in generale venire costruita indipendentemente dalle altre: in tal modo è possibile suddividere il complesso del lavoro fra un gran numero di operai ed organizzare l'intera costruzione in modo che tutti i lavori possano venire eseguiti a tempo debito, nel luogo più appropriato con il minimo impiego di tempo e materiale, con esattezza e sicurezza. Con simile procedura non è possibile che si compiano errori molto gravi e qualora capitasse di trovare un errore si può subito individuare a chi è dovuto.

Ben poco vi è da aggiungere a questa lunga citazione che sintetizza la collocazione del disegno nel processo industriale ed il suo valore come sostituto del modello fisico.

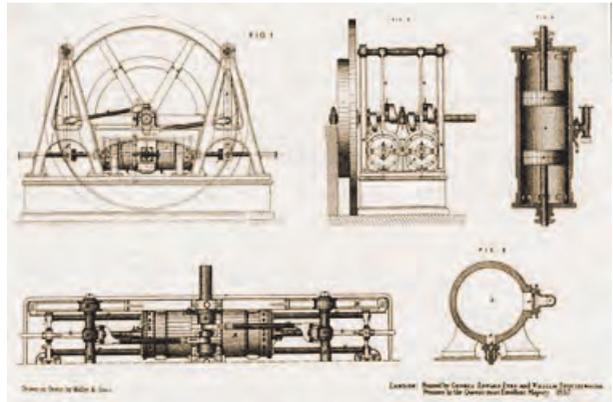
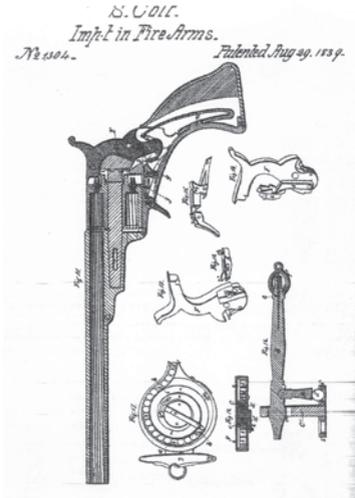
Il disegno tecnico per fornire con esattezza e rapidità informazioni essenziali per la costruzione degli oggetti ricorre a rappresentazioni sempre più semplificate e schematiche e ad indicazioni simboliche.

Il colore rende più efficace la trasmissione delle informazioni, codificato opportunamente per indicare caratteristiche particolari, ad esempio i materiali.

Si procede colorando manualmente le singole copie (non mancano nei testi le indicazioni per ottenere i colori prescritti, con opportune dosature di colori base).



**Figura 34.** Altri due disegni tecnici, colorati manualmente: a sinistra una locomotiva del 1856, a destra la ruota del piroscrafo “Verbano” del 1856 (dall’Archivio Ansaldo). In entrambi i disegni si possono osservare tecniche di rappresentazione (sezioni e semisezioni, viste parziali, dimensioni) che divengono ormai regola comune.



Sept. 22, 1959 L. BONO 2,905,119  
 ZIGZAG CONTROL DEVICE FOR SEWING MACHINES  
 Filed April 2, 1954 9 Sheets-Sheet 9

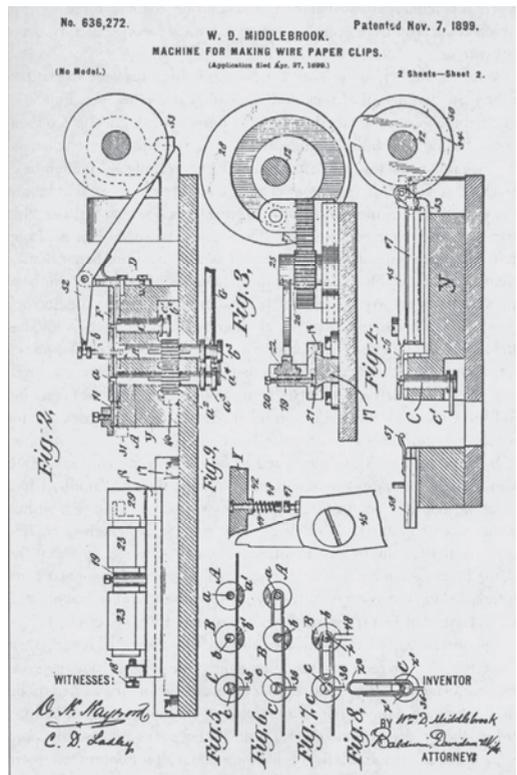
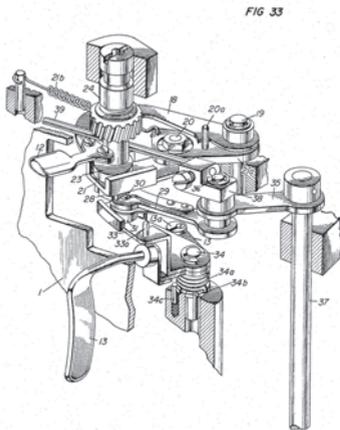
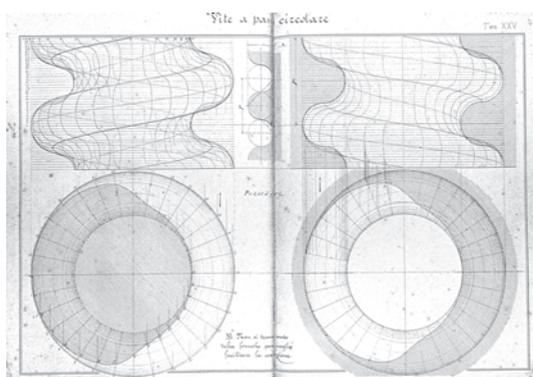
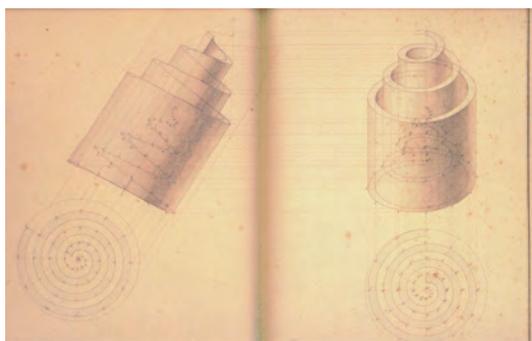


Figura 35. Disegni per brevetti, di varie epoche: in senso orario, dalla Colt del 1845 al meccanismo per cucitura a zig-zag della Necchi del 1959 passando attraverso il motore di Barsanti e Matteucci depositato in Inghilterra nel 1861 e la macchina per graffette del 1899.

Anche le crescenti esigenze di documentazione per invenzioni e miglioramenti costruttivi derivanti dallo sviluppo industriale dall'inizio del secolo danno importanza a disegni eseguiti correttamente, in grado di fornire informazioni precise, in particolare per evidenziare la novità proposta e tutelare i diritti di sfruttamento. I disegni per i brevetti costituiscono così un interessante documento sull'evoluzione dell'espressione grafica<sup>28</sup>.

Per un discorso adeguato sul disegno tecnico del XIX secolo si incontra però una notevole difficoltà nel reperire documenti originali. In primo luogo per il numero non rilevante di documenti già in origine (si è prima osservato come il disegno tecnico sia legato allo sviluppo dell'industria, presente ad inizio '800 in pochi paesi) e per uno scarso livello di conservazione, sia per la deteriorabilità del supporto, sia per la scarsa attenzione degli studiosi di storia dell'industria, per lo più interessati agli archivi contabili ed agli aspetti gestionali.



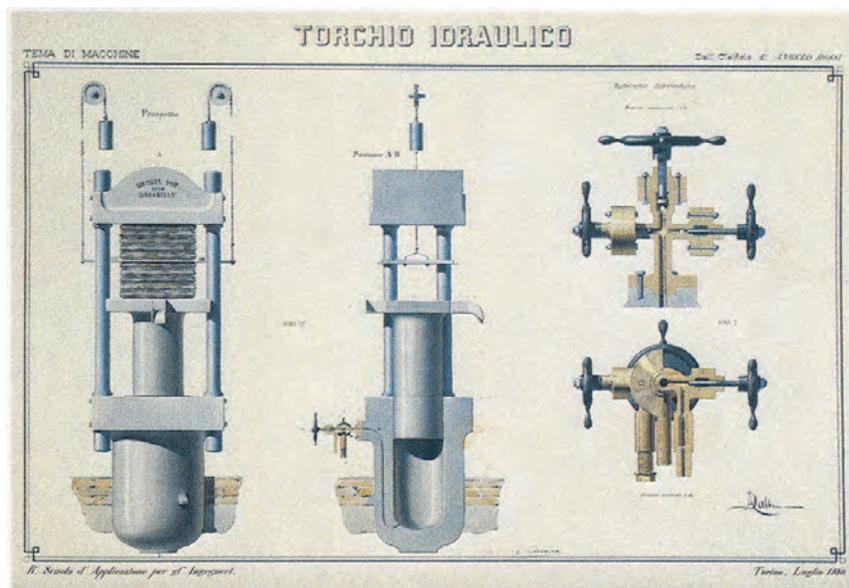
**Figura 36.** Disegni scolastici del XIX secolo (Scuole San Carlo, Torino).

<sup>28</sup> Come per altri argomenti trattati in queste brevi note, anche per i brevetti si ha un campo di indagine critica che si va estendendo in questi anni e che fornisce una documentazione iconografica di grande rilevanza. Si vedano in proposito i riferimenti citati nella bibliografia finale.

Gli esempi di disegno vanno quindi cercati nelle poche raccolte esistenti, non sempre facilmente raggiungibili, e soprattutto nelle riproduzioni su libri, oltre che negli schedari degli uffici brevetti o fra i documenti conservati in istituzioni scolastiche che hanno dato importanza al disegno.

Molte ore di disegno sono infatti previste nei piani di studio delle scuole professionali di nuova istituzione (ad esempio la Società di incoraggiamento Arti e Mestieri a Milano nel 1838 o le Scuole Tecniche Operaie San Carlo a Torino nel 1840) sono previste nei piani di studio molte ore di disegno, con due obiettivi, uno informativo, conoscenza del linguaggio grafico con cui esprimere concetti tecnici, l'altro formativo, per acquisire una "forma mentis" fatta di precisione, manualità, capacità di domandarsi i "perché" di ogni elemento di una macchina<sup>29</sup>.

I documenti che ci sono pervenuti evidenziano la cura, la capacità manuale, la competenza tecnica degli esecutori.



**Figura 37.** Un disegno del 1880 di un allievo della Regia Scuola di Applicazione per Ingegneri di Torino, ad inchiostro ed acquerello. L'esecuzione è curata ed attenta alla resa anche figurativa del soggetto.

<sup>29</sup>A conferma della risposta ad una esigenza reale, il successo delle scuole tecniche e professionali è grandissimo: nei primi cinquant'anni del Regno d'Italia, fra il 1862 ed il 1911, a fronte di un aumento del tasso generale di scolarizzazione di circa quattro volte, gli iscritti a scuole ed istituti tecnici aumentano di quasi sette volte mentre i ginnasi raddoppiano gli allievi (che sono comunque il 20% del totale); le scuole di arti e mestieri di nuova istituzione raggiungono a loro volta circa 60.000 allievi su un totale di 230.000.

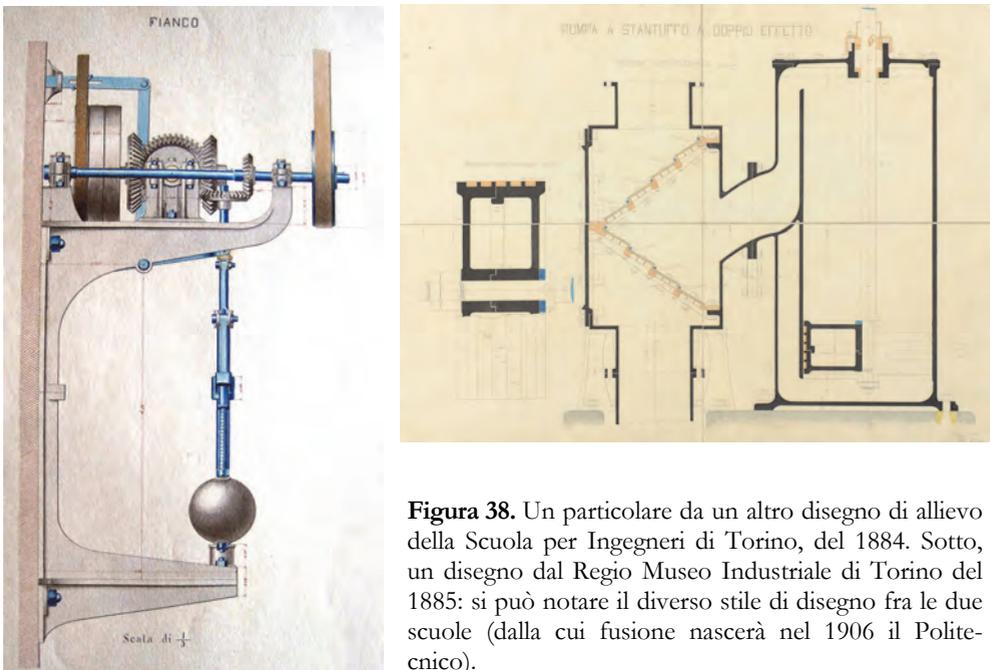
L'insegnamento del disegno si sviluppa con rigore scientifico attento alle formulazioni geometriche, ma con attenzione anche alla resa figurativa.

Nelle citate Scuole San Carlo troviamo tre corsi (triennali): Disegno d'Ornato, Disegno Meccanico, Disegno Architettonico. È interessante osservare che per i due ultimi corsi il primo anno è comune, con insegnamento del disegno geometrico e delle proiezioni, mentre la prospettiva viene insegnata all'ultimo anno della sezione architettonica, dove per la meccanica sono previsti disegni di macchine dal vero.

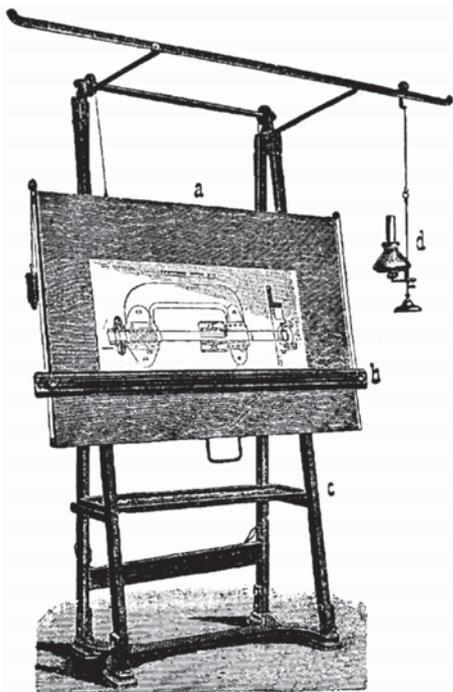
Contemporanea all'unificazione italiana è anche la nascita delle grandi scuole di Ingegneria, i futuri Politecnici (1859, Torino, Regia Scuola di Applicazione per Ingegneri; 1862, Milano, Regio Istituto Tecnico Superiore).

L'insegnamento del Disegno, per gli Ingegneri, come nelle scuole tecniche di livello inferiore, era comprensivo di tematiche diverse:

- un disegno basato sulla geometria descrittiva, spesso definito “disegno lineare”;
- un disegno essenzialmente figurativo ed illustrativo, “disegno d'ornato”, che nelle finalità e nelle applicazioni può corrispondere a molti aspetti dell'attuale “industrial design”;
- il disegno più direttamente collegato ai corsi di costruzioni (di macchine o di edifici, a seconda degli indirizzi di studio) e di supporto a questi.



**Figura 38.** Un particolare da un altro disegno di allievo della Scuola per Ingegneri di Torino, del 1884. Sotto, un disegno dal Regio Museo Industriale di Torino del 1885: si può notare il diverso stile di disegno fra le due scuole (dalla cui fusione nascerà nel 1906 il Politecnico).



**Figura 39.** Dal manuale Lueger del 1895 un tavolo da disegno con riga parallela (precursore del tecnigrafo). Curioso il particolare della lampada sospesa.

Nel “Sommaro di progetto” per la fondazione dell’Istituto Tecnico Superiore in Milano è ritenuta basilare per accedervi la prova di Disegno d’Ornato, ma Giuseppe Colombo, dal 1870, ritiene necessario far precedere i corsi di calcolo da corsi di disegno di macchine.

Nel primo anno gli allievi eseguono disegni di organi di macchine rilevandoli da modelli e quando nel 1875 Giuseppe Ponzio succede a Colombo dà impulso al corso ed incrementa la collezione di modelli, grazie anche alla collaborazione di molti industriali.

La presenza di modelli come base per il disegno di elementi di macchina, oltre a rispondere ad una precisa esigenza didattica<sup>30</sup>, era anche motivata dai testi di riferimento in cui a trattazioni spesso molto approfondite di geometria descrittiva, facevano seguito applicazioni agli organi di macchine per lo più ancora limitate sia come numero, sia come significatività<sup>31</sup>.

<sup>30</sup> L’esigenza di disporre di modelli ed il disegno dal vero di macchine e componenti, necessaria per una conoscenza diretta ed un’acquisizione concreta della realtà fisica è stata progressivamente dimenticata e non può essere validamente sostituita dai modelli virtuali.

<sup>31</sup> Uno studio comparativo dei testi per l’insegnamento del disegno negli ultimi due secoli porterebbe probabilmente ad interessanti considerazioni.

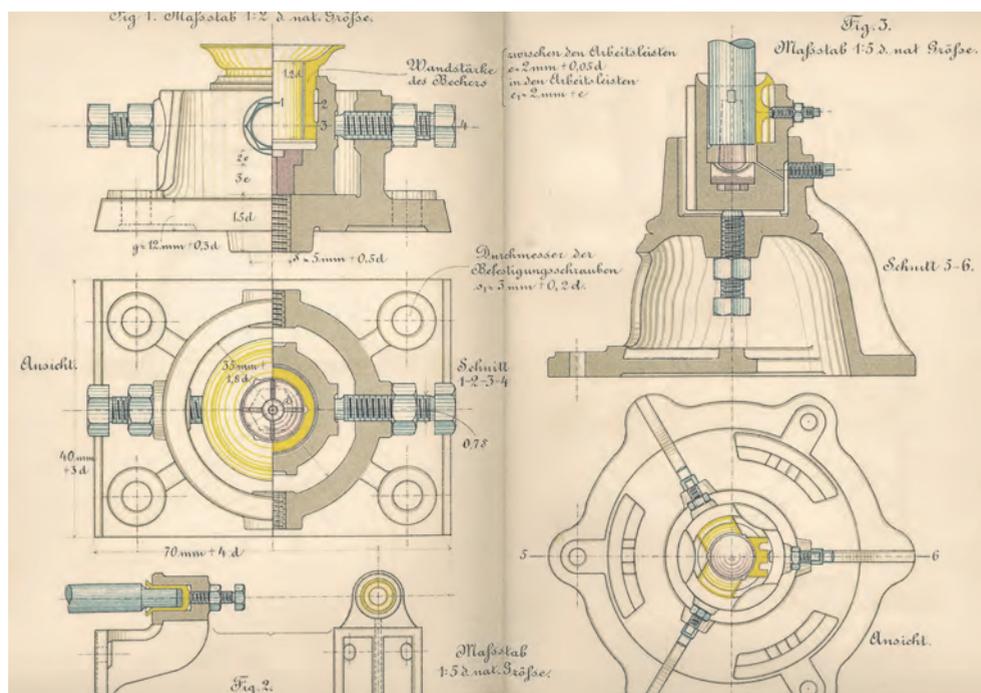


Figura 40. Disegno da un testo didattico del 1896.

Come ora visto, accanto al Disegno Meccanico particolare importanza è ancora attribuita al Disegno d'Ornato, in relazione soprattutto alla manualità che esso comporta. Un manualetto didattico “di disegno di ogni genere” della fine dell'Ottocento divide il disegno stesso in “lineare”, per l'architettura, la meccanica e l'industria e “di imitazione”, ornato, figure, animali, paesaggi, fiori e frutta e sottolinea l'importanza formativa di quest'ultimo, tanto che al disegno “lineare” non sono dedicati che pochi cenni<sup>32</sup>.

Nei manuali per ingegneri (Colombo, Garuffa, Malvasi) fino agli anni '60 il disegno non ha una trattazione specifica, oltre ad un'esecuzione precisa e secondo le norme nelle parti che trattano organi di macchine; nei manuali per periti industriali cambia l'approccio, ed il capitolo dedicato al disegno tecnico, oltre a norme e regole relative, comprende la descrizione dei vari elementi di macchina. Ciò corrisponde al fatto che lo sviluppo dell'insegnamento del disegno comprende

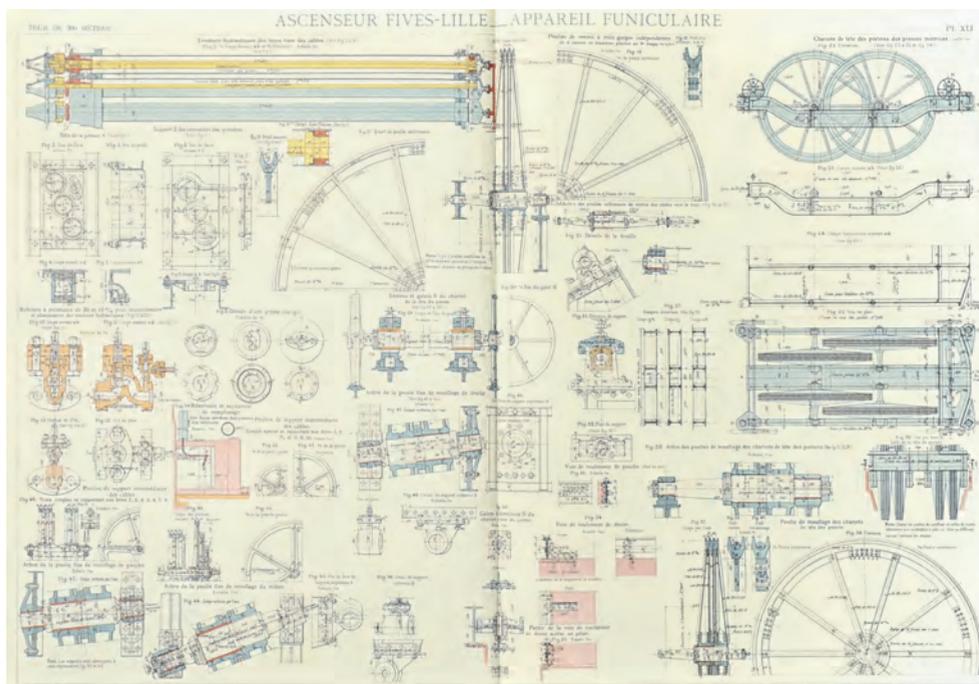
<sup>32</sup> Per molti allievi delle scuole medie degli anni '50 dello scorso secolo resta il ricordo delle difficoltà connesse al disegno “dal vero” (con il suo corredo di foglie, volute e capitelli) per chi non “aveva la mano”, solo parzialmente riscattate dalle regole certe e dalla semplicità esecutiva del “disegno geometrico” (a sua volta invisibile ad altri).

la conoscenza e la scelta di tali elementi che non richiedono calcoli approfonditi e sono quasi da considerare un aspetto pratico della progettazione.

Diverso sembra l'approccio di testi tedeschi: il Lueger dedica spazio agli strumenti da disegno e il testo di costruzione di macchine del Weitzler, anch'esso pubblicato intorno al 1895, accanto al disegno geometrico finalizzato alla rappresentazione di macchine presenta ampi esempi di disegno di macchine in varie applicazioni.

Anche il Dubbel, manuale di riferimento giunto fino ai nostri giorni in successive edizioni, riserva a regole e metodi del disegno una significativa sezione.

Per concludere con disegni significativi dell'800, riportiamo un disegno dell'opera di Gustave Eiffel che ancora oggi sintetizza tecnica e spirito "fin-de-siècle".



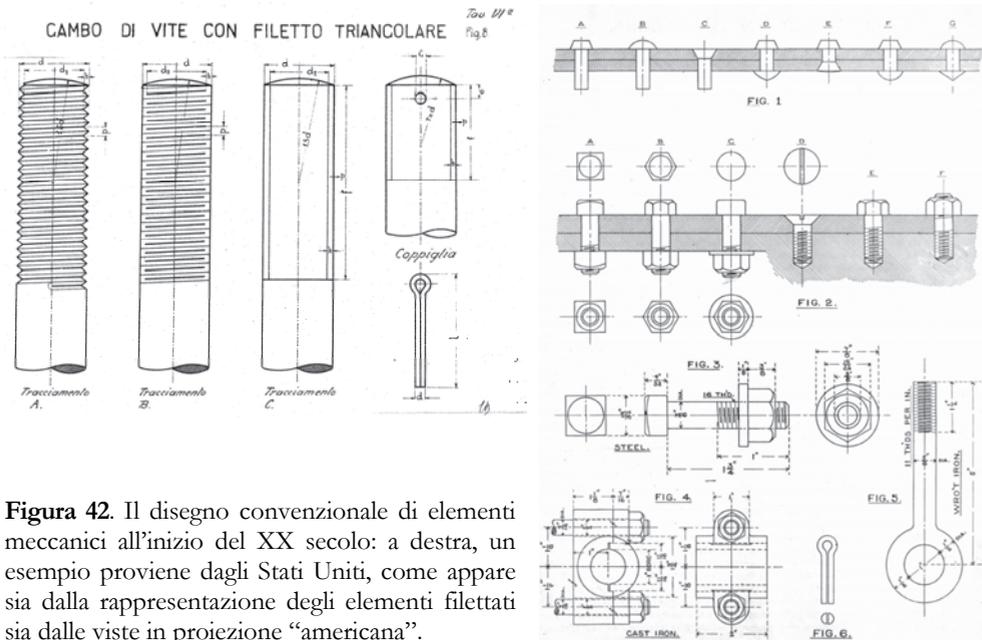
**Figura 41.** Particolari di ascensore (dall'album *La tour de 300 mètres*, che raccoglie tutti i disegni relativi alla torre Eiffel).

## Il XX secolo e oltre

Dalla fine dell'800 il disegno si identifica ormai con il progetto e la produzione industriale.

Nell'industria cresce costantemente il numero dei tecnici a tutti i livelli, con competenze sempre più ampie ed approfondite, in grado di:

- esprimere principi e soluzioni costruttive che svolgano una data funzione;
- formalizzare una situazione fisica con un modello matematico;
- eseguire calcoli;
- esprimere i risultati di un progetto con un disegno;
- leggere in modo corretto e completo disegni eseguiti da colleghi.



**Figura 42.** Il disegno convenzionale di elementi meccanici all'inizio del XX secolo: a destra, un esempio proviene dagli Stati Uniti, come appare sia dalla rappresentazione degli elementi filettati sia dalle viste in proiezione "americana".

Il disegno sempre più definito come mezzo di comunicazione tecnica perde in estetica e diviene più convenzionale, per cui, grazie a simboli e codici alfanumerici, aumentano le informazioni trasmesse (materiali, tolleranze, finiture, particolari semplificati).

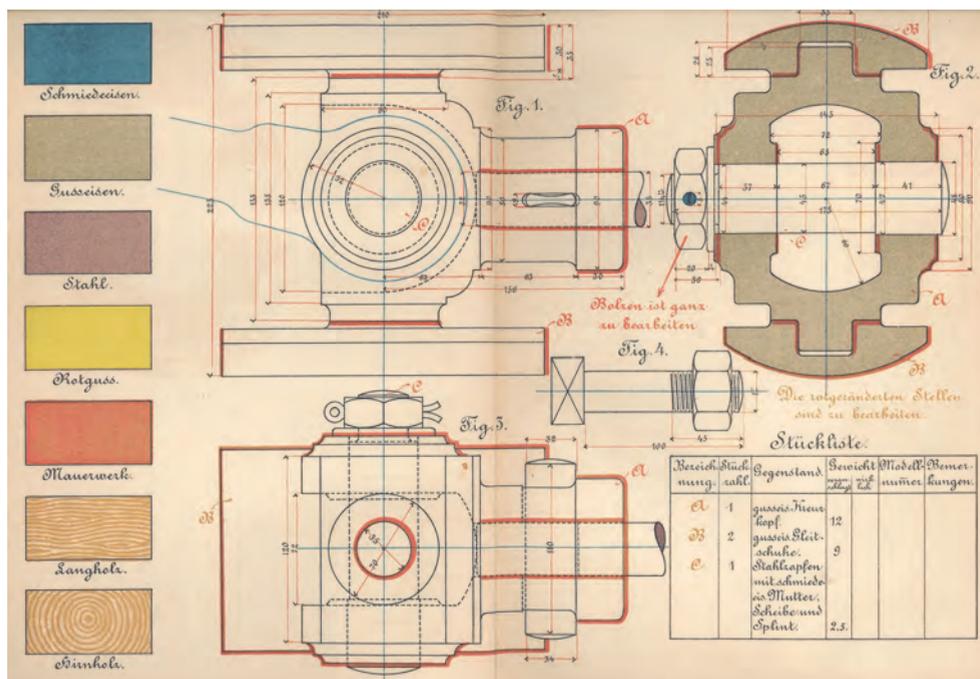


Figura 43. In un testo di fine '800 la regola per l'uso del colore.

Lo sviluppo industriale si estende ad un buon numero di Paesi, non esclusa l'Italia, e porta con sé la necessità di documentazione progettuale da inserire nei cicli produttivi senza ambiguità o difficoltà interpretative, anche nello scambio di informazioni fra paesi diversi.

L'attività di emanare norme, regole valide in ogni campo di attività umana, come concetto base è molto antica, ma viene formalizzata ed ufficializzata solo alla fine dell'Ottocento.

La standardizzazione dei prodotti si accompagna alla standardizzazione delle informazioni, nascono le organizzazioni nazionali ed internazionali che operano in questo campo. In Italia, l'ente di unificazione, l'UNI, nasce nel 1921, fra gli ultimi nei Paesi europei, e fra le prime norme emesse ci sono quelle sui disegni tecnici.

Dal suddetto anno ogni discorso sul disegno non può prescindere dalla normativa, che diventa l'asse portante dell'insegnamento a tutti i livelli e che talvolta si scontra con una realtà spesso restia, soprattutto nelle più piccole strutture aziendali, ad adeguarsi alle prescrizioni, ed anche, in molti casi a cristallizzare l'insegnamento del disegno come pura tecnica di tracciatura grafica, mettendo in ombra il suo reale significato di modello interattivo nel ciclo di progettazione e realizzazione delle macchine.

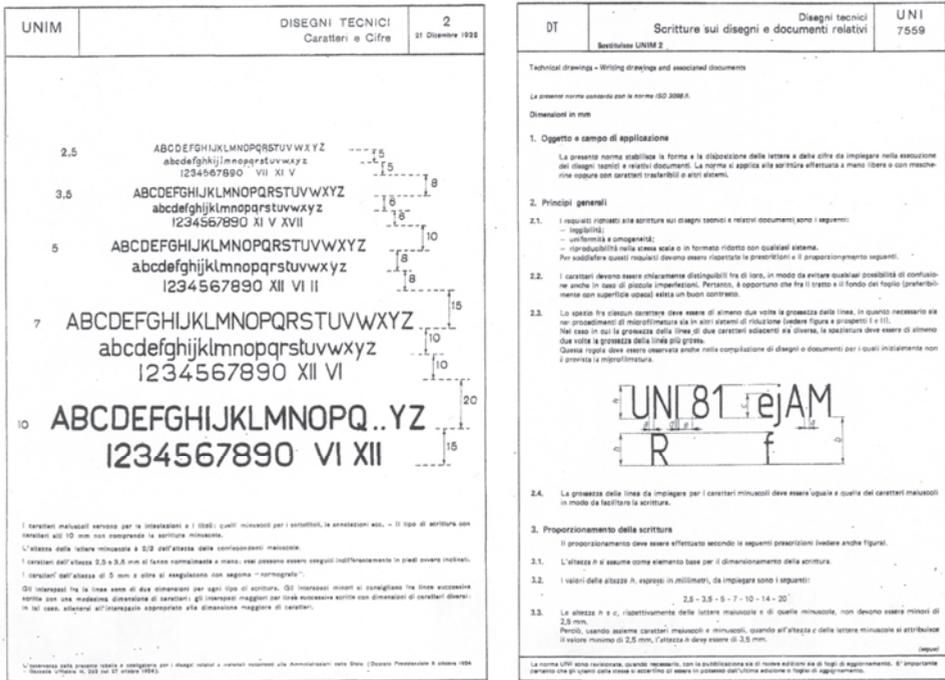


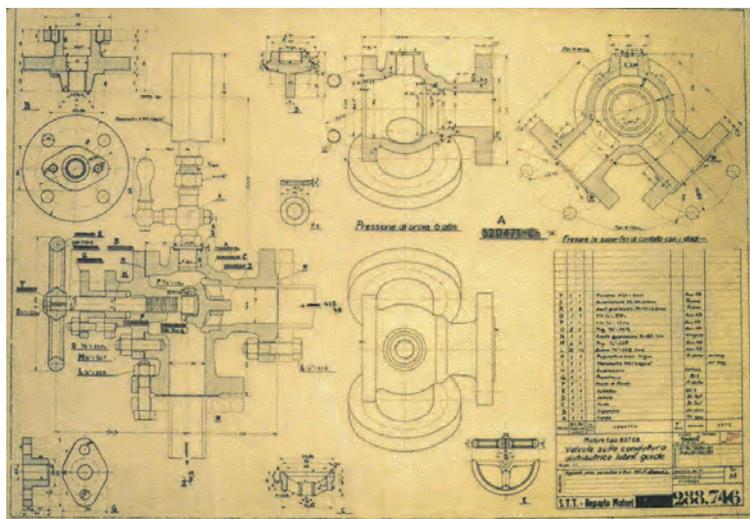
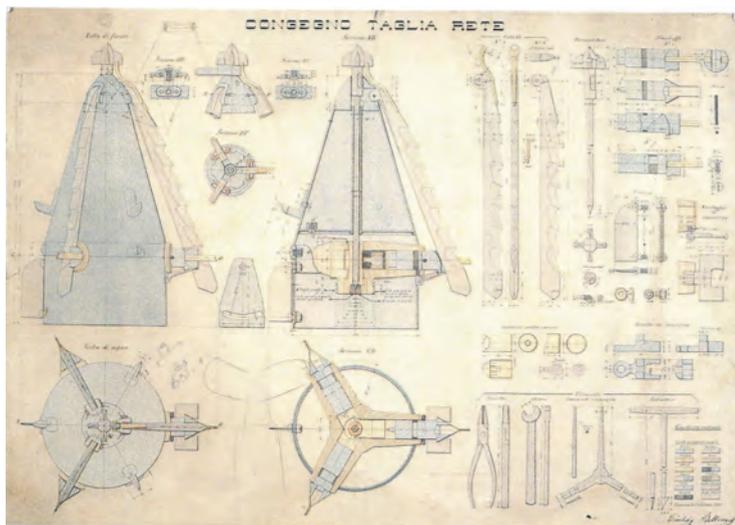
Figura 44. La normativa viene modificata per adeguarsi a nuovi metodi e strumenti: a sinistra la prima norma italiana sui caratteri da usare per scrittura sui disegni, del 1922; a destra la norma successiva, degli anni '50, cui altre seguiranno.

Ad inizio secolo il disegno restava per lo più un documento tracciato in unico esemplare: le necessità di disporre di più copie erano soddisfatte da esecutori di repliche, e si sviluppa così una gerarchia delle diverse figure professionali, dal disegnatore progettista, che conosce caratteristiche e funzioni degli elementi da assemblare in una macchina complessa, al particolarista, che di tali elementi conosce quanto basta per disegnare degli esecutivi mirati alle esigenze d'officina, al "lucidatore", cui spetta il compito di ricopiare il disegno e che prende il nome dal tipo di carta semitrasparente che viene utilizzata per questa operazione.

In una fase di transizione, fino agli anni '30, permane nel tracciamento degli originali a china la possibilità di usare diversi colori. Nei testi si trovano prescritti in alternativa colori (limitati a tre) o tratti: linea blu continua o nera a tratto e punto, per tracciare gli assi; linee a punti rossi o neri, per spigoli non in vista; rosse o nere fini continue le linee di quota. Dal 1924 dovrebbe essere in vigore la norma UNIM sull'esecuzione delle linee, ma la tradizione resiste: nello stesso periodo i disegni delle scuole serali per disegnatori meccanici mantengono assi e linee di quota in

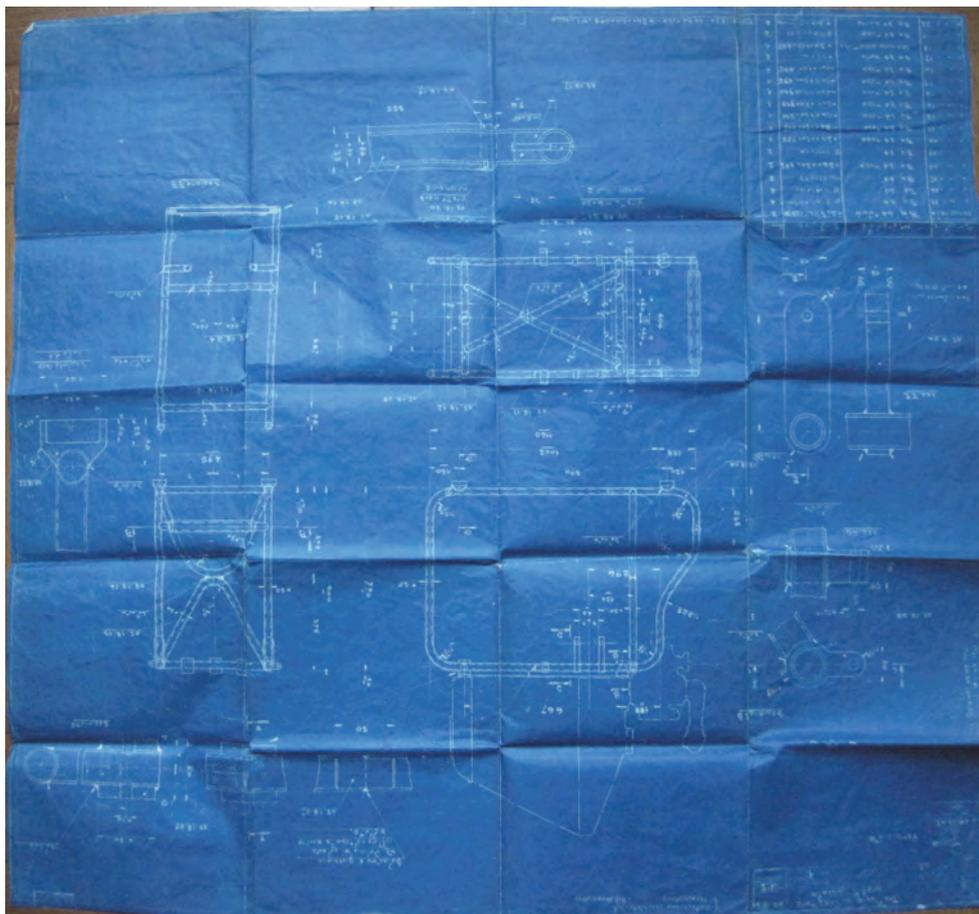
rosso, ma anche un tratto nero più spesso per i contorni “in ombra” rispetto alla sorgente di luce considerata posta in alto a sinistra del foglio!

**Figura 45.** Un disegno di fine '800 (congegno tagliareti, eseguito a Venezia nel 1895): la rappresentazione e la quotatura sono assai curate, secondo lo stile dell'epoca ed i materiali indicati con il colore.



**Figura 46.** Disegno su carta semitrasparente di una valvola: sullo stesso foglio si trovano il complessivo ed i particolari quotati. La normativa successiva scongiurerà tale pratica comunque comunemente usata, soprattutto nelle piccole officine.

La riproduzione basata sul contrasto (eliografica o cianografica) partendo da trasparenti, toglie significato all'uso di diversi colori, presenti solo negli originali, e porta a sostituirli con tratteggio per le campiture e con spessore e continuità per le linee.



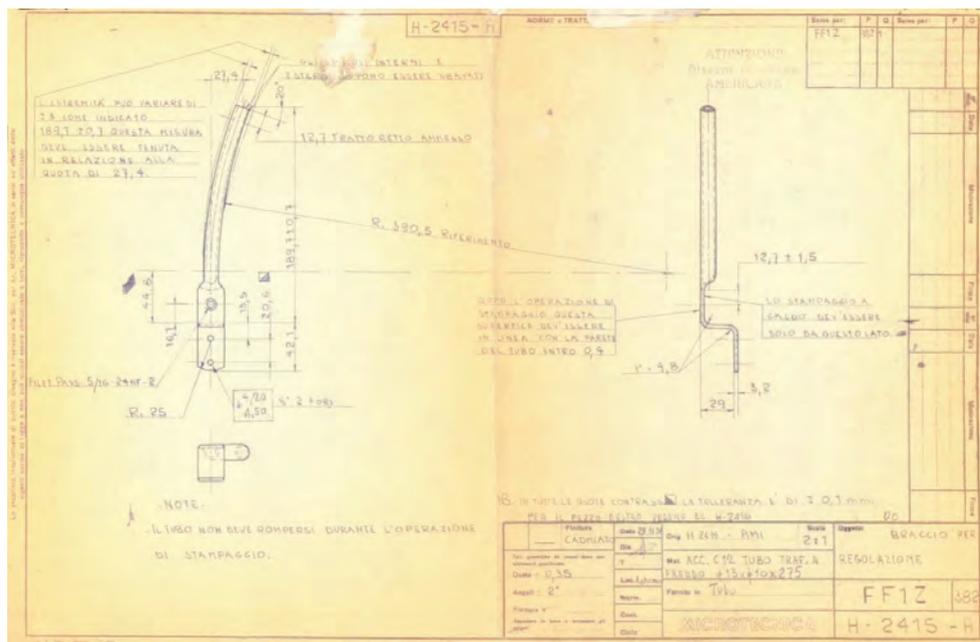
**Figura 47.** Il caratteristico disegno d'officina da riproduzione cianografica (*blueprint*).

I processi di copiatura per contatto, basati su processi fotochimici legati alla sensibilità alla luce di composti ferrocianici, per cui in corrispondenza delle linee tracciate in originale su fogli traslucidi, restavano sulla copia sviluppata delle linee bianche su un fondo uniformemente blu di Prussia, erano comparsi intorno al 1840, ma è soprattutto nel '900 che hanno caratterizzato per decenni i disegni d'officina, dei quali il termine *blueprint* è divenuto in inglese sinonimo (mentre in Italia si usa il più scientifico *cianografia*).

I processi diazotipici, nati negli anni '20, lasciano permanere sui fogli di materiale da riproduzione la traccia scura di quanto su lucido è disegnato o scritto, schiarendo tutto il rimanente, (*eliografie* o *whiteprint*), consentendo la riproduzione di dettagli anche minimi e dagli anni '50 hanno sostituito i processi precedenti. La possibilità di copiatura di fogli di grandi dimensioni ha reso questi processi

riproduttivi di largo impiego, specialmente nel campo del disegno civile, e spiega la più lenta introduzione di mezzi informatizzati in tale settore.

Negli anni '40 dello scorso secolo le esigenze di maggior efficienza qualitativa, di riduzione degli spazi di archiviazione e di riduzioni di costo (ovviamente sempre presenti nel mondo della produzione, ma esaltate dal periodo bellico) portarono ad uno sviluppo di tecniche di riproduzione xerografica ancora in uso, anche se in parziale declino di fronte alle tecniche informatiche.



**Figura 48.** Il disegno di un particolare in riproduzione diazo (*whiteprint*); si noti che nella pratica d'officina il disegno è accompagnato da indicazioni scritte che di norma non dovrebbero essere presenti in quanto la rappresentazione grafica dovrebbe essere sufficiente.

Nella seconda parte del secolo scorso il massimo successo nella riduzione degli ingombri è stato rappresentato dalla microfilmatura (in realtà nata nell'800), grazie alla sensibilità del materiale fotografico e all'uso di validi apparecchi ingranditori, la lettura (ed anche la riproduzione in formati standard) di immagini raccolte in pellicole da 35 o anche 16 mm. Anche in questo caso il mezzo ha influito sul codice: sono ben note le norme relative allo spessore delle linee da impiegare nei disegni destinati alla microfilmatura, che a loro volta hanno portato alla costruzione dei corrispondenti tracciatori a china calibrati.

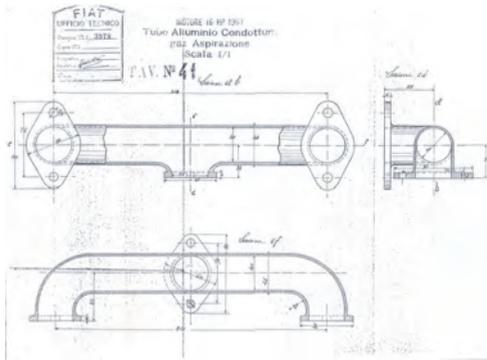


Figura 49. Il disegno di un particolare, del 1907: sono indicate le quote, ma mancano ancora tutte le indicazioni relative a tolleranze, lavorazioni e simili.

L'evoluzione dei metodi di rappresentazione è influenzata anche dagli strumenti per l'esecuzione e la riproduzione dei disegni e a sua volta influisce su metodi e forme di rappresentazione.

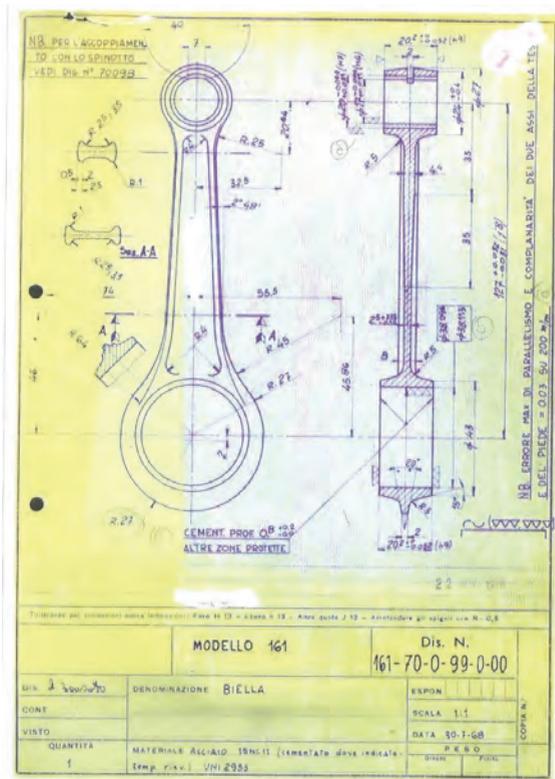
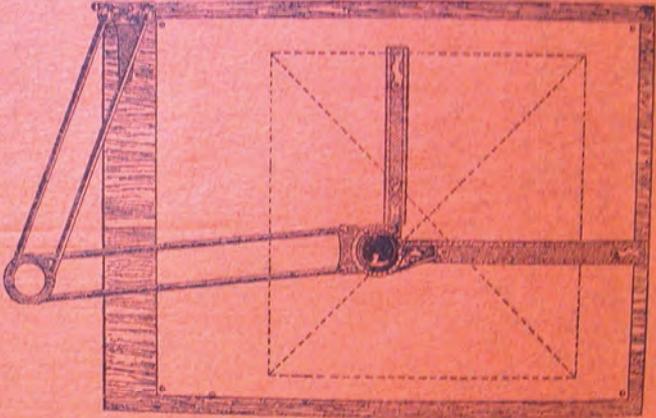


Figura 50. Un disegno di fabbricazione del 1968, eseguito secondo le norme ma con diverse indicazioni scritte anche relative alle tolleranze geometriche, non ancora espresse in forma convenzionale.

Che cosa è ?.....; A che cosa serve ?.....

È il "TECNIGRAFO", un apparecchio che racchiude in sé tutti gli antichi strumenti da disegno, come: squadre, righe, goniometro, doppio decimetro, righe a T, scale, ecc. È di facile uso, non richiede manutenzione, non si guasta, non importa che un'unica spesa, mentre dà costantemente ed illimitatamente gran rendimento

Serve a tutti i generi di disegni, che con esso possono venire eseguiti con immensa rapidità e precisione. Il "Tecnigrafo", elimina tutti gli antichi strumenti che oggi non rispondono più alle esigenze della tecnica; che sono incomodi, facilmente deteriorabili, e per nulla sicuri. Rende il disegnare piacevole, senza stancare chi lo adopera; risparmia tempo e danaro ed è tanto pratico e sicuro che in poco tempo è diventato diffusissimo in Italia



**GRATIS** CATALOGO E SCHIARIMENTI

Nella domanda citare questo periodico

**GIOVANNI FERRARIS - TORINO**  
Telefono 0 49      Piazza Solferino, 8

**Figura 51.** Un tecnigrafo in una pubblicità del 1913 (l'*Encyclopaedia Britannica* data agli anni '30 la comparsa di quella che è definita *drawing machine*).

Per la prima tracciatura manuale dei disegni gli strumenti fondamentali (riga, squadre, compassi) non cambiano essenzialmente nei secoli anche se strumenti di più comodo uso si affiancano ad essi negli studi e uffici tecnici, culminando con i tecnigrafi, sempre più perfezionati.

Anche le matite, sempre più affidabili nella loro anima di grafite, lasciano il posto ai portamine a scatto ed alle mine calibrate, mentre l'uso dell'inchiostro di china passa dal tiralinee alle penne a pennino tubolare calibrato, con alimentazione prima a serbatoio e poi a cartuccia.

Per quanto riguarda l'insegnamento, dall'inizio del Novecento il disegno è una disciplina consolidata nei programmi ed i testi di disegno dell'epoca cercano di adeguarsi ad essi: l'eredità ottocentesca fa insistere ancora su particolari, quali ombre e colori che, tecnicamente non essenziali, abbelliscono però il disegno e testimoniano l'abilità dell'esecutore. Dopo l'introduzione della normativa l'insegnamento del disegno diviene, essenzialmente, l'insegnamento delle norme ed entra nella sua fase "moderna": segue l'evoluzione degli strumenti da disegno, si adegua allo sviluppo della realtà che

deve rappresentare (ad esempio, mediante sistemi schematici e semplificati di rappresentazione), applica gli strumenti didattici ritenuti di epoca in epoca più efficaci, sia per l'insegnamento autodidattico, sia per quello istituzionalizzato.

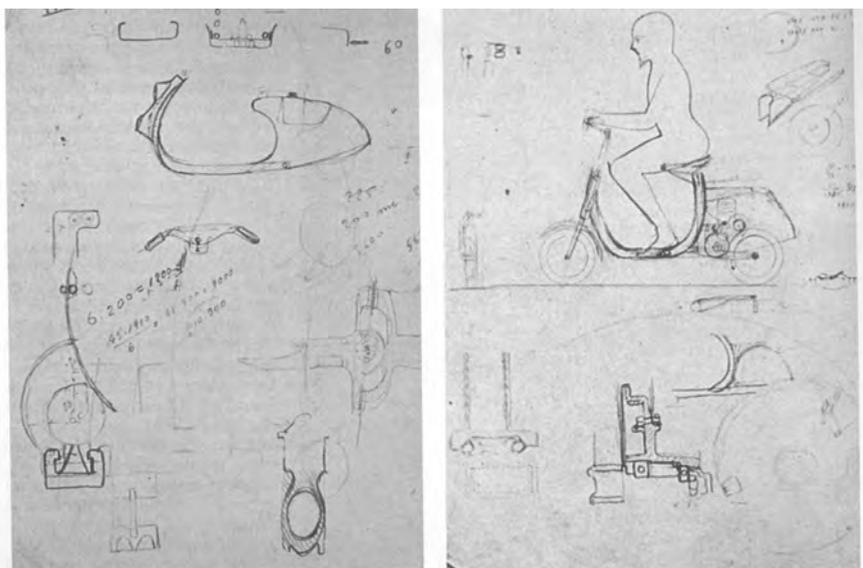


**Figura 52.** Anticipazione di strumenti attuali: a sinistra il portalapis di Giesser (1565), a destra una penna per china a serbatoio del 1911.

I testi si adeguano a queste esigenze e si avvalgono di soluzioni innovative, quali illustrazioni di grande chiarezza didattica, esercizi con soluzioni e commenti per autocorrezioni, testi sequenziali.

Il disegno, particolarmente nell'ultima parte del secolo, si integra con i contenuti che deve trasmettere e tende a sviluppare, insieme alla rappresentazione, le possibili soluzioni costruttive dell'oggetto rappresentato.

Il disegno interpretato come un linguaggio che deve trasmettere contenuti tecnici viene esaminato dai punti di vista semantico e comunicativo e ne vengono studiate le implicazioni con la teoria della percezione. L'insegnamento tende sempre più ad avvalersi di nuove tecniche didattiche, quali, ad esempio, l'istruzione programmata, volte particolarmente ad uniformare la formazione di grandi numeri di allievi di preparazione eterogenea, conseguente alla liberalizzazione degli studi.



**Figura 53.** Lo schizzo ha sempre costituito attraverso i secolo un supporto alla progettazione: in questo caso il progettista è Corradino D'Ascanio, il creatore della Vespa.

La necessità che il disegno debba tenere conto di esigenze progettuali e tecnologiche, lo collega sempre più strettamente alla progettazione, da un lato, e alla tecnologia, dall'altro.

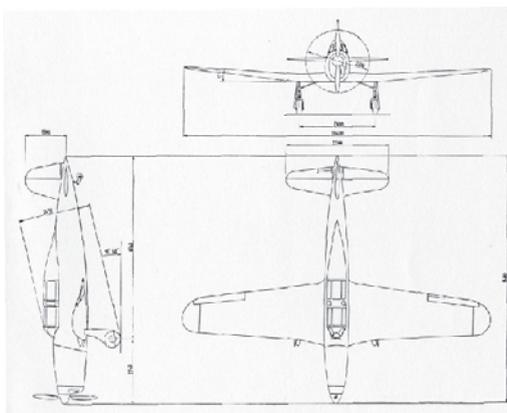
Negli ultimi decenni, il disegno a mano libera viene sempre più limitato al ruolo di schizzo, strumento insostituibile per fissare le prime idee del progettista, e poco spazio viene dato alle forme illustrative, di tipo assonometrico ed, ancor meno, prospettico.

Ovviamente bisogna tener conto che esistono forme di disegno, sempre definibile come tecnico, caratteristico di diversi settori.

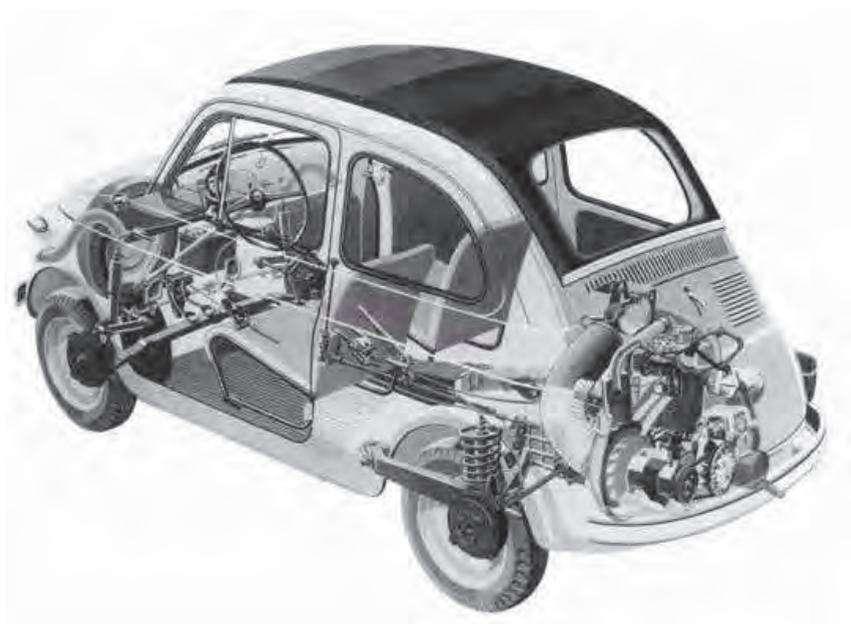
A livello di documentazione si pensi al "trittico" usato in campo aeronautico o automobilistico per definire nei suoi aspetti fondamentali un velivolo o un automezzo o, negli stessi campi, le viste prospettiche con spaccati parziali che, con grande perizia grafica, ricordano tipi di rappresentazione già viste secoli or sono.

Per i disegni più strettamente legati a processi produttivi o a tecnologie specifiche basti ricordare i disegni quotati per esigenze di lavorazione a controllo numerico o le indicazioni per i pezzi da ottenere per stampaggio o per fusione.

Lo sviluppo degli strumenti informatici cambia poi radicalmente l'approccio alla rappresentazione, portando a forme figurative riemerse dal passato ed a possibilità del tutto nuove (animazione, realtà virtuale, ecc.).

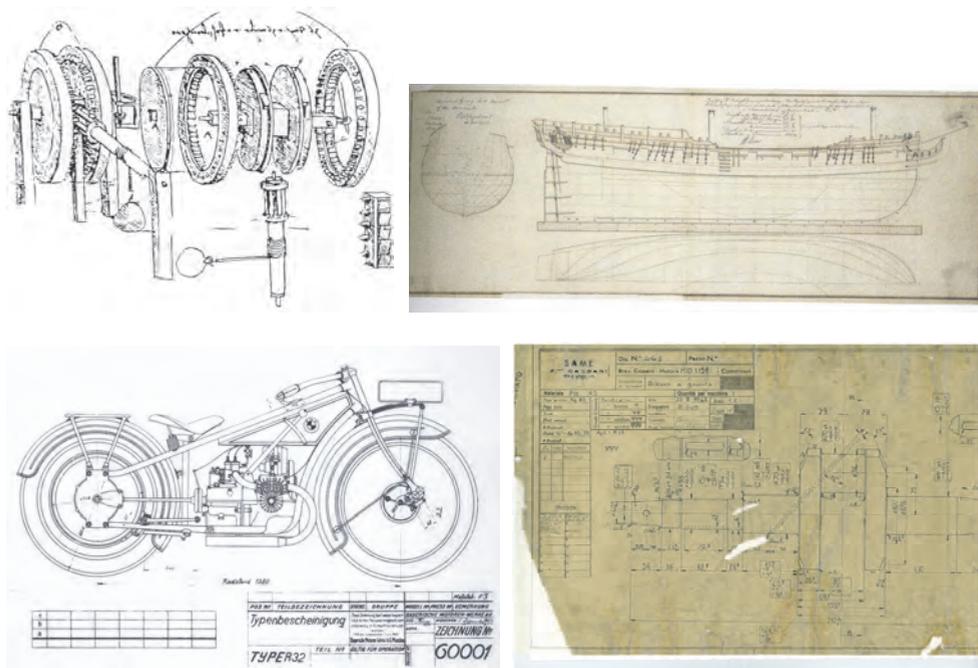


**Figura 54.** Un tipico trittico di definizione di un aereo.



**Figura 55.** Uno spaccato (*cutaway*) di autovettura: il disegno illustra i particolari del veicolo e la bravura del disegnatore.

Quando si vogliono raccogliere o studiare disegni tecnici del XX secolo il campo in cui scegliere è vastissimo. Accanto ai documenti formalmente rifiniti ci sono disegni di lavoro, idee schizzate a matita o inchiostro. Ci sono disegni elaborati per una presentazione, arricchiti da elementi artistici. Ci sono disegni stampati, come materiale commerciale (cataloghi e pubblicità) e i disegni di brevetti.



**Figura 56.** A partire dall'alto a sinistra: un disegno di Leonardo con una vista esplosa di un particolare meccanico, in anticipo sui tempi e moderno nella percezione; un disegno di costruzioni navali di inizio '700 che potrebbe essere stato fatto anche in tempi recenti; un'immagine di motocicletta degli anni '20; un disegno esecutivo di un albero motore degli anni '40. Il disegno accompagna l'uomo nei suoi rapporti con la tecnica attraverso i secoli.

Si tratta di materiale che documenta visivamente la creatività industriale, dall'inventore al venditore, catturando sulla carta gli aspetti chiave dei processi tecnologici ed industriali. Sono immagini che illustrano pensiero, organizzazione, lavoro e produzione.

Gli esempi riportati sintetizzano rapidamente questa evoluzione, che si sviluppa lungo il secolo, con cambiamenti graduali che si inseriscono su un aspetto grafico sostanzialmente immutato nelle sue regole fondamentali.

Un'analisi filologica dei disegni tecnici vede un'indagine critica che tocca:

- viste d'assieme e particolari
- dimensioni e scale
- posizione di viste e sezioni
- tipo di linee
- individuazione delle sezioni
- collocazione e valori delle quote

- indicazioni convenzionali
- riquadro delle iscrizioni
- scritte accessorie.

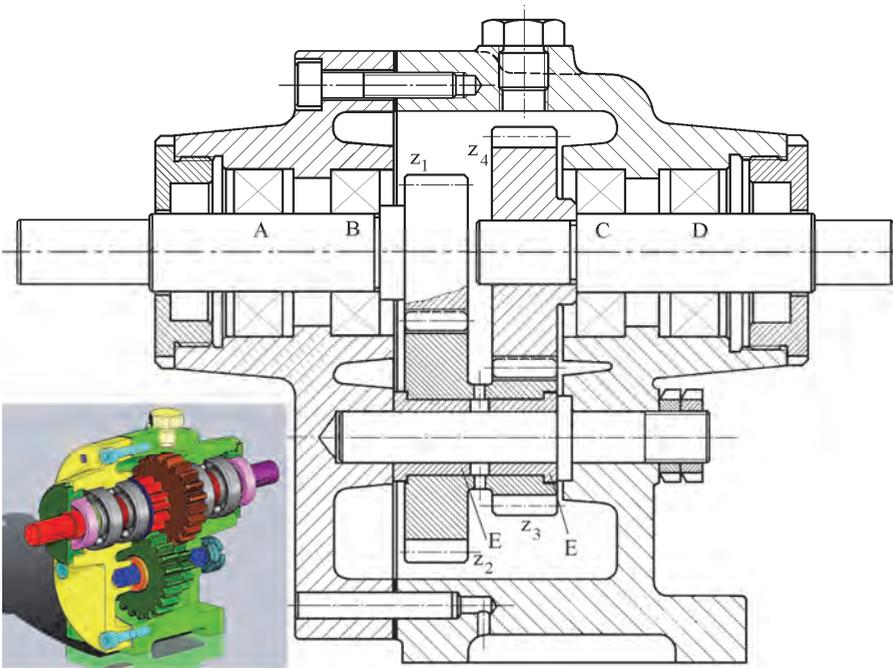
Si possono individuare tendenze generali, conseguenze dell'introduzione di nuovi strumenti, influenza dell'organizzazione della produzione, necessità di comunicazioni non ambigue.

In pratica si possono confrontare differenze, trovare affinità, collocare i documenti grafici nel loro contesto storico.

### Gli ultimi sviluppi

Un cambiamento sostanziale, di metodi ed obiettivi raggiungibili con la rappresentazione, si ha con l'avvento del calcolatore che, nel disegno come in altri settori della tecnica, inizia sistematicamente a partire dagli anni Settanta.

La cosiddetta "rivoluzione informatica" fa sentire i suoi effetti, inizialmente come semplice ausilio, ma poi come sconvolgimento di metodi e concezioni stabilizzate.



**Figura 57.** La diversa resa del disegno tecnico tradizionale in proiezione ortografica e del modello ottenuto con un programma di modellazione tridimensionale.

Dapprima infatti ci si trova di fronte all'automatizzazione del disegno: tracciamento di linee, esecuzione di curve e raccordi, tratteggi e quotature, realizzati con la pressione di pulsanti e lo spostamento di cursori. È il periodo del cosiddetto "tecnigrafo elettronico", con programmi di tracciamento bidimensionale e visualizzazione su schermo, con tutte le possibilità di correzione, ingrandimento, archiviazione che rendevano obsoleti i mezzi precedenti, per quanto perfezionati.

Un altro esempio di possibilità offerte dal nuovo mezzo, riprendendo soluzioni in parte già presenti nel passato ma poi tralasciate per esigenze tecniche, è l'uso del colore. In questo caso non cambia nulla nell'impostazione dei disegni, per quanto riguarda i metodi di rappresentazione, ma si aggiunge una ulteriore codificazione, in grado di fornire informazioni su specifiche caratteristiche, siano esse indicazioni di lavorazione o classificazioni funzionali dei componenti.

Poi, in considerazione che ai punti dello spazio tridimensionale non vengono più associati soltanto dei punti sul piano, ma coordinate che li collocano in uno spazio anch'esso tridimensionale, anche se virtuale ed esistente solo negli algoritmi del calcolatore, si è aperto uno scenario completamente diverso che coinvolge la realizzazione di modelli 3D dei pezzi e degli assiemi da rappresentare (CAD), la simulazione dei percorsi degli utensili (CAM) o quella di condizioni di funzionamento (CAE), fino alla realtà virtuale (VR) ed ai suoi sviluppi.

Gli oggetti continuano ad essere rappresentati sul piano, ma in modo dinamico: la raffigurazione può cambiare continuamente, variando il punto di vista, muovendo l'oggetto nello spazio, sezionando con piani anch'essi mobili.

Con sistemi di "reverse engineering" si può, partendo dall'oggetto reale, arrivare al modello CAD e con sistemi di prototipazione rapida (RP) arrivare, partendo dal modello CAD, a prototipi reali che, in taluni casi, sono già prodotti finiti.

Nel disegno attuale, non appena le idee progettuali prendono corpo, si passa alla modellazione 3D, che poi darà luogo, se necessario, ad una serie di "messe in tavola" per l'ottenimento dei disegni costruttivi dei vari pezzi, ancora in forme tradizionali. Il modello 3D consente anche di effettuare simulazioni di congruenza cinematica, di sollecitazioni meccaniche, termiche, di deformazioni: il moderno disegno da "modello grafico" diviene "prototipo virtuale".

Il disegno ha sostituito nel XIX secolo il modello fisico e ora un modello (sia pure virtuale) sostituisce nuovamente il disegno, che tuttavia rimane ancora strumento essenziale nel ciclo di vita di una macchina, semplice o complessa.

L'uso degli strumenti informatici influisce anche sullo studio della tecnica dal punto di vista storico, per il quale un importante significato del disegno è il costituire una registrazione: come s'è detto gli inventori allegano disegni alle loro richieste di brevetto, le aziende tengono disegni delle macchine che costruiscono, come memoria e riferimento per le riparazioni, nei libri e nelle riviste i disegni sono

immagini significative di un'epoca. Si tratta di documenti che registravano gli aspetti del mondo loro contemporaneo ed oggi ci ricordano macchine e oggetti che non sono più in uso o di cui non sono rimasti esemplari.



**Figura 58.** Il disegno di un particolare di motore Diesel, dall'archivio SAME di Treviso (in cui risulta evidente la necessità di un restauro conservativo) e la sua rielaborazione con un programma di modellazione tridimensionale.

I disegni, comunque realizzati, non sempre di facile interpretazione, spesso danneggiati o incompleti, illustrano forme, strutture, particolari, e sono una base di studio fondamentale per capire le capacità, le potenzialità, il funzionamento, il valore innovativo degli oggetti rappresentati, nel contesto del loro tempo.

L'utilizzo di sistemi di archiviazione informatica costituisce allora in primo luogo uno strumento di grande validità per la conservazione e la consultazione, in presenza di documenti di per sé delicati, facilmente deteriorabili e spesso in

condizioni precarie: si stanno perciò sviluppando ampiamente delle applicazioni che consentono la fedele riproduzione dei disegni ed anche il loro restauro.

Uno sviluppo correlato, che consente studi e valutazioni di grande interesse, consiste nel basarsi sui disegni originali realizzati nella fase di progettazione per ridisegnare, con l'ausilio di un moderno software di disegno tridimensionale, gli elementi costruttivi. In tal modo è possibile creare un modello per valutare le differenze di progettazione e costruzione dell'epoca esaminata rispetto ai giorni nostri<sup>33</sup>.

Una considerazione al termine di questa rapida corsa attraverso i secoli per ricordare e ritrovare le diverse forme di disegno tecnico.

I disegni del passato possono essere visti non solo come oggetti di memoria.

Gli antichi tecnici pratici imparavano il loro mestiere disegnando macchine ed opere di ingegneria civile, sia copiando da libri sia schizzando sul campo.

Dai disegni storici si ricavano informazioni dettagliate sulle costruzioni e sulle soluzioni costruttive nelle rispettive epoche.

Essi, quindi, possono essere anche oggetto di un particolare interesse tecnico. Le soluzioni costruttive del passato, con un'ovvia valutazione critica dei principi che stanno alla loro base, possono costituire una raccolta di idee utilizzabili nella progettazione moderna.

L'esigenza di tale modalità di fruizione e l'enorme mole di disegni storici attualmente disponibili impongono, quindi, la realizzazione di un efficace ed efficiente sistema di catalogazione, il cui principale scopo consista nel porre in luce e nel rendere utilizzabile l'aspetto tecnico dei disegni storici, senza però trascurarne tutti gli altri aspetti culturali ed estetici.

Oltre ai singoli disegni, sono di particolare interesse anche gli interi archivi di disegni, ad esempio di quelle aziende con un vasto patrimonio di disegni, sia storici, sia attuali, che racchiudono al loro interno l'intera evoluzione di un prodotto.

---

<sup>33</sup> Grazie alla presenza di programmi dedicati, interfacciabili con il modello 3D dell'oggetto, si possono rielaborare i calcoli di progetto, assai più difficoltosi al tempo della progettazione originaria in quanto fatti interamente in maniera manuale, e sviluppare analisi strutturali non previste in origine.

## I “TEATRI DI MACCHINE”

ANNO	AUTORE	TITOLO	LUOGO
1569	Jacques Besson	Theatrum Instrumentorum et Machinarum	Lione
1588	Agostino Ramelli	Le diverse et artificiose machine	Parigi
1607	Vittorio Zonca	Novo teatro di macchine et edificiï	Padova
1615	Salomon de Caus	Les Raisons des Forces Mouvantes	Francoforte
1618	Jacopo de Strada	Dessins artificieux de toutes sorte de machines	Francoforte
1629	Giovanni Branca	Le machine	Roma
1662	Georg Andreas Boeckler	Theatrum Machinarum Novum	Norimberga
1666	Kaspar Schott	Technica curiosa	Norimberga
1724	Jacob Leupold	Theatrum machinarum generale	Lipsia
1757	Jan Schenk	Theatrum Machinarum Universale	Amsterdam

## EVOLUZIONE DEI METODI DI DISEGNO

DA	TIPO	STRUMENTI	TECNICHE DI RIPRODUZIONE
<i>seconda metà del XVI sec.</i>	Disegno manuale	Tradizionali ( <i>righe, squadre, compassi</i> )	Copie manuali
<i>fine del XIX sec.</i>	Disegno manuale	Strumenti ausiliari ( <i>tecnigrafî</i> )	Copie per trasparenza, microfilmatura
<i>seconda metà del XX sec.</i>	Disegno automatizzato 2D	Elaboratori elettronici	File su memorie esterne (nastri, dischetti)
<i>fine XX sec.</i>	Modellazione 3D	Personal computer	File su CD e DVD, collegamenti Web
<i>inizio XXI sec.</i>	Realtà virtuale	Stazioni di lavoro, strumenti di immersione operativa	c.s.

## BIBLIOGRAFIA

- Disegni di macchine: evoluzione di un linguaggio nello sviluppo della tecnica*, Catalogo della Mostra, Udine, Provincia di Udine, 1986 (2<sup>a</sup> ed. Milano, 1987).
- Baynes K., *Forme della rappresentazione*, in *Storia del Disegno Industriale*, vol. I, Electa, Milano, 1989.
- Baynes K., Pugh F., *The Art of the Engineer*, Lutterworth Press, Cambridge, 1981.
- Belfanti C.M., *Tecnici, empiristi, visionari*, Grafo, Brescia, 2002.
- Cambiaghi D., Chirone E., Gamba F., *Attualizzazione dei disegni tecnici, strumenti per la storia dell'ingegneria*, Atti 4<sup>o</sup> Conv. Naz. Storia dell'Ingegneria, Napoli, 2012.
- Chirone E., *Il Disegno Tecnico, uno strumento dello sviluppo industriale*, in *Scienza, Tecnica e Industria nei 150 anni di unità d'Italia*, Jaca Book, Milano, 2011, pp. 109-116.
- Chirone E., Cambiaghi D., Villa V., *Uno sguardo sul passato del Disegno Tecnico, pensando al futuro*, Actas Congreso Internacional "De la tradicion al futuro", XVII INGEGRAF-XV ADM, Sevilla, 2005.
- Chirone E., Cambiaghi D., *Meccanica e macchine nella rappresentazione grafica fra Medioevo e Rivoluzione Industriale*, Atti Congresso Internazionale "Dall'idea al prodotto", XIX INGEGRAF-XVI ADM, Perugia, 2007, pp. 531-540.
- Chirone E., Colosi G., *Alcune note sull'evoluzione del disegno meccanico*, Atti Meeting "Disegno Industriale e applicazioni", Bari, 1984, pp. 613-644.
- Chirone E., Rovida E., *Alcune riflessioni sulla Storia del Disegno in ambito industriale*, Atti 3<sup>o</sup> Conv. Naz. Storia dell'Ingegneria, Napoli, 19-21 aprile 2010.
- Chirone E., Rovida E., *Uno sguardo retrospettivo sugli strumenti del disegno*, Atti Conv. XIV ADM - XXXIII AIAS, Bari, 2004.
- Chirone E., Pizzamiglio P., *Niccolò Tartaglia matematico e ingegnere*, Atti 2<sup>o</sup> Conv. Naz. Storia dell'Ingegneria, Napoli, 6-8 aprile 2008.
- Chirone E., Tornincasa S., *Disegno Tecnico Industriale*, vol. I, Il Capitello, Torino, 1996, (2<sup>a</sup> ed. 2006).
- Galluzzi P. (a cura di), *Prima di Leonardo. Cultura delle macchine a Siena nel Rinascimento*, Electa, Milano, 1991.
- Lefevre W. (ed.), *Picturing Machines*, MIT Press, Cambridge, 2004.
- Maccagni C., *Il disegno di macchine dal Medioevo al Rinascimento*, in "Disegni di Macchine", Catalogo della Mostra, Udine, 1986.
- Marchis V., *150 (anni di) invenzioni italiane*, Codice, Torino, 2011.
- Marchis V., *Storia delle macchine. Tre millenni di cultura tecnologica*, Laterza, Roma-Bari, 2005.
- Massironi M., *Vedere con il disegno. Aspetti tecnici, cognitivi, comunicativi*, Muzzio, Padova, 1989.
- Proust J. (a cura di), *L'Encyclopedie. Planches et commentaire*, Hachette, Paris, 1985.
- Recht R., *Le dessin d'architecture*, Paris, 1995 [trad. it. *Il disegno d'architettura*, Milano, Jaca Book, 2001].
- Robin H., *The Scientific Image*, Oxford University Press, New York, 1992.
- Rovida E., *Dallo scalpello al mouse*, Paravia, Torino, 1999.



## Progettazione di macchine

### Introduzione

L'attuale stadio della nostra civiltà è stato definito da taluni *civiltà delle macchine*. Se è vero che la tecnologia ha da sempre avuto un ruolo importante nella vita umana, è indubbio che l'uomo moderno dipende dalle macchine che egli stesso costruisce molto più dei suoi predecessori, al punto che senza macchine la nostra stessa vita fisica risulterebbe impossibile. Per rendersene conto, basta pensare ad esempio all'impossibilità di produrre cibo per un'umanità sempre più numerosa senza macchine agricole o al sempre maggior uso di macchine nella medicina.

L'attività di ideare, progettare e costruire le macchine ha assorbito nel recente passato una rilevante parte dell'attività umana.

Il XX secolo si apriva nella generale, assoluta e un po' ingenua fede nel progresso, ben sintetizzata nel ballo *Excelsior*. Le esposizioni, come quella di Parigi del 1881 celebravano il trionfo dell'acciaio e della macchina, assunta a simbolo di questo progresso. Persino l'architettura e l'arte (Fig. 1) erano permeati di tale fiducia.

Poco prima dell'inizio del secolo Oscar Wilde scriveva:

Tutto il macchinario può essere bello, anche se non è decorato. Non cercate di decorarlo. Noi non possiamo che pensare che tutte le buone macchine siano anche belle, essendo una sola la linea della resistenza con quella della bellezza [1].

L'architetto futurista Sant'Elia auspicava «la casa futurista simile a una macchina gigantesca» [2] e Frank Lloyd Wright nel suo manifesto sull'arte e la tecnica della macchina [3] parlava di una

età dell'acciaio e del vapore [...] l'età della macchina, in cui le locomotive, le macchine industriali e quelle della guerra o le navi a vapore prendono il posto che le opere d'arte avevano nella storia precedente.

In questa atmosfera di progresso continuo e di grandi speranze la pratica costruttiva delle macchine subiva una rapida evoluzione, che sarebbe proseguita a ritmo accelerato sino ai nostri giorni, anche quando il clima culturale era ormai ben diverso e le illusioni avevano lasciato il posto a uno scetticismo e talvolta a un'ostilità ingiustificati.

**Figura 1.** *Machine, Tournez Vite*, di Francis Picabia (1879-1953). Tempera su carta, 1916. New York, collezione privata.



## Tendenze generali

Almeno per la prima metà del secolo le linee evolutive seguivano il solco già tracciato e l'impressionante sviluppo che ebbe luogo fu sostanzialmente un'evoluzione all'insegna della continuità.

Solo dopo il decennio 1950-60 si manifestò una vera rivoluzione, che introdusse novità che nessuno aveva previsto e che trasformarono profondamente non solo le macchine ma lo stesso modo di vivere e di lavorare degli uomini: la rivoluzione elettronica ed informatica.

L'applicazione della scienza alla tecnologia, uno degli aspetti salienti della civiltà Europea a partire dal XVI secolo, si intensifica e pervade la costruzione delle macchine.

Un sintomo di tale tendenza è la riduzione dell'importanza di quella figura che aveva dominato lo sviluppo tecnologico sino alla fine dell'800: l'inventore. Il '900 si apre all'insegna del trionfo delle invenzioni e degli inventori, generalmente di individui isolati, che affidavano il loro destino al successo dei loro ritrovati.

Il loro successo personale poteva essere enorme, basti pensare ad Edison, Marconi e molti altri. Se fallivano erano ignorati e talvolta andavano incontro alla rovina più completa.

Dalla prima guerra mondiale in poi tutto questo cambia rapidamente e l'invenzione diviene sempre più un risultato collettivo, di un gruppo. La tendenza era d'altra parte iniziata già nell'ultima parte del XIX secolo: uno dei primi centri di ricerca e sviluppo è stata l'*Invention factory* di Edison fondata nel 1876 con circa cento dipendenti e arrivò nel periodo di massima attività a brevettare trecento invenzioni in quattro anni (una ogni 5 giorni).

L'aumento della complessità delle macchine rende necessaria la presenza di una struttura in cui operino molti specialisti di settori diversi, dotata di laboratori, centri di calcolo ed una quantità sufficiente di capitali. I tempi di progettazione e di sviluppo delle macchine più complesse divengono sempre più lunghi e ora si misurano in migliaia e decine di migliaia di anni/uomo.

La cooperazione tra industria, centri di ricerca ed università diviene essenziale ed i Paesi in cui tale cooperazione riesce a svilupparsi maggiormente si trovano sempre di più in posizione di vantaggio, in una situazione caratterizzata da una intensa concorrenza internazionale.

L'indagine di mercato assume un'importanza fondamentale e si ritiene che, in generale, tutto o quasi sia tecnicamente fattibile. L'importante è verificare la fattibilità economica e, piano piano, ci si rende conto che è anche fondamentale verificare quella che si potrebbe definire *fattibilità morale*. Se non tutto ciò che è tecnicamente possibile è perciò stesso vendibile, ciò che è fattibile e vendibile non diviene necessariamente *desiderabile*.

La necessità di mobilitare ingenti risorse per lo sviluppo di macchine sempre più complesse rende comunque sempre più importante la committenza militare. La grande influenza delle esigenze militari sullo sviluppo della tecnologia è una costante della storia (basti pensare ai progressi della ruota legata ai carri da guerra nel II millennio a.C.), ma nel XX secolo tale tendenza si rinforza ulteriormente.

La maggior parte delle innovazioni nei metodi e nelle realizzazioni della costruzione delle macchine ha avuto origine e si è sviluppata nei settori di maggior importanza strategica (principalmente aerospaziale, ma anche navale, nucleare, ecc.) per poi avere importanti ricadute nell'impiego civile, contribuendo grandemente allo sviluppo in generale.

Dallo sviluppo delle imprese spaziali e dei sofisticati sistemi di armi derivarono, alla fine degli anni '50 e '60, quell'approccio globale ed interdisciplinare alla macchina che va sotto il nome di ingegneria dei sistemi e quelle tecniche di programmazione, valutazione, supervisione e coordinamento dei programmi di ricerca e sviluppo che oggi trovano larga applicazione nella realizzazione di tutte le macchine complesse.

La visione della macchina come un sistema, frutto del lavoro coordinato di centinaia di specialisti nei vari campi, composta di sottosistemi e di componenti, progettati e prodotti da differenti aziende, richiede uno sforzo organizzativo e gestionale quale non si era mai visto nella storia.

La costante ricerca di sempre migliori prestazioni si è concretizzata in alcune tendenze generali ben identificabili. Una di esse è quella che ha portato a velocità sempre più elevate in moltissime macchine dotate di organi rotanti. Basta infatti ricordare che la potenza trasmessa generata o utilizzata da un organo rotante è pari al prodotto della coppia per la velocità angolare, per comprendere come al crescere della velocità le sollecitazioni cui l'elemento è sottoposto decrescano, a parità di potenza trasmessa, generata o utilizzata. Ciò porta spesso ad una diminuzione della massa degli organi rotanti, sia nel caso di organi di trasmissione che in quello di macchine motrici (motori elettrici, turbine) o generatori elettrici. In altri casi l'aumento della velocità di rotazione porta ad un aumento della produttività della macchina, come ad esempio in alcune macchine utensili o macchine tessili. Talvolta è il raggiungimento di elevate velocità periferiche o elevati campi centrifughi ad essere essenziale per il buon funzionamento della macchina, come ad esempio nelle pompe molecolari e nelle ultracentrifughe per l'arricchimento dell'uranio.

Elevate velocità di rotazione erano presenti già alla fine del XIX secolo: il turbogeneratore costruito da Parson nel 1885 funzionava a 18.000 giri/min e la centrifuga per la separazione della panna costruita nello stesso periodo da De Laval era ancora più veloce. Si trattava però di casi isolati, e la maggior parte delle macchine dell'inizio del secolo erano, secondo gli standard attuali, molto lente.

Un'altra linea di tendenza nel campo delle macchine termiche, dettata dalla necessità di aumentare il rendimento termodinamico e resa possibile dallo sviluppo di materiali idonei, è quella che ha portato al raggiungimento di temperature sempre più elevate in molti elementi di macchine, quali i dischi e le palette delle turbine.

Analogo effetto ha avuto la tendenza alla diminuzione delle dimensioni e della massa delle macchine, resa possibile dall'impiego di materiali aventi caratteristiche meccaniche sempre più elevate. La generazione di calore che sempre accompagna la generazione, la trasmissione e l'utilizzazione di energia meccanica avviene in spazi sempre più limitati e a temperature di funzionamento più elevate.

A queste tendenze si aggiunge la ricerca di uno sfruttamento estremo dei materiali, sia per rispondere ad esigenze operative sempre più severe che per ridurre la massa e talvolta il costo delle macchine. La riduzione della massa degli organi delle macchine è stata perseguita non solo in quelle applicazioni in cui il peso ha un effetto diretto sulle prestazioni (turbine a gas aeronautiche, turbopompe per impieghi spaziali), ma anche in molti altri casi in quanto da essa discende una riduzione dei carichi sugli alberi, sui cuscinetti e su altri organi della macchina, spesso anch'essi funzionanti in condizioni molto gravose.

Nel XIX secolo si erano affermate la motrice alternativa a vapore e, alla fine del secolo, il motore alternativo a combustione interna. Tali macchine motrici si erano affiancate alle tradizionali ruota ad acqua ed aeromotore, la cui importanza andava declinando, nel ruolo generale di motori primi. L'azionamento manuale o mediante animali domestici era ormai relegato ad applicazioni marginali in cui le potenze in gioco erano molto piccole.

Negli ultimi 15 anni del secolo XIX Parson e De Laval erano riusciti a realizzare un vecchio progetto: la turbina a vapore. Un motore primo completamente nuovo sviluppato nel XX secolo è la turbina a gas, che imponeva la soluzione di problemi ancora più complessi di quelli incontrati nelle turbine a vapore, in particolare per quanto riguarda le temperature di funzionamento e le sollecitazioni di tipo termoelastico. Anche se i primi tentativi riusciti risalgono all'inizio del secolo (1905-1906), la prima turbina a gas operativa entrò in servizio solo nel 1936. Molti materiali e tecniche di progettazione e costruzione sviluppate per le turbine a gas hanno avuto ricadute importanti in tutti i campi della tecnologia.

Anche la necessità di aumentare il rapporto potenza/peso dei motori alternativi a combustione interna, in particolare per i mezzi di trasporto e soprattutto per gli aeromobili, ha imposto progressi importanti.

Il tipo di motore che però ha avuto il più grande impatto sulla vita di tutti i giorni, e non solo in fabbrica, è stato il motore elettrico. All'inizio del secolo l'energia elettrica era usata soprattutto per l'illuminazione e per quegli usi per cui era indispensabile (elettrochimica, ecc.), anche se i motori elettrici avevano avuto già numerose utilizzazioni, in particolare per le loro caratteristiche di flessibilità e per la possibilità di realizzare unità motrici di piccola e talvolta piccolissima potenza. Nella fabbrica della rivoluzione industriale e del XIX secolo il motore primo era un'unica macchina (una ruota ad acqua o una motrice a vapore oppure, più tardi, un motore a combustione interna) che azionava le varie macchine mediante un complesso sistema di alberi di trasmissione e di cinghie che si estendeva per tutta la fabbrica.

L'adozione di un elevato numero di motori elettrici di piccola potenza, uno per ciascuna macchina, alimentati da una rete elettrica che si estende per tutta la

fabbrica, rappresenta una semplificazione notevole, che riduce i costi di impianto e manutenzione, aumenta la flessibilità e migliora la sicurezza.

La generalizzazione della motorizzazione elettrica diffusa in fabbrica non fu immediata: negli anni '20 essa era ancora parziale e fu completata solo dopo la seconda guerra mondiale, al punto che molte macchine industriali in cui erano richiesti più movimenti erano dotati di vari motori elettrici indipendenti.

L'uso di motori elettrici di piccole dimensioni rese possibile la realizzazione di una nuova categoria di macchine che hanno avuto una larghissima diffusione: gli elettrodomestici. Macchine domestiche erano apparse a metà dell'800 negli Stati Uniti, dove la scarsità del personale di servizio si faceva sentire anche nelle famiglie agiate. Lavatrice, lavastoviglie ed aspirapolvere, ad azionamento manuale, erano stati costruiti e commercializzati a partire dal 1860. Tuttavia le "macchine domestiche" si diffusero, prima negli Stati Uniti e poi in Europa e nel resto del mondo solo dopo l'applicazione dei motori elettrici. In Europa si dovette attendere la fine della Seconda guerra mondiale per vedere uno sviluppo notevole del settore.

Dal punto di vista del progettista gli elettrodomestici pongono problemi specifici in particolare legati al fatto che l'utente non è un'altra industria o un operatore commerciale ma direttamente un privato. Si tratta quindi di macchine che devono funzionare per periodi spesso brevi, intervallati da una lunga inattività, con un ciclo di lavoro molto diverso da quello del macchinario industriale. La grande concorrenza tra i produttori ed il tentativo di rivolgersi ad un pubblico di potenziali clienti sempre più vasto impongono un contenimento dei costi di produzione molto maggiore di quanto è consueto nella produzione di beni di investimento.

A ciò si aggiunge la necessità di operare con ridotti costi di manutenzione, senza la conduzione da parte di personale addestrato ed in assenza di manutenzione preventiva. Il fatto che gli utilizzatori siano spesso privi delle più elementari cognizioni relative all'utilizzo ed alla manutenzione delle macchine rende evidentemente più difficile il lavoro del progettista e del costruttore.

Sino agli anni '70 l'assenza di esigenze relative all'efficienza operativa in termini energetici ha semplificato alcuni problemi: dato il basso tempo totale di funzionamento il costo energetico della macchina in tutta la sua vita era comunque accettabile. Tuttavia, a partire dagli anni '70, l'aumento del costo dell'energia e fattori strategici e psicologici hanno reso necessario un migliore utilizzo dell'energia anche in questo settore.

L'applicazione del motore elettrico nelle macchine ha portato alla necessità di dotarle di altri sistemi elettrici, che all'inizio erano semplici interruttori, ma che presto si sono diversificati assumendo funzioni di controllo sempre più complesse.

In effetti si rivelò più semplice utilizzare sistemi elettrici di controllo in luogo dei sistemi meccanici e presto le macchine furono dotate di una specie di sistema nervoso sempre più complesso. Tale evoluzione sfociò nell'applicazione di tecniche elettroniche e poi informatiche al controllo delle macchine, cosa che ha costituito forse l'aspetto più innovativo e veramente originale della costruzione delle macchine nel XX secolo.

Nel XX secolo le macchine e le metodologie tipiche della costruzione di macchine hanno fatto un massiccio ingresso in nuovi settori, quali la medicina e la chirurgia. Le macchine cuore-polmone, il rene artificiale, le complesse attrezzature radiografiche sono solo un esempio.

L'ingegnere progettista collabora con il medico anche in altro modo: si utilizzano sempre più protesi ed organi artificiali che devono essere considerati come vere e proprie parti di ricambio per quella particolarissima macchina che è l'organismo umano. In alcuni casi, come quello delle protesi articolari, delle valvole cardiache, ecc., il progettista deve assicurare alle parti artificiali la necessaria resistenza meccanica ed un corretto funzionamento cinematico, ma deve anche garantire che la protesi si inserisca nell'organismo senza inconvenienti e che permetta alle parti biologiche con cui viene in contatto di saldarsi ad essa sino ad inglobarla e di vivere normalmente.

In altri casi, spesso ancora allo stadio di ricerca, si tratta di vere e proprie macchine complete, dotate di proprie fonti di energia, che devono funzionare all'interno dell'organismo per assolvere a funzioni che l'organismo non è più in grado di svolgere autonomamente (arti artificiali a controllo mioelettrico, pancreas artificiale con sensori del glucosio, cuore artificiale impiantabile, ecc.).

## **Evoluzione dei materiali usati nella costruzione delle macchine**

Dall'inizio del secolo ad oggi i materiali usati nella costruzione delle macchine hanno subito una evoluzione che non solo ha permesso un miglioramento sostanziale delle prestazioni grazie alle loro caratteristiche sempre migliori ma ha anche permesso, insieme alle tecniche di produzione in serie, di ridurre i costi di costruzione, di manutenzione ed in generale di esercizio, delle macchine.

Tale progresso è stato il risultato di un complesso di ricerche teoriche e sperimentali in vari campi della scienza e della tecnologia (chimica, metallurgia ecc.) e ha richiesto lo sviluppo di un gran numero di tecniche, metodologie e macchine di prova, a partire dall'ampia esperienza riguardante le prove sui materiali che era già stata accumulata all'inizio del XX secolo.

In questo periodo il legno era già stato sostituito da materiali metallici almeno negli organi più sollecitati delle macchine. La sostituzione del metallo al legno, fenomeno tipico della rivoluzione industriale e iniziato con la realizzazione di parti critiche delle macchine a vapore, non era tuttavia completa. Soprattutto in quei campi in cui esisteva una lunga tradizione, come ad esempio nella costruzione delle ruote, si continuarono ad usare strutture lignee per molti anni. Il legno trovò ancora largo impiego nelle strutture leggere, quali quelle degli autoveicoli, e per alcuni decenni fu il materiale più ampiamente impiegato nelle strutture delle macchine volanti, insieme con i tubi di acciaio spesso utilizzati per le fusoliere. In questo campo la sostituzione del legno con materiali metallici fu molto lenta, nonostante il primo brevetto per una struttura aeronautica in lega di alluminio risalga al 1910, e si completò solamente nel secondo dopoguerra. Aeroplani con elementi strutturali in legno parteciparono alla Seconda guerra mondiale, talvolta con notevole successo, e l'ultimo grande aereo in legno, lo *Spruce goose* di Hughes, fu abbandonato alla fine degli anni '40 dopo un brevissimo volo del prototipo.

L'uso del legno nelle costruzioni aeronautiche ha portato all'approfondimento teorico del comportamento dei materiali non isotropi. Tali sviluppi teorici si sono poi rivelati utilissimi per la progettazione di elementi realizzati in materiali compositi, soprattutto nella forma di materiali plastici rinforzati.

I materiali metallici più usati nella costruzione delle macchine erano l'acciaio e la ghisa. L'affinamento dei processi siderurgici permise di migliorare le loro caratteristiche, superando anche, almeno in parte, il tradizionale inconveniente della ghisa, consistente nella sua fragilità.

La riduzione del costo degli acciai legati, che inizialmente erano usati solamente per gli utensili (acciai rapidi, introdotti nel 1905) e per poche altre applicazioni, ne permise una diffusione molto ampia.

Il trattamento termico degli acciai si trasformò da arte a scienza, e notevoli progressi si registrarono in tutti i processi della siderurgia. I procedimenti di cementazione e di nitrurazione permettono ad esempio di rendere il materiale molto duro in superficie, per ridurne l'usura (ruote dentate, cuscinetti a sfere, ecc.) mentre le zone interne, più duttili, mantengono la necessaria tenacità. Si tratta di procedimenti antichi, ma le esigenze della produzione automobilistica ed aeronautica richiesero lo sviluppo di nuove tecniche a partire dagli anni '20.

Nel secondo dopoguerra si sono diffusi acciai ad altissima resistenza, inizialmente per particolari quali elementi strutturali di elicotteri e carrelli di atterraggio di velivoli. L'impiego massiccio di acciai ad alta resistenza nella struttura degli autoveicoli è una conseguenza delle esigenze di alleggerimento sentite soprattutto negli anni '70 a causa dell'aumento del costo dell'energia. I problemi relativi a tale impiego nella produzione di serie non sono peraltro stati ancora completamente risolti.

Lo sviluppo delle turbine a gas ha richiesto la realizzazione di materiali che mantenessero un'elevata resistenza meccanica ad alta temperatura (superleghe), permettendo di aumentare la temperatura di funzionamento, migliorando in generale le prestazioni.

L'alluminio, preparato nel 1845 in laboratorio e prodotto industrialmente nel 1892, ebbe inizialmente scarsa applicazione. Le prime strutture in alluminio furono quelle dei dirigibili, (Schwarz, primo ed unico volo nel 1897, poi Zeppelin) ma fu solo nel 1909 che si trovò il modo di trattare termicamente questo metallo. Vennero sviluppate moltissime leghe a base di alluminio (leghe leggere) per le varie applicazioni, utilizzate in un numero crescente di elementi di macchina.

Le leghe di magnesio (leghe superleggere) furono introdotte negli anni '30. Utilizzate in alcuni particolari poco sollecitati, non hanno una larga diffusione. Tra gli altri materiali metallici più diffusi sono da citare le leghe di zinco, usate per particolari ottenuti per fusione, il rame e le sue leghe (bronzi ed ottoni), materiali molto antichi ma che sono ora prodotti in un'ampia varietà di formulazioni diverse. Il titanio è stato introdotto come metallo tecnico nel 1955.

I materiali plastici entrarono dapprima lentamente in quelle applicazioni in cui le loro proprietà isolanti li rendevano indispensabili. La loro resistenza alla corrosione ne incoraggiò la diffusione nell'industria chimica. Spesso gli elementi realizzati in materiale plastico erano considerati sostituti più economici di analoghi elementi in materiali tradizionali e rimasero molte remore psicologiche al loro uso.

A partire dalla fine degli anni '30 vennero introdotti i materiali plastici rinforzati, prima con fibre di vetro e poi con fibre di altri materiali aventi caratteristiche meccaniche sempre più elevate. La bassa densità, unita a un'elevata resistenza e ad una rigidità discreta, nel caso del vetro, e ottima, nel caso delle fibre più moderne, quali fibre di carbonio (ottenute nel 1963 presso il Royal Aircraft Establishment di Farnborough), fibre aramidiche (note con il nome commerciale di Kevlar), boro ecc., rendeva i materiali compositi, ed in particolare i plastici rinforzati, particolarmente promettenti nelle applicazioni aeronautiche. Vi erano però problemi, che non sono ancora completamente superati, relativi alla produzione su larga scala di particolari utilizzando tali materiali a costi competitivi con quelli dei materiali tradizionali. Ciò ha portato ad applicazioni sporadiche nell'industria automobilistica (per elementi strutturali) sino agli anni '80, mentre già negli anni '70 il vetroresina aveva praticamente sostituito il legno nella cantieristica leggera e moltissimi particolari aeronautici erano realizzati in plastica rinforzata.

Nell'industria meccanica propriamente detta i particolari in materiale plastico sono tuttora relativamente rari, anche se ruote dentate che devono lavorare con lubrificazione ridotta ed hanno esigenze di silenziosità vengono spesso realizzate in resine poliammidiche (Nylon, 1938) o poliimmidiche.

La grande varietà di materiali plastici realizzati a partire dagli anni '50 e '60 mette a disposizione del progettista valide alternative ai materiali metallici per moltissime applicazioni anche strutturali.

Grande diffusione hanno avuto i materiali elastomerici (in particolare la gomma sintetica) per la realizzazione di molti elementi meccanici, quali molle, snodi deformabili, elementi di tenuta, ecc. Lo sviluppo di elastomeri con caratteristiche specifiche per le varie applicazioni, anche con temperature relativamente elevate, ha permesso la loro diffusione in campi in cui sino agli anni '50 l'acciaio dominava incontrastato.

La ricerca punta ora sui materiali ceramici, su acciai ed altri metalli (titanio, leghe leggere ed ultraleggere, superleghe, compositi a matrice metallica) ad altissima resistenza e materiali rinforzati con fibre o filamenti monocristallini ad altissima rigidità o resistenza. Lo sviluppo delle micro- e nano-tecnologie permetterà di realizzare materiali con prestazioni ancora più elevate. Nonostante il loro costo ancora elevato (talvolta elevatissimo) si ritiene che il loro uso si diffonderà in molte applicazioni, non solo nel campo aerospaziale.

Attualmente il progettista ha a disposizione una gamma estremamente ampia di materiali, ciascuno con caratteristiche variabili a seconda del trattamento, da utilizzare per le varie applicazioni. Il numero di tali materiali tecnici è di molte decine di migliaia e pertanto il loro corretto impiego, specialmente nel caso di applicazioni impegnative, richiede la somma delle competenze di molte persone, talvolta coadiuvate da strumenti informatici. In questo campo appare particolarmente promettente l'impiego di sistemi esperti.

Strettamente legata ai progressi nel campo dei materiali e dei loro trattamenti è l'introduzione di nuove tecniche di saldatura. Le tecniche tradizionali si sono evolute verso una sempre più spinta automazione, soprattutto per ottenere la massima uniformità del cordone di saldatura al fine di aumentare l'affidabilità dei giunti. Molte tecniche completamente nuove venivano via via aggiungendosi ed ampliavano i casi in cui era tecnicamente ed economicamente conveniente ricorrere alla saldatura. Dopo le varie forme di saldatura elettrica, sono state messe a punto tecniche di saldatura per attrito e processi quali la saldatura con fascio elettronico (*electron beam*), raggio laser o "plasma spray".

Quest'ultima tecnica permette oggi di eseguire riporti di materiali anche diversi sul materiale di base, per ottenere particolari caratteristiche superficiali o anche semplicemente per recuperare elementi usurati o lavorati erroneamente.

L'introduzione delle tecniche di saldatura in luogo dei collegamenti meccanici (ad esempio, il lungo processo che ha portato alla sostituzione del fasciame saldato a quello chiodato nel campo delle costruzioni navali) è stata sempre accompagnata da diffidenze e sospetti per i potenziali pericoli insiti in tale sostituzione. Solo lo

sviluppo di idonei processi di controllo non distruttivo, principalmente controlli radiografici, e la stesura di regolamenti e specifiche a riguardo, ha permesso di adottare le tecniche di saldatura in elementi critici anche in settori in cui le esigenze di affidabilità sono assolutamente prioritarie (aerospaziale, nucleare, ecc.).

### **Evoluzione ed unificazione degli elementi costruttivi delle macchine**

Uno degli aspetti più importanti dell'evoluzione della costruzione delle macchine nel XX secolo è il sempre più largo uso di elementi unificati, o comunque di parti intercambiabili, nelle macchine.

L'unificazione però non è un'invenzione del XX secolo. Il primo intervento volto ad unificare elementi meccanici lo si deve a Carlo V, che prescrisse norme per limitare i calibri usati in artiglieria, in modo tale da ridurre la varietà delle munizioni. In seguito l'unificazione fu sempre imposta da esigenze militari, e nel 1785 Thomas Jefferson parla in una sua lettera di fucili con elementi intercambiabili senza bisogno di aggiustaggio, costruiti negli Stati Uniti.

L'industria americana fu all'avanguardia di questa tendenza, sia per la maggiore scala di produzione che per la scarsità di meccanici in grado di eseguire precisi aggiustaggi. Tipica di tale tendenza è l'introduzione, nel 1867, da parte di un costruttore di macchine agricole, di parti di ricambio che non richiedono aggiustaggio e che possono venire acquistate per corrispondenza su catalogo. Ciò oggi appare ovvio, ma allora era una rivoluzione. Prima, e per molti anni ancora nel XX secolo, l'utente doveva rivolgersi alla ditta produttrice, o più spesso ad un meccanico indipendente, che provvedeva a riparare il guasto ricostruendo le parti da sostituire.

Le filettature furono unificate nel 1841 da Whitworth: prima di tale data non solo ciascun costruttore produceva gli elementi filettati per le proprie macchine secondo criteri e disegni suoi propri ma le parti filettate non erano neppure standardizzate nella stessa macchina e chi smontava un collegamento filettato doveva segnare opportunamente le coppie vite-dado in modo da rimontarle poi nello stesso ordine.

L'uso di pezzi intercambiabili era ancora una rarità all'inizio del secolo. Fece notizia quando nel 1908 tre vetture Cadillac vennero completamente smontate e alcuni funzionari del Royal Automobile Club furono invitati a mescolare i pezzi. Dai pezzi, scelti a caso, furono ricavate tre vetture che si misero in moto e dimostrarono di funzionare correttamente.

Tra i più importanti elementi delle macchine che sono stati oggetto di unificazione vanno ricordati i cuscinetti. Gli organi rotanti erano sopportati, sin

dalle realizzazioni più antiche, per mezzo di cuscinetti a strisciamento più o meno lubrificati. Nel 1886 Osborne Reynolds riusciva ad analizzare matematicamente il comportamento del cuscinetto lubrificato e dimostrava che il perno si dispone eccentricamente rispetto al cuscinetto. La teoria della lubrificazione fu poi perfezionata da Sommerfeld nel 1904. Questi sviluppi teorici permettevano di impostare la progettazione dei cuscinetti a strisciamento su basi razionali, riducendo la resistenza al moto e migliorando la capacità di carico. Mitchell nel 1905 applicò la teoria alla progettazione dei grandi cuscinetti reggispira, del tipo di quelli usati sugli alberi dell'elica delle navi o nei grandi turbogeneratori.

Al termine del XIX secolo venne introdotto il cuscinetto a rotolamento. L'idea era antica, e cuscinetti a sfere o rulli in legno erano stati sporadicamente usati sin dall'epoca romana. Lo sviluppo della meccanica nel XIX secolo permetteva di realizzare cuscinetti volventi metallici con la necessaria precisione a costi compatibili con molte applicazioni.

Nel 1878 venne brevettato un mozzo per ruote di bicicletta dotato di due corone di sfere. Ben presto il concetto venne generalizzato e, a partire dal 1898, si iniziò a produrre cuscinetti a sfere e a rulli per impiego generale. I cuscinetti a sfere con anelli senza taglio per l'introduzione delle sfere vennero brevettati nel 1902, quelli orientabili nel 1907 (a sfere) e nel 1920 (a rulli a botte). La geometria di tali elementi venne standardizzata e sui cataloghi degli anni '10 si trovano già i principali tipi unificati in uso ancora oggi. In breve tempo il cuscinetto a rotolamento divenne un elemento standard ed il progettista delle macchine si limitò a scegliere sui cataloghi delle ditte costruttrici il cuscinetto che meglio si adattava all'applicazione in esame.

I cuscinetti idrostatici e pneumostatici ed i cuscinetti magnetici, introdotti recentemente, restano confinati in applicazioni particolari, mentre i cuscinetti volventi hanno una diffusione enorme accanto ai tradizionali cuscinetti radenti lubrificati.

Un altro elemento costruttivo delle macchine che ha subito una notevole evoluzione nel XIX secolo e che ha avuto larghissima applicazione nel XX è la ruota dentata. La ruota dentata metallica ha sostituito quelle in legno sin dall'inizio della rivoluzione industriale. Lo studio matematico del profilo dei denti è stato uno dei problemi classici della meccanica applicata sin dal secolo XVIII. Nell'800, e sempre di più nel '900, il dente con profilo ad evolvente ha sostituito quello a cicloide.

La disponibilità di ruote dentate in grado di trasmettere elevate potenze a forte velocità ha permesso di svincolare le esigenze delle macchine operatrici da quelle delle macchine motrici, permettendo di ottimizzare le prestazioni di entrambe. In particolare, solo l'uso di ruote dentate ad elevato rendimento ha permesso di usare

turbine prima a vapore e poi a gas come motore primo in molte applicazioni, soprattutto navali ed aeronautiche.

Parson, nel 1897, realizzò un riduttore a ruote dentate in grado di collegare la turbina, funzionante a 20.000 giri/min, all'elica rotante a soli 1.400 giri/min (rapporto di trasmissione 14:1 in un unico stadio). Nel suo libro del 1905, Belluzzo calcolava, da dati sperimentali, che il rendimento del riduttore a ruote elicoidali per una turbina De Laval da 150 kW per uso navale fosse del 99% circa [4].

I riduttori a ruote dentate dei moderni propulsori a turboelica o delle trasmissioni degli elicotteri, in grado di trasmettere decine di MW a velocità periferiche elevatissime con rendimenti dell'ordine del 99% sono certamente tra i più brillanti successi della tecnologia del XX secolo.

Le ruote dentate sono state oggetto di unificazione, soprattutto per quanto riguarda il profilo dei denti e gli utensili per la loro costruzione, ma la progettazione degli ingranaggi resta sempre una delle fasi più delicate della progettazione di una macchina. Essa viene in generale eseguita da specialisti che, soprattutto nelle applicazioni più delicate, si avvalgono di strumenti di calcolo e di indagini sperimentale adeguati alla difficoltà del problema.

Tra gli altri elementi unificati, che generalmente vengono scelti in base all'unificazione e non direttamente calcolati dal progettista, vanno citati gli elementi di collegamento (linguette, chiavette, alberi scanalati), di trasmissione del moto (cinghie, catene, pulegge), gli elementi dei sistemi idraulici e pneumatici, le funi.

Oltre alle unificazioni internazionali (ISO, International Standard Organization) e nazionali (UNI italiana, BSS inglese, DIN tedesca ecc.), moltissime grandi aziende hanno creato una loro unificazione interna, vincolante per tutti i fornitori.

L'uso di elementi unificati permette non solo di evitare di produrre direttamente molti particolari che possono venire acquistati sul mercato da vari fornitori, ma riduce grandemente l'immobilizzo di capitali in parti di ricambio, garantisce all'utente una rigorosa intercambiabilità delle parti e semplifica di gran lunga il lavoro del progettista.

L'unificazione è di grande importanza anche per gli elementi che il costruttore deve comunque realizzare a disegno: l'uso di un profilo unificato, ad esempio per una dentatura o un albero scanalato, garantisce la reperibilità delle attrezzature di produzione, semplifica il disegno e la lavorazione e permette l'uso di formule empiriche o semiempiriche per il calcolo di resistenza.

A partire dagli anni '50, nella produzione di grande serie ed in particolare nell'industria automobilistica, si è notata la tendenza a realizzare elementi integrati, che svolgono più funzioni in luogo di un gruppo di elementi unificati. Ad esempio, se di un mozzo ruota devono essere prodotte alcune centinaia di migliaia di unità, può essere conveniente per il costruttore studiare, eventualmente in collaborazione

con una azienda specializzata, un elemento integrato che svolga la funzione di cuscinetto, oltre ad altre funzioni, piuttosto che inglobare un cuscinetto unificato in un sottogruppo costituito da varie parti. Analogamente, si sono grandemente diffuse dentature corrette, anche non strettamente aderenti all'unificazione, in molti casi in cui la scala di produzione lo ha reso conveniente.

Non si tratta però di una vera tendenza contraria all'unificazione: gli elementi integrati vengono rapidamente unificati anch'essi e costituiscono nuove famiglie di elementi standard, a disposizione dei progettisti delle varie macchine.

## **La produzione su larga scala**

Alla fine del XIX secolo le idee di Taylor sulla razionalizzazione dell'organizzazione industriale iniziavano ad avere un notevole impatto sulla realtà di fabbrica. Se prima per aumentare la produzione si aumentava il numero delle macchine e degli operatori ad esse addetti, ora ci si rende conto che il miglioramento dell'organizzazione della produzione ha a tal fine un'importanza decisiva.

La spinta a cambiare modo di produrre si verificò soprattutto in quelle realtà industriali caratterizzate da un più elevato costo del lavoro: solo una automizzazione di alcune funzioni ed una ristrutturazione della produzione che permettesse di aumentare la produttività del lavoro riducendo il numero di ore-uomo necessarie per unità di prodotto, poteva permettere di ridurre i costi di produzione.

In quest'ottica si inserisce l'introduzione della linea di montaggio negli stabilimenti Ford (1914, dopo i primi esperimenti compiuti alla Oldsmobile nel 1901) e la sua diffusione in molte altre industrie.

Aumentando la scala di produzione, i costi di sviluppo si ripartivano su un numero più alto di esemplari prodotti; era pertanto conveniente raffinare la progettazione e la sperimentazione sui prototipi per ottenere miglioramenti nel prodotto ed economie nella produzione. Un calcolo strutturale più raffinato che porta a un leggero risparmio di materiale è conveniente, ad esempio, solo se il risparmio globale supera i costi del calcolo stesso. È inoltre possibile adottare tecnologie costruttive nuove, a più alto impiego di capitali, che permettano di ottenere elementi di forma e caratteristiche comunque diverse da quelle precedentemente utilizzate. Una modifica di processo finisce quindi quasi sempre per riflettersi in una modifica del prodotto, e l'allargarsi della scala di produzione ha avuto grandi effetti in tale senso.

Le macchine prodotte in serie potevano essere quindi molto meglio progettate, realizzate e sperimentate di quelle prodotte con i metodi più artigianali prece-

dentemente utilizzati. Tale aspetto non divenne però immediatamente ovvio, e spesso la produzione di larga serie si è imposta più per i bassi costi che per la qualità dei prodotti.

Il concetto che un miglioramento della qualità è una via per ridurre i costi e quindi per migliorare l'efficienza produttiva è stato introdotto da Juran e Deming alla fine della Seconda guerra mondiale. La loro impostazione si basava sull'applicazione alla produzione civile di quei metodi statistici che erano stati introdotti durante la guerra per la necessità di produrre grandi quantità di armamenti di elevata qualità con personale relativamente poco qualificato.

Le idee di Deming ebbero, sino agli anni '80, ben poco successo negli Stati Uniti e in Europa mentre furono accolte entusiasticamente dagli imprenditori giapponesi nel loro sforzo di ricostruzione postbellica. Una delle cause che hanno permesso il successo dell'industria giapponese viene oggi identificata nell'applicazione dei metodi della *qualità totale* alla costruzione di beni di consumo e in particolare delle macchine.

Il controllo della qualità, inteso in senso moderno, ha permesso di svincolare la qualità del prodotto dall'abilità e dalla precisione dei singoli operatori per trasformarla nel risultato di una vera e propria funzione aziendale, distinta dalle funzioni di progettazione e produzione tipiche dell'industria.

La tendenza ad automatizzare il funzionamento delle macchine era già presente nel XIX secolo; la produzione in serie permise il diffondersi di una sempre maggiore automazione della produzione. Vennero progettate e costruite macchine utensili sempre più automatizzate e fu necessario modificare la progettazione delle macchine per adattarle a tali tecniche costruttive.

Nella maggior parte dei casi si trattava di un'automazione estremamente rigida: le macchine automatiche e le linee di montaggio erano predisposte per la produzione di un solo tipo, o di un limitato numero di tipi, di prodotto. Apportare modifiche al prodotto significava introdurre costose e laboriose modifiche alle attrezzature di produzione, che spesso dovevano essere completamente sostituite.

Dove la stessa macchina doveva produrre elementi diversi si procedeva ad una produzione per lotti: si costruiva un gran numero di elementi tutti uguali, si apportavano le necessarie modifiche all'attrezzatura e si procedeva alla produzione del lotto successivo.

Evidentemente la produzione di piccola serie doveva essere eseguita secondo criteri del tutto diversi. Si sentiva il bisogno di automatizzare anche quelle produzioni, ma era necessario un tipo di automazione molto più flessibile.

Era necessario che le istruzioni che definivano il prodotto non fossero incorporate nella struttura della macchina ma che fosse possibile introdurle di volta in volta, in modo semplice ed economico. All'inizio vennero realizzate macchine

automatiche che potevano copiare un modello appositamente preparato. Tali macchine, adatte anche alla produzione di piccola serie, erano generalmente meccaniche, spesso con organi idraulici o pneumatici.

Anche macchine più versatili, che potevano essere programmate mediante schede o nastri perforati, vennero realizzate con le consuete tecnologie prettamente meccaniche o elettromeccaniche. La lettura avveniva mediante mezzi meccanici (aghi) o elettrici, e non era molto diversa da quanto era tradizionale nei telai meccanici da oltre un secolo (telai Jacquard, 1807).

Nel 1940 venne realizzato un tornio fotoelettrico, in cui una fotocellula era in grado di leggere il disegno e di controllare gli utensili. Nel 1946 venne introdotta alla General Motors la prima macchina *a trasferta* ed in quell'occasione si iniziò ad usare il termine *automazione*.

Solo l'introduzione delle tecnologie elettroniche poteva risolvere efficacemente il problema. Parallelamente allo sviluppo dei primi calcolatori vennero sviluppate le prime macchine utensili a controllo numerico. Si ritiene che il primo calcolatore di processo sia stato realizzato in Germania da Konrad Zuse, applicando una calcolatrice elettromeccanica programmabile a nastro perforato con 600 relè ad una macchina per verificare la precisione di montaggio delle ali e degli impennaggi sulle bombe volanti V-1 (1942).

Essenzialmente si trattava di applicare un calcolatore elettronico digitale programmabile al controllo di una macchina utensile. I problemi da risolvere per tale applicazione erano molti, sia di tipo elettronico, che meccanico. Era infatti necessario sviluppare attrezzature elettroniche e strumenti in grado di operare in ambiente industriale, ben diverso da quello dei centri di calcolo, e di realizzare tutta una serie di sensori e di attuatori in grado di fornire al calcolatore informazioni sul processo in corso e di permettergli di intervenire sulla parte meccanica della macchina.

La prima fresatrice a comando elettronico risale al 1948 e nel 1953 il Massachusetts Institute of Technology realizzò una fresatrice universale a controllo elettronico. Tuttavia, i gravi problemi sopra citati, unitamente all'entità degli investimenti in gioco, hanno fatto sì che la diffusione delle macchine a controllo numerico avvenisse con un ritardo di più di un decennio rispetto a quella del calcolatore propriamente detto. Non bisogna dimenticare che in molti casi il calcolatore si è imposto, nonostante i costi estremamente elevati, perché non esistevano altre alternative per l'assolvimento di determinati compiti. Le macchine a controllo numerico dovevano inizialmente vincere la concorrenza delle macchine utensili convenzionali e hanno potuto diffondersi solo quando hanno dimostrato di essere economicamente vantaggiose.

Una volta che tali problemi di fondo furono superati, iniziò una rapida evoluzione che ha portato all'attuale diffusione del controllo numerico delle macchine utensili e poi alla creazione di macchine di tipo completamente nuovo.

Il tipo di macchina che meglio esemplifica l'approccio flessibile all'automazione è il robot industriale, una macchina in grado di svolgere una grande varietà di compiti, in modo automatico, sotto il controllo di un calcolatore.

Si può così estendere l'applicazione dell'automazione a quelle lavorazioni in cui la scala di produzione è piccola o anche piccolissima e, al limite, realizzare in modo automatico anche esemplari singoli.

L'introduzione dei robot ha avuto, o meglio, sta avendo, profondi effetti sulla progettazione. Le tolleranze di lavorazione dei particolari che devono essere manipolati ed assemblati dai robot divengono più strette e si ha un'evoluzione verso maggiori precisioni anche in settori che per tradizione non sono particolarmente pregiati. Per permettere di raggiungere tali tolleranze più strette vengono introdotti altri robot, con funzione di controllo della produzione e per eseguire quell'operazione di matematizzazione delle superfici indispensabile in molti casi alla generazione dei modelli matematici, sempre più utilizzati in progettazione (robot di misura).

## **La sicurezza e l'affidabilità**

Nella sua storia l'uomo si è trovato di fronte dispositivi che richiedevano azioni sempre più ridotte per ottenere effetti sempre più grandi. Il pericolo rappresentato dall'azionamento improprio o dall'errato funzionamento di tali dispositivi è proporzionalmente aumentato. Le prime macchine che hanno imposto la necessità di dispositivi di comando accuratamente studiati per evitare manovre errate e di una progettazione che evitasse il pericolo di malfunzionamento (in particolare di esplosione) sono state le armi da fuoco. A fine '80 le macchine che presentavano potenziali pericoli erano moltissime e i gravi incidenti dovuti all'esplosione di caldaie avevano imposto la stesura di normative e regolamenti.

Le esigenze della sicurezza imponevano inoltre progressi sia nel calcolo strutturale che nella sperimentazione sui materiali, sulle macchine e spesso su modelli, per evitare i costi ed i tempi legati alla sperimentazione in vera grandezza.

Lo studio sistematico delle cause dei guasti e l'applicazione dei metodi statistici che stanno alla base dell'affidabilità, intesa come disciplina scientifica, iniziò negli anni '30 in campo aeronautico. L'aumento della complessità delle macchine e l'introduzione nei dispositivi di controllo di elementi elettronici, il cui comportamento meccanico in condizioni sfavorevoli (vibrazioni, variazioni di temperatura,

urti) non era ben noto e che erano soggetti a frequenti guasti (in particolare le valvole termoioniche), rendeva necessario un approccio nuovo, più razionale, alla sicurezza. Negli anni '40 nasceva, nella tecnica aeronautica, la prassi di adottare elementi ridondanti per aumentare l'affidabilità.

Essenziale ai fini del miglioramento dell'affidabilità delle macchine è stato lo sviluppo dei controlli non distruttivi e delle metodologie sperimentali di indagine.

Verso la fine degli anni '20 si sviluppò la tecnica fotoelastica, basata sulle proprietà di alcuni materiali plastici trasparenti di variare le caratteristiche ottiche se sottoposti a sollecitazioni. Tale tecnica permetteva però solamente lo studio del comportamento di modelli dei particolari in esame realizzati in opportuni materiali fotoelastici. Ciò nonostante, essa fu di importanza fondamentale, perché permise di studiare le concentrazioni di tensione che si hanno nei particolari meccanici di forma complessa, in corrispondenza di brusche variazioni di sezione.

Un progresso notevole nella progettazione fu rappresentato, dopo gli studi teorici di Neuber alla fine degli anni '40, dalla pubblicazione di grafici e tabelle (importantissime quelle raccolte da Peterson negli anni '50), principalmente basate su risultati di prove fotoelastiche, che permettevano di calcolare le tensioni in corrispondenza delle discontinuità di forma. Grazie a questi risultati della tecnica fotoelastica si poteva valutare la sollecitazione nei punti critici degli elementi delle macchine invece di limitarsi a sovradimensionare l'elemento nella speranza che non cedesse. Inoltre si poteva scegliere l'ampiezza e la forma dei raccordi tra le superfici in base a criteri oggettivi.

In seguito si svilupparono altre tecniche, quale quella estensimetrica e l'applicazione di vernici fragili, che possono essere usate direttamente sul particolare in studio.

I controlli non distruttivi, controlli cioè che possono venire eseguiti sugli elementi delle macchine senza che essi subiscano danneggiamenti, quali i controlli radiografici (raggi X e raggi gamma), ad ultrasuoni, mediante liquidi penetranti e magnetoscopici, per citare quelli più comunemente impiegati, permettono di verificare la presenza di difetti superficiali ed interni in parti di forma anche complessa. Solamente la possibilità di eseguire controlli radiografici ha permesso il diffondersi delle tecniche di saldatura in particolari molto sollecitati.

La normativa tecnica riguardante la sicurezza in fabbrica ha avuto uno sviluppo sempre più ampio a partire dagli anni '60, influenzando profondamente non solo l'organizzazione e la gestione delle aziende, ma anche la stessa opera dei progettisti delle macchine.

Si è ormai affermato il concetto che il progettista deve non solo farsi carico del corretto funzionamento della macchina, ma deve anche prevenire possibili errori o

usi impropri da parte dell'utilizzatore. A tale scopo ha anche grande importanza la documentazione tecnica che il costruttore deve fornire unitamente alla macchina.

### **L'elettronica e l'informatica nella costruzione delle macchine: la mecatronica**

L'introduzione delle tecnologie elettroniche ed informatiche nella costruzione delle macchine ha avuto grande influenza sulla più recente evoluzione del settore e sta producendo grandi trasformazioni, non solo nei processi di progettazione e costruzione delle macchine, ma anche nella loro stessa struttura e finalità, e nelle loro modalità operative.

La necessità di inserire organi di regolazione e controllo nelle macchine si fa sentire a partire dalla rivoluzione industriale: ne è un classico esempio il regolatore di Watt. Tali meccanismi però, come i sistemi di guida giroscopici usati nei siluri o l'autopilota montato da Lawrence Sperry su un idrovolante Curtiss nel 1912, erano prevalentemente meccanici.

Uno dei primi sistemi di controllo elettronici a valvole termoioniche di cui si ha notizia è quello, basato sull'uso di accelerometri, utilizzato sui missili tedeschi V-2 nella Seconda guerra mondiale. Sistemi di comando a distanza via radio erano stati utilizzati in aeronautica realizzati già prima, a partire dagli anni '20.

È interessante ricordare che dopo la prima prova della bomba volante del generale Raffaelli nel 1942 (un vecchio velivolo S-79 radiocomandato da un altro velivolo), fallita per il cedimento di un condensatore del trasmettitore, tutte le parti elettroniche vitali vennero raddoppiate. Si tratta di uno dei primi esempi di aumento di affidabilità ottenuto mediante ridondanza di componenti che ha poi avuto grande diffusione e che è alla base di moltissime applicazioni dell'elettronica alle macchine.

Gli esempi divengono sempre più numerosi e con l'introduzione del transistor e poi dei circuiti integrati i sistemi elettronici di controllo assolvono funzioni sempre più complesse. I sistemi analogici hanno in seguito lasciato il posto a quelli digitali, in particolare dopo l'introduzione dei microprocessori, e oggi le macchine che sono controllate da veri e propri calcolatori sono sempre più numerose. Il basso costo dei microprocessori ha permesso la loro diffusione nei beni di consumo di massa (macchine fotografiche, elettrodomestici, ecc.).

Negli ultimi 25 anni sono stati sviluppati alcuni elementi di macchina completamente innovativi, basati su tecnologie elettroniche. Un esempio tipico è il cuscinetto magnetico, in cui l'elemento rotante è sopportato non da elementi

materiali, quali sfere o rulli, ma da un campo magnetico controllato in modo da mantenere il perno nella posizione voluta.

Altri esempi sono numerosi, dai sofisticati sistemi avionici ormai indispensabili nell'aeronautica civile e militare, ai sistemi elettronici per autoveicoli (sospensioni attive, sistemi antibloccaggio, sistemi di controllo del motore, di navigazione, di comunicazione tra veicoli, di avvistamento ecc.), ai sistemi impiegati nelle macchine utensili.

L'introduzione di sensori nelle macchine e lo sviluppo della strumentazione elettronica permette inoltre di tenere sotto controllo alcune funzioni vitali in modo tale da poter intervenire, in caso di malfunzionamento, prima che il guasto si verifichi o, almeno, prima che le sue conseguenze divengano gravi. Il controllo continuo delle macchine o l'autodiagnosi, in cui la macchina, mediante un calcolatore, esegue i controlli su se stessa, è una pratica sempre più diffusa soprattutto in quei campi in cui si devono prevenire i guasti per motivi di sicurezza (aerospaziale, nucleare, ecc.) o anche solo si deve evitare una fermata dell'impianto in un momento non adatto (sospensione della produzione a causa dell'arresto improvviso per manutenzione di un impianto). Evidentemente l'obiettivo è quello di realizzare macchine in cui un sistema di sensori ed un elaboratore costituiscano un vero sistema nervoso in grado di sovrintendere alle funzioni operative, di controllare lo stato del sistema sino a prevedere il tempo rimanente prima di eventuali guasti e di comunicare con l'operatore.

Tale sistema di controllo può farsi carico di alcune funzioni che in precedenza erano assolte da altre parti della macchina, ad esempio, macchine utensili in cui la precisione della lavorazione sia garantita da un sistema in grado di rilevare le deformazioni della struttura e di compensarle con opportuni spostamenti degli utensili invece che da una struttura più rigida possibile, non solo sono più precise, ma risultano più leggere, economiche e strutturalmente più semplici.

In fondo, la tendenza ad incaricare il sistema di controllo a svolgere mansioni che prima erano affidate alla parte strutturale della macchina è un aspetto di quella dematerializzazione tipica delle tecnologie della cosiddetta civiltà postindustriale.

## **Il calcolo strutturale nella progettazione**

Nel XIX secolo, ed ancora per lungo tempo nel XX, la progettazione strutturale delle macchine era soprattutto una questione di esperienza, personale o aziendale, e buon senso ingegneristico. Si inseriva in effetti nella tradizione di quell'artigianato che, a partire dalla rivoluzione industriale, si era trasformato in industria,

mantenendo in buona parte inalterati i fondamenti teorici e le basi di conoscenza. In molti paesi, peraltro, tale trasformazione era parziale ancora all'inizio del secolo.

I fondamenti teorici del calcolo di resistenza degli organi di macchine erano stati posti nel XVIII e XIX secolo, con il lavoro dei fondatori della teoria dell'elasticità e con lo sviluppo di quella branca della meccanica applicata che in Italia prese il nome di "Meccanica applicata alle costruzioni" e poi di "Scienza delle costruzioni".

Le condizioni di carico e la geometria degli elementi di macchina erano però molto più complessi di quelli che si incontravano nell'ingegneria civile e nella maggior parte dei casi era impossibile applicare ad essi l'analisi teorica che si andava sviluppando. Gli studiosi di Scienza delle costruzioni erano pertanto in gran parte di estrazione civile e l'ingegneria civile era il campo applicativo a cui essi si rivolgevano. In particolare, la teoria delle travi, che rappresenta una delle più brillanti applicazioni della teoria dell'elasticità ottocentesca, trovava una prima ed immediata applicazione nei ponti a struttura metallica.

Nella prima parte del XX secolo, il progettista delle macchine, per carenze culturali ma soprattutto per obiettive difficoltà, continuava ad utilizzare i criteri empirici dettati dall'esperienza che erano tradizionali del suo lavoro. Questo non esclude tuttavia che si tentasse di applicare ad alcuni casi, particolarmente importanti o particolarmente adatti, i metodi sviluppati dalla teoria alla progettazione di alcuni organi delle macchine. La teoria di Lamè dei solidi cilindrici a parete spessa, inizialmente sviluppata per le canne dell'artiglieria, trovava immediato impiego nel calcolo dei recipienti per alte pressioni e tuttora forma la base della normativa relativa ai recipienti in pressione.

Quando il conte Von Zeppelin costruì il suo primo dirigibile, l' LZ-1, che fece il primo volo il 2 luglio 1900, incaricò dei calcoli strutturali il Prof. Müller-Breslau della scuola tecnica di Charlottenburg. La struttura era però riconducibile ad una complessa travatura reticolare.

Un altro esempio molto importante è quello delle vibrazioni degli alberi di trasmissione e degli organi rotanti in generale. La relativa semplicità geometrica, che permetteva l'applicazione della teoria delle travi, e l'importanza pratica del problema hanno fatto sì che di esso si occupassero molti studiosi, a partire da Rankine, che ne tentò una prima soluzione nel 1869. Solo in seguito il comportamento dinamico di tali organi di macchine venne spiegato correttamente e De Laval realizzò, a partire dal 1895, macchine che funzionavano in quello che viene normalmente definito *regime supercritico*.

Lo studio dinamico dei rotori ha poi attirato l'attenzione di moltissimi specialisti ed è divenuto uno dei problemi classici della meccanica applicata e della costruzione di macchine, intesa come disciplina scientifica. In tutto il XX secolo si sono

avuti affinamenti della teoria e sue estensioni a problemi sempre più complessi; tali sviluppi hanno ispirato molte soluzioni costruttive.

L'approccio seguito in tutta la prima metà del XX secolo nell'applicazione della teoria dell'elasticità agli organi di macchina è stato quello di assimilare le loro forme complesse a forme semplici (travi, gusci, piastre, dischi) o a composizioni di forme semplici, per le quali fosse possibile risolvere in forma chiusa le equazioni di equilibrio e di congruenza sino a giungere alla determinazione delle sollecitazioni e delle deformazioni.

Anche con tali semplificazioni i calcoli strutturali dovevano essere svolti principalmente usando quei metodi grafici che erano stati portati ad una ammirabile perfezione negli ultimi decenni del secolo XIX da Cullmann, Cremona e Ritter e che hanno dominato il settore per tutta la prima metà del secolo XX sino agli anni '60 e '70, quando la diffusione del calcolo automatico ne ha causato la scomparsa.

Accanto a tali applicazioni della teoria dell'elasticità rimanevano molte formule empiriche o semiempiriche, desunte dall'esperienza, formule che erano spesso usate anche per fornire un substrato tecnico all'unificazione ed alla formulazione della normativa.

Quando si potevano usare per il calcolo formule relativamente semplici, lo strumento di calcolo universalmente adottato era il regolo calcolatore, introdotto nella sua forma attuale in Germania, nel 1886, ad opera di Dennert e Pape. Da allora il suo uso è divenuto universale per tutti i calcoli di ingegneria che non richiedevano integrazioni numeriche o calcoli grafici e il regolo calcolatore divenne una sorta di *status symbol* dell'ingegnere.

La precisione che un utilizzatore addestrato poteva ottenere con questo strumento, e la velocità di calcolo erano notevolissime. Anche il regolo scomparve negli anni '70 di fronte all'invasione delle calcolatrici elettroniche da tasca.

Le calcolatrici meccaniche avevano avuto uno sviluppo notevole, soprattutto in seguito alle idee di Babbage, che a partire dal 1830 aveva ideato macchine digitali programmabili con più memorie che, a parte la velocità, avrebbero dovuto avere prestazioni dello stesso tipo di quelle dei moderni calcolatori elettronici. Babbage non riuscì però a portare a termine tali macchine, e quelle che vennero poi costruite dopo decenni non vennero largamente usate nei calcoli di ingegneria.

Alcuni metodi di calcolo tabellare richiedevano però di eseguire i calcoli con una precisione maggiore di quella consentita dal regolo calcolatore. Negli anni '40 la disponibilità di calcolatrici meccaniche ed elettromeccaniche facilmente utilizzabili permise di sviluppare questi metodi, che si affiancarono ai metodi grafici usati in precedenza.

Si iniziò a utilizzare soluzioni numeriche delle equazioni differenziali di equilibrio e congruenza applicando il metodo delle differenze finite. Un tipico esempio è il metodo di soluzione introdotto da Manson nel 1947 per il calcolo di resistenza dei dischi di turbina aventi forma complessa.

Venne pubblicato un gran numero di tabelle di funzioni che ricorrevano con una certa frequenza nell'analisi strutturale degli organi delle macchine. La disponibilità di calcolatrici elettromeccaniche permetteva di compilarle senza eccessiva difficoltà, e indubbiamente erano di grande aiuto nell'esecuzione dei calcoli. Questo approccio inizialmente sopravvisse all'introduzione dei calcolatori elettronici, sino a quando il calcolo diretto delle funzioni divenne più semplice della consultazione di una tabella e, soprattutto, gli stessi metodi di calcolo che richiedevano la conoscenza di tali funzioni divennero obsoleti.

La vera e propria rivoluzione nel campo del calcolo strutturale causata dall'introduzione del calcolo automatico non solo ha esteso il campo di applicazione dell'analisi a problemi che in precedenza potevano essere affrontati solamente mediante la sperimentazione, ma ne ha anche cambiato profondamente i metodi, i mezzi matematici e persino, in certa misura, il linguaggio.

Fin dalla metà degli anni '50 si è iniziato ad automatizzare quei calcoli strutturali che venivano svolti in forma tabellare o grafica. Data la lunghezza dei calcoli necessari per risolvere alcuni problemi, quali l'ottenimento delle frequenze proprie o il calcolo statico delle tensioni in elementi di forma complessa, l'automatizzazione delle procedure relative costituiva un progresso ovvio, ma di enorme utilità pratica. Alla fine di quel decennio si effettuavano già calcoli che nessuno avrebbe mai intrapreso manualmente e i relativi programmi, spesso non più preparati dagli stessi utilizzatori ma da specialisti, divennero sempre più complicati.

Gli utilizzatori di questi codici di calcolo iniziarono a concentrare la loro attenzione sulla preparazione dei dati e sulla utilizzazione dei risultati più che sui calcoli veri e propri. La situazione continuò ad evolversi nel decennio successivo, con una ulteriore specializzazione dei codici di calcolo che sempre più spesso venivano dotati di programmi per la preparazione dei dati e per la rappresentazione, spesso grafica, dei risultati.

In quel periodo venivano commercializzati i primi programmi basati sul metodo degli elementi finiti, che negli anni '70 erano ormai in grado di risolvere problemi di complessità notevolissima. Uno dei più diffusi, ancora oggi utilizzato nelle sue versioni più recenti, è il NASTRAN, di origine americana (NASA).

La disponibilità di potentissimi mezzi di analisi ha aperto prospettive che erano addirittura inimmaginabili solo 50 anni or sono. Questa situazione però non è priva di pericoli, soprattutto se il progettista usa i codici di calcolo in modo acritico, senza porsi problemi riguardo al loro funzionamento. Per di più, uno specialista in un

singolo settore può essere tentato di eseguire la progettazione di un sistema complesso senza ricercare la collaborazione di specialisti negli altri settori coinvolti, nella illusione che il codice possa fornirgli tutte le informazioni necessarie, in modo asettico e infallibile.

Si è parlato molto della cosiddetta *number crunching syndrome* che colpirebbe coloro che si avvalgono del calcolo numerico. Essa è stata definita da Oden e Bathe come

la palese eccessiva confidenza, addirittura arroganza, di molti che lavorano nel settore [del calcolo strutturale automatico] [...] che ha assunto le caratteristiche di una malattia di carattere epidemico tra chi si occupa di meccanica computazionale. Sintomo acuto è la ingenua convinzione che, essendo disponibili oggi calcolatori con potenzialità enormi, si possano programmare tutte le complesse equazioni della fisica, macinare alcuni numeri e quindi descrivere tutti i fenomeni fisici di interesse per l'umanità [5].

Per ridurre questi rischi è indispensabile che coloro che utilizzano i codici di calcolo abbiano da un lato una cultura tecnica (cultura fisico-matematica accompagnata da un solido buon senso ingegneristico e dalla conoscenza pratica dei problemi in studio) tale da permettere loro di valutare sempre criticamente i risultati ottenuti e dall'altro l'umiltà necessaria per ricorrere ai vari specialisti nei singoli settori coinvolti nell'attività di progettazione.

Il progresso dei mezzi di calcolo è andato di pari passo con il manifestarsi, nel settore della progettazione, di sempre nuove esigenze. Indubbiamente i due processi si sono rinforzati a vicenda: la possibilità di eseguire calcoli più raffinati ha sicuramente stimolato la progettazione e d'altra parte le esigenze di prestazioni più elevate ha spinto verso lo sviluppo di metodi più sofisticati o ha richiesto l'uso di mezzi più potenti.

All'inizio del XX secolo la maggior parte degli organi delle macchine era decisamente sovradimensionata rispetto alle esigenze di resistenza. Il basso livello delle sollecitazioni, in parte dovuto alla impossibilità di prevedere a calcolo con buona precisione le sollecitazioni presenti ma in parte anche reso necessario dalla bassa resistenza di molti materiali, faceva sì che le deformazioni fossero in generale contenute. Una struttura sovradimensionata dal punto di vista della resistenza è generalmente rigida e scarsamente affetta da problemi dinamici.

Il calcolo strutturale, quando non veniva del tutto omesso e sostituito da una valutazione a stima della resistenza, si riduceva quindi a verificare che le massime sollecitazioni previste in esercizio non superassero la massima tensione ammissibile nel materiale. Quest'ultima era semplicemente la tensione di rottura o di sneramento misurata su provini sottoposti a prove di trazione, divisa per un coefficiente di sicurezza sufficientemente elevato. Nel caso in cui si prevedesse la

possibilità di sovraccarichi, oppure si fosse in presenza di sollecitazioni più volte ripetute, si procedeva ad aumentare opportunamente il coefficiente di sicurezza.

Tale modo di procedere era più che adeguato per molte applicazioni, in particolare per le macchine utensili in cui la rigidità era requisito fondamentale e la leggerezza aveva un'importanza molto marginale. In tale settore le aumentate esigenze di precisione e di finitura superficiale e gli aumenti degli sforzi di taglio imposti dalla necessità di rendere più rapide le lavorazioni mediante un aumento della quantità di materiale asportato nell'unità di tempo, hanno fatto sì che ancor oggi si adottino strutture molto rigide e sovradimensionate rispetto alle esigenze di resistenza.

La realizzazione della struttura e degli elementi meccanici dei veicoli e soprattutto dei velivoli imponeva esigenze di leggerezza che rendevano tale approccio impossibile. Diveniva necessario sfruttare maggiormente la resistenza dei materiali, che progredivano continuamente, almeno dal punto di vista della resistenza statica e, anche se generalmente in misura minore, a fatica. La rigidità dei principali materiali da costruzione non subiva generalmente variazioni e solo con l'introduzione di alcuni materiali compositi si sono resi disponibili materiali con rigidità decisamente più elevata di quelli tradizionali.

Queste tendenze all'alleggerimento delle strutture causò spesso una diminuzione delle frequenze proprie di vibrazione di molti elementi di macchina e rese più importanti gli effetti dinamici.

L'aumento delle velocità di rotazione provocò un aumento dell'intensità e della frequenza di tutte le azioni dinamiche ed aumentò il rischio di avere risonanze nel campo di funzionamento. Forti vibrazioni in risonanza sono presenti anche negli alberi a gomito dei motori a combustione interna e studi approfonditi sono stati dedicati a partire dagli anni '30 alle loro vibrazioni torsionali ed assiali.

La diminuzione dei margini di sicurezza, oltre all'aumento delle sollecitazioni dinamiche, mise in luce fenomeni di fatica che in precedenza erano molto rari, anche se per particolari applicazioni, ad esempio le sale (assali completi dei loro supporti) ferroviarie, erano noti da tempo (studi di Whöeler, 1850-1869).

Dapprima si tentò di risolvere il problema in modo empirico, ricorrendo estensivamente alla sperimentazione. Si facevano funzionare i prototipi per lunghi periodi, per stabilire coefficienti di sicurezza che non fossero troppo penalizzanti in termini di peso, ma che nel contempo fossero in grado di garantire l'integrità strutturale. Un esempio di tale approccio è lo sviluppo dei motori aeronautici nella prima guerra mondiale.

Pian piano ci si rese conto della necessità di un lavoro di ricerca più scientifico e vennero intraprese ricerche di base al fine di comprendere più a fondo il fenomeno della fatica dei metalli e gli altri fenomeni che influivano sulla resistenza dei

materiali nelle più gravose condizioni operative (infragilimento da idrogeno e a bassa temperatura, corrosione sotto tensione, resistenza ad alta temperatura, infragilimento neutronico delle strutture nucleari). Tali ricerche impegnarono scienziati e tecnici per decenni e molte di esse sono ancora in corso, non solo perché alcuni fenomeni non sono stati ancora chiariti completamente ma, principalmente, perché le condizioni operative di molte macchine divengono sempre più severe e sempre nuovi fenomeni acquistano importanza industriale.

Nuove filosofie progettuali si diffusero prima nel campo aeronautico e poi più in generale nella costruzione delle macchine. Si tratta della progettazione *safe life*, in cui gli elementi vengono disegnati in modo da garantire la resistenza alle sollecitazioni di fatica per un numero minimo di cicli, trascorsi i quali l'elemento deve essere sostituito. Tale filosofia è ora diffusa in molti altri campi, basta pensare alle cinghie dentate della distribuzione dei motori degli autoveicoli, che devono essere sostituite dopo un certo numero di chilometri, indipendentemente dal fatto che esse siano apparentemente in buono stato o no. Legata alla impostazione *fail safe* è l'introduzione di elementi ridondanti, indispensabile per assicurare la necessaria affidabilità.

L'approccio *safe life* è stato poi, almeno in parte, sostituito dalla progettazione *fail safe*, in cui la struttura è progettata in modo tale da poter sopravvivere per un certo periodo di tempo al cedimento (o almeno alla crisi) dei suoi elementi. Stabilendo periodiche verifiche mediante controlli non distruttivi degli elementi critici, si garantisce che il cedimento venga scoperto e vi si ponga rimedio prima che abbia causato conseguenze gravi.

Le metodologie basate sulla meccanica della frattura, che traggono origine dagli studi di Griffith (anni '20) sulla propagazione delle fessurazioni nei materiali, hanno trovato una larga applicazione solo a partire dagli anni '60-'70. Queste metodologie sono entrate, a partire dagli anni '70, nella normativa tecnica, non solo in campo aeronautico, ma anche in quello dell'ingegneria civile (ponti metallici) e meccanica in generale.

Per la loro applicazione è essenziale definire la *storia temporale* delle sollecitazioni cui ogni elemento andrà soggetto in esercizio, cioè eseguire quella che viene definita *analisi della missione*. Tale analisi si basa normalmente su tecniche statistiche, dato che la maggior parte dei carichi non può essere definita in modo deterministico. L'enorme mole di calcoli che questi sviluppi della progettazione sottintendono rende indispensabile l'uso dei calcolatori elettronici, sempre più spesso in un approccio integrato tra CAD, programmi di calcolo, oggi normalmente basati sul metodo degli elementi finiti, e in generale CAE (Computer Aided Engineering).

## L'evoluzione di metodi e strumenti di supporto: dal CAD al PLM

L'evoluzione del processo di sviluppo prodotto nella sua fase iniziale di progettazione e validazione e nella sua fase finale di documentazione e specifica per la produzione si è sempre basata su supporti fisici: disegni tecnici e/o prototipi. Entrambi sono prodotti essenzialmente a mano, con l'ausilio di strumenti semplici, ed entrambi richiedono lunghi tempi operativi che nei frequenti cicli di correzione, modifica e miglioramento implicano lunghe e noiose fasi di revisione.

L'avvento dei computer a supporto della progettazione si può collocare alla fine degli anni '50 quando vengono resi disponibili dispositivi grafici interattivi come interfacce utente ad un calcolatore, come risultato accessorio di una nuovissima tecnologia per la visualizzazione grafica di dati elaborati da calcolatori elettronici (allora *mainframes*) nata in ambito militare negli Stati Uniti con il programma SAGE.

Questi terminali grafici, costituiti da un CRT e da una *light pen* sono immediatamente visti come l'equivalente elettronico/informatico del classico tavolo da disegno, strumento principe ed indispensabile per ogni progettista. Al contempo, nelle maggiori aziende aeronautiche, navali ed automobilistiche iniziano attività di ricerca e sviluppo, nella visione ampiamente ottimistica di allora che queste tecnologie battezzate come CAD (Computer Aided Design) siano destinate a sostituire nel giro di qualche anno gli strumenti tipici del progettista meccanico: il regolo calcolatore ed il tavolo da disegno.

Nel 1963 Ivan Sutherland presenta la sua tesi di Dottorato *Sketchpad* al MIT, il primo sistema di *drafting 2D* interattivo che segnerà la strada di sviluppo delle tecnologie hardware e software per i decenni a seguire. Subito dopo compaiono i primi prodotti industriali: DAC-1 sviluppato da IBM per GM, e CADAM sviluppato internamente da Lockheed. Nel 1967 il professor Steve Coons pubblica *Surfaces for computer-aided design of space forms (MAC-TR-41 Project MAC M.I.T.)* in cui codifica la formulazione matematica di curve e superfici, che poi verranno riferite con il suo nome.

Nel 1968 il professor Pierre Bézier, Direttore Tecnico di Régie Renault pubblica *Procédé de définition numérique des courbes et surface non mathématiques: système UNISURF (Automatisme 13, may 1968)* che definisce la nascita delle curve a poli, fondamentali per la facilità di interazione e la quasi totale invisibilità della matematica sottostante.

Inizia così l'era del *Geometric Modeling* relativo alle cosiddette *free forms* ossia lo sviluppo di metodi e tecniche per la definizione iniziale e la successiva modifica delle forme tridimensionali, che sono l'oggetto della progettazione iniziale nei settori aeronautico, navale ed automobilistico. Contestualmente ha inizio il lungo confronto, tipico di tutte le applicazioni dell'informatica nei settori applicativi, tra gli sviluppatori dei software applicativi ed i presunti e potenziali utenti.

Gli uni da una parte, esperti del mezzo informatico, cercano di implementare in modo efficace dal punto di vista delle tecnologie informatiche disponibili che ben conoscono, strumenti che permettano di raggiungere quello che ritengono sia l'obiettivo dei futuri utilizzatori, ipotizzando però un *modus operandi* che è quello tipico dell'informatica del tempo: la programmazione.

Gli altri, gli utenti, forti di conoscenze approfondite relative ai problemi ed ai vincoli alla soluzione e di prassi operative consolidate negli anni, ma che non sono esplicitate a livello tale da essere facilmente codificate in algoritmi, intuiscono l'enorme potenziale offerto da una capacità di calcolo, di archiviazione e gestione di enormi quantità di dati, ma non sono in grado di esplicitare i loro obiettivi primari ed il processo logico per arrivarci in termini algoritmici. Pertanto, cercano di adattarsi all'uso degli strumenti informatici forniti e di contribuire ad un miglioramento delle capacità di modellazione geometrica e di rappresentazione geometrica del risultato del calcolo e della progettazione nella sua sintesi finale: il disegno tecnico.

Questa interazione continua tra esperti e sviluppatori delle tecnologie informatiche ed esperti dei problemi in specifici settori porta allo sviluppo di strumenti specializzati nelle singole aree applicative e ad una iniziale confusione di termini.

Nasce una nuova area scientifica: la *Computer Graphics* formata essenzialmente dagli specialisti delle tecnologie abilitanti sia hardware che software, che ha come mercato di riferimento il mondo della progettazione in primo luogo meccanica, vista la sua grande estensione. Inoltre, considerato che l'aspetto quantitativo e più visibile che caratterizza questa comunità è l'uso generalizzato di tavoli da disegno ed attività di disegno, *CAd* (inteso come *Computer Aided drafting*) e *Computer Graphics* diventano quasi equivalenti.

Alla fine degli anni '60, si sviluppano industrialmente e cominciano a diffondersi i primi sistemi CAD (Auto-trol, Computervision, Applicon, Calma, SDRC) come sistemi integrati di tipo turnkey. Nell'ambito delle grandi aziende nei settori automobilistico ed aeronautico (General Motors, Ford, Lockheed, McDonnell Douglas, ecc.) partono progetti di sviluppo interno autonomo. Tutti questi sistemi sono essenzialmente sistemi interattivi di drafting 2D, emuli dello Sketchpad di Sutherland, che supportano la progettazione essenzialmente nelle fasi intermedie e nella fase finale di documentazione.

Quasi in parallelo si espande e diffonde l'area del *Geometric Modeling*, all'inizio relativamente alle due categorie che caratterizzano la definizione di superfici: quella, come tipico del settore aeronautico e navale, in cui la forma dipende essenzialmente dal rispetto di vincoli di tipo fluidodinamico e quindi dai modelli matematici che descrivono i fenomeni che debbono essere ottimizzati nella fase di

progettazione, e quella, tipica del settore automobilistico e del design in generale, in cui la finalità è puramente estetica.

In ambedue i casi, la disponibilità di un modello matematico 3D è essenziale per poter automatizzare la fase di lavorazione diretta o degli strumenti per la produzione (stampi, dime, ecc.). Anche se i risultati, geometricamente e visivamente, possono sembrare molto simili se non identici, gli obiettivi e le modalità di definizione iniziale, di modifica e di interazione, nonché le caratteristiche, le competenze e le modalità operative dei progettisti, e quindi degli utenti degli strumenti CAD, sono profondamente diverse.

Da un lato vi è un problema di modellazione di un fenomeno fisico che si vuole ottimizzare (portanza, attrito, ecc.) e la forma è il risultato che nasce da un processo di ottimizzazione.

Dall'altro si deve poter descrivere e modificare in modo semplice ed immediato una forma che viene valutata esteticamente attraverso la simulazione della sola apparenza visiva.

Questi due mondi che porteranno allo sviluppo di due categorie di sistemi di modellazione 3D di superfici, i sistemi CAD (Computer Aided Design) ed i sistemi CAS (Computer Aided Styling), partono inizialmente basandosi sui due capisaldi originari precedentemente accennati: le superfici di Coons nel primo caso, e le superfici di Bézier nel secondo.

Un diverso approccio fu sviluppato per quanto concerne la modellazione 3D dei componenti meccanici più tradizionali, che sono generalmente prodotti con lavorazioni per asportazione di truciolo, e pertanto caratterizzati da geometrie localmente semplici ma globalmente anche molto complesse, e che hanno la necessità di poter simulare e verificare montaggi, movimenti, possibili collisioni e/o interferenze, comportamento cinematico e dinamico.

I due punti di partenza furono la tesi di dottorato di Ian Braid *Designing with volumes* sviluppata al Mathematical Lab dell'Università di Cambridge (U.K.) nel 1973 che definì i cardini dell'approccio basato sulla consistenza topologica dei modelli geometrici, poi definito e universalmente noto ed adottato come *B-Rep*, e la definizione del *PADL - Part Assembly Description Language*, da parte dei professori Ari Requicha e Herbert Voelcher del Production Automation Product dell'Università di Rochester (USA).

PADL fu allo stesso tempo la definizione di un linguaggio e l'impianto metodologico e teorico dell'approccio CSG (Constructive Solid Geometry) basato sulla descrizione di oggetti partendo da primitive solide semplici composte con operazioni booleane, ma soprattutto una serie di programmi che implementavano il sistema, che furono resi pubblicamente disponibili con un approccio *opensource ante litteram* che favorì ampiamente la diffusione delle attività di modellazione geome-

trica nel settore meccanico. L'approccio CSG è la base dei successivi sviluppi degli approcci procedurali e *feature-based* delle attuali versioni dei sistemi CAD.

Vale la pena di ricordare tra questi elementi fondanti dell'approccio e della metodologia 3D basata su solidi il sistema SHAPES sviluppato principalmente da Vittorio Moreggia di FIAT, assieme a Laning e Lynde al Draper Lab dell'MIT nell'ambito di un contratto di ricerca finanziato da FIAT nel 1973.

SHAPES fu il primo modellatore solido, concepito per uso industriale, implementato in linguaggio Assembler su IBM 360 e funzionante, a cui però poi non fu dato seguito poiché l'approccio 3D per i componenti meccanici venne giudicato non interessante (la modellazione 3D per le parti meccaniche venne poi adottata in FIAT solo alla fine degli anni '90).

I sistemi CAD 3D si identificavano all'inizio con dei Modellatori Geometrici dotati di funzioni di messa in tavola per la generazione di tradizionali disegni tecnici, che obbligavano quindi i progettisti a descrivere e a modificare i componenti meccanici in termini puramente geometrici, con i vincoli imposti dall'approccio matematico dello specifico sistema CAD. Questo è certamente distante dal modo di pensare del progettista che ragiona e vede la forma risultante del suo progetto in termini di funzioni, comportamenti meccanici, fabbricabilità.

Questi limiti erano comunque compensati dal fatto di poter avere in un ambito digitale lo stesso vantaggio offerto da un prototipo fisico da cui però derivare automaticamente disegni, sezioni, ingombri, proprietà di massa, possibili collisioni, in modo algoritmico e non attraverso interpretazioni spesso con gradi di ambiguità.

La stabilizzazione e l'irrobustimento del *kernel* di modellazione geometrica con la possibilità di far coesistere volumi e superfici è durato una trentina d'anni e ad oggi non si è ancora giunti ad una totale e robusta trasparenza e portabilità della geometria generata da sistemi CAD che usano *kernel* di modellazione geometrica diversi.

Il salto di qualità verso sistemi più orientati alla logica progettuale avviene quando, nel 1988, la neonata PTC sviluppando l'approccio procedurale introdotto da PADL porta sul mercato Pro/E il capostipite della progettazione parametrica che, catturando la sequenza delle singole operazioni di costruzione geometrica del modello la parametrizza automaticamente generando così non un singolo modello bensì una famiglia di possibili modelli. Quindi cambiando una semplice dimensione od operazione logica, è possibile generare una nuova versione del progetto con variazioni non solo dimensionali ma anche morfologiche.

L'ultimo passo che ci porta alla tecnologia oggi integrata nella quasi totalità dei prodotti CAD disponibili sul mercato è l'introduzione dell'approccio detto *feature-based* in cui, concettualmente, cambia il linguaggio di base di comunicazione con il sistema CAD che si evolve dal solo uso di "parole geometriche" (cilindri, sfere, tori,

piani, superfici varie, ecc.) a “*Features?*” (flange, cave, nervature, alberi, boccole, supporti, ecc.) cioè elementi che si portano dietro non solo una forma parametrica ma anche funzioni, caratteristiche tecnologiche e funzionali.

Per quanto concerne le piattaforme hardware, l'evoluzione dei sistemi CAD parte e si sviluppa su due filoni: terminali grafici CRT collegati a *mainframe*, che all'inizio si fanno anche carico del continuo *refresh* dello schermo, e che permettono di rappresentare in modo dinamico disegni costituiti da decine fino a qualche centinaio di segmenti, e sistemi integrati di tipo *turnkey* costituiti da un minicomputer dedicato che supporta pochi terminali grafici di tipo *storage*. In ogni caso si tratta di investimenti consistenti, cioè di posti di lavoro che costano l'ordine di grandezza del centinaio di migliaia di dollari.

L'evoluzione avviene da una parte con l'aumento della potenza di calcolo sia dei *mainframe* sia dei minicomputer, e dall'altra con l'aumento della capacità di elaborazione grafica a bordo del terminale grafico, che a partire dalla fine degli anni '70 vede la sostituzione degli *storage tube* con *raster display*.

Ma siamo sempre nella condizione di multi-utenza: più utilizzatori che interagiscono ognuno con il proprio disegno, ma supportati da un'unica unità di calcolo, per cui i tempi di risposta durante l'interazione sono, in modo del tutto insoddisfacente, variabili e non prevedibili. L'avvento delle *workstation* grafiche cambierà drasticamente il quadro di riferimento.

Il concetto di base è che ogni utente ha a sua esclusiva disposizione la potenza di calcolo e una grafica sofisticata integrata. Inoltre, le singole *workstation* possono essere collegate e lavorare in rete. In questo modo diminuisce in maniera sostanziale il costo per postazione, ma ancor più il costo di accesso, che può ridursi a quello di una singola *workstation*.

Sia l'approccio sia l'architettura vengono clonati nei Personal Computer, nati però non per uso tecnico, all'inizio degli anni '80.

Nel 1982 nasce Autodesk che si pone come obiettivo di produrre un software di drafting (AutoCad) per PC con un *target price* dell'ordine di 1.000 \$ per postazione di lavoro: questo software fa crescere la diffusione e l'uso del CAD. AutoCad è semplicemente un sistema di drafting 2D, ma ha il grande vantaggio di avere un uso ed un mercato ben definito: coloro che producono disegni. Per distinguerlo dai prodotti CAD di più alto livello viene da alcuni etichettato come *CAD Computer Aided drafting*.

La diffusione del CAD di fascia alta, essenzialmente basato sulla modellazione 3D, avviene con l'avvento delle *workstation* introdotte da Apollo nel 1980, e poi a seguire da SUN, Digital, HP fino al salto di qualità e di prestazioni grafiche

prodotto da Silicon Graphics, che nel 1983 introduce l'hardware grafico che permette elaborazioni grafiche sofisticate in real-time.

La “naturale” evoluzione, secondo la legge di Moore, della potenza di calcolo delle CPU, l'evoluzione delle GPU, unita ai grandissimi volumi di produzione e diffusione dei PC, ma soprattutto l'uniformità dei sistemi operativi dovuta all'introduzione di Windows NT nel 1993, hanno portato alla sostanziale integrazione delle due piattaforme PC e *workstation*, riservando a queste ultime le nicchie di applicazioni più specialistiche.

## Le origini del CAD in Italia

In Italia l'interesse e le prime attività relative al CAD partono nella seconda metà degli anni '60. Nel 1968 viene formalizzato un gruppo CAD nell'ambito della Ricerca e Sviluppo di Olivetti che nel 1970 realizzerà su hardware IBM *Computer Aided Mechanisms Analysis*, un sistema di analisi cinematica di meccanismi utilizzato internamente per la progettazione di cinematismi di macchine da scrivere e calcolatrici meccaniche, e che nel 1976 produrrà il sistema GRAFIX per la progettazione di font, parte attiva nella battuta delle teste scriventi ad impatto della macchine da scrivere elettriche, con la relativa integrazione con la parte CAM di lavorazione degli stampi per la produzione.

Sempre nel 1968 nasce un gruppo di CAM (Computer Aided Manufacturing) in Fincantieri a Trieste a cui seguirà la nascita del gruppo CAD di progettazione 2D che si doterà, primo in Italia, dei più sofisticati terminali ADAGE connessi a mainframe IBM.

Nel 1970 nasce Computer Aided Lab in Fiat che sotto la guida dell'ing. De Mari porterà allo sviluppo di numerose attività interne, tra cui nel 1974 il sistema PACS. Nello stesso anno iniziano le attività sul CAD in Alfa Romeo che porteranno, tra l'altro, nel 1975 al completamento del sistema DACAR, il sistema Alfa Romeo di disegno automatico, coordinato dall'ing. Arnaldo Colombo.

Nel 1976 viene organizzato presso il Politecnico di Milano, sotto l'egida di IFToMM e AIMETA, il *Symposium* “Computer Aided Design in Mechanical Engineering” [6], primo evento internazionale nell'area del CAD meccanico che consolida in un quadro di riferimento a livello internazionale le attività di ricerca in ambito accademico e industriale; in questa occasione viene presentata, a cura di Lucifredi e Cugini *A survey on computer aided design in the field of mechanics in Italy* [7], la prima rassegna sistematica e quasi esaustiva dell'attività nel CAD meccanico in Italia.

Nel 1978 Valle e Cugini organizzano a Bologna la *International Conference* “Interactive techniques in Computer Aided Design” sponsorizzata da ACM e IEEE, che con più di 300 partecipanti da tutto il mondo evidenzia come l’aspetto della interazione, nelle sue modalità e negli strumenti hardware e software utilizzati, sia cruciale per la diffusione e l’efficacia del sistema CAD.

Una opportunità unica per la collaborazione tra mondo industriale e ricerca accademica nel settore CAD meccanico si rivelò essere il Progetto Finalizzato Informatica del CNR attuato tra il 1980 ed il 1984. Nell’ambito del sottoprogetto “3b Automazione Industriale: sistemi per la progettazione automatica” venne sviluppato il progetto CADME.

CADME aveva come obiettivo quello di sviluppare il *kernel* di un sistema CAD per applicazioni meccaniche basato sulla modellazione solida 3D sia in termini di primitive volumetriche sia di superfici *free-form* con anche un modulo CAM per la lavorazione a Controllo Numerico (C.N.) a 3/5 assi, e con una interfaccia interattiva grafica di alto livello, basata sulla metafora del disegno tecnico. Il progetto CADME, nei suoi 5 anni di vita (dal 1980 al 1984) vide la partecipazione di 14 Unità Operative: 4 industrie rappresentanti l’utilizzo: Aermacchi, Agusta, Alfa Romeo, C.R.Fiat; 2 industrie dell’area manufacturing: DEA e Olivetti Tecnost; 2 società di software interessate alla ingegnerizzazione dei software sviluppati: System&Management e Selenia Italcad; 3 Centri di ricerca: IMA (Istituto di Matematica Applicata) del CNR, CESI e CILEA e 3 gruppi universitari: Dipartimenti di Meccanica del Politecnico di Milano e dell’Università di Bologna ed il Dipartimento di Informatica dell’Università della Calabria, negli ultimi 2 anni. I coordinatori del progetto furono Valle (Università di Bologna e poi Università della Calabria) e Cugini (Politecnico di Milano).

L’attività globale che totalizzò +110 anni/uomo con un finanziamento di 3,4 miliardi di Lire (2,15 da parte del CNR e 1,3 dalle industrie partecipanti) raggiunse con successo gli obiettivi previsti ma soprattutto contribuì a costituire una rete di legami nazionali ed internazionali che ebbero importanti ripercussioni nel seguito.

I risultati conseguiti furono i prototipi software sviluppati e validati:

- Modellatore Solido C.S.G. (Fig. 2)
- Modellatore Solido B-Rep (Fig. 3)
- Modellatore di Superfici Sculturate (Fig. 4)
- Modulo per lavorazione C.N. a 5 assi (Fig. 5)



Figura 2. Modellatore solido CADME di tipo CSG.

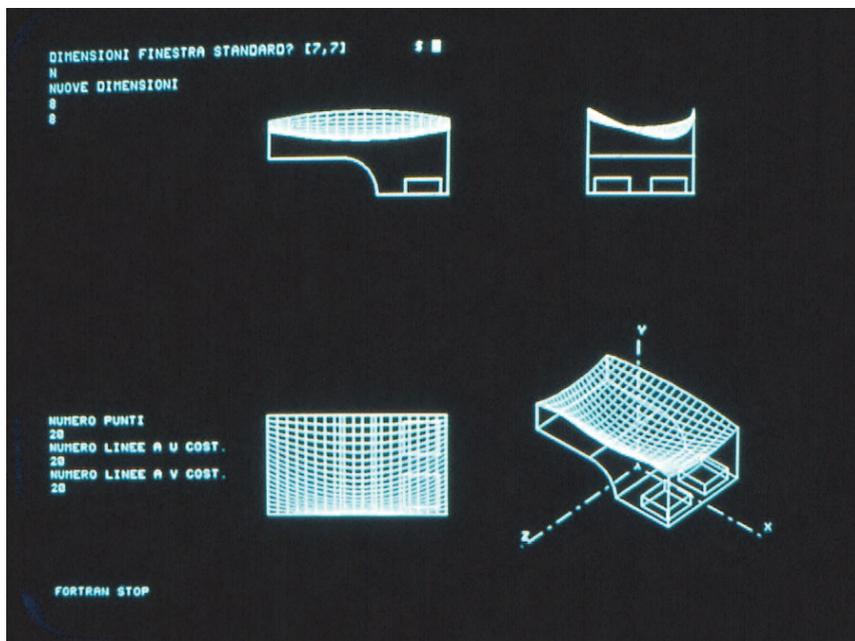


Figura 3. Modellatore solido CADME di tipo B-Rep.

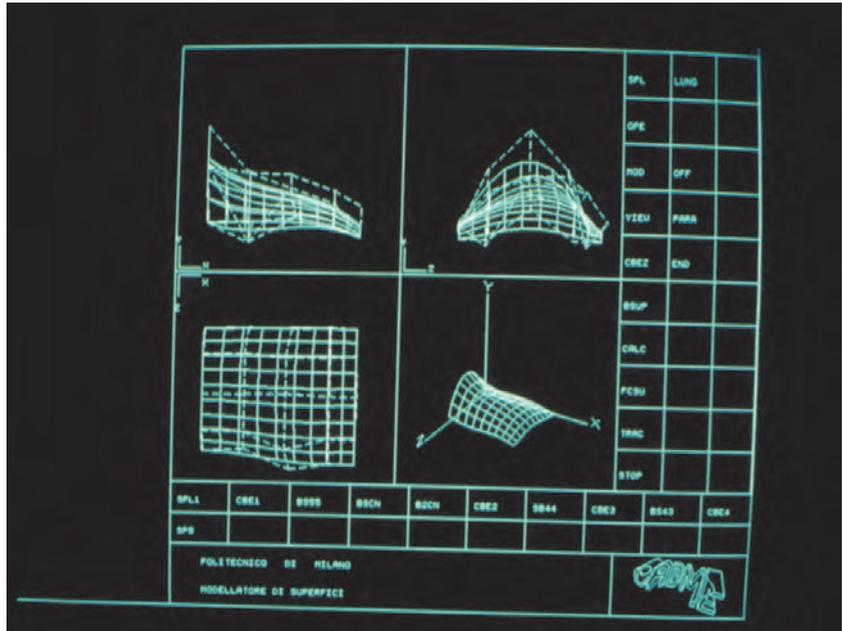


Figura 4. Modellatore di superfici sculturate CADME.



Figura 5. Primo pezzo di test prodotto con il modulo CAM per la lavorazione a 5 assi.

I prototipi software (brevettati dal CNR), oltre che ingegnerizzati ed ulteriormente sviluppati dai partecipanti al progetto, vennero trasferiti ad altre aziende per ingegnerizzazione, sviluppi ulteriori e come *kernel* di sistemi specialistici, e costituirono il nucleo di partenza del Sottoprogetto CAPPME del Progetto Finalizzato Tecnologie Meccaniche del CNR (iniziato nel 1986) nel quale verranno sviluppati:

- un Modellatore ibrido (solidi + superfici)
- un ambiente 3D di simulazione robotica (Fig. 6)

**Figura 6.** Simulatore CADME 3D per la robotica.



Il capitale umano formatosi durante il progetto (più di 50 borsisti e assegnisti) fu acquisito da varie aziende italiane ed internazionali (la allora nascente Italcad ebbe la quasi totalità della sua struttura di Ricerca&Sviluppo costituita da ricercatori e assegnisti formati e provenienti dal progetto CADME).

Le aziende partecipanti ebbero modo di approfondire e verificare nelle loro strutture i vantaggi offerti dall'approccio "full 3D", e non basato sull'approccio *drafting* allora ampiamente prevalente, ed adeguare di conseguenza le loro strategie di adozione di queste nuove tecnologie che cambiarono notevolmente il quadro della competizione internazionale.

Aermacchi fu la prima azienda aeronautica al mondo ad adottare nella sua organizzazione il "master model 3D" come fonte primaria delle specifiche di prodotto al posto dei disegni tecnici tradizionali ancorché in formato CAD.

I gruppi universitari e dei Centri di ricerca, oltre alle collaborazioni con le aziende nazionali, ampliarono le loro relazioni internazionali tramite la partecipazione a progetti europei e collaborazioni con USA e Giappone.

## Dal CaX al PLM

La forma nominale in termini geometrici è la parte principale del risultato della fase di progettazione, ma allo stesso tempo è il punto di partenza per analisi e verifiche, ed il riferimento di partenza per ogni tipo di analisi e per la pianificazione e progettazione del ciclo di produzione e assemblaggio.

Questo ha portato alla realizzazione di sistemi Computer Aided, sempre basati sulla geometria nominale, per il *manufacturing* (CAM), per l'analisi di stati tensionali e deformazioni (FEM), indipendenti e in parallelo, che hanno adottato le varie tipologie di modellatori geometrici indipendentemente, senza alcun coordinamento. Questi sistemi sono stati sviluppati nei singoli ambienti di competenza portando alla proliferazione di sistemi genericamente denominati come CAX, ognuno dei quali risolve una tipologia di problemi locali ma modellando punto di partenza e punto di arrivo in modo autonomo ed indipendente.

Questa situazione ha generato, a posteriori, un enorme e tuttora non risolto problema di standardizzazione, compatibilità, conversione tra i vari modelli che, pur riferendosi allo stesso oggetto, sono di volta in volta diversi.

La diffusione dell'uso di sistemi parametrici e feature-based, ha migliorato l'efficienza del processo di definizione della forma finale di componenti e assiemi, e la capacità dei sistemi CAD di gestire in modo affidabile e robusto gli assemblati ed i controlli di consistenza geometrica su assiemi di rilevanti dimensione, come quelli in campo aeronautico, navale ed impiantistico, ed hanno ampliato la diffusione dell'uso del DMU (Digital Mock Up) come fonte primaria dei dati geometrici di progetto.

Nel frattempo, mentre tutta questa tecnologia abilitante e di supporto andava evolvendo, ma facendo riferimento ad un processo di progettazione tipico e valido nel secolo scorso, il mondo industriale, ma soprattutto le necessità del mercato, cambiavano profondamente e continuamente.

Quando tutto questo è iniziato (attorno agli anni '50 del secolo scorso) l'ambiente meccanico era fortemente orientato alla prassi consolidata di progettare *macchine*, che come da tradizione svolgevano meccanicamente tutte le funzioni necessarie. In questa situazione il processo tradizionale prevedeva di trovare dei riferimenti esistenti a cui ispirarsi e adattarli in una architettura statica e cinematica che risolvesse il problema, il disegno della macchina e la scelta dei suoi componenti singoli ed il dimensionamento/verifica del tutto rispetto alle situazioni ritenute più gravose, critiche e/o più rischiose. In questa visione del processo si tende a focalizzare l'essenza della progettazione nel dimensionamento e verifica che è la parte di responsabilità progettuale per il buon risultato del progetto.

Volendo semplificare, l'essenza del progetto, secondo questa visione, è saper definire una macchina che, coi vincoli di fabbricabilità e costi assegnati, svolge la funzione e non si rompe.

Il diffondersi di tecnologie non essenzialmente meccaniche che permettono di sostituire sottosistemi funzionali in modo più efficace della soluzione meccanica e di conseguenza la necessità di accoppiare correttamente questi sottosistemi, porta allo sviluppo di una ingegneria dei sistemi in cui il modello di base, oggetto del progetto, è un sistema di sottosistemi integrati ed interconnessi, cioè un sistema multitecnologico in cui la geometria non è l'elemento necessariamente primario e la simulazione del funzionamento, ed in particolare del controllo, diventa l'elemento fondamentale.

Il processo di globalizzazione dei mercati porta alla sempre maggior diffusione del fenomeno della *consumerization* cioè il continuo diffondersi, anche nel mercato B2B, del modello di business tipico dei prodotti *consumer*, in cui a fronte di un bisogno, necessità, esigenza c'è una pluralità di prodotti disponibili, che funzionano, sono affidabili e quindi sono tecnicamente comparabili, ma in cui la differenziazione sta nell'estetica, nell'usabilità, nel servizio, nel supporto.

È chiaro che in questo contesto gli strumenti CAD così come sono ora non risultano più essere quelli principali e di riferimento per il team di progetto che via via sostituisce il progettista singolo. Invece di porsi come obiettivo della progettazione la specifica, fatta con strumenti CAD, per la fabbricazione preceduta però dalla realizzazione di prototipi fisici, funzionanti e testabili per validare il progetto, si punta a generare da subito il *Virtual Prototype* su cui poter fare da subito del *Virtual Testing* per quanto attiene gli aspetti funzionali tecnici, ma anche per far "provare" ed usare ai potenziali utenti/acquirenti il futuro prodotto ancor prima di averlo progettato in dettaglio e fabbricato. [8]

Questo approccio offre una possibilità di ridurre tempi e costi di sviluppo prodotto in modo consistente ed offre la possibilità, specie per i prodotti consumer, di ridurre notevolmente il rischio di insuccesso di prodotti che non incontrino i gusti dei potenziali acquirenti, ma cambia il processo di sviluppo prodotto perché introduce in modo attivo l'utente/cliente nella fase iniziale del consolidamento del concept di prodotto.

Ovviamente, la tecnologia di supporto al Virtual Prototyping è essenzialmente basata sulla simulazione funzionale in real-time, quindi su *Functional Mock Up (FMU)*, ed inoltre sulle interfacce di interazione/uso che devono necessariamente essere il più realistiche e verosimili possibile, supportate quindi da tecnologie immersive o semi-immersive di *Virtual* e/o *Augmented Reality*.

Questi cambiamenti tecnologici a supporto del processo di progettazione sono il risultato della interazione tra l'evoluzione della tecnologia informatica di base e

per la comunicazione in generale ed il quadro del mercato prima citato. Si è passati dalle macchine, ai sistemi, ai prodotti e, per ora in alcuni settori, ai servizi. Quello che cambia è il contratto tra produttore e cliente e soprattutto il loro rapporto nel tempo: la macchina viene acquistata ed ha un periodo di garanzia che prevede una modalità di utilizzo prescritto. Quindi la progettazione è finalizzata a soddisfare questo tipo di contratto e di responsabilità del costruttore.

Un prodotto ha una componente di servizio incluso, estendibile, e a volte è solo il supporto fisico per fornire un servizio. Quindi, in un prodotto il supporto durante tutto il ciclo di vita fino alla dismissione ed al riciclaggio dei componenti è un aspetto essenziale, talvolta il più importante, per il successo della funzione svolta.

Poiché progettare prodotti è molto diverso dal progettare macchine, il mondo dei supporti informatici alla progettazione che aveva individuato nel CAD, CAE, CAM, CAx i suoi settori di attività ha evoluto la sua visione e la sua offerta al PLM (Product LifeCycle Management) ossia un sistema informativo globale che copre ed integra tutti gli aspetti tecnici, gestionali ed operativi del ciclo di vita del prodotto.

Il concetto e la visione del PLM sono molto allettanti, ma la strada per arrivarci risulta essere molto difficile, non tanto per le tecnologie a supporto della realizzazione che esistono da tempo, quanto per la realizzazione di un cambiamento organizzativo globale che coinvolge tutta l'azienda in senso esteso (fornitori e clienti) da farsi integrando tutte le integrazioni locali già in essere. In questo cambiamento globale anche il settore che ha in carico la progettazione è coinvolto per una integrazione organizzativa, ma con impatto minimo o nullo sull'attività specifica di progettazione che risulta sempre più orientata alla innovazione di prodotto.

Per quanto riguarda l'innovazione del modo di progettare un impatto consistente per la riconsiderazione della logica stessa del processo di progettazione viene dalla rivoluzione concettuale, ed ora anche pratica, di poter produrre pezzi con caratteristiche locali fisiche e comportamentali differenziate, generato dall'evoluzione delle tecnologie di produzione cosiddette additive, sia nella variante delle fibre sia soprattutto per le tecnologie di *Additive Manufacturing* che possono essere applicate ai materiali metallici.

La disponibilità di questi metodi di fabbricazione cambia i presupposti fondanti su cui si è finora basata la logica progettuale meccanica: poter utilizzare un materiale con caratteristiche fisiche e chimiche quasi uniformi con una forma compatibile con i processi tecnologici di produzione disponibili.

Tutto questo non sarà più un assioma aprendo nuovi orizzonti e nuove vie alla progettazione di nuovi prodotti ma anche di nuove macchine.

## Uno sguardo al futuro

La progettazione sta diventando una attività sempre più integrata ed interdisciplinare: dovrà sempre di più farsi carico di aspetti economici (presenti da sempre, ma non sempre chiari, per formazione, all'ingegnere meccanico), dovrà interessarsi di tutta la vita della macchina, dall'ideazione alla costruzione, all'uso ed infine alla rottamazione finale. Tutti gli aspetti della qualità, intesa nel senso più lato di idoneità del prodotto a svolgere le mansioni per cui è stato costruito (rispondenza alle specifiche, manutenibilità, affidabilità, ecc.) dovranno esser presi in considerazione sin dall'inizio del progetto.

Spesso si sostiene che l'industria meccanica è un'industria matura, nel senso che le sue potenzialità di sviluppo sono limitate. Al contrario, la crisi che indubbiamente ha investito la meccanica negli anni '70 si sta rivelando una crisi di crescita, segnata da profonde trasformazioni e dalla necessità di un nuovo approccio, più ampio ed interdisciplinare. I progressi che saranno resi possibili dall'ingresso nell'industria meccanica e nella costruzione delle macchine delle nuove tecnologie, in particolare quelle elettroniche ed informatiche, ma anche quelle relative a nuovi materiali ed agli sviluppi che nuove scoperte scientifiche promettono (basti pensare alle speranze, forse eccessive, suscitate in tutto il mondo, ma soprattutto in Giappone, dalla scoperta dei materiali superconduttori ad alta temperatura) sono probabilmente inimmaginabili.

Una costante del progresso scientifico e tecnologico è quella di iniziare una rivoluzione imprevedibile proprio in quei periodi in cui sembra che una disciplina od una tecnica abbiano raggiunto il loro apice e non abbiano più prospettive di sviluppo.

Spesso si sente affermare che se il XX secolo è stato il secolo della fisica, il XXI secolo sarà quello della biologia. Nel campo della costruzione delle macchine questo può voler dire che le microtecnologie, ma soprattutto le nanotecnologie, potranno portare a cambiamenti radicali, e che l'approccio *bottom up*, in cui i componenti delle macchine sono realizzati a partire dai loro componenti molecolari, come nelle strutture biologiche, potrà sostituire il tipico approccio *top down*, caratteristico dell'industria meccanica. Nuovi materiali e nuove tecnologie di questo tipo potranno trasformare profondamente lo stesso concetto che oggi abbiamo di macchina.

**BIBLIOGRAFIA**

- [1] Da una conferenza del 1882, citata in A. Mondini, A. Capocaccia, *Storia della Tecnica, L'epoca contemporanea*, vol. 4, UTET, Torino, 1980.
- [2] 1914, Citato in A. Mondini, A. Capocaccia, Op.cit.
- [3] 1901, Ibid.
- [4] G. Belluzzo, *Le turbine a vapore*, vol. 1 e 2, Hoepli, Milano, 1923.
- [5] Citato in G. Genta, *Calcolo e progetto di macchine*, vol. 2, Levrotto & Bella, Torino, 1987.
- [6] U. Cugini (ed.), *Proceedings of the Symposium "Computer Aided Design in Mechanical Engineering"*, CLUP, Milano, 1976.
- [7] U. Cugini, A. Lucifredi, *A survey on computer aided design in the field of mechanics in Italy*, in U. Cugini (ed.), *Proceedings of the Symposium "Computer Aided Design in Mechanical Engineering"*, CLUP, Milano, 1976, pp. 317-328.
- [8] M. Bordegoni, C. Rizzi (eds.), *Innovation in Product Design: from CAD to Virtual Prototyping*, Springer, Milano, 2011.



### **Origini ed evoluzione**

La Meccatronica e la Robotica costituiscono un vero e proprio paradigma scientifico e tecnologico per mezzo del quale la nostra sfida è stata quella di tentare di analizzare i cambiamenti in atto nella nostra società, attraverso la loro storia e la risposta all'evoluzione tecnologica e alle esigenze da risolvere in futuro.

La scienza non può avere confini e ci sarà sempre qualcosa di nuovo da scoprire. La Robotica può efficacemente supportare la necessità di creazione di soluzioni al bisogno di miglioramento di qualità della vita dell'uomo – un miglioramento che è umano, sociale, medico – e, al passo col progresso, offre (basti pensare alla robotica umanoide solo per fare un esempio) connotati sempre profondamente nuovi perché invita a studiare l'uomo e le interazioni dell'uomo con la macchina in modo diverso dal passato.

Il robot non è un sostituto dell'uomo ma può essere inteso nel senso di coniugare la concezione e la realizzazione di una sorta di servitore, un “maggior-domo”, da una parte, ma con la possibilità di studiare anche quello che c'è dentro la persona umana dall'altra: un aiutante sempre più partner e in grado di interagire con l'uomo e al contempo una macchina, un automa che, in un raggio di lungo periodo, potrà essere dotato di una capacità evoluta che può arrivare a quella cognitiva. Nel breve-medio periodo l'obiettivo è quello di rendere il robot (umanoide) un ottimo servitore partner capace di capire le intenzioni del “padrone”, addirittura di anticiparle: un robot davvero autonomo e indipendente, che sia un'ottima macchina di servizio che garantisca alte prestazioni.

La Robotica e la Meccatronica sono strumenti che possono proiettarci nel progresso, tecnologico e sociale: la Robotica, infatti, è uno straordinario strumento di crescita e di sostegno in una società che si evolve di continuo e che, per questo motivo, ha bisogno di coadiuvare lo sviluppo per orientarlo e per applicarlo alle esigenze dell'uomo. I robot sono già nelle nostre case: basti pensare ai milioni di Roomba venduti nel mondo; sono nei nostri ospedali: un anno fa è stato effettuato, per la prima volta in Italia con tecnica interamente robotica anziché con approccio misto laparoscopico-robotico, un intervento chirurgico di by-pass gastrico; in Italia ci sono 54 robot chirurgici “Da Vinci”, il nostro Paese è fra le nazioni più all'avanguardia in chirurgia robot-assistita: nel 2011 si sono effettuati circa 7000 interventi, con un incremento annuale medio di circa il 40%. I robot sono poi nelle nostre fabbriche: secondo uno studio IEEE Spectrum l'Italia è fra le 10 nazioni a

più alta densità di robot industriali e la Robotica risponde in pieno ai tre *pillar* del programma europeo di ricerca per gli anni 2013-2020 “Horizon 2020”: *Excellent Science; Industrial Leadership; Societal Challenges*.

La Robotica è la risposta tecnologica e innovativa ai bisogni reali dei cittadini, ad una società che invecchia, alle fragilità dell’uomo, alla necessità di ambienti sempre più intelligenti, alla sostenibilità, al benessere e al miglioramento della qualità della vita. È uno degli strumenti con cui ci si può preparare al futuro. Un futuro che vede una rapidissima crescita della Robotica soprattutto di “servizio”, capace di sostenere l’uomo nelle attività più faticose e di recuperare la sua esperienza a fronte del diminuire delle forze fisiche all’avanzare dell’età, di aiutarlo a ritrovare la corretta funzionalità dei suoi arti dopo malattie come l’ictus, di coadiuvarlo se disabile e di accompagnarlo se anziano, o persino di diagnosticare malattie legate a disturbi neurologici grazie ad un utilizzo intelligente dei sensori. Può persino supportare l’impianto di organi o arti che il cervello può imparare a riconoscere come propri. La Robotica consente di rispettare l’ambiente e di valorizzare gli spazi in cui l’uomo vive, abita e lavora nel modo più “intelligente” possibile. La Robotica è nel nostro futuro.

Le **origini della Robotica** sono in realtà molto più lontane di quanto non si immagini.

Si pensi già all’etimologia della parola “macchina” che deriva dal greco *mechanè*, che significa “dispositivo”, ma anche “trucco”, “simulazione”, indicando un dispositivo che produce un’azione in modo quasi magico (Edoardo Boncinelli, *L’anima della tecnica*, Rizzoli, Milano, 2006). Per vari secoli nella storia occidentale, la capacità di progettare macchine non è mai stata considerata una questione scientifica, bensì un problema legato alla pratica, anche se l’abilità di progettare e realizzare macchine è sempre stata considerata tipica degli esseri umani.

Già dal XVII secolo, con Galilei e Cartesio, si supera la visione aristotelica per la quale corpo e mente/anima sono separati, e si comincia ad assistere alla fusione tra scienza e tecnica: le macchine non sono più “trucchi”, ma obbediscono alle leggi naturali, e il corpo viene studiato come se fosse una macchina.

È il momento in cui nasce il “Metodo scientifico sperimentale”, in cui gli esperimenti servono a validare le ipotesi.

All’inizio del XX secolo si parla per la prima volta di “proto-cibernetica”: il “meccanicismo” viene contrapposto al “funzionalismo” e le macchine vengono utilizzate per lo studio degli organismi viventi (Roberto Cordeschi, *La scoperta dell’artificiale. Psicologia, filosofia e macchine intorno alla cibernetica*, Dunod, Milano, 1998). Il presupposto è che i comportamenti complessi in realtà risultino dall’integrazione di comportamenti elementari, più semplici da osservare e che possono essere studiati implementandoli sulle macchine. La cibernetica unirà poi l’approccio allo studio

degli organismi viventi alle macchine, le quali divengono “modelli materiali” da utilizzare per testare ipotesi scientifiche, ovvero producono scienza.

Nel comune sentire, alla parola “robot” si associa sempre la parola “Giappone”.

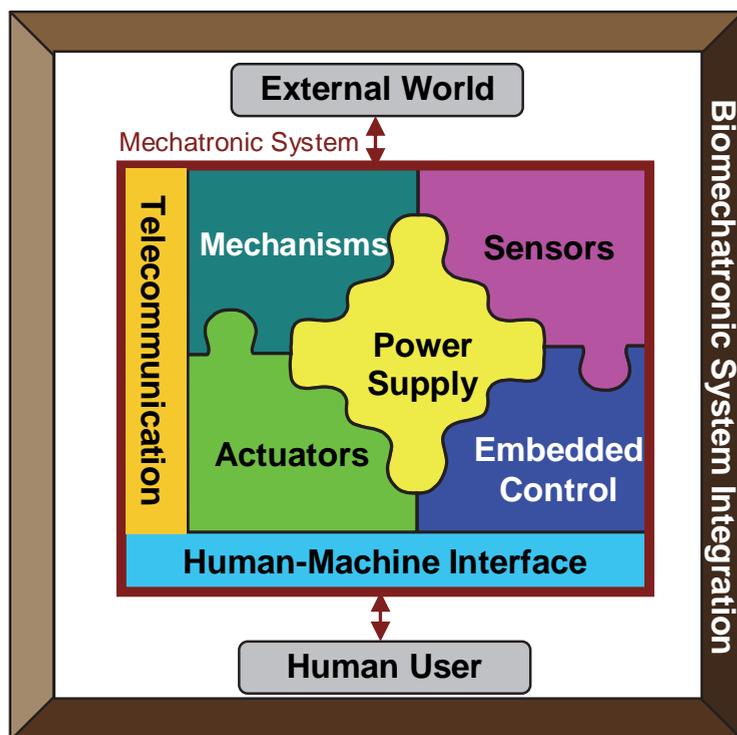
Sicuramente tale concetto corrisponde in tanta parte a realtà; il Giappone ha sempre svolto attività di altissimo livello tecnologico e di buon livello scientifico e riveste una posizione di leadership sia nell’ambito della robotica industriale sia nell’ambito della robotica umanoide.

La Meccatronica può annoverare le sue origini in Giappone, non solo da un punto di vista tecnologico, ma a risultato di una ben precisa filosofia che, sintetizzando diverse discipline, costituisce al contempo un pensiero molto diverso da quello occidentale.

Mentre l’occidente fino a quel punto metteva insieme “pensieri separati” e specialistici, frutto delle elaborazioni di ingegneri informatici, elettronici, meccanici, in cui la sintesi avveniva solo dopo il momento della progettazione sul tavolo da disegno, portando in tal modo problemi di compatibilità sul prodotto finito, con la Meccatronica in Giappone si ha la sistematizzazione di un pensiero che dà valore all’armonia. Il Giappone fa dell’armonia e del consenso una filosofia ispiratrice: le macchine si progettano mettendo insieme prima le diverse componenti e poi raggiungendo un consenso su qualcosa di già definito nella sua somma delle parti e di integrato col resto.

Questa è stata la chiave del successo negli anni ’70-’80. Il modello Toyota della qualità totale s’avvicina a queste considerazioni. Si tratta di una sorta di “pensiero olistico” che vede l’insieme e non le parti, come ad esempio nelle connessioni tra filosofia e medicina: le malattie non riguardano solo un organo, ma investono tutto un complesso di cause. In un certo senso, la Robotica in Giappone si può persino comprendere anche attraverso la religione, che è una sintesi di buddismo, confucianesimo e scintoismo.

Nella tecnica quanto affermato si può tradurre in uno schema a blocchi, che raffigura un paradigma scientifico/tecnologico in cui l’idea base è quella di “agire” con le competenze avendo a riferimento lo schema di un **sistema meccatronico** tipico, caratterizzato dall’integrazione armonica ed efficace dei suoi componenti fondamentali (meccanismi, sensori, controllo, attuatori, alimentazione) e dal fatto che tale integrazione fa parte del processo di progettazione dei componenti e del sistema, sin dalle prime fasi; si può dunque “costruire” la competenza procedendo per fasi successive: dapprima con lo studio di componenti (con caratteristiche tecnologiche profondamente diverse fra loro, a differenza di quanto viene fatto nei corsi specialistici tradizionali nell’ingegneria); successivamente con l’integrazione di tali componenti in sottosistemi funzionali; e infine con lo studio e lo sviluppo di macchine e sistemi complessi.



**Figura 1.** Schema concettuale del paradigma scientifico/tecnologico della Meccatronica: un sistema meccatronico tipico è caratterizzato dall'integrazione armonica ed efficace dei suoi componenti fondamentali (meccanismi, sensori, controllo, attuatori, alimentazione) e dal fatto che tale integrazione fa parte del processo di progettazione dei componenti e del sistema, sin dalle prime fasi.

L'innovazione e la ricerca di soluzioni creative, seppure sempre caratterizzate dalla massima solidità dell'impianto teorico, modellistico e tecnologico della soluzione adottata, vengono in tal modo incoraggiate in tutte le fasi anzidette.

La Meccatronica, dunque, ha la caratteristica di unire piuttosto che di dividere, dell'armonizzare piuttosto che del competere: è quanto coincide con la moderna visione dell'“ingegneria dei sistemi”, che però in Italia è piuttosto diventata una teoria di modellizzazione spinta.

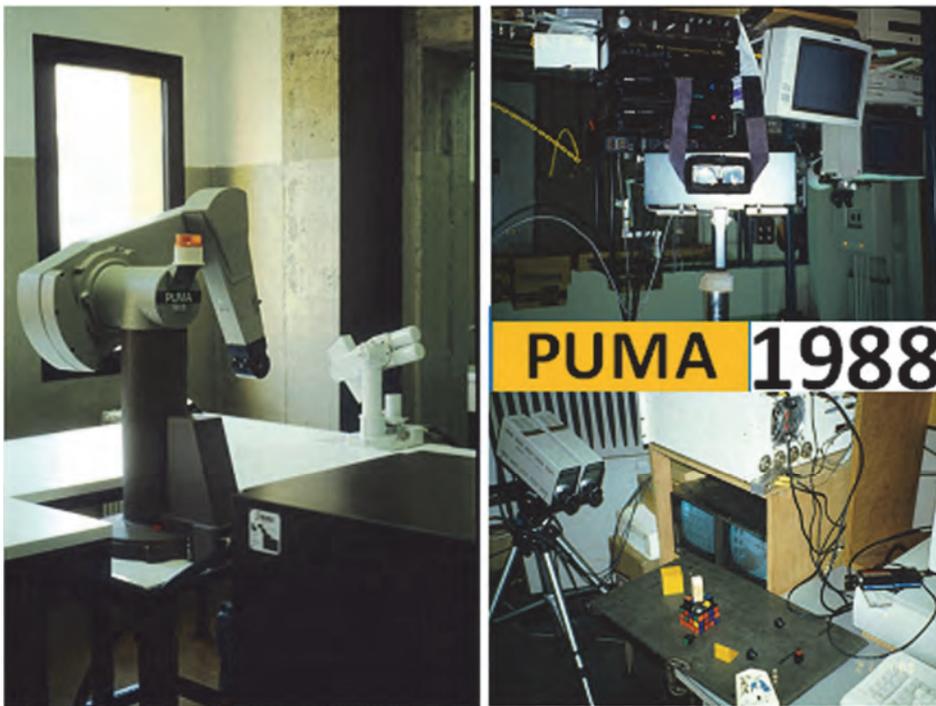
Tecnicamente la meccanica ha una lunga storia, contrariamente all'elettronica, che è molto più giovane. Il primo transistor è del '49. Con i transistor nasce la microelettronica, che genera essenzialmente tre cose: 1) i circuiti elettrici analogici; 2) il mondo del digitale; 3) i sensori e i MEMS, che, insieme alle loro conseguenze, ovvero il mondo dell'informatica e delle telecomunicazioni, e alla meccanica, formano la Meccatronica.

Con l'avvento della microelettronica, che sviluppa i meccanismi del controllo, la meccanica evolve, portando a mondi che fino a poco tempo prima si consideravano inesplorabili.

Le due osservazioni, filosofica e tecnologica, insieme, portano alla nascita della Meccatronica. Sono proprio le soluzioni meccaniche, arricchite da quelle elettroniche, essenzialmente legate al controllo, che formano la Meccatronica, di cui sensori e processori diventano la base.

Uno dei primi dispositivi meccatronici è, ovviamente, il robot, che nasce negli anni '60.

Alle sue origini, secondo una definizione della *Robotics Industry Association*, il robot viene visto come un «manipolatore riprogrammabile, multifunzionale, progettato per spostare materiali, componenti o altri attrezzi specifici per lo svolgimento di un compito con azioni programmate». Il robot, quindi, nasce storicamente in ambito industriale, in particolare per l'industria manifatturiera.



**Figura 2.** Uno dei primi robot utilizzati in progetti sperimentali presso il laboratorio ARTS della Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa.

Successivamente, il ruolo di semplice manipolatore viene arricchito dall’**“intelligenza”**: siamo negli anni ’80 e il robot è ora «la connessione intelligente di percezioni e azioni» (*Artificial Intelligence and Robotics*, a cura di Brady, Gerhardt, Davidson, Springer, Berlino, 1984).

L’evoluzione della Robotica negli anni è stata proprio dettata dal bisogno dell’uomo di macchine utili che lo aiutassero nel lavoro fisico. Per questo la Robotica è nata principalmente come robotica industriale, ambito per altro nel quale essa ha tuttora una sua linea di sviluppo e di progresso molto avanzati nell’automazione industriale.

L’ulteriore evoluzione, negli anni ’90, porta a considerare anche il contesto in cui il robot opera. Quest’ultimo diviene quindi «una macchina in grado di estrarre informazioni dall’ambiente e usare la conoscenza per agire in maniera sicura, significativa e orientata a uno scopo» (Maja J. Mataric, *Interaction and Intelligent Behavior*, MIT EECS PhD Thesis, MIT AI Lab Tech Report AITR-1495, 1994).

Mentre le macchine tradizionali “pre-meccatroniche” erano per lo più sistemi dotati di un “meccanismo”, cioè qualcosa in grado di muoversi, di “attuatori”, in grado di far muovere il meccanismo, e di una fonte di energia, in quelle successive il sistema interfaccia-utente-fonte di energia veniva elaborato per interagire da una parte con il mondo esterno e dall’altra con l’operatore umano.



**Figura 3.** Uno dei primi prototipi di mano robotica realizzata presso il laboratorio ARTS della Scuola Superiore Sant’Anna di Pisa.

Dalla robotica industriale, grazie ai progressi tecnologici costantemente compiuti, si è provato ad esempio a immaginare **robot di servizio** al di fuori delle fabbriche. È così nata l'area della Robotica di servizio per applicazioni in ambienti ostili all'uomo, come lo spazio, gli ambienti sottomarini, o in compiti pericolosi come nel caso di robot artificieri o di robot utilizzati in operazioni di soccorso.

Tra le applicazioni che si possono considerare di servizio è di estrema rilevanza l'applicazione biomedica: è qui che si sono sviluppati **robot per chirurgia e riabilitazione**, ma anche nell'assistenza a persone anziane e disabili, e questo ha portato a concepire l'idea del personal robot, il cui scopo primario è quello dell'assistenza personale.

Il concetto del personal robot oggi si sposa con un'altra linea evolutiva e parallela alla Robotica che ha avuto origine, in questo secondo caso, più che da un bisogno da un "sogno", ovvero il sogno dell'uomo di replicare se stesso, che ha condotto alla realizzazione dei moderni robot **umanoidi**.

Questa linea evolutiva, parallela alla prima, ha visto, nel corso della storia, tantissimi tentativi di replicare l'uomo. Già nell'antica Grecia erano stati sviluppati meccanismi in grado di riprodurre automaticamente dei movimenti umani o che imitavano quelli di alcuni animali. Leonardo da Vinci progettò un cavaliere meccanico e in Svizzera, nel XVIII secolo, vennero sviluppati degli automi che riproducevano meccanicamente alcune azioni, come quella dello scrivere, quale dimostrazione di virtuosismo realizzativo. Anche in Giappone furono realizzati automi la cui linea evolutiva ha portato, ai nostri giorni, ai moderni robot umanoidi.

Negli anni 2000 la Robotica rappresenta la scienza e la tecnologia della progettazione di sistemi meccatronici in grado di generare e controllare movimenti e forze, ma è anche espressione non contraddittoria dell'alleanza e di una forte integrazione tra scienze dell'ingegneria, scienze della mente e scienze umane. Potremmo oggi definire la Robotica come la sintesi perfetta di queste tre aree. La Robotica è tecnologia e grande ingegneria, ma è anche creatività e scienza.

Ciò che ha davvero originato l'inizio di questa grande evoluzione è forse riconducibile all'avvento della microelettronica, che entra a far parte anche della progettazione di macchine e contribuisce in tal modo alla nascita del nuovo paradigma della Meccatronica, che ha pervaso la progettazione e la produzione della quasi totalità delle macchine e dei dispositivi della vita quotidiana: la Meccatronica ha letteralmente pervaso la società. È presente ad esempio nelle automobili (nella sostituzione del carburatore con l'iniezione), ma anche la macchina fotografica moderna è uno straordinario sistema meccatronico, e ancora le lavatrici, gli aerei, ecc.

Oggi si parla anche di "**Biomeccatronica**": nel caso in cui il mondo esterno con cui interagisce il sistema meccatronico sia biologico. La Biomeccatronica

considera il sistema insieme alle sue interazioni con il mondo esterno e con l'operatore umano, che diventano sia fonte di ispirazione biologica che riferimento per le specifiche funzionali, in sistemi di applicazione biomedica. Un esempio è quello di un sistema mecatronico per la chirurgia, che interagisce con un ambiente che è di fatto un sistema biologico, il corpo umano. Anche l'operatore è umano (il chirurgo), e secondo l'approccio biomecatronico il "sistema" viene progettato sulle sue caratteristiche.

Si parla anche di "**Biorobotica**": una nuova area scientifico-tecnologica che fonde Robotica e Bioingegneria.

In particolare, la Biorobotica è la scienza e tecnologia della progettazione e della realizzazione di sistemi robotici di ispirazione biologica e di applicazione biomedica: perché la natura possiede già tutte le soluzioni ai problemi dell'uomo, ed è fonte inesauribile di studio.

La Biorobotica, dai profondi connotati interdisciplinari, allarga il proprio ambito culturale e applicativo verso numerosi settori dell'ingegneria, verso le scienze di base e applicate (in particolare la medicina, le neuroscienze, l'economia, le bio/nanotecnologie), e anche verso le discipline umanistiche (la filosofia, la psicologia, l'etica).

La Biorobotica può essere intesa e studiata in due diverse prospettive, che sono: la Biorobotica come scienza, che serve a generare nuove scoperte e quindi nuova conoscenza, contribuendo così al progresso scientifico, e la Biorobotica come ingegneria, utilizzata cioè per inventare e generare nuova tecnologia.

La Biorobotica si pone infatti come obiettivo quello di approfondire le conoscenze sul funzionamento dei sistemi biologici da un punto di vista ingegneristico e, in particolare "biomecatronico", e di utilizzare tali migliori conoscenze al fine di sviluppare metodologie e tecnologie innovative sia per la progettazione e la realizzazione di macchine e sistemi bioispirati (di dimensioni macro, micro e nano) caratterizzati da prestazioni molto avanzate (ad esempio robot "animaloidi" e "umanoidi"), sia per sviluppare dispositivi, anche realizzabili industrialmente, per applicazioni biomediche, in particolare per chirurgia e terapia mini-invasiva o per riabilitazione.

La Biorobotica, e la Robotica in generale, sono innanzitutto una grande sfida intellettuale. Ma non si tratta solo di un campo applicativo. La Robotica in un certo senso fonde alcune caratteristiche della scienza e dell'ingegneria e può preparare **gli ingegneri del futuro**. Gli scienziati sono interessati ai cicli e alle leggi fondamentali che regolano l'universo, mentre gli ingegneri sognano comunque l'applicazione. Con la Robotica è possibile studiare sistemi e macchine intelligenti, perseguendo un approccio profondamente interdisciplinare, inducendo una collaborazione a vari livelli in una combinazione di scelta scientifica e tecnica, con al contempo un

atteggiamento modesto di sincera curiosità a dialogare e imparare dalle altre comunità di ricerca e anche dalla società civile.

La Meccatronica in questo senso non è la mera giustapposizione di meccanica ed elettronica, ma è un diverso approccio all'ingegneria, una sorta di atteggiamento filosofico e di "pensiero sistemistico" che consente di esplorare strade nuove e studiare problemi complessi (che inevitabilmente richiedono conoscenze teoriche e tecnologiche molto diverse) senza essere paralizzati dal timore (che inibisce la creatività) di non "osare" strade nuove.

Questo modo di pensare può divenire una scelta che investe la ricerca, la didattica, le scelte tecnologiche, in un modello di formazione dell'ingegnere che va oltre l'interdisciplinarietà. La Meccatronica è il paradigma dell'interdisciplinarietà, visto che si propone di rompere le barriere fra settori disciplinari tradizionalmente (e accademicamente) ben distinti quali quelli dell'ingegneria meccanica, elettronica, informatica, dei materiali, etc. Oggi si dovrebbe piuttosto mirare alla "transdisciplinarietà", cioè ad applicare lo stesso approccio di apertura, curiosità e rispetto per discipline che non solo non appartengono all'ingegneria (come le scienze mediche, le neuroscienze, la fisica, l'informatica, l'economia, la biologia, l'agraria, la zoologia), ma che anzi ne sono state finora tradizionalmente distanti, come le scienze umane e sociali, imparando a dialogare con filosofi, psicologi, teologi, studiosi di legge e di scienze politiche: ponendo problemi, ascoltando, studiando, imparando. Ci arricchisce e ci serve per "progettare" ed educare un tipo particolare di ingegnere "umanista", una nuova figura che non è altro che una versione moderna e aggiornata di quello che furono gli ingegneri italiani del Rinascimento. Il modello di Leonardo si ripropone come quello di un ingegnere che non era solo un tecnico, ma anche un artista. E viveva, sognava e progettava con la cultura della centralità dell'uomo, tipica del Rinascimento.

Se l'ingegneria si ritrova a confrontarsi con la cultura in senso più ampio e con la società, è necessario che la nuova figura dell'ingegnere non sia soltanto quella di un tecnico, ma di una persona completa che comprende la complessità dei problemi che la società degli uomini gli chiede di affrontare, e che soprattutto sappia gestire responsabilmente sia la propria attività che le conseguenze delle tecnologie che egli è in grado di progettare e utilizzare: fornendo un contributo determinante alla crescita economica del proprio Paese, ed imparando a svolgere anche il ruolo di imprenditore per la nuova industria ad alta tecnologia di cui il Paese ha urgente bisogno.

## **Il Progetto Finalizzato Robotica**

I Progetti Finalizzati del CNR avevano lo scopo di aggregare, attorno a tematiche considerate prioritarie nel quadro della programmazione della ricerca applicata nazionale, i gruppi di ricerca accademici e industriali coordinandone le attività di ricerca, per giungere allo sviluppo di prototipi relativi a prodotti, processi e servizi trasferibili al settore produttivo del Paese.

In questo quadro, nei progetti considerati di “terza generazione” era inserito il Progetto Finalizzato Robotica.

La gestazione di questo progetto è stata lunga e laboriosa. Una prima proposta di istituzione di un P.F. Robotica viene formulata nel 1973 ed è seguita da varie Commissioni e Gruppi di Studio che si dedicano alla definizione ed alla stesura di un potenziale programma per un P.F. sull'argomento. A queste svariate attività partecipano esponenti dell'Università, delle Industrie e del CNR.

Tutti questi lavori istruttori confluiscono a formare il punto di partenza per l'attività della Commissione per lo Studio di Prefattibilità del P.F. Robotica nominata dal Comitato di Ingegneria del CNR nel novembre del 1981; commissione che conclude i suoi lavori nel marzo del 1983.

Lo Studio viene successivamente aggiornato, specie per quanto riguarda l'entità e la ripartizione dei finanziamenti, nel 1985. Nel 1986 viene nominata la Commissione per lo Studio di Fattibilità che, sulla base dei documenti precedenti e tenendo conto delle variare priorità ed aspettative del mondo della ricerca ed industriale del settore, formula uno Studio di Fattibilità del P.F. Robotica che viene consegnato agli organi CNR nel 1986.

Lo Studio di Fattibilità riprende pienamente l'impostazione scientifica indicata nello Studio di Prefattibilità che si indirizzava al settore della Robotica in termini di sottosistemi componenti, ma rispetto alla primitiva versione ne varia sia le ipotesi di ripartizione dei finanziamenti tra le varie aree di ricerca sia il fabbisogno finanziario totale che viene ridotto.

Su quest'ultima ipotesi di strutturazione e finanziamento lo Studio di Fattibilità viene presentato al CIPE che lo approva nel maggio 1987.

Il P.F. Robotica può quindi avere inizio con un finanziamento previsto di 67,8 miliardi di lire su cinque anni a partire dal 1989.

Il Progetto è strutturato in quattro Sottoprogetti relativi a:

- S.1 - Struttura dei Robot
- S.2 - Governo dei Robot
- S.3 - Sensori e Attuatori
- S.4 - Controllo dei Robot

a cui si aggiunge una Linea di Ricerca relativa all'analisi del mercato della robotica in Italia.

Come si può notare sono stati necessari più di 15 anni per poter avviare questa attività di ricerca voluta sia dal settore industriale sia da quello accademico, con il risultato, del tutto anacronistico dal punto di vista scientifico e tecnico, di una robotica politicamente spartita più o meno equamente tra le varie comunità accademiche, accreditando l'idea che esista una robotica dei meccanici e in parallelo e in modo concorrente una degli informatici, una degli elettrici e una degli automatici. Per tutto questo tempo le diverse comunità hanno cercato, in competizione, di avere il sopravvento sulle altre per poter controllare il settore senza riuscirci e con il solo risultato di ritardare notevolmente l'avvio delle attività di ricerca.

Per perseguire le finalità del Progetto ed i suoi obiettivi di lungo termine il Progetto viene articolato in un primo Programma Esecutivo Triennale ed in un successivo Programma Biennale.

Nell'aprile del 1988 il Comitato di Ingegneria del CNR, a cui il P.F. Robotica fa riferimento, ne definisce l'Organigramma direttivo ed i ruoli in termini di:

- Comitato di Progetto (presieduto dal prof. Giorgio Ausiello)
- Consiglio degli Utenti (presieduto dall'ing. Carlo Eugenio Rossi)
- Direzione:
  - Direttore del Progetto: prof. Umberto Cugini
  - Responsabile del Sottoprogetto 1: prof. Ario Romiti
  - Responsabile del Sottoprogetto 2: prof. Marco Somalvico
  - Responsabile del Sottoprogetto 3: prof. Vincenzo Tagliasco
  - Responsabile del Sottoprogetto 4: prof. Fernando Nicolò
  - Responsabile della Linea di Ricerca: prof. Gian Maria Gros Pietro

Secondo le linee indicate nello Studio di Fattibilità viene redatto il Programma Esecutivo triennale (1989-1991) che organizza ogni Sottoprogetto in Linee di Ricerca ed ogni Linea di Ricerca in Obiettivi che raggruppano le Unità Operative partecipanti e responsabili del risultato specifico.

Nel primo triennio l'impostazione, secondo l'approccio previsto dallo Studio di Fattibilità e quindi vincolante, è orientata alla realizzazione di "oggetti" in termini di prototipi di componenti che, ove possibile, prevedano una aggregazione futura in sistemi completi da parte di quattro comunità scientifico-tecniche separate: meccanici, informatici, elettrici, automatici, ognuna delle quali riteneva di essere la tecnologia di riferimento del sistema robot e quindi della futura integrazione.

L'intenso lavoro congiunto e la continua diffusione orizzontale di informazioni tra le varie Unità Operative e l'elaborazione di una visione condivisa tra i respon-

sabili dei Sottoprogetti, la direzione ed il Comitato di Progetto più in linea con l'evoluzione del mondo della robotica a livello internazionale, rende possibile la proposta e poi l'attuazione, nel successivo Programma Esecutivo biennale (1992-1993) di un approccio basato sullo sviluppo di sistemi complessi per applicazioni non industriali che riaggregano le varie Unità Operative non per disciplina di appartenenza ma per obiettivi finali da raggiungere.

In questa seconda fase vengono quindi studiati, sviluppati, realizzati e validati sistemi robotici per: applicazioni agricole, per l'assistenza a disabili, per applicazioni neurochirurgiche, mani robotiche ad elevata destrezza, robot mobili su gambe per la locomozione in ambienti non strutturati, sistemi per la locomozione autonoma, sistemi di visione, sistemi di manipolazione e navigazione in ambienti non strutturati.

A consuntivo il P.F. Robotica ha ottenuto un finanziamento diretto, da parte del CNR, di 56,4 miliardi di lire (47% alle Università, 40% alle industrie, 13% al CNR), ha coinvolto ogni anno circa 120 Unità Operative (che alla fine del Progetto sono risultate essere +300 diverse), ha totalizzato +1000 anni/uomo di attività di ricerca (64% Università, 23% Industrie, 13% CNR), ha prodotto circa 3400 risultati (di cui: circa 1300 articoli su riviste e/o proceedings di conferenze internazionali, 470 tra prototipi fisici e/o software, 19 brevetti internazionali e 40 prototipi trasferiti all'industria nell'ambito del progetto), e sono state supportate circa 300 tra tesi di laurea e dottorati di ricerca.

Tutta l'attività di ricerca ed i relativi risultati sono stati documentati negli atti dei convegni annuali e nel Data Base dei risultati realizzato a fine progetto.

Nell'attività di diffusione dei risultati e di trasferimento al mondo industriale i prototipi più significativi realizzati e funzionanti sono stati esposti alla 19<sup>a</sup> BIMU a Milano nell'ottobre 1994 (vedi Fig. 4) ed alla 11<sup>a</sup> EMO (Exposition Mondiale de la Machine Outil) a Milano nell'ottobre del 1995 (vedi Figure 5 e 6).

**Figura 4.** Il sistema robotico per ausilio ai disabili alla 19<sup>a</sup> BIMU.



**Figura 5.** Lo stand espositivo del P.F. Robotica alla 11ª EMO 1995.



**Figura 6.** Il sistema robotico per applicazioni agricole a EMO.

Il P.F. Robotica, nonostante l'impostazione iniziale, è risultato essere una opportunità fondamentale di collaborazione ed integrazione tra gruppi di ricerca di matrice tecnologica diversa (meccanica, informatica, elettrica, automatica) e non solamente industriale, ed ha permesso di raggiungere risultati scientifici importanti riconosciuti a livello internazionale; ha permesso inoltre a numerosi gruppi di

ricerca di crescere ed emergere a livello internazionale iniziando un percorso di assoluta eccellenza internazionale.

Un risultato altrettanto positivo non può dirsi raggiunto dal comparto industriale che ha, con la solita visione di brevissimo termine, perso l'occasione per evolversi verso i settori nuovi che si stavano aprendo per la robotica; con il risultato ulteriormente negativo, a livello di sistema Paese, che i risultati più importanti ed innovativi raggiunti dai gruppi accademici sono stati ingegnerizzati e portati sul mercato da industrie straniere.

## DAL LABORATORIO ALLA SOCIETÀ

---



Fonderie Necchi di Pavia, anni '20 (foto Archivio G. Chiolini). Foto tratta da *L'industria nella provincia di Pavia. Un racconto per immagini dagli albori alla realtà attuale ispirato da alcuni scatti dell'archivio G. Chiolini*, Confindustria Pavia, Edo Edizioni Oltrepò, 2012.

## Il contributo delle misure

### La genesi delle misure

Disse ancora Dio: Si radunino le acque che sono sotto il cielo in un sol luogo, e l'arida apparisca. E così fu fatto. E all'arida diede Dio il nome di terra e le raunate delle acque le chiamò mari. E Dio vide che ciò bene stava<sup>1</sup>.

Dunque già alle origini si fecero misure e le prime misure furono di densità, indispensabili per separare l'acqua dall'*arida*.

Con il trascorrere dei millenni le misure divennero sempre più essenziali per consentire i progressi della convivenza, delle tecnologie e della scienza. Sono inimmaginabili le grandi costruzioni delle antiche civiltà, templi, palazzi, tombe, senza conoscenze raffinate di misure di dimensioni, angoli, resistenza dei materiali. E per conoscere il fluire del tempo e l'alternarsi delle stagioni fin dalla preistoria l'umanità edificò strutture complesse che sono sopravvissute fino ai nostri tempi, come sopravvissuti sono i sofisticati calendari.

Lunghezze, angoli, superficie, pesi, densità, capacità, scale di tempo: queste furono le grandezze che gli ingegneri, gli architetti e i commercianti dei secoli più lontani appresero a dominare, scegliendo le unità di misura di volta in volta più convenienti per le applicazioni, le tradizioni, le culture locali.

I pesi e le misure costituirono però un problema per la maggioranza della popolazione: i campioni usati per il commercio e per pagare le tasse e i salari erano posseduti dai potenti che ne abusavano a loro vantaggio. Così l'umanità si rivolse alle divinità perché garantissero giusti pesi e giuste misure<sup>2</sup>. Nel papiro raffigurante "Il libro dei morti", esposto nel Museo Egizio di Torino, i giudici del tribunale di Osiride, il dio degli inferi, usano le bilance per valutare il bene e il male compiuto dal defunto. Bilance del tutto simili restarono in uso nel commercio fino a pochi decenni fa.

Poi entrarono in scena i filosofi della natura per ricondurre le misure a livello terreno. Archimede scoprì come misurare la densità dei corpi mediante misure di peso degli oggetti e di volumi d'acqua, uguali ai volumi degli oggetti. Egli, per primo, seppe stabilire la corretta procedura per effettuare il saggio dei metalli

---

<sup>1</sup> Genesi, I, 9-10.

<sup>2</sup> Corti, Giordano 2001.

preziosi e per individuare così chi tentava di spacciare per oro puro una lega meno pregiata.

I grandi architetti del Rinascimento italiano studiarono i problemi delle deformazioni termiche nelle cupole. Filippo Brunelleschi (1377-1446) con la cupola del Duomo di Firenze realizzò una doppia struttura, quella esterna deformabile con la temperatura e schermante quella interna. Ancora oggi, nel monitorare le deformazioni della cupola, si utilizzano gli appoggi previsti dal Brunelleschi per i suoi strumenti di controllo e a essi si ancorano i moderni estensimetri<sup>3</sup>.

Galileo Galilei (1564-1642) liberò definitivamente le misure dal controllo della divinità e dei suoi rappresentanti in terra. Nelle sue opere fondamentali (*Sidereus Nuncius*, *Il Saggiatore*, *Dialogo dei Massimi Sistemi*, *Discorsi della Nuove Scienze*) e nelle preziose lettere, sovente colme di amarezza e ironia, tra le quali le tre scritte nel 1612 a Marco Welser in forma di *Istoria e dimostrazione intorno alle macchie solari e loro accidenti*<sup>4</sup>, sostenne il ruolo fondamentale dell'osservazione sperimentale e delle misure nello spiegare i fenomeni della natura. Le macchie solari da lui osservate seguono nel loro moto le stesse leggi che valgono sulla Terra. Le sfere celesti perfette e immutabili sono un'illusione. Da qui lo scontro con la gerarchia della Chiesa Romana, alla quale Galileo sottrasse, insieme al dominio dell'astronomia, il dominio sulla ragione umana.

Un altro italiano, Tito Livio Burattini (1617-1681), anticipò di più di un secolo le idee di universalità delle misure che verranno sostenute dagli illuministi. In una sua pubblicazione del 1675 (*Misura Universale*) espose alcune idee basilari sul sistema metrico decimale e sul modo di derivare le unità di misura per le superfici, per i volumi e per i pesi da quelle di lunghezza. È il primo ad usare il nome "metro" per l'unità di misura delle lunghezze, abbinando a esso l'aggettivo "cattolico", forse per proteggersi dall'integralismo dell'inquisizione. Il "metro cattolico" è definito dalla lunghezza del pendolo che batte il secondo. È un campione universale, a disposizione di chiunque: ma ben difficile da usare per compiere misure. Inoltre il periodo del pendolo cambia al mutare dell'altitudine. È una proposta che Amartya Sen, premio Nobel per l'economia nel 1998, classifica come basata su «l'istituzionalismo trascendentale»<sup>5</sup>: per porre rimedio a una ingiustizia si cerca la «giustizia perfetta», generando problemi di perseguibilità. Come vedremo, la storia delle misure è scandita dall'alternanza di scelte trascendentali e scelte pragmatiche indotte dalle esigenze dello sviluppo tecnologico e del commercio.

<sup>3</sup> URL: <[http://it.wikipedia.org/wiki/Cupola\\_del\\_Brunelleschi](http://it.wikipedia.org/wiki/Cupola_del_Brunelleschi)>.

<sup>4</sup> Treccani 2006.

<sup>5</sup> Sen 2010, p. 21.

## Il ruolo delle misure nella prima rivoluzione industriale

La moderna scienza delle misure nasce grazie a due rivoluzioni: la rivoluzione industriale, che pretende misure condivise per poter commercializzare le tecnologie sviluppate e i beni prodotti in grande quantità; la rivoluzione francese, su sollecitazione di più di 250 diverse comunità francesi<sup>6</sup> attraverso i *Cahiers de doléance*, a intervenire sulla molteplicità dei campioni di misura e sulla loro ingiusta gestione a favore dei potenti. Così i francesi trovano la forza di recepire le aspirazioni degli illuministi e affidano ai filosofi della natura il compito di definire un sistema di unità universale e pertanto giusto.

Il 20 Marzo 1791 l'Assemblea Costituente Francese, riunita a Parigi durante la Rivoluzione, dopo aver tentato senza risultati un accordo con l'Inghilterra, vota la proposta di adozione di un sistema di misure universale la cui unità di lunghezza, quella fondamentale, sia convenientemente collegata con la dimensione della Terra. Lagrange, Laplace, Condorcet, Monge e altri si ispirano nella loro proposta alle idee di Thomas Hobbes e Jean Jacques Rousseau. E così alla fine del 1791 il metro è definito come la decimilionesima parte dell'arco di meridiano terrestre compreso tra il polo boreale e l'equatore. Questo metro è un campione naturale, perenne, universale<sup>7</sup>. Ma, ahinoi, non è facile far misure di lunghezza con un pezzettino di arco di meridiano terrestre; ne scoprirono le difficoltà gli astronomi Jean-Baptiste Delambre (1749-1822) e Pierre François André Mechain (1744-1804), incaricati di misurare, con la massima esattezza possibile, la lunghezza di un meridiano terrestre in termini della lunghezza della tesa francese<sup>8</sup>. Ci riuscirono, a prezzo di immane lavoro e di pericoli continui: fu un metro preciso entro 0,000 1 m, un decimo di millimetro.

Le difficoltà di una definizione perfetta ma trascendentale sono immediatamente comprese dai filosofi della natura impegnati nella costruzione del sistema di unità. Così già nel 1793, ispirandosi al pragmatismo di Adam Smith, Condorcet, Jeremy Bentham, essi propongono una nuova definizione che Amartya Sen classifica come basata su «approcci comparativi connessi con le concrete realiz-

---

<sup>6</sup> Kula 1987, p. 201 e seg. Nella tabella a p. 229 Kula conta ben 727 riferimenti metrologici nei *Cahiers de doléance*.

<sup>7</sup> Kula 1987, p. 243 e seg.

<sup>8</sup> La tesa francese è ottenuta, in quel momento storico, riproducendo la tesa del Perù (il cui campione fu usato in Perù per la misura della lunghezza di un arco di meridiano terrestre e fu depositato presso l'Accademia di Parigi), in quanto nel 1776 Luigi XV aveva incaricato l'astronomo Tillet di fabbricarne copie da inviare alle ottanta principali città del Regno. L'Accademia stimò, al momento di costruire i primi prototipi del metro, che la decimilionesima parte del quarto di meridiano (il metro) fosse uguale a 3 piedi e 11,44 linee di tale tesa.

zazioni» e su istituzioni reali e reali comportamenti<sup>9</sup>. La proposta diventa operativa nel 1799: il metro è la distanza fra le facce terminali del Metro degli Archivi a 0 °C. Il prototipo è costituito da una barra di platino, a sezione rettangolare e sostituisce un prototipo provvisorio in rame, adottato nel 1793. Con la nuova definizione si torna a un campione materiale che qualcuno deve possedere, conservare, farne copie e distribuirle: l'autorità non è però il potente locale ma lo Stato, custode degli Archivi. La perfezione è perduta ma il nuovo metro guadagna un ordine di grandezza in precisione rispetto al precedente, arrivando alla riproducibilità di un centesimo di millimetro.

I tecnologi impegnati nella rivoluzione industriale furono assai soddisfatti. La scienza aveva dato uno scarso contributo diretto allo sviluppo industriale; l'ingegnosità e l'esperienza pratica degli artigiani tecnologi avevano sostenuto l'intero sforzo dell'innovazione. Il passaggio da un sistema produttivo artigianale a un sistema produttivo "industriale", basato sulle macchine e su nuove fonti di energia, si compie grazie a imprenditori audaci che riescono ad arricchirsi. L'invenzione e la diffusione delle macchine a vapore diedero un impulso prima alla filatura, poi alla tessitura e al trasporto su rotaia. Gli "artisti" (così erano chiamati anche gli artigiani professionali, costruttori di strumenti di misura) si ingegnarono nella realizzazione di idonei strumenti di misura. Il micrometro ad arco, con scala a verniero, inventato nel 1848 dal francese Jean Laurent Palmer e perfezionato nel 1858 dall'imprenditore e ingegnere inglese Sir Joseph Whitworth<sup>10</sup> (1803-1887), viene industrializzato dalla Brown & Sharpe e, successivamente, dalla TESA<sup>11</sup>, divenendo lo strumento principe nel controllo dimensionale di precisione.

In Italia bisogna attendere fino al 1917 per vedere nascere "Le officine Borletti", fondate dai fratelli Borletti, tra i quali spicca l'imprenditore Senatore Borletti (1880-1939). Con il marchio Veglia-Borletti vennero prodotti strumenti di misura, macchine da cucire, tachimetri, contachilometri. La fabbrica Borletti, in via Costanza a Milano, fu il cuore dello sviluppo economico del capoluogo lombardo. La produzione di micrometri, comparatori, alesametri e altri strumenti di misura continuò fino agli anni '70. Alla fine di quegli anni la produzione della Borletti di comparatori millesimali a quadrante si trovò schiacciata tra i colossi giapponesi e statunitensi, in forte competizione tra loro per la revisione della normativa internazionale su tali strumenti: le caratteristiche metrologiche imposte ai compa-

---

<sup>9</sup> Sen 2010, p. 23.

<sup>10</sup> Fu inventore eclettico, tra l'altro della filettatura per le viti di precisione che ancora oggi porta il suo nome e di vari perfezionamenti per le macchine utensili, nonché della rigatura nelle canne delle armi da fuoco per il tiro di precisione a grande distanza. Fondamentale fu il suo apporto nello studio di sistemi di produzione e di prodotti normalizzati.

<sup>11</sup> Si veda la successiva nota 24.

ratori dalla nuova normativa erano fuori della tecnologia disponibile in Italia. Poi la Borletti entrò progressivamente nell'orbita della Fiat, che la assorbì completamente nel 1985, incorporandola nella Magneti Marelli. Oggi il nome Borletti è stato riportato alla gloriosa tradizione della produzione di strumenti di misura e controllo dalla LTF S.p.A. Le Officine meccaniche LTF S.p.A. operano dal 1965 nel settore della fabbricazione, verifica e messa a punto di strumentazione, apparecchiature e macchine per le lavorazioni meccaniche di precisione. Progressivamente hanno assunto nel tempo anche le attività metrologiche di Microtecnica (Proiettori di profili) e Galileo (Durometria).

### **La nascita degli scienziati in senso moderno e la seconda rivoluzione industriale**

È l'Inghilterra, che per prima ha avviato la rivoluzione industriale, la prima ancora a esaurire la spinta all'innovazione affidata in esclusiva ai tecnologi e agli artisti. Siamo negli ultimi decenni del XIX secolo e stanno consolidandosi le teorie dell'elettromagnetismo. Il trasferimento alle applicazioni industriali e alla produzione di massa dei risultati della nuova scienza non possono compiersi senza l'intervento di una nuova figura: lo scienziato in senso moderno.

Il filosofo della natura, figura consolidata nel '700 con la cultura dell'illuminismo, ha una visione a tutto campo del sapere e della conoscenza. Coniuga senza difficoltà gli studi umanistici con quelli che approfondiscono la conoscenza delle leggi che regolano i fenomeni osservabili. La sua azione si concentra nelle Accademie; il dibattito è pubblico e a esso partecipano, senza esclusioni, tutti i cittadini con un adeguato livello di istruzione. Si tratta certamente di un'esigua minoranza della popolazione, coinvolta però dal linguaggio non specializzato e dal desiderio del confronto delle idee, messe in campo dai filosofi della natura.

La nascita e lo sviluppo delle nuove scienze, l'elettromagnetismo, la chimica, la biologia e altre ancora, esige una specializzazione sempre più approfondita. Il linguaggio si modifica, divenendo specifico per ciascun settore. I laboratori per la ricerca richiedono investimenti sempre più alti, non sopportabili dal singolo ricercatore. Comincia a delinearsi la figura professionale dello scienziato: egli opera grazie ai finanziamenti pubblici e privati e quindi risponde ai finanziatori dei risultati raggiunti. Per confrontarsi con i colleghi il nuovo scienziato è costretto a riassumere complessi concetti in nuovi termini: ad esempio, *atomo* e *molecola* per la chimica, *campo* per l'elettromagnetismo, *evoluzione* per la biologia. Il complesso intreccio di ipotesi e concetti che vengono coinvolti nell'uso scientifico di tali lemmi non è immediatamente comprensibile per una persona colta ma non

specializzata nel settore. Le scienze si dividono in diversi rami e le università colgono queste nuove esigenze istituendo nuovi corsi e nuovi indirizzi. La cultura settorializzata non riesce più a raggiungere l'intera comunità delle persone colte.

La perdita della cultura universale è compensata da un'accelerazione impressionante della ricerca scientifica e del trasferimento dei risultati alle applicazioni. I nuovi motori elettrici, risultato della ricerca, consentono rapidamente balzi in avanti della produzione industriale di massa. Meno evidente è l'intreccio tra ricerca e produzione nel settore chimico, almeno nella fase iniziale dell'intervento della scienza a supporto della rivoluzione industriale. Ancor meno evidente è l'apporto della biologia; ma *L'origine delle specie* (1859) di Charles Darwin (1809-1882), attraverso le dispute successive sull'età della Terra, conduce indirettamente alle basi scientifiche dell'archeologia e della antropologia.

Mario Silvestri<sup>12</sup> (1919-1994) colloca tra il 1870 e il 1890 l'avvio della seconda industrializzazione che «consiste nel connubio fra scienza e tecnologia, fino allora divise da un compartimento stagno.» Egli definisce “scienza” la ricerca logica per via induttiva delle leggi della natura, condotta in modo tale da ridurre al minimo il numero dei postulati con cui poi spiegare per via deduttiva ciò che cade sotto i nostri sensi<sup>13</sup>.

Tecnologia invece è lo studio empirico dei fenomeni che non si riesce ancora a collegare con le leggi universali della scienza.

Silvestri sostiene, come generalmente condiviso dagli storici della scienza e della tecnologia, che «l'invenzione delle macchine elettriche e delle radio trasmissioni non aveva potuto prescindere dalla conoscenza prioritaria delle leggi dell'elettromagnetismo».

«Il matrimonio tra scienza e tecnologia diede un nuovo impulso, impulso tuttora inarrestabile, allo sviluppo industriale nell'ultimo quarto del XIX secolo». Gli effetti del “matrimonio” si manifestarono in Gran Bretagna verso il 1890, mentre già nel 1870 si era esaurita la spinta della prima industrializzazione. Si ebbero dunque vent'anni di recessione.

---

<sup>12</sup> Fu professore al Politecnico di Milano e titolare della cattedra di impianti nucleari. Appassionato di storia, tra le sue opere sull'argomento ricordiamo: *La decadenza dell'Europa occidentale* (4 voll., 1977-1982), *Cento anni di storia d'Italia, 1861-1961* (1980), *Caporetto* (1984) e *La vittoria disperata* (1991), tutti pubblicati da Rizzoli. Centrati invece sulla questione energetica e, in particolare, sulla dissennata politica dell'apparato pubblico italiano, sono: *Il costo della Menzogna. Italia nucleare 1945-1967* (1968) e *Il futuro dell'energia* (1988). In quest'ultima opera, tuttora di grande attualità, Silvestri invita la classe politica italiana (ma anche gli scienziati, i tecnici e tutte le parti sociali) a effettuare, in tema di energia, scelte che affrontino il problematico futuro «guardando agli interessi della nazione anziché della fazione».

<sup>13</sup> Silvestri 1977, pp. 21-25.

Non si ebbe recessione in Germania e in USA perché questi due Paesi erano partiti più tardi e continuarono a beneficiare della prima rivoluzione industriale. La Francia, partita poco dopo la Gran Bretagna nel primo processo di industrializzazione, affrontò con lentezza il processo e nel 1870 non aveva ancora esaurito la spinta allo sviluppo; pertanto risentì meno della recessione. In Italia, Russia e Austro-Ungheria le due rivoluzioni si sovrapposero, anche se l'arretratezza dei tre Paesi impedì il completo assorbimento dei vantaggi. D'altronde in questi Paesi l'industria costituiva una componente modesta del prodotto nazionale.

Eppure all'inizio della depressione l'ottimismo regnava sovrano. Il presidente degli USA Ulysses S. Grant, nel messaggio inaugurale al Congresso del 1873, affermava: «Poiché il commercio, l'istruzione e la rapida trasformazione del pensiero e della materia, grazie al telefono e al vapore hanno cambiato ogni cosa, sono propenso a credere che il grande Artefice stia preparando il mondo a diventare una sola nazione, che parli una sola lingua; un fatto che renderà non più necessari eserciti e flotte»<sup>14</sup>.

Beato ottimismo! Eserciti e flotte saranno utilizzati dall'Europa e dagli USA nella spartizione del mondo e nel XX secolo nelle due catastrofiche guerre mondiali.

Anche le misure sono coinvolte in questa trasformazione. Alla fine del XIX secolo nascono i primi Istituti Metrologici Nazionali (IMN): nel 1877 in Germania a Berlino, su iniziativa di Werner von Siemens (1816-1892) e di Hermann von Helmholtz (1821-1894), la *Physikalisch-Technische Reichsanstalt* (PTR, sostituita nel 1950 dal *Physikalisch-Technische Bundesanstalt*, PTB); nel 1899 in Gran Bretagna vicino a Londra, il *National Physical Laboratory* (NPL); negli USA nel 1901 vicino a Washington, il *National Bureau of Standards* (NBS; con il nuovo nome di *National Institute of Standards and Technology*, NIST, dal 1990), un'agenzia federale che fa parte del dipartimento del commercio.

Già all'inizio del XX secolo in molte università di nazioni industrializzate si tengono specifici corsi di misure elettriche e si pubblicano manuali e testi sull'argomento. Bisogna però fare una distinzione tra gli specialisti operanti negli IMN e gli scienziati nelle università e nelle accademie che coltivano per professione la scienza delle misure. I primi costituirono, nel procedere del XX secolo, un gruppo isolato e autonomo, forte dell'appoggio di un organismo intergovernativo, la CGPM della quale parleremo tra breve. Essi in particolare si conformarono al potere economico-politico che si era proposto come committente delle loro ricerche. I secondi non riuscirono a stabilire tra loro rapporti di stretta collaborazione e, quindi, a formare un sistema culturale omogeneo, capace di proporsi come riferimento ai governi nei complessi problemi che coinvolgono in primo

---

<sup>14</sup> Hobsbawm 2003, p. 59.

piano le misure. Sono stati però in generale più aperti ai bisogni e alle esigenze della società, se non altro per l'ampio spazio da essi dato all'insegnamento<sup>15</sup>.

Un altro aspetto da tenere presente nello studio delle interazioni tra la società da una parte e la scienza in generale e la metrologia in particolare dall'altra, è il periodico manifestarsi di ostilità nei riguardi della scienza. Questo fenomeno, complesso e non nuovo del XX secolo, si manifestò in modo particolarmente eclatante nel primo Novecento, come vera e propria "rivolta contro la scienza". Si ripresentò alla fine degli anni Sessanta come antimodernismo. Fu la causa del solco che si determinò tra scienze della natura e scienze dell'uomo e della sempre maggiore specializzazione dello scienziato moderno.

### **1875: firma della Convenzione del Metro**

Napoleone Bonaparte aveva imposto con le sue armate l'adozione del sistema metrico decimale nelle nazioni conquistate. Con la restaurazione, voluta dal Congresso di Vienna (concluso nel 1815), molte nazioni ritornano ai vecchi sistemi di misura o a strani compromessi con vecchi nomi e nuovi valori delle unità. Sino al 1875, quando 17 Stati-Nazione firmano un accordo per l'unificazione dei pesi e delle misure, il processo di internazionalizzazione si arresta.

La svolta del 1875 ha cause ben definite che cerchiamo di analizzare secondo lo schema che Amartya Sen chiama «approcci comparativi connessi con le concrete realizzazioni e su istituzioni reali e reali comportamenti».

Anzitutto occorrono esigenze reali di internazionalizzazione delle misure. Primi a chiederla sono gli scienziati, ormai specialisti di settore e interessati a scambiare tra loro, con uniformità di linguaggio, informazioni sugli esperimenti in corso. Premono poi i ministri del commercio, interessati all'internazionalizzazione delle unità delle misure per favorire l'avvio della globalizzazione dei mercati. L'industria e i militari<sup>16</sup>, in cerca di garanzie sull'intercambiabilità dei prodotti e supportati dal processo di normalizzazione dei componenti ormai in corso, vedono l'unificazione dei sistemi di misura come un essenziale progresso per prodotti migliori. Infine, seppure settore di nicchia, chiedono l'unificazione i produttori di strumenti di misura, giustamente convinti che da essa si genererà uno straordinario aumento dei loro clienti.

---

<sup>15</sup> Douglas 1972, pp. 97-123.

<sup>16</sup> I militari erano interessati, per quanto riguarda gli armamenti, principalmente all'intercambiabilità all'interno della singola nazione o alleanza, meno alla standardizzazione internazionale.

Servono realizzazioni concrete; sotto questo aspetto la Convenzione del Metro (CM) si appoggia sulle unità di misura e sui campioni scelti durante la Rivoluzione Francese. Naturalmente, disponendo nel 1875 di tecnologie migliori per realizzare i prototipi, la CM da mandato ai tecnologi di realizzare un nuovo metro e un nuovo kilogrammo i quali, “comparati” ai prototipi precedenti, pur essendo con essi armonizzati sono assai meglio replicabili, stabili e definiti. I nuovi prototipi e i loro testimoni consentono misure ripetibili e riproducibili entro 0,000 000 1 m per le misure dimensionali, con un guadagno di due ordini di grandezza rispetto al prototipo realizzato alla fine del XVIII secolo, e entro 10 µg per le misure di massa<sup>17</sup>.

Essenziale per la durata nel tempo della CM, ancora oggi in vigore praticamente senza modifiche, è la disponibilità e la scelta di istituzioni reali che si facciano carico di mantenere in vita l'accordo. Le scelte effettuate sono rese possibili dall'esistenza di un organismo sopranazionale non istituzionalizzato ma all'epoca adeguatamente efficiente: il Concerto della Nazioni. La CM affida la gestione politica del sistema di unità a una Conferenza delle nazioni aderenti all'accordo, la Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure (CGPM); affida la gestione scientifica del sistema a un Comitato costituito da scienziati di chiara fama, nominati dalla CGPM su suggerimenti delle Accademie e dei membri stessi del Comitato. Nasce così il Comitato Internazionale dei Pesi e delle Misure (CIPM) nel quale siederanno per diversi decenni i migliori scienziati del mondo, quelli che emergono per le loro competenze nel far misure di alta qualità. Problemi di equilibri geo-politici e di rappresentatività dei grandi laboratori nazionali, che svolgono ricerche sulle misure, snatureranno nel tempo la composizione del CIPM.

Ma il vero capolavoro della CM è la fondazione e realizzazione di un Istituto internazionale, affidato alla sorveglianza del CIPM: il Bureau Internazionale dei Pesi e delle Misure (BIPM). La sede è, per diritto acquisito con “l'invenzione” del sistema metrico decimale, in Francia. Il Governo francese mette a disposizione un edificio storico nel parco di Saint-Cloud, in Sèvres, al confine con Parigi. Al BIPM sono affidati i prototipi; per garantire la sua internazionalità, il territorio sul quale sorge gode di speciali privilegi e, fino all'avvento dell'euro, la sua dotazione e gli stipendi dei ricercatori sono in franchi oro, agganciati al valore del nobile metallo. Il padrone dei prototipi è una figura internazionale, non il più potente tra i firmatari della CM.

È nata la moderna metrologia. Per ora è solo lunghezza (metro), massa (kilogrammo), tempo (secondo, definito con riferimento al giorno solare medio) e temperatura (grado centigrado) e le unità da esse derivate. Con l'affermazione

---

<sup>17</sup> Per le misure di massa il limite è imposto dalla risoluzione delle bilance e solo marginalmente dalla stabilità nel tempo del prototipo, peraltro non conoscibile.

mondiale di unità di misura universali ha inizio l'era della globalizzazione. Nel 1889 vengono distribuite le copie del nuovo metro e del nuovo chilogrammo ai ministeri delle nazioni firmatarie della CM. L'Italia unificata è pronta a riceverli e a duplicarli per le esigenze della sue aziende, delle università e del sistema commerciale. Per il controllo dei campioni secondari da distribuire nel paese e per la disseminazione delle unità, i laboratori centrali utilizzano il comparatore Bianchi, costruito dall'azienda italiana Officina Galileo e una serie di bilance Rüprecht acquistate in Germania. Con eccezionale efficienza, oggi inimmaginabile, nel 1890 il governo italiano promulga la Legge metrica e suoi regolamenti attuativi.

I testi usati per l'insegnamento delle misure negli istituti professionali italiani sono quelli scritti da Don Giovanni Melchiorre Bosco, don Bosco (1815-1888): *Il Sistema metrico decimale*, pubblicato nel 1849 e *L'aritmetica ed il sistema metrico*, con la settima edizione pubblicata nel 1881.

Nelle università europee a cavallo tra i due secoli si iniziano a tenere specifici corsi di misure, quasi esclusivamente elettriche. Circa i testi disponibili si può ricordare, a titolo di esempio, il manuale di oltre 500 pagine di P.B. Arthur Linker (J. Springer, Berlino, 1905) *Elektrotechnische Meßkunde*, diviso in cinque capitoli: metodi elettrici, metodi magnetici, misure in corrente continua, misure in corrente variabile, fotometria.

Per avere un'idea di cosa fosse l'ingegneria in quel cruciale periodo basta sfogliare i quattro volumi in 13 parti dell'*Enciclopedia dell'Ingegnere*, tradotta dal tedesco sotto la direzione dell'ing. Leonardo Loria (Società Editrice Libreria, Milano, 1896). La metà dell'opera è dedicata alla progettazione e costruzione delle infrastrutture (strade, ponti, condotte, gallerie); l'altra metà al progetto di macchine per la costruzione, incluse le macchine elettriche.

Oggi (2012) alla CM aderiscono 88 nazioni, in rappresentanza della quasi totalità della popolazione mondiale.

Il contributo dell'Italia unificata a questa svolta epocale fu di elevato spessore. Si trattò di un contributo proveniente esclusivamente dalle università italiane, almeno fino agli anni '60 del XX secolo quando anche in Italia si consolidarono centri pubblici di ricerca destinati prevalentemente alla ricerca sui campioni e sui metodi di misura. Ricordiamo gli scienziati italiani più significativi la cui opera è connessa alla nascita e allo sviluppo della moderna scienza della misure.

Nella commissione del 1870, che preparò il testo dell'accordo, l'Italia era rappresentata da due illustri scienziati: padre Angelo Secchi (1818-1878), considerato il fondatore della spettroscopia astronomica, autore di opere basilari sul connubio della fisica con l'astronomia e inventore di apparecchi scientifici di grande utilità; il fisico prof. Gilberto Govi (1826-1888). L'omonimo grande attore genovese, che sostenne d'essere stato chiamato Gilberto in onore del suo celebre antenato, così ce

lo descrisse nel suo colorito dialetto: «un illustre professô, Senatore del Regno, famoso fixico, insegnante ae cattedre de Turin, de Firenze, de Napoli e de Romma. O l'ha pubblicou ciù de 300 lavori, e o l'ha facto costruì 14 istrumenti de so invenziòn».

Gilberto Govi fu il primo direttore del BIPM (1875-1877) e membro del CIPM fino al 1889. Galileo Ferraris divenne membro del CIPM nel 1897.

Nel 1901 un giovane ingegnere, Giovanni Giorgi<sup>18</sup>, propose un sistema a quattro unità fondamentali, aggiungendo alle tre, già presenti nel sistema metrico decimale (metro, kilogrammo e secondo), una unità elettromagnetica.

Al termine della VI CGPM (1921) fu eletto presidente del CIPM l'italiano Vito Volterra (1860-1940), matematico e fisico italiano al quale si deve l'analisi funzionale e la teoria della equazioni integrali. Fu tra i fondatori e primo presidente, dal 1923 al 1927, del Consiglio Nazionale delle Ricerche, nonché uno dei dodici professori universitari italiani che, nel 1931, rifiutarono di giurare fedeltà al fascismo. Proseguì la sua importante attività scientifica internazionale grazie a un passaporto del Vaticano, attribuitogli in quanto membro dell'Accademia Pontificia delle Scienze. Egli resterà in carica alla presidenza del CIPM fino al 1940. In quel difficile periodo Volterra guidò lo sviluppo della metrologia dall'era dei prototipi alle unità di misura definite con riferimento a fenomeni naturali. Il risultato più rilevante, ottenuto da Volterra, fu la delega della CGPM al CIPM nell'operazione di definizione dell'ampere, unità di misura che costituisce l'aggancio dell'elettromagnetismo alla meccanica. Il CIPM, libero di agire con una logica esclusivamente scientifica, già nel 1940 era pronto a promulgare la nuova definizione, la quale, assumendo un valore convenzionale ed esatto per la permeabilità magnetica del vuoto, stabiliva che la forza esercitata tra due conduttori percorsi da una corrente elettrica era espressa in termini del newton meccanico. La guerra rimandò lo storico aggancio tra i due mondi al 1946; ancora oggi è la definizione dell'ampere che garantisce l'uguaglianza tra misure di forza, di potenze e di energia, siano esse di natura meccanica o elettromagnetica.

Judith Goodstein<sup>19</sup>, autrice di una biografia di Volterra, afferma che la sua vita

esemplifica l'ascesa della matematica italiana avvenuta dopo l'unificazione del Paese, la sua rilevanza nel primo quarto del XX secolo, e il suo precipitoso declino sotto Mussolini. [...] L'ascesa come una meteora e la tragica caduta di Volterra e della sua

---

<sup>18</sup> Giovanni Giorgi (1871-1950), ingegnere elettrotecnico e fisico, dal 1913 al 1927, docente di fisica e matematica all'Università di Roma, e dal 1935 professore di elettrotecnica. Giorgi (Tschinke 2009; Egidi 1988) nel 1925 vinse il concorso a cattedra in fisica matematica, al quale partecipava anche Enrico Fermi.

<sup>19</sup> Goodstein 2007.

cerchia costituiscono una lente attraverso la quale è possibile esaminare nei più minuti dettagli le sorti della scienza italiana in un periodo scientificamente epico.

Alla presidenza del CNR fu chiamato, dopo Volterra, Guglielmo Marconi (1874-1937), il quale mantenne tale responsabilità fino alla morte. È in questo periodo che vengono gettati i germi della ricerca pubblica non universitaria italiana, con l'istituzione di una serie di istituti e laboratori di carattere nazionale con compiti prevalenti di ricerca: l'Istituto Superiore di Sanità, a Roma; l'Istituto Nazionale di Ottica, a Firenze; l'Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, a Torino; il Centro radio-elettrico sperimentale di Torrechiaruccia (Civitavecchia). Nel 1937 (Marconi non ebbe tempo d'essere presente) fu inaugurata la sede del CNR, in piazzale delle Scienze a Roma, dove ancora oggi si trova. Ma il decollo del CNR avverrà solo nel secondo dopoguerra, con la presidenza, dal 1944 al 1956, di Gustavo Colonnetti (1886-1968). Colonnetti comprese l'importanza, per la rinascita industriale del Paese, delle infrastrutture di ricerca e, tra queste, di laboratori dedicati in esclusiva allo sviluppo di campioni, strumenti e metodi di misura. Parleremo di questi sviluppi in un paragrafo successivo.

## **Le misure e le guerre**

L'analisi del rapporto tra le misure e le guerre rappresenta un capitolo non secondario del grande tema del rapporto tra tecnologia e umanità. Uno dei momenti cruciali del mutamento di questo rapporto si colloca nel periodo a cavallo tra il XIX e il XX secolo, quando la tecnologia era prevalentemente meccanica e chimica. L'entusiasmo generale per la tecnologia e la scienza dell'ultimo quarto del XIX secolo fu soppiantato, all'inizio del XX secolo, da un diffuso malessere per le speranze disattese, che si trasformò in manifesto rigetto dopo la prima guerra mondiale. La trasformazione delle industrie meccaniche, ad esempio Ford e FIAT, in industrie di guerra fu percepito come un cambio di vocazione, un tradimento nei riguardi dell'umanità. Le industrie producevano cannoni, mitragliatrici, gas asfissianti, non oggetti capaci di migliorare la qualità della vita. Da questo sentimento diffuso nacque la corrente filosofica dell'esistenzialismo e si impose una diversa visione della posizione dell'individuo nei riguardi della realtà, anche della realtà di guerra. Non più "carne da cannone", moltitudine indifferenziata di esseri da gettare allo sbaraglio negli assalti alla baionetta; ma individui da addestrare perché fossero in grado di utilizzare al meglio la nuova sempre più sofisticata tecnologia di guerra. Se guardiamo alla seconda guerra mondiale come allo scontro tra due diverse visioni dell'individuo, riconosciamo vincenti coloro che avevano capito come fosse più prezioso e insostituibile il pilota di un aereo piuttosto che l'aereo stesso. Il

primo non era sostituibile, anzi più acquistava esperienza più diveniva prezioso; il secondo poteva sempre essere ricostruito, magari addirittura perfezionato, dall'imponente industria meccanica di guerra.

Il ruolo delle misure nell'industria di guerra diviene sempre più cruciale man mano aumenta la sofisticazione delle armi impiegate. Le misure rivestono, in qualunque quadro esse intervengano, un duplice ruolo. Esse sono essenziali per prendere decisioni: conformità a specifiche, garanzie di intercambiabilità, previsioni di comportamento e di evoluzione, stima consapevole del rischio, valutazione del corretto funzionamento di apparati, studio delle cause di guasto. Le misure sono anche determinanti nel concorrere alla produzione di innovazione, di nuove tecnologie, non di rado di nuova scienza. Si pensi, limitandoci alla sola meccanica, all'impatto delle misure nello sviluppo di lubrificanti per le macchine, di nuovi materiali con caratteristiche rivoluzionarie, quali i compositi e i nano materiali. Poiché la guerra chiede alla scienza, alla tecnologia e alla produzione sforzi eccezionali, ecco arrivare in primo piano le misure. Anch'esse si fanno sofisticate, innovative e multidisciplinari nei periodi di crisi quali sono i periodi di guerra. Si pensi allo sviluppo del radar, del sonar, dei codici di identificazione, pionieri degli attuali codici a barre, dei binocoli, dei periscopi; e allo sviluppo dell'industria strategica di produzione di cuscinetti a sfere che richiese la realizzazione di sofisticati strumenti per misure di diametro e sfericità.

Le misure sono inoltre molto più connesse al mercato di quanto lo siano altre discipline scientifiche; dal mercato le misure traggono potere e in guerra a questo potere si somma il potere politico. La guerra non blocca il progresso scientifico: la ricerca per gli armamenti lo rilancia. È invece bloccata la competizione e lo sviluppo di progetti promettenti, a causa del segreto militare. Sono altresì bloccati i congressi scientifici e l'attività degli organismi di coordinamento sovra nazionali. Per le misure il blocco della competizione e del coordinamento internazionale rappresenta, in fase di guerra, una grave limitazione a una disciplina che ha trovato, a partire dal XIX secolo, una collocazione globale nelle attività umane.

Nel Museo degli strumenti presso l'Istituto Geografico Militare<sup>20</sup> è presentata una raccolta, ben articolata in sezioni tematiche, di strumenti di tipo diverso, anche strettamente dedicati alle misure, che mostrano come l'ambiente militare sia attento anche allo sviluppo storico delle misure e sia stato capace di raccogliere e preservare alcuni dei più significativi campioni di misura utilizzati nel XIX e XX secolo. In questo Museo la memoria dei rapporti tra misure e guerre si innalza a memoria storica e offre al visitatore un panorama affascinante dello sviluppo di tecniche di misura applicate ai massimi livelli di precisione.

---

<sup>20</sup> URL: <[http://www.igmi.org/museo/lista\\_strumenti.php?sender=categoria&categoria=Metrologia](http://www.igmi.org/museo/lista_strumenti.php?sender=categoria&categoria=Metrologia)>.

## Le misure per la fede pubblica: la metrologia legale

Una delle funzioni basilari degli stati fin dalle loro origini è stata di garantire la regolarità delle transazioni commerciali basate su misure istituendo un sistema di verifica del buon funzionamento degli strumenti di misura; tale funzione è stata assicurata dalla metrologia legale. La metrologia legale, secondo la definizione più ampia che ne dà l'OIIML (Organizzazione Internazionale di Metrologia Legale) si preoccupa di «garantire la qualità e la credibilità delle misure inerenti controlli pubblici, il commercio, la salute, la sicurezza e l'ambiente». L'attività di metrologia legale, costituisce quindi un'applicazione delle tecniche e procedure di verifica della strumentazione, dedicata a quegli strumenti di misura che vengono impiegati nelle transazioni commerciali o che attengono alla salute o sicurezza pubblica. Il Decreto Regio 242 del 1909 ha regolato per lungo tempo in Italia il funzionamento del servizio metrico legale che, fino al DL112 del 31 marzo 1998, era una organizzazione direttamente dipendente dal Ministero dell'industria (ora dello sviluppo economico). Il servizio di metrologia legale si articolava a livello provinciale con uffici metrici, competenti territorialmente per tutte le verifiche previste per legge sugli strumenti di misura al fine di «preservare la fede pubblica». La verifica si svolgeva tramite una “verifica prima” che autorizzava la messa in esercizio della strumentazione e in “verifiche periodiche” finalizzate ad accertare il mantenimento del corretto funzionamento degli strumenti di misura. Questa impostazione ha subito una serie di sostanziali modifiche, innanzitutto per effetto di norme di tipo comunitario finalizzate ad armonizzare i requisiti sulla strumentazione, per eliminare restrizioni alla libera circolazione delle merci all'interno dello spazio del mercato comune, che potessero derivare da vincoli nazionali. Un esempio in questo senso è stata la direttiva CEE n. 33 del 1975 che definiva i requisiti per i misuratori di volumi dell'acqua, uno degli strumenti di misura che quasi ogni cittadino europeo ha in casa in quanto misura i consumi di acqua fornita dai servizi idrici. Con questo tipo di direttive la definizione delle prestazioni degli strumenti messi in esercizio e le modalità per la verifica delle prestazioni sono state di fatto sottratte alla competenza del ministero che ora concorre alla definizione delle direttive, le quali tuttavia sono elaborate e concordate a livello europeo e successivamente recepite a livello nazionale.

Una seconda rivoluzione in questo settore è stata introdotta dal DL 112 del 1998 che ha trasferito le competenze degli uffici metrici provinciali alle camere di commercio le quali dal 2000 sono diventate responsabili delle attività di metrologia legale svolte sul territorio, quindi sia delle verifiche periodiche sia di quelle “prime”.

Sul fronte della autorizzazione alla messa in commercio di strumenti di misura una ulteriore rivoluzione è stata introdotta dalla direttiva della Comunità europea

n. 22 del 2004, nota come “Direttiva MID”, che ha cambiato la logica in base in base alla quale si autorizza la commercializzazione degli strumenti di misura oggetto della metrologia legale. Il passaggio è stato da una certificazione delle caratteristiche del singolo prodotto tramite la “verifica prima” alla certificazione di conformità di un “modello” di misuratore che porta alla “approvazione del modello”. Successivamente la certificazione di conformità al “modello approvato” del singolo esemplare ne consente la messa in commercio; è evidente come questo nuovo approccio sia stato reso possibile dall’evoluzione dei sistemi di assicurazione della qualità dei produttori di strumentazione che consentono appunto di certificare tramite la garanzia della qualità dei processi produttivi la conformità del singolo prodotto al modello approvato.

Le camere di commercio in base ai decreti di attuazione della direttiva MID autorizzano i laboratori di prova all’esecuzione delle verifiche periodiche, quando questi lo richiedano e soddisfino i requisiti di competenza e di gestione del sistema di qualità in coerenza alla normativa EN 17025. Quest’ultima evoluzione ha di fatto unificato la metrologia legale alla metrologia scientifica in quanto i criteri di competenza e di gestione del sistema di qualità sono gli stessi in base ai quali vengono accreditati i laboratori di taratura, con il risultato di coinvolgere non più solo gli istituti metrici, in quanto consulenti del Ministero, ma anche i gruppi di ricerca di misure delle università. Numerose ricerche sono state condotte<sup>21</sup>, anche tramite finanziamenti del Ministero dell’Università e della Ricerca (PRIN 2004), da cinque Università italiane per la definizione di codici di progettazione dei contatori dell’acqua e per la valutazione delle prestazioni metrologiche e dell’incertezza nelle diverse condizioni operative previste dalla direttiva MID con la definizione.

Oggi la strumentazione usata nelle transazioni commerciali ha raggiunto livelli di sofisticazione tecnologica molto alti. Trattasi di strumentazione alla quale viene richiesto non solo precisione adeguata agli scopi d’uso ma anche capacità di operare con continuità per tempi molto lunghi, spesso superiori a dieci anni, e in condizioni ambientali molto severe. Si pensi ad esempio alle bilance utilizzate nei supermercati da persone certamente non esperte; in esse la tecnologia degli elementi elastici che si deformano sotto carico, degli estensimetri elettrici<sup>22</sup> che misurano le deformazioni, delle compensazioni per gli effetti della temperatura e dell’accelerazione di gravità, e le garanzie che devono essere date ai cittadini nell’integrazione tra meccanica, elettronica e software, contribuiscono a farne dei veri e propri gioielli tecnologici. Si pensi anche ai contatori di energia elettrica,

---

<sup>21</sup> Angrilli 2007.

<sup>22</sup> L’estensimetro elettrico venne inventato da Edward E. Simmons e Arthur C. Ruge nel 1938. L’invenzione segnò l’ingresso nelle misure meccaniche dei metodi e degli strumenti usati dalle misure elettriche per misurare resistenze elettriche.

presenti in ogni alloggio, ormai lontani dai contatori elettromeccanici che dominavano fino a una decina di anni fa, oggi capaci di una pluralità di misure in condizioni di segnali certamente ben lontani dall'essere rigorosamente sinusoidali; ad essi viene richiesta dagli utenti una precisione che si pretende sempre più spinta man mano che aumenta il costo dell'energia. Lo sviluppo tecnologico degli strumenti oggetto di controllo da parte della metrologia legale è ben lontano dall'essere arrivato vicino alla saturazione: misurazioni e controlli metrologici degli strumenti a distanza, correzioni in tempo reale alle variazioni delle condizioni ambientali, diagnostica in linea e in tempo reale, segnalazione di guasti: su queste possibili innovazioni lavora la ricerca internazionale.

### **La nascita della intercambiabilità nella produzione**

Nell'ultimo quarto del XIX secolo si svilupparono sia le tecniche di rettifica sia gli strumenti di misura. Ma soprattutto si affermò il concetto, tipicamente metrologico, di intercambiabilità<sup>23</sup>, peraltro già noto in alcuni settori di nicchia, come ad esempio tra i costruttori di orologi.

È curioso che l'intercambiabilità a grande diffusione fu richiesta per prima dalle aziende costruttrici di macchine per cucire. Questo attrezzo, che certo fu l'anticipatore della classe degli elettrodomestici, aprì la strada alla liberazione della donna dalla schiavitù del lavoro domestico (anche se, a quel tempo, la schiavitù di molte donne era attribuibile al disumano lavoro in fabbrica o alla produzione domestica di beni da "vendere" alla rete di distribuzione commerciale), iniziando a offrire la possibilità di nuovi sbocchi professionali alla sua creatività e sensibilità. Per garantire la manutenzione distribuita di un prodotto di grande diffusione si dovette puntare sulla totale intercambiabilità delle parti. Purtroppo l'esigenza di intercambiabilità si applicò subito dopo alla produzione di strumenti bellici. E alla fine del XIX secolo si cominciava a parlare di guerra assai di frequente: non più di guerra per tutelare l'equilibrio raggiunto, ma per affermare il predominio di una nazione sulle altre. Guerra tra nazioni, per i mercati, per la supremazia nei commerci, per il possesso o il controllo di fonti di approvvigionamento di materie prime. Guerra con eserciti nuovi, nei quali l'unità di misura dei soldati tendeva verso il milione, non più verso le decine o poche centinaia di migliaia come all'inizio del secolo. Per le armi si doveva dunque pensare ad aziende che producessero grandi masse di armi e di pezzi di ricambio, senza alcun vincolo all'assemblaggio delle parti, ovunque queste fossero prodotte.

---

<sup>23</sup> Trevor 1970.

L'intercambiabilità divenne l'imperativo dell'industria militare e i militari investirono nel miglioramento della qualità dei prodotti di loro interesse.

Con l'affermazione del concetto di intercambiabilità si fece strada, tra molte ostilità dei produttori, in particolare inglesi, anche il principio di normalizzazione dei prodotti. Primi furono gli americani che già nel 1880 adottarono forme e dimensioni unificate per alcuni prodotti, imponendole alla clientela industriale e ai consumatori. Li seguirono gli imprenditori tedeschi, sia perché si resero subito conto che la semplificazione era razionale sia perché l'ottima organizzazione industriale facilitava l'introduzione e la diffusione di normalizzazione interaziendale. Gli inglesi dovettero arrendersi di fronte al cattivo andamento delle vendite sia in USA e Germania sia in altri paesi: nel 1901 fu istituito l'*Engineering Standards Committee*. Bastano pochi numeri per capire perché gli imprenditori inglesi dovettero cercare un accordo su una normativa comune: nel 1901 i fabbricanti inglesi producevano 122 tipi di profilati a U e a L, contro i 33 degli USA e i 34 della Germania!

La IEC, International Electrotechnical Commission, fu fondata a Londra nel 1906 nientemeno che da Lord Kelvin che ne fu il primo presidente. La sede si spostò a Ginevra, dov'è attualmente, nel 1948. Dal 1947 a Ginevra ha anche sede la neo fondata ISO, International Standard Organisation, che si occupa di normalizzazione in tutti i settori esclusi quelli elettrici ed elettronici, riservati all'IEC.

## Nuove industrie impegnate solo nella produzione di strumenti di misura

Quali sono le aziende che, da un lato, facilitarono con i loro prodotti questa corsa al miglioramento della precisione meccanica e, dall'altro, utilizzarono i miglioramenti per avanzamenti tecnologici dei loro prodotti? Si tratta di nomi leggendari per tutti coloro che hanno a che fare con la meccanica di precisione.

Ricordiamo Joseph Brown, della *Brown & Sharpe* (USA)<sup>24</sup>, che nel 1875 ideò la rettificatrice universale. La *Brown & Sharpe* è stata ed è ancora ai vertici mondiali nella metrologia industriale per la misura delle caratteristiche geometriche dei prodotti.

Nel 1862 veniva fondata a Ginevra la *Société Genevoise d'Instruments de Physique* (SIP), eccezionale laboratorio di nuove tecnologie: forni a gas nel 1867, idromotori e perforatrici ad aria compressa nel 1872, macchine del freddo e dinamo nel 1874.

---

<sup>24</sup> Oggi il marchio *Brown & Sharpe*, insieme ad altri prestigiosi marchi come CE Johansson, CimCore, CogniTens, DEA, Leica Geosystems (Metrology Division), Leitz, Romer, Sheffield e TESA, è proprietà di Hexagon Metrology™, parte di Hexagon Measurement Technologies, una nuova area produttiva all'interno di Hexagon Group.

Nel 1888 venne installato al BIPM il comparatore geodetico la cui ottica e la cui meccanica di precisione furono fornite dalla SIP. Dopo la prima guerra mondiale la SIP diviene produttrice specializzata di macchine utensili di grande precisione, fino alle macchine di misura e alle macchine a dividere per la produzione di regoli in acciaio e invar<sup>25</sup> e al comparatore longitudinale che servì per i migliori confronti tra lunghezze d'onda e campioni materiali di lunghezza, prodotto in due sole versioni, una per il BIPM e l'altra, nel 1971, per l'Istituto di Metrologia "G. Colonnetti" del CNR (oggi confluito nell'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica, INRiM).

Ricordiamo anche le tre generazioni di Ernst Leitz, ottici e imprenditori tedeschi: il capostipite (1843-1920), fondatore dell'azienda *Optisches Institut Belthle und Leitz, Wetzlar, vorm. C. Kellner*, il figlio (1871-1956), creatore del marchio originario Leica, condensato di Leitz-camera; e il nipote, continuatore, con i fratelli Ludwig e Günther, dell'opera degli avi. Dal 1883 la Leitz produce utensili per la lavorazione del legno. Oggi il Gruppo Leitz è leader mondiale nella produzione di macchine utensili per la lavorazione di legno, plastica e metallo.

Citiamo ancora l'azienda del meccanico Gottlieb Kern, fondata nel 1844, che già ai primordi produsse le bilance più precise della sua epoca. Essa divenne il nucleo dell'industria delle bilance di precisione della Germania meridionale, ottenendo rinomanza internazionale. E il "meccanico universitario" di Goettingen Florenz Sartorius che nel 1870 fonda l'azienda di macchine di alta precisione denominata *Feinmechanische Werkstatt F. Sartorius* e avvia la produzione di bilance analitiche.

L'elenco potrebbe continuare perché tanti furono, in quegli anni cruciali, i pionieri di aziende ancora oggi in posizione di primo piano. Ricordiamo due importanti nomi italiani. Angelo Salmoiraghi (1848-1939), imprenditore, ottico e ingegnere, produttore di strumenti di alta precisione per l'industria e la geodesia. Si laureò al Politecnico di Milano sotto la guida di Ignazio Porro (1801-1875; ottico e topografo, noto per l'invenzione, nel 1850, del sistema di prismi ancora oggi usato nella costruzione di binocoli). Il Porro fondò nel 1865 la Filotecnica, che si sviluppò sotto la guida del suo allievo Salmoiraghi, diventando Filotecnica-Salmoiraghi, fino ad acquisire un ruolo di primo piano tra i produttori di strumenti ottici e di precisione. L'azienda ha poi continuato la propria attività fondendosi con la Viganò e raggiungendo una posizione ragguardevole nel campo dell'ottica e dell'occhialeria, con il nome di Salmoiraghi & Viganò.

---

<sup>25</sup> L'invar è una lega di ferro (64%) e nichel (36%), con tracce di cromo e carbonio, caratterizzata da un coefficiente di dilatazione termica oltre 10 volte più basso di quello del ferro. Fu scoperta dal fisico svizzero Charles Edouard Guillaume (1861-1938). Egli fu assunto nel BIPM nel 1883 e ne divenne direttore dal 1915 al 1936. Per i suoi studi sul termometro a mercurio e sulle leghe di acciaio e nichel ottenne il premio Nobel nel 1920.

Astronomi e costruttori di strumenti, tra i quali spicca il nome di Giovanni Battista Amici (1786-1863), progettaron nel 1862 la costituzione dell'azienda Officine Galileo. Il progetto fu portato a termine nel 1866 e nel 1873 la produzione si estese, dagli originari strumenti meccanici e ottici di precisione, anche ad apparati elettrici di illuminazione. Nel 1876 le Officine Galileo costruirono il comparatore longitudinale tipo Bianchi, usato dagli uffici del ministero dell'economia e agricoltura italiano per disseminare il metro a partire dalla copia del prototipo; il bellissimo strumento è ancora oggi disponibile e funzionante presso l'Ufficio Centrale Metrico a Roma. Nel 1896 l'azienda, divenuta di proprietà dell'ing. Giulio Martinez, avviò la produzione di strumenti ottici, in particolare periscopi, per la Marina Militare Italiana. Attualmente le Officine Galileo sono parte di Galileo Avionica, una controllata di SELEX Sensors and Airborne Systems S.p.A., una società di FINMeccanica.

Per quanto riguarda la termometria, il primo termometro a resistenza di platino fu probabilmente costruito, nel 1861, dall'ingegnere tedesco Ernst W. von Siemens (1816-1892) e da lui presentato nel 1871 in una *lecture* alla Royal Society inglese. Ma l'azienda *Telegraphen-Bauanstalt von Siemens & Halske*, fondata dal padre nel 1847, non considerò di interesse questa invenzione. Nel 1886 il fisico inglese Hugh L. Callendar (1863-1930)<sup>26</sup> propose l'uso di questo termometro come nuovo campione di precisione nelle misure di temperatura.

## Le misure per il progresso di tutte le branche dell'ingegneria

Dagli inizi dell'Ottocento sino al Novecento avanzato la precisione richiesta nella misura delle grandezze era fortemente disomogenea: si passava da accuratezze spinte nella misura di grandezze geometriche, risoluzione di uno su centomila già nel 1793 per la definizione del metro, ad accuratezze bassissime nella definizione delle caratteristiche di resistenza dei materiali, accuratezze che, unite alla povertà degli strumenti di calcolo, obbligavano ancora negli anni Sessanta del '900 ad utilizzare "coefficienti di sicurezza"<sup>27</sup>, che pragmaticamente sintetizzavano in modo globale l'incertezza, con valori compresi tra 2 e 4 nel dimensionamento di organi meccanici costruiti con materiali non duttili.

In questa situazione le industrie, per le misure non geometriche, erano interessate più che alle misure, come ora universalmente intese, alla sperimentazione e

---

<sup>26</sup> Callendar 1899. Alcuni sostengono che a Callendar e ad altri tra 1885 e il 1900 va attribuita la messa a punto dei metodi di costruzione del termometro a resistenza di platino. Si trattò comunque sempre solo di produzioni a carattere artigianale.

<sup>27</sup> Massa 1958.

solo sui prodotti costruiti in serie o il cui cedimento comportasse gravi danni umani o materiali; d'altra parte risulta evidente che le esigenze di accuratezza, necessarie per verificare calcoli eseguiti con così ampi margini di errore, fossero limitate. Solo nel dopoguerra l'evoluzione della produzione industriale, e in particolare la nascita dell'attenzione alla qualità e alla riduzione dei costi, ha progressivamente portato le aziende manifatturiere a cercare competenze misuristiche e in modo naturale si sono sviluppate quelle universitarie.

Le prime a nascere e a svilupparsi furono le Misure elettriche anche se, come si legge nei volumi dei ruoli di anzianità delle università italiane, ancora nel 1952 c'era in Italia un solo professore di ruolo di Misure elettriche, Stefano Basile a Bologna, e le Misure elettriche erano quindi normalmente insegnate nelle università italiane da professori incaricati di altre materie o da professionisti esterni. Ad esempio Ercole Bottani (1897-1978) nel 1937 ottiene la cattedra di Elettrotecnica al Politecnico di Milano e fonda l'insegnamento di Misure Elettriche; gli succede Angelo Barbagelata (1875-1961), autore, con la collaborazione di Piero Regoliosi, del testo universitario in due volumi *Misure elettriche*, pubblicato nel 1950 dall'editore Tamburini di Milano ma pronto nella forma definitiva già dal 1945. Questo testo costituirà per alcuni decenni il riferimento sui metodi e sui fondamenti delle misure per tutti i testi di misure pubblicati in Italia.

L'insegnamento delle nozioni di Misure nei corsi per Ingegneria meccanica, fino ad allora spalmate all'interno di altri insegnamenti fondamentali, venne previsto in forma autonoma dalla riforma Capocaccia<sup>28</sup> degli studi in Ingegneria del 1960 e, nel giro di due o tre anni, vennero attivati insegnamenti di Misure meccaniche e termiche presso tutte le Facoltà di Ingegneria nelle quali esistevano corsi di laurea in Ingegneria meccanica. Docenti di Misure meccaniche e termiche furono inizialmente professori o assistenti di Meccanica applicata, di Macchine, di Costruzione di macchine, di Topografia, oltre a professionisti provenienti dall'industria, mentre i docenti di Fisica tecnica preferirono attivare corsi di Misure fisico-tecniche o di Misure termotecniche all'interno del proprio raggruppamento disciplinare.

Il primo professore inquadrato in una materia, la Teoria e pratica delle misure, che poi avrebbe fatto parte del gruppo originario degli insegnamenti del settore

---

<sup>28</sup> Agostino Antonio Capocaccia (1901-1978) fu professore di meccanica applicata all'Università di Genova. Fu membro del Consiglio Superiore dell'Istruzione, Presidente del Comitato delle Scienze di Ingegneria e Architettura del CNR e Presidente del Consiglio dei Presidi delle Facoltà di Ingegneria Italiane. Nel 1969 rassegnò le dimissioni dagli incarichi ministeriali per dissensi sui mancati finanziamenti alle Università per l'accoglienza dell'aumentato numero di studenti a seguito dell'attuazione della riforma universitaria da lui promossa. Oltre che scienziato di rilevanza internazionale fu anche appassionato e sensibile interprete di musica classica, pianista e organista di alto profilo.

disciplinare delle Misure meccaniche e termiche, fu nel 1964 Mariano Cunietti<sup>29</sup> a Milano. Con gli ultimi bandi, prima della loro abolizione, conseguirono la libera docenza, alla fine degli anni '60, Anthos Bray e Francesco Paolo Branca; nel 1973 Andrea Capello, a Milano, trasferì la propria cattedra da Meccanica applicata a Misure meccaniche e termiche e, finalmente, nel 1975 fu bandito il primo concorso a cattedra nel settore, ne risultò vincitore Paolo Branca che fu chiamato a Roma la Sapienza; nel 1981 Michele Gasparetto trasferì la propria cattedra da Meccanica applicata a Misure meccaniche e termiche. La situazione era quindi, ancora nel 1981, di solo quattro professori inquadrati, tre a Milano ed uno a Roma, con praticamente tutte le Sedi sguarnite.

La svolta decisiva fu data dalla riforma universitaria del 1980 che introdusse la figura del professore associato; superarono i primi giudizi di idoneità Franco Angrilli a Padova, Alberto Giussani a Milano, Francesco Iaconis e Roberto Steindler a Roma La Sapienza, Enrico Primo Tomasini ad Ancona, Mario Felice Tschinke a Palermo, Rinaldo Vallascas a Cagliari. Dalla prima tornata in poi furono regolarmente banditi, e coperti, concorsi a posti di professore ordinario e di professore associato nonché, importantissimi, di ricercatore arrivando a fine del 2011 alla numerosità di quarantasei inquadrati, equamente divisi fra ordinari, associati e ricercatori e distribuiti in ventuno Atenei.

Gli insegnamenti universitari di Misure, oramai attivi da cinquant'anni, hanno creato una generazione di ingegneri con le basi per lo sviluppo, nelle aziende, della qualità e della integrazione dell'informatica e dell'elettronica nella produzione e nei collaudi. Dal punto di vista scientifico e applicativo i professori di Misure sviluppano sensori per applicazioni meccaniche, spaziali, cliniche, sistemi automatici di raccolta ed elaborazione delle misure per la qualità e a fini di monitoraggio e diagnostica e per la conservazione dei beni culturali e, più recentemente, sistemi di visione per il monitoraggio e la sicurezza.

Nello stesso periodo in Italia si è sviluppato e consolidato il sistema metrologico nazionale, per la ricerca e lo studio, la realizzazione, la conservazione e la disseminazione sul territorio dei campioni nazionali di misura.

---

<sup>29</sup> A Mariano Cunietti (1921-1997) la cultura metrologica italiana è debitrice della invenzione di un momento di incontro tra ricercatori di discipline differenti per la discussione dei fondamenti della teoria della misura: "La Giornata della Misurazione" (GdM). Giunta nel 2012 alla 31ª edizione, la GdM ha consentito l'incontro tra esperti delle misure d'ogni settore, epistemologi, storici della scienza, filosofi, biologi, chimici, logici e molti altri studiosi per la integrazione delle rispettive culture ed esperienze e la produzione di documenti sulle misure e sulla conoscenza. I prodotti della GdM hanno avuto rilevanza culturale internazionale, influenzando significativamente sulla base concettuale sia del Vocabolario Internazionale di Metrologia (VIM) sia sulla Guida alla Stima dell'Incertezza di Misura (GUM).

Nel 1935 viene fondato a Torino l'Istituto Elettrotecnico Nazionale "Galileo Ferraris" (IEN), inizialmente orientato sulle misure fotometriche e in seguito acustiche ed elettriche. Nel dopoguerra nascono i due istituti del CNR, l'Istituto Dinamometrico Italiano (IDI) e l'Istituto Termometrico Italiano (ITI), entrambi a Torino. Nel 1970 IDI e ITI confluiscono nell'Istituto di Metrologia "Gustavo Colonnetti" (IMGC), che assicurerà alla nazione la riferibilità internazionale delle misure meccaniche e termiche, IMGC che infine si fonderà con l'IEN nel 2009 nell'Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRiM).

Sul piano legislativo l'Italia si allinea agli altri paesi firmatari della Convenzione del Metro con la legge n. 273 del 1991. Tale legge istituisce il Sistema Nazionale di Taratura, costituito dagli Istituti Metrologici Primari (oggi l'INRiM e l'Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti dell'ENEA, INMRI-ENEA) e dai centri di taratura; il Sistema ha il compito di assicurare la riferibilità ai campioni nazionali dei risultati delle misurazioni compiute in Italia. Con il Decreto 30 novembre 1993, n. 591, viene definito il "regolamento concernente la determinazione dei campioni nazionali di talune unità di misura del Sistema Internazionale (SI) in attuazione dell'art. 3 della legge 11 agosto 1991, n. 273". Inoltre tramite ACCREDIA<sup>30</sup>, l'Ente Italiano di accreditamento<sup>31</sup>, l'Italia aderisce al sistema internazionale di accreditamento e ha firmato gli Accordi di Mutuo Riconoscimento in ambito EA<sup>32</sup> (European co-operation for Accreditation).

## **La rivoluzione portata dal microprocessore e dal software negli strumenti di misura**

In questo capitolo parleremo di robot, di macchine di misura, di automazione della produzione industriale, tenendo al centro dell'indagine gli aspetti connessi alle

---

<sup>30</sup> URL: <<http://www.accredia.it>>.

<sup>31</sup> L'accreditamento è definito come «Attestazione da parte di un organismo nazionale di accreditamento che certifica che un determinato organismo di valutazione della conformità soddisfa i criteri stabiliti da norme armonizzate e, ove appropriato, ogni altro requisito supplementare, compresi quelli definiti nei rilevanti programmi settoriali, per svolgere una specifica attività di valutazione della conformità» (Regolamento CE n. 765/2008). Per la definizione dei termini specialistici usati in questo capitolo si fa riferimento alla norma CEI UNI 70099, pubblicata nell'aprile del 2010 con il titolo: *Vocabolario Internazionale di Metrologia – Concetti fondamentali e generali e termini correlati (VIM)*. Gli Enti italiani di unificazione, CEI e UNI, hanno messo a disposizione gratuitamente sul web questa norma, fondamentale per la scuola, per le aziende, per tutti gli operatori coinvolti nelle misure; l'accesso al testo, in italiano, inglese e francese, è possibile, previa registrazione, sul sito <<http://www.ceiweb.it/struttura/body-ws-cei-LIUC.php>>.

<sup>32</sup> URL: <<http://www.european-accreditation.org>>.

misure, gli effetti dell'introduzione nei sistemi di misura e produzione dei microprocessori e del software<sup>33</sup> e il rilevante contributo italiano nello sviluppo del settore. Per ragioni di spazio non affronteremo il tema cruciale degli effetti dell'automazione sull'occupazione, tema che fu oggetto di accaniti contrasti dall'inizio della vita della robotica industriale.

La norma ISO TR/8373-2.3 definisce il robot industriale, che nasce negli anni '70 del XX secolo, come: «Un manipolatore con più gradi di libertà, governato automaticamente, riprogrammabile, multiscopo, che può essere fisso sul posto o mobile per utilizzo in applicazioni di automazioni industriali». In un robot sono presenti alcuni sottosistemi essenziali. Anzitutto una serie di sensori e trasduttori i quali raccolgono informazioni sulla posizione dei diversi bracci del robot, sull'ambiente e sulle forze che il robot applica ai sistemi con i quali interagisce. Ne consegue che il fondamento per tutte le azioni che il robot dovrà compiere è costituito dalle informazioni ricavabili dalle misure effettuate dai suoi sensori. I segnali dei sensori vengono condizionati per essere tutti omogenei con le grandezze fisiche, e i loro campi di valori, acquisibili dai sottosistemi di acquisizione e calcolo. Il sottosistema di calcolo è costituito da pacchetti *software*, interconnessi in maniera diversa a seconda delle manipolazioni che il robot è tenuto a fare. Il risultato dei calcoli eseguiti da luogo a una serie di comandi al sottosistema degli attuatori che impongono al robot di condurre a termine le azioni per le quali è stato programmato. Il tutto è interconnesso e sincronizzato da collegamenti mediante conduttori elettrici o fibre ottiche (in ambienti particolarmente ostili) o, recentemente, da sistemi senza fili (Wi-Fi).

La ricerca si è concentrata sui sensori, passando da quelli a contatto a quelli che generano un segnale senza necessariamente “toccare” gli oggetti di interesse e quindi senza perturbarli. Tra i sistemi senza contatto sono oggi oggetto di studi avanzati i sistemi di visione. La crescita della qualità e quantità delle informazioni ha condotto a un esame concettuale molto approfondito sulle possibilità di sviluppare *software* capaci di apprendere e di prendere decisioni sulla base delle informazioni raccolte. È così esploso il settore di ricerca sull'intelligenza artificiale, uno dei settori multidisciplinari che vede coinvolti specialisti di diversi settori (ingegneri, fisiologi, neuroscienziati, psicologi, neuropsichiatri). Due sono le applicazioni di maggiore interesse, sulle quali si concentrano gli investimenti: le applicazioni militari (droni, aerei senza pilota, il soldato perfetto) e quelle domestiche (la badante ideale e la domotica).

Oggi l'automazione robotizzata ha un ruolo determinante, insostituibile in molti processi industriali. Nuove frontiere applicative si stanno aprendo in settori ancora inesplorati quali, ad esempio, attività spaziali, sottomarine, protezione civile, agricol-

---

<sup>33</sup> Sartori 2007.

tura, medicina. La ricerca e l'industria italiana hanno giocato un ruolo di primo ordine nello sviluppo di questo settore. Agli inizi, negli anni '70 del XX secolo, protagonista italiano dello sviluppo è stato il triangolo industriale del nord: Milano, Genova e Torino, con le loro università e le loro industrie.

Nel 1975 viene fondata l'Associazione Italiana di Robotica e Automazione (SIRI), associazione culturale senza fini di lucro, con lo scopo di costituire un riferimento per quanti sentono l'esigenza di approfondire i temi relativi alla robotica ed alle sue applicazioni. Oggi ha sede in Cinisello Balsamo (Milano) presso l'UCIMU – SISTEMI PER PRODURRE (Unione Costruttori Italiani Macchine Utensili). SIRI annovera fra i suoi associati enti di ricerca, università, costruttori, integratori, importatori che operano nei settori della robotica e dell'automazione. SIRI è membro dell'IFR (International Federation of Robotics), organismo che collega le Associazioni di Robotica dei Paesi più industrializzati.

A Genova la storia dell'automazione industriale è legata al nome Ansaldo, fondata nel 1853 con il nome Giò Ansaldo & Co., probabilmente secondo il disegno politico di Camillo Benso di Cavour. Sempre a Genova, nel 1899, viene inaugurato lo Stabilimento Elettrotecnico dal quale deriva l'attuale Ansaldo Sistemi Industriali. Per la costruzione di grandi macchine elettriche, Ansaldo deve affrontare e risolvere critici problemi di misure dimensionali su grandi diametri, per garantire accoppiamenti dell'ordine di centesimi di millimetro tra rotore e statore. È tra le prime aziende a dotarsi di un calcolatore analogico e a realizzare imponenti quadri per il controllo automatico di centrali e di altre installazioni industriali. La storia dell'Ansaldo si intreccia con la storia d'Italia, ricalcandone momenti di crisi ed esaltanti momenti di sviluppo; l'azienda resta un esempio di dinamismo e di innovazione anche nel settore della metrologia industriale.

L'industria italiana della robotica nasce a Torino. Nel 1977 nasce quella che dagli anni '80 a oggi è Prima Industrie S.p.A.; inizialmente è un'azienda di progettazione ma già nel 1979 produttrice di macchine automatiche a laser (per taglio, saldatura e foratura di componenti metallici 3D e 2D) e di macchine per la lavorazione della lamiera, settore che diventerà successivamente d'avanguardia per l'azienda. Il Gruppo ha oggi stabilimenti produttivi in Italia, Finlandia, Stati Uniti e Cina.

Sempre negli anni '70 inizia in FIAT l'installazione nelle linee di produzione di sistemi automatici di vario tipo. Per il loro sviluppo si appoggia, oltre che ad aziende esterne, a una propria struttura interna, il COMAU, azienda che realizza "le macchine per costruire le macchine": robot di saldatura e assemblaggio scocche, sistemi di lavorazione e montaggio meccanico. COMAU lavora anche per clienti esterni a FIAT; ad essi consegna impianti "chiavi in mano", dei quali esegue progettazione, realizzazione, installazione, avvio produttivo e successivamente anche la manutenzione. COMAU oggi, con 23 sedi in più di 14 Paesi, è leader nella

ricerca di tecnologie innovative, incluse quelle per il risparmio energetico, per un continuo miglioramento dei processi.

A livello di ricerca nel settore della robotica per applicazioni biomediche spetta oggi un posto di primo piano, riconosciuto anche a livello internazionale, all'Istituto di Biorobotica (<<http://www.bioroboticsinstitute.it/>>) nella Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa (<<http://www.sssup.it/>>). Nei suoi laboratori si svolgono ricerche e si sviluppano tecnologie, con approccio interdisciplinare, per applicazioni alla biologia, alla medicina, allo sviluppo di dispositivi e robot miniaturizzati.

### **Un robot molto speciale: la macchina di misura a coordinate (CMM)**

L'avvento del microprocessore, circa alla fine degli anni '60 del XX secolo, provocò una rivoluzione nei controlli, in quanto consentì ai dispositivi elettronici di competere con i dispositivi elettromeccanici. Le prime applicazioni furono in campo aeronautico, dove i vantaggi di peso e versatilità dei comandi gestiti dal microprocessore decisero la partita tra meccanica ed elettronica. In altri settori la partita si protrasse più a lungo; in particolare nella costruzione di strumenti di misura di grandezze geometriche la meccanica continuò a cercare nuove strade per ottenere prestazioni sempre più spinte. Un esempio tipico è quello delle viti di trascinamento di carri, impiegate ad esempio su macchine utensili, usate anche come misuratori di posizione. La ditta Moore Tool Company<sup>34</sup> di Bridgeport, USA, grazie alla genialità del suo fondatore Richard F. Moore sviluppò viti che proponevano errori di passo e sul giro contenuti entro 0,1 µm. Il processo prevedeva la realizzazione di una vite, l'accurata misura dei suoi errori e l'uso della stessa vite sulla rettificata usata per produrne la successiva. Nella rettificata gli errori della prima vite, usata per comandare l'avanzamento, erano corretti per via meccanica (camme che agivano sulla madre vite per compensare gli errori). Ripetendo più volte questo procedimento e migliorando la qualità del profilo e il materiale usato, la Moore giunse a immettere sul mercato alesatrici, rettificatrici e macchine di misura di altissima qualità. L'azienda applicò la stessa tecnica nella produzione di generatori d'angolo, fino ad arrivare a due tavole sovrapposte, ruotanti l'una rispetto all'altra e accoppiate frontalmente mediante 1440 denti, capaci di generare angoli a passi di 0,25° con ripetibilità ed errore massimo inferiore a un decimo di secondo d'arco.

Ma la meccanica era arrivata ormai ai limiti estremi delle sue possibilità, per quanto riguarda la precisione dei posizionamenti. Le aziende che ritardarono a

---

<sup>34</sup> URL: <<http://www.mooretool.com/about.html>>.

compiere l'integrazione tra meccanica ed elettronica persero il treno della competizione e rapidamente si trovarono fuori mercato.

In Italia fu il Gruppo Nazionale di Coordinamento del CNR "Misure elettriche ed elettroniche" ad avviare il dibattito per l'impiego del microprocessore negli strumenti di misura. Il primo convegno sul tema *L'impiego del microprocessore per la misura di grandezze elettriche: stato dell'arte e prospettive di sviluppo* si tenne a Milano nell'ottobre del 1982. Non tragga in inganno il riferimento alle sole grandezze elettriche: all'epoca già quasi tutte le grandezze venivano trasdotte in elettriche per essere meglio misurate. Ma il passo fondamentale per la miglior precisione nelle misure meccaniche, sfruttando anche l'elettronica, richiedeva l'affermazione di un concetto nuovo: la separazione tra la ripetibilità dei posizionamenti, affidata alla meccanica, e l'accuratezza degli stessi, affidata al microprocessore e al suo software, grazie all'elaborazione di modelli e alla correzione in tempo reale degli errori sistematici precedentemente misurati.

Correva l'anno 1985. Fu l'esigenza di coordinare, in Italia, l'attività di ricerca e sviluppo sulle CMM a portare intorno ad un tavolo, nell'Istituto di Metrologia "G. Colonnetti" (IMGC) del CNR, i ricercatori dell'istituto e del Politecnico di Torino e i costruttori italiani di CMM (ma non solo italiani), tra i quali spiccava per prestigio e dimensioni la DEA.

### **La DEA: storia di un grande progetto e di un insuccesso finanziario**

La Digital Electronic Automation (DEA)<sup>35</sup> nacque, a Torino, nel 1962 dalla capacità imprenditoriale di Luigi Lazzaroni, il quale si avvalese della collaborazione tecnica degli ingegneri Franco Sartorio e Giorgio Minucciani, con l'idea di applicare l'elettronica ai processi produttivi e in particolare al settore della metrologia dimensionale. Nel 1965 venne realizzato il primo prototipo di sistema di misura tridimensionale a coordinate, esposto alla Fiera Internazionale delle Macchine Utensili, suscitando interesse tra i potenziali utilizzatori. Negli anni successivi venne realizzata la prima macchina di misura a coordinate commercializzabile, destinata alla progettazione delle carrozzerie delle automobili, grazie alla quale la DEA acquistò importanti commesse internazionali, come quella con la Volkswagen.

Con il trascorrere degli anni la domanda di macchine per la metrologia dimensionale, che consentivano di effettuare, grazie all'elettronica, misure di alta precisione dei prodotti con grande versatilità, aumentò notevolmente. Nel processo di collaudo dei pezzi meccanici le macchine di misura hanno portato a una vera

---

<sup>35</sup> Le informazioni sulla storia della DEA sono tratte dalla Cronistoria in: <http://www.rsudea.com/news/storia.html>.

rivoluzione, aumentando la rapidità del controllo e migliorando la precisione nella rilevazione dei dati.

Al termine del 1968 si iniziarono ad avvertire i sintomi di una crisi finanziaria a causa della chiusura in perdita di tutti i primi sei esercizi. Fu pertanto ceduta una partecipazione a una società lussemburghese, la EED.

Alla fine del 1976 la EED iniziò la liquidazione delle partecipazioni azionarie possedute in varie società europee. Lazzaroni riacquistò la DEA attraverso la sua società denominata Immobiliare XXV Marzo, proprietaria dell'immobile che la DEA locava dal 1968. Nel marzo del 1978 fu realizzata l'operazione di fusione per incorporazione della DEA nella Immobiliare XXV Marzo: nasceva la DEA S.p.A.

A partire dalla seconda metà degli anni '70, il mercato delle macchine di misura si era infittito di nuovi concorrenti; ai tradizionali Olivetti, Zeiss, Leitz si aggiunsero Bendix, Brown & Sharpe, Johansson, Mitutoyo. Tali aziende erano specializzate nella produzione di alcuni modelli particolari di macchine di misura ma nessuna di esse disponeva di una gamma di macchine numerosa e articolata come quella della DEA.

Dal 1976 la DEA si era dedicata al settore dell'automazione: fu una delle prime aziende in Italia a realizzare i calcolatori di processo e un nuovo programmatore logico destinato a sostituire i vecchi calcolatori. Il settore automazione, all'inizio del 1978, aveva avviato la ricerca, lo sviluppo e la progettazione di un nuovo tipo di apparecchiatura: il robot di montaggio, il segmento tecnologicamente più vicino alla macchina di misura. Fu una scelta strategica vincente.

Il primo prototipo di robot di montaggio fu chiamato PRAGMA 3000 e venne presentato alla EMO di Milano nell'ottobre del 1978 dove suscitò notevole interesse essendo, oltre che dotato di elevata precisione, tecnologicamente più avanzato e più flessibile, capace di risolvere problemi di montaggio assai diversi tra loro e di effettuare frequenti cambi di lavorazione, rispetto ai robot già presenti sul mercato.

Nella seconda metà del 1980 erano stati avviati gli studi per la realizzazione di un nuovo prodotto, un robot di misura, denominato BRAVO, in grado di effettuare la misura tridimensionale dei pezzi prodotti operando direttamente *in process*. L'obiettivo era prevenire la produzione di pezzi difettosi con un intervento in tempo reale lungo la linea di produzione.

All'inizio degli anni Ottanta si aggravarono però le tensioni finanziarie. A partire dal 1981 furono avviati i contatti con la ELSAG, azienda del Gruppo STET, con l'intento di realizzare il progetto della "fabbrica automatica", unendo l'esperienza maturata nel campo del controllo numerico con la competenza specifica posseduta dalla DEA nel settore della misura tridimensionale e del montaggio. Già nel corso del 1987 il progetto "fabbrica automatica" si rivelò troppo ambizioso: le

ottimistiche previsioni non trovarono riscontro. Dopo l'acquisizione da parte della ELSAG della PRIMA INDUSTRIE, denominata successivamente DEA S.p.A., con amministratore delegato di Franco De Gennaro, fu avviata una ristrutturazione dell'azienda e introdotta una politica di *make or buy*.

L'ultimo capitolo della storia dell'azienda si chiude il 13 ottobre 1996 con la dismissione, finalizzata a una netta riduzione dei debiti, da parte di FINMECCANICA della sua quota di appartenenza sul mercato di Wall Street.

## **Il successo del CMM Club Italia**

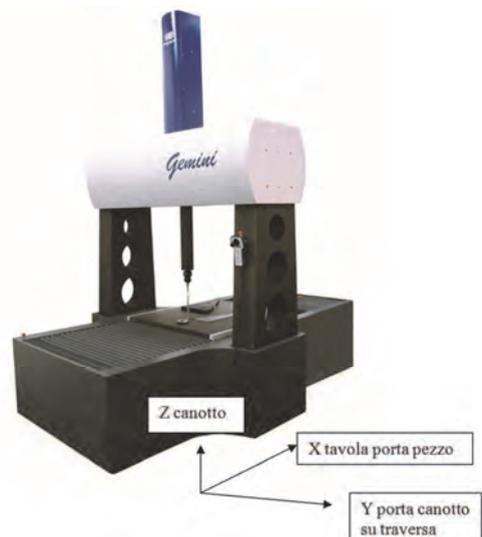
Torniamo alla nascita del Gruppo di Lavoro Nazionale sulle CMM, una struttura capace di presentare un piano di ricerca sulla modellizzazione di sistemi meccanici nel Progetto Finalizzato di Ricerca sulle Tecnologie Meccaniche. Ecco altri protagonisti aziendali.

MDM Mecatronics di Giorgi Annamaria, fondata a Minerbio, Bologna, dall'ing. Michele Deni nel 1968. Deni è il tipico imprenditore italiano erede della tradizione rinascimentale; adora le sfide, partecipa a tutti gli incontri ad alto livello, si rilassa volando, è titolare di 22 brevetti. Oggi MDM Mecatronics S.r.l. è ancora guidata dal fondatore e specializzata in sofisticate CMM per il controllo degli ingranaggi.

Fratelli Rotondi S.a.s. è fondata nel 1943 per la costruzione di strumenti di controllo e misura meccanici quali piani di riscontro, righe di controllo, righe graduate, prismi, squadre, calibri; dagli anni '60 iniziava una diversificata e originale attività di produzione di CMM. È ancora oggi all'avanguardia con CMM ottiche e tastatori innovativi.

Coord3 nasce nel 1963, con macchine di tracciatura d'originale concezione a cantilever, proposte all'indotto torinese specializzato nel processo di realizzazione della carrozzeria (modelli, stampi, calibri, attrezzature, lamierati...). Furono prodotte e installate più di 400 macchine di questo tipo. La gamma fu ampliata negli ultimi anni del XX secolo, includendo differenti tipologie di CMM: a portale, a braccio orizzontale e a pilastri, prevalentemente manuali ma dotate di sistemi di calcolo sviluppati dal produttore. Nel 2004 Coord3 e Carl Zeiss S.p.A. (anch'essa nel gruppo che partecipa al progetto) annunciano la collaborazione nello sviluppo e commercializzazione delle macchine di misura a portale di grandi dimensioni. Nel 2007 Coord3 entra a far parte del gruppo Metris, azienda leader nello sviluppo di soluzioni metrologiche. Nel 2009, a seguito dello spin-off delle Operations Italiane del gruppo Metris, nasce la nuova Coord3 Industries S.r.l. che continua la tradizione storica del marchio Coord3.

Poli S.p.A. (oggi non più in attività) di Varallo Sesia è un altro esempio di piccola azienda creata da un imprenditore coraggioso in continua sfida con grandi aziende internazionali. Negli anni '80 produce ottimi piani di riscontro e blocchetti pianparalleli. Cerca in Brasile, nei pressi di Porto Alegre, nuovo materiale idoneo alla costruzione dei piani e là avvia la produzione con cospicui investimenti. Approda alle CMM ma si trova schiacciata dai problemi finanziari. Prima di cessare le attività tenta anche la strada dei servizi metrologici di alto livello per le aziende; ma anche in quel settore trova una concorrenza agguerrita.



**Figura 1.** Macchina di misura a coordinate Gemini a portale fisso (per gentile concessione di Fratelli Rotondi S.r.l.).

La tavola porta pezzo si muove lungo l'asse X del sistema cartesiano ortogonale di riferimento. Il portale fisso regge la traversa sulla quale si muove il porta canotto lungo l'asse Y. All'interno del porta canotto scorre, lungo l'asse verticale Z, il canotto che porta il tastatore. Quando il tastatore tocca un punto del pezzo, sugli assi delle macchina si leggono le coordinate, nel sistema macchina, di quel punto; toccando un altro punto si è in grado di calcolare la distanza tra i due punti ma anche l'orientamento della retta che li contiene e la sua posizione nello spazio macchina.

Ciascuno dei tre elementi, tavola, porta canotto e canotto, vengono considerati corpi rigidi mobili nello spazio, ognuno con sei gradi di libertà: le tre traslazioni lungo le direzioni X, Y, Z (che danno luogo a tre errori  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ ); le tre rotazioni di beccheggio, imbardata e rollio (che danno luogo a tre errori  $\Delta M_x$ ,  $\Delta M_y$ ,  $\Delta M_z$ ). Si possono scrivere le 18 equazioni che descrivono il moto dei tre corpi e calcolare i coefficienti di tali equazioni risolvendo ai minimi quadrati il sistema quando la macchina misura coordinate di un pezzo stabile collocato in diverse posizione nel volume di lavoro della macchina. Noti i coefficienti si calcolano gli errori in ciascuna posizione della macchina.

Con questi attori il progetto, successivamente esteso anche alle macchine utensili (MU)<sup>36</sup>, prevedeva la scrittura delle equazioni di modello per la descrizione degli errori geometrici<sup>37</sup> e delle deformazioni termiche; la definizione di un protocollo di misure sulle CMM e sulle MU per la generazione delle informazioni necessarie per dare concretezza ai modelli; lo sviluppo di campioni di misura idonei per l'uso sulle CMM e sulle MU nelle diverse situazioni di prova; la scrittura dei programmi software capaci di risolvere le equazioni di modello e di fornire i parametri da inserire nei sistemi di controllo delle macchine per correggerle; il controllo sperimentale finale sugli effetti delle correzioni<sup>38</sup>. Su questo piano furono coinvolti anche ricercatori stranieri (dall'Argentina, dalla Bulgaria e dalla Croazia), ospiti in Italia sulla base di accordi intergovernativi di collaborazione scientifica.

Allora chi acquistava una CMM o una MU si aspettava di ricevere una struttura con guide ben rettilinee, rigide, tra loro ortogonali. Le tecniche di correzione via software mutarono profondamente l'ottica di costruzione delle macchine: non più precisione ma ripetibilità dei posizionamenti e degli spostamenti. Il conseguimento della precisione fu affidato non alla perizia dei costruttori ma all'efficacia dei modelli, congelati nel software di controllo e di correzione delle macchine. Bisognava dunque educare gli utenti, far loro capire che guide poco dritte e poco ortogonali nella macchina e strutture più leggere non significavano prestazioni peggiori: le macchine erano divenute "intelligenti", capaci di misurare i propri errori e di correggerli durante il funzionamento. Costavano meno ed erano, alla fine, più precise.

Nacque così il Gruppo di Lavoro Nazionale CMM\_Club, con un suo Consiglio Direttivo e con programmi di divulgazione della cultura della CMM e di formazione e specializzazione del personale addetto alla CMM.

Il successo fu lusinghiero. Si consolidò un linguaggio comune; si avviò una sistematica e qualificata presenza italiana nelle commissioni internazionali di normazione sulle CMM; si inserirono gruppi di ricerca italiani in progetti europei. Gli utilizzatori delle CMM cominciarono ad apprezzare il lavoro congiunto, di ricercatori e costruttori, per migliorare le macchine e per rendere più agevole il loro impiego, per uniformare il modo di presentare sui cataloghi le prestazioni garantite e per armonizzare le modalità per l'esecuzione delle prove di accettazione.

Nel 1997 il Club si trasforma in Associazione. Si registra il marchio rotondo e giallo dell'Associazione e il dominio Internet <www.cmmclub.it>. C'è molto interesse per l'iniziativa, anche a livello internazionale: il CMM Club canadese invita

---

<sup>36</sup> La INSE mise a disposizione per le prove una alesatrice di precisione.

<sup>37</sup> Un sistema di equazioni lineari con 18 incognite, sei (pari al numero dei gradi di libertà) per ciascuno dei tre assi cartesiani della macchina.

<sup>38</sup> Sartori 1995.

il presidente dell'Associazione (Alessandro Balsamo) per una presentazione sul tema e, subito dopo, inizia a studiare la fattibilità di un'iniziativa analoga; dagli USA provengono richieste di collaborare; la Germania guarda con interesse (PTB e Università di Erlangen).

Dal 2002 al 2004 si svolge il primo confronto mondiale interaziendale su CMM, tramite un piatto opto-tattile, tale cioè da consentire misure di coordinate spaziali sia con sensori tattili sia con sensori ottici non a contatto. Lo organizza il CIRP (The International Academy for Production Engineering) e lo coordina il Centro di Metrologia Geometrica dell'Università Tecnica Danese, membro dell'Associazione CMM Club Italia (l'Associazione è ormai internazionale).

In Europa viene lanciato nel 2005 il progetto *Traces* (TRANSnational Calibration Export Service) per l'utilizzazione di un artefatto tetraedico per la verifica a distanza delle CMM aziendali. Nel 2006 l'Associazione promuove il progetto VIDEO AUDIT, affidando l'organizzazione al Laboratorio di Metrologia Geometrica dell'Università di Padova. Trattasi del primo confronto interaziendale riservato a CMM con sensori ottici. Le nuove tecnologie vengono sottoposte al vaglio degli *audits*.

Sono trascorsi più di venticinque anni da quando per la prima volta ricercatori e costruttori avviarono un lavoro congiunto, su un obiettivo concreto, legato allo sviluppo delle CMM. Il gruppo di lavoro prima e il Club poi proposero un nuovo metodo di trasferimento delle conoscenze dalla ricerca alle aziende. E il risultato è stato certamente lusinghiero. Ma l'aspetto più innovativo dell'iniziativa, che ha portato alla vitalità di oggi dell'associazione CMM Club Italia, consiste nell'aver riconosciuto l'essenzialità, per lo sviluppo di un prodotto sofisticato, di un'intensa attività formativa rivolta ai potenziali utilizzatori del prodotto. L'innovazione ha marciato di pari passo con la formazione, che l'ha sostenuta e promossa. A sua volta la formazione ha consentito di esplicitare meglio le esigenze dei clienti, perché produttori e clienti hanno imparato a usare un linguaggio comune, trasparente, tecnicamente non ambiguo: dalla formazione è nata, in modo naturale, altra innovazione. Su questo circuito si è innestato il metodo di verifica sperimentale, metodo scientifico per eccellenza. Portato nelle aziende dagli *audits*, esso ha creato un nuovo modo di affrontare i problemi, affidandosi al riscontro delle verifiche sperimentali, ricorrendo a procedure condivise, con il supporto di esperti indipendenti, provenienti dai laboratori e dalle università.

Questa è la storia del CMM Club Italia. Una storia di successi e di progressi che ha un solo difetto: poco più di un centinaio di soci. Troppo pochi utilizzano i grandi benefici culturali e pratici messi a disposizione da questa realtà, inventata e cresciuta in Italia e esportata in tutto il mondo.

## **L'integrazione tra macchine utensili e macchine di misura nei sistemi flessibili di produzione**

I cruciali anni '70 del XX secolo vedono, come catalizzatori dell'economia mondiale, le due crisi petrolifere e la liberazione dei mercati finanziari. Cambia drasticamente la prospettiva della produzione che tende sempre più a essere automatica. Simboli dell'automazione della produzione sono i *Flexible Manufacturing Systems* (FMS), capaci di realizzare in modo automatico prodotti differenti.

Il primo esperimento di installazione di FMS e di stretta integrazione con macchine di misura a coordinate (CMM), fu in Italia effettuato presso la Ferrari S.p.A. di Maranello. Questa integrazione portava il controllo di qualità sulla linea di produzione e consentiva di intervenire in tempo reale sulle macchine utensili per correggere i parametri degli FMS in base alle misure, essenzialmente dimensionali, prodotte dalle CMM. Siamo all'inizio degli anni '80; il problema è complesso per molte ragioni. Anzitutto l'ambiente di produzione, polveroso, con forti vibrazioni e intense sorgenti di calore, non è l'ideale per le delicate CMM; i problemi sono risolti da Prima Industrie con CMM speciali, chiuse in un box termicamente isolato e controllato, appoggiate su adeguate piattaforme antivibranti. In secondo luogo le CMM producevano allora le informazioni mediante stampati analitici; in una giornata di lavoro si accumulavano pacchi di carta alti quasi due metri, dai quali era pressoché impossibile estrarre le informazioni utili. Infatti toccava all'operatore umano decidere se la CMM segnalava significativi errori di lavorazione e decidere se arrestare il processo per correggerlo o scartare, ed eventualmente rilavorare, il pezzo difettoso. Questo problema fu affrontato selezionando le informazioni e fornendole in forma sintetica per l'analisi umana. Fu anche tentato, negli anni seguenti, il *feedback* tra CMM e FMS, ma con scarsi risultati.

Ancora oggi il problema del *feedback* tra CMM, o più in generale tra strumenti di misura nel controllo di qualità, e macchine operatrici non si può dire soddisfacentemente risolto. Non è disponibile un'intelligenza artificiale così sofisticata da poter decidere, sulla base delle misure disponibili, quanto degli errori riscontrati sia da attribuire agli strumenti di misura e quanto alle macchine operatrici. Deve poi decidere se gli errori sono rilevanti al fine della funzionalità e della sicurezza del prodotto, due soglie tecnicamente e concettualmente molto diverse. Deve decidere, ancora, su quali parametri delle operatrici intervenire per migliorare la situazione. E infine deve decidere se il pezzo non in tolleranza deve essere scartato definitivamente o inviato a una linea per operazioni correttive.

## La precisione degli accoppiamenti e le raffinate misure di caratteristiche delle superficie

I processi produttivi sono profondamente influenzati dalle proprietà geometriche, fisiche e chimiche delle superfici dei pezzi in lavorazione. Dal punto di vista delle proprietà geometriche bisogna distinguere tra proprietà di carattere macroscopico (planarità, rettilineità, sfericità, cilindricità, parallelismo, e altre) e quelle di carattere microscopico, tipicamente la rugosità superficiale. Tra le altre caratteristiche fisiche ricordiamo la durezza, gli stress superficiali residui, le microfratture. La caratterizzazione delle superficie, per quanto riguarda queste caratteristiche e proprietà nonché la ricerca di correlazioni tra le caratteristiche riscontrate e il processo produttivo usato per produrre i pezzi, ha imposto sia un sistematico studio dei mezzi di misura delle caratteristiche stesse sia lo sviluppo di una normativa specifica di settore.

Di questi problemi si occupa da molti anni il CIRP (*International Academy for Production Engineering*<sup>39</sup>), mediante i suoi Comitati Scientifici e Tecnici (STC) *Surface* (STC S) e *Precision Engineering and Metrology* (STC P). Lo studio delle superficie è complesso, con risvolti spesso intriganti perché non è semplice ottenere, su questi elementi di frontiera, condizioni di ripetibilità del loro comportamento macroscopico. Inoltre tecniche di misura diverse per lo stesso parametro possono fornire risultati sostanzialmente dissimili, come ad esempio accade nelle misure di rugosità con mezzi meccanici e con mezzi ottici. Anche lo sviluppo dei campioni di misura risulta delicato e richiede la definizione di molte modalità al contorno. Si pensi ad esempio alle misure di durezza per le quali deve essere definita la forma del penetratore e il materiale del quale è costituito, la velocità e la forza d'impatto del penetratore sulla superficie, la modalità per la misura di una caratteristica dimensionale dell'impronta lasciata<sup>40</sup>.

La corretta realizzazione e misura delle proprietà superficiali ha effetti non soltanto durante la lavorazione del pezzo (lubrificazione, durata dell'utensile, geometria del pezzo, eccetera) ma anche durante la vita del prodotto: usura, resistenza alla fatica e agli urti, sicurezza d'impiego per l'utilizzatore, affidabilità. Il campo delle misure delle proprietà delle superficie è però oggi assai più vasto: ad esempio, si cerca di individuare la qualità della sensazione tattile delle superficie dei capelli, in funzione delle creme usate durante e dopo il lavaggio; si indaga sulla piacevolezza degli effetti ottici ottenibili mediante diversi trattamenti delle superficie metalliche di oggetti di grande diffusione (carrozzerie d'auto, strutture

---

<sup>39</sup> Lo scrivente Sergio Sartori è membro del CIRP ed è stato *chairman* del STC P.

<sup>40</sup> Calcatelli 2002.

metalliche di mobili componibili). Lo studio della radiazione superficiale di corpi celesti fornisce informazioni sulla natura del corpo analizzato.

A volte le superfici giocano brutti scherzi. Si ipotizza, ad esempio, che i fenomeni scambiati per manifestazioni di fusione nucleare fredda siano stati in realtà fenomeni di superficie, erroneamente interpretati e non facilmente ripetibili. Scherzi ben più gravi, che attentano alla salute umana, possono essere generati dalle superfici di particolari materiali, le cui polveri se inalate sono particolarmente cancerogene: l'asbesto, certe polveri superficiali delle lave vulcaniche, altre polveri delle quali è ricca l'atmosfera delle nostre inquinatissime città.

In conclusione, la ricerca multidisciplinare sulle caratteristiche delle superfici è un settore aperto in piena evoluzione con tecniche e strumenti di misure innovativi e importanti esigenze di normazione<sup>41</sup>.

## Il futuro è già cominciato

### *L'ottica al servizio delle misure*

La conduzione di misurazioni ha sempre utilizzato la visione, e quindi l'ottica, per ottenere i risultati; si pensi a Galileo Galilei che osservando Giove, con il telescopio di sua costruzione, ne scoprì i satelliti e ne misurò il periodo di rivoluzione. La possibilità di utilizzare la vista per approfondire la conoscenza del mondo fisico portò, come ben descritto in altre parti di questo volume (Selvini, *Strumenti topografici*), a uno sviluppo di tecniche costruttive e di strumenti matematici di elaborazione estremamente raffinati con risultati eclatanti. Ad esempio, alla fine del XVIII secolo l'abate don Barnaba Oriani, astronomo del Reale Osservatorio di Brera in Milano, riuscì a misurare, da Milano, l'altezza della punta Gnifetti del Monte Rosa con un errore di circa l'un per mille; e ancora Jean-Baptiste Joseph Delambre, Pierre-François-André Méchain misurarono l'arco di meridiano terrestre, passante per Parigi, da Barcellona sino a Dunquerque, al fine di definire il metro come 1/10 000 000 della distanza dal Polo Nord all'Equatore. La spedizione dei due astronomi francesi, iniziata nel 1792, si concluse nel 1798 e i risultati furono presentati a una conferenza internazionale a Parigi nel 1799: Come è già stato ricordato, il metro fu stabilito uguale a circa 3 piedi e 11,44 linee della tesa del Perù, con incertezza di 0,000 01 m (uno su centomila)<sup>42</sup>.

---

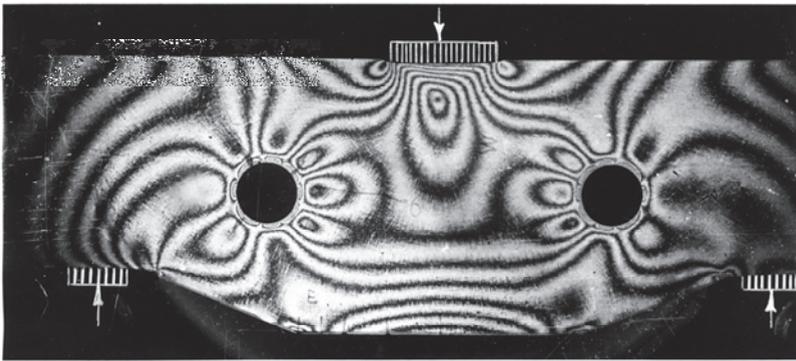
<sup>41</sup> Al riferimento <[http://www.funsci.com/fun3\\_it/esper2/esper2.htm](http://www.funsci.com/fun3_it/esper2/esper2.htm)> sono illustrati una serie di interessanti e semplici esperimenti su alcuni tipi di superficie.

<sup>42</sup> Solo nel 1889, con la costruzione del nuovo prototipo in invar, si ottenne un'incertezza di 0,000 000 1 m (0,1 µm), la migliore possibile con campioni meccanici.

Solo a partire dal diciannovesimo secolo scoperte, a volte casuali, fecero ideare e realizzare misure nelle quali l'ottica non era più solo un mezzo ma diventava essa stessa strumento di misura.

*La fotoelasticità e la misura dello stato di tensione*

Nel 1816<sup>43</sup> David Brewster (1781-1868, fisico e inventore scozzese) scopriva, quasi accidentalmente, la fotoelasticità ovvero la proprietà che hanno alcuni materiali trasparenti, quali il vetro, la cellulose, le materie plastiche, di diventare birifrangenti se sollecitati, e che la birifrangenza aveva direzioni privilegiate coincidenti, in ogni punto, con le direzioni delle tensioni principali. L'osservazione, mediante opportuni analizzatori della luce polarizzata con la quale vengono illuminati questi materiali, evidenzia due tipologie di zone caratteristiche (denominate frange): una di annullamento completo della luce in tutti i punti nei quali coincidono gli assi delle tensioni principali con gli assi del polarizzatore e dell'analizzatore; l'altra di estinzione parziale (queste frange si vedono come zone di egual colore) che indicano il livello della differenza delle tensioni principali, quasi le progenitrici sperimentali delle moderne mappe a colori dei risultati del calcolo numerico.



**Figura 2.** Trave analizzata mediante il metodo fotoelastico.

Modello di trave, appoggiato agli estremi e caricato al centro, realizzato con materiale fotoelastico ed osservato mediante analizzatori di luce polarizzata.

Le curve fotografate sono le linee di interferenza e seguono esattamente le linee di massima sollecitazione tangenziale: la loro osservazione permette di individuare in maniera immediata lo stato di sforzo all'interno della trave; lo studio delle linee, in analogia con quelle di livello in una mappa altimetrica, consente di calcolare l'intensificazione dello stato di sollecitazione in corrispondenza dei punti di discontinuità e dei punti di applicazione del carico.

<sup>43</sup> Mondina 1958.

Questa scoperta, unita alla disponibilità, agli inizi del XX secolo, di un materiale, la xylonite<sup>44</sup>, ad alta capacità di birifrazione (cui seguirono materiali sempre più sensibili) consentì, e consente, di misurare con grande accuratezza e basso costo lo stato di sforzo nelle strutture, stato di sforzo sino allora solo ipotizzato per i casi più semplici e noto con grandissima incertezza in quelli più complessi, incertezza ridotta solo recentemente dagli strumenti di calcolo agli elementi finiti.

La potenza di questo strumento, applicato inizialmente da Augustin C.M. Mesnager (1862-1933) agli inizi del '900, era tale che in tutto il mondo numerosi gruppi di ricercatori si impegnarono al suo sviluppo. In Inghilterra E.G. Coker utilizzò per primo la xylonite; poi A.L. Kimball, P. Heymans e R.V. Baud svilupparono le prime applicazioni industriali negli USA presso i laboratori della General Electric e della Westinghouse. Dopo la seconda guerra mondiale, quando cessarono le esigenze militari di segretezza, la tecnica si diffuse, vennero creati laboratori di studio e di misura e la fotoelasticità divenne oggetto di corsi universitari nelle Facoltà di Ingegneria.

Nella Figura 2, eseguita nel laboratorio di fotoelasticità del Politecnico di Milano, si mostra ad esempio come si possano evidenziare le intensificazioni degli sforzi in una trave su due appoggi caricata al centro.

### *La visione e il riconoscimento di oggetti e persone*

Lo sviluppo della fotografia digitale e la disponibilità di potenze di calcolo inimmaginabili sino a dieci anni fa, hanno consentito la messa a punto di sistemi di misura anche molto sofisticati basati sulla visione. Le applicazioni, già realizzate o in corso di sviluppo e perfezionamento, sono estremamente varie: si va dal riconoscimento e quotatura di oggetti aventi geometrie note da parte di macchine automatiche di selezione, lavorazione, assemblaggio di particolari meccanici, al riconoscimento delle persone per fini sia ludici<sup>45</sup> sia giuridici. Allo stato attuale si hanno risultati molto affidabili di esclusione che la persona ritratta da una telecamera di sorveglianza sia quella fermata per quel reato, risultati che cominciano a essere accettati dai tribunali; vi è ancora largo margine di miglioramento invece relativamente alla certezza di riconoscimento.

---

<sup>44</sup> La xylonite (nome registrato nel 1869) appartiene al gruppo di materie plastiche noto con il nome commerciale, registrato nel 1870, di celluloidi, ottenute da nitrato di cellulosa plastificato con canfora.

<sup>45</sup> È disponibile una applicazione (<<http://www.facebook.com/group.php?gid=6311015699>>) di Facebook che consente di trovare il proprio sosia all'interno di una galleria di personaggi famosi, come esistono applicazioni che consentono di individuare se una persona ritratta è presente, o certamente non presente, in archivi quali, ad esempio, quelli contenenti le foto di persone condannate.

La ricerca<sup>46</sup> si sta impegnando nella scrittura di algoritmi che consentano di riconoscere con bassa incertezza il soggetto indipendentemente dalle condizioni di ripresa, illuminazione, angolo, distanza, qualità ottica della telecamera utilizzata, e anche se il soggetto abbia il volto camuffato o parzialmente coperto. Le metodologie utilizzate spaziano dalla misura e confronto con i dati archiviati della posizione di punti caratteristici del volto, ovvero di punti non normalmente modificati dalla mimica, al riconoscimento automatico di variabili fisiognomiche, alla loro elaborazione di normalizzazione, per arrivare alla indicazione della probabilità di coincidenza fra il soggetto considerato ed uno dei soggetti presenti nell'archivio.

*Le tecniche DIC e PIV per la misura del movimento*

Un'altra interessante applicazione della visione consente di misurare la deformazione di superfici (tecnica DIC, Digital Image Correlation) e il movimento di fluidi (tecnica PIV, Particle Image Vision).

La tecnica DIC individua la posizione di particolari in fotografie scattate in successione per misurare lo spostamento dei particolari stessi mediante tecniche di correlazione spaziale. La difficoltà del metodo consiste essenzialmente nell'individuare automaticamente in maniera univoca nei vari fotogrammi i punti sui quali effettuare le elaborazioni. Gli algoritmi sviluppati danno risultati affidabili qualora la struttura presenti discontinuità ottiche distribuite che possono essere naturali o create artificialmente spruzzando con opportune tecniche punti di vernice distribuiti in modo casuale. L'algoritmo divide l'immagine della prima fotografia in celle, tipicamente da 10x10 a 40x40 pixel, e, dopo aver individuato le singole celle nelle fotografie in sequenza, ne misura lo spostamento e la rotazione. Il risultato finale è che si misura contemporaneamente tutta la mappa delle deformazioni, punto per punto, dell'intero oggetto osservato. Questa tecnica, non invasiva, è estremamente versatile ed è stata applicata sia su grandi strutture, ad esempio per misurare deformazioni di ponti durante le prove di collaudo, sia su piccoli oggetti quali provini sollecitati costruiti con materiali non omogenei come i compositi, consentendo di misurare l'andamento delle deformazioni durante prove che possono anche arrivare alla rottura.

La tecnica PIV, concettualmente simile alla tecnica DIC, sfrutta la correlazione spaziale fra fotografie scattate in successione su una vena fluida opportunamente "inseminata" di particelle otticamente opache per determinare lo stato di moto lagrangiano del fluido e riesce a visualizzarne e misurarne, in maniera assolutamente non invasiva, anche eventuali moti turbolenti.

---

<sup>46</sup> Betta 2011.

*Il laser doppler e la misura del moto dei fluidi*

È noto che un'onda sinusoidale, sonora o elettromagnetica, riflessa da un bersaglio ha una frequenza variata, rispetto alla frequenza dell'onda incidente, di una quantità che dipende dalla velocità con la quale il bersaglio si muove rispetto alla direzione di incidenza dell'onda stessa. Questo fenomeno, noto come effetto doppler, viene sfruttato per misurare la velocità di bersagli ben individuati e individuabili, si pensi agli autovelox e alle autovetture, ma anche, con opportuni accorgimenti, per misurare la velocità di vene fluide (stato di moto euleriano). Come nella tecnica PIV il fluido, qualora non già parzialmente riflettente, viene inseminato di particelle che riflettano l'onda incidente. Illuminando il fluido e rilevando il riflesso, osserviamo che tutte le particelle riflettono e che quindi il rilevatore riceve una miriade di segnali riflessi da particelle variamente distribuite nella vena fluida col risultato che si otterrebbero indicazioni utilizzabili solo qualora il fluido si muovesse con un moto uniforme nello spazio. La soluzione è stata trovata con il laser doppler differenziale: un raggio laser viene scomposto in due raggi coerenti che vengono indirizzati, mediante un opportuno sistema ottico, a intersecarsi in un punto ben individuato della vena fluida. Un sensore ottico che rilevi i segnali riflessi relativi ai due raggi e ne faccia la differenza, con opportune elaborazioni consente di ricavare la componente della velocità delle particelle colpite, sul piano dei due fasci luminosi, nella direzione normale al fascio<sup>47</sup>.

Questa tecnica, anche eventualmente implementata utilizzando fibre ottiche per convogliare i raggi laser, consente, in modo assolutamente non intrusivo, di misurare le velocità dei fluidi anche in ambienti che, per la loro natura chimica o per la loro temperatura, non consentirebbero l'inserimento di alcun sensore.

*I sistemi di misura senza contatto in generale*

La famiglia delle tecniche di misura senza contatto è costituita da numerose diverse soluzioni, accomunate dal fatto di non prevedere alcun contatto fra il misurando e il sistema di misura e di essere basate sulla acquisizione e analisi di immagini.

I diversi approcci si diversificano invece fra loro per numerose caratteristiche, fra cui la possibilità di ottenere misure bidimensionali o tridimensionali, il fatto di richiedere uno o più strumenti per l'acquisizione delle immagini, l'eventuale presenza di sistemi di proiezione di pattern luminosi per l'ausilio alla misura, il tipo di strumento utilizzato per acquisire le immagini (telecamera, macchina fotografica,

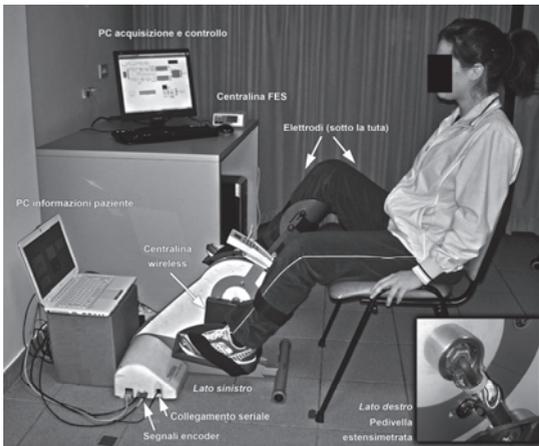
---

<sup>47</sup> Charret 2012.

scanner per documenti, sistemi di visione sensibili alle radiazioni infrarosse, sistemi a raggi X, ecc.).

Una elaborazione dell'immagine, o delle immagini, acquisite permette poi di ottenere le informazioni di misura richieste. Gli algoritmi di elaborazione, pur affondando le radici teoriche nelle scienze matematiche e numeriche, vengono spesso sviluppati appositamente per le applicazioni di visione.

I dati prodotti dagli algoritmi di analisi sono spesso costituiti dalle coordinate spaziali di punti caratteristici del misurando; a seconda delle necessità e delle tecniche impiegate è possibile ottenere un numero di punti di misura che va da poche unità (misure di distanza fra punti, misure angolari, ecc.) a centinaia di migliaia di punti per ciascuna immagine elaborata. L'elevato numero di punti misurabili permette di utilizzare le tecniche di visione anche nelle misure di intere superfici 3D<sup>48</sup>, mantenendo comunque molto basso il tempo di acquisizione: pari al tempo di scattare una fotografia nel caso di sistemi stereoscopici o comunque nell'ordine dei secondi nella maggior parte dei sistemi di scansione a luce strutturata.



**Figura 3.** Cicloergometro, apparecchiatura utilizzata per la riabilitazione motoria di pazienti che abbiano perso il controllo del movimento.

### *La bioingegneria e le misure*

In numerosi campi della medicina sono richieste misure in ausilio alla valutazione della salute dei pazienti o dell'efficacia delle cure. Gli esempi possibili sono molteplici; qui si è scelto un cicloergometro, una delle apparecchiature utilizzate per la riabilitazione motoria di pazienti che in seguito a malattie o traumi

<sup>48</sup> Zappa 2008.

abbiano perso il controllo del movimento o nei quali esso risulti di efficacia limitata. Il cicloergometro, simulando il movimento dei pedali di una bicicletta, viene utilizzato sia su pazienti passivi, inducendoli a effettuare i movimenti impressi, sia su pazienti parzialmente attivi, misurando le azioni esercitate. Per consentire una cura efficace, e per impedire eventuali danni collaterali, i parametri di forza, velocità, potenza fornita dal paziente, separatamente per ciascun arto, devono essere costantemente misurati e controllati anche per rilevare improvvise e momentanee mancanze del controllo del paziente sul movimento. Nella applicazione in figura viene mostrato un sistema, recentemente sviluppato in collaborazione fra il Politecnico di Milano ed il Centro di riabilitazione Villa Beretta dell'ospedale Valduce di Bosisio Parini (LC)<sup>49</sup>, che misurando i parametri sopra elencati, in questo caso su un paziente elettrostimolato, consente la effettuazione di terapie riabilitative personalizzate. Un cicloergometro commerciale è stato modificato con estensimetri elettrici applicati alle pedivelle al fine di misurare la coppia motrice di ciascuna gamba, in maniera indipendente. I segnali vengono trasmessi in tempo reale tramite un sistema wireless. Le misure sono poi state impiegate da un apparato di stimolazione elettrica funzionale (FES). I risultati hanno mostrato che i sensori sviluppati possono essere usati con successo nelle sessioni di pedalata assistita da FES al fine di mantenere una adeguata simmetria man mano che il paziente migliora le proprie capacità motorie.

## Le misure per lo spazio

### *Misure su Marte*

Lo strumento (di realizzazione Italiana per la parte interferometro) è parte della sonda MarsExpress dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) che è dal 2003 in orbita attorno a Marte. Ha consentito di effettuare misurazioni senza precedenti della atmosfera del pianeta rosso che hanno ad esempio permesso di evidenziare la presenza di tracce di metano e poi mapparne la distribuzione geografica e l'evoluzione temporale<sup>50</sup>. Si tratta di uno strumento di misura complesso che per il suo funzionamento richiede un elevato numero di misure a elevata accuratezza. Per citarne alcune:

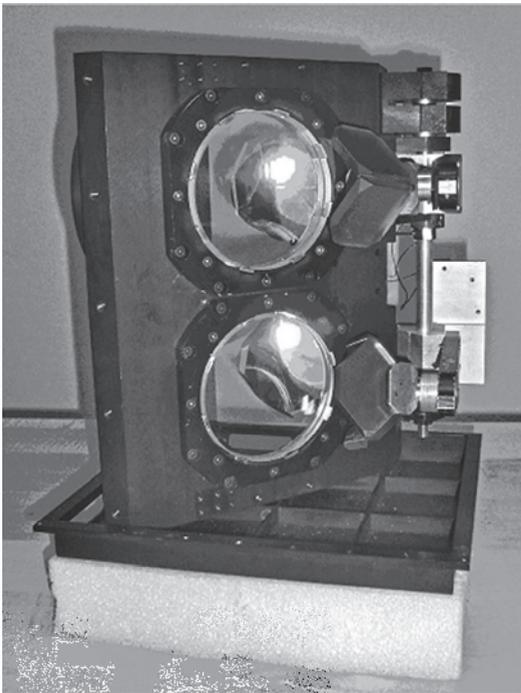
- il campionamento sfrutta il segnale di un trasduttore di spostamento differenziale dell'equipaggiamento mobile dell'interferometro cui è richiesta un'incertezza strumentale inferiore alla decina di nanometri;

---

<sup>49</sup> Comolli 2010.

<sup>50</sup> Formisano 2004.

- il sensore di radiazione infrarossa di tipo termico e gli emettitori laser richiedono una stabilizzazione di temperatura (e dunque la misura) entro il centesimo di Kelvin per la durata di una sessione, ovvero circa un'ora;
- la temperatura del banco ottico viene monitorata da una rete di otto termometri;
- un trasduttore di posizione identifica il passaggio per il punto di simmetria dell'interferometro con una incertezza inferiore al decimo di millimetro anche dopo le sollecitazioni derivanti dalle vibrazioni al lancio (370 m/s di progetto), dopo i cicli termici (di durata di circa 12 ore passando da - 40 a + 60 °C all'esterno del satellite,  $\pm 5$  °C grazie alla accurata progettazione dello strumento), dopo quasi dieci anni di vita.



**Figura 4.** Interferometro del Planetary Fourier Spectrometer.

Lo strumento, di realizzazione italiana, è parte della sonda MarsExpress dell'Agencia Spaziale Europea (ESA), dal 2003 in orbita attorno a Marte. Ha consentito di effettuare misurazioni di composizione e pressione e temperatura dell'atmosfera del pianeta rosso che hanno permesso tra l'altro di evidenziare la presenza di tracce di metano, e di mapparne per la prima volta la distribuzione nelle diverse regioni del pianeta e l'evoluzione nel tempo.

Le misure hanno svolto un ruolo ancor più fondamentale nella fase di sviluppo quando si dovevano realizzare posizionamenti di elementi ottici entro errori inferiori tipicamente al micrometro o verificarne la stabilità nel tempo e nelle diverse condizioni ambientali. Come per ogni componente destinato all'impiego nello spazio, la funzionalità in condizioni operative è stata garantita dalle estese campagne di prova durante le quali i più svariati parametri (temperature, pressioni,

deformazioni, tensioni e correnti elettriche, forze, spostamenti, velocità, accelerazioni) sono stati misurati al variare delle condizioni ambientali per verificare che il comportamento reale fosse in accordo a quanto previsto dalle analisi svolte in fase di progetto<sup>51</sup>.

### *Le misure della Terra con GOCE*

Un altro importante contributo italiano alle misure compiute dallo spazio riguarda il settore delle misure di accelerazione di gravità. In Italia, presso l'Istituto di Metrologia "G. Colonnetti" del CNR (IMGC), fu costruito il primo gravimetro assoluto trasportabile, capace di prestazioni paragonabili a quelle proposte dalle installazioni fisse<sup>52</sup>. Grazie alla sua trasportabilità il gravimetro dell'IMGC fu utilizzato, già nella prima versione costruita nel 1974, per determinare la rete gravimetrica di molte regioni dell'Europa, dell'Asia e delle Americhe, fino all'Antartide e a Capo Nord, moltiplicando così il numero di capisaldi disponibili per ulteriori misure con gravimetri relativi.

Questi capisaldi servono oggi come punti di riferimento per le misure eseguite dallo spazio dal satellite GOCE (Gravity field and steady Ocean Circulation Explorer), lanciato dall'ESA (European Space Agency) nel marzo del 2009<sup>53</sup>. Gli obiettivi della missione sono in sintesi i seguenti:

- determinare le anomalie del campo gravitazionale terrestre con un'accuratezza assoluta di  $1 \cdot 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ;
- determinare il geoide terrestre con un'accuratezza di (1-2) cm;
- ottenere i precedenti risultati con una risoluzione spaziale migliore di 100 km, facilitando così la ricerca di giacimenti di materie prime.

GOCE contribuirà anche, in modo significativo, allo studio del cambiamento climatico globale. Questo aspetto è richiamato dalle lettere "OC" del nome, che stanno per *Ocean Circulation*, circolazione oceanica<sup>54</sup>. Per lo studio del clima i risultati ottenuti con GOCE saranno importanti quanto per le misurazioni lo furono l'introduzione dell'unità di misura della distanza, il metro, o dell'unità di misura del tempo, il secondo, con la definizione del Tempo Coordinato Universale (UTC) e del suo predecessore, il Tempo Medio di Greenwich (GMT).

---

<sup>51</sup> Saggin 2007.

<sup>52</sup> D'Agostino 2008.

<sup>53</sup> D'Emilio e atri 2009.

<sup>54</sup> URL: <[http://www.nasa.gov/multimedia/videogallery/index.html?media\\_id=139712321](http://www.nasa.gov/multimedia/videogallery/index.html?media_id=139712321)>.

*Il progetto Galileo: l'Europa si integra con USA e Russia nelle misure di posizione dallo spazio*<sup>55</sup>

Un contributo importante alla risoluzione dei problemi di localizzazione e di guida automatica degli aeromobili in fase di decollo e atterraggio sarà data dalla costellazione di satelliti denominata Galileo. È il sistema di navigazione satellitare europeo, a gestione civile contrariamente ai sistemi militari GPS (USA) e GLONASS (Russia) con i quali si integrerà; sarà operativo a partire dal 2014. A regime la costellazione comprenderà 30 satelliti (tre dei quali di scorta), ciascuno con a bordo quattro campioni di frequenza: due campioni atomici al rubidio e, per la prima volta nello spazio, due maser all'idrogeno scelti come riferimento per le misure di tempo e frequenza. I maser all'idrogeno sono stati costruiti all'Observatoire di Neuchatel (Francia) in cooperazione con le Officine Galileo in Italia. Il primo satellite fu posto in orbita nel 2005<sup>56</sup>, il secondo, con a bordo i maser all'idrogeno, nel 2008. Da qualunque punto della Terra saranno visibili da sei a otto satelliti della costellazione: ciò permetterà una precisione della localizzazione inferiore al metro. La precisione di localizzazione della distanza in verticale dalla pista di atterraggio di un aereo sarà inferiore alla corsa degli ammortizzatori del più grande aereo di trasporto in uso. Coopereranno con la costellazione di satelliti una serie di stazioni a terra. L'INRiM a Torino si sta occupando in particolare dell'analisi dei segnali di frequenza e degli studi sulla loro stabilità<sup>57</sup>.

Galileo avrà anche il compito di offrire un sistema di altissima precisione per la sincronizzazione dei segnali di tempo, contribuendo così, a livello globale, ai progressi nelle telecomunicazioni e nella sincronizzazione delle linee di trasporto dell'energia elettrica.

Vogliamo ricordare infine uno scienziato e amico italiano che tanto si è speso perché l'Europa si dotasse di un proprio sistema di navigazione satellitare: Sigfrido Leschiutta<sup>58</sup> (1933-2011), docente di misure elettriche ed elettroniche, presidente dell'INRiM, membro dell'Accademia delle Scienze di Torino, appassionato musicologo e direttore del corso di alta formazione "Metrologia e Costanti fondamentali" per la Scuola Internazionale di Fisica "Enrico Fermi" della Società Italiana di Fisica (SIF) nel 1976, 2000 e 2006.

---

<sup>55</sup> Molto estesa è la bibliografia su Galileo. Si suggerisce, per iniziare: <[http://it.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_di\\_posizionamento\\_Galileo](http://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_di_posizionamento_Galileo)>, sito curato da esperti, e il sito ufficiale dell'ESA <<http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>>

<sup>56</sup> NRiM 2008.

<sup>57</sup> Sesia 2011.

<sup>58</sup> URL: <<http://www.inrim.it/hof/SLeschiutta/25may2012/>>.

## Misurare l'impossibile

Le misure sono ormai diventate essenziali in moltissimi settori della ricerca e della produzione: fisici, chimici, ingegneri, sociologi, economisti, fisiologi, archeologi, e molti altri specialisti, non possono più svolgere correttamente il loro lavoro senza compiere misure.

Sta però emergendo un nuovo settore che richiede stranissime misure: quelle di impressioni e giudizi su prodotti di grande uso in forte competizione tra loro. Citiamo, a puro titolo d'esempio, il grado di sicurezza di fronte a un nuovo tipo di cruscotto d'automobile, l'appetibilità di un prodotto alimentare in base al suo colore, la produttività scientifica dei ricercatori, il confort di marcia per i passeggeri di un mezzo di trasporto pubblico. La Commissione Europea, nell'ambito del VI Programma Quadro, ha avviato studi per "anticipare" i nuovi aspetti della scienza e della tecnologia che stanno emergendo in Europa. In particolare esiste un programma chiamato NEST – *New and Emerging Science and Technology* – entro il quale sono state individuate iniziative di esplorazione, chiamate PATHFINDER. Una di queste iniziative è stata chiamata appunto "Measuring the impossible"<sup>59</sup>. Molte di queste misure hanno a che fare con prodotti generati dalla ricerca, in particolare quella meccanica; ne consegue che chi studia lo sviluppo di un dispositivo che dovrà poi essere utilizzato da un numero elevato di persone, come ad esempio un ausilio sanitario o protesi sofisticate o nuovi mezzi di trasporto individuali a basso impatto ambientale, non può ignorare che la loro accettazione e diffusione dipende molto dall'impressione positiva espressa dal potenziale utilizzatore, dal suo giudizio riguardo al confort, alla sicurezza, alla affidabilità, non misurati ma percepiti<sup>60</sup>.

Oggi dunque a chi progetta un nuovo prodotto si chiede di compiere su esso anche misure che ancora devono essere ben definite in termini di metodi, sistemi e apparati da utilizzare. Si tratta di un'affascinante sfida che può essere vinta, come tante sfide proposte dalla complessa modernità, solo attraverso un consapevole approccio multidisciplinare e la collaborazione fra culture molto diverse tra loro.

## Le misure e le sfide dell'alta velocità ferroviaria

Lo sviluppo delle ferrovie dai primi dell'Ottocento fino a metà del secolo scorso fu quasi esclusivamente legato ad una incessante ricerca e sviluppo riguardanti la trazione e le costruzioni.

---

<sup>59</sup> Leschiutta 2005.

<sup>60</sup> Berglund 2012.

Per quanto riguarda le motrici, tutto iniziò con George Stephenson (1781-1848) e con la sua locomotiva a vapore, la Rocket realizzata nel 1829, che aveva una velocità di punta di 48 km/h; con successivi continui miglioramenti si è arrivati negli anni '40 dello scorso secolo a motrici, sempre a vapore, in grado di raggiungere i 200 km/h. L'esigenza di alleggerire le motrici portò allo studio e alla realizzazione di motrici diesel, e poi diesel-elettriche ancora oggi in uso nelle linee non elettrificate. Il progresso decisivo fu però legato allo sviluppo dei motori elettrici e alla elettrificazione delle tratte ferroviarie. I miglioramenti delle motrici elettriche, pur con la disputa fra corrente continua e alternata, tra monofase e trifase, tra la tensione di 3.000 e quella di 3.600 volt, hanno consentito agli ETR 500 italiani di superare i 350 km/h, ai TGV francesi di arrivare al record di 574,8 km/h. Il dibattito e la ricerca sono ora legati alle problematiche della standardizzazione della alimentazione elettrica che consenta di mantenere in funzione le attuali motrici mono standard che circolano in Europa ma anche la trasmissione delle elevate potenze elettriche necessarie all'alta velocità.

Il progressivo aumento della velocità, ottenuto grazie al progresso della trazione e delle costruzioni, ha però posto numerosi nuovi problemi ai costruttori e ai gestori delle linee ferroviarie. La potenza elettrica necessaria, in attesa dell'introduzione delle ancora sperimentali ferrovie a levitazione magnetica, deve essere fornita attraverso il contatto pantografo-linea elettrica, provocando gli archi elettrici e le spettacolari luminarie osservabili di notte al passaggio dei treni delle linee ad alta velocità. Le configurazioni ruota-rotaia sono ancora, con poche modifiche, quelle normalizzate nell'Ottocento in Inghilterra, e richiedono quindi controlli periodici molto accurati per evitare il rischio di svii. I passeggeri dei convogli pagano la riduzione dei tempi di percorrenza con un notevole peggioramento del confort di marcia. Gli abitanti delle case prossime alle linee debbono sopportare vibrazioni e rumori sempre maggiori. Ecco quindi che diventa indispensabile l'intervento delle misure: negli ultimi venti anni sono stati sviluppati nel mondo, e l'Italia non è seconda a nessuno, nuovi sistemi di misura e controllo adatti alle difficili condizioni di lavoro caratteristiche, le alte tensioni solo per citarne una, dell'ambiente ferroviario.

La ricerca ha sviluppato sensori in fibra ottica in grado di misurare le forze di contatto pantografo linea aerea, sensori e trasmettitori in grado di misurare le forze che si scambiano ruote e rotaie, dato indispensabile per diagnosticare per tempo eventuali problemi di instabilità in grande. Sono stati misurate in galleria del vento le forze che l'aria esercita sui convogli, al fine di ridurre la resistenza all'avanzamento ma anche per valutare la stabilità di marcia sotto le spinte dei venti laterali<sup>61</sup>. Sono state condotte impegnative campagne di prova per verificare come

---

<sup>61</sup> Boccione 2008.

si deformano le rotaie, elasticamente o permanentemente, al passaggio dei convogli onde individuare i margini di sicurezza della marcia. Sono infine condotte campagne di misura riguardanti il comfort dei passeggeri sollecitati dal rumore, dalle vibrazioni a media-alta frequenza, dalle instabilità in piccolo del contatto ruota-rotaia<sup>62</sup>.

Oggi la Rete Ferroviaria Italiana (RFI) ha attuato una svolta tecnologica epocale. Ricordate quando nelle stazioni, in attesa della partenza del treno, un personaggio in tuta da lavoro, con in mano una mazzetta dal lungo manico, percorreva il marciapiede accanto al treno, assestando colpetti calibrati sulle ruote? Compiva misure. Controllava, dal suono con il quale la ruota rispondeva al colpo, l'eventuale presenza di cricche sugli assili o altre anomalie presenti sulle sospensioni. Al capotreno e ai tanti controllori era affidato il compito di verificare che, prima della partenza del treno, tutte le porte fossero ben chiuse. Ai semafori sparsi lungo la linea e ai due conduttori, che avevano la responsabilità della "guida" del treno, era affidata la segnalazione di guasti o di occupazioni lungo la linea che il treno doveva percorrere e l'attuazione delle operazioni previste in risposta ai segnali (riduzione della velocità del treno, arresto del treno, frenata rapida).

Tutto questo funzionava adeguatamente finché le velocità erano contenute e i treni si susseguivano, sullo stesso binario, intervallati l'uno dall'altro decine di minuti. Oggi si tratta di alta velocità (AV), con velocità del treno ben superiori a 250 km/h; e alta capacità (AC), con treni di natura diversa (anche treni merci ad alto peso) sulla stessa linea e con cadenza dei treni di pochi minuti. Impensabile affidare all'osservazione umana, anche se gestita da esperti, la misura di tutti i parametri del treno essenziali per garantire, in condizioni estreme di velocità e capacità, la sicurezza dell'importantissimo mezzo di trasporto collettivo. La criticità e indispensabilità delle misure aumentano quando il treno si appresta a entrare, ad alta velocità e con un treno altrettanto veloce che lo segue dopo pochi minuti, in una lunga galleria. Per evitare incidenti dalle conseguenze drammatiche si deve controllare non solo che non vi siano porte accidentalmente aperte o altri ostacoli che fuoriescono dalla regolare sagoma del treno, ma anche che non si stiano verificando surriscaldamenti che potrebbero causare incendi, vibrazioni che potrebbero segnalare situazioni di stress di qualche struttura meccanica, non rispetto della distanza di sicurezza tra treni. Tutto questo deve avvenire mentre il treno si muove addirittura a 300 km/h!

È indispensabile predisporre sistemi di segnalazione a bordo treno di ogni eventuale anomalia riscontrata, con controllo attivo di avvenuta attivazione delle operazioni di messa in sicurezza del treno stesso e di quelli che lo seguono.

---

<sup>62</sup> Boccione 2007.

Tutto questo, misure, controlli, segnalazioni, interventi automatici, deve essere attuato da dispositivi ad alta tecnologia, appositamente progettati e realizzati per essere affidabili, adeguati agli obiettivi di sicurezza, integrati con i sistemi esistenti, capaci di nuove funzionalità, dotati di possibilità di manutenzione semplice anche a distanza.

Questa è la rivoluzione tecnologica che rende possibile la realizzazione e la gestione dei sistemi di trasporto AV/AC. Sistemi che sono già ora competitivi con il trasporto aereo sulle medie distanze, in quanto meno inquinanti e più sicuri, che trasporteranno sempre più persone, e soprattutto merci, in condizioni ottimali e a costi certamente inferiori rispetto al trasporto aereo e a quello su strada.

Che cosa ci aspetta in futuro? È prevedibile che le misure rimarranno centrali: ad esempio quando entreranno in funzione le cosiddette linee ferroviarie ad alta capacità, sulle quali saranno cioè fatti transitare i treni merci con conseguenti elevati carichi sull'armamento, diventerà indispensabile verificare quali siano i livelli massimi ammissibili di usura dell'armamento che consentano la marcia, in sicurezza, ad alta velocità.

## Nanotecnologie e misure

Lentamente, senza che la maggioranza della popolazione mondiale se ne accorga, le nanotecnologie stanno affermandosi nella vita quotidiana, con i vantaggi e i rischi da loro portati. Nuove vernici, nuovi sistemi di identificazione, nuovi sistemi di visione per esplorare l'interno delle arterie<sup>63</sup>, nuovi motori ma soprattutto nuovi materiali con caratteristiche profondamente diverse da quelle dei materiali di simile composizione ma macroscopici. Lo studio, la progettazione e la caratterizzazione di questi nuovi dispositivi e materiali ha richiesto lo sviluppo di una nanometrologia, un complesso di strumenti in grado di compiere misure a livello nanometrico mantenendo la riferibilità delle stesse ai campioni materiali macroscopici.

Nel 1981 fu inventato all'IBM di Zurigo da Gerd Binnig e Heinrich Rohrer (per tale invenzione conseguirono il premio Nobel nel 1986) il microscopio a scansione a effetto tunnel (STM, *Scanning Tunneling Microscope*<sup>64</sup>), con una risoluzione compresa tra 0,1 e 0,01 nm. Lo strumento, oggi perfezionato e facilmente trasportabile, consente di vedere e manipolare i singoli atomi.

---

<sup>63</sup> URL: <[ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nano\\_brochure\\_it.pdf](ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nano_brochure_it.pdf)>.

<sup>64</sup> URL: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning\\_tunneling\\_microscope](http://en.wikipedia.org/wiki/Scanning_tunneling_microscope)>.

Nel 1986, ancora presso la IBM, fu messo a punto l'Atomic Force Microscope<sup>65</sup>, potente strumento in grado di fornire immagini e misure e di manipolare la materia a scala nanometrica.

Subito si pose il problema della riferibilità delle misure prodotte con questi strumenti: esso fu risolto in molti modi, con collaborazioni internazionali e significativi contributi italiani. In Italia, presso l'INRiM, fu realizzato e ampiamente utilizzato un interferometro a raggi X<sup>66</sup>, spettacolare strumento che integra fra loro un interferometro a laser e uno a raggi X che agisce da nonio sul precedente. Sistemati progressi furono compiuti, sempre presso l'INRiM, nella realizzazione di STM ad alta qualità metrologica e facilità d'uso e trasporto.

Il coordinamento della ricerca sulle nanotecnologie in Europa è assolto da euspen (*European Society for Precision Engineering and Nanotechnology*<sup>67</sup>), associazione a carattere prettamente culturale che con il compito di facilitare gli incontri fra i ricercatori operanti in questo settore emergente.

## Le nuove divinità delle misure: le costanti fondamentali

Il 21 ottobre 2011 la XXIV CGPM ha assunto la risoluzione 1: essa rivoluziona il Sistema Internazionale di unità di misura. L'organismo intergovernativo di governo della metrologia globale ha deciso di esporre in essa quali contenuti avrà il nuovo sistema, rimandando al 2015 la sua entrata in vigore per dar tempo ad alcuni laboratori di portare a termine misure in corso. È la risoluzione<sup>68</sup> più lunga, articolata e complessa della storia della metrologia.

È stato deciso di mantenere le sette grandezze di base della tradizione e le loro unità di misura: **lunghezza** con il metro, **massa** con il chilogrammo, **tempo** con il secondo, **intensità della corrente elettrica** con l'ampere, **temperatura termodinamica** con il kelvin, **quantità di sostanza** con la mole, **intensità luminosa** con la candela. La proposta iniziale<sup>69</sup> prevedeva di sostituire le nostre sette accoppiate della tradizione con le seguenti altre sette:

1. **la frequenza**, la cui unità assume come riferimento la frequenza della transizione tra i due livelli iperfini dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133;

---

<sup>65</sup> URL: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Atomic\\_force\\_microscopy](http://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_force_microscopy)>.

<sup>66</sup> Durando 2002; URL: <<http://www.affidabilita.eu/tuttomisure/articolo.aspx?idArt=217>>.

<sup>67</sup> Lo scrivente Sergio Sartori fu socio fondatore e vicepresidente di euspen.

<sup>68</sup> Il testo ufficiale della risoluzione e la sua traduzione in inglese possono essere scaricati dal sito <<http://www.bipm.org/jsp/fr/ListCGPMResolution.jsp?CGPM=24>>.

<sup>69</sup> Mills 2005.

2. **la velocità**, la cui unità assume come riferimento la velocità della luce in vuoto;
3. **l'azione**, la cui unità assume come riferimento la costante di Planck;
4. **la carica elettrica**, la cui unità assume come riferimento la carica elementare;
5. **l'entropia**, la cui unità assume come riferimento la costante di Boltzmann;
6. **il rapporto tra il numero di entità X in uno specifico campione<sup>70</sup> e la quantità di sostanza della stessa entità X nel medesimo campione**, la cui unità assume come riferimento la costante di Avogadro;
7. **l'efficienza luminosa spettrale**, la cui unità assume come riferimento l'efficienza luminosa della radiazione monocromatica di frequenza  $540 \times 10^{12}$  Hz.

Tutti i riferimenti scelti verranno assunti esatti per convenzione con valore pari al valore attualmente meglio conosciuto, salvo i riferimenti indicati per le grandezze frequenza, velocità ed efficienza luminosa spettrale che erano già stati adottati nell'attuale versione del SI e quindi non sono stati nuovamente misurati. Nella sostanza cambieranno pertanto solo quattro riferimenti per le sette unità di base. Dal 2015 però tutte le definizioni delle unità di misura di base saranno profondamente mutate e avranno la forma detta “a costanti esplicite”, cioè in ciascuna sarà specificato il valore esatto della costante che funge da riferimento, immutabile e senza incertezza, secondo i desideri dei fisici e degli astronomi. Sono opportune tre precisazioni preliminari, prima di presentare le probabili nuove formulazioni. Il termine “taglia” è la traduzione del termine francese *amplitude* e del termine inglese *magnitude*; è possibile che si possa individuare un termine in italiano meno ambivalente. I numeri riportati nelle definizioni potranno subire marginali variazioni a seguito dei risultati sperimentali prodotti dai laboratori ritardatari. Il nuovo ordine della sequenza delle definizioni deriva dalla gerarchia che tra loro esiste.

1. Il secondo, simbolo s, è l'unità di tempo; la sua taglia è determinata fissando il valore numerico della transizione iperfine dello stato fondamentale dell'atomo di cesio 133 a riposo, a una temperatura di 0 K, esattamente a 9 192 631 770 quando essa è espressa in  $s^{-1}$ , unità del SI uguale a hertz, Hz.

2. Il metro, simbolo m, è l'unità di lunghezza; la sua taglia è determinata fissando il valore numerico della velocità della luce in vuoto esattamente a 299 792 458 quando essa è espressa in unità SI  $m \cdot s^{-1}$ .

3. Il chilogrammo, simbolo kg, è l'unità di massa; la sua taglia è determinata fissando il valore numerico della costante di Planck esattamente a  $6,626\,069\,3 \times 10^{-34}$  quando essa è espressa in  $m^2 \cdot kg \cdot s^{-1}$ , unità del SI uguale al joule secondo, J·s.

---

<sup>70</sup> In questo contesto il termine campione traduce il termine inglese *sample*.

4. L'ampere, simbolo A, è l'unità di intensità di corrente elettrica; la sua taglia è determinata fissando il valore numerico della carica elementare esattamente a  $1,602\,176\,53 \times 10^{-19}$  quando essa è espressa in  $s \cdot A$ , unità del SI uguale al coulomb, C.

5. Il kelvin, simbolo K, è l'unità di temperatura termodinamica; la sua taglia è determinata fissando il valore numerico della costante di Boltzmann esattamente a  $1,380\,650\,5 \times 10^{-23}$  quando essa è espressa in  $m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$ , unità del SI uguale al joule diviso kelvin,  $J \cdot K^{-1}$ .

6. La mole, simbolo mol, è l'unità di quantità di sostanza; la sua taglia è determinata fissando il valore numerico della costante di Avogadro esattamente a  $6,022\,141\,5 \times 10^{23}$  quando essa è espressa in unità SI  $mol^{-1}$ .

7. La candela, simbolo cd, è l'unità di intensità luminosa in una data direzione; la sua taglia è determinata fissando il valore numerico dell'efficienza luminosa della radiazione monocromatica di frequenza  $540 \times 10^{12}$  Hz esattamente a 683 quando essa è espressa in unità SI  $m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot cd \cdot sr$ , o  $cd \cdot sr \cdot W^{-1}$ , che è uguale all'unità SI lumen diviso watt,  $lm \cdot W^{-1}$ .

Tutte le sette definizioni sono circolari, ossia nella definizione è usata l'unità che si sta definendo. Inoltre solo le definizioni 1 e 6 sono indipendenti; tutte le altre dipendono almeno dalla prima.

Da queste scelte derivano tre importanti conseguenze:

A. Tutte le definizioni esistenti saranno abrogate.

B. Poiché le costanti citate nelle definizioni sono esatte, cioè prive di incertezza, e immutabili, l'incertezza che avevano i loro valori, in quanto risultato di esperimenti, si devono "scaricare" da qualche parte. La risoluzione precisa che si scaricheranno sul valore della massa del prototipo del kilogrammo, sul valore della permeabilità magnetica del vuoto, sul valore della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua, sul valore della massa molare del carbonio 12; le quattro grandezze manterranno i valori che avevano in passato ma tali valori, prima esatti per definizione, ora saranno affetti da incertezza in quanto determinati sperimentalmente<sup>71</sup>. In conclusione, nessun guadagno sull'incertezza dell'intero sistema: solo una nuova distribuzione delle incertezze tra vecchi e nuovi attori.

C. La messa in pratica delle nuove definizioni, ossia la realizzazione dei campioni di misura, sia per le unità di base sia per tutte le unità derivate, potrà

---

<sup>71</sup> La transizione alle nuove definizioni non richiede nuovi esperimenti. Infatti siamo di fronte a un cambio di paradigma: quegli esperimenti, che prima venivano condotti per determinare al meglio il valore numerico delle costanti, ora fissate esatte e immutabili, sono gli stessi che domani serviranno per determinare il valore della massa del prototipo, della permeabilità magnetica nel vuoto, della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua, della massa molare del carbonio 12. Poiché il risultato degli esperimenti è già noto, si tratta solo di calcolare, mediante le usuali regole di propagazione delle incertezze, l'incertezza da associare a esso.

essere fatta seguendo un percorso sperimentale qualsiasi, purché si rispettino le sette assunzioni presenti nelle definizioni delle unità di base. Non ci saranno più freni alla fantasia dei ricercatori, perché il vincolo di congruenza alle sette assunzioni è, ovviamente, entro i limiti dell'incertezza della quale si ha bisogno.

È ancora in discussione la definizione dell'unità di massa. Quella qui proposta si basa sulla costante di Planck e la messa in pratica della definizione richiede l'uso di una complicatissima bilancia, detta *del watt*, che confronta forze elettriche a forze meccaniche. I due laboratori nel mondo che hanno realizzato tale bilancia forniscono risultati contrastanti; perciò sta prendendo piede l'idea di riferire l'unità di massa alla costante di Avogadro, con non pochi problemi di interferenza con l'unità di quantità di sostanza.

Gli effetti secondari di queste decisioni sono numerosi. Fiumi di parole verranno spesi per discuterle, tradotti in migliaia di tonnellate di carta indispensabili per fissarle. Sarà da effettuare una grande mole di lavoro: norme da riscrivere, manuali di qualità da aggiornare, leggi da revisionare; libri di testo da emendare. Ci sarà anche del business: corsi di aggiornamento da progettare, per insegnanti, per tecnici delle aziende, magari anche per manager e per ricercatori.

Ma chi ci guadagna da questa rivoluzione, oltre a chi per primo la propone, visto che acquisterà gloria imperitura, e ai pochi istituti metrologici nazionali che troveranno, nel nuovo SI, la giustificazione delle cifre considerevoli dei contribuenti spese per trasferire l'incertezza da alcune costanti ad altre? Certamente ci guadagnerà la scienza in generale, con una migliore conoscenza dei valori delle costanti; ma ciò non dovrebbe comportare necessariamente un cambiamento del Sistema Internazionale di unità. La risposta al quesito è nel messaggio sublimale contenuto nella delibera. Esso dice pressappoco così:

Cari biologi, economisti, ingegneri, sociologi, fisiologi, tutti voi insomma che fate misure non *fisiche*, sappiate che se volete entrare con le vostre unità nell'Olimpo delle unità del SI, e vederle pertanto citate nelle leggi degli Stati e, di conseguenza, poter accedere ai finanziamenti pubblici destinati alla metrologia, dovrete presentarvi con un modello fatto di costanti fondamentali collegato alle nostre costanti. Altrimenti siete fuori per sempre.

È un messaggio molto diverso da quello che ci ha lasciato Hermann von Helmholtz (1821-1894), ultimo dei grandi filosofi della natura che fermamente credeva nell'unità della Scienza per generare conoscenza e che sapeva coniugare filosofia e fisiologia con la matematica e la fisica, operazione oggi quasi impossibile.

Il potere della scienza si è alleato con il potere dell'economia per gestire lo sviluppo delle misure a livello mondiale. Attori di questa alleanza sono gli istituti metrologici nazionali, i cui direttori, presidenti, ricercatori e amministratori

occupano il 95% dei posti di governo negli organismi previsti dall'accordo internazionale del 1875 noto come "La Convenzione del Metro". Solo a loro, dunque, sembra spettino le scelte che poi incideranno sulle attività di tutti. Molti ritengono che questo cambiamento abbia tutte le caratteristiche di una sorta di neocolonialismo metrologico, in quanto pochissime nazioni al mondo saranno in grado di mettere in pratica le definizioni ai più alti livelli di precisione: tutte le altre dipenderanno da loro.

## Conclusioni

### *Conoscenza, misure e loro valore aggiunto*

Come è stato ricordato in questa breve storia del rapporto tra meccanica e misure, gli ingegneri meccanici, ma non solo loro, compiono o fanno compiere misure principalmente per poter prendere decisioni consapevoli. Nei processi produttivi il valore aggiunto portato dalle misure, soprattutto quelle effettuate per il controllo qualità lungo il processo o sul prodotto finito, è dovuto a due fattori<sup>72</sup>: le buone misure consentono di ridurre il rischio di scarto di prodotti giudicati fuori tolleranza mentre invece sono in tolleranza; esse consentono anche di ridurre il rischio di perdita del cliente per aver messo in commercio prodotti garantiti in tolleranza i quali invece non lo sono.

La qualità è definita, dalla vigente normativa, come l'insieme delle proprietà e delle caratteristiche di un prodotto o di un servizio, cioè ciò che è soggetto a misura, che conferiscono ad esso la capacità di soddisfare le esigenze espresse o implicite dell'utente. L'analisi del costo della non qualità<sup>73</sup> si riduce sovente all'analisi del costo delle cattive misure e delle decisioni scorrette che ne derivano. Il tipo di misure delle quali qui stiamo parlando richiede una conoscenza approfondita del sistema, prodotto o servizio, sul quale esse vengono compiute. La necessità di questa conoscenza giustifica il percorso di sviluppo dei corsi universitari sulle misure che furono inseriti negli ambiti disciplinari dove già esisteva la cultura specifica del settore. Quando però si guarda alla situazione nelle aziende, soprattutto nelle PMI, i responsabili del controllo qualità e quelli della gestione della strumentazione e delle misure devono disporre di conoscenze multidisciplinari, in quanto sovente un'unica persona deve occuparsi di strumenti e misure meccanici, elettrici, termici, chimici, e altri ancora. L'università italiana non mette a disposizione lauree specialistiche in misure; questa cultura multidisciplinare viene dunque

---

<sup>72</sup> Mari 2007.

<sup>73</sup> Polese 2007.

acquisita sul campo, non di rado in maniera inadeguata. È pertanto necessario tener presente, in tutti i corsi di aggiornamento sulle misure destinati a personale delle aziende, l'opportunità di premettere all'esame dei mezzi e dei metodi di misura, da adottare per la soluzione di un problema, la descrizione accurata del misurando, ossia l'acquisizione della conoscenza delle proprietà e caratteristiche sulle quali si deve intervenire con misure.

Il processo di misurazione conduce ad approfondire la conoscenza<sup>74</sup> dei valori delle proprietà e delle caratteristiche che già sono conosciuti, almeno come ordine di grandezza. Assai di rado le misure conducono a una nuova conoscenza; quando questo accade ci troviamo davanti a una rivoluzione scientifica<sup>75</sup>. Tale fu, ad esempio, la rivoluzione scientifica rinascimentale, quando Galileo Galilei (1564-1642) modificò la legge di caduta dei gravi, a seguito di misure di spazio e di tempo impiegato a percorrerlo, da lui compiute su una sfera che rotolava su un piano inclinato; e così, partendo dalla accurate misure di posizione di corpi celesti compiute dall'astronomo Tycho Brahe (1546-1601, astronomo danese di profonda fede tolemaica), Johannes Kepler (1571-1630) calcolò le orbite ellittiche, e non circolari come volevano i fisici di allora, percorse dai pianeti nelle loro rivoluzioni intorno al Sole e confermò la visione eliocentrica di Nicolò Copernico (1473-1543).

Tornando ai tempi nostri, è la conoscenza che sta a monte delle misure, coniugata con la conoscenza sui processi di misurazione che deve possedere chi le compie, che insieme producono ricchezza e contribuiscono alla crescita del prodotto interno lordo (PIL). Le misure, ormai da oltre un secolo globalizzate<sup>76</sup>,

---

<sup>74</sup> A monte del processo di misurazione si colloca la conoscenza delle caratteristiche e proprietà essenziali che consentono di collocare l'oggetto o il fenomeno in una determinata categoria: ad esempio, una sedia o una radiazione elettromagnetica. Si deve poi decidere quale caratteristica o proprietà essenziale interessa sottoporre a misurazione. Il processo di misurazione viene descritto dalla teoria rappresentazionale (Krantz 1971), una delle teorie della misurazione più accreditate in ambienti diversi, come un'operazione empirica oggettiva che effettua la mappatura di manifestazioni di caratteristiche o proprietà in numeri (omomorfismo) in modo tale che le relazioni fra numeri conducano a relazioni tra manifestazioni di caratteristiche o proprietà. Già nel 1946 Stanley Smith Stevens (Stevens 1946) aveva classificato le grandezze in funzione delle relazioni che in ogni classe potevano essere stabilite tra le loro manifestazioni, giungendo a coprire dalle grandezze della fisica a quelle della biologia. Krantz e colleghi propongono il quadro di assiomi e di teoremi che forniscono un criterio atto a stabilire se una certa *entità conoscibile* può essere definita come *grandezza misurabile*; l'entità conoscibile diventa grandezza misurabile solo se appartiene ad una struttura relazionale empirica che soddisfa alle condizioni rappresentazionali. Il criterio consente a fisici, ingegneri, biologi, medici, psicologi, critici d'arte e altri di affermare, con rigorosa coerenza, l'oggettività e l'obiettività dei dati definiti come sperimentali e di trarre, a partire da essi, conclusioni di carattere generale.

<sup>75</sup> Kunh 1962.

<sup>76</sup> Sartori 2012.

pervadono<sup>77</sup> la vita dei cittadini dei paesi industrializzati; recenti studi<sup>78</sup>, compiuti da organismi nazionali e internazionali e da agenzie specializzate, attribuiscono alle misure una frazione del PIL compresa tra il 3% e il 6%, con punte fino al 15% per paesi a elevato tasso di innovazione. Questo rilevante risultato, sempre stando alle autorevoli fonti citate, è ottenuto a fronte di una spesa da parte dei governi che si aggira intorno al 0,0005% del PIL.

In conclusione, le misure, le quali presuppongono conoscenze pluridisciplinari approfondite e conducono a scelte ottimali, agiscono da amplificatori di investimenti e contribuiscono a migliorare il rapporto tra costi e benefici.

### *Etica e misure*

Il potere che la scienza e la tecnologia hanno acquisito nell'età moderna, amplificato dalla connessione che le misure scientifiche e tecnologiche hanno stabilito con il mercato, la politica e la guerra, impone particolare attenzione ai problemi etici che ne conseguono<sup>79</sup>. Essi sono accentuati dalla già citata proprietà delle misure d'essere pervasive: l'economia, le scienze sociali, la biologia, la genetica, la pedagogia e la psichiatria, e molte altre discipline ancora, oltre quelle classiche, affermano oggi di fondarsi su misure.

Per questi motivi sembra importante agli autori concludere il capitolo con una citazione presa da una delle norme fondamentali per il mondo delle misure, la *Guida all'espressione dell'incertezza di misura* UNI CEI ENV 13005 (ISO-IEC Guide 98 e suoi supplementi)<sup>80</sup>:

3.4.8. Benché questa guida fornisca uno schema generale per valutare l'incertezza, essa non può sostituirsi al pensiero critico, all'onestà intellettuale ed alla capacità professionale.

La valutazione dell'incertezza non è né un compito di routine né un esercizio puramente matematico, ma dipende dalla conoscenza approfondita della natura del misurando e della misurazione.

La qualità e l'utilità dell'incertezza attribuita al risultato di una misurazione dipendono pertanto, in definitiva, dall'approfondimento, dall'analisi critica e dall'integrità morale di chi contribuisce ad assegnarne il valore.

---

<sup>77</sup> CIPM 2007. Si stima che ogni cittadino di un paese industrializzato compia o faccia compire per sue necessità quotidianamente un centinaio di misure.

<sup>78</sup> CIPM 2003. Il documento citato contiene una sintesi dei risultati di molti studi sui costi e sui benefici delle misure, anche relativi a settori particolari.

<sup>79</sup> Rodotà 2011.

<sup>80</sup> JCGM 2008.

Nel paragrafo citato viene autorevolmente ricordato che non bisogna lasciarsi ingannare dalla facilità con la quale, sempre di più, è possibile fare calcoli molto complessi in brevissimo tempo su numeri, apparentemente affidabili, ottenuti da strumenti di misura sempre più sofisticati. Risulta infatti sempre centrale la figura morale<sup>81</sup> degli operatori nella esecuzione di tutti i compiti professionali nonché la centralità della conoscenza approfondita del problema fisico sul quale si sta operando.

### ACRONIMI usati: loro significato e sito web ufficiale di riferimento

Acronimo	Significato	Note
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures	Laboratorio internazionale per lo sviluppo di campioni e metodi primari di misura < <a href="http://www.bipm.org">http://www.bipm.org</a> >
CEI	Comitato Elettrotecnico Italiano	< <a href="http://www.ceiweb.it">http://www.ceiweb.it</a> >
CGPM	Conférence General des Poids et Mesures	Organo di governo politico della CM < <a href="http://www.bipm.org/fr/convention/cgpm/">http://www.bipm.org/fr/convention/cgpm/</a> >
CIPM	Comité International des Poids et Mesures	Organo scientifico di governo del BIPM e di consulenza alla CGPM < <a href="http://www.bipm.org/en/committees/cipm/">http://www.bipm.org/en/committees/cipm/</a> >
CIRP	The International Academy for Production Engineering	< <a href="http://www.cirp.net">http://www.cirp.net</a> >
CM	Convenzione del Metro	Accordo internazionale firmato da 17 nazioni nel 1875 al quale oggi (2012) aderiscono 88 nazioni < <a href="http://www.bipm.org/fr/convention/">http://www.bipm.org/fr/convention/</a> >
CMM	Coordinate Measuring Machines	Macchine di misura a coordinate
CMM Club	Club costituito in diversi paesi dai costruttori e dagli utilizzatori di CMM con lo scopo di discutere i problemi delle CMM e individuare la loro soluzione	In Italia il CMM Club Italia è un'Associazione senza scopo di lucro che cura la formazione, l'informazione e lo sviluppo della normativa nel settore < <a href="http://www.cmmclub.it">http://www.cmmclub.it</a> >
CNR	Consiglio Nazionale delle Ricerche	< <a href="http://www.cnr.it">http://www.cnr.it</a> >
ENEA	Agenzia nazionale per le nuove tecnologie e lo sviluppo economico sostenibile	< <a href="http://www.enea.it">http://www.enea.it</a> >
ESA	European Space Agency	< <a href="http://www.esa.int">http://www.esa.int</a> >

<sup>81</sup> L'Associazione Italiana "Gruppo Misure Elettriche ed Elettroniche" (<<http://www.gmee.org>>) ha ritenuto essenziale dotarsi di un codice etico e deontologico specifico per chi opera nel settore della produzione di misure. Tale codice è consultabile in:  
<[http://www.gmee.org/pdf/generali/Codice\\_Etico\\_Deontologico.pdf](http://www.gmee.org/pdf/generali/Codice_Etico_Deontologico.pdf)>.

euspen	European Society for Precision Engineering and Nanotechnology	< <a href="http://www.euspen.eu">http://www.euspen.eu</a> >
FES	Stimolazione elettrica funzionale	< <a href="http://www.bio.unipd.it/bam/PDF/17-1/Mayr.pdf">http://www.bio.unipd.it/bam/PDF/17-1/Mayr.pdf</a> >
GLONASS	GLObal NAVigation Satellite System	< <a href="http://www.glonass.it">http://www.glonass.it</a> >
GOCE	Gravity field and steady Ocean Circulation Explorer	< <a href="http://www.esa.int/goce">http://www.esa.int/goce</a> >
GPS	Global Positioning System	< <a href="http://www.gps.gov">http://www.gps.gov</a> >
IEC	International Electrotechnical Commission	< <a href="http://www.iec.ch">http://www.iec.ch</a> >
IMGC-CNR	Istituto di Metrologia "Gustavo Colonnetti" del CNR	Oggi confluito nell'INRiM (vedi)
INMRI-ENEA	Istituto Nazionale di Metrologia delle Radiazioni Ionizzanti ( <a href="http://www.inmri.enea.it">http://www.inmri.enea.it</a> ) dell'ENEA (vedi)	Con l'INRiM (vedi) costituisce il sistema italiano di istituti metrologici primari, firmatari del MRA (Mutual Recognition Arrangement, < <a href="http://www.bipm.org/en/cipm-mra/&gt;">http://www.bipm.org/en/cipm-mra/&gt;</a> )
INRiM	Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica	< <a href="http://www.inrim.it">http://www.inrim.it</a> >
ISO	International Standardisation Organisation	È organizzata in Comitati Tecnici (TC) e in gruppi di lavoro (WG) < <a href="http://www.iso.org">http://www.iso.org</a> >
ISO/TC213/WG10	Dimensional and geometrical product specifications and verification	WG 10: Coordinate measuring machines < <a href="http://isotc213.ds.dk/workingg.htm#WG10">http://isotc213.ds.dk/workingg.htm#WG10</a> >
PTB	Physikalisch-Technische Bundesanstalt	Istituto metrologico nazionale della Germania con sede in Braunschweig < <a href="http://www.ptb.de/index_en.html">http://www.ptb.de/index_en.html</a> >
SIRI	Italian Robotics and Automation Association	< <a href="http://www.robosiri.it/">http://www.robosiri.it/</a> >
UNI	Ente Nazionale Italiano di Unificazione	Ha sede in Milano < <a href="http://www.uni.com">http://www.uni.com</a> >

## BIBLIOGRAFIA

- Angrilli F. *et al.*, 2007, *Attuazione della Direttiva Strumenti di Misura: valutazione delle caratteristiche metrologiche di contatori dell'acqua*, "Metrologia & Qualità", Marzo 2007.
- Berglund B., Rossi G.B., Townsend J.T., Pendrill L.R. (ed.), 2012, *Measurement with Persons. Theory, Methods, and Implementation Areas*, New York, Psychology Press.
- Betta G., Caprigione D., Crenna F., Rossi G.B., Gasparetto M., Zappa E., Liguori C., Paolillo A., 2011, *Face-based recognition techniques: proposals for the metrological characterization of global and feature-based approaches*, "Meas. Sci. Technol.", 22.
- Bocciolone M., Caprioli A., Cigada A., *et al.*, 2007, *A measurement system for quick rail inspection and effective track maintenance strategy*, "Mechanical Systems and Signal Processing".

- Bocciolone M., Cheli F., Corradi R., *et al.*, 2008, *Crosswind action on rail vehicles: Wind tunnel experimental analyses*, "Journ. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics".
- Calcatelli A., Germak A., 2002, *La durezza: definizione e misurazione*, (URL: <[http://www.inrim.it/ldm/cd\\_ldm/allegati/SI\\_unitderiv/Durezza.pdf](http://www.inrim.it/ldm/cd_ldm/allegati/SI_unitderiv/Durezza.pdf)>).
- Callendar H.L., 1899, *Intervento alla British Association for the Advancement of Science*, "Phil. Mag.", 48, pp. 519-547.
- Charret Thomas O. H., 2012, *Optical fibre laser velocimetry: a review*, "Meas. Sci. Technol.", 23.
- CIPM 2003, *Évolution des besoins dans le domaine de la métrologie pour le commerce, l'industrie et la société et le rôle du BIPM*, (URL: <<http://www.bipm.org/utis/fr/pdf/kaarls2003-FR.pdf>>).
- CIPM 2007, *Evolving Needs for Metrology in Trade, Industry and Society, and the Role of the BIPM* (URL: <<http://www.bipm.org/utis/common/pdf/Kaarls2007.pdf>>).
- Comolli J. L., Ferrante S., Pedrocchi A., Bocciolone M., Ferrigno G., Molteni F., 2010, *Metrological characterization of a cycle-ergometer to optimize the cycling induced by functional electrical stimulation on patients with stroke*, "Medical Engineering & Physics", 32, pp. 339-348.
- Corti C., Giordani N., 2001, (a cura di), *Pondera, pesi e misure nell'antichità*, Campogalliano, Libra 93.
- D'Agostino G., Desogus S., Germak, A., Origlia, C., Quagliotti, D., Berrino, G., Corrado, G., D'Errico, V., Ricciardi, G., 2008, *The new IMG-02 transportable absolute gravimeter: measurement apparatus and applications in geophysics and volcanology*, "Annals of Geophysics", 51, pp. 39-49.
- D'Emilio S., Molinar Min Beciet G., Pimpinella M., 2009, *GOCE: un satellite per conoscere meglio la Terra*, Tutto\_Misure<sup>82</sup>, 11/3.
- Douglas McKie, 1972, *Scienza e tecnologia*, in "Storia del mondo moderno", vol. XII: *I grandi conflitti mondiali 1898-1945*, Milano, Garzanti.
- Durando G., Mana G., Massa E., 2002, *Una frontiera della metrologia ed una metrologia di frontiera*, Tutto\_Misure, 4/2.
- Egidi C., 1988 (a cura di), *Atti del convegno "Giovanni Giorgi and his contribution to Electrical Metrology"*, Politecnico di Torino.
- Formisano V., Atreya S., Encrenaz T., Ignatiev N., Giuranna M., 2004, *Detection of Methane in the Atmosphere of Mars*, Science, 306, dicembre 2004, pp. 1758-1761.
- Flora F. (a cura di), 2006, *Galileo Galilei. Opere*, in "I classici del pensiero italiano", vol. II, Roma, Istituto della enciclopedia italiana, p. 517.
- Goodstein, Judith R., 2007, *The Volterra chronicles: the life and times of an extraordinary mathematician, 1860-1940*, Providence, American Mathematical Society.
- Hobsbawm Eric J., 2003, *Il trionfo della borghesia, 1848-1875*, Roma-Bari, Laterza.

---

<sup>82</sup> La rivista Tutto\_Misure (<<http://www.affidabilita.eu/tuttomisure/>>) fu fondata nel 1998 con lo scopo di divulgare nelle aziende la formazione e l'informazione sulle buone misure. Oggi la rivista è di proprietà dell'Associazione Italiana "Gruppo Misure Elettriche ed Elettroniche" (<<http://www.gmee.org>>).

Gli articoli citati possono essere richiesti all'editore (<<http://lmalgaroli@affidabilita.eu>>).

- JCGM 2008 (Joint Committee for General Metrology), *Evaluation of measurement data. Guide to the expression of uncertainty in measurement*, (URL: <<http://www.bipm.org/en/publications/guides/gum.html>>).
- INRiM 2008, *In primo piano il ruolo dell'INRiM nei test sul primo satellite del sistema di navigazione satellitare GALILEO*, Tutto\_Misure, 10/2, p. 156.
- Krantz D.H., Luce R.D., Suppes P., Tverskym A., 1971, *Foundations of measurement*, vol. 1, New York, Academic Press.
- Kula Witold, 1987, *Le misure e gli uomini dall'antichità a oggi*, Roma-Bari, Laterza.
- Kuhn T.S., 1969, *La struttura della rivoluzione scientifica*, Torino, Einaudi.
- Leschiutta S., 2005, *Misurare l'impossibile*, Tutto\_Misure, 7/1, p. 34.
- Mari L., Sartori S., 2007, *Incertezza delle misure e ottimizzazione dei costi di produzione*, Tutto\_Misure, 9/1, p. 13.
- Massa E., Bonfigli L., 1958, *Costruzione di Macchine*, Milano, Cesare Tamburini Editore.
- Mills I.M., Mohr P.J., Quinn T.J., Taylor B.N., Williams E.R., 2005, *Redefinition of the kilogram: a decision whose time has come*, Metrologia, 42/2, pp. 71-80.
- Mondina A., 1958, *La fotoelasticità*, Rivista di Meccanica, Milano.
- Polese N., 2007, *Misure e costo della non qualità*, Tutto\_Misure, 9/1, p. 7.
- Rodotà S., 2011, *Foucault e le nuove forme del potere*, Ariccia, Gruppo Editoriale L'Espresso.
- Saggin B., Comolli L., Formisano V., 2007, *Mechanical disturbances in Fourier spectrometers*, APPLIED OPTICS, 46/22-1, pp. 5248-5256.
- Sartori S., Zhang G.X., 1995, *Geometric Error Measurement and Compensation of Machines*, Annals of the CIRP, 44/2, pp. 599-609.
- Sartori S., 2007, *Il CMM Club: un esempio di successo per il trasferimento delle conoscenze*, Tutto\_Misure, 9/1, pp. 67-71.
- Sartori S., 2012, *Breve storia dei paradigmi della moderna metrologia*, in Mirri Domenico (a cura di), "Scienza e tecnica nel settecento e nell'ottocento", Bologna, CLUEB editore.
- Sen Amartya, 2010, *L'idea di giustizia*, Milano, Mondadori.
- Sesia I., Galleani L., Tavella P. 2011, *Application of the dynamic Allan variance for the characterisation of space clock behaviour*, IEEE Trans. On Space and Electronics Systems, 47, p. 884.
- Silvestri M., 1977, *La decadenza dell'Europa Occidentale, 1. Anni di trionfo 1890-1914*, Torino, Einaudi.
- Stevens S.S., 1946, *On the theory of scales of measurement*, Science, 103, pp. 677-680.
- Trevor I.W., 1970, *Scienza e tecnologia*, in Cambridge, "Storia del mondo moderno", vol. IX, p. 82.
- Tschinke M., 2009, *Giovanni Giorgi*, Tutto\_Misure, 11/3, p. 251.
- Zappa E., Busca G., 2008, *Comparison of eight unwrapping algorithms applied to Fourier-transform profilometry*, Optics and Lasers in Engineering, 46/2, pp. 106-116.

**Introduzione**

Nella presente monografia verranno esaminate alcune associazioni scientifico-tecniche la cui attività riveste particolare importanza sulla meccanica. Partendo dalla considerazione di tali associazioni, si cercherà di individuare alcuni spunti relativi, in particolare, a:

- evoluzione storica dell'associazionismo in ambito meccanico, con l'obiettivo anche di vedere se, dalla considerazione della storia, possano scaturire indirizzamenti sull'attività delle associazioni moderne;
- esaminare il contributo che talune associazioni possono dare alla conservazione dei beni culturali meccanici ed allo studio della storia della meccanica.

**Excursus storico**

L'associazionismo in forma embrionale è molto antico. Le sue prime origini possono essere fatte risalire al mondo greco e romano ed alle associazioni di artisti e poeti dell'epoca, a Re Artù ed ai Cavalieri della Tavola rotonda, al Rinascimento ed alle conversazioni fra dotti.

Un importante fenomeno europeo caratteristico dei secoli XVI e XVII è la nascita delle accademie scientifico-tecniche, che possono essere considerate forme di associazione.

Nascono così gruppi di persone che si riuniscono a discutere le nuove questioni e a seguire il progresso. I soci si riuniscono, comunicano i risultati delle proprie ricerche e, dalla discussione che ne nasce, deriva un arricchimento scientifico e culturale di tutti i presenti. Un altro aspetto importante dell'attività delle accademie è la divulgazione fra i "non addetti" ai lavori e l'inizio di accensione di interesse per le scienze fra il grosso pubblico.

Ecco alcune accademie fra le prime fondate:

- Accademia Secretorum, Napoli (1560)
- Accademia dei Lincei (1603) (studio e diffusione della fisica, con la visione penetrante della lince)<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> URL: <<http://www.lincci.it>>.

- Royal Society for the Advancement of Learning (fondata da Boyle nel 1645 col nome di Philosophical College, vi appartennero Isaac Newton e Wilhelm von Leibnitz)<sup>2</sup>

- Accademia del Cimento (fondata nel 1657 da Evangelista Torricelli, allievo of Galileo Galilei)

- Accademia delle Scienze di Londra (1662)

- Accademia delle Scienze di Parigi (1666) fondata da Luigi XIV<sup>3</sup>

Il Collegio degli Ingegneri di Milano<sup>4</sup> dal 1563 al 1797, con il riconoscimento dei governi spagnolo e austriaco, cura la formazione degli aspiranti ingegneri e architetti e rilascia le “patenti” per l’esercizio della professione. Esso svolge anche la funzione di magistratura nei campi di sua competenza; le sue sentenze (“Stilati”) costituiscono giurisprudenza ad ogni effetto.

Nel 1797, con legge della Repubblica Cisalpina, il Collegio viene chiuso in forza dei disposti della Libera Costituzione e le prerogative del Collegio in materia di formazione e rilascio dei diplomi passano all’Università di Pavia.

Dopo l’Unità d’Italia, nel 1865, viene aperto a Milano l’Istituto Tecnico Superiore, scuola universitaria di ingegneria (poi Politecnico) avente come scopo la formazione dei quadri professionali.

Nel 1868 viene riaperto anche il Collegio, come libera associazione culturale, organizzata su nuove basi per contribuire al progresso della cultura e della pratica dell’esercizio professionale post-universitario.

L’Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere<sup>5</sup>, uno dei fiori all’occhiello della cultura milanese, è un’Accademia costituita da studiosi di chiara fama, suddivisi in due classi: Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali e Scienze Morali. Gli accademici di entrambe le classi sono reclutati per cooptazione e possono essere membri effettivi e soci corrispondenti. Esistono poi i soci corrispondenti non residenti ed i membri stranieri.

L’Istituto opera mediante riunioni periodiche congiunte, alle quali sono presenti gli studiosi di entrambe le classi: l’ascolto e la discussione da parte di tutti su argomenti che spaziano sui più diversi campi del sapere costituisce una significativa occasione di integrazione delle culture.

---

<sup>2</sup> URL: <<http://www.royalsociety.org>>.

<sup>3</sup> URL: <<http://www.academie-sciences.fr>>.

<sup>4</sup> E. Bregani, *Vita del Collegio Ingegneri e Architetti di Milano*, Milano, Telesma, 2010; <<http://www.collegioingegneriarchitettimilano.it/>>.

<sup>5</sup> E. Gatti, A. Bianchi Robbiati (a cura di), *L’Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere II Storia della Classe di Scienze Matematiche e Naturali*, Milano, Libri Scheiwiller, 2008. Sito web: URL: <<http://www.istitutolombardo.it>>.

Il primo presidente dell'Istituto è stato Alessandro Volta: di lui, nella Sala Volta sono conservati numerosi cimeli, come manoscritti, schizzi, strumenti scientifici ed oggetti personali.

L'Istituto è istituito da Napoleone nel 1797 a Bologna e nel 1802 lo stesso Napoleone nomina i primi 31 membri. Nel 1810 lo stesso Napoleone fa sorgere a Milano il Reale Istituto di Scienze Lettere ed Arti, che, con alterne vicende e cambiando alcune volte di nome, diviene l'istituzione che è oggi.

La FAST (Federazione delle Associazioni Scientifiche e Tecniche)<sup>6</sup> è, come dice il nome, una federazione di associazioni con interessi nei vari ambiti della scienza e della tecnica e nasce nel 1897.

I fondatori della FAST sono personaggi di primissimo piano: Giovanni Battista Pirelli, Giuseppe Colombo, Cesare Saldini e Galileo Ferraris. La prima sede della FAST è a Milano a Palazzo Spinola, in via S. Paolo.

Le Associazioni fondatrici sono: Collegio Ingegneri e Architetti (fondato nel 1563), Società Chimica (fondata nel 1895), Associazione Elettrotecnica (fondata nel 1896), Reale Società di Igiene (fondata nel 1878). Subito dopo, aderiscono l'Associazione tra metallurgici ed affini, l'Associazione sanitaria milanese e la Società farmaceutica.

Nel 1946, dopo la stasi bellica, l'attività della FAST viene rilanciata grazie all'impegno di tre associazioni: Società Chimica Italiana, Sezione Lombarda, Associazione Elettrotecnica, Sezione di Milano e Associazione Italiana di Metallurgia. Nel 1950 viene eletto presidente Luigi Morandi, che resterà in carica fino al 1968, imprimendo alla Federazione un grande sviluppo.

Nel secondo dopoguerra nascono molte associazioni scientifico-tecniche: di esse, un buon numero interessa la meccanica. Esse riuniscono professionisti, studiosi, costruttori ed appassionati, con l'obiettivo di scambio di informazioni, di aggiornamento, di difesa di figure professionali.

Tali associazioni, particolarmente con riferimento agli obiettivi del presente lavoro, possono dividersi nelle seguenti categorie:

- associazioni di studiosi della meccanica, nei suoi diversi aspetti;
- associazioni di costruttori;
- associazioni di storici di aspetti della meccanica;
- associazioni di appassionati e di collezionisti di dispositivi, macchine, strumenti.

---

<sup>6</sup> F. Canobbio-Codelli, W. Nicodemi, M.L. Origoni, A. Pieri, C. Tomassini (eds.), *1897-1997 FAST Turns One Hundred*, FAST, Milano, 1997; URL: <<http://www.fast.mi.it>>.

*Associazioni di studiosi di meccanica*

Le associazioni di studiosi della meccanica riuniscono, in generale, tecnici, docenti e cultori della materia. La loro attività è principalmente rivolta all'aggiornamento professionale dei Soci, attraverso convegni, conferenze, corsi, visite tecniche. In taluni casi, l'attività di queste associazioni è rivolta anche alla promozione di ricerche su temi specifici. Alcune fra le principali di queste sono qui elencate, in ordine di fondazione, con indicato l'anno in cui sono nate.

- 1948 ATA (Associazione Tecnica dell'Automobile)
- 1959 AIMAN (Associazione Italiana Manutenzione)
- 1966 AIMETA (Associazione Italiana di Meccanica Teorica ed Applicata)
- 1971 AIAS (Associazione Italiana di Analisi delle Sollecitazioni)
- 1971 ASMECCANICA (Associazione Nazionale di Meccanica)
- 1973 AMME (Associazione Meridionale di Meccanica)
- 1974: ADM (Associazione Nazionale Disegno di Macchine)
- 1978 AIPI (Associazione Italiana Progettisti Industriali)
- 1979 AIPnD (Associazione Italiana Prove non Distruttive Monitoraggio Diagnostica)
- 1992 AITeM (Associazione Italiana di Tecnologia Meccanica)
- 2009 ALP Sezione Meccanica (Sezione Meccanica dell'Associazione Laureati del Politecnico di Milano)

*Associazioni di costruttori*

Le associazioni di costruttori sono principalmente volte alla difesa della categoria e delle attività dei Soci, generalmente costituiti da aziende. Fra esse, a titolo di esempio, si ricordano la seguenti:

- 1912 ANFIA (Associazione Nazionale Filiera Industria Automobilistica)
- 1914 ANIMA (Associazione Nazionale Industria Meccanica ed Affine)
- 1919 AMMA (Aziende Meccaniche Meccatroniche Associate)
- 1945 UCIMU (Associazione dei costruttori italiani di macchine utensili, robot, automazione e di prodotti a questi ausiliari (CN, utensili, componenti, accessori))

*Associazioni di collezionisti ed amatori*

I collezionisti e gli amatori, in generale, si riuniscono in associazioni con l'obiettivo di scambiarsi esperienze ed informazioni e di organizzare raduni.

- 1966 ASI (Automotoclub Storico Italiano)

- 1983 GAVS (Gruppo Amici Velivoli Storici)
- 2003 Fellowship Rotariana amatori auto d'epoca

### *Associazioni di storici della meccanica*

Gli storici della meccanica generalmente sono docenti di varie discipline che spaziano dall'ingegneria, all'economia, alla storia. La loro attività, quando si riuniscono in associazioni, è particolarmente rivolta, da un lato alla promozione di ricerche, dall'altro alla conservazione dei beni culturali meccanici. Alcune fra esse, sono le seguenti:

- ASSTI (Associazione per la Storia della Scienza e della Tecnica in Italia)
- AISI (Associazione Italiana per la Storia dell'Ingegneria) (organizza un Congresso biennale sulla storia dell'ingegneria)<sup>7</sup>

### *Gruppi di Lavoro*

- Gruppo di Lavoro "Storia dell'Ingegneria" della CoPI (Conferenza dei Presidi di Ingegneria)<sup>8</sup>
- Gruppo Storico dell'ADM (Associazione nazionale Disegno di Macchine)

## **Un caso emblematico, l'A.N.I.M.A.**

*A.N.I.M.A.: la nascita, l'organizzazione della meccanica varia italiana, la sua trasformazione nel periodo fascista, lo sforzo bellico (1914-1944)*

Era il 5 Febbraio 1914 quando, in Camera di Commercio di Milano, alla presenza di un Comitato di industriali guidato dall'avvocato Olivetti, nacque l'A.N.I.M.A., Associazione Nazionale fra gli Industriali Meccanici e Affini.

All'inizio l'intento era quello di costituire un «organo specifico per studiare, patrocinare e promuovere tutto quanto può essere d'interesse e di utilità per l'industria meccanica e industrie affini e più specialmente quella di tutelare i comuni interessi nel campo economico».

A quell'epoca l'industria meccanica era in Italia una realtà già consolidata e vitale, e in questo scenario A.N.I.M.A. si pose da subito come struttura trainante

---

<sup>7</sup> URL: <<http://www.aising.it>>.

<sup>8</sup> URL: <<http://ingprj.diegm.uniud.it/bricks/confpresing/home.htm>>.

per l'economia, raccogliendo intorno a sé le figure più significative della nascente industria, da Giovanni Agnelli a Giuseppe Orlando a Ercole Marelli.

Alcuni dei Soci Fondatori: Agnelli, Augusta, Braibanti, Breda, Fiat, Marelli, Macchi, Necchi, Olivetti, Riva, Salmoiraghi, Tosi.

Questo il manifesto programmatico presentato in quella occasione:

Gli Industriali Meccanici Italiani riunitisi in Milano presso la locale Camera di Commercio il 5 febbraio 1914, considerato come sia necessario per l'Industria Meccanica un indirizzo comune nelle varie questioni che la riguardano e specialmente come sia opportuno costituire un organo specifico per la tutela dei suoi interessi nel campo economico; che lo si ravvisa tanto più urgente in questo momento in cui è aperta la discussione sulla nostra politica doganale, la quale pel regime adottato ha costituito sinora una delle difficoltà che si frappongono al più ampio sviluppo dell'industria meccanica, esposta senza efficace tutela alla concorrenza, che pure è di grande importanza per l'industria meccanica la politica delle tariffe marittime e ferroviarie delle quali ultime è stata recentemente proposta una riforma; plaudono all'iniziativa del Comitato promotore deliberando la costituzione dell'Associazione nazionale fra gli industriali meccanici con sede in Milano, avente lo scopo di tutelare gli interessi dell'industria meccanica nazionale specialmente in relazione agli argomenti di cui sopra e danno mandato alla Presidenza affinché tenuto conto della discussione avvenuta voglia predisporre il progetto di Statuto da approvarsi in altra adunanza cui siano invitati i meccanici e metallurgici d'Italia.

A partire dal 1916, in piena guerra mondiale, l'industria bellica ebbe un forte sviluppo: le imprese meccaniche e metallurgiche potenziarono considerevolmente la loro produzione balzando al primo posto nell'industria manifatturiera, passando fra il 1914 e il 1917 dal 28 al 42% della produzione complessiva.

Durante gli anni di guerra anche il numero degli associati ad A.N.I.M.A. aumentò considerevolmente, tanto che in cinque anni venne sestuplicato passando dai 97 del 1914 ai 549 del 1918; il numero degli operai impiegati nelle aziende associate crebbe di otto volte, passando dalle 34.604 unità del 1914 alle 272.000 del 1918.

La fine del conflitto tuttavia segnò anche un brusco calo della produzione di materiale bellico e di conseguenza l'industria nazionale, senza un'adeguata pianificazione governativa sulla produzione per il periodo post-bellico, venne a trovarsi in una situazione di estrema gravità.

Un'importante iniziativa avviata da A.N.I.M.A. in questi anni fu l'azione intesa a far adottare una tariffa doganale che difendesse la meccanica nazionale dalla concorrenza straniera, dato che la politica di protezione rendeva estremamente

oneroso l'acquisto di materie prime e quindi poco competitivi i prodotti Made in Italy.

A partire dal 1920 fu avviata da A.N.I.M.A. una campagna promozionale per incentivare l'attività di esportazione delle imprese, così che la produzione in serie su larga scala potesse essere garanzia per un mercato interno attivo e dinamico.

All'inizio del 1921 cominciarono però a manifestarsi in Europa i primi sintomi della recessione economica, in seguito alla concorrenza sempre più intensa della produzione americana che provocò un generale abbassamento dei prezzi agricoli e industriali. L'inversione di tendenza manifestatasi nell'industria meccanica, colpita sia dalla deflazione sia dalla contrazione del mercato, risultò assai più grave in Italia che in altri Paesi, anche per le maggiori difficoltà di approvvigionamento delle materie prime. Se durante la guerra il settore meccanico aveva compiuto un certo progresso tecnico grazie alla produzione in serie resa possibile dalla domanda di materiali bellici, tra il 1919 e il 1922 si assistette a un ridimensionamento dei risultati raggiunti e tornarono ad affacciarsi le antiche problematiche legate alla frammentarietà e alle inadeguate attrezzature di molti comparti.

Nel 1919 iniziò la pubblicazione dell'organo ufficiale dell'A.N.I.M.A., *L'Industria Meccanica*, che divenne poi anche l'organo ufficiale di UNI. La rivista permetteva ai soci di tenersi al corrente sui più recenti sviluppi del settore, fornendo loro quel complesso di notizie e di informazioni tecniche, economiche e commerciali – indispensabili alla conduzione di un'azienda meccanica – reperibili diversamente solo attraverso molteplici pubblicazioni. Sua funzione primaria era quella di propagandare e valorizzare la produzione nazionale dell'industria meccanica.

Intanto già da tempo A.N.I.M.A. aveva intrapreso azioni volte a promuovere accordi fra gli industriali per la realizzazione di un programma di standardizzazione nell'industria meccanica sulla base di quanto già sperimentato e applicato con successo in Germania e negli altri Paesi temibili concorrenti dell'Italia. La standardizzazione o unificazione consisteva in una speciale forma di organizzazione collettiva della produzione. Unificare significava scegliere tra le numerose caratteristiche costruttive utilizzabili per produrre un oggetto o un organo di una macchina quelle che rispondevano ai più sicuri dettami della scienza e della tecnica e garantissero un maggior numero di applicazioni, la cui generale adozione comportasse al contempo le minori trasformazioni delle attrezzature esistenti. Tra gli altri obiettivi l'unificazione si poneva quello di rendere possibile la fabbricazione in un gran numero di esemplari di oggetti che in precedenza dovevano essere invece prodotti a mano a mano che venivano ordinati. Unificare significava anche aumentare il livello di precisione e l'interscambiabilità dei prodotti.

A tale scopo, nel 1921 fu costituito un Comitato Generale per l'Unificazione nell'Industria Meccanica (U.N.I.M.), composto, oltre che da rappresentanti di A.N.I.M.A., da esponenti del Comitato Nazionale Scientifico Tecnico, dell'Associazione Nazionale Ingegneri Italiani, dell'Associazione Elettrotecnica Italiana e della Confederazione Generale dell'Industria.

Il 21 gennaio 1931 si insediò presso la sede della Confederazione Generale Fascista dell'Industria Italiana, a Roma, il Consiglio direttivo dell'Ente Nazionale per l'Unificazione nell'Industria (U.N.I.), cui lo Statuto assegnava compiti assai più ampi di quelli conferiti in precedenza all'U.N.I.M. e che nei fatti subentrò a quest'ultimo.

Con il Regio Decreto 16 giugno 1927 l'A.N.I.M.A. aveva trovato il suo assetto, nel quadro generale delle Associazioni della Confederazione Generale Fascista dell'Industria Italiana, che le diede personalità giuridica come ente avente per scopo l'incremento e il miglioramento della produzione e ne approvò lo Statuto, che prevedeva in particolare la concentrazione dei soci in Gruppi, con l'intento di svolgere una più efficace azione di tutela a favore di determinati rami dell'industria. Tali Gruppi, vere e proprie Associazioni, disponevano di una propria assemblea, di un Comitato direttivo e di un presidente che faceva parte di diritto del Consiglio direttivo generale di A.N.I.M.A.

Gran parte dell'attività degli uffici dell'Associazione si svolgeva in collaborazione con i Ministeri delle Corporazioni e delle Finanze e con la Confederazione dell'Industria: l'A.N.I.M.A. In pratica molta parte del personale dell'Associazione era occupata a rispondere a richieste sull'applicazione pratica di leggi e regolamenti, a fornire chiarimenti e informazioni sulla produzione dell'industria meccanica nazionale e sulla particolare situazione di alcuni suoi rami. Nel 1933 negli Uffici dell'Associazione erano impiegate 28 persone, di cui 13 addette esclusivamente ad A.N.I.M.A. e 15 in comune con l'U.N.I.

Nel 1933 l'A.N.I.M.A. venne commissariata e nel 1934 venne revocato il suo riconoscimento giuridico. La gestione di A.N.I.M.A. – insieme a quella delle altre due associazioni di carattere economico degli industriali meccanici e metallurgici, l'Associazione Nazionale Fascista fra gli Industriali Metallurgici Italiani e l'Associazione Nazionale Fascista fra gli Industriali dell'Automobile – fu affidata a un commissario ministeriale, che portò alla costituzione nel 1935 della Federazione Nazionale Fascista degli Industriali Meccanici e Metallurgici.

Dal 1935 al 1937 il settore della meccanica variò moltissimo e migliorò enormemente la propria produzione, ma tuttavia non fu in grado di fornire tutte le macchine richieste con urgenza per ampliare e rinnovare gli impianti.

Il problema dell'autarchia nell'industria meccanica aveva assunto una dimensione rilevante in relazione al vasto campo che abbracciava. Il settore contava

infatti più di 8.000 aziende, in prevalenza piccole e medie poiché oltre 7.500 occupavano meno di cinquanta dipendenti, con una serie notevole di prodotti destinati agli usi e alle applicazioni più diverse: dagli strumenti di precisione ai giocattoli meccanici, dalla viteria ai mezzi di trasporto aerei, navali e terrestri, dalle minuterie metalliche agli impianti industriali più complessi. Per le costruzioni navali propriamente dette l'autarchia era da tempo raggiunta; così come per il materiale mobile e fisso per ferrovie e tranvie. Le industrie elettrotecniche ed elettromeccaniche avevano ormai raggiunto uno sviluppo tale da assicurare l'autonomia del mercato interno, mentre per il macchinario tessile l'industria meccanica italiana era in grado di fabbricare quasi tutte le macchine di filatura, tessitura e finitura dei tessuti necessarie alle industrie tessili italiane. Infine, per quanto riguardava le macchine e gli attrezzi agricoli, l'industria – sebbene costituita essenzialmente da aziende medie e piccole – produceva tutti i tipi di macchine necessarie all'agricoltura italiana, in misura e con qualità adeguate alle specifiche esigenze delle coltivazioni.

Il 1939 fu l'anno della completa scomparsa di A.N.I.M.A., non solo come organo federale di tipo tecnico-economico ma anche come nome. Furono infatti apportate modifiche sostanziali all'organizzazione degli industriali meccanici e metallurgici, disponendo la revoca del riconoscimento giuridico alla Federazione e concedendo altresì il riconoscimento ai due enti che da essa derivavano: la Federazione Nazionale Fascista degli Industriali Metallurgici – Fedemetal – e la Federazione Nazionale Fascista degli Industriali Meccanici – Fedemeccanici –, che assunse i servizi già affidati ad A.N.I.M.A.

I numerosi Gruppi che costituivano la Fedemeccanici facevano capo a una Segreteria generale, mentre alcuni di essi – e precisamente le fonderie, le costruzioni aeronautiche, le costruzioni navali d'alto mare, le costruzioni radio – possedevano una propria Segreteria particolare. Oltre ai servizi federali di carattere economico per l'interno, esisteva anche una serie di uffici per i rapporti con l'estero: rapporti che traevano origine da un lato dalla necessità di importare materie prime, semilavorati, macchine, apparecchi e loro parti; dall'altro dalla necessità di esportare i prodotti italiani.

Nel 1940 l'Italia entrò in guerra, ma, contrariamente a quanto era avvenuto nel corso del conflitto del 1915-1918, il comparto manifatturiero non fu in grado di sostenere lo sforzo bellico: scelte militari ed economiche errate vennero compiute in un quadro di sostanziale insufficienza organizzativa. L'industria italiana non riuscì a produrre gli armamenti necessari ad alimentare i diversi fronti di guerra, dislocati a latitudini diverse, mentre l'interruzione dei rapporti di mercato con le principali fonti di approvvigionamento di materie prime e con alcuni tra i maggiori

acquirenti delle esportazioni italiane aveva limitato fortemente l'efficienza dell'attività industriale, facendone crollare la produzione.

Ciò nonostante, si stava ormai facendo strada la convinzione che nei settori delle macchine utensili e del macchinario in genere la meccanica italiana si sarebbe definitivamente affermata: la supremazia del lavoro italiano, dei suoi imprenditori, dei suoi tecnici e dei lavoratori si sarebbe manifestata appieno, poiché nel confronto con le industrie straniere tradizionali la produzione nazionale si era già mostrata vincente negli anni passati. Clamorose affermazioni in alcuni settori avevano di fatto capovolto le vecchie posizioni di servitù: nel macchinario elettrico – prima del tutto importato –, nelle turbine idrauliche e in alcune macchine tessili, nelle macchine per la lavorazione del latte e in quelle per cartiere. Questi successi facevano ben sperare anche per le macchine utensili e speciali in genere.

La Fiera Campionaria del 1942, dove faceva poderosa mostra di sé il macchinario italiano, sembrava già indicare la strada giusta.

Da tutto ciò emergeva anche una considerazione importante: per ottenere risultati vincenti le aziende avrebbero dovuto specializzarsi. Avviata la ripresa, nel dopoguerra i mercati esteri avrebbero potuto essere conquistati: era questo l'obiettivo per gli industriali italiani produttori di macchinari negli anni a venire.

*Ricostituzione dell'A.N.I.M.A.: nuova definizione dei Settori e degli obiettivi associativi (1945-1980)*

All'indomani dei tragici eventi bellici A.N.I.M.A. riprende il cammino. Il 25 maggio 1945, 44 rappresentanti in nome di 53 di aziende meccaniche e metallurgiche si riunirono a Milano presso il notaio Piero Maissen e fondarono l'Associazione Industrie Metallurgiche e Meccaniche Italiane (A.I.M.M.I.). Lo scopo dell'Associazione consisteva nell'analisi e nella risoluzione dei problemi tecnici ed economici relativi alla vita aziendale delle industrie metallurgiche e meccaniche italiane. Vi erano rappresentate le più grandi aziende del Paese nel settore meccanico e metallurgico, con esclusione del settore automobilistico. Fra esse le Acciaierie e Ferriere Lombarde Falck, la Ernesto Breda, gli Stabilimenti di Dalmine, la Montecatini Società Generale per l'Industria Mineraria e Chimica, la Fratelli Borletti, le Costruzioni Meccaniche Riva, la Terni Società per l'Industria e l'Elettricità.

Il 27 giugno 1946 si tenne la prima assemblea generale dell'A.I.M.M.I., nel corso della quale fu approvata una delibera che, dal 1° luglio 1946, limitava la competenza dell'Associazione alla sola industria meccanica, con esclusione dell'industria metallurgica ferrosa e di quella non ferrosa, per le quali si sarebbero costituite

associazioni specifiche. Fu solo con l'assemblea del 26 novembre 1946 che l'Associazione riassunse il suo nome tradizionale: Associazione Nazionale Industria Meccanica Varia ed Affine.

Sul piano funzionale l'Associazione diventa ciò che poi resterà: organismo nazionale di rappresentanza di categoria per le aziende meccaniche, diventando presto punto di riferimento nazionale per l'intero settore, a tutela degli interessi, promozione della crescita, sviluppo e aggiornamento tecnologico.

Il 6 agosto 1954, nel corso di una conversazione alla radio, Marconi – in veste di vicepresidente di A.N.I.M.A. – fece il punto sulla situazione dell'esportazione italiana. Il crollo degli ultimi anni era essenzialmente dovuto alla maggiore aggressività della concorrenza straniera che, attraverso sempre crescenti incentivi e sostenuta in diverse circostanze da un'energica azione diplomatica, aveva messo in condizioni di inferiorità le esportazioni italiane.

Il 7 marzo 1955 si tenne, presso l'A.N.I.M.A. una riunione allo scopo di esaminare i criteri formulativi per lo sviluppo dei settori della meccanica varia, collegati alle previsioni generali contenute nel Piano Vanoni. Erano presenti rappresentanti del Ministero dell'Industria e del Commercio, ai quali per il primo quadriennio del Piano l'A.N.I.M.A. – e in particolare i suoi settori specializzati – promise di fornire dati attendibili per lo sviluppo del Piano stesso. In quell'occasione fu evidenziato che la situazione determinatasi nel 1954 in alcuni settori – come quelli delle macchine edili e di sollevamento e delle attrezzature di trivellazione – mostrava una notevole contrazione della produzione a causa del forte calo delle esportazioni e del corrispondente aumento delle importazioni. Tale stato di cose non appariva suscettibile di miglioramento ed era pertanto su questi settori che avrebbero dovuto convergere le maggiori considerazioni del Piano Vanoni.

Nel gennaio 1958 si insediava presso l'I.C.E. (Istituto per il Commercio Estero) la Commissione consultiva per le esportazioni metalmeccaniche.

Il 16 giugno 1958, durante l'Assemblea generale ordinaria dei soci A.N.I.M.A., Briotti annunciò che nel corso del 1957 era stato anticipato di ben sette anni il raggiungimento del traguardo assegnato dal Piano Vanoni alla meccanica italiana per il 1964, essendo stati superati i 400 miliardi di lire di esportazione dei prodotti meccanici. L'industria meccanica varia aveva contribuito in maniera determinante al conseguimento di tale risultato, realizzando oltre un quarto delle esportazioni totali della meccanica.

Uno dei problemi maggiormente dibattuti nelle Relazioni alle Assemblee annuali di A.N.I.M.A., dal 1954 al 1959, era stato quello dell'assicurazione dei crediti derivanti dalle esportazioni, e correlativamente dei finanziamenti per forniture all'estero con pagamento a medio e lungo termine.

La più grave carenza del sistema italiano consisteva nell'essere in contrasto con quella elasticità e rapidità di decisioni che il commercio con l'estero esigeva, dal momento che l'esame dei singoli rischi veniva centralizzato a Roma presso un Comitato interministeriale, con l'obbligo di un iter particolarmente arduo e lento per l'istruttoria delle domande da parte degli esportatori. All'estero tali esigenze erano state pienamente riconosciute. L'A.N.I.M.A. sollecitava inoltre il soddisfacimento di un'altra necessità delle piccole e medie aziende, quella cioè di dare alle imprese possibilità maggiori di quante non ne avessero avute fino ad allora per assicurarsi contro i rischi commerciali ordinari del credito, quelli per esportazioni con pagamento a breve termine (dai 90 ai 180 giorni o a un anno).

A questo proposito l'A.N.I.M.A. istituì un Comitato di esperti di commercio estero, cui parteciparono molti qualificati esponenti.

Nell'ottobre del 1961 si costituì il Comitato Intermeccanico Italiano. Il coordinamento tra le associazioni meccaniche a carattere nazionale aderenti alla Confederazione Generale dell'Industria Italiana non costituiva cosa da poco: infatti attraverso il Comitato Intermeccanico si sarebbe dovuta realizzare quell'unione di intenti comuni fra le rappresentanze associative dell'industria meccanica nazionale che avrebbe consolidato il ruolo di primissimo piano che alla meccanica ormai competeva in Italia.

Il Consiglio direttivo dell'A.N.I.M.A. si riunì il 2 luglio 1963 per procedere alla nomina, ad esso devoluta per Statuto, della nuova presidenza dell'Associazione. Su proposta del presidente uscente Briotti, previa consultazione con i membri del Consiglio, i voti dei consiglieri andarono all'unanimità a favore dell'ingegner Luca Panizza, che tenne l'incarico fino agli inizi del 1972.

Nel corso dell'Assemblea generale dei soci A.N.I.M.A. del 7 luglio 1965, il presidente Panizza ricordò che ricorreva il ventesimo anno della ricostituzione dell'Associazione. Sottolineò come in quel ventennio l'A.N.I.M.A. fosse riuscita a progredire con regolarità e a diffondersi sul piano nazionale, costituendo le Unioni, articolandosi nei Gruppi fino a costituire l'organismo allora conosciuto, potente per numero di associati e autorevole per la vasta gamma delle attività lavorative – molte delle quali ricche di un'esperienza che volgeva al secolo, altre di storia più recente in quanto connesse all'evoluzione della tecnica e delle tecnologie.

Un vecchio problema si sarebbe ripresentato con maggiore vigore, quello cioè delle imprese minori. La competizione sui mercati aperti era sì un problema di prezzi, ma anche di presenza, di organizzazione e di preparazione. Se le imprese di maggiori dimensioni si proiettavano sui mercati con le loro produzioni di massa, a loro volta le imprese minori avrebbero potuto conservare la loro insostituibile funzione solo associandosi per affrontare insieme – pur mantenendo l'autonomia nella produzione e nella conduzione aziendale – i mercati in crescente espansione.

L'esportazione era e sarebbe rimasta, per queste imprese, un fattore fondamentale di vita e di progresso equilibrato: doveva pertanto divenire una costante della loro azione e costituire una valvola continua di sicurezza di fronte alle oscillazioni del mercato interno.

Nell'Assemblea generale dei soci A.N.I.M.A. del 10 luglio 1968, il presidente Panizza dichiarò che la situazione congiunturale mostrava un dato certo: in Italia le industrie producevano ma i costi salivano continuamente, molto più dell'incremento della produttività.

In occasione dell'Assemblea del 25 giugno 1970 il presidente Panizza tracciò un bilancio dell'anno trascorso. L'andamento della meccanica varia durante il 1969 aveva seguito, nelle linee generali, l'andamento dell'industria, pur presentando – data la vasta gamma delle sue specialità – situazioni difformi in relazione alla natura della produzione. Gli investimenti mostravano buoni incrementi nei settori delle macchine per materie plastiche, dei motori, degli impianti di combustione, delle chiusure lampo, con la punta massima nel settore dei compressori. Chiudendo l'Assemblea, Panizza si mostrò preoccupato per la situazione delle medie aziende, soprattutto circa le loro capacità di recupero in seguito all'andamento dell'ultimo quadrimestre del 1969. Dopo le perdite subite a causa di agitazioni e scioperi e riduzione degli orari lavorativi, e tenuto conto dell'aumentato costo del lavoro, delle materie prime e del denaro, era necessario procedere all'impiego di nuovi macchinari più produttivi e tali da modificare sensibilmente il rapporto fra capitali investiti e fatturato per addetto. Le disponibilità delle medie aziende, che da tempo ormai impiegavano le loro limitate risorse, non permettevano la realizzazione di simili iniziative; le forti difficoltà di autofinanziamento e di reperimento sul mercato di capitali di rischio compromettevano in misura sempre crescente la loro competitività.

Nei primi anni '70 subentrò un periodo di recessione che coinvolse le aziende della meccanica, in particolare del settore edile. Il 1971 era stato l'anno più nero, e questo trend continuò nel 1972 e nel 1973. Ciononostante, nel corso del 1972 le vendite all'estero per il complesso delle categorie della meccanica varia, sulla base dei dati Istat, denunciarono un discreto tasso di incremento in confronto agli anni precedenti. Sempre più andava evidenziandosi come l'export rappresentasse un'ancora di salvezza per le aziende della meccanica.

Per il biennio 1974-1975 il Consiglio direttivo del 17 giugno 1974 riconfermò per acclamazione Carletto Grondona presidente dell'Associazione. Nel corso dell'Assemblea generale dei soci A.N.I.M.A. Grondona affermò che il 1973 si era presentato inizialmente come un anno di sviluppo generale, anche se erano già presenti elementi deterioranti quali l'inflazione e la crisi del sistema monetario.

Alla data del 20 giugno 1974 l'A.N.I.M.A. contava oltre 1.000 aziende associate, raggruppate in 54 Unioni di specialità meccanica.

Il 18 giugno 1975 l'Assemblea generale dei soci A.N.I.M.A. festeggiò il trentesimo anniversario della ricostituzione dell'Associazione. Il presidente Grondona delineò il profilo dell'Associazione, sottolineandone alcuni dati significativi: 1.200 aziende associate; 52 settori, ai quali aderivano grandi, medie e piccole aziende, con un volume di produzione valutabile oltre il 70% dell'intera produzione della meccanica varia nazionale. La molteplicità dei settori – e quindi delle problematiche – aveva impresso all'Associazione, nel corso del 1974, un notevole ritmo alle attività, con 650 riunioni di carattere tecnico o economico per la ricerca di soluzioni comuni ai tanti problemi che i singoli settori dovevano affrontare: da quelli della produzione a quelli dell'esportazione, da quelli delle unificazioni a quelli delle varie regolamentazioni normative. A queste riunioni avevano sempre partecipato attivamente gli imprenditori stessi, apportando il prezioso contributo della loro esperienza e della loro competenza professionale.

Al trentesimo dell'Associazione era presente anche il presidente di Confindustria, Giovanni Agnelli, che sottolineò come l'industria meccanica italiana avesse non solo permesso di ridurre rapidamente le distanze dagli altri Paesi più avanzati, ma anche contribuito in modo più che proporzionale all'incremento dell'occupazione complessiva.

Analizzando un arco di tempo più ampio dell'anno in questione, l'industria meccanica varia, nel suo complesso, era venuta assumendo una posizione sempre più rilevante nell'ambito dell'economia nazionale, e in particolare tra le attività industriali. La sua struttura risultava composita e diversificata: prevalevano le aziende di medie e piccole dimensioni, con caratteristiche operative e problemi di organizzazione e di mercato molto differenziati. La produzione spaziava dalle semplici costruzioni di carpenteria ai più sofisticati impianti energetici, ed era sicuramente all'altezza delle economie più avanzate nel mondo. Data la forte diversificazione specialistica dei vari rami del settore, il valore aggiunto delle sue produzioni fluttuava da un minimo del 30% sino all'80%. Proseguendo nel suo compito istituzionale di promozione di iniziative nell'interesse degli associati, l'A.N.I.M.A. si era preoccupata di evitare che in caso di controversie tra aziende si fosse costretti ad adire le vie legali, e ciò sia per il costo sia per la lunghezza della procedura. A tal fine, a cura e in seno ad A.N.I.M.A., nel dicembre 1975 era stato istituito un Comitato Arbitrale che avrebbe provveduto – a richiesta – a organizzare procedure di conciliazione, di arbitrato rituale (cioè disciplinato dalle norme del codice di procedura civile) e irrituale (cioè libero, per risolvere le controversie in via di accomodamento negoziale), e di perizie contrattuali.

L'ingegner Butò, presidente della Commissione A.N.I.M.A. Sviluppo Esportazione, presentò una memoria al Convegno della Federmeccanica sul tema: "Industria Meccanica – ripresa e sviluppo", tenutosi a Firenze il 9 luglio 1975. A suo parere, nell'economia italiana – come nelle economie dei Paesi più industrializzati – il settore dell'industria metalmeccanica si collocava in posizione di particolare importanza per l'apporto offerto all'industria manifatturiera anche in termini di esportazione.

La Relazione all'Assemblea generale dei soci del 1976 evidenziò che, come in tutti i Paesi ad alto livello di industrializzazione, anche in Italia l'industria meccanica possedeva un'ampia capacità di impulso sull'attività di tutto il sistema economico, notevolmente superiore a quella degli altri comparti industriali, contribuendo validamente alla formazione del prodotto lordo dell'industria manifatturiera.

La meccanica varia costituiva un settore misto che toccava sia beni di consumo sia beni di investimento sia beni di consumo durevoli a esso complementari. Produceva macchine e impianti sempre più complessi, più automatizzati e programmabili, che forniva all'industria dei prodotti energetici e a tutta l'industria manifatturiera, e che costituivano elementi essenziali per lo sviluppo delle varie industrie alle quali permettevano di realizzare un alto livello produttivo. La meccanica varia era composta da un elevato numero di aziende (circa 17.000), per la massima parte piccole e medie, spesso caratterizzate da gestione a carattere familiare con una produzione altamente diversificata.

Nell'Assemblea generale dei soci A.N.I.M.A. del 30 giugno 1977 il presidente Grondona dichiarò che la meccanica varia era riuscita a tirare avanti, e in determinati settori abbastanza bene, sorretta in particolar modo dall'esportazione anche se permaneva le annose difficoltà per l'assicurazione e il finanziamento dei crediti all'esportazione.

Luciano Dell'Orto venne eletto per acclamazione presidente per il biennio 1978-1979. Il nuovo presidente, nel sottolineare la considerevole espansione della meccanica varia italiana negli ultimi trent'anni e i ragguardevoli successi ottenuti in campo internazionale, precisò che a tale risultato avevano contribuito tanto la grande quanto la piccola e media impresa – queste ultime prevalenti nel settore, con tutti gli innegabili vantaggi derivati dalla loro agilità e flessibilità, dall'apertura alle nuove tecnologie e dalla ricchezza di spirito imprenditoriale.

La meccanica varia italiana era divenuta in grado di confrontarsi con le più qualificate industrie internazionali, tanto da esportare oltre il 50% della propria produzione, mentre il mercato si era fatto più esigente e richiedeva prodotti sempre più diversificati e sofisticati. Tale esportazione non rappresentava uno sbocco occasionale o sussidiario della capacità produttiva delle aziende del settore, ma costituiva un elemento condizionante della loro attività.

Sempre in relazione allo sviluppo delle esportazioni della meccanica varia, la segreteria di A.N.I.M.A. richiamò l'attenzione degli associati sui servizi che l'ufficio di New York poteva offrire loro, a condizioni particolari, per eventuali contatti con società americane.

*L'A.N.I.M.A. come Associazione (1980-1988)*

Il 31 marzo 1980 venne costituita la Società di servizi dell'Associazione, denominata A.S.A. (Azienda Servizi A.N.I.M.A.) s.r.l., che operava nella stessa sede dell'Associazione e attraverso la quale l'A.N.I.M.A. e le sue Unioni avrebbero potuto continuare a svolgere – nel rispetto delle leggi fiscali e usufruendo di contribuzioni ministeriali altrimenti non ottenibili – quelle attività editoriali e promozionali che gli associati sempre più richiedevano. L'incarico di Amministratore unico dell'A.S.A. fu assunto dal vicepresidente Cominotti.

Sono anni di profonda evoluzione che poi nel 1988 approdano alla trasformazione di A.N.I.M.A. da “Associazione di Imprese” a “Federazione di Associazioni e Unioni” in seno a Confindustria: un passo decisivo che ha messo a disposizione del migliaio di aziende associate – con più di 60 specializzazioni produttive – un “sistema” moderno per raggiungere nuovi traguardi in ambito nazionale ed internazionale.

L'industria italiana era duramente colpita dalla recessione che aveva investito tutti i Paesi industrializzati dell'Occidente, e naturalmente anche la meccanica varia risentiva della difficile situazione in cui versava l'economia nazionale. Il 1981 era stato un anno molto difficile: il quadro operativo entro il quale si era svolta l'attività del comparto era stato caratterizzato da rilevanti difficoltà, dovute soprattutto a fattori esterni che, nonostante gli sforzi delle aziende per contenerne l'impatto, avevano fatto registrare risultanze assai diversificate a seconda della specializzazione merceologica. Solo alcuni rami non erano stati interessati dalla crisi, altri avevano accusato perdite diversificate con cali produttivi anche del 15%.

Nel Consiglio direttivo del 30 giugno 1982 i consiglieri rielessero per acclamazione alla presidenza di A.N.I.M.A. Luciano Dell'Orto. La questione del riassetto della Confindustria venne affrontata nel Consiglio direttivo del 19 maggio 1983. Dell'Orto rimarcò che la problematica in oggetto riproponeva il vecchio tema del doppio inquadramento, ma questa volta in forma impositiva, anche se con gradualità e secondo particolari accorgimenti contributivi. Pur essendo stato sempre favorevole all'inquadramento unico, il presidente osservò che fatalmente l'A.N.I.M.A. – al pari delle altre associazioni di categoria – avrebbe perso tutte quelle aziende che non sarebbero state disposte ad aderire anche all'Associazione

territoriale competente, e che le aziende che sarebbero entrate attraverso le Territoriali non avrebbero compensato un tale esodo.

Se il 1981 era risultato un anno difficile per le aziende della meccanica varia, il 1982 era stato decisamente negativo. Al livello già depresso della domanda interna si era infatti associata una preoccupante flessione delle esportazioni, tradizionale valvola di sfogo della produzione nazionale. Gli ordini erano carenti, il mercato estero asfittico e quello interno pressoché inesistente: le imprese lavoravano alla giornata.

La marcata flessione degli investimenti italiani in macchinari e attrezzature ne aveva fortemente inciso l'attività produttiva. Le aziende del comparto meccanico non avevano mancato di proseguire nella loro azione di penetrazione sui mercati esteri, per assicurare nuovi sbocchi alla loro potenzialità produttiva esuberante nei confronti della ridotta domanda interna, ma avevano soltanto ottenuto compensazioni marginali, risentendo il mercato internazionale del clima depresso degli investimenti presso tutti i Paesi industrializzati. Nonostante la debolezza del mercato mondiale, le caratteristiche qualitative del macchinario offerto dalla meccanica italiana, particolarmente qualificato a soddisfare i bisogni diversificati degli utilizzatori di ogni Paese e, in molti casi, addirittura ad anticiparne le esigenze, aveva permesso al flusso dell'esportazione di mantenere un discreto andamento.

Pur in pieno periodo recessivo, l'industria meccanica dimostrava la sua capacità di tenuta, era al primo posto per l'entità delle esportazioni e contribuiva notevolmente, come era sua tradizione, a ridurre lo squilibrio della bilancia commerciale italiana.

Il 18 dicembre 1985 venne approvato dalla Regione Lombardia il decreto con il quale si riconosceva l'E.F.A., l'Ente Fiere A.N.I.M.A. costituito nel dicembre 1984, ponendo A.N.I.M.A. all'avanguardia anche nel settore fiere. L'Ente aveva per fine esclusivo e statutario l'organizzazione delle mostre specializzate di tutti i settori di A.N.I.M.A.

#### *L'A.N.I.M.A. come Federazione: il percorso e il riconoscimento finale (1987-1997)*

L'8 giugno 1987 il presidente Cazzaniga presiedette l'Assemblea annuale di A.N.I.M.A. Egli osservò che nel corso dell'ultimo decennio era ulteriormente cresciuto il peso dell'Associazione, così come il ruolo che andava svolgendo sulle diverse tematiche che interessavano la vita industriale italiana. Un peso e un ruolo di tutto rispetto che le derivavano anche dalla numerosa rappresentatività settoriale: più di 60 categorie di produzione della meccanica, per un ammontare globale, in termini di fatturato, di oltre 25.000 miliardi di lire e un numero di addetti di circa 238.000 unità.

Il 20 novembre 1987, in sede di Consiglio direttivo, il presidente Cazzaniga rilevò che l'A.N.I.M.A. aveva raggiunto una tale dimensione e una tale articolazione organizzativa da essere in realtà una Federazione di Associazioni più che un'Associazione suddivisa in altre Associazioni, o Unioni o Gruppi. Giungendo alla stessa conclusione, Confindustria invitava l'A.N.I.M.A. a prendere atto della situazione e a disporre le opportune variazioni statutarie. Si trattava di effettuare il passaggio da Associazione a Federazione – da A.N.I.M.A. a FEDERANIMA – come era già avvenuto per altre entità in ambito di Confindustria. L'esame della situazione delle Unioni A.N.I.M.A., effettuato in Comitato di presidenza e Giunta esecutiva, evidenziò la necessità di un'analisi più approfondita, nell'osservanza della volontà del maggior numero possibile di Unioni A.N.I.M.A., dei loro obiettivi e del loro modo di concepire l'Associazione. Successivamente, nel Consiglio direttivo del 29 febbraio 1988, Cazzaniga sostenne che i tempi erano maturi per affrontare la problematica della trasformazione di A.N.I.M.A. da Associazione a Federazione, anche in ottemperanza ai desiderata di Confindustria. Tali orientamenti stavano emergendo da più parti nel mondo associativo, anche in relazione alla fornitura di “servizi” sempre più sofisticati e completi – che richiedevano strutture più snelle e flessibili – a corollario e completamento delle attività istituzionali. Cazzaniga propose di nominare una Commissione di almeno cinque membri, composta da imprenditori, alla quale affidare il compito di studiare in termini pratici e operativi le implicazioni della trasformazione di A.N.I.M.A. in FEDERANIMA.

Su iniziativa di A.N.I.M.A. e in collaborazione con U.N.I. e C.E.I., il 6 dicembre 1988 si costituì l'I.C.I.M. (Istituto di Certificazione Industriale per la Meccanica). L'Istituto si proponeva di definire e gestire un sistema tecnico e organizzativo per la Certificazione a livello nazionale dei Sistemi Qualità, sulla base della normativa I.S.O. 9000 emessa in Italia come U.N.I.-En serie 29000.

Nel corso dell'Assemblea generale del 13 luglio 1992 il presidente Cazzaniga affermò che nel 1991 la recessione si era fatta sentire pesantemente nel comparto della meccanica varia. La produzione era calata rispetto all'anno precedente ed era stata penalizzata da una flessione degli ordini sul mercato interno e, nella prima parte dell'anno, dal rallentamento della domanda estera in conseguenza della Crisi del Golfo. L'occupazione si era ridotta del 4%. Per quasi tutti i settori della meccanica varia la situazione era risultata grave, con eccezione del raggruppamento “impianti, componenti e prodotti per l'edilizia e l'industria” che aveva conseguito un incremento del fatturato.

Un anno dopo, il 5 luglio 1993, Cazzaniga segnalò che la crisi produttiva e occupazionale del 1992 aveva colpito anche il settore della meccanica varia. Le attese di una ripresa formulate nel luglio 1992 e confortate dai discreti risultati di inizio anno erano andate deluse. Sul mercato italiano, al calo degli investimenti in

beni strumentali si era aggiunto infatti il quasi totale blocco delle commesse pubbliche. L'andamento delle esportazioni invece era stato leggermente più favorevole, avendo tratto vantaggio anche dalla svalutazione della lira avvenuta nel settembre 1992.

Nel lasciare dopo un decennio la presidenza A.N.I.M.A., Cazzaniga ricordò le fasi salienti della vita dell'Associazione lungo l'arco degli anni che lo avevano visto alla massima carica associativa. Di tutti gli eventi il più importante era stato senza dubbio la decisione di costituirsi in Federazione, che aveva dato la possibilità di aggregare settori sinergici trasformando piccole entità in gruppi più forti e ponendo le basi dei risultati futuri. La struttura federale aveva dato all'Associazione maggiore peso in Italia e in Europa, e aveva fornito agli associati un servizio più adeguato alle nuove esigenze. Altrettanto importante, proprio per i riflessi sul Mercato Comune Europeo, era stata la costituzione dell'I.C.I.M., una decisione presa quando in Italia si era ancora lontani dall'affrontare seriamente i problemi connessi alla certificazione dei sistemi aziendali di qualità. Con tale decisione l'A.N.I.M.A. aveva anticipato, interpretando la vocazione internazionale dei suoi settori, i dettami della normativa ISO 9000, che sarebbe stata il punto di riferimento dell'industria italiana nella transizione verso il nuovo millennio.

Il nuovo presidente Carle, nella sua relazione all'Assemblea generale del 1995, chiarì che gli imprenditori della meccanica non volevano vedere vanificati i risultati dell'anno precedente. Chiese pertanto al governo una politica più incisiva in appoggio agli investimenti e ribadì la necessità di una proroga della legge Tremonti, attraverso la quale sarebbe stato possibile controbilanciare gli effetti negativi prodotti, nei primi mesi del 1995, dall'aumento del costo delle materie prime.

Nella seduta del 13 giugno 1994 il Consiglio direttivo eleggeva alla carica di presidente di A.N.I.M.A. Enrico Massimo Carle, che sarebbe entrato appieno nel suo ruolo nel successivo Consiglio direttivo del 18 luglio, seguito all'Assemblea generale del 4 luglio. Carle ebbe la presidenza di A.N.I.M.A. dal 1994 al 2000.

Nel giugno 1995 l'A.N.I.M.A. si associò ad ORGALIME, l'organizzazione che riuniva 25 Federazioni industriali di 16 Paesi europei dei settori meccanico, elettromeccanico, elettronico e di lavorazione dei metalli. Le industrie da essa rappresentate erano la realtà produttiva più importante d'Europa, con 7.250.000 posti di lavoro e una produzione di 700 miliardi di ECU, rivolta all'export per il 50%.

Il presidente Carle riportò all'Assemblea generale del 1° luglio 1996 gli enormi risultati raggiunti dalla meccanica varia nel 1995. Il comparto delle macchine e impianti per la produzione di energia e per l'industria petrolifera avevano registrato un apprezzabile incremento della produzione e delle esportazioni. Si era avuto un forte incremento nel comparto delle macchine edili e per la movimentazione delle

merci, con un'impennata dell'export. Ma il vero "terremoto" sui mercati esteri era dovuto al comparto delle macchine e impianti per l'industria alimentare, con crescita altissima dell'esportazione.

*A.N.I.M.A., la Federazione: il potenziamento associativo (1997-2004)*

Nel 1997 ebbe luogo il riconoscimento di A.N.I.M.A. da parte di Confindustria quale Federazione nazionale del settore meccanico. Nel novembre dello stesso anno si tenne a Santa Margherita Ligure una Convention dal titolo "A.N.I.M.A. oltre il 2000", in cui la Federazione si pose l'obiettivo di ricercare nuove strategie per affrontare le sfide del terzo millennio. In quell'occasione si riunirono tutti i presidenti dei vari Gruppi, Unioni e Associazioni che costituivano la galassia A.N.I.M.A., avviando un processo di "rigenerazione" dopo che Tangentopoli aveva sconvolto l'Italia facendo succedere alla Prima la Seconda Repubblica: gli equilibri politici interni erano cambiati, e avevano mutato anche la fisionomia del Sistema Italia. Nel contempo in Europa le varie identità nazionali avevano optato per una sempre più accentuata connotazione comunitaria, avallando addirittura l'introduzione della moneta unica. I mercati non solo delle cose, ma anche delle persone e delle idee, si erano globalizzati. Tali cambiamenti e le relative ripercussioni imponevano nuove strategie operative, pena l'isolamento se non addirittura la scomparsa dalla scena commerciale.

Con questi presupposti l'A.N.I.M.A. si voleva rimettere in gioco, e nella Convention di Santa Margherita intendeva porre le premesse per individuare i nuovi assetti capaci di condurre la Federazione oltre l'anno 2000. Gli obiettivi che A.N.I.M.A. intendeva raggiungere in tempi abbastanza brevi potevano essere così riassunti: comunicare, fare sistema, organizzare, mediare gli interessi associativi e realizzare economie di scala. Si trattava di cinque concetti essenziali da impiegare per difendersi dalle aree di attacco, per adeguarsi all'evoluzione dei mercati e per diventare l'elemento catalizzatore nel settore della meccanica.

Tutti gli industriali associati alla Federazione condividevano l'idea di un "nuovo corso", e per dare corpo al progetto era stato scelto il vicepresidente Gianfranco Pellegrini. Egli sosteneva la possibilità di accorpare decine di Associazioni presenti nell'A.N.I.M.A., assemblando le sessanta entità fino a dimezzarne il numero. Si trattava di un'operazione necessaria per dare alle nuove strutture maggiore funzionalità, più efficienza e una migliore visibilità; in tal modo si sarebbe anche ottenuta una riduzione nel numero delle segreterie. Tale contrazione avrebbe inoltre consentito all'A.N.I.M.A. di realizzare al meglio il proprio ruolo di Federazione sviluppando competenze specifiche di alto profilo: contatti con i Ministeri, con Confindustria, con gli enti formatori nazionali e internazionali, con la

Comunità Europea. Così facendo l'A.N.I.M.A. non si sarebbe più dispersa in una moltitudine di attività e di competenze di mercato che spettavano alle Associazioni, che spesso queste non svolgevano perché troppo piccole o con pochi associati. L'impegno di Pellegrini consisteva nel creare i presupposti affinché si realizzassero le tre condizioni-cardine su cui innestare le nuove Associazioni: avere un numero di soci tale da garantire la sopravvivenza della struttura, disporre di un volume contributivo tale da consentire azioni ad ampio respiro, creare delle segreterie con un numero di operatori adeguato alle necessità. La struttura federativa a sua volta doveva essere in grado di dialogare in tempo reale con le associate, fornendo loro immediatamente servizi proporzionati alle esigenze. Pellegrini sottolineò che non era concepibile operare al di fuori di tali schemi così come non si poteva ammettere che un'organizzazione fosse priva di marketing associativo: l'A.N.I.M.A. aveva individuato tali problemi e si stava muovendo nella direzione della loro soluzione. Pellegrini presentò al Consiglio direttivo del 25 gennaio 1999 un'ipotesi di accorpamento in cui si scorgeva la struttura delle Associazioni nel futuro contesto federale di A.N.I.M.A. Si prevedevano in tutto 17 Associazioni, 15 interne e due esterne. Per tali Associazioni, grazie ai nuovi accorpamenti, si presumeva la presenza di otto segretari.

L'Assemblea generale dei soci di A.N.I.M.A. del 2 luglio 1999 vide il presidente Carle annunciare un miglioramento nel quadro internazionale. La ripresa del Sud-Est asiatico si stava gradualmente diffondendo alle altre economie. Il trend più che positivo degli Stati Uniti proseguiva, e le flessioni produttive nel Sud America risultavano circoscritte e inferiori a quanto temuto. Restavano ancora incerte le prospettive del Giappone e persisteva la fase di debolezza in Europa. Carle riportò i dati di un'analisi richiesta dalla Commissione dell'Unione Europea, dalla quale risultava che l'Europa era il più forte produttore mondiale di macchinario e di manufatti in metallo. Fatto 100 il prodotto europeo, la meccanica statunitense era a quota 91 e quella giapponese a 78; all'interno di questo 100 di output europeo, la Germania rappresentava circa 40, l'Italia 17, Francia e Gran Bretagna 12 ciascuna, e via via calando in misura progressiva per gli altri Paesi. Il sistema Germania esprimeva qualche preoccupazione poiché il suo 40 era in impercettibile ma ineludibile declino, mentre il 17 dell'Italia, anche se lentamente, sembrava aumentare. Il settore delle valvole italiano, che fatturava meno di quello tedesco, aveva superato in valore assoluto l'export della Germania.

Il comparto della meccanica varia aveva chiuso il 1998 ancora positivamente, con un incremento medio della produzione decisamente lusinghiero. Le esportazioni erano cresciute, con una percentuale della quota export sul fatturato totale del 46,7%. Malgrado la loro dimensione medio-piccola e le inefficienze del Sistema Paese, le aziende della meccanica varia avevano dimostrato una capacità

sorprendente nel destreggiarsi tra i vari mercati. Avevano lasciato i mercati asiatici, le cui vendite avevano accusato un forte calo, consolidando la loro presenza in Europa, dove avevano conseguito una crescita, e sviluppando la loro attività sui mercati americani, dove avevano segnato un incremento delle vendite.

In relazione alle continue iniziative informatiche, il presidente Carle volle ricordare che l'A.N.I.M.A., nel 1995, era stata la prima struttura in ambito confindustriale a realizzare un repertorio informatico delle proprie associate. L'impegno era stato notevole, poiché si era dovuto formulare il programma creando un motore di ricerca che lavorasse su un doppio binario: da un lato in base a criteri merceologici e dall'altro in base ai nomi delle società. In pochi mesi l'A.N.I.M.A. si era arricchita di cataloghi elettronici e di pagine dedicate alle varie Associazioni e alle loro attività, e da quel momento l'evoluzione era stata continua: verso la fine del 1999 esistevano circa 2.500 pagine web; a metà 2000 venivano registrati circa 80.000 accessi mensili, il cui valore specifico superava ampiamente quello numerico poiché il sito veniva visitato principalmente nell'ambito del "business to business". Esistevano quindi tutti i presupposti affinché l'A.N.I.M.A. potesse guardare con un certo ottimismo verso quegli scenari informatici destinati a condizionare il futuro.

Nel corso dell'Assemblea generale del 3 luglio 2000, Carle affermò che l'internazionalizzazione dei rapporti era un obiettivo indispensabile per A.N.I.M.A. e per le sue strutture. Egli stesso si era visto affidare per tre mandati consecutivi la presidenza di ORGALIME, che presidiava un settore vitale in continua crescita e con buone prospettive di sviluppo, occupava 8 milioni di addetti e realizzava un fatturato che superava i mille miliardi di euro: più di un quarto dell'intera produzione europea e un terzo della sua esportazione. Dopo il brusco rallentamento del 1998 l'economia mondiale era ripartita a un ritmo superiore alle aspettative. Anche nel 1999 la meccanica varia rappresentata dall'A.N.I.M.A. aveva confermato di essere uno dei settori trainanti dell'economia italiana, con un saldo commerciale fortemente attivo.

Nell'ottobre del 2000 avvenne il cambio della guardia alla presidenza. Dopo sei anni di presidenza Carle venne eletto Savino Rizzio. Nell'Assemblea di inizio 2001 il presidente Rizzio sottolineò che la concorrenza internazionale si faceva sempre più accesa. I vantaggi che un tempo derivavano saltuariamente dalla svalutazione competitiva erano scomparsi. In Italia i costi andavano sempre più allineandosi a quelli medi europei, e la qualità non aveva nulla da invidiare a quella dei competitori: tutto ciò significava prodotti sofisticati e quindi cari. Gli imprenditori della meccanica varia dovevano fare una selezione dei mercati sui quali puntare le risorse per incrementare le esportazioni. Alcuni prodotti in settori di nicchia vedevano le aziende nazionali dominatrici poiché in quei settori la competizione

non era significativa, e i vantaggi dei prodotti italiani derivavano dall'elevata specializzazione o dalla tradizione produttiva legata alla mancanza di concorrenza. La maggior parte dei prodotti italiani incontrava tuttavia una concorrenza agguerrita. Poiché essi erano cari, occorreva cercare di collocarli su mercati disposti a pagarli, sui mercati più sofisticati e più ricchi: i Paesi dell'Unione Europea, il Nord America, il Giappone. Sui mercati dal palato più grezzo si constatava una sempre maggiore presenza di oggetti provenienti da Paesi a basso costo della mano d'opera: oggetti ben lontani dai livelli qualitativi dei prodotti italiani ma adatti ai mercati sui quali venivano collocati. Su tali fattori il presidente invitava a compiere una riflessione approfondita, prima di impostare ricerche di mercato o azioni promozionali collettive.

Nel 2004 i dati congiunturali evidenziavano una moderata crescita per la meccanica varia. I rischi e le incertezze che gravavano sul settore apparivano consistenti, e i problemi non erano solo di carattere congiunturale ma anche di tipo strutturale: mancanza di efficienza, di competitività, di innovazione. Erano questi i problemi da affrontare e risolvere al più presto. Nonostante le difficoltà esistenti, il settore della meccanica varia esportava circa il 50% della propria produzione, pertanto il suo sviluppo non poteva che trovare realizzazione sui mercati esteri. Per questo motivo A.N.I.M.A. aveva deciso di accrescere il proprio impegno a supporto dell'internazionalizzazione delle imprese associate, introducendo uno strumento nuovo che consentisse di abbinare al suo ruolo istituzionale di promotore del "made in Italy" quello concreto di catalizzatore di business per le imprese, soprattutto nei mercati di difficile accesso. L'A.N.I.M.A. aveva scelto la strada degli accordi di collaborazione con partners che già disponevano, nei Paesi selezionati, di una struttura adeguata e collaudata in grado di creare da subito un ponte tra la domanda del mercato e l'offerta delle aziende associate. In tal modo si erano aperte prospettive verso il mercato iraniano e quello algerino. Un ulteriore passo avanti era stato fatto nei confronti dell'immenso mercato russo con un progetto, coordinato da ItalianMec, strutturato per offrire un aiuto concreto alle aziende attraverso la ricerca di opportunità di business o di collaborazione industriale con il supporto alla relativa concretizzazione.

Nel 2014 ricorre il 100° anniversario dalla costituzione di A.N.I.M.A.

*Attualmente:*

- I macrosettori rappresentati da A.N.I.M.A. sono:
- macchine ed impianti per la produzione di energia e per l'industria chimica e petrolifera;
  - montaggio impianti industriali;

- logistica e movimentazione delle merci;
- tecnologie ed attrezzature per prodotti alimentari;
- tecnologie e prodotti per l'industria;
- impianti, macchine prodotti per l'edilizia;
- macchine e impianti per la sicurezza dell'uomo e dell'ambiente;
- costruzioni metalliche in genere.

Il settore meccanico occupa attualmente circa 195.000 addetti per un fatturato di oltre 43 miliardi di Euro e una quota export/fatturato del 57%.

RAPPRESENTANZA all'interno dei tavoli istituzionali  
PROMOZIONE della meccanica in generale e dei comparti che la compongono  
CULTURA delle tecnologie meccaniche rappresentate da A.N.I.M.A. attraverso la  
diffusione di una corretta informazione

A.N.I.M.A. promuove, tutela e rappresenta istituzionalmente gli interessi collettivi della categoria attraverso:

- collaborazione con enti di normazione;
- valorizzazione dei prodotti meccanici italiani in Italia ed all'estero;
- sensibilizzazione degli organismi europei alle problematiche energetiche, ambientali e di sicurezza;
- costituzione di partnership con altre associazioni o Federazioni;
- sviluppo della collaborazione tecnica, scientifica ed economica tra gli associati;
- promozione della collaborazione consultiva ed operativa alle associazioni;
- sviluppo sinergie inter-associative sui tavoli di lavoro istituzionali, tecnici e normativi nazionali ed esteri;
- risoluzione di problemi tecnici, legali, economici, fiscali (sportelli area tecnica, tutela legale, ufficio studi etc.);
- attivazione di conciliazione in caso di contrasti;
- percorso di orientamento delle imprese associate per la costante formazione del proprio personale e la certificazione dei prodotti (es. Formamec per la formazione e Pascal per la certificazione di attrezzature a pressione).

## L'industria meccanica nel Meridione d'Italia

### Filosofia, scienza ed attività produttive industriali nel Meridione, nei secoli XVII, XVIII e XIX

Prima di entrare nel vivo della narrazione di ciò che costituì le origini e, quindi, lo sviluppo dell'industria meccanica nel Mezzogiorno d'Italia, è opportuno premettere una breve riflessione sul contesto culturale che, nei secoli XVII, XVIII e XIX, accompagnò il cammino di questa parte d'Italia verso lo sviluppo industriale, dopo che esso era stato già avviato in anticipo, e con ben altra incisività, in Inghilterra, in Francia ed in Germania.

La nascita dell'industria è indissolubilmente legata alla nozione di progresso scientifico che solo con Francesco Bacone trova la sua prima e chiara formulazione<sup>1</sup>. Lo stabilirsi, quindi, di connessioni sempre più strette tra il sapere tecnico ed il sapere scientifico che venne a determinarsi agli inizi dell'era moderna è da considerarsi non solo uno degli aspetti centrali e fondamentali della nuova cultura, ma anche il primo germe del passaggio dalle attività umane di tipo artigianale a quelle industriali. Questa generale considerazione in modo assai peculiare riguarda l'industria meccanica che, nella concezione del pensiero moderno, nasce proprio con l'affermarsi della dinamica, scienza della natura. A partire da Galileo, infatti, la meccanica può studiare il movimento dei corpi, ma solo con Cartesio e Newton, grazie all'esatta formulazione del principio d'inerzia, diviene chiaro che la materia è priva di attività propria. Gli oggetti meccanicistici, e, quindi, le macchine, secondo Cartesio, sono appunto caratterizzati da due soli parametri essenziali che possono sinteticamente ridursi alla materia ed al movimento. Con Cartesio la filosofia diviene dispensatrice di benefici alla vita pratica degli uomini, proprio grazie allo sviluppo delle arti meccaniche. In breve tempo, poi, queste ultime acquisiranno anche la caratteristica della precisione che, di fatto, era sconosciuta prima di allora. Quest'ultima affermazione corrisponde a verità, anche se, a prima vista, potrebbe anche essere possibile ritenere che il requisito della precisione sia già stato proprio degli orologi meccanici che, com'è ben noto, risalgono agli albori del XIII secolo. Ma, pur trattandosi di meccanismi ingegnosi, capaci di riprodurre il moto degli astri, di muovere figure e produrre suoni di *carillons* per scandire le ore, occorre rilevare come quei manufatti, in realtà,

---

<sup>1</sup> Rossi 1976, pp. 68-102.

fossero invece intrinsecamente carenti proprio per quanto riguarda la precisione<sup>2</sup>. Solo con Galileo e con Huygens, invece, la scienza indusse la tecnica a ricercare soluzioni capaci di far fronte alle concrete esigenze di precisione. A questo l'astronomia contribuì in modo particolare giacché essa era indispensabile alla navigazione oceanica<sup>3</sup>, per le cui esigenze, infatti, occorreva la determinazione precisa del punto nave. I trasporti marittimi, infatti, potevano agevolmente affrontare le distanze tra i continenti, grazie al notevole miglioramento raggiunto dalle navi sia per le caratteristiche costruttive sia per quelle veliche<sup>4</sup>. A partire dal quadrante di Davis del 1549, fino all'ottante di Hadley del 1731, che fu l'antesigano del sestante, gli strumenti nautici concepiti per misurare l'altezza dei corpi celesti sull'orizzonte richiedevano, però, l'esatta conoscenza dell'ora solare. Occorrevano, quindi, cronometri che assicurassero un requisito fino ad allora inedito, proprio quello della precisione. Fu sulla spinta di questa esigenza che gli scienziati ed i costruttori furono allora indotti ad impegnarsi per realizzare i cronometri che occorrevano. L'industria meccanica, quindi, a partire dal XVII secolo, con il contributo dei 'grandi orologiai-scienziati'<sup>5</sup>, poté avvalersi della precisione che da allora, consapevolmente, sempre più divenne essenziale requisito funzionale delle macchine.

Al dibattito sull'affermarsi della scienza nuova nell'Italia meridionale, alcuni filosofi, che a quel tempo, però, non si distinguevano facilmente dagli scienziati, diedero certamente il loro valido contributo e lo fecero partecipando da protagonisti nella cultura europea. Senza voler minimamente avere la pretesa di addentrarsi su questo terreno, basterà ricordarne, tra gli altri, solo alcuni, quelli che nel Meridione d'Italia maggiormente contribuirono a preparare le basi culturali dell'epocale, ed ormai prossimo mutamento della comunità dei mestieri nella società delle industrie: Giordano Bruno, Giambattista Della Porta, Tommaso Campanella, Giambattista Vico, Antonio Genovesi.

---

<sup>2</sup> È anche facile spiegare come ciò si verificasse: finché la vita degli uomini prevalentemente continuò a svolgersi, di stagione in stagione, nelle attività dell'agricoltura, secondo il fluire del tempo vissuto, la nozione stessa di precisione, giacché non costituì mai un'impellente necessità, non fu né compresa né tantomeno studiata.

<sup>3</sup> Dopo la scoperta dell'America, i traffici marittimi tra i continenti, infatti, erano divenuti ormai una necessità irrinunciabile nella competizione politica ed economica tra le principali nazioni d'Europa. A questa competizione era anche strettamente collegato l'interesse militare e commerciale di poter disporre di potenti ed efficienti flotte di navi a vela, quelle da guerra armate di innumerevoli bocche da fuoco, in ogni caso capaci di navigare, senza fare scalo, per molti mesi.

<sup>4</sup> Cipolla 1999, p. 42.

<sup>5</sup> Non è un caso che Christian Huygens abbia scritto nel 1657 il primo libro sul calcolo della probabilità, *De ludo aleae* e l'anno successivo l'opera *Horologium Oscillatorium sive de motu pendulorum* e che Robert Hooke sia stato l'inventore del bilanciere e della molla di carica per gli orologi, della ruota dentata elicoidale e lo scopritore della legge sul comportamento elastico dei corpi, *ut tensio sic vis*.

Giordano Bruno (Nola 1548 - Roma 1600), con l'accettazione entusiastica della teoria copernicana basò la sua concezione filosofica sull'idea dell'unità e dell'infinità del creato, contro le concezioni cosmologiche tolemaiche ed aristoteliche. Il lavoro delle mani, "le sollecite ed urgenti occupazioni", le industrie e le arti furono ritenute da Bruno strumento per allontanare l'uomo dalla condizione bestiale ed avvicinarlo a Dio<sup>6</sup>. Per aver sempre difeso strenuamente le sue idee, il filosofo di Nola fu condannato al rogo come eretico e pagò con la vita, pur di non rinunciare alla sua libertà di pensiero.

Giambattista Della Porta (Vico Equense 1535 - Napoli 1615), fu dapprima amico di Galilei ma, successivamente, lo accusò di plagio per la realizzazione del cannocchiale. Nella sua opera del 1593, *De refractione* il Della Porta aveva discusso delle caratteristiche di rifrangenza delle lenti, ma in realtà non si adoperò mai per trarre dai suoi studi qualsivoglia idea concretamente costruttiva. Oltre che di medicina, di astrologia, di letteratura, si occupò di ottica, di magnetismo e di meccanica, concepì la camera oscura e la lanterna magica. Il descrivere scoperte che sarebbero avvenute solo molti anni dopo fu davvero una sua singolare caratteristica. Con sorprendente precisione, infatti, riuscì a presagire non solo la realizzazione dei modelli tridimensionali della Realtà Virtuale, ma nella sua opera *De spiritualibus*, del 1601, descrisse perfino una macchina a vapore. Nel 1610 il Della Porta fu invitato dal principe Federico Cesi a far parte dell'Accademia dei Lincei, da lui appena fondata. Il Della Porta aveva conosciuto il giovanissimo Cesi a Napoli, nel 1603 e tra l'anziano scienziato ed il nobile romano «era nata una fervida simpatia, mista di reciproca ammirazione»<sup>7</sup>. Della Porta fu uno scienziato di dimensione europea tanto che la sua opera più conosciuta, *Magia Naturalis, sive de miraculis rerum naturalium, libri viginti*, fu pubblicata dall'editore Samuel Hempelius a Francoforte, nel 1607, dopo che in numerose edizioni, a partire da quella in quattro libri del 1585, essa era già stata stampata a Napoli.

Il Della Porta fu in rapporto d'amicizia con Tommaso Campanella (Stilo, Reggio Calabria 1568 - Parigi 1639) che certamente ne subì l'influenza. Proprio di Tommaso Campanella è il primo riconoscimento della dignità del lavoro e delle arti meccaniche in un'epoca in cui la sua affermazione che segue, a dir poco, appariva dirompente: «E quello è tenuto in più gran nobiltà che più arti impara e meglio le fa. Onde ridono di noi che gli artefici li chiamiamo ignobili, e diciamo nobili quelli che nell'arte imparano e stanno oziosi»<sup>8</sup>. Il frate filosofo di Stilo, con Francesco Bacone, definitivamente sancì la fine della tradizionale separazione tra arti

---

<sup>6</sup> Rossi 1976, p. 84.

<sup>7</sup> Morghen 1972, p. 20.

<sup>8</sup> Campanella 1941, pp. 64-67.

speculative ed arti meccaniche. Luigi Firpo, in una sua recensione della Città del Sole del 1942, ebbe a scrivere di Campanella:

La sua Città del Sole è piena di intuizioni geniali, di visioni ardite di mutamenti sociali e lo pone tra i massimi precursori del pensiero moderno. La Città del Sole offre straordinarie sorprese in direzioni assolutamente impensabili nel tempo in cui il frate viveva; tanto che si può addirittura parlare, nel suo caso, di vere scoperte e definire la sua funzione come lievito della vita italiana<sup>9</sup>.

In un rapido cenno sull'evoluzione del sapere scientifico a Napoli non può mancare il ricordo di Giambattista Vico (Napoli 1668-1744, Fig. 1), nonostante alcune tesi, talvolta autorevoli, che hanno considerato il grande filosofo come l'esponente di un attardato umanesimo platonico e neoplatonico e il progenitore di un presunto carattere antiscientifico della cultura napoletana. Tesi confortata dalla polemica di Vico con Cartesio. In realtà la posizione di Vico non è estranea alla consapevolezza settecentesca della crisi epistemologica della rivoluzione scientifica. La critica di Vico alla matematica, oltre la scoperta del carattere formale della matematica, è volta a rifiutare ogni forma di ontologizzazione della matematica, ossia il rifiuto della metafisica della scienza che concepisca un universo-macchina tutto calcolo e tutto calcolabile, che finisce per marginalizzare i valori e il senso della vita storica, le esigenze e i bisogni degli individui concreti. In altre parole Vico respinse l'idea della possibilità di costruire a priori il sistema del mondo, anche della scienza, che avesse in sé un imprescindibile criterio di razionalità e di verifica razionale dei propri calcoli. In tal senso è possibile dire che esiste una sostanziale e sotterranea alleanza tra la ragione matematica galileiana e la ragione storica vichiana in quanto entrambe credono nella conoscenza come scienza dei fenomeni. L'alleanza galileiana tra matematica e fisica e l'alleanza vichiana tra filosofia, filologia e storia mirano entrambe alla fondazione di una conoscenza come pensabilità dei fenomeni nella loro positività e specificità. In questo senso va la contrapposizione concepita da Vico di Bacone a Cartesio, perché l'interesse di Vico non è rappresentato dall'io penso ma dallo stabilire come il pensiero si fa, non dall'osservare semplicemente il fatto, ma esaminare come il fatto si fa (*verum ipsum factum* e *verum et factum convertuntur*). Da qui la possibilità di fondare una rinnovata idea della scienza (anche le scienze che oggi chiamiamo tecnologiche) nel suo carattere sociale, di risposta agli interessi sociali degli uomini. Ecco perché Vico fu una presenza importante anche nell'illuminismo riformatore napoletano, a iniziare da Antonio Genovesi, che poté richiamarsi alla "filosofia politica" vichiana contro la "filosofia monastica".

---

<sup>9</sup> Firpo 1942, p. 91.

**Figura 1.** Ritratto di Giambattista Vico, Olio su tela mm 600 x 460, copia da un originale attribuito a Francesco Solimena. Fonte: Lomonaco Fabrizio, *Nuovo contributo all'iconografia di Giambattista Vico (1744-1991)*, Guida Editori, Napoli, 1993, p. 36.



Antonio Genovesi (Castiglione, Salerno 1713 - Napoli 1769) fu influenzato dalle opere di Cartesio, Locke Newton ed Helvétius. Nel 1754 fu il primo titolare in Europa dell'insegnamento di "Commercio e Meccanica" di cui aveva la cattedra nell'Università di Napoli. Studiò le riforme da introdurre nel Regno di Napoli e negli anni dal 1765 al 1767, su questo tema scrisse l'opera in due volumi *Lezioni di commercio ossia di economia civile*. Il Genovesi fu uno dei primi studiosi che s'impegnò ad approfondire i nessi che sussistono tra principi morali, sviluppo economico e mutamenti sociali e per questo motivo è apparso opportuno farne menzione.

Su queste basi si poterono realizzare nel corso del Settecento riformatore, una serie di riflessioni e di istituzioni scientifiche, che fecero di Napoli un centro culturale paragonabile a Parigi o a Londra. Purtroppo, con il fallimento del 'dispotismo illuminato' e del 'riformismo', con la 'paura' della rivoluzione, questo processo si illanguidì, nel senso che alla riflessione filosofica e scientifica non tenne seguito la dimensione produttiva e la creazione di strutture indispensabili per il progresso della scienza contemporanea, tanto che Napoli poté vantare 'primati' incapaci di fare 'sistema' e, dunque, di tradursi in produttività socio-economica.

La città partenopea, in realtà, anche nei secoli precedenti, aveva sempre avuto ben radicate tradizioni culturali. Basterà considerare che a Napoli, fin dal XV secolo, quando regnava Alfonso D'Aragona, era sorta la più antica accademia italiana, la Pontaniana, anteriore, sia pure di pochi anni alla Romana ed alla Medicea<sup>10</sup>.

Tenendo conto di quanto fin qui è stato scritto e considerando ciò che avvenne, a partire dal XVIII secolo, nel Regno delle Due Sicilie, se ne può dedurre che ivi

<sup>10</sup> Nicolini 2012, p. 1.

sussistessero tutte le condizioni favorevoli perché lo sviluppo dell'industria meccanica si verificasse. Questa assunzione, peraltro, è suffragata dall'interesse dimostrato dai regnanti, in più occasioni, tra il XVIII ed il XIX secolo, nel promuovere e favorire il progresso tecnico e manifatturiero di questa parte d'Italia. Alcune significative realizzazioni, che richiedevano conoscenze che per l'epoca erano di avanguardia e diffuse capacità tecnologiche lo dimostrano inequivocabilmente. Di esse basterà ricordare le più significative. Nel 1734 Carlo III di Borbone e la Regina Maria Amalia di Sassonia istituirono nella Reggia di Capodimonte *La Real Fabbrica delle Porcellane*. Questa, che venne dopo quelle di Sevrés nella Francia di Colbert e quelle di Meissen nella Sassonia di Augusto il Forte, fu solo la prima delle Manifatture Reali. I sovrani del Regno, con l'istituzione delle *Reali Manifatture* non si limitarono solo a promuovere la produzione delle porcellane, ma vollero anche quelle degli arazzi, delle pietre dure, dei cristalli e delle armi bianche e da fuoco, Fig. 2. Al successo delle porcellane di Capodimonte contribuirono in modo determinante gli esperti di mineralogia, di chimica ed i decoratori che sostennero l'opera di Carlo Joan Ioachin de Montealegre, primo ministro e consigliere di Carlo III<sup>11</sup>. Oltre ai prodotti delle *Reali Manifatture* occorre ricordare che Napoli, fin dai tempi del vicereame, era sede di almeno quattrocento botteghe artigiane che producevano oggetti di oreficeria e di argenteria di squisita fattura in notevoli quantità e di un numero altrettanto rilevante di mobilifici la cui produzione, di gran pregio, è ancora oggi testimoniata dalle collezioni museali, dai cataloghi del mercato antiquario e dalle esposizioni d'arte<sup>12</sup>. Le ambizioni di progresso del Regno non si limitarono solo alla produzione delle Manifatture Reali, ma riguardarono anche grandi opere pubbliche e capolavori architettonici. Delle prime sono testimonianza le importanti opere di bonifica delle paludi Sipontine (Manfredonia), di quelle di Brindisi, del bacino inferiore del Volturno, dei Regi Lagni e del Simeto. Questi lavori pubblici contribuirono al recupero di considerevoli estensioni di territorio che furono destinate all'agricoltura ed all'allevamento del bestiame. Per le seconde basterà ricordare la realizzazione della Reggia di Caserta, opera del Vanvitelli<sup>13</sup>, quella del Real Albergo dei Poveri, progettato da Ferdinando Fuga e voluto da Carlo III di Borbone per rimediare «a tutti quei disordini che derivano dai tanti poveri che inondano questa

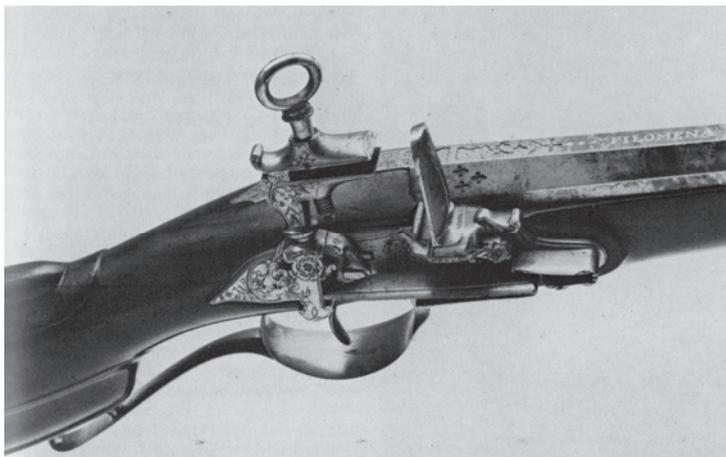
---

<sup>11</sup> Perrotti 1986, p. 34.

<sup>12</sup> A documentare il pregio e la bellezza dei prodotti delle manifatture napoletane vi sono i cataloghi delle celebri mostre "Civiltà del Seicento a Napoli", "Civiltà del Settecento a Napoli", "Civiltà dell'Ottocento a Napoli dai Borbone ai Savoia", tenute a Napoli negli anni '80.

<sup>13</sup> Vanvitelli 1756. Con questo volume l'architetto presentò ai sovrani, come era d'uso a quel tempo, il suo progetto corredandolo di splendidi disegni con viste, piante e sezioni che empiricamente anticipavano il metodo delle proiezioni ortogonali di G. Monge.

popolosissima città», così il re scriveva nell'editto istitutivo del 25 febbraio 1751<sup>14</sup>, e la costruzione del Teatro San Carlo, ancora oggi uno dei templi mondiali della musica. Il Teatro, opera dell'Architetto Giovanni Antonio Medrano, venne realizzato dall'imprenditore Carasale in soli nove mesi: il lavoro ebbe inizio il 4 marzo 1737 e la struttura fu inaugurata il 4 novembre dello stesso anno, in occasione della ricorrenza dell'onomastico del re<sup>15</sup>. I disegni originali del S. Carlo furono inclusi nell'*Encyclopédie*, come caso esemplare di architettura teatrale<sup>16</sup>.



**Figura 2.** Reale Manifattura delle Armi, Archibuso. Fonte: *Civiltà del 700 a Napoli 1734-1799* Vol. II, Centro Di, Firenze, giugno 1980, p. 175.

Di quel periodo storico del Meridione d'Italia vanno anche ricordati i fermenti culturali e le attenzioni che furono rivolte alla ricerca scientifica in altri differenti settori dello scibile umano. La prima importante istituzione scientifica napoletana fu il Museo Mineralogico, fondato il 28 marzo 1801 da Ferdinando IV di Borbone. Esso, come allora, ha ancora oggi sede nel grande salone che in origine era biblioteca del Collegio del Salvatore, appartenuto all'ordine dei Gesuiti. Il Museo Mineralogico fu una struttura espressamente voluta per sostenere, con la conoscenza scientifica, lo sfruttamento delle risorse minerarie. A quei tempi, infatti, per 'Museo' s'intendeva gabinetto di ricerca e non appariva ancora ben delineata la distinzione tra mineralogia e scienze minerarie.

Il 18 maggio 1809 fu inaugurato il grande Orto botanico, ancora oggi il più grande d'Italia, che occupa circa dodici ettari ed è situato tra via Foria e la collina di

<sup>14</sup> D'Arbitrio 1999, p. 15.

<sup>15</sup> Cantone 1987, p. 45.

<sup>16</sup> Cantone 1987, pp. 50-51.

Capodimonte. L'istituzione dell'orto botanico fu l'atto conclusivo di una lunga tradizione di studi e di ricerche botaniche che avevano avuto inizio con Tommaso Donzelli, Domenico di Fusco e Ferrante Imperato nel XVII secolo e che nel XVIII secolo avevano avuto in Domenico Cirillo uno dei maggiori esponenti. Il Cirillo, che fu condannato al patibolo perché colpevole di aver preso parte ai moti del 1799, aveva già raggiunto grande notorietà e successo professionale come medico, quando cominciò a coltivare per diletto gli studi di botanica e divenne scienziato di fama internazionale<sup>17</sup>. Per ricordarlo l'Università degli Studi di Napoli Federico II ha pubblicato nel 2005 un prezioso volume che comprende le copie anastatiche delle due raccolte di disegni botanici che il Cirillo aveva di sua mano eseguito e fatte stampare a Napoli nel 1788 e nel 1792<sup>18</sup>. Nel 1819, dopo la restaurazione borbonica, fu inaugurato l'Osservatorio Astronomico di Capodimonte che era stato istituito con decreto di Giacchino Murat nel 1812: ancora oggi questa istituzione gode di ben consolidato prestigio in ambito internazionale. Sul frontone d'ingresso dell'edificio neoclassico dove ha sede l'Osservatorio si legge la scritta: *FERDINANDUS I ASTRONOMIAE INCREMENTO ANNO MCIIIIXIX*. Nel 1841 sorse ad Ercolano l'Osservatorio Vesuviano, la prima struttura scientifica nel mondo realizzata per lo studio dei fenomeni vulcanici. A Napoli, il 20 settembre 1845, il grande salone dell'ex biblioteca dei Gesuiti accolse il VII Congresso Scientifico Italiano, a cui parteciparono ben 1.408 scienziati. Proprio durante il convegno, il giorno 28, fu inaugurato l'Osservatorio Meteorologico alle falde del Vesuvio.

Se quello appena descritto era il clima culturale dell'epoca, occorre anche dire che allo sviluppo della nascente industria meccanica nel Mezzogiorno concorsero anche la presenza di altre attività produttive, buona parte delle quali erano già avviate in precedenza, che operavano con successo sul territorio, spesso con il contributo di investitori e di competenze tecniche venute dall'estero. Nel secolo XIX il Regno delle Due Sicilie, infatti, divenne luogo di attrazione di capitali stranieri e certamente i governanti non posero nessun genere di ostacolo a queste presenze. Anzi, c'è chi sostiene che le incoraggiarono e le favorirono con lungimiranza. Con gli investimenti, arrivarono nel Regno anche le migliori tecnologie e competenze d'Europa. I primi insediamenti industriali stranieri, all'inizio del secolo, furono quelli svizzeri, e si verificarono nel settore tessile, al tempo settore tecnologico d'avanguardia. La migrazione di tessitori svizzeri in Campania fu anche dovuta alla difficoltà nel rifornimento delle materie prime di cui soffriva il settore tessile elvetico durante il 'blocco continentale' napoleonico che

---

<sup>17</sup> De Sanctis 1986, p. 80.

<sup>18</sup> De Luca 2005.

impediva le esportazioni di filati dall'Inghilterra<sup>19</sup>. Tra i primi svizzeri ad intraprendere la produzione tessile nel Meridione d'Italia furono i banchieri Meuricoffre ed il tessitore Giovanni Giacomo Egg. Quest'ultimo nel 1812 ottenne in concessione dal governo un vecchio monastero a Piedimonte d'Alife che, in breve, riuscì a trasformare in un importante opificio che dava lavoro a 1.300 operai. Dopo Egg, altri tessitori svizzeri, incoraggiati dal successo del loro connazionale, si trasferirono nel Regno delle Due Sicilie. Occorre anche considerare che nell'agro campano era fiorente la coltivazione del lino e della canapa, nella zona vesuviana quella del cotone e che in Abruzzo si produceva in abbondanza lana di buona qualità. La migrazione di svizzeri ed anche di tedeschi nel Regno delle Due Sicilie non si limitò soltanto al settore tessile: nello stesso periodo anche i ben noti pasticceri Cafilisch s'insediarono a Napoli ed a Palermo<sup>20</sup>. È altresì opportuno sottolineare che quando arrivarono gli investitori stranieri l'industria tessile nel meridione d'Italia già esisteva ed aziende tessili 'autoctone', come quelle dei Sava, Zino, Manna e Polsinelli, che già operavano in Terra di Lavoro, come anche in altre province del regno. Manifatture che producevano tessuti Jacquard, unici per il loro pregio, erano ubicate a San Leucio, presso Caserta, dove avveniva la produzione di broccati e damaschi in seta; produzione che ancora oggi avviene, con l'impiego degli originali telai in legno del XIX secolo<sup>21</sup>. Lavorazioni di tessuti in seta avvenivano anche negli stabilimenti Fenizio di Catania. Altri industriali della seta siciliani erano Barbera, La Presa, Gargiulo e Iaccarino e le loro produzioni, in buona parte, erano esportate con successo nelle Americhe<sup>22</sup>. In Basilicata, negli stabilimenti di Potenza e San Chirico Raparo, e in Calabria a Catanzaro, avvenivano lavorazioni di cotone, seta e lana. In Molise era per lunga tradizione sviluppata la produzione di lame e di altri prodotti metallici. Nelle valli del Liri e del Fibreno era inoltre concentrata l'industria cartaria, che tuttavia era ben presente anche in altre zone del regno<sup>23</sup>. All'epoca dell'unificazione la produzione della carta nel Mezzogiorno copriva più di un quarto dell'intera produzione italiana ed occupava in questo settore 4.800 unità lavorative<sup>24</sup>. Sempre nella prima metà dell'800, anche nella provincia di Bari ed in altre zone della Puglia, grazie all'apporto non solo di capitali, ma anche di competenze tecnologiche straniere, si ebbe un avvio di

---

<sup>19</sup> Wenner 1953, p. 10.

<sup>20</sup> Calabrese 2007, p. 152.

<sup>21</sup> La maggior parte dell'attuale produzione artistica di questi opifici è destinata alla sostituzione dei tessuti originali negli arredamenti di palazzi reali, di dimore storiche e di musei. Le bandiere nazionali che sventolano a Buckingham Palace ed alla Casa Bianca sono realizzate con le sete di S. Leucio.

<sup>22</sup> Durelli 1859, p. 347.

<sup>23</sup> De Crescenzo 2002, pp. 58-62.

<sup>24</sup> Dell'Orefice, p. 172.

sviluppo industriale. Tra le aziende di maggior rilievo, nel settore tessile, sono da ricordare i lanifici Nickmann e le filande Marstaller, le quali, oltre a produrre tessuti, si occupavano dell'esportazione di olii, vini e mandorle in Germania. Nel settore metallurgico a Bari già operavano le officine Lindemann, che, oltre alla produzione metallurgica (impianti per le lavorazioni dello zolfo, gasometri, macchine agricole, infissi per grandi edifici, caldaie e motori navali), assunsero anche il ruolo di fabbrica agro-chimica nei processi di estrazione degli olii e nella fabbricazione di saponi. Grazie a queste attività, nelle città pugliesi, si verificò tutta una fioritura di piccole industrie legate soprattutto alla produzione agricola: vi si costruivano molini, macchinari per la lavorazione dei filati, per la produzione degli olii, del vino e dei saponi. L'industria cotoniera più importante del Regno venne a collocarsi, in prevalenza, nella provincia di Salerno ad opera dei tecnici e dei banchieri svizzeri, dei quali, i più noti ed importanti, furono Escher, Zueblin, Vonwiller. Nacque così nella valle dell'Irno quel nucleo d'industrie che ancora nel secolo scorso, con Le Manifatture Cotoniere Meridionali, costituiva una realtà produttiva di assoluta rilevanza nel pur progredito e ben sviluppato settore tessile italiano<sup>25</sup>. Lo sviluppo delle industrie tessili fu importante, poiché esso favorì una significativa presenza di officine meccaniche e di fonderie che lavoravano, nell'impiantistica e nelle riparazioni, a supporto delle filature e delle tessiture ed è anche per questo motivo che esso è stato ricordato. Una di queste aziende, Le Fonderie di Salerno, ancora oggi è operante. Essa nacque nel 1836 per iniziativa di un gruppo imprenditoriale svizzero ed uno tedesco che costruirono un insediamento industriale costituito da fonderia, officina meccanica e manifattura per la produzione di tessuti, in località Capezzano di Pellezzano. Per ovvi motivi di incompatibilità bellica, durante la prima guerra mondiale la componente tedesca fu costretta a cedere la propria quota al gruppo svizzero che, essendo 'neutrale' ebbe possibilità di conservarne la proprietà. Nel 1935 il gruppo svizzero cessò l'attività dell'officina meccanica e cedette l'attività della fonderia ad un gruppo italiano. La nuova denominazione fu Fonderie di Salerno SpA che divenne licenziataria della Ghisa Meehanite. Nel 1992 le Fonderie di Salerno SpA si trasformarono in Fonditori di Salerno ScpA, sempre nella sede di Fratte. Dal 2005, l'azienda è stata localizzata nell'Area di Sviluppo Industriale del Comune di Salerno in un impianto che si estende su una superficie di circa 80.000 metri quadri, di cui circa 20.000 coperti.

Anche l'industria alimentare, contribuì a favorire lo sviluppo della impiantistica e della meccanica. Essa era legata ad una significativa e qualificata produzione di olio, vino e grano duro. I pastifici, in particolare, erano diffusi su tutto il territorio del regno (la maggiore concentrazione si verificava nella provincia di Napoli tra Torre Annunziata e Gragnano), ma erano presenti anche in Lucania, in Puglia ed in

---

<sup>25</sup> Croce 2002, pp. 528-530.

Calabria<sup>26</sup> con esportazioni di pasta lavorata che interessavano sia diversi stati europei, sia gli Stati Uniti d'America. Il nome della famiglia Florio, in Sicilia, era già noto nel mondo per la qualità delle sue produzioni vinicole e conserviere. Oltre alla presenza di queste realtà industriali, che per l'epoca risultavano certamente di una certa rilevanza, occorre anche ricordare alcune realizzazioni che testimoniano come nel Regno vi fosse una considerevole attenzione per ogni genere d'innovazione. Nel 1837 Napoli fu la terza capitale in Europa, dopo Londra e Parigi, ad avere le strade illuminate con 350 lampade a gas<sup>27</sup>. Nello stesso anno, venne installato a Nisida il primo faro lenticolare a luce costante<sup>28</sup>. Fari dello stesso tipo furono installati negli anni successivi lungo le coste del regno. A Castellammare fu varata il 24 ottobre 1843 la prima nave da guerra a vapore, la fregata a ruote Ercole, progettata e costruita interamente nel Regno.

Le navi da guerra del regno delle Due Sicilie furono le prime ad entrare nei porti statunitensi e dell'America del Sud, nel corso delle crociere di addestramento per gli allievi dell'Armata di Mare. Nel maggio del 1847 fu varata, per la prima volta in Italia, una nave a propulsione ad elica, la Giglio delle Onde. Il 14 novembre, fu varata la fregata a ruote Ettore Fieramosca che era la prima nave progettata e fornita di macchina a vapore costruita interamente in Italia dal Real Opificio di Pietrarsa. Napoli fu la prima città d'Italia a tentare un esperimento di illuminazione elettrica che ebbe luogo a Capodimonte il 25 giugno 1852. L'esperimento fu abbastanza rilevante per l'epoca, tenuto conto che la lampada di Edison fece la sua comparsa solo nel 1877 e che la prima lampada a filamento fu realizzata due anni dopo. Lo stesso anno fu inaugurato il nuovo bacino di raddobbo in muratura (bacino di carenaggio) nell'arsenale di Napoli, il primo del genere ad essere realizzato nella penisola italiana. Nel 1853 a Napoli fu inaugurato il primo telegrafo elettrico italiano che, inizialmente, con l'impianto di tre linee diverse, mise in comunicazione la capitale del Regno con Terracina, Ariano Irpino e Salerno. Negli anni successivi i telegrafi elettrici del Regno, presenti in tutte le stazioni napoletane, furono collegati verso nord alle linee dell'alta Italia e verso sud fino alla Sicilia. Il primo telegrafo elettrico sottomarino del Regno tra Regio Calabria e Messina fu inaugurato il 25 gennaio 1858<sup>29</sup>. Nel marzo del 1855 Napoli fu collegata attraverso una linea telegrafica con Roma, Parigi e Londra. Alla Mostra di Parigi del 1856 la produzione industriale del regno borbonico fu apprezzata e valutata favorevolmente, pur se rimaneva inferiore a quella della Francia e dell'Inghilterra. Molto successo ebbero, poiché eccellevano, i manufatti preziosi dell'oreficeria, dell'argen-

---

<sup>26</sup> De Crescenzo 2002, p. 36.

<sup>27</sup> Lizza 2008, p. 1184.

<sup>28</sup> Cirillo 2008, p. 1193.

<sup>29</sup> De Cesare 1900, p. 224.

teria e del corallo prodotti da più di duecento aziende con l'impiego di circa cinquemila addetti. Riscossero considerevole successo anche gli strumenti musicali, soprattutto quelli a corda prodotti nelle Puglie. Si riconfermò, infine, lo straordinario successo che aveva la produzione di guanti e scarpe, nonché le lavorazioni in cuoio per selleria delle manifatture napoletane. Il 18 gennaio 1860 fu varata a Castellammare di Stabia la fregata ad elica Borbone di 3.444 tonnellate, armata con 54 cannoni. Era la prima nave militare ad elica, interamente costruita in ferro, della flotta ed era anche la più potente. Nel giugno di quello stesso anno era quasi ultimato e prossimo alla consegna il piroscafo corazzato ad elica Monarca che con i suoi 70 cannoni era la più grande nave da guerra costruita in Italia, Fig. 3. Dopo l'Unità divenne la prima corazzata della Marina Militare Italiana<sup>30</sup>.

Oltre un secolo prima Carlo III aveva avvertito la necessità di assicurare al suo regno una valida forza militare, autonoma dalla Spagna «e per avere un esercito efficiente occorre innanzi tutto creare un corpo di ufficiali preparato e fedeli alle istituzioni»<sup>31</sup>. Con queste motivazioni, il dispaccio che la istituiva era del 5 dicembre 1735, nacque così quella che, più tardi, sarebbe stata conosciuta come *La Nunziatella*, la più antica Accademia di formazione militare italiana<sup>32</sup>.

Accanto a questi fatti occorre anche ricordare che in pochi decenni, dalla fine del secolo XVIII alla metà del secolo XIX, furono istituite in tutto il Regno numerose scuole di “Arti e mestieri” per la formazione del personale nei diversi settori produttivi. I primi segni di questa attenzione per la formazione professionale si erano già manifestati con la volontà di Carlo III, quando volle che il Real Albergo dei Poveri fosse innanzi tutto dotato di scuole e di laboratori. In particolare si rivelava ben chiara l'intuizione del dover accompagnare la formazione con la divulgazione scientifica: per questo motivo si privilegiarono la rappresentazione grafica<sup>33</sup> e la stampa, tanto che alla direzione del laboratorio d'incisione e di litografia fu chiamato un allievo del Diderot<sup>34</sup>. Il livello di conoscenza tecnica che vi era nel Regno è testimoniato anche da pubblicazioni come il volume di normativa tecnica pubblicato a Napoli nel 1792 quando John Arold Acton curava la riorganizzazione delle forze armate borboniche. Questo volume precede di due anni il celebre trattato di Gaspard Monge, *Description de l'Art de Fabriquer les canons* che è del 1794<sup>35</sup>. Nel suo Regolamento per uso dell'Artiglieria delle Sicilie<sup>36</sup>, l'Acton

<sup>30</sup> De Crescenzo 2002, p. 131.

<sup>31</sup> Ordinanza per la Regal Accademia Militare, *Napoli nella stamperia Regale MDCCXCVIII*, ristampa del 1987, p. 2.

<sup>32</sup> De Felice 2010, p. 8.

<sup>33</sup> Nel XVIII secolo, infatti, non era ancora ben chiara e definita la nozione di “Comunicazione Tecnica” ed ancor meno quella di “Disegno Tecnico”.

<sup>34</sup> D'arbitrio 1999, p. 13.

<sup>35</sup> Caputo 2007, p. 12.

fece includere nove nitide tavole, accuratamente disegnate dal tecnico G. Guerra. Questi elaborati dimostrano cultura tecnica e capacità di rappresentare, empiricamente, ma con esattezza, le caratteristiche dimensionali e geometriche degli oggetti progettati. Nello stesso volume è sorprendente constatare come, nella descrizione dei controlli dimensionali previsti per gli orecchioni delle bocche da fuoco, sia anche prescritto l'impiego di un calibro passa e non passa<sup>37</sup>.



**Figura 3.** Varo del vascello Monarca, 5 giugno 1850. Fonte: Fratta Arturo (a cura di), *La fabbrica delle navi. Storia della cantieristica nel Mezzogiorno d'Italia*, Electa, Napoli, 1990.

### Lo sviluppo dell'industria meccanica meridionale nei secoli XVIII e XIX

Con le premesse poste nel paragrafo precedente ben si comprende come nei secoli XIII e XIX lo sviluppo delle attività industriali, pur se queste, per rilevanza economica complessiva furono assai meno importanti dell'agricoltura, fu perseguito e sostenuto dal governo borbonico non senza qualche barlume di lungimiranza, tenendo conto dei tempi. Ciò avvenne sotto il regno di Carlo III (Madrid 1716-1788) che fu re di Napoli dal 1734 al 1759, ma ancor più sotto Ferdinando IV (1751-1825), quando questo re raggiunse la maggiore età e, dopo di lui, dai suoi successori. Al principio del XIX secolo, dopo quella tessile, anche l'industria meccanica nel Regno delle Due Sicilie fu sostenuta ed incoraggiata con

<sup>36</sup> Acton Giovanni 1794, n. 9 tavole di disegni costruttivi di cannoni e degli strumenti di misura occorrenti.

<sup>37</sup> Acton Giovanni 1794, p. XXVII. Il calibro è anche chiaramente rappresentato nella Fig. 10 della Tavola n. 9.

particolare attenzione. Per far questo i Borboni favorirono l'arrivo dall'estero di ulteriori competenze per introdurre quelle che al tempo erano tecnologie d'avanguardia ed anche per queste, come già era avvenuto per il settore tessile, favorirono l'afflusso di capitali esteri nel regno<sup>38</sup>. Ciò che sorprende di quei tempi in cui le politiche protezionistiche costituivano pur sempre una misura ritenuta indispensabile, è proprio la facilità con cui si acquisivano competenze straniere pur di poter competere con le grandi nazioni d'Europa anche nei settori dove lo sviluppo era ancora carente. È ben noto che Ferdinando IV di Borbone riuscì a farsi prestare "per sempre" dal cognato, Granduca Leopoldo di Toscana, proprio quel John Francis Edward Acton, un ufficiale di marina, di origine irlandese, esperto di armamenti e di costruzioni navali che è stato già ricordato. L'Acton, giunto a Napoli il 4 agosto 1778 per riorganizzare la flotta e le armate borboniche, fu subito nominato, per volontà del re, 'Direttore della Real Segreteria di Marina'. Il successo e la fiducia che l'Acton riscosse furono tali che, nel volgere di pochi anni, egli divenne prima ministro della Marina e, successivamente, addirittura ministro plenipotenziario del regno. Nella lettera di richiesta che la regina Maria Carolina aveva scritto al fratello Leopoldo si legge: «La nostra buona posizione abbisogna necessariamente di una buona marina [...] così pensa il mio caro marito [...] il Segretariato della Marina vuol darlo a John Acton [...] se puoi avere la bontà d'imprestarcelo [...]»<sup>39</sup>. L'Acton, coinvolto nelle tante iniziative intraprese, finì con il convincersi che, in fondo, per lui era di gran lunga più conveniente restare a Napoli, piuttosto che far ritorno in Toscana. Ben presto, infatti, il Granduca Leopoldo prese a rivolgere le sue proteste alla sorella ed al cognato, e lo fece più volte, con toni sempre più irritati ed aspri. Nelle sue lettere di protesta alla sorella ricordava che i sovrani di Napoli avevano assicurato che la presenza di Acton a Napoli sarebbe stata breve e che questi, dopo un breve periodo di lavoro, avrebbe dovuto presto far ritorno in Toscana; l'Acton non si limitò a privare il Granduca della sua collaborazione: nel 1780 fece venire a Napoli dalla Toscana anche due suoi ex collaboratori, l'ingegnere costruttore francese Antonio Imbert e l'aiutante di questi Pietro Leopard<sup>40</sup>. Alla fine Leopoldo fu costretto a rassegnarsi e l'Acton continuò a vivere nel Regno fino alla sua morte, che avvenne a Palermo nel 1811.

Tra le città del meridione, sarebbe stata ben presto Napoli a primeggiare nel settore meccanico. Si trattava, comunque, di produzioni ancora primordiali e parlare d'industria meccanica potrebbe essere giudicato quanto meno azzardato: si lavorava con macchine prive di intrinseca precisione, molte volte ancora con la

---

<sup>38</sup> Massafra 1988, p. 239.

<sup>39</sup> Archivio di Stato di Napoli, Sez. Militare, Segreteria di Marina, Espedienti, vol. 93, fol. 62-64.

<sup>40</sup> Fratta 1990, p. 82.

struttura portante in legno e ciò si verificava anche in paesi come la Francia<sup>41</sup>, senza la possibilità di avvalersi d'idonei strumenti di controllo dimensionale e di norme condivise di comunicazione tecnica<sup>42</sup>. Tuttavia l'espansione industriale della città, nel periodo borbonico, avvenne progressivamente verso la periferia orientale e lungo la costa vesuviana. Opifici siderurgici e metalmeccanici costituivano le presenze industriali più significative, con stabilimenti dislocati tra la zona del Mercato e Pietrarsa<sup>43</sup>. Rilevanti, infatti, furono la fabbrica metalmeccanica di Pietrarsa e le officine dei Granili, facenti parte della grande industria statale napoletana. Lo stabilimento di Pietrarsa che si estendeva su una superficie di oltre tre ettari fu, per dimensioni, tra i maggiori impianti industriali di tutta la penisola<sup>44</sup>. Era dotato di macchinari in grado di eseguire tutti i tipi di lavorazione a quel tempo possibili e, nel trascorrere di alcuni decenni, riuscì a produrre macchine utensili, caldaie, cannoni, motori, rotaie, vagoni ferroviari, materiale per navi, locomotive e macchine a vapore di vario impiego. Nel periodo in cui il Regno si orientò a sviluppare sempre più il trasporto sul ferro, l'impianto ospitò anche una scuola per macchinisti ferroviari e navali. L'istituzione di questa struttura di formazione tecnica fu in effetti una necessità, poiché allora si comprese bene che bisognava affrancarsi dalla dipendenza dalla mano d'opera inglese che era stato necessario far arrivare a Napoli per avviare le produzioni. Queste maestranze, infatti, oltre ad essere costose, non fornivano nessuna garanzia sulla continuità della loro presenza. A Pietrarsa furono costruite le prime macchine marine d'Italia per le navi a ruota "Tasso" e "Fieramosca". Al complesso di Pietrarsa si affiancava l'opificio dei Granili, una importante fabbrica progettata da Ferdinando Fuga, destinata alla fabbricazione di caldaie marine e locomotive, oltre che a fonderia. Tra le più importanti e moderne industrie metalmeccaniche private sono da menzionare le officine Guppy e gli stabilimenti Zino & Henry nel napoletano.

La presenza dell'industria meccanica non si limitava alle grandi città come Napoli, Palermo e Bari: importanti stabilimenti industriali si trovavano anche in altre zone del reame. In Calabria Ulteriore<sup>45</sup> era presente la Fonderia Ferdinanda, in cui veniva prodotta ghisa in notevoli quantità, e il Polo siderurgico di Mongiana, che nel periodo di maggiore sviluppo arrivò ad occupare circa 1.500 operai. Quest'ultimo impianto sorgeva in un villaggio del Comune di Fabrizia, in Calabria Ultra Seconda. Era stato fondato nel 1768, gli edifici coprivano un'area di 16.000

---

<sup>41</sup> Monge 1794, *planches* XXXIIX, XXXIX, LI, LII.

<sup>42</sup> La corretta ed esaustiva rappresentazione spaziale degli oggetti costruiti, infatti, fu possibile, da Monge solo all'inizio del XIX secolo.

<sup>43</sup> Bollettino "Tutela e riuso dei monumenti industriali", n. 2-3, 1982, dell'Associazione per l'Archeologia Industriale, Centro di documentazione e ricerca per il Mezzogiorno.

<sup>44</sup> Bevilacqua 1993, p. 54.

<sup>45</sup> *Studi statistici sull'industria agricola e manifatturiera della Calabria Ultra II*, Luigi Grimaldi, Napoli 1845.

mq, e comprendevano una fonderia, uno stabilimento siderurgico ed in seguito, dopo il 1850, anche una fabbrica di armi. La localizzazione era stata opportunamente scelta perché nella zona vi erano numerose miniere ricche di ferro e grafite ed un ingente patrimonio boschivo che assicurava il combustibile necessario e la materia prima per la produzione del carbone di legna. La scelta della Calabria, quindi, rispondeva a precisi motivi strategici ed economici. Essa, inoltre, risultava utile anche per limitare la dipendenza dall'estero per l'importazione di prodotti della siderurgia. La localizzazione dell'impianto, in più, consentiva di poter lavorare e trasformare in sito le risorse minerarie locali, riducendo di molto, in tal modo, i costi di trasporto<sup>46</sup>. La direzione della fabbrica era affidata ad un ufficiale d'artiglieria ed aveva un ordinamento autonomo. Oltre agli ufficiali, agli impiegati statali ed agli operai esterni a giornata, occupava circa 1.000 unità complessive tra carbonieri, mulattieri ed 'artefici e manuali' e comprendeva tre altiforni dalla capacità di un prodotto medio «di 120 cantaia<sup>47</sup> di ghisa e ferraccio al giorno», sei raffinerie, due fornelli Wilkinson, oltre alle officine minori. La ghisa prodotta alla Mongiana era considerata di ottima qualità, così «le bandelle e le lamine stagnate a foglia, i saggi dell'acciaio di cementazione e i pezzi per ferrovie, le metraglie di ferro fuso, le lastre per moschettoni, palle e bombe»<sup>48</sup>.

Lo stabilimento venne ampliato e rimodernato nel 1850, ad opera di Domenico Fortunato Savino, un valente ingegnere che lavorò alla Mongiana sin dal 1840, durante il regno di Ferdinando II di Borbone. Savino, nato nel 1804 a Positano, sulla Costiera amalfitana, aveva brillantemente completato i suoi studi e conseguito il titolo di ingegnere presso la Scuola di Applicazione di Ponti e Strade istituita nel 1811 a Napoli da Gioacchino Murat. Cominciò dapprima ad esercitare la professione d'ingegnere nella capitale, poi si trasferì in Calabria. Durante i lavori di ampliamento della Mongiana Savino progettò la fabbrica d'armi, la nuova caserma, la fonderia, le strade, il cimitero, le nuove officine, ponti e canali. Volse poi il suo ingegno ed il suo fervore agli impianti produttivi ed alle macchine. All'inizio fu consultato occasionalmente, poi quando le sue capacità si confermarono ben evidenti, sempre più spesso: contribuì a risolvere i più svariati problemi di tipo impiantistico e produttivo dell'impianto, fino a rivelarsi insostituibile in questa sua nuova attività. Così, da che era ingegnere civile, poiché era animato altresì da un notevole interesse per la meccanica e per le macchine, dimostrò grande capacità ed

---

<sup>46</sup> De Crescenzo 2002, p. 116.

<sup>47</sup> Un cantaio o càntaro napoletano corrispondeva all'incirca a cento chilogrammi mentre quello lucano valeva poco meno di novanta chilogrammi, per l'esattezza kg 89,90.

<sup>48</sup> Archivio di Stato di Napoli, Ministero Agricoltura Industria e Commercio, fascio 484, 28 novembre 1858 e 2 dicembre 1858; Giordano 1864, p. 310 sgg.; per l'ordinamento della fabbrica cfr. Annali Civili del Regno delle Due Sicilie, settembre-ottobre 1853, p. 7 sgg.

inventiva nell'assumere il ruolo che oggi è proprio degli ingegneri meccanici che, a quel tempo, non avevano ancora una loro specializzazione esclusiva. Progettò meccanismi inediti, realizzò i carrelli degli altiforni, studiò e realizzò notevoli miglioramenti di rendimento nelle lavorazioni siderurgiche recuperando i gas in uscita dagli altiforni. Sotto la guida del Savino alla Real Fabbrica della Mongiana furono progettati e costruiti nuovi forni a riverbero e venne sviluppato un sistema di recupero del calore per preriscaldare la ghisa da sottoporre a battitura al maglio. Il Savino curò l'installazione di un nuovo laminatoio importato dall'Inghilterra e si vide costretto ad apportare a questo impianto importanti modifiche per sostituire parti originali, risultate difettose, con altre da lui riprogettate e fatte costruire alla Mongiana. Per dimostrare le capacità della fabbrica a cui aveva dedicato tanto proficuo lavoro volle che ne fosse impreziosito l'ingresso con due grandi colonne di ghisa, fuse in un sol pezzo e collegate ai capitelli ed alle basi ottenute con getti separati. Subito dopo l'Unità d'Italia tornò a Napoli, per riprendere l'attività d'ingegnere civile<sup>49</sup>.

Nella fabbrica della Mongiana furono costruite le rotaie per la prima ferrovia italiana, la "Napoli-Portici" e più tardi anche quelle della prima linea ferroviaria che raggiungeva Bologna. Il complesso comprendeva anche una fabbrica d'armi ben conosciuta a quell'epoca. In essa fu prodotto il fucile da fanteria modello "Mongiana" ed altro materiale bellico in uso nelle Armate del Regno. Che gli acciai calabresi, a quei tempi, fossero di buona qualità lo comprova il fatto che parte della produzione veniva destinata alle lavorazioni che si svolgevano nelle manifatture di Napoli e di Torre Annunziata, dove si fabbricavano armi da fuoco ed armi bianche. Nelle cronache del tempo viene ricordata la visita che il re Ferdinando II di Borbone compì allo stabilimento della Mongiana nei giorni 16 e 17 ottobre 1852.

Il 4 marzo 1811 Gioacchino Murat aveva istituito a Napoli la Scuola di Applicazione di Ponti e Strade, la prima Facoltà d'Ingegneria Italiana a carattere non militare<sup>50</sup>. Nel settembre del 1814, appena diciannovenne, un giovane lucano, Luigi Giura (1795-1864), conseguì la migliore votazione all'esame finale del primo gruppo di allievi che completò il ciclo di studi. Giura, di fatto, divenne «il primo ingegnere di Stato dell'Italia non ancora unita»<sup>51</sup>. Egli rientra in questa storia a pieno titolo poiché nel 1825 concepì il primo ponte sospeso in ferro realizzato in Italia, il ponte Ferdinando sul fiume Garigliano con una luce di 78 metri e, successivamente, il ponte Cristino sul fiume Calore che fu inaugurato nel 1835. I suoi ponti introducevano importanti miglioramenti rispetto a quelli già realizzati in

---

<sup>49</sup> De Stefano Manno 1979.

<sup>50</sup> Cardone 2002, p. 99.

<sup>51</sup> Cosenza 2008, p. 959.

Inghilterra nello stesso periodo<sup>52</sup>. Il ponte sul Garigliano, semidistrutto dalle truppe tedesche durante la seconda guerra mondiale, è stato fedelmente ricostruito secondo il progetto originale. Poco dopo aver completato gli studi, il Giura, insieme ai suoi colleghi Agostino Della Rocca, Federico Bausan e Michele Zecchetelli, fu inviato da Carlo Afan De Rivera, direttore generale di Ponti e Strade del Regno delle Due Sicilie, a compiere un viaggio d'istruzione in Europa, «col disegno di perfezionare sempre più l'istruzione della corporazione»<sup>53</sup>. I quattro giovani erano già stati prescelti per entrare a far parte dell'amministrazione dello Stato. Essi, infatti, erano i migliori allievi del loro corso, che era stato anche il primo della Scuola di applicazione di Ponti e Strade. Questa circostanza conferma l'interesse che vi era nel Regno di acquisire le migliori competenze e di porre attenzione nell'apprendere al meglio, per poterlo poi attuare, ciò che di più progredito in campo tecnologico si facesse nelle sedi internazionali più prestigiose. Con il finanziamento di ben seimila scudi i giovani ingegneri intrapresero un viaggio d'istruzione che durò oltre un anno visitando l'Italia, la Francia l'Inghilterra il Belgio e la Svizzera. Fecero ritorno a Napoli con tre casse contenenti circa quattrocento volumi che racchiudevano il meglio delle conoscenze nell'ingegneria del tempo.

Su quei libri acquistati dal Giura per essere destinati alla Scuola di Applicazione di Ponti e Strade, hanno studiato generazioni di studenti napoletani e la maggior parte di essi sono ancora conservati tra i volumi rari della biblioteca della facoltà d'ingegneria dell'Ateneo Federiciano<sup>54</sup>.

Altre industrie, per molti aspetti collegate a quelle del settore meccanico, erano presenti nel Regno. In Sicilia, nelle provincie di Catania e Agrigento) era rinomata l'industria mineraria basata sulla lavorazione dello zolfo siciliano, a quel tempo fondamentale per la produzione di polvere da sparo e di acido solforico, produzione che soddisfaceva una rilevante quota della richiesta mondiale<sup>55</sup>. La polvere da sparo, dapprima prodotta nella Fabbrica delle Polveri di Torre Annunziata<sup>56</sup>, fu poi prodotta anche nello stabilimento di Scafati (Salerno), ben conosciuto ed apprezzato a quel tempo.

---

<sup>52</sup> Ibidem, p. 966.

<sup>53</sup> Ibidem, p. 963.

<sup>54</sup> Ibidem, p. 965.

<sup>55</sup> Acton Harold 1997, p. 140.

<sup>56</sup> Nel Regolamento ad Uso dell'Artiglieria delle Sicilie emanato da John Francis Edward Acton, con la firma "Giovanni Acton", (Acton 1792), a p. 41, si legge: «La Fabbrica della Polvere della Torre dell'Annunziata dovrà consegnare ogni anno, alla direzione dell'Artiglieria cantara 800 di Polvere da Guerra [...]».

## La fabbrica delle navi

Nel 1494, al momento in cui Ferrante d'Aragona diede l'ordine d'incendiare l'arsenale navale di Napoli per evitare che cadesse nelle mani dei francesi di Carlo VIII, esso costituiva già un'importante realtà produttiva. Andarono in fiamme, infatti, «molte galee non cumpide e tre altre grosse che erano in acqua»<sup>57</sup>. Nel 1557, il Viceré, Marchese di Mondejar, fece costruire un nuovo Arsenale che arrivava fino a S. Lucia ed era protetto dai cannoni di Castelnuovo<sup>58</sup>. In questo arsenale furono costruite le galee napoletane che agli ordini del re di Spagna, nel 1571, parteciparono alla battaglia di Lepanto. Negli anni dal 1616 al 1620, quando fu Viceré di Napoli il Duca di Ossuna, ben quaranta tra navi e galee vennero costruite nell'arsenale di Napoli<sup>59</sup>. Un'antichissima tradizione nel costruire e riparare navi, quindi, era già consolidata nella capitale del periodo del vicereame, anche se essa, in realtà, risaliva ai tempi dell'Imperatore Federico II di Svevia (Jesi 1194 - Lucera 1250) ed ancor prima, al periodo dell'imperatore Caligola, quando la flotta romana era di base nel golfo di Pozzuoli. Opere recenti di insigni archeologi attribuiscono l'origine delle costruzioni navali in Campania, precisamente nella Penisola Sorrentina, all'incontro delle popolazioni italiche, Ausoni, Opici ed Osci, con le civiltà greca ed etrusca<sup>60</sup>. La fabbricazione delle navi in legno era stata da sempre collegata alla necessità di utilizzare numerosi parti metalliche come chiodi, masselli, barre, lamine, agugliotti e femminelle, prodotte per fucinatura o per fusione. Per questo motivo negli arsenali navali avevano da sempre operato “maestri fonditori”, che, in realtà, dirigevano delle vere e proprie officine meccaniche.

Il giovane Carlo di Borbone, per prendere possesso del Regno delle Due Sicilie di cui era stato nominato re, giunse a Napoli nel 1734 con la scorta di una potente flotta spagnola. Quando queste navi lasciarono il golfo di Napoli per fare ritorno in patria, Carlo si rese conto che il suo Regno non disponeva neanche di una nave da guerra. Poiché riteneva che fosse indispensabile disporre di una flotta che lo affrancasse da ogni dipendenza straniera, anche da quella spagnola, intraprese una serie di iniziative che in pochi anni valsero a costruire dal nulla un'efficiente marina da guerra. Tra le sue prime attività il Re fu costretto ad affrontare il problema della pirateria. Per risolverlo si rese conto che era necessario costruire opportune navi, idonee a dar la caccia ai pirati barbareschi. Per questo motivo, anche se la vela aveva ormai dovunque soppiantato la propulsione a remi, il giovane sovrano fu

---

<sup>57</sup> Colombo 1894, p. 90.

<sup>58</sup> Parrino 1770, p. 210.

<sup>59</sup> Ibidem, p. 347.

<sup>60</sup> Bonghi Jovino 2008, p. 19.

indotto a dare precedenza alla costruzione delle galere<sup>61</sup>. Occorre rilevare che questo tipo di nave, che aveva una lunghezza fuori tutto di quaranta, cinquanta metri, per sua caratteristica costruttiva era molto snella, Fig. 4 e con la forza dei remi consentiva di sviluppare una discreta velocità che poteva risultare vincente nei confronti delle imbarcazioni a vela dei pirati barbareschi purché vi fossero condizioni di scarso vento e di mare calmo. Ciò, nel Mediterraneo, si verifica spesso durante tutto l'anno, e quasi sempre, a lungo, durante le ore diurne, nei mesi caldi quando vi sono condizioni di alta pressione ed i venti soffiano a regime di brezza. Questa considerazione giustifica pienamente quello che a prima vista potrebbe apparire un anacronistico impiego di navi con centinaia di rematori in un'epoca storica in cui la propulsione a vela era ormai dovunque preminente. Le galere napoletane impiegavano sei rematori per ciascun remo, sistemati su 25-28 banchi per ogni lato; il totale dei rematori, quindi, variava da 300 a 336 rematori. In più vi erano a bordo anche i rematori di riserva. La capitana, in qualità di nave ammiraglia, richiedeva ben 375 rematori, incluse le riserve e, in più, circa 400 uomini tra addetti alle manovre ed alle armi ed imbarcava così 775 uomini di equipaggio<sup>62</sup>. I pirati che imperversavano nel mediterraneo quasi sempre impiegavano gli sciacbecchi, imbarcazioni a vela lunghe da venti a trenta metri. Erano barche leggere, veloci e manovriere, alte di bordo e slanciate, con tre alberi dotati di vele latine. Solo in condizioni di bonaccia o di poco vento e solo con la propulsione a remi poteva essere possibile raggiungere ed affrontare le navi barbaresche per affondarle o per catturarle. Oltre alle galere, anche vascelli, fregate e sciacbecchi a vela furono costruiti nei cantieri napoletani durante il regno di Carlo III di Borbone<sup>63</sup>.

Alla partenza di Carlo III da Napoli suo figlio Ferdinando, che era stato destinato alla successione, aveva appena nove anni. Vi fu un lungo periodo in cui il governo fu nelle mani del primo ministro Bernardo Tanucci che alla marina riservò un'attenzione assai limitata. Solo quando Ferdinando raggiunse la maggiore età le costruzioni navali ebbero nuovo slancio. Ciò avvenne quando il re, come già è stato detto, chiamò a Napoli dalla Toscana John Edward Francis Acton. In pochi anni l'irlandese apportò nuove idee e diede vigore al programma di adeguamento della marina. Proprio in quegli anni, infatti, significativi miglioramenti erano stati raggiunti nella costruzione delle navi a vela come diretta conseguenza dei progressi che erano stati resi possibili all'architettura navale dagli studi di Bernouilli, di Bougeur e di Eulero<sup>64</sup>.

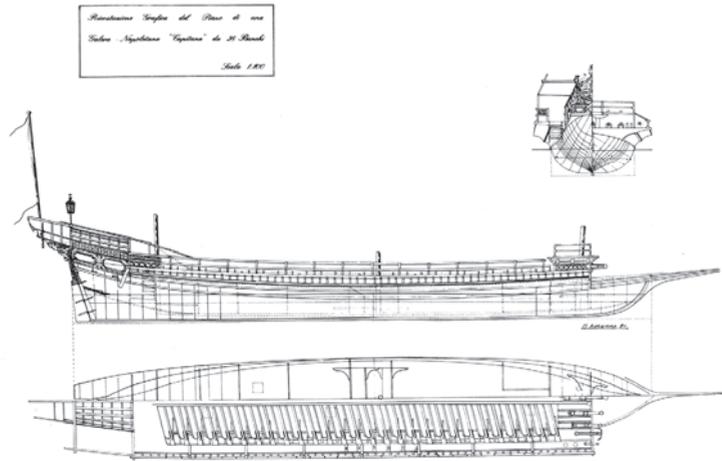
---

<sup>61</sup> Fratta 1990, p. 70.

<sup>62</sup> *Ibidem*, p. 71.

<sup>63</sup> *Ibidem*, pp. 71-75.

<sup>64</sup> *Ibidem*, p. 82.



**Figura 4.** Piano di Costruzione di una Galera napoletana da 28 banchi. Fonte: Fratta Arturo (a cura di), *La fabbrica delle navi. Storia della cantieristica nel Mezzogiorno d'Italia*, Electa, Napoli, 1990, p. 68.

A poco più di venti chilometri da Napoli, ai piedi del monte Faito, sorge il Cantiere navale di Castellammare di Stabia, il quale nel suo periodo di maggior lavoro, già nel XIX secolo, impiegava poco meno di 1.800 operai<sup>65</sup>. A questo opificio, da allora in poi, furono legate le sorti dell'industria cantieristica navale del Mezzogiorno. L'insediamento era sorto naturalmente, dopo che il sito, già nel 1777, era stato indicato al re come particolarmente idoneo. In quella stessa parte della costa, proprio dove ha origine la penisola sorrentina, per secolare tradizione, era stata sempre fiorente l'arte di costruire navi in legno. La materia prima, che per le costruzioni navali di grandi dimensioni del periodo borbonico arrivava via mare dai boschi calabresi, per il naviglio minore proveniva in buona parte anche dal sovrastante monte Faito, tanto che, ancora oggi, lungo le pendici del monte, si possono riconoscere i resti delle torri in muratura che sostenevano i cavi della teleferica costruita per trasportare i tronchi fino al mare. Poco più avanti in direzione di Sorrento, sulla costa della marina d'Aequa, nel comune di Vico Equense, sopravvivono i ruderi di un antico arsenale di epoca angioina. La tradizione delle costruzioni navali in quei luoghi, quindi, era molto antica e ben radicata. Gli abitanti della penisola «come marinai conoscevano i modi ed i tempi dell'avventurarsi nel mare al di là della piccola navigazione di cabotaggio, da un approdo all'altro. Sapevano allestire non solo le piccole barche da pesca ma anche

<sup>65</sup> Bevilacqua 1993, p. 54.

imbarcazioni più grandi»<sup>66</sup>. Non desta meraviglia, quindi, che il regno delle Due Sicilie sia stato primo al mondo a far navigare per mare una nave a vapore. La nave, con caldaia inglese, era il Ferdinando I, varato il 24 giugno 1817 e l'opera fu diretta dallo stabiese Stanislao Filosa<sup>67</sup>. In Inghilterra il primo battello a vapore per la navigazione sui mari, il rimorchiatore Monkey, fu varato nel 1822. Da allora il cantiere di Castellammare ha sempre continuato a fabbricare navi. Nel 1842, per iniziativa di Ferdinando II, in Castellammare di Stabia, a supporto del cantiere, fu istituita una scuola per costruttori navali che è stata in auge fino agli anni '70 del XX secolo<sup>68</sup>. L'ultima nave a vela costruita nel cantiere, che nel frattempo era stato spostato nella parte opposta della città e dotato di tre scali e di attrezzature di alaggio eccezionali per l'epoca, fu la goletta Sfinge, varata nel 1843<sup>69</sup>. Nel 1859, a cento anni dalla sua fondazione, il cantiere disponeva di due scali maggiori e di due altri più piccoli, di officine per lavori di carpenteria e la costruzione di alberature e bozzelli, di reparti per le costruzioni in ferro, di una fonderia, di una officina fabbri con 59 fucine e di un'officina meccanica dotata di numerose macchine utensili<sup>70</sup>. Il 18 gennaio 1860 scese in mare la fregata Borbone, l'ultima nave costruita per la marina napoletana dal cantiere di Castellammare.

Nei primi anni dopo l'unificazione il cantiere conobbe un periodo di crisi che sembrò superato nel 1872 allorquando fu ad esso affidata la costruzione della corazzata *Duilio*, progettata da Benedetto Brin. La corazzata che dislocava 11.190 tonnellate, scese in mare nel 1876 e le sue caratteristiche costruttive e prestazionali furono giudicate in modo molto lusinghiero da tutti i maggiori esperti di marina da guerra del mondo. Nel 1880 le capacità del cantiere trovarono un'altra puntuale conferma quando fu varata la corazzata *Italia* che dislocava 13.330 tonnellate. Da allora il cantiere stabile produsse tante e tante navi i cui nomi sono diventati celebri nella storia della marina di guerra e di quella mercantile. Ricordiamone alcune. La corazzata *Re Umberto* da 13.000 tonnellate, varata nel 1888, la corazzata *Benedetto Brin*, da 13.427 tonnellate, varata nel 1901, la corazzata *Duilio* da 22.000 tonnellate, varata nel 1913, la gloriosa nave scuola della marina Militare Italiana *Amerigo Vespucci*, varata il 22 febbraio del 1931, che è unanimemente ritenuta la "più bella nave del mondo". Dopo le navi da guerra, negli anni della Repubblica, a Castellammare sono scesi in mare tanti e tanti mercantili di ogni genere, navi da crociera, traghetti, motocisterne, *bulk carrier*, portacontainer, *car carrier*. Queste navi solcano tutti i mari del globo e dovunque portano il crisma della capacità e della

---

<sup>66</sup> Bonghi Jovino 2008, p. 21.

<sup>67</sup> Vanacore 1995, p. 19.

<sup>68</sup> Ibidem, p. 22.

<sup>69</sup> Ibidem, p. 22.

<sup>70</sup> Ibidem, p. 23.

operosità italiana. Una particolare costruzione della fabbrica, quando essa era *Navalmeccanica*<sup>71</sup> vale a testimoniare le capacità ed il prestigio del cantiere. Nel 1953 il Professore August Piccard e suo figlio Jacques vollero che il batiscafo *Trieste*, da loro ideato, fosse costruito a Castellammare. Esso fu impiegato dagli scienziati per le prime esplorazioni degli abissi profondi del Tirreno e superò brillantemente ogni prova. Oggi il settore delle costruzioni navali è in crisi ed anche *La fabbrica delle navi* attraversa un periodo difficile. Ma la tradizione, la capacità e la voglia di lavorare avranno certamente la meglio. Questo, più che un augurio, è una certezza.

### **La linea Napoli-Portici e lo sviluppo dell'industria ferroviaria nel Mezzogiorno**

Un particolare rilievo, nei primi decenni del XIX secolo, ebbero la siderurgia e le costruzioni meccaniche collegate alla nascente industria dei trasporti ferroviari. In questo periodo, infatti, le costruzioni ferroviarie, aggiungendosi alla maggiore domanda di macchine ed impianti provenienti dall'industria tessile e da quella alimentare e ad un inizio di meccanizzazione dell'agricoltura, oltre che alla già consolidata fornitura di armi e di navi alle armate del Regno, contribuì in modo significativo alla nascita ed al progresso dell'industria meccanica nel Mezzogiorno d'Italia<sup>72</sup>.

Il 4 ottobre 1839 fu inaugurata la prima ferrovia italiana con il tratto Napoli-Portici, di circa 9 Km. Dopo questo primo tratto furono iniziati i lavori per collegare la capitale con Bari, Brindisi e Reggio Calabria. Solo due anni dopo, nel 1841, fu inaugurato il complesso industriale del "Reale Opificio di Pietrarsa", che fu una delle più antiche officine meccaniche italiane specializzata nella produzione di locomotori a vapore e di rotaie. Questo impianto si estendeva su una superficie di 34.000 metri quadrati e disponeva di numerose macchine a vapore. Nel 1860, aveva oltre mille addetti, più del doppio dell'Ansaldo di Genova<sup>73</sup>. L'Opificio ebbe vasta risonanza in Europa. Fu visitato dallo zar Nicola I, che ad esso volle ispirarsi per la costruzione del complesso ferroviario di Kronstadt. Il trasporto ferroviario, che nel Regno delle Due Sicilie era stato avviato per tempo con una discreta efficienza oltre che con una certa lungimiranza, offriva la concreta possibilità di sviluppare preziose competenze industriali nel settore meccanico giacché ne esistevano le premesse. Per quanto si è poi verificato nei successivi decenni si può dire che questa sia stata una delle molte occasioni perdute.

<sup>71</sup> La fabbrica divenne "Italcantieri" nel 1967 e "Fincantieri" nel 1983.

<sup>72</sup> Assante 2011, p. 45.

<sup>73</sup> De Sanctis 1986, p. 209.

Il re Ferdinando II, che da giovane seguiva con attenzione l'evoluzione dei progressi scientifici e tecnologici, fu tra i primi in Italia a comprendere quali vantaggi potessero derivare all'economia del Regno dall'impiego nei trasporti della trazione a vapore che, proprio in quegli anni, cominciava a diffondersi in Inghilterra. Così, intorno al 1830, molti tecnici ferroviari stranieri furono attratti dalle intenzioni del sovrano. Il più deciso di tutti fu l'ingegnere francese Armando Bayard de la Vingtrie che «fissò il suo sguardo sulla florida e popolosa città di Napoli concependo l'idea di stabilire una strada di ferro che da questa città» si dirigesse «verso le tre province di Puglia, le tre della Calabria e quelle di Basilicata. [...]»<sup>74</sup>.

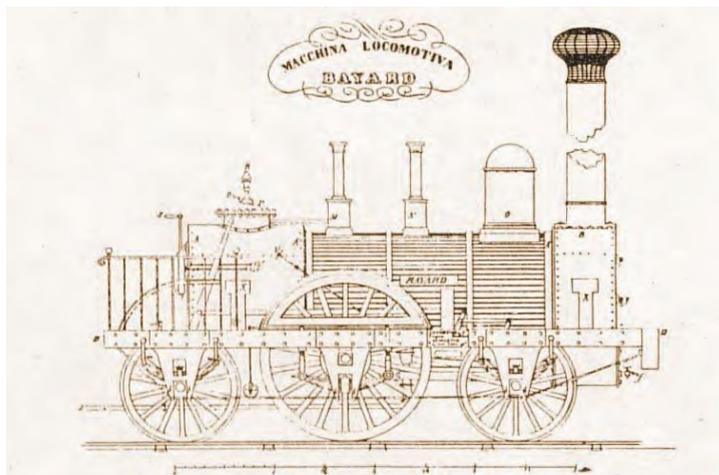
Così Ferdinando II, che in quegli anni si mostrava favorevole alle innovazioni ed appariva anche sufficientemente impegnato nella buona amministrazione dello Stato, dopo aver introdotto per primo in Italia l'illuminazione a gas, costruito ponti, aperto strade e iniziata la bonifica dei terreni paludosi presso Paestum e Brindisi, si decise anche a dare inizio ad un programma di costruzione delle strade ferrate. Il 19 giugno 1836 accettò la proposta del Bayard e gli affidò la realizzazione di una prima linea ferroviaria per collegare Napoli a Castellammare e Nocera, «con facoltà di prolungarla verso Salerno, Avellino e altri siti»<sup>75</sup>. Il Bayard come indennizzo dei costi della costruzione, ottenne dal governo borbonico, per la durata di ottanta anni, la concessione di riscuotere i proventi derivanti dall'utilizzazione della strada ferrata. Allo scadere del lungo periodo di esercizio privato l'intero sistema di trasporto sarebbe divenuto di completa proprietà allo stato. Il 27 marzo 1838 Bayard presentò il progetto per la costruzione del tratto Napoli-Portici, che venne approvato e messo in costruzione, Fig. 5. Dopo poco più di diciotto mesi, il 3 ottobre 1839 la nuova "strada di ferro" fu inaugurata con una fastosa cerimonia, alla presenza di tutto il corpo diplomatico presente a Napoli. Il re, accompagnato dall'ingegner Bayard e dalla corte, circondato da una folla plaudente, prese posto sul treno insieme agli altri che erano stati invitati al viaggio inaugurale. Le cronache furono particolarmente favorevoli e l'impressione dei viaggiatori fu entusiastica. Fu questa la prima linea ferroviaria italiana. Nonostante essa si sviluppasse su un percorso assai breve, in un solo mese, circa sessantamila viaggiatori vollero provare l'emozione di viaggiare su quello che, allora, prometteva di essere il mezzo di trasporto del futuro<sup>76</sup>.

---

<sup>74</sup> Ogliari 1975, p. 87.

<sup>75</sup> Ibidem, p. 112.

<sup>76</sup> Ogliari 1985, pp. 144-148.



**Figura 5.** Disegno della “macchina locomotiva Bayard” costruita dalla Compagnia Logdrige e C. a Newcastle Upon Tyne nel 1839 (copia da una stampa dell’epoca).

La possibilità di viaggiare in treno in brevissimo tempo si impose come un’impellente necessità e fu deciso di dar corso all’immediato collegamento ferroviario ai comuni della fascia costiera che, con Napoli, costituivano un bacino d’utenza di quasi un milione di abitanti. Occorreva anche assicurare le risorse produttive per la fabbricazione delle rotaie e del materiale rotabile. Il 6 novembre 1840, come è stato già detto, venne decretata l’apertura del grande opificio di Pietrarsa inizialmente destinato a produrre rotaie, locomotive e tutto quanto fosse necessario alla costruzione delle nuove ferrovie. L’ampliamento della rete ferroviaria in quei primi anni fu portato avanti con buona lena: nel settembre del 1840 la ferrovia “Bayard” fu estesa fino Torre del Greco ed il 1 agosto 1842 venne inaugurato il tronco ferroviario per Torre Annunziata e Castellammare di Stabia. Il 18 maggio 1844 fu aperta all’utenza la diramazione da Torre Annunziata per Pompei, Scafati, Angri, Pagani e Nocera<sup>77</sup>. Il successivo traguardo, ormai, era quello di raggiungere Salerno. Nel 1845 Bayard presentò a Ferdinando II il progetto del prolungamento della sua linea ferroviaria da Nocera fino al capoluogo del Principato Citeriore. Questo progetto, tenendo conto dei mezzi di lavoro disponibili all’epoca, appariva forse troppo ardito poiché bisognava superare pendenze molto accentuate in prossimità di Cava dei Tirreni, la costruzione di viadotti e la inevitabile necessità di procedere per alcuni tratti in galleria per arrivare a Salerno. Il Bayard rischiava in proprio ed ottenne la concessione dal re. Tuttavia i suoi cantieri rimasero fermi per alcuni anni prima di partire. Le notevoli difficoltà tecniche, ed il contenzioso per la concorrenza di un’altra società francese, che venne risolto solo nel 1853, ritardarono l’inizio prima e l’esecuzione dei lavori. Nel

<sup>77</sup> Assante 2011, p. 51.

1860 la linea Bayard, superando brillantemente le difficoltà del tracciato, aveva raggiunto Vietri sul mare e solo un brevissimo tratto impediva ancora di raggiungere la vicinissima Salerno. La costruzione della linea, una volta giunta a Salerno, non avrebbe comportato nessuna difficoltà per essere portata fino ad Eboli, poiché si trattava di affrontare un tratto del tutto pianeggiante<sup>78</sup>.

Lo sviluppo dei trasporti ferroviari, durante il regno di Ferdinando II, non fu attuato solo mediante concessioni. Il successo riportato dall'iniziativa di Bayard e considerazioni di opportunità politica e militare spinsero il re ad intraprendere a spese dello stato la costruzione di una nuova ferrovia che, da Napoli, era diretta verso nord<sup>79</sup>. L'11 giugno del 1843 il tratto Napoli-Cancello-Caserta della Ferrovia Regia fu aperta al pubblico. Il 25 maggio 1844 la stessa linea raggiunse Capua<sup>80</sup>, attraversando gran parte della fertile pianura campana raggiungendo quasi tutti i suoi più importanti centri abitati. Nel giugno del 1846 sulla linea "Regia" Napoli-Caserta fu anche attivata la diramazione Cancello-Nola che poi, nel 1856, venne prolungata fino a Sarno.

Dopo il 1850 aveva cominciato a farsi strada l'idea di scavalcare l'Appennino, per collegare la Capitale alle regioni dell'Adriatico e dello Ionio. Nel 1855 infatti Ferdinando II aveva affidato al barone Panfilo De Riseis la concessione per la costruzione della ferrovia che da Napoli raggiungesse la frontiera del Tronto con lo Stato Pontificio. Per completare questo progetto era stata fatta la previsione, alquanto ottimistica, che sarebbero stati necessari dieci anni. La linea avrebbe dovuto attraversare Aversa, Piedimonte d'Alife, Isernia, Castel di Sangro, Lanciano, Ortona, Pescara fino al Tronto (con diramazioni per Ceprano e Popoli). Al momento dell'unità il tratto fino a Ceprano (al confine pontificio in direzione Roma) era stato in buona parte ultimato<sup>81</sup>.

Nello stesso anno 1855 il re affidò all'ingegnere pugliese Emmanuele Melisurgo le concessioni per la costruzione della "Strada Ferrata delle Puglie" tra Napoli e Brindisi, a doppio binario, i cui lavori cominciarono l'11 marzo 1856. Tuttavia, a causa di alcune difficoltà burocratiche generate dal contenzioso dei concessionari con una società britannica, i lavori furono bloccati per un anno. Nel 1857 Ferdinando II tagliò corto e decise di costruire direttamente per conto dello Stato la strada ferrata delle Puglie, dando immediatamente inizio ai lavori per i tratti da Sarno ad Avellino e da Foggia a Barletta. I lavori avrebbero dovuto concludersi entro cinque anni. Il tracciato dell'intera infrastruttura partiva da Napoli e si dirigeva verso Pomigliano d'Arco giungendo fino a Sarno; da Sarno, mediante

---

<sup>78</sup> Ogliari 1985, p. 302.

<sup>79</sup> Assante 2011, p. 51.

<sup>80</sup> *Ibidem*, p. 51.

<sup>81</sup> Ogliari 1985, p. 312.

alcuni tratti in galleria, raggiungeva Mercato San Severino, Montoro e quindi Avellino. Da Avellino seguiva la valle del Sabato tra Taurasi e Grottaminarda per poi entrare nella valle dell'Ufita fino ad Ariano Irpino, proseguendo per Orsara di Puglia, Troja e Foggia. Da Foggia avanzava in direzione sud per Cerignola, Canosa di Puglia e Barletta, quindi per Trani, Bisceglie, Molfetta, Giovinazzo, Bitonto, Modugno e Bari. Da Bari si estendeva fino a Conversano, Monopoli, Ostuni e infine Brindisi. Era stato previsto che questa linea sarebbe stata interamente costruita e resa operativa con rotaie e con materiale rotabile prodotto negli opifici del regno, in primo luogo lo stabilimento di Pietrarsa e quello di Zino & Henry<sup>82</sup>.

Negli ultimi anni del Regno, quindi, erano stati all'attenzione del governo borbonico molti progetti che prevedevano la costruzione di una vera e propria rete ferroviaria che avrebbe assicurato il trasporto dagli Abruzzi alle Calabrie, dalla Basilicata al Salento. Era stato previsto che anche la Sicilia avesse la sua rete ferroviaria. Ma «il fervore ferroviario di Ferdinando II si arrestò di colpo»<sup>83</sup>. Così il primato della Napoli-Portici si rivelò effimero e del tutto inutile. E non ci fu un'effettiva ripresa neanche quando, nel decennio successivo, Ferdinando II sembrò interessato a ridare concretezza ai progetti di sviluppo ferroviario. Nel 1855, infatti, Ferdinando II diede a Tommaso D'Agiout la concessione della Napoli-Brindisi per Foggia e Bari; l'anno seguente, allo stesso D'Agiout, l'altra linea Napoli-Taranto per Salerno, Eboli, Calabritto, Rionero, Spinazzola e Gravina. Nello stesso anno il barone Panfilo de Riseis ebbe la concessione per la terza grande linea, da Napoli agli Abruzzi, per arrivare al confine dello stato Pontificio<sup>84</sup>. Nel 1959 salì al trono Francesco II e pur se il nuovo re aveva manifestato l'intenzione di ridare impulso alla realizzazione della rete ferroviaria nazionale, gli mancò il tempo. I suoi progetti, infatti, non ebbero seguito poiché si verificò la fine del Regno<sup>85</sup>. A partire dal 1862, i progetti borbonici furono, in parte, ripresi e portati a termine dall'industriale Pietro Bastogi. La linea ferroviaria da Napoli a Roma fu aperta al traffico il 25 febbraio 1863<sup>86</sup>. All'epoca dell'unificazione la rete ferroviaria del Regno poteva contare soltanto sui 128 km già completati della linea tra Capua e Salerno. Pur se si trattava di un tratto relativamente breve, esso, tuttavia, era ritenuto un'ottima realizzazione poiché consentiva velocità di esercizio molto veloci per quei tempi<sup>87</sup>. Tutti gli altri progetti erano ancora per gran parte in fase di realizzazione: bisogna sottolineare d'altronde che la realizzazione di questi

---

<sup>82</sup> Assante 2011, p.51.

<sup>83</sup> Assante 2011, p.51.

<sup>84</sup> De Cesare 1900, vol. 1°, p. 197.

<sup>85</sup> De Cesare 1900, vol. 2°, p. 88.

<sup>86</sup> Ibidem, p. 61.

<sup>87</sup> Maggi 2011, p. 24.

tracciati, oltre ad essere molto costosa, era anche molto difficoltosa in quanto le ferrovie meridionali dovevano giocoforza estendersi per grandi distanze in territori montuosi, o comunque geologicamente instabili, prima di raggiungere le città della sponda adriatica e ionica<sup>88</sup>. Nell'Italia centro-settentrionale al contrario, in cui esistevano vaste aree pianeggianti e lunghe valli, la rete ferroviaria crebbe senza incontrare particolari ostacoli. Anche per questa ragione, ad esempio, all'epoca dell'unificazione, le ferrovie del Regno di Sardegna avevano raggiunto quasi gli 850 km, quelle del Regno Lombardo-Veneto poco più di 600 km e le ferrovie del Granducato di Toscana oltre 320 km<sup>89</sup>. Il divario, purtroppo, non si attenuò nei decenni successivi. Nel 1886, l'intero Mezzogiorno continentale poteva contare in totale su circa 2.400 km di strade ferrate sul totale di 11.200 km del Regno d'Italia<sup>90</sup>. Anche se nei primi decenni dopo l'unificazione lo sviluppo della rete ferroviaria nel Mezzogiorno non fu perseguito con impegno adeguato alle effettive necessità, lo stabilimento borbonico di Pietrarsa, che nel 1860 era il secondo in Italia, riuscì a superare la crisi e continuò a produrre attivamente. Nel 1863 era stato dato in gestione alla “Società nazionale d'industrie Meccaniche”, costituita a Napoli dalla Banca Meuricoffre e dagli imprenditori del settore, il calabrese Gregorio Macry ed il francese Francois Henry, proprietari del contiguo stabilimento dei Granili. Lo stabilimento di Pietrarsa si fuse con questo impianto vicino dando vita alla “Società Napoletana d'Industrie Meccaniche”<sup>91</sup> che per numerosi anni ancora continuò ad essere attiva.

### **La fabbrica dei cannoni: l'impegno dell'industria meccanica meridionale nel corso della Prima guerra mondiale**

Un periodo che merita una particolare attenzione per la storia dell'industria meccanica nell'Italia Meridionale fu certamente quello della prima guerra mondiale. Su questo periodo è opportuno soffermarsi brevemente, per considerare il caso dell'Ansaldo-Armstrong, una grande azienda, di assoluto rilievo in ambito internazionale, e la vicenda delle anonime imprese meccaniche minori che, al tempo, assicuravano l'occupazione della gran parte dei lavoratori del settore.

L'esigenza delle produzioni belliche durante la Prima guerra mondiale, spinse i paesi europei belligeranti ad affrontare un importante mutamento che riguardò sia i volumi, sia la gamma produttiva. Anche in Italia, alla vigilia della Prima guerra

---

<sup>88</sup> Ogliaresi 1975, p. 314.

<sup>89</sup> Ibidem, p. 316.

<sup>90</sup> Assante 2011, pp. 61-62.

<sup>91</sup> Bevilacqua 1993, p. 49.

mondiale, fu giocoforza che questo cambiamento si verificasse e, naturalmente, tra le industrie manifatturiere, quella meccanica, fu la più coinvolta, giacché impellente era la necessità di affrontare un impegno bellico senza precedenti. Questa occasione, pure se scaturiva da un evento distruttivo e catastrofico per l'Europa, avrebbe comunque comportato per le industrie meccaniche l'imprevista quanto unica occasione per attuare un incisivo miglioramento tecnologico, organizzativo ed anche gestionale. Occorre dire che non solo nel Mezzogiorno d'Italia, ma in tutto il Paese questa pur propizia possibilità fu in buona parte sprecata. Ma nel Mezzogiorno lo fu certamente in misura maggiore. Un'azienda meccanica deputata alla costruzione degli armamenti era per l'appunto l'Ansaldo-Armstrong di Pozzuoli, in provincia di Napoli. Questa azienda era stata fondata nel 1886 ed aveva raggiunto la piena operatività due anni dopo. Era nata come filiale italiana della società inglese "Sir W.G. Armstrong, Mitchell & Co. Ltd.". I dirigenti della celebre fabbrica inglese di armi aveva colto in pieno, per volgerle a proprio vantaggio, le intenzioni, ben chiare, che lo stato maggiore della Regia Marina andava sempre più dichiarando, sulla necessità di far sì che il paese raggiungesse almeno un accettabile livello di indipendenza dall'estero, se non la completa autosufficienza, nella produzione del materiale bellico. Così la casa inglese che già forniva munizioni alla Regia Marina ed al Regio Esercito, per non correre il rischio di dover rinunciare ad importanti commesse, decise di aprire una sua filiale in Italia<sup>92</sup>. Per oltre quaranta anni, dalla sua fondazione, l'azienda rimase di proprietà britannica, anche se dal 1903 essa già ravvisò l'opportunità di assumere un carattere 'più italiano' associandosi con l'Ansaldo di Genova. In tal modo fu possibile unire al meglio la vocazione cantieristica e meccanica dell'Ansaldo nel costruire navi da guerra a quella dell'Armstrong, che era ben esperta nel fabbricare artiglierie navali, di ogni genere, fino alle più pesanti, ed il loro munizionamento. La vera specialità dell'Ansaldo Armstrong era la produzione dei cannoni di grosso calibro, sia quelli destinati all'artiglieria terrestre, sia quelli che armavano le grandi navi da battaglia. La fabbrica di Pozzuoli forniva non solo il Regio Esercito e la Regia Marina, ma acquisiva anche importanti commesse per armare navi da guerra allestite in Italia per conto di altre nazioni. Nel 1904 l'azienda, impiegando 1.200 unità lavorative, produceva 1.500 tonnellate di materiale all'anno, nel 1911, con 3.700 unità lavorative, aveva triplicato la sua produzione. Lo stabilimento occupava una superficie complessiva di 280.000 mq, di cui 50.000 coperti. Sviluppava un ciclo produttivo completo che comprendeva la fusione e la trasformazione della ghisa in acciaio, le operazioni di fucinatura, ogni genere di lavorazione meccanica, tutti i trattamenti termici occorrenti, la cerchiatura e la nastratura dei cannoni, Fig. 6, la rigatura delle bocche da fuoco, la lavorazione completa di tutte le parti e di tutti i meccanismi di

---

<sup>92</sup> De Rosa 1968, pp. 137-139.

sostegno e di puntamento delle artiglierie, fino alle operazioni di finitura, di montaggio e di collaudo. L'acciaio veniva prodotto con il processo Martin-Siemens. Nei reparti dotati di presse e di forni di riscaldamento i lingotti di acciaio venivano lavorati per fucinatura per ottenere tutte le parti di cannoni, di piccolo e di medio calibro, ed i proiettili. Una pressa idraulica da 4.000 tonnellate, macchina rara per quei tempi, era impiegata per trasformare i lingotti di maggiore dimensione nelle bocche da fuoco di grosso calibro. La fabbrica era dotata anche di una fonderia per la costruzione di parti in bronzo e di una officina da 17.500 mq dotata di 800 macchine utensili, in prevalenza già azionate dall'energia elettrica. Le più potenti bocche da fuoco per impiego navale e per le fortificazioni costiere, avevano calibro di 305 mm e lunghezze che potevano raggiungere e superare i quindici metri. Le artiglierie di grosso calibro, che erano una specialità esclusiva dell'Armstrong, richiedevano per le loro lavorazioni l'impiego di torni con bancali di oltre quindici metri e altezza delle punte di più di un metro. La movimentazione e la lavorazione delle armi di grosso calibro richiedeva accorgimenti speciali dal momento che la massa di un cannone costiero con calibro da 305 mm raggiungeva le settantadue tonnellate. Per le operazioni di cerchiatura delle canne di maggiore lunghezza erano disponibili appositi "pozzi di montamento" verticali, profondi fino a dieci metri e posti in prossimità del forno dove avveniva il riscaldamento dei cerchi<sup>93</sup>. La collocazione della fabbrica sul mare, con un adeguato pontile d'approdo per le navi da guerra, consentiva l'imbarco diretto ed il montaggio a bordo di tutto il materiale d'artiglieria. L'impianto era dotato di quattro gruppi elettrogeni autonomi, di un gasometro per alimentare i forni e per fornire una fonte di illuminazione sussidiaria alle officine ed era presidiato in permanenza dalla Regia Marina, dal Regio Esercito e dai Carabinieri. La Grande Guerra rappresentò per la fabbrica un'insperata quanto malaugurata occasione di crescita. Gli operai passarono dai 3200 del 1915 ai 7000 nel 1918. L'azienda, come sovente accade nei momenti in cui le catastrofi procurano imprevedibili picchi di domanda, fu solo attenta ad approfittare dell'occasione per accrescere al massimo gli utili<sup>94</sup>. Non realizzò nessun nuovo impianto e non acquisì nessun macchinario innovativo<sup>95</sup>. In sostanza, nel tempo della congiuntura favorevole, la dirigenza dell'azienda mantenne gli occhi ben chiusi sul suo futuro. Infatti, anche se l'intensa attività produttiva dell'Armstrong si protrasse ancora per un decennio dopo la fine della guerra, giacché per questo tempo ancora il mercato internazionale degli armamenti pesanti continuò ad essere

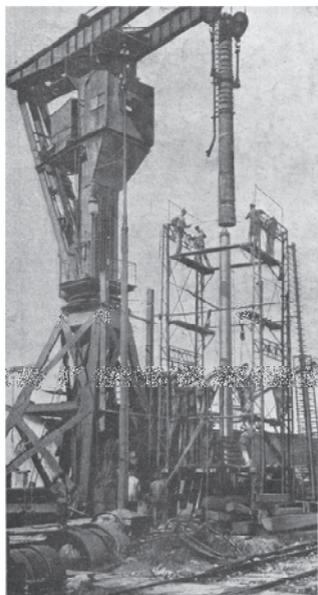
---

<sup>93</sup> Manganoni 1928, p. 400.

<sup>94</sup> De Benedetti 1990, p. 305. Gli utili dell'Armstrong, nell'anno 1917, raggiunsero il 23,5% del fatturato.

<sup>95</sup> *Ibidem*, p. 292.

attivo, cominciò poi la decadenza ed il declino dell'azienda verso un destino che era già stato segnato.



**Figura 6.** Officine Ansaldo-Armstrong, Impianto per la cerchiatura dei cannoni di grosso calibro. Fonte: Manganoni Carlo, *Armi da fuoco portatili e materiali d'artiglieria*, 2 voll., Tipografia Enrico Schioppa, Torino, 1928, Tav. LVII, f.t., Fig. 617.

## La mobilitazione industriale per la Grande Guerra

Altre aziende metalmeccaniche di qualche rilievo operavano in Italia Meridionale al tempo della Prima guerra mondiale. Di esse, per brevità di spazio, ometteremo il ricordo. Merita, per contro, una pur sommario accenno al modo con cui lo Stato operò per governare uno sforzo bellico senza precedenti, intervenendo con l'Istituto della Mobilitazione Industriale. Nel 1914 l'industria siderurgica insieme a quella meccanica, rappresentava in Italia poco meno del 27% dell'intera produzione manifatturiera. Questa percentuale, certamente inferiore se riferita all'Italia Meridionale, consentiva tuttavia di poter presagire che i "benefici" prodotti dall'impegno bellico, se opportunamente indirizzati e controllati, al termine della guerra, avrebbero potuto riconsegnare al paese un'industria metalmeccanica di ben più consistenti dimensioni oltre che più forte, meglio organizzata e dotata dei mezzi più aggiornati: in breve, più efficiente e più competitiva in ambito internazionale, capace, quindi, di affrontare un'efficace riconversione per la fabbricazione dei prodotti di pace. Le imprese del settore, quindi, avrebbero dovuto beneficiare della creazione dell'Istituto della Mobilitazione che era stato organizzato per prescegliere gli stabilimenti "ausiliari", stipulare con essi i contratti delle commesse, coordinarne le attività, ripartire in modo bilanciato le produzioni, provvedere a tutti i supporti

logistici necessari per assicurare le forniture dei materiali nonché le fonti energetiche e tutti i trasporti occorrenti. Questo impegno comportava enormi sacrifici sociali poiché l'Istituto fu chiamato ad attuare e gestire il difficile compito della "militarizzazione", più o meno spinta, di tutte le maestranze, in base al sesso, all'età ed alla posizione dei maschi nei confronti dell'obbligo di leva. Dove il tessuto industriale già esisteva ed era ben sviluppato, si trattava fundamentalmente di effettuare un rapido adeguamento per finalizzare le produzioni alle necessità di fornire armamenti ed ogni genere di materiale bellico. Dove invece, tale tessuto era poco sviluppato, ed ancora non esisteva una diffusa cultura imprenditoriale, ed è questo il caso dell'Italia meridionale, l'Istituto della Mobilitazione Industriale avrebbe dovuto anche assumere il ruolo di promozione e di stimolo verso assetti produttivi più efficienti e competitivi. L'Istituto era stato organizzato con una struttura centralizzata, il Comitato Centrale per la Mobilitazione Industriale (CCMI) e, a livello regionale, con Comitati Regionali per la Mobilitazione Industriale (CRMI). Nell'intero mezzogiorno d'Italia operò un unico CRMI. Ciò che si verificò allora merita di essere brevemente ricordato. In tutti i paesi d'Europa, a quel tempo, era considerata significativa una dimensione delle imprese produttive con più di dieci addetti, comprendendo tra questi gli operai, i sorveglianti ed i contabili. In Germania il 94,59% ed in Francia il 97,98% delle imprese industriali occupavano meno di dieci unità di personale. Nell'Italia meridionale tali percentuali erano sicuramente ancora maggiori: la stragrande maggioranza di coloro che non risultavano occupati nell'agricoltura lavorava in un universo di botteghe, di laboratori artigianali, di piccole officine. È ragionevole ritenere che anche nel settore della meccanica tali percentuali fossero della stessa entità, o comunque, non molto dissimili. Basterà ricordare, che nel periodo della Prima guerra mondiale, prima cioè che si diffondesse l'impiego dei mezzi di trasporto a motore, era diffusa su tutta la rete stradale la presenza di botteghe di maniscalchi che provvedevano alla ferratura dei cavalli da tiro, che, aggiogati ai carri dalle grandi ruote, erano impiegati per gran parte dei trasporti delle merci a medio raggio e per quasi la totalità della distribuzione locale. Le industrie meccaniche dell'epoca, nell'Italia meridionale, si concentravano, in realtà, prevalentemente nelle zone costiere della Campania, intorno alla città di Napoli e sulla direttrice interna Napoli-Salerno. In misura minore in Sicilia, intorno a Palermo e Catania.

Con una tale situazione di partenza il CRMI per l'Italia meridionale fu chiamato a svolgere il difficile compito di controllare la produzione bellica della totalità delle aziende meccaniche impegnate nelle produzioni belliche, sia di quelle, relativamente poche, qualificate come "ausiliarie", al vertice delle quali era l'Ansaldo Armstrong di Pozzuoli, che disponevano di requisiti minimi per dotazioni strumentali e capacità lavorativa, sia di quelle "non ausiliarie" che erano invece la gran parte.

Queste ultime, tuttavia, pur non rispondendo ai requisiti, poiché erano impegnate in lavorazioni svolte per conto dei pochi opifici “ausiliari” di maggiori dimensioni e nella lavorazione di proiettili di piccolo e medio calibro, ricaddero anch'esse sotto il controllo del CRMI. Per queste imprese, in realtà, gli svantaggi furono maggiori dei vantaggi. Subirono controlli ed ispezione da parte del CRMI ed anche i loro operai furono assoggettati alle dure regole della militarizzazione, in modo particolare quelli che lavoravano con l'esenzione dal servizio di leva<sup>96</sup>, ma non furono mai indirizzate o incentivate alla riorganizzazione, all'aggiornamento ed all'innovazione dei processi lavorativi. Esse, in più soffrirono per la carenza di manodopera e per le regole della militarizzazione. Queste costituirono il complesso delle norme, emanate durante tutto l'arco del periodo bellico, che, attraverso la sottrazione dell'operaio al giudizio dei tribunali ordinari, la sua sottoposizione alle incriminazioni del codice penale per l'esercito e alla competenza dei tribunali militari e la creazione di nuovi titoli specifici di reato, «privarono praticamente il proletariato del diritto di sciopero e degli altri normali strumenti per la tutela del potere di contrattazione e delle condizioni di lavoro»<sup>97</sup>. La carenza della forza lavoro, fu particolarmente avvertita anche per i costumi e per i comportamenti sociali dell'epoca che, di fatto, nell'Italia meridionale, limitavano di molto la possibilità di far ricorso alla manodopera femminile. A motivo della carenza di manodopera, nel corso della guerra, si verificò, con effetto domino, la sistematica sottrazione delle risorse umane impegnate presso le aziende produttive meccaniche non ausiliari da parte di aziende ausiliarie. La sottrazione “per concorrenza” di personale si verificò anche tra le aziende ausiliarie, nonostante che i trasferimenti di personale dovessero essere autorizzati dal CRMI e che, in particolar modo nella seconda parte del conflitto, fosse stata adottata una severa politica repressiva contro gli abbandoni arbitrari dei posti di lavoro<sup>98</sup>.

## **La fabbrica delle automobili**

### *Lo Stabilimento Giambattista Vico di Pomigliano D'Arco*

Verso la metà degli anni '60 del secolo scorso Pasquale Saraceno, consulente economico generale dell'IRI, maturò il convincimento che sui suoli di quello che prima della guerra era stato il polo aeronautico di Pomigliano D'Arco dovesse sorgere un nuovo impianto Finmeccanica per la produzione di automobili e l'Alfa

---

<sup>96</sup> Franchini 1932, pp. 86-109.

<sup>97</sup> Neppi Modona 1969, p. 198.

<sup>98</sup> De Benedetti 1990, pp. 387-392.

Romeo fu incaricata di sviluppare il progetto. Evidentemente il grande economista di Morbegno condivideva quegli stessi pensieri che Francesco Saverio Nitti aveva espresso fin dagli albori del secolo scorso:

Ciò che più giova a Napoli è la grande industria: essa sola forma la maestranza abile, determina lo spirito industriale, acuisce le attività; non è una necessità economica è soprattutto una necessità didattica. Si può anzi dire che la piccola industria non svilupperà, non sarà gagliarda, se non quando la grande l'avrà penetrata nel suo spirito vitale<sup>99</sup>.

Era l'anno 1967 quando il presidente dell'Alfa Romeo Luraghi richiamò dalla Fiat l'ingegnere austriaco Rudolf Hruska<sup>100</sup> per coordinare il progetto della nuova vettura e per creare il nuovo stabilimento per costruirla. Così il nuovo impianto fu realizzato in tempi molto rapidi su una superficie di 2,5 milioni di metri quadrati e già nel novembre del 1971 il nuovo modello dell'Alfasud fu presentato al Salone dell'automobile di Torino. L'impianto di Pomigliano occupava all'incirca dodicimila operai e tremila impiegati ed era stato previsto che esso dovesse avere una produzione giornaliera di mille vetture; era dotato di una pista di prova con curve paraboliche, ed era anche munito di un percorso comprendente ogni tipo di pavimentazione e di asperità stradali per le sperimentazioni ed i collaudi. Il reparto assicurazione qualità era dotato di aggiornatissime macchine ed apparecchiature per ogni tipo di prova meccanica sui materiali, sui componenti e sulle scocche. I motori venivano provati su una serie di banchi di ultimissima generazione. La nuova vettura Alfa Sud, prima utilitaria prodotta dall'Alfa Romeo, aveva la trazione anteriore ed un motore boxer da 1186 centimetri cubici. Alla progettazione dell'innovativo modello aveva anche dedicato tutto il suo talento e la sua esperienza l'ing. Domenico Chirico<sup>101</sup>. La commercializzazione della prima serie ebbe inizio nel giugno del 1972 e la vettura ebbe enorme successo; nonostante le Alfa Sud prodotte fossero assai meno di quelle inizialmente previste, le vendite in quegli anni ammontarono a circa settantamila veicoli; poiché i tempi di attesa per le consegne erano sempre lunghi, è lecito supporre che, se la produzione fosse stata in linea con le previsioni, esse sarebbero state di molto maggiori. L'Alfa Sud, con molte innovazioni ed aggiornamenti, fu prodotta fino al 1983. In quegli anni i dirigenti dell'Alfa Romeo ebbero la felice intuizione di realizzare un accordo con la Nissan

---

<sup>99</sup> Nitti 1958, p. 24-25.

<sup>100</sup> D'Amico 2007, vol. II, p. 743.

<sup>101</sup> Domenico Chirico, nato a Reggio Calabria l'11 giugno 1928, studiò al Politecnico di Milano dove fu allievo del prof. Antonio Fessia. Entrò al Portello nel 1952. Dal 1962 al 1967 fu responsabile del reparto sperimentale. Nel 1967, con Hruska, diede vita al gruppo di progettazione che sviluppò l'impianto di Pomigliano d'Arco e la vettura che vi doveva essere prodotta, l'Alfa Sud.

per produrre nello stabilimento di Pomigliano una nuova vettura, l'Arna con motorizzazione Alfa Romeo e carrozzeria della casa giapponese. Nonostante le innumerevoli polemiche e le incomprensioni che accompagnarono questa iniziativa di cooperazione internazionale che, forse, era allora troppo in anticipo sui tempi, la vettura rivelò ottime prestazioni e consumi assai ridotti. Ma il mercato italiano non accordò all'Arna il successo che essa, obiettivamente, avrebbe meritato. Il motivo, si disse, era che si trattava di una vettura che non appariva più come un'Alfa Romeo. Grande successo, invece, fu riservato all'Alfa 33 che sostituì l'Alfa Sud nel 1983. Essa era stata ancora progettata da Rudolf Hruska<sup>102</sup>, montava il collaudato boxer da 1351 centimetri cubici, ed era una vettura attualissima per il suo tempo, di aspetto gradevole, anche se con finiture alquanto spartane. Nel 1986 la Finmeccanica, per motivi finanziari, decise di cedere alla Fiat le quote Alfa Romeo. Così anche lo stabilimento di Pomigliano d'Arco passò alla casa torinese. L'impianto abbisognava dei necessari aggiornamenti e la nuova proprietà ne affrontò gli oneri e così, negli anni seguenti, esso fu impegnato nella produzione di numerosi modelli Alfa Romeo: 33, 155, 145, 146, 147, 156 e 159 nonché l'Alfa Romeo GT. Per valorizzare al meglio la costruzione delle prestigiose vetture l'impianto di Pomigliano ha periodicamente richiesto, nel corso degli anni ulteriori, numerosi e costosi aggiornamenti. Le maestranze, pur se assai meno numerose rispetto al precedente assetto dell'epoca Finmeccanica, hanno raggiunto ottimi livelli di produttività ed efficienza e la qualità dei prodotti è stata sempre più che soddisfacente. Al tempo d'oggi l'impianto di Pomigliano, pur se più volte migliorato, per la sua stessa sopravvivenza, necessitava di una definitiva e profonda trasformazione. Esso pur sempre risentiva del fatto che era stato originariamente progettato e realizzato poco prima che l'industria automobilistica mondiale adottasse metodologie e sistemi di produzione innovativi, molto diversi dai precedenti. La radicale trasformazione è stata da poco compiuta ed il nuovo stabilimento ha preso nome proprio da Giambattista Vico, il grande filosofo napoletano che è stato ricordato all'inizio di questa storia, per significare che i valori di civiltà e di conoscenza di un popolo

---

<sup>102</sup> Rudolf Hruska, Rudi per gli amici, nacque a Vienna il 2 luglio del 1915, si laureò in ingegneria meccanica alla Technische Hochschule della sua città natale nel 1938. Lavorò con Alfred Porsche e Karl Rabe al progetto della VW, la più grande fabbrica di automobili d'Europa. Dopo la fine della seconda guerra mondiale collaborò con Tazio Nuvolari, Corrado Millanta e Carlo Abarth al progetto al progetto di una eccezionale vettura, la Cisitalia Gran Premio che non fu mai realizzata per le corse, ma che occupa un posto di rilievo nel Museo Porsche. Nel 1951 fu chiamato dal dr. Giuseppe Luraghi, al tempo direttore della Finmeccanica e delle sue consociate, tra le quali vi era l'Alfa Romeo come consulente tecnico per la casa di Arese. Fu anche consulente della Fiat dal 1960, finché Luraghi, rientrato nel 1967 all'Alfa Romeo come Presidente, lo richiamò a collaborare ai progetti di vetture che sono ormai nella storia dell'automobile. Hruska morì nel 1985.

restano scolpiti per sempre e mai si debbono disperdere. Il nuovo assetto produttivo, ispirato ai principi ed ai metodi del *World Class Manufacturing*, è finalizzato alla totale sicurezza (*zero incidenti*), alla massima qualità (*zero difetti*), alla snellezza produttiva (*zero scorte*) ed alla massima efficienza (*zero guasti*), Fig. 7. Così, nel tempo record di dodici mesi il sito comprensoriale Giambattista Vico è stato portato all'eccellenza tecnologica ed organizzativa con un investimento di ottocento milioni di euro. La Fiat ha investito più di cento milioni di euro solo per creare migliori condizioni di lavoro e per aumentare l'efficienza dell'impianto. Un particolare impegno, sostanziale anche se, forse, poco appariscente, è stato riservato alla riqualificazione del personale attuando un imponente impegno di formazione. La fiducia riposta dall'azienda nelle potenzialità del fattore umano è stata ben riposta: essa è comprovata dal coinvolgimento della gente di fabbrica nella fase di industrializzazione e di messa a punto dei cicli produttivi. L'iniziativa ha riscosso un tale successo che i lavoratori hanno formulato circa 8.500 suggerimenti per migliorare le postazioni di lavoro, i processi produttivi, la sicurezza, l'ergonomia e la qualità. Con le parole pronunciate da Sergio Marchionne in occasione della presentazione della nuova Panda, nel dicembre del 2011, l'industria automobilistica nazionale ha ribadito la sua fiducia e le sue aspettative sull'impegno e sui risultati di una difficile sfida, lanciata con coraggio, proprio durante il periodo della peggiore crisi che abbia mai colpito il mercato mondiale dell'automobile:

Chi ancora dubita che in questo stabilimento si possano fare le cose e farle bene, non ha che da venire qui, per vedere i reparti della fabbrica e parlare con la gente che ci lavora. Chi ancora dubita che a Pomigliano e nel Sud Italia si possa creare una nuova cultura industriale, che si possano cambiare le cose, migliorando quello che c'è di positivo ma anche cancellando quando c'è di negativo, non ha che da venire qui. Chi ancora dubita che gli impegni della Fiat siano seri e fondati, non ha che da venire qui. Abbiamo mantenuto le nostre promesse. Abbiamo sempre abbracciato le sfide più alte, forse anche le più difficili, ma proprio per queste degne di essere seguite<sup>103</sup>.

La vettura prodotta a Pomigliano è la Nuova Panda di cui è stata prevista la costruzione di 260.000 esemplari all'anno. È un'auto che sintetizza i migliori valori di design, di tradizione e di tecnologia dell'industria italiana. Una vettura bella, sicura, economica, sobria nei consumi, ma capace di ottime prestazioni, che, rinata nella sua terza generazione dopo anni ed anni di successi delle prime due versioni, viene costruita nello stabilimento destinato alla storia nuova, che è stato intitolato a Giambattista Vico, Fig. 8.

---

<sup>103</sup> Intervento dell'A.D. della Fiat, Sergio Marchionne, alla presentazione della nuova Fiat Panda, Pomigliano d'Arco, 14 dicembre 2011.



**Figura 7.** Stabilimento Giam-battista Vico, linea di montaggio. Cortesia della Fiat Group Automobiles s.p.a.



**Figura 8.** La nuova Panda sulla Costiera Amalfitana. Cortesia della Fiat Group Automobiles s.p.a.

### *La presenza della Fiat nel Mezzogiorno d'Italia*

Negli ultimi decenni la grande industria torinese ha operato con un impegno senza precedenti nel contribuire attivamente allo sviluppo dell'industria meccanica del Mezzogiorno d'Italia. Ne sono prova i numerosi ed importanti impianti ubicati nel basso Lazio, in Campania, in Basilicata, in Molise, in Puglia. Ciò che ha sempre

caratterizzato questo impegno non è stata solo la rilevanza dimensionale e produttiva degli impianti, ma anche, e principalmente, la ricerca approfondita delle più avanzate ed attuali tecnologie di produzione attraverso scelte di avanguardia, sempre proiettate ad anticipare quello che sarebbe divenuto il futuro modo di concepire e fare industria. Un ulteriore aspetto che va evidenziato è che l'aggiornamento tecnologico di tutti questi impianti è stato sempre attuato puntualmente e con la ricerca dell'innovazione. Così fu per lo stabilimento New Holland Construction di Lecce, per lo stabilimento Sevel (Società Europea Veicoli Leggeri) di Atessa, per la fabbrica dei motori diesel di Foggia per quello di Cassino, per quello dei motori di Termoli, per quello di Pratola Serra, per quello di Melfi. Nel loro insieme, in poco più di trent'anni, tutte queste realtà produttive hanno fatto del Mezzogiorno d'Italia una delle zone d'Europa, e non solo d'Europa, a più alta concentrazione d'industria autoveicolistica. Dal punto di vista economico ed occupazionale l'effetto complessivo di un tale impegno è stato fondamentale per le regioni del Sud Italia ed ognuna delle realtà che sono state menzionate meriterebbe uno studio specifico ed approfondito.



**Figura 9.** Stabilimento di Melfi, ergonomia nelle operazioni di assemblaggio.  
Cortesia della Fiat Group Automobili s.p.a.

Il caso dello stabilimento di Melfi vale a rappresentare tutti gli altri impianti che sorgono nel Mezzogiorno d'Italia. L'Avvocato Giovanni Agnelli arrivò a definire 'temeraria' la sfida che la Fiat lanciò nel 1991 con la costruzione di questo impianto. L'azienda torinese, con la realtà produttiva più avanzata d'Europa, Fig. 9, infatti, mirava anche ad una concezione completamente nuova, quella della fabbrica integrata dove l'organizzazione del lavoro si svolge a "flusso teso", assolutamente senza scorte, ed ogni componente viene prodotto solo quando serve. La Punto, il modello che sarebbe entrato in produzione, a regime, solo dopo qualche mese, avrebbe raggiunto una produzione segnata dalla ragguardevole cifra di 450.000 unità all'anno, Fig. 10. La zona in cui doveva sorgere lo stabilimento, un'area di circa due milioni di metri quadrati, presentava gradevoli ondulazioni del terreno che, a prima vista, avrebbero indotto a ritenere indispensabili imponenti opere di movimento terra, con un completo sconvolgimento degli equilibri naturali ed estetici in un territorio ricco di bellezze naturali oltre che di tradizioni storiche. Per questo anche le scelte architettoniche furono accurate ed assolutamente indovinate sotto il profilo estetico ed ambientale. Così gli edifici, per un totale di 270.000 metri quadrati coperti, dei quali 70.000 riservati ai fornitori, non potendo essere costruiti in pendenza, sono stati realizzati su una serie di opportuni terrazzamenti e costituiscono un insieme armonioso e gradevole. La città di Melfi ben meritava un siffatto impegno: essa fu prediletta dall'Imperatore Federico II di Svevia che vi fece costruire un imponente castello e vi promulgò le "Costituzioni Melfitane" che nella storia della civiltà dell'uomo segnano il più importante impegno legislativo dopo quello di Giustiniano. Altro capolavoro della fabbrica di Melfi fu quello della formazione che, in un tempo relativamente breve, con l'erogazione complessiva di ben 270.000 giornate, portò tutta la forza produttiva ad un livello di assoluta eccellenza. Si trattava di rendere perfettamente operativi 5.300 addetti<sup>104</sup>, quasi per la totalità molto giovani, tanto che l'età media dei dipendenti, all'avvio della produzione, nel dicembre del 1993, era di poco più di ventisei anni. Lo stesso Direttore dello stabilimento, Daniele Bandiera, all'epoca aveva solo trentasei anni, e la stessa età aveva anche il responsabile del personale. Questi dati dovrebbero indurre alla riflessione quanti, ai nostri giorni, continuano a ripetere che il futuro è dei giovani e che ai giovani bisogna pensare, ma, al tempo stesso, nulla di concreto sanno proporre, né tantomeno realizzare.

---

<sup>104</sup> Aggiungendo a questi i 3.200 dipendenti dei fornitori impegnati nel comprensorio ed i circa 700 addetti di aziende terziarizzate, si superarono per Melfi le novemila persone occupate.



**Figura 10.** Stabilimento di Melfi, saldatura della Punto. Cortesia della Fiat Group Automobiles s.p.a.



**Figura 11.** Elasis, sede principale. Cortesia di Elasis S.c.p.A.

*Elasis, la fabbrica delle idee*

L'industria meccanica di oggi, per progredire, ha bisogno di idee nuove, di nuove tecnologie di progettazione e della incessante interazione di saperi positivi tra settori dell'ingegneria, del design e dell'ergonomia e quelli delle scienze matematiche, fisiche e chimiche. Per questo è opportuno dire, se pur brevemente, di una istituzione di ricerca e di sviluppo, l'Elasis, istituita dalla Fiat nel 1988, ed ubicata a Pomigliano d'Arco, in provincia di Napoli, dapprima nell'edificio principale di quello che era stato lo stabilimento dell'Alfa Sud, e, negli anni immediatamente seguenti, con una ampia e nuovissima sede, sul sedime del vecchio aeroporto ormai chiuso. Si tratta di una struttura che, nel giro di pochi anni

è divenuta una delle realtà tecnico-scientifiche di riferimento della ricerca e sviluppo nel settore dell'automobile ed una delle più importanti società europee di ingegneria avanzata. La sua nascita fu uno dei più concreti e positivi investimenti, oltre che in mezzi, anche in risorse umane ad alto livello di formazione, mai realizzati nel Mezzogiorno. Su un'area di 100.000 mq, di cui 14.000 mq di laboratori, il centro comprende ogni genere di apparecchiatura sperimentale per sostenere la progettazione in campo autoveicolistico, Fig. 11. Esso, tra l'altro, si avvale di banchi prova motori, sale per il controllo delle emissioni inquinanti, camere climatiche, banchi a rulli, sale per l'analisi modale e per l'analisi delle vibrazioni e del rumore, camera anecoica per la compatibilità elettromagnetica, Fig. 12 e tutta una gamma di sistemi per la valutazione della resistenza statica ed a fatica di gruppi, di scocche e di autoveicoli completi. L'Elasis, inoltre, sin dal 2001, ha sviluppato impianti e metodologie di avanguardia per la progettazione virtuale, Fig. 13. Con un organico complessivo di circa ottocento addetti, l'Elasis, alla sua inaugurazione, poteva contare su circa quattrocento laureati, in gran parte ingegneri, quasi tutti neolaureati. E la struttura era, come i suoi giovani, tutta proiettata verso il futuro. Con tanti ingegneri e con tanti tecnici al lavoro non c'era in tutta l'Elasis un solo tavolo da disegno giacché per la progettazione si utilizzarono, sin dal primo momento esclusivamente tecnologie CAD<sup>105</sup>. Chi scrive ebbe la fortuna di essere testimone partecipe di questa nascita e ne descrisse la vicenda nella prefazione di un libro<sup>106</sup> che fu dedicato a Domenico Martorana, il primo artefice di questa realizzazione, quando gli venne conferita la laurea *honoris causa* in Ingegneria Meccanica dalla Seconda Università degli Studi di Napoli. Si legge in quella prefazione:

Mancavano alcuni mesi all'inizio dei lavori, quando, nel mese di luglio del 1992, fummo invitati da Domenico Martorana a visitare, in sua compagnia, il luogo dove doveva nascere l'Elasis: il caldo torrido di quel pomeriggio d'estate, lo strato di povere impalpabile che tutto ricopriva e che si sollevava nell'aria sotto i nostri passi, non scalfivano benché minimamente le la sua ferma determinazione, né velavano la chiarezza delle sue intenzioni. Mostrava con compiacimento gli ampi spazi a disposizione e con sicuri segni della mano indicava nell'aria la collocazione degli edifici e dei laboratori che sarebbero sorti, descriveva con meticolosa precisione tutte le caratteristiche degli impianti e le apparecchiature che avrebbero reso possibili nuove forme di ricerche e di sperimentazioni per migliorare la progettazione automobilistica. Un tale impegno di risorse e di attività, in particolar modo al docente universitario, avvezzo alle limitazioni ed alle ristrettezze dei bilanci universitari, appariva a dir poco utopia. Quante volte, negli anni seguenti, trovandoci

<sup>105</sup> CAD è l'acronimo che sta per *Computer Aided Design*.

<sup>106</sup> Caputo 2003, p. I-II.

all'interno di quella speranza divenuta realtà, nel percorrere i viali alberati, nel ritrovarci tra gli edifici di quella cittadella felice in cui si svolgevano tante e tante attività di ricerca, abbiamo avuto modo di ripensare a quel giorno di luglio.

Dopo Domenico Martorana altri due dirigenti, altrettanto eccellenti, sono stati al governo dell'Elasis, Antonio Bene solo per pochi mesi, poi Nevio Di Giusto. Sono nomi da ricordare. Perché sono gli uomini che fanno le imprese e le conducono. Delle tre personalità, in questa storia, non si potrebbe in alcun modo tacere solo per la prudente cagione della loro appartenenza alla contemporaneità. Grazie alla loro guida i giovani ingegneri continuano ad essere la fondamentale risorsa dell'Elasis. Imparano presto e bene il difficile mestiere di fare le automobili e spesso vengono promossi e trasferiti in altre realtà produttive del gruppo Fiat. Quelli che arrivarono in Elasis al principio degli anni '90 hanno oggi, quasi tutti, qualche filo di grigio nei capelli e molti di loro sono ormai dirigenti. Ma Elasis (che in greco vuol dire energia, vitalità) in questi venti anni ha continuato ad andare avanti: la capacità delle persone ed i continui aggiornamenti tecnologici hanno fatto crescere a tal punto le capacità della società che essa, ormai, dagli inizi del 2011, può essere considerata, a tutti gli effetti, un gruppo di ingegneria avanzata completamente integrato nell'ingegneria di prodotto di Fiat Group Automobiles. Cioè di una delle aziende automobilistiche di livello mondiale.



**Figura 12.** Elasis, camera anecoica per la compatibilità elettromagnetica. Cortesia di Elasis S.c.p.A.

**Figura 13.** Elasis, valutazione di soluzioni progettuali in ambiente di realtà virtuale immersiva. Cortesia di Elasis S.c.p.A.



## La fabbrica degli aeroplani

### *I precursori del volo*

Mentre la nascita dell'industria aeronautica risale all'incirca ad un secolo fa, occorre ricordare che nel Mezzogiorno d'Italia l'interesse per il volo umano e gli studi sulla teoria del volo risalgono ad un tempo di molto precedente.

Nel 1680 Alfonso Borelli nato a Castelnuovo di Stabia, in provincia di Salerno, con il suo lavoro *De motu animalium*, per primo s'impegnò a dimostrare che l'uomo non può volare con le proprie forze. Egli si rese conto che la struttura muscolare dell'uomo è inadatta al volo e che la massa del suo apparato scheletrico è commisurata alle sue attività motorie terrestri, mentre i volatili hanno le ossa molto leggere in quanto cave e sono peraltro incapaci di notevoli sforzi. Il fisico napoletano Tiberio Cavallo, nel 1782, invece, sostenne che le possibilità di volare erano unicamente legate alla spinta ascensionale dell'idrogeno. La prima ascensione in pallone aerostatico avvenne a Napoli il 13 settembre 1789 ma ebbe invece, come protagonista un lucchese, Vincenzo Lunardi, che spiccò il volo dal maneggio di Palazzo Reale. Per tutto l'800 in Campania gli aerostati furono molto impiegati. Dalla seconda metà del secolo essi resero possibili anche le prime fotografie aeree della città e dei suoi dintorni.

Il 17 dicembre 1903, i fratelli Wilbur e Orville Wright a Kittyhawk, negli Stati Uniti, riuscirono a far volare il primo aereo a motore della storia che essi stessi avevano concepito e realizzato. Poiché i fratelli Wright avevano dimostrato che il volo di un mezzo più pesante dell'aria era possibile, in quell'inizio del XX secolo in tutto il mondo si moltiplicano i tentativi di imitarli. Il marchese napoletano Francesco Filiasi fu il primo meridionale ad impegnarsi nella realizzazione di un biplano ed un suo aereo fu portato in volo il 3 giugno 1910 a Roma dal pilota

Calderara<sup>107</sup>. Lo stesso Giovanni Agusta, pioniere del volo in Italia, nella piazza d'Armi di Capua pilotò un aliante che egli stesso aveva progettato, lo AG-1, facendolo trainare da un'automobile.

Nel 1925 Francesco De Pinedo, nato a Napoli nel 1890, con l'idrovolante Savoia S.16, che portava il nome tutto partenopeo di "Gennariello" portò a compimento un'impresa del tutto eccezionale: in 370 ore di volo e con 80 tappe, percorse 55.000 chilometri, raggiunse il Giappone e l'Australia e fu il primo a raggiungere dal cielo quelle regioni del mondo. Nel 1927 lo stesso De Pinedo con l'idrovolante Savoia Marchetti S.55 (l'aeromobile che sarebbe stato poi insuperato protagonista di due Crociere Atlantiche) raggiunse il Sud America e gli Stati Uniti. Da New York, ripartì per l'Italia dimostrando che era ormai possibile l'impiego generalizzato del trasporto aereo. De Pinedo morì tragicamente nel 1933 a New York, mentre tentava il decollo con un monoplano "Bellanca" fin troppo carico di carburante, per battere il record mondiale di distanza senza scalo, volando fino a Bagdad. Altro grande protagonista meridionale dell'Aviazione è sicuramente Umberto Nobile, nato a Lauro (Avellino) nel 1885. Ingegnere meccanico, ufficiale del Genio, costruttore e pilota di dirigibili, Nobile, primo al mondo, sorvolò il Polo Nord alla guida del dirigibile Norge, da lui stesso progettato, nel corso della spedizione Amundsen. Nobile sorvolò una seconda volta, nel 1928, il Polo Nord alla guida della spedizione del dirigibile Italia, che nel viaggio di ritorno precipitò sulla banchisa polare. Ad Umberto Nobile è stato intitolato Il Dipartimento di Aeronautica dell'Università di Napoli Federico II.

*Dalla nascita l'industria aeronautica nel Mezzogiorno d'Italia nel 1916, all'ALenia-AERMACCHI del 2012*

Dal primo gennaio 2012 è stata costituita la nuova società Alenia-Aermacchi, società Finmeccanica, che realizza la concentrazione tra Alenia Aeronautica, l'Aermacchi e le società da esse controllate. Il nuovo logo dell'azienda è sintesi dei due storici marchi "Alenia" e "Aermacchi", e rappresenta un secolo di storia, di tradizione, di esperienza, ma anche di notevoli successi dell'industria aeronautica italiana e di quella meridionale in particolare. La storia dell'industria aeronautica nel Mezzogiorno, in realtà, risale agli anni della Prima guerra mondiale, quando anche a Napoli si seguivano con interesse e con entusiasmo i primi impieghi bellici dell'aviazione e le gesta dei nuovi cavalieri dell'aria. Ma quelle imprese lasciavano anche intravedere un sicuro avvenire per l'aviazione civile. Nacque così la prima fabbrica di aerei del sud, la IAM, Industrie Aeronautiche Meridionali per fabbricare motori e parti metalliche per velivoli. In verità, già durante la guerra, l'industria della

---

<sup>107</sup> Ferrari 2004, p. 22.

Campania aveva lavorato nel settore aeronautico per forniture belliche. Infatti, fin dal 1916 le OFM (Officine Ferroviarie Meridionali) di S. Giovanni a Teduccio, avevano eseguito, su licenza, costruzioni e riparazioni per i biplani Maurice Farman.

Nel 1917, prima della fine della grande guerra, l'ing. Nicola Romeo, fondò a Napoli la IAR (Industrie Aeronautiche Romeo) per la costruzione e riparazione di motori aeronautici. Romeo nato nel 1876 a S. Antimo, in provincia di Napoli, a ventiquattro anni aveva conseguito la laurea in ingegneria nell'Università di Napoli, e, successivamente, aveva continuato i suoi studi d'ingegneria in Belgio. La IAR riuscì anche ad aggiudicarsi una commessa governativa per la costruzione dei bombardieri Ca5 della Caproni.

Con la fine della guerra, le industrie aeronautiche, sia quelle che già esistevano, sia quelle che erano nate negli anni dal 1915 al 1918, e che avevano tutte potuto contare sulle forniture militari, si ritrovarono senza commesse. Così il comparto che in Italia, complessivamente, aveva sostenuto uno sforzo produttivo eccellente ed era riuscito portare la produzione di 300 aerei e 600 motori del 1915 a quella di 6.500 aerei e 14.000 motori nel 1918, con una occupazione complessiva di più di 100.000 addetti, si ritrovò in una crisi profonda. A questo impegno avevano contribuito in modo significativo le iniziative aeronautiche sorte nel Mezzogiorno. Anch'esse, come quelle del Nord Italia, risentirono della crisi del dopoguerra. L'ingegner Romeo nel 1924 aveva rilevato le OFM (Officine Ferroviarie Meridionali) che aveva fuso con la IAR che divenne così la Società Anonima Industrie Aeronautiche Romeo. Romeo riuscì anche ad ottenere un contratto per realizzare, presso le OFM, venti esemplari del biplano CR1, il primo caccia completamente italiano, progettato dall'ing. Rosatelli<sup>108</sup> per la FIAT Aviazione. I venti aerei che costituivano la commessa furono puntualmente consegnati in un anno. Nel 1926 iniziava al Sud la produzione di velivoli da parte delle Officine Ferroviarie Meridionali, attraverso la creazione della Società Anonima Industrie Aeronautiche Romeo. Dalla Romeo, primo polo aeronautico meridionale, derivarono tutte le iniziative del settore, destinate a svilupparsi negli anni seguenti sino alla costituzione dell'Aerfer prima, quindi dell'Aeritalia, dell'Alenia ed oggi, dell'Alenia Aermacchi. Nel 1935 la Breda rilevò le attività delle Officine Ferroviarie Romeo per formare la nuova società I.M.A.M. (Industrie Meccaniche Aeronautiche Meridionali), con stabilimenti principali in Napoli, al Vasto ed a Capodichino. Questa società, che impiegava 3000 dipendenti, costruì aerei come il Ro37, Fig. 14, e successivamente, il caccia metallico Ro51 e l'innovativo bimotore da combattimento Ro58.

---

<sup>108</sup> Celestino Rosatelli, Ingegnere, nato a Belmonte Sabino nel 1885, morto a Torino nel 1945, fu eminente progettista di aerei militari presso la FIAT Aviazione di Torino. Gli aerei da caccia venivano contraddistinti dalla sigla CR, quelli da bombardamento dalla sigla BR.



**Figura 14.** I.M.A.M. di Pomigliano D'Arco, produzione del Ro37. Cortesia di Alenia Aermacchi.

Al termine della seconda guerra mondiale l'industria aeronautica nazionale era praticamente distrutta: quasi tutti gli aeroporti erano inagibili e le fabbriche erano tutte più o meno rese inservibili dai bombardamenti. La guerra, in più, aveva portato una ventata di innovazione che l'Italia aveva potuto seguire solo nella prima parte del conflitto. Anche le zone industriali di Napoli avevano subito ingenti danni e fu deciso di riattivare gli impianti del Vasto in primo luogo per la ricostruzione dei trasporti ferroviari. In più l'Italia, come prevedeva l'armistizio che aveva posto fine alla guerra, non poteva costruire aeroplani. Ma le attività di revisione degli aerei erano consentite e così, ben presto, fu possibile organizzarle. Dopo il 1950 ebbero inizio anche le prime costruzioni di velivoli nello stabilimento di Capodichino. Il 4 aprile del 1949 l'Italia era entrata a far parte della NATO e l'aeronautica militare era impegnata nella transizione dai velivoli ad elica a quelli a getto. L'Aeronautica Militare Italiana ebbe in dotazione i primi Vampire della De Havilland. Questi caccia, costruiti su licenza dalla Fiat e dalla Macchi, fecero compiere un deciso passo in avanti alle tecnologie aeronautiche.

*La ricostruzione dell'industria aeronautica*

Nel 1951 l'ing. Gabrielli<sup>109</sup> progettò il primo aviogetto italiano, il G-80, biposto da addestramento avanzato. Intanto anche al Sud la ricostruzione avveniva senza soste: il 23 novembre 1949, nel polo aeronautico di Pomigliano d'Arco, fu riattivato lo stabilimento AERFER, per le costruzioni aeronautiche e ferroviarie. Esso, in un primo tempo, servì alla costruzione di veicoli ferroviari ed autofilotranviari. Nel maggio del 1952 la nuova società firmò un contratto con la "United States Air Force" per la costruzione di parti di ricambio per l'F-84 G, divenendo la prima azienda europea a ricevere un contratto dall'USAF per i ricambi. Questo fu solo l'inizio dopo il quale si sviluppò un fruttuoso rapporto di collaborazione tra

---

<sup>109</sup> Giuseppe Gabrielli nacque a Caltanissetta il 26 febbraio 1903, conseguì la laurea in Ingegneria Industriale Meccanica a soli ventidue anni ed il dottorato ad Aquisgrana, in Germania, sotto la guida di Theodore Von Kàrmàn. Tornato in Italia nel 1927 iniziò il suo lavoro di progettista alla Piaggio nello stabilimento aeronautico di Finale Ligure. Nel 1928 fu nominato assistente universitario presso la cattedra di Costruzioni Aeronautiche che dal 1930 ricoprì come professore ordinario. Nel 1929, riprogettò la versione completamente metallica dell'idrovolante Savoia-Marchetti S.55 fino ad allora costruito in legno. Fin dal 1931 Giovanni Agnelli lo chiamò a collaborare nel reparto di progettazione velivoli della sua industria. Ebbe così inizio la sua lunga collaborazione con la Fiat che si protrasse fino agli anni '80. Nel dopoguerra il prof. Gabrielli, già membro del Consiglio Direttivo della Fiat e direttore della divisione tecnica progettuale della stessa, si affermò come protagonista della ripresa e del rilancio dell'attività aeronautica italiana, allora praticamente inesistente. Nel 1982 divenne Presidente della Fiat Avio. Morì a Torino nel 1984. Il suo primo progetto fu l'aereo Fiat G.2 nel 1932, nel 1933-1934 progettò il G.5 ed il G.8, il più veloce velivolo bimotore da trasporto passeggeri dell'epoca, nel 1937 il G.18V, nel 1940 il G.12 diffusamente adottato come trasporto militare durante la guerra. Nel 1937 realizzò il primo caccia italiano ad ala bassa interamente metallico, il Fiat G.50 e, nel 1942, il G.55 che fu il più veloce e potente caccia italiano della Seconda guerra mondiale. La progettazione di alcuni dei primi aviogetti di produzione nazionale come il Fiat G.80 e il Fiat G.82 servirono come premessa per realizzare il suo capolavoro: il Fiat G.91. Questo aereo alla fine degli anni '50 vinse il concorso NATO per essere adottato, come caccia standard, da tutte le nazioni che ne facevano parte e questo risultato portò prestigiosi riconoscimenti all'industria italiana e all'intero paese. Del FIAT G.91 furono prodotti circa 800 esemplari. Agli inizi degli anni '60 Gabrielli indirizzò le proprie ricerche sulla realizzazione dei velivoli a decollo ed atterraggio verticale, elaborando brevetti originali con interessanti soluzioni tecniche, come il G.91S, il G.95/4, il G.95/6, che non furono comunque realizzati. Nel 1970 vede la luce il prototipo del G.222, aereo da trasporto tattico dalle entusiasmanti qualità nel decollo ed atterraggio corto. Gabrielli progettò in tutto 142 velivoli, ma la sua attività non si limitò alla progettazione. Egli, oltre all'insegnamento universitario, s'impegnò sempre nella ricerca scientifica, sia in campo aeronautico, sia in quello aerospaziale, come dimostrano le sue 200 circa pubblicazioni. Gabrielli dimostrò il suo talento anche nel condurre a buon fine difficili trattative per realizzare collaborazioni industriali per assicurare al nostro paese la produzione su licenza di velivoli quali il de Havilland DH.100 Vampire, il North American F-86K ed il Lockheed F-104G.

l'industria italiana e quella statunitense per la manutenzione e per la costruzione su licenza di componenti o di interi velivoli impiegando sempre le più aggiornate tecnologie. Da allora, fino ad oggi, questo rapporto è sempre stato attivo. Nel 1953, la NATO bandì la gara per la realizzazione di un caccia tattico, leggero e maneggevole, capace di operare da piste semipreparate. Furono presentati 10 progetti, e di questi due italiani: il Fiat G-91 progettato dal prof. Gabrielli e il Sagittario II, Fig. 15, progettato dall'ing. Sergio Stefanutti dell'AERFER. Fu scelto il caccia di Gabrielli e l'aereo iniziò i test a Caselle Torinese il 9 agosto 1956. Il Sagittario II, tuttavia, era anch'esso un prototipo di eccellente qualità per la sua epoca ed il 4 dicembre 1956 divenne il primo aereo costruito in Italia a raggiungere e superare il muro del suono. Alla guida del Sagittario, il 4 dicembre 1956 vi era il collaudatore tenente colonnello Giovanni Franchini che concluse la sua brillante carriera come generale di squadra aerea. Il Sagittario aveva l'ugello di scarico posizionato sotto la fusoliera, mentre la presa d'aria era posta sul muso. Perché un altro aereo completamente progettato e costruito in Italia superasse la velocità del suono sarebbe stato necessario che trascorressero ben cinquantadue anni; solo il 20 dicembre del 2008 il collaudatore dell'Alenia Aermacchi Quirino Bucci con l'aereo M-346 ha raggiunto la velocità di Mach 1,15. Nello stesso anno 1956 fu decisa la concentrazione tra l'AERFER e la I.M.A.M., sotto la ragione sociale di "AERFER - Industrie Meccaniche Aeronautiche Meridionali" con stabilimenti a Pomigliano d'Arco ed a Capodichino. Nel 1958 l'azienda napoletana assunse il nuovo nome di "AERFER - Industrie Aerospaziali Meridionali" sotto il controllo del Gruppo Iri-Finmeccanica.



**Figura 15.** Prototipo del Sagittario II. Cortesia di Alenia Aermacchi.

Il caccia G-91 subì, nel corso degli anni, numerose modifiche e miglioramenti ed equipaggiò numerosi reparti di diverse aviazioni europee. La sua produzione coinvolse numerose aziende aeronautiche italiane; tra esse anche l'AERFER, per la produzione della cellula e di altri componenti. Negli anni '50 si era affermato il concetto di velivolo polivalente e si fece strada, nell'ambito dei paesi NATO, la necessità di una standardizzazione del materiale di volo. Si costituì quindi un consorzio internazionale con Germania, Olanda e Belgio per la costruzione su licenza del Lockheed F-104 G. L'Italia aderì all'inizio del 1961 a questo programma, che fu all'epoca il più importante progetto comune della NATO e coinvolse tutte le maggiori industrie aeronautiche, motoristiche ed elettroniche. La Fiat Aviazione, capo commessa, era responsabile dell'assemblaggio finale, della produzione della fusoliera e del motore, mentre l'AERFER costruiva impennaggi e semiali: il primo volo fu effettuato nel 1962. L'AERFER, oltre a contribuire alla produzione del G-91 R e dell'F-104 G, si era assicurata un contratto di manutenzione, presso lo stabilimento di Capodichino dei velivoli della VIa Flotta USA. I buoni risultati della collaborazione con l'industria aeronautica americana valsero all'azienda, nel 1966, un contratto per la produzione di pannelli di fusoliera del McDonnell-Douglas DC-9 che, in seguito, fu esteso alla costruzione dei pannelli di fusoliera e dell'impennaggio verticale del grande trireattore DC-10. Il rinnovato interesse per gli aerei da trasporto militare e civile diede vita, alla fine degli anni '60, al G222, progettato da Gabrielli per esigenza dell'Aeronautica Militare Italiana. A questa realizzazione parteciparono altre aziende italiane, tra le quali l'AERFER. Durante questi anni, nei paesi industrializzati, si andava consolidando il processo di concentrazione delle aziende aeronautiche. Gli organismi industriali più validi, le capacità finanziarie, quelle di progettazione e di innovazione, insieme a quelle produttive e commerciali, che prima erano frazionate, tendevano ad unirsi ed a consolidarsi in un unico sistema, per far fronte ai crescenti costi dei programmi aerospaziali e alla crescente concorrenza internazionale. Determinante in questo caso appariva il sostegno dello Stato con finanziamenti diretti e indiretti. Anche in Italia questa evoluzione fu seguita dai governi dell'epoca ed il CIPE<sup>110</sup> costituì nel luglio del 1967 un'apposita Commissione che ritenne indispensabile, per il rilancio dell'industria aeronautica italiana, l'intervento dello Stato con una politica di finanziamenti, di incentivazioni alla commercializzazione ed all'esportazione del prodotto e l'istituzione di un Centro Ricerche a fianco dell'industria. Raccomandava inoltre che il Centro Ricerche, ed ogni insediamento produttivo venisse realizzato nel Meridione, nel quadro più generale di una politica per lo sviluppo delle regioni meridionali. Fu quindi sulla base di precise indicazioni politiche e programmatiche che veniva ufficialmente costituita il 12 Novembre

---

<sup>110</sup> Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica.

1969 l'Aeritalia con sede a Napoli e con partecipazione paritetica di Fiat e Finmeccanica, le principali realtà produttive nazionali del settore. La nuova azienda concentrava in sé gli impianti e le attività aerospaziali della Divisione Aviazione Fiat (escludendo la parte motoristica), quelli dell'AERFER e della Salmoiraghi (società controllate dalla Finmeccanica). Negli stabilimenti di Torino (Corso Marche, Caselle Nord e Caselle Sud), di Milano (Nerviano) e di Napoli (Pomigliano d'Arco e Capodichino), gli oltre 8000 dipendenti delle società di apporto proseguivano le lavorazioni in atto e principalmente: F-104S, G-91Y, Mercure furono assegnati a Torino; DC-9, DC-10, Atlantic, AM-3C, nonché le sperimentazioni relative al G222 e gli studi per l'MRCA a Napoli. Nonostante tutti i problemi connessi alla fusione di strutture e di ambienti diversi, le attività non subirono rallentamenti. Nel 1970 si avviarono analisi per individuare programmi ad ampio respiro per garantire impegno tecnologico, carichi di lavoro e occupazione. A causa della recessione mondiale in quegli anni negli stanziamenti militari, si cercò di assicurare al rilancio industriale anche una valida alternativa nel settore civile e si puntò sul velivolo a decollo corto per un possibile inserimento italiano in questo mercato. Nella primavera del 1970 fu esposto al Salone di Torino il primo prototipo del trasporto bimotore a turbina G222 che poi avrebbe volato per la prima volta il 18 luglio dello stesso anno e avrebbe assunto un ruolo di tutto rilievo nella successiva attività dell'Aeritalia. Nel Settembre, il CIPE sanciva la partecipazione italiana alla fase di definizione e sviluppo del velivolo da combattimento MRCA, programma avviato nel 1968 sul requisito congiunto delle Forze Aeree britannica, tedesca ed italiana. L'Aeritalia aveva la responsabilità delle ali, delle prove di volo di tre prototipi, della costruzione e collaudo dei 100 esemplari dell'Aeronautica Militare. La vocazione europeistica dell'azienda si rafforzava nella partecipazione al programma Mercure con la Francia. Questo programma, pur avendo un limitato successo commerciale, donò alla società napoletana una preziosa esperienza permettendole di partecipare ad altre, più fortunate imprese. Nel Maggio del 1971 la collaborazione con la Boeing si consolidò con un accordo per lo studio di un aereo a decollo ed atterraggio corto e nello stesso anno tecnici Aeritalia iniziarono ad operare a Seattle, accumulando esperienze preziose per il successivo cammino dell'Azienda. Nel 1972 entrò a far parte dell'Aeritalia il settore spaziale della Fiat, mentre nello stesso anno venne imbarcata nel porto di Napoli la 50a serie di impennaggi verticali del McDonnell Douglas DC-10. La collaborazione con la Boeing ebbe una svolta decisiva quando nel febbraio-marzo dello stesso anno si decise di abbandonare l'aereo STOL e passare ad un bireattore per tratte brevi, silenzioso e poco inquinante, nella fascia 180-220 passeggeri che ebbe la sigla provvisoria 7X7. Il 1973 si aprì con la consegna della 100a serie di impennaggi verticali e della 130a serie dei pannelli superiori di fusoliera del DC-10. A fine gennaio venne consegnato

il 100° F-104S al 36° Stormo, a fine Aprile alla tedesca MBB l'ala destinata al primo prototipo MRCA; nello stesso anno l'Aeritalia partecipò al programma Spacelab, con la progettazione della struttura del modulo e del sistema termico. Nel corso del 1973 l'Aeritalia varò la struttura della nuova organizzazione: il Gruppo Velivoli e il Gruppo Spazio, Avionica e Strumentazione. Al primo Gruppo, insediato a Napoli, facevano capo le unità di progettazione, produttive e commerciali del ramo velivoli di Torino e di Napoli, mentre il secondo Gruppo riunì le attività specifiche degli stabilimenti di Torino e Napoli, del Centro Elettronico Avio di Caselle Nord e dello stabilimento di Nerviano (MI). Nel 1974 venne consegnata la 200a serie di pannelli del DC-10 e il successo del progetto ERNO, nella gara per il laboratorio spaziale, consolidò ulteriormente nell'ambito europeo il prestigio della Aeritalia. Nell'Agosto si levò in volo il primo MRCA a coronamento degli sforzi congiunti a livello europeo. A fine anno vennero consegnati alla Turchia 6 velivoli F-104S di un primo lotto di 18 ordinati da quella Forza Aerea, mentre si firmò l'ordine col Governo Argentino per due esemplari del G222. Nel Maggio del 1975 il Parlamento italiano stanziò un finanziamento di 150 miliardi di Lire per consentire all'Aeritalia di partecipare al programma 7X7 con la Boeing. Fu questo primo atto legislativo diretto e tangibile, a sostegno dell'industria aeronautica italiana. Nel corso del 1976 l'Aeritalia modificò la sua struttura: il Gruppo Velivoli venne scisso in due distinte unità: il Gruppo Velivoli da Combattimento, con sede a Torino, e il Gruppo Velivoli da Trasporto con sede a Napoli-Pomigliano d'Arco. A questi si affiancò il Gruppo Attività Diversificate erede del Gruppo Spazio, Avionica e Strumentazione. Gli uffici di progettazione del nord e del sud lavoravano con reciproci scambi, e la meridionalizzazione venne concretamente attuata con lo spostamento graduale della linea finale del G222 a Napoli. Il 28 settembre 1976 il Gruppo Iri-Finmeccanica rilevò la partecipazione Fiat, detenendo così l'intero pacchetto azionario della Società. All'inizio del 1977 volò il nono prototipo dell'MRCA ribattezzato Tornado e il Parlamento italiano approvò la Legge per l'ammodernamento dei mezzi di volo dell'Aeronautica Militare con i finanziamenti occorrenti. Venne, inoltre, esteso il contratto di collaborazione con la McDonnell-Douglas per i pannelli del DC-9 e gli impennaggi verticali del DC-10 e lo stabilimento di Pomigliano d'Arco meritò la seconda targa V.I.P. (Value In Performance) atta a testimoniare la tempestività e la regolarità delle consegne dei prodotti. Ad agosto il satellite italiano Sirio, del quale gran parte dei sistemi erano stati studiati e realizzati dall'Aeritalia, venne messo in orbita; nello stesso mese fu affidato all'azienda la responsabilità per la progettazione e realizzazione della struttura del satellite europeo per telecomunicazione ECS, nell'ambito del Consorzio MESH, e a fine novembre dall'aeroporto di Capodichino prese il volo il primo G222 montato negli stabilimenti napoletani. La meridionalizzazione

dell'Aeritalia si concretizzò anche con la successiva entrata in funzione del Laboratorio Esperienze (1977-78) per l'attività di ricerca e sviluppo di supporto alla progettazione del Gruppo Velivoli da Trasporto presso lo stabilimento di Pomigliano. Nel Gennaio del 1978 partì da Torino la prima unità di prova dello Spacelab; in maggio fu lanciato il satellite OTS di cui l'Aeritalia aveva realizzato la struttura, mentre il 14 Agosto fu avviato il programma "767" (così venne ridenominato il progetto 7X7) con la Boeing in seguito all'ordine di 30 aerei da parte United Airlines, allora la più grande aerolinea del mondo. L'azienda realizzò le superfici di controllo dell'ala, le parti mobili del bordo d'entrata, il timone di profondità, la deriva, il timone di direzione e la carenatura prodiera del radar. Significativa fu la realizzazione di queste parti in materiali compositi. L'Aeritalia, grazie a queste innovative esperienze divenne ben presto una delle industrie più esperte del settore. In novembre gli ordinativi si consolidarono con le commesse dell'American (30 esemplari più 20 opzioni) e della Delta (20 esemplari più 22 opzioni). Nello stesso periodo volò l'AP-68TP, sviluppo Aeritalia del P-68 della Partenavia – azienda partenopea attiva nel settore dell'aviazione generale – e si celebrarono i venti anni di vita operativa del G-91, con il contemporaneo annuncio della sua sostituzione con l'AMX realizzato dall'Aeritalia e dalla Aermacchi in collaborazione con la brasiliana Embraer. Nel 1979 fu allestita a Pomigliano la nuova versione del G222 con motori Rolls Royce "Tyne", a Torino fu consegnata all'ERNO l'unità di volo del modulo Spacelab. Ancora nel settore spaziale, fu aggiudicata all'azienda la commessa per lo studio e la realizzazione dei tre satelliti francesi Telecom. Alla fine dell'anno si ebbe la conferma dell'ottima scelta operata a suo tempo dall'Aeritalia per il velivolo 767: esso, infatti, a poco più di un anno dal lancio aveva raggiunto 125 ordini e 118 opzioni. All'inizio degli anni '80, una volta ampliati e consolidati i suoi programmi, l'azienda puntò alla capacità di gestire sistemi completi nel quadro del piano finalizzato dell'industria aeronautica del Ministero dell'Industria realizzato nel quadro di attuazione della legge n. 675 del 1977 ed approvato dal CIPI il 21 maggio 1981. Per questo decise di ampliare le sue strutture ed acquisire nuove unità produttive. Per le esigenze dei programmi in collaborazione con gli Stati Uniti si fece affidamento sul nuovo stabilimento di Foggia e dello stabilimento di Casoria, che era stato già sede della fabbrica di cuscinetti FAG-Kugelfischer. Al tempo stesso, continuò la politica di assunzione del controllo e della partecipazione azionaria in aziende del settore. Nel 1981 entrarono a far parte dell'Aeritalia la Partenavia di Napoli con la quota del 60%, le Officine Aeronavali di Venezia, azienda specializzata nelle revisioni, nella manutenzione e trasformazioni di aeromobili per l'intero pacchetto azionario e la Meteor operante nel settore dei velivoli teleguidati per una quota del 50%. All'Azienda, inoltre, fu trasferito il 25,75% del capitale della Selenia. Tutte queste

iniziative fecero incrementare il numero degli addetti ad oltre 12.000 unità e portarono, all'inizio del 1982, ad un nuovo assetto organizzativo in sette Gruppi: Velivoli da Combattimento, Velivoli da Trasporto, Sistemi Avionici ed Equipaggiamenti, Sistemi Spaziali ed Energie Alternative, Revisioni Trasformazioni e Assistenza, Aviazione Generale, Teleguidati e Missili. Altre partecipazioni azionarie furono rilevate in seguito: nel 1983 il 25% dell'Aeronautica Macchi, nel 1988 il 31% delle Industrie Aeronautiche e Meccaniche Rinaldo Piaggio, il 44% della FMA argentina, il 100% della The Dee Howard statunitense e nel 1990 il 35% della Magnaghi. Il 1° gennaio 1985 fu ceduta la proprietà dell'Alfa Romeo Avio, già controllata da Finmeccanica, di cui si parlerà diffusamente in seguito. Con la Macchi l'Aeritalia era legata dal programma AMX, mentre la Piaggio collaborava sia a tutti i programmi militari dell'Aeritalia, sia con l'Alfa Romeo Avio nel settore motoristico. Oltre alle partecipazioni a Società e Consorzi nei più diversi settori, di rilievo fu la partecipazione come azionista del CIRA (Centro Italiano di Ricerche Aerospaziali) costituitosi a Capua. Il CIRA, grazie ai suoi ricercatori ed agli impianti di cui è dotato, costituisce oggi una delle più avanzate istituzioni al mondo nella ricerca aerospaziale. Nel novembre 1981 fu stipulato un importante accordo con la francese Aerospatiale per la realizzazione in comune del trasporto regionale ATR42 e fu creato, l'anno successivo, un consorzio paritetico per la gestione del programma e la commercializzazione del velivolo. Il primo esemplare di ATR42 venne consegnato alla fine del 1984. Sempre nel 1981 fu consegnato il primo Tornado di preserie all'Aeronautica Militare Italiana. Nel corso del 1982 furono avviati, a rischio, gli studi per la definizione di un velivolo da combattimento avanzato per la superiorità aerea denominato ACA (Agile Combat Aircraft) con BAe ed MBB, da cui prenderà vita nel 1986 l'EFA.

## *Il G222*

Il 1983 fu un anno positivo per il G222: il suo portafoglio ordini raggiunse le 83 unità con i nuovi contratti stipulati con il Venezuela e la Nigeria. Nel 1984 ebbero luogo i primi voli di prova di AMX, ATR42 e dello Spartacus, evoluzione dell'AP-68 TP con carrello retrattile. Nel 1985 ebbe inizio il programma ATR72, versione allungata dell'ATR42, il cui primo volo fu effettuato nell'ottobre del 1988, ed iniziarono le consegne dei primi ATR42. La collaborazione con la McDonnell-Douglas fu incrementata nel 1986 con l'avvio del programma MD-11, aereo destinato a sostituire il DC-10, nell'ambito del quale l'Aeritalia svilupperà e produrrà, fino al 2000, componenti ad elevato contenuto tecnico e tecnologico. Nello stesso anno fu concluso un accordo con l'agenzia cinese CATIC per l'ammodernamento avionico del caccia A-5 Fantan ed un'intesa con l'ENEL per lo

sviluppo di generatori eolici di grande potenza. Un segno della crescente credibilità raggiunta dall'azienda sia a livello nazionale che internazionale fu rappresentato dall'ammissione – avvenuta nel maggio 1986 – del suo titolo alle quotazioni di borsa. Nel 1988 – a quattro anni dall'inizio delle prime consegne – il portafoglio ordini degli ATR superava la quota di 300 unità ed iniziarono i primi studi con McDonnell-Douglas relativi a velivoli commerciali dotati di nuova motorizzazione *prop-fan*. L'anno seguente si effettuarono le prime consegne dell'AMX all'Aeronautica Militare Italiana, furono firmati accordi iniziali di collaborazione con Airbus e Dassault e venne inaugurato il nuovo stabilimento di Ronchi dei Legionari destinato alla produzione di sistemi di simulazione. Tutti quelli che sono stati fin qui ricordati sono stati risultati assai positivi, conseguiti in condizioni che obiettivamente erano molto difficili: essi sono stati possibili anche grazie all'impegno di insigni manager che svolsero il loro compito ritenendo che l'interesse nazionale dovesse sempre prevalere in un comparto, come quello aeronautico, dove la competizione avviene ai massimi livelli per quanto riguarda l'aggiornamento delle tecnologie e la tutela di interessi strategici oltre che di quelli economici. A questo proposito basterà ricordare l'ing. Renato Bonifacio che fu alla guida dell'azienda dal 1974 al 1988, anno in cui prematuramente morì<sup>111</sup>. Negli anni '80 l'azienda crebbe sino a raggiungere, complessivamente, circa 19.000 addetti alla fine del decennio allorquando, in ambito Finmeccanica, nel dicembre 1990 fu deciso di unificare le attività e le strutture di Aeritalia e di Selenia per realizzare un unico contesto societario denominato Alenia, destinato ad operare nei settori dell'aerospazio e difesa. Alla sua costituzione Alenia controllava oltre 20 società, impiegava oltre 30.000 addetti e contava 42 stabilimenti in Italia ed all'estero ed era articolata in quattro settori operativi: Alenia Aeronautica, Alenia Spazio, Alenia Sistemi Difesa ed Alenia Sistemi Civili. Alenia Aeronautica, a sua volta, venne suddivisa in tre gruppi (Aerei Difesa, Aerei Trasporto, Sistemi e Teleguidati) e controllava Alfa Romeo Avio, The Dee Howard, OAN, Partenavia. L'azienda subì pesanti contraccolpi per la crisi economica che fece seguito alla guerra del Golfo nel 1991 e venne ristrutturata negli anni seguenti prima con il suo diretto inserimento in Finmeccanica (1993), poi creando nel 1996 due “aree”: Alenia Aerospazio (in cui confluirono Alenia Spazio ed Alenia Aeronautica, che divennero Divisioni) ed Alenia Difesa (in cui furono inserite alcune attività di Alenia Sistemi Civili). Dal 1995 è attivo lo stabilimento di Nola, uno tra i più moderni al mondo nel settore delle costruzioni aeronautiche. La sua apertura coincide con una

---

<sup>111</sup> Moltedo, 2010. Questo libro è dedicato all'impegno d'una intera vita, spesa da Renato Bonifacio per «far volare l'Italia». In quest'opera la prefazione di Romano Prodi, che fu Presidente dell'IRI, contiene una positiva quanto preziosa ed autorevolissima testimonianza dell'opera che Bonifacio svolse nell'interesse dell'industria aeronautica nazionale e, quindi, del nostro Paese.

profonda ristrutturazione interna della Divisione Aeronautica di Alenia che, oltre alla dismissione di Alfa Romeo Avio, The Dee Howard, e Partenavia, assume una forma organizzativa di tipo 'matriciale' in cui attività tecniche e produttive si intrecciano con quelle commerciali e di programma ed ogni sito viene specializzato in determinate attività eliminando duplicazioni e sprechi. Il numero di programmi in cui è stata coinvolta l'azienda nel corso degli anni '90 è andato gradualmente crescendo. In campo civile (che, in termini di fatturato, ha superato quello militare dal 1996) le subforniture a Boeing sono state estese ai programmi 777, 717 (ex MD95 di McDonnell-Douglas) e, più di recente, 757, mentre sono cessate le forniture per MD80/90 ed MD11 per la chiusura delle relative linee di produzione decise dalla Boeing (che ha acquisito MDD nel 1996); interessi sono stati espressi per partecipare al nuovo programma Boeing denominato Sonic Cruiser. Furono avviati studi di fattibilità per un nuovo velivolo da 100 posti in collaborazione con DASA, Aerospatiale e CASA ed acquisite lavorazioni su commessa Airbus e dei suoi partners. Alenia Aeronautica è stata presente da allora in tutti i programmi del consorzio europeo fino a negoziare il suo ingresso nel nuovo programma A380. Fu allargata la partecipazione ai programmi di Dassault relativi ai *business jet* Falcon 900 e 2000. Alenia prese parte agli studi concettuali per un velivolo supersonico di nuova generazione, in collaborazione con tutte le principali aziende aeronautiche mondiali, ed effettuò uno studio di fattibilità per un velivolo anfibo avanzato (AAA). La produzione dei velivoli dalla famiglia ATR proseguì, ma il ritmo delle vendite e quello produttivo negli ultimi anni hanno subito un calo a causa dell'incremento della domanda dei jet regionali, segmento nel quale Alenia non è riuscita a trovare una propria collocazione.

Il G222 ottenne significativi successi commerciali negli Stati Uniti (1991-92) ed in Thailandia (1995) e nel 1997 fu lanciato il nuovo programma C-27J congiuntamente con Lockheed Martin per ammodernare l'avionica ed il cockpit e dare una nuova motorizzazione al velivolo, rendendolo più idoneo a soddisfare i requisiti per i nuovi scenari operativi. Il primo volo fu effettuato nel settembre 1999 e l'AMI lo prese in considerazione per acquisire un primo lotto di 12 esemplari. Nel 1991 fu costituita Euroflag per la gestione del programma FLA (Future Large Aircraft), nuovo velivolo da trasporto strategico europeo già in studio da diversi anni, con la partecipazione di Alenia, Aerospatiale, BAe, CASA, DASA ed altre aziende europee; nel 1995 Euroflag fu rimpiazzata da Airbus Military Company (AMC) che ha proseguito gli studi di fattibilità e gestito la fase di risposta al requisito comune europeo, ed ha ridenominato il velivolo A400M. Parallelamente alla riorganizzazione interna, l'azienda come molte altre realtà simili in Europa, iniziò un percorso di verifica e creazione di alleanze per la costituzione di un'entità di dimensioni più idonee ad affrontare la crescente globalizzazione dei mercati e la

forte competizione. Dopo lunghe analisi e trattative, il 14 aprile 2000 fu ufficialmente siglato un accordo tra Finmeccanica ed EADS (gruppo franco-tedesco-spagnolo nato dalla fusione di Aerospaziale, DASA e CASA) per la creazione di una joint venture che unificasse gran parte delle attività aeronautiche delle sue società attraverso un processo di valutazione e verifica che verrà a breve completato. Oltre allo stabilimento di Pomigliano l'azienda ha una sede a Nola, in provincia di Napoli, dove si producono parti lavorate per asportazione di truciolo e si effettua la fabbricazione di lamiere metalliche e l'assemblaggio di pannelli con un elevato livello di integrazione ed automazione industriale. Questo impianto rappresenta un vero e proprio centro di eccellenza, progettato agli inizi degli anni '90 sul modello di *world class manufacturing*. A Nola si realizzano componenti aeronautici di elevato livello qualitativo, con assoluta competitività in termini di costo, operando con un sistema CIM (*Computerized Integrated Manufacturing*) dove l'intero processo produttivo è controllato e gestito da un unico sistema computerizzato ad elevato grado d'integrazione. A Nola lavorano quasi 900 addetti altamente specializzati. Un ulteriore impianto presente in Campania è quello di Casoria, che impiega circa 400 addetti, è attivo nelle lavorazioni di parti ricavate da lamiere in lega di alluminio, acciaio e parti derivate dagli estrusi. Un altro impianto ancora è quello di Capodichino, Napoli, che con una forza lavoro di circa 600 addetti è dedicato al ricondizionamento dei velivoli G.222 (destinati alle Forze Armate USA per l'Afghanistan), alla produzione dei velivoli C-27J e ad attività di supporto logistico. Alenia Aeronautica è anche presente in Puglia con lo stabilimento di Foggia, altro centro di eccellenza per la produzione di produzione di elementi strutturali in materiale composito. Nel sito foggiano, che impiega circa 900 addetti, vengono svolte attività relative alla ricerca, progettazione e produzione di parti in fibra di carbonio per velivoli destinati sia al mercato civile, sia a quello militare. Sempre in Puglia l'Alenia Aeronautica, nel sito produttivo di Monteiasi-Grottaglie (Taranto), Fig. 16, attuando un processo produttivo innovativo, in buona parte automatizzato e sfruttando brevetti esclusivi ed equipaggiamenti unici in Europa e nel mondo, vengono realizzate in materiale composito due sezioni del nuovo Boeing 787 Dreamliner. Questo impianto occupa, attualmente, circa 630 addetti.

Delle attività motoristiche in campo aeronautico in Campania si è già diffusamente detto per quanto riguarda le origini di questa industria. In tale contesto si affermarono a tal punto la personalità e le capacità industriali dell'ing. Nicola Romeo che la costruzione dei motori aeronautici italiani fu indissolubilmente legata al suo nome. L'ingegnere di S. Antimo scomparve nel 1938, proprio nell'anno in cui l'Istituto per la Ricostruzione Industriale decise di fondare nel Sud un Polo Industriale Aeronautico: l'incarico di realizzare la fabbrica

dei motori aeronautici fu assegnato proprio all'Alfa Romeo. La localizzazione di quella che nacque allora come Alfa Romeo Avio ricadde sulla vasta area di San Martino, compresa tra Pomigliano d'Arco e Acerra, a pochi chilometri da Napoli. Il progetto del polo aeronautico, nella sua interezza, era stato concepito in modo particolarmente ambizioso e prevedeva la fabbricazione, in tre impianti separati, di motori, di aerei e di leghe leggere. Era stata prevista anche la realizzazione di un aeroporto con pista in cemento. Si trattava, evidentemente di un rilevante impegno che trovava la sua fondamentale motivazione in ragioni di carattere militare poiché fin da allora era ormai ben chiaro che l'aeronautica sarebbe stata l'arma capace di assicurare la vittoria in qualsiasi conflitto.



**Figura 16.** Alenia Aermacchi, stabilimento di Grottaglie. Cortesia di Alenia Aermacchi.

### *AVIO s.p.a.*

Nell'ambito di questo programma, il 10 di aprile del 1939 ebbero inizio i lavori per la costruzione del nuovo stabilimento dell'Alfa Romeo destinato a fabbricare i motori aeronautici. Mentre la realizzazione dello stabilimento era in corso, ebbe inizio la seconda guerra mondiale e così, tutto l'impegno profuso nel costruire la nuova fabbrica ed avviarne le produzioni, fu da subito indirizzato alle produzioni belliche. Questa destinazione, già considerata prioritaria all'atto della decisione di realizzare il nuovo polo delle costruzioni a Pomigliano, ma che mai era stata apertamente dichiarata, divenne allora palese.

Nel 1942, in collaborazione con la Daimler-Benz ebbe inizio la produzione di motori DB 601, destinati agli aerei da caccia Macchi C. 202 di quella che, al tempo, era la Regia Aeronautica ed ai Messerschmitt 109 e Messerschmitt 110 della Luftwaffe. Nel 1943 vennero completati anche gli altri due impianti del polo aeronautico. Ciò si verificava proprio quando la guerra, ormai, già volgeva al peggio per l'Italia. Proprio in quell'anno, infatti, gli intensi bombardamenti anglo-americani, oltre che radere al suolo tutti gli impianti del polo aeronautico, arrecarono gravissime perdite umane ed ingenti danni alla città di Pomigliano D'Arco<sup>112</sup>. La produzione dei motori aeronautici fu ripresa soltanto nel 1952, quando venne completata la ricostruzione della città e dello stabilimento. Negli anni della ricostruzione l'Alfa Romeo Avio riuscì a riprendere il lavoro grazie ad importanti accordi di collaborazione con qualificate aziende aeronautiche inglesi ed americane e si dedicò, con eccellenti risultati, alle attività di riparazione e di revisione dei motori per l'aviazione civile e per quella militare<sup>113</sup>. Oltre che sui motori a pistoni, si lavorava ora anche sui turboreattori che, sempre più, tendevano a sostituire i primi. In pochi anni fu necessario realizzare anche alcuni importanti impianti per le prove dei motori a reazione che comportarono nuove problematiche per il contenimento del rumore, per l'efflusso dei gas di scarico e per la sicurezza degli operatori<sup>114</sup>, Fig. 17. Nel 1979 venne prodotto a Pomigliano l'AR 318, da 600 CV, il primo motore a turbina completamente progettato e costruito in Italia. Questo motore era destinato all'aereo Beechcraft King Air. Negli anni che seguirono l'Alfa Romeo Avio continuò nelle attività di costruzione di parti per turbomacchine aeronautiche o il montaggio di interi motori, realizzando accordi di collaborazione per la costruzione su licenza con la General Electric, la Pratt & Whitney e la Rolls Royce, Fig. 18. Come già è stato detto, oggi in settori ad elevata tecnologia con elevata incidenza dei costi di ricerca e sviluppo e necessità di specializzare e concentrare le attività produttive, non è più possibile la sopravvivenza di aziende isolate, pur se esse vantano una storia gloriosa ed esperienze e competenze di alto livello. Così oggi quella che una volta era l'Alfa Romeo Avio è entrata a far parte di AVIO, un gruppo internazionale leader nella ricerca, la progettazione, lo sviluppo e la produzione di componenti e sistemi per la propulsione aerospaziale. Questa azienda è attiva in tutto il ciclo di vita del prodotto, dalla progettazione fino ai servizi di manutenzione, sia in ambito civile, sia in quello militare; essa ha sede in Italia ed opera in quattro continenti con circa 5.500 dipendenti. Dei circa 4.700 dipendenti che lavorano in Italia quasi 1.100 sono

---

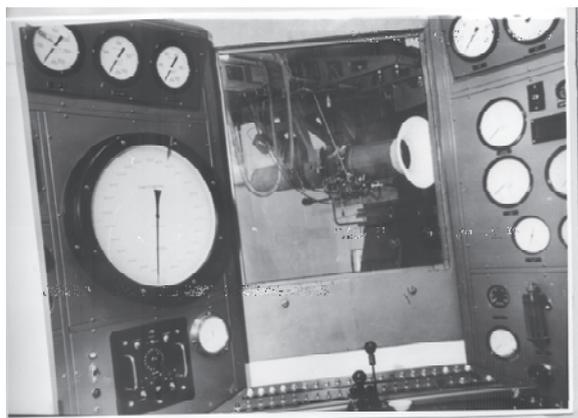
<sup>112</sup> Pocock 2009, pp. 152-164.

<sup>113</sup> In base alle sanzioni imposte a con l'armistizio, finché non fosse stato firmato il trattato di pace, l'Italia non poteva costruire materiale aeronautico.

<sup>114</sup> Caputo 1965, p. 29.

impegnati nello stabilimento di Pomigliano d'Arco e poco più di 600 nell'impianto di Brindisi. A Pomigliano si svolgono attività di servizio per l'aviazione civile, si costruiscono camere di combustione ed altri componenti della parte calda del motore, componenti per motori aeronautici e palettature rotoriche e fisse. Nel 2010 il gruppo Avio ha prodotto ricavi per 1,75 miliardi di euro, di cui oltre il 90% all'estero, con un utile lordo di 339 milioni di Euro. Le dimensioni dell'azienda e la sua struttura integrata consentono adeguati investimenti in ricerca e sviluppo. Anche in virtù di una consolidata rete di relazioni con le principali università e centri di ricerca internazionali, Avio ha raggiunto un tale livello tecnologico e manifatturiero da poter essere oggi impegnata nei più importanti programmi internazionali in campo aeronautico e spaziale. Avio è controllata all'81% dal fondo di *private equity* inglese Cinven, con una partecipazione del 14% del Gruppo Finmeccanica.

**Figura 17.** Alfa Romeo Avio, il propulsore J-85 sul banco prova (Caputo 1965, p. 29bis).



**Figura 18.** Alfa Romeo Avio, manutenzione di motori per l'aviazione civile. Cortesia di Alenia Aermacchi.

## La Magnaghi: carrelli per aeromobili e componenti ad alta tecnologia

La Magnaghi Aeronautica nacque nel 1936, come azienda di supporto alle attività di volo dell'Aeronautica militare Italiana. L'azienda prese il nome del suo fondatore, ing. Ermenegildo Magnaghi e fin dalla fondazione ebbe sede nella zona industriale di Napoli in via Galileo Ferraris, dove ancora oggi si trova. Le prime attività costruttive dell'azienda risalgono agli anni che vanno dal 1936 al 1939 e riguardarono parti dei primi carrelli e componenti idraulici degli aerei Breda 65, e del caccia Ansaldo 3.

Nel periodo della Seconda guerra mondiale lo stabilimento Magnaghi, impegnato nelle forniture per la Regia Aeronautica, arrivò ad occupare fino a 1.200 persone, Fig 19. Le rovine della guerra non risparmiarono l'impianto, che nel 1943 era quasi completamente distrutto. Nel dopoguerra ebbe inizio una lenta e progressiva ripresa. Sin da quegli anni della ricostruzione la Magnaghi avviò lo sviluppo di contatti e di relazioni con le maggiori aziende aeronautiche italiane ed europee. Negli anni '50 produsse per la Fiat e per la Macchi parti per i carrelli d'atterraggio dei caccia DH100 Vampire e F84 Thundejet.

Dall'inizio degli anni '60 e fino alla fine degli anni '70 l'azienda produsse carrelli d'atterraggio ed altri equipaggiamenti, come serbatoi ausiliari di carburante, per gli aerei T33, G91e G91Y, F104G e F104S ed il Macchi MB326. Del caccia Fiat G91, in particolare, furono prodotti circa 2000 sistemi d'atterraggio. In quegli anni a queste realizzazioni si aggiunsero la costruzione su licenza Agusta dei carrelli degli elicotteri Boeing CH47, Sikorsky SH3D e HH3F e, su commessa della Piaggio, il carrello del velivolo PD808; per l'Aermacchi fu costruito lo sterzo idraulico del MB339.



**Figura 19.** Magnaghi Aeronautica, officina meccanica. Cortesia della Magnaghi Aeronautica s.p.a.

La costruzione dell'intero sistema d'atterraggio del velivolo di trasporto militare G222 per conto della Fiat, su licenza Messier, rappresentò, per la crescita della Magnaghi una tappa fondamentale. La complessità del carrello, a tutt'oggi considerato unico al mondo, infatti, richiese investimenti importanti sia per la fase costruttiva vera e propria, sia per la complessità dell'impianto di prova. La particolare difficoltà dei processi di trattamento superficiale e termici richiese un impegnativo programma di formazione del personale.

Alla fine degli anni '70 la Magnaghi, in anticipo rispetto ad altre aziende italiane, affrontò anche la produzione di componenti strutturali di carrelli di velivoli commerciali, ed ottenne dalla ditta francese Messier Bugatti la commessa per la costruzione dell'intero sistema di controventatura del Carrello anteriore e Principale prima del velivolo Airbus A300 e poi dell'A320. Questa commessa proseguì per trent'anni.

Gli anni '80 segnarono per l'azienda l'inizio di una tappa fondamentale: lo sviluppo di attività proprie di progettazione ed il potenziamento del settore di sperimentazione consentirono all'azienda di essere competitiva in campo internazionale. Negli anni che seguirono la Magnaghi si aggiudicò la progettazione e la qualificazione dei carrelli d'atterraggio del SIAI Marchetti S211 e S211A caratterizzati da una geometria complessa, del velivolo AMX, Fig. 20, dell'elicottero Agusta A129 con ammortizzatori anticrash e del velivolo di trasporto regionale ATR42.

**Figura 20.** Magnaghi Aeronautica, carrello anteriore AMX.  
Cortesia della Magnaghi Aeronautica s.p.a.



Negli anni '90 la Magnaghi, ormai, aveva raggiunto un tale livello di capacità e di conoscenza da poter affrontare nuovi ed impegnativi programmi per aeromobili ad ala fissa e rotante come la produzione dei carrelli del business jet Piaggio P180 e lo sviluppo del carrello principale dell'ATR72 con l'esecuzione delle principali prove di qualificazione. Fecero seguito anche la progettazione, la qualifica e la produzione del carrello d'atterraggio degli elicotteri Agusta A109C e A109Power.

Alla fine degli anni '90, costretta a subire la sfavorevole congiuntura del comparto aeronautico, la Magnaghi attraversò un lungo periodo di crisi che si risolse nel 2001 con l'acquisizione dell'azienda da parte del Gruppo Invesco di proprietà dell'imprenditore napoletano Paolo Graziano. La Magnaghi entrò così a far parte di un gruppo industriale nel quale erano già presenti altre aziende aeronautiche come la Salver di Brindisi, specializzata nella costruzione in materiali compositi di parti strutturali di aerei, e la Metal Sud di Caserta operante per conto terzi nel campo dei controlli non distruttivi e dei trattamenti speciali e superficiali.

Dopo l'acquisizione da parte del Gruppo Invesco iniziò per l'azienda una nuova era. Essa si consolidò, infatti, per i cospicui investimenti che riguardarono essenzialmente le attività di Ricerca e Sviluppo. La consistenza di questa azione di rinnovamento ha conferito all'azienda, divenuta Magnaghi Aeronautica S.p.A., maggiore incisività e capacità di progettare prodotti tecnologicamente avanzati, consentendole di riguadagnare una posizione di rilievo nel settore.

Nel periodo tra il 2002 ed il 2010, infatti, la Magnaghi ha collaborato con molte delle aziende costruttrici di velivoli ed elicotteri quali Alenia, Aermacchi, Bombardier, EADS, Agusta, Embraer, Airbus per la progettazione dei sistemi d'atterraggio e areostrutture quali flap e spoiler.

Sono anni in cui vengono progettati, qualificati e prodotti il carrello d'atterraggio del velivolo ALENIA C27J, componenti idraulici dell'addestratore avanzato Aermacchi M346, componenti idraulici e meccanici del caccia europeo EFA, un sistema attivo di appontaggio (*deck lock system*) su portaerei dell'elicottero europeo NH90.

Altre recenti ed importanti realizzazioni dell'azienda sono il carrello d'atterraggio con attuazione elettrica del velivolo UAV SKYX dell'Alenia; le areostrutture flaps, spoilers e portelloni, prodotti dalla Salver, del velivolo Bombardier C-SERIES e le condotte del condizionamento dell'AIRBUS A380; il carrello d'atterraggio del velivolo UAV Barracuda dell'EADS tedesca ed il sistema d'atterraggio, dell'elicottero Agusta AW169, attuato elettricamente con tecnologia innovativa, del quale è prevista una considerevole produzione nei prossimi vent'anni. La Magnaghi, inoltre, si è aggiudicato il progetto e la produzione di una parte strutturale (motor case) delle missili europeo aria-aria dell'IRIS-T grazie all'applicazione di particolari tecnologie di fabbricazione, oggetto di brevetto

internazionale, ha riacquisito dalla Messier Bugatti Dowty la costruzione del carrello anteriore dell'ATR42/72 e si è imposta in numerosi programmi internazionali, fino ad acquisire una posizione di assoluto rilievo tra le aziende che operano nel settore dei carrelli d'atterraggio e della componentistica aeronautica di alta tecnologia. Il 2011 è stato ancora per l'azienda un anno di crescita tecnologica e industriale. Essa, infatti, ha ottenuto l'assegnazione del sistema d'atterraggio del Piaggio P1XX e quello per l'attuazione idraulica del portellone di carico del velivolo da trasporto militare brasiliano Embraer KC390 ed è entrata in una nuova linea di prodotti, quella dei velivoli LSA (Light Sport Aircraft) acquisendo le attività di progettazione e produzione dello SKY ARROW.

La Magnaghi oggi costituisce una guida ed un esempio da seguire nel panorama dell'industria meccanica dell'Italia Meridionale e non solo, poiché ha puntato sulla specializzazione, sulla tecnologia e sull'innovazione. L'azienda si avvale di sofisticati sistemi di progettazione e di sviluppo prodotto, impiega un laboratorio di sperimentazione dotato di apparecchiature d'avanguardia per condurre prove che simulano l'atterraggio (*drop test*), prove a fatica e statiche, prove in diverse condizioni ambientali per verificare le prestazioni e il comportamento dei vari dispositivi secondo quanto prescritto dai regolamenti internazionali. Le attività produttive della Magnaghi si basano su processi tecnologicamente avanzati, su un'officina dotata di macchine a controllo numerico di ultima generazione e su linee di assemblaggio organizzate secondo i criteri della *lean-production*. Tutti i laboratori ed i processi dell'azienda hanno ottenuto certificazioni internazionali.

La Magnaghi è impegnata nel ricercare e nello sviluppare tecnologie innovative sia per i materiali, sia per i processi di produzione. Un recente risultato di questo impegno, importante per la riduzione delle masse, è l'attuazione elettrica dei carrelli d'atterraggio, l'impiego di criteri avanzati di simulazione virtuale nella progettazione, l'adozione di sensori per il monitoraggio dell'integrità su elementi strutturali critici. L'azienda ha sviluppato soluzioni innovative per i trattamenti superficiali a basso impatto ambientale, assorbitori in composito per dissipare l'energia che si produce durante un *crash impact* e la riduzione del rumore generato in volo da un carrello d'atterraggio durante le fasi di retrazione/estensione.

All'inizio del secondo decennio di questo secolo, la Magnaghi Aeronautica è leader in Italia ed è tra le prime dieci aziende che nel mondo costruiscono carrelli d'atterraggio. I suoi punti di forza sono l'impegno nella ricerca e nell'innovazione, la valorizzazione delle Risorse Umane e la capacità di competere su mercati determinanti, siano essi già consolidati come quello statunitense o emergenti come quello brasiliano.

## La capacità di saper rispondere ai cambiamenti

«Non è la specie più forte che sopravvive, né la più intelligente, ma quella capace di rispondere meglio ai cambiamenti». Questa ben nota affermazione di Charles Darwin può essere vantaggiosamente riferita anche agli organismi aziendali delle imprese meccaniche meridionali che qui interessano. In momenti di difficoltà, quando le produzioni tradizionali non incontrano più il favore del mercato, occorre saper cambiare. Perciò, a conclusione di questa rassegna, appare opportuno proporre anche la breve storia di due aziende, di medie dimensioni, che possono essere definite “darwiniane” per la loro capacità di trasformare la loro pur eccellente e particolare produzione in qualcosa di profondamente diverso per assicurarsi così una serena sopravvivenza. Di casi del genere certamente ne esistono molti altri, ma i due che sono stati prescelti per essere qui proposti hanno peculiari caratteristiche che certamente valgono bene a rappresentarli tutti.

*Ben Vautier Metalmeccanica s.p.a.*

La prima azienda “darwiniana” è la Ben Vautier Metalmeccanica s.p.a., nata da una storica impresa meridionale, che deve il nome al suo fondatore Benjamin Vautier, cittadino giapponese di padre svizzero e madre inglese. I Vautier appartengono ad un’illustre famiglia di antiche origini francesi, emigrata nel seicento in Svizzera, nel cantone di Vaud. Una famiglia molto attiva ben nota non solo nel mondo degli affari e dell’alta finanza, ma anche in quello dell’arte. Il padre di Benjamin Vautier era difatti rappresentante per tutto l’Estremo Oriente dei Krupp. Ancora oggi la predilezione per l’arte ha il suo alfiere in Ben, nipote del fondatore dell’azienda, massimo esponente della corrente *fluxus*. L’artista, noto in tutto il mondo, vive a Nizza in una caratteristica casa museo.

Nei primi anni del secolo scorso i Vautier costituivano una dinastia cosmopolita ed internazionale che faceva del viaggiare un’occasione raffinata di conoscenza: ed è proprio durante un viaggio che il giovane Benjamin di ritorno dalla Germania, dove aveva completato gli studi universitari, si concede una sosta a Capri ospite di amici. Affascinato dalla bellezza dei luoghi, dopo aver conosciuto quella che diverrà la sua futura moglie, decide di non lasciare più Napoli. In questa città Benjamin Vautier diviene importatore, e ben presto produttore di lampade a petrolio per l’illuminazione, in un’epoca in cui la fornitura dell’energia elettrica non raggiungeva ancora tutte le abitazioni, specialmente quelle distanti dai centri abitati. Queste stesse lampade, opportunamente modificate, divennero in seguito le prime ‘lampare’ per la pesca notturna. Per questa sua attività, Benjamin, con l’aiuto dei fratelli, fondò nel 1927 le Officine Meccaniche Fratelli Vautier, Fig. 21.



Figura 21. Ben Vautier, pubblicità delle lampare Columbus. Cortesia della Ben Vautier.

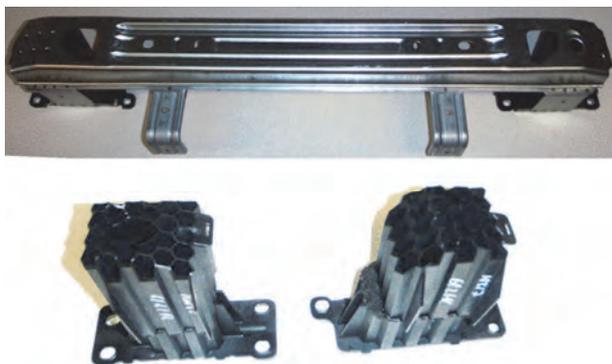
Negli anni '30 la fabbrica consolidò la sua produzione di lanterne ed apparecchiature per l'illuminazione a petrolio ed a gas, tra cui, appunto, le "lampare" utilizzate dai pescatori durante le battute di pesca notturne lungo le coste del Mediterraneo e rese anche celebri dall'iconografia e dalle canzoni del golfo di Napoli. Agli inizi degli anni '50, alla morte di Benjamin, la gestione dell'azienda passò nelle mani di suo genero, e successivamente, da quest'ultimo in quelle di suo figlio che oggi è a capo dell'azienda. Poiché il mercato delle apparecchiature a petrolio si andava lentamente esaurendo, la Ben Vautier per diversificare la sua produzione, iniziò anche a stampare lamiera per conto terzi e, a partire dal 1961, sempre più impegnata e specializzata nello stampaggio ed assemblaggio di prodotti in lamiera, iniziò a produrre anche per il settore *automotive*. Oggi la Ben Vautier è fornitrice di case automobilistiche italiane ed europee quale produttore di "componenti di primo impianto" (componentistica montata all'origine) in lamiera e plastica. La capacità di saper diversificare le sue produzioni è stata sempre una caratteristica di quest'azienda. Negli anni '80 e nei primi anni '90, infatti, la Ben Vautier ha operato anche nel comparto edilizio producendo componenti di carpenteria prefabbricata in acciaio stampato, "mattoni d'acciaio", assemblabili secondo le esigenze specifiche del cliente, nella realizzazione di strutture portanti

(brevetti MPN). Negli anni '90, sempre operando nel comparto della carpenteria metallica di qualità, l'azienda ha sviluppato altri sistemi *cold-formed*. Si tratta, in breve, di travi realizzate mediante profilatura a freddo e/o stampaggio di lamierati sottili (brevetti TMC), come primo elemento di un intero sistema costruttivo in acciaio, con il nome di *Modular-Light-weight Cold-formed Beams* (MLC Beams), anch'esso coperto da brevetto. L'azienda per queste sue produzioni destinate alle costruzioni civili ed industriali ha sviluppato programmi di Ricerca & Sviluppo, in collaborazione con istituzioni universitarie presenti sul territorio.

Negli anni più recenti la Ben Vautier ha investito in ricerca e sviluppo, ed ha consolidato la sua attività nel comparto automobilistico dove, nonostante le sue dimensioni relativamente ridotte, mantiene una posizione di primo piano grazie alla capacità di produrre componenti ad elevato contenuto di difficoltà, che, oltre a richiedere notevole qualità dei processi produttivi, hanno imposto significativi investimenti in impianti e tecnologie d'avanguardia.

Oggi le attività industriali della Ben Vautier Metalmeccanica nel settore *automotive*, subiscono la fase congiunturale negativa dovuta al crollo del mercato automobilistico, all'incremento continuo del costo delle materie prime ed agli elevati oneri di struttura. L'azienda ha una sola possibilità di contrastare la crisi globale del comparto, quella di ottenere incrementi dei volumi produttivi e migliori margini mediante l'introduzione di nuove produzioni ad alto contenuto di specializzazione. Pertanto essa ha prescelto lo sviluppo di soluzioni innovative, protette da idonei brevetti, che consentono adeguata remuneratività e trovano comunque richiesta nel mercato globale dell'auto. Questo scenario consente la sopravvivenza di poche, ben selezionate aziende di dimensioni ridotte, ma altamente specializzate, le sole che le case costruttrici di automobili abbiano interesse a continuare ad utilizzare come fornitori di primo livello, in ottica di *co-design*. La Ben Vautier Metalmeccanica, poiché è dotata di una struttura tecnica, gestionale e produttiva agile e competitiva, con queste scelte ha tenuto saldamente la sua posizione ed intende conservarla. La politica di privilegiare prodotti innovativi richiede sempre una complessa fase di studio, e l'impegno d'individuare e definire i nuovi obiettivi strategici ha messo a dura prova i vertici aziendali. È stato necessario analizzare tutti i componenti dell'autotelaio e della scocca con l'obiettivo di individuare quali di essi, nel prossimo decennio, si sarebbero concentrate le principali esigenze del mercato dell'automobile. È stato deciso di lavorare sulla riduzione delle masse e sull'incremento delle prestazioni meccaniche, in particolare sulla capacità degli organi cosiddetti *sacrificali*, di assorbire sempre maggiori aliquote di lavoro di deformazione durante i fenomeni d'urto, al fine di proteggere meglio gli occupanti delle autovetture, Fig. 22. Questi obiettivi, peraltro, oltre che risultare essenziali elementi di competizione sul mercato

internazionale per le case costruttrici, sono anche imposti dalla crescente severità delle normative in campo automobilistico che riguardano principalmente l'inquinamento e la sicurezza passiva. In questo contesto è scaturita l'individuazione di un nuovi spazi di fornitura, che oggi si caratterizzano nella realizzazione di 'strutture e prodotti ibridi'. Le tecnologie interessate sono quelle dei prodotti in lamiera d'acciaio, dei prodotti in alluminio e di quelli in plastica iniettata. Su queste tematiche l'azienda, per affrontare il futuro, ancor più è oggi impegnata in attività di sperimentazione e in progetti di ricerca.



**Figura 22.** Ben Vautier, Organi di sicurezza passiva: assorbitori e traversa ibrida. Cortesia della Ben Vautier.

---

### *La Magaldi Industrie s.r.l.*

La seconda azienda “darwiniana” è la Magaldi Industrie s.r.l. di Buccino, in provincia di Salerno. In chi scrive il primo ricordo della Magaldi è indissolubilmente legato alle esercitazioni di “Meccanica applicata alle macchine” che, negli anni '50, si svolgevano nella Facoltà d'Ingegneria dell'Ateneo federiciano che aveva allora sede a via Mezzocannone, nel cuore del centro storico di Napoli. Aldo Nanni, il simpaticissimo e geniale ingegnere bolognese che coordinava le esercitazioni, quella volta aveva assegnato, come tema, una trasmissione a cinghia di cuoio. L'esercitazione consisteva nel disegnare la trasmissione dopo aver sviluppato i necessari calcoli. In quei tempi di ristrettezze economiche, invece dei costosi cartoncini *Bristol*, s'impiegava la faccia ruvida di semplici fogli di carta da imballaggio color avorio. Il nostro gruppo di studio era ben affiatato e di norma si riuniva per studiare e per svolgere collegialmente le esercitazioni che venivano assegnate. Per avere le necessarie informazioni sulle cinghie di cuoio scrivemmo alla Magaldi che allora, come ancora oggi, aveva sede a Buccino, in provincia di Salerno.

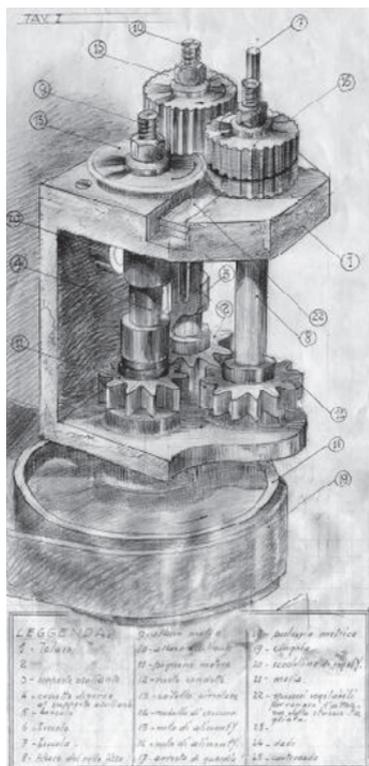
Il catalogo delle cinghie di trasmissione Magaldi arrivò a stretto giro di posta. Era ben concepito giacché, come vero e proprio manuale, suggeriva in modo semplice e chiaro il procedimento per procedere alla scelta della cinghia. Grazie a quell'ausilio che si rivelò prezioso, il nostro lavoro fu completato con ottimi risultati. Altri studenti, che non avevano pensato di richiedere il catalogo, si lasciarono guidare dalla fantasia e, per limitare la larghezza delle pulegge, disegnarono cinghie con spessori tali da risultare assolutamente impossibili, poiché non esisteva cuoio di tal fatta. Alla presentazione degli elaborati l'ing. Nanni si sganasciò dalle risate per quelle scelte imprudenti e, col suo accento bolognese, disse che sarebbe stato necessario compiere una strage di elefanti o di rinoceronti per ottenere cinghie con quegli spessori inesistenti che erano il doppio o il triplo di quelli caratteristici della pelle che proveniva dai bufali allevati nella piana del Sele. Pelli che venivano sottoposte ad una particolare concia al cromo, anche questa una specialità della Magaldi, e quindi assemblate in larghezza con un particolare procedimento di rivettatura.

I Magaldi, che hanno dato nome all'azienda, fino da XIX secolo, appartenevano ad una stirpe votata all'invenzione, alla meccanica ed alla capacità d'intraprendere. Biagio Magaldi, nella prima metà del secolo si cimentava nell'incisione di metalli, nella meccanica degli orologi da torre e delle armi da fuoco. La sua terra natia, Buccino, piccolo paese nell'entroterra dell'Appennino Campano, era noto sin dall'antichità per una cava di marmo giallo ed aveva antichissime origini: era stato un fiorente municipio al tempo dell'impero romano ed un tranquillo ed agiato centro feudale in epoca angioina. Nelle fertili campagne circostanti, oggi come da molti secoli, si coltiva l'ulivo, la vite, il grano. Pur essendo nato in questo sereno ambiente bucolico Biagio Magaldi, invece, aveva la passione per la meccanica. In una piccola officina, nel 1844, egli portò a compimento l'invenzione di un nuovo fucile a retrocarica, dotato di un sistema di caricamento basculante nella quale s'introduceva la palla e la polvere da sparo. A Buccino, nell'epoca in cui visse Biagio non esisteva ancora una conoscenza ben chiara e definita sul diritto della proprietà intellettuale sulle invenzioni, anche se in Francia, proprio in quell'anno era stata varata una importante legge sui brevetti industriali. Forse Biagio non aveva neanche l'intenzione di avviare la produzione del fucile che aveva inventato. Nel 1870 presentò la sua invenzione all'esposizione artigiana di Salerno ed ottenne un premio. Nell'officina Magaldi di Buccino che con gli anni aveva acquisito migliori dotazioni e dimensioni maggiori, un nipote di Biagio, Eduardo avviò la produzione di gassogeni ad acetilene per l'illuminazione e, successivamente, quella di pompe irroratrici per l'agricoltura. Agli albori del nuovo secolo, era il 1901, Emilio Magaldi ottenne in Francia il brevetto d'invenzione n. 310401 per una *nouvelle courroie de transmission*. Il brevetto era stato rilasciato dal Ministero del Commercio,

dell'Industria, della Posta e Telegrafo Francese ed aveva una durata di quindici anni. Il merito di Emilio Magaldi fu quella di osservare e comprendere quale fosse la causa delle frequenti rotture delle cinghie di trasmissione che nelle officine meccaniche provocavano onerosi fermi delle macchine per tutto il tempo occorrente alla loro sostituzione. Le cinghie di cuoio bovino, costrette dalla geometria della trasmissione a flettersi continuamente sulle pulegge, si rompevano rapidamente per fatica. Emilio pensò allora di utilizzare le pelli di bufalo, un animale che da secoli vive nelle zone acquitrinose della valle del Sele, e che ancora oggi rappresenta per i prodotti del suo latte una ben nota risorsa dell'economia agroalimentare di questa parte della Campania. Emilio comprese anche che la maggiore morbidezza ottenuta con la concia al cromo delle pelli, invece di quella ottenuta con il tannino, poiché ne incrementava la flessibilità, avrebbe conferito alle cinghie una maggiore durata, senza ridurre per nulla la resistenza a trazione occorrente per la trasmissione. Le cinghie più morbide e flessibili inoltre, poiché procuravano anche minor riscaldamento, miglioravano anche il rendimento della trasmissione. Emilio aveva una mente fertile e non si limitò alle cinghie di trasmissione. Le cronache familiari raccontano della sua invenzione di una scarpa che di un secolo anticipava le attuali calzature tecnologiche per lo sport e per il tempo libero: una scarpa con un tacco in cui era inserita una molla di acciaio che «caricandosi di energia ad ogni passo contribuiva a rendere il camminare più leggero». Dopo Emilio, che era stato l'inventore, venne suo nipote Paolo che fu l'innovatore. Nel 1929 Paolo Magaldi diede una svolta alle attività di famiglia poiché conferì ad esse una definitiva dimensione industriale: nella sua Buccino, facendo affidamento sulla capacità e sulla laboriosità dei suoi operai, realizzò un opificio per la produzione delle cinghie di trasmissione in cuoio di bufalo. Nel 1932 ottenne un nuovo brevetto per il taglio a spirale delle pelli, volto ad ottenere una maggiore lunghezza per ridurre il numero delle giunzioni. In collaborazione con il padre mise anche a punto una macchina utensile capace di operare questo nuovo tipo di taglio, Fig. 23.

Grazie al processo continuo di ricerca e d'innovazione la cinghia Magaldi divenne in breve un prodotto industriale conosciuto ed apprezzato dovunque fosse necessario trasmettere potenza meccanica alle macchine operatrici. Arrivarono a Buccino commesse dall'estero e, in Italia, dalla Breda, dall'Ansaldo, dalla Snia, dalle Cotoniere meridionali. In breve la cinghia Magaldi divenne "Supercinghia" ed il suo requisito migliore, quello con cui fu pubblicizzata, era l'affidabilità.

Venne poi la Seconda guerra mondiale e la Magaldi continuò a produrre cinghie in cuoio di bufalo, ancora migliori, perché mai l'innovazione continua cessò di essere il primo obiettivo della fabbrica di Buccino.



**Figura 23.** Magaldi Industrie s.r.l., Disegno originale della macchina per il taglio a spirale delle pelli eseguito da P. Magaldi nel 1931. Cortesia della Magaldi Industrie s.r.l.

Nell'immediato dopoguerra l'impiego delle cinghie Magaldi contribuì a rimettere in moto l'industria e l'economia italiana, Fig. 24. Ma con la ricostruzione cambiò presto anche la concezione degli impianti industriali e dei mezzi di produzione. Nel volgere di pochi anni, a partire dagli anni '50, le cinghie di trasmissione in cuoio divennero rapidamente obsolete. Le macchine utensili dotate di motore elettrico ben presto sostituirono quelle preesistenti, costruite prima della seconda guerra mondiale che, invece, avevano un motore centralizzato che azionava gli alberi di trasmissione che, con le pulegge e le cinghie di cuoio, davano il moto alle macchine operatrici. Paolo Magaldi non si arrese di fronte alle obbiettive difficoltà: pensò che le cinghie di cuoio potessero essere ancora utili come nastri trasportatori di materiali difficili, come ad esempio le lamiere di acciaio. Più in generale cominciò a sviluppare nuove idee per realizzare sistemi di trasporto a nastro fatti di cuoio e poliammide e nacquero, così, le cinghie Nylmag. La sua attenzione, ben presto, fu riservata ai problemi di trasporto di materiali caldi all'interno di industrie di industrie come cementifici e stabilimenti metallurgici. Il cuoio e le materie plastiche non resistevano alle alte temperature e così cominciò la sperimentazione per trovare soluzioni innovative. Dapprima pensò di proteggere le cinghie con materiali

isolanti, poi di proteggerle con piastre d'acciaio imbricate tra loro come le piastre di una corazza. Infine arrivò la soluzione concettualmente più giusta: separare l'elemento di trazione da quello che trasportava il materiale incandescente. La scelta per l'elemento di trazione cadde su di un nastro a rete di fili d'acciaio e venne il primo brevetto depositato in Italia e negli Stati Uniti. I primi prototipi furono impiegati per il trasporto di scorie di piombo incandescenti, poi fu la volta delle scorie, anch'esse incandescenti, di materiali mercuriferi in un'azienda di Santa Flora sul Monte Amiata. Il terzo sistema a nastro fu fornito ad un cementificio in Piemonte che aveva necessità di trasportare argilla espansa ad alta temperatura. Il quarto prototipo fu fornito ad una cementificio toscano. Ma il sistema non appariva ancora perfetto e Paolo non era del tutto soddisfatto. Chiese la collaborazione di esperti di ogni tipo, fisici, ingegneri, docenti universitari. Pur con molte difficoltà, ricercando, provando e riprovando, la soluzione che desiderava fu ormai raggiunta e con essa arrivarono anche i brevetti. Il problema del trasporto dei materiali difficili fu risolto con un nastro corazzato che venne impiegato prima in una fonderia, poi in un cementificio prima di essere installato in una centrale termoelettrica. Un ben più ampio scenario, questa volta mondiale, si aprì ai sistemi di trasporto a nastro della Magaldi. Quando Paolo, nel 1972, morì tragicamente in un incidente stradale, l'azienda passò nelle mani salde di suo figlio Mario che seguì le orme del padre: in primo luogo l'innovazione continua dei prodotti e la loro protezione mediante brevetto. Poi informazione tecnica per promuoverne l'impiego, accordi internazionali in tutto il mondo, e sempre, una politica industriale ispirata dal motivo dominante di tenere indissolubilmente radicata l'azienda di famiglia all'amato territorio di origine, Buccino.



**Figura 24.** Magaldi Industrie s.r.l., Trasporto di una Supercinghia di dimensioni eccezionali. Cortesia della Magaldi Industrie s.r.l.

Negli anni successivi ancora nuove innovazioni e nuovi brevetti per proteggere in tutto il mondo quella che ormai è divenuta una tipica espressione di eccellenza industriale italiana in settori in cui occorrono prodotti affidabili, sicuri, efficienti. Dai trasportatori a nastro la Magaldi passa agli impianti di carico navi, ai lunghi sistemi di trasporto per miniere ed agli impianti trasporto e di messa a parco di ogni tipo. Il nastro corazzato, messo alla prova per anni in fonderie e cementifici diviene l'attuale *Magaldi Superbelt*. Il nuovo prodotto di punta dell'azienda è il MAC, acronimo che sta per *Magaldi Ash Collet*, un sistema di raffreddamento a secco delle ceneri pesanti prodotte dalla combustione di fossili: esso recupera energia ed elimina l'acqua di raffreddamento e tutti i connessi problemi di compatibilità ambientale. Tutte le centrali termiche dell'Enel adottano il MAC e questo sistema, ormai, è conosciuto ed impiegato in tutto il mondo. Nel 1997 è stata fondata la Magaldi ricerche e brevetti per innovare ancora e sfruttare nel modo più conveniente tutti i nuovi risultati raggiunti. Alla tradizionale concezione produttiva si delinea oggi anche l'affiancamento di una vera e propria struttura di ricerca. Appare questa una esemplare maniera per affrontare le sfide che il futuro riserva al nostro paese ed all'Europa: pensare innanzi tutto all'invenzione, all'innovazione ed alla qualità. A quella dei prodotti industriali, ma innanzi tutto a quella dell'ambiente e della vita umana. Così è a Buccino, un antico paese di cinquemila abitanti, appollaiato a poco meno di settecento metri d'altitudine sulla cima di un poggio, nella valle del fiume Bianco, in Campania, la terra dei Magaldi.

## BIBLIOGRAFIA

- Acton Giovanni (1792), *Regolamento per la fondizione, e le dimensioni dei pezzi d'artiglieria, la prova, e verificaione dei medesimi, l'amministrazione della fonderia, prova delle polveri da guerra, barili, trasporto e magazzini della medesima per uso dell'Artiglieria delle Sicilie*, Stamperia Reale, Napoli.
- Acton Harold (1997), *Gli ultimi Borboni di Napoli (1825-1861)*, Giunti Editore, Firenze.
- Anibaldi Cesare, Berta Giuseppe (a cura di) (1999), *Grande impresa e sviluppo italiano. Studi per i cento anni della Fiat*, 2 vol., Il Mulino, Bologna.
- Assante Franca (2011), *L'Economia del Mezzogiorno prima e dopo l'impresa dei Mille*, in Accademia Pontaniana, Conferenze tenute nell'ambito delle attività congiunte dell'Accademia Pontaniana e dell'Accademia di Scienze Morali e Politiche, Anno Accademico 2010-2011, Giannini Editore, Napoli, pp. 33-64.
- Bevilacqua Piero (1993), *Breve storia dell'Italia meridionale: dall'Ottocento ad oggi*, Donzelli, Roma.
- Bonghi Jovino Maria (2008), *Mitici approdi e paesaggi culturali, la Penisola Sorrentina prima di Roma*, Nicola Longobardi Editore, Castellammare di Stabia.

- Campanella Tommaso (1941), *Città del Sole*, a cura di Norberto Bobbio, Einaudi, Torino.
- Cantone Gaetana, Greco Franco Carmelo (a cura di) (1987), *Il Teatro del Re, il San Carlo da Napoli all'Europa*, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli.
- Caputo Francesco (A.A. 1964-1965), *Progetto di massima di un impianto per la prova di turboreattori con postbruciatore da 2000 a 5000 kg di spinta*, Tesi di laurea in ingegneria meccanica, Università degli Studi di Napoli Federico II.
- Caputo Francesco, Monacelli Gennaro (a cura di) (2003), *Modelli Virtuali nella Progettazione Automobilistica*, Officine grafiche Francesco Giannini & Figli, Napoli.
- Caputo Francesco (2007), *I Cannoni del Regno delle Due Sicilie*, Cuzzolin Editore, Napoli.
- Cardone Vito (2002), *La nascita della scuola napoletana di ingegneria nel contesto internazionale*, Atti del Convegno di studi su Scienziati-Artisti, Formazione e ruolo degli ingegneri nelle fonti dell'Archivio di Stato e della Facoltà d'Ingegneria di Napoli, Hevelius Edizioni, Napoli, pp. 75-107.
- Cipolla Carlo M. (1999), *Vele e cannoni*, Il Mulino, Bologna.
- Cirillo Ornella (2008), *Illuminare le coste: i fari del golfo di Napoli nel XIX secolo*, Atti del 2° Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria, tomo secondo, Cuzzolin Editore, Napoli, pp. 1193-1204.
- Civiltà del '700 a Napoli, 1734-1799* (1980), Catalogo della mostra, vol. II, Centro Di, Firenze.
- Coniglio Giuseppe (1981), *I Borboni di Napoli*, Dall'Oglio Editore, Varese.
- Cosenza Edoardo, Parisi Roberto (2008), *Luigi Giura: il primo ingegnere di Stato nell'Italia in costruzione*, Atti del 2° Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria, tomo secondo, Cuzzolin Editore, Napoli, pp. 959-970.
- Colombo Antonio (1894), *I porti e gli arsenali di Napoli, III, Epoca aragonese e viceregnale*, Napoli Nobilissima, vol. III.
- Croce Alda, Tessitore Fulvio, Conte Domenico (diretto da) (2002), *Napoli e la Campania nel novecento, diario di un secolo*, vol. III, Edizioni del Millennio, Quarto (Napoli).
- D'Amico Stefano, Tabucchi Maurizio (2007), *Alfa Romeo, le vetture di produzione*, vol. II, anni 1962-2007, Giorgio Nada Editore, Vimodrone, Milano.
- D'Arbitrio Nicoletta, Ziviello Luigi (1999), *Il Reale Albergo dei Poveri di Napoli, un edificio per le Arti della città dentro le mura*, EDISA, Napoli.
- De Benedetti Augusto (1990), *La Campania Industriale, Intervento pubblico e organizzazione produttiva tra età giolittiana e fascismo*, Edizioni Athena, Napoli.
- De Cesare Raffaele (1900), *La fine di un Regno*, 2 vol. S. Lapi Tipografo Editore, Città di Castello.
- De Crescenzo Gennaro (2002), *Le Industrie del Regno di Napoli*, Grimaldi & C. Editori, Napoli.
- De Felice Alessio (2010), *Ricerche storico-giuridiche sugli albori della Nunziatella*, Fondazione Nunziatella Onlus, Napoli.
- Dell'Orefice Anna (1979), *L'industria della carta nel Mezzogiorno d'Italia. 1800-1870. Economia e tecnologia*. Librairie Droz, Genève.

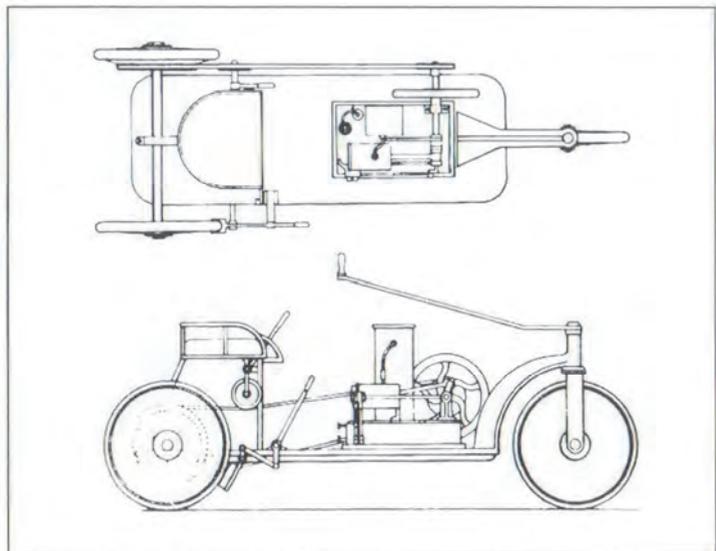
- De Luca Paolo (a cura di) (2005), *Domenico Cirillo, Plantarum Rariorum Regni Neapolitani*, Tullio Pironti Editore, Napoli.
- De Rivera Carlo Afan (1832-1833), *Considerazioni sui mezzi da restituire il valor proprio a' doni che la natura ha largamente concesso al Regno delle Due Sicilie*, 3 voll., Napoli.
- De Rosa Luigi (1968), *Iniziativa e capitale straniero nell'industria metalmeccanica del Mezzogiorno 1840-1904*, Giannini Editore, Napoli.
- De Sanctis Riccardo (1986), *La nuova scienza a Napoli tra '700 e '800*, Editori Laterza, Bari.
- De Stefano Manno Brunello, Maticena Gennaro (1979), *Le Reali Ferriere ed officine di Mongiana*, casa editrice Storia di Napoli e delle due Sicilie, Napoli.
- Ferrari Paolo (a cura di) (2004), *L'Aeronautica Italiana, Una Storia del Novecento*, Franco Angeli Storia.
- Firpo Luigi (1942), *Recensione di Tommaso Campanella, La città del sole a cura di Norberto Bobbio*, Giornale Storico della letteratura italiana, Torino, CXIX, pp. 91-93.
- Franchini Vittorio (1932), *La mobilitazione industriale dell'Italia in guerra: contributo alla storia economica della guerra 1915-1918*, Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.
- Fratra Arturo (a cura di) (1990), *La fabbrica delle navi, Storia della cantieristica nel Mezzogiorno d'Italia*, Electa, Napoli.
- Glejises Vittorio (1981), *La storia di Napoli*, 3 vol., Società editrice napoletana, Napoli.
- Lizza Andrea (2008), *Storia dell'Illuminazione a gas nella città di Napoli*, Atti del 2° Convegno Nazionale di Storia dell'Ingegneria, tomo II, Cuzzolin Editore, Napoli, pp. 1183-1192.
- Lomonaco Fabrizio (1993), *Nuovo contributo all'iconografia di Giambattista Vico (1744-1991)*, Guida Editori, Napoli.
- Maggi Salvatore (2011), *Ferrovia ed identità nazionale*, "Tutto Treno", n. 248, gennaio 2011, p. 24.
- Manganoni Carlo (1928), *Armi da fuoco portatili e materiali d'artiglieria*, 2 voll. Tipografia Enrico Schioppa, Torino.
- Massafra Angelo (1988), *Il Mezzogiorno preunitario: economia, società, istituzioni*, Dedalo, Bari.
- Molledo Guido (2010), *E l'Italia prese il volo, vita di Renato Bonifacio*, UTET, Torino.
- Monge Gaspard (1794), *Description de l'Art de Fabriquer les Canons*, Imprimerie du Comité de Salut Public, Paris.
- Morghen Raffaello (1972), *L'Accademia Nazionale dei Lincei nel CCCLXVIII anno dalla sua fondazione, nella vita e nella cultura dell'Italia Unita*, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.
- Neppi Modona Guido (1969), *Sciopero, potere politico e magistratura, 1870-1922*, Laterza, Bari.
- Nicolini Fausto (2012), *Cenni Storici*, in "Annuario dell'Accademia Pontaniana 2012", Officine grafiche Francesco Giannini & figli, Napoli.
- Nitti Francesco Saverio (1958), *Scritti sulla questione meridionale*, Laterza, Bari.
- Parrino Domenico Antonio (1770), *Raccolta di tutti i più rinomati scrittori dell'istoria generale del regno di Napoli*, Napoli.
- Perrotti Carola Angela (a cura di) (1986), *Le Porcellane dei Borboni di Napoli, Capodimonte e Real Fabbrica Ferdinanda, 1743-1806*, Guida, Napoli.

- Pocock Simon (2009), *Campania 1943*, vol. II, parte II, zona Ovest, Three Mice Books, Napoli.
- Ogliari Francesco (1975), *Storia dei Trasporti Italiani*, vol. XXI, "Terra di Primati", vol. I (1800-1860), Cavallotti Editore, Milano.
- Ordinanza per la Regal Accademia Militare* (1987), Napoli nella stamperia Regale MDCCXCVIII, ristampa.
- Rossi Paolo (1976), *I filosofi e le macchine 1400/1700*, Feltrinelli, Milano.
- Vanacore Catello, D'Antonio Bianca (1995), *Il Cantiere navale di Castellammare di Stabia*, EIDOS Nicola Longobardi Editore, Castellammare di Stabia (Napoli).
- Vanvitelli Luigi (1756), *Dichiarazione dei Disegni del Reale Palazzo di Caserta etc.*, Regia Stamperia, Napoli.
- Vitale Augusto (a cura di) (1992), *Napoli un destino industriale*, Collana di studi economico-sociali sul Mezzogiorno, CUEN, Napoli.
- Wenner Giovanni (1953), *L'industria Tessile salernitana dal 1824 al 1918*, Camera di Commercio Industria ed Agricoltura, Salerno.



## LA MECCANICA DEI TRASPORTI

---



Il Triciclo Bernardi (Italia, 1884), prima forma di automobile. Disegno tratto da G.F. Biggioggero, S. Calabrò, G. Menzio, E. Roviada, *Evoluzione storica di soluzioni costruttive. Il caso di sospensioni per autovettura*, Politecnico di Milano, 2003.

## La produzione meccanica nel settore dei trasporti ferroviari. Uno sguardo d'orizzonte fra Ottocento e Novecento

### Meccanica e trasporti ferroviari

Nella storia dell'industria italiana il settore della produzione meccanica dei trasporti ferroviari occupa un ruolo essenziale, come tutti gli studiosi, che vi si sono applicati, non hanno mancato, in tempi diversi e con svariate argomentazioni, di dimostrare. È una vicenda di grande significatività, nella quale si mescolano elementi attinenti *stricto sensu* alla storia dell'industria e dell'impresa con altri aspetti che possono essere fatti risalire alla progettazione, al *design* e in ultima analisi alle conoscenze tecnologiche e al trasferimento di saperi. In linea di massima tre sono gli spunti di base, che verranno implementati. Si ricostruirà lo sforzo del paese di emancipazione dalla dipendenza estera nella lunga prima fase della vicenda, si seguiranno le strade dello sviluppo di alcune grandi imprese e infine si metteranno in evidenza i principali risultati nel lungo arco di tempo considerato, con particolare attenzione alle locomotive, il prodotto ferroviario di punta maggiormente sofisticato sotto il profilo tecnologico. Di questo e in questo modo si tratta nel saggio, con un approccio inevitabilmente improntato alla sintesi, al fine di delineare i percorsi della vicenda e sottolinearne le tematiche centrali. Va da sé che un impegno del genere impone una concisione destinata a maltrattare una gran quantità di questioni, che si sviluppano storicamente all'interno del settore. I rimandi in nota cercheranno di ovviare a questo inconveniente non di poco conto.

### Un ritardo storico

Da nazione *second comer*, l'Italia accumulò un ritardo considerevole anche nel campo della costruzione dei rotabili ferroviari<sup>1</sup>. Il paese restò dipendente soprattutto per le locomotive nella prima fase da Inghilterra, Francia e Belgio – grosso modo dalle origini fino al 1875 – poi soprattutto da Austria-Ungheria e più che altro dalla Germania specialmente nel periodo precedente alla nazionalizzazione. Mancavano le competenze tecnologiche, che in tempi tutto sommato

---

<sup>1</sup> M. Merger, *L'industrie italienne de locomotives, reflet d'une industrialisation tardive et difficile*, in "Histoire, économie et société", 1989, 3, pp. 353-370; e id., *Le costruzioni ferroviarie, in Storia dell'Ansaldo. Le origini, 1853-1882*, a cura di V. Castronovo, Roma-Bari, Laterza, 1994, pp. 191-209.

relativamente brevi verranno poi acquisite, e non operavano sul mercato imprese italiane capaci di difendersi dalla predominanza nel settore dei grandi produttori esteri. Il processo di autonomizzazione fu dunque lento, ostacolato anche dalla legislazione doganale, che favoriva l'importazione dei prodotti ferroviari e in particolare delle locomotive. Il terzo grande problema, che nei fatti verrà risolto soltanto al momento della nazionalizzazione delle ferrovie nel 1905, era costituito dall'estrema irregolarità della domanda da parte delle società ferroviarie, che provocava fluttuazioni molto forti, rendendo l'investimento in questo settore troppo incerto per essere affrontato da soggetti ancora fragili. Infine occorre tenere bene in considerazione la prevalenza nel settore della meccanica ferroviaria, almeno fino agli anni Ottanta, di una dimensione ancora minuta fatta di botteghe artigiane, assorbite da attività disparate e incapaci di volgersi con decisione, come farà per prima Breda a partire dalla seconda metà di quel decennio, verso una completa specializzazione produttiva. Verrà sottolineato adeguatamente, come la legge del 1885 rappresenti un *turning point* cruciale, per quanto di per sé probabilmente non ancora sufficiente, come ha scritto Michele Lungonelli: «Il ritardo accumulato dalla meccanica del settore e la consolidata presenza di imprese straniere nel mercato italiano apparivano infatti tali da non essere facilmente superabili sulla base di un pur importante provvedimento legislativo»<sup>2</sup>. Da un quadro del genere occorre muoversi per la ricostruzione della meccanica ferroviaria italiana, la cui prima fase risale agli anni preunitari.

## I primi passi del Meccanico

Le prime due imprese impegnate nella produzione ferroviaria sorte sulla penisola furono il Meccanico e le officine di Pietrarsa. Il primo venne fondato nello Stato Sardo, che in effetti fin dall'inizio si dimostrò dotato di maggior lungimiranza rispetto agli altri nel progettare il futuro ruolo delle ferrovie. L'accordo stretto nel 1846 fra il governo sabaudo e i due imprenditori Philip Taylor e Fortunato Prandi portò alla costituzione del Meccanico a Sampierdarena, nei pressi di Genova, sulle cui ceneri sarebbe poi nato qualche anno dopo il vero e proprio Ansaldo<sup>3</sup>. Il nuovo

---

<sup>2</sup> M. Lungonelli, *La produzione e l'evoluzione tecnologica dalle origini agli anni Venti*, in *La Breda. Dalla Società Italiana Ernesto Breda alla Finanziaria Ernesto Breda 1886-1986*, Milano, Amilcare Pizzi, 1986, p. 57.

<sup>3</sup> Il Piemonte fin dalla metà degli anni '40 cominciò a progettare la realizzazione della propria rete ferroviaria. La linea ritenuta massimamente strategica, quella che univa la capitale con il porto principale, venne varata nel 1845, e il governo se ne assunse il compito, reputandola di grande rilievo sia sotto il profilo economico sia sotto quello politico. Sulla politica ferroviaria

stabilimento genovese occupò precocemente una posizione di avanguardia, puntando a sfruttare lo sviluppo ferroviario immaginato ormai incipiente. In realtà le cose non furono così facili e la scommessa si rivelò più rischiosa del previsto. Lo stato insoddisfacente delle conoscenze tecniche da una parte e l'insufficiente preparazione industriale dall'altra resero il tentativo del Meccanico, ancora giovane e inesperto, estremamente difficile. Così l'officina fornì a fatica una prima serie di produzione ferroviaria – soprattutto «serbatoi e piattaforme girevoli»<sup>4</sup> – senza salire di livello fino alla costruzione di locomotive. In più le condizioni economiche poste dall'autorità politica sabauda non furono particolarmente favorevoli per la neonata impresa e le ordinazioni furono poche e discontinue; non solo, ma i prodotti «risultarono inoltre difettosi e comunque non concorrenziali»<sup>5</sup>. Così le locomotive che percorsero i primi chilometri di strada ferrata aperti nel Piemonte di Cavour in realtà vennero realizzate tutte all'estero, presso fabbriche assai più collaudate di quanto non fosse al tempo l'officina ligure. Inoltre giunsero quasi subito inesorabili i primi problemi di bilancio, nonostante il sostegno garantito dallo Stato Sardo. Di qui l'assorbimento nel 1852 da parte dell'amministrazione ferroviaria sabauda e il passaggio nelle mani del gruppo di imprenditori, che ne rilancerà le sorti.

## Pietrarsa

Nel frattempo a Pietrarsa, a pochi chilometri da Napoli, veniva impiantato un importante stabilimento destinato a lavorazioni meccaniche per la flotta borbonica<sup>6</sup>. Motori a vapore, scafi di carenaggio, caldaie per navi e ruote per battelli rappresentano i prodotti più comuni, insieme con le armi, di questa prima fase. La popolazione operaia constava di 200 addetti, cifra per nulla disprezzabile tenuto conto del livello dello sviluppo industriale dello Stato borbonico e della stessa intera penisola; nel 1847, addirittura, il numero degli operai saliva a 500, sei anni dopo si raggiungevano i 619 occupati. Quando il Regno Borbonico tramontò, a Pietrarsa lavoravano più di mille persone. Parallelamente alla vocazione marittima, ben presto però emergeva anche la specializzazione ferroviaria. Già con il 1843 vi si

---

piemontese, cfr. da ultimo A. Giuntini, *Genova e le ferrovie nel progetto di Cavour*, in *Cavour e Genova. Economia e politica*, a cura di M.E. Tonizzi, Genova, Genova University Press, 2011, pp. 75-96.

<sup>4</sup> M. Doria, *Ansaldo. L'impresa e lo stato*, Milano, Franco Angeli, 1989, p. 24.

<sup>5</sup> N. Nada, *Genova e l'Ansaldo nella politica di Cavour*, in *Storia dell'Ansaldo*, vol. I, *Le origini*, cit., p. 35.

<sup>6</sup> Sulla storia e l'attività ferroviaria dello stabilimento di Pietrarsa, interrottasi definitivamente nel 1975, cfr. M. Merger, *Un modello di sostituzione: la locomotiva italiana dal 1850 al 1914*, in "Rivista di storia economica", 1986, I, pp. 74-76; e A. Giuntini, *Ascesa e declino delle prime officine ferroviarie italiane. Appunti per una storia di Pietrarsa dalle origini al museo*, in "Storia economica", 2006, 2-3, pp. 485-503.

inaugurava la riparazione di locomotive e rotabili circolanti sulla rete, a dire il vero assai esigua, del regno delle Due Sicilie<sup>7</sup>. Nel giugno del 1844 facevano il loro ingresso nelle officine con lo scopo di portare a termine la cosiddetta “grande riparazione”, le prime due locomotive, l’Impavido e l’Aligero, acquistate in Inghilterra fra il 1842 e il 1843. Sotto il profilo tecnologico, i vari comparti della fabbrica subirono continui miglioramenti: dalla torneria alla fonderia al reparto per la lavorazione delle caldaie alla fucineria, ogni fase della lavorazione venne rafforzata e migliorata. All’alba della nascita del Regno, lo stabilimento copriva un’area di 33.600 mq e vi operavano macchine a vapore per una forza complessiva di 163 hp. A Pietrarsa era attiva anche la produzione di rotaie, che nell’Italia del tempo nessun altro fabbricava<sup>8</sup>. Nel periodo dal 1845 al 1847 uscirono dallo stabilimento napoletano 7 locomotive, mentre a 13 ammontò la produzione nel decennio 1850-1860.

### La produzione di locomotive in Ansaldo

La produzione di locomotive venne finalmente avviata in Ansaldo nel 1854. Il salto di qualità non fu soltanto di natura tecnologica, ma coinvolse anche il modo di operare dell’impresa. Contrariamente al primo esperimento infatti, la nuova società assumeva in proprio ogni rischio d’impresa senza domandare nessun tipo di sussidio allo Stato, il quale si limitò a preferire la produzione domestica a quella straniera, nonostante una certa maggiorazione di costo, inaugurando in tal modo un atteggiamento di tipo protezionistico che non smetterà mai di caratterizzare anche in futuro la produzione ferroviaria nazionale. Del resto era questo l’unico modo appropriato ed efficace per favorire e incoraggiare una produzione non ancora in grado di competere con i grandi produttori ferroviari europei sotto il profilo dei costi, ma neppure sotto quello della qualità. Le prime due locomotive uscite dalla fabbrica genovese, consegnate nel 1855, vennero immesse in servizio sulla Torino-Rivoli. Fra il 1855 e il 1860 il numero di locomotive uscite dallo stabilimento Ansaldo fu di 16, 14 delle quali furono destinate alla Società delle strade ferrate dell’Italia del nord, 2 invece finirono per circolare sulla rete gestita dalla Società delle strade ferrate dell’Italia centrale. Nel 1859, alla vigilia dell’Unificazione, l’Ansaldo ricevette la prima commessa per due locomotive dalla

---

<sup>7</sup> M. Merger, *Le officine di costruzione e riparazione del materiale ferroviario nell’area Padana dal 1850 alla vigilia della prima guerra mondiale*, in “Padania”, 1990, 7, numero monografico *Le ferrovie in Padania*, pp. 130-165.

<sup>8</sup> L. De Rosa, *Iniziativa e capitale straniero nell’industria metalmeccanica del Mezzogiorno 1840-1904*, Napoli, Giannini, 1968, p. 63.

Società delle strade ferrate romane. Nel 1860 il numero complessivo di locomotive uscite dallo stabilimento di Sampierdarena raggiungeva le 22 unità. Per una comparazione quantitativa efficace, benché di base, può essere utile tenere in considerazione il fatto che fra il 1847 e il 1860 vennero immesse sulla nascente rete peninsulare in tutto 404 locomotive. Di queste, 383 furono importate dall'estero, più o meno per metà (177) dalla Gran Bretagna, per il resto (132) soprattutto dalla Francia e dal Belgio (46)<sup>9</sup>. Il ritmo aumentò in seguito alla creazione del nuovo Regno, ma solo per alcuni anni: fra il 1861 e il 1864 le locomotive prodotte raggiunsero quota 68, ma furono le ultime prima dell'interruzione della produzione, che si prolungò dal 1865 al 1879, anni in cui l'attività ferroviaria venne retrocessa a residuale da parte dell'Ansaldo. Nel corso del trentennio che va dal 1852 al 1882 la produzione di materiale ferroviario coprì un terzo dell'intera attività dell'impresa. Nel complesso fra il 1861 e il 1884 vennero fornite alle compagnie ferroviarie private italiane 1.296 locomotive, 231 delle quali provenienti da officine italiane, cifra che rappresentava il 18% del totale. Vale la pena notare l'accelerazione verificatasi fra il 1880 e il 1884 nelle ordinazioni di locomotive, che toccarono quota 368; fu in questo torno di tempo che le importazioni dalla Germania conobbero un picco con 253 unità, che corrispondeva a circa il 90% delle importazioni complessive di locomotive effettuate dall'Italia. Se quantitativamente dunque il dato non appare ancora significativo, è probabilmente vero quello che sostiene Marco Doria, secondo il quale l'industria ferroviaria nazionale va «acquisendo in questi anni una capacità di 'saper fare' che le tornerà utile nel periodo seguente». I costruttori italiani, prosegue lo studioso genovese, diventano sempre più «autosufficienti nelle lavorazioni così come nella progettazione, avviando quel processo di sostituzione delle importazioni che sarà completato nei decenni successivi»<sup>10</sup>.

## Il destino di Pietrarsa

All'officina ferroviaria napoletana il nuovo Stato non destinò particolare attenzione, declassandola a impresa secondaria e condannandola ad un progressivo decadimento. Incaricato di dare un giudizio sullo stato dell'impresa, Sebastiano Grandis<sup>11</sup>, ingegnere ferroviario stimato che aveva lavorato al traforo del Fréjus,

<sup>9</sup> M. Merger, *L'industrie italienne de locomotives*, cit., pp. 337-338.

<sup>10</sup> M. Doria, *Le strategie e l'evoluzione dell'Ansaldo*, in *Storia dell'Ansaldo*, vol. I, *Le origini*, cit., pp. 83 e 97.

<sup>11</sup> Su di lui, cfr. G. Guderzo, *Per i cent'anni del Fréjus. Ferrovie e imprenditorialità nel Piemonte di Sebastiano Grandis*, "Bollettino della società per gli studi storici, archeologici ed artistici nella provincia di Cuneo", 1971, 65, pp. 5-51.

calcava impietosamente la mano sui limiti e negava ogni ragione per lasciarla all'interno della sfera pubblica. Fra le molte questioni sollevate da Grandis per dimostrare l'irrecuperabile arretratezza dello stabilimento, venivano sottolineati gli scarsi rendimenti delle lavorazioni, ritenute costose e quindi da abbandonare<sup>12</sup>. L'impossibilità di fare profitti doveva bastare per convincere anche i più riottosi statalisti alla vendita ai privati; cessione ai privati, che però, anche per la sconsolante descrizione che lo stesso Grandis ne aveva fatto, si dimostravano scettici di fronte alla possibilità di affrontare un simile rischio e quando lo fecero il tentativo fu fallimentare da ogni punto di vista. Nel 1863 subentrava la napoletana Società nazionale di industrie meccaniche con lo scopo di operare nel settore delle produzioni in ferro, materiali per le ferrovie e altre infrastrutture. Nella società era confluita la Macry Henry, che apportò la fonderia dei Granili, quella che un tempo era stata la Zino e Henry. Da quel momento le due officine furono strettamente legate in un'ottica di specializzazione delle funzioni: ai Granili vennero concentrate la fonderia, la caldareria, la verniciatura dei vagoni, la costruzione di macchine, mentre a Pietrarsa si faceva il resto, soprattutto lavorazioni ferroviarie. Negli anni successivi al 1863, uscirono dallo stabilimento ben 150 nuove locomotive mentre altre 72 furono riparate; 1.948 carri e 291 vetture completano il quadro della produzione. Il principale cliente delle officine fu la Società delle strade ferrate Meridionali. Ciò nonostante l'impresa non decollò sotto il profilo della gestione economica, caratterizzata da scarsi profitti, dovuti principalmente all'incapacità di tenere bassi i costi di produzione. Nel 1875 i lavoratori residui erano ormai soltanto un centinaio; due anni dopo la crisi della società era ormai conclamata. Il tentativo di introdurre una moderna gestione industriale a quel punto poteva dirsi fallito. Così nel 1878 lo Stato decideva di assumere direttamente la gestione, affidandone la direzione a Dionisio Passerini, il quale optò per una decisa concentrazione della produzione esclusivamente sul settore ferroviario e in particolare sulle locomotive. La scelta intonata alla specializzazione permise di ottenere un certo miglioramento dei conti. Negli anni successivi lo stabilimento espresse ancora segni di vitalità, costruendo, fra il 1878 e il 1885, 110 locomotive, 845 carri, 280 vetture, per poi dedicarsi all'attività di riparazione.

---

<sup>12</sup> S. Grandis, *Sullo stabilimento metallurgico e meccanico di Pietrarsa presso Napoli: relazione*, Torino, Ceresole e Panizza, 1861.

## La nebulosa delle imprese minori e delle officine di riparazione

A fianco delle poche realtà di livello descritte, funzionava soprattutto nel nord della penisola una nebulosa di piccole e piccolissime imprese meccaniche, che si dedicavano anche alla produzione di materiale ferroviario, e una rete di officine di riparazione, che in certi casi assumevano dimensioni di riguardo in virtù dell'età frequentemente avanzata del materiale, che quindi necessitava di continui interventi. Le officine, inoltre, rappresentavano centri di formazione primari per il personale tecnico ferroviario. La dinamicità di questo mercato era un tratto distintivo di Milano e del suo *hinterland*, dove si assiste ad un denso fiorire di iniziative.

La Grondona fin dal 1814 aveva intrapreso la costruzione di carrozze; adattando la propria produzione, fornì i vagoni per le prime linee ferroviarie lombarde, la Milano-Monza e la Milano-Venezia. Nel 1857 si univa alla Miani e Zambelli. Negli anni compresi fra il 1863 e il 1867 consegnava 150 carrozze e 561 carri; fra il 1880 e il 1890, confermando la propria posizione di predominio su base nazionale, fabbricava 421 vetture e 1.833 carri, che costituivano rispettivamente il 22% e il 12% delle carrozze e dei vagoni di tutte le reti. Nel 1900 la Grondona veniva assorbita dalle Officine Meccaniche (OM), che avevano rilevato l'anno precedente, con il sostegno del Credito Italiano, anche la Miani e Silvestri, fondata a sua volta nel 1886, il cui stabilimento si stendeva su un'area di 100.000 mq dove trovavano lavoro 600 dipendenti. Dal 1886 al 1890 la Miani e Silvestri fabbricò 171 vetture e 2.345 carri, il 25% del totale. L'Elvetica veniva costituita nel 1846<sup>13</sup> da Giuseppe Adolfo Bouffier. Consisteva inizialmente in una piccola fonderia di ghisa con annessa officina meccanica. Al fondatore succedevano negli anni seguenti diversi altri imprenditori, mantenendo all'impresa lo storico nome iniziale, segno, come nota Licini, di una certa fragilità dell'azienda, che passava prima nelle mani di Schlegel nel 1850, Rümmele nel 1860, Bauer nel 1862, Bamat nel 1877 e infine Cerimedo nel 1879. Partita con l'intenzione di produrre locomotive, obiettivo solo parzialmente colto, in realtà si dedicò di più alla riparazione di rotabili ferroviari. Pochi anni dopo, nel 1853, nasceva nello Stato borbonico la Guppy, attiva nel settore delle caldaie tubolari e delle macchine a vapore<sup>14</sup>. Ad un'epoca successiva, il 1887, all'indomani dunque delle Convenzioni, di cui diremo, risale la nascita delle Costruzioni meccaniche di Saronno, per opera della Kessler di Esslingen<sup>15</sup>.

<sup>13</sup> S. Licini, *Dall'Elvetica alla Breda. Alle origini di una grande impresa milanese (1846-1918)*, in "Società e storia", 1994, 63, pp. 34-67.

<sup>14</sup> L. De Rosa, *Iniziativa e capitale straniero*, cit.

<sup>15</sup> P. Hertner, *Capitale tedesco e industria meccanica in Italia: la Esslingen a Saronno 1887-1918*, in "Società e storia", 1982, 17, pp. 583-621.

L'impresa tedesca, la Maschinenfabrik Esslingen, attiva nella produzione di locomotive dal 1846, ne avviava l'esportazione in Italia a partire dall'inizio degli anni Sessanta. Il momento di maggior coinvolgimento con il mercato italiano l'impresa tedesca l'aveva vissuto fra il 1883 e il 1887, toccando la cifra di 120 locomotive esportate, pari al 48% della propria produzione. La Esslingen si distinse nella produzione di locomotive principalmente in due fasi: una alla fine del secolo e l'altra, ancora più intensa, fra il 1906 e il 1913, quando beneficiò delle commesse provenienti dalla nuova azienda ferroviaria italiana<sup>16</sup>. Alla vigilia della guerra la Saronno approntava anche la produzione di materiale ferroviario elettrico in accordo con la svizzera Oerlikon.

Il nord della penisola fu l'area più interessata anche dalla diffusione di una serie di officine di riparazione molto attive e in certi casi capaci di garantire elevati livelli di occupazione<sup>17</sup>. In qualche caso dalle officine di riparazione stesse, alcune delle quali risalivano all'epoca preunitaria, come quelle torinesi di Porta Nuova del 1848 e di Porta Susa del 1855, uscivano rotabili e materiale ferroviario costruiti *ex novo*. Oltre alle due citate produttrici di carrozze e vagoni, il Piemonte ospitò un'altra importante officina a Savigliano, dove lavoravano 450 operai, impegnati nella produzione di carrozze e vagoni. Dalle officine di Verona nel 1854 uscivano 2 locomotive; anche quelle di Milano già prima dell'Unità costituivano una realtà ferroviaria rilevante.

## La progettazione ferroviaria in Italia

Nel campo della progettazione ferroviaria i tecnici italiani impegnati presso le varie società ferroviarie acquisirono competenze assai qualificate in tempi relativamente brevi. L'insegnamento in campo ferroviario conobbe, in particolar modo a partire dalla metà degli anni Ottanta, un fiorire di corsi di formazione e di una sempre più elevata qualificazione dei tecnici addetti alla progettazione; non è azzardato affermare che verso la fine del XIX secolo gli ingegneri italiani avevano raggiunto il livello dei loro colleghi stranieri<sup>18</sup>. L'esordio della progettazione italiana è individuabile nel 1872, quando la Società delle Ferrovie dell'Alta Italia istituì un ufficio d'Arte a Torino; la società delle Strade Ferrate Meridionali fece altrettanto a

<sup>16</sup> G. Cornolò, *Locomotive a vapore FS*, Parma, Albertelli, 1989.

<sup>17</sup> M. Merger, *Le officine di costruzione e riparazione del materiale ferroviario*, cit.

<sup>18</sup> M. Merger, *L'ingegnere ferroviario nell'Ottocento*, in *Gli ingegneri in Italia tra '800 e '900*, a cura di A. Giuntini e M. Minesso, Milano, Franco Angeli, 1999, pp. 81-99.

Firenze nel 1883 con un ufficio Studi locomotive<sup>19</sup>. La filosofia dei primi progettisti italiani fu chiara fin dall'inizio: puntare sulla specializzazione dei tipi in relazione alla loro utilizzazione. Ciò significava accontentarsi di una velocità modesta per i treni merci, chiamati però a considerevoli sforzi di trazione e quindi dotati di ruote piccole ed elevato peso aderente ottenuto grazie a 3-4 assi accoppiati; mentre i treni viaggiatori vennero concepiti con 2 assi e una maggiore capacità di raggiungere alte velocità. Si tese anche a limitare il peso per asse e metro lineare della macchina in modo da poter superare agevolmente le numerosissime travate metalliche che costellano le linee della penisola, obbligando però ad un'elevata vaporizzazione oraria della caldaia e quindi ad un uso costante di carbone di ottima qualità. In seguito la richiesta di potenze crescenti spinse i progettisti ad elevare la pressione delle caldaie, che i progressi della metallurgia permettevano intanto di costruire in acciaio. La possibilità di utilizzare nel ciclo termodinamico un maggior salto termico venne sfruttata in funzione di un miglior rendimento e di una contrazione dei consumi di carbone<sup>20</sup>. Nel corso degli anni si sviluppò un duplice filone progettuale: l'ufficio torinese si fece portatore di una filosofia improntata al principio della massima efficienza ed economicità di esercizio della macchina a vapore attraverso l'ottimizzazione del ciclo di produzione e di utilizzo del vapore, mentre quello fiorentino si poneva l'obiettivo della massima semplificazione della locomotiva per renderne più economica possibile la gestione e la manutenzione. Due approcci diversi che si associavano poi alle esigenze diverse delle linee gestite dalle rispettive compagnie, da cui discendeva una configurazione molto diversa: macchine veloci a ruote alte e due assi per le linee pianeggianti dell'Adriatica su disegno dell'ufficio fiorentino, veicoli poderosi meno veloci con rodiggio a tre assi per i percorsi misti della Mediterranea. A Torino prevalsero gli studi termodinamici convergenti verso l'elevata pressione delle caldaie e l'impiego della doppia espansione; a Firenze si puntava invece sulla riduzione delle spese di manutenzione attraverso una razionale distribuzione del vapore e una maggior semplificazione degli organi. Nel 1894 venne progettata la prima locomotiva italiana a doppia espansione (Compound), inizialmente per treni merci poi adottata anche dai treni passeggeri.

---

<sup>19</sup> *1883-1983 il Servizio Materiale e Trazione delle Ferrovie dello Stato. Cento anni di progettazione a Firenze*, Ferrovie dello Stato, Roma, 1983; e A. Giuntini, *Un patrimonio inestimabile per lo studio della progettazione ferroviaria in Italia. L'archivio dell'ex Servizio Materiale e Trazione delle Ferrovie dello Stato a Firenze*, in "Ricerche storiche", 1995, 2, pp. 401-412.

<sup>20</sup> M. Diegoli, *Storia del mostro. Le nostre locomotive a vapore*, Roma, Centro relazioni aziendali FS, 1971, pp. 45-46.

## La svolta delle Convenzioni

La legge del 27 aprile 1885 n. 3.048, detta delle Convenzioni, suddivideva la rete ferroviaria fra tre amministrazioni concessionarie di esercizio ed in parte anche di costruzione. Si trattava della rete Mediterranea, costituita sulla base della precedente società delle Strade Ferrate dell'Alta Italia e ordinata su una direzione Generale con sede a Milano, che accentrava tutte le funzioni amministrative e contabili, e un servizio Materiale diretto da Stanislao Fadda con sede a Torino oltre a due direzioni di esercizio stabilite a Torino e Napoli. La seconda era la rete Adriatica esercitata dalla Società Italiana per le Strade Ferrate Meridionali, che già operava fin dal 1862 ed era ordinata sulla base di una direzione generale con sede a Firenze e tre direzioni di esercizio suddivise per ramo a Bologna, Movimento e Traffico, Ancona, Manutenzione e Lavori, e Firenze, Materiale e Trazione diretta da Enrico Plancher. La più piccola era la rete Sicula, le cui direzioni generale e di esercizio erano a Palermo.

In seguito alle Convenzioni, che costituiscono uno spartiacque di fondamentale importanza per la storia delle ferrovie in questo paese<sup>21</sup>, l'industria italiana dei rotabili ferroviari compie passi in avanti fondamentali in ordine alla sua emancipazione dalle importazioni dall'estero, pur restando ancora indietro rispetto ai grandi paesi del continente. Il provvedimento ingenerò più di una speranza nei produttori nazionali di materiale rotabile. L'attesa apertura di nuove linee e l'esigenza di rinnovare il parco locomotive, invecchiato e sempre meno funzionale alle esigenze crescenti del traffico, sembravano offrire appetitose *chances* alle aziende operanti nel settore. Inoltre lo Stato accordò alle compagnie un fondo speciale di 15 milioni, poi ulteriormente allargato, ed altre facilitazioni finanziarie per l'acquisto di materiale rotabile<sup>22</sup>. Per quanto sia possibile affermare che, alla lunga, non tutte quelle speranze si tradussero in una consistente occasione di crescita, in definitiva però il provvedimento permise al paese di porre basi solide nel campo della produzione di locomotive sfruttate successivamente, raggiungendo nel giro di qualche anno livelli qualitativi analoghi rispetto ai paesi maggiormente qualificati in questo settore. La chiave di volta stava evidentemente nella protezione accordata alle industrie italiane; in particolare il testo normativo prevedeva che nelle gare d'appalto le imprese dislocate sul territorio nazionale sarebbero state favorite ove le loro offerte non avessero superato quelle delle industrie straniere del 5%. Nonostante l'aiuto i costruttori nazionali non riuscirono a sopperire totalmente ai

---

<sup>21</sup> M. Merger, *Les conventions de 1885 en Italie: un exemple à ne pas suivre?*, in *Les chemins de fer en temps de concurrence. Choix du XIXe siècle et débats actuels*, numero monografico della rivista «Revue d'histoire des chemins de fer», 1997, 16-17, pp. 190-213.

<sup>22</sup> M. Merger, *Un modello di sostituzione*, cit., pp. 82-83.

bisogni complessivi nei periodi di espansione della domanda. Delle 1.264 locomotive acquistate dalle due principali compagnie ferroviarie italiane fra il 1885 e il 1905, 470 uscirono da stabilimenti situati oltre confine. Nello stesso arco di tempo le industrie nazionali coprirono fra il 73 e l'87% del settore bagagliai e carrozze. La legge non riuscì a risolvere il problema dell'oscillazione della domanda: nel 1885-86 le compagnie ferroviarie italiane ordinavano 34 locomotive, l'anno successivo 53, poi le commesse salivano nel 1887-88 a 215 e a 246 l'anno dopo, per ripiombare poi a 13 nel 1889-90. L'estrema variabilità è confermata anche da un altro dato: la media annuale delle consegne di locomotive dal 1899 al 1905 fu di cinque volte superiore a quella degli anni 1891-98.

### La nascita della Breda

L'anno successivo all'emanazione della legge sulle Convenzioni Ernesto Breda rilevava la Cerimedo con il proposito di trasformarla in un'impresa produttrice di locomotive. Si trattava, dunque, del primo progetto di specializzazione in questo settore in Italia<sup>23</sup>. Pur soffrendo dell'irregolarità della domanda, la nuova impresa si collocava subito stabilmente nel mercato con risultati soddisfacenti e nel 1895 la Breda era già il primo stabilimento meccanico milanese:

1887	21
1888	24
1889	49
1890	27
1891	13
1892	43
1893	48
1894	21
1898	26

Fonte: *La Breda. Dalla Società Italiana Ernesto Breda alla Finanziaria Ernesto Breda 1886-1986*, Milano, Amilcare Pizzi, 1986.

<sup>23</sup> *La Società Italiana Ernesto Breda per costruzioni meccaniche dalle sue origini ad oggi, 1886-1936*, Verona, Mondadori, 1936; e *La Breda*, cit.

Il merito di Breda fu di comprendere i motivi della debolezza della produzione ferroviaria italiana, introducendo alcuni cambiamenti decisivi attinenti sia al sistema di fabbrica sia alle innovazioni tecniche. La chiave di volta del successo fu l'introduzione di un'organizzazione del lavoro e una specializzazione delle funzioni in linea massimamente aggiornate a livello europeo. La Breda fu la prima vera fabbrica di locomotive italiana. Oltre al ridisegno delle varie fasi di lavorazione, venne impiantato un ufficio di controllo il cui compito consisteva nel vagliare attentamente la complicata produzione delle locomotive. Rappresentò una palestra di formazione essenziale per la crescita dei tecnici ferroviari italiani, che una volta forti dell'esperienza in Breda contribuirono alla diffusione e all'implementazione dell'industria meccanica italiana<sup>24</sup>. Nel 1899 il viaggio d'istruzione negli Stati Uniti degli ingegneri Eugenio Gavazzi e Guido Sagramoso e del capotecnico Remo Canetta rappresentava un momento fondamentale per il confronto con uno dei paesi più avanzati sotto il profilo della produzione di locomotive<sup>25</sup>.

La trasformazione nel 1900 in Società Italiana Ernesto Breda, con il supporto della Banca Commerciale, e la costruzione tre anni dopo degli stabilimenti di Sesto e di Niguarda, destinati alla produzione di materiale ferroviario, sancivano il decollo dell'impresa ormai all'avanguardia indirizzata verso una decisa specializzazione ferroviaria, il cui ventaglio comprendeva «ponti e tettoie; macchine a vapore fisse e locomobili; impianti idrovori e turbine; carri ferroviari e trebbiatrici; materiale fisso per strade ferrate e caldaie»<sup>26</sup>.

L'occasione della nazionalizzazione ferroviaria venne pienamente sfruttata dall'impresa milanese, che dall'azienda statale ricevette il maggior numero di commesse di locomotive. Le 37 unità prodotte nel 1905 diventavano 51 nel 1906 e 89 nel 1907; nel 1908 usciva dagli stabilimenti di Sesto la millesima locomotiva, una Compound a 4 cilindri. Il bilancio al termine della Grande Guerra, quando Ernesto Breda moriva, era più che positivo: «Quando si tirarono le somme del primo quindicennio di nazionalizzazione dell'esercizio ferroviario, risultò che la Breda aveva vinto sotto ogni riguardo la scommessa ingaggiata con i complessi stranieri e aveva largamente distaccato, nello stesso tempo, qualsiasi altra impresa italiana»<sup>27</sup>. Fra il 1921 e il 1922 debuttava l'E551, il primo locomotore elettrico interamente progettato dall'ufficio studi delle Ferrovie dello Stato; tra le imprese che

---

<sup>24</sup> G. Bigatti, *Dalla meccanica generale alla specializzazione: Breda 1886-1908*, in *La locomotiva Breda 830 del 1906. Lavoro, tecnica e comunicazione*, a cura di A. Bassi e R. Riccini, Milano, Fondazione ISEC, 2006, pp. 12-25.

<sup>25</sup> *Le locomotive in America e Europa. Osservazioni e confronti*, Milano, Abbiati, 1900.

<sup>26</sup> Società Italiana Ernesto Breda, *Per la millesima locomotiva*, Milano, Capriolo e Massimino, 1908, p. 8.

<sup>27</sup> V. Castronovo, *La Breda nella storia dell'industria italiana*, in *La Breda*, cit., p. 14.

contribuirono a diffonderlo nella rete, alla Breda toccò la commessa di maggior peso, 52 unità su un totale di 183.

## La nazionalizzazione

La seconda svolta per la produzione meccanica ferroviaria, dopo quella delle Convenzioni, fu la nazionalizzazione delle ferrovie del 1905. In quali condizioni versasse il materiale ferroviario circolante sulla rete italiana è cosa nota come altrettanto conosciuto risulta l'efficace e severissimo giudizio – anarchia e sfacelo – che ne venne dato al tempo<sup>28</sup>. Buona parte del materiale rotabile al momento della nazionalizzazione aveva già trent'anni, come 768 locomotive sulle 2.664 passate alle Ferrovie dello Stato nel 1905, mentre 652 dei 1.752 bagagliai ne avevano addirittura quaranta, così come 9.735 dei 52.788 carri<sup>29</sup>. Inoltre l'eterogeneità del materiale era straordinaria: le oltre due migliaia di locomotive erano ripartite in circa 200 categorie fra gruppi e sottogruppi. Decaduto drammaticamente negli anni delle concessioni ai privati, il parco rotabili necessitava di un cospicuo rinnovo.

Le nuove Ferrovie dello Stato furono in pratica obbligate a dare inizio ad una serie di investimenti, andando incontro alle aspettative delle imprese di costruzioni ferroviarie. Lo svecchiamento del parco rotabile, per il quale vennero privilegiati i produttori nazionali secondo il dettato dell'apposita legge emanata nel 1908, costò complessivamente, fra il 1905 e il 1915, circa 1.500 milioni di lire; altrettanto elevato sarà il costo nel periodo compreso fra il 1922 e il 1932<sup>30</sup>. Nell'esercizio 1905-1906 venne ordinata la costruzione di 1.244 carrozze a carrelli, 20.263 carri merci e 567 locomotive, 307 delle quali all'industria nazionale, cifra considerata la massima potenzialità allora delle imprese italiane, che riuscirono ad arrivare a coprire fino al 77% del fabbisogno. Fra il 1905 e il 1914 le Ferrovie dello Stato acquistarono 2.748 locomotive; complessivamente fra il 1905 e il 1922, in Italia e all'estero, vennero costruite per le Ferrovie dello Stato 2.656 locomotive. Le commesse governative interessarono una quindicina di aziende, fra le quali spiccavano Ansaldo e Breda.

---

<sup>28</sup> Il riferimento corre ai due celebri articoli di M. Ferraris, *L'anarchia ferroviaria in Italia*, in "Nuova Antologia", 1905, fasc. 794, pp. 298-318; e id. *Lo sfacelo ferroviario in Italia*, in "Nuova Antologia", 1906, fasc. 818, pp. 360-399. Sulla nazionalizzazione, cfr. 1905. *La nascita delle Ferrovie dello Stato*, a cura di V. Castronovo, Milano, Leonardo International, 2005.

<sup>29</sup> G. Coletti, *Storia di una riforma. L'ente "Ferrovie dello Stato"*, Roma, CAFI, 1985, p. 69.

<sup>30</sup> *Le Ferrovie dello Stato nel primo decennio fascista*, Novara, Istituto Geografico De Agostini, 1933, pp. 16-17.

<i>Locomotive consegnate alle Ferrovie dello Stato fra il 1905 e il 1914 dai due principali produttori italiani</i>		
	Breda	Ansaldo
1905	11	28
1906	67	88
1907	85	76
1908	156	94
1909	98	63
1910	63	64
1911	73	57
1912	71	62
1913	46	45
1914	61	29
totale	731	606

Fonte: M. Merger, *L'industrie italiana de locomotives, reflet d'une industrialisation tardive et difficile*, in "Histoire, économie et société", 1989, 3, p. 370.

## La costruzione di carrozze

Se le locomotive rappresentarono indubbiamente il prodotto di punta della meccanica ferroviaria, merita attenzione anche la fabbricazione di carri e carrozze, sviluppata spesso nelle stesse imprese che producevano locomotive, il cui contributo fu tecnologicamente meno cospicuo, ma non meno rilevante sotto il profilo del funzionamento del servizio. Di pari passo con i miglioramenti introdotti nella realizzazione delle locomotive, anche a carrozze e carri veniva destinata la massima cura in termini di ricerca di maggiori funzionalità e *comfort*. Giocò un ruolo essenziale, a questo proposito, anche il turismo ferroviario, il quale influì positivamente sulla qualità complessiva del servizio ferroviario. L'utilizzo di materiale rotabile *ad hoc* rese sempre più confortevole il viaggio, così come l'introduzione nelle carrozze di illuminazione, riscaldamento e dei sedili imbottiti, il miglioramento delle condizioni dei servizi igienici a bordo e dei *buffet*, l'adozione da parte delle compagnie italiane di uno *standard* proprio di vagone letto e infine la maggior cura destinata al disegno delle carrozze e agli arredi interni.

La carrozza più longeva e di maggior successo progettata dopo la nazionalizzazione fu il "tipo 1906 nord" a porte multiple e corridoio laterale in prima e seconda e centrale in terza. Ne vennero costruite 2.281 unità in pochi anni;

seguirono poi altri 2.449 pezzi con alcune modifiche, il “tipo 1910”. Lo sforzo effettuato dai progettisti garantì un notevole miglioramento del *comfort* per i viaggiatori ed introdusse la nascita di schemi standardizzati relativamente alle dimensioni dei compartimenti e dei sedili, all’arredamento e a tutta la componentistica delle carrozze che hanno guidato la progettazione per decenni. Il tipo di carrozza costruito nel 1906, che già allora aveva costituito un salto notevole dal punto di vista progettuale, resse con grande soddisfazione degli amministratori ferroviari italiani fino al 1921, quando ne venne progettato uno nuovo anch’esso reputato rivoluzionario, che restò in produzione fino alla guerra. L’evoluzione era rappresentata dalla cassa interamente metallica – in precedenza era di legno –; la carrozza inoltre era dotata di quattro porte alle estremità, di un corridoio laterale, di riscaldamento a vapore e d’illuminazione elettrica. Nel complesso il nuovo tipo di carrozza assunse una configurazione molto simile a quella della maggior parte delle carrozze odierne. Ne furono costruiti massicci quantitativi di tutte le classi più alcuni saloni e il treno reale; nel 1931 venne progettato un nuovo tipo che si limitava ad introdurre alcune modifiche solo di dettaglio, nella stessa epoca per i treni accelerati e le linee secondarie si riutilizzarono dei telai dei tipi 1906 e 1910 e dei relativi carrelli opportunamente rinforzati. Per ottenere nuovi effettivi salti di qualità bisognerà attendere la fine degli anni Trenta con la trasformazione delle carrozze di seconda classe a 6 posti e con l’applicazione nella terza di gommapiuma e vinilpelle. Nel 1939 inoltre ebbe inizio un’articolata sperimentazione di diverse soluzioni costruttive per le carrozze caratterizzate dalla ricerca della massima leggerezza secondo i criteri autarchici dettati da Giuseppe Belluzzo.

## **Fiat Ferroviaria**

Una rilevante novità nel quadro delle imprese produttrici di materiale ferroviario si affacciava con la nascita nel 1917 – dunque cinque anni prima dell’inaugurazione della fabbrica del Lingotto – di Fiat Ferroviaria<sup>31</sup>. Già produttrice di motori a benzina e diesel, alla Fiat si apriva la prospettiva di una loro applicazione nel trasporto ferroviario. Rilevando al momento della propria nascita la Diatto, impresa torinese operante nel settore delle carrozze ferroviarie e tranviarie, Agnelli contava di intervenire in un segmento del mercato ferroviario allora particolarmente coltivato, quello delle automotrici leggere, su cui la sperimentazione stava procedendo con successo dall’inizio del secolo. Complessivamente negli anni dal 1906 al 1932 le Ferrovie dello Stato sperimentarono 100 automotrici a vapore e 10

---

<sup>31</sup> R.P. Felicioli, *1917-1997. Ottant’anni di storia di Fiat Ferroviaria*, Savigliano, Fiat Ferroviaria, 1997.

termiche di vario tipo, diesel-meccaniche e diesel-elettriche, con risultati però poco incoraggianti. L'amministrazione ferroviaria intendeva dotarsi di un mezzo leggero ed economico per il servizio passeggeri su linee secondarie, riducendo i costi di una locomotiva a vapore. In pratica in questo periodo si tendeva a trasferire su rotaia le esperienze effettuate nel settore degli autobus, sperimentando sia motori a combustione interna ciclo Otto alimentati a benzina sia diesel. Era stata proprio la Fiat, insieme con la Diatto, a presentare nel 1906 all'Esposizione Internazionale di Milano un veicolo ferroviario mosso da un motore a benzina, in pratica la prima automotrice leggera, intesa in definitiva quasi come un autobus che viaggiasse sui binari.

Negli anni successivi proseguì il rafforzamento della Divisione Ferroviaria, con l'acquisizione nel 1923 delle Officine Meccaniche di Brescia, attive nella produzione di motori diesel, nel 1926 della torinese Spa, che produceva camion e autobus, nel 1933 delle Officine Meccaniche di Milano, specializzate nella produzione di materiale ferroviario. In tal modo copriva ogni settore necessario alla produzione ferroviaria. Caratterizzò Fiat Ferroviaria in questi anni anche una sempre più consolidata sperimentazione di carrelli<sup>32</sup>. Fra il 1938 e il 1940 l'impresa torinese sviluppava due progetti di automotrici: la L101 e la L102 con carrelli più leggeri tecnologicamente innovativi e motori sotto i posti di manovra, soluzione che apriva la strada alla realizzazione dell'autotreno con vagoni intercomunicanti.

## La Littorina

Fiat dunque si distinse nella ricerca dell'automotrice leggera più appropriata. Dopo aver generato diversi prototipi, entrati in funzione fra il 1924 e il 1929, nel 1931 realizzava l'ALb25, la cui fisionomia, figlia della progettazione automobilistica, evocava davvero la figura dell'autobus su rotaia<sup>33</sup>. La nuova automotrice a benzina estremamente leggera era in grado di ospitare 25 passeggeri e raggiungeva una velocità massima di 55 km/h. Due anni e 145 esemplari realizzati dopo, il motore diesel sostituiva quello a benzina in quanto più sicuro.

Ma la novità più eclatante fu la Littorina, al debutto nel 1932, automotrice leggera progettata e costruita da Fiat, talmente famosa da esprimere per intero la vicenda del trasporto ferroviario in epoca fascista, offrendo ancora oggi una delle immagini più classiche dell'Italia autarchica<sup>34</sup>. Le nuove automotrici, che ebbero il

<sup>32</sup> O. Santanera, *I treni FLAT. Ottant'anni di contributo FLAT alla tecnica ferroviaria*, Milano, Automobilia, 1997.

<sup>33</sup> M. Mingari, *Dalla littorina al pendolino. Un autobus su rotaia*, Torino, Paravia, 1996.

<sup>34</sup> M. Cruciani, *Il tempo delle littorine. Storia delle automotrici Breda 1932-1954*, Salò, ETR, 1987.

merito di aumentare l'accessibilità al viaggio ferroviario di vasti strati della popolazione, disponevano di 48 posti a sedere imbottiti in un unico grande ambiente e raggiungevano i 115 km/h. Le littorine, che incorporavano un'idea forte di modernità, rivoluzionarono il servizio sulle linee secondarie, consentendo di eliminarvi le locomotive a vapore e le carrozze più vecchie ed infine salvarono dalla chiusura numerosi tratti minori. Per la trazione venne scelto il motore a combustione interna a ciclo Otto alimentato a benzina, molto leggero e di poco ingombro e in grado di garantire buoni livelli di velocità. Gli elementi in acciaio e il rivestimento in lega leggera la associavano all'industria aeronautica. Nel corso degli anni Trenta si susseguirono numerose evoluzioni, dall'ALb48 alle Alb64 e 80, tutte sempre caratterizzate da grande agilità di utilizzo e popolarità. Al 1937 risale l'Aln 56, costruita in 100 esemplari. A otto anni dalla loro apparizione, erano già state consegnate 850 littorine. Lentamente il loro uso venne esteso anche alle linee principali. Oltre alla FIAT le littorine vennero costruite, a partire dal 1935, anche dalla Breda, la prima ad introdurre la cassa in lamiera interamente saldata, e poi dalle Officine Meccaniche. L'avvento delle littorine segnò l'avvio di un rapporto nuovo fra le ditte costruttrici e il servizio Trazione delle Ferrovie dello Stato: le prime provvidero anche alla progettazione delle casse e dell'apparato propulsore, mentre al secondo restava l'indicazione delle caratteristiche generali, le prove ed i collaudi, l'organizzazione dell'esercizio e l'istruzione del personale di macchina e di officina. Tale modo di procedere era reso necessario all'epoca dalla novità costituita dai motori endotermici e dalle relative trasmissioni, la cui diffusione nel campo stradale era appena iniziata e per i quali l'esperienza ferroviaria era insufficiente.

### **Gli elettrotreni veloci**

Fra il 1920 e il 1940 la trazione a vapore dominava ancora il panorama ferroviario italiano, ma le energie dei progettisti ormai erano orientate verso la trazione elettrica trifase<sup>35</sup>. Il parco delle locomotive a vapore raggiunse la consistenza massima di 6.662 unità nel 1924. Ma la novità risiedeva altrove e da quel momento l'impegno fu spinto tutto in direzione della trazione elettrica. L'esperienza legata alla costruzione di elettrotreni veloci nel corso degli anni Trenta rappresenta uno dei momenti di maggior fulgore congiuntamente delle imprese meccaniche italiane di produzione ferroviaria e della progettazione all'interno dell'azienda ferroviaria pubblica.

---

<sup>35</sup> M. Loria, *Storia della trazione elettrica ferroviaria in Italia*, Firenze, Giunti, 1971; e R. Giannetti, *L'électrification des chemins de fer italiens (1899-1940)*, in «Histoire, économie et société», 1992, 1, pp. 131-144.

L'Etr 200, di cui vennero costruiti i primi sei esemplari a corrente continua nel 1936, fu il portabandiera della velocità ferroviaria negli anni Trenta. Rappresentò la punta di diamante del lavoro dei tecnici italiani del tempo, permettendo in pratica all'Italia l'ingresso nel mondo della Velocità. Si trattava infatti di un prodotto tecnologico molto avanzato, progettato dall'Ufficio studi del servizio Materiale e Trazione delle Ferrovie dello Stato e realizzato dalla Breda. Vi compariva il primo profilo aerodinamico apparso nelle ferrovie italiane con frontali penetranti e finestrini fissi sulle fiancate quanto più possibile complanari con la parete esterna per evitare turbolenze d'aria. L'applicazione sul carrello motore degli ammortizzatori e la grande flessibilità della sospensione secondaria, insieme con il passo lungo e la trasmissione ad assi cavi, furono uno dei motivi del successo conseguito. Si trattava di un'elettromotrice elettrica, cioè un'automotrice capace di trasportare carico abbondante e di viaggiare in composizioni multiple, risale ai primordi della trazione elettrica. Raggiungevano i 160 km/h e vennero usati all'inizio specialmente lungo le Direttissime appena aperte, dove in prova toccarono i 203 km/h. Il primo elettrotreno italiano era composto di tre vetture: due vennero riservate ai viaggiatori, mentre nella terza erano concentrati tutti i servizi ausiliari, dal bagagliaio al postale alla cucina e agli armadi. I posti a sedere erano 54 nella carrozza di testa e 46 nella seconda.

## Il Settebello

All'inizio degli anni Cinquanta le Ferrovie dello Stato e il servizio Trazione commissionarono alla Breda due elettrotreni di prestigio a 7 carrozze, quattro delle quali destinate ad ospitare i passeggeri e le altre tre adibite a servizi, di qui il nome Settebello, destinati a prestare servizio sulla principale linea longitudinale italiana, la Milano-Napoli. Si trattava di un impegno assai gravoso dal punto di vista progettuale in quanto la struttura, l'arredamento, le articolazioni, l'inedita linea delle testate, l'equipaggiamento elettrico e specialmente i servizi ausiliari richiesero soluzioni di problemi nuovi. Il Settebello entrò in servizio nel 1952; al nuovo treno di lusso furono assegnati compiti simbolici fondamentali in un'Italia, che si riprendeva dalla guerra e che andava verso quel miracolo economico che l'avrebbe mutata profondamente. La progettazione del Settebello venne suddivisa fra la ditta costruttrice, la Breda, che si occupò della struttura, dell'arredamento e dell'inedita linea delle testate, mentre il servizio Trazione curò i carrelli ed i motori oltre a tutto l'equipaggiamento elettrico. Dal punto di vista della tecnologia ferroviaria il nuovo elettrotreno di lusso rappresentava un passo in avanti considerevole, riunendo in sé modernissime installazioni tecniche e marcate caratteristiche di eleganza e di

comfort. Il disegno presentava caratteri di grande originalità, soprattutto nelle due testate profilate con una sagoma aerodinamica tondeggiante e la cabina di guida sopraelevata. Altrettanto insolita era l'introduzione dei due belvedere, dove fu ricavato un salottino di undici posti, uno in testa e l'altro in coda, intuizione mutuata dai treni americani. La concezione della divisione degli spazi all'interno del treno era fortemente innovativa. I progettisti infatti riuscirono a creare negli ambienti del convoglio diverse atmosfere sia plastiche sia cromatiche con il supporto anche di molte decorazioni<sup>36</sup>. La filosofia seguita nella progettazione non rispondeva a logiche di velocizzazione; piuttosto era maggiormente ispirata da un bisogno di comodità e di prestigio, resta il fatto che il Settebello, che conseguì un successo notevole, ebbe anche il merito di contribuire ad abbassare sensibilmente i tempi di percorrenza sulla principale direttrice ferroviaria. Al Settebello nel 1960 venne affiancato l'Etr 250, chiamato Arlecchino per la diversità dei colori impiegati nelle quattro vetture per la tappezzeria. Di disegno simile al predecessore e utilizzato sul percorso Roma-Napoli, uscì anch'esso dagli stabilimenti della Breda. Entrambi raggiungevano una velocità di 160 km/h.

### **Il sistema delle commesse ferroviarie: la protezione e le quote storiche**

Il sistema per l'affidamento delle commesse adottato fin dai primi anni di vita da parte delle Ferrovie dello Stato conseguiva direttamente dal carattere di monopsonio detenuta dal mercato ferroviario. Un unico committente proteggeva i vari produttori attraverso le quote storiche, che venivano loro assegnate sulla base di una previa omologazione, garantendo in tal modo il mantenimento dei livelli occupazionali<sup>37</sup>. Sotto il profilo delle procedure le norme in vigore erano quelle che disciplinavano la formazione ed esecuzione dei contratti della pubblica amministrazione in generale. Gli strumenti normativi di riferimento per l'azienda erano la legge n. 2440 del 1923 e il regolamento n. 827 del 1924. La legge citata disponeva che ogni contratto che prevedesse un'uscita per lo Stato doveva essere fatto precedere da un incanto pubblico a meno che l'amministrazione non optasse per la licitazione privata prevista dal regolamento. In realtà era questa seconda opportunità che finiva per prevalere regolarmente. La licitazione privata, rispetto all'incanto, veniva attuata tra le aziende in possesso di determinati requisiti, dando anche affidamento per realizzare le opere oggetto dell'appalto. Consisteva in una gara tra più imprese, tutte presentanti le proprie offerte, ma in base ad un progetto

<sup>36</sup> A. D'Angelo, *I treni del futuro. Saranno veloci*, in *Ferrovie italiane. Immagine del treno in 150 anni di storia*, a cura di P. Berengo Gardin, Roma, Editori Riuniti, 1988, pp. 390-392.

<sup>37</sup> CESIT, *Domanda pubblica e politica industriale: FS, SIP, ENEL*, Venezia, Marsilio, 1989.

preparato dalle Ferrovie dello Stato. Alla licitazione privata erano invitate solo le aziende cui veniva riconosciuta la qualifica di fornitore da parte delle Ferrovie dello Stato. Tale qualifica era il risultato di un processo di omologazione che rappresentava l'unica barriera all'entrata in questo settore, praticamente privo di barriere di natura tecnologica, vista la struttura integrata delle Ferrovie dello Stato; o di natura finanziaria, dato che l'ente ferroviario forniva alle imprese in conto lavorazione i materiali necessari. Una volta ottenuta l'omologazione, l'azienda si garantiva nei fatti il lavoro in termini di commesse, che doveva dividere con gli altri produttori omologati, rispettando il criterio delle quote storiche. In realtà poi il meccanismo non ha funzionato, tanto che negli anni i nuovi ingressi si sono ripetuti, frammentando ulteriormente in piccoli produttori tutti i fornitori delle Ferrovie dello Stato e rendendo il settore incapace di perseguire economie di scala e di scopo. Con le leggi del 1978 e del 1981 si tentò la strada della razionalizzazione dell'offerta, imponendo la formazione di consorzi di imprese, in modo tale da consentire la ripartizione delle commesse in lotti più ampi e cercare di raggiungere dimensioni aziendali di scala più significative. La legge però è stata facilmente aggirata: è vero che le commesse venivano ottenute da consorzi formati appositamente, i quali però procedevano al frazionamento in lotti fra imprese differenti. Guardando all'esperienza in una prospettiva storica, è facile notare come in effetti gli ordini risultassero sempre garantiti, anche se la loro distribuzione ha sempre manifestato i caratteri di limitatezza e discontinuità. Sulla prima incidavano i vincoli di spesa e la seconda rendeva altalenante l'andamento della domanda. Le non molte imprese nazionali attive nel settore – ma sempre in numero superiore al panorama estero, dove le aziende presentano un più alto grado di concentrazione e di specializzazione – si spartivano, secondo quote consolidate, gli ordinativi pubblici, senza aumentare in nessun modo la propria competitività. Aggravamento della debolezza strutturale dell'intero settore produttivo e sparizione di ogni stimolo all'adeguamento produttivo e tecnologico non potevano che penalizzare il sistema delle imprese di questo settore. Ciò ha inevitabilmente influito sulla struttura stessa dell'offerta, permettendo anche a molte imprese inefficienti di sopravvivere senza richiedere a quelle più attrezzate di migliorare i propri livelli di competitività. Un meccanismo del genere prevedeva anche che la funzione di progettazione restasse saldamente nelle mani dell'ente committente, mentre alle imprese veniva richiesto di seguire una serie di rigide specifiche tecniche e di *standard*. Anche il controllo di qualità restava egualmente prerogativa del gestore del servizio ferroviario.

Il lento processo di privatizzazione delle Ferrovie dello Stato, che ha preso avvio nel 1985, ha mutato profondamente le regole del gioco nel campo dell'affidamento delle commesse alle imprese operanti nel settore ferroviario. In particolare sono state apportate modifiche sostanziali alle procedure contrattuali. Infatti la nuova

struttura societaria impone l'inquadramento della scelta del contraente all'interno di norme di diritto privato, facilitando in tal modo un deciso snellimento delle pratiche a fronte della precedente eccessiva burocratizzazione del sistema. Il regolamento del 1987 stabilisce i criteri, cui si deve attenere il committente per la selezione delle imprese alle quali vengano affidati appalti e forniture. In pratica tali criteri sono tre: la gara a procedura aperta, impiegata solo per gli oggetti smarriti e le merci non ritirate; la trattativa privata; e la gara a procedura, ristretta nella quale rientrano le forme di gara precedentemente utilizzate come la licitazione privata e quella concorrenziale. La trattativa privata viene indicata in presenza di particolare urgenza; oppure nel caso in cui l'oggetto della commessa provenga da un'unica impresa o raggruppamento di imprese; o ancora per l'affidamento di lavori inerenti l'estensione di opere già avviate. Ma la vera novità contenuta nel regolamento era rappresentata dalla licitazione concorrenziale, che prevedeva una valutazione sia economica sia tecnica delle offerte, garanzia di maggiore trasparenza ed apertura ad una pluralità di imprese. I cambiamenti intervenuti nelle procedure, in buona parte indotti dalla generalizzata politica antiprotezionistica messa in atto in ambito europeo, obbligavano l'abbandono dei vecchi criteri legati ad automatismi di aggiudicazione; dunque per la prima volta si andava al di là delle quote storiche, introducendo un controllo rigido sull'idoneità tecnica ed economico-finanziaria delle imprese fornitrici. Sotto il profilo tecnologico, l'apertura era permessa dalla standardizzazione dei prodotti ferrotramviari. I nuovi compiti assunti dalle imprese le obbligavano ad una rivalutazione degli investimenti in ricerca, sempre più orientata al controllo dei tempi di progettazione e dell'efficienza dei costi oltre che all'ottenimento di una vera strategia di prodotto. Il confronto con quanto avviene in buona parte dei *partners* europei conferma le difficoltà delle imprese italiane a mantenersi in linea con i livelli continentali. In conclusione dunque l'effetto combinato del cambiamento tecnologico e di quello istituzionale hanno innescato un processo di trasformazione che ha modificato le caratteristiche strutturali del settore.

<i>Spese per investimenti in materiale rotabile delle Ferrovie dello Stato (in milioni di lire, valori a prezzi 1975)</i>	
1965	230.352
1966	196.130
1967	112.043
1968	65.276
1969	77.145
1970	124.846
1971	143.335
1972	142.854
1973	95.467
1974	97.592
1975	114.442
1976	177.912
1977	214.034
1978	184.347
1979	191.797
1980	168.611
1981	171.017

Fonte: G.C. Loraschi, *L'impresa pubblica: il caso delle Ferrovie dello Stato*, Milano, Giuffr , 1984.

<i>Spese per investimenti in acquisti dall'industria (miliardi di lire costanti 1980)</i>		
	Trasporti ferroviari	Totale delle spese
1974	872	5.948
1975	1.002	7.158
1976	1.255	6.281
1977	1.413	7.271
1978	1.384	7.211
1979	1.214	7.175
1980	1.037	7.385
1981	1.085	6.191

Fonte: R. Mercurio, *Dinamica competitiva e comportamenti strategici: il caso dell'industria delle costruzioni ferroviarie*, Milano, Franco Angeli, 1985.

## L'Alta Velocità

Configurandosi l'Alta Velocità come un sistema caratterizzato da un tipo di innovazione sistemica<sup>38</sup>, l'industria ferroviaria è obbligata a rivedere alcune delle sue caratteristiche più di lunga durata: l'eccessiva dipendenza dal committente pubblico, l'assenza sui mercati esteri e la mancanza di attenzione agli obiettivi commerciali di medio termine. Il settore esige una più intensa concentrazione industriale e una maggiore integrazione tecnologica, in grado di fornire sistemi completi, puntando ad un'apertura verso un assetto più competitivo<sup>39</sup>. Per questo motivo lo sviluppo dell'Alta Velocità ha prodotto considerevoli mutamenti anche nel settore della produzione ferroviaria. Il passaggio all'elettronica di potenza ha coinvolto pienamente le tecnologie di produzione dell'industria ferroviaria. L'inedita complessità tecnologica dell'Alta Velocità ha obbligato ad una ristrutturazione del rapporto fra l'azienda ferroviaria e i costruttori fino a quel momento meri esecutori di quanto veniva elaborato e stabilito all'interno dell'azienda ferroviaria. Altrettanto importante risulta il ricorso a forme di associazione per singole commesse sia in raggruppamenti temporanei sia in consorzi fra imprese, che ha eliminato la concorrenza sostituita da accordi. L'aumento della complessità dei processi innovativi ha reso impossibile una netta separazione fra progettazione e realizzazione, di qui dunque deriva il bisogno di delegare all'industria la funzione di progettazione, segnando in definitiva una rottura rispetto alle abitudini maturate.

Dopo l'esordio nel 1971, l'Alta Velocità italiana coglie ancora risultati significativi, soprattutto sul terreno dell'innovazione tecnologica, per poi arenarsi nelle secche delle decisioni di politica economica sbagliate. Va sottolineato come gli studi pionieristici sui carrelli condotti da Fiat Ferroviaria

---

<sup>38</sup> Sulla storia dell'Alta Velocità italiana si vedano: T. Flink, *La rivitalizzazione di un settore maturo: le ferrovie ad alta velocità in Italia*, in "Annali di storia dell'impresa", 1992, 8, pp. 434-447; E. Cefis, *Technological innovation, standardization and integration: The case of high-speed train*, in *European Networks. The Development of a Transnational System of Transport and Communications*, ed. by A. Carreras, A. Giuntini, M. Merger, Florence, European University Institute, 1995, pp. 315-333; id., *Innovazione e cambiamento nella struttura industriale. L'introduzione dell'elettronica di potenza e l'Alta Velocità*, in *Reti, mobilità, trasporti. Il sistema italiano tra prospettiva storica e innovazione*, a cura di A. Giuntini, C. Pavese, Milano, Franco Angeli, 2004, pp. 257-277; M. Merger, *La grande vitesse ferroviaire, reflet des pesanteurs et des attermolements politiques et institutionnels de l'Italie*, in *L'Italie aujourd'hui. Situation et perspectives après le séisme des années '90*, sous la direction de M. Graziano, Paris, L'Harmattan, 2004, pp. 139-162; e A. Giuntini, *Una storia che pendola. Successi e sconfitte dell'Alta velocità ferroviaria in Italia*, in "Memoria e ricerca", 2006, 23, pp. 163-192.

<sup>39</sup> CESIT, *Le sfide dell'industria ferrotranviaria italiana. Innovazione e performance aziendale*, a cura di R. Mercurio, P. de Vita, Milano, Il Sole 24 ore, 1996.

– Camposano, Di Maio, Santanera – si fossero rivelati decisivi al momento della progettazione del primo treno ad assetto variabile<sup>40</sup>. La costituzione nel 1985 del consorzio Trevi – formato da Ansaldo, Breda, FIAT e ABB-Tecnomasio – va interpretato come il passo decisivo della ripresa della questione dell’Alta Velocità. Incaricato di realizzare l’ETR 500, l’opera del *pool* di imprese venne di nuovo ostacolata dal blocco dei finanziamenti avvenuto nel 1988 e revocato finalmente tre anni dopo. In un contesto ormai dominato da una logica di liberalizzazione dei trasporti, che prendeva corpo «in prevalenza, entro arene relativamente stabili e per effetto di trasformazioni incrementali, più che di conflitti fra alternative concorrenti»<sup>41</sup>, la questione rioccupava la meritata posizione strategica, che le competeva. Lo strumento per dare la spinta cruciale venne individuato nella società per azioni Tav, costituita nel luglio del 1991 con un capitale sociale di 100 miliardi versato in parte dalle Ferrovie dello Stato e in parte raccolti da 21 – poi divenuti 43 – fra istituti bancari, banche di investimento, società finanziarie e compagnie di assicurazioni nazionali ed estere. Presentata come una società a prevalente capitale privato, in realtà la Tav mascherava un’evidente proprietà pubblica, tenuto conto che buona parte degli istituti di credito coinvolti nell’affare appartenevano allo Stato. La nuova società nasceva all’interno di un ambito protetto e garantito da qualsiasi rovescio finanziario. Occorreva a quel punto una formula idonea per realizzare un’adeguata architettura contrattuale e finanziaria del progetto. Venne scelto il *project financing*, tecnica utilizzata per finanziare progetti complessi attraverso la costituzione di società apposite, opzione motivata anche sulla base del bisogno di raccogliere capitali sul mercato finanziario. In realtà le garanzie messe a disposizione dallo Stato erano tali da ridurre sensibilmente i rischi dei privati. La Tav otteneva la concessione per la progettazione, la costruzione e lo sfruttamento economico del sistema Alta velocità per cinquanta anni grazie ad una concessione di costruzione e gestione relativamente alle tratte Milano-Napoli, Torino-Milano-Venezia e Milano-Genova, per le quali era previsto un costo complessivo di oltre 26 mila miliardi. A sua volta la Tav si legava tramite una serie di contratti a dei *general contractors*, che nella circostanza vennero individuati in Iri, Eni, Fiat e Cociv (Consorzio collegamenti integrati veloci). Il rapporto fra la Tav e i *general contractors* era basato su contratti di prestazioni e servizi regolati dal diritto privato. I quattro soggetti avevano la facoltà di affidare a consorzi le attività di progettazione e consulenze specialistiche liberamente a trattativa privata senza

<sup>40</sup> G.K. Koenig, *Oltre il Pendolino. Alta velocità e assetto variabile negli elettrotreni italiani*, Roma, Levi, 1986.

<sup>41</sup> M. Tebaldi, *La politica dei trasporti*, Bologna, Il Mulino, 1999, pp. 43-44.

passare attraverso le procedure di gara pubblica basata sulla concorrenza: si prospettava una ramificazione incontrollata delle concessioni. Si moltiplicarono così gli attori coinvolti, un numero elevatissimo di soggetti imprenditoriali non sempre affidabili e dal comportamento trasparente, attirati dalla possibilità di ricavi consistenti, facendo aumentare sensibilmente gli sprechi e quindi i costi complessivi. Anche per le altre componenti del complicato sistema messo in essere valeva l'approccio sistemico tipo chiavi in mano. All'Italferr-Sistav venivano affidate le prestazioni di consulenza ed assistenza tecnica, per le quali la società si poteva servire di ulteriori imprese, subappaltando i servizi richiesti. Al consorzio Saturno invece venne riservata la realizzazione delle infrastrutture aeree. Costituito da sei delle maggiori aziende italiane operanti nel campo della trazione elettrica, del segnalamento, dell'automazione, delle telecomunicazioni e della sicurezza per il trasporto passeggeri e merci, Saturno si impegnò nella realizzazione dei prodotti a più alto contenuto tecnologico, sfruttando le singole specializzazioni di impresa. Le soluzioni innovative adottate nel sistema degli impianti tecnologici furono nel complesso numerose e rilevanti e in gran parte costituivano un *know-how* in possesso delle imprese appartenenti al consorzio. Ciò valeva in particolare per la realizzazione del sistema di segnalamento e automazione, che rappresenta il cuore degli impianti tecnologici. Venne anche ripensato il sistema delle regole concernenti la normativa in tema di appalti e subappalti. Cambiando gli equilibri societari della Tav, interamente nelle mani dello Stato che acquistava le quote detenute dagli azionisti privati alla fine del 1997, mutava anche il modo di operare dei *general contractors*, sottoposti a regole più severe. Nel complesso dunque la vicenda dell'Alta velocità vive una stagione di nuove scelte generali a partire dalla seconda metà degli anni Novanta, dovute anche ai cambiamenti in atto all'interno dell'azienda. Il riassetto riorganizzativo ruotava intorno alla separazione fra rete e servizi di trasporto, che gli stessi orientamenti comunitari sollecitavano. I tempi di realizzazione comunque si dilatarono enormemente, provocando un sensibile aumento dei costi: fra il 1991 e il 2003 fino al 410%.

## Conclusioni

Cambiando le epoche di riferimento, mutano anche e in modo radicale le problematiche legate alla produzione ferroviaria. Questo lavoro ha cercato di illustrarle sinteticamente, legandole in un quadro organico dotato di una serie di fili conduttori dichiarati all'inizio. Nell'arco del secolo e mezzo attraversato

il cammino di questo settore è costellato da discontinuità clamorose, che rendono l'analisi di grande interesse. Ampii spazi sono ancora riservati alla ricerca storica, sia sul versante produttivo-tecnologico sia su quello delle singole imprese. Passi in avanti significativi sono stati compiuti sotto questo aspetto, ancora molto può essere fatto, come un approfondimento in chiave comparativa e un'indagine più puntigliosa sugli investimenti esteri di capitale e di conoscenze, tema in voga anni fa, che poi invece con il passare del tempo è uscito dall'agenda degli storici economici.

## L'evoluzione della tecnologia dell'ala rotante e il contributo di AgustaWestland

### Un lungo percorso evolutivo

L'evoluzione tecnologica che portò l'uomo alla conquista del cielo è sicuramente una delle pagine più affascinanti riguardanti, nel suo complesso, lo sviluppo e l'applicazione di nuovi ritrovati scientifici al campo della tecnica. La storia dell'aviazione ha preso a riferimento il primo volo del "più pesante dell'aria" – così venivano definiti i primi aerei per distinguerli dai palloni e dirigibili – nel 1903 ad opera dei fratelli americani Orville e Wilburn Wright come punto di partenza della conquista del cielo da parte di questo genere di apparecchi: gli aeroplani. Un primo significativo approdo di quell'intenso, eclettico e fecondo fermento che anche in Europa, soprattutto in Francia e Inghilterra, portò a molteplici – e in questa fase, infruttuosi – esperimenti in campo aeronautico e che interessarono largo strato delle comunità scientifiche. Se questa spinta verso la navigabilità dell'etere interessò maggiormente quello che poi venne definito e codificato come *aeroplano*, non mancarono però curiosi e interessanti esperimenti che si proponevano lo stesso obiettivo percorrendo una strada alternativa e che dopo svariati esperimenti costellati da insuccessi, aspettative deluse e vittime di incidenti, portò alla nascita di quello che oggi noi tutti chiamiamo *elicottero*.

Anche l'Italia, nella sua frammentata composizione della ricerca scientifica, ebbe modo di inserirsi in questo scenario di corsa verso il cielo non mancando di calcare anche il citato percorso alternativo. Ne è tipico esempio la "vite aerea" leonardesca il cui principio richiama molto più da vicino il concetto di elevazione verticale tipico di un elicottero rispetto al moto ascensionale orizzontale di un aeroplano. Scriveva a tal proposito il genio toscano: «Trovo se questo strumento fatto a vite sarà ben fatto cioè di tela lina, stopata i suoi pori con amido e voltato con prestezza che detta vita si fa femina nell'aria e monterà in alto»<sup>1</sup>.

Gli studi leonardeschi miranti a catapultare l'uomo nell'etere posero le basi per altre successive sperimentazioni che solo al principio del XX secolo ebbero modo di concretizzarsi. Gli studi di fisica ebbero modo di articolarsi sempre più organicamente nel corso dei secoli successivi a Leonardo passando per quel periodo noto come *rivoluzione scientifica* che dal rinascimento all'illuminismo pose le

---

<sup>1</sup> Citazione riportata da: Giorgio Apostolo, *Guida agli elicotteri dalle origini ad oggi*, Milano, Mondadori, 1983, p. 9.

premesse per un approccio più sistematico ed organizzato alle sfide che le forze della natura offrivano.



**Figura 1.** Vite aerea di Leonardo da Vinci, 1493.

Divenne ormai chiaro come anche l'aria fosse un fluido e come tale doveva essere trattata seppur con i dovuti accorgimenti. L'utilizzo dell'aria, d'altronde, non era sconosciuto all'uomo che attraverso le pale dei mulini a vento o le vele delle imbarcazioni ne traeva la forza motrice per le proprie finalità. Ma questo era un approccio di tipo passivo in quanto ci si limitava a sfruttare l'incostante velocità dei venti imprigionandone una piccola parte per i propri scopi. Più complessa ed ardua era invece la sfida che ora ci si proponeva, ovvero imprimere una forza ad una specifica costruzione affinché questa potesse, attraverso il sapiente ammaestramento dell'aria, vincere la forza di gravità. Questo *ammaestramento* dell'aria altro non derivava che dalla sapiente sagomatura e rifinitura di particolari piani orizzontali – le ali – che, esercitando l'adeguata portanza, avrebbero permesso – con un'altrettanta adeguata velocità – ad un apparecchio di sollevarsi da terra. L'adeguata velocità si sarebbe progressivamente acquisita con lo sviluppo dei motori endotermici quale fu, per antonomasia, il motore a scoppio sul calare del XIX secolo.

Per la tecnologia sottostante gli elicotteri il problema era più complesso in quanto lo stesso organismo deputato a creare la necessaria portanza e/o deportanza per far sollevare/abbassare un apparecchio – negli aeroplani, appunto, le ali – doveva altresì imprimere l'adeguata forza e direzione del movimento. Non a caso si parla di tecnologia dell'*ala rotante* distinguendola da quella degli aeroplani chiamata ad *ala fissa*.

Ma questo non significa che dalla vite aerea leonardesca dobbiamo attendere la rivoluzione industriale e la nascita del motore a scoppio per assistere ai primi esperimenti di volo verticale.

Anche lo studio del moto ascensionale verticale trasse molteplici spunti dall'osservazione della natura. Se l'eclettico genio fiorentino si ispirò per le sue

macchine volanti al volo degli uccelli, la natura offrì spunti anche per il moto ascensionale verticale attingendo però non solo dal regno animale ma anche da quello vegetale. L'acero montano (*acer platanoides*) presenta dei semi con protuberanze membrate elicoidali. Distaccati dal vento, questi assumono un movimento di autorotazione che, generando una forza aerodinamica di sustentazione, rallenta la caduta del seme permettendo così al vento di disperderlo il più lontano possibile per aumentare la diffusione della specie. Se i semi dell'acero – così come quelli di altre piante – rappresentano il rimando alla natura di una delle caratteristiche principali dell'elicottero, l'autorotazione, anche il regno animale offre alcuni spunti interessanti. È questo il tipico esempio della libellula, agile insetto capace di fluttuare liberamente nell'aria nonché di restare fermo immobile in sospensione ovvero in *volo stazionario* o *volo a punto fisso*; altra caratteristica peculiare degli elicotteri altrimenti nota col termine anglofono di *hovering*<sup>2</sup>. Ad ispirarsi alla natura furono molti inventori, scienziati, progettisti impegnati in molteplici ambiti della ricerca. Per restare in campo aeronautico ed elicotteristico si può portare l'esempio di un noto ingegnere abruzzese – i cui contributi alla tecnologia dell'ala rotante verranno meglio esaminati di seguito nel testo – quale fu Corradino d'Ascanio, un pioniere del volo verticale. Nella fattispecie, il d'Ascanio si interessò all'osservazione del volo degli ortotteri volanti sul principiare degli anni Venti nonostante fosse già conosciuto per le sue brillanti ed inventive capacità progettuali ed ingegneristiche<sup>3</sup>. Non deve quindi sorprendere se inventori e progettisti, consci della necessità dell'applicazione di severe norme scientifiche, trassero spunto dall'osservazione della natura e delle sue leggi.

Ma quali furono, ad eccezione della già menzionata vite aerea leonardesca, le prime costruzioni che mirarono al volo verticale? Dei giocattoli. Si hanno notizie di giocattoli risalenti al V secolo in Cina che nella loro semplice costruzione ne permettevano, per brevi attimi, la permanenza in volo tramite *eliche* spesso fatte con piume di uccelli. Simili giocattoli-esperimenti li ritroviamo successivamente nel corso del XVIII secolo in Francia<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> Sui richiami al regno vegetale e animale per le eliche/pale degli elicotteri si veda quanto esposto da Domenico Ludovico, *L'invenzione dell'elicottero*, Roma, Centro Grafico e Fototecnica, 1980, pp. 5-12.

<sup>3</sup> A proposito si veda: Sandro Marinacci, *Il volo della Vespa. Corradino d'Ascanio, dal sogno dell'elicottero allo scooter che ha motorizzato l'Italia*, L'Aquila, Textus, 2006; Sovrintendenza archivistica per l'Abruzzo e il Molise, Pescara, *Corradino d'Ascanio, dall'elicottero alla Vespa*, Mostra documentaria, Torre de' Passeri, 19 aprile-18 maggio 1986; Pescara, 25 maggio-30 giugno 1986; Popoli, 20 luglio-24 agosto 1986.

<sup>4</sup> Sul rimando ai giocattoli cinesi e francesi si legga, tra gli altri, quanto esposto in: Alberto Bassi, Marco Mulazzani, *Le macchine volanti di Corradino d'Ascanio*, Milano, Electa, 1999, p. 15; Ludovico, *L'invenzione dell'elicottero*, cit., p. 15; J. Gordon Leishman, *Principles of Helicopter*

Non mancarono certo altri tentativi, dai giocattoli cinesi (noti anche come *Chinese top*) dell'età tardo antica al Settecento, anche se la storiografia in questo ambito si rivela essere assai avara. Una figura di alto spessore intellettuale del medioevo era convinto che la tanta agognata conquista del cielo prima o poi sarebbe avvenuta: Roger Bacon. Il filosofo-scienziato inglese scrisse a tal proposito: «a device for Flying shall be made such that a man sitting in the middle of it and turning a crank shall cause artificial wings to beat the air after the manner of a bird's flight»<sup>5</sup>. Un'affermazione che suona come una vera e propria predizione su quello che sarà proprio l'elicottero a noi tutti comunemente noto. Se il filosofo-scienziato inglese non giunse mai a sperimentare empiricamente le sue convinzioni, il già citato italiano Leonardo da Vinci tentò più volte di dare concreta forma alle sue macchine affinché potessero navigare nell'aria. Dopo la progettazione di numerose macchine antropomorfe ebbe modo di dedicarsi più accuratamente allo studio delle superfici e piani deputati a creare la portanza necessaria per far sollevare una macchina da terra. Il genio fiorentino giunse ben presto alla conclusione, dopo aver sperimentato alcuni modelli, che la strada da lui intrapresa era corretta ma deficitava della forza necessaria affinché si potesse raggiungere l'obiettivo. La sola forza umana non bastava; bisognava ricorrere necessariamente ad una fonte di energia meccanica ai suoi tempi – e per molti secoli – mancante. Una mancanza che caratterizzerà tutti gli infruttuosi tentativi registrati nel corso dei tre secoli posteriori a Leonardo sottolineando come il fiorentino avesse già centrato il primo grosso scoglio da superare affinché una macchina di tal fattura potesse elevarsi da terra verticalmente.

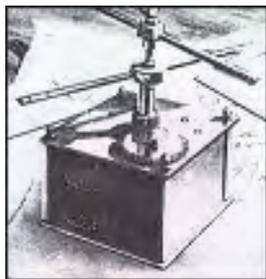
Bisognerà attendere le conquiste portate dalla rivoluzione scientifica per riscontrare macchine in grado di dialogare con le forze della fisica.

Un primo esercizio di volo verticale può essere considerato quello compiuto dalla macchina dello scienziato russo Mikhail V. Lomonosov nel 1754 dove un basamento a forma cubica racchiudeva una serie di ingranaggi azionati da una molla derivante dalla meccanica per orologi. Sopra questo basamento si ergeva un albero con due eliche bipala controrotanti che permettevano – seppur aiutata – alla macchina di elevarsi anche se di poco e per brevi attimi. D'altronde le attenzioni del fisico-chimico-astronomo Lomonosov miravano agli studi sulla depressione dell'aria più che alla creazione di una vera e propria macchina volante.

---

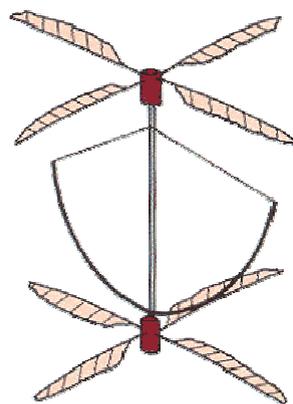
*Aerodynamics*, Cambridge UK, Cambridge University Press, 2006 (Second edition), pp. 6-7; Wayne Johnson, *Helicopter Theory*, New York, Dover Publications Inc., 1994, pp. 11-12.

<sup>5</sup> Citazione riportata in Frank Xavier Ross Jr, *Flying Windmills. The story of the helicopter*, New York, USA, Lothrop, Lee & Shepard Co. Inc., 1953, p. 14.



**Figura 2.** Mikhail V. Lomonosov, 1754.

Sempre secondo la logica dei *rotori coassiali controrotanti* – come vennero poi comunemente codificati – troviamo il modellino giocattolo realizzato dal naturalista francese Launoy insieme all'artigiano Bienvenu e presentato all'Accademia delle Scienze di Francia nel 1784. All'estremità di un piccolo e sottile cilindro in funzione di albero principale erano innestate due eliche aventi ciascuna quattro piume di uccello. Due tiranti ancorati ed attorcigliati all'albero tendevano una molla che, liberata, faceva svolgere i tiranti imprimendo così un moto rotatorio all'albero facendo di conseguenza volare per brevi attimi il giocattolo. Anche se non ufficialmente dichiarato, questo piccolo modellino, che ai suoi tempi destò molta fascinazione negli ambienti scientifici, era chiaramente ispirato al giocattolo cinese sopra menzionato.



**Figura 3.** Launoy & Bienvenu, 1784.

Ma è nell'Ottocento che la storia ci consegna maggiori tentativi tra i più disparati e stravaganti. Nel 1818 Lambertgye progettò una macchina di chiara ispirazione leonardesca, essendo di fatto una vite aerea semmai maggiormente elaborata. Tre anni dopo, in Italia, Vittorio Sarti progettò e realizzò una macchina con doppio rotore coassiale. Più che di pale vere e proprie, così come le intendiamo noi al

giorno d'oggi, i rotori della macchina di Sarti erano dotati di tre vele quadrangolari ciascuno, adeguatamente inclinate, mentre un'altra vela di eguale fattura era posta verticalmente in funzione di timone direzionale. Non a caso l'inventore fiorentino chiamò la sua macchina *aereo veliero*. La propulsione sarebbe stata garantita da una caldaia a vapore azionante i due rotori. L'inventore giunse alla realizzazione della struttura priva del propulsore a causa degli alti costi cui andò progressivamente incontro e nella presentazione al pubblico utilizzò un elastico per mostrare i movimenti dei rotori. Il Sarti non poté andare oltre, mancandogli i fondi necessari per l'acquisto ed installazione della caldaia a vapore ovvero della fonte di energia meccanica tipica dell'Ottocento. Un problema, quello della carenza dei fondi sottostanti le sperimentazioni, che a lungo tarperà le ali all'aviazione nazionale. Scriveva, a tal proposito, uno dei pionieri dell'aviazione italiana, Giulio Douhet, nel 1908: «Uno dei grandi scogli che ritarda il progresso dell'aeronautica è la non mediocre spesa che ricercano gli esperimenti. Questa è superiore alle forze di un privato che non sia ricchissimo; e malgrado la somma utilità di questa arte, i Governi non s'indurranno mai a incoraggiarla sinché essa non è tratta fuori dall'infanzia nella quale è stata sino al presente»<sup>6</sup>.

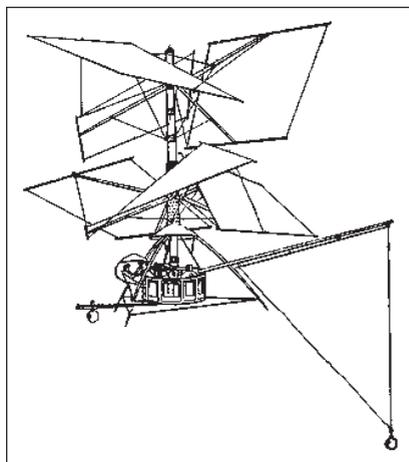


Figura 4. Vittorio Sarti, 1821.

Più articolata e complessa fu invece la realizzazione del britannico Sir George Cayley del 1843: due rotori, posti lateralmente ad una fusoliera (oggi tale configurazione viene chiamata *side-by-side*), erano dotati di due eliche innestate alle estremità di alberi rotanti le cui pale ricordano molto quelle dei ventilatori. Altre due eliche poste marginalmente alla fusoliera, in verticale, avrebbero invece

<sup>6</sup> Citazione riportata in Ludovico, *L'invenzione dell'elicottero*, cit., p. 15.

garantito l'avanzamento della macchina una volta in volo. Alla propulsione venne previsto un apposito motore a vapore; il progetto non venne mai realizzato e gli stessi studi di Cayley presto si rivolsero ai palloni e dirigibili che diedero all'inventore tanta notorietà e fama tanto da farlo considerare il padre dell'aviazione britannica.

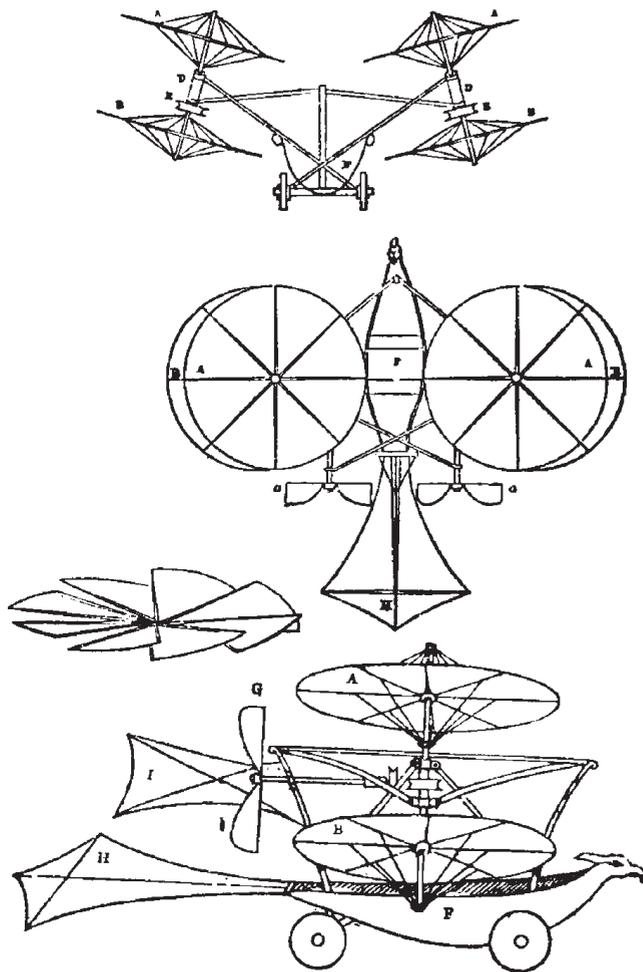


Figura 5. George Cayley, 1843.

Nel 1845 è la volta del francese Cossus che realizzò una macchina con tre rotori azionati, anche in questo caso secondo le previsioni dell'inventore, da una macchina a vapore.

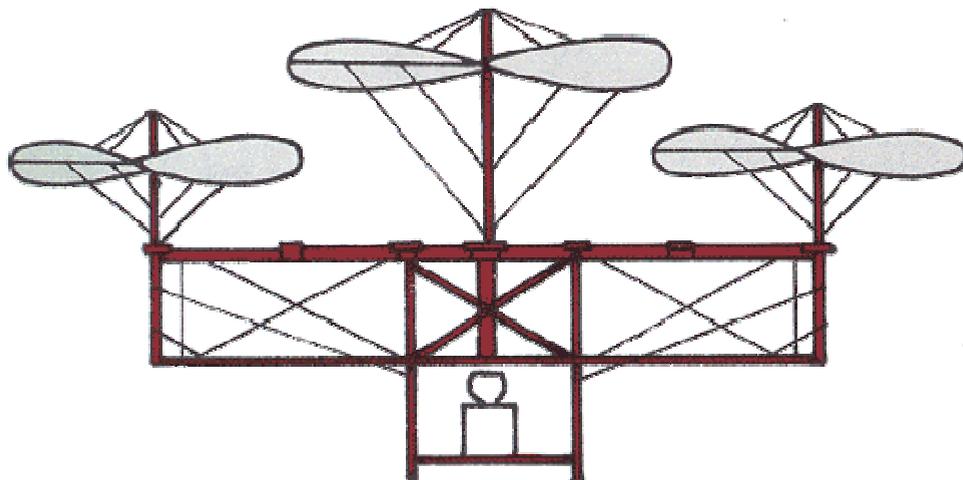


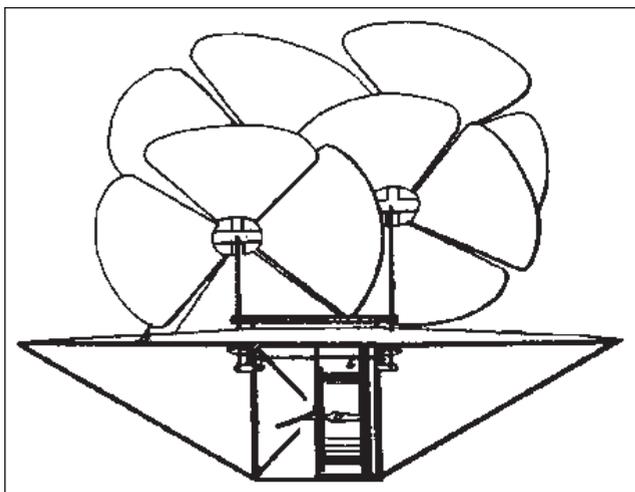
Figura 6. Cossus, 1845.

Degni di nota sono anche gli esperimenti di W.H. Phillips che costruì una macchina in miniatura dotata di una piccola caldaia a vapore sormontata da due rotori coassiali controrotanti e che diede prova di elevarsi in aria seppur per brevi attimi; oppure sempre del britannico Henry Bright, nel 1861, a cui si riconosce la prima ‘patente’ (brevetto) rilasciata dal British Patent Office.

Non fu da meno il francese Visconte Gustave Ponton d’Amécourt che nel 1862 creò una piccola macchina costruita facendo largo ricorso all’alluminio, materiale allora assai raro ma che divenne sempre più strategico nell’evoluzione delle costruzioni aeronautiche per la sua leggerezza, anch’essa munita di due rotori coassiali controrotanti sormontanti una piccola caldaia a vapore. Venne presentata a Londra nel 1868 in occasione della *London Aeronautical Exposition*, la prima esposizione internazionale ad essere indetta per la scienza aeronautica, ma fallì il suo tentativo di ascensione in quanto la forza portante del rotore risultò essere di circa 500 grammi a fronte di un peso, seppur contenuto, di poco più di due chilogrammi. Un’altra sua creazione, dotata di maggiore propulsione, riuscì nell’intento e fu battezzata *elicottero*, sostantivo derivante dalle parole greche *helix* (vite, spirale) e *pteron* (ala).

Nel 1862 si riscontrano gli esperimenti dei nordamericani Mortimer Nelson, Luther C. Crowell, del Confederato Capitano Powers, seguito ancora dal nordamericano John Wooton nel 1866. Questi ultimi tre inventori introducono il territorio nordamericano (gli Stati Uniti, così come noi oggi li conosciamo, dovevano ancora nascere) nella corsa alla realizzazione di un’affidabile macchina a decollo verticale. La storiografia di settore attribuisce a Mortimer Nelson il primo

brevetto di elicottero americano registrato il 21 maggio 1861 presso lo United Patent Office<sup>7</sup>. L'idea iniziale dell'inventore nordamericano non era tanto quella di costruire una macchina autonoma per il volo attraverso l'elevazione verticale, quanto quella di aiutare ed agevolare palloni e dirigibili nella loro navigabilità. Successivamente ritenne il suo progetto maturo abbastanza da rendere la sua *aerial car*, così battezzò il suo progetto, un velivolo autonomo e indipendente. Tale macchina, nelle intenzioni del progettista, doveva elevarsi tramite l'ausilio di due alberi, ciascuno dotato di due rotori controrotanti per eliminare l'effetto anticoppia<sup>8</sup>, in configurazione pluripala. Una volta raggiunta la quota desiderata, i due alberi rotore potevano inclinarsi in avanti permettendo, oltre al sostentamento del velivolo, anche il suo avanzamento. Nonostante nel progetto depositato non sia contemplata alcuna descrizione del sistema propulsivo, il progetto di Nelson risulta, per i tempi che correvano, alquanto innovativo per due principali aspetti. La possibilità di inclinazione delle eliche – che nel caso di Nelson sarebbe avvenuta tramite l'inclinazione degli alberi rotori – anticipava quel tipo di velivolo oggi comunemente noto come *convertiplano* o *tilt rotor*. Inoltre, nelle sue prescrizioni costruttive, prevedeva un largo ricorso all'utilizzo dell'alluminio non solo per la costruzione del propulsore ma anche per l'intera struttura della sua *aerial car*. Come per tutti i casi incontrati, anche l'inventore americano individuò nel peso dei propulsori un fattore ostativo al proficuo sviluppo di una macchina simile.



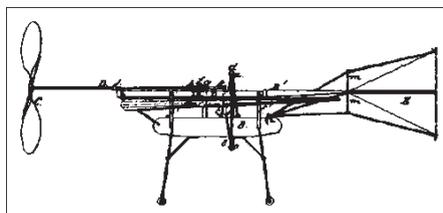
**Figura 7.** Mortimer Nelson, 1861/62.

<sup>7</sup> Xavier Ross Jr, *Flying Windmills*, cit., p. 32.

<sup>8</sup> Il movimento rotatorio delle pale, se non adeguatamente compensato, avrebbe implicato la rotazione in senso inverso della fusoliera secondo i dettami della terza legge di Newton.

L'elevato peso e il basso rendimento del propulsore avrebbero impedito qualsiasi successo, senza nemmeno dover ricorrere a prove empiriche. E infatti il progetto di Nelson rimase solo sulla carta. Indirizzò successivamente i suoi studi verso la realizzazione di un propulsore a combustione interna in grado di soddisfare le prestazioni minime richieste giungendo a brevettare un composto chimico secondo lui idoneo cui diede il nome di *carbo-sulph-ethyl*. Ma anche in questo caso non si assistette a nessuna realizzazione e applicazione pratica dei suoi ritrovati.

Quasi un anno dopo, il 3 giugno 1862, venne invece brevettato il progetto di elicottero per mano dell'americano Luther C. Crowell. Anche nel suo caso assistiamo a una concezione di rotori orientabili, a testimonianza di come fosse diffusa l'idea di realizzare una macchina in cui le pale deputate all'elevazione, attraverso la loro inclinazione, sarebbero potute servire anche all'avanzamento del velivolo. In questo progetto, i due alberi rotori – dotati di eliche bipala – erano collocati anteriormente al velivolo e ruotavano uno in senso opposto all'altro sempre per evitare la *torque action*. Ma a variare la loro posizione non erano, secondo il progettista, solo gli alberi rotore ma anche delle piccole ali laterali conferendo così maggiore agilità e stabilità al velivolo. Per le virate, una volta intrapreso il volo traslato, ci si sarebbe avvalsi – come nel caso precedente – di un timone monoderiva di coda.

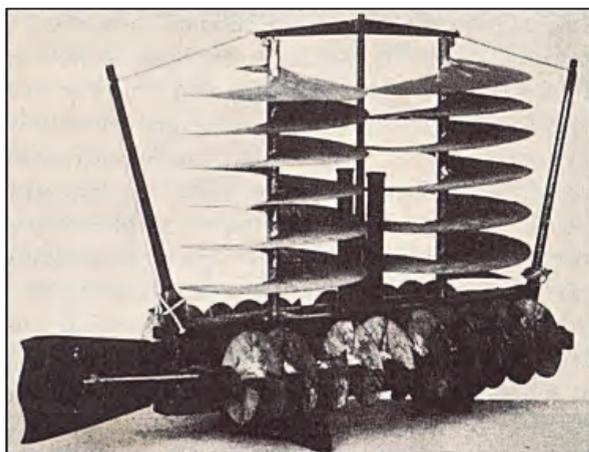


**Figura 8.** Luther C. Crowell, 1862.

Una particolarità aggiuntiva del progetto di Crowell risiedeva nelle specifiche di costruzione, chiaramente ispirate all'esperienza dei palloni. Le ali dovevano essere costruite in modo tale da contenere idrogeno o simili gas leggeri in grado di alleggerire la struttura e agevolarne l'elevazione. Anche questo progetto manca però di specificare il sistema propulsivo, vero tallone di Achille per gli inventori Ottocenteschi di questi fantastici apparecchi. Genericamente, infatti, fornì dei rimandi a un propulsore a vapore senza fornire ulteriori dettagli.

Ben più complesso, invece, risulta essere il progetto realizzato da un conterraneo di Nelson e Crowell – ma nemico –, il capitano confederato William C. Powers. Il fatto stesso che un militare si dedicò alla progettazione di un'ambiziosa macchina volante a decollo verticale è sintomatico di come un tale

apparecchio potesse rappresentare un valore aggiunto per le forze armate in un ipotetico conflitto. E il conflitto cui il Capitano Powers finalizò il suo progetto era chiaro e definito stante lo scoppio della guerra di Secessione americana il 12 aprile 1861 che contrapponeva gli Unionisti degli Stati del nord America ai Confederati del sud. Il precipuo compito della macchina volante di Powers sarebbe stato quello di forzare il blocco navale Unionista ai porti Confederati. L'ambizioso progetto presentava una macchina dotata di due eliche-spirali verticali in tandem finalizzate all'elevazione del velivolo accompagnate da altrettante spirali poste lateralmente e orizzontalmente alla struttura per permetterne l'avanzamento. La direzionabilità sarebbe stata affidata ad un timone di coda. Tali eliche ricordano molto la vite aerea leonardesca anche se contemplanti sei spirali ciascuna; tale progetto non andò oltre iniziali abbozzi sulla carta.



**Figura 9.** William Powers, 1862.

Sono molteplici i tentativi che si incontrano sul percorso teso a raggiungere lo studio e sviluppo di un'adeguata macchina nel corso degli ultimi trent'anni dell'Ottocento.

Nella tabella in appendice vengono riportati schematicamente alcuni degli autori di molteplici progetti, invenzioni e realizzazioni riguardanti macchine volanti ad ascensione verticale. Dei soli 143 esempi presi a campione (con un *range* cronologico terminante nel 1945) si può notare come 25 si riferiscano al XIX secolo ed aventi come protagonisti inventori e/o scienziati operanti principalmente in Francia, Nordamerica (sia prima che dopo la guerra di Secessione) e Gran Bretagna seguiti, a maggior distanza, da Italia (sia pre che post unificazione), Germania (idem come Italia) e Russia. La stragrande maggioranza degli esempi rilevati ricade invece nel XX secolo con 115 casi riscontrati e la territorialità vede

questa volta l'affermarsi degli Stati Uniti e, subito dopo, della Russia seguiti a breve distanza da Gran Bretagna, Germania e Francia.

Restando con il focus incentrato sull'Ottocento, le rimanenti sperimentazioni avutesi in questo secolo spesso si assomigliano anche se in alcune di esse vennero proposte soluzioni che un contesto tecnico-scientifico successivo più maturo ebbe modo di verificare e/o smentire.

In questa eclettica moltitudine si possono riscontrare sperimentazioni interessanti come quella del tedesco Wilhelm von Achenbach del 1874 dove l'elevazione sarebbe stata affidata ad un singolo grosso rotore mentre un altro, di dimensioni assai più ridotte, sarebbe stato introdotto in funzione anticoppia. Un'originalità non indifferente se consideriamo che nella maggior parte dei modelli la forza per opporsi alla coppia del rotore principale venne affidata solitamente ad un doppio rotore coassiale controrotante.

Anche in Italia si ha modo di riscontrare un interessante progetto ad opera dell'ing. Enrico Forlanini che a Milano, nel 1877, fece volare il suo prototipo. La configurazione della macchina del Forlanini era di tipo doppio rotore bipala, coassiale, controrotante il cui movimento rotatorio veniva impresso da due cilindri alimentati dal vapore posti nell'estremità inferiore della macchina. Il peso della macchina del Forlanini, di soli 3,6 kg circa, era dovuto dall'assenza di una caldaia a vapore incorporata. La caldaia necessaria per la creazione del vapore, infatti, non era parte integrante l'elicottero del Forlanini. Una volta raggiunta la pressione necessaria, l'apertura di un'apposita valvola permetteva al vapore di raggiungere i cilindri di metallo imprimenti il moto rotatorio alle pale. Acquisita la velocità necessaria, l'elicottero si sollevò da terra distaccandosi dalla caldaia permettendo così all'apparecchio di volare anche se per pochi istanti e raggiungere un'altezza – pare – di circa 13 metri. Gli studi del Forlanini permisero ad una macchina più pesante dell'aria – la seconda dopo quella del britannico Phillips – di elevarsi in aria. Un percorso, quello del Forlanini, intrapreso svariati anni addietro quando cominciò a dedicarsi agli studi sulla potenza trattiva delle eliche. L'attenzione e l'investigazione scientifica sulle necessarie modalità costruttive delle eliche e, di conseguenza, delle loro performance, attirarono a lungo anche l'interesse e le energie di un altro ingegnere d'oltreoceano: Thomas Alva Edison. L'eclettico ingegnere americano, comunemente noto per le sue conquiste e ricerche soprattutto in campo elettrico, ebbe modo di cimentarsi nello studio delle eliche sin dagli anni Ottanta dell'Ottocento. Attraverso l'impiego di un apposito banco prova da lui stesso progettato dotato di una scala di misura del peso, i vari rotori da lui realizzati poterono essere adeguatamente testati tramite l'ausilio di un motore elettrico. Dopo differenti sperimentazioni dovette constatare come, nella migliore delle ipotesi, le eliche da lui progettate, mosse dalla trazione elettrica, avrebbero

permesso una spinta ascensionale di sole 160 libbre (72 kg circa), insufficienti per una qualsiasi macchina anche se costruita coi metalli più leggeri disponibili e tutti gli accorgimenti del caso. Il rapporto peso-potenza rimaneva quindi il principale ostacolo, considerando i propulsori al tempo disponibili, all'elevazione di similari macchine. Lo stesso Edison provò a sperimentare un artigianale motore a scoppio onde poter generare la forza motrice necessaria ma infruttuosamente, rischiando oltretutto di bruciarsi durante una sperimentazione. Dovette così amaramente abbandonare gli studi sui rotori e sull'elicottero dedicandosi ad altre branche della scienza. Rimase tuttavia – e correttamente – convinto che l'elicottero sarebbe diventato realtà quando un sistema propulsivo avrebbe garantito la forza motrice necessaria con un rapporto di almeno 3-4 libbre (1,3 – 1,8 kg) per cavallo-potenza.

Possiamo ora fare delle mirate considerazioni alla luce degli esperimenti sopra esposti. Si evince, ad esempio, come la formula dei rotori coassiali controrotanti sia stata alla lunga quella prescelta e che diede effettivamente maggiori risultati; ma uno dei problemi maggiori riguardava l'elevato peso delle costruzioni, spesso fatte in legno massiccio e/o ferro dinanzi ad una forza propulsiva non ancora adeguata. Se col progredire delle scienze e della tecnologia si abbandonarono i sistemi a molla od elastico del periodo settecentesco, la rivoluzione industriale con la sua macchina a vapore diede la possibilità di ricavare maggiore forza lavoro la quale, tuttavia, si dimostrò ancora insufficiente. A loro volta, i propulsori a vapore aggiungevano enorme peso. Anche i primi motori a scoppio utilizzati in alcune sperimentazioni sul principiare del Novecento, rivelarono ancora l'inadeguatezza della forza motrice per gli scopi prefissati che richiedevano maggiore spinta propulsiva a differenza di un aeroplano che con la medesima potenza poteva elevarsi in volo. La ricerca di materiali sempre più leggeri ed efficaci spinse già alcuni inventori ad individuare nell'alluminio l'elemento da prescegliersi per questo genere di costruzioni; col progredire delle tecniche metallurgiche e fonditorie, l'alluminio diventerà non a caso e per lungo tempo il materiale eletto per la costruzione delle strutture aeronautiche.

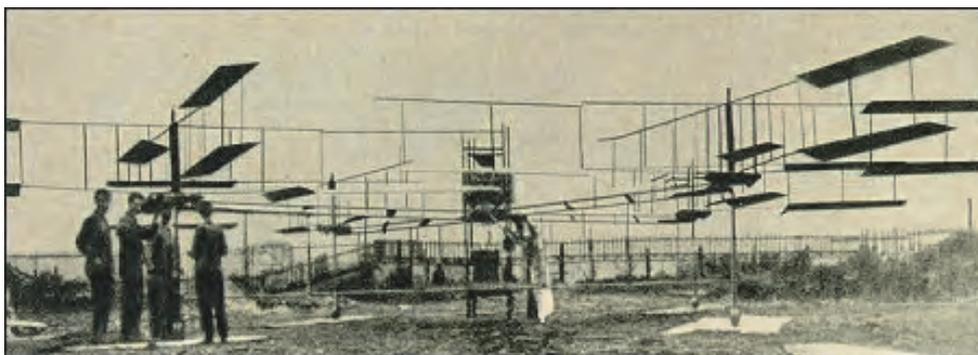
La realizzazione di queste macchine risentiva, occorre specificarlo, anche della professionalità dei suoi costruttori. Sono molteplici i casi in cui a cimentarsi in questo tipo di costruzioni furono personaggi eclettici, inventivi, provenienti da molteplici arti/professioni, ma mancanti delle necessarie conoscenze scientifiche del problema cui miravano dare risposte. Tra queste 'altre professioni', sicuramente quella dei meccanici (di varia provenienza e ambiti lavorativi) è maggiormente riscontrata. Solo sul calare dell'Ottocento notiamo un incremento di sperimentazioni per mano di figure munite di un solido retroterra culturale tecnico-scientifico, in *primis* provenienti dalle scuole di istruzione tecnica superiore, oggi spesso chiamate *Politecnici*.

Ma è solo sul finire dell'Ottocento che lo sviluppo tecnico legato ai propulsori diede finalmente un apporto significativo agli inventori aeronautici con la nascita dei motori endotermici più comunemente noti come *motori a scoppio*. Di dimensioni ridotte rispetto ai motori a vapore, ma soprattutto di peso assai inferiore, fornirono quella forza motrice necessaria per testare la veridicità delle speculazioni di molti studiosi e scienziati che a lungo additarono nella mancanza di un'adeguata forza motrice la causa principale di ogni fallimento nella realizzazione di un velivolo a decollo verticale. Le prime applicazioni di questi nuovi propulsori a tali macchine sembrarono, inizialmente, smentirli. Se infatti i primi motori a scoppio si rivelarono assai più potenti dei motori a vapore, questo non bastava per gli elicotteri, macchine assai energivore; invece, si dimostrarono all'altezza dei compiti richiesti se applicati ad un velivolo ad ala fissa. Il 17 dicembre 1903 a Kitty Hawk, nella Carolina del Nord – Stati Uniti – i fratelli Wilbur e Orville Wright fecero volare il loro prototipo di aeroplano, noto come *Flyer 1*, affidandosi alla propulsione di un motore a scoppio a 4 cilindri in linea raffreddato ad acqua da loro stessi progettato e sviluppante una potenza di soli 12 cavalli. Fu il primo volo di un velivolo *più pesante dell'aria*, avvenuto completamente sotto controllo e con a bordo il pilota. Di seguito, nel testo, vedremo come una tale potenza, applicata ad una macchina a decollo verticale, non permise il raggiungimento del medesimo traguardo.

Dinanzi al successo dei fratelli americani Wright, gli ambienti tecnici e scientifici di tutta Europa entrarono in fibrillazione potendo constatare come gli studi e le sperimentazioni sino ad allora registratisi seguissero il percorso corretto e un po' ovunque si incentivarono, soprattutto in Francia e Gran Bretagna, nuove sperimentazioni. Sarebbe stato quindi plausibile, per i sostenitori dell'ala rotante, un certo scoramento e disaffezione nei confronti delle loro ricerche. Tuttavia, e fortunatamente, ciò non avvenne; anzi, semmai ci è dato riscontrare un fenomeno opposto ovvero la proliferazione di rinnovate sperimentazioni nel corso dei primi anni del Novecento.

Soprattutto in Francia gli studi e le sperimentazioni continuarono avvalendosi, questa volta, dei nuovi propulsori a scoppio. Un primo significativo successo venne ottenuto dai fratelli Louis e Jacques Breguet i quali tentarono di portare in volo il loro *Gyroplane 1* il 29 settembre 1907. Louis Breguet, sulla scia dell'enfasi della dimostrazione dei fratelli Wright, cominciò ad applicarsi agli studi sulle eliche e loro aerodinamicità già nel 1903 in un contesto in cui la conoscenza riguardante i fenomeni causati da un rotore in movimento era ancora superficiale. Iniziò quindi una serie di sperimentazioni ricorrendo a banchi prova da lui appositamente approntati e strumentati. Incentrò, nella fattispecie, l'attenzione sugli effetti provocati da un rotore posto in obliquo o variante la sua inclinazione e portanti alla trazione. Dai primi risultati ottenuti passò a studiare e disegnare nuovi profili delle

pale dei rotori che, realizzati e sperimentati al suo banco prova, gli fornirono la convinzione che una macchina a decollo verticale, in grado di elevarsi e muoversi sotto completo controllo, fosse realizzabile. Sulla base dei dati acquisiti cominciò la costruzione del suo elicottero nel 1907. Ciò che l'ingegnere francese partorì, grazie anche alla consulenza del prof. Charles Richet, fu una macchina che non aveva eguali. La struttura, in tubolari di ferro, era a forma di croce con un rotore quadripala biplanare ad ogni sua estremità, richiamante la struttura alare di un aereo biplano, per un totale complessivo, quindi, di quattro rotori e 32 pale. Il motore, un Antoniette da 45 CV (quindi esprime una potenza di 33 CV superiore a quello utilizzato dai fratelli Wright), era collocato al centro della struttura e, poco sotto, trovava spazio il posto di comando. Un intricato sistema di cinghie e puleghe imprimeva ai rotori il moto rotatorio necessario all'elevazione mentre nessun altro comando venne al momento predisposto per il controllo della macchina.



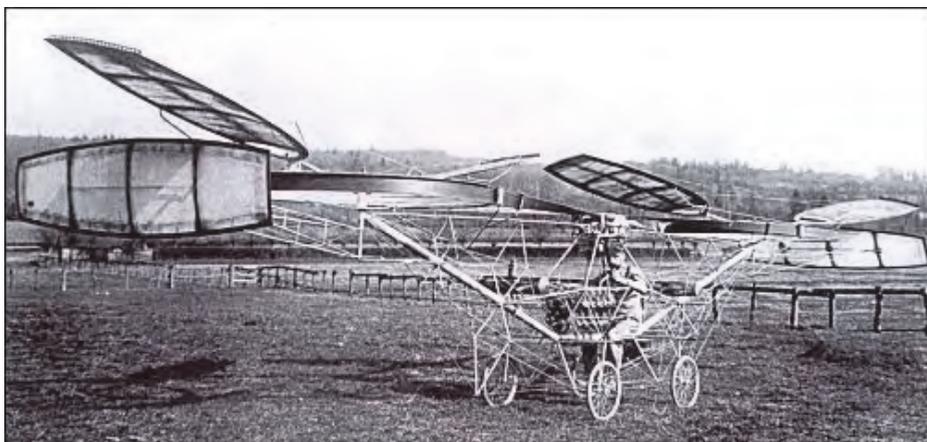
**Figura 10.** Breguet-Richet Gyroplane No.1.

Il peso complessivo della macchina raggiunse la mezza tonnellata. Più che di volo si può parlare, per il debutto del *Gyroplane 1*, di 'balzo prolungato' che lo portò ad un'altezza di 60 cm circa da terra; di certo non si può parlare di un volo libero e controllato anche perché la stabilità del velivolo venne garantita da degli operatori a terra che con delle funi, attaccate sotto ciascuna estremità della struttura, controllavano ed agivano affinché l'apparecchio non rovinasse a terra. Fu comunque la prima volta di un uomo al comando di un velivolo ad elevazione verticale, anche se per brevi attimi ed altezza. Ma i problemi di stabilità e controllo erano lungi dall'essere risolti. Sulla base dei riscontri avuti durante i primi 'balzi', Breguet si mise subito a modificare, sino a ridisegnare quasi completamente, il suo elicottero che provò l'anno successivo. Venne utilizzato un nuovo propulsore, un Renault da 55 CV mentre a livello costruttivo la principale novità consistette nella possibilità di inclinare due rotori affinché il velivolo ricevesse la forza necessaria alla

traslazione. Il *Gyroplane 2*, nonostante l'aumentata potenza, i rotori orientabili e ridisegnate e migliorate superfici alari delle pale, non portò ai risultati sperati manifestando continuamente un'assoluta ingovernabilità. Scoraggiato e deluso dai risultati, cominciò a dedicare le sue attenzioni ai velivoli ad ala fissa.

Come giustamente Frank X. Ross Jr. nota nella sua ricerca storiografica sugli elicotteri, Breguet fu probabilmente il primo progettista a rendersi conto di come la sola mancanza di potenza necessaria all'elevazione di un simile velivolo, ora risolta con l'introduzione di sempre più potenti motori a scoppio, non fosse il principale vincolo ostativo alla costruzione di un elicottero. In pratica, una volta appurato che l'energia meccanica fornita dai nuovi propulsori poteva permettere il volo verticale, le problematiche legate al controllo e stabilità della macchina erano solo all'inizio e ben lontane da un'affidabile risoluzione.

Ma un tassello aggiuntivo allo sviluppo della tecnologia dell'ala rotante fu portata, negli stessi anni in cui Breguet sperimentava i suoi *Gyroplane*, da un altro francese, Paul Cornu. Secondo alcune fonti al meccanico di biciclette francese si attribuisce l'invenzione del passo variabile delle pale nel 1907: «Mediante tale dispositivo l'angolo di incidenza delle pale cresce durante mezzo giro e diminuisce nel mezzo giro successivo, determinando l'orientazione della forza di portanza dalla parte dell'incidenza maggiore»<sup>9</sup>.



**Figura 11.** Paul Cornu, 1907.

È un passo significativo verso la codifica della tecnologia che sarà proprio l'elemento caratterizzante l'ala rotante: l'essere priva di elementi propulsivi aggiuntivi imprimenti il movimento traslato in quanto lo stesso viene ricavato

<sup>9</sup> Ludovico, *L'invenzione dell'elicottero*, cit., pag. 22.

direttamente dalle pale del rotore principale variando l'incidenza nel loro orbitare. Ma la portata dell'invenzione di Cornu non fu subito nota ai più che continuarono a lungo differenti ed eclettiche sperimentazioni; inoltre non sono sopravvissute informazioni maggiormente dettagliate riguardanti le specifiche tecniche del suo elicottero tali da poter statutariamente affermare come la variazione del passo delle pale della sua macchina fosse propedeutica all'acquisizione del volo traslato.

Il suo elicottero debuttò il 13 novembre 1907 quando riuscì a sollevarsi di 30 cm dal suolo e a mantenersi in volo, senza ausilio esterno per il controllo della macchina, per una ventina di secondi. Quanto bastò per attribuirgli il riconoscimento ufficiale del primo volo libero di un elicottero. La sua macchina, costruttivamente, aveva una struttura centrale in tubolari di ferro alloggianti al suo centro il motore, un Antoinette da 24 CV, ed il sedile del pilota. Due tralicci, uno anteriore ed uno posteriore, culminavano ciascuno con un rotore dalla forma tipica di una ruota di bicicletta sulla cui circonferenza si innestavano due pale/alette, appositamente sagomate. I due rotori ruotavano in senso opposto e la trasmissione del moto avveniva tramite delle cinghie mentre un apposito comando permetteva la regolazione del passo delle pale. Sia nell'estremità anteriore che posteriore della struttura, inoltre, erano presenti due piccoli pianetti orizzontali anch'essi governabili nell'inclinazione, aventi la finalità di implementare la stabilità e governabilità dell'apparecchio in volo. Sicuramente la macchina di Cornu segnò un passo in avanti nel progresso della tecnologia dell'ala rotante, ma l'obiettivo del pieno e completo controllo della macchina era ancora lontano. Cornu, insoddisfatto dei risultati ottenuti, abbandonò il progetto. Va tuttavia riscontrato come da più parti si sospetta, sulla base di analisi effettuate sulle descrizioni tecniche della macchina sopravvissute, la reale possibilità di elevazione di questa macchina. Permangono infatti fondati dubbi su come una potenza di soli 24 CV accoppiata ad una struttura così pesante possa aver permesso a tale macchina l'elevazione dal suolo<sup>10</sup>. Forse, più che di *volo*, sarebbe opportuno parlare anche per la macchina di Cornu di *balzo* in aria.

Contemporaneamente negli Stati Uniti, Emile Berliner e John Newton Williams realizzarono il loro primo prototipo di elicottero, nella ormai nota configurazione di doppio rotore coassiale controrotante. Nonostante entrambi i progettisti si fossero dedicati scrupolosamente allo studio e alle specifiche dei rotori e delle pale, i risultati ottenuti furono alquanto scoraggianti.

Berliner, i cui interessi verso l'elicottero rappresentavano più un hobby che una professione (era ingegnere acustico), abbandonò l'idea di costruire un elicottero salvo tornarci negli anni successivi al primo conflitto mondiale, ritenendo ormai

---

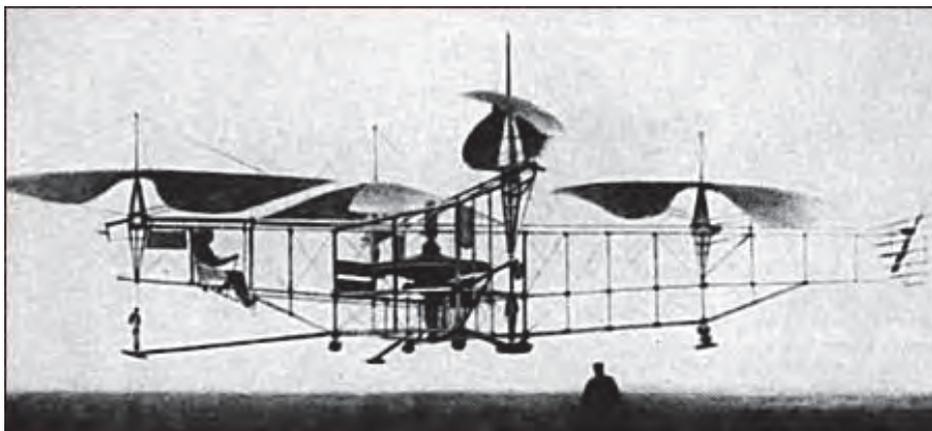
<sup>10</sup> Andrea Curami, *Lo sviluppo dell'elicottero in Italia fra le due guerre mondiali*, in Sovrintendenza archivistica per l'Abruzzo e il Molise, Pescara, *Corradino d'Ascanio*, cit., p. 51.

matura la tecnica sviluppatasi durante gli anni che lo separavano dalla sua prima sperimentazione. Questo fu possibile grazie agli sviluppi ricevuti dall'aviazione in generale in occasione della Grande Guerra che vide, per la prima volta nella storia militare, l'impiego di aerei come strumento bellico. Assieme al figlio Henry, nel 1919 disegnò e costruì il prototipo del suo secondo elicottero, anch'esso in configurazione doppio rotore coassiale controrotante che, durante i voli collaudo, si comportò bene in fase di ascensione. La prova decisiva avvenne quando il figlio di Emile, Henry, alla guida dell'apparecchio decise di testare la macchina nel volo traslato reso possibile da particolari accorgimenti introdotti dal padre nella struttura del rotore. La macchina si comportò discretamente ma palesava una grande precarietà nella stabilità del velivolo al punto tale che i due decisero interventi radicali onde migliorarne le prestazioni. Il risultato fu una macchina radicalmente differente dalla precedente: la fusoliera era quella tipica di un biplano comprese le due ali fisse. L'ala superiore presentava un'apertura minore rispetto a quella inferiore in quanto su quest'ultima si ergevano, alla sua estremità, due rotori bipala necessari all'elevazione. La presenza delle ali fisse doveva, secondo il progettista, garantire all'apparecchio maggiore stabilità, soprattutto nel volo traslato il quale venne reso possibile tramite l'inclinazione delle pale dei rotori. Ma anche in questo caso i risultati sul campo furono insoddisfacenti e lo stesso Henry Berliner rischiò la vita quando il suo apparecchio, in volo traslato, non reagì ai comandi imprimenti la direzionalità del velivolo. Padre e figlio si dedicarono ad altre sperimentazioni riproponenti questa configurazione di doppio rotore laterale, senza mai giungere a soddisfacenti risultati. Abbandonarono ogni tentativo nel 1925.



**Figura 12.** Berliner, 1925.

Ma i primi sostanziali successi verso il controllo degli elicotteri in volo traslato vennero raggiunti, qualche anno prima, dal francese Etienne Oehmichen che tra il 1920 e il 1924 realizzò tre prototipi sostanzialmente differenti tra di loro. Il primo, *Oehmichen 1*, rappresenta una commistione tra la tecnologia dei palloni e quella degli elicotteri sino ad allora sperimentata. La possibilità di elevarsi in volo verticale, infatti, beneficiava di un pallone aerostatico in grado di rendere più veloce, e meno onerosa per i propulsori, l'elevazione verticale. Sotto il pallone trovava posto la struttura in tubolari del velivolo dalla quale dipartivano strutture minori supportanti ben nove eliche propulsive. Quattro erano destinate all'elevazione, tre al controllo della stabilità e le rimanenti due per permettere l'avanzamento dell'apparecchio. Questa ridondanza di eliche non permise tuttavia alla macchina di manifestare la necessaria stabilità e governabilità dell'apparecchio. Il passo successivo, per l'ingegnere francese attivo presso la Renault, fu quello di ripensare completamente la progettazione del suo elicottero che l'11 novembre 1922 fu pronto per il collaudo. Questa volta la struttura era sempre in traliccio di acciaio tubolare ma a forma di croce, come riscontrato precedentemente per il velivolo di Breguet. Ad ogni estremità trovava posto un rotore bipala avente la possibilità di variare l'incidenza nell'orbitare. Cinque eliche, poste in verticale, vennero destinate a garantire maggiore stabilità e controllo in volo al velivolo mentre altre due, poste sulla propaggine di un'estremità della struttura, garantivano con la loro spinta l'avanzamento dell'elicottero.



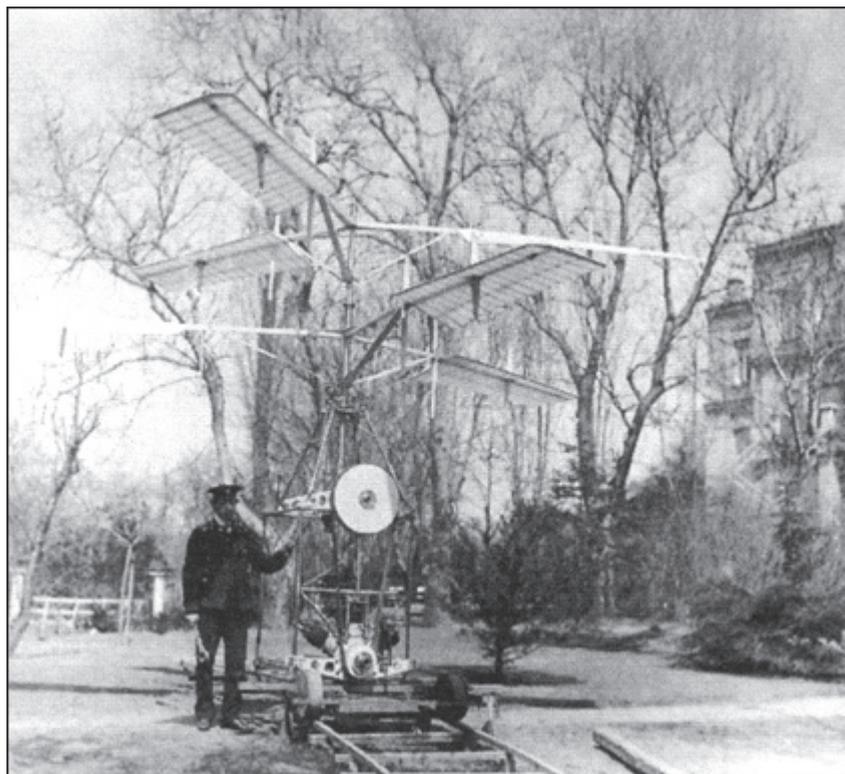
**Figura 13.** Etienne Oehmichen, 1922.

Nonostante questa complessità costruttiva, tale velivolo si aggiudicò il primato di permanenza in volo e di distanza percorsa per questo genere di apparecchi nel 1924 quando restò in volo a punto fisso per circa cinque minuti e percorse quasi un

chilometro in linea retta orizzontale. Ulteriori implementazioni e migliorie all'apparecchio permisero all'elicottero di Oemichen di raggiungere i 525 metri di altezza e di rimanere in volo fino a 15 minuti con la possibilità di percorrere una distanza in linea retta di oltre un chilometro. Prestazioni assai rilevanti per questo genere di macchine, debitamente certificate dalla FAI, *Fédération Aéronautique Internationale*. L'ingegnere francese si rese però conto che ogni ulteriore miglioria a questo tipo di macchina, onde aumentarne le prestazioni, la governabilità e la manovrabilità, avrebbe richiesto un radicale ripensamento del progetto. Cosa che non lo scoraggiò e che lo portò a realizzare il suo terzo prototipo nel 1924 questa volta assai più semplice dal punto di vista strutturale. Era dotato di un singolo grosso rotore bipala posto centralmente ad una struttura tubolare rettangolare mentre due piccole eliche garantivano la necessaria spinta anticoppia. Ma la delusione derivante dalle prestazioni ricavate non spinse il progettista ad ulteriori perfezionamenti di questa macchina. Oemichen continuò a studiare e progettare ulteriori versioni e varianti dei suoi elicotteri senza mai però costruirne ulteriori.

Tra il 1909 ed il 1911 si riscontrano diverse sperimentazioni intraprese da scienziati e progettisti russi quali N.I. Sorokin, V.V. Tatarinon, K.A. Antonov, B.N. Yuriev e Igor I. Sikorsky, solo per citarne alcuni che, a loro modo, diedero il proprio contributo nello sviluppo della tecnologia dell'ala rotante. Tra questi, un posto di tutto riguardo, spetta sicuramente a Igor Sikorsky non tanto per le sue realizzazioni in questo contesto primo Novecentesco, quanto per le successive realizzazioni di fine anni Trenta di cui si dirà in seguito.

Il primo esperimento dell'ingegnere russo Sikorsky avvenne nella natia Kiev con una macchina a doppio rotore bipala coassiale controrotante che fallì nel tentativo di alzarsi da terra. Particolare attenzione venne attribuita dal progettista al comando collettivo delle pale, ovvero il comando imprimente eguale inclinazione a tutte le pale, ma gli scarsi risultati ottenuti convinsero il progettista che le sue conoscenze riguardanti l'ala rotante dovevano essere ulteriormente approfondite. Soggiornò quindi a lungo in Francia, ovvero l'allora epicentro dell'eccentrico mondo della tecnologia aeronautica, al fine di reperire – oltre a materiali adeguati alla costruzione della sua macchina – informazioni e consigli utili al suo scopo. Rientrato in Russia nel 1910, sulla scorta dei dati acquisiti durante il primo tentativo ed il soggiorno parigino, giunse a realizzare e testare la sua seconda macchina, sempre in configurazione doppio rotore coassiale controrotante ma questa volta munito di tre pale per rotore. I risultati, tuttavia, continuarono a essere deludenti e scoraggiarono il progettista che cominciò a dedicarsi alla progettazione di aerei divenendo ben presto un nome noto nel suo paese.



**Figura 14.** Sikorsky, 1910.

Quasi contemporaneamente l'ingegnere danese Jacob Christian Ellehammer realizzò e fece volare il suo prototipo di elicottero del tutto simile nella configurazione ad un elicottero con doppio rotore coassiale controrotante ma completamente discostantesi dai predecessori per il disegno e struttura delle pale. Più che di pale rotore controrotanti si può parlare, in questo caso, di *cerchi* alle cui estremità vennero collocate delle piccole strutture alari. Ma la sostanziale differenza riguardava il rotore/cerchio inferiore la cui superficie era completamente chiusa a guisa di tessuto membranaceo. La traslazione venne affidata ad un motore, disegnato e realizzato dallo stesso progettista, anteriore con elica trattiva. Dopo alcune sperimentazioni a terra, il velivolo ebbe il primo battesimo dell'aria nel maggio del 1912 onde verificare la sua capacità di elevazione. Le sperimentazioni, implementazioni e aggiornamenti a questa macchina si protrassero sino al 1919 quando durante una prova rovinò al suolo, danneggiandosi. Il progettista danese preferì, di conseguenza, dedicare le sue attenzioni ad altre branche dell'aviazione.

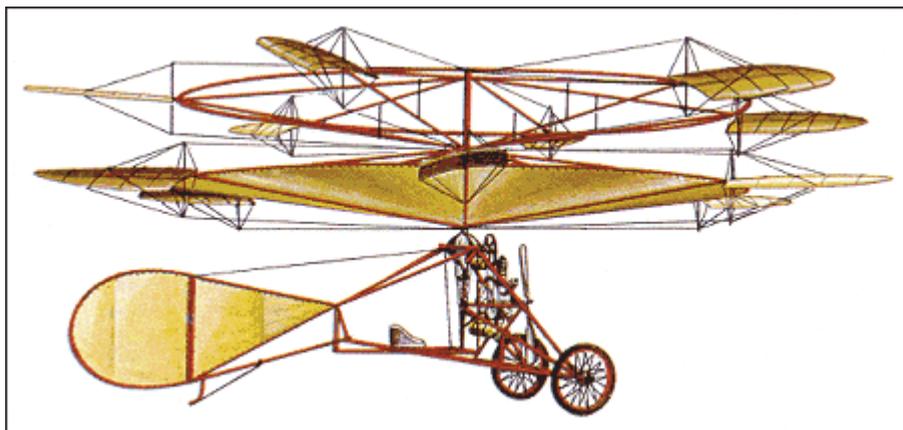


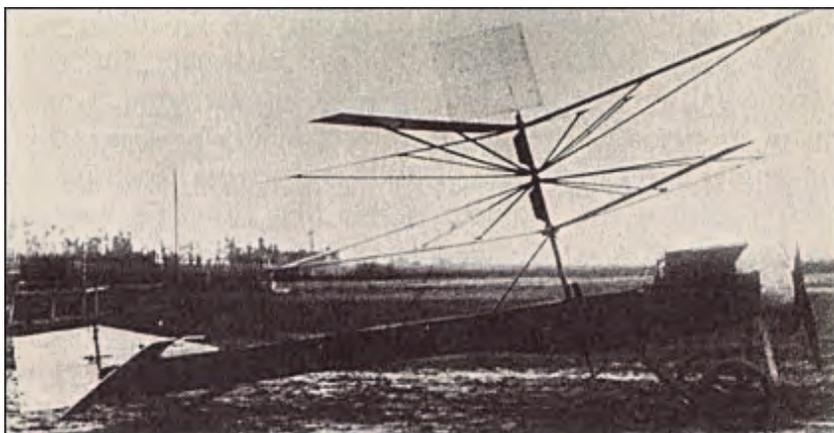
Figura 15. Jacob Christian Ellehammer, 1912.

Lo scoppio del primo conflitto mondiale fece convergere tutte le attenzioni dei progettisti e scienziati aeronautici sulla tecnologia dell'ala fissa che coi suoi aeroplani, da caccia, ricognizione e bombardamento, stava sancendo la nascita tra i paesi belligeranti di un nuova Arma combattente, l'aviazione militare. Questo non significò un abbandono assoluto dell'interesse degli scienziati, progettisti e ingegneri allo studio della tecnologia dell'ala rotante, ma sicuramente raffreddò il fervore degli anni precedenti come la tabella sopra menzionata ci suggerisce. Negli anni del conflitto, mentre alcuni progettisti continuavano le proprie sperimentazioni intraprese negli anni immediatamente precedenti, si riscontrano nuovi progetti avviati col preciso scopo di creare una macchina militare in grado di far prevalere sull'avversario. Su questa scia riscontriamo le sperimentazioni, tra gli altri, degli austro-ungarici Oeffag, Balaban-Bloudek, Ptroczy-Karman e Oscar von Asboth.

Ma sarà solo la ritrovata pace susseguente il termine delle ostilità che pose le condizioni favorevoli per una variegata e pluriarticolata ricerca nel campo degli elicotteri. Gli anni Venti e i primi anni Trenta condurranno alla creazione di prototipi che faranno uscire l'elicottero dalla fase pionieristica o, per dirla con parole di Leishmann, dei *saltatori*, ed avviare tali macchine verso una più strutturata definizione tecnologica. L'era della maturità, comunque, era ancora distante e si dovettero attendere nuovi ed interessanti sviluppi nel campo dell'ala rotante prima di giungere ad una significativa codifica dell'elicottero. Tra i molteplici ed eclettici sviluppi, un posto di rilievo occupa sicuramente la figura di Juan de la Cierva y Codornú e l'apparecchio da lui sviluppato nel 1920: l'autogiro.

Grande appassionato di aviazione, l'ingegnere iberico intraprese gli studi per realizzare il suo primo aeroplano subito dopo il primo conflitto mondiale cogliendo l'occasione posta dal Governo spagnolo che indisse un concorso per un velivolo da

bombardamento. Fresco di laurea in ingegneria, ma con una già consistente pratica d'officina acquisita sul campo, la Cierva si dedicò alla costruzione di un grosso aeroplano trimotore. Il grosso apparecchio, una volta realizzato, venne portato in volo da un pilota iberico avvezzo al pilotaggio di biplani e di similari piccoli apparecchi. La mancanza di confidenza ai comandi di un apparecchio di grosse dimensioni portarono, in un volo di prova, il velivolo in stallo durante una virata eccessivamente stretta a bassa velocità, facendolo rovinare al suolo. La mancanza di portanza riscontrata in occasione della fatale stretta virata del suo trimotore spinse l'ingegnere iberico a ricercare una soluzione che ovviasse a questa condizione di stallo; la risposta la trovò ipotizzando, sulla fusoliera di un aeroplano, un rotore con ali rotanti. Nacque così quell'apparecchio successivamente chiamato *autogyro* il quale presentava una fusoliera tipica di aereo, con motore anteriore ed elica trattiva, ma privo delle ali (o, al limite, implicante piccole alette stabilizzatrici). La sustentazione veniva garantita da un rotore montato sul dorso frontale della fusoliera ma completamente privo di trazione; la velocità progressivamente acquisita dall'apparecchio mediante il motore trainante faceva girare le pale del rotore finché queste, ruotando autonomamente (quindi in autorotazione), garantivano la portanza necessaria per il sostentamento in volo dell'apparecchio. Dopo vari studi e progetti venne quindi realizzato il primo autogyro, il C.1, che tentò di involarsi nel 1920-1921.



**Figura 16.** Juan la Cierva C.1, 1920.

L'albero principale alloggiava due rotori bipala controrotanti e, alla loro sommità, una piccola deriva verticale con la finalità di garantire maggiore stabilità in volo all'apparecchio. Da subito questa soluzione dimostrò la sua inefficienza ma soprattutto la sua ingovernabilità sin dalle prove a terra. Ripensato il progetto, il

nuovo modello si presentò con un singolo rotore tripala onde evitare le interferenze aerodinamiche precedentemente riscontrate tra i due rotori del primo prototipo. Seppure dimostrante maggiore governabilità da parte del pilota, come venne acquisita una certa velocità l'apparecchio rovinò su un fianco ancor prima di poter alzare le ruote da terra. Analogo incidente accorse al terzo prototipo gettando nello sgomento e perplessità il suo progettista. Tornato ai suoi calcoli ed alle sue prove di laboratorio con modellini in scala ebbe modo di riscontrare come la rotazione delle pale del suo prototipo procurassero una portanza diseguale nel loro orbitare attorno l'albero rotore. La maggiore forza portante generata da un lato dell'apparecchio – derivante dall'avanzamento della pala –, non era controbilanciata da altrettanta forza – derivante dalla retrocessione della stessa pala – sull'altro lato e portava inevitabilmente l'apparecchio a piegarsi su un fianco. Alla fine, la Cierva giunse alla conclusione che la problematica risiedeva nell'attacco rigido delle pale all'albero rotore ch'egli aveva progettato nei suoi apparecchi. La soluzione venne ritrovata in apposite cerniere articolanti l'innesto delle pale nell'albero rotore affinché le pale potessero liberamente *flappeggiare* lungo il proprio asse nonché variare il proprio angolo di incidenza con l'aumento della velocità di traslazione senza causare il ribaltamento del velivolo. Il suo prototipo n.4, con questi accorgimenti, dimostrò la validità della teoria e l'autogiro divenne realtà. I fortunati spettatori del primo volo del quarto prototipo di la Cierva, avvenuto nel 1923, rimasero sbalorditi dalla facilità con la quale questo apparecchio decollò, senza necessitare un lungo rullaggio sulla pista.

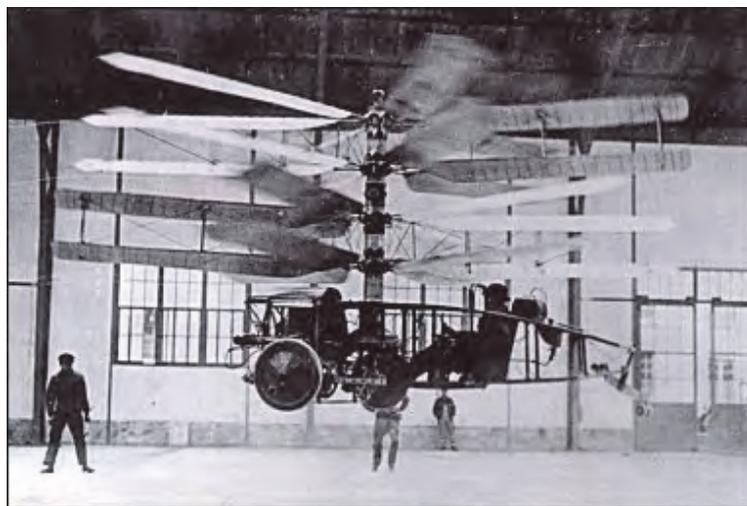


Figura 17. Juan la Cierva, C.6, 1924.

Ma un'altra importante caratteristica di questo tipo di apparecchi, oltre alla corsa breve per il decollo (oggi indicata come STOL, *Short Take-Off and Landing*), consisteva nella possibilità di effettuare l'autorotazione in caso di panne del motore cosa che, su un comune aeroplano, causerebbe la caduta del velivolo una volta diminuita la velocità necessaria alle ali per creare l'adeguata portanza.

Nel corso dei successivi vent'anni gli autogiro vennero ulteriormente sviluppati e commercializzati sia dal suo creatore, attraverso la *The Cierva Autogyro Company*

*Ltd.* da lui stesso costituita in Gran Bretagna grazie ai fondi ottenuti da locali entusiasti investitori, sia da altri privati costruttori su licenza. Nel 1928 il giovane ingegnere americano Harold Pitcairn, ottenuta regolare licenza, ne avviò la costruzione negli Stati Uniti dove ben presto questo genere di apparecchio venne apprezzato conoscendo anche una discreta diffusione. Il contributo alla tecnologia dell'ala rotante introdotto da la Cierva e i suoi autogiro fu sostanziale per lo sviluppo parallelo degli elicotteri. I progettisti di elicotteri sicuramente fecero tesoro dei ritrovati di la Cierva ma continuarono ad incentrare la loro attenzione su delle macchine che potessero elevarsi sin da subito in volo verticale per poi traslare successivamente. Un interessante progettista degli anni Venti fu un altro iberico, Raul Pateras Pescara, che nel 1919-20 realizzò il suo primo prototipo. Ma fu soltanto il terzo modello da lui costruito a presentare delle caratteristiche assai innovative rispetto a tutte le sperimentazioni sinora incontrate. Questa macchina aveva la nota configurazione di doppio rotore coassiale controrotante ma, come già riscontrato nel modello di Breguet, ogni rotore era equipaggiato da quattro pale biplanari per un totale, quindi, di sedici superfici rotanti. Il valore aggiuntivo di Pescara fu quello di aver introdotto un complicato sistema di leveraggio in grado, comunque, di poter variare il passo di tutte le sue superfici rotanti in modo eguale (passo collettivo) e alternato (passo ciclico).



**Figura 18.** Raul Pateras Pescara, N.3, 1923.

Negli anni Venti-Trenta, quindi, l'aviazione si muoveva contemporaneamente su più fronti: quello degli aeroplani ad ala fissa, degli elicotteri e degli autogiro. Relativamente agli elicotteri, un ulteriore traguardo tecnologico venne raggiunto dal

sovietico Ivan P. Bratukhin attivo presso l'Istituto Centrale di aeroidrodinamica di Mosca: apparve per la prima volta il rotore di coda, così come è concepito tutt'oggi, in funzione anticoppia. A ragion del vero, i rotori in funzione anticoppia erano due, uno in coda all'apparecchio e l'altro in testa alla struttura tubolare metallica.

Mentre tutti gli esperimenti precedenti si rivolgevano al doppio rotore coassiale controrotante, indispensabile al fine di evitare l'avvitamento costante dell'apparecchio su se stesso, l'installazione di un rotore di ridotte dimensioni posto verticalmente sull'asse dell'apparecchio – traente forza motrice dal medesimo propulsore e sincronizzato con la rotazione delle pale del rotore principale – garantiva la necessaria forza anticoppia del rotore principale liberando lo stesso da manovellismi complicati ed offrendo all'apparecchio stesso maggiori capacità in virata.



**Figura 19.** Ivan P. Bratukhin, 1930.

Il livello tecnologico raggiunto era ormai prossimo alla realizzazione di un elicottero stabile, affidabile e completamente controllabile.

Presentante una configurazione differente, con rotori *side-by-side*, incontriamo nel 1936 il prototipo progettato e realizzato dal tedesco Heinrich Focke il quale ebbe precedentemente modo di apprezzare e lavorare ad alcuni autogiro di la Cierva. In effetti il suo apparecchio potrebbe, a prima vista, rassomigliare ad un autogiro prendendo a riferimento la struttura della fusoliera, tipica di un aereo. Ma qui le somiglianze presto si interrompono. Da entrambi i lati della fusoliera, nella parte anteriore della struttura, dipartono delle strutture tubolari meccaniche culminanti, ciascuna, in un rotore articolato tripala. Il moto dei rotori, controrotanti, veniva assicurato da alberi di trasmissione riceventi la potenza necessaria da un singolo

propulsore posizionato all'estremità anteriore della struttura munito di una piccola elica senza alcuna forza trattiva o spingente ma unicamente applicata onde garantire il costante e regolare raffreddamento del motore. L'elicottero, l'Fw-61, ebbe il battesimo dell'aria il 26 giugno del 1936 dimostrando piena affidabilità e controllo dell'apparecchio. La traslazione venne resa possibile tramite la variazione ciclica del passo delle pale e l'inclinazione del rotore. Seppur in questa configurazione, già incontrata in casi precedenti ma senza coronamento del successo, l'elicottero di Focke fu il primo a dimostrare il pieno controllo e manovrabilità in ogni condizione di volo, autorotazione compresa.



Figura 20. Heinrich Karl Johann Focke, 1936.

Su una linea più classica operò invece un altro russo (ormai naturalizzato nordamericano), Igor I. Sikorsky che nel 1939 fece volare il suo prototipo VS-300 con rotore principale tripala e rotore di coda. Il progettista russo, naturalizzato americano dopo l'abbandono del paese nativo a seguito della rivoluzione bolscevica del 1917, si dedicò – lo abbiamo visto – già nel 1910 alla costruzione di una macchina a decollo verticale. Nel corso degli anni Trenta, nel suo nuovo paese, ritenne ormai giunto a sufficiente stato di maturazione il livello tecnologico ove poter intraprendere la costruzione di questo tipo di macchine. L'idea di poter costruire una macchina come l'elicottero, d'altronde, non lo abbandonò mai nonostante gli insuccessi di venti anni addietro lo spinsero alla progettazione di velivoli ad ala fissa. La prima versione del suo VS-300 presentava una struttura a tralicci con il posto di pilotaggio sito nell'estremità anteriore alle cui spalle erano

alloggiati il motore alimentante un rotore tripala e la trasmissione. All'estremità inferiore della coda dell'elicottero erano collocati tre piccoli rotori, uno sull'estremità e gli altri due posti lateralmente alla coda stessa, garantenti maggiore stabilità e controllo dell'apparecchio in volo. La versione immediatamente successiva, dopo il successo ottenuto in volo dal suo primo esemplare, vide invece l'introduzione di un singolo rotore di coda assumendo così la configurazione finale.



**Figura 21.** Igor Sikorsky, 1939.

L'elicottero di Sikorsky viene ritenuto essere il primo elicottero a garantire piena affidabilità e controllo in volo libero, permettendo alla macchina di volare in ogni direzione anche variando contestualmente l'altitudine. Nel corso degli anni seguenti, alimentato anche dalla condizione belligerante in cui presto gli Stati Uniti si ritrovarono, videro la luce per mano dell'ingegnere russo-americano nuovi modelli implementanti e perfezionanti le caratteristiche del VS-300 come gli R4, R5 e R6 alcuni dei quali vennero testati dalle forze armate americane in missioni di guerra pur non operando mai direttamente sul fronte.

Sempre nello stesso paese, Lawrence Bell – titolare dell'omonima impresa aeronautica dedita principalmente alla costruzione di aerei da caccia –, ispirato dal progetto dell'eccentrico Arthur Young e in collaborazione col progettista, diede l'avvio allo studio e realizzazione di un elicottero nato nel 1943 col nome di Model 30. La particolarità introdotta dalla Bell riguardava l'installazione, subito sotto il rotore bipala, di una barra stabilizzatrice orbitante che eliminò gran parte dei disturbi tipici riscontrabili in un rotore composto da due sole pale. Sulla base dei

successi e performances ottenute dal Model 30, la Bell implementò il progetto originario giungendo alla costruzione del modello 47 che, seppure in ridotti esemplari, venne consegnato alle Forze Armate Statunitensi già negli ultimi mesi del 1945. L'8 marzo 1946 il modello 47 fu il primo elicottero ad ottenere il certificato di navigabilità civile dalla CAA, *Civil Aviation Administration* (riorganizzato nel 1958, questo ente assunse il nome attuale di FAA-*Federal Aviation Administration*) ed iniziò la sua commercializzazione.



**Figura 22.** Bell Model 30, 1942.

Si può genericamente affermare, quindi, che la soluzione del rotore di coda fu quella, alla lunga, progressivamente prescelta dai progettisti e costruttori elicotteristici senza tuttavia poter stabilire in modo perentorio che tale caratteristica sia in via definitiva la migliore. Ancora oggi vi sono particolari tipi di elicotteri – in numero assai limitato – che adottano il sistema del doppio rotore coassiale controrotante. Scriveva a riguardo nel 1948 l'ingegnere abruzzese Corradino D'Ascanio (la cui figura verrà di seguito nel testo maggiormente analizzata): «Come schema vi sono elicotteri ad una sola elica sostentatrice, normalmente chiamata rotore, e a più rotori. Il tipo di elicottero più conveniente non è ancora stato ben definito, ed infatti ognuno dei molti costruttori ha costruito tipi diversi con uno o più rotori; quindi in merito allo schema c'è da discutere ed osservare pregi e difetti relativi»<sup>11</sup>. Ma è la stessa disciplina aeronautica ad essere assai eterogenea nelle sperimentazioni e costruzioni: negli anni quaranta/cinquanta fecero la loro comparsa apparecchi ibridi definiti *compound* che possono essere ritenuti a pieno titolo i legittimi discendenti degli autogiro. Infatti nel medesimo velivolo riscontriamo l'assenza di ali portanti, la presenza di un motore dedicato alla spinta

<sup>11</sup> Citazione tratta da: Giovanni Antonio Fiorilli, *Corradino D'Ascanio e la ricostruzione del dopoguerra* in Sovrintendenza archivistica per l'Abruzzo e il Molise, *Corradino d'Ascanio, dall'elicottero alla Vespa*, cit., pp. 168-169.

congiuntamente a un rotore pluripala ma azionato da un dedicato propulsore anche se in alcuni casi il propulsore era il medesimo. Di questi apparecchi ne vennero sperimentate differenti versioni sia monorotore che birotore. Non mancano poi altre affascinanti soluzioni quali quelle offerte dai *convertiplani* o *tilt rotor*. Anche in questo caso l'obiettivo è quello – come per i *compound* – di sposare la versatilità del decollo verticale tipica di un elicottero con l'elevata velocità di un aereo tradizionale. In questo caso, però, gli organi meccanici destinati tanto alla spinta orizzontale quanto a quella verticale sono i medesimi i quali, però, assumono posizione variabile a seconda delle necessità. Sono, in pratica, esteriormente degli aeroplani fatti e completi con l'opportunità di inclinare i propri motori (e quindi le proprie eliche) da una posizione verticale ad orizzontale a seconda delle necessità. Di questi apparecchi ne sono stati costruiti – in fase prototipica e di studio – diversi, ma solo dei costruttori americani sono riusciti ad avviarne – in questi ultimi anni – una produzione di serie secondo determinate specifiche militari: ci si riferisce al modello Bell-Boeing V.22 Osprey.

Tale studio venne commissionato alle case americane Bell e Boeing dalle autorità militari secondo loro particolari specifiche senza le quali sicuramente sarebbe stato impensabile poter giungere alla costruzione di questo modello. L'input delle costruzioni aeronautiche ad ala rotante risentì indissolubilmente delle volontà governative di un paese. Ed è proprio la considerazione che le autorità militari ebbero per questi apparecchi ad ala rotante che determinarono la crescita o l'indifferenza per la tecnologia dell'ala rotante nei vari paesi. La stragrande maggioranza degli esperimenti legati all'ala rotante di inizio secolo furono permesse grazie a finanziamenti governativi. Già nell'Ottocento, le sperimentazioni sul continente nordamericano, risentirono della necessità degli Stati Federati e degli Stati Confederati di trovare uno spunto tecnologico militare in grado di farli prevalere l'uno sull'altro. Se già l'aeroplano a stento riuscì ad accaparrarsi i benevoli favori delle autorità governative tanto da incentivarne la costruzione e lo studio di sempre più avanzate progettazioni, analoga *via crucis* dovette percorrere l'elicottero con l'handicapp aggiuntivo, parallelamente all'aeroplano, di non aver raggiunto un compromesso tecnologico universalmente accettato.

Non mancarono, alle macchine presentate nel corso degli anni Venti e Trenta, i dovuti riconoscimenti senza che tuttavia seguissero mirati incentivi allo sviluppo della tecnologia.

Un evidente esempio dell'importanza del sostegno governativo allo sviluppo della tecnologia in campo aeronautico è chiaramente riscontrabile anche in Italia.

Il 12 marzo del 1922 l'Ispettorato dell'Aeronautica del Capo di Stato Maggiore della Marina Italiana bandì un concorso per elicotteri rivolto agli industriali aeronautici nazionali affinché venisse presentata una macchina avente: «possibilità

di partenza e di approdo dalla coperta delle navi»<sup>12</sup> nonché, ovviamente, dalla superficie marina. Altri requisiti erano la dirigibilità con velocità di traslazione di 50 km/h, un'autonomia di un'ora e un solo uomo di equipaggio<sup>13</sup>. Tale iniziativa non ebbe seguito e dopo un anno, con la nascita della terza armata combattente del paese, la Regia Aeronautica, la maggior parte delle attenzioni da parte dei supremi comandi militari si rivolsero a stabilire e contrattare le competenze sull'utilizzo dei velivoli, tralasciando adeguate politiche incentivanti lo sviluppo scientifico dell'ala rotante.

Il fatto che tale iniziativa partì dall'arma marittima dimostra, tuttavia, come le unità navali ritenessero indispensabile già da allora, per il proprio operare, il supporto di forze aeree inizialmente concepito per l'osservazione. Saranno infatti proprio gli anni Venti – e più marcatamente il ventennio successivo – che videro proliferare nelle maggiori potenze dotate di una grossa ed articolata marina da guerra, le navi portaerei; unità navali che in Italia non vennero costruite unicamente per l'imposizione politica e decontestualizzata dell'allora capo del governo, Benito Mussolini. Non che l'allora Capo del Governo non fosse stato adeguatamente informato e ragguagliato sull'utilità tattico-strategica dell'arma aeronavale. Nel 1924 così si espresse il ministro della Marina Paolo Thaon di Revel in una sua lettera a Benito Mussolini:

Abbiamo bisogno di mettere aerei su tutte le navi: la nave da guerra senza velivoli è oggi una nave incompleta, mentre d'altra parte i velivoli non appoggiati alle navi, almeno allo stato attuale e reale della tecnica, non hanno che un valore pratico minimo nella guerra sul mare. Abbiamo quindi bisogno di qualche nave espressamente costruita per portare gli aerei ed abbiamo bisogno assoluto, urgente, improrogabile, oltre che dei velivoli imbarcati sulle navi, di un gran numero di idrovolanti e di un gruppo di dirigibili, e che gli uni e gli altri abbiano i necessari punti di appoggio sia sul litorale nazionale che su quello delle nostre colonie mediterranee<sup>14</sup>.

Ma ad eccezione di qualche piccola concessione, l'impianto generale che portò al controllo totale dei velivoli da parte della nascente Regia Aeronautica non venne stravolto.

---

<sup>12</sup> Ludovico, *L'invenzione dell'elicottero*, cit., p. 34. Diversa la datazione riportata in Andrea Curami, *Lo sviluppo dell'elicottero in Italia fra le due guerre mondiali* in Sovrintendenza archivistica per l'Abruzzo e il Molise, *Corradino d'Ascanio, dall'elicottero alla Vespa*, cit., p. 50 che lo anticipa nel 1920.

<sup>13</sup> Ibidem, p. 50.

<sup>14</sup> Citazione riportata in Curami, *Lo sviluppo dell'elicottero In Italia*, cit., p. 55.

## L'ala rotante in Italia

Il mancato seguito dell'iniziativa della Marina, tuttavia, non comportò l'abbandono totale delle sperimentazioni di volo verticale nel nostro paese. Abbiamo visto come alcuni inventori italiani (ancor prima che l'Italia divenisse una Nazione) ebbero modo di cimentarvisi; tra questi degno di maggior attenzione è l'ing. Enrico Forlanini. Il milanese Forlanini (Milano 1848, ivi 1930) crebbe nelle istituzioni militari, prima presso il Collegio Militare poi presso l'Accademia nonché presso la Scuola d'Applicazione d'Artiglieria e Genio in Torino. Da giovane tenente del Genio venne presto affascinato dagli studi sui modelli di eliche tanto che decise di approfondirli attraverso studi universitari che lo portarono alla laurea in ingegneria industriale nel 1874. Presso le officine del Genio di Alessandria ebbe modo di costruire un modello di elicottero con motore a vapore che sperimentò con successo il 29 giugno 1877. Il debutto ufficiale della sua macchina avvenne però nella natia Milano quando più volte la sua realizzazione si alzò da terra raggiungendo i tredici metri di altezza e permanendo in volo per trenta secondi. Dopo questa dimostrazione, gli studi dell'ingegnere milanese non proseguirono su questa strada. Non si conoscono le ragioni che indussero il Forlanini ad orientare i suoi studi verso altre strade; probabilmente si rese conto che la tecnologia a disposizione – relativamente alla propulsione – impediva il progresso di quel genere di apparecchi e, analogamente al britannico Cayley, rivolse sempre più le sue attenzioni verso i palloni e dirigibili, alcuni dei quali vennero utilizzati durante il primo conflitto mondiale.

Gli studi della tecnologia dell'ala rotante in Italia caddero progressivamente nell'oblio salvo essere risvegliati da un altro eclettico ingegnere quale fu Corradino d'Ascanio. Laureatosi in ingegneria meccanica presso l'allora Istituto Tecnico Superiore di Torino (oggi *Politecnico*) intraprese la carriera militare presso il Battaglione Aviatori di Torino. Ebbe quindi subito modo di entrare in contatto con le costruzioni aeronautiche e nel breve tempo giunse a realizzare differenti apparecchiature come un apparato anticongelamento dell'olio motore per i velivoli Farman 14, un non meglio precisato sistema di 'autopilota' ed una radio di bordo. Terminato il primo conflitto mondiale abbandonò la carriera militare iniziando a lavorare per l'ing. Ottorino Pomilio, suo ex ufficiale superiore al Battaglione Aviatori, che attraverso un'apposita impresa a carattere familiare, tentò l'avvio di costruzioni aeronautiche negli Stati Uniti. Se in Italia il termine del primo conflitto mondiale portò all'interruzione dei finanziamenti per gli studi, la ricerca nonché la produzione di aeroplani, negli Stati Uniti il fervore continuò tanto da poter prospettare adeguati successi commerciali. Sfortunatamente l'avventura americana si risolse in un nulla di fatto e d'Ascanio rientrò in Italia nel 1919 dove nella natia

Popoli, in Abruzzo, aprì uno studio professionale dedito alla realizzazione di applicazioni ingegneristiche delle più disparate in diversi ambiti. Tuttavia l'indole e l'inclinazione lo spinsero ad occuparsi nuovamente di aeronautica ed in questo probabilmente contribuì anche l'amicizia nel frattempo stretta con il generale Alessandro Guidoni. Risalgono al 1922-1923 i suoi primi studi sull'ascensione verticale e nel maggio del 1925 tentò, invano, di partecipare al concorso per un elicottero di grande potenza indetto dalla Regia Aeronautica – *Direzione generale del genio e delle costruzioni aeronautiche*, non potendovi tuttavia partecipare essendosi presentato oltre i termini stabiliti. L'elicottero presentato da d'Ascanio, costruito grazie a finanziamenti concessi da Pietro Trojani, un nobile barone locale col quale si mise in società al fine di poter realizzare – e possibilmente commercializzare – questo tipo di macchina, era di tipo coassiale con rotori controrotanti. La difficoltà maggiore si incontrò nel reperire il motore ed una richiesta di cessione di un propulsore – anche radiato – tipo Le Rhone da 80 HP venne respinta dalla Direzione superiore del Genio proponendogli invece l'acquisto di un esemplare di detto motore, ma necessitante riparazioni. Ciò inevitabilmente si ritorse contro le tempistiche prestabilite per il confezionamento della macchina e da qui la formale esclusione dal concorso. Una ragione formale ma che nasconde l'avversione dell'aeronautica verso questo tipo di macchine per di più richieste dalla acerrima 'nemica', la Regia Marina<sup>15</sup>.

Questo disagio non fiaccò la lena dell'ingegnere abruzzese che mise comunque a punto la propria macchina che fece volare il 19 maggio 1926 e alla quale diede il nome di DAT<sup>1</sup> derivandolo dagli acronimi di d'Ascanio e di Pietro Trojani. Il velivolo, tuttavia, si danneggiò in fase di collaudo come pure una sua evoluzione, denominata DAT<sup>2</sup>, messa a punto nell'ottobre dello stesso anno. Tali modelli erano di tipo birotore coassiale controrotante ma la mancata applicazione di un giunto cardanico tra le pale ed il loro punto di innesto sull'albero rotore, in modo da renderle flessibili e non rigide, fece sì che all'aumento della velocità di rotazione delle pale del rotore superiore, queste si inclinassero verso il basso sino a rovinare su quelle inferiori. La risposta a questo problema l'ingegnere la trovò in «una cerniera orizzontale che permetteva alla pala di sollevarsi verticalmente annullando in questo modo il momento di flessione alla radice e le sollecitazioni sul mozzo e sull'albero motore»<sup>16</sup>. Questa soluzione venne progressivamente adottata da tutti i prototipi di elicottero che successivamente nacquero.

Nel 1929 D'Ascanio confezionò la sua nuova macchina – con tutti gli accorgimenti necessari –, il DAT<sup>3</sup> grazie al concorso finanziario della Regia

---

<sup>15</sup> Ivi, pp. 57, 59.

<sup>16</sup> Marinacci, *Il volo della Vespa*, cit., p. 44.

Aeronautica per lire 600.000. Eccone le specifiche tecniche secondo la descrizione fatta dal professore Enrico Pistolesi:

Due eliche bipale coassiali, ruotanti in senso inverso: interessante il meccanismo epicicloidale tipo < differenziale > disposto per la trasmissione del moto agli alberi delle due eliche, in modo da assicurare in ogni istante l'eguaglianza delle due coppie di reazione e quindi la loro perfetta compensazione. Le pale sono snodate all'attacco e girevoli attorno al loro asse geometrico, per poterne variare il passo a volontà del pilota; la variazione del passo è ottenuta agendo sopra un timone presso l'estremità di ciascuna pala. L'elica è montata a ruota libera, così che in caso di arresto può funzionare in auto rotazione come paracadute a superficie virtuale, previa inversione del passo. Per il governo la macchina è fornita di tre elichette, una sotto la coda per l'assetto longitudinale (e quindi anche per la traslazione), una a sinistra del pilota per l'assetto trasversale, una a destra per la direzione<sup>17</sup>.

Il velivolo effettuò le sue prove presso l'aeroporto militare di Ciampino Nord presso Roma e nell'ottobre dello stesso anno, ai comandi del pilota collaudatore Marinello Nelli, conquistò ben tre primati: di durata in volo senza scalo (8'45"), di distanza in linea retta senza scalo (metri 1.078,6), di altezza (metri 18)<sup>18</sup>. L'avvenimento venne a lungo festeggiato e finalmente venne tributato il dovuto riconoscimento al d'Ascanio per l'opera compiuta; ovunque, negli ambienti aeronautici internazionali, venne dato risalto all'impresa dell'ingegnere abruzzese tranne che in Italia. Sarebbe stato logico aspettarsi un maggiore interesse da parte delle autorità militari – che tra l'altro finanziarono questo progetto – allo sviluppo del DAT<sup>3</sup> ma, paradossalmente, ciò non avvenne. Vi sono a riguardo tesi discordanti tra chi sostiene una velata opera denigratoria operata ai danni del d'Ascanio da parte di insigni ingegneri militari e chi, invece, sostiene essere riconducibile il disinteresse subito manifestato dalle amministrazioni militari, ai conflitti esistenti tra Regia Aeronautica e Regia Marina per accaparrarsi maggiori finanziamenti pubblici per i propri progetti nonché per la gestione dei velivoli loro necessari<sup>19</sup>. Se dal punto di vista militare, quindi, venne persa un'ottima occasione per sviluppare una macchina che di per sé dimostrò elevate qualità, da un punto di vista commerciale la società d'Ascanio-Trojani mancò la possibilità di rendere partecipe all'iniziativa un'impresa privata di grandi dimensioni quale la Fiat.

---

<sup>17</sup> Citazione riportata in Curami, *Lo sviluppo dell'elicottero in Italia*, cit., p. 62.

<sup>18</sup> Ivi, p. 47.

<sup>19</sup> Ibidem; si vedano anche Marinacci, *Il volo della Vespa*, cit., e Ludovico, *L'invenzione dell'elicottero*, cit.



Figura 23. Corradino d'Ascanio, 1930, DAT<sup>3</sup>.

Ad Agnelli venne presentato il DAT<sup>3</sup> nel luglio del 1931 e a quanto pare se ne invaghì tanto da rendersi disponibile alla sua costruzione presso le officine Fiat e alla sua commercializzazione; ma la richiesta avanzata dal barone Trojani di una caparra alla cieca di lire cinque milioni fece presto svanire questa opportunità. Il DAT<sup>3</sup> rimase così figlio unico e per di più senza prole. Nel 1932 venne sciolta la società tra d'Ascanio e Trojani e l'ingegnere abruzzese trovò successivamente occupazione, grazie alla notorietà ormai acquisita negli ambienti aeronautici, presso le officine Piaggio di Pontedera. Qui ebbe modo di applicare tutte le sue conoscenze sulle eliche sviluppando un particolare modello a passo variabile che venne utilizzato dal bombardiere trimotore Piaggio P.16 con ottimi risultati; di conseguenza dal 1934 Corradino d'Ascanio cominciò a dirigere per la Piaggio l'Ufficio studi della sezione eliche. Presso la Piaggio il d'Ascanio ebbe modo progressivamente di ritornare al suo vecchio amore, l'elicottero; tra il 1935 ed il 1937 vennero realizzati il PD<sup>1</sup> ed il PD<sup>2</sup>, ulteriori elaborazioni del famoso DAT<sup>3</sup>. Un salto di qualità lo raggiunse nel 1939 realizzando il PD<sup>3</sup> che così egli stesso descrisse: «La sua struttura è costituita da una fusoliera di forma molto allungata in traliccio di tubi d'acciaio ricoperto di tela, sormontata verso la parte anteriore da un breve albero sul quale è sistemata una grande elica tripala del diametro di 13 metri. Il PD<sup>3</sup> è munito di motore Alfa Romeo 115 da 120 cavalli vapore»<sup>20</sup>. Ovviamente era dotato di rotore di coda in funzione di anticoppia essendo singolo il rotore principale e questo fu un elemento di maggiore distinzione dai progetti precedenti. Ecco come si presentava il PD<sup>3</sup>:

Il nuovo elicottero PD<sup>3</sup> è del tipo ad una sola elica sustentatrice con compensazione della coppia di reazione ottenuta mediante un'elica ausiliaria coniugata con la stessa elica sustentatrice. È stata scelta questa soluzione tra quelle possibili per le seguenti ragioni:

La soluzione delle due eliche coassiali controrotanti oltre a risultare di peso alquanto superiore e di notevole maggior ingombro rispetto a quella della soluzione scelta,

<sup>20</sup> Marinacci, *Il volo della Vespa*, cit., p. 63.

impedisce la realizzazione di forti velocità di traslazione: inoltre in queste condizioni di volo si creano delle dannose interferenze fra le due eliche.

Il sistema delle due eliche controrotanti disposte lateralmente alla fusoliera ed impiegate dal Guidoni e poi, con successo, da Focke, presenta il grave inconveniente di essere obbligati ad ingombrare aerodinamicamente l'apparecchio in modo notevole con le piramidi in traliccio di tubo per il sostegno delle eliche, ed è molto difficile se non impossibile il riuscire a fare tali sostegni leggeri e aerodinamicamente poco resistenti, data la variabilità della direzione del vento relativo rispetto ai sostegni stessi nei vari assetti di volo dell'apparecchio.

Il sistema analogo al precedente con eliche disposte una dietro l'altra all'estremità della fusoliera, pur risultando aerodinamicamente più fine, offre anch'esso un volo di traslazione l'inconveniente fra le eliche.

Altri schemi possibili non sono apparsi meritevoli di considerazione.

La soluzione con una sola elica sostenitrice dà una perdita di potenza tra elica ausiliaria ed effetto coniugato dall'elica principale di un massimo del 10% della potenza spesa, perdita che è largamente compensata dalla leggerezza e più di tutto dall'abolizione d'ingombri aerodinamici nocivi, abolizione tanto più necessaria quanto più è elevata la velocità della macchina<sup>21</sup>.

Lo scoppio del secondo conflitto mondiale interruppe gli sviluppi della nuova macchina di d'Ascanio mentre i bombardamenti alleati sugli stabilimenti Piaggio di Pontedera giunsero a danneggiarla gravemente. Con il termine del secondo conflitto mondiale, il radicale mutamento dello scenario internazionale con le sue ripercussioni sull'industria aeronautica nazionale, costrinse necessariamente Corradino d'Ascanio ad occuparsi d'altro e, sempre per la Piaggio, disegnò e progettò lo scooter *Vespa* nel 1946 che tanto successo ebbe – ed ha tuttora – nel campo motociclistico. Intanto nell'aprile 1948 venne invitato formalmente dall'*American Helicopter Society* a partecipare al IV congresso nazionale che si tenne a Philadelphia; in questa occasione Igor I. Sikorsky pubblicamente dichiarò come il contributo dell'ingegnere abruzzese sia stato fondamentale per lo sviluppo del volo verticale. Ne nacque una buona amicizia anche se non portò a nessuna collaborazione tecnica. Il successo ottenuto da d'Ascanio in America convinse così la Piaggio a rilanciare la sperimentazione e sviluppo dell'elicottero PD<sup>3</sup> nel 1949 dal quale si ricavò una seconda versione che andò distrutta – senza causare vittime – durante un volo di prova il 23 febbraio 1951; mentre più rivoluzionario fu il progetto del PD<sup>4</sup> di chiara ispirazione al modello statunitense birotore in tandem Bristol 125 che tanto affascinò Enrico Piaggio. Sul tardo 1951 l'elicottero era già pronto ed iniziò i voli di prova: si trattava di un elicottero munito di due rotori in tandem, sincronizzati, su piani sfalsati, propulso da un motore Franklin da 215 HP

---

<sup>21</sup> Curami, *Lo sviluppo dell'elicottero in Italia*, cit., pag. 75.

anche se il progetto iniziale prevedeva un propulsore di maggiore potenza quale un Alfa Romeo da 450 HP che, tuttavia, non fu pronto per tempo. È proprio a causa della carenza di propulsione che è ascrivibile l'incidente accorso all'apparecchio durante un volo di prova il 5 agosto 1952.



**Figura 24.** Corradino d'Ascanio – Piaggio, PD<sup>4</sup>, 1952.

L'unica vittima dell'incidente fu la volontà di Enrico Piaggio di continuare con le sperimentazioni elicotteristiche: la Vespa ed i prodotti motociclistici in generale (come il celebre motocarro Ape) si erano affermati sul mercato producendo ragguardevoli utili ed assorbendo ormai la quasi totalità delle attenzioni ed energie dell'impresa. L'ingegnere abruzzese dovette quindi rassegnarsi dinanzi alla decisione dell'impresa di abbandonare le sperimentazioni delle costruzioni elicotteristiche; lasciò la Piaggio nel 1961 avendo ormai compiuto 70 anni di età ma con ancora la voglia di studiare, progettare, sperimentare; voglia che lo spinse a realizzare un progetto di «eliante per l'addestramento primario»<sup>22</sup> nello stesso 1961. Consisteva in un apparecchio privo di propulsore dove il rotore veniva azionato da getti d'aria compressa emessi da appositi ugelli inseriti direttamente nell'estremità delle pale. L'aria veniva pompata e messa in pressione da apposito compressore a terra e veicolata all'apparecchio per il tramite di un lungo tubo. La configurazione, viste le finalità di addestramento basico, era a biposto a doppio comando e permetteva un'elevazione di circa 4/5 metri e un raggio di movimento entro i 10 metri. Per la realizzazione di questo progetto si rivolse alla Costruzioni aeronautiche Giovanni Agusta nel 1964 a cui si legò mediante un contratto di «consulenza esclusiva nel campo dell'ala rotante»<sup>23</sup>. L'idea interessò assai Domenico Agusta, alla guida dell'azienda di famiglia di Cascina Costa di Samarate, in quanto la realizzazione di questo progetto si proponeva di ridurre considerevolmente i costi legati

<sup>22</sup> Marinacci, *Il volo della Vespa*, cit., pag. 98.

<sup>23</sup> Ibidem.

all'istruzione basica dei piloti accelerandone anche i tempi di formazione. Tuttavia – non se ne conoscono le cause – il progetto non giunse a termine. In una lettera del 5 febbraio 1964 l'Agusta stabilì così l'ingaggio di D'Ascanio per i seguenti lavori ed alle seguenti condizioni:

Piccolo elicottero per il volo stazionario, il cui rotore è azionato da getto freddo, alimentato da aria compressa portata da tubazione flessibile proveniente da una centrale di bombole a terra, oppure da un compressore.

1) Un successivo elicottero per il volo vero e proprio che incorpora le soluzioni costruttive del primo oppure altre soluzioni che si renderanno necessarie, il cui rotore è azionato da compressore d'aria esistente a bordo, oppure da altro motore direttamente.

2) Eventuali altri ritrovati nel campo del volo verticale.

La realizzazione degli sperimentali di cui sopra sarà fatta dalla nostra ditta a totali proprie spese e i prodotti che saranno realizzati sia nei suoi componenti singoli, che complessivamente, saranno di nostra esclusiva proprietà, così pure i brevetti che li copriranno. [...] Siamo altresì d'accordo che in questo periodo di due anni ed eventuali rinnovi, Lei è impegnato di fornirci in esclusiva la Sua consulenza nel campo dell'ala rotante<sup>24</sup>.

La soluzione proposta dal d'Ascanio, ovvero imprimere il moto rotatorio al rotore mediante ugelli posti all'estremità delle pale, non era nuova alle costruzioni elicotteristiche. Nel 1953 l'americano Igor Bensen progettò e realizzò allo stadio prototipico un elicottero leggero monoposto dotato di due statoreattori posti, appunto, alle estremità delle due pale componenti il rotore principale. Analoga soluzione si riscontra sul modello francese Gaucher Remicopter del 1957; oppure in quella presentata dal modello americano della Montecopter Triphibian del 1959, elicottero triposto leggero a reazione dove il movimento del rotore derivava sempre da appositi ugelli posti alle estremità delle pale. Sulla stessa scia si riscontrano i modelli H-3 Sprinter della tedesca VFW-Fokker nel 1969 ed Helicop-Jet della casa francese Etablissements Charles Déchaux nel 1970. Similare soluzione, ma con accorgimenti particolari, è il prototipo di elicottero progettato e realizzato in via prototipica dall'italiana Fiat a partire dal 1956 col suo modello 7002; si trattava di un elicottero a 'getto freddo'. L'aria veniva compressa da un motore/compressore e convogliata agli ugelli posti sempre alle estremità delle pale imprimenti così il moto al rotore.

---

<sup>24</sup> Citazione tratta da: Giovanni Antonio Fiorilli, *Corradino D'Ascanio e la ricostruzione del dopoguerra* in Sovrintendenza archivistica per l'Abruzzo e il Molise, *Corradino d'Ascanio, dall'elicottero alla Vespa*, cit., p. 186.



Figura 25. FIAT 7002, 1961.

Quello che maggiormente distingue il progetto del d'Ascanio, però, sono le finalità stesse della sua macchina: non si proponeva l'obiettivo di sperimentare una soluzione alternativa al metodo ormai classico dei propulsori (a pistoni e/o a reazione che gradualmente cominciarono a motorizzare sempre più modelli di elicotteri) dai quali ricavare la forza necessaria per imprimere il moto, attraverso il complesso organo della trasmissione, al rotore principale e al rotore di coda. La sua finalità era di creare una macchina del tutto simile nei comportamenti all'elicottero ma di limitate capacità al fine di addestrare i novelli piloti. Un progetto, quindi, non tanto finalizzato alla ricerca e sperimentazione pura ma contestualizzato al mondo della produzione aeronautico-elicotteristica e non a caso proposto alla Costruzioni aeronautiche Giovanni Agusta che della produzione elicotteristica – su licenza di case americane – in Italia era diventata leader indiscussa. Se da questo progetto si sarebbe potuto trarre qualche nuovo spunto o interpretazione del volo verticale non lo sappiamo, anche se la stessa Agusta – così come possiamo scorgere dal contenuto della lettera sopra richiamata – sembrò lasciare aperta ogni porta a possibili sviluppi futuri. La stessa mancata realizzazione, anche allo stadio prototipico, di questa macchina fa presumere che vennero a mancare alla base determinati elementi indispensabili per poter portare avanti il progetto. A tal proposito possiamo solo fare alcune considerazioni, mancando del tutto documentazione tracciante questa iniziativa presso l'impresa di Cascina Costa. Di sicuro l'elemento mancante non può essere di carattere tecnico-ingegneristico

alla luce delle capacità e abilità progettuali del d'Ascanio; molto più probabilmente, ostative alla realizzazione di questo progetto, furono valutazioni di carattere economico che non resero conveniente l'investimento richiesto. Se alla Piaggio, al di là del menzionato incidente del 1952 accorso al PD<sup>4</sup>, la decisione di Enrico Piaggio di sospendere ogni ulteriore sperimentazione/perfezionamento dell'elicottero trovò nel successo commerciale dei prodotti motociclistici e suoi derivati la ragione primaria di concentrare le risorse finanziarie in un settore in grado di gratificare i capitali investiti, all'Agusta – anch'essa in forte espansione commerciale – non è escluso che venne adottata simile scelta. Gli anni Sessanta rappresentano per l'impresa di Cascina Costa un momento di forte espansione della produzione elicotteristica – sempre di modelli su licenza di case americane – e probabilmente il progetto di d'Ascanio, conti alla mano, non offrì quelle economie sperate inizialmente.

Le figure di Enrico Forlanini e, soprattutto, di Corradino d'Ascanio sono punti di riferimento obbligatori per chiunque voglia entrare in contatto con la storia dell'elicottero in Italia. Ciò non toglie che anche altri costruttori/inventori tentarono la costruzione di macchine ad ascensione verticale nel Bel Paese. Si riscontrano infatti il progetto dell'ingegnere Alfredo Varni del 1907 che costruì un modello di *ciclopiano dirigibile con paracadute*, il progetto dell'*elicoplano* Cobiانchi (mai realizzato), dell'*ortoelicottero* dell'ing. Franz Miller di Torino, l'elicottero *Autovol 2* del 1908 dell'industriale farmaceutico Achille Bertelli, l'elicottero Pedrucci-De Filippi del 1915. Si hanno poi il progetto del professore Enrico Pistolesi – docente della Regia scuola d'ingegneria di Pisa – che propose una soluzione simile a quella che oggi comunemente viene chiamata *convertiplano*; il progetto dell'ingegnere Alessandro Marchetti – noto per i suoi brillanti progetti d'aerei e dal 1922 direttore tecnico della Società Idrovolanti Alta Italia (SIAI) di Sesto Calende –, e il progetto dell'ingegnere Giovanni Pegna.

La configurazione dell'elicottero disegnato dal Marchetti sarebbe stata quella tipica del doppio rotore quadripala coassiale controrotante, tutte a passo variabile, per un peso totale di 1.200 kg. Alla propulsione venne previsto un motore Le Rhone da 110 CV. La variazione dell'angolo di incidenza delle pale sarebbe avvenuto, come per il DAT<sup>3</sup> di d'Ascanio, tramite superfici orientabili poste all'estremità delle pale sotto diretto comando del pilota garantenti così il volo traslato. Non si conoscono le ragioni che impedirono all'ing. Marchetti di portare avanti il suo progetto di elicottero.

Il progetto dell'ing. Giovanni Pegna, presenta invece delle sostanziali differenze rispetto a quello del Marchetti. Riporta, a proposito, Andrea Curami:

Progettato nel 1923 e di tipo marino. Aveva quattro eliche in croce, connesse tra loro con trasmissioni e coppie di ingranaggi conici. Le eliche erano a passo

comandabile del tipo allora studiato e provato dal prof. ing. Enrico Pistolesi. Una leva comandava il passo delle eliche, in modo da avere con spostamenti longitudinali, la stabilità longitudinale, e con spostamenti laterali quella trasversale. Un'elica normalmente a passo nullo aveva le pale orientabili mosse dalla pedaliera di direzione. Le pale delle eliche di sostegno erano ad incidenza variabile invertibile per la discesa a motore spento e per la richiamata d'inerzia all'atto del contatto con l'acqua. Un giunto ad attrito poteva sconnettere il sistema di eliche dal motore o viceversa. Non fu costruito; avrebbe presentato gli inconvenienti propri delle pale rigide e le eliche erano di diametro eccessivamente piccolo per la discesa senza motore<sup>25</sup>.

Un altro tentativo venne compiuto dall'ing. Giuseppe Somalvico col suo So 1 David – brevettato l'8 settembre 1917 – che presentava una configurazione del tutto particolare: due ali circolari controrotanti ma poste una sopra e l'altra sotto la struttura. La traslazione venne affidata ad un'elica spingente traente forza motrice dalla medesima fonte di quella dei due rotori controrotanti. Giunto allo stadio prototipico, venne testato il 24 ottobre 1921 fallendo – e andando perso – durante il tentativo di ascensione<sup>26</sup>.

Negli anni Trenta si riscontrano altri interessanti progetti avanzati direttamente al Ministero dell'Aeronautica da parte di singoli progettisti. Uno di questi è il progetto per un non meglio precisato *aeroplano-elicottero* per mano del dott. Domenico Mastini che, allo scopo, interessò l'*Associazione Nazionale Fascista Inventori* nel 1935. Questa si fece latore del progetto presso la *Direzione generale delle costruzioni e degli approvvigionamenti* del Ministero dell'Aeronautica affinché giudicasse, ed eventualmente finanziasse, la costruzione del prototipo. Sfortunatamente non è stato possibile reperire alcuna documentazione originaria del progetto anche se alcuni aspetti e temi trattati ci possono far indurre a ritenere, già dal nome, come la configurazione fosse tipica di un *tilt rotor* birotore. La suddetta Direzione analizzò il progetto sul principiare dell'ottobre dello stesso anno fornendo le seguenti preliminari impressioni:

1 – I due funzionamenti della macchina, rispettivamente da aeroplano e da elicottero, appaiono possibili; 2 – Non si comprende però come possa svolgersi in volo il passaggio da un genere di funzionamento all'altro e quali possono essere le modalità per la corrispondente manovra; 3 – La forma delle curve dei momenti [...] non fa comprendere in qual modo possa rendersi stabile longitudinalmente la macchina quando funziona da velivolo [sic.]; 4 – La macchina non è esente da complicazioni costruttive molto gravi, come: il peso considerevolissimo che

---

<sup>25</sup> Curami, *Lo sviluppo dell'elicottero in Italia*, cit.

<sup>26</sup> Ibidem.

dovrebbe avere la trave per la sua lunghezza e disposizione rispetto al carico e alle superfici portanti; la difficoltà di far passare i comandi del motore e degli alettoni dalla fusoliera alla trave e da questa alle ali, quando questi tre elementi debbono poter ruotare ciascuno rispetto a quello prossimo di 90°; 5 – Pur ritenendo attendibili i ragionamenti fatti per stabilire le modalità quantitative del funzionamento della macchina come elicottero, su tale argomento non si può fare nessuna seria previsione senza eseguire prove aerodinamiche con modello speciale funzionante da elicottero; 6 – Infine si è fortemente in dubbio sulla opportunità di costruire una macchina funzionante da aeroplano o da elicottero, quando questo secondo tipo di macchina è di per se tanto poco sperimentato e quindi richiede di essere studiato isolatamente<sup>27</sup>.

Domenico Mastini provvide quindi a consegnare un apposito modellino alle autorità ministeriali affinché potessero testarne l'aerodinamicità nella galleria del vento ma i risultati ottenuti furono deludenti in quanto tale modello si ruppe durante gli esperimenti. A questo punto il progettista propose di poter affidare la costruzione del modellino a personale esperto nella costruzione della strutture aeronautiche ricorrendo anche all'ausilio di nuovi materiali difficilmente reperibili sul libero mercato e chiese alla Direzione delle Costruzioni di intercedere affinché si potesse predisporre tutto quanto richiesto per la realizzazione del secondo modello. Tuttavia l'autorità ministeriale, nell'aprile del 1937, decise di non andare oltre avendo riscontrato, oltre a seri problemi strutturali, gravi mancanze in altri aspetti progettuali:

Questa Direzione non ritiene opportuno procedere alla costruzione di un nuovo modello più robusto dell'apparecchio <Mastini> per i seguenti motivi. In primo luogo per ragioni costruttive, perché data l'eccentricità delle grandi masse delle due ali [con ali, in questo contesto, si intendono le pale, *nda*] l'elevato valore della forza centrifuga agente su di esse, sarebbe estremamente difficile assicurare una robustezza sufficiente alla macchina. Del resto le rotture verificatesi sul modello, anche dopo il rinforzo che ne è stato fatto, stanno a dimostrare in quali precarie condizioni si verrebbe a trovare sotto questo punto di vista l'apparecchio in vera grandezza. [...]. Inoltre nel funzionamento dell'apparecchio come elicottero od elicogiro, poiché le ali sono fissate rigidamente alla trave girevole [albero rotore, *nda*], data la diversa velocità dell'ala avanzante rispetto a quella retrocedente, nascerebbe un forte disequilibrio specialmente nel piano trasversale. Questo disequilibrio in tutti i moderni elicotteri ed autogiri è stato eliminato snodando le pale del mozzo.<sup>28</sup>

---

<sup>27</sup> Archivio Centrale dello Stato (d'ora in poi, ACS), Fondo *Ministero dell'Aeronautica*, Serie *Gabinetto 1937*, busta 17, fasc. *Elicottero Mastini*.

<sup>28</sup> Ivi.

Queste furono le principali ragioni che spinsero a non andare oltre col progetto dell'elicottero Mastini. Osservazioni mirate cui da tempo lo sviluppo della tecnologia dell'ala rotante aveva già fornito adeguate risposte come, appunto, l'attacco articolato delle pale all'albero motore operato da la Cierva già nel 1924. Sulle osservazioni avanzate riguardo la fragilità della struttura poco si può dire mancando le specifiche del progetto originale; sicuramente le criticità saranno state elevate dato che il modello proposto era addirittura un *tilt rotor*. Configurazione, questa, che non è dato riscontrare in nessuno dei precedenti progetti avanzati da inventori italiani.

Il *tilt rotor* sembra essere una soluzione assai gradita, vista la presentazione – su questo calare degli anni Trenta – di altri progetti simili da parte di singoli inventori/progettisti italiani. Nel marzo del 1937 l'addetto aeronautico presso la Regia Ambasciata d'Italia di Rio de Janeiro inoltrò al Ministero dell'Aeronautica una bozza di progetto proposta da un connazionale colà residente, Amato Armini. Più che di progetto vero e proprio possiamo parlare di un primo abbozzo di idea non avendo allegato alla sua proposta alcun disegno e/o specifiche preliminari. Si tratta di un classico *tilt rotor* bimotore essendo certo, sostiene l'autore, che questo tipo di macchina avrebbe caratterizzato il futuro della prossima aviazione. Scrisse a riguardo:

La macchina aerea, che in luogo delle due ali comuni di una data superficie, possessa due <ali-eliche> di una superficie uguale, governate nella velocità e posizione dalla cabina di comando, potrà [...] elevarsi e abbassarsi in modo perfettamente verticale a seconda della volontà del suo pilota; potrà praticamente mantenersi nell'aria senza spostarsi in alcun senso e potrà avanzare in senso orizzontale con velocità superiori a quelle degli apparecchi attuali<sup>29</sup>.

Sulle soluzioni tecnologiche da adottarsi, il sostenitore di questo progetto risulta essere assai vago e sembra esprimersi senza l'adeguata conoscenza specifica in merito, anche se avanza differenti soluzioni:

La tecnica ed opportuni esperimenti determineranno i migliori materiali da usarsi, la migliore forma e la migliore disposizione di queste <ali-eliche>; determineranno se sarà più conveniente munirle ognuna di un motore a parte oppure azionarle per mezzo di un albero cardanico con giuntura snodata partente da un apparato motore centrale; determineranno se sarà meglio il loro angolo di incidenza rispetto la orizzontale mediante altro albero cardanico connesso ad un volante di comando oppure mediante un comando automatico che attui su di un motorino elettrico azionante sulla perpendicolare dell'asse della singola <ali-elica>. L'equilibrio

---

<sup>29</sup> ACS, Fondo *Ministero dell'Aeronautica*, Serie *Gabinetto 1937*, busta 17, fasc. *Armini Amato*.

orizzontale della nuova macchina volante (la quale non sarà altro che un moderno ed efficiente elicottero) oltrech  agevolato dal peso della cabina posta sul centro trasversale e sospesa al di sotto del piano orizzontale delle <ali-eliche>, si otterr  regolando convenientemente la velocit  delle singole <ali-eliche> stesse e aprendo e chiudendo le doppie <superfici-timoni> che si installeranno al di sotto di ogni <ala-elica><sup>30</sup>.

La risposta dell'ente ministeriale non si fece attendere stroncando sul nascere ogni possibilit  di sviluppo dell'idea-progetto perch : «la sua idea, gi  avanzata da altri inventori, non   praticamente attuabile»<sup>31</sup>.

Su questo punto non v'era dubbio alcuno. Resta da appurare se le autorit  ministeriali stessero, nel contempo, seguendo le sperimentazioni e i tentativi che anche da altre parti del mondo si stavano compiendo in tal senso.

Risale al 1938 un altro progetto di elicottero disegnato da un montatore meccanico romano, Achille Torregiani la cui configurazione richiama molto, pur mancando specifici dettagli e riferimenti, quella di un *compound*: «due eliche di tipo diverso tra loro e da quelle comunemente impiegate, una per la trazione orizzontale l'altra per il sostenimento in volo e la trazione verticale: per modo che l'apparecchio pu  per quest'ultima caratteristica, scendere come un paracadute»<sup>32</sup>. Anche in questo caso non si ritenne necessario indagare oltre da parte delle autorit  preposte.

Nessuno di questi progetti venne realizzato. Abbiamo pocanzi visto come la Regia Marina si rese promotrice di un tentativo di bando per la realizzazione di un elicottero analogamente a quanto venne fatto in Gran Bretagna dal Ministero dell'Aeronautica che il 30 aprile 1922 bandi un concorso del tutto analogo a quello della Marina italiana. Ma anche in Inghilterra, alla scadenza del bando (nel 1924) dei sedici progetti presentati nessuno raggiunse l'obiettivo prefissato. A riguardo Domenico Ludovico fornisce una versione pi  politica che tecnica; gli ambienti tecnico/aeronautici britannici mossero severe critiche all'*Air Ministry* accusato di non dedicare le dovute attenzioni ai progetti di velivoli a decollo verticale. In tutta risposta venne quindi bandito tale concorso gi  preventivamente attendendosi il mancato raggiungimento degli obiettivi. Non fu, quindi, una mossa atta a stimolare lo studio, la progettazione ed il perfezionamento della tecnologia ad ala rotante, ma soltanto una risposta politica alle richieste e accuse mosse contro le istituzioni. Il fallimento del concorso raffredd  infatti gli entusiasmi di quanti ebbero modo di eccitarsi dinanzi gli esperimenti andati a buon fine sul continente e la stampa tecnica di settore britannica (*The Aeroplane, Aircraft Engineering et alii*) presto distolse

---

<sup>30</sup> ACS, Fondo *Ministero dell'Aeronautica*, Serie *Gabinetto 1937*, busta 17, fasc. *Elicottero Mastini*.

<sup>31</sup> Ivi.

<sup>32</sup> ACS, Fondo *Ministero dell'Aeronautica*, Serie *Gabinetto 1938*, busta 17, fasc. *Achille Torregiani*.

l'attenzione dagli elicotteri. Al punto tale che anche il successo ottenuto dal d'Ascanio venne colto molto tiepidamente mentre in altri contesti venne giustamente riconosciuta la portata dell'impresa compiuta per l'intera tecnologia legata all'ala rotante<sup>33</sup>.

Mosse politico-istituzionali che interessarono anche le amministrazioni militari del nostro Paese. Non è un caso che ad indire il concorso per elicotteri del 1925 fu la neonata Regia Aeronautica e non nuovamente la Regia Marina. Con decreto legge n. 62 del 24 gennaio 1923 il Regio Esercito e la Regia Marina vennero private del controllo delle proprie forze aeree che confluirono sotto un Commissariato per l'aeronautica, ovvero quell'organismo che poco dopo divenne a tutti gli effetti la terza forza armata del paese, appunto la Regia Aeronautica, con compiti di gestione di qualsiasi velivolo di natura tanto civile quanto militare. In un simile contesto, dove agivano forti attriti tra i vertici militari di esercito e marina e gli esponenti del primo governo Mussolini, sicuramente la preoccupazione di incentivare lo studio e lo sviluppo dell'ala rotante non era considerata prioritaria. Il bando, in un simile contesto e senza alcuna preventiva incentivazione tecnico/finanziaria per l'elicottero, avrebbe sicuramente portato al mancato raggiungimento degli obiettivi e al contestuale contenimento delle pressioni delle altre Forze Armate, soprattutto della Regia Marina, affinché si ponesse maggiore attenzione allo sviluppo della tecnologia dell'ala rotante.

Il deflagrare del secondo conflitto mondiale nel giugno 1940 incentrò tutte le attenzioni del Ministero dell'Aeronautica su problematiche contingenti le operazioni belliche. Le attenzioni verso le novità in campo aeronautico furono quasi esclusivamente indirizzate verso lo sviluppo di velivoli nazionali ad ala fissa dimostratisi, sul campo, tecnicamente inferiori sia a quelli del nemico che degli alleati germanici. Progressivamente molte problematiche di natura tecnica furono aggirate ricorrendo direttamente alla tecnologia tedesca sia per singole componentistiche – ad esempio i propulsori Daimler-Benz serie 600 – che per intere macchine come lo Junkers Ju 87 “Stuka”, bombardiere in picchiata, ribattezzato dalla Regia Aeronautica *Picchiatello*.

Lo stallo delle attenzioni rivolte alla tecnologia dell'ala rotante e i suoi possibili sviluppi in Italia fu pressoché totale ma ciò non significò un disinteresse completo per queste macchine. Infatti si guardava con attenzione al già menzionato PD<sup>3</sup> che Corradino d'Ascanio stava progettando e perfezionando presso la Piaggio di Pontedera. Se l'Italia, a quel tempo, sembrò non offrire ancora validi progetti, l'alleato germanico a riguardo fece ragguardevoli passi avanti sin dagli anni Trenta; e ai loro ritrovati, adesso come per i casi di aerei sopra indicati, si guardava con interesse.

---

<sup>33</sup> Ludovico, *L'invenzione dell'elicottero*, cit., pp. 31, 34.

Nel maggio 1943 il senatore Ammiraglio Giulio Valli avanzò un'interrogazione al Ministero dell'Aeronautica sul perché di tanto silenzio riguardo lo sviluppo e l'incoraggiamento della tecnologia dell'ala rotante avendo come fine, principalmente, la sua spendibilità in campo civile:

L'impiego di questi mezzi, anche se in un primo tempo di limitato rendimento, trova immediata e preziosa attuazione nelle comunicazioni tra i centri abitati montani, pur se impervi, mettendoli in rapido contatto tra loro e con le nutrienti pianure adiacenti, contribuendo al miglioramento della loro vita economica [...]. Sono note le difficoltà tecniche che si oppongono ancora oggi ad un alto rendimento di questo mezzo in paragone al volo slittante, verso il quale si è diretta trionfalmente la speculazione applicativa; ma non v'ha dubbio che esse saranno agevolmente superate, per poco che la nostra genialità vi si dedichi con acuto intento. Del resto anche un tipo di elicottero delle caratteristiche di quello adottato con fortuna in Germania potrebbe fin da ora rendere utili servizi<sup>34</sup>.

Il Ministero dell'Aeronautica a questo punto palesò la sua politica nei confronti degli elicotteri. Sul campo nazionale si stavano attendendo gli sviluppi del PD<sup>3</sup>: «per il quale tuttavia non si prevede un rapido sviluppo»<sup>35</sup> mentre, sul versante estero, l'attenzione non poteva che rivolgersi agli sviluppi compiuti dai tedeschi. Nella fattispecie l'attenzione ricadde sul Flettner 282 che le autorità germaniche – soprattutto la marina – stavano sospingendo e che diede ottimi risultati. Fu il primo elicottero ad essere ordinato in centinaia di unità da parte delle Forze Armate tedesche anche se la sua spendibilità sul campo bellico non fu degna di nota. Ma, almeno sotto l'aspetto tecnologico, rappresentò un balzo in avanti ragguardevole. Figlio dell'eccentrico progettista Anton Flettner, padre di differenti prototipi di velivoli, il Flettner 282 si distingueva dagli altri elicotteri per una peculiarità: il doppio rotore controrotante intersecante (*intermeshing rotor*). L'apparecchio era dotato di due rotori bipala, ciascuno col proprio albero rotore, posti uno accanto all'altro a debita distanza e inclinazione. La rotazione delle pale, giranti l'una in senso inverso all'altra, era sincronizzata affinché non collidessero tra loro. Questa soluzione, a detta del progettista, permetteva di non utilizzare il rotore posteriore anticoppia semplificando così la costruzione e la struttura complessiva dell'apparecchio<sup>36</sup>.

Ma lo sviluppo e l'interessamento per questo tipo di macchine venne travolto, come tutto il Paese, dagli eventi bellici sul calare dello stesso anno.

---

<sup>34</sup> ACS, Fondo *Ministero dell'Aeronautica*, Serie *Gabinetto 1943*, busta 30, fasc. 25 'Elicotteri'.

<sup>35</sup> ACS, fasc. 25 'Elicotteri'.

<sup>36</sup> Per maggiori dettagli su questo particolare apparecchio si veda, tra gli altri, Steve Coates, *Helicopters of the Third Reich*, Ian Allan Printing Ltd., Surrey, 2002.



**Figura 26.** Flettner 282, 1940.

### **L'avvio della produzione in serie degli elicotteri in Italia per iniziativa della Costruzioni aeronautiche Giovanni Agusta**

Nonostante nel nostro Paese non mancarono sperimentazioni portanti al volo verticale, in particolar modo riferendoci all'esperienza di Corradino d'Ascanio, l'avvio della produzione elicotteristica avvenne per il tramite di tecnologia importata dall'estero, nella fattispecie dagli Stati Uniti d'America. Non è questa la sede per argomentare le ripercussioni, derivanti dalla sconfitta militare scaturita dal secondo conflitto bellico, nel campo dell'aviazione italiana nel suo complesso. È importante invece rilevare come il generale contesto culturale, tecnico e scientifico sottostante la costruzione e progettazione di questi apparecchi, in Italia fosse piuttosto arretrato e sconosciuto alla grande massa. Il sostantivo *elicottero*, ancora sul principiare degli anni Cinquanta, stentava a trovare cittadinanza nello stesso vocabolario della lingua italiana. In questo contesto, un imprenditore del varesotto giocò d'azzardo e riuscì ad attribuirsi, l'11 agosto 1952, la licenza di costruzione, riparazione e vendita degli elicotteri Modello 47 da parte della casa americana *Bell Aircraft Company*: Domenico Agusta. A capo dell'azienda di famiglia, la *Costruzioni aeronautiche Giovanni Agusta* – fondata dal padre ed operante a Cascina Costa di Samarate, provincia di Varese, dal 1923 – egli intuì la spendibilità commerciale e il

grande avvenire che l'aviazione avrebbe gradualmente riconosciuto a questo tipo di macchine. Sin dalle sue origini questa impresa della brughiera varesina si dedicò alla revisione e manutenzione degli apparecchi della Regia Aeronautica basati principalmente negli aeroporti militari contigui, quello della Malpensa *in primis*. Domenico Agusta, insieme ai fratelli minori Vincenzo, Mario e Corrado, nonché alla di loro madre, guidava l'impresa dal novembre 1927 quando, prematuramente, venne a mancare il fondatore. Nonostante l'aspirazione a progettare e costruire aerei per proprio conto, la piccola azienda non riuscì ad accrescere il suo status di impresa manuttrice di velivoli, nemmeno durante la blanda fase di riarmo dell'Italia in vista dell'imminente conflitto quale si rivelò successivamente essere la Seconda guerra mondiale. Il panorama dei costruttori aeronautici nazionale degli anni Venti-Trenta era ormai saldamente dominato da soggetti imprenditoriali assai più organizzati e preparati quali Caproni, SIAI-Marchetti, Macchi, Piaggio, FIAT Avio, CANT ed altri ancora minori. La cessazione delle ostilità e la conseguente immediata imposizione alleata di abbandono delle costruzioni aeronautiche da parte dell'Italia, non poté che stroncare definitivamente l'aspirazione di ascendere al rango di costruttore in proprio di velivoli. Nonostante il tentativo di optare per le costruzioni aeronautiche di impiego civile grazie anche all'ingaggio di un progettista di primo piano quale fu l'ing. Filippo Zappata, le attività cantieristiche rasentarono il loro minimo storico e poterono sopravvivere grazie all'avvio della produzione motociclistica – sotto il marchio divenuto poi celebre dell'MV-Agusta –, frutto di una conversione industriale, onde evitare la chiusura totale degli stabilimenti. Ma grazie alla volontà della sopra menzionata casa americana di voler trovare un partner commerciale europeo e alla destrezza imprenditoriale di Domenico Agusta, l'azienda di Cascina Costa poté rilanciare le sue attività cantieristico-aeronautiche anche se in una veste e forma sino ad allora completamente sconosciuta.

Se per le officine di Cascina Costa l'elicottero rappresentò una novità assoluta, lo stesso non si può dire della conoscenza di questo genere di apparecchi da parte del titolare dell'impresa, Domenico Agusta. Nel 1931, quando Corradino d'Ascanio era alle prese col suo DAT<sup>3</sup>, un altro progetto di elicottero si affacciò alla ribalta attirando le attenzioni del Ministero dell'Aeronautica: il *Giroplano Scatizzi*. Padre Pio Scatizzi, professore di calcolo superiore presso il Collegio Pontificio a Roma, insieme all'ing. De Caria, si fece promotore di un giroplano (o *giroplano-elicottero* come venne anche definito) del tutto particolare: un'elica sostentatrice a quattro pale attivate dal motore per il tramite di un'apposita trasmissione a disinnestabile a piacimento per far funzionare l'apparecchio come autogiro. Sui fianchi della fusoliera trovavano posto due semiali indipendenti e orientabili a piacimento. Probabilmente al moto traslato avrebbe sopperito lo stesso propulsore. Il progetto preliminare parve piacere e soddisfare gli organi ministeriali preposti che, quindi,

non si preoccuparono eccessivamente della macchina del d'Ascanio. Tuttavia si trattava comunque solo di un progetto, ancora da sviluppare, testare e finalmente far approdare allo stadio prototipico. Ma è proprio un qualificato sviluppatore, ovvero – in questo contesto – un'impresa aeronautica, che difettò al duo Scatizzi-De Caria. Tentarono di interessare la ditta Caproni facendo notare all'ingegnere trentino come la costruzione di questa macchina ebbe modo di ricevere il plauso e la benedizione dello stesso pontefice, Pio XI, in quanto auspicabile per l'opera di assistenza ed evangelizzazione nelle aree remote ove operavano le missioni. Scrisse a riguardo Scatizzi all'ing. Caproni nell'aprile 1931:

Le accludo qui un articolo [...] col quale può rassicurarsi di quanto Le dissi sulle intenzioni del S. Padre, ma ciò che prometterà il successo mondiale è il mio disegno dell'aviazione missionaria. Con un Papa così missionario ognuno comprende a volo la relativa facilità con la quale si potranno stabilire delle reti di soccorso settimanale o bisettimanale che da una base civile si possa allacciare una o più stazioni avanzate ed isolate nell'interno dell'Africa come nelle zone del Tibet, dell'India, dell'Arcipelago australiano. Già nell'Alaska e nel Sud-Africa sono in pieno corso gli aeroplani missionari. Ma bisognerebbe far presto e non lasciarsi prevenire da Società straniere<sup>37</sup>.

A quanto pare la Caproni si disinteressò del progetto e forse, proprio per non abbandonare padre Scatizzi, lo indirizzò verso un costruttore minore col quale intratteneva buoni rapporti commerciali: la Costruzioni aeronautiche Giovanni Agusta. Nel dicembre 1932 Padre Scatizzi, l'Agusta e l'Amministrazione Aeronautica firmarono regolare contratto per la realizzazione del *Giroplano Scatizzi*. Dopo quattro mesi, nell'aprile 1933, venne ridefinito il contratto per quanto riguardava la realizzazione tecnica del progetto prevedendo, ora, una riduzione del carico utile da 250 a 125 kg e la sostituzione del motore inizialmente prescelto. Il mese successivo, il 14 maggio, il modellino per le prove aerodinamiche fu pronto e venne testato alla presenza dei funzionari dell'arma aerea. L'esito fu deludente in quanto: «risultò che la coppia di reazione dell'elica non veniva esattamente compensata, tanto che il modello entrava, ad intervalli, in rotazione sia in un che nell'altro senso»<sup>38</sup>. Nell'immediato, l'ing. De Caria propose l'introduzione di superfici verticali disposte nel senso del moto, un pianetto fisso anteriore per l'equilibratura longitudinale e la riduzione delle pale rotore da quattro a tre onde scongiurare il ripetersi dell'inconveniente riscontrato e altri minori. Modifiche sostanziali che spinsero Scatizzi a rivolgersi al Ministero, nel giugno dello stesso

<sup>37</sup> Sovrintendenza archivistica per l'Abruzzo e il Molise, *Corradino d'Ascanio, dall'elicottero alla Vespa*, cit., pp. 128-129, lettera Pio Maria Scatizzi / ing. Caproni, Roma, 14 aprile 1931.

<sup>38</sup> ACS, Fondo *Ministero dell'Aeronautica*, Serie *Gabinetto 1937*, busta 16, fasc. Scatizzi-Agusta.

anno, onde capire se doveva lavorare sul vecchio progetto oppure presentare un modello nuovo radicalmente modificato nei contenuti. La *Direzione generale per le costruzioni e gli approvvigionamenti*, tuttavia, non volle entrare nel merito delle specifiche lasciando ampia libertà di scelta al progettista. Scatizzi non sembrò individuare la scelta ottimale e, di conseguenza, nel dicembre 1933 l'amministrazione aeronautica rescisse il contratto. Ciò non demoralizzò Padre Scatizzi che continuò a perfezionare il proprio progetto ripresentandolo alle autorità militari tre anni dopo. Il nuovo progetto, adesso denominato *Giroplano integrale*, «presenta una diversa sistemazione del motore e della deriva verticale, diversa carenatura del complesso ed altre varianti di secondaria importanza»<sup>39</sup>. Nonostante gli accorgimenti introdotti al progetto originario (di cui non è stata rinvenuta documentazione tecnica alcuna), la *Direzione Costruzioni* ravvisò nel nuovo giroplano integrale molteplici mancanze sia dal punto di vista aerodinamico che costruttivo tali da scoraggiare ogni ulteriore sviluppo. Ma questa volta, a detta del progettista, il modellino superò le prove nel tunnel aerodinamico presso Taliedo, alle porte di Milano, sotto stretta osservazione del Gen. Rodolfo Verduzio che ebbe modo di riscontrare il perfetto bilanciamento della forza di coppia. A quanto pare l'esito positivo delle prove preliminari permise a Scatizzi di strappare l'impegno dell'Amministrazione Aeronautica al finanziamento della costruzione del prototipo salvo individuare un costruttore disponibile. Infatti l'Agusta, dopo l'esito fallimentare del primo progetto, probabilmente si disinteressò all'iniziativa tanto che Padre Scatizzi si trovò nuovamente senza l'appoggio di officina aeronautica alcuna. Scrisse a riguardo il gesuita: «Quello che purtroppo c'è da deplorare è che i cantieri aeronautici italiani mancano di iniziativa quando si tratta di uscire menomamente dalla solita linea comune di lavoro e, se non solo spinti da qualche forza superiore, non credo sia possibile raggiungere mai questa costruzione che tutto fa prevedere appartenga al prossimo futuro»<sup>40</sup>. Il velivolo di Padre Scatizzi non venne mai costruito.

Probabilmente Domenico Agusta ebbe modo di ricordare, nei primi anni Cinquanta, quanto accaduto quasi vent'anni addietro quando gli si profilò l'opportunità di costruire elicotteri. Ma questa volta le premesse erano profondamente differenti. Ci si trovava dinanzi ad una tecnologia altamente sviluppata e rodata da parte americana, ben codificata, la cui affidabilità vantava quasi dieci anni d'esperienza. Il modello cui l'Agusta inizialmente ottenne la licenza è il Bell 47 D, ovvero quell'elicottero prodotto dalla casa americana Bell Aircraft Company che già nel lontano 1946 ottenne regolare certificato civile di navigabilità.

Cominciò così, per la piccola impresa aeronautica di Cascina Costa, il pellegrinaggio di ingegneri e tecnici presso gli stabilimenti americani della casa

---

<sup>39</sup> Ivi.

<sup>40</sup> Ivi.

licenziante e, ovviamente, l'inizio di un travaso di conoscenze tecnologiche riguardanti la tecnologia dell'ala rotante, completamente assente a quei tempi in Agusta.



**Figura 27.** Bell 47.

Il primo elicottero prodotto su licenza dall'Agusta volò nel 1954 e fu già nella nuova versione *G* contrariamente a quanto inizialmente statuito nel primo accordo di licenza. L'avvio della costruzione di questo apparecchio segnò l'inizio di un lungo sodalizio tra le due case che, attraverso numerosi altri contratti di licenza, portò alla produzione in Italia di altri modelli, tutti caratterizzati dalla nomenclatura *AB*, ovvero *Agusta-Bell*. Al modello *47 G* seguì pochi anni addietro la licenza di costruzione del modello *47 J*. Pochi anni addietro vennero sottoscritte le licenze per i modelli Bell *204* e *205* seguite, a breve, dalla licenza per il modello *206*. Si aggiunsero progressivamente le licenze dei modelli Bell *212* e, ultima, quella del Bell *412*. Parallelamente l'Agusta ottenne, nel corso degli anni Sessanta, la licenza di costruzione di modelli di elicotteri anche da parte di altri blasonati costruttori americani quali la Sikorsky (modelli *S-61* nelle versioni *SH-3D* e *HH-3F*) e la Boeing (modello *CH-47 C*).

Se quindi è corretto definire, sotto questo profilo, l'Agusta di quegli anni come un'azienda dedita alla costruzione di modelli di elicotteri interamente progettati da ditte americane – e quindi dipendenti dai ritrovati tecnologici operati negli Stati

Uniti –, non altrettanta cittadinanza trova questa definizione se posta dinanzi alle varie sperimentazioni originali che nel corso degli anni l'azienda di Cascina Costa pose mano conseguendo risultati – dal punto di vista progettuale-ingegneristico – non trascurabili. Infatti, non passarono nemmeno cinque anni dall'avvio della produzione su licenza che l'Agusta cominciò a dedicarsi all'autonoma progettazione di questi apparecchi. La figura di Domenico Agusta incorporava in sé lo stereotipo del classico paternalismo imprenditoriale congiuntamente alla volontà di ricercare differenti nuove strade e sviluppi per le proprie attività cantieristiche. Era conscio che il legame stretto col gigantesco costruttore americano – che nel corso dei quarant'anni seguenti ebbe modo di intensificarsi tanto da giungere a costruire su licenza un variegato numero di modelli – non avrebbe permesso il completo sviluppo della propria azienda. Era, tuttavia, parimenti conscio che il *gap* tecnologico che divideva le due realtà imprenditoriali era, per quei tempi, abissale. Ciò non lo demoralizzò e sul finire degli anni Cinquanta incentivò lo studio di un elicottero leggero monoposto che prontamente venne realizzato: nacque l'A103, il primo elicottero interamente progettato e costruito in Agusta. Lungo 6,10 metri e alto 2,20, era propulso da un motore anch'esso disegnato e costruito direttamente in fabbrica sotto il marchio MV, cui dipendevano le officine meccaniche dedite alla costruzione dei propulsori per le motociclette. È questo uno dei pochi casi in cui l'Agusta ebbe modo di motorizzare un elicottero che altrimenti dipendeva dall'importazione, anch'essa americana, dei propulsori (salvo poi essere prodotti in Italia su licenza da un altro costruttore aeronautico, la Piaggio). Si trattava del motore a pistoni MV GA-70 esprimente una potenza di 80 CV, bastanti per far sollevare in aria l'apparecchio di soli 260 kg di peso a vuoto, crescenti a 440 a pieno carico. La dipendenza dalla tecnologia americana fu alquanto marcata, come ad esempio nella scelta del rotore dove venne applicata la barra stabilizzatrice tipica dei rotori d'elicottero Bell. La macchina venne portata in volo il 30 settembre 1959 e dimostrò di poter raggiungere i 155 km/h, una tangenza operativa di 4.000 metri e un'autonomia di circa 450 km. L'impiego pratico, secondo le aspettative, avrebbe interessato compiti di osservazione e/o lavori avio-agricoli. Nonostante l'Agusta-Bell 47 G, nelle sue versioni iniziali, fosse già un elicottero biposto esprimente potenza di 200 CV e oltre, la scelta di costruire simile apparecchio risentì probabilmente degli umori serpeggianti presso il Ministero Difesa Aeronautica di quegli anni. Si pensava, infatti, ad una pratica spendibilità per un elicottero di piccole dimensioni avente principalmente compiti di osservazione; inoltre si riteneva che le ridotte dimensioni avrebbero proporzionalmente comportato minori costi di progettazione, fabbricazione, manutenzione e gestione.



**Figura 28.** A103, 1959.



**Figura 29.** A103, 1959.

Una particolarità costruttiva che lo differenziava dalla linea di produzione dei coevi modelli Bell era la struttura della coda, interamente chiusa, senza più ricorrere alla complessa struttura a *traliccio* che tante ore lavoro richiedeva in fase di costruzione.

Per le finalità richieste e per i requisiti tecnici, l'elicottero – portato in volo per la prima volta il 30 settembre 1959 – dimostrò tutta la sua efficienza ma ben presto ci si rese conto che lo sviluppo di questi apparecchi necessitasse la possibilità di ospitare a bordo un secondo pilota-osservatore. Venne quindi progettato e costruito quasi contestualmente all'A103 il modello A104, del tutto simile nella struttura al precedente modello ma con cabina di pilotaggio biposto. Alla propulsione di questo velivolo venne dedicato il motore, sempre a pistoni, MV

GA-120 esprime potenza di 140 CV. La configurazione biposto, oltre alle mansioni inizialmente preconizzate per l'A103, poteva trovare spendibilità anche nel contesto dell'addestramento basico dei piloti. Il prototipo dimostrò buona affidabilità e rispondenza ai compiti richiesti e venne portato in volo per la prima volta il 21 dicembre 1960.

---



**Figura 30.** A104, 1960.



**Figura 31.** A104, 1960.

---

Si tratta, in entrambi i casi, di elicotteri di piccole dimensioni cui – per la prima volta – gli ingegneri e tecnici dell'Agusta ebbero modo di cimentarsi familiarizzando con la progettazione e costruzione *ex-novo* di questo tipo di apparecchi. Sicuramente l'obiettivo di progettare e costruire un elicottero di siffatte dimensioni era alla portata di mano per la giovane attività di costruzioni elicotteristiche intrapresa dall'Agusta, ma questo non significò il disinteressamento totale verso molteplici applicazioni dell'ala rotante come nel caso di elicotteri dal peso assai elevato. Parallelamente all'avvio della progettazione del modello A103 nel 1958, vennero poste le basi per un progetto assai più arduo e complicato denominato AZ111, altrimenti chiamato *elicottero gru*. La lettera Z affiancata

all'acronimo del nome Agusta, stava ad indicare il cognome dell'allora Capo degli uffici tecnici, l'ing. Filippo Zappata. Ingaggiato dall'Agusta sul principiare degli anni Cinquanta nel tentativo di avviare la costruzione di aerei civili per proprio conto, Zappata firmò differenti progetti di aerei uno dei quali, l'AZ8, conobbe il battesimo dell'aria. Il tentativo di avvio di produzione di velivoli ad ala fissa da parte dell'Agusta nei primi anni Cinquanta meriterebbe uno studio e approfondimento separato che in questa sede non potrebbe che sminuirne la portata. Progettista, quindi, dedito principalmente ai disegni di apparecchi ad ala fissa, il suo variegato apporto tecnico-scientifico in Agusta non conobbe, tuttavia, limiti. Oltre alla progettazione di velivoli, si dedicò all'organizzazione integrale delle officine meccaniche dell'Agusta e non mancò di apportare propri contributi anche nella costruzione degli elicotteri come avremo modo di approfondire di seguito nel testo. L'AZ111 è il primo progetto di elicottero cui probabilmente Zappata ebbe modo di dedicarsi e, in considerazione della complessità e ambizione del progetto, il suo apporto non dovette essere trascurabile. Risalgono all'ottobre del 1958 i primi – ed unici – disegni di questo tipo di macchina cui differenti costruttori, soprattutto americani, stavano dedicando sempre più costanti attenzioni. Un tipo di macchina, lo *Skycrane*, che palesa la spendibilità dell'elicottero come macchina da lavoro, potendo trasportare carichi assai pesanti per lunghe distanze in contesti operativi inaccessibili tanto via terra quanto via aerea da parte di apparecchi ad ala fissa. Questo progetto, tuttavia, non venne successivamente elaborato.

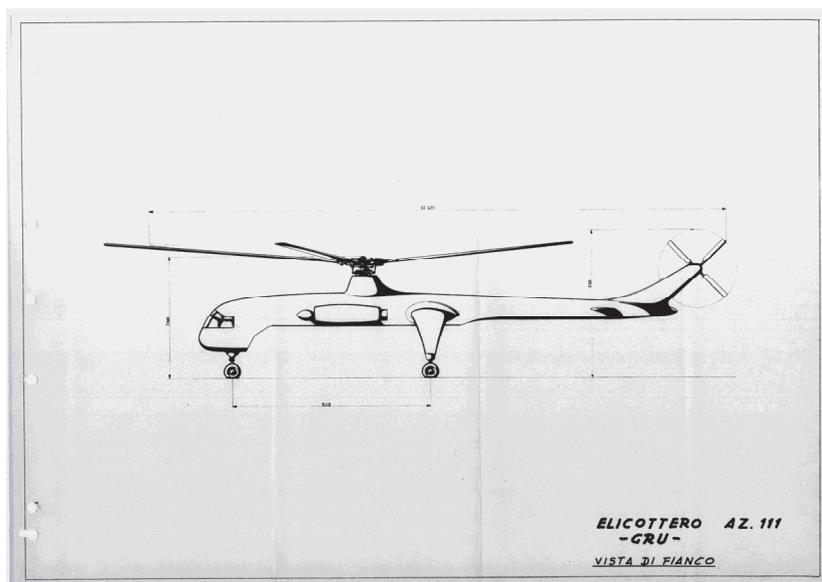


Figura 32. AZ111, 1961.

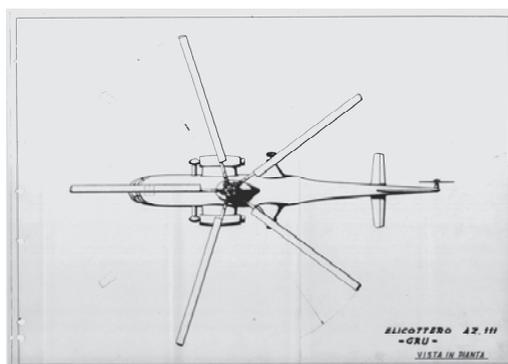


Figura 33. AZ111, 1961.



Figura 34. AZ111, 1961.

Gli ultimi anni Cinquanta ed i primi Sessanta videro gli uffici tecnici dell'Agusta pervasi da un fervore progettuale assai variegato. Oltre ai già citati progetti – con i primi due giunti allo stadio prototipico – un altro progetto assorbì le energie degli ingegneri Agusta: il modello *AB102*. Pur comparando l'acronimo del binomio Agusta-Bell, in questo caso non si trattava di un elicottero Bell costruito su licenza da parte di Agusta ma di una macchina progettata e realizzata a due mani. Il punto di partenza nella progettazione di questa macchina era il modello Bell 48, un progetto le cui caratteristiche tecniche dovevano soddisfare determinati requisiti statuiti dal committente, l'americana USAAF. Lo sviluppo di questa macchina fu travagliato poiché la casa americana incontrò notevoli difficoltà nel progettare una macchina del genere che si distingueva, dalle precedenti, soprattutto per la sua aumentata capacità di carico che contemplava una cabina in grado di trasportare almeno dieci passeggeri. Pur derivandolo dall'esperienza accumulata con la produzione del Bell 47, il nuovo modello differiva sotto molteplici punti di vista. Le dimensioni assai più elevate dovendo ora poter trasportare un numero di passeggeri

tre volte superiori al modello 47 (omologato per due, alcune versioni del modello 47 permettevano di ospitare in cabina di pilotaggio tre persone, piloti inclusi); una motorizzazione del tutto nuova ricorrendo non più ad un motore a pistoni a 6 cilindri contrapposti (i Franklin, prima e Lycoming, dopo) ma ad un Pratt & Whitney R-1340-5 5 Wasp da 600 CV, radiale, posto orizzontalmente nella parte posteriore della cabina; un carrello quadriciclo che rappresentava una novità rispetto ai carrelli a pattini delle produzioni precedenti ed altre ancora. L'incapacità di risolvere tutte le problematiche incontrate nello sviluppo di questa macchina entro i tempi prefissati dall'USAAF fecero sì che le autorità militari prescelsero per i propri scopi il Sikorsky S.51. Il Bell 48, pertanto, rimase lettera morta sino a quando, sul calare degli anni Cinquanta, Domenico Agusta strinse accordi con la casa americana per riattualizzare il progetto. L'idea di base fu di rendere il Bell 48, originariamente concepito come una macchina rispondente ad esigenze militari, un elicottero per impiego civile, sfruttando la sua capacità di carico. Nonostante l'Agusta avesse già in costruzione il nuovo modello 47 J, con una capacità di carico di 4/5 persone, la possibilità di mettere in produzione un elicottero dalle ulteriori aumentate capacità di carico venne presa seriamente in considerazione, soprattutto constatando come la richiesta di elicotteri tendesse sempre più ad incentrarsi su macchine dalle prestazioni più elevate con aumentato carico pagante. Pertanto venne acquisita la licenza del Bell 48 nel corso del 1956 e vennero subito avviati i lavori di *restyling* per trasformare il vecchio Bell 48 in una macchina competitiva sul nascente mercato di elicotteri ad uso civile. Il risultato fu, appunto, l'AB102 che vide tecnici ed ingegneri delle case Bell e Agusta lavorare a stretto contatto a Cascina Costa sotto la supervisione dell'americano ing. Stanley Martin. Dopo solo un anno e mezzo la macchina fu pronta per il volo di collaudo. In questo caso non si trattò, per Agusta, di progettare interamente la macchina: la meccanica e i gruppi dinamici erano praticamente già disponibili. Il valore aggiunto riguardò nella fattispecie la struttura che venne sapientemente ridisegnata ed alleggerita.



Figura 35. Bell 48.



**Figura 36.** AB102.



**Figura 37.** AB102.

Tra le operazioni di alleggerimento della struttura vi fu quella ricadente nella reintroduzione del carrello a pattini, assai più leggero del possente carrello quadriciclo del Bell 48. I particolari accorgimenti introdotti per rendere questa macchina un elicottero civile confortevole non inficiarono sui pesi complessivi. Ad esempio gli otto comodi posti retrostanti i sedili piloti come anche l'impianto di riscaldamento di cui l'originaria versione militare del modello 48 era sprovvista. I punti deboli di questa macchina furono sostanzialmente due: la motorizzazione e il contesto storico in cui nacque.

La soluzione per il propulsore ricadde nell'affidabile motore radiale a pistoni Pratt & Whitney R-1340-S1H4 da 600 CV, come da progetto originario, ma la sua collocazione – esattamente come nel Bell 48 – implicava maggiore manutenzione. Essendo montato orizzontalmente, di sovente travasi d'olio giungevano a bagnare le candele, soprattutto dopo un prolungato periodo di inutilizzo, dovendo pertanto ricorrere ogni volta alla loro pulizia. Un problema, di per sé, per il quale si sarebbe

potuto trovare adeguata soluzione se solo fosse continuato lo sviluppo di questa macchina. È infatti il contesto storico in cui debuttò questo elicottero che sancì la breve vita di questo modello. Il primo volo avvenne a Cascina Costa il 3 febbraio 1959 e nel corso dello stesso anno Domenico Agusta era pronto a presentarlo all'esposizione internazionale di Parigi senonché venne ad apprendere dalla Bell che la casa americana vi avrebbe partecipato col suo nuovo modello, il Bell 204. Le due macchine, per capacità di carico, entravano in diretta concorrenza; ma sotto il profilo tecnologico riguardante la struttura (costruita facendo largo ricorso a nuovi materiali e fusioni), l'aerodinamicità e la motorizzazione, il salto qualitativo del Bell 204 si rivelava surclassante l'AB102. Soprattutto la motorizzazione di questo nuovo modello creava un divario consistente derivante dal motore a turbina Lycoming T-53 da 770 CV che rappresentò per la casa americana l'inizio dell'adozione di motori a turbina sui propri elicotteri. L'AB102, pertanto, rimase presto orfano e non conobbe mai una produzione di serie. Un lotto di 7/12 macchine (le fonti sopravvissute sono discordanti sull'esatta quantità realmente costruita) andarono a soddisfare le richieste di alcune nascenti compagnie private di trasporto civile con elicottero, ma vennero costruite come se si trattasse di macchine sperimentali, senza mai entrare nei consolidati cicli di produzione delle officine Agusta.

Al di là della sorte cui toccò questa macchina, quanto è più importante rilevare nell'esempio offertoci da questo progetto risiede nella capacità sviluppata dai tecnici Agusta di resuscitare un progetto di otto anni addietro e riattualizzarlo sapientemente. Probabilmente se l'introduzione dei motori a turbina nelle costruzioni elicotteristiche fosse avvenuto qualche anno dopo, l'AB102 avrebbe potuto conoscere la produzione di serie stante la validità del risultato finale. Risultato ottenuto grazie alla caparbia degli ingegneri e tecnici Agusta che, seppur sotto la supervisione degli americani, ebbero modo di creare una macchina ai tempi competitiva.

I lavori ottenuti con l'AB102 posero successivamente le premesse per l'elaborazione di un più ampio ed articolato progetto di cui si dirà di seguito nel testo.

L'adozione dei motori a turbina per le costruzioni elicotteristiche, apportanti eguali/maggiori cavalli potenza ma con ragguardevole risparmio in termini di peso, presto interessò anche l'Agusta che entrò in contatto con questa realtà attraverso l'avvio della costruzione del modello AB204 sempre su licenza Bell. Ma anche in questo caso l'azienda di Cascina Costa pose subito mano ad un originale progetto implicante tale motorizzazione. Risale ai primi degli anni Sessanta la progettazione di un elicottero leggero propulso da turbina con sei posti utili (2 + 4), l'A105. La scelta del propulsore fu alquanto singolare. Non potendo ricorrere allo stesso propulsore dell'AB204 per ragioni commerciali e di privativa industriale, Domenico

Agusta decise di costruirlo in proprio, analogamente a quanto fatto in precedenza per i motori MV GA-70 e MV GA-120. Ma l'Agusta, come la Meccanica Verghera, difettava del know-how necessario alla costruzione di un motore a turbina, rappresentando per loro una novità assoluta. Per sopperire a questa mancanza decise quindi di stipulare accordi con il costruttore francese di turbine aeronautiche Turboméca che confezionò appositamente per l'Agusta la turbina Turboméca-Agusta TA-230 da 350 CV. Tale propulsore garantiva una velocità massima di 185 km/h e un'autonomia di 400 km. L'A105 fu quindi il primo elicottero interamente Agusta ad essere equipaggiato con motore a turbina. Un'altra particolarità riguardante questa macchina derivava nell'alloggiamento dei passeggeri i quali erano esterni alla cabina; questa, infatti, ospitava i due posti piloti mentre alle loro spalle, esternamente, vennero previsti quelli dei passeggeri, a coppia di due, collocati longitudinalmente.

L'impiego per il quale venne previsto questo elicottero spaziava da quello militare (principalmente osservazione, addestramento piloti, trasporto truppe) a quello civile (avio agricoltura, trasporto passeggeri e carichi).



Figura 38. A105, 1964.



Figura 39. A105, 1964.



**Figura 40.** A105B, 1964.

Probabilmente presto ci si accorse dell'infelice sistemazione *esterna* dei quattro passeggeri ed infatti venne subito ridisegnata la cabina la quale, nella versione A105B, adesso permetteva di alloggiare due soli passeggeri in cabina (oltre ai piloti) con accesso dedicato.

Il modello A105 ebbe il battesimo dell'aria il 1° dicembre 1964 e venne a lungo testato e messo a punto nel corso di tutto l'anno seguente. L'acquisizione della licenza del modello AB206, il 15 febbraio 1966, pose fine ad ogni sviluppo di questa macchina. Rispetto al modello americano v'erano pregi e difetti; nonostante infatti la turbina del 105 potesse esprimere una potenza di poco superiore a quella del modello americano (350 CV della Turboméca contro i 317 CV della Allison 250 C-18), la capacità di carico di quest'ultimo era superiore, potendo comodamente alloggiare nel suo abitacolo tre passeggeri oltre ai due piloti. Anche l'autonomia era a tutto vantaggio dell'americano coi suoi 600 km circa contro i 400 dell'italiano.

Come già accennato, l'eclettismo non difettava agli uffici tecnici Agusta degli ultimi anni Cinquanta – primi anni Sessanta. Risalgono infatti al 1961 i pochi superstiti disegni di due macchine assai ambiziose: il *compound* A118 ed il *quod-tilt-rotor* A119.

In entrambi i casi, mancando molta della documentazione inerente ai progetti e avendo allora livelli di segretezza assai elevati, non si possono fornire dettagliate descrizioni. Per quanto concerne l'A118 si tratterebbe di un *compound* o *birotore combinato*, secondo la denominazione nostrana di allora, dove la struttura è quella tipica di un aereo lungo 23 m ed avente eguale apertura alare. All'estremità di ciascuna ala trovano posto un'elica trattiva per il volo traslato e un grosso rotore quadripala del diametro di 19 m.

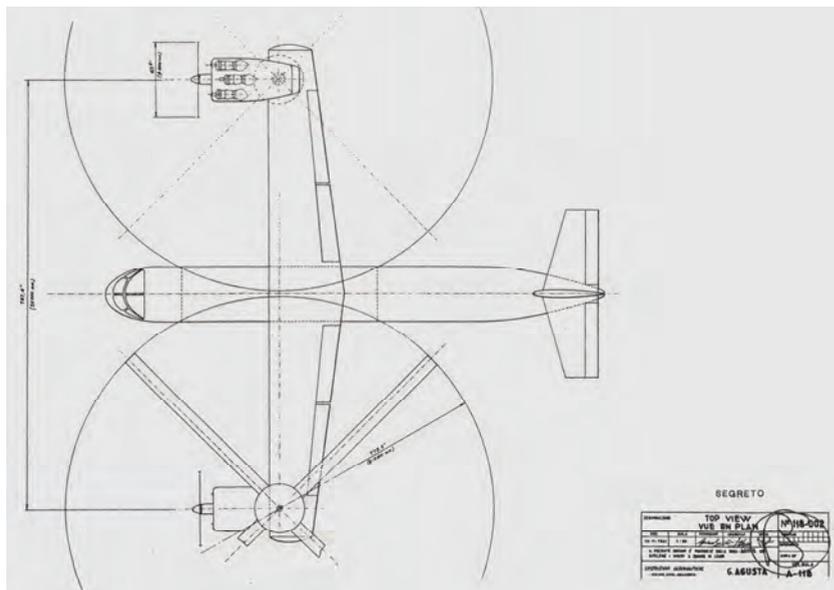


Figura 41. A118, 1961.

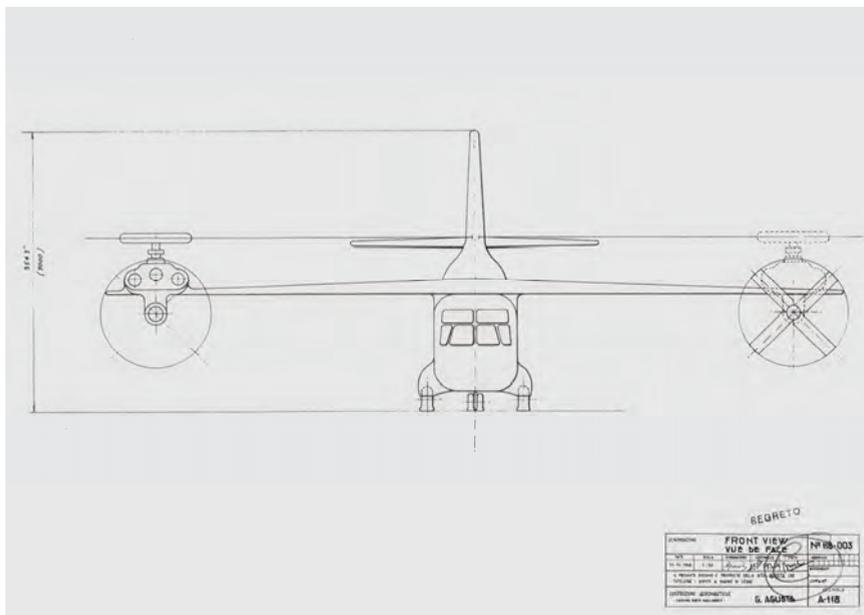


Figura 42. A118, 1961.



Figura 43. A118, 1961.

Una configurazione *side-by-side* dei rotori già incontrata in diversi progetti analizzati nel testo. Per il complesso rotore-elica trattiva, la motorizzazione prevista offriva più varianti: 6 turbine D.H. Gnome oppure 6 turbine T.58-8 o, ancora, 4 turbine T.55. La potenza che i propulsori dovevano giungere ad esprimere, indipendentemente dalla scelta operata, era prevista in 7.500 CV complessivi. Ciò avrebbe permesso alla macchina di raggiungere la velocità di 370 km/h, a pieno carico, a 6.000 m di altitudine.

Il peso a vuoto della macchina venne stimato in 12.500 kg, la capacità di carico in 7.500-12.500 kg per un peso complessivo a pieno carico oscillante tra i 20-25.000 kg. Ma ad eccezione delle sopra esposte tre viste, non è rimasta traccia alcuna sullo studio di fattibilità di una macchina sin dall'apparenza assai complicata.

Un'ulteriore elaborazione è rappresentata dall'altro progetto, ricadente nel medesimo periodo, l'A119. In questo caso si parla di *quod-tilt-rotor* in quanto, a poter variare la propria inclinazione sono ben quattro rotori, due anteriori con eliche trattive e due posteriori con eliche spingenti.

La lunghezza totale di questo apparecchio venne prevista in 20 metri con un'apertura alare di 24. Le turbine, quattro in tutto – modello T.64 – sono collocate a coppia di due a ridosso dei rotori anteriori e avrebbero espresso una potenza totale di 11.000 CV. Una motorizzazione alternativa proponeva due sole turbine modello R.R. Tyne sempre esprimenti medesima potenza. Il movimento dei rotori di coda sarebbe stato da loro trasferito verosimilmente per il tramite di apposite trasmissioni. Il peso totale della macchina venne previsto in kg 22.000. La velocità di crociera a 8.000 m venne stimata in 490-500 km/h. Il diametro dei rotori anteriori era previsto essere superiore a quello dei rotori posteriori, misurando rispettivamente 7 m i primi e 5 m i secondi<sup>41</sup>.

<sup>41</sup> Si ringrazia sentitamente l'ing. Bruno Lovera per aver fornito le poche informazioni superstiti per queste due macchine.

Le complicazioni derivanti da una simile configurazione sono molteplici e dopo molte fatiche e perfezionamenti riescono oggi ad affermarsi dei semplici *tilt-rotor* bimotores come, ad esempio l'AW609.

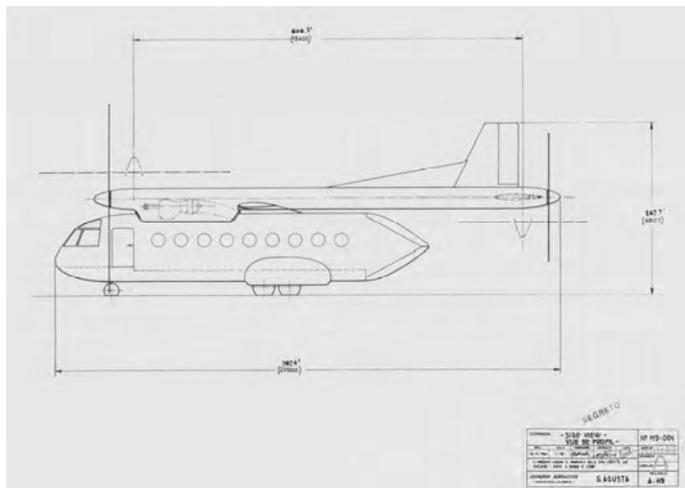


Figura 44. A119, 1961.

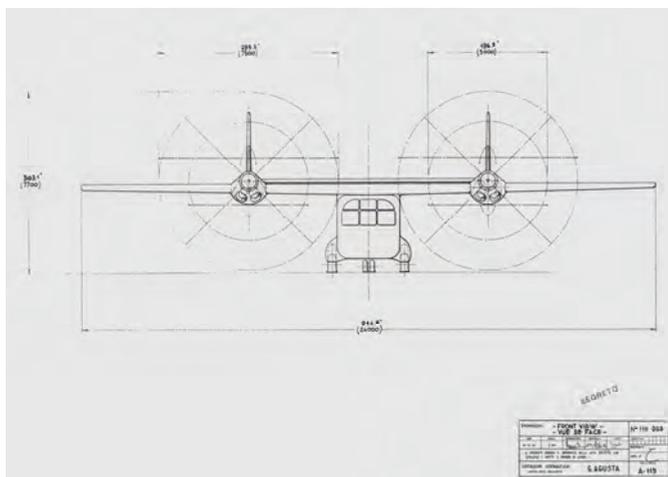
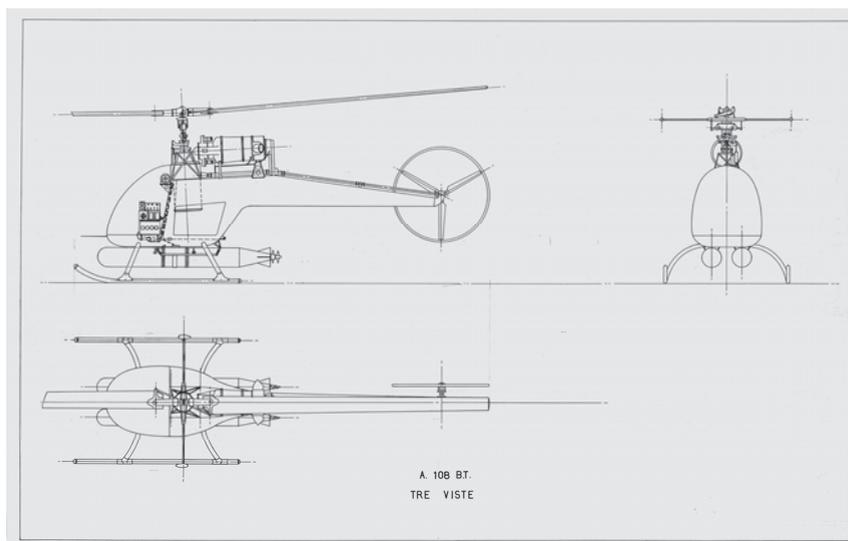


Figura 45. A119, 1961.

Entrambi i progetti furono ispirati dall'ing. André Bruel, attivo presso l'Agusta dal 1960 al 1966, a stretto contatto con gli ingegneri italiani tra cui Bruno Lovera che, congiuntamente all'ing. Antonio Venier, presentarono i progetti al Comando NATO a Parigi nel novembre del 1961. Il concorso indetto dalla NATO per nuovi apparecchi presentati particolari innovative soluzioni nel campo dell'ala rotante, non diede esito positivo per nessuna delle imprese che vi parteciparono. Per

quanto concerne i progetti sopra esposti, le soluzioni avanzate dall'Agusta non vennero ritenute concretizzabili alla luce delle tecnologie dell'epoca.

Parallelamente a impegnativi e straordinari progetti come quelli appena menzionati, proseguì lo studio e la progettazione di elicotteri convenzionali. Dall'esperienza accumulata col modello A105 venne ricavato il progetto per un elicottero monoposto da impiego navale denominato A106. Sul principio degli anni Sessanta, la US Navy stava lavorando al progetto di un elicottero *drone* in grado di poter decollare e atterrare autonomamente dai ponti delle navi. Tale macchina avrebbe permesso alla marina statunitense di condurre la lotta contro unità subacquee nemiche direttamente dalla plancia di comando delle navi da guerra. Ma dopo molteplici studi ed esperimenti, soprattutto riguardanti gli allora sistemi telemetrici di comando a distanza, si resero presto conto come l'allora tecnologia non fosse in grado di soddisfare tali requisiti. Un progetto ambizioso, che interessò anche la Marina Militare Italiana e che trovò nell'Agusta un valido interlocutore. Verso la metà degli anni Sessanta nacquero così parallelamente due progetti, l'A108BT e il già menzionato A106. Scarsa documentazione è sopravvissuta circa la prima macchina la quale doveva essere un *drone* aventi le sopra esposte caratteristiche e per la quale l'Agusta sembrò pensare addirittura ad una motorizzazione propria. Vi è traccia, ad esempio, di un progetto di turbomotore MV A150 da 170 CV in grado di poter alimentare una macchina di piccole dimensioni – permessa dall'abolizione della cabina di pilotaggio – avente un semplice rotore bipala e rotore di coda tripala.



**Figura 46.** A108BT Drone.

Secondo le previsioni, direttamente sotto la pancia dell'elicottero, dovevano trovare posto due siluri per la guerra antisom.

Tra le caratteristiche tecniche che più di tutte attirano le attenzioni su questa macchina, sicuramente ci sono quelle inerenti i sistemi di comando remoto. Sfortunatamente, l'assenza di maggiore dettagliata documentazione non ci fornisce alcuna indicazione su quanto venne, anche se di primo abbozzo, previsto per la manovrabilità a distanza di questo velivolo. La mancanza di un'elettronica in grado di soddisfare le richieste molto probabilmente non spinse ad andare oltre alle prime idee-abbozzi di questo progetto.

Più concreto, ma di non semplice progettazione e realizzazione, si rivelò essere il modello A106. Concepito per operare a bordo delle navi d'appoggio della flotta italiana, tipicamente le fregate, aveva delle dimensioni assai ridotte presentando un'altezza di soli 2,50 m e una lunghezza di m 9,50. Il rotore, bipala metallico con barra stabilizzatrice, permetteva il ripiegamento delle pale onde agevolarne il rimessaggio nei piccoli hangar equipaggianti le fregate. A sua volta, anche l'estremità della coda, alloggiante il rotore di coda bipala, era ripiegabile onde diminuire gli ingombri. Il propulsore era un Turboméca Agusta TAA 230 esprimente 320 CV, sufficienti per motorizzare questa piccola macchina monoposto. Le difficoltà tecniche che dovettero superare gli ingegneri Agusta furono molteplici. Ad esempio, l'altezza ridotta dell'albero rotore creava molteplici problemi nella distribuzione delle forze ed elevati livelli vibratori. Purtroppo questa altezza era strettamente legata all'altezza massima degli hangar imbarcati sulle unità navali, cui non si poteva eccedere. L'installazione di un sistema giroscopico di stabilizzazione, appositamente approntato, scongiurò tali inconvenienti. Altra problematica riguardò la struttura del carrello a pattini. Si dovette predisporre un disegno particolare di questo organo per l'atterraggio in quanto tra i due pattini – e quindi direttamente sotto il ventre della macchina – dovevano poter comodamente trovare posto due siluri Mk.43 coi quali ingaggiare l'unità nemica subacquea. Nonostante questi ed altri minori inconvenienti, i due prototipi richiesti dalla Marina furono finalmente pronti nel corso del 1965 e la macchina ebbe il suo battesimo dell'aria il 20 novembre dello stesso anno. Vennero quindi avviati una serie di test e di prove, condotte direttamente con la Marina, che offrirono risultati discordanti. La macchina, per le sue caratteristiche, si dimostrò essere molto nervosa in fase di controllo, richiedendo quindi al pilota elevate capacità di manovrabilità. In questo contesto, secondo le specifiche iniziali, l'elicottero doveva decollare dall'unità navale di superficie, giungere sul tratto di mare dove si riteneva navigasse un sommergibile, sganciare la sonoboa filoguidata onde individuare esattamente l'unità nemica e, eventualmente, sganciare i siluri. Il tutto mantenendo costanti contatti con l'unità navale di superficie. Come se non bastasse, anche le

caratteristiche dei ponti delle navi italiane di quegli anni resero le manovre ancora più complicate. Spesso, infatti, questi ponti presentavano ancora la conformazione a dorso d'asino, non essendo queste unità sin dal loro varo concepite come navi in grado di dotarsi di elicotteri imbarcati. Di conseguenza il pilota, in fase di atterraggio, doveva premurarsi di eseguire più che correttamente l'appontaggio in quanto la rigidità del pattino a contatto con la convessità del ponte poteva creare situazioni di pericolo.



**Figura 47.** A106.



**Figura 48.** A106.

Dopo molteplici prove il progetto venne accantonato. L'onere ricadente sul pilota era eccessivo e la manovrabilità, nel contesto sopra descritto, troppo a rischio. Solo in un secondo tempo l'evoluzione delle costruzioni navali portò progressivamente a dotare le unità della Marina Militare, sin dal loro varo, di appositi accorgimenti onde ospitare elicotteri a bordo.

Del modello A106 si pensò ad una variante civile, di maggiori dimensioni – il 106B –, in grado di ospitare sino a sei persone, ma non si andò oltre ad un progetto di massima.

La Direzione Tecnica dell'Agusta, nella seconda metà degli anni Sessanta, era quindi impegnata su più fronti: seguire le problematiche legate alla produzione di serie degli elicotteri Agusta-Bell – cui si aggiunsero le macchine su licenza delle case americane Sikorsky e Boeing –, studiare varianti nelle configurazioni e allestimenti di predetti elicotteri (ad esempio, l'AB204 ASW), progettare nuovi elicotteri, progettare nuove macchine *compound*. Se gli anni Sessanta, oltre ai già menzionati 106 e 108BT, proseguirono – a livello progettuale – con altre macchine, come ad esempio l'A115, gli studi per una macchina *compound* ripresero vigore sul finire della decade/primi anni Settanta.

Da uno dei numerosi viaggi compiuti in America, Domenico Agusta venne ad apprendere dello sviluppo di un particolare *compound* da parte della Lockheed e inserito nel programma della US Army dal nome AAFSS – *Advanced Aerial Fire Support System*. La macchina in questione era l'AH-56A Cheyenne dove la struttura era quella tipica di un normale elicottero senonché, all'estremità inferiore della coda, accanto al rotore anticoppia, trovava posto un'elica spingente. Gli americani stavano testando questa macchina e Domenico Agusta non voleva farsi trovare impreparato qualora questa soluzione tecnologica si fosse dimostrata valida. Pertanto sul finire del 1969/primi 1970, venne dato l'avvio alla progettazione dell'A123. La configurazione di questa macchina venne così pensata: lunghezza 17,65 m, altezza 4,05 m, diametro rotore principale quadripala 14,50 m, diametro rotore di coda 2,80 m, diametro elica di coda spingente 2,80. Sulle fiancate trovavano spazio due alette stabilizzatrici aventi un'apertura alare di 8 metri. Il peso a vuoto venne previsto in 3.720 kg, la capacità di carico in poco più di 3.000 kg per un peso complessivo a pieno carico di circa 6.800 kg. Alla propulsione vennero previsti due motori Lycoming T-53 esprimenti 1.800 CV ciascuno di potenza che avrebbero permesso alla macchina di raggiungere la velocità di crociera di 400 km/h e raggiungere un'altitudine massima di 8.000 metri. L'autonomia massima venne stimata in 480 km.

A differenza, quindi, dell'elicottero americano che ispirò tale progetto, l'A123 vuol nascere come elicottero *compound* adibito al trasporto di persone e/o merci. Sapientemente allestito avrebbe comunque potuto assumere configurazioni militari sia per il supporto delle truppe di terra che per la caccia ai sommergibili.

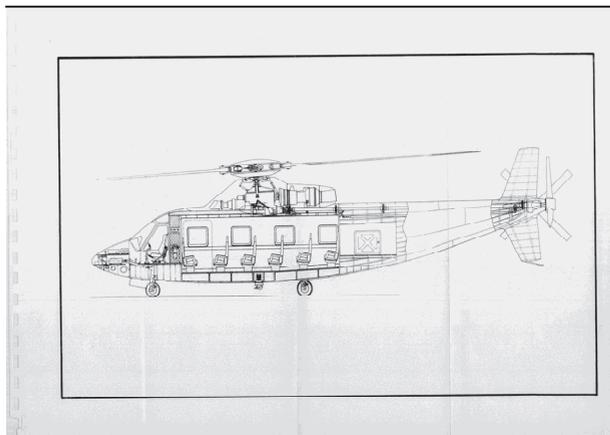


Figura 49. A123.

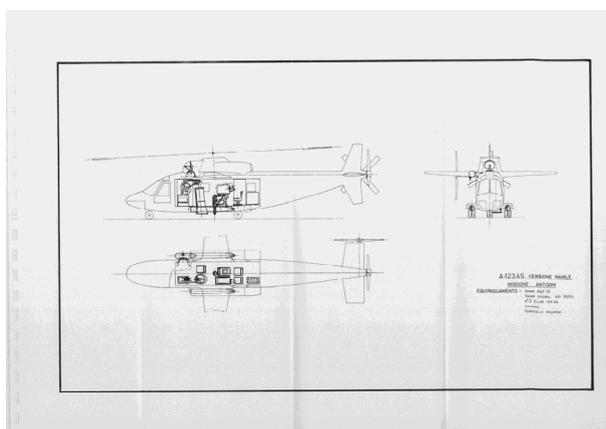


Figura 50. A123.

Il progetto, analogamente ai precedenti A118 e A119, si dimostrò assai ambizioso e per l'avanzamento degli studi e l'approdo ad un prototipo sarebbero serviti necessariamente ingenti fondi. Se l'AH-56A poté divenire realtà e volare grazie al finanziamento della US Army, in Italia le autorità militari non si fecero promotrici di simile iniziativa. Presentato loro il progetto, non intesero finanziare lo sviluppo di questa macchina.

Lo stesso progetto AH-56A americano, dopo aver riscontrato molteplici problematiche tecniche, venne accantonato.

Se l'A123 è un progetto per un elicottero ad impiego civile traente ispirazione da un progetto militare americano, differenti origini ha avuto il progetto dell'A120, anch'esso *compound*. Sul calare degli anni Sessanta il CAB - *Civil Aeronautics Board*, statunitense (ente oggi non più esistente che vide molte delle sue funzioni assorbite dalla FAA nel corso degli anni Settanta), patrocinò uno studio chiamato *North-East*

*Corridor VTOL Investigation* allo scopo di individuare la soluzione migliore per decongestionare il traffico aereo e aeroportuale sulla tratta nord-orientale passante per Washington, Philadelphia, New York e Boston attraverso l'introduzione di velivoli STOL e/o VTOL. Inevitabilmente ciò avrebbe comportato l'avanzamento da parte dei costruttori americani di macchine dalle predette caratteristiche e, come di consueto, Domenico Agusta volle poter dire la sua. Nel 1970 venne pertanto disegnato l'A120 che, nelle sue ultime versioni, assunse la definizione di *'Elibus'* sottolineando ulteriormente la vocazione civile-passeggeri di questa macchina.

Tuttavia, anche il progetto A120 non andò oltre i preliminari disegni. Il livello tecnologico sottostante la realizzazione di queste particolari macchine, nonostante fossero passati dieci anni dai primi tentativi di progettazione, continuava a difettare in Agusta di adeguate conoscenze, così come nelle compagnie aeronautiche degli altri Paesi, Stati Uniti compresi. Numerosi erano i problemi aeroelastici sottostanti queste costruzioni e assenti gli strumenti necessari per una loro reale e completa misurazione e comprensione. Ancora oggi, lo si ribadisce, non esiste una macchina del genere in servizio attivo.

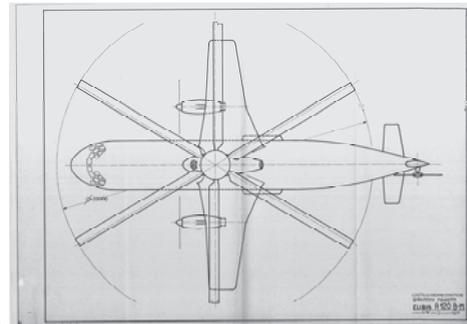


Figura 51. A120.

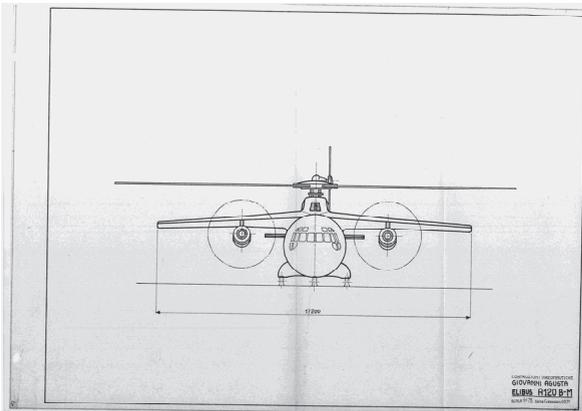


Figura 52. A120.

Un progetto che parallelamente occupò i tecnici Agusta fu quello dell'elicottero di elevato tonnellaggio, 6.400 kg, e generose dimensioni: 20,20 m di lunghezza e 6,6 m di altezza. Questo progetto vide progressivamente la luce sul principio degli anni Sessanta e segnò l'ingresso dell'Agusta nelle costruzioni elicotteristiche di velivoli di grosso tonnellaggio. Battezzato originariamente AZ101, dopo numerosi ripensamenti e revisioni dei disegni originari si approdò nel 1964 alla versione A101 G la quale volò a Cascina Costa il 19 ottobre 1964. L'idea originaria fu quella di implementare ulteriormente le caratteristiche costruttive del già citato AB102. Il grosso rotore principale pentapala – da 19,80 m di diametro – veniva azionato da un gruppo propulsivo composto da tre turbine Bristol-Siddley Gnome H.1.400 esprimenti ciascuna 1.400 CV per una potenza complessiva di 4.200 cavalli che permise a questa macchina di raggiungere una velocità massima di 230 km/h (mentre la velocità di crociera si aggirava sui 200 km/h) per un'autonomia di circa 390 km. Il punto di forza di questa macchina consisteva nella capacità di carico di 6.000 kg. Questo permetteva, per esempio, la possibilità di trasportare 30 persone (oltre ai due piloti), oppure 16 barelle o ancora piccoli mezzi militari come le autoblindo e/o camionette. L'elemento che lo contraddistingueva da similari velivoli prodotti da altri costruttori, come ad esempio l'SE 3200 della francese Sud Aviation, era l'assenza di vincoli strutturali nella capacità di carico di elementi eccedenti in lunghezza quella della fusoliera dell'elicottero. Al portellone-rampa posteriore, infatti, faceva eco un portellone anteriore, di minori dimensioni, sito direttamente sotto il posto di pilotaggio. L'eventuale trasporto di piloni e/o tralicci sarebbe pertanto potuto avvenire non trovando nella lunghezza dell'apparecchio un limite strutturale.



**Figura 53.** A101G.



**Figura 54.** A101G.

Dal giorno del primo volo al calare degli anni Sessanta questa gigantesca macchina fu sottoposta a sempre più perfezionamenti e ricevette il plauso da parte delle autorità militari italiane. Si aveva quindi per le mani una macchina pronta per ulteriori sviluppi a seconda degli allestimenti che ciascuna delle tre Forze Armate avrebbero richiesto per meglio rispondere alle loro esigenze. Questo, tuttavia, avrebbe inevitabilmente richiesto ulteriori lavori da espletarsi negli anni successivi; ma proprio di ulteriore tempo difettavano le autorità militari. Per tali ragioni le Forze Armate preferirono optare per delle macchine dalle similari prestazioni ma già affermate sul mercato come gli SH-3D per la Marina, l'HH-3F per l'Aeronautica (entrambe macchine prodotte dalla Sikorsky su derivazione del modello S-61) e il gigantesco birotore in tandem CH-47 C della Boeing per l'Esercito. L'uniformarsi, nell'adozione di queste macchine, al parco velivoli alleati, avrebbe inoltre facilitato la gestione di tali apparecchi nel contesto delle esercitazioni congiunte NATO. Tutte queste macchine vennero poi prodotte, su licenza, direttamente dall'Agusta.

Alla luce di quanto sopra esposto verrebbe naturale valutare negativamente il bilancio dell'attività progettuale dell'Agusta sino ai primi anni Settanta. Vennero elaborati molteplici progetti, alcuni dei quali giunti sino allo stadio prototipico, senza mai tuttavia conoscere la produzione di serie.

Agli occhi di un osservatore esterno, pertanto, l'impresa di Cascina Costa continuava a ricoprire unicamente il ruolo di officina meccanica aeronautica dedita alla costruzione di elicotteri su licenza di case americane. Ma l'elencazione sopra brevemente tracciata del dinamismo della Direzione Tecnica Agusta in fase progettuale sta ad indicare come le idee e la volontà di emergere come costruttori in

proprio di modelli originali proprio non mancasse. La ragione che spinse molti progetti a rimanere sulla carta, così come molti prototipi a rimanere figli unici, non è da ricercare nella carenza e affidabilità tecnica delle macchine realizzate quanto nelle reali possibilità di commercializzazione del prodotto, in primis, nonché nella valenza strategica, abilmente orchestrata da Domenico Agusta, di tali realizzazioni. Attraverso un parallelismo tra la data di volo dei prototipi realizzati e la sottoscrizione delle nuove licenze, possiamo scorgere una prima valida risposta al quesito postoci. Domenico Agusta era conscio che per ottenere le licenze dei costruttori americani, così come favorevoli condizioni contrattuali, non poteva presentarsi dinanzi a loro a mani vuote. La realizzazione di macchine potenzialmente in grado di fare concorrenza, almeno sul mercato interno, ai prodotti americani in una fase di espansione e diffusione dell'elicottero – quali furono gli anni Cinquanta/Settanta – sicuramente meglio predispose la controparte a raggiungere dei *gentlemen's agreement* col costruttore italiano.

Entrambe le parti erano conscie che una guerra commerciale avrebbe solamente danneggiato entrambe a tutto vantaggio della concorrenza, soprattutto francese. Ma con tale strategia perseguita da Domenico Agusta, il vantaggio economico-commerciale era solo uno degli obiettivi che si intendeva perseguire; l'altro, il più importante sul lungo termine, era la crescita e maturazione dei suoi uffici tecnici e del suo personale tecnico-ingegneristico che attraverso questi progetti e prototipi realizzati ebbe modo di accrescere il proprio *know-how*.

Senza prendere in dovuta considerazione tutta l'esperienza e gli studi compiuti in quasi vent'anni di attività sotto il profilo progettuale, non si può trovare una valida risposta sottostante le ragioni del successo ottenuto da un nuovo modello, l'Agusta 109 *Hirundo*.

Attivo presso l'Agusta sin dal 1959, l'ing. Bruno Lovera fu tra i più attenti e scrupolosi discepoli dell'ing. Filippo Zappata. La sua professionalità, gradualmente, gli permise di occuparsi di progetti sempre più complicati ed importanti. Nel corso degli anni Sessanta, per esempio, si occupò della progettazione del modello A105 di cui abbiamo detto, riuscendo, ad esempio, a risolvere brillantemente le problematiche relative all'accoppiamento del motore alla trasmissione. Ricorda a riguardo l'ing. Lovera: «Quello fu un altro bell'esercizio; avevamo un riduttore di questo motore – di circa 350 cavalli – che riduceva i giri da 42.000 a circa 3.000 all'albero d'uscita. Un bell'esercizio di meccanica veloce»<sup>42</sup>. Dopo l'esperienza del modello A105 si dedicò al modello A106 – assieme all'ing. Giorgio Brazzelli – che seguì sin dai suoi esordi. L'elencazione di tutte le attività cui profuse la sua professionalità meriterebbe un volume a parte. Ciò che ci preme individuare, in

---

<sup>42</sup> Archivio Fondazione Agusta, d'ora innanzi AFA, Trascrizione intervista all'ing. Bruno Lovera, 8 settembre 2010.

questa sede, sono le ragioni sottostanti la nascita e lo sviluppo del modello A109. Sul calare degli anni Sessanta l'ing. Lovera – così come molti altri tecnici e ingegneri della ditta – ritennero che il livello di competenze raggiunto fosse ormai più che maturo per realizzare una macchina vincente da immettere sul mercato elicotteristico. Ragioni politico-commerciali, tuttavia, sembrarono scoraggiare questo slancio, sino a quando Domenico Agusta, di ritorno da un ennesimo viaggio presso la Bell, apprese dell'intenzione della casa americana di costruire un bimotore per impiego civile di tipo *executive* (o *VIP*). Pertanto chiese ai suoi ingegneri di valutare la possibilità di modificare un modello 206 allo scopo. Dopo attente valutazioni, tale scelta si dimostrò tecnicamente impraticabile. L'ing. Lovera colse quindi la palla al balzo, proponendogli la costruzione di un nuovo prototipo adatto allo scopo. Il 19 settembre 1969, pertanto, inoltrò a Domenico Agusta formale richiesta di apertura commessa per la realizzazione di tre prototipi (ciascuno per prove preliminari di volo, rilievo sollecitazioni, prove apparati, prove a terra etc.) nonché di tutta l'attrezzatura necessaria (macchine per prove a fatica, per prove dinamiche etc.). La risposta del Conte Agusta non si fece attendere, rispondendogli: «Quanto mi chiede è molto oneroso, comunque autorizzo»<sup>43</sup>.

Non era la prima occasione in cui il tecnico esortò Domenico Agusta a fare qualcosa di nuovo, ma questa volta gli sottolineò le circostanze più che favorevoli per il successo di tale macchina. La Bell, come tutti gli altri costruttori aeronautici statunitensi di quegli anni, erano assorbiti dalle ingenti commesse militari derivanti dalla guerra nel Vietnam. A venir sacrificata, perciò, era la produzione e progettazione di apparecchi civili in un contesto di sviluppo di questo mercato, soprattutto negli Stati Uniti. All'Agusta presto presero coscienza che la cessazione delle ostilità avrebbe orientato nuovamente la Bell sul segmento civile riconquistando quelle posizioni gradualmente perse. Così facendo, avrebbe chiuso ogni spiraglio per fare emergere altri progetti di elicotteri. Domenico Agusta se ne persuase e autorizzò formalmente la progettazione della nuova macchina.

Gli ingegneri Bruno Lovera e Paolo Bellavita si diedero, di conseguenza, subito da fare per organizzare il variegato gruppo di lavoro per il progetto A109. Erano anni difficili, connotanti dall'*autunno caldo sindacale* che interessò anche le officine di Cascina Costa di quegli anni. Dopo poco più di tre intensi anni di progettazione finalmente il prototipo fu pronto nel corso del 1971 e venne portato in volo per la prima volta il 4 agosto dello stesso anno. Una nota dolente accompagnò questo primo volo: l'assenza di Domenico Agusta che il 2 febbraio 1971 venne a mancare. L'azienda, comunque, continuò la sua attività sotto la guida dell'unico fratello rimasto, Corrado Agusta.

---

<sup>43</sup> AFA.

Agli occhi dei non addetti ai lavori il primo volo andò bene, ma dai dati ricavati i tecnici capirono che v'erano ancora differenti migliorie da apportare. Vennero quindi approntati nuovi test ed esami tra cui le prove a terra con elicottero vincolato al suolo (*ground round*). Durante una di queste prove, uno dei due prototipi realizzati entrò in risonanza e la macchina andò praticamente distrutta. Raggiunta una certa potenza, il livello vibratorio andò fuori controllo: «Un fenomeno – abbiamo capito dopo – di stabilità dinamica del sistema rotore-fusoliera legata per terra»<sup>44</sup>. Dalla fine del 1971 al gennaio 1973 la macchina venne quindi sottoposta a molteplici ed incessanti migliorie: venne ridisegnata parte della trasmissione – in particolare l'attacco alla struttura-fusoliera; vennero completamente ridisegnati i carrelli estraibili d'atterraggio, i pianetti di coda ed altre componenti varie. L'individuazione delle problematiche non fu di facile risoluzione mancando, a quei tempi, tutti quegli strumenti e metodi oggi disponibili. Si dovettero quindi escogitare appropriate soluzioni in grado di testare accuratamente la macchina. Ad esempio, un prototipo: «conteneva all'interno un motore elettrico a velocità variabile e sopra, al posto del mozzo e delle pale, un macchinario che simulasse la massa; con un eccentrico si riuscì a simulare vibrazioni di diversa frequenza, di quelle che l'elicottero può incontrare al suolo»<sup>45</sup>. Molti altri stratagemmi vennero sperimentati affinché i dati forniti potessero essere resi intelligibili e permettere, di conseguenza, un efficace risoluzione al problema. Finalmente la macchina fu pronta nel corso del 1973-1974 ed ottenne congiuntamente la certificazione di navigabilità sia dal RAI – *Registro aeronautico italiano* che dall'americana FAA nel maggio 1975. In questa occasione, il *test pilot* mandato dalla FAA a valutare la macchina, nel giudicarla positivamente, commentò: «This is not an helicopter, this is a baby fighter!».

In effetti la comparsa del modello A109 ruppe i tradizionali schemi concettuali convenzionalmente legati a questo tipo di macchine. Lungo 10,71 m, alto 3,3, era propulso da due turbine Allison 250 C-20B da 325 CV l'una che attivavano un rotore articolato quadripala dal diametro di 11 metri. Le prestazioni si dimostrano subito strabilianti potendo raggiungere una velocità massima di 311 km/h e una velocità di crociera di 266 km/h per un'autonomia di circa 565 km. Si rivelò presto essere la macchina migliore della sua categoria.

Pur risentendo della tecnologia *made in USA* per la componentistica utilizzata e determinate scelte costruttive, gli elementi di novità non mancavano di certo. Rispetto alla produzione Bell differiva, ad esempio, dall'organo di atterraggio ora composto da tre ruote retrattili (che tanti problemi inizialmente diedero ai progettisti) nonché dall'introduzione del rotore articolato quadripala. Tutti gli

---

<sup>44</sup> Ivi.

<sup>45</sup> Ivi.

elicotteri sino ad allora prodotti su licenza Bell utilizzavano il collaudato rotore bipala con barra stabilizzatrice. L'esperienza costruttiva dei rotori articolati pluripala venne introdotta in Agusta con l'avvio della produzione di modelli Sikorsky classe A-61 e del modello Boeing CH-47 C che cominciarono ad essere costruiti negli stessi anni in cui ci si stava dedicando alla progettazione dell'A109. Sicuramente la possibilità di poter avere determinati report su ogni componentistica e gruppo dinamico di un elicottero da parte dei costruttori americani, implicava trasferimento di *know-how*. Ma questo non bastava. I disegni provenienti dall'America non rendevano conto, ad esempio, dei calcoli, dei risultati e delle problematiche sottostanti lo sviluppo di quel particolare componente. Si dovette, pertanto, fare ampio ricorso alla reverse engineering non senza trascurare lo studio di soluzioni particolari appositamente ritagliate sul progetto cui si attendeva. Bisognava risalire all'intimità delle problematiche onde poter valutare l'appropriata risoluzione. Ma attraverso questo *learning-by-doing* si riuscì a confezionare una macchina eccellente.

Col modello A109 l'Agusta maturò considerevolmente diventando, oltre che riproduttrice di modelli di case straniere, costruttrice di proprie originali macchine. La produzione di serie venne regolarmente avviata nel corso del 1975-1976 ed ancora oggi – in versioni gradualmente aggiornate e ammodernate – l'AW109 viene prodotto dalla casa di Cascina Costa.



Figura 55. A109.

Figura 56. A109.



Figura 57. A109.

L'A109 non permise solamente un salto qualitativo nei termini di offerta di elicotteri. Le modalità di lavoro cui il gruppo degli ingegneri Lovera e Bellavita attesero differirono dal tradizionale schema gerarchico-piramidale informante la Direzione Tecnica Agusta di quegli anni. Ci si rese conto che per far dialogare proficuamente le competenze, si doveva necessariamente ricorrere ad una diversa impostazione organizzativa della Direzione Tecnica realizzabile attraverso il concorso delle diverse *anime* (progettazione, produzione, officine, etc.) al progetto comune. Si sperimentò, quasi naturalmente, una prima forma di *concurrent engineering* che nel corso degli anni Ottanta venne praticamente istituzionalizzata. In questi anni l'ing. Lovera, nel frattempo diventato Capo della Direzione Tecnica, profuse i suoi sforzi per riformare le modalità di lavoro dei tecnici Agusta. Dal 1981,

pertanto, alla Direzione Tecnica venne progressivamente data una nuova configurazione a *matrice*. Un lavoro, questo, di non facile realizzazione:

avevo messo giù uno schema organizzativo e questa attività ha preso circa un anno perché è stata fatta in modo sistematico, in modo di coinvolgere le persone; non come qualcosa che è piovuto dall'alto ma è stato ragionato, spiegato a tutti e quindi è stato un po' laborioso. Alla fine avevamo creato una struttura a matrice in cui per ogni progetto principale c'era un Project Engineer [...]. C'era inoltre una zona chiamata 'Aree Tecnologiche'; queste erano le aree dove si disegnavano e si calcolavano i sottosistemi quindi, un'area strutture, un'area rotori, un'area trasmissioni, impianti e via dicendo. Dentro le aree tecnologiche ciascun Project Engineer aveva un suo 'seguace' che stava, per esempio, nell'area trasmissioni dove però curava quel particolare progetto di trasmissione che andava sull'elicottero da lui seguito. E questa persona aveva il compito di far sì che tutte le singole soluzioni trovate dalle varie aree tecnologiche stessero dentro allo schema generale dell'elicottero, cioè, fossero non solo compatibili ma bene integrate; integrate nel bene del sistema. A supporto di questi, che non avevano un compito solamente tecnico ma anche poi di seguire lo svolgimento dei programmi, c'era un gruppo di analisi di sistema<sup>46</sup>.

In questo compito, l'ing. Lovera venne aiutato da esperti di organizzazione del lavoro appositamente ingaggiati.

Indubbiamente questo tipo di riforma interna della Direzione Tecnica risentì dei cambiamenti verificatisi a livello societario in Agusta. Con la scomparsa di Domenico Agusta nel febbraio 1971 decadde il modello paternalistico di gestione dell'impresa sino ad allora connotante questa realtà. Corrado Agusta, subentrato alla guida dell'azienda, onde far fronte ai massicci investimenti che le attività in fase d'espansione richiesero, aprì la partecipazione al capitale sociale ad un socio, l'ente statale Efim. L'avvento dell'Efim e la visione d'impresa di Corrado Agusta permisero progressivamente l'introduzione del modello manageriale di conduzione dell'impresa facendo ricorso a determinate deleghe di potere e responsabilità, impensabili durante l'era padronale. L'Agusta degli anni Settanta venne quindi gradualmente assumendo una struttura manageriale che sfociò, nel corso degli anni Ottanta, nel *Gruppo Agusta*, ovvero un'impresa multidivisionale (M-Form) imperniata su tre definite Divisioni: Ala fissa (resa possibile alla luce del graduale assorbimento da parte di Agusta della Caproni aeronautica e della SIAI Marchetti), Ala rotante (l'Agusta e la Breda-Nardi, costruttrice di elicotteri su licenza della compagnia americana Hughes) e Agusta Sistemi, sottolineante – quest'ultima – l'importanza ormai assunta dall'elettronica ed informatica nel campo delle

---

<sup>46</sup> AFA, Trascrizione intervista all'ing. Bruno Lovera, 8 settembre 2010.

costruzioni aeronautiche soprattutto a datare dalla seconda metà degli anni Sessanta.

Dopo il successo ottenuto con l'A109 un altro importante progetto impegnò dalla prima metà degli anni Settanta l'Agusta: l'A129. Si tratta di un elicottero per la guerra controcarro, sviluppato in modo da assumere differenti configurazioni a seconda dello scenario bellico in cui è chiamato ad operare. L'esigenza di una tale macchina non ha avuto radici in Italia bensì nel consesso internazionale della NATO. Nei primi anni Settanta, gli analisti della NATO individuarono una debolezza sul fronte europeo dinanzi ad un ipotetico attacco condotto dalle truppe del Patto di Varsavia. Numericamente superiori per quanto riguarda le truppe corazzate di terra, la depressione geografica nei pressi della città tedesca di Fulda – allora facente parte della Germania Ovest – si sarebbe prestata ad essere massicciamente interessata da un attacco via terra. Per contrastare questo ipotetico scenario e similari, tutti paesi aderenti alla NATO vennero sollecitati a munirsi di un elicottero anticarro col quale eventualmente poter fronteggiare l'avanzata nemica. Il *Fulda gap*, come divenne poi noto, spinse quindi gli eserciti occidentali a correre ai ripari. La progettazione di una macchina simile, del tutto originale e radicalmente differente da quelle disponibili sul mercato di allora, non offriva facili risposte. Germania, Francia ed Inghilterra decisero di posticipare la progettazione di una macchina dedicata a questi ruoli e ricorsero, nell'immediato, ad equipaggiare le macchine in loro dotazione con strumentazione bellica anticarro. In Italia l'Esercito Italiano iniziò a muoversi su questa logica richiedendo all'Agusta uno studio di fattibilità per armare allo scopo l'A109. Ben presto ci si rese conto, tuttavia, che questa macchina – dovendo soddisfare requisiti radicalmente differenti a quelli per la quale venne concepita – non avrebbe potuto svolgere al meglio i compiti richiesti. L'Esercito Italiano, pertanto, diede mandato all'Agusta affinché venisse progettata una macchina *ad hoc*. Il progetto dell'A129 interessò i tecnici Agusta a partire dai primi anni Settanta e fu influenzato da molteplici varianti e versioni prima di poter giungere ad una prima macchina definitiva. Nacque così una macchina completamente differente da tutte quelle precedentemente incontrate nel testo. Lungo 12,28 m, alto 3,35, montava un rotore articolato quadripala dal diametro di 11,90 m alimentato da due turbine Rolls-Royce Gem 2 Mk. 1004D da 915 CV cadauna; la cabina di pilotaggio presentava una configurazione in tandem a piani sfalsati mentre sulla fusoliera erano applicate due piccole ali – per un'apertura alare complessiva di 3,20 m – offrendo la possibilità di attacco di differenti armamenti. L'avionica implicava tutta una serie di avanzati sistemi di navigazione diurna/notturna nonché complessi sistemi per la guerra elettronica. Per la costruzione della fusoliera si fece – per la prima volta in Agusta – largo ricorso a materiale composito, principalmente fibra di carbonio, onde

conferire maggiore leggerezza e manovrabilità all'apparecchio. Atri accorgimenti introdotti su questa macchina risentirono dell'esperienza americana dell'utilizzo degli elicotteri sullo scenario bellico del Vietnam. Vennero pertanto introdotti due principali criteri: *crashworthiness* e *vulnerability*.

Il primo di questi criteri incise molto sulla progettazione e realizzazione della struttura e dei gruppi dinamici. In caso di impatto al suolo la struttura doveva potersi deformare non oltre un certo livello onde prevenire lo schiacciamento degli occupanti. Inoltre i pesanti gruppi dinamici ed i motori in caso di impatto al suolo non dovevano collassare sulla struttura ma resistere all'impatto o staccarsi senza rovinare sulla fusoliera. In caso la macchina fosse stato oggetto di fuoco nemico diretto, tutte le componentistiche e strutture interne alla macchina dovevano soddisfare precisi requisiti di sopravvivenza onde permettere al pilota l'atterraggio in tutta sicurezza. Questo criterio introduce il successivo, la *vulnerability* (altrimenti chiamata *tolleranza balistica*) finalizzata a rendere la macchina completamente governabile anche se colpita da armi di piccolo calibro. Questo inficiò sulla disposizione di molta componentistica come, ad esempio, le pompe idrauliche ed altre apparecchiature che vennero *duplicate* e collocate in ambienti differenti all'interno della struttura affinché una singola raffica di colpi non compromettesse totalmente il loro funzionamento. Molti altri accorgimenti vennero introdotti e tutto questo complicato lavoro di progettazione non poté che ritorcersi sui tempi di costruzione del prototipo. Questo vide comunque la luce nei primi anni Ottanta e fu ufficialmente portato in volo il 15 settembre 1983.

L'esperienza accumulata nella progettazione del modello A129, soprattutto attraverso l'introduzione di rigorosi criteri *crashworthiness*, venne progressivamente applicata a tutte le altre macchine civili di costruzione Agusta.

Gli anni Ottanta segnano anche la ripresa volontà dell'Agusta di costruire una macchina dalle grandi dimensioni e prestazioni, tentativo intrapreso precedentemente con l'A101-G. Questa volta, però, non in solitario ma congiuntamente ad un'altra blasonata impresa aeronautica: la britannica Westland.

La complessità di progettazione e costruzione degli elicotteri richiese sempre più ingenti investimenti correndo spesso il rischio di entrare in contrasto con prodotti simili di altre case vanificando così i finanziamenti stanziati. L'unione delle forze, invece, avrebbe garantito una suddivisione del rischio di impresa e la possibilità di espandere il *know-how* progettuale.

I rapporti con la britannica Westland datano dai primi anni Sessanta quando la casa inglese cominciò a produrre il modello Bell 47 (di cui l'Agusta deteneva licenza esclusiva per gran parte dell'Europa, Gran Bretagna inclusa) in accordo con la casa di Cascina Costa. Vennero quindi prodotti i Westland-Agusta-Bell 47G-3B-4 dalla casa britannica nei suoi stabilimenti di Yeovil. Anche la Westland approdò alle

costruzioni elicotteristiche nel dopoguerra, nel 1948, provenendo anch'essa dalla costruzione di velivoli ad ala fissa sin dal 1915.

Le due case, pertanto, avviarono nel corso degli anni '70-'80 un'intensa collaborazione creando la società paritetica *EH Industries Ltd.* nel 1979 per dare vita all'ambizioso progetto di un elicottero medio-pesante, trimotore, in grado di soddisfare le esigenze delle reciproche forze armate, specialmente della Marina.

Dopo anni di intensa progettazione, il 9 ottobre 1987 volò il primo prototipo di questa grossa macchina dal peso di 15.600 kg, lunghezza 22,81 m e altezza 6,65 m; il grosso rotore articolato pentapala ha un diametro di 18,50 m mentre la propulsione è affidata a tre turbine GE T700/T6A esprimenti 1.725 CV ciascuna. Questa grossa macchina, seppur nata con l'intento di soddisfare requisiti principalmente militari, trova ottima spendibilità anche in contesti operativi differenti come il salvataggio (SAR – *Search and Rescue*) e il trasporto civile potendo – nell'apposito allestimento – ospitare a bordo circa 30 passeggeri. Viene attualmente prodotta sotto la denominazione di AW101.

Due anni prima che volasse questa grossa macchina l'Agusta iniziò la collaborazione in partnership con altri costruttori europei, francesi, tedeschi e olandesi per la progettazione di un elicottero bimotore multiruolo da 11.000 kg: l'NH90. L'Agusta è da allora più che mai proiettata verso orizzonti sempre più transnazionali che la vedono attiva sui principali mercati elicotteristici del mondo. Nell'ultimo lustro degli anni Novanta venne poi introdotta una nuova macchina, l'A119 *Koala*, elicottero monomotore dalle dimensioni leggermente inferiori all'AW109 mentre, di questo modello, videro la luce nuove versioni come il *Power* e anche la nuova versione dell'A129, l'*International*.

Nel 2000, dopo diversi anni di coabitazione, l'Agusta e la Westland convolano a giuste nozze dando vita all'attuale AgustaWestland. Successivamente, nel 2004, Finmeccanica – la holding di riferimento dell'Agusta dopo la liquidazione dell'Efim nel 1992 – rilevò il 50% delle azioni della precedente paritetica partecipazione dalla holding britannica GKN dando così vita ad una grossa ed importante realtà imprenditoriale anglo-italiana.

Ma già nella metà del 1998 l'attività dell'Agusta in campo internazionale andò consolidandosi giungendo a rinnovati accordi con la Bell Helicopter, stante i cinquant'anni di collaborazione trascorsi. Nel giugno di quell'anno, infatti, nacque la Bell Agusta Aerospace Company (BAAC), frutto di una joint venture tra le due case, finalizzata alla progettazione e costruzione di nuovi prototipi. Frutto di questo rinnovato connubio fu la progettazione del Tiltrotor BA609 nonché la progettazione dell'AB139 in proporzioni differenti. Mentre nel caso del Tiltrotor la partecipazione americana al progetto si attestava al 75% contro il 25% di Agusta,

nel caso dell'AB139 tali proporzioni risultavano rovesciate: 75% Agusta contro 25% Bell.

Nel corso degli anni entrambi i progetti vennero progressivamente completamente rilevati dalla nuova compagine AgustaWestland; nel novembre 2005 il progetto AB139 – ora noto come AW139 – e tra giugno e novembre 2011 il progetto AB609, l'attuale AW609.

L'AW609, come ogni tiltrotor, si prefigge di incorporare i vantaggi tanto dell'elicottero (volo a punto fisso, possibilità di atterraggio e decollo su qualsiasi terreno, etc.) con quelli tipici dell'aereo (alta velocità, alta tangenza operativa, larga autonomia etc.) andando così a rispondere più efficacemente alle nuove esigenze di servizio provenienti dagli utilizzatori sia civili che militari dei giorni nostri. Si tratta di un apparecchio con doppio rotore side-by-side orientabili motorizzati Pratt & Whitney PT6C-67A in grado di spingere l'apparecchio ad oltre 500 km/h con un raggio di azione di circa 1.290 km aumentabili a 1.850 facendo ricorso a serbatoi supplementari. La fusoliera, lunga 14,10 m, è interamente costruita in materiali compositi e l'apertura alare (ingombro dei rotori/propulsori compresa) è di metri 11,70. L'operazione di conversione del moto, da verticale ad orizzontale, avviene automaticamente in meno di un minuto tramite il controllo del computer di bordo senza che si venga a creare alcuna variazione della quota o mancanza di controllo da parte dei due piloti. Nella configurazione standard, oltre ai due piloti, trovano spazio nove passeggeri. Il diametro del rotore/propulsore è di 7,9 metri, leggermente superiore alle eliche esclusivamente trattive tipiche di un velivolo di siffatte dimensioni; tali dimensioni sono il frutto di un'armonizzazione tra le caratteristiche richieste in funzione del volo verticale e quelle derivanti dal volo orizzontale.

Il battesimo dell'aria è avvenuto presso la sede americana della Bell ad Arlington, Stati Uniti, il 7 marzo 2003 e i prototipi sono ancora impegnati in molteplici fasi di sperimentazione e studio.



**Figura 58.** AW609.



**Figura 59.** AW609.

Più tradizionale fu invece lo sviluppo del nuovo modello di elicottero bimotore di medio tonnellaggio nato come AB139 e oggi noto come AW139. L'AgustaWestland ritenne maturi i tempi per la costruzione di una macchina dedicata al mercato *off-shore* dalle elevate prestazioni. Inizialmente sviluppato congiuntamente con la Bell, questo progetto fu poi portato avanti in solitario dalla casa di Cascina Costa che tanto puntò su questa macchina; una scommessa vinta stante le oltre 400 unità prodotte in poco più di cinque anni, in diverse versioni, di questa macchina. Nella struttura lunga 13,97 metri trovano spazio fino a quindici passeggeri oltre i due piloti mentre la propulsione è affidata a due turbine Pratt & Whitney PT6C-67C esprimenti ciascuna 1.679 CV alimentanti un rotore articolato pentapala dal diametro di 13,80 metri. Questa generosa motorizzazione permette agilmente il volo dell'apparecchio, avente un peso al decollo di 6.400 kg, per circa 1.250 km di autonomia ad una velocità di crociera di 306 km/h a circa 5.000 km di tangenza operativa. Il successo commerciale di questa macchina è stato possibile grazie alla sua versatilità che la porta a ricoprire molteplici compiti: dal servizio *Corporate/VIP all'eliambulanza*, dalle operazioni di *Law Enforcement* ai servizi di *Search and Rescue*.

Il primo volo di questa macchina avvenne sul campo volo di Cascina Costa il 3 febbraio 2001.

L'AgustaWestland è quindi al giorno d'oggi una realtà industriale internazionale, con un importante passato storico proveniente da ambo le sue due anime originarie, quella italiana e quella britannica.



**Figura 60.** AW139.



**Figura 61.** AW139.

Se un giorno avvenire la tecnologia dell'ala rotante compirà ulteriori progressi – come è lecito attendersi – questo probabilmente non vedrà l'AgustaWestland in posizione di spettatrice.

**BIBLIOGRAFIA/SITOGRAFIA**

- Apostolo Giorgio, *Guida agli elicotteri dalle origini ad oggi*, Mondadori, Milano, 1983.
- Arra Michele, *L'elicottero. Aerodinamica, prestazioni, controllo, sistemi*, Ulrico Hoepli, Milano, 2001.
- Bassi Alberto, Mulazzani Marco, *Le macchine volanti di Corradino d'Ascanio*, Electa, Milano, 1999.
- Chanute Octave, *Progress in Flying Machines*, Dover Publications Inc., Mineola, NY, 1997.
- Chiles James R., *The God Machine. From Boomerangs to Black Hawks: The Story of The Helicopter*, Bantam Dell, New York, 2007.
- Coates Steve, *Helicopters of the Third Reich*, Ian Allan Printing Ltd., Surrey, 2002.
- Forzani Luciano, *L'inizio del cielo. Una storia d'aeroplani e d'elicotteri*, Giorgio Apostolo Editore, Milano, 2003.
- Johnson Wayne, *Helicopter Theory*, Dover Publications Inc., Mineola, NY, 1994.
- Leishman J. Gordon, *Principles of Helicopter Aerodynamics*, Cambridge University Press, 2006<sup>2</sup>.
- Ludovico Domenico, *L'invenzione dell'elicottero*, Centro Grafico e Fototecnica, Roma, 1980.
- Marinacci Sandro, *Il volo della Vespa. Corradino d'Ascanio, dal sogno dell'elicottero allo scooter che ha motorizzato l'Italia*, Textus, L'Aquila, 2006.
- Ross Frank Xavier Jr, *Flying Windmills. The story of the helicopter*, Lothrop, Lee & Shepard Co. Inc., New York, 1953.
- Rotondi Gianfranco, *Introduzione all'elicottero*, Clup, Milano, 1974<sup>2</sup>.
- Sovrintendenza archivistica per l'Abruzzo e il Molise, Pescara, *Corradino d'Ascanio, dall'elicottero alla Vespa*, Mostra documentaria, Torre de'Passeri, 19 aprile-18 maggio 1986; Pescara, 25 maggio-30 giugno 1986; Popoli, 20 luglio-24 agosto 1986.
- Visani Gilberto, *Aerodinamica e pilotaggio dell'elicottero*, Mursia, Milano, 1986.

*Fonti Archivistiche*

Archivio Fondazione Museo Agusta

Archivio Centrale dello Stato: Fondo Ministero Aeronautica e Fondo Ministero Difesa Aeronautica

*Fonti digitali* (periodo di consultazione: luglio/settembre 2012)

URL: <<http://www.aviastar.org>>

URL: <<http://www.americanhelicoptermag.com>>

URL: <<http://www.flightglobal.com>>

URL: <<http://www.helis.com>>

URL: <<http://www.agustawestland.com>>



## **I precursori**

L'uomo ha iniziato ad avvalersi, per gli spostamenti, di fonti di energia diverse da quella propria muscolare, con l'addomesticamento del cavallo: la prima tappa è stata quella dell'animale da soma e successivamente, dell'animale da traino, prima con veicoli a slitta e, successivamente, con l'invenzione della ruota, con i carri.

Per diverse migliaia di anni, la fonte di energia utilizzata per gli spostamenti ed i trasporti è, quindi, stata costituita dai muscoli, umani ed animali.

Occorre arrivare al Rinascimento per pensare a fonti "alternative".

Roberto Valturio (1405-1475) propone un carro mosso dal vento che mette in rotazione delle pale le quali, attraverso un sistema di ruotismi, trasmettono il moto alle ruote.

Il funzionamento è, chiaramente, impossibile, ma resta interessante l'idea di utilizzare il vento per la propulsione su terra.

Alcuni secoli dopo, in una località sul Lago Maggiore, vicino a Sesto Calende, verrà utilizzato per un breve periodo, alla fine dell'Ottocento, un carro su rotaie mosso dal vento, mediante una vela.

Leonardo da Vinci (1452-1519) disegna un carro mosso da un sistema di molle a balestra che, con la loro distensione, fanno compiere al carro un breve percorso. Sembra che tale carro sia stato usato per alcune scenografie, in occasione di feste, alla corte di Milano.

La prima "automobile", in senso stretto etimologico, è il carro a vapore costruito nel 1769 dal francese Joseph Nicolas Cugnot (1725-1805) che, dopo una breve "corsa" finisce contro un muro, dando così luogo al primo incidente "automobilistico" della storia!

Partendo dalle premesse corrispondenti a questi precursori, verrà qui svolta una "carrellata" sull'evoluzione delle principali innovazioni automobilistiche, con particolare riguardo a quelle italiane, tenendo presente anche il ruolo didattico rivestito dalla storia dell'automobile [1].

Ampia documentazione sulla storia dell'automobile è reperibile in [2][3][4][5].

## L'Ottocento

### *Protagonisti*

Nel XIX secolo appaiono sulla scena alcuni uomini che affrontano su basi razionali il problema della produzione di lavoro meccanico e del suo utilizzo per la propulsione stradale. Fra tali protagonisti, glorie del pensiero e del lavoro italiani, sono da ricordare Eugenio Barsanti, Felice Matteucci ed Enrico Bernardi.

**Barsanti e Matteucci (1821-1864).** Padre Eugenio Barsanti, nel 1843, effettua le prime esperienze durante le sue lezioni di fisica, sulla pistola di Volta, al collegio S. Michele di Volterra. Lui e Felice Matteucci (1808-1887) depositano nel 1853, alla segreteria dell'accademia dei Georgofili di Firenze un plico sigillato contenente un rapporto su alcuni nuovi esperimenti fatti da loro, il quale descrive dettagliatamente il loro motore.

Il motore Barsanti e Matteucci funziona con una miscela di aria e idrogeno introdotta nel cilindro ed accesa da una scintilla prodotta da un apparato elettromagnetico di Ruhmkorff. La combustione provoca l'innalzamento dello stantuffo, il quale si impegna con l'albero motore solo nella fase discendente, essendo il suo moto collegato tramite cremagliera e ruota *matta*. Con lo stantuffo al punto morto superiore, il prodotto della combustione condensa rapidamente, provocando una depressione nel cilindro. Lo stantuffo viene richiamato dalla differenza di pressione tra l'interno e l'esterno del cilindro e dal peso proprio.

Nel 1854 Barsanti e Matteucci ottengono il primo brevetto inglese (n. 1072) e due anni dopo costruiscono un motore bicilindrico conforme a tale brevetto. Esso viene utilizzato per trasmettere il movimento ad una forbice e ad un trapano (primo esempio di applicazione per l'azionamento di macchine utensili). Il brevetto inglese scade nel 1857 e ne viene depositato subito un secondo (n. 1655), relativo a due diverse soluzioni costruttive, con e senza stantuffo ausiliario. Nel 1858, Barsanti e Matteucci ottengono lo stesso brevetto inglese anche in Francia. La fonderia di Vincenzo Calegari di Livorno e l'officina Pietro Benini di Firenze realizzano ciascuna un esemplare di tale motore, e nel 1859 si costituisce, addirittura, la "Società Anonima del Nuovo Motore Barsanti e Matteucci".

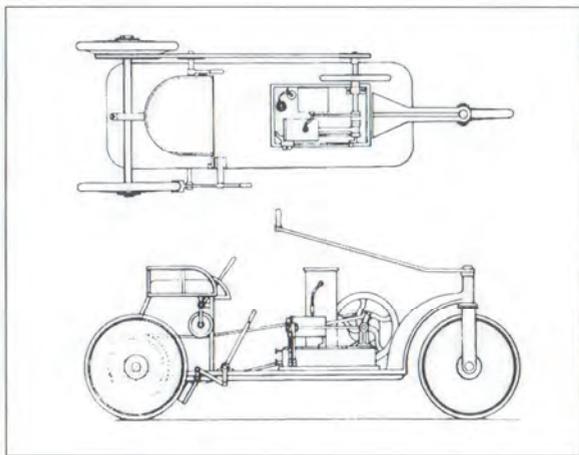
Nel 1860 il francese Jean Etienne Lenoir presenta a Parigi un motore a gas a doppio effetto con accensione elettrica con un rendimento del 4% (1/3 del motore Barsanti e Matteucci), secondo il principio di un motore già costruito in precedenza da Barsanti e Matteucci stessi, ma scartato per il basso rendimento. Nel 1863 Barsanti e Matteucci fanno togliere i sigilli al plico depositato 10 anni prima con lo

scopo di rivendicare la paternità dell'invenzione, ma tale prova viene totalmente ignorata dall'autorità competente.

**Enrico Bernardi (1841-1919).** Enrico Bernardi, laureato in matematica all'Università di Padova, diviene poi professore alla Facoltà di Ingegneria della stessa Università. Molto impegnato negli studi sulla propulsione stradale, ottiene un brevetto (1882) (N° 14.460) per un motore a scoppio, monocilindro orizzontale, da lui progettato e realizzato e lo applica (1884) ad un triciclo di legno. Negli anni dal 1895 al 1898 progetta e realizza numerosi dispositivi relativi sia alla meccanica del motore (ad esempio, al sistema di raffreddamento), sia ad alcuni particolari nel veicolo (ad esempio, relativi alla trasmissione ed al sistema di sterzata). Negli stessi anni realizza alcune autovetture a tre ed a quattro ruote, che iniziano ad essere prodotte industrialmente a Padova nel 1896 dalla Miari & Giusti. In figura 1 si vede un triciclo costruito da Enrico Bernardi nel 1884.

Da un incontro avvenuto a Verona tra Enrico Bernardi e Giovanni Agnelli nasce una collaborazione di Bernardi con la Fiat.

Sulla casa di Enrico Bernardi a Verona è posta questa lapide: «In questa casa Enrico Bernardi ideò e sperimentò geniali opere della scienza e della tecnica e nel 1884 realizzò il primo veicolo con motore a benzina della storia».



**Figura 1.** Triciclo Bernardi (1884).

### *Costruttori di automobili*

Negli ultimi anni dell'Ottocento nascono in Italia numerose aziende costruttrici di automobili, allora ancora spesso, per la maggior parte della gente, “oggetti misteriosi”. Queste aziende vedono spesso impegnati in prima persona abili

progettisti ed imprenditori, molti dei quali hanno lasciato una traccia nella storia della tecnica e nella storia dell'impresa.

**Prinetti & Stucchi.** L'azienda, nata a Milano nel 1883, per iniziativa di Augusto Stucchi e di Giulio Prinetti, inizia costruendo macchine per cucire e biciclette. Nel 1898 debutta nella costruzione di veicoli a quattro ed a tre ruote: uno dei primi modelli prodotti, la Tipo 1, vede la collaborazione nella progettazione del giovane Ettore Bugatti. La vettura ha tre ruote e monta due motori De Dion.

L'Azienda nel 1901, con l'uscita di Giulio Prinetti, acquista la denominazione di Stucchi & C. e nel 1906 cessa l'attività.

**Miari & Giusti.** La Miari & Giusti, nata a Padova nel 1894, dall'accordo fra Giacomo Miari e Francesco Giusti del Giardino, ha l'obiettivo di costruire la vettura realizzata nello stesso anno da Enrico Bernardi. L'Azienda vive fino al 1901, dopo avere costruito un centinaio di vetture a tre ed a quattro ruote.

**Darracq.** Il giovane industriale francese Alexandre Darracq, attivo nel campo delle biciclette, avvia nel 1896 a Suresne, nei sobborghi di Parigi, un'azienda automobilistica, la Automobiles Darracq S.A. L'Azienda nel 1906 apre una filiale in Italia, prima a Napoli e, successivamente, a Milano, nella zona, allora appena fuori città, del Portello. Poiché le vetture Darracq non avevano grande successo, nel 1909 alcuni finanziari italiani danno vita all'A.L.F.A. (Anonima Lombarda Fabbrica Automobili), divenuta poi Alfa Romeo.

**Ceirano.** La Ceirano GB & C. è fondata a Torino nel 1898 da Giovanni Battista Ceirano, Emanuele di Bricherasio, Attilio Calligaris, Pietro Fenoglio e Cesare Goria Gatti. L'Azienda con alterne vicende, chiuderà nel 1923 e le vetture costruite successivamente, pur con il marchio Ceirano, saranno costruite dalla SCAT, altra azienda di Giovanni Ceirano.

La prima vettura Ceirano si chiama Welleyes, come le biciclette costruite inizialmente dall'Azienda. Il progettista è Aristide Faccioli ed alla costruzione assiste il giovane Vincenzo Lancia, che, proprio alla Ceirano, compie il suo "apprendistato". La vettura ha un motore a due cilindri, con cilindrata di 633 cc., trasmissione a cinghia piatta e cambio di velocità a due marce. La velocità massima raggiungibile si avvicina ai 40 km/h. La vettura costituisce la base da cui deriverà il primo modello costruito dalla FIAT.

**Fiat** [6][7][8][9][10][11]. La FIAT (Fabbrica Italiana Automobili Torino), è fondata l'11 luglio 1899 a Torino come casa produttrice di automobili, per poi

sviluppare la propria attività in numerosi altri settori, dando vita al più importante gruppo finanziario e industriale privato italiano.

L'azienda nasce dalla comune volontà di una decina tra aristocratici, possidenti, imprenditori e professionisti torinesi di dare vita ad una fabbrica per la produzione di automobili: fra essi, Emanuele di Bricherasio e Cesare Goria Gatti (già fondatori dell'ACI Automobile Club d'Italia) che avevano precedentemente costituito e finanziato la "Accomandita Ceirano & C.", finalizzata alla costruzione della *Welleyes*, un'automobile progettata da Aristide Faccioli e costruita artigianalmente da Giovanni Battista Ceirano.

La prima autovettura viene prodotta nel 1900, con l'utilizzo di 150 operai. Ancora nel 1903 la produzione è limitata a 103 esemplari di auto. Al 1902 risale la prima affermazione della casa nelle competizioni automobilistiche, quando, con alla guida Vincenzo Lancia, si aggiudica una gara locale piemontese, la *Torino Sassi-Superga*.

Poco prima dello scoppio della prima guerra mondiale, la società torinese rinnova totalmente la gamma di autovetture in produzione con la presentazione dei modelli 1, 2, 3, 4, 5, 6; di questi modelli va ricordata la presenza dei primi esempi di batteria e di trasmissione a cardano, che sostituisce la precedente trasmissione a catena. Nel 1911 l'azienda realizza un autoveicolo specifico per battere il record mondiale di velocità: la Fiat 300 hp Record, un'auto di quasi 29.000 cc. e 290 CV di potenza, in grado di sfiorare i 300 km/h.

Durante la prima guerra mondiale, la FIAT è fortemente impegnata nella produzione di materiale bellico: in particolare, è da ricordare l'autocarro FIAT 18BL, glorioso protagonista di molte vicende di guerra a fianco dei soldati italiani.

Alla ripresa produttiva post bellica nel 1919 l'azienda torinese presenta la *Fiat 501* ad uso civile, di cui produce quasi 45.000 unità.

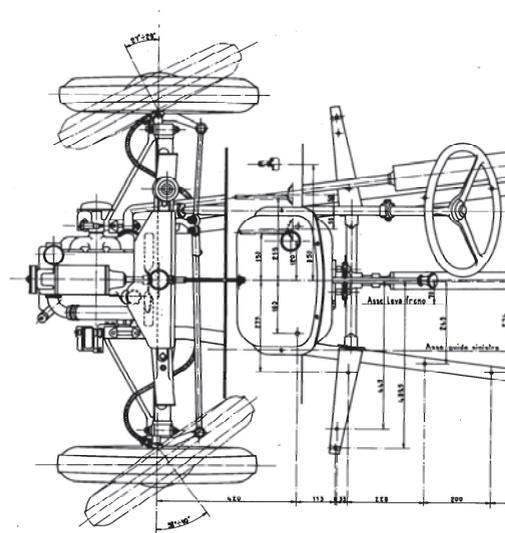
In seguito alla visita del Senatore Agnelli agli stabilimenti della Ford, fondata da Henry Ford nel 1903 negli USA, appare evidente che l'unica via percorribile è quella della produzione in serie, attraverso la catena di montaggio. Le prime applicazioni del nuovo metodo di costruzione avvengono dopo l'inaugurazione del Lingotto, iniziato nel 1916 ed entrato in funzione nel 1923.

I modelli in produzione negli anni Venti vanno dall'utilitaria Fiat 509 (prima vettura popolare, sull'esempio dell'americana Ford T) alla lussuosa berlina Fiat 529 equipaggiata con freni su tutte le 4 ruote e con volante regolabile.

Intanto, l'Azienda assorbe mano d'opera in misura crescente: nel 1926 la Fiat dà lavoro a 31.000 dipendenti. Parallelamente si sviluppa la tecnica costruttiva: ad esempio, nel 1928 la Fiat, prima al mondo, utilizza l'alluminio per la costruzione delle teste dei motori. Il decennio antecedente lo scoppio della seconda guerra mondiale è caratterizzato dalla politica autarchica che impedisce uno sviluppo

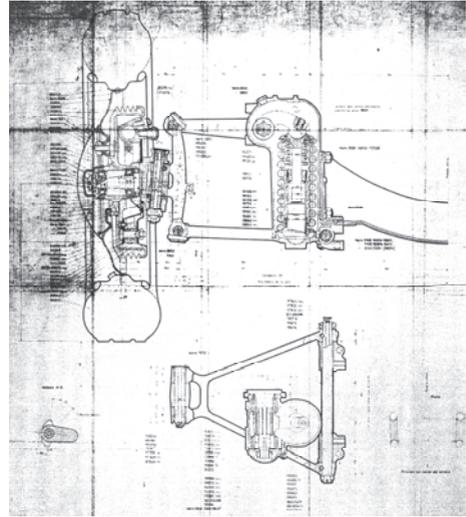
all'estero dell'azienda, ma che aiuta nell'espansione sul mercato interno. C'è anche da osservare che un contributo non secondario alla diffusione dell'automobile è costituito dall'introduzione del pagamento rateale. È di questo periodo il debutto della Balilla presentata nel 1932, inizialmente fornita di cambio a 3 marce e in un secondo tempo (dal 1934) equipaggiata con uno più moderno a 4 marce, che segna il nuovo record di produzione per la Fiat con oltre 110.000 esemplari. La Balilla è la prima utilitaria europea con i freni idraulici. Pochi anni dopo, il record verrà superato dalla Fiat 500, conosciuta nella prima versione con il nomignolo, non ufficiale, di *Topolino*, della quale saranno realizzate 500.000 unità. Tale autovettura, che darà origine ad un primo notevole passo verso la motorizzazione di massa, è caratterizzata dal motore posto a sbalzo, davanti all'asse anteriore (con sospensioni a ruote indipendenti). Questa configurazione, per l'epoca molto innovativa, si presta bene alla trazione anteriore. La 500, però, nasce con la trazione posteriore, perché i tempi, molto probabilmente non sono ancora ritenuti maturi per tale innovazione (Fig. 2).

Figura 2. L'avantreno della Fiat 500.

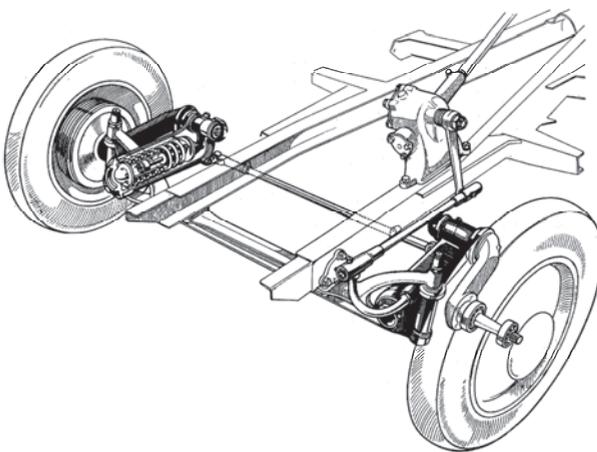


L'evoluzione della Balilla porta alla Balilla 508 (1935), capostipite della gloriosa e fortunata serie delle 1100, che arriverà fino agli anni Sessanta. Una caratteristica, per l'epoca molto innovativa, di questa vettura è la sospensione anteriore a ruote indipendenti a quadrilatero trasversale, con molle ad elica cilindrica contenute in scatole verticali solidali con il telaio e, quindi, facenti parte della "massa sospesa" (Fig. 3).

**Figura 3.** La sospensione anteriore della Fiat 508 a ruote indipendenti ed a quadrilatero trasversale.



Nel 1935 viene lanciata la Fiat 1500, che si distingue per una innovativa linea aerodinamica e filante della carrozzeria, ispirata alle più recenti teorie dell'epoca. Dal punto di vista tecnico, interessante è il telaio a X e le sospensioni anteriori a ruote indipendenti (Fig. 4). Lo schema è quello Dubonnet, per certi versi, simile a quello della Balilla 508, ma caratterizzato da bracci longitudinali singoli e molle ad elica orizzontali, racchiuse in scatole, facenti parte della "massa sospesa", ma anche della "massa sterzante". Questa soluzione, pur interessante nella sua compattezza, proprio per l'entità delle masse sterzanti, rende l'avantreno sensibile agli squilibramenti delle ruote, con rischi di fenomeni quali lo "shimmy" e lo "sfarfallamento".



**Figura 4.** La sospensione anteriore della Fiat 1500.

La seconda guerra mondiale porta ad una drastica riduzione della produzione di autovetture con una conversione delle linee alla costruzione di veicoli commerciali massicciamente richiesti dalla macchina bellica. Gli impianti subiscono gravissimi danni a causa dei bombardamenti e vengono pressoché fermati.

Già alla fine del 1945, comunque, si cominciano a produrre le prime autovetture: la gamma è, a parte la grossa 2800, quella dell'anteguerra ed è quindi costituita dai tre modelli di base: la 500 "Topolino", la 1100 e la 1500.

Il 1950 vede la presentazione della 1400, con linea americaneggiante e con impostazione meccanica tradizionale, che sostituisce la 1500. La 1400 è il primo modello con carrozzeria portante e fornito di serie di impianto di riscaldamento.

Nel 1951 esce la "Campagnola", mezzo fuoristrada di derivazione dalla statunitense Jeep che troverà ampio impiego presso le forze armate, mentre l'anno dopo è la volta della Fiat 8V, berlinetta sportiva a 2 posti con sospensioni a 4 ruote indipendenti.

Nel 1953 nasce la 1100/103, detta anche "Nuova Millecento" nuova edizione a struttura portante della serie che aveva già avuto molto successo e risalente, nella sua prima configurazione, come si è detto, alla 508 del 1935.

Il 1955 è caratterizzato dalla sostituzione della 500 con la 600, primo modello FIAT a motore posteriore, che veramente darà inizio alla motorizzazione di massa degli italiani. Ad essa segue, nel 1956, la originalissima derivata Fiat 600 Multipla, prima "monovolume" italiana e, probabilmente, mondiale, almeno prodotta in grande serie.

Nel 1957 nasce la piccola Fiat 500, anch'essa con motore posteriore, che darà un ulteriore grande impulso alla diffusione delle quattro ruote in Italia.

Il decennio si chiude, nel 1959 con la sostituzione delle ormai superate 1400/1900, con le moderne 1800/2100, caratterizzate dalla sospensione anteriore a barre di torsione longitudinali e dalla carrozzeria "spigolosa".

La Fiat 850 (1964) ripropone una vettura con lo schema della Fiat 600, con prestazioni superiori. Essa consegue un notevole successo, sia nella versione berlina sia in quelle coupé e spyder. Nel 1967 esce la Fiat 124 che riesce a fregiarsi del titolo di "Auto dell'anno" e sulla cui meccanica la Pininfarina crea un modello spider molto apprezzato e, successivamente, la Fiat 125.

Il 1969 vede l'acquisizione della Lancia da parte della Fiat e la presentazione delle prime autovetture torinesi con la trazione anteriore, la Fiat 128 e la Fiat 127, erede, questa, della Fiat 850 e di cui, nei soli primi 3 anni di produzione, verranno costruiti oltre un milione di esemplari. Dello stesso anno è anche la Fiat 130, ammiraglia della casa, con il motore da 2900 cc.

Il 1972 vede l'uscita della Fiat 126, piccola vettura a motore posteriore, secondo lo schema della Fiat 500 degli anni Cinquanta, la Fiat 132, di fascia medio-alta e la

sportiva Fiat X1/9. In questo stesso anno l'azienda subisce un radicale cambiamento di struttura con la creazione della *Fiat Auto Spa* sotto cui vengono raggruppate tutte le aziende del gruppo attive nel comparto automobilistico (Fiat, Lancia, Autobianchi e Abarth) ad eccezione della Ferrari che, insieme alla Maserati, quando questa sarà rilevata dal gruppo torinese, fa capo direttamente alla holding, scindendo le attività collaterali in nuove ragioni sociali come *Fiat Ferroviaria*, *Fiat Avio* e *Fiat Trattori*. Nel frattempo anche tutta la produzione di veicoli industriali aveva perso la denominazione *Fiat* per essere inglobata nel marchio Iveco.

Con gli anni Ottanta nascono la Panda (1980) e la Uno (1983), con il design di Giugiaro. La prima nella fascia delle utilitarie e la seconda come erede della 127. C'è da osservare che la Uno è la prima Fiat a montare il motore FIRE (Fully Integrated Robotized Engine) (in realtà, era già stato montato nel 1985 sulla Autobianchi Y10). La caratteristica fondamentale di questo motore è la semplicità e, quindi, l'affidabilità; inoltre, come dice il nome, era stato progettato per essere montato da impianti automatici. Un'altra sua caratteristica è il basso consumo a parità di condizioni, rispetto agli altri motori.

Nel 1986 la Fiat acquista l'Alfa Romeo dall'IRI.

Gli anni Novanta vedono la produzione della Cinquecento (1991), della Punto (1993), della grossa monovolume Ulysse (1994), prodotta in collaborazione con il Gruppo PSA francese, della Seicento (1998) che sarà prodotta fino al 2010 e della Multipla, che riprende il nome della 600 Multipla degli anni Sessanta, monovolume media con sei posti e dimensioni da utilitaria e che ottiene un grande successo.

**OM.** La OM, nella sua configurazione originale (Officine Meccaniche, da cui l'acronimo), nasce nel 1899 e già l'anno successivo si fonda con Grondona, Comi & C. e nel 1918 acquisisce la Züst (fondata nel 1903). La prima vettura prodotta, la Tipo S 305 25/35 HP, 4712 cc, 4 cilindri e valvole laterali è ancora un modello Züst. Nel 1919 viene prodotta la prima vettura originale OM, la 469 12/15 HP. Nel 1927, poi, la vettura "Superba" a 6 cilindri, con 2 litri di cilindrata consegue un grande successo sportivo, vincendo la Mille Miglia.

Nel 1927, la OM acquisisce la OM Carrozzeria di Suzzara, azienda specializzata nella produzione di macchine agricole e nel 1933 entra nel gruppo Fiat. Nel 1934 viene presentato al Salone di Londra il prototipo Alcyone (6 cilindri, 2130 cc., valvole in testa) mai entrato in produzione.

Nel 1937 gli stabilimenti di Milano e di Brescia vengono unificati con la creazione di 3 settori produttivi:

- a) autobus e autocarri;
- b) materiale ferroviario, trattori agricoli, carrelli elevatori e motori marini;
- c) motopompe ed impianti di refrigerazione.

Dopo l'ingresso nel Gruppo Fiat la produzione è concentrata sugli autocarri: Leoncino (1950), Super Taurus (1950), Tigrotto (1957), Tigre (1958), Lupetto (1959), Cerbiatto (1966), Daino (1967).

Nel 1951 viene prodotto il primo carrello elevatore con motore a combustione interna, mentre dal 1952 al 1970 viene prodotto il veicolo a trazione integrale "Autocarro leggero CL 52", noto anche come "gippone" e molto utilizzato per usi militari.

Nel 1975 la OM entra nella holding IVECO. Il settore per la produzione di carrelli elevatori diviene Fiat Carrelli Elevatori e nel 2002 assume la denominazione di "OM Carrelli Elevatori spa".

### *Costruttori di pneumatici: la Pirelli [12]*

La Pirelli è fondata a Milano nel 1872, da Giovanni Battista Pirelli, laureato in ingegneria al Politecnico di Milano nel 1870.

Pirelli, infatti, su suggerimento del suo professore (e fondatore del Politecnico) Giuseppe Colombo, il quale gli scrive «di vedere e di imparare il più possibile in ogni ramo di industrie e, in particolare, di soffermarsi sulla produzione della gomma, per trasferire in Italia le esperienze fatte all'estero», subito dopo la laurea compie un viaggio in vari Paesi europei per studiare le prime industrie attive nel campo della gomma. Inizialmente produce articoli in gomma con il nome "Pirelli & C." e dopo pochi anni entra nel settore della produzione di cavi e, agli inizi del XX secolo, in quello degli pneumatici. Il primo pneumatico per automobile è del 1901 ed ha la denominazione di "Ercole". Nel 1907 arriva la prima vittoria sportiva, con la Itala 35/45 HP nel raid Pechino-Parigi. All'inizio del Novecento, inoltre, inizia l'espansione internazionale, prima in Spagna (1902), poi anche in Gran Bretagna (1914) e in Argentina (1919). Negli anni Venti ha inizio la presenza massiccia nelle gare automobilistiche, che prosegue fino ai giorni nostri e che vede numerose vittorie di gran premi di Formula 1, Rally, e nella Mille Miglia.

Nel settore pneumatici, è da ricordare l'introduzione, agli inizi degli anni Cinquanta, del radiale Cinturato (riproposto recentemente in versione supertecnologica ed eco-compatibile), e negli anni Ottanta quella dello pneumatico ribassato. Il nuovo millennio vede un'altra rivoluzione: la realizzazione, nel 2000, del processo produttivo MIRS (Modular Integrated Robotized System) per la fabbricazione automatizzata di pneumatici ad alte prestazioni. Nel 2002 entra in funzione la futuristica sala mescole automatizzata CCM (Continuous Compound Mixing).

*Carrozzeri e costruttori di carrozzerie [13]*

La carrozzeria è senz'altro un componente fondamentale, soprattutto nei primi anni della storia dell'automobile. Tra la fine dell'Ottocento ed i primi decenni del Novecento nascono moltissimi costruttori di carrozzerie che, lavorando in stretto contatto con i costruttori di automobili, raggiungono spesso risultati di eccellenza. Le costruzioni, nei primi tempi dell'automobilismo, sono caratterizzate da telaio e carrozzeria separati, con telaio costituito da longheroni e traverse, arrivando, così, ad una struttura "a scala", sulla quale, mediante chiodature, poi bullonature e, successivamente, saldature viene fissata la carrozzeria. Essa è così un "vestito" sopra il telaio e gli organi meccanici collegati ad esso [14].

Tra i carrozzieri nati nell'Ottocento, vale la pena di ricordare i seguenti.

**Castagna.** Carlo Castagna nel 1849 rileva la bottega "Ferrari" e fonda la carrozzeria "C. Castagna & C.", che opera nella produzione e manutenzione di carrozze. Tra queste, è da ricordare la spider in legno di limone costruita per Alessandro Manzoni da Carlo Castagna, quando questi ancora era operaio.

Castagna collabora successivamente con la Ottolini & Ricotti, importatrice dei quadricicli Benz e così inizia a "vestire" le prime automobili.

Alcune sue realizzazioni sono:

a) Double phaeton su telaio Fiat 24 HP (1905), con ricchissima dotazione di accessori, realizzata per la Regina Margherita; la vettura partecipa alla Susa-Moncenisio;

b) Aerodinamica su telaio ALFA 40-60 HP per il conte Ricotti (1913), con struttura "ad uovo" e rastremata in corrispondenza della coda ed ispirata alla navicella dei dirigibili.

Le commesse arrivano numerose e la Castagna lavora per i principali costruttori di autoveicoli: Alfa Romeo, Lancia, Daimler Benz, Isotta Fraschini, Hispano Suiza. Nel 1919 è la prima carrozzeria italiana, attiva anche in molte lavorazioni non prettamente automobilistiche. Ad esempio, realizza molti elementi metallici per l'arredamento di vetture ferroviarie per la Compagnie Internationale des Wagons-Lits e collabora anche alla realizzazione di particolari per l'Orient Express.

Con la seconda guerra mondiale e con l'immediato dopoguerra, la Castagna conosce un periodo di crisi, dovuto, inizialmente, alla chiusura dell'Isotta Fraschini e dell'Hispano Suiza, due prestigiosi committenti, e nel 1954 cessa l'attività.

**Schieppati.** La carrozzeria Schieppati viene fondata nel 1898 dal giovanissimo Augusto Schieppati (1878-1950), che, dopo un periodo di apprendistato fonda una sua azienda che, per l'incremento delle commesse, si ingrandisce rapidamente.

Il suo successo è dovuto, da un lato alla originalità ed alla genialità delle soluzioni costruttive, dall'altro alla sua grande accuratezza nelle lavorazioni. Ad esempio, è un pioniere nella verniciatura, per la quale è fra i primi ad utilizzare l'“aeropenello”. Nello sviluppo di soluzioni originali gli è di grande aiuto l'amicizia con l'ing. Coda, che aveva maturato esperienza nelle costruzioni aeronautiche. Ad esempio, Schieppati è tra i pionieri nell'applicazione del legno di frassino, particolarmente resistente e leggero e dei tubi di duralluminio.

Uno dei capolavori di Schieppati è la realizzazione nel 1925, per il marchese Diego de Sterlich, di una carrozzeria da corsa per l'otto cilindri Diatto-Maserati.

Da notare anche la collaborazione di Schieppati con la Citroen, grazie all'intermediazione del già citato ing. Coda che, intanto, lavora all'Ufficio Studi della Citroen di Parigi.

Durante le prima e la seconda guerra mondiale, la Schieppati lavora per la fornitura di veicoli militari e di materiale bellico.

L'attività dell'Azienda cessa, di fatto, nel 1943, a causa dei bombardamenti: qualche tentativo di ripresa dopo la guerra non è seguito da successo.

## Il Novecento

### *L'Esposizione di Milano*

A Milano, nel 1906 ha luogo la grande Esposizione, celebrativa del traforo del Sempione e, in relazione a ciò, dedicata soprattutto ai mezzi di trasporto [15].

Accanto alle ferrovie, nell'Esposizione del 1906 viene celebrato l'avvento dell'automobile e, in particolare, il passaggio dall'automobilismo esclusivamente sportivo all'utilizzo pratico del nuovo mezzo.

Sono esposte vetture di notevole livello tecnico, realizzate da costruttori validi anche sul piano organizzativo, molto numerosi, talora di piccole dimensioni ed in concorrenza fra loro. Sono presenti 80 costruttori italiani, 87 francesi, 27 tedeschi, 19 belgi, 11 austriaci, 13 inglesi, 9 svizzeri ed alcuni americani, svedesi, norvegesi. Sono inoltre presenti diversi costruttori di accessori.

All'Esposizione fanno la loro comparsa alcune novità, come, ad esempio, l'innesto a frizione a dischi metallici multipli, la trasmissione ad albero, il raffreddamento ad aria, le vetture elettriche, la Termoelectromobil (vettura con motore termico ed elettrico), i pneumatici Semelle della Michelin in gomma morbida, con banda di rotolamento in cuoio guarnita di chiodi d'acciaio.

Nell'ambito dell'Esposizione ha luogo anche il Congresso internazionale di automobilismo, presieduto da Giuseppe Colombo e che vede, fra i relatori,

personaggi come Frigerio, Turinelli, Alberto Pirelli. Alcuni temi dibattuti sono le alternative al motore termico, la trazione elettrica, i pneumatici innovativi, temi sui quali si continua a parlare anche oggi.

### *Costruttori di automobili*

**Isotta Fraschini.** La Isotta Fraschini nasce nel 1900 da un accordo fra Cesare Isotta e Antonio Fraschini. L'Azienda inizia importando Renault e nel 1902 costruisce la prima vettura, la 12 HP, poi seguita dalla 16 HP e successivamente dalla 24 HP, caratterizzate tutte dal motore a 4 cilindri raffreddato ad acqua. Nel 1910 l'Isotta Fraschini ottiene il brevetto (il N° 108349) relativo all'applicazione dei freni sulle ruote anteriori.

Dopo la prima guerra mondiale, viene messa sul mercato la vettura Tipo 8, della quale vengono realizzate le tre versioni 8A, 8B ed 8C. La 8A, presentata al Salone di Parigi del 1924, si impone come un esempio di raffinatezza ed eleganza. L'Isotta Fraschini entra allora nel novero delle "grandi" dell'automobilismo mondiale, accanto a Rolls Royce ed Hispano Suiza e, con esse, diventa il "sogno" dei potenti della terra. Dopo la seconda guerra mondiale, l'Azienda conosce un grave periodo di crisi, dal quale cerca di sollevarsi con una vettura innovativa, la Monterosa, progettata da Fabio Rapi, Aurelio Lampredi ed Alessandro Bay e caratterizzata da soluzioni innovative, quali il motore posteriore di 3400 cc. ad 8 cilindri a V e le sospensioni in gomma (poi sostituite da molle metalliche). Di tale vettura, nel 1948 si costruiscono solo pochi esemplari: i tempi non sono maturi per il successo di una vettura di questo genere e la grande casa, che aveva dato lustro all'Italia, è costretta a chiudere.

**Bianchi.** La Bianchi inizia come fabbrica di biciclette e nel 1902 realizza il primo autoveicolo. Nel 1905 la ragione sociale diviene *Fabbrica di automobili e velocipedi Edoardo Bianchi*.

Caratteri generali della produzione Bianchi sono quelli di affidabilità e di accuratezza e, pertanto, sente molto la concorrenza della Lancia. La Bianchi è forse l'unica azienda (almeno italiana) che produce biciclette, motociclette, automobili, autocarri, motori per aerei

Dopo la seconda guerra mondiale non riesce a riaprire e nel 1955 cede l'attività alla Fiat: rimane solo il marchio Autobianchi. Con tale marchio escono:

- a) Bianchina (1957), che costituisce una sorta di Fiat 500 di lusso e della quale compaiono diverse versioni (panoramica, cabriolet, quattroposti);
- b) Stellina (1963), spider progettato da Fabio Rapi: alcune soluzioni sono interessanti, come la carrozzeria realizzata in poliestere (prima vettura italiana con

questa caratteristica), ma il successo commerciale è modesto, forse anche per le ridotte prestazioni;

c) Primula (1964), con motore della FIAT 1100 D, posto anteriormente ed in posizione trasversale: essa costituisce la prima “prova generale” della trazione anteriore in casa FIAT;

d) A111 (1968): vettura media a trazione anteriore;

e) A112 (1969): piccola vettura di classe, a trazione anteriore, costruita in numerose versioni ed in molte serie successive.

Negli anni '90, però, il marchio Autobianchi scompare.

**Itala.** La Itala Fabbrica Automobili nasce a Torino nel 1904 da un'iniziativa di un gruppo di soci guidati da Matteo Ceirano. Già nel 1906 una Itala vince la Targa Florio, ma è soprattutto la grande impresa del 1907, il Raid Pechino-Parigi che dà grande fama all'Azienda. Il principe Scipione Borghese, con il pilota-meccanico Ettore Guizzardi ed il “passeggero” Luigi Barzini, inviato del Corriere della Sera percorrono in due mesi esatti i 16.000 chilometri che separano le due città. Luigi Barzini descrive il viaggio nel suo libro *La metà del mondo vista da un'automobile* (allora la parola “automobile” è di genere maschile!).

Durante la prima guerra mondiale, la Itala produce motori per aerei su licenza Hispano-Suiza e, a guerra finita, riprende la produzione automobilistica fino al 1929. Dopo alcune fusioni, nel 1934 l'Azienda cessa completamente la propria attività.

**Diatto.** La Diatto nasce con la denominazione di Società Automobili Diatto-A. Clément nel 1905, come evoluzione di un'azienda per la costruzione di materiale ferroviario e, prima ancora, di ruote per carri, risalente, nella sua prima configurazione, al 1835.

Molto presto, nel 1906, una Diatto-Clément 10/12 HP conquista il primo posto di categoria alla Milano-Sanremo: questa è solo la prima di numerose affermazioni sportive delle vetture dalla Casa. Nel 1908, una Diatto riesce a portare a termine il durissimo rallye (allora non ancora chiamato in questo modo) San Pietroburgo-Mosca: le esperienze maturate in questa vicenda saranno preziose per affinare la produzione successiva. Ad esempio, la 25/35 HP (1907) sostituirà la trasmissione a catena con la più affidabile trasmissione ad albero. Particolarmente significativa è la vettura da record con un motore aeronautico da 15,9 litri e con carrozzeria aerodinamica (1910).

La prima guerra mondiale vede la Diatto, come molte altre aziende, impegnata nella fornitura di materiale bellico.

Il dopoguerra vede per la Diatto alcune trasformazioni societarie e la produzione della Tipo 30, su licenza Bugatti con albero della distribuzione in testa e la Tipo 10, di poco più di 1000 cc. di cilindrata, nella quale si può ravvisare un tentativo di vettura utilitaria, forse troppo in anticipo sui tempi. La Tipo 20 (1922) è una vettura a carattere particolarmente innovativo: distribuzione silenziosa, comandata da un albero verticale, assieme alla pompa dell'acqua, al magnete, al ventilatore ed alla dinamo, azionato dall'albero a gomiti. Il comando dell'anticipo all'accensione è sul volante.

La Diatto Tipo 20 e la sua derivata Tipo 20S, anche in seguito alla collaborazione con i fratelli Maserati, coglie numerosi allori sportivi.

Gli anni Venti e Trenta vedono la Casa attraversare alterne vicende ed un nuovo assetto societario. La produzione continua e vengono presentati alcuni modelli interessanti: ad esempio, due vetture sperimentali, realizzate appositamente per la Mille Miglia, con motore ad 8 cilindri, con cilindrata di 2 litri, sovralimentato e con potenza di 160 HP. La velocità raggiungibile è di ben 220 km/h. Nel 1931 l'Azienda cessa di fatto la produzione di automobili e si dedica alla realizzazione di gruppi elettrogeni, motocompressori, moto pompe e perforatrici, oltre ai pezzi di ricambio per le vetture prodotte in precedenza.

Un ritorno alla produzione di automobili viene tentato senza successo nel 1945 e nel 1955, di fatto, la Diatto cessa di esistere.

**Lancia** [16][17][18][19]. La Lancia è fondata nel 1906 da Vincenzo Lancia e Claudio Fogolin con la denominazione di Lancia & C. Vincenzo Lancia è già noto nel mondo dell'automobile per le sue affermazioni sportive alla guida di vetture Fiat.

Nel 1908 esce il suo primo telaio, il 12 HP, subito ribattezzato "Alfa" su suggerimento del fratello di Vincenzo, Giovanni, grecista. Successivamente escono la 18/24 HP (Dialfa) e poi la Beta (1909) e la Gamma (1910). La Delta (1911) presenta l'innovazione dell'alimentazione a pompa, anziché per gravità. Seguono poi la Epsilon (1911), la Eta (1911), prima Lancia con innesto a frizione a secco, anziché a bagno d'olio, la Zeta (1912), la Theta (1913): quest'ultima presenta l'interessante innovazione dell'impianto elettrico incorporato.

Durante la guerra 1915-18, la Lancia diviene stabilimento ausiliario di guerra e si dedica essenzialmente alla produzione di veicoli militari: ciò non le impedisce, però, di realizzare i nuovi modelli Jota e Diota.

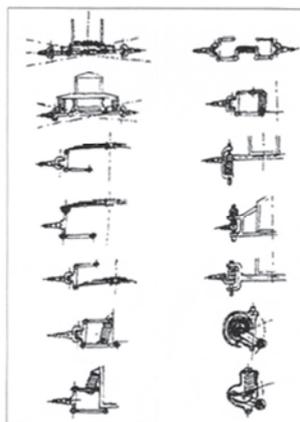
Dopo la guerra, nascono la Kappa (1919), la Dikappa (1921) e nel 1922 uno dei capolavori di Lancia, la Lambda. Costruita in numerose serie fino al 1931, è caratterizzata da alcune significative innovazioni:

- a) motore a 4 cilindri a V stretto;

- b) carrozzeria portante;
- c) sospensione anteriore a ruote indipendenti.

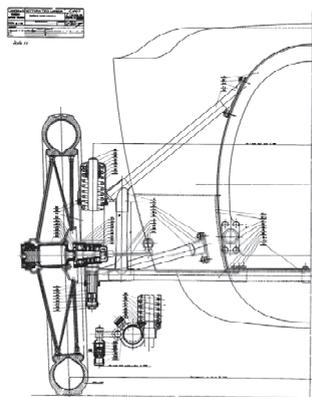
Lancia arriva a concepire questa soluzione analizzando numerosi schemi (Fig. 5) [20], assieme al fido Battista Falchetto [21].

**Figura 5.** Gli schemi di sospensioni indipendenti concepiti da Vincenzo Lancia (1920 circa).



È interessante osservare che, fra essi, ve ne sono diversi, ad esempio quelli a quadrilatero trasversale (ultimi 5 della prima colonna) nettamente in anticipo sui tempi.

Lo schema adottato sulla Lambda è quello a manicotto (4° della colonna di destra, Fig. 6), che sarà caratteristico della produzione Lancia fino all'Appia (1963).



**Figura 6.** La sospensione anteriore a manicotto della Lambda.

Alla Lambda seguiranno la Dilambda, l'Artena, l'“ammiraglia” Astura e la piccola vettura di lusso Augusta.

Il 1937 vedrà un altro capolavoro di Vincenzo Lancia, l'Aprilia, vettura aerodinamica, di linea, per l'epoca, quasi avveniristica, con sospensioni a 4 ruote indipendenti. Particolarmente interessante è la sospensione posteriore (Fig. 7).

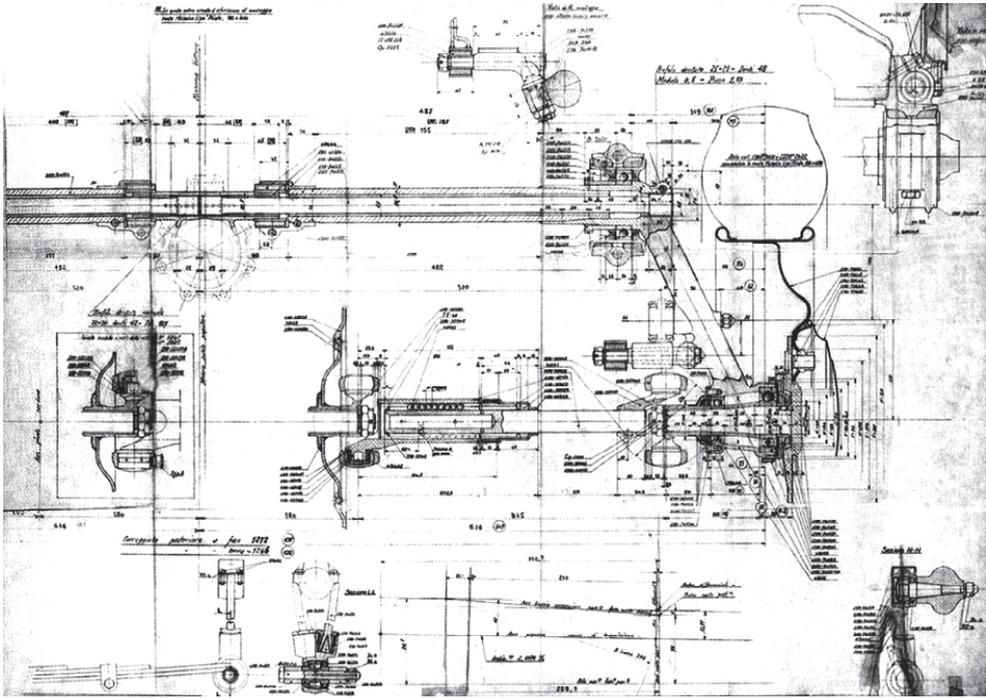


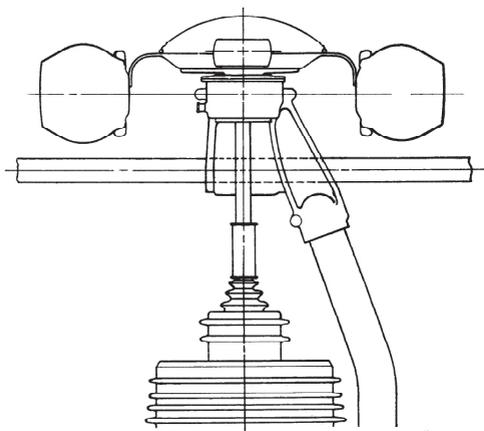
Figura 7. La sospensione posteriore dell'Aprilia.

Essa è caratterizzata da una molla a balestra trasversale e da due barre di torsione trasversali, azionate da due braccetti longitudinali. Per ridurre le masse non sospese, i tamburi dei freni posteriori sono posizionati all'uscita del differenziale.

La "sorella" minore dell'Aprilia, l'Ardea, avrà una linea simile ed una meccanica semplificata: posteriormente, infatti, ha un asse rigido.

Dopo la scomparsa di Vincenzo Lancia (1937), nel dopoguerra nasceranno l'Aurelia, vettura di alta classe e la piccola Appia.

L'Aurelia è caratterizzata dall'aver il gruppo propulsore al retrotreno. Durante la sua produzione, diventerà Direttore tecnico Antonio Fessia il quale, assertore delle molle a balestra, sostituirà la sospensione posteriore a bracci obliqui e molle ad elica, con un ponte De Dion e molle a balestra (Fig. 8).



**Figura 8.** Schema della sospensione posteriore dell'Aurelia, modificata da Fessia.

Fessia avvia la produzione dell'ammiraglia Flaminia e, successivamente, ai primi anni Sessanta, darà luogo al suo capolavoro, la Flavia, prima vettura italiana di grande serie a trazione anteriore e motore boxer, il cui schema riprende molti punti della CEMSA, progettata dallo stesso Fessia nel 1947. La trazione anteriore sarà una caratteristica anche della più piccola Fulvia (1963), la quale, però, avrà un motore a quattro cilindri a V stretto. La Fulvia è la capostipite di una numerosa e fortunata serie, fra le quali molte versioni, particolarmente sportive che raccoglieranno notevoli successi nei rally.

Flavia e Fulvia hanno la sospensione anteriore a quadrilatero trasversale e molla a balestra trasversale, la quale ha esclusivamente la funzione di organo elastico e non di guida cinematica dei moti di molleggio della ruota.

Nel 1969 la Lancia entra nell'orbita Fiat: i modelli che seguono, spesso, utilizzano gruppi meccanici in comune con vetture Fiat dello stesso segmento. Nascono così la Beta, la Gamma, la Delta (della quale saranno realizzate numerose versioni sportive), la Prisma, la Dedra, l'ammiraglia Thema, poi sostituita dalla K.

Un notevole successo è ottenuto dalle piccole Ypsilon e Musa e dalla terza versione della Delta.

**Alfa Romeo** [22][23][24][25][26][27]. Nel 1906 la francese Darracq impianta uno stabilimento a Napoli (per il montaggio delle vetture francesi), subito trasferito a Milano, al Portello. Nel 1910, dopo alcune vicissitudini, l'Azienda viene rilevata da un gruppo di imprenditori lombardi e, con la denominazione di ALFA (Anonima Lombarda Fabbrica Automobili), continua la produzione di automobili: la prima vettura prodotta è il modello 24 HP. Al tempo della prima guerra mondiale, l'imprenditore napoletano Nicola Romeo salva l'azienda da un fallimento e, con il suo apporto tecnico e finanziario, la fa sopravvivere: nasce così l'Alfa Romeo. Nel

1911 inizia la vita sportiva dell'Azienda e nel 1924 la P2 vince il primo campionato del mondo.

Negli anni antecedenti la seconda guerra mondiale la fama dell'Alfa Romeo è legata soprattutto alle vittorie sportive, favorite anche dalla progettazione di vetture dalle caratteristiche tecniche innovative. Ad esempio, nel 1924, l'Alfa Romeo RL è fra le prime a montare i freni sulle ruote anteriori.

Nel 1933 l'Alfa Romeo entra a far parte dell'IRI e nel 1939 nasce lo stabilimento aeronautico di Pomigliano d'Arco.

La seconda guerra mondiale lascia pesanti segni negli stabilimenti Alfa Romeo, che vengono ripetutamente bombardati. Nel dopoguerra, la ripresa è segnata dal fortunato modello 1900 (1950), prima vettura di classe ad alte prestazioni con motore a 4 cilindri. Nel 1954 è la volta della Giulietta, vettura media (1300 cc.) di alte prestazioni che arriverà a costituire un mito per moltissimi italiani. La Giulietta avrà una grandissima fortuna: ne verranno costruite alcune versioni sportive, la spider e la sprint: nel 1961 esce dalla catena di montaggio Alfa Romeo la 100.000a Giulietta. Il 1962 sarà la volta di un altro fortunato modello, la Giulia anche della quale verranno costruite numerose versioni e che, anch'essa, nell'immagine degli italiani (e non solo) rinnoverà il mito della Giulietta.

Nel 1972 dagli stabilimenti di Pomigliano d'Arco esce l'Alfasud, la prima Alfa Romeo a trazione anteriore e lo stesso anno vede uscire un altro fondamentale modello della casa, l'Alfetta: il motore montato inizialmente è un 4 cilindri con cilindrata di 1800 cc., distribuzione a doppio albero a camme in testa ed alimentazione a due carburatori a doppio corpo, il retrotreno è a ponte De Dion, con cambio ed innesto a frizione al retrotreno e freni all'uscita del differenziale, soluzioni costruttive che avevano già caratterizzato le ultime serie della Lancia Aurelia e la Lancia Flaminia.

Nel 1983 ha luogo un tentativo di joint-venture con la Nissan che porta alla realizzazione dell'Arna, con meccanica Alfa Romeo e telaio Nissan: il tentativo però non è coronato dal successo sperato. Il 1984 vede la nascita dell'Alfa 90 ed il 1987 quello dell'Alfa 164, che adotta lo stesso pianale di Fiat Croma, Lancia Thema e Saab 900. La 164 con varie versioni e motorizzazioni, raggiunge un grande successo.

La 156, uscita nel 1997, è la prima vettura al mondo ad impiegare un motore turbo diesel common rail: la vettura ottiene notevole successo commerciale e numerose vittorie in campo sportivo.

Fra gli ultimi successi, che coronano il centenario del marchio, la MiTo (Milano-Torino) (2008) e la nuova Giulietta (2010).

**Maserati** [28]. La Maserati nasce nel 1914, per iniziativa di Alfieri Maserati, per sviluppare vetture da corsa Isotta Fraschini. La prima autovettura completamente Maserati, la “Tipo 26”, viene costruita nel 1926 e su di essa appare per la prima volta il logo dell’Azienda, cioè il tridente. Nel 1937 la Maserati passa alla famiglia Orsi e viene trasferita da Bologna a Modena. I figli del fondatore rimangono ancora nell’Azienda come consulenti e nel 1947 ne escono e fondano la OSCA.

Nel 1968 le azioni della Maserati vengono rilevate dalla Citroen e, dopo ulteriori alterne vicende e diversi passaggi di proprietà, la Maserati dal 2005 fa parte del Gruppo Fiat.

Le automobili Maserati si sono sempre caratterizzate per le altissime prestazioni.

**Ansaldo.** L’Ansaldo nasce nel 1919 da un’Azienda attiva nella costruzione di materiale ferroviario e militare. Dopo la prima guerra mondiale inizia a dedicarsi alla costruzione di autoveicoli. Di qualche interesse tecnico è il modello 4 A, caratterizzato dalla distribuzione con albero a camme in testa, soluzione allora innovativa.

L’Azienda non riesce a risollevarsi dalla crisi del 1929 e nel 1932 verrà assorbita dalla OM.

**Ferrari** [29][30][31][32]. La Ferrari nasce a Modena nel 1939 per opera di Enzo Ferrari come Auto Avio Costruzioni. Dopo un prototipo costruito in due esemplari nel 1940, dal 1947 la costruzione di automobili ad altissime prestazioni sarà la principale attività. La prima autovettura, costruita, appunto, nel 1947 è la 125 S, con cilindrata di 1500 cc. e potenza di 100 CV. L’Azienda diviene Auto Costruzioni Ferrari nel 1957, SEFAC nel 1960 e Ferrari spa nel 1965, per entrare nell’orbita Fiat nel 1969. La produzione Ferrari è specializzata nelle vetture sportive ad altissime prestazioni, caratterizzata da una raffinata meccanica (motori generalmente a V ad 8 o a 12 cilindri) e carrozzeria disegnata da maestri dal design. Nel 2011 viene realizzata la FF, la prima a 4 ruote motrici.

Nel 1997 viene realizzata la galleria del vento, opera, dal punto di vista architettonico, di Renzo Piano; seguono poi altri reparti realizzati da nomi come Marco Visconti, Luigi Sturchio, Massimiliano Fuksas, Jean Nouvel. Una caratteristica degli stabilimenti Ferrari di oggi è, fra le altre, l’organizzazione molto efficiente, dal punto di vista degli ambienti di lavoro e della sostenibilità ambientale.

**Iso Rivolta** [33]. La Iso Rivolta dopo alcuni anni di attività in campo motociclistico, nel 1953 lancia la Isetta, piccola vettura molto originale, progettata da Ermenegildo Preti, docente al Politecnico di Milano. La vettura, dalla caratteristica forma ad uovo, ha un motore motociclistico di 236 cc., con le due

ruote posteriori a carreggiata ridotta, in modo da non rendere necessario il differenziale. La vettura ha due posti e la porta di ingresso è frontale. In Italia l'Isetta non avrà grande successo: maggior successo lo avrà la versione tedesca, costruita su licenza dalla BMW.

Nel 1962, la produzione dell'Azienda si rivolge a vetture di altissime prestazioni: la prima è la 300, con motore V8 della Chevrolet Corvette ed è progettata da Giotto Bizzarini. Ad essa ne seguono altre, ma la concorrenza di altri costruttori, quali Ferrari, Maserati e Lamborghini, costringono l'Azienda, dopo alcuni passaggi di proprietà, a chiudere.

**Innocenti.** La Innocenti inizia la propria attività nel 1928 con la produzione di tubi di acciaio. Dopo avere lanciato, nel 1946, la Lambretta, motoveicolo a grande diffusione, a costi bassi, ispirato ai mezzi paracadutabili inglesi, nel 1962 debutta in campo automobilistico con la A40, piccola vettura (1098 cc.), costruita su licenza Austin. Su tale base viene costruita in proprio, in collaborazione con la Ghia, la versione spider. Nel 1963 viene realizzata, sempre su licenza Austin, la IM3, caratterizzata da sospensioni con elemento elastico in gomma, con connessione idraulica antibeccheggio (sistema Hydrolastic). Nel 1965, infine, viene costruita la Mini Minor, piccola vettura di grande successo, della quale sono realizzate diverse versioni.

**Lamborghini** [34][35]. La Automobili Ferruccio Lamborghini spa nasce nel 1963, come ramo della Lamborghini Trattori, attiva dal 1948. È un'azienda specializzata nella costruzione di vetture di altissime prestazioni, anche collaborando con personaggi come il carrozziere Bertone ed il progettista di motori Giotto Bizzarini.

L'Azienda conosce un periodo di crisi negli anni Ottanta che la porteranno ad essere assorbita dalla Chrysler e, successivamente, dopo varie vicende, dal gruppo Volkswagen.

### *Protagonisti*

**Nicola Romeo** (1876-1938). Nicola Romeo consegue nel 1899 la laurea in ingegneria a Napoli e, successivamente, in Belgio. Nel 1911 fonda la "Società in accomandita semplice Ing. Nicola Romeo & C." per la costruzione di macchine ed impianti per miniere. Nel 1915 rileva l'A.L.F.A. (Anonima Lombarda Fabbrica Automobili), fondata da un gruppo di imprenditori che avevano rilevato la Darracq. Dopo diverse ed alterne vicende, l'azienda, che assume intanto il nome di

“Società Anonima Ing. Nicola Romeo & C.” si dedica alla costruzione di autovetture che vengono commercializzate con il marchio “Alfa Romeo”.

**Vincenzo Lancia** (1881-1937). Vincenzo Lancia, fin da giovanissimo trascorre molto tempo nell’officina di biciclette, aperta da Giovanni Ceirano nella casa in cui abita con la famiglia. Le biciclette si chiamano Welleyes e quando Ceirano, con Aristide Faccioli decide di costruire un’automobile, si chiamerà anch’essa così e Lancia ne segue la costruzione. Lancia poi segue Faccioli alla FIAT, appena fondata, e lì rimane per parecchio tempo, occupandosi del collaudo delle nuove vetture ed iniziando la sua attività sportiva, nella quale conquista molti successi e soddisfazioni. Nel 1906, con il compagno di lavoro Claudio Fogolin fonda una sua azienda, la Lancia appunto. Pochi mesi dopo, un disastroso incendio distrugge disegni e macchinari, creando un danno immenso. Il commento di Vincenzo Lancia, che la dice lunga su come affronta la disgrazia, è: «ora che non possiamo uscire con il modello 1907, occorre preparare il modello 1908».

Vincenza Lancia, nella sua produzione, punta soprattutto sull’innovazione, che persegue con tenacia e meticolosità: le realizzazioni della sua Azienda sono ricche di conquiste tecniche di tutto rispetto e caratterizzate da grande accuratezza costruttiva:

- a) 1913: prima vettura europea con impianto elettrico incorporato (Theta);
- b) 1919: primo motore a 12 cilindri a V stretto (meno di 14°) (Trikappa);
- c) 1921: primo motore a 4 cilindri a V di 14°;
- d) 1922: prima sospensione anteriore a ruote indipendenti e prima carrozzeria portante (Lambda);
- e) 1937: prima vettura con sospensione anteriore e posteriore a ruote indipendenti e con carrozzeria aerodinamica (Aprilia).

**Guido Ucelli di Nemi** (1885-1964) [36]. Guido Ucelli di Nemi, oltre ad essere un alto dirigente della Riva Calzoni ed un protagonista del mondo culturale (riporta infatti alla luce le navi di Nemi e fonda, dopo la seconda guerra mondiale, a Milano il Museo Nazionale della Scienza e della Tecnica – ora Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia “Leonardo da Vinci”), in campo automobilistico contribuisce ad un’idea veramente innovativa: la vettura San Giusto, progettata nel 1921 e realizzata per l’omonima casa triestina. In tale progetto, Ucelli viene affiancato da Cesare Beltrami, direttore del reparto motori d’aviazione nelle “Officine F. Tosi” di Legnano e, successivamente, libero professionista. Beltrami aveva anche svolto un periodo accademico, come assistente alla Cattedra di Disegno di Macchine al Politecnico.

Ecco le innovazioni più significative della San Giusto.

a) Motore: è montato posteriormente, con una concentrazione, quindi, dei gruppi meccanici sull'asse posteriore. Inoltre il motore ha una cilindrata di 750 cc., piccola, quindi, soprattutto se confrontata con le cilindrate allora diffuse. Un'altra caratteristica interessante del motore è il raffreddamento ad aria.

b) Telaio: è a trave cava rettangolare centrale. Ciò comporta, da un lato una grande rigidità flessionale e torsionale, in confronto ai telai a longheroni e traverse, tipici dell'epoca, dall'altro una concentrazione centrale degli ingombri e, quindi, una disponibilità di spazio ai lati della trave, particolarmente interessante nel caso di sospensioni, come è nella San Giusto, a bracci trasversali.

c) Sospensioni: sono a quattro ruote indipendenti, caratteristica decisamente innovativa per l'epoca.

**Vittorio Jano** (1891-1965). Vittorio Jano è un grande progettista automobilistico, specialista nella progettazione di motori. Entra alla FIAT nel 1911, dove rimane fino al 1923, quando, con la mediazione di Enzo Ferrari, passa all'Alfa Romeo, sostituendo Giuseppe Merosi. All'Alfa Romeo lega il suo nome ad una serie di grandi propulsori, fra i quali l'8 cilindri in linea della P2, il 6 cilindri in linea con distribuzione a doppio albero a camme in testa, montato sulla 6C 1500, fino al 12 cilindri a V del 1937. Passa poi alla Lancia dove collabora alla progettazione di numerose Aurelia. Quando nel 1955 la Lancia si ritira dalla competizioni, passa alla Ferrari, dove conclude la sua attività.

**Antonio Fessia** (1901-1968). Antonio Fessia, laureato a pieni voti al Politecnico di Torino (1923), entra alla FIAT (1925), divenendo in pochi anni capo dell'ufficio progetti auto e direttore degli uffici tecnici e centrali (1939-1946). Alla casa torinese collabora alla progettazione ed alla realizzazione di numerosi gloriosi modelli: Balilla 508, 500 (Topolino), 1500, 1100. Passato nel 1946 alla CEMSA Caproni (dove rimarrà fino al 1949), progetta la F11 che verrà esposta al Salone di Parigi (1947) e realizzata in pochi esemplari. Tale vettura ha caratteristiche, per l'epoca, molto innovative: motore boxer a 4 cilindri (1254 cc., potenza massima 46 CV a 4400 giri/min) a sbalzo rispetto alle ruote anteriori, trazione anteriore, sospensioni anteriori e posteriori a ruote indipendenti con balestra trasversale. In tale vettura si può vedere un'anticipazione della Lancia Flavia, la quale ne avrà alcune caratteristiche.

Dal 1950 al 1955, Fessia è consulente di Ducati, Pirelli, NSU-FIAT e nel 1955 passa alla Lancia, prima come consulente, poi come direttore centrale tecnico e, quindi, anche come consigliere di amministrazione. Alla Lancia sviluppa le Appia seconda e terza serie, opera alcune modifiche, come detto prima, sull'Aurelia, progetta la Flaminia (1957), la Flavia (1960), appunto, e la Fulvia (1963).

Particolarmente sulla Flavia e sulla Fulvia, Fessia dà corpo alle innovazioni alle quali aveva sempre pensato: la trazione anteriore, i freni a disco sulle quattro ruote, l'alimentazione ad iniezione, per ricordare solo le più importanti.

Uomo di grande cultura, non solo tecnica, Fessia ricopre per lunghi anni la cattedra di Motori a combustione interna e costruzioni automobilistiche al Politecnico di Milano, la Presidenza della Commissione Centrale Tecnica dell'UNI (Ente Nazionale Italiano di Unificazione) e numerose altre cariche in Commissioni e Gruppi di Studio.

**Dante Giacosa** (1905-1996). Dante Giacosa si laurea nel 1927 in Ingegneria meccanica al Politecnico di Torino ed entra subito alla FIAT dove percorre tutti i gradini della sua carriera da disegnatore fino al consiglio direttivo dell'Azienda. Giacosa è autore di un trattato "Motori endotermici" utilizzato in numerosi corsi universitari. Inoltre, fa parte di molte organizzazioni scientifico-tecniche: CUNA (Commissione Tecnica di Unificazione nell'Autoveicolo), ATA (Associazione Tecnica dell'Automobile), FISITA (Fédération International des Sociétés des Ingénieurs des Techniques de l'Automobile), SAE (Society of Automotive Engineers).

Giacosa deve la sua fama al gran numero di autovetture, spesso fortemente innovative, da lui progettate, al cui progetto ha collaborato o fornito il proprio coordinamento. Eccone alcune, fra le più importanti:

- 500 (Topolino) (la prima utilitaria a basso costo)
- 508 C (antenata della serie delle 1100)
- 1100S (versione sportiva della 508 C)
- 1400 e 1900 (le prime vetture "medie" costruite dopo la guerra e di linea "americaneggiante")
- 1100/103 (la "1100" di grandissimo successo, della quale sono costruite numerose serie e versioni)
- 600 (l'utilitaria della metà degli anni Cinquanta che dà un grandissimo contributo alla motorizzazione di massa)
- 600 Multipla (derivata dalla 600, può essere considerata l'antenata delle attuali monovolume, comparsa con trent'anni di anticipo sulle altre)
- Nuova 500 (un altro dei grandi successi ed un ulteriore impulso alla motorizzazione di massa; per questa vettura, Giacosa nel 1959 riceve il "Compasso d'Oro")
- 1800-2100 (vetture a 6 cilindri in linea, uscite in diverse versioni)
- 500 Giardiniera (una brillante evoluzione della Nuova 500, che costituisce una minima, seppur efficiente, *station wagon*)
- 1300-1500 (vetture di classe media e di linea "americaneggiante")

- Primula (prima vettura italiana in grande serie con trazione anteriore uscita con il marchio Autobianchi)
- 850 (utilitaria di grande successo, di classe leggermente superiore a quella della gloriosa 600)
- 124 e 125 (vetture media di grande successo)
- 130 (ammiraglia di casa FIAT)
- 128 e 127 (vetture medie di grande diffusione e successo)
- 126 (piccola vettura, erede della “Nuova 500”).

**Orazio Satta Puliga** (1910-1974). Orazio Satta Puliga entra all’Alfa Romeo nel 1938 e diviene direttore della progettazione ed esperienze (1946), direttore centrale (1951) e vice direttore generale (1969). All’Alfa Romeo, Satta Puliga coordina un gruppo di tecnici, quali, ad esempio, Giuseppe Busso, Rudolf Hruska, Filippo Surace, Domenico Chirico; sotto la sua direzione, nascono vetture di eccellenza, come la Giulietta, la Giulia, la 1750, l’Alfetta.

#### *Carrozzeri e costruttori di carrozzerie* [13][14]

Quella dei carrozzieri è un’attività (si potrebbe dire un’arte) tutta italiana, nella quale i nostri costruttori raggiungono livelli di eccellenza, riconosciuta in tutto il mondo. Qui ne vengono elencati, fra i tanti, alcuni fra i più importanti del Novecento.

Per parecchi decenni del Novecento, le costruzioni automobilistiche saranno ancora caratterizzate dal telaio (sia pure, in alcuni casi, configurato in modo diverso, ad esempio con elementi colleganti i longheroni disposti ad X, anziché trasversali) e dalla carrozzeria separata, consentendo ancora un più facile lavoro dei progettisti e dei costruttori di carrozzerie. Le cose si faranno un po’ più complicate con l’avvento generalizzato della scocca portante.

**Bertone.** Fondata a Torino nel 1912 da Giovanni Bertone, si sviluppa grandemente grazie al figlio Nuccio (1914-1997), “vestendo” auto belle e prestigiose, quali la Lamborghini Countach, la Lancia Stratos, la Fiat X 1/9, la Lamborghini Miura ed alcune Citroen.

Dopo la morte di Nuccio Bertone, l’Azienda attraversa un periodo di declino: dopo alcune vicissitudini finanziarie, nel 2009 passa al Gruppo Fiat col nuovo nome di FGA-OAG (Officine Automobilistiche Grugliasco).

**Ghia.** Fondata a Torino nel 1915, dopo la prima guerra mondiale, si orienta verso carrozzerie di vetture di fascia medio-alta e spesso sportive. Fra le vetture

“vestite”, sono interessanti i “siluri” su telaio Fiat 501 S, con motore potenziato. Dopo la seconda guerra mondiale, Ghia “veste” numerosi telai Fiat, Lancia ed Alfa Romeo ed anche alcune meccaniche straniere, quali Jaguar, Chrysler, VW. A metà anni '50, vengono realizzate alcune vetture avveniristiche, le “dream cars”, oggetto di accurati studi aerodinamici, in collaborazione con il Politecnico di Torino. All'inizio degli anni '60, con l'incremento di attività, viene creata la OSI (Officina Stampaggi Industriali) che dopo alcuni anni diviene indipendente. Nel 1967, la Ghia viene acquistata dalla Rowan Controller Co. americana e la carica di Presidente viene assunta da Alessandro De Tomaso. Nel 1970, la maggioranza della proprietà passa alla Ford e da allora, la Ghia lavora quasi esclusivamente per tale casa.

**Savio.** Nata a Torino nel 1919, inizia “vestendo” un congruo numero di telai Itala e, successivamente lavora per Lancia, OM, Isotta Fraschini, Ansaldo, Alfa Romeo e Fiat. Durante la seconda guerra mondiale si dedica soprattutto alla realizzazione di autoambulanze, attività che continuerà anche dopo la guerra, affiancata da numerose realizzazioni quasi sempre su base Fiat. Negli anni Sessanta, realizza la Fiat 600 Jungla, vettura aperta per il tempo libero, su base Fiat 600. Negli anni Ottanta, sono famose le realizzazioni della carrozzeria per la Lancia Delta S4.

Attualmente, la Savio si occupa della realizzazione di carrozzerie per autocarri ed autobus, oltre che di allestimenti sanitari.

**Boneschi.** Fondata a Milano nel 1919, fino agli anni Sessanta “veste” vetture di prestigio Fiat, Lancia ed Alfa Romeo, oltre ad alcune vetture straniere. A partire dagli anni Cinquanta si dedica con successo alla realizzazione di veicoli industriali, sanitari e pubblicitari. Particolarmente curiosa è una realizzazione pubblicitaria su telaio Fiat 1100 (1951), a forma di tubetto di dentifricio.

Nel 1995 la Boneschi viene rilevata dalla Savio.

**Zagato** [37]. Nata a Milano nel 1919 per iniziativa di Ugo Zagato il quale, avendo maturato numerose esperienze tecniche in campo aeronautico durante la guerra, a conflitto appena terminato, ha l'obiettivo di trasferire tali esperienze in campo automobilistico: leggerezza ed aerodinamica, pertanto, sono le caratteristiche più significative, fin dall'inizio, della produzione della Zagato.

L'Azienda “veste” vari modelli, particolarmente di Lancia, Alfa Romeo, Maserati. Dopo un grande sviluppo che caratterizza gli anni Cinquanta e Sessanta, nei quali la Zagato acquista grande fama per la realizzazione di modelli ad alte prestazioni, a partire dagli anni Settanta l'Azienda inizia ad operare anche nel campo dell'industrial design. Attualmente l'Azienda è guidata da Andrea Zagato

(nipote del fondatore): la terza generazione Zagato porta l'Azienda ad accordi con l'Indiana Autoline Industries (2008) e, successivamente, con la Bombardier, per il progetto dell'Eurotram per conto di ATM.

**Viotti.** Nata a Torino nel 1921, fra le prime realizzazioni, notevole successo hanno varie carrozzerie su meccanica Fiat 525 e Lancia Dilambda. Dopo la guerra, diviene famosa realizzando, su meccanica Fiat 1100, una versione che oggi si chiamerebbe “Station Wagon” ed allora si chiamava “Giardinetta”, caratterizzata da particolari esterni in legno.

**Fissore.** Nasce a Savigliano nel 1921 fondata dai fratelli Antonio, Bernardo, Costanzo e Giovanni Fissore ed inizia costruendo carri a trazione animale, per poi passare alla realizzazione di carrozzerie per autoveicoli. Nel 1936, sotto la direzione di Bernardo Fissore, la carrozzeria si dedica in modo particolare alla costruzione di carrozzerie speciali, quali, ad esempio, veicoli commerciali, autoambulanze, autobus e, nel periodo della seconda guerra mondiale, di trasformazioni per uso militare di autoveicoli civili. Dopo la guerra, la Fissore produce numerose vetture fuoriserie per la Fiat e numerosi veicoli con carrozzerie particolari per uso pubblicitario.

Dopo il grande sviluppo degli anni Sessanta e la produzione di un piccolo fuoristrada, la Scout, su meccanica Fiat 127, l'azienda avverte pesantemente le conseguenze della crisi e nel 1976 cessa la produzione.

**Touring.** Fondata da Felice Bianchi Anderloni e da Gaetano Ponzoni a Milano nel 1926, inizia a lavorare su base Alfa Romeo ed Isotta Fraschini. Con l'obiettivo di carrozzare vetture ad alte prestazioni, l'intento, espresso anche negli slogan pubblicitari, era quello di ridurre peso e resistenza aerodinamica. Ai primi anni Trenta acquisisce la licenza del sistema Weymann per la costruzione di strutture portanti: le lamiere metalliche caratteristiche delle costruzioni dell'epoca, vengono sostituite con pannelli in finta pelle, fissati ad una struttura in legno alleggerita. Innovativa è la costruzione “Superleggera” (1936), ispirata alle costruzioni aeronautiche: una struttura di tubi d'acciaio è rivestita da pannelli in alluminio, arrivando ad una sorta di integrazione fra telaio e carrozzeria. Di interesse innovativo è anche la realizzazione, negli stessi anni, di una, sia pur semplice, galleria del vento, dove veniva perseguito l'obiettivo di ridurre la resistenza aerodinamica.

Dopo la guerra, la Touring realizza molto autovetture di grande pregio estetico su base Alfa Romeo, Aston Martin, Iso Rivolta, Lamborghini, Maserati, Lancia. Un accordo con l'inglese Rootes, che avrebbe dovuto risolvere le sorti dell'Azienda, non avrà successo e nel 1966 l'Azienda cessa l'attività.

**Allemano.** Nata a Torino nel 1928, anche per riparazioni meccaniche, subito dopo la seconda guerra mondiale, la carrozzeria “veste” la Ferrari 166 e, successivamente, numerosi modelli Fiat, Lancia, Panhard e Renault. All’inizio degli anni Sessanta, progetta una piccola vettura sportiva, su commissione della ATS: la ATS 2500 GT, che, però, non riesce a superare la concorrenza Ferrari e Maserati e poco dopo è costretta a chiudere.

**Pininfarina** [38][39]. Fondata nel 1930 come “Società Anonima Carrozzeria Pinin Farina” da Battista (detto “Pinin”) Farina, inizialmente, grazie anche all’amicizia con Vincenzo Lancia, “veste” la Lancia Dilambda e, successivamente, numerose Alfa Romeo, Hispano Suiza e Fiat. Nel 1947, la sua Cisitalia 202 è la prima automobile esposta al MOMA di New York. Negli anni Cinquanta un capolavoro riconosciuto come assoluto in tutto il mondo è costituito dalla Lancia Aurelia coupé e spider e, successivamente, negli anni Sessanta, un risultato formidabile è la produzione di ben 27.000 Giulietta Spider.

Negli anni fra gli ultimi Sessanta ed i primi Settanta, la Pininfarina si rinnova radicalmente: nuovi stabilimenti di Grugliasco, nascita del Centro di Calcolo e Disegno, realizzazione di una galleria del vento dove è possibile provare modelli in scala 1:1. Queste nuove strutture consentono la progettazione e la sperimentazione di nuove soluzioni: vengono “vestite” numerose vetture di alta classe e realizzati prototipi sperimentali e concept car. Sono di questo periodo alcuni fra i più celebri capolavori, quali, ad esempio, le Ferrari 365 Daytona, 308GTB e 400i, la Fiat 130 coupé, la Lancia Beta Montecarlo, la Lancia Gamma berlina e coupé. La produzione, anche grazie alla possibilità di sperimentazione nella galleria del vento, viene ampliata anche alle caravan, con particolare riguardo all’aerodinamica.

Nel 1966, alla scomparsa del fondatore “Pinin”, diviene presidente dell’Azienda il figlio Sergio, laureato in Ingegneria al Politecnico di Torino nel 1950. Sergio è l’artefice del grande processo di modernizzazione della Pininfarina. L’Azienda passa anche a costruire autovetture complete, come, ad esempio, la Fiat Campagnola e l’Alfa Romeo 33 Giardinetta.

Attualmente, l’Azienda dispone di tre stabilimenti: il Centro di Design ed Ingegneria di Cambiano, l’impianto di San Giorgio Canavese (verrà chiuso alla fine del 2011) e quello di Bairo. È inoltre attiva una joint venture con la Volvo.

**Colli.** Fondata a Milano nel 1931, inizia a realizzare carrozzerie su meccanica Fiat 1100 e 500, Lancia Astura ed Aprilia. Da subito, l’Azienda si specializza in scocche di alluminio, molto apprezzate per la leggerezza. Durante la guerra lavora per l’aeronautica militare e dopo la guerra costruisce un prototipo di aereo ad ali ripiegabili, in grado di muoversi anche su strada, quasi come un’autovettura.

**Motto.** Inizia la sua attività a Torino nel 1932 e realizza numerose vetture da competizione su meccanica Fiat, Alfa Romeo e Cisitalia. Dopo la guerra si cimenta anche su vetture americane e collabora anche con il famoso designer Raymond Loewy, realizzando per lui la Lancia Flaminia Loraymo.

**Monviso.** Fondata a Torino nel 1944, con l'obiettivo di produrre carrozzerie sportive a basso costo, diviene famosa con la coupé, cabriolet e spider su Fiat 1100 (fine anni Quaranta), denominati "Stella Alpina". Nel 1955 viene assorbita dalla Ghia.

**Vignale.** Fondata a Torino nel 1946 da Alfredo Vignale, che aveva lavorato negli stabilimenti Farina (di Giovanni Farina, fratello del più celebre Pinin), debutta "vestendo" vetture di prestigio con meccaniche Ferrari, Maserati, Lancia. In particolare, negli anni Sessanta, un "pezzo" particolare è l'Appia convertibile e, successivamente, la Flavia convertibile. Negli anni Sessanta è famosa una sua realizzazione su pianale Fiat 500, la Gamine, spider con finto radiatore, con linea retrò che rievoca la Balilla "Coppa d'oro" degli anni Trenta. Una delle ultime e più famose sue realizzazioni è la Ferrari 330 Gt Station Wagon, su richiesta di un eccentrico magnate americano. De Tomaso, alla fine, rileva la Vignale e la accorpa alla Ghia.

**Scaglietti.** Nasce subito dopo la guerra per volontà di Sergio Scaglietti ed inizia subito una fruttuosa collaborazione con la Ferrari, della quale "veste" numerosi prestigiosi modelli, spesso in collaborazione con la Pininfarina, tra i quali, memorabili, la 250 Testa Rossa e la 250 GTO. Addirittura, nel 1975 la Ferrari acquisisce la maggioranza delle azioni Scaglietti, la quale entra così indissolubilmente nella Ferrari stessa. Al nome di Scaglietti sarà dedicato, nel 2004, addirittura un modello Ferrari, la 612 denominata, appunto, Scaglietti.

**Canta.** Inizia la propria attività a Torino nel 1949, producendo soprattutto vetture sportive ed industriali, oltre ad alcuni allestimenti pubblicitari.

**Boano.** Viene fondata a Torino nel 1954 da Felice Mario Boano, uscito dalla Ghia e si distingue, nella sua breve vita per alcune celebri realizzazioni: un'Alfa Romeo per il presidente argentino Peron, la Ford "Indianapolis" per Henry Ford jr. ed alcune Ferrari.

**Marazzi.** Si tratta di un'Azienda nata negli anni '50, nella quale confluiranno diversi tecnici dalla Touring. La Marazzi è un'Azienda specializzata nella

realizzazione di blindature su veicoli di serie e nella realizzazioni di veicoli militari e per le forze dell'ordine.

**Italdesign.** Fondata nel 1968 da Giorgetto Giugiaro e da Aldo Mantovani come azienda di servizi per il settore automotive, inizia subito la collaborazione con numerose case costruttrici, quali Alfa Romeo, Fiat, Mitsubishi, Hyundai. Inizialmente, Italdesign è impegnata nel progetto dell'Alfasud e, successivamente, collabora attivamente per la realizzazione di alcune vetture Volkswagen.

Italdesign è molto attiva, da un lato nello studio di soluzioni stilistiche, dall'altro nella ricerca più squisitamente ingegneristica, lavorando su un gran numero di progetti, anche non specificatamente ingegneristici. Nel 2010, il 90,1% del capitale Italdesign viene acquisito dalla Volkswagen.

## Sviluppi e prospettive

La situazione attuale dell'automobile e della sua industria in Italia è sotto gli occhi di tutti. Gli sviluppi e le prospettive riguardano, soprattutto, gli aspetti ambientali e quelli della sicurezza. Dal punto di vista ambientale si lavora sia sul risparmio energetico, sia sulla riduzione delle emissioni. Per quanto riguarda il risparmio energetico, alcune fondamentali direzioni lungo le quali ci si muove sono riconducibili all'aumento dei rendimenti dei motori, al controllo elettronico sia dell'accensione, sia dell'iniezione (ed anche qui l'elettronica costituisce uno strumento prezioso) all'iniezione *common rail*, alla riduzione della resistenza al rotolamento, agendo sia sugli pneumatici, sia sui cuscinetti, al miglioramento dell'aerodinamica.

Per quanto riguarda la riduzione dell'inquinamento, anche se troppo spesso l'automobile è considerata, da una certa parte dell'opinione pubblica, quasi l'unica responsabile dei problemi ambientali, le direzioni fondamentali su cui ci si muove sono riconducibili alla ricerca di fonti alternative sostenibili (quali, ad esempio, l'idrogeno e la propulsione elettrica, soprattutto, questa, nelle configurazioni ibrida e bimodale), al controllo elettronico della combustione, al perfezionamento delle marmitte catalitiche. Legato al problema ambientale è anche quello della congestione del traffico: alcune soluzioni possono essere sia l'ottimizzazione dell'utilizzo dell'automobile, ad esempio, attraverso il *car pooling* e/o il *car sharing*, sia la riduzione delle necessità di movimento di persone, ad esempio, attraverso lo spostamento virtuale.

Grandi investimenti e notevoli passi avanti sono fatti anche nel settore della sicurezza, sia a livello attivo, sia a livello passivo. La sicurezza attiva mira a ridurre le

probabilità che l'incidenti si verifichi: il criterio generale è quello di sottrarre sempre di più il controllo del veicolo alle manovre errate o pericolose del guidatore. Ciò si può ottenere, ad esempio, con la gestione elettronica sempre più spinta della dinamica dell'automobile, ad esempio mediante dispositivi quali l'ABS (per il controllo della frenatura) e l'ESP (per il controllo della traiettoria), sia con l'aumento del confort di marcia che, entro certi limiti, riducendo la fatica del guidatore, ne riduce l'allentamento di attenzione. Diverso è l'obiettivo della sicurezza passiva, la quale si propone, una volta che l'incidente si sia verificato, a ridurre gli effetti negativi. Anche in questo ambito fervono le ricerche. Dopo una lunga attività rivolta alle strutture a resistenza differenziata (che assorbendo l'energia d'urto, mantengono l'abitacolo con basse deformazioni e riducono, per quanto possibile, la decelerazione conseguente all'urto), l'impegno più recente è volto soprattutto a massimizzare l'efficacia e l'efficienza delle strutture di carrozzeria, con l'impiego di materiali ad alto assorbimento di energia e basso peso e lo studio di configurazioni e tecnologie ottimali per ogni elemento strutturale (montanti, longheroni, centine, pannelli). Vengono montate cinture di sicurezza con pretensionatori sempre più efficienti ed affidabili, air bag, sempre più numerosi, onde proteggere anche il bacino e la testa degli occupanti, e sempre più efficaci, con centraline elettroniche sempre più precise nel distinguere fra necessità di apertura e non. Tutti i dispositivi di sicurezza sopra accennati tendono a diffondersi sempre di più e sempre più spesso ne sono dotate anche vetture di fascia medio-bassa.

## BIBLIOGRAFIA/SITOGRAFIA

- [1] C. Dowlen, *Using car history for teaching engineering & design*, (International Conference on Engineering Design) ICED 97, Tampere, Finland, August, 19-21, 1997.
- [2] J. Rousseau, M. Ialca, *Histoire mondiale de l'automobile*, Hachette, 1958.
- [3] URL: <<http://ingprj.diegum.uniud.it/bricks/confpresing/home.htm>>.
- [4] URL: <<http://www.istitutolombardo.it/>>.
- [5] URL: <<http://www.libreriadellautomobile.it/>>.
- [6] C. Lussana, A. Mantegazza, *La Fiat e i veicoli industriali*, Scriptorium, 1997.
- [7] G. Turani, *L'Avvocato 1966-1985. Il capitalismo italiano fra rinuncia e ripresa*, Sperling & Kupfer, 1985.
- [8] C. Romiti, *Questi anni alla Fiat*, Rizzoli, 1988.
- [9] – *I cinquant'anni della Fiat*, Arnoldo Mondadori, 1950.
- [10] – *Fiat 1899-1930. Storia e documenti*, Fabbri, 1991.
- [11] – *Fiat 1915-1930. Verbale dei Consigli di Amministrazione*, Fabbri, 1991.
- [12] – *La Pirelli*, Milano, 1946.
- [13] C. Biscaretti di Ruffia, *Carrozzeri di ieri e di oggi*, ANFIA, 1963.

- [14] L. Morello, G. Pia, L. Rosti Rossini, A. Tonoli, *La carrozzeria*, ATA (Associazione Tecnica dell'Automobile), 2009.
- [15] – *Milano e l'Esposizione Internazionale del 1906. La rappresentazione della modernità*, Storia in Lombardia XXVIII, n. 1, 2008.
- [16] – *Tutte le Lancia 1907-1993*, 1993.
- [17] – *Storia della Lancia*, Torino, 1989.
- [18] – *Lancia. Filosofia dell'innovazione*, Calderini, Milano-Bologna-Roma, 1992.
- [19] P. Schinhofen, *Lancia. Innovation und Faszination*, Heel, 2006.
- [20] G. Genta, L. Morello, *L'autoteleia*, vol. 1, ATA (Associazione Tecnica dell'Automobile), Torino, 2007.
- [21] – *Falchetto Planner & Designer*, Libreria Automotoclub Storico, 2011.
- [22] G.P. Garcea, *La mia Alfa*, Giorgio Nada, 1993.
- [23] G. Borgeson, *Alfa Romeo. I creatori della leggenda*, Giorgio Nada, 1990.
- [24] P. Hull, R. Slater, *La storia dell'Alfa Romeo*, Baldini & Castoldi, 1970.
- [25] M. Tabucchi, *Alfa Romeo 1910-2010*, Giorgio Nada, 2010.
- [26] L. Fusi, *Le vetture Alfa Romeo*, Adiemme, 1966.
- [27] D. Moriero, *Alfa Romeo. Gli anni di Arese*, Giorgio Nada, 2010.
- [28] G. Reggiani, *Maserati da competizione*, Giorgio Nada, 2001.
- [29] G. Reggiani, *Ferrari*, Mondadori, 2009.
- [30] L. Acerbi, *Il nuovo TuttoFerrari*, Giorgio Nada, 2008.
- [31] P. Ferrari, L. Turrini, *Ferrari mio padre*, Aliberti, 2007.
- [32] – *Ferrari 1947-1997. Il libro ufficiale*, Giorgio Nada, 1997.
- [33] W. Goodfellows, *Isorivolta. The men, the machines*, Giorgio Nada, 2009.
- [34] D.G.R. Carugati, *Lamborghini*, Electa, 2009.
- [35] – *Lamborghini 1964-2004*, A. Broklands Portfolio, 2004.
- [36] *Guido Ucelli di Nemi. Industriale Umanista Innovatore*, Hoepli, 2011.
- [37] *Zagato Milano 1919-2009*, Giorgio Nada Editore, 2009.
- [38] A. Prunet, *Pininfarina. Arte e Industria 1930-2000*, Giorgio Nada, 2000.
- [39] D.G.R. Carugati, *Pininfarina*, Electa, 2010.

# STORIA DELLA MECCANICA

---

a cura di *Virginio Cantoni, Vittorio Marchis, Edoardo Roveda*

VOLUME II



Storia della meccanica / a cura di Virginio Cantoni, Vittorio Marchis, Edoardo Rovida. - Pavia : Pavia University Press, 2014. - 2 v. : ill. ; 24 cm.

<http://purl.oclc.org/paviauniversitypress/9788896764534>

ISBN 9788896764527 (brossura)

ISBN 9788896764534 (e-book PDF)

I. Cantoni, Virginio II. Marchis, Vittorio III. Rovida, Edoardo

1. Meccanica - Storia

531 CDD 22 - Meccanica classica. Meccanica dei solidi

© 2014 Pavia University Press

ISBN: 978-88-96764-52-7

In copertina: modello 3D di ingranaggio. Fonte: <<http://www.istockphoto.com>>.

Coordinamento editoriale di Alessandra Setti

Prima edizione: marzo 2014

Editore: Pavia University Press – Edizioni dell'Università degli Studi di Pavia

Via Luino, 12 – 27100 Pavia – <<http://www.paviauniversitypress.it>>

Stampato da: DigitalAndCopy S.a.S., Segrate (MI)

*Printed in Italy*

## COMITATO SCIENTIFICO

---

### **Commissione per la Storia dell'Ingegneria della CopI - Conferenza per l'Ingegneria:**

Franco Angotti (Università di Firenze), Virginio Cantoni (Università di Pavia), Vito Cardone (Università di Salerno), Salvatore D'Agostino (Università di Napoli), Vittorio Marchis (Politecnico di Torino), Edoardo Rovida (Politecnico di Milano), Andrea Silvestri (Politecnico di Milano).

Il volume è stato realizzato con la sponsorizzazione della Conferenza per l'Ingegneria (CopI), di FINMECCANICA, della Federazione delle Associazioni Nazionali dell'Industria Meccanica Varia ed Affine (ANIMA), dell'Industria Macchine Automatiche (IMA) S.p.A. e dell'Associazione Amici del Museo del Patrimonio Industriale e con il patrocinio del Computer Vision & Multimedia Laboratory (CVML) dell'Università degli Studi di Pavia.



CopI  
Conferenza per l'Ingegneria



Computer Vision  
& Multimedia Laboratory



**ANIMA**<sup>®</sup>

FEDERAZIONE DELLE ASSOCIAZIONI NAZIONALI  
DELL'INDUSTRIA MECCANICA VARIA ED AFFINE



CONFINDUSTRIA



# INDICE

---

VOLUME I

VII *Premessa*  
Vito Cardone

XIII *Introduzione*  
Virginio Cantoni, Vittorio Marchis, Edoardo Rovida

## **Le scuole**

---

3 *Scuole di meccanica*  
Gian Francesco Biggioggero e Edoardo Rovida

39 *Note sulla storia del disegno di macchine*  
Emilio Chirone

97 *Progettazione di macchine*  
Umberto Cugini e Giancarlo Genta

139 *Meccatronica e robotica*  
Paolo Dario e Umberto Cugini

## **Dal laboratorio alla società**

---

155 *Il contributo delle misure*  
Michele Gasparetto e Sergio Sartori

213 *Associazionismo e meccanica*  
Vittorio Leoni

237 *L'industria meccanica nel Meridione d'Italia*  
Francesco Caputo

## **La meccanica dei trasporti**

---

315 *La produzione meccanica nel settore dei trasporti ferroviari.  
Uno sguardo d'orizzonte fra Ottocento e Novecento*  
Andrea Giuntini

341 *L'evoluzione della tecnologia dell'ala rotante e il contributo di Agusta Westland*  
Roberto C. Garberi

- 427 *Ruote e motori*  
Edoardo Rovida

---

**La meccanica nella produzione industriale**

VOLUME II

- 463 *Sistemi di produzione per la fabbrica del futuro*  
Francesco Jovane
- 475 *Le macchine operatrici nella produzione industriale*  
Roberto Curti e Andrea Cinotti
- 545 *La meccanica di precisione, con particolare riferimento agli strumenti  
per la misura topografica e fotogrammetrica*  
Attilio Selvini
- 573 *Sintesi storica dello sviluppo della tecnologia tessile*  
Francesco Tozzi Spadoni
- 615 *Storia degli apparecchi di sollevamento*  
Enrico Bazzaro
- 641 *La meccanica delle armi da fuoco portatili*  
Attilio Selvini e Peter Dannecker

---

**I teatri della meccanica**

- 693 *Il pensiero retroattivo tra Arte e Meccanica*  
Carlo Crespellani Porcella
- 771 *Collezioni, archivi, musei*  
Annalisa Banzi e Edoardo Rovida
- 795 *Meccanica e società*  
Adriana Di Leo
- 805 Autori
- 809 Abstract
- 811 Table of Contents
- 815 Editors

# LA MECCANICA NELLA PRODUZIONE INDUSTRIALE

---



Linea di produzione della Necchi di Pavia, anni '30 (foto Archivio G. Chiolini). Foto tratta da:  
*L'industria nella provincia di Pavia. Un racconto per immagini dagli albori alla realtà attuale ispirato da alcuni scatti dell'archivio G. Chiolini*, Pavia-Voghera, Confindustria Pavia-Edo Edizioni Oltrepò, 2012.

## Sistemi di produzione per la fabbrica del futuro

### La Fabbrica del Futuro: obiettivo mobile della Rivoluzione Industriale

La Fabbrica del Futuro [1] è un obiettivo mobile nato con la Rivoluzione Industriale. Esso ha attraversato tutti i paradigmi produttivi, sviluppati per rispondere alle esigenze della società e del mercato e indica oggi una prospettiva strategica di grande rilevanza a livello internazionale, europeo e nazionale.

Legata alla disponibilità di ampi mercati, manodopera e nuove risorse tecnologiche, la prima Rivoluzione Industriale aveva trovato nel “macchinismo” lo strumento per concentrare le competenze tecnologiche pervenendo così alla *factory system*, ovvero la fabbrica, che avrebbe sostituito l'antica forma di produzione delle arti e manifatture. Essa originava le profonde trasformazioni tecniche, economiche e sociali che hanno dato vita alla moderna società industriale. La Rivoluzione Industriale è processo discontinuo che si è esteso, nell'arco di due secoli, a quasi tutti i paesi del globo e si è attuato nel tempo, come mostra la tavola di seguito riportata [2], attraverso l'evoluzione dei paradigmi produttivi in risposta al mutare dei paradigmi della domanda e assumendo caratteristiche particolari in ciascun Paese.

Evoluzione dei paradigmi produttivi in relazione ai paradigmi di domanda [2]

Paradigm	Craft Production	Mass Production	Flexible Production	Mass Customisation and Personalization	Sustainable Production
Paradigm started	~1850	1913	~1980	2000	2020?
Society Needs	Customised products	Low cost products	Variety of products	Customised products	Clean products
Market	Very small volume per product	Demand > supply Steady demand	Supply > demand Smaller volume per product	Globalisation Fluctuating demand	Environment
Business Model	Pull <i>self-design-make-assemble</i>	Push <i>design-make-assemble-sell</i>	Push-Pull <i>design-make-sell-assemble</i>	Pull <i>design-sell-make-assemble</i>	Pull <i>Design for environment-self-make-assemble</i>
Technology Enabler	Electricity	Interchangeable parts	Computers	Information Technology	Nano/bio/material Technology
Process Enabler	Machine tools	Moving assembly line & DML	FMS robots	RMS	Increasing manufacturing

La Rivoluzione Industriale in corso, che ha assunto una dimensione globale, è contrassegnata da una tecnologia prorompente nelle capacità propositive che deriva da intense ed estese attività di Ricerca e Innovazione. Essa si sta orientando per rispondere a una domanda, sempre più differenziata e globalizzata, e alle nuove grandi sfide sociali, coniugando competitività e sostenibilità economica, sociale, ambientale e tecnologica.

Essa si realizza attraverso sistemi di produzione gerarchizzati o a rete, anche a scala globale, al cui sviluppo e innovazione contribuiscono Università, Istituti e Centri di Ricerca. Sta emergendo un nuovo paradigma produttivo – *competitive sustainable manufacturing* [3] – fondato sull'evoluzione innovativa del ciclo di vita del prodotto e dei processi che lo implementano, in risposta proattiva alle mutazioni del paradigma della domanda del mercato e sociale, e indotta e sostenuta attraverso il governo del ciclo di vita della conoscenza che sostiene quella evoluzione.

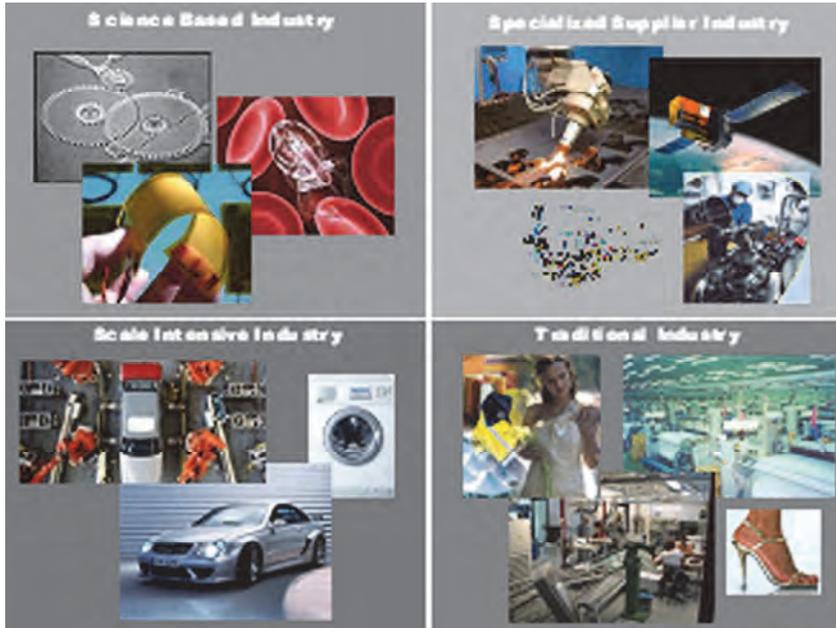
La Rivoluzione Industriale ha avuto un grande impatto sull'economia e la struttura sociale dei Paesi. In Italia ha indotto la trasformazione radicale del Paese, attraverso una progressiva riduzione dell'incidenza del settore agricolo e la crescita dell'importanza dell'industria, seguita, negli anni '80, da una prorompente terziarizzazione dell'economia.

## **Sistemi di produzione e manifatturiero avanzato**

L'Industria Manifatturiera Europea ha generato, prima della crisi del 2008, 6816 miliardi di Euro di turnover, di cui 1712 miliardi di valore aggiunto. L'industria Manifatturiera Europea ha dato lavoro direttamente e attraverso i servizi, rispettivamente, a 34,4 e 70 milioni, di persone. Il mercato interno è costituito da 500 milioni di consumatori. Le attività di Ricerca e Innovazione impegnano 500.000 addetti. La figura 1, utilizzando la tassonomia di Pavitt, mostra significativi prodotti e processi che caratterizzano l'Industria Manifatturiera.

L'Industria Manifatturiera Italiana, seconda in Europa, è fortemente orientata al commercio estero, e, attraverso Ricerca e Sviluppo, Innovazione e Design, sta evolvendo verso prodotti e servizi, processi e business models, a crescente valore aggiunto.

Il CNR ha dato un rilevante sostegno in termini di studi strategici, attivazione e gestione di grandi programmi e iniziative, sviluppo di nuove tecnologie abilitanti e loro implementazione industriale, contribuendo così in sintonia con i paesi più avanzati alla competitività e sostenibilità del manifatturiero.



**Figura 1.** Industria Manifatturiera: Prodotti e Processi.

Componenti fondamentali del manifatturiero avanzato, i beni strumentali quali le macchine e i sistemi di produzione [4], costituiscono un prodotto ad alto valore aggiunto, destinato ad un ampio mercato di tipo *business to business* e in grado di contribuire sensibilmente al PIL ed alla bilancia commerciale del nostro Paese; una tecnologia, che attua una serie di processi produttivi; e un fattore abilitante, che mette in grado gli utilizzatori di produrre i beni della loro area di business sfruttando il *know how* “cablato” nel bene strumentale e posseduto dal produttore del bene strumentale stesso o dai suoi fornitori.

I beni strumentali, e in particolare le macchine utensili, a partire dal 1959 hanno triplicato la loro rilevanza a *livello mondiale*.

Attualmente a livello europeo la Germania ha una quota del 33,5%, e l'Italia è al secondo posto con il 18,7%; poi Francia (10,5%) e Regno Unito (8,7%). Questo conferma la specializzazione e la forza dell'Italia nel settore. Le vendite di macchinari e delle apparecchiature meccaniche italiane all'estero coprono, secondo i dati Istat 2006, una quota del 21% del totale delle esportazioni dell'industria manifatturiera italiana. L'occupazione rappresenta il 12,4% del totale degli addetti del manifatturiero. Il fatturato del settore e il relativo valore aggiunto costituiscono, rispettivamente, il 12,5% e il 14,3%.

*Il CNR e i sistemi di produzione*

Sin dagli inizi degli anni '60 il CNR ha contribuito alla competitività e sostenibilità dei Sistemi di Produzione attraverso tre canali principali: gli *studi strategici* per i Progetti Finalizzati e Strategici, i Programmi Nazionali di Ricerca del Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca, i progetti Eureka e i Programmi Quadro Europei; i *Progetti Finalizzati e Strategici*, i suoi *Organi*: Istituti e Centri, Dipartimenti, in particolare quello di Sistemi di Produzione e strutture finalizzate come il Monitech (Monitoring Technology), l'EPPLab (Emerging Production Paradigms Laboratory) ed altre ancora. Il CNR costituisce, quindi, il “presidio” scientifico, tecnologico e culturale in sintonia con quelli degli altri Paesi avanzati, in prima linea la Germania.

**Gli studi strategici.** Gli Studi Strategici condotti dal CNR hanno contribuito alla definizione di paradigmi produttivi quali: la sostenibilità “dinamica” del Manifatturiero, *Manufuture* e Competitive Sustainable Manufacturing (CSM) [2, 3]; la concezione e il lancio delle Piattaforme Europea [5] e Italiana [6] *Manufuture*, e della “Footwear, Machinery and Systems European Platform” [7], della European Factory of the Future Research Association (EFFRA) [8]; la generazione di Strategic Intelligence [3]: sfide, visioni, agenda strategica di ricerca e roadmaps, con impegno della Pubblica Amministrazione, delle Università, degli Istituti e dei centri di Ricerca, delle Imprese.

L'implementazione dei risultati conseguiti è stata effettuata – a livello europeo, nazionale e regionale – e grazie a istituti e centri di ricerca e imprese che hanno sviluppato tecnologie abilitanti (hw & sw), nuovi prodotti e servizi, processi, business models, realizzando, così, la nuova catena del valore: ricerca-innovazione-mercato.

**Progetti Finalizzati e Strategici.** [9] I Progetti Finalizzati del CNR, antesignani dei Programmi Europei, sono stati grandi unità funzionali a tempo determinato che hanno avuto come obiettivo lo sviluppo della ricerca applicata e dell'innovazione in tematiche considerate prioritarie nel quadro della programmazione economica nazionale.

A partire dalla fine degli anni '70, i Progetti Finalizzati hanno efficacemente contribuito allo sviluppo di attività di ricerca, sviluppo e dimostrazione di prototipi relativi a prodotti, processi e servizi, attraverso il coinvolgimento congiunto di Università, Istituti e Centri di ricerca e centinaia di imprese in un processo che va dalla rivoluzione industriale scientifica, all'innovazione tecnologica, al mercato, e

hanno generato conoscenza/tecnologie e innovazioni, trasferite, poi, al sistema produttivo, al tessuto economico sociale e al contesto politico giuridico del Paese.

I Progetti Finalizzati, realizzati nell'arco di 22 anni (1976-1998), sono stati più di 50 con un investimento di 3005 miliardi in valuta corrente, corrispondenti a quasi 5500 miliardi di lire in valuta 1997. Essi hanno sostenuto l'avanzamento della scienza italiana e consentito notevoli progressi nella ricerca e nelle applicazioni della ricerca, oltre che nel manifatturiero, in settori rilevanti come quelli dell'energia e dell'ambiente, della salute umana (cancro, malattie virali, epidemiologia dell'anziano, ecc.), della biologia, delle scienze agrarie, dei materiali, delle tecnologie dei trasporti, delle scienze dell'artificiale, dei beni culturali, dell'organizzazione della pubblica amministrazione, dello studio della struttura dell'economia italiana, dell'informatica, ecc. I Progetti Finalizzati dedicati, in varia misura, allo sviluppo di tecnologie, macchine e sistemi di produzione per il manifatturiero sono stati il PF Tecnologie Meccaniche, volto allo sviluppo di nuovi Componenti e Sistemi di Produzione, in concorrenza con analoghi programmi, in Giappone, Usa e altri Paesi; il PF Robotica; il PF Laser di Potenza; il PF Informatica; il PF Materiali.

I *risultati* (hw & sw) sono costituiti da nuovi componenti, macchine e sistemi di produzione, strumenti di progettazione e gestione, processi di produzione. Contemporaneamente, varie centinaia di giovani ricercatori, orientati all'innovazione per la competitività e sostenibilità del manifatturiero, si sono formati attraverso le attività dei progetti finalizzati predetti e sono divenuti figure importanti per la ricerca e innovazione industriale nel manifatturiero italiano ed europeo.

A partire dal '85, il CNR ha promosso una serie di azioni coordinate, riunite sotto la denominazione di Progetti Strategici, per sostenere attività di ricerca scientifica, alcune di matrice specificamente internazionale ed europeo. I Progetti Strategici costituiscono un importante polo di aggregazione e di qualificazione di gruppi di ricerca, in particolare di ricercatori CNR e ricercatori universitari. Il CNR ha operato, fin dal lancio dei Progetti Strategici, anche alla generazione di metodologie e strumenti in grado di garantire lo sfruttamento e trasferimento delle tecnologie al mondo produttivo in maniera adeguata a garantire la ricaduta a livello sociale delle tecnologie abilitanti. Ciò ha richiesto la generazione di "processi" che, mediante una pionieristica opera di partenariato pubblico-privato, fossero in grado di verificare l'applicazione dei principi realizzati nei dimostratori o descritti nelle linee programmatiche. Esempi in questo senso sono riscontrabili nella partecipazione di Istituti del CNR alle attività normative a vario livello, nazionale, europeo e internazionale, in cui si è contribuito alla definizione dei principi che hanno portato alla pubblicazione delle norme ISO della serie 9000 sulla Qualità o della serie 17000 sulla valutazione della conformità. È da citare, ancora, la rilevante

produzione normativa interna a supporto di molte attività di progettazione, dal settore strutturale civile a quello meccanico.

Anche su temi molto vicini al prodotto industriale, quale quello della sicurezza degli operatori, il CNR ha svolto un ruolo di rilievo, contribuendo alla definizione di criteri e metodi di prova per macchine e componenti. È emblematico il caso dell'Istituto CEMOTER, poi divenuto IMAMOTER (Istituto per le Macchine Agricole e Movimento Terra) [10] che fin dai primi anni '80 ha contribuito allo sviluppo delle metodologie di prova per la verifica di conformità delle strutture di protezione per l'operatore di macchine operatrici mobili, portando alla realizzazione di una infrastruttura, antesignana di iniziative di Public-Private Partnership (PPP) che tuttora ha pochi eguali al mondo.

Infine, un censimento effettuato dal Progetto Strategico Certificazione e Controllo, alla fine degli anni '80, rilevava la straordinaria capacità del CNR, nell'offrire risposte concrete ai bisogni sociali. Il meccanismo adottato, partendo dalla interpretazione dei bisogni della società, arrivava, attraverso programmi di Ricerca Industriale mirati, a generare tecnologie abilitanti e dimostratori di prodotti e processi innovativi e al trasferimento all'apparato industriale, verificando la coerenza con i bisogni sociali. Fra gli esempi rilevanti, le attività dell'Istituto Laniero di Biella (IRSL poi ISMAC) e dell'Istituto per la Tecnica delle Costruzioni (ITC).

**Ricerca per l'Innovazione e trasferimento, attraverso gli organi.** Il CNR, attraverso i suoi Organi, dagli Istituti ai Dipartimenti, ha svolto, per il manifatturiero, attività di ricerca per l'innovazione e ha sostenuto l'implementazione dei risultati nel tessuto industriale.

Il Dipartimento Sistemi di Produzione [11] viene costituito nel 2005 per contribuire ad accrescere la competitività e la sostenibilità economica, sociale, ambientale ed energetica del sistema industriale italiano attraverso attività di ricerca finalizzate all'innovazione industriale fondate: sull'integrazione di nuove tecnologie abilitanti nello sviluppo di nuovi prodotti e servizi e processi a elevata qualità sostenibile e ad alto valore aggiunto; sulla riduzione del tempo di trasferimento tra rivoluzione industriale e innovazione industriale; sull'integrazione di diversi partner, lungo la catena del valore ricerca-innovazione industriale; sullo sviluppo di nuova imprenditorialità basata sulla conoscenza.

La capacità del CNR, e in particolare del Dipartimento Sistemi di Produzione, di operare sull'intera catena del valore, che parte dalla struttura prodotto-processo, per giungere al prototipo e quindi al prodotto industrializzato, per poi verificarne le caratteristiche, sempre in modalità omogenee alla struttura del comparto produttivo nazionale, si esplica negli anni attraverso l'opera di Istituti sempre fortemente integrati con i comparti produttivi e con i distretti industriali.

Le attività svolte nell'ambito di progetti "integrati" coinvolgono ben 14 Istituti CNR e interessano i processi, i sistemi di produzione industriali, i prodotti high-tech e i materiali avanzati; i microsistemi e dispositivi embedded; la robotica, i sistemi di produzione e i sistemi di movimentazione in ambienti poco strutturati; i metodi e gli strumenti per la gestione e l'innovazione tecnologica, energetica e ambientalmente sostenibile per la costruzione edile e civile; i sistemi di monitoraggio, controllo e sicurezza nei contesti produttivi e d'uso; materiali e sensori; il turismo.

Considerando, in particolare, gli Organi prevalentemente finalizzati al manifatturiero e ai sistemi di produzione, si deve ricordare la lunga e positiva *traiettoria* partita nel 1963, con la costituzione del CEMU, primo esempio di Consorzio di Ricerca pubblico privato finalizzato alla competitività della meccanica strumentale, divenuto poi Istituto Sperimentale Macchine Utensili (IMU) del CNR assumendo successivamente (1993) l'attuale denominazione di Istituto di Tecnologie Industriali e Automazione (ITIA).

**Attività e risultati.** Il CNR, attraverso il CEMU e poi l'IMU, ha svolto sino al 1986 attività che si incentravano, principalmente, sulla ricerca industriale applicata sperimentale e la progettazione, sviluppo e costruzione di prototipi di dispositivi e gruppi funzionali delle macchine utensili, in collaborazione con Università, associazioni industriali, aziende [12]. Successivamente il CNR, in particolare attraverso l'ITIA [13], ha svolto attività di ricerca per la concezione, lo sviluppo e la verifica sperimentale di nuove macchine, robot e sistemi di produzione, strumenti di progettazione e gestione, processi di produzione. Le attività hanno portato allo sviluppo di tecnologie abilitanti, a livello di macchina, cella, sistema di produzione e impresa, che hanno interessato progressivamente dai settori del *Made in Italy* (cuoio, legno, plastica) a quelli *science based* (biomedicale, robotica medica e chirurgica), agli *specialized suppliers* (beni strumentali, micromanufacturing, costruzioni aeronautiche), a quelli della produzione di massa (bianco e automotive), cooperando con oltre 100 Imprese, italiane ed estere, nell'ambito di programmi europei e nazionali nonché di contratti industriali.

In questo contesto sono state svolte attività di Osservatorio Tecnologico (studi di foresight tecnologico, attività di roadmapping e nuovi modelli di business nella logica *Manufuture*); di trasferimento tecnologico; di gestione di programmi/progetti di rivoluzione industriale e formazione internazionali; di formazione attraverso la Ricerca di centinaia di giovani orientati all'innovazione industriale.

Fra i principali risultati scientifici e tecnologici conseguiti vanno ricordati: 3 impianti pilota/dimostratori; una nuova famiglia, multi-generazione, di robot a cinematica parallela (PKM); prototipi innovativi di macchine ad altissime presta-

zioni; ambienti virtuali per la produzione industriale; strumenti e metodologie di progettazione e gestione di macchine e sistemi di produzione; processi di produzione e riciclaggio innovativi e sostenibili.

La realizzazione di tre impianti pilota e la famiglia di PKM meritano alcune considerazioni.

I *tre* dimostratori (figura 2) interessano nell'ordine: la produzione di calzature personalizzate, la lavorazione di pannelli in legno, processi flessibili di assemblaggio.



**Figura 2.** Impianti pilota/dimostratori realizzati da CNR-ITIA nell'ambito dei progetti PNR-SPI.

Essi hanno integrato innovazioni volte a consentire la produzione di prodotti personalizzati e hanno costituito lo start-up di una linea di rivoluzione industriale e sviluppo dedicata al paradigma della *mass customisation*. In particolare, l'Impianto Pilota di Design & Mass Customization per la produzione di calzature, costituisce un laboratorio per attività di ricerca, con le imprese, in termini di “prodotto”, dalla produzione di massa a prodotti ad alto valore aggiunto, di “processo”, introducendo tecnologia nei settori della progettazione, della produzione e delle vendite, di “organizzazione d'impresa”, attraverso strumenti di gestione appropriati.

L'impianto pilota ha successivamente generato rilevanti progetti di ricerca per l'innovazione a livello europeo nell'ambito del V, VI e VII programma quadro, tutti promossi e coordinati dall'Istituto di Tecnologie Industriali e Automazione del CNR.

Di recente, nell'ambito della strategia Europea di Ricerca volta allo sviluppo di un manifatturiero competitivo e sostenibile ad alto valore aggiunto K-based, l'iniziativa *Manufacture* e le correlate European Technology Platforms e Piattaforma Europea Footwear hanno focalizzato l'attenzione sulla *Customer Driven High Added Value Factory* “come prodotto”, che si fonda sulle attività predette.

La famiglia multi-generazione di robot a cinematica parallela (PKM), sviluppata sempre dall'Istituto di Tecnologie Industriali e Automazione, è esemplificata in figura 3.



**Figura 3.** Famiglia di robot a cinematica parallela sviluppati da CNR-ITIA.

Le relative attività di rivoluzione industriale, innovazione e trasferimento hanno portato alla collocazione dell'Istituto del CNR tra i primi quattro centri per lo studio delle PKM a livello mondiale. Questo è chiaramente emerso in occasione della First European American Conference on Parallel Kinematic Machines, organizzata a Milano dallo stesso Istituto.

Negli ultimi anni sono stati identificati settori industriali, quali l'Aeronautico, dove le attività di rivoluzione industriale hanno interessato nello specifico nuove metodologie e strumenti virtuali di progettazione e simulazione 3D di prodotto, processo e impresa. La rappresentazione digitale della fabbrica, la Fabbrica Virtuale, e delle fasi in ambito manifatturiero diventano virtuali usando strumenti di simulazione e specifiche applicazioni capaci di rendere la rappresentazione di un processo dinamica e in continuo aggiornamento.

In questo contesto, sono in essere attività di rivoluzione industriale all'interno del progetto europeo del Vereinigte Fuellkoerper-Fabriken GmbH & Co. KG (VFF), il cui scenario è incentrato sui processi della fabbrica Alenia di Grottaglie (figura 4) dove viene realizzata la parte centrale della fusoliera del nuovo Boeing 787 Dreamliner. Per il progetto VFF si prevedono di realizzare ambienti di supporto alla progettazione della fabbrica in ambiente virtuale aumentato e al monitoraggio della fase finale di assemblaggio.



**Figura 4.** Processo di produzione del Boeing 787 Dreamliner.

## Anticipando il Futuro

Il conciso excursus presentato – che copre cinquant’anni d’impegno collegando sviluppo di visioni strategiche ad attività svolte e risultati conseguiti, nella logica della catena del valore scienza-innovazione-risposta alla complessa domanda di mercato, società e ambiente – ha mostrato che gli attori CNR, dal Dipartimento agli Istituti, hanno contribuito alla competitività e sostenibilità del sistema industriale italiano ed europeo.

Il CNR, necessario presidio scientifico, tecnologico e culturale in sintonia con quelli dei Paesi avanzati, può giocare un ruolo fondamentale nella fase storica attraversata dall’Italia e dall’Europa, che richiede interventi di breve e medio periodo tesi rispettivamente al recovery e alla crescita, in una logica di sviluppo competitivo e sostenibile, fondato sull’economia reale.

L’UE ha definito il nuovo modello di crescita nel documento: *EUROPE 2020: A European strategy for smart, sustainable and inclusive growth* [14] che nello spirito del G-20 di Pittsburgh punta a una economia innovativa, sostenibile e inclusiva. Esso è fondato sullo sviluppo di soluzioni innovative ad alto valore aggiunto, basate su ricerca e innovazione, alta formazione e altre misure, capaci di rispondere in termini di prodotti e servizi, processi e business models, alla globalizzazione e alle grandi sfide sociali e di costituire un export competitivo e sostenibile sul mercato globale in grado di sostenere la crescita dell’economia europea e generare posti di lavoro.

Il nuovo modello di crescita, seguendo la logica del nuovo paradigma *Competitive Sustainable Manufacturing* (CSM), proposto da *Manufuture* [2] richiede quindi la trasformazione del sistema industriale verso prodotti e servizi, processi, business models ad alto valore aggiunto, basati sulla conoscenza (K) attraverso l’impegno del sistema ricerca, innovazione e formazione che deve divenire sempre più competitivo e sostenibile sul mercato europeo e globale.

Questa nuova fase della Rivoluzione Industriale va inserita nella strategia europea di lungo periodo che attraverso una struttura scalare Europa, Stati, Regioni, con Piattaforme Tecnologiche Europee e Piattaforme Tecnologiche Nazionali e Regionali, dovrà determinare un assetto multi livello capace di rappresentare e far convergere esigenze strategiche diverse e rispondenti a una domanda diffusa e specialistica di ricerca e innovazione.

La Piattaforma Italiana *Manufuture*, ha promosso nell’ambito del Programma Nazionale della Ricerca [15], il *Progetto Paese Fabbrica del Futuro made in Italy*, orientato a un nuovo sviluppo sostenibile dell’ambiente manifatturiero. In questo contesto, attraverso il proprio Progetto Bandiera, il CNR potrà contribuire alla nuova fase della Rivoluzione Industriale, sviluppando e implementando nuove tecnologie

abilitanti e soluzioni per i sistemi di produzione, per perseguire l'obiettivo mobile: Fabbrica del Futuro.

## BIBLIOGRAFIA/SITOGRAFIA

1. Jovane F., *La Fabbrica del Futuro: il contributo della ricerca*, «PIXEL», n. 5 (1985), pp. 15-18.
2. Jovane F., Koren Y., Boër C.R., *Present and future of Flexible Automation: Towards New Paradigms*, «CIRP Annals. Manufacturing Technology», n. 52 (2003), pp. 543-560.
3. Jovane F., Westkämper E., Williams D., *The Manufuture Road: Towards Competitive and Sustainable High-Adding-Value Manufacturing*, Springer Verlag, 2008.
4. *L'industria italiana di settore: evoluzione dal dopoguerra a oggi*, Uciimu-sistemi per produrre, marzo 2007.
5. URL: <<http://www.manufuture.org>>.
6. URL: <<http://www.Manufuture-it.org>>.
7. URL: <<http://www.eu-footwear.eu/>>.
8. URL: <<http://www.effra.eu>>.
9. URL: <<http://www.cnr.it/sitocnr/IICNR/>>.
10. URL: <<http://www.imamoter.cnr.it>>.
11. URL: <<http://www.cnr.it/dipartimenti/Dipartimento.html>>.
12. Chiappulini R., *CEMU-IMU, 25 anni di Ricerca Tecnologica Meccanica*, Quaderno ITIA, 1989.
13. Itia, URL: <<http://www.itia.cnr.it/>>.
14. Communication From The Commission To The European Council, Europe 2020, *A strategy for smart, sustainable and inclusive growth*, Brussels, COM(2010) 2020 final, 3.3.2010.
15. URL: <<http://www.miur.it/>>.



## Le macchine operatrici nella produzione industriale

### La macchina in quanto “costrutto teorico”

Come affermava nel 1934 Lewis Mumford (1895-1990), famoso sociologo ed urbanista statunitense, l'antichità fino ai moderni ha conosciuto singole macchine che facevano storia a sé, non la macchina in quanto “costrutto teorico” di cui tutte quelle note erano realizzazioni materiali<sup>1</sup>. In sostanza c'è voluto molto tempo prima che fosse possibile dare fondamento generale alle macchine con leggi fisiche e meccaniche, esprimendone principi di funzionamento e costruttivi. Questi vennero tra la prima e la seconda rivoluzione industriale, tra la seconda metà del secolo XVIII e quella del secolo XIX, dopo una lunga fase preparatoria.

In Europa importanti e profondi cambiamenti iniziarono a manifestarsi sin dal secolo XV, in particolare in Italia, dovuti al processo di forte urbanizzazione della sua area centro settentrionale. L'assenza di una istituzione statale centrale portò le città a configurarsi come tante piccole città-stato, capaci di controllare i territori di loro pertinenza e di sviluppare *network* produttivi e commerciali anche molto avanzati, in grado di scambiare prodotti sul mercato internazionale. In queste realtà, cresciute fino al secolo XVIII in una area ben più ampia che dal centro Italia raggiungeva le Fiandre e si affacciava sulla Gran Bretagna, la crescita urbana favorì un complesso di fattori convergenti allo sviluppo: l'esprimersi e l'affermarsi di una nuova cultura e delle università; la presenza di importanti ceti emergenti (notai, avvocati, medici, banchieri, mercanti/imprenditori, artigiani); la valorizzazione del saper fare pratico delle arti e in generale della tecnica; la produzione di nuovi prodotti per mercati più ampi che stimolavano a rendere le produzioni più efficienti e innovative<sup>2</sup>. Un progresso tecnico ed economico garantito dalla presenza e dall'opera di sconosciuti artigiani che lo storico della scienza e della tecnica Bertrand Gille ha definito “gli ingegneri del Rinascimento”. Alcune delle loro realizzazioni hanno anticipato la nascita di una vera e propria tecnologia<sup>3</sup>. La creatività di questo progresso si è dimostrata più originale ed autonoma rispetto a

---

<sup>1</sup> Cfr. Lewis Mumford, *Technics and Civilisation*, Harcourt and Brace, New York 1934.

<sup>2</sup> Si rimanda al catalogo del Museo del Patrimonio Industriale di Bologna (in seguito indicato MPIB), *Prodotto a Bologna. Una identità industriale con cinque secoli di storia*, a cura di Antonio Campigotto, Roberto Curti, Maura Grandi, Alberto Guenzi, Edizioni Renografica, Bologna 2000, p.16, dove l'elaborazione grafica riprodotta mostra la dorsale europea con massima concentrazione di capitali d'area tra i secoli XV-XVIII.

<sup>3</sup> Cfr. Bertrand Gille, *Leonardo e gli ingegneri del Rinascimento*, Giacomo Feltrinelli Editore, Milano 1980.

quella di altre civiltà con cui l'Europa manteneva contatti, come il mondo arabo, indiano, la Cina che, pur disponendo di conoscenze molto simili a quelle europee, proprio dal secolo XV vedeva arrestare il proprio avanzamento.

**Figura 1.** Dorsale europea con massima concentrazione di capitali d'area (secoli XV-XVIII). MPIB, *Prodotto a Bologna. Una identità industriale con cinque secoli di storia*, a cura di Antonio Campigotto, Roberto Curti, Maura Grandi, Alberto Guenzi, Edizioni Renografica, Bologna 2000, p. 16.



Una spinta decisiva venne dalla rivoluzione scientifica del secolo XVII<sup>4</sup>. Nasceva la fisica moderna, che era mancata alle precedenti civiltà dell'area mediterranea, concepita e praticata modificando teoria e metodo dello studio dei fenomeni naturali e dimostrandone le leggi che li determinano. Come è stato detto le scienze matematiche e fisiche si spostavano per la prima volta dal cielo alla terra. Una svolta che non avvenne nell'atmosfera di campus universitari – racconta lo storico della scienza Paolo Rossi – o in laboratori di ricerca come potrebbe accadere oggi, perché non c'erano. Gli scienziati, i "filosofi naturali" così allora venivano chiamati, avevano studiato nelle università, ma queste non furono il centro della nuova ricerca scientifica. La scienza moderna cominciava fuori e in polemica con queste, arrivando a darsi ben presto sue proprie istituzioni con propri specifici linguaggi e metodi di ricerca. Le affermazioni imponevano "sensate esperienze" e "certe dimostrazioni" ponevano complicate modalità indissolubilmente legate l'una all'altra. Diventava essenziale disimparare gli schemi di pensiero indotti dall'esperienza e dagli insegnamenti consolidati, superando convinzioni ricavate dal sapere comune ma anche dal sapere scientifico ufficiale che contribuivano ad impedire ogni rottura o discontinuità nella crescita della

<sup>4</sup> Cfr. Margaret C. Jacob, *Il significato culturale della rivoluzione scientifica*, Einaudi, Torino 1992.

conoscenza<sup>5</sup>. La nuova fisica era una profonda rivoluzione concettuale che ridefiniva e modificava radicalmente le nozioni di moto, massa, peso, inerzia, gravità, forza, accelerazione, sulla base di un nuovo metodo sperimentale, una nuova concezione dell'universo fisico, quindi delle modalità diverse che determinavano fini, compiti, scopi dell'approccio alla natura del pianeta. Un passo importante in questa direzione fu costituito dalla realizzazione degli strumenti con cui gli scienziati osservavano, misuravano, calcolavano i fenomeni naturali, definito dallo storico della scienza Alexandre Koyré, il passaggio "dal mondo del pressappoco all'universo della precisione"<sup>6</sup>. Si apriva un dialogo nuovo tra conoscere e saper fare, tra scienziati e botteghe artigiane frequentate per costruire gli strumenti necessari alle dimostrazioni. Un utensile – spiega ancora Koyré – è il mezzo lavorativo che prolunga e rinforza l'azione delle nostre membra, dei nostri organi sensibili. È qualcosa che appartiene al mondo del senso comune e non può mai farcelo superare. Ben diversa è la funzione dello strumento di cui si serve lo scienziato. Non è il prolungamento dei sensi, ma una "materializzazione del pensiero" che carpisce "ciò che non cade sotto i nostri sensi". La precisione entrava nel mondo del sapere tecnico pratico, cioè del costruire, affermando per la prima volta una forma di sapere tecnologico da cui la concezione teorica della macchina sarebbe stata resa possibile disponendo sempre più di soluzioni che si fondavano su aumenti esponenziali di precisione. Molto spesso gli scienziati partecipavano direttamente alla costruzione o insegnavano ai tecnici, all'arte, al mestiere a fare cose mai fatte, ad utilizzare il calcolo e la misura. Senza le regole della precisione – diceva Koyré – le macchine della rivoluzione industriale e la tecnologia della seconda rivoluzione industriale non si sarebbero potute realizzare. Questo nuovo approccio si caratterizzava con la presa di possesso della teoria sulla pratica, con «strumenti che hanno la dimensione di officine e di officine che hanno la precisione di strumenti».

Tale sistemazione rovesciava molte delle categorie interpretative e di valore che riguardavano non solo le basi della scienza, ma anche aspetti fondamentali della struttura della società. Basti pensare all'impegno profuso in Inghilterra da Francis Bacon (1561-1626) definito – dallo storico Benjamin Farrington – «filosofo dell'età industriale»<sup>7</sup>. O da René Descartes (Cartesio con nome latinizzato, 1596-1650) che aveva colto quale straordinario progresso si sarebbe potuto ottenere facendo

---

<sup>5</sup> Cfr. Paolo Rossi, *La nascita della scienza moderna in Europa*, Laterza, Roma-Bari 2009.

<sup>6</sup> Cfr. Alexandre Koyré, *Dal mondo del pressappoco all'universo della precisione*, Einaudi, Torino 1967.

<sup>7</sup> Cfr. Benjamin Farrington, *Francesco Bacone filosofo dell'età industriale*, Einaudi, Torino 1952. Sul problema del mutamento profondo delle ideologie che si è accompagnato allo sviluppo della tecnica nel mondo moderno e al progressivo affermarsi delle macchine v. anche Paolo Rossi, *I filosofi e le macchine, 1400-1700*, Feltrinelli, Milano, 1980, terza edizione.

penetrare la teoria (scienza, fisica, matematica, misura) nell'azione (pratica tecnica, arti, lavoro), riassumendo questa convinzione nell'auspicio di una «conversione dell'intelligenza teorica nella realtà del fare»<sup>8</sup>. Il Cinquecento, il Seicento, il Settecento in Europa, sono stati secoli nei quali la scoperta del valore delle conoscenze pratiche portò alla pubblicazione di un numero enorme di volumi riguardanti tecniche e macchine. Ma la macchina, attraverso quelle pagine, veniva ancora considerata un tutto unico, costituito di organi che le erano propri. Un mulino era “quel” mulino, una pila “quella” pila e nei libri venivano mostrate macchine una diversa dall'altra, anche se svolgevano la stessa operazione.

Le eccezioni a questo approccio sono state poche. La più famosa e citata è quella di Jacob Leupold (1674-1727, fisico e matematico tedesco) che nel 1724 rappresentava alcune macchine distinguendo singoli meccanismi in queste contenuti. Ma non va dimenticata neppure quella dell'architetto Heinrich Schickhardt che ancora prima, nel 1599, disegnava in tre schizzi un mulino per la torcitura del filo di seta, evidenziandone gli essenziali gruppi meccanici che lo componevano<sup>9</sup>. Lo storico economico Carlo Poni ha ritrovato in Inghilterra il diario del viaggio compiuto in Italia nel 1677 da un mercante di seta inglese che caratterizza l'eccellenza di questi requisiti come «*exactly alla bolognese*»<sup>10</sup>. Alla fine del secolo XVII, la macchina era già diffusa in varie zone dell'Italia settentrionale e dell'area occidentale del continente europeo. Nel Settecento il mulino da seta avrebbe raggiunto anche la Gran Bretagna dove, a Derby, più macchine “giravano” nel grande stabilimento dei fratelli Lombe, venuti all'inizio del secolo di persona nel nord Italia per carpirne il segreto con una operazione di spionaggio industriale<sup>11</sup>. Macchine rappresentate anche nell'*Encyclopédie* (1751-1772) di Denis Diderot (1713-1784), opera considerata la più ampia e documentata sul recupero e la

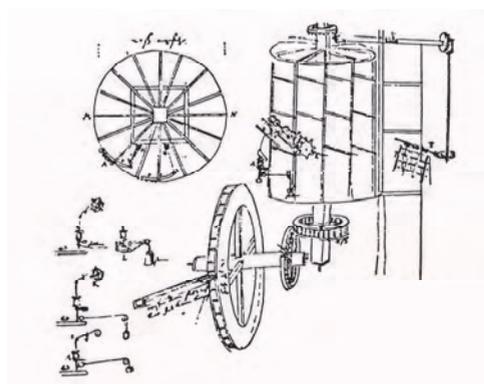
<sup>8</sup> Cfr. A. Koyré, *Dal mondo del pressappoco ...*, cit.

<sup>9</sup> La rappresentazione è consultabile nella raccolta dei saggi principali con cui lo storico economico Carlo Poni ha studiato questo decisivo capitolo della storia delle tecniche e dei processi di industrializzazione in età moderna. Cfr. Carlo Poni, *La seta in Italia. Una grande industria prima della rivoluzione industriale*, Il Mulino, Bologna 2009, n. 8 dell'inserto immagini. L'inserto documenta anche altre rappresentazioni del mulino da seta, di cui merita citare la n. 5 e 6 di Vittorio Zonca del 1607, perché cronologicamente appena successiva a quella di H. Schickhardt e anch'essa con dettagli delle strutture e parti della macchina. C. Poni aveva sintetizzato il suo percorso di ricerca anche in *Cronologia, diffusione, caratteristiche del primo sistema di fabbrica. Il percorso di una ricerca. Il mulino da seta*, in «Scuolaofficina», periodico semestrale del MPIB, luglio-dicembre 1985, nn. 4-5-6.

<sup>10</sup> Cfr. Carlo Poni, *All'origine del sistema di fabbrica: tecnologia e organizzazione produttiva dei mulini da seta nell'Italia settentrionale (sec. XVII-XVIII)*, in «Rivista storica Italiana», III, 1976, n. 1, pp. 444-497.

<sup>11</sup> Cfr. Paul Mantoux, *La rivoluzione industriale. Saggio sulle origini della grande industria moderna in Inghilterra*, Editori Riuniti, Roma, 1971, pp. 237-240. Questa storia viene ricordata con documentazione inedita per l'Italia in *A Darby in Inghilterra, in un luogo paludoso denominato Pye Flat*, «Scuolaofficina», luglio-dicembre 1985, nn. 4-5-6.

valorizzazione di ogni tipo di tecnica dell'epoca pre-industriale. Ma sappiamo che da queste rappresentazioni si poteva avere una idea della macchina e del suo funzionamento, vedere le forme dei suoi componenti, senza però ricavarne istruzioni per poterla costruire.



**Figura 2.** Disegno di un mulino da seta di Heinrich Schickhardt del 1599. Archivio fotografico MPIB

Imparare la macchina diventava però sempre più importante e proprio dallo sviluppo di nuove forme di istruzione tecnica, sarebbe venuto il contributo maggiore alla definizione del suo impianto teorico. Negli ultimi decenni del secolo XVIII e all'inizio del secolo

XIX, in particolare e a vari livelli in Francia ma anche in Germania per corsi di formazione professionale, furono elaborate e sperimentate specifiche forme di istruzione, nuovi approcci e prime esperienze<sup>12</sup>. Nell'antico sistema delle corporazioni l'addestramento pratico degli apprendisti e dei lavoratori da tempo bastava sia ad imparare le tecniche da acquisire col mestiere, sia a migliorarle. Ora nel continente europeo, di fronte al procedere e al diffondersi della rivoluzione industriale inglese, proprio l'area dei paesi *late comers* cercavano di risolvere per questa via, sottovalutata dagli inglesi orgogliosi dei risultati delle loro officine, ritardi sia dal punto di vista tecnico-scientifico che industriale.

In Francia, prima della rivoluzione, due importanti settori di intervento dello Stato, quello delle grandi vie di comunicazione e dei ponti e delle miniere, furono collegati organicamente con altrettante specifiche scuole di formazione ed apprendimento per gli ingegneri che avrebbero dovuto operarvi. Erano l'*École des Pontes et Chaussées* e l'*École de Mines* che si affermarono come le scuole di ingegneria civile meglio organizzate del mondo moderno che avanzava, veri modelli di istruzione poi seguiti in altre significative esperienze, come l'*École militaire d'Artillerie e de Marine* a Le Havre e l'*École de Génie* a Mézières. Dopo il 1789, venivano costituite l'*École Polytechnique*, il *Conservatoire des Arts et Métiers* e in seguito l'*Écoles des arts et métiers*, con importanti perfezionamenti sul piano delle conoscenze teoriche e

<sup>12</sup> Cfr. Frederick B. Artz, *The Development of Technical Education in France 1500-1850*, The Massachusetts Institute of Technology Press, USA 1966; Charles R. Day, *Les Écoles d'Arts et Métiers. L'enseignement technique en France. XIX-XX siècle*, Éditions Belin, Tours 1991.

pratiche. Esperienze, tutte, che risulteranno le più avanzate del resto dell'Europa, prefigurando un "sistema" di istruzione tecnica nazionale nel quale l'*École Polytechnique* dava la formazione di base ai docenti da garantire al "sistema". Una formazione che il matematico Gaspard Monge (1746-1818), uno dei principali suoi fondatori, aveva concepito e denominato "geometria descrittiva", un metodo per rappresentare oggetti, edifici, macchine che hanno tre dimensioni su di un foglio che è piano e ne ha solo due<sup>13</sup>. Nei secoli precedenti alcuni architetti come Filippo Brunelleschi (Firenze 1377-1446) o pittori come Paolo Uccello (1397-1475), Piero della Francesca (1416 circa-1492) e altri avevano cercato di riprodurre la prospettiva con linee che convergevano tutte su di un solo punto, proprio per accentuare il senso della profondità. Ma soprattutto Albrecht Dürer (1471-1528), il grande pittore tedesco del secolo XVI, affascinava per i metodi e gli apparecchi che aveva inventato.

Dunque la geometria descrittiva "inventata" da Gaspard Monge nasceva da un progetto di ricerca durato tre secoli e che aveva due scopi: quello di rappresentare esattamente gli oggetti con un disegno e quello di dedurre dall'esatta descrizione dell'oggetto tutte le conseguenze che necessariamente si ricavano dalle sue forme e dalle rispettive posizioni. Il disegno d'insieme dell'oggetto veniva scomposto in più disegni, il fronte, la pianta, la forma laterale, collegati tra loro dalle specifiche proiezioni che si immaginava di ottenere ruotando il foglio per ognuna delle tre viste. Funzionale ad esercitare e a sviluppare le capacità intellettuali di chi la praticava tanto da essere considerata la base di un piano di educazione nazionale, la geometria descrittiva finiva per svolgere anche un altro importantissimo compito, rappresentare il linguaggio di comunicazione tra i diversi livelli tecnici della produzione, dagli ingegneri, ai capi-tecnici, agli operai.

La sperimentazione di specifiche strutture formative di vario livello spingeva ad elaborare veri e propri manuali di insegnamento. Nel 1806 a Jean-Nicolas-Pierre Hâchette (ingegnere e matematico, 1769-1834) venivano fornite informazioni indispensabili per formulare il programma di insegnamento a cui era stato

---

<sup>13</sup> Cfr. Yves Deforges, *Le Graphisme Technique. Son Histoire et son Enseignement*, Collection milieux de l'Écomusée de la Communauté Le Creusot/Montceau-Les-Mines 1981, pp.189-216; Peter Jeffrey Booker, *A history of engineering drawing*, Northgate Publishing Ltd, London 1979, pp. 86-114; Renato Betti, voce *Macchina* nell'Enciclopedia Einaudi, vol. 8, Einaudi, Torino 1979, pp. 617-620. Sulla figura e l'importanza di Gaspard Monge nella fondazione delle nuove istituzioni di istruzione tecnica francesi di fine del secolo XVIII-inizio del XIX e sul significato avuto dalla "geometria descrittiva", si segnala il documentario RAI della serie *Uomini della scienza* a cura di Ansano Giannarelli e Lucio Lombardo Radice del 1977, nel quale in modo semplice e divulgativo G. Monge rievoca a ritroso e a incastri aspetti biografici e contenuti. La consulenza scientifica è di Giorgio Israel. Le sequenze filmiche sono tratte da *La Marseillaise* di Jean Renoir del 1938.

chiamato. Nel 1808 questo programma veniva completato da Lanz e Bétancourt con la pubblicazione dell'*Essai sur la composition des machines*. Secondo questi testi la teoria generale della macchina andava tenuta distinta dalla teoria degli elementi che costituivano i mezzi per trasformare il movimento. Questi erano riconducibili alle possibili combinazioni di quattro modi elementari di movimento, il rettilineo continuo ed alternativo, il circolare continuo ed alternativo, a loro volta combinabili in una serie di altre dieci classi di trasformazione. Questo sistema veniva accettato incondizionatamente e solo J.A. Borgnis nel suo *Traité complet de mécanique* del 1818 se ne scostava proponendo altre sei classi di organi (ricevitori, comunicatori, modificatori, supporti, regolatori, operatori) relegando le trasformazioni del movimento in sottodivisioni da cui servirsi. Alcuni di questi organi (ricevitore, trasmissione, operatore) venivano eletti da Jean-Victor Poncelet (1788-1867, matematico francese tra i padri fondatori della geometria descrittiva) “colonne” della moderna teoria delle macchine. Negli articoli e nei libri che compaiono nella prima metà del secolo XIX, non solo in Francia ma anche in Italia e in Inghilterra, l’attenzione si concentrava su possibili combinazioni con un intento classificatorio che, accompagnato alle applicazioni, finì per determinare – afferma Renato Betti nella citata voce *Macchina* – «concezioni morfologiche per le quali la macchina diventava una forma variabile da seguire e da descrivere». A giudizio dei costruttori di macchine – continua Betti – se questo era il contributo della conoscenza scientifica l’aiuto era modesto, perché le diverse combinazioni meccaniche non si realizzavano con la riflessione ma con le capacità particolari e pratiche dei tecnici delle officine.

Dal punto di vista scientifico lo studio delle macchine trovava nel 1830 un cambiamento di rotta decisivo. Lo scienziato André-Marie Ampère (1775-1836) poneva la geometria descrittiva di Gaspard Monge e Lazare-Nicolas Carnot (1753-1823, matematico e politico francese) ad un livello non di primo piano per la comprensione dei movimenti. Partendo dall'*Essai* di Lanz e Bétancourt affermava che «la macchina non la si deve definire come uno strumento per mezzo del quale si può cambiare la direzione e l’intensità di una data forza, ma bensì come uno strumento col quale si può mutare la direzione e la velocità di un dato movimento». Ampère avrebbe voluto bandire il nome “forza” in tutte le considerazioni che vi si riferivano e nel suo *Saggio sulla filosofia delle Scienze* diceva: «a questa scienza, nella quale i movimenti sono considerati per sé stessi nello stesso modo con cui noi li esaminiamo sui corpi che ci circondano e soprattutto in quegli apparecchi che chiamiamo macchine, ho dato il nome di cinematica dal greco *kinema* (movimento)»<sup>14</sup>. Proprio in Francia il suo appello fu largamente accolto e la

---

<sup>14</sup> Cfr. R. Betti, voce *Macchina* . . . , cit., pp. 618-619.

cinematica venne introdotta in molti istituti come corso a parte. Ma ciò che ancora non andava lo si doveva cercare non nelle classificazioni in sé stesse ma in qualche cosa di più profondo.

Questo venne dalla ricerca condotta da Franz Reuleaux, direttore dell'Accademia industriale di Berlino, con opere che trattavano la teoria generale e la descrizione dei componenti fondamentali delle macchine<sup>15</sup>. Si è cominciato a classificare senza avere analizzato gli oggetti stessi della classificazione – affermava Reuleaux – mentre bisogna applicare alla teoria delle macchine il metodo deduttivo, abbandonando i modi di vedere fino ad allora in uso per sostituirli con altri. Occorreva dare alla cinematica una forma scientifica e matematica, fin dalle sue più semplici proposizioni, anche perché il trattamento scientifico di questa materia si era limitato a quelle parti che facilmente si prestavano alla matematica. Ciò che non si era ancora studiato era come si giungesse a quel meccanismo, alla scelta dei suoi elementi, quale fosse la legge che regge il processo con il quale il meccanismo si combina. Occorreva – continuava Reuleaux – penetrare dietro la scena che la macchina mostra e dedicare molto impegno a conoscere i processi con i quali la facoltà inventiva dell'uomo li ha creati. «Cosa accade – si domandava – quando siamo di fronte alla macchina? Classifichiamo i meccanismi di movimento sulla base delle leggi a cui obbediscono; poi determiniamo il metodo migliore per costruirli e al più stabiliamo dei loro mutui rapporti. Il problema principale è di capire come i loro inventori siano riusciti a concepirli e ricostruire questi processi di conoscenza, senza dimenticare che nel campo tecnico, a livelli di tecnologie avanzate, lo sviluppo è dato dal perfezionamento e dalla diffusione degli strumenti dell'intelligenza». Reuleaux usava il termine «meccanismo» per indicare le parti comuni a più macchine che non hanno una destinazione propria, diversa da quella di concorrere con altri “meccanismi” al funzionamento complessivo della macchina. Sono “blocchi elementari” di cui si conosce l'effetto ma che non sono ulteriormente analizzabili in componenti. Lo studio generale delle macchine si occupava in tal modo delle connessioni e delle combinazioni di questi blocchi funzionali. Nella sua opera forniva un elenco dettagliato di questi “elementi costruttivi” (viti, leve, molle, ruote dentate, ecc.) di cui alcuni erano classiche macchine semplici di antica provenienza, ma altri dispositivi complessi per concezione, come gli ingranaggi oppure la costruzione di ruote a frizione. «Una macchina – concludeva – è un insieme di corpi resistenti disposti in modo da obbligare col loro mezzo le forze meccaniche naturali ad agire secondo movimenti

---

<sup>15</sup> Cfr. Franz Reuleaux, *Le Constructeur pur la construction des organes de machines*, Librairie F. Savy, Paris 1873 e Franz Reuleaux, *Principi fondamentali di una Teoria generale delle Macchine. Cinematica teorica*, traduzione di Giuseppe Colombo professore nell'Istituto Tecnico Superiore di Milano. Ulrico Hoepli Librario Editore, Milano-Pisa-Napoli, 1876.

determinati». Il «costrutto teorico» da tempo cercato veniva definito e consegnato all'insegnamento, secondo principi che risultano ancora attuali e che rispondono allo scopo principale che l'Autore aveva cercato con la sua opera: «dare forma scientifica alla cinematica delle macchine».



**Figura 3.** Frontespizio del volume di F. Reuleaux sui *Principi fondamentali di una Teoria generale delle macchine*, pubblicato in Italia nel 1876 nella traduzione di G. Colombo per la Ulrico Hoepli Librario Editore. Biblioteca storica Aldini-Valeriani, ora del MPIB

In tutta l'area industrializzata e in via di industrializzazione, erano in corso mutamenti che comportavano una ricerca senza sosta di macchine sempre più complesse, attraverso modifiche di quelle esistenti o inventandone con urgenza di nuove per alimentare un sistema produttivo continuamente in espansione, a sua volta alimentato da una domanda quotidiana di prodotti continuamente crescente. Nella seconda metà del secolo XIX la rivoluzione industriale giungeva a uno stadio che le grandi Esposizioni universali celebravano

agli occhi del mondo intero. L'impiego generalizzato del vapore garantiva una potente forza motrice e nuove tipologie di macchine determinavano un aumento notevolissimo della precisione nella fabbricazione rigorosa di pezzi metallici con forme geometriche. Occorreva definire per scomposizione analitica le componenti funzionali delle macchine perché non fossero più casuali ed isolate. Occorreva migliorare la precisione nella fabbricazione dei pezzi meccanici rendendoli più riconoscibili, maggiormente adattabili ed intercambiabili, condizioni che giungeranno a completo compimento tra la fine del secolo XIX e la prima metà del XX con la grande fabbricazione di serie. Bisognava capire che la precisione nella lavorazione delle parti meccaniche, soprattutto utilizzando il ferro, si poteva ottenere meglio se i pezzi erano lavorati a macchina. La precisione necessaria alla costruzione di nuove macchine dipendeva da altre capaci di fabbricare pezzi ancora più precisi. La macchina non doveva essere considerata soltanto un prodotto, ma anche un mezzo di produzione e la risposta a queste condizioni venne dalle innovazioni introdotte nelle macchine utensili. Fino ad allora l'idea della

fabbricazione in serie si era avuta solo in casi rarissimi, per i caratteri da stampa e per oggetti in fonderia. Ora le lavorazioni meccaniche dei pezzi componenti le macchine, potevano essere molto migliorate se eseguite con nuove macchine utensili, regolari e precise, diventate le macchine per costruire le macchine. Questo consentì di superare il modo impreciso di effettuare il montaggio a base di aggiustaggio, di evitare per quanto possibile la produzione non omogenea su ordinazione, di rivedere in fabbrica l'organizzazione del lavoro e la distribuzione delle macchine<sup>16</sup>.

Ma alla metà del secolo XIX la realtà diffusa era ancora largamente artigianale, basata sull'impiego di maestranze difficili da gestire e da formare secondo il mestiere necessario che la produzione meccanica ancora richiedeva nella costruzione delle diverse parti progettuali<sup>17</sup>. All'Esposizione Universale di Parigi del

---

<sup>16</sup> Cfr. R. Betti, voce *Macchina* ... cit., pp. 616-617

<sup>17</sup> Cfr. Denis Poulot, *Le sublime. Ou le travailleur comme il est en 1870 et ce qu'il peut être*, François Maspero, Paris 1980. Ossia "l'operaio com'è e come potrebbe essere" scritto da Denis Poulot, imprenditore di una piccola officina meccanica fortemente innovativa di Parigi e pubblicato nel 1870 anonimo, temendo l'Autore rappresaglie da parte degli operai della sua officina. I "sublimes", dal punto di vista della competenza tecnica, erano il fior fiore dell'élite operaia. Tecnici dalle mani d'oro, capaci di esecuzioni della massima perfezione con utensili e macchine "universali", idonei a dirigere una squadra e a prendere sul lavoro iniziative importanti. Ma questi uomini erano, nello stesso tempo, ubriacconi, rissosi, attaccati al lavoro solo per i soldi, disposti piuttosto a cambiare occupazione pur di rifiutare il rispetto dell'autorità, poco propensi a sopportare condizioni disagiati. Operai che erano un "mito" di cui gli stessi ingegneri non potevano fare a meno perché solo loro erano capaci di costruire i pezzi meccanici dei progetti che concepivano. Bisognava perciò educarli e riprodurli "educati". L'organizzazione produttiva della seconda metà del secolo XIX costituiva la loro roccaforte, la base di un privilegio che li rendeva indispensabili tanto da rappresentare nelle officine meccaniche l'85% della forza lavoro occupata. Era un mondo che Denis Poulot conosceva molto bene. Anche lui veniva da lì. Nato nel 1832 nella Franca Contea da una famiglia di mercanti di tessuti e sarti, dopo aver frequentato fino a 15 anni l'École des Arts et Métiers di Châlons, andava a lavorare a Parigi nell'officina meccanica del fratello maggiore. Qui completava la sua formazione alla "scuola" degli operai veri, diventando capo-montatore, un'alta qualifica lavorativa ed imparando a conoscere pregi e difetti dei suoi compagni di lavoro. Occupatosi in un'altra officina meccanica, terminava il suo avanzamento professionale diventando capo-squadra. Nel 1857 insieme al cognato aveva fondato una propria impresa per la produzione di bulloni, viti e varia utensileria. Attento conoscitore di queste problematiche l'imprenditore Denis Poulot presentava all'Esposizione Universale di Parigi del 1867 sue macchine per filettare ritenute superiori a quelle inglesi. La concezione di una "sublimità rinnovata" era la ricetta che trovava nelle proposte delle scuole-officina dell'epoca, diventandone un attivo sostenitore. Un magnifico volume illustrato e da lui direttamente curato, veniva destinato all'insegnamento del lavoro manuale (D. Poulot, *Méthode d'enseignement manuel pour former un apprenti mécanicien*, Paris 1889), con rappresentazioni a disegno dei giovani apprendisti mentre eseguono i lavori di officina e i movimenti del corpo e delle mani nell'uso degli utensili e delle macchine.

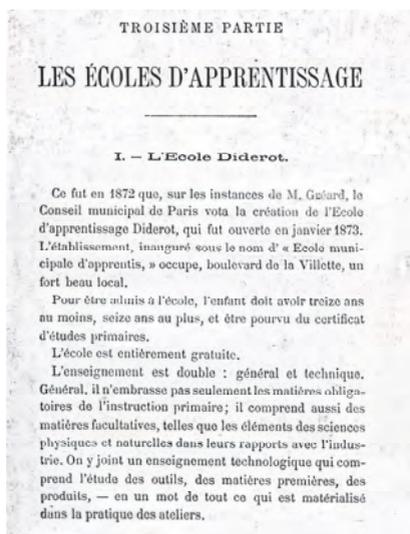
1867, l'organizzazione da dare a questo tipo di insegnamento fu il tema che caratterizzava le problematiche dello sviluppo industriale. Una specifica Commissione, affidata al Direttore del *Conservatoire des Arts e Métiers* Arthur Morin (1795-1880) e al suo collaboratore Henri-Edouard Tresca (1814-1885), doveva riferire sulle indagini che da più di quindici anni venivano condotte in materia e non solo in Francia, per formulare, qualora ci fosse, un "modello" di soluzione<sup>18</sup>. Dalle pubblicazioni che si riferivano a queste indagini, il primo consiglio era quello di seguire l'esperienza tedesca che aveva distaccato l'insegnamento professionale ed in particolare industriale dal centralismo della pubblica istruzione per affidarlo al ministero dell'economia e del commercio dei territori in modo da collegare le esperienze di istruzione alle diverse realtà produttive e alle esigenze che queste manifestavano. Veniva giudicato impossibile, a differenza della scuola "generalista" rivolta a tutti, che queste strutture formative non fossero integrate nelle pratiche dei luoghi del lavoro, dalla conoscenza dei linguaggi specifici, dei mestieri da svolgere. Le scuole prese a riferimento o ipotizzate indicavano di combinare l'insegnamento e lo studio di tematiche industriali con la pratica tipica degli apprendisti d'officina, rivolgendosi a scolari già indirizzati a tale attività e fornendo loro insegnamenti finalizzati ad utilizzare al meglio sia le conoscenze teoriche essenziali che la capacità manuale nell'uso di strumenti, utensili e macchine. In tal modo, gli apprendisti avrebbero ottenuto il risultato di essere capaci di un uso più intelligente dei sensi esterni, espressione di un saper fare fornito dalla natura ma che l'esercizio del mestiere doveva perfezionare. Il modello era quello di una "scuola-officina" che integrava la formazione teorica e il disegno tecnico con il lavoro manuale degli utensili e l'uso delle macchine operatrici "tuttofare" nella realizzazione di elementari "capolavori" meccanici attraverso lavorazioni sul legno e sul ferro.

A queste esigenze le nuove definizioni teoriche, la fondazione di Politecnici e di scuole industriali, fornivano una sistemazione tecnologica importante e decisiva. Per questo l'opera di Franz Reuleaux venne tradotta in diverse lingue e poi divulgata da autorevoli altri autori facendone un punto di riferimento che ancora oggi troviamo nelle biblioteche delle facoltà di ingegneria, in quelle degli istituti tecnici industriali più qualificati e negli uffici di progettazione. Parlando dell'Italia pensiamo al traduttore dell'opera, Giuseppe Colombo (1836-1921), ingegnere, protagonista dello sviluppo industriale del nostro paese e della cultura dell'istruzione tecnica. Come ha affermato Carlo G. Lacaita studioso della sua vita

---

<sup>18</sup> Cfr. *Exposition universelle de 1867. Rapport du Jury International*, Paris 1869; Arthur Morin, *De l'organisation à donner à l'enseignement technique en France*, in *Annales du Conservatoire Imperial des Arts et Métiers*, tomo 8°, Paris 1867-1868; M. Greard, *L'instruction primaire à Paris et dans le Département de la Seine*, (1871-1872), Paris 1872. La scuola-officina di cui parla Greard era l'école Diderot de la Villette, presa in quegli anni a modello per realizzare a Bologna un'esperienza analoga.

ed attività, Colombo era un imprenditore di stampo schumpeteriano, diventato anche senatore e ministro delle finanze, che considerava la crescita economica come il risultato di innovazioni tecnologiche introdotte nella produzione da capaci imprenditori innovatori<sup>19</sup>. La traduzione dal tedesco del volume di F. Reuleaux e poi soprattutto l'elaborazione del suo *Manuale dell'ingegnere*, entrambi pubblicati per la casa editrice Hoepli, testimoniano il significato della promozione attiva della cultura dell'innovazione di cui si diceva.



**Figura 4.** Una scuola “modello” di apprendistato meccanico, anni Settanta secolo XIX, citata in G. Bonnefont, *Les écoles professionnelles de la France*, Limoges, 1889, p. 103

Entrambi, Colombo come Reuleaux, insegnavano a progettare la macchina. Entrambi compivano analisi dettagliate delle sue componenti, spiegando come andavano calcolati gli ingranaggi e si dovessero porre nel giusto rilievo la catena cinematica dei biellismi e degli altri cinematismi possibili, scoprendo le relazioni tra le diverse parti. La macchina non era solo un insieme di resistenze fisiche (viti, ingranaggi, leve, camme), ma anche una cinematica di altri meccanismi che realizzavano movimenti trasformando altri movimenti. Le componenti fisiche resistenti necessarie nei loro testi venivano messe a disposizione parametrizzandole. Una puleggia per sollevare è sempre una puleggia, ma a seconda del peso sollevato veniva definita in modo da risultare capace di queste diversità. Per la cinematica veniva fatta la stessa cosa, fornendo dei parametri di relazione che legavano il risultato del moto alla funzione che occorreva svolgere.

<sup>19</sup> Cfr. Giuseppe Colombo, *Industria e politica nella storia d'Italia. Scritti scelti: 1861-1916*, a cura di Carlo G. Lacaita, Laterza & Figli, Bari 1985.

Era un approccio che non riguardava solo la formazione degli ingegneri, ma che si trasmetteva, con le dovute distinzioni, anche ai tecnici in formazione nelle scuole industriali di cui abbiamo detto. Se guardiamo negli archivi storici delle migliori di queste scuole, troviamo già negli anni Novanta del secolo XIX disegni di particolari meccanici o di semplici organi meccanici eseguiti dagli allievi con tracce di queste informazioni che fanno capire come a questi giovani apprendisti venissero dati stimoli potenziali alle loro capacità, non solo esecutive. La parametrizzazione forniva metodologicamente un insieme coordinato di relazioni tra le parti di una macchina e aveva lo scopo, oltre a quello della conoscenza tecnologica, di favorire appunto la libertà di progetto. Certo i sistemi non sono lineari, quindi non possono espandersi o rimpicciolirsi all'infinito. Di qui l'importanza di far conoscere i limiti che consentono le possibili realizzazioni e di trovarvi scritto più o meno tutto quello che serve per risolvere un problema di progetto, percorrendo e guidandolo attraverso un percorso vero di *engineering*, dalla sua definizione fino alla costruzione. Arriviamo in tal modo al confine fra l'aspetto teorico scientifico della macchina e l'approccio industriale della stessa.

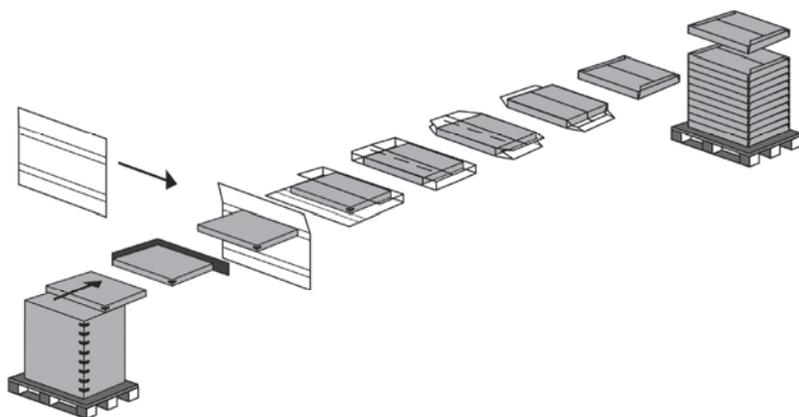
Trovata la forza motrice adeguata, nel vapore o nei miglioramenti di utilizzo di quella idraulica o in quella elettrica che stava avanzando, il ricercato "costrutto teorico" della macchina era a questo punto definito in tre fondamentali riferimenti che l'insegnamento tecnico articolava, seppure a vari livelli di studio, in specifiche strutture formative, teoriche e pratiche. Gaspard Monge aveva messo a disposizione un sistema che rappresentava la macchina in forma univoca, nel suo complesso e nelle sue singole parti. André-Marie Ampère individuava il significato della cinematica e definiva la macchina dal punto di vista dei movimenti, rendendo possibile concepirla attraverso precise leggi matematiche e geometriche. Franz Reuleaux compilava tutti i passaggi e i particolari di un sistema codificato di guida alla sua realizzazione, dalla scelta dei suoi componenti alla ideazione dei "meccanismi" che l'avrebbero resa funzionante.

### **Le macchine del "ciclo"**

Sulla base di questi presupposti, la definizione tipologica generale della macchine operatrici/automatiche, piuttosto che fare riferimento a classificazioni morfologiche rispetto a quello che fanno, va trovata in un denominatore comune. Cioè nella ingegenosità di come ciascuna risolve la richiesta di mercato che la riguarda, inventando un "costrutto" fatto da "meccanismi" che seguono precise leggi di moto. Si tratta di scoprire un elemento di identità più specifico, corrispondente alla loro caratteristica principale che è quella di vincere la natura, realizzare un fare che altrimenti spetterebbe all'uomo, alleviandogli fatica e lavoro.

Questa identità viene data alla macchina dal “ciclo di lavorazione” che compie, cioè un insieme di singole azioni sincronizzate che realizzano la lavorazione da fare, su uno o più prodotti contemporaneamente, compiendo una sequenza di operazioni.

Il “ciclo” può essere interpretato senza pensare a chi compirà quelle operazioni, quali saranno i mezzi, i meccanismi che agendo sul prodotto/prodotti li trasformeranno, li “lavoreranno”. In tal modo vengono abbozzate una serie di operazioni successive, sequenziali o contemporanee che porteranno, compendosi, al raggiungimento del risultato richiesto. In una seconda fase saranno definiti i mezzi operativi, quei dispositivi o parti di questi che saranno a diretto contatto con il prodotto, definendo il come e il quando questi mezzi entreranno in funzione per consentire l'avanzamento del processo e completare il ciclo di lavorazione.



**Figura 5.** Ciclo teorico di una macchina avvolgitrice degli anni Settanta del secolo scorso. Documentazione A. Cinotti.

I mezzi operativi si muovono nello spazio e nel tempo, accelerano, ruotano, decelerano, ripartono. Poiché sono dotati di massa e nel loro movimento incontrano delle resistenze, debbono essere forniti di energia. La macchina operatrice nel suo complesso può essere considerata come un trasformatore di energia il cui flusso si propaga dalla sorgente primaria ai mezzi operativi e da qui al prodotto/prodotti da lavorare fino a completare il “ciclo”. La generazione dell’energia da trasformare in moto, è data dalla tecnologia disponibile. Quella generata dall’uomo attraverso una manovella; quella derivata dalla forza di un salto d’acqua con ruote e da ingranaggi a queste collegati; o tramite cinghie mosse da alberi di trasmissione azionati da motrici a vapore; oppure quella generata da un motore elettrico. La catena cinematica che riceve l’energia e la distribuisce sotto

forma di moto ai singoli mezzi operativi della macchina, deve essere in grado di trasmetterla in modo perfettamente sincrono. Infatti, definito il “ciclo”, la macchina operatrice si basa sulla combinazione spaziale e temporale di moti, definita sulla base di principi di teoria generale e dall'intervento, notevolmente innovativo ed intelligente, del progettista che “inventa” il “ciclo”, secondo soluzioni tecnologiche disponibili.

Lo studio del moto è essenziale. Soprattutto agli albori per progettare la macchina non era tanto importante l'aspetto di scienza dei materiali o la definizione degli sforzi. Le strutture e le parti erano generosamente dimensionate. La questione più complessa ed impegnativa era trovare il modo di generare moti precisi. La comparsa di queste macchine non segue uno svolgimento evolutivo. Ogni passo di avanzamento è stato frutto della sperimentazione e non è derivato dalla “copiatura” meccanica della manualità, del modo di operare dell'essere umano. Se il progettista segue questa strada non combina niente. La macchina è il risultato di una “invenzione”, che consente di ottenere lo stesso risultato delle mani ma in un altro modo, anche migliore, più veloce, quasi senza difetti. Dalle storie dei diversi progetti emerge che ogni macchina che realizzi una “innovazione/invenzione” nuova è una rivoluzione tecnologica. Sono le innovazioni assolute che chiamiamo “cicli” e sono talmente consolidati che di nuovi ne vengono inventati pochissimi. Il “ciclo” è la misura del successo di una macchina. Un “ciclo” con queste caratteristiche rimane nel tempo. Il modo di realizzarlo può cambiare, le dinamiche dei movimenti possono essere ottimizzate, realizzate con altre tecnologie ed altre componenti, ma il “ciclo”, l'idea sovrana del come fare, rimane l'aspetto fondamentale. La serie di cambiamenti con innovazioni di adeguamento alle nuove tecnologie offerte dal mercato, dà luogo invece ad una serie di innovazioni incrementali, esse pure molto importanti per lo sviluppo delle macchine. In definitiva si può affermare che la macchina operatrice non è definita da una tecnologia specifica ma adotta, usa, implementa tutte le tecnologie che meglio si adattano al raggiungimento dello scopo finale che il “ciclo” indica di determinare. Il “ciclo” è la vera componente tecnologica della macchina operatrice.

Per capire il diverso approccio che comporta la realizzazione dei “cicli” e l'ideazione di una scomposizione di questi in operazioni assai diverse da quelle compiute dalla mano, può essere utile qualche considerazione e due esempi. Automatizzare operazioni fatte dall'uomo non è una cosa facile e sempre possibile. In un primo momento la macchina operatrice è stata immaginata come un “uomo meccanico”. Fin dal secolo XVIII era chiara l'idea di costruire degli automi che potessero far quello che faceva l'uomo. Fatica inutile, si scoprirà dopo poco tempo. Ripetere i movimenti dell'uomo era estremamente difficile. Basti pensare che in una mano ci sono circa 400 muscoli che dispongono degli occhi dell'uomo per ricevere

i comandi. Riprodurre questi mezzi era quasi impossibile. La complessità del corpo umano, la sua capacità intrinseca di operare dei *feed back* in tempo reale ed una tecnologia povera non consentivano questo tipo di approccio. Lo sviluppo della produzione industriale creava però le condizioni per concepire l'idea di far fare per un lavoro meno fatica in senso esteso, cioè di fare meno fatica e di ottenere una maggiore produttività. Così la macchina tendeva a sostituire, parzialmente o integralmente, l'uomo. Vediamone degli esempi famosi.

Unire assieme pezzi di tessuto è arte vecchia come il mondo. A parte le tuniche di biblica memoria tessute in un sol pezzo, l'uomo ha sempre avuto la necessità di crearsi vestiti comodi o adatti alle attività oppure alle circostanze. Non solo per le sartorie ma per tutti cucire era un fatto conosciuto e praticato. Servivano poche cose. Un filo ed un ago. Il cucito veniva ottenuto da un solo filo passato con l'ago da una parte all'altra dei tessuti da unire. La vera innovazione di questa lavorazione a mano era quella di ottenere, col passaggio del filo, una soluzione facile e rapida. Nella prima metà del secolo XIX, l'esigenza di automatizzare il processo di cucitura venne dalla produzione degli abbigliamento militari e portò ai primi prototipi di macchine da cucire. Il tentativo di simulare il passaggio dell'ago, facendo i punti nello stesso modo in cui li componeva il sarto, si rivelò macchinoso e di difficile realizzazione. L'idea innovativa venne a Elias Howe (1819-1867), un meccanico americano del Massachusetts, che inventò la cucitura a due fili, il punto a doppia catenella. Un meraviglioso piccolo dispositivo che consentiva di far passare uno dei due fili all'interno di un'ansa creata con il secondo filo, ottenendo così un nodo di fissaggio del punto. Ma la sua macchina poteva eseguire solo cuciture diritte e di lunghezza limitata. La soluzione di completamento del "ciclo" fu trovata da un falegname costruttore di armadi del Michigan, Isaac M. Singer (1811-1876) proprietario di un piccolo negozio di Boston nel Massachusetts. Fu lui a modificare la piastrina dentata che mandava avanti la stoffa dopo ogni punto della macchina di Howe, consentendole di girarsi per fare cuciture curve. Il "ciclo" delle operazioni completato da Singer ha costituito la base delle macchine da cucire, le prime macchine operatrici acquistate da privati ed entrate nella via quotidiana domestica<sup>20</sup>. Siamo di fronte al processo che definisce lo schema "concettuale" di macchina operatrice, ma anche ad una realizzazione che ne spiega il carattere di macchina automatica. Dapprima si cerca un "ciclo" che consenta il risultato della lavorazione a mano attraverso passaggi di una automatizzazione, poi lo si realizza materialmente utilizzando i mezzi messi a disposizione dalla tecnologia del momento.

---

<sup>20</sup> Cfr. Thomas K. Derry e Trevor I. Williams, *Tecnologia e civiltà occidentale*, Boringhieri, Torino 1968, pp. 663-665.

Un altro esempio. Il processo di stampa era conosciuto in Europa dal secolo XV. Alla metà del secolo XIX, questo processo è ben consolidato. Veniva fatto da persone esperte, in luoghi dedicati a questa attività, le tipografie, con macchinari e materiali specifici, torchi, presse, inchiostri, fogli da asciugare dopo il processo. Una attività che comportava l'impiego di macchine e più lavoranti addetti a specifiche funzioni con problemi importanti di costo. Soprattutto era dedicata a grandi numeri, a grandi tirature. Dal mercato, dalle attività commerciali e dai privati era richiesta una scrittura a macchina più semplice, più rapida, più personalizzabile, fatta da chi aveva l'esigenza di scrivere senza ricorrere ad una tipografia. Accadeva quello che un secolo dopo sarebbe accaduto al personal computer. Si trattava di soddisfare l'esigenza di produrre con facilità documenti in piccola serie, unici o con una sola copia, destinati ad un uso "privato", ma soprattutto ad un utilizzatore non specializzato. La macchina da scrivere che rispondeva a questi requisiti avrebbe presentato una stretta affinità con le composatrici per stampa e aveva una lunga storia che iniziava con un brevetto inglese del 1714. A quell'epoca la definiva «una macchina o un metodo artificiale, per stampare o trascrivere delle lettere alfabetiche singolarmente o ordinatamente l'una dopo l'altra come nella scrittura». Non esistono né disegni, né descrizioni di questo prototipo, ma sappiamo che il bisogno di macchine del genere era allora poco sentito e soddisfatto dalla scrittura a mano di abili copialettere. Negli anni Settanta del secolo XIX, quando la Remington Company mise in commercio in America la prima soddisfacente macchina da scrivere, a rullo, provvista di caratteri montati su leve singole che potevano essere portate nella posizione di stampa indipendentemente dalle altre, l'entità delle vendite era ancora trascurabile<sup>21</sup>. Ma il "ciclo" utilizzabile era individuato. La riproduzione meccanica della linea continua dell'inchiostro che la scrittura con la mano modella e trasforma in singole lettere o caratteri, aveva trovato soluzione. Gli "stampi" delle lettere, dei caratteri, della punteggiatura erano montati su singole leve e combinati in una tastiera che consentiva di attivarli con la semplice pressione delle dita, in modo da farli battere su di un nastro sporco di inchiostro, scorrevole, interposto con la carta che girava su un rullo, in modo da lasciare su questa la forma del simbolo prescelto.

Dagli esempi considerati è ora possibile riassumere le componenti fondamentali delle macchine operatrici. Il ciclo automatizzabile è quasi sempre completamente diverso dalla analoga operazione fatta a mano. La meccanica dell'automatizzazione, ovvero l'insieme di parti collegate fra di loro da una catena cinematica, agisce in maniera sincrona riuscendo a generare il "ciclo". Una sorgente di forza motrice, un

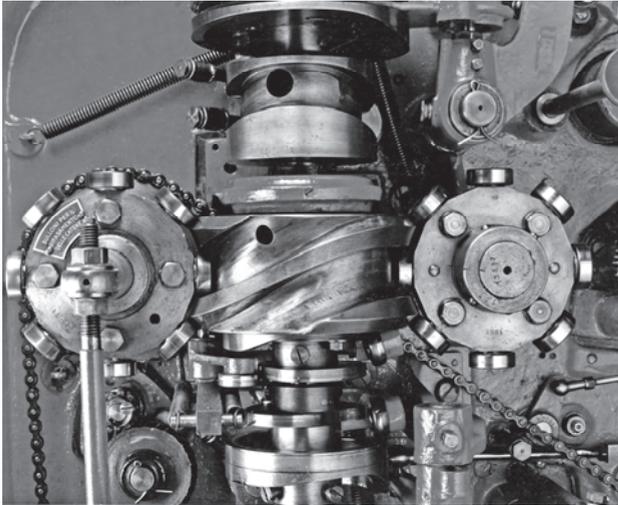
---

<sup>21</sup> Cfr. *Storia della tecnologia*, a cura di Charles Singer, Eric John Holmyard, A. Rupert Hall, Trevor I. Williams, volume V, Boringhieri, Torino 1962, pp. 669-771.

generatore di moto, attraverso la catena cinematica distribuisce l'energia necessaria al compimento delle operazioni.

Non bisogna pensare che queste macchine riguardassero solo soluzioni rivolte al privato, per entrare nell'uso comune o entro nicchie di mercato che potevano evolversi o meno a seconda delle esigenze del mercato stesso. Questo era senz'altro una parte consistente del loro orizzonte di sviluppo. Ma non l'unico. Proprio il consolidamento della produzione di serie e della diffusione delle condizioni del consumo di massa aprivano per i progettisti di aziende specializzate potenzialità inimmaginabili, che le grandi imprese di produzione avevano difficoltà ad affrontare direttamente al loro interno. Meglio affrontarle con commesse esterne ad imprese più "artigianali" in grado di risolvere con altissima qualità le soluzioni di "ciclo" richieste.

Dunque inventare il "ciclo" è l'obiettivo essenziale del progetto, operazione indispensabile per concepire la macchina perché significa immaginarsi come il prodotto da lavorare debba essere trattato nel caso di macchine ad un solo prodotto o nel caso di macchine che trattino contemporaneamente più prodotti, come vengano messi in relazione fra di loro nello spazio e nel tempo. Questo è il lavoro del progettista. Immaginarsi come avvolgere una caramella con la carta di protezione, oppure immaginarsi come dosare il tabacco nella sigaretta o solo semplicemente come verniciare la parte esterna delle matite. Il progettista è un personaggio eclettico, sperimentatore, audace, capace di approcci non convenzionali alla soluzione del problema e di sintesi fra diverse tecnologie. Non è uno scienziato, è un operatore "*no problem*" di tecnologia, con grandissima fantasia, audacia e coraggio per soluzioni da trovare. È un applicativo che "sa di poter fare" quello che non è mai stato fatto. Oltre ad inventare un "ciclo", o meglio contemporaneamente ed intrinsecamente a questa operazione, deve immaginare quali mezzi, pinze, "manine", spingitori, andranno a contatto con il prodotto o i prodotti. Il progettista definisce un "ciclo" e contemporaneamente i mezzi operativi finali, quelli a contatto con l'oggetto in formazione, quelli che lo trattengono, le pinze che afferrano la carta, quelli che ad esempio la ruotano, la avvolgono. Ma poi bisogna muovere questi "meccanismi" ed è questo il momento in cui nasce la macchina. Il "ciclo" ha definito il come e il quando temporale e spaziale in cui le operazioni elementari debbono compiersi per arrivare al risultato finale. La macchina fornisce la catena cinematica congeniata in modo da dare l'energia necessaria ai mezzi operativi, per portarli nel momento giusto e nella posizione richiesta dal "ciclo".



**Figura 6.** Particolare dei meccanismi di automazione della macchina ACMA 479 per confezionare caramelle a doppio fiocco, fine anni Quaranta del secolo scorso. In evidenza le due ruote a zeta ideate ed introdotte da Bruto Carpigiani. Archivio fotografico dell'MPIB. Foto Rino Bertuzzi

Al progettista compete la ideazione dei dispositivi e della catena cinematica che dalla sorgente di moto primaria lo distribuiscono in maniera sincrona ai mezzi operativi, utilizzando le tecnologie disponibili. Questo modo di ideare un “ciclo” e di tradurlo nella macchina rappresenta l’innovazione che ogni macchina operatrice contiene. Un “processo-pensiero”, come affermava Reuleaux, che solo l’ingegno dell’uomo può arrivare a definire. Per comprenderlo occorre andare oltre la macchina e studiare le “creazioni” delle soluzioni che le macchine contengono. Per questa strada si incontrano “scatti” che certamente rispondono a principi di “teoria”, di tecnologie disponibili, di abilità nel fare, di curiosità, di pratica del ragionamento deduttivo, ma che nella mente del progettista trovano una sintesi che lui solo è stato capace di fare.

Il punto di passaggio fra macchina operatrice e macchina automatica propriamente detta non presenta un confine netto e definito. La macchina operatrice evolve in macchina automatica in funzione del grado di automazione delle operazioni svolte dalla macchina. Nella macchina operatrice l’intervento dell’uomo è costante e continuo avendo funzioni di guida e di controllo delle operazioni. Tanto più le operazioni avvengono in modo automatico, tanto più all’uomo sono delegati compiti solo di controllo. In generale potremmo dire che la macchina automatica lascia all’uomo solo l’operazione di avvio e di arresto. Già agli albori del Novecento le macchine presentavano un alto grado di automazione. All’uomo erano generalmente affidati i compiti di alimentazione del prodotto/prodotti da lavorare e la raccolta e successiva sistemazione del prodotto finale, oltre al controllo generale della macchina e della qualità del lavoro svolto dalla stessa. Le macchine erano costruite con tecnologia meccanica e nella maggior

parte dei casi la fonte dell'energia non risiedeva nella macchina. I motori elettrici non erano ancora di uso comune ed il moto primario era derivato, tramite trasmissione a cinghia, dal motore di fabbrica, a vapore o idraulico. In definitiva c'era un'unica sorgente di energia e la trasmissione della stessa avveniva con un unico albero a cui si collegavano con cinghie le singole unità operatrici. I "cicli" operativi erano funzionali alla tecnologia disponibile del tempo, i moti alternati erano spesso generati da movimenti eccentrici e comparivano i primi sistemi a camma. Il progettista si trovava ad avere a disposizione in commercio un limitato numero di componenti. Tutto doveva essere progettato, disegnato e costruito: alberi, camme, ingranaggi, strutture. L'impegno richiesto per queste attività era paragonabile a quello dovuto per l'invenzione del "ciclo", tanto da condizionarne pesantemente la definizione e la meccanica delle sue parti, risultando il migliore possibile secondo la tecnologia a disposizione che, ripetiamo, era essenzialmente meccanica. I "cicli" realizzati avevano la caratteristica di essere eseguiti con mezzi operativi che si muovevano in moto alternato, alternando fasi di lavoro nelle quali veniva compiuta l'operazione, a fasi di ritorno nella posizione iniziale per poter ripetere, in sincronia con gli altri movimenti, la stessa operazione al ciclo successivo. In sintesi i movimenti erano di tipo alternato da cui il nome di questo tipo di macchine/"cicli": macchine in alternato. La maggiore peculiarità di questo tipo di macchina risiede nella assoluta ripetibilità e certezza dei movimenti, l'*handicap* nel fatto che il movimento ha due fasi ben distinte, una in cui avviene l'operazione (la fase attiva) ed una in cui il mezzo operativo ritorna nella posizione iniziale. Tempo perso, tempo "inutile" ai fini della funzionalità generale.

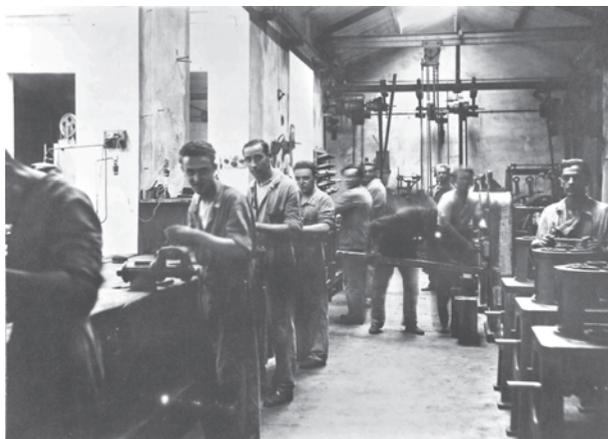
Per progettare macchine non bastavano competenze definite, settoriali, specializzazioni spinte della divisione del lavoro. Il "mestiere" necessario per queste macchine doveva essere contemporaneamente quello di un inventore, di un progettista disegnatore e, quasi sempre, di un "meccanico polivalente" per realizzare le idee che concepiva. Una professionalità tecnica complessa, garantita dalla presenza sul mercato del lavoro di tecnici con una buona formazione di base sia teorica che pratica nell'uso delle macchine e nelle operazioni a mano con utensili.

Ai primi decenni del secolo scorso questo era lo stato dell'arte, poi comparvero due innovazioni che rivoluzionarono il mondo delle macchine. La prima fu l'avvento del motore elettrico, la seconda la realizzazione industriale della camma a zeta. Il motore elettrico consentiva di avere a disposizione una sorgente di energia facilmente controllabile, attivabile o disattivabile tramite un interruttore. Il progettista poteva evitare di prendere in carico la gestione della trasmissione del moto dalla sorgente primaria di fabbrica, rendendo la macchina una unità autonoma. La seconda, la camma a zeta, consentiva di variare il moto circolare

introducendo il concetto di sosta. Questo dispositivo meccanico, tramite una trasmissione a camma e rulli in presa continua, trasformava il moto rotatorio uniforme dell'albero in entrata in una rotazione intermittente ben determinata, in relazione univoca di fase dell'albero in uscita. Questo permetteva di poter immaginare dei "cicli" in cui alcuni elementi, organi, dispositivi potevano essere arrestati e fatti ripartire in modo perfettamente sincrono ad altri dispositivi che erano già in movimento. Con queste diverse possibilità vengono realizzati "cicli" e macchine diverse. Aumentano le prestazioni, ma aumentano anche le necessità di costruzioni più precise. Il progetto non può essere più solo basato sull'intuizione, il buon senso e l'esperienza, ma deve essere impostato su basi più solide, come il calcolo e in generale il dimensionamento. Tutto questo va documentato ed organizzato a livello aziendale per poter produrre macchine che non sono più esemplari unici, ma prodotti di serie anche se ancora limitati nel numero. Nasceva così l'ufficio tecnico, con ruoli di progettazione e di gestione della documentazione tecnica costruttiva delle macchine. Contemporaneamente venivano individuate altre funzioni aziendali che diventavano il cardine di questa industria: l'officina di produzione delle parti, il montaggio con gruppi di montatori interni ed esterni, personaggi "no problem".

Le macchine del periodo che va dall'inizio del secolo fino agli anni Trenta sono macchine meccaniche, con catene cinematiche sempre più complesse che realizzano un numero elevato di funzioni elementari il cui numero varia da poche unità fino ad arrivare a centinaia di funzioni elementari. Nell'ambito delle macchine operatrici/automatiche, si possono individuare due campi prevalenti di specializzazioni nei quali i tecnici si identificano: uno molto collegato al prodotto che riguarda i mezzi operativi finali cioè quelli che sono a contatto con il prodotto; un altro collegato all'aspetto progettuale e costruttivo della catena cinematica di trasmissione del moto. La migliore forma da dare ad una pinza che trattiene la caramella, o ad un rullo che fa avanzare la carta stagnola di protezione della stessa, o alla tramoggia di carico e dosaggio del tabacco di una sigaretta, possono senz'altro essere ipotizzate sul tavolo da disegno, in ufficio tecnico, ma poi debbono essere messe a punto in officina e occorre una sensibilità particolare per individuare la miglior soluzione. Questa sensibilità era difficile da imparare in un apprendistato scolastico. Anche mettendo a disposizione degli allievi un bagaglio di esperienze e di "già visto" veramente notevole, richiedeva una profonda conoscenza della macchina specifica e del prodotto da trattare ed in generale del processo produttivo nel suo complesso. Ecco quindi che accanto ai "progettisti", crescono in questa epoca altre figure importanti del mondo delle macchine operatrici/automatiche. Operai e tecnici in grado di risolvere problemi di funzionamento delle macchine,

veri tecnologi della automatizzazione del processo, capaci di interloquire con gli uffici tecnici per proporre soluzioni e modifiche.



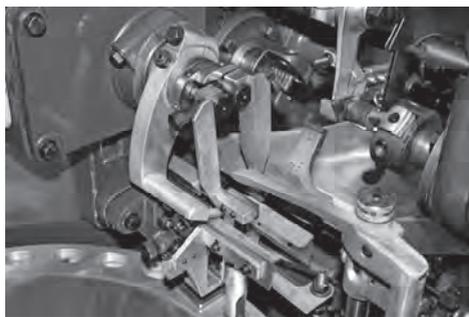
**Figura 7.** Interno delle officine “ZAMBONI” di Bologna per la produzione di macchine da pasta, con attività (a sinistra) di aggiustaggio, anni Trenta del secolo scorso.

Archivio Storico ZAMBONI - Casalecchio di Reno - Italia.

Non è sufficiente realizzare macchine che funzionano, occorre andare più veloci, occorre produrre più velocemente. Questa esigenza porta all'exasperazione delle prestazioni delle macchine. Il “ciclo” alternato, per la sua stessa natura, richiede che i mezzi operativi siano accelerati, portati in velocità, decelerati, fermati o che facciano una pseudo sosta e poi che ripetano la stessa sequenza per tornare nella posizione iniziale. Diventano importanti le coppie (forze) necessarie per muovere questi componenti secondo le leggi imposte dal “ciclo”. Di qui la necessità di costruire macchine basate su sistemi “leggeri”, il che significa in realtà momenti di inerzia calcolati e strutture dimensionate adeguatamente. Si affacciano alla ribalta problemi nuovi: vibrazioni, rotture, instabilità di questi sistemi. Sono istanze che fanno nascere una generazione di progettisti a tutto tondo, capaci di integrare vari “saperi” meccanici, tecnologici, produttivi ed anche gestionali. In particolare lo studio delle camme, come fonte primaria della generazione dei moti e dei sincronismi, diventa una attività fondamentale per la definizione del “ciclo”, poi della macchina, richiedendo dosi sempre più alte di “precisione” e di calcolo. L'esperienza e il “colpo d'occhio” sono ancora elementi fondamentali per il progettista, ma oltre ad un necessario dimensionamento scientifico diventa indispensabile la conoscenza dei materiali e delle loro caratteristiche. Si cominciano ad usare materiali “nuovi” come l'alluminio e le sue leghe. La lubrificazione, fino ad allora un fatto empirico, diventa scienza e deve essere applicata alle macchine. Una possibile soluzione ai problemi generati dall'esigenza di aumentare la velocità di lavoro delle macchine, viene affrontata in maniera diversa liberandosi dei vincoli posti dalla macchina a “ciclo” alternato, eliminando le fasi di ritorno, le fasi inutili.

Vengono pensati “cicli” che, a differenza del “ciclo” alternato, abbiano movimenti senza variazione di velocità, senza accelerazioni o decelerazioni. Una macchina che opera con questa modalità è definita “continua” ed in essa le operazioni che vengono compiute sui prodotti, in moto continuo senza arresti, sono svolte da mezzi operativi che non hanno la fase di ritorno, che si muovono in maniera continua anch’essi. Possono essere più veloci perché non esiste la fase inutile del ritorno nella posizione iniziale e sono meccanicamente meno sollecitate. In generale le macchine in alternato sono limitate in velocità, più tolleranti a variazioni di prodotto da trattare, più facili da mettere a punto e possono essere messe in produzione senza particolari procedure. Le macchine in continuo sono più veloci, molto più veloci, ma non sono molto tolleranti a variazioni di prodotto. Sono generalmente più semplici, con catene cinematiche semplici, ma sono di grande difficoltà nella messa a punto e nella operatività. Le sequenze di partenza, proprio perché il funzionamento avviene in continuo e in velocità, possono essere particolarmente complesse. Nel mercato c’è spazio per le due filosofie e per applicazioni adatte all’una ed all’altra, anche se lo sviluppo di una macchina in continuo è di gran lunga più impegnativo e rischioso di quello di una macchina in alternato.

Per quanto concerne l’aspetto progettuale questa situazione rimane sostanzialmente invariata fino agli anni Quaranta del secolo scorso. Si consolida, si espande, si modifica la struttura aziendale e si passa da una fase artigianale, in cui tutti sapevano fare più o meno tutto, ad una fase di specializzazione dei ruoli, mantenendo sempre un aspetto di competenza generale in materia. A quell’epoca, la tecnologia della macchina era totalmente meccanica. La macchina compiva il “ciclo” indipendentemente dal fatto che il prodotto o i prodotti fossero nella giusta sequenza spazio temporale. Quindi era “cieca”. Nell’avvolgere caramelle disponeva di mezzi operativi che eseguivano l’incarto sia che ci fosse o no la caramella, sia che ci fosse o no la cartina per avvolgere. La cecità della macchina ne rappresentava il vero grosso limite. L’impossibilità di sapere e di vedere se tutti gli elementi che servivano a finalizzare il “ciclo” fossero presenti nel tempo e nello spazio nella giusta sequenza, poteva generare grossi inconvenienti, come i tipici inceppamenti di parti della macchina, fino alla rottura di elementi. Questa situazione, la cecità, portava come risultato positivo lo studio e la realizzazione di “cicli” estremamente affidabili, capaci entro certi limiti di svolgere le funzioni sul prodotto “qualunque ne fossero le caratteristiche”, costringendo i progettisti a vere e proprie opere d’arte di progetto e di costruzione di primitivi e raffinatissimi dispositivi capaci di “sentire” il prodotto e di arrestare la macchina per poter prevenire danni o, in generale, malfunzionamenti con relativo decadimento della qualità del prodotto finale.



**Figura 8.** Mezzi operativi finali di una macchina per *packaging* che evidenzia la complessità progettuale realizzata. Archivio fotografico MPIB

Nel secondo dopoguerra facevano ingresso nel mondo dell'automazione due componenti rivoluzionarie: i sensori e la pneumatica. I primi dispositivi in grado di segnalare la presenza di un corpo furono degli interruttori elettrici opportunamente dimensionati, in cui gli organi di scatto erano progettati in modo da venire azionati senza interferire, o interferendo minimamente, con gli organi o i prodotti da individuare. Con l'introduzione dei sensori, la macchina operatrice/automatica compiva un grande balzo in avanti. Da "cieca" ora poteva "vedere" o "sentire" una situazione, un prodotto. Diventava possibile operare delle scelte, cioè introdurre una alternativa al ciclo originario. Le macchine, già dotate nella loro totalità di motorizzazioni elettriche autonome, potevano così arrestare il motore, fermare la sorgente del moto. Presto si svilupparono dispositivi in grado di interrompere parte della catena cinematica e di ricollegarla alla catena principale in sincronia con il "ciclo". Se mancava la caramella, si arrestava l'avanzamento della carta da incarto; se si verificava un inceppo e un movimento non arrivava a fine corsa, la macchina si arrestava.



**Figura 9.** Pannello di controllo di una macchina per *packaging* degli anni Cinquanta del secolo scorso, in cui compare un primo esempio di utilizzo di sensore ottico (fotocellula). Archivio fotografico MPIB

Con la “vista”, le macchine acquistavano anche una forma di “intelligenza”. Il quadro elettrico, che fino ad allora era stato solo un circuito di marcia-arresto della motorizzazione principale, diventava la sede delle decisioni, avendo la possibilità di interrompere il flusso di energia, il moto, a tutta una parte della catena cinematica di trasmissione o agli organi ausiliari. Era la codifica, definita ed univoca, di come la macchina doveva funzionare in rapporto alle differenti condizioni operative. Nasceva la “logica di macchina” e dal punto di vista della sua filosofia era una rivoluzione, un fatto innovativo assoluto. Si potevano scegliere cicli di funzionamento alternativi a quello precedente, fondamentale ma unico. Era la possibilità teorica e pratica di arrestare una parte della macchina in un punto del “ciclo”, attivando un altro “ciclo” o tornando, in funzione delle condizioni operative, al “ciclo” normale. Non esiste più solo il “ciclo” di trattamento del prodotto/prodotti pensato dal progettista che lo ha immaginato in condizioni operative ideali, come se la macchina funzionasse sempre in modo perfettamente automatico. Ora esistono anche altri “cicli” che entrano in funzione in condizioni diverse da quelle previste dal “ciclo” principale. La macchina si identifica con i suoi “stati” di funzionamento. Le transizioni fra questi stati avvengono tramite sensori o pulsanti, di fatto altri sensori azionati dall'uomo. Il “ciclo”, quello sovrano, quello riferito al come trattare il prodotto/prodotti, viene integrato da un “ciclo” di funzionamento della macchina che la guida sul come funzionare secondo la sua logica.

Le prime logiche erano realizzate a relè e la loro presenza sulle macchine produsse un notevole cambiamento nel mondo aziendale ed industriale, fino ad allora monopolio quasi assoluto dei meccanici. Adesso arrivavano gli elettricisti, capaci di collegare i fili al posto giusto e di far interagire i sensori con la macchina. In realtà questi personaggi cominciano a governare la macchina attraverso la logica. Sono loro che spesso ne condizionano il funzionamento al di là o al di sotto di quello che il progettista meccanico aveva concepito come funzionamento. La tecnologia mette a disposizione nuovi sensori come le fotocellule, in grado di “vedere” il prodotto senza interferire con esso e senza toccarlo, oltre a tanti altri tipi di sensori “intelligenti” comunque sempre finalizzati al fatto di individuare lo stato della macchina. Le logiche diventano sempre più complesse e importanti nel contesto della macchina. Presto si trasformano in blocchi logici che offrono la possibilità di avere funzioni predefinite, sempre allo scopo di ridurre i costi di installazione e di messa in funzione. Ma la logica di funzionamento della macchina non cambia, cambia solo l'aspetto costruttivo con fili di segnali dei sensori collegati al posto giusto.

Contemporaneamente si affacciano altre esigenze di automazione non legate solo al movimento di mezzi operativi finali, ma che interessano altri fenomeni fisici

come il riscaldamento di prodotti e tipicamente la saldatura o sigillatura del materiale di imballo. Queste azioni comportano l'uso di elementi riscaldanti ed immediatamente la necessità di controllarne la temperatura. Nel sistema di comando della macchina si inserisce un elemento di controllo di una grandezza fisica non propriamente legata al movimento. I controlli di temperatura costituiscono un primo esempio di micro intelligenza specializzata dedicato al controllo di una funzione particolare che scambia segnali con la logica della macchina. Ad esempio solo quando i saldatori sono in temperatura questa si mette a funzionare, operando in generale in maniera autonoma e indipendente dal resto del suo funzionamento.

Negli anni Settanta appaiono i primi PLC (*programmable logic control*). Sono dispositivi a microprocessore (1 oppure 8 bit) in grado di eseguire operazioni logiche anche molto complesse, avendo in entrata tutti i segnali dei sensori e pulsanti di macchina e generando in uscita segnali elettrici in grado di pilotare dispositivi di potenza (i contattori di comando dei motori, delle elettrovalvole o altro). Le operazioni logiche vengono definite non più cablando i fili al posto giusto ma attraverso una programmazione di sequenze logiche, attraverso il software in maniera semplice ed economica, ottenendo con la programmazione una grande flessibilità di impiego. Il PLC non introduce niente di nuovo nel funzionamento della macchina. Si tratta di un dispositivo a tecnologia più avanzata rispetto a quelle esistenti che consente in modo rapido la gestione delle funzioni logiche. Il fatto che fosse possibile decidere di interrompere un "ciclo" di funzionamento, arrestando la macchina o almeno una parte di essa, porta rapidamente al frazionamento del "ciclo" in "sottocicli" ed al conseguente frazionamento delle catene cinematiche. Non è più una sola catena cinematica a generare i movimenti sincroni necessari, ma vengono installate più catene cinematiche sincronizzate fra di loro.

Questo segna una svolta nel mondo della macchina operatrice/automatica. Viene tolto al progettista meccanico il ruolo di unico conoscitore della macchina che aveva sempre avuto. Si pone l'esigenza di figure più specializzate nella gestione della parte elettrica, che continua a crescere per importanza sempre più rilevante e per le possibilità offerte dai nuovi sistemi (PLC) se sfruttate ed integrate al meglio da personale specializzato. L'elettronico, conteso, ammirato, vituperato, ben pagato agli inizi, in perenne conflitto, armistizio, sconfitta, vittoria con il meccanico o i meccanici, diventa necessario ed indispensabile per far "andare" le macchine. Ed è su questo dualismo, meccanico/elettronico che si fonda lo sviluppo più recente delle macchine. In realtà l'elettronico è un elettromeccanico, sostanzialmente un logico con specializzazione elettromeccanica chiamato così perché lavora con dispositivi elettronici. Una figura che si trasformerà, a partire dagli anni Novanta del secolo scorso, nel softwarista.

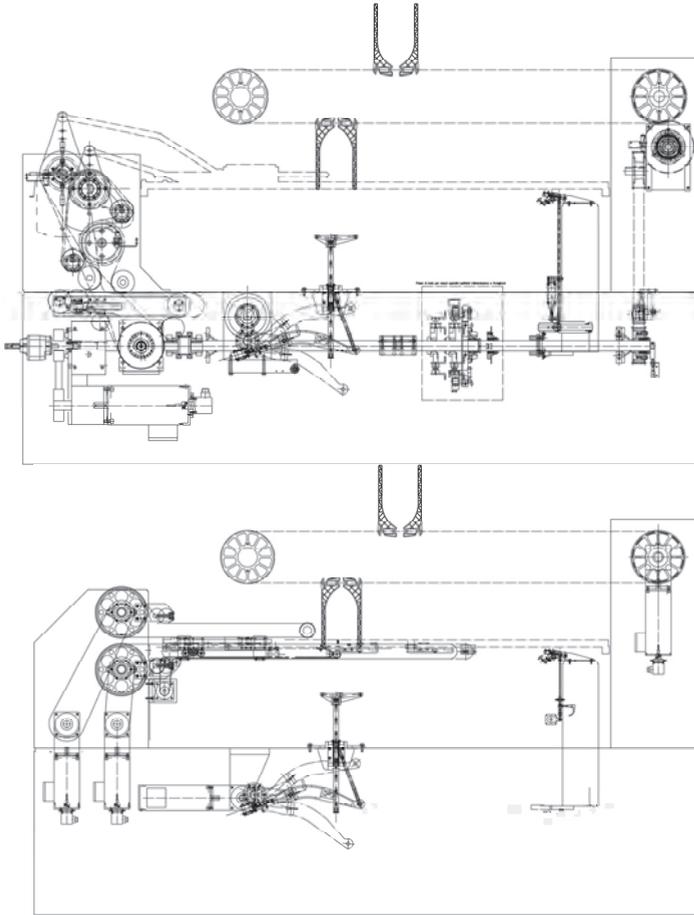
Il meccanico ha un nuovo elemento da gestire e controllare, la pneumatica. Tutta da scoprire, da dominare, da usare. La pneumatica si inserisce perfettamente nella corrente di pensiero e di progetto delle macchine a catene cinematiche frazionate, mettendo a disposizione attuatori, cioè movimenti, che possono essere usati indipendentemente dalla catena cinematica principale ed essere attivati da segnali elettrici, generati dalla logica, in momenti determinati del “ciclo”. La limitata velocità di questi dispositivi e la relativamente scarsa ripetibilità temporale, non consentono il loro impiego in macchine veloci e/o dove sia necessario una sincronizzazione perfetta con altri movimenti del “ciclo”. Comunque rappresentano una ottima sorgente di movimento per operazioni ausiliarie e di completamento. In realtà esistono anche esempi di macchine completamente pneumatiche, governate da logiche realizzate con componenti di questo tipo. Sono in generale tentativi di ricerca di strade alternative, cercate prevalentemente per ragioni di economicità o destinate ad ambiti particolari come la fabbricazione di dispositivi esplosivi.

Alla fine degli anni Settanta la morfologia della macchina operatrice/automatica era ridefinita. La tecnologia impiegata non è più solo quella meccanica, che comunque è ancora preponderante rispetto alle altre. L'aspetto più importante è che il concetto di “ciclo”, così come concepito ed usato nelle prime macchine, si trasforma in un insieme di “cicli” coordinati ed interagenti, comportando quindi un frazionamento delle catene cinematiche di distribuzione del moto. Portando al limite questo concetto ad ogni singolo mezzo operativo corrisponde solo una catena cinematica ridotta ed una sola sorgente di moto, un singolo motore. Il sincronismo dei movimenti, cioè dei motori, viene delegato all'unità di controllo, al PLC, al sincronismo attivato dai sensori. Questo approccio affascinante consente al progettista di concentrarsi sul binomio mezzo operativo finale/prodotto da trattare, semplificando molto la catena cinematica e concentrandosi sul “ciclo” e sulla funzionalità. Una tendenza al frazionamento delle catene cinematiche limitata però dalle caratteristiche dei motori e dalla difficoltà di variare la loro velocità. Nelle macchine ad alta velocità ed alta precisione, il sincronismo “meccanico” delle macchine totalmente meccaniche regna ancora incontrastato. Ma l'elettronica è entrata in campo e la sua presenza sarà d'ora in poi una costante dello sviluppo delle macchine in tutti i settori dalla sensoristica sempre più specializzata, ai pannelli di comando fino ad allora composti da pulsanti e selettori e qualche potenziometro. Ora vengono completati da schermi o pannelli alfanumerici attraverso i quali è possibile essere guidati e guidare le operazioni.

Alla fine degli anni Ottanta, l'avvento dei motori *brushless*, cioè di motori senza spazzole, supera i limiti tecnologici fino ad allora presenti nei motori in corrente continua e nei motori asincroni. In realtà non è solo il motore a consentire un

nuovo approccio, ma piuttosto il sistema composto dal motore, dal dispositivo di controllo di potenza (*driver*) e dalla scheda di controllo del moto (asse). Una combinazione in grado di definire esattamente i profili di velocità del motore in funzione della situazione spazio temporale in cui ci si viene a trovare. La macchina operatrice/automatica non cambia, la sua filosofia è sempre la stessa e gli elementi base sono sempre gli stessi: “ciclo”, catena cinematica che lo realizza, sorgente di energia. La trasformazione avviene non nel “ciclo”, ma nella catena cinematica e nella sorgente di energia. La possibilità di avere a disposizione sorgenti di energia e i motori facilmente gestibili e ad un costo ragionevole, consente di realizzare il “ciclo” in un modo diverso, più razionale ed efficace. Il progettista può concentrarsi sul moto del mezzo operativo finale, associando ad esso il relativo generatore di energia trasmessa da una catena cinematica ridotta all'essenziale. Il sincronismo dei movimenti viene garantito dalle schede/assi che controllano il moto. Questo non è un approccio assoluto, non tutti i mezzi operativi finali saranno comandati da un motore indipendente. Entrano in gioco criteri di economicità e di prestazioni, ma la strada del frazionamento del “ciclo” e delle catene cinematiche diviene sempre più frequentemente utilizzata.

Il mondo del progetto e della messa a punto delle macchine ne risulta profondamente cambiato. Le macchine meccaniche richiedevano in fase di progetto che ogni singolo movimento, ogni trasmissione cinematica fosse perfettamente definita. Il funzionamento della macchina era esattamente “descritto” nei suoi pezzi meccanici, nel profilo delle sue camme, nel rapporto delle catene degli ingranaggi. Le camme meccaniche erano il risultato delle leggi di moto imposte dal “ciclo” e, per essere costruite, dovevano essere perfettamente calcolate e disegnate. Quindi la macchina era completamente definita prima di passare alla fase di realizzazione. Con le motorizzazioni indipendenti, alcuni aspetti delle definizioni delle relazioni spazio temporali fra i mezzi operativi finali possono essere abbozzate in fase di progetto e definite esattamente in un secondo tempo, in fase di messa in funzione o di “*fine tuning*” del funzionamento. In ogni caso non è più il solo progettista meccanico che descrive la legge di moto nel disegno della camma e ne definisce a priori il funzionamento. C'è un altro tecnico, un personaggio a tutto tondo, il *softwarista*, colui che sa scrivere e programmare il PLC o la scheda di controllo assi, che impone il movimento al motore.



**Figura 10.** Confronto di una stessa macchina avvolgitrice degli anni Novanta del secolo scorso realizzata con movimenti derivati da catena cinematica rigida (in alto) o con catena cinematica frazionata e singole motorizzazioni (in basso). Archivio Perini Packaging 1992

Il softwarista è l'evoluzione della figura del vituperato "elettronico" visto prima. L'elettronica della macchina è divenuta ormai una elettronica da usare e non più da costruire. Il progetto della macchina avanza per strade quasi parallele. Quella meccanica e quella elettrica, che meglio sarebbe definire logica, procedono in maniera di fatto indipendenti. Il parallelismo termina quando la macchina deve funzionare e non si può ottenere da operazioni disgiunte. È necessaria una collaborazione ed una integrazione fra questi saperi in modo da raggiungere l'obiettivo. Ma mentre nel passato "il bravo progettista meccanico" riusciva a "fare" una macchina da solo, senza l'aiuto di nessuno, adesso non è più così. Diventa necessaria la coniugazione di più saperi. Si comincia a prospettare la

necessità di una figura professionale che integri in se stessa tutte le conoscenze. Si abbozza una nuova figura professionale, descritta in una parola non bella e piacevole, il “meccatronico”, ricca di misteriosi significati.



**Figura 11.** Messa a punto finale, oggi, di una macchina operatrice di misura. Archivio fotografico “MARPOSS”.

Un tecnico che identifica la sua professionalità nella sintesi di conoscenze basilari di meccanica, logica, software e di elettronica. Che sa usare e dimensionare motorizzazioni, capire il “ciclo di funzionamento”, usare e definire i limiti entro cui utilizzare le nuove tecnologie, tipicamente i nuovi motori, i motori *brushless*. La formazione di queste figure professionali avviene nelle aziende a causa del velocissimo sviluppo delle tecnologie e della svanita corrispondenza con le scuole di formazione, in aperta difficoltà nell’identificazione di queste figure professionali in base a determinate e nuove polyvalenze. Capacità e competenze da associare alla conoscenza ed alla consapevolezza che il “ciclo” della macchina in realtà si è trasformato in un insieme di “cicli sincronizzati”, cambiandone la morfologia. La flessibilità, cioè il fatto che la stessa macchina possa operare con formati diversi dello stesso prodotto, ha introdotto il concetto di cambio formato. La macchina operatrice si è veramente trasformata in una macchina automatica.

Alla fine del secolo scorso le macchine operatrici/automatiche, nella grande maggioranza dei casi, sono diventate macchine automatiche. Salvo rare eccezioni il lavoro dell’uomo è diventato soprattutto una funzione di controllo della macchina e della qualità del lavoro generato dalla macchina. L’uomo ha la possibilità di regolarla in quelle parti del “ciclo” che contribuiscono alla qualità finale del prodotto, controllando alla fine questa qualità. Oggi la sua presenza è ancora necessaria, ma destinata ad operazioni di livello superiore. L’automazione industriale si sviluppa ulteriormente grazie alla implementazione delle tecniche digitali nei controlli dei motori e nel PLC. È possibile calcolare, parametrizzare,

risolvere operazioni logiche complesse, controllare con precisione la macchina e le sue parti. In altre parole la macchina è in grado di controllare grandezze variabili e di operare in retroazione (*feed back*) per riportare queste grandezze nel valore definito (*set point*). La macchina controlla autonomamente, almeno in parte, il lavoro che compie.

Già negli anni Sessanta del secolo scorso nella produzione di serie di parti meccaniche per l'industria automobilistica, che richiedeva un controllo accurato delle parti stesse e la capacità di selezionarle in base alle tolleranze richieste per entrare nelle lavorazioni o nei successivi assemblaggi, si era creata l'esigenza di una macchina capace di controllare il lavoro fatto. Nel caso specifico si trattava di una macchina di misura in grado di effettuare automaticamente una serie di controlli su pezzi meccanici e di selezionarli in classi sulla base di standard definiti. Quello che qui è interessante notare è la filosofia del sistema. La macchina sviluppa una operazione complessa, di precisione, di "validazione" del lavoro fatto da altre macchine, una operazione fino ad allora compiuta da operatori specializzati. Dal punto di vista tecnologico rappresenta un esempio avanzato di integrazione fra una macchina automatica normale che compie un "ciclo" e dispositivi avanzati di misure di precisione, integrati da algoritmi di calcolo e selezione. Ma l'aspetto più innovativo era ed è rappresentato dal fatto che la macchina controllava, con una operazione *post process*, il lavoro fatto da altre macchine, dalle macchine utensili.

Oggi è possibile immaginarsi macchine operatrici/automatiche capaci di realizzare qualsiasi operazione. Non è dimostrato che esista un limite teorico alla realizzazione di una macchina operatrice/automatica che sviluppi una determinata funzione. La tecnologia mette a disposizione tutti gli strumenti necessari per poter immaginare una possibile realizzazione tecnica. Il limite è relativo all'aspetto economico, cioè quanto costa e se è veramente accettabile in termini di ritorno dell'investimento quel particolare livello di automazione espresso dalla macchina. La macchina operatrice/automatica sviluppa ora molte funzioni, importanti e delicate, che fanno passare in secondo piano quelle che erano considerate fondamentali in un recente passato. Sono completamente cambiate le priorità delle funzioni svolte e delle peculiarità della macchina che in alcuni casi può arrivare ad autocontrollarsi. Le operazioni svolte, le medesime che fino a pochi anni fa erano considerate il motivo di esistere di una determinata macchina, adesso possono essere considerate quasi come operazioni ausiliarie. Dal punto di vista tecnologico la macchina è una integrazione totale di sistemi diversi. Tutte le nuove strutture, come vedremo nei casi-macchina, si integrano nella meccanica delle precedenti sequenze.

Ai nostri giorni la macchina operatrice automatica, quella più avanzata, sta cambiando. È cambiato l'obiettivo. L'accento si sta spostando sulla qualità del

prodotto, sulla costanza del suo livello e sulla verifica delle procedure, sul grado di certezza della loro ripetibilità. Si pensi alle implicazioni che hanno le operazioni fatte da macchine operatrici/automatiche nei settori della alimentazione e dei farmaceutici. Specialmente in questi settori, ma non solo in questi, accanto alla funzione principale, confezionare, riempire, dosare, chiudere, se ne sono affiancate allo stesso livello altre importanti che tendono a diventare fondamentali. Dosare si trasforma in dosare con precisione, a quale livello di precisione, fino a controllare esattamente il valore del peso. Riempire una bottiglia evolve in riempirla in atmosfera controllata ed il controllo dell'atmosfera diventa la parte più importante e delicata del processo. Confezionare non è più sufficiente, si deve confezionare con materiali di imballo sterili ed il valore della sterilizzazione o delle procedure relative si evolvono da valore aggiunto a valore fondamentale. Poiché queste operazioni sono delicate e complesse e governano fenomeni intrinsecamente instabili e variabili, è necessario che il controllo avvenga in tempo reale ed in maniera assolutamente certa ed automatica. La macchina automatica è diventata un sistema con funzioni evolute di autocontrollo. Una tendenza che si sta consolidando ma non è il solo cambiamento in atto.

Un altro cambiamento importante è quello in parte generato dalla globalizzazione che ha modificato i termini di riferimento per la scelta delle macchine, indirizzando il mercato e condizionandone le caratteristiche. Nel secolo scorso il mercato acquistava macchine in base a considerazioni di qualità, di tenuta nel tempo, di facilità di manutenzione. Si comperava una macchina svizzera per esaltarne la precisione, oppure tedesca per indicarne la robustezza e la affidabilità straordinarie o anche italiana per apprezzare l'originalità e la brillantezza delle soluzioni. I criteri di scelta erano relativi alla macchina, alle sue caratteristiche, alle sue specificità. Ora non è più così. Il mercato richiede macchine ma in realtà acquista funzioni. Si acquista una funzione necessaria al processo produttivo e che al sistema deve rispondere in termini di ritorno dell'investimento, della capacità produttiva e poi, in secondo ordine, a tutte le altre caratteristiche. Le macchine belle, fatte bene, robuste, precise, non si vendono più per queste caratteristiche. I clienti definiscono prima le loro scelte in base a criteri economici e poi in base alle qualità tecniche.

Nei paesi emergenti e nei nuovi mercati questo modo di procedere è esasperato a livelli incredibili. La prima specifica è l'economicità della macchina in modo da garantire un rapido ritorno dell'investimento. Per i produttori di macchine l'esigenza di rimanere sul mercato porta come conseguenza ad una disperata corsa al ribasso dei prezzi, con relativa corsa al contenimento dei costi e alla ricerca di siti più economici per produrre macchine. Approccio senz'altro efficace in una visione di breve e medio periodo, ma non definitiva e soprattutto non risolutiva per

garantire continuità e sviluppo delle aree produttive esistenti. La macchina nasce dal “ciclo” e nel “ciclo” va ricercata la soluzione del problema. Le tecnologie a disposizione rendono possibili nuovi affascinanti scenari progettuali ed è in questo campo, nella ricerca di soluzioni innovative, nella formazione di nuove generazioni di tecnici e di personale adeguato, che può essere ritrovata la spinta progettuale e produttiva capace di invertire una tendenza che appare più che preoccupante.

### **L'esempio di un'area di produzione**

Disponendo dei necessari percorsi-guida (contesto storico culturale e passaggi dello sviluppo delle macchine), possiamo ora contestualizzare la ricerca prendendo a riferimento un'area specifica di produzione, con relativi casi-macchina scelti su di un trend di lungo periodo. Dal secondo dopoguerra Bologna rappresenta un centro industriale di eccellenza internazionale della progettazione e costruzione di macchine operatrici/automatiche. Si tratta di un'area che viene considerata da storici ed economisti come un “sottosistema produttivo urbano di medie e piccole imprese a specializzazione flessibile”<sup>22</sup>. Un modello produttivo a cui, dagli anni Settanta del secolo scorso, si è cominciato a porre attenzione, essendo stata questa fino ad allora rivolta prevalentemente verso le produzioni di grande impresa, standardizzate e a organizzazione gerarchica. Studi da cui è emersa una “terza Italia” dello sviluppo, diffusa soprattutto in alcune aree delle regioni centrali e nordorientali, fuori dalla tradizionale interpretazione dualistica di un'industria delle regioni settentrionali di grandi imprese contrapposta alla persistente arretratezza del Mezzogiorno. Unità territoriali dinamiche, in crescita, che vanno oltre al generico riferimento delle dimensioni aziendali e per le quali occorre guardare alla particolarità dei contesti sociali e territoriali entro cui si sono sviluppate. Comparti produttivi cominciati nel tempo molto prima del loro manifestarsi in modo compiuto e che trovano appunto nei territori e nelle comunità di riferimento molte

---

<sup>22</sup> Cfr. Aurelio Alaimo, Vittorio Capocchi, *L'industria delle macchine automatiche a Bologna: un caso di specializzazione flessibile* in Pier Paolo D'Attorre, Vera Zamagni (a cura di), *Distretto Impresa Classe Operaia. L'industrializzazione dell'Emilia-Romagna*, Angeli, Milano 1992, pp. 191-287; Patrizio Bianchi, Silvano Bertini, Lee Miller, *The Italian Sme experience and its transferability to developing countries*, Unido, Vienna 1996 (studio che contiene una ricostruzione dei principali *clusters* dell'Emilia-Romagna, tra cui quello del *packaging*); Sebastiano Brusco, Giuseppe Cainelli, Fabrizia Forni, Maura Franchi, Alberto Malusardi, Roberto Righetti, *L'evoluzione dei sistemi produttivi locali in Emilia-Romagna* in Franco Cossentino, Frank Pyke, Werner Sengenberger (a cura di), *Le risposte locali e regionali alla pressione globale: il caso dell'Italia e dei suoi distretti*, Il Mulino, Bologna 1997, pp. 35-60.

spiegazioni della loro realtà e della loro esistenza, tanto da considerarne il successo in gran parte dipendente da queste condizioni di radicamento<sup>23</sup>.



**Figura 12.** Reparto montaggio di una officina meccanica per produzione di macchine da pasta, “ZAMBONI”, Bologna, anni Trenta del secolo scorso. Archivio Storico ZAMBONI - Casalecchio di Reno - Italia.

Oggi l'insieme dell'area produttiva di Bologna e delle zone limitrofe, comprende decine e centinaia di imprese più grandi e medie, collegate per la gran parte della loro produzione ad una rete di subfornitura di più di un migliaio di piccolissime aziende nel solo comparto bolognese, che diventano oltre tremila se il rilievo si estende alle province di Modena e Reggio Emilia. Il prodotto viene esportato per circa il 70% del fatturato annuale sul grande mercato internazionale, in particolare nelle aree a tecnologia più avanzata e in concorrenza con paesi come la Germania, gli Stati Uniti d'America, il Giappone, oggi anche Cina e India. Si tratta di macchine

---

<sup>23</sup> Cfr. Sebastiano Brusco, Sergio Paba, *Per una storia dei distretti industriali italiani dal secondo dopoguerra agli anni novanta* in Fabrizio Barca (a cura di), *Storia del capitalismo italiano dal dopoguerra ad oggi*, Donzelli Editore, Roma 1997, pp. 265-333; Aurelio Alaimo, *Un'altra industria? Distretti e sistemi locali nell'Italia contemporanea*, Milano, Franco Angeli, 2002.

personalizzate che rispondono a specifiche richieste delle aziende utilizzatrici, capaci di automatizzare lavorazioni sempre diverse in modi e spazi diversi e che riducono al minimo gli interventi del personale, diventando, nella maggioranza dei casi, macchine riconosciute come standard per il mercato.

Negli ultimi decenni le imprese *leader* più dinamiche ed importanti del comparto, hanno introdotto cambiamenti significativi. È cresciuta l'organizzazione tra le principali funzioni aziendali (ricerca/sviluppo, *marketing*, vendite, aspetti finanziari). Le diverse funzioni dipendono sempre meno da una decisione verticalizzata, diventando sempre più il risultato di una dialettica tra aree diverse del complesso produttivo e il mercato. Le imprese poi si sono internazionalizzate, operando in aree e mercati esteri non solo con strutture di vendita ma anche con centri di produzione e assistenza tecnica. Anche la rete della subfornitura di tante piccole e piccolissime imprese artigianali, che di fatto realizza la macchina nelle sue parti componenti, è resa più autonoma, aumentando la sensibilità dell'intero sistema verso i cambiamenti tecnologici e di mercato<sup>24</sup>.

L'attenzione degli studi condotti ha messo poi in evidenza che se la crescita economica del sistema a grandi imprese era stata favorita soprattutto, anche se non esclusivamente, da forze esogene (intervento statale, credito bancario, capitali stranieri, tendenze del commercio internazionale) più accentuate in un paese *late comer* come l'Italia, questi diversi modelli di produzione facevano riferimento piuttosto a fattori endogeni, spesso di lungo periodo e che toccavano anche radici lontane di una tradizione industriale locale. A Bologna un importante passato industriale non manca, dimostrato dalla lunga storia che per secoli, tra i secoli XVI e XVIII, ha avuto il distretto produttivo serico, dimostrato dagli studi e dalle ricerche condotte dallo storico economico Carlo Poni dell'Università di Bologna e dai suoi allievi. Qui era stato possibile realizzare e perfezionare, tra il XIV e il XVI secolo, una torcitura meccanica del filo di seta con grandi macchine poste all'interno di edifici, mosse da ruote a cassette collocate nelle cantine di questi, utilizzando un sistema idraulico di alimentazione innovativo quanto le macchine per la torcitura. Era il mulino da seta, era il primo sistema di fabbrica prima della rivoluzione industriale, una macchina che introdotta nel distretto locale della produzione serica, finì per modificare in senso industriale anche altre lavorazioni dell'indotto, introducendo forme di manifattura e di lavoro a domicilio e rendendo

---

<sup>24</sup> Per l'attività di ricerca ed espositiva svolta sul comparto bolognese delle macchine automatiche dal MPIB tra il 1994 e il 2001, si rimanda ai seguenti cataloghi: Roberto Curti, Maura Grandi, *Per niente Fragile. Bologna capitale del packaging*, Editrice Compositori, Bologna 1997; Antonio Campigotto, Roberto Curti, Maura Grandi, Alberto Guenzi, *Prodotto a Bologna. Una identità industriale con cinque secoli di storia*, Edizioni Renografica, Bologna 2000. Inoltre si segnalano *Packagin Valley, Bologna, 1920-1990* in "Scuolaofficina" n. 2, 1992 e *Speciale Macchine Automatiche*, in "Scuolaofficina" n. 2, 1993.

possibile esportare sul grande mercato internazionale sotto la direzione di abili mercanti, tonnellate annuali di prodotto semilavorato (filo ritorto) e finito (veli di tante colorazioni e misure).

Per il tema che stiamo analizzando, ben più decisivo è prendere in considerazione la risposta con cui la città ha saputo superare, tra i secoli XIX e XX, la deindustrializzazione lasciata dalla scomparsa dell'antica industria serica ed affrontare con successo una metamorfosi nuova e difficile di tipo meccanico. Tra i motori principali e caratterizzanti questa trasformazione, troviamo un fattore endogeno che ha svolto un ruolo decisivo, un fattore definibile culturale prima ancora che produttivo ed economico e che si collega direttamente allo scenario europeo di formazione e di crescita della moderna società industriale. Facciamo riferimento all'“Istituzione Aldini-Valeriani” che ha cominciato ad operare nei primi decenni dell'Ottocento e che ha trovato poi negli ultimi decenni del secolo XIX soluzioni risolutive, sapendo aggiornarsi con varie e successive esperienze fino agli anni Settanta-Ottanta del Novecento. Un'Istituzione che, praticando e sperimentando forme di divulgazione tecnologica e di innovazione delle strutture formative delle maestranze di tipo meccanico, ha funzionato come agente di disseminazione e insieme di collante dei cambiamenti produttivi e industriali, preparando protagonisti indispensabili sia al livello del lavoro, della progettazione, che dell'imprenditoria. Tecnici capaci di progettare e realizzare macchine sulle esigenze dei clienti, come i sarti i vestiti<sup>25</sup>.

Questa Istituzione venne costituita nella prima metà del secolo XIX da due professori dell'Università. Luigi Valeriani (1758-1828) era primo docente nel 1801 di una cattedra di Economia Politica e Giovanni Aldini (1762-1834) fisico sperimentale e nipote di Luigi Galvani. Bologna viveva una crisi economica profonda<sup>26</sup>. Il 10 ottobre 1822, David Ricardo (1772-1823), famoso economista della “scuola classica” inglese, scriveva che nel viaggio in corso in Italia non si era mai imbattuto nel numero di mendicanti che in questa città addirittura pullulavano<sup>27</sup>. Essi lasciavano nei loro testamenti risorse, quelle di Aldini particolarmente consistenti, al Comune impegnandolo a diffondere e a divulgare la scienza applicata alle arti attraverso un Gabinetto di macchine e scuole per l'insegnamento del disegno meccanico (Valeriani) e della fisica-meccanica e chimica (Aldini).

---

<sup>25</sup> Cfr. Roberto Curti, *Nel salotto buono della cultura tecnica di Bologna*, e *La magia di una industrializzazione difficile*, entrambi in “Scuolaofficina” n. 2, 2007.

<sup>26</sup> Cfr. Luigi Dal Pane, *Economia e società a Bologna nell'età del Risorgimento*, Zanichelli, Bologna 1969; Carlo Poni, *Per la storia del distretto industriale serico di Bologna (secoli XVI-XIX)*, in «Quaderni Storici», n. 73, 1990, pp. 93-167.

<sup>27</sup> Cfr. *The works and correspondence of David Ricardo*, vol. IX, Cambridge, 1952, p. 223

Il sogno dell'età illuministica in cui i testatori avevano creduto e vissuto, veniva messo alla prova. In vita, Giovanni Aldini aveva cercato soluzioni girando l'Europa, frequentando le università, soprattutto visitando gli innovatori, le loro officine, le fabbriche dei centri inglesi della rivoluzione industriale. Anche tentando di praticarle in collaborazione con artigiani. A Milano, dove nell'ultima parte della sua vita ebbe una seconda residenza, divulgava la scienza attraverso una propria articolata collezione di strumenti e modelli che nel testamento lasciava a Bologna con l'impegno di farla crescere ed aggiornare. Rendendosi poi conto delle difficoltà che il progetto comportava, indicava la costituzione di una apposita Commissione da nominarsi dal Comune, composta da tre amministratori, tre docenti dell'università, tre artigiani manifattori, con il compito di seguire l'avanzamento del progetto secondo le volontà testamentarie.

Per circa quarant'anni si susseguirono esperienze importanti ma anche insuccessi. Solo dopo l'unificazione nazionale, il dibattito interno al Comune di Bologna e della Commissione Aldini sul riordino dell'Istituzione si orientò a considerare l'indirizzo elaborato in Europa basato sul modello delle "scuola-officina" per giovani apprendisti meccanici, rendendolo operativo nel 1878 con l'apertura dell'"Istituto Aldini-Valeriani per le Arti e i Mestieri" e l'inizio dei suoi corsi<sup>28</sup>. Era la scelta della svolta. Ma è su tutto il percorso storico dell'"Istituzione Aldini-Valeriani" che bisogna cercare il significato del ruolo svolto verso l'industrializzazione della città.

La biblioteca che l'Istituzione cominciava a formare fin dalla sua prima costituzione, negli anni 1840 testimonia l'attenzione che veniva tenuta su ciò che accadeva nello sviluppo internazionale della cultura tecnica. In particolare sui testi della geometria descrittiva, sugli organi di trasmissione del moto, sulle macchine della prima metà del secolo XIX. Testi ancora disponibili nella Biblioteca comunale dell'Archiginnasio, fatti acquistare a quell'epoca dall'Istituzione per potersene servire nell'esperimento delle "Prime Scuole Tecniche Bolognesi" nate dai testamenti. Si tratta di un testo dell'*École impériale Polytechnique, Programme du Cours élémentaire des machines pour l'an 1808. Par M. Hachette* nel quale i disegni contenuti erano stati eseguiti direttamente dagli allievi dell'École e dell'*Essai sur la composition des machines. Par MM. Lanz et Bétancourt*, Paris, de l'imprimerie Imperiale, 1808, di cui già si è detto. M. Hachette nell'introdurre il testo informava che il libro conteneva

---

<sup>28</sup> Cfr. Comune di Bologna, *Macchine Scuola Industria. Dal mestiere alla professionalità operaia*, Il Mulino, Bologna 1980; Roberto Curti, *Istruzione tecnica e formazione delle maestranze. Cent'anni di vita dell'Aldini-Valeriani di Bologna, 1830-1930* in Roberto Finzi (a cura di), *Storia d'Italia. Le regioni dall'Unità ad oggi. L'Emilia-Romagna*, Einaudi, Torino 1997, pp. 787-812; Roberto Curti, *L'Aldini-Valeriani compie centocinquanta anni* e Carlo Poni, *Sapere e lavoro nella tradizione dell'industria bolognese*, in "Scuolaofficina", n. 2, 1994.

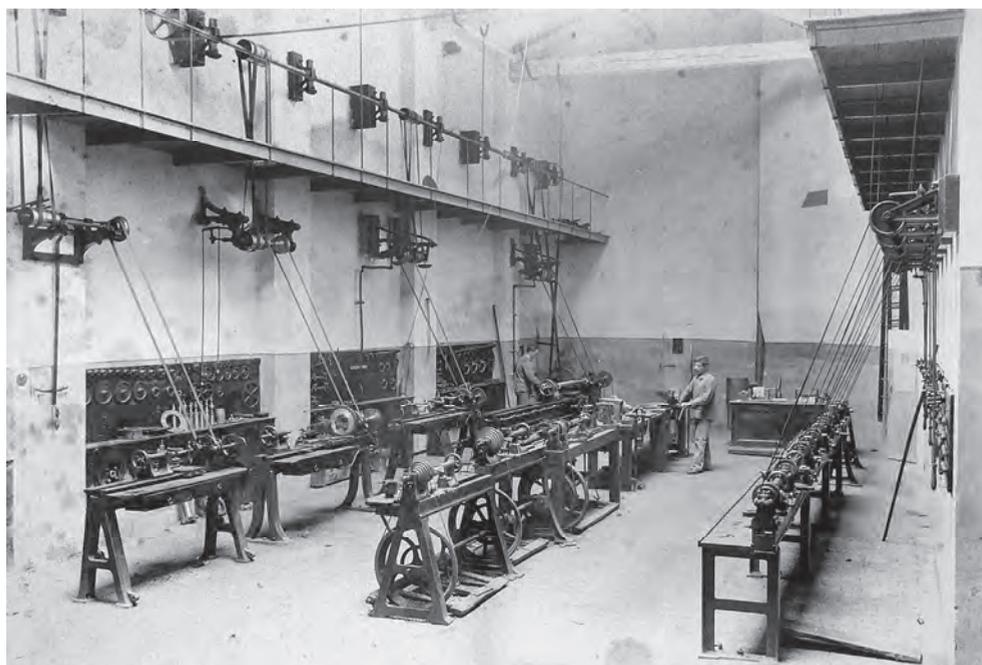
“il progetto di un corso di macchine ad uso degli scolari dell’*École Polytechnique*” e che fece parte della prima organizzazione che Gaspard Monge diede all’istruzione di questa scuola<sup>29</sup>. Ma anche dopo, se facciamo passare trent’anni, troviamo nella biblioteca storica dell’Istituto, poi formata e oggi conservata al Museo del Patrimonio Industriale, la presenza delle opere di Franz Reuleaux di cui abbiamo rilevato l’importanza per poter definire un approccio tecnologico ed industriale alla macchina in quanto tale. Le varie tappe di questo “costrutto teorico” dall’Europa arrivavano anche a Bologna.

Nel 1877, un anno prima della apertura dell’Istituto d’Arti e Mestieri, l’Istituzione contribuiva, con propri fondi insieme ad altri, alla costituzione della Scuola di Applicazione degli Ingegneri di Bologna. Nella nuova Scuola di Applicazione, l’insegnamento di Macchine era tenuto da Jacopo Benetti (1842-1917), ingegnere di valore nazionale, laureatosi nel 1863 a Padova e poi trasferitosi a Parigi per completare la propria formazione in materie fisico-matematiche. Erano, come abbiamo visto, gli anni della grande riflessione sulle forme dell’insegnamento industriale delle maestranze intermedie di officina. Come dimostrano i documenti di archivio, Benetti teneva rapporti e consigliava gli amministratori del Comune sull’indirizzo da dare all’Istituzione Aldini-Valeriani. Sostenitore del modello della “scuola-officina”, Benetti va considerato in tutti i sensi il vero fondatore del nuovo Istituto Aldini-Valeriani. Tra il 1881 e il 1892 provvide di persona con l’incarico di f.f. di direttore dell’Istituto, ad organizzare la funzionalità didattica che l’officina doveva avere nelle finalità della scuola<sup>30</sup>.

---

<sup>29</sup> Biblioteca Comunale dell’Archiginnasio, *Inventario dei Fondi Speciali, Aldini-Valeriani*, secolo XIX. Siamo nella fase di preparazione dell’avvio della prima esperienza delle “Scuole Tecniche Bolognesi” con Gabinetto di macchine (1844-1860), che il Comune realizzava in risposta ai testamenti di L. Valeriani e G. Aldini. Il 28 novembre 1843 due giovani disegnatori, gli architetti Giuseppe Modonesi e Leonardo Tugnoli, venivano incaricati di eseguire, sotto la direzione dell’ingegnere Enrico Brunetti professore della Scuola di disegno Valeriani, disegni dei meccanismi per la trasmissione del moto tratti dai testi sopra indicati. Lo scopo era quello di ampliare, con costi ridotti, la documentazione del Gabinetto della Scuola Aldini di Fisica e Chimica applicate evitando di riprodurli tutti in modelli materiali. Il suo insegnante, l’ingegnere Gian Luigi Dal Fiume, aveva procurato le indicazioni e fatto acquistare i testi da cui studiare e trarre le copie. Si trattava di 134 disegni che avrebbero favorito e allargato la tipologia delle trasformazioni dei movimenti documentati nel Gabinetto anche con nove realizzazioni di modelli meccanici prevalentemente di legno e ottone, copiati dal citato *Essai sur la composition des machines. Par MM. Lanz et Bétancourt*, che Gregorio Teodorani, operatore tecnico della Scuole e del Gabinetto, veniva impegnato a costruire e che fece tra il 1845 e il 1848.

<sup>30</sup> Cfr. Roberto Curti, Maura Grandi, *Imparare la macchina*, Editrice Compositori, Bologna 1998.



**Figura 13.** Reparto di torneria dell'“Istituto Aldini-Valeriani per le Arti e i Mestieri” di Bologna negli anni 1898-1900. Archivio fotografico MPIB

Dunque quello che cominciava nel 1878 a Bologna era un complesso processo formativo di istruzione tecnica “misto”. In parte ricevuto nell'Istituto durante tre anni di corso e in altra parte nelle aziende di prima assunzione e/o con impieghi in successive altre aziende. La strategia seguiva una linea di dare-rendere da applicarsi in entrambe le situazioni. La scuola iniziava a 14 anni e prevalentemente per la mattinata si svolgeva in una officina divisa per reparti attrezzati con utensili, banchi da lavoro, macchine polivalenti, fucina, nella quale i “maestri-operai” insegnavano il lavoro manuale sul legno e il ferro, mentre nel pomeriggio l'insegnamento si spostava sui banchi delle aule con professori di teoria e per disegno tecnico, linguaggio del mestiere. Un sistema duro per le ore di attività, che valorizzava il merito, l'ordine, la disciplina, stimolando la creatività. A questa formazione di base seguiva l'ingresso al lavoro, favorito dall'aver acquisito nella scuola (tra i 14 e i 18 anni) una conoscenza, seppure mediata dalla didattica, del processo produttivo (materiali, intelligenza della manualità, tecnologie, linguaggi, organizzazione del lavoro). Ma anche del prodotto, essendo le componenti teoriche del “sapere la macchina” combinate con la “pratica del farla”. Tutto ciò favoriva la riduzione dei tempi della formazione complessiva che l'ingresso in officina in genere comportava. Questo sia per gli allievi diplomati ma anche per quelli che avevano

frequentato la scuola solo un anno o due. Nella “scuola-officina”, si diceva nelle relazioni di fine anno, gli apprendisti imparano una “grammatica del lavoro” destinata a completarsi con l’ingresso nel sistema produttivo esterno. Una solida preparazione teorica e pratica che nella realtà produttiva dell’area rappresentava una significativa economia di scala, senza costi diretti per le aziende<sup>31</sup>.

A quell’epoca l’industria meccanica di Bologna presentava un tessuto produttivo con diffuse officine, piccole e prevalentemente artigianali e qualche impresa più grande con fonderia, la “Calzoni”, la “Barbieri”, la “De Morsier”. Nel 1887 erano 52 in tutto, con 2584 addetti e la presenza di 23 macchine a vapore impiegate. Nelle officine più piccole l’impiego degli “aldiniani” meccanici usciti dalla formazione serviva a trovare o soluzioni di prodotto più economiche o riorganizzazioni dell’officina in modo più efficiente sia per l’ambiente che per le macchine. Nelle imprese maggiori, come alla “Calzoni”, il periodo tra il 1872 e il 1877 segnala che nel raffronto addetti/HP il graduale sviluppo produttivo dell’Azienda si accompagnava ad un costante parallelismo tra incremento dei livelli occupazionali e livelli di meccanizzazione<sup>32</sup>. L’impegno ad aumentare la competenza tecnica che l’Istituto Aldini-Valeriani cominciava a fornire, sembrava in sintonia anche con la domanda delle imprese più consolidate ed importanti e con la loro attenzione verso i processi innovativi e di meccanizzazione interni. Ma per comprenderne il percorso nel tempo occorre seguire fasi diverse.

Tra la fine del secolo XIX e i primi decenni del Novecento, a Bologna erano manifeste due tendenze nel settore meccanico. Dominava l’officina con organizzazioni interne ancora di tipo artigianale e cominciavano ad interagire condizioni e competenze con caratteristiche di quello che diventerà un distretto di

---

<sup>31</sup> Cfr. Comune di Bologna, *Macchine scuola industria*, cit. pp. 200-202. Tra il 1878 e il 1913, l’Istituto aveva abbandoni sui tre anni di corso del 30%, registrati in prevalenza per un 35% al 1° anno. Sappiamo, dalle testimonianze raccolte in tempi diversi da ex allievi, che anche in seguito e ben oltre il periodo considerato, la formazione acquisita anche solo parzialmente favoriva una pronta occupazione e un buon inserimento al lavoro. Tra il 1881 e il 1913 i diplomati sono stati circa 300 con una media di 15 all’anno.

<sup>32</sup> Cfr. Comune di Bologna, *Macchine scuola industria...* cit., pp. 157, 163 e 208-209; *1834-1984, Centocinquant’anni di vita della Calzoni*, Pubblicazione realizzata a cura della “Riva Calzoni” in occasione del 150° di fondazione, Tecnostampa, Bologna 1984. La Calzoni, era già guidata in quegli anni da Costantino e Annibale Calzoni, che il padre Alessandro, fondatore dell’Azienda, aveva iscritto alle prime “Scuole Tecniche Bolognesi”. Quando nel 1861 sembrava che l’Istituzione Aldini-Valeriani dovesse confluire nel nuovo Istituto Tecnico previsto dalla legge Casati, come risulta dagli atti della Commissione Direttiva dell’Istituzione di cui i Calzoni facevano parte, con lungimiranza si opposero alla cessione ritenendo il nuovo Istituto Tecnico statale non corrispondente alle finalità volute dai testamenti. Nel 1934 l’Azienda celebrava il centenario della sua fondazione e il capo ufficio tecnico era Alfredo Pancini, diplomato nel 1884 all’Istituto Aldini-Valeriani ed immediatamente assunto alla Calzoni come disegnatore e progettista, v. *Prodotto a Bologna ...* cit., p. 61.

meccanica qualificata e motoristica. Tendenze che già mettevano in evidenza capacità di pensare, progettare, costruire e vendere nuove macchine e prototipi, tracciando anche primi percorsi imprenditoriali diversi ed interessanti. Qualificati operai/tecnici cominciavano nuove produzioni; diplomati dell'Aldini-Valeriani si inserivano in prime esperienze d'officina; anche persone con capitali trovavano progetti da realizzare e le condizioni per creare nuove aziende<sup>33</sup>. La meccanica fine e la motoristica crescevano con buoni risultati come indicano i trasferimenti da altre aree di progettisti e costruttori che diventeranno famosi. È il caso dei fratelli Maserati. Nativi di Voghera in provincia di Pavia, dedicati all'automobile con brillanti risultati come tecnici e costruttori di auto da corsa fin dai primi anni del Novecento, si trasferivano nel 1914 a Bologna fondando le "Officine Alfieri Maserati" che tra il 1926 e il 1932 progetteranno e costruiranno una serie impressionante di nuovi modelli vincenti<sup>34</sup>. Come hanno rilevato storici di quel periodo, il classico intreccio "del *chi*, del *come*, del *perché*" iniziava a delineare una varietà di storie che in casi sempre più frequenti portavano il nome delle macchine realizzate.

L'esperienza era in crescita e mandava altri segnali. In aree limitrofe, come a Imola nel 1881 e a Modena nel 1916, erano sorti Istituti fondati e cresciuti sullo stesso modello dell'Istituto Aldini Valeriani. Erano l'Istituto "F. Alberghetti" e la "Regia Scuola Popolare Operaia Fermo Corni"<sup>35</sup>. Dopo l'epoca dell'"operaio meccanico di mestiere" della fase iniziale di fine-inizio Ottocento, ne cominciava una più avanzata per competenze e ruoli. Molta importanza e centralità continuava ad avere l'apprendistato, ma cresceva in modo significativo il "conto terzi" (commesse di lavori ricevute dall'esterno) praticato dalla scuola fin dalla sua costituzione e che continuerà fino alla metà degli anni Settanta del Novecento. Se la preparazione al lavoro di officina costituiva la pre-condizione di contesto, attorno alla quale ruotava tutto il sistema della formazione e dei valori, il "conto terzi" diventava il motore di aggiornamento del modello formativo, garantendo insieme confronti continui sul rinnovamento tecnologico delle attrezzature didattiche e supporti indispensabili alle imprese. Cioè la formazione interna "imparava" dalle commesse che riceveva dall'industria esterna o dai centri universitari, trovando

---

<sup>33</sup> Cfr. *Prodotto a Bologna ... cit.*, pp. 136-149. Più in generale per riferimenti alla realtà produttiva di Bologna v. Vittorio Capecchi, *L'industrializzazione a Bologna nel Novecento. Dagli inizi del secolo alla fine della seconda guerra mondiale*, in Walter Tega (a cura di), *Storia illustrata di Bologna*, vol. IV, AIEP Editore, Bologna 1990, pp.341-360; *Storia di Bologna*, a cura di Antonio Ferri e Giancarlo Roversi, Bononia University Press, Bologna 2005.

<sup>34</sup> Cfr. *Prodotto a Bologna ... cit.*, "Le rasse di Bologna", pp. 136-149; Alfieri Maserati, *Breve storia fotografica dell'opera dei Fratelli Maserati*, MPIB, Ages Arti Grafiche S.p.a., Torino 2003.

<sup>35</sup> Cfr. C. Montevecchi, *L'Alberghetti dal mestiere alle professionalità operaie*, Imola, 1985; Olimpia Nuzzi, *Il Corni e Modena*, Corni Edizioni, Modena, finito di stampare nel mese di ottobre 2003.

solidi punti di riferimento da tradurre in soluzioni che influenzavano l'insegnamento e le possibilità di ulteriori servizi.

La rete delle aziende esterne poteva servirsi delle macchine e soprattutto delle nuove tecnologie che la scuola acquisiva nel 1936, dotandosi di un Laboratorio Tecnologico di livello eccezionale con strumenti di cui disponevano poche università e solo alcune grandi aziende nazionali. Basti pensare all'ultraottometro della "Carl Zeiss", fondata a Jena in Germania nel 1846 e azienda *leader* mondiale nel campo dell'ottica e della tecnologia della precisione. Questo apparecchio arrivava a valutare il decimo di millesimo, cioè un millimetro diviso in diecimila parti, cosa straordinaria per quell'epoca. In Italia ce n'erano solo quattro: uno alla "Feltrinelli" di Milano, uno all'"Avogadro" di Torino, uno all'"Istituto Tecnico Industriale Aldini-Valeriani" di Bologna e uno presso un'altra grande fabbrica, forse la "FIAT". Disponendo poi di un tornio "a spoliare" come il Reinecker, si potevano produrre utensili sagomati a seconda del pezzo da costruire per poi essere utilizzati su fresatrici, broccatrici, dentatrici. Utensili che le piccole imprese commissionavano alla scuola per poter rispondere ai lavori e alle commesse che ricevevano nella subfornitura dalle imprese maggiori. Dovendo gestire ed organizzare al proprio interno queste attività la scuola, tra gli anni Trenta e Quaranta, allestiva l'ufficio tecnico, consentendo agli studenti di sperimentare una innovazione utilissima per i loro futuri impieghi, struttura che tantissime aziende esterne ancora non avevano o si apprestavano solo allora ad introdurre<sup>36</sup>.

---

<sup>36</sup> Un contributo importante per la conoscenza dei rapporti interni ed esterni che l'Aldini-Valeriani teneva e promuoveva, viene fornito da un'ampia raccolta di testimonianze orali di ex allievi, non ancora completamente pubblicate. Tra queste vengono segnalate quelle raccolte da Marco Melega tra il 1977 e il 1980 per l'organizzazione della mostra "Macchine, scuola, industria mostra. Dal mestiere alla professionalità operaia" e altre apparse sulla rivista del Museo. Cfr. Antonio Campigotto, Maura Grandi, *Vulcano, Malép e gli altri. Ricordo l'Aldini in S. Lucia. Prima parte: dall'Avviamento all'Istituto Tecnico, "Scuolaofficina"* n. 1, 1995; Antonio Campigotto, Maura Grandi, *Autoscarpa e Tegamino. Ricordo l'Aldini in S. Lucia. Seconda parte: l'Istituto Tecnico, "Scuolaofficina"*, n. 2, 1995; Roberto Curti, *Nel salotto buono della cultura tecnica*, cit.; Roberto Curti, *Bruno Gnudi, una vita con le macchine automatiche*, «Scuolaofficina», n. 1, 2011. Sul periodo degli anni Cinquanta-Settanta del Novecento ringraziamo per le interviste rilasciateci sugli argomenti trattati ma non ancora pubblicate, di Francesco Selleri, Nafio Passerini, Giorgio Forti, Carlo Dall'Omo. Nel valorizzare queste preziose collaborazioni, vogliamo qui ricordare il ruolo importante svolto a vario livello dall'"Associazione Licenziati Istituto Aldini-Valeriani" (A.L.I.A.V.), nata nel giugno del 1912 per iniziativa di un gruppo di diplomati di allora e sostenuta nel tempo dalle diverse generazioni scolastiche succedutesi.



**Figura 14.** “Istituto Tecnico Industriale Aldini-Valeriani” di Bologna, Laboratorio Tecnologico negli anni Cinquanta del secolo scorso. Sulla destra forni per trattamenti termici. Archivio fotografico MPIB

Quando nei primi vent'anni del secondo dopoguerra l'industrializzazione diffusa si esprime nel modello della specializzazione produttiva basata sul sistema della piccola e media impresa, l'innovazione di prodotto, l'alta qualificazione tecnica delle maestranze, la metamorfosi poteva dirsi conclusa. L'area di Bologna e più in generale quella della Regione mostravano un sistema che era quello del distretto industriale in cui prevaleva la produzione di macchine automatiche per confezionamento, dosatura ed imballaggio, accanto ad una motoristica di alta qualificazione e relativa varia componentistica per motociclette. L'azione svolta dal “fattore endogeno Istituzione Aldini-Valeriani” aveva lasciato il suo segno. Per studi condotti all'inizio degli anni Novanta, nel comparto delle macchine operatrici/automatiche su 47 aziende prese in considerazione tra le più note, la maggioranza dei progettisti erano anche titolari fondatori della nuova impresa, progettavano e realizzavano macchine diverse da quelle delle aziende di provenienza. Su questo totale poi, parziale ma significativo, 27 di loro si erano formati all'Istituto Aldini-Valeriani, circa il 58%<sup>37</sup>.

Questo rapporto di reciproca collaborazione tra struttura formativa e sistema delle imprese locali, è cominciato a cambiare dalla metà degli anni Settanta per interventi che indebolivano progressivamente il ruolo svolto fino ad allora dall'Istituto. Cessava l'attività “conto terzi” che, anche se da riformare per la gestione delle questioni retributive creatasi tra i docenti, non era il caso di estinguere per la funzione che aveva di delicato meccanismo di aggiornamento, di

<sup>37</sup> Cfr. *Per niente fragile* ... cit., pp.160-163.

ricerca, oltre che di dialogo con le esigenze del mondo produttivo esterno. Erano poi gli anni delle pressioni sindacali tese ad inserire l'Istituto nella più generale riforma della secondaria superiore<sup>38</sup>. Nell'ipotesi della "licealizzazione di massa" l'importanza del lavoro, la creatività del saper fare anche manuale declinava. Per l'Aldini-Valeriani, come per altri famosi istituti, questo diverso approccio ha significato compromettere il modello formativo della scuola-officina, scombinare progressivamente le componenti fondanti e le finalità del suo codice teorico-pratico, determinandone difficili possibilità di aggiornamento. Oggi, come abbiamo visto, sono richiesti tecnici con una polivalenza diversa, più multifunzionale, più eclettica, che non trova la base di riferimento in una formazione scolastica definita. La nuova coniugazione delle competenze sembra, come abbiamo visto, proseguire nelle aziende, nelle officine, negli uffici di progettazione e pare venga "trovata" direttamente all'interno del lavoro e della sfida per macchine sempre più straordinarie. È bene però questo considerarlo ancora un problema non risolto<sup>39</sup>.

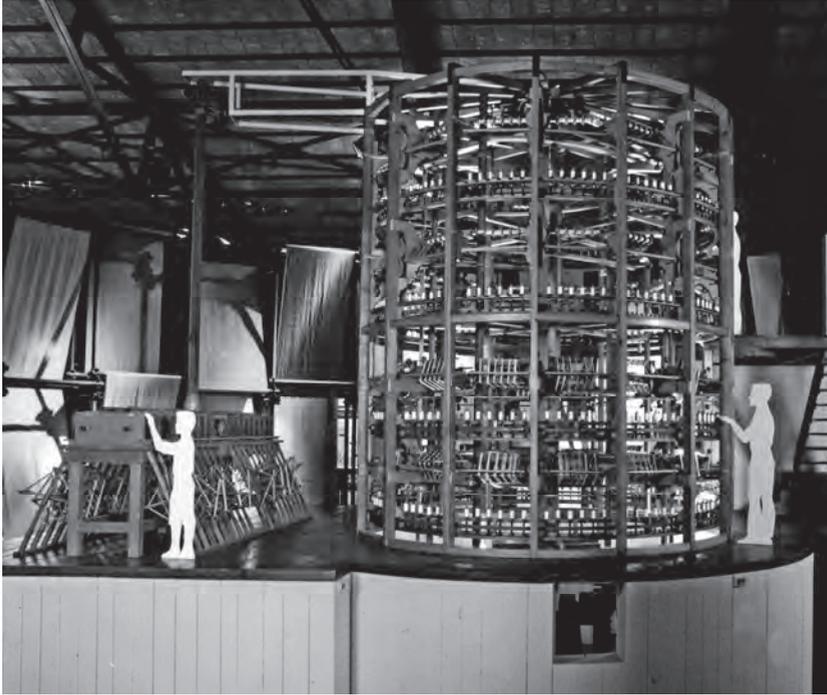
---

<sup>38</sup> Dal 1963 la costituzione a Bologna di un Istituto Tecnico Industriale Statale, l'"Odone Belluzzi", cominciava a far pensare all'Aldini-Valeriani in termini diversi. La presenza dello Stato comportava confronti e anche domande sulla necessità di mantenere per l'ente locale oneri così elevati nell'ambito dell'istruzione tecnica. Tra il 1982 e il 1985, l'Assessorato all'Istruzione Superiore e alla Formazione Professionale del Comune di Bologna conduceva, con il supporto di esperti, studiosi, pedagogisti, una articolata indagine sull'insieme delle proprie istituzioni educative. Cfr. Comune di Bologna, *Dalla scuola al sistema formativo*, voll. 1-8, Editrice CLUEB, Bologna febbraio 1985. La proposta finale di progetto manteneva all'ente locale la responsabilità diretta delle scuole e dei centri, ma ne ipotizzava un coordinamento generale e complessivo all'interno di un "sistema formativo integrato nel territorio". In questo periodo gli Istituti Professionali, con la sperimentazione nota come "Progetto '92", videro drasticamente ridotta l'attività pratica e anche gli Istituti Tecnici Industriali hanno seguito una prospettiva di devalorizzazione significativa delle attività di officina. Dal settembre del 2009, dopo un anno di transizione, l'Aldini-Valeriani è passato in gestione allo Stato.

<sup>39</sup> Alla fine degli anni Novanta nasceva la Fondazione Aldini-Valeriani, costituita con contributi del Comune di Bologna, dell'Associazione degli Industriali della Provincia di Bologna, della Camera di Commercio, Industria, Artigianato, Agricoltura di Bologna e con il riconoscimento del Presidente della Regione Emilia-Romagna. Cfr. Comune di Bologna, *Il rilancio dell'Aldini-Valeriani*, Documento di Giunta, 20 dicembre 1995, p. 12; Comune di Bologna, *Fondazione Aldini-Valeriani per lo sviluppo della cultura tecnica*, Resoconto dei gruppi di lavoro, 17 giugno 1996, p. 24. La Fondazione, approvata nel Consiglio Comunale del 9 settembre 1996, da allora ha operato soprattutto nell'organizzazione di corsi per la formazione di personale da aggiornare, specializzare, riconvertire con corsi finanziati da enti pubblici e da privati; nella promozione di contatti e reti tra enti e strutture formative che si occupano di istruzione tecnica e particolarmente di informatica; nello sviluppo di relazioni ed incontri con imprese, associazioni, enti preposti alla qualità aziendale.

## Casi-macchina di epoche e periodi diversi<sup>40</sup>

### 1. *‘Filo sottile e rotondo’*



**Figura 15.** Il grande modello di mulino da seta (scala 1:2) realizzato dal MPIB ed esposto nel Museo. Archivio fotografico MPIB. Foto Rino Bertuzzi

Questa macchina, mossa da ruota idraulica, torceva con l'azione continua dei suoi automatismi meccanici centinaia e centinaia di fili di seta greggia ottenuti con la trattura unendo a mano in bacinelle di acqua calda le "bave" di più bozzoli formati dai bachi. Fin dai tempi più antichi, questi fili andavano compattati torcendoli a mano per garantirne la resistenza nelle successive lavorazioni. Il passaggio della torcitura a macchina ha rappresentato un punto di riferimento molto importante dello sviluppo industriale dell'Europa occidentale tra i secoli XVI-XVIII. Nell'ambito delle tecniche dell'acqua come forza motrice, della prevalenza del legno nelle costruzioni, dell'arte tecnica di straordinari maestri artigiani che non conoscevano teorie e approcci tecnologici, chi l'ha realizzata ha saputo trasformare

<sup>40</sup> Le esemplificazioni dei diversi "cicli" macchina che seguono, sono stati elaborati da Andrea Cinotti con la realizzazione grafica di Cesare Castellari.

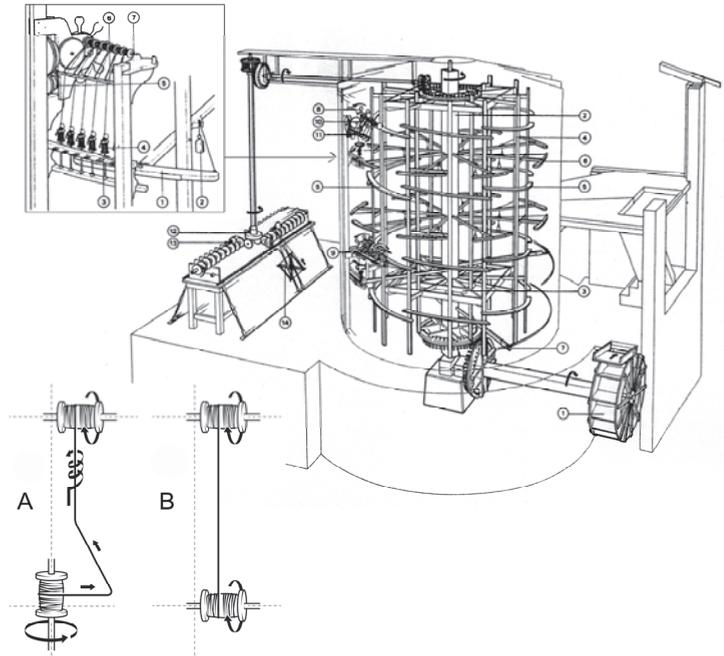
un complesso processo lavorativo manuale in una forma meccanica che ne fa l'antesignana delle macchine operatrici/automatiche<sup>41</sup>.

**Il “ciclo”.** Immaginare come torcere un filo di seta manualmente può sembrare relativamente semplice, ma al di là delle difficoltà pratiche dell'operazione dovuta alle dimensioni ed alla delicatezza del filo, ci si accorge subito che, per ottenere il risultato, l'operazione deve essere seguita immediatamente da una forma di raccolta del filo torto altrimenti qualunque sia il metodo usato per torcere, il filo dispettosamente ritorna nel suo stato naturale. Quindi il processo di torcitura deve essere integrato a quello di avvolgitura, di raccolta ed ovviamente per simmetria anche a quello di svolgiture. Le fasi della lavorazione possono essere così descritte: svolgo il filo (da un rocchetto), lo torco e poi lo riavvolgo (su un rocchetto o un aspo). La torcitura è complicata se si pensa di farla solo con le mani, ma diventa semplice, talmente semplice da essere capita con difficoltà, se realizzata con mezzi meccanici. Qui sta la genialità del “segreto” della macchina. Se il processo di svolgiture/torcitura/riavvolgiture avviene tenendo il filo che “esce” dal rocchetto con direzione perpendicolare all'asse delle spire di avvolgimento, non avviene

---

<sup>41</sup> La torcitura a macchina avvenne inizialmente a Lucca, dove dal secolo XIII una struttura di forma rotonda denominata “filatoglio”, collocata in una stanza e mossa dall'interno sotto la spinta di una persona, torceva meccanicamente decine di fili. Tra i secoli XIII e XIV l'invenzione fu portata in altre aree dai setaioli lucchesi (filatori, tessitori, mercanti) che lasciavano la loro patria per sfuggire a persecuzioni politiche o perché attratti da più favorevoli prospettive di lavoro e guadagno. Il loro arrivo a Bologna determinò uno scatto innovativo nuovo a tutta la vicenda. Il 23 giugno del 1341 Bolognino di Borghesano da Lucca, cogliendo le potenzialità della presenza in città di un importante sistema idraulico artificiale di canali in muratura, chiedeva e otteneva dal Consiglio Comunale la licenza all'utilizzo dell'acqua di uno di questi canali per mettere in attività un *molendinum sive filatorium* (mulino o meglio filatoio). Era l'atto di inizio di quello che diventerà per tre secoli l'impianto più importante dell'industria serica nell'Europa occidentale in ancien régime, facendone, come ha documentato Carlo Poni, il primo *factory system* realizzato. Già nel 1481, cogliendo l'aspetto di automazione che la macchina comportava, l'umanista Benedetto Morandi così lo commentava: «*nulla humana ope, nisi administrandum sericum*», «senza nessuna altra azione umana se non quella di fornire la seta». Cfr. Carlo Poni, *Cronologia, diffusione, caratteristiche del primo sistema di fabbrica ... cit.*; *La fabbrica prima della rivoluzione industriale. Il mulino da seta*, in “Scuolaofficina”, gennaio-giugno 1986, n. 1-2-3, interamente dedicato al tema; Carlo Poni, *Misura e contro misura: come il filo di seta divenne sottile e rotondo*, in “Quaderni Storici”, 1981, n. 3, pp. 385-423; Benedetto Morandi, *De Bononiae laudibus oratio*, Bononiae 1481. L'utilizzo e le innovazioni nell'uso dell'energia idraulica avevano trasformato una macchina domestica in un opificio industriale secondo una sequenza temporale di progressivi interventi. Cfr. Carlo Poni, *Espansione e declino di una grande industria: le filature di seta fra XVII XVIII secolo* e Alberto Guenzi, *L'area protoindustriale del canale di Reno in città nel secolo XVIII*, entrambi in Istituto per la storia di Bologna, *Problemi d'acque a Bologna in età moderna*, Grafiche Galeati, Bologna 1983; Alberto Guenzi, *I canali di Bologna: il sistema delle acque nelle attività industriali della città*, in *Bologna d'acqua. L'energia idraulica nella storia della città*, a cura di Giovanna Pesci, Cecilia Ugolini, Giulia Venturi, Editrice Compositori, Bologna 1994, pp. 47-56.

nessuna torcitura. Per averla occorre che il filo esca dal rocchetto con direzione parallela all'asse delle spire di avvolgimento (nel disegno di sintesi del "ciclo", Fig. 16, A rappresenta la configurazione per la torcitura; B mostra la condizione di semplice trasferimento del filo senza torcitura).



**Figura 16.** Disegno del mulino da seta in due parti: la prima con ruota idraulica, trasmissioni del moto e cinematismi necessari per compiere la torcitura ed ingrandimento della torcitura; seconda sintesi esplicativa della torcitura. Le immagini della prima parte sono dell'archivio di documentazione del MPIB, mentre la seconda è stata realizzata graficamente da Cesare Castellari

Legenda prima parte: 1. ruota idraulica; 2. albero centrale; 3. giostra; 4. montante; 5. serpe; 6. strofinaccio; 7. portacinghia; 8. bozzoniera; 9. aspo; 10. rocchella; 11. "va e vieni"; 12. coppia di ingranaggi ortogonali; 13. rocchetto; 14. aspino

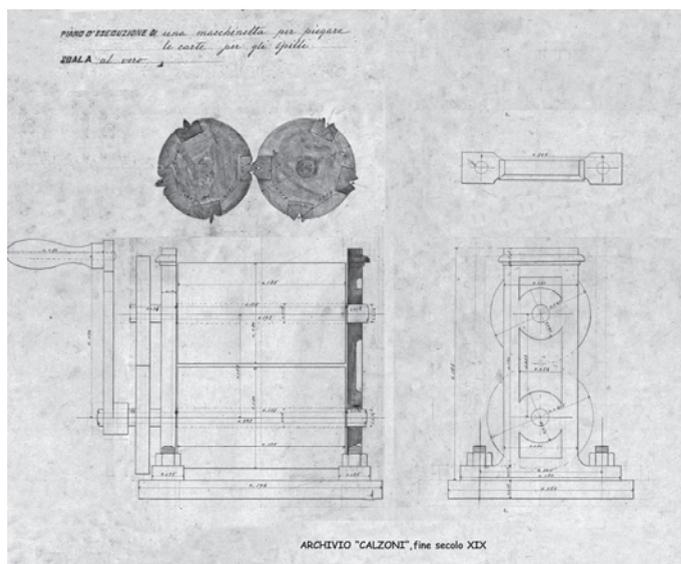
Legenda dell'ingrandimento della prima parte: 1. strofinaccio; 2. contrappeso; 3. cocchetta; 4. rocchetto su fuso; 5. "va e vieni"; 6. barbiniera; 7. bacchetta con sei rocchelle

Legenda seconda parte: A rappresenta la configurazione per la torcitura; B mostra la condizione di semplice trasferimento del filo senza torcitura

Nella macchina questo è ottenuto con un dispositivo di fil di ferro, "il campanello", lasciato libero di ruotare e collocato in testa al rocchetto da cui il filo esce. Oltre ad allontanare il filo in uscita dalla testa del rocchetto evitandone attriti e frequenti rotture, consentiva e garantiva la congruenza e la stabilità di percorso,

necessario all'operazione, della direzione del filo in movimento. Nel disegno di Heinrich Schickhardt del 1599 (v. Fig. 2) viene rappresentato tutto l'impianto. La trasmissione del moto era azionata da una ruota idraulica collegata ad un asse centrale che faceva girare la parte mobile della macchina, una giostra girante di più valichi (tre) con camme/"serpi" ai vari livelli che muovevano sulla parte fissa le "bozzoniere" a stella che davano movimento alle "rocchelle" di raccolta del filo torto e le cinghie utilizzate per dare rotazione ai fusi con i rocchetti contenenti il filo da torcere. Sul lato destro, anch'esso mosso dall'albero centrale dell'impianto, vi era l'incannatoio, altra innovazione bolognese del secolo XV, che meccanizzava l'operazione precedentemente svolta a mano del trasferimento delle matasse di seta da trattura in rocchetti da collocare nei fusi per la torcitura.

## 2. "Bustine a pieghe"



**Figura 17.** Disegno tecnico della macchina per bustine per aghi, proveniente dall'archivio storico della ditta "Alessandro Calzoni" di Bologna, anni Ottanta del secolo XIX. Ora nell'archivio MPIB. Foto Rino Bertuzzi

Questa macchina svolgeva l'operazione di piegare la carta formando bustine che altre lavorazioni riempivano manualmente di spilli per la vendita alle sartorie. Era prodotta negli anni Ottanta del secolo XIX dalla ditta "Alessandro Calzoni" di Bologna. Alessandro Calzoni era figlio di un macellaio che all'inizio del secolo XIX aveva deciso di abbandonare la propria remunerativa attività, per dedicarsi alla produzione artigianale delle candele steariche secondo un nuovo sistema ideato a Parigi e derivato dalla produzione dei saponi. Alessandro imparò lavorando per alcuni anni nella bottega del padre, prima di decidere nel 1834 di costituire una

propria officina con una piccola fonderia nel centro di Bologna, sotto le Due Torri, per produrre posate in peltro. Nel 1838 l'Azienda cresceva e si trasferiva vicino nell'ex chiesa detta del Carrobbio, per produrre fusioni anche in bronzo e ghisa e prime lavorazioni meccaniche. Questa attività segnava gli esordi di una nuova epoca che avrebbe visto la "Calzoni" rappresentare per quasi due secoli l'industria meccanica bolognese. Un potenziale sviluppo di cui Alessandro Calzoni aveva chiara visione quando, già nel 1851, veniva inviato dal Comune, insieme ad altri imprenditori bolognesi, a Londra per visitare la prima Esposizione Universale dell'industria e poi a Parigi al *Conservatoire des Arts e Métiers*.

Alla sua morte prematura avvenuta nel 1855, Costantino e il fratello Annibale primi dei suoi dodici figli, continuavano la conduzione della fabbrica nella nuova sede di via Pietramelara, vicina alla nuova stazione ferroviaria, producendo principalmente macchine agricole e molitorie. Dal 1867 cominciava anche la realizzazione di turbine idrauliche. Presentandosi a tutte le esposizioni dell'epoca, quella di Filadelfia negli USA del 1876 e quella di Milano del 1881, l'Azienda otteneva riconoscimenti sia per le produzioni che per il suo modello di organizzazione. Questo nell'ambito di una fase di sviluppo ancora difficile in cui le officine meccaniche erano orientate verso una produzione frammentata su commissione, dalla macchina a vapore alle turbine, dalle forme di peltro per candele a macchinette per fare bustine per aghi. Le produzioni "Calzoni" successivamente si concentrarono nella realizzazione delle turbine idrauliche, di macchinari per impianti elettrici, di macchine per mulini e oleifici. Questa lunga e complessa storia è proseguita con altri importanti risultati ed innovazioni di prodotto ed aziendali fino al 2000, quando la "Calzoni" ha cessato la produzione. Fu allora che tra la documentazione consegnata al Museo del Patrimonio Industriale, fotografie e disegni tecnici di epoca lontana, fu trovato anche quello della macchinetta operatrice per bustine per aghi<sup>42</sup>.

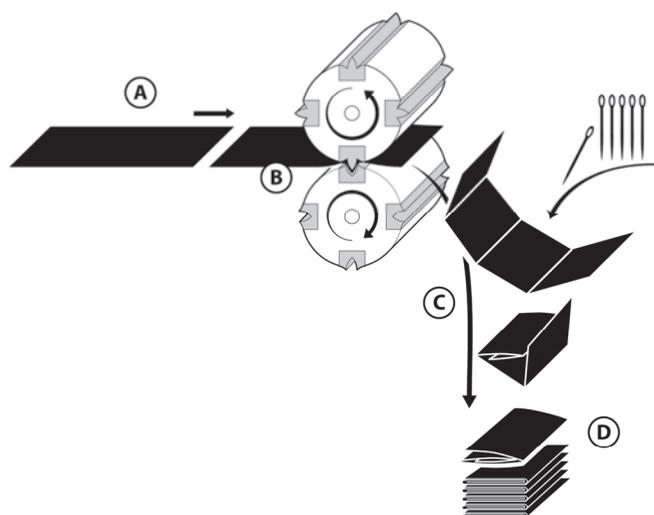
**Il "ciclo"**. La funzione della macchina era quella di piegare un pezzo di carta rettangolare e generalmente di colore nero, ricavandone una bustina quale contenitore ordinato per spilli. Il colore nero veniva scelto perché consentiva un contrasto che favoriva una migliore visibilità degli spilli, successivamente infilati a mano nella bustina. In questo semplice strumento troviamo tutti gli elementi

---

<sup>42</sup> Cfr. *Calzoni Alessandro. L'evoluzione dell'industria bolognese*, in "La Mercanzia", XXIII, 6, Bologna, 1968, pp. 521-534; Carlo Poni, *Calzoni Alessandro*, in "Dizionario biografico degli italiani", Roma 1974; Riva Calzoni S.p.A., *Calzoni 1834-1984*, in occasione del 150° di fondazione, a cura dell'ing. Gianoberto Suzzi, Tecnostampa, Bologna 1984; Antonio Selvatici, *Appunti per una storia dell'imprenditoria*, in Istituto per i Beni Artistici e Culturali e Naturali della Regione Emilia-Romagna, a cura di Massimo Fontana e Giorgio Dragoni, Il Nove, Bologna 1997, pp. 210-216.

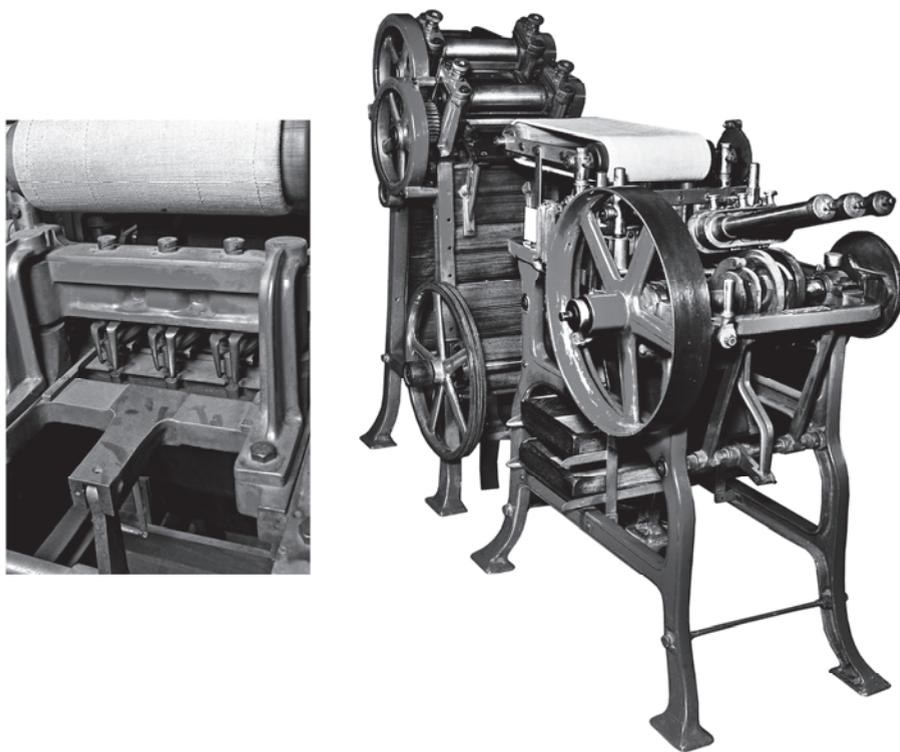
costituenti una macchina: il “ciclo”, la sorgente di moto, la catena cinematica e i mezzi operativi. Partendo da un foglio di carta già tagliato nelle opportune dimensioni, per formare la bustina si dovevano realizzare quattro piegature. Dal punto di vista meccanico, si trattava di una soluzione semplice che garantiva la distribuzione del moto e dell’energia e insieme il perfetto sincronismo degli agenti formatori.

La macchina era costituita da due tamburi controrotanti, portanti ciascuno alla sua periferia alcuni agenti formatori meccanici. Infilata e posizionata a mano la carta (A) contro un primo riscontro, questa veniva piegata durante il movimento rotatorio del tamburo (B). Un giro e venivano fatte tutte le pieghe necessarie (C). Le bustine piegate venivano raggruppate (D). In seguito avveniva l’operazione di infilare a mano la serie di aghi previsti. Le piegature provocavano una deformazione stabile e consistente tanto da ottenere la forma della bustina. La sorgente di moto era la forza dell’operatore che metteva in funzione il dispositivo attraverso la rotazione di una manovella. L’energia necessaria per le operazioni di piegatura era relativamente piccola e ben si adattava a questo semplice ed economico strumento. Il moto veniva distribuito ai tamburi portanti gli agenti formatori meccanici da due ingranaggi controrotanti. Ognuno di questi era posto sull’asse del tamburo.



**Figura 18.** Esempificazione del “ciclo” della macchina. Grafica Cesare Castellari

Legenda: A striscia di carta pretagliata; B tamburi controrotanti con agenti formatori meccanici; C uscita delle buste piegate su cui un’altra lavorazione avrebbe collocato gli aghi; D impilamento delle buste

3. *“Mitici a tavola”*

**Figura 19.** Macchina per fare tortellini (con vista, a parte, dei meccanismi della macchina per la piegatura e chiusura dei tortellini nella loro forma tradizionale) prodotta dalla “Zamboni & Troncon” di Bologna, fine primo decennio del secolo XX. Archivio fotografico dell’MPIB. Foto Rino Bertuzzi

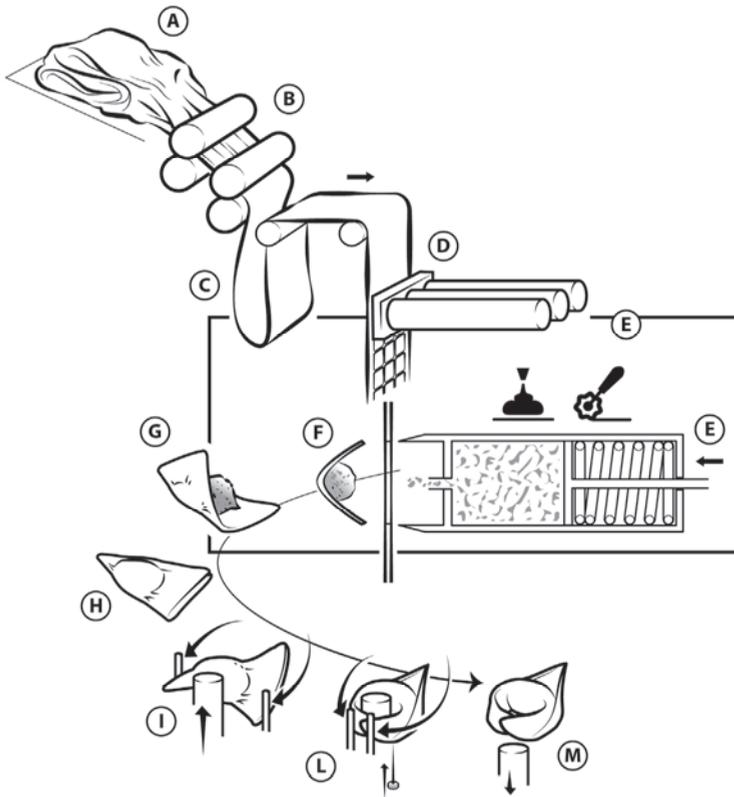
Le prime “tortellinaie” meccaniche producevano oltre 5000 pezzi all’ora, l’equivalente del lavoro di oltre venti persone. Secondo i cataloghi dell’epoca erano già macchine veramente “speciali”. Per i loro automatismi venivano esportate anche all’estero e nelle Americhe. Prodotte a Bologna nell’officina meccanica “Zamboni & Troncon”, erano state progettate da Luigi Zamboni, nato da una famiglia di umili origini nel 1861. Nel 1912 ottenevano, a livello nazionale, la medaglia d’oro del “Premio Umberto I”. Zamboni aveva cominciato a pensare questa macchina quando ancora lavorava come qualificato tornitore all’Arsenale Militare, importante fabbrica di proiettili a livello nazionale della sua città. A Bologna “la sfoglia” era un culto. Tutti sapevano che nelle case, per preparare pranzi di importanti giorni di festa, le donne si alzavano presto alla mattina per fare

l'impasto con farina di grano tenero e uova, per “tirarlo” con il mattarello e fare a mano i tortellini. Veri ambasciatori dell’arte culinaria della tavola e conosciuti in tutto il mondo per la loro forma minuta, curiosa, paragonata “all’ombelico di Venere”. Farli a macchina comportava una bella sfida, anche se a Bologna in quegli anni il settore del pastificio era in crescita industriale, insieme ai salsamentari.

Sulla *réclame* di una azienda in rapido sviluppo, si poteva vedere l’interno del salone di lavorazione dello stabilimento. A sinistra, le linee delle impastatrici e delle sfogliatrici di cui si occupavano operai maschi; a destra, la macchina a vapore di 2 HP, da cui partivano le cinghie di trasmissione e accanto quella per tritare la carne del ripieno. Al centro le “tortellinaie”, così venivano chiamate le operaie, sedute davanti a lunghi tavoli sui quali riempivano e “stringevano” i lembi di pasta trasformandoli incessantemente in tortellini. Era già una linea di produzione *ante litteram*, dove però il lavoro delle mani era ancora prevalente. Il progetto di macchina di Zamboni avrebbe completato l’industrializzazione dell’intero processo. La stessa documentazione mostrava poi che per l’esportazione oltre oceano, sull’esempio delle mortadelle, anche i tortellini venivano inscatolati in barattoli riempiti di liquido per creare l’isolamento dall’aria e stagnati, sistema che garantiva per un anno la conservazione del contenuto. Per le distanze più brevi venivano ancora preferite cassette, cestini, canestri di paglia, di vimini o anche semplici scatole di cartone. Con 4 lire si ottenevano 500 pezzi, 1000 con 7<sup>43</sup>.

---

<sup>43</sup> Il salone di produzione del pastificio bolognese “Enrico Zambelli”, fine secolo XIX, in G. Maioli e G. Roversi, *Sua maestà il tortellino*, Bologna, 1993. L’officina “Zamboni & Troncon”, collocata nel centro della città, veniva fondata da Zamboni nel 1906 insieme ad un giovane socio di 29 anni, Giuseppe Troncon, veneto di Treviso, lui pure meccanico. Lì, tra il 1906 e il 1911, furono concepite e prodotte anche altre prime “macchine speciali per pastifici”. Tra il personale, una settantina di tecnici e giovani operai, ve ne erano alcuni che diventeranno famosi: Armando Simoni, fondatore dell’“Omas” produzione di penne stilografiche; Otello Cattabriga titolare di una nuova produzione di macchine da gelati; Paolo Zuccoli specializzato nelle trafilatrici meccaniche per macchine da pasta; un giovane apprendista di 15 anni, Bruno Mazzanti, che contribuirà a dare continuità alla storia della “Zamboni” diventandone titolare negli anni Trenta. Oggi l’ing. Andrea Bugo, figlio della figlia di Mazzanti, la guida ancora con lo stesso nome di “Officine Meccaniche Zamboni”. Cfr. Archivio fotografico e documentario delle “Officine Meccaniche Zamboni” e di quello del MPIB v. Fondo “Zamboni” e Fondo “Paolo Zuccoli”; G. Maioli e G. Roversi, *Sua Maestà il Tortellino*, Bologna, 1993; Roberto Curti, *Tortellini a macchina*, in “Scuolaofficina”, n. 2, 1999, pp. da 4-8; *Prodotto a Bologna ... cit.*, pp. da 80-87.



**Figura 20.** Esempificazione del “ciclo” della macchina. Grafica Cesare Castellari

Legenda: A pasta inserita nella raffinatrice; B laminatura e calibratura della sfoglia; C ansa di compensazione della velocità; D punzoni di taglio della sfoglia per ricavare pastelle e riempirle con ripieno; E ingrandimento di un punzone per vedere l'azione di taglio e di riempimento; F ripieno su pastella; G chiusura della pastella; H formazione del colletto; I inizio di chiusura; L fine chiusura e punto di sigillo; M scarico

**Il “ciclo”.** La macchina era composta di due parti poste una di fronte all'altra: la raffinatrice che laminava e calibrava la sfoglia (a sinistra); la formatrice dei tortellini (a destra). Nella lavorazione a mano la laminazione era un processo discontinuo. La pasta (A) per diventare sfoglia doveva essere doppiata: venire normalmente ruotata di  $90^\circ$  per calibrarla, poi nuovamente doppiata ruotandola ancora di  $90^\circ$  per ricalibrarla e darle più consistenza, incrociando e compattando le fibre nella forma di “tessuto” che assumeva. Nella macchina questo avveniva con due coppie di cilindri (B) che portavano la sfoglia allo spessore richiesto. L'operatore poteva effettuare calibrazioni diverse, cioè definire meglio lo spessore della sfoglia senza

arrestare il processo. Calibrazione e formazione dei tortellini avvenivano in processo continuo. La macchina rompeva il concetto di una lavorazione per fasi successive in tavoli di lavoro diversi. In queste prime macchine le difficoltà stavano nel dover controllare lo spessore della sfoglia o dal lato destro o da quello sinistro. Il problema venne risolto con i brevetti dell'Azienda negli anni Trenta e Quaranta del secolo scorso che portarono la raffinatrice dietro alla formatrice, consentendo all'operatore un controllo immediato su entrambi i lati.

Nella macchina le parti meccaniche che davano la velocità al processo produttivo erano quelle della formazione del tortellino, che in un linguaggio moderno si definisce come operazione *master*, mentre il dispositivo della calibrazione seguiva, o meglio inseguiva in velocità la richiesta di prodotto, operando come *slave*. La presa di moto era unica con cinghia per macchina a vapore o per motore elettrico, in modo da tenere in movimento sia l'albero a camme da cui si ricavano i movimenti della formatrice che, con altra cinghia, l'avanzare della sfoglia raffinata, cioè il calibratore. La sfoglia calibrata arrivava alla sezione di taglio formando un'ansa di compensazione (C) tra il movimento continuo della sfoglia in uscita dalla laminazione/calibrazione e quello discontinuo della sfoglia in ingresso allo stampo, dove si presentava in verticale come uno schermo davanti alla formatrice.

Giunta la sfoglia in questa posizione, una serie di tre punzoni (D) la tagliava, per pressione e ad intervalli regolari, formando pastelle quadrate su cui contemporaneamente uscivano dai punzoni su di loro le dosi di ripieno. L'alimentazione del ripieno era ancora discontinua. Occorreva fermare la macchina e, per iniziare un'altra produzione di tortellini, ricaricare i cilindri dei punzoni (E) che contenevano il ripieno terminato, ripetendo di volta in volta l'operazione. Il ripieno contenuto nei cilindri veniva mandato avanti ed emesso tramite la pressione che le molle di tre pistoni esercitavano sulla carne. La carne compressa incontrava un orifizio al centro del punzone, normalmente chiuso, che le camme facevano aprire al momento opportuno per un attimo per poi richiudersi dopo aver emesso la dose sulle pastelle (F) formate dai punzoni in modo da essere già piegate a "manina" per ricevere e contenere meglio il ripieno. La formazione del "colletto" (H) e la rotazione delle due falde del tortellino, avvenivano insieme tramite la pressione e il movimento di due "dita" meccaniche che operavano attorno ad un perno centrale (I) che ad ogni taglio di sfoglia saliva dal basso per determinare il foro centrale del tortellino. Tutti questi movimenti erano azionati da un albero a camme che li gestiva durante la sequenza in modo simile a quello che faceva la "totellinaia" con le dita. Dalle "dita" della macchina, le falde venivano unite spostandole in rotazione, sovrapposte e chiuse per pressione. A questo punto, un minuscolo ago saliva dal basso (L) e forava le falde sovrapposte per rendere più

stabile la chiusura e la tenuta di ogni tortellino durante la cottura. Il tortellino cadeva nel vassoio di raccolta quando il perno centrale veniva sfilato (M).

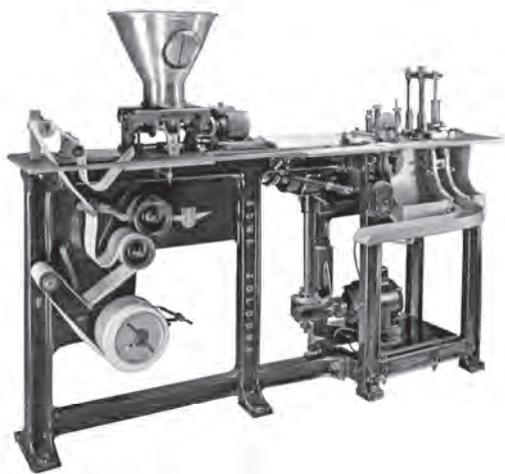
#### 4. *“Bollicine incartate”*

All'inizio degli anni Venti del Novecento le bustine di polvere “Idrolitina” da sciogliere dentro a una bottiglia per rendere l'acqua frizzante e gradevole, venivano prodotte a Bologna da Arturo Gazzoni titolare di una omonima Azienda di produzioni farmaceutiche. Queste bustine erano dosate e confezionate a mano in una grande sala con banchi di lavoro e sedie per decine e decine di lavoranti. Le mani delle donne, tutte vestite di bianco dai camici ai copricapi, si muovevano sui tavoli a tale velocità da far sembrare le diverse operazioni che svolgevano, sotto la sorveglianza di un capo-sala, un flusso di movimenti indistinti. L'ACMA 713 avrebbe sostituito questa scena con quella di una serie di macchine mosse ciascuna da un motore elettrico e con poche lavoranti attorno per tenere piene di polvere le tramogge, sostituire le bobine di carta, raccogliere le bustine confezionate.

Era stato Gaetano Barbieri (1881-1959), imprenditore, amministratore disposto ad investimenti finanziari, socio di Gazzoni, a fondare nel 1924 l'Azienda “Anonima Costruzioni Macchine Automatiche” (“ACMA”) per meccanizzare il confezionamento della famosa polvere da tavola. All'interno della prima officina in via Lame operavano diversi giovani diplomati dell'Istituto Aldini-Valeriani, dai disegnatori, alla direzione tecnica, a quelli che si occupavano della progettazione. Barbieri aveva ambizioni più vaste del ristretto mercato locale e si rivolse ben presto, con nuove macchine, al mercato nazionale e internazionale. Nel triennio 1927-'29 vendeva già ad aziende di Padova, Torino, Milano, due macchine andarono in Argentina, una a Bruxelles. Negli anni seguenti cominciò la partecipazione alle fiere e l'esportazione aumentò costantemente e diventò un tratto caratteristico dell'Azienda. Alla fine degli anni Trenta aveva una rete di vendita verso tutti i paesi industriali europei e negli Stati Uniti.

Nel 1929, in crescita e in espansione, l'“ACMA” apriva il nuovo stabilimento in via Fioravanti, vicino alla Stazione ferroviaria, in quella che allora poteva considerarsi la periferia industriale della città. Ma l'impulso veramente determinante venne dall'assunzione nel 1927 del giovane progettista Bruto Carpigiani (1903-1945). Livornese, figlio di un impresario teatrale toscano e di una commerciante emiliana, venne assunto probabilmente per rapporti di amicizia con i titolari dell'Azienda. Chiamato da tutti “ingegnere”, in realtà solo diplomato geometra con qualifica tecnica per corsi seguiti in Svizzera, Carpigiani divenne il “mito” fondatore di una intera generazione di progettisti e tecnici dell'automazione elettromeccanica, non solo di Bologna. Come direttore tecnico dell'“ACMA” e progettista

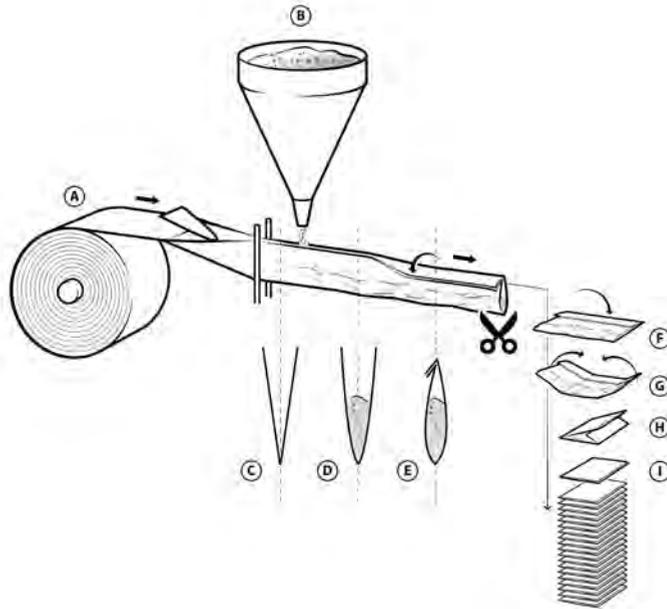
straordinario delle macchine realizzate in quel periodo, tra il 1929 e il 1930, introdusse una innovazione decisiva, la cosiddetta “ruota a zeta” (v. Fig. 6), un geniale meccanismo utilizzato per la prima volta nella produzione dell’incartatrice per caramelle “ACMA 722”. Questo nuovo intermittente trasformava il movimento rotatorio continuo in alternato, consentendo di ottenere tempi di sosta e di movimento preordinati dal progettista in funzione delle esigenze dell’utente. Garantiva inoltre un elevato numero di giri della macchina e rendeva più universale e flessibile la movimentazione.



**Figura 21.** L’ACMA 713 che stampava, dosava e confezionava bustine contenenti l’“Idrolitina”. Archivio fotografico del Museo dell’MPIB. Foto Rino Bertuzzi

Morto Carpigiani, il secondo dopoguerra cominciava con la fuoriuscita dall’“ACMA” dei suoi principali quadri tecnici e con la formazione del comparto bolognese del *packaging* che diede vita ad una generazione di piccole e medie imprese disposte a sperimentare nuove soluzioni e a soddisfare nuove esigenze dei clienti in ambiti diversi del mercato internazionale. Oggi l’Azienda, trasferitasi nel 1985 nel nuovo stabilimento di via Cristoforo Colombo, fa parte del gruppo “G.D.” che dall’immediato secondo dopoguerra aveva abbandonato le sue origini di produttrice di motociclette che svolgeva dal 1923, per seguire la prospettiva “ACMA” delle macchine automatiche per confezionamento. Entrata negli anni Sessanta nell’impaccaggio e cellofanatura dei pacchetti di sigarette, la “G.D.” percorse negli anni Settanta a ritroso le fasi del mercato del tabacco, diventandone *leader* internazionale per macchine da sigarette, confezionatrici, impacchettatrici, impacatrici<sup>44</sup>.

<sup>44</sup> Cfr. *Per niente fragile ...* cit., pp. 39-66; *Prodotto a Bologna...* cit., pp. 102-117; “Scuolaofficina” n. 2, 1992 e n. 2, 1993.



**Figura 22.** Esempificazione del “ciclo” della macchina. Grafica Cesare Castellari

Legenda: A magazzino carta; B contenitore polvere da dosare; C formatura a “V” della striscia di carta; D riempimento polvere; E chiusura longitudinale della striscia di carta; F taglio; G inizio piegatura dei lembi; H chiusura completa dei lembi; I scarico bustine

**Il “ciclo”.** La macchina lavora su due prodotti, la polvere effervescente e la carta di imballo/contenitore della polvere. La carta è messa in macchina sotto forma di una striscia continua avvolta su una bobina di grandi dimensioni, mentre la polvere viene posta dentro ad una tramoggia. Si tratta di una macchina a movimentazione alternata. Il “ciclo” può essere individuato in due fasi: il riempimento iniziale della polvere e la piegatura finale della bustina/contenitore secondo un principio di piega che ne consenta una facile e rapida apertura.

La polvere viene dosata su di un nastro di carta che, tagliato e piegato, diventerà una bustina. La fase di riempimento e prima piegatura avviene “a passi”, spostando la carta sotto le stazioni di prima formatura e riempimento, mentre le operazioni di piegatura finale e creazione della bustina avvengono in una sola stazione. La carta, sottoforma di nastro avvolto in bobina (A), viene svolta ed immediatamente piegata in due da un vomero posto nella mezzeria della striscia. Nel movimento verso le successive stazioni la piegatura della carta, che in sezione si presenta come una “V”, viene rinforzata da due ruote contrapposte. Il nastro di carta avanza ad

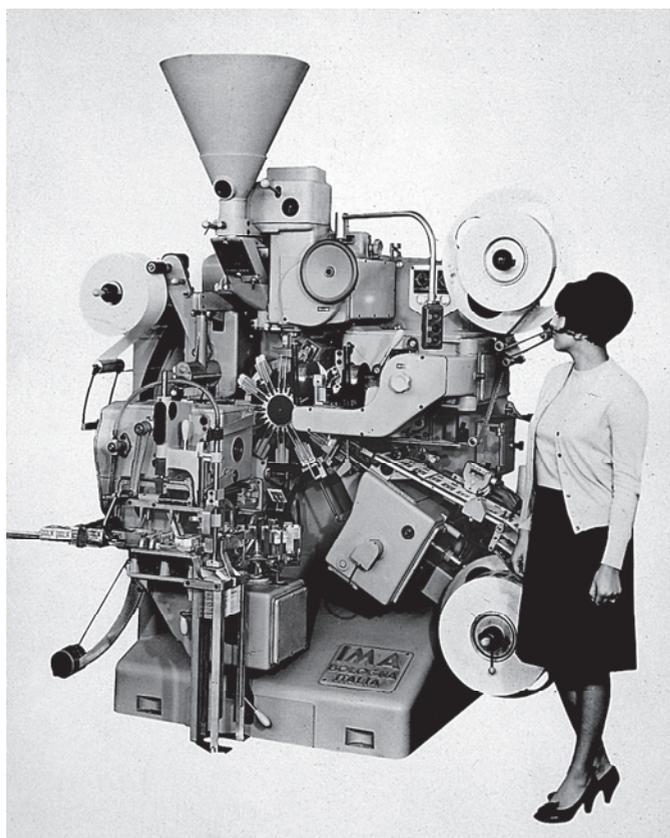
ogni “ciclo” di una quantità fissa e si presenta sotto la stazione di riempimento e dosatura della polvere effervescente. La dosatura è di tipo volumetrico.

A questo punto del “ciclo” abbiamo un nastro di carta continuo (C), piegato a “V”, che porta polvere distribuita (D) a distanza regolare sul nastro e i suoi bordi vengono successivamente ripiegati su se stessi (E) e il nastro viene adagiato per proseguire il suo moto con un piano di giacitura a 90° rispetto al piano del riempimento. Il nastro, con il prodotto al suo interno, avanza e si posiziona sotto la stazione di taglio (F). Da notare che la stazione di taglio è parte integrante della stazione di piegatura finale. Il nastro viene poi tagliato e, a questo punto, necessita di una piegatura di entrambi i lembi (G). Questa operazione viene fatta da un dispositivo mobile verticale che spinge la busta verso il basso realizzando nel contempo le due pieghe (H). Un dispositivo a scatto completa la piega e lascia cadere la bustina nel contenitore posto sotto l’ultima stazione (I).

#### 5. “Filtri per infusi”

L’“Industria Macchine Automatiche” (“IMA”) venne fondata nel 1961 avendo come punto di riferimento tecnico un perito meccanico di 32 anni, Andrea Romagnoli. Diplomatosi nel 1947 all’“Istituto Tecnico Industriale Aldini-Valeriani”, aveva lavorato prima all’“ACMA” e poi alla “G.D.” Inizialmente l’“IMA” venne costituita da Romagnoli e da suo cognato, l’ingegnere meccanico Renato Taino, preside dell’“Istituto professionale F. Alberghetti” di Imola, allargandosi poi con il sostegno finanziario di Giuseppe e Luigi Vacchi, i cui figli e nipoti continuano a guidare anche oggi lo sviluppo dell’impresa. Allora l’Azienda, su commessa della “Gazzoni”, costruiva una macchina imbustatrice di polveri per acqua da tavola in due cartine separate e un’altra confezionatrice per uova e forme in cioccolato.

La produzione di macchine confezionatrici di tè in bustine (C 20) iniziava nel 1967, segnando la presenza nel settore di mercato dei sacchetti filtro nel quale l’“IMA” sarebbe diventata *leader* mondiale. Andrea Romagnoli ne era il progettista e realizzò una macchina capace di riempire e formare bustine filtro con tè o analoghi prodotti per fusioni, di chiuderle con relativo filo ed etichetta, di inserirle in scatole di cartone preincollato, di formare pacchetti in scatole cellophanate. Era una linea di confezionamento flessibile, potendo cambiare con facilità il formato dei contenitori terminali. L’“IMA” diventava con questo tipo di prodotto una Azienda tra le più importanti del comparto del *packaging* bolognese.



**Figura 23.** Macchina IMA C20 per confezionare tè o “erbe” in bustine filtro per infusione, anni Sessanta del secolo scorso. Archivio “IMA”

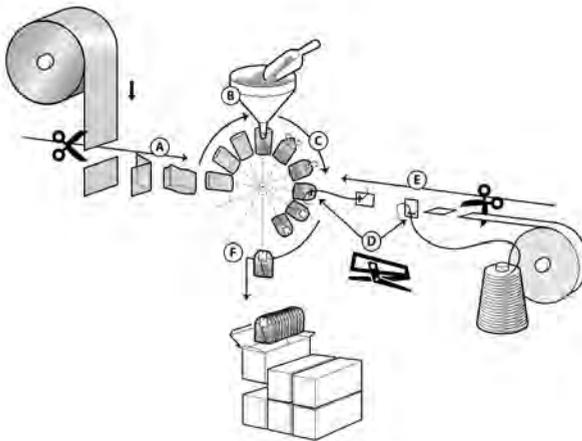
Nel 1976 entrava nel confezionamento farmaceutico con la realizzazione di una prima macchina blisteratrice ad astucciamento integrato per capsule, confetti, compresse, seguendo una strategia diffusa nel comparto locale, quella di cercare per quanto possibile nuovi mercati rispetto a quelli in cui già operavano altre aziende bolognesi. Oggi sotto la guida di Alberto Vacchi, nipote dei primi finanziatori dell'impresa, l'“IMA” è *leader* mondiale nella progettazione e produzione di macchine automatiche per il processo e il confezionamento di prodotti farmaceutici, cosmetici, alimentari, tè e caffè. Una *leadership* acquisita grazie a investimenti significativi nella ricerca e sviluppo, a un dialogo costante e costruttivo con gli *end-user* dei settori di riferimento, alla capacità del Gruppo di internazionalizzarsi e conquistare nuovi mercati. Il Gruppo conta oltre 3.400 dipendenti, di cui oltre 1.500 all'estero, si avvale di 22 stabilimenti di produzione tra Italia, Germania, Regno Unito, Stati Uniti, India e Cina ed è presente in oltre 70

Paesi sostenuto da un'ampia rete commerciale. "IMA S.p.A." è quotata alla Borsa di Milano dal 1995 ed è entrata nel segmento STAR nel 2001. L'assetto organizzativo del Gruppo prevede due *brand* principali: "IMA Industries" (macchine per il processo e il confezionamento di tè e caffè, prodotti alimentari e cosmetici) e "IMA Pharma" (macchine per il processo e il confezionamento di prodotti farmaceutici)<sup>45</sup>.

**Il "ciclo".** L'IMA C20 preparava bustine filtro per il tè pronte per essere utilizzate. Collegate ad un filo di dimensioni opportune per poter essere calate nella teiera, erano corredate di una etichetta che fungeva da organo di presa e contemporaneamente come veicolo pubblicitario per la identificazione del prodotto. Nella versione base, la più semplice, la macchina "lavorava" su sei prodotti diversi: il tè, la bustina di carta filtro, il filo di cotone collegato all'etichetta, l'etichetta, il punto metallico di collegamento della bustina al filo, un secondo punto metallico che collegava il filo alla etichetta. La capacità produttiva della prima serie di macchine era nell'ordine di 160 bustine al minuto. Tutte le operazioni che di seguito descriveremo, avvenivano in modo sincronizzato. Pertanto tratteremo il "ciclo" seguendo il flusso logico del processo, indicando di volta in volta i punti salienti delle sincronizzazioni in quanto non è possibile procedere ad una descrizione sincronizzata delle stesse. Il cuore della macchina è costituito da un sistema ruotante principale, mosso da una camma a zeta, che compie operazioni sulla bustina e da un sistema ruotante ausiliario, sempre mosso da camma a zeta che compie le operazioni sull'etichetta e su filo di cotone, poi da una serie di sistemi ausiliari operanti sempre attorno al sistema principale per il completamento delle operazioni. Il sistema ruotante principale è composto da dodici unità operatrici uguali, equamente distanti e poste alla periferia del sistema. Sono pinze che occupando dodici posizioni successive nello spazio, compiono dieci operazioni diverse sulla bustina. Le principali sono: la formazione della bustina in tre passi; il riempimento con tè; la chiusura; la preparazione della piega di rinforzo per il punto metallico, in due passi; i punti metallici; la sistemazione dell'etichetta sulla bustina; l'estrazione della bustina.

---

<sup>45</sup> Cfr. *Per niente fragile* ... cit., pp. 95-99.



**Figura 24.** Esempificazione del “ciclo” della macchina IMA C20 ricavato da quello pubblicato in MPIB, *Per niente fragile. Bologna capitale del packaging*, Editrice Compositori, 1997, pp. 96-97 e aggiornato graficamente da Cesare Castellari

Legenda: A formazione della bustina in tre passi; B riempimento; C chiusura della bustina; D punti metallici; E etichetta; F estrazione della bustina confezionata

*Formazione della bustina in tre passi.* La carta filtro avvolta in una bobina viene automaticamente svolta e tagliata in opportuna lunghezza (A) ed immediatamente “spinta” nella pinza che si trova, in sosta, nella posizione di ricevimento. Il dispositivo di spinta provvede anche al ripiegamento della carta su se stessa formando una V stretta che viene presa in consegna dalla pinza. Nei due passi successivi la pinza completa, con l’ausilio di mezzi formatori, la chiusura di tutti i lati ad esclusione di uno che servirà al riempimento.

*Riempimento.* Il tè viene immesso nella bustina, che si trova in posizione verticale, dopo un dosaggio volumetrico tramite uno spintore (B).

*Chiusura della bustina.* Nei passi successivi compiuti dalla ruota la bustina viene chiusa e ripiegata e la parte superiore viene ripiegata su se stessa per fornire una parte resistente e consistente per la messa in opera del punto metallico (C).

*Punti metallici.* Sono due sistemi simili composti da una “cucitrice” capace di operare non su un punto preparato ma direttamente su un filo. Un dispositivo capace di realizzare un punto tagliando prima il segmento di filo metallico e poi di ripiegarlo su se stesso (D). Il filo metallico, fornito in matassa alla macchina, è alimentato in sequenza con movimenti generati dalla “cucitrice”.

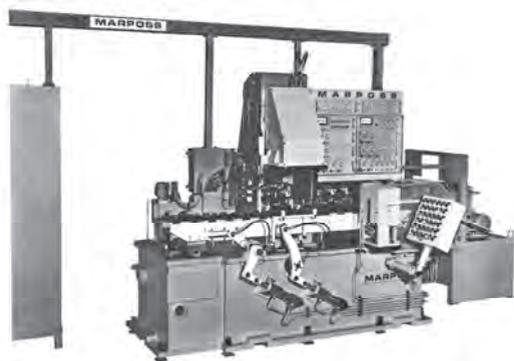
*Etichetta.* Le etichette, stampate su una striscia di carta in bobina, sono tagliate a misura ed immediatamente inserite nel sistema ruotante secondario mosso da una

camma a zeta, assieme al filo di cotone, anch'esso in aspo sulla macchina (E). L'introduzione dell'etichetta è fatta da uno spintore che, nella spinta, la piega su se stessa attorno al filo di cotone. Successivamente viene applicato il punto metallico che collega il filo di cotone all'etichetta, tagliando il filo a lunghezza.

*Estrazione della bustina.* È la fase di assemblaggio finale, in cui la bustina, chiusa e con il prodotto già inserito, viene completata con il collegamento al filo di cotone che porta all'altro estremo l'etichetta. Questa operazione avviene sul sincronismo fra i due sistemi ruotanti, il principale ed il secondario e viene completata dal punto metallico di chiusura. Nella stazione successiva la bustina viene estratta dal sistema delle pinze (F) e depositata sulla stazione successiva. Qui le operazioni si completano. Le bustine, riempite, chiuse, corredate di etichetta e filo, vengono contate in numero prefissato. Le ulteriori operazioni possono essere manuali o automatiche, in funzione del grado di automazione della macchina.

Nell'IMA C20 tutte le funzioni erano realizzate con movimenti meccanici e la sorgente di moto era composta da un singolo motore di circa 1,5 KW di potenza. Alla massima velocità la macchina produceva 2,5 bustine di tè al secondo e la media delle singole operazioni avveniva in tempi dell'ordine di 0,2 secondi per operazione.

## 6. "Bielle scelte"



**Figura 25.** Macchina "MARPOSS" per misurare e selezionare le bielle per motori dell'industria automobilistica, 1969. Archivio MARPOSS

La macchina misurava e selezionava le bielle, ordinandole in classi dimensionali al fine di predisporre l'ottimizzazione nel montaggio e negli accoppiamenti con gli altri elementi dei motori delle automobili, secondo gli standard qualitativi definiti. Fu ideata e progettata a Bologna alla fine degli anni Sessanta del secolo scorso, dall'ingegnere Mario Possati titolare dell'Azienda per produzioni elettromeccaniche "MARPOSS". Mario Possati (1922-1990), laureatosi nel 1946 in Ingegneria Meccanica presso l'Università di Bologna, aveva fondato l'impresa nel

1952, dopo esser stato direttore tecnico delle “Officine Maccaferri” (tra il 1946 e il 1948) e poi co-direttore generale del polverificio “Baschieri & Pellagri” (tra il 1949 e il 1952).

Il primo prodotto della nuova Azienda, con sede presso la “REM” di Bologna in via Battindarno, fu un comparatore elettronico per controlli *in-process* su macchine rettificatrici, seguito poi da altri per soddisfare le esigenze di misura dell’automazione nelle lavorazioni di fabbrica. Nel 1962, dopo aver conquistato una buona posizione nel mercato nazionale, l’Azienda apriva il suo primo ufficio all’estero, in Germania. Nel 1963 attraversava l’oceano e giungeva negli Stati Uniti. Oggi i suoi stabilimenti principali all’estero si trovano a Nanchino in Cina, a Weinstadt in Germania e ad Auburn Hills, alla periferia di Detroit, la capitale dell’industria automobilistica americana. L’idea di Mario Possati di costruire il primo sistema *in-process* per il controllo di pezzi durante l’operazione di rettifica, va collegata al successo di questa strategia di sviluppo. La sua applicazione nella produzione, permetteva di migliorare sia la qualità che la quantità dei componenti realizzati dalle macchine utensili.

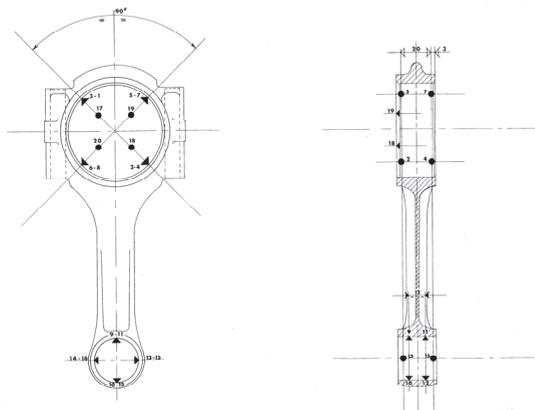
Fin dall’inizio degli anni Sessanta, la “MARPOSS” era attiva nei mercati esteri, raggiungendo con progressivi aumenti un export pari al 90% del totale delle vendite. Nei paesi con aziende *leader* del settore automobilistico, delle macchine utensili, dei cuscinetti, aerospaziale e delle apparecchiature elettriche, furono poi compiuti altri passi della strategia seguita. Anticipando soluzioni di internazionalizzazione, vennero costituite proprie organizzazioni di distribuzione e di assistenza nelle aree in cui si apriva un mercato. Nel 1970, dopo diciotto anni di attività, “MARPOSS” costituiva un ufficio in Giappone e questo avrebbe rappresentato il punto d’inizio della penetrazione dell’Azienda nel mercato asiatico, poi proseguita con Cina e Corea a partire dalla metà degli anni Ottanta.

“MARPOSS” è attualmente presente in 21 paesi con la propria organizzazione di vendita e di assistenza. In altri 9 l’Azienda possiede un’efficace rete di agenti e distributori. La possibilità di seguire passo dopo passo le esigenze dei clienti ha portato a dare forte impulso al settore interno della “Ricerca e Sviluppo”, per applicare sempre nuove soluzioni tecnologiche alle esigenze di misura, controllo e gestione dati in ogni stadio del processo produttivo. A Bologna, nel 1969, l’Azienda si trasferiva nella nuova sede di Bentivoglio, dove risiede tuttora, mostrando una strutturazione logistica delle sue attività interne e degli ambienti di accoglienza che la rappresentano come un grande e complesso laboratorio di ricerca dell’innovazione. L’Azienda prosegue la sua attività sotto la guida dei figli di Mario Possati<sup>46</sup>.

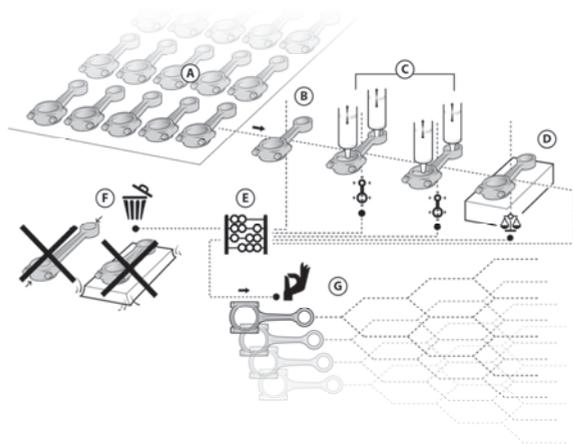
---

<sup>46</sup> Cfr. *Prodotto a Bologna ... cit.*, pp. 160-161. Altre informazioni sono state ricavate da materiali di archivio fornite dalla “MARPOSS”.

**Figura 26.** Mappa dei punti di misura sulla biella. Archivio “MARPOSS”



**Il “ciclo”.** Su ogni biella si effettuano 12 controlli dimensionali (con risoluzione di 0,5 micrometri) e 2 controlli di peso (+- 0,2 grammi). In base ai dati raccolti, vengono selezionate 24 classi in tolleranza, più una di fuori tolleranza. Un insieme di algoritmi di calcolo definivano le relazioni fra le grandezze misurate e quelle che stabilivano le classi di tolleranza. Il “ciclo” di queste operazioni si sviluppa partendo dal caricamento manuale delle bielle in un serbatoio (A) posto accanto alla macchina. Le bielle, mosse con un sistema a “passo di pellegrino” (B) consistente in avanzamenti a passi successivi, vengono posizionate in sequenza in tutte le stazioni di misura dimensionale (C). Alla stazione di controllo del peso (D), i dati vengono elaborati dal sistema di calcolo (E), quindi avviati al sistema di selezione, comprendente una prima individuazione (F) dei pezzi fuori tolleranza, gli scarti ed una selezione per classi di appartenenza dei pezzi entro i limiti dimensionali e quindi avviati al sistema di selezione (G).



**Figura 27.**

Esemplificazione del “ciclo” della macchina per misura delle bielle.

Grafica Cesare Castellari

Legenda: A magazzino bielle; B avanzamento a “passo di pellegrino”; C stazioni di misura geometrica; D stazioni di misura peso; E unità di calcolo; F uscita scarti; G selezione per classi.

La tecnologia dell'epoca, visti i pesi e le dimensioni del prodotto e dei sistemi di misura, suggerì di adottare come sorgente di energia per il moto degli organi della macchina un sistema idraulico oleodinamico, mentre la catena cinematica era del tipo delle motorizzazioni frazionate, facendo corrispondere ad ogni movimento un cilindro idraulico di attuazione. Il dispositivo di controllo della macchina si divideva in due settori: uno preponderante relativo all'elettronica necessaria per la elaborazione dei segnali provenienti dai trasduttori di misura; l'altro relativo alla logica di comando delle sequenze dei movimenti.

La macchina era in grado di controllare 1030 pezzi per ora, sviluppando un ciclo completo di misure (dodici dimensionali più due di peso) e di selezione (in 3,5 secondi per ogni singola biella). Le innovazioni assolute introdotte erano due: essere fra le prime operatrici/automatiche che controllavano il lavoro fatto da altre macchine, sulla totalità dei pezzi prodotti, portando al risultato di una classificazione rigorosa del prodotto lavorato; l'altra, più specifica del settore, in quanto per la prima volta tutte le grandezze geometriche e di massa venivano misurate e concorrevano alla classificazione del prodotto.

#### 7. *“Con autocontrollo”*

L'“MG2” fu fondata nel 1966 in un garage, al Bitone, lungo la via Emilia. Poi nel 1969 avvenne il trasferimento in via del Parco a Rastignano e infine nel 1971 nella sede attuale a Pian di Macina di Pianoro, sempre a Bologna. L'impresa era nata dalla collaborazione del progettista Ernesto Gamberini con Cesare Grandi, tecnico collaudatore e grazie a Candido Magri, zio di Gamberini, finanziatore dell'impresa. Ernesto Gamberini, formatosi all'Istituto Professionale Fioravanti, proveniva dalle “Officine Zanasi” di Bologna nelle quali era entrato nel 1955 quando stavano trasformando la loro produzione dalle motociclette in quella delle macchine automatiche. Nel 1957, alla “Zanasi”, diventava responsabile di questo progetto e realizzatore dei primi prototipi.

Fondata la “MG2” sulla base di questa importante esperienza, le macchine che Gamberini cominciò a realizzare erano dosatrici di polveri e granuli in capsule di gelatina dura, la cui principale caratteristica consisteva nell'essere a movimento rotativo continuo. Questa soluzione sfidava sul mercato internazionale la concorrenza tedesca e di altri produttori che disponevano solo di macchine a movimento alternato. In tal senso l'“MG2” ha introdotto e brevettato innovazioni incrementali relative al gruppo di alimentazione e al sistema di orientamento delle capsule. Nel 1967 le operatrici che produceva andavano a 25.000 capsule all'ora.

Secondo il racconto di Ernesto Gamberini, le macchine in continuo erano più difficili da fare e per farle girare bene ci vollero sei/sette anni di lavoro, di prove e

di esperienza. Dovettero cambiare completamente l'approccio e dotarsi di macchine utensili per lavorare i pezzi che a quel tempo erano delle rarità. Tra il 1973-'74 l'"MG2" fu tra le prime in Italia ad avere macchine a controllo numerico. Con le precedenti lavorazioni le opercolatrici non riuscivano a scaricare la polvere, a dosare bene, per problemi di precisione dei pezzi meccanici che le componevano. Questo emerse con chiarezza facendo fare, lontano da Bologna, due o tre pezzi ad un attrezzista con una "Ginevrina". Così erano chiamate quelle macchine utensili all'avanguardia perché le prime lavoravano in Svizzera, in grotte sotto le montagne dove c'era una temperatura costante e i metalli non subivano quindi dilatazioni che potevano avere effetti sulla precisione delle lavorazioni. I tre pezzi, continua Gamberini, costarono il doppio ma applicati alle macchine le facevano funzionare. L'"MG2" acquistò macchine della "MECOF" di Ovada, una delle primissime a mettere il controllo numerico "punto a punto" e a produrre macchine di questo tipo.



**Figura 28.** Fase di montaggio finale ed operazioni di messa a punto della MultiFLEXA 250 realizzata dalla "MG2" di Bologna. Archivio "MG2"

Questo passato spiega il presente della MultiFLEXA 250 che introduce innovazioni tecnologiche assolute oltre ad essere l'opercolatrice più veloce al mondo, in grado di produrre fino a 250.000 capsule all'ora. La macchina è stata dotata di un sistema MultiNETT che consente il controllo *in process* del peso netto al 100% del farmaco inserito nelle capsule, risolvendo in tal modo gran parte delle esigenze della produzione farmaceutica, che oltre alla velocità richiede anche e soprattutto precisione. Basti pensare ad esempio all'importanza del controllo del

peso nel caso dei prodotti da inalare, con quantitativi di polveri compresi solitamente tra i tre e i quaranta milligrammi.

Il controllo del peso *in process* ha segnato molto del lavoro di ricerca ed innovazione che si è dovuto compiere, tanto da diventare una delle maggiori competenze della “MG2”, insieme alla capacità di dosare con affidabilità, precisione e ripetibilità qualunque tipo di prodotto. Quando l’Azienda cominciò ad interessarsi del problema, all’inizio degli anni Novanta, si partiva da un sistema non ancora sufficientemente preciso per le esigenze dei gruppi farmaceutici. Poi con successivi studi e sperimentazioni si ottenne una buona precisione e si poté integrare nelle opercolatrici un controllo *in process* e automaticamente la retroazione, cioè una correzione automatica dei parametri della macchina nel caso di deviazione dal peso stabilito. La precisione della misura stava in un ambito del 5-6%. Il salto grande è avvenuto con la collaborazione stabilitasi dal 2006 con l’ing. Antonio Tagliavini della società “ADA”. Questo ha consentito di dotare la macchina di una boccola “intelligente”, entro cui viene alloggiata la parte contenitore della capsula dopo essere stata separata dal coperchio, per l’intero ciclo di dosaggio. In questo modo, la boccola può rilevare il peso della capsula varie volte, prima vuota, per definirne la tara, poi riempita di prodotto, per definirne il lordo e quindi dedurre per differenza il peso netto del prodotto dosato. Tutto questo con una precisione che arriva anche a mezzo milligrammo, per 250.000 capsule all’ora, 70 al secondo.

Le macchine opercolatrici “cieche” sono ormai lontane nel tempo e questa macchina vede se manca una capsula ed in tal caso evita di prelevare il prodotto per quella capsula e non lo spreca. Inoltre è particolarmente adatta al riempimento di capsule a bassissimo dosaggio, dai 5 ai 25 milligrammi ognuna, senza compattare il prodotto, che è una delle applicazioni più delicate e complesse. La macchina è a contenimento, ovvero protetta da uno speciale isolatore, per evitare che i prodotti altamente attivi, sempre più frequentemente utilizzati dall’industria farmaceutica, tossici anche in minime quantità, vengano dispersi all’esterno della macchina, contaminando l’ambiente e mettendo a rischio la salute degli operatori. Per lo stesso obiettivo la macchina è stata dotata di un sistema di lavaggio, composto da una serie di *spray gums* e *spray balls*, azionate secondo le “ricette” memorizzate nel software di controllo e personalizzabili in base al prodotto. L’operazione di pulizia, conclusa dall’asciugamento con aria riscaldata, è minuziosa, affidabile e, soprattutto, automatica, cosicché l’operatore non viene esposto al contatto con sostanze pericolose. La MultiFLEXA 250 è il risultato di un progetto incominciato sul piano dello studio delle sue fattibilità nel 2006 e conclusosi nel 2010 con la consegna della prima macchina finita<sup>47</sup>.

---

<sup>47</sup> Cfr. *Per niente fragile ...* cit., pp. 106–107. L’“MG2” ha messo a disposizione materiali fotografici e di documentazione.



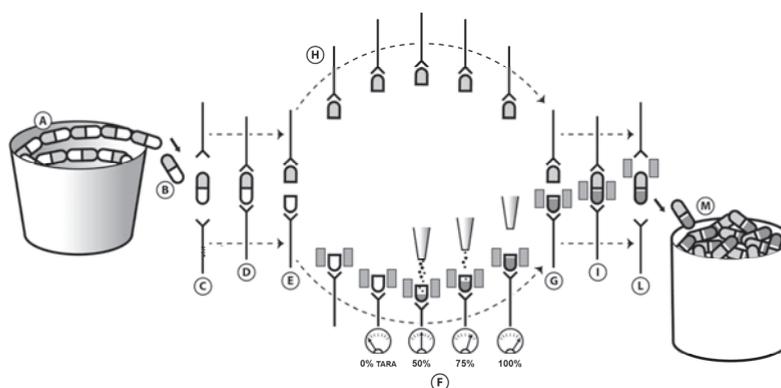
**Figura 29.** “MG2”, macchina MultiFLEXA 250 per riempire capsule con farmaci in polvere dotata di sistema MultiNETT per controllo peso netto al 100%. Archivio “MG2”

**Il “ciclo”.** Il “ciclo” macchina, tipico di un’opercolatrice in continuo, prevede questa sequenza di fasi: alimentazione di capsule vuote e prodotto, orientamento, apertura e separazione delle capsule vuote, dosaggio del prodotto/prodotti, ricongiunzione, chiusura ed espulsione delle capsule piene.

Il prodotto (o i prodotti) e le capsule vuote pre-chiuse vengono caricati in macchina nelle rispettive tramogge. Dalla tramoggia di alimentazione le capsule scendono allineate verticalmente all’interno dei cannotti di alimentazione.

La prima fase consiste nell’orientare tutte le capsule con il coperchio in alto e il fondello in basso. Le capsule orientate entrano nel ciclo operativo vero e proprio e vengono innanzitutto aperte tramite la forza del vuoto. Il coperchio e il fondello vengono separati e seguono percorsi diversi. Il fondello viene inserito in una boccia porta-fondello di un nastro trasportatore che, in moto rotativo continuo, trasporta i fondelli alle fasi di dosaggio (con uno o più prodotti medicinali).

Nella macchina di recente costruzione le capsule sono inserite in una boccia che fa parte integrante del sistema di misura del peso, basato sul principio capacitivo. In una prima fase viene misurata la capsula vuota, cioè se ne valuta la tara poi inizia la fase di riempimento, controllando in tempo reale il peso del prodotto dosato, agendo sui dosatori con controllo in retroazione e garantendo i valori richiesti.



**Figura 30.** Esempificazione del “ciclo” della MultiFLEXA “MG2”. Grafica Cesare Castellari con materiali forniti da “MG2”.

Legenda: A alimentazione opercoli; B orientamento degli opercoli; C presa in continuo dell’opercolo nell’alveolo; D attivazione vuoto; E separazione dell’opercolo in due parti, fondello e coperchio; F operazioni di riempimento e pesatura (misura della tara, peso fondello vuoto, inizio operazione di dosatura del prodotto, controllo del peso del prodotto dosato, termine delle operazioni di dosatura); G sincronismo del fondello con il coperchio; H percorso dei coperchi; I chiusura del fondello con il coperchio; L rilascio della capsula completa; M scarico

Il coperchio segue invece un percorso differente, in cui attende di ricongiungersi al proprio fondello originale. Completati i dosaggi, il fondello ed il relativo coperchio si riallineano verticalmente e vengono chiusi tramite pressione. La capsula riempita e chiusa viene espulsa dalla macchina, eventualmente in differenti direzioni (nel bidone della produzione, in un contenitore di raccolta campioni per controlli di qualità statistici, di scarto, ecc.).

La macchina è dotata di una serie di dispositivi automatici per il controllo e la soluzione di eventuali problemi sulla corretta esecuzione delle fasi sopra descritte (se capsule difettose otturano un canotto di alimentazione, la macchina se ne accorge, cerca di liberarlo e si ferma solo in caso non riesca a risolvere il problema in autonomia).

## Ringraziamenti

Per le collaborazioni ricevute si ringrazia la dott.ssa Maura Grandi della direzione del Museo del Patrimonio Industriale del Comune di Bologna e l’Associazione Amici del Museo. In particolare l’ing. Andrea Bugo, titolare delle

“OFFICINE MECCANICHE ZAMBONI”; il dott. Daniele Vacchi, direttore *Corporate Communications* dell’“IMA”; il sig. Stefano Possati, presidente di “MARPOSS”; il sig. Ernesto Gamberini, titolare dell’“MG2” e la dott.ssa Manuela Gamberini, *Marketing Manager* dell’azienda; l’ing. Stefano Di Santo e il dott. Stefan Kirschke, amministratori delegati della PERINI PACKAGING di Lucca. Si ringrazia inoltre lo Studio Cesare Castellari di Bologna per le rappresentazioni dei diversi “cicli” dei casi-macchina considerati; il fotografo sig. Rino Bertuzzi per la revisione d’insieme delle immagini pubblicate; il prof. Carlo Dall’Omo ex vice preside dell’Istituto Tecnico Industriale Aldini-Valeriani di Bologna.

## La meccanica di precisione, con particolare riferimento agli strumenti per la misura topografica e fotogrammetrica

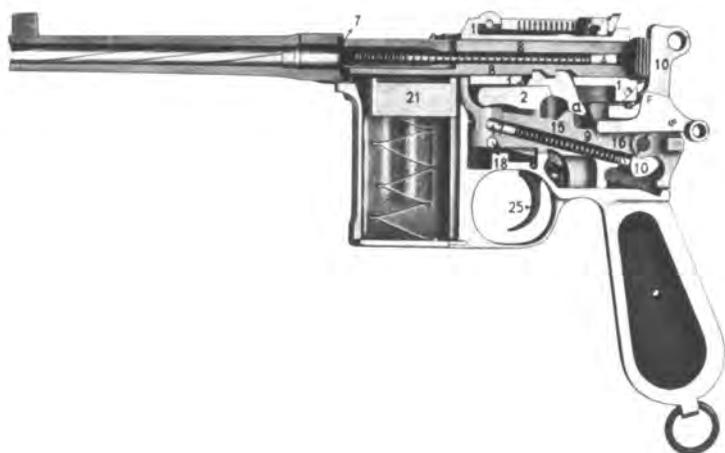
L'ambito in cui opera la meccanica di precisione è estremamente vasto: si va dalle armi agli orologi, dalla chirurgia alle macchine utensili, dagli strumenti per la misura sull'oggetto (topografia) a quelli per la misura sull'immagine (fotogrammetria). Senza dimenticare l'avionica, la costruzione delle serrature dei tipi più vari, le macchine fotografiche sia di tipo convenzionale che digitali e molto altro.

In questa breve esposizione si darà maggior rilievo agli strumenti topografici e fotogrammetrici, con i quali l'autore ha maggior dimestichezza, senza però dimenticare le armi sulle quali lo stesso ha pubblicato molto, su riviste italiane e straniere<sup>1</sup>.

Ma iniziamo proprio con le armi, soprattutto con quelle automatiche portatili ed in particolare quelle corte. La seconda metà dell'Ottocento, soprattutto verso la fine del secolo, vede una vera e propria rivoluzione nel settore: si è ormai passati dall'avancarica alla retrocarica, sono nate le cartucce sia a bossolo metallico che di cartone, a percussione centrale od anulare; è poi nata la polvere senza fumo. Alla teoria del "flogisto" e poi a quella del "calorico", si è sostituita la termodinamica; la ripetizione degli spari passa da manuale ad automatica o semiautomatica. È impossibile qui menzionare quale sia stato il grande contributo della meccanica di precisione allo sviluppo di queste armi, sia di tipo militare che da difesa e da caccia. Basterà ricordare una delle prime pistole semiautomatiche (ma con più tarda versione completamente automatica): la pistola Mauser C96, adottata anche dalla Regia Marina Italiana sotto il nome di "pistola-fucile", essendo provvista di foderocalcio in legno che la trasformava in corta carabina. Il costruttore, Paul Mauser, dottore ingegnere *honoris causa* dell'Università di Berlino, a cui si attribuiscono altre armi lunghe, come per esempio il diffusissimo fucile "K98" adottato non solo dall'esercito tedesco ma da molti altri eserciti sparsi per il mondo, riuscì a costruire questa pistola con solo 30 parti (non solo le coeve, ma anche quelle dei nostri giorni arrivano ad una cinquantina ed anche più elementi) ed inoltre fra di loro connesse senza alcuna vite. La figura 1 mostra una bella sezione dell'arma, dalla quale si nota l'ingegnosità del suo concepimento: solo la meccanica di precisione della Germania di fine Ottocento avrebbe potuto produrre un tale capolavoro.

---

<sup>1</sup>Selvini (1997).



**Figura 1.** Sezione della pistola Mauser C96.

Non insisto su questo argomento, anche se voglio ricordare che vennero costruite pistole semiautomatiche di minime dimensioni, veri capolavori di meccanica fine, così come pistole mitragliatrici e carabine automatiche, soprattutto fra l'inizio del ventesimo secolo e la sua metà, nelle quali sia per i cinematismi che per i sistemi di controllo della pressione allo sparo (corto e lungo rinculo della canna, uso dei gas di recupero, ritardi di apertura ed altro) senza la meccanica di precisione nulla si sarebbe potuto fare. E passiamo ad altro, seppure in modo sommario.



**Figura 2.** Ingranaggi di un orologio da tasca.

Basterebbe ricordare quanta cura, quanta precisione, quanta abilità siano state necessarie nei secoli per la costruzione degli orologi, da quelli a pendolo che battevano il secondo, a quelli da polso sempre più piatti e miniaturizzati: in figura 2 una semplice indicazione di ingranaggi costituenti parte di un orologio da tasca; si pensi alle tolleranze di lavorazione dei soli denti di tali ingranaggi!

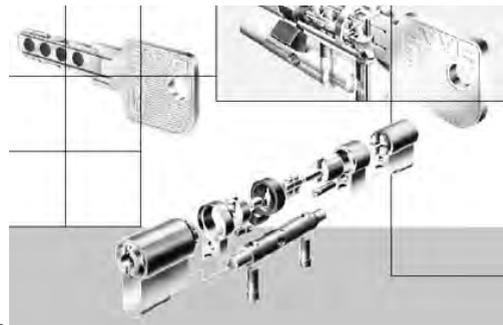
Un intero capitolo non sarebbe sufficiente per parlare adeguatamente dell'apporto che la meccanica di precisione ha fornito nei secoli, e naturalmente soprattutto a partire dall'età industriale, alla formazione degli strumenti per i vari tipi di chirurgia, da quella ortopedica a

quella neurologica, da quella vascolare a quella ortodontica, dalla ginecologia all'intervento maxillo-facciale. In figura 3 un semplice esempio di strumenti generici: ricordo che una delle aziende di pregio della Germania, la "Fondazione Carl Zeiss", che richiameremo più avanti per ciò che riguarda gli strumenti topografici e fotogrammetrici, ha una intera divisione dedicata agli strumenti medicali.



**Figura 3.** Strumenti medicali generici.

E le serrature? Non si pensi solo alle casseforti, ma anche solo alle ormai diffuse porte di sicurezza per i generici appartamenti d'abitazione civile. L'ingegno del meccanico qui si è sbizzarrito, dall'impiego di chiavi sempre più sottili e sofisticate sino all'uso di codici anche solo meccanici, contenuti nelle stesse chiavi sotto forma di sferette, di incisioni, di scanalature. In figura 4 uno dei tanti esempi.



**Figura 4.** Esempio di serratura.

Le applicazioni della meccanica di precisione come abbiamo già detto sono enormemente estese; oltre ai pochi casi sopra appena accennati, si pensi alle macchine utensili, dalle più semplici alle più complesse: nessun prodotto della moderna vita industriale sarebbe in opera, senza queste attrezzature e senza i loro accessori. Quanta meccanica fine vi è in una macchina fotografica, sia del tipo

convenzionale a pellicola sia del tipo digitale? Basterà pensare agli otturatori ed ai diaframmi, e nelle grandi camere aerofotogrammetriche analogiche ai sistemi di depressione e riavvolgimento della pellicola, od ai sistemi di compensazione del trascinamento (FMC, forward motion compensation) di cui si dirà più oltre, che sono dei capolavori di micromotori agenti nell'ambito di rototraslazioni dell'ordine delle frazioni di millimetro, con incertezze di qualche micron.

Pochi sanno che per esempio le differenze di peso fra le pale degli elicotteri sono contenute entro le soglie dei grammi: senza la meccanica di precisione nessun elicottero potrebbe mai volare.

Ed ora veniamo alla parte più estesa di questa relazione: parliamo del contributo della meccanica di precisione nella costruzione degli strumenti topografici; sia di quelli puramente ottico-meccanici che di quelli, ormai i più diffusi, di tipo opto-elettronico. In particolare, la produzione dei teodoliti è sempre stato il banco di prova delle industrie ottico-meccaniche del vecchio continente, a partire dall'Ottocento sino ai giorni nostri; se ne comprenderà il perché in quanto segue.

Un tipico esempio di ciò che si possa fare, in tema di meccanica di precisione nell'ambito della produzione di questi strumenti, è fornito dalla formazione dei perni verticali e delle relative bussole per i teodoliti da triangolazione, ovvero per quei goniometri che forniscono la lettura diretta del decimillesimo di grado; intanto, sarà bene ricordare i dati che seguono<sup>2</sup>.

In un cerchio del diametro di 80 mm, l'estensione della graduazione media sarà di circa 240 mm; l'ampiezza del grado centesimale sarà perciò di 0,6 mm (240 : 400). Se si volesse graduare direttamente tale cerchio in decimi di "gon", ovvero in tratti da  $0,1^{\text{gon}}$ , si avrebbe un tratto inciso ogni 6 centesimi di millimetro: ogni tratto dovrebbe avere quindi lo spessore di qualche centesimo per essere percepibile, sotto microscopio di lettura, con chiarezza. Un ormai obsoleto teodolite della nostra vecchia e gloriosa Filotecnica Salmoiraghi, il modello "4149 A", aveva cerchi suddivisi in centesimi di gon, e ciò per quei tempi (1960/70) rappresentava un primato mai più eguagliato: quarantamila tratti in poco più di 30 cm, essendo il diametro del cerchio di circa un decimetro, ovvero un tratto ogni 7,5 micron. Questa soglia non venne mai più superata: si comprende quindi come sia del tutto impossibile incidere direttamente sul cerchio, dei tratti corrispondenti ai millesimi o ai decimillesimi di grado. Sempre nell'esempio del cerchio sopra citato, l'intervallo tra un decimillesimo ed il successivo dovrebbe infatti essere di  $6 \times 10^{-5}$  mm ovvero di 6 centesimi di micron od ancora di 60 nanometri. Va ricordato che la lunghezza d'onda della radiazione visibile va da circa 400 a circa 700 nanometri, per avere una idea di queste dimensioni!

---

<sup>2</sup> Bezoari, Monti, Selvini (2002).

Il problema del frazionamento dei piccoli intervalli dei cerchi quindi viene risolto per altra via, ottica un tempo (microscopi a scala, a vite micrometrica, a coincidenza di immagini...) e per via elettronica oggi (cerchi codificati ed incrementali, letti da opportuni diodi con interpolazione sia statica che dinamica). La graduazione dei cerchi è oggi fotoincisa negli strumenti tradizionali, mentre è ottenuta con depositi micrometrici di sali minerali sui cerchi di vetro ottico negli strumenti elettronici, così da avere tratti opachi e tratti trasparenti. Nel primo caso, si sono usate per lungo tempo anche “macchine ad incidere”, di cui una, costruita da Ignazio Porro nella seconda metà dell'Ottocento, ha lavorato a lungo per quasi un secolo, dato che venne utilizzata dalla citata Filotecnica Salmoiraghi ancora negli anni cinquanta del secolo ventesimo. Tali macchine erano un gioiello di meccanica fine; quella del Porro dovrebbe essere ancora conservata nel Museo della Scienza e della Tecnica a Milano.

Uno strumento di verifica della graduazione dei cerchi di un teodolite, è la cosiddetta “Tavola di Moore” (figura 5); si tratta di due piatti, uno inferiore ed uno superiore, con bordo cilindrico a corona dentata. In posizione normale i 1440 denti della corona inferiore sono incastrati solidalmente negli altrettanti denti di quella superiore: si tratta di un capolavoro di meccanica di precisione, ancorché il tutto sia estremamente semplice. Se si vede il certificato di taratura in figura 6, ed il grafico corrispondente, si nota che lo scarto non supera mai  $0,25''$  per l'intero angolo giro. Con una leva si alza la piastra superiore e si ruota la parte mobile della quantità voluta. Abbassando la leva si riportano i denti in incastro; una scala graduata esterna alla tavola permette la lettura della variazione angolare; lo spostamento angolare minimo è di  $\frac{1}{4}$  di grado sessagesimale, che corrisponde allo spostamento di un dente. Ovviamente, il lavoro di controllo di un cerchio di teodolite va condotto in ambiente stabilizzato per temperatura, umidità e situazione dinamica<sup>3</sup>. Sulla struttura della Tavola di Moore è stato realizzato il cerchio orizzontale di uno dei primi teodoliti digitali: il Reg-Elta Zeiss, alla fine degli anni Sessanta del XX secolo; si veda la figura 7: è chiaramente visibile la corona dentata posta al di sopra del cerchio codificato in valori assoluti. Come si vede, anche per i teodoliti elettronici viene e veniva, sin dall'inizio, utilizzata la meccanica di alta precisione<sup>4</sup>.

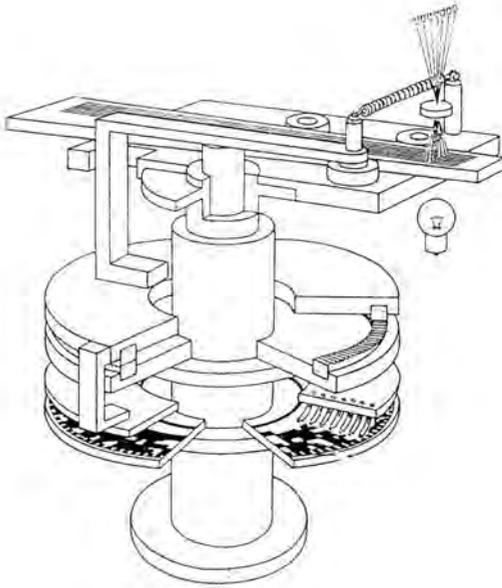
---

<sup>3</sup> Monti (1974).

<sup>4</sup> Bezoari, Selvini (1995).



Per i teodoliti, esiste un altro problema di lavorazione, già sopra accennato: riguarda i perni ed i loro alloggiamenti, problema legato per l'appunto alla sensibilità strumentale o meglio alla "incertezza" nella misura delle direzioni. Va ricordato che i perni sono in acciaio trattato, nei quali la superficie esterna è durissima, pur rimanendo elastica la massa interna. In figura 8 un esempio di perno su cuscinetti a sfere, che riducono al minimo l'attrito, nel teodolite Th2 di Carl Zeiss.



**Figura 7.** Uno dei primi teodoliti digitali, il Reg-Elta Zeiss, della fine degli anni sessanta del XX secolo.

Il gioco fra perno ed alloggiamento varia generalmente, nei teodoliti del secolo appena trascorso ed anche in quelli attuali di tipo digitale, fra a 0,4 e 0,7 micron. Un velo di lubrificante di circa 0,2 micron (siamo a livello quasi molecolare) facilita la rotazione. L'esiguo gioco, al limite delle attuali tolleranze di lavorazione, permette pur sempre delle inclinazioni e delle traslazioni all'asse del perno, che in un teodolite al decimillesimo hanno come conseguenza errori di misura non trascurabili<sup>5</sup>. Si consideri una inclinazione del perno come in figura 9; essa può raggiungere il valore di:

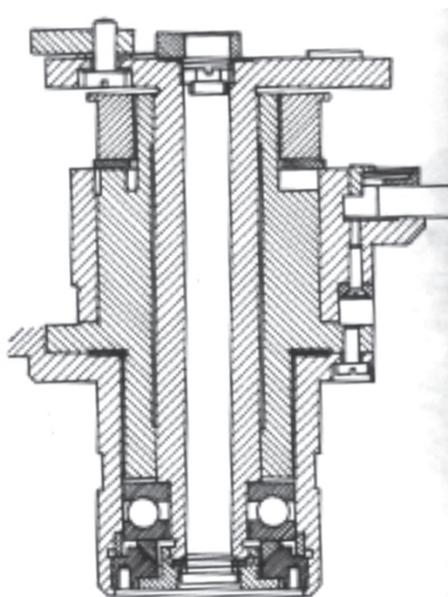
$$\gamma^{cc} = \frac{0,7 \times 10^{-3}}{70} \rho^{cc} \cong 6^{cc}$$

<sup>5</sup> Bezoari, Monti, Selvini (1984).

essendo di 70 mm l'altezza del perno. Una traslazione laterale a sua volta produrrebbe un errore massimo di eccentricità di:

$$\varepsilon^{cc} = \frac{e}{r} \rho^{cc} = \frac{0,7 \times 10^{-3}}{50} \rho^{cc} \cong 9^{cc}$$

essendo  $r = 50$  mm il raggio del cerchio.

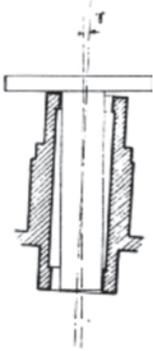


**Figura 8.** Esempio di perno su cuscinetti a sfere.

Per ovviare almeno in parte a questi errori residui di misura, che peraltro venivano eliminati al tempo degli strumenti ottico-meccanici con la pratica della lettura ai due lembi opposti del cerchio e con letture coniugate, alcuni costruttori hanno seguito altre due vie. Si osservino le figure 10 e 11; nella prima, la soluzione della ditta svizzera Kern di Aarau (ora non più esistente): il cuscinetto a sfere è al bordo della base, mentre il perno, corto e ridotto, ha solo funzione di guida per la rotazione. Nella seconda invece, il teodolite elettronico Elta 2 Zeiss ha il perno che ruota entro una gabbia di un centinaio di sfere, il cui diametro è per qualche micron superiore a quello del “vuoto” fra perno e sede cilindrica: il perno quindi deforma elasticamente le sfere e non vi è più né traslazione né inclinazione.

A proposito delle tolleranze di lavorazione dei perni, la Carl Zeiss usava stupire i visitatori con la seguente esperienza: mettendo in rotazione l'alidada del teodolite al decimillesimo Th2 (usando pezzi d'officina separati, in attesa di montaggio sullo strumento!) se si afferrava con entrambe le mani la bussola contenente il perno

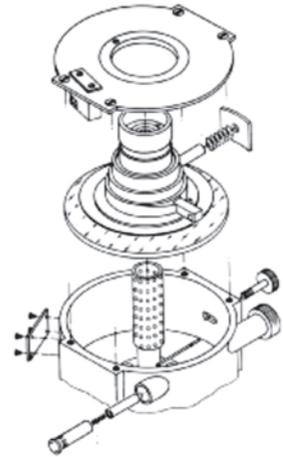
della predetta alidada, premendo fortemente sulle sue pareti la rotazione si arrestava di colpo, per la deformazione elastica delle stesse pareti che pure erano di buon acciaio bonificato e dello spessore di 4 millimetri!



**Figura 9.** Inclinazione del perno.



**Figura 10.** Esempio con cuscinetto a sfere al bordo della base e perno corto e ridotto con funzione di guida per la rotazione.



**Figura 11.** Esempio con perno che ruota entro una gabbia di un centinaio di sfere, che deforma elasticamente.

Il calcolo conferma tale fenomeno: la deformazione di un anello con raggio medio  $r$ , sottoposto a due forze concentrate e diametralmente opposte, è data dalla seguente formula:

$$f = 0,15 \frac{P \cdot r^3}{EJ}$$

essendovi  $E$ ,  $J$  il modulo di elasticità del materiale e rispettivamente il momento di inerzia della sezione sollecitata. Nel caso del teodolite Th2, ammettendo che la pressione delle mani possa interessare un anello largo circa 3 cm, sui 7 di lunghezza

della bussola, ed avente raggio medio di 1 cm, per uno sforzo medio delle mani di 25 kg (facilmente ottenibile) ed essendo  $E = 20.000 \text{ kg mm}^{-2}$ , avendo calcolato il momento di inerzia della sezione interessata pari a:

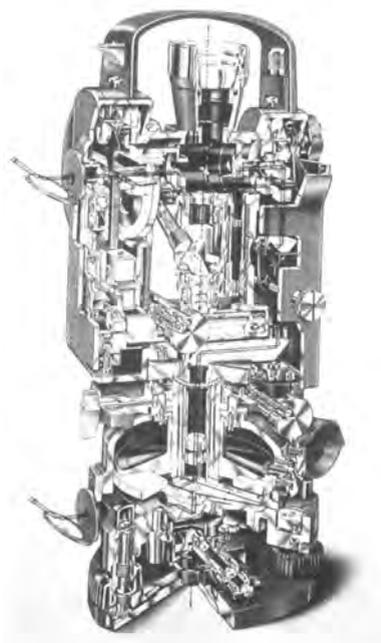
$$J = \frac{30 \times 4^3}{12} = 160 \text{ mm}^4$$

si otterrà la freccia:

$$f = 0,15 \frac{25 \times 10^3}{2 \times 10^4 \times 160} = 0,0012 \text{ mm}$$

ovvero 1,2 micron, pari a circa il doppio del gioco fra perno e bussola visto più sopra, freccia quindi certamente in grado di arrestare bruscamente la rotazione dell'alidada come di fatto avveniva.

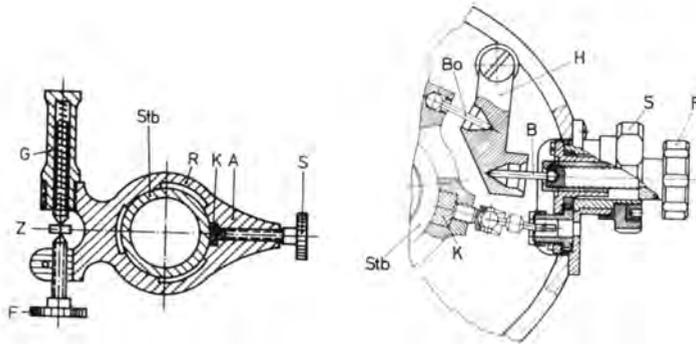
Ricordiamo brevemente che per la produzione ed il montaggio di un teodolite al secondo occorrevano, negli anni sessanta del secolo scorso, da cinquanta a sessanta ore di officina, da parte di personale altamente qualificato. Per assemblare oggi un qualunque computer, basta un'ora di lavoro da parte di personale certamente meno abile di quello del caso precedente<sup>6</sup>; del resto, la figura 12 mostra la complessità di uno dei più noti teodoliti di quel tempo.



**Figura 12.** Si evidenzia la complessità dei teodoliti degli anni Sessanta del secolo scorso.

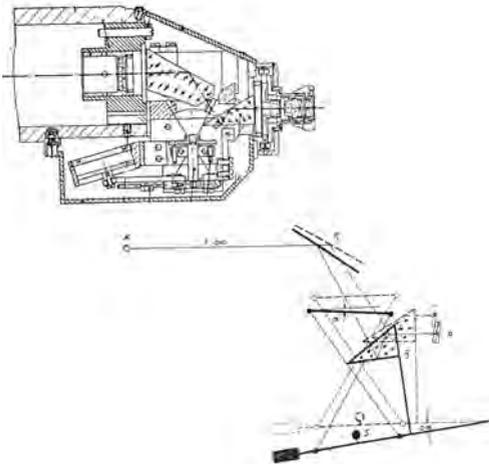
<sup>6</sup> Bezoari, Monti, Selvini (2002).

Molte sono le parti di un teodolite, molte sono le parti di un livello che sono capolavori di meccanica fine: si pensi per esempio alle viti di blocco e dei movimenti fini di un cerchio nel primo caso; alle viti di comando dei sistemi di lettura delle stadie in Invar per il tramite di lastre pianparallele nel secondo. La figura 13 mostra un sistema di viti della fine Ottocento, accanto ad un altro sistema risalente al 1960 circa: concettualmente simili, ma ben diverse nella struttura.



**Figura 13.** Sistema di viti di fine Ottocento (sinistra) accanto ad uno risalente al 1960 circa (destra).

La nascita dei livelli autolivellanti, di cui il primo esemplare fu nel 1950 il Ni2 Zeiss, richiese sistemi pendolari meccanici od ottici di estrema finezza; la meccanica di precisione fornì i mezzi necessari, di cui si vede un esemplare in figura 14, relativo al successivo grande livello automatico di alta precisione Ni1 Zeiss. Il sistema pendolare è costituito da un parallelogramma deformabile in fili di acciaio, di cui in figura si vede anche lo schema semplificato.



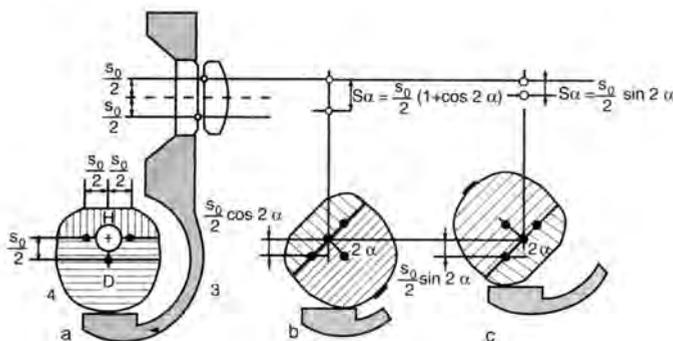
**Figura 14.** Schema del pendolo nel livello Zeiss Ni1 del 1960.

Come si dirà fra breve, il calcolo numerico era, sino all'avvento degli elaboratori elettronici, un ostacolo drammatico per il topografo ed ancor più per il fotogrammetra. Fra l'inizio del secolo ventesimo e gli anni Sessanta, vennero prodotti teodoliti e tacheometri capaci di ridurre al minimo le operazioni di calcolo in quella che era chiamata sin dai tempi del Porro "celerimensura", ovvero il rilevamento numerico del terreno, in contrasto con le settecentesche ed ottocentesche operazioni di rilevamento puramente grafico, come quello praticato con la "tavoletta pretoriana". Tali strumenti, detti genericamente "autoriduttori" perché evitavano i prodotti:

$$d = cH \operatorname{sen}^2\varphi$$

$$\Delta = cH \operatorname{sen}\varphi \operatorname{cos}\varphi$$

rispettivamente per le distanze e per i dislivelli, furono di vario tipo, poi a partire dagli anni sessanta non più costruiti per la loro sostituzione con i ben più potenti distanziometri optoelettronici. Uno degli ultimi, il KR1-A della Kern di Aarau, aveva un dispositivo a reticoli rettilinei su lastre di vetro traslanti per mezzo di un ingegnoso sistema di camme, raffigurato in figura 15: si pensi alla modulazione delle camme, capaci di riprodurre il calcolo con la necessaria incertezza (qualche centimetro sul terreno!).



**Figura 15.** Dispositivo a reticoli rettilinei su lastre di vetro traslanti per mezzo di un sistema di camme.

L'avvento dei teodoliti elettronici ha prodotto una sorta di rivoluzione nella lettura dei cerchi graduati. È noto che la misura delle distanze, comunque eseguita strumentalmente, appartiene alla categoria delle integrazioni; la misura degli angoli, intesi come differenza fra direzioni, si ascrive invece a quella delle differenziazioni. Ebbene, in diversi teodoliti elettronici<sup>7</sup> la lettura dei cerchi è "dinamica", ovvero eseguita per integrazione e non per differenziazione. Tipico esempio il teodolite

<sup>7</sup> Bezoari, Monti, Selvini (1996).

integrato con distanziometro “T2000” della Wild (ora Leica), i cui cerchi, sia quello orizzontale che quello verticale, sono messi in veloce rotazione tramite micromotori elettrici (figura 16).

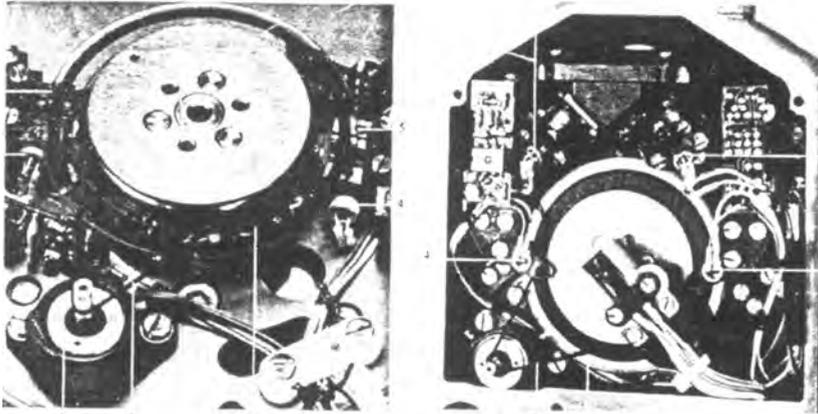


Figura 16. I cerchi rotanti del teodolite T 2000 Wild.

Se si osserva lo schema semplificato di figura 17, si vede come il cerchio orizzontale (altrettanto accade per quello verticale) passi attraverso due traguardi a diodo, il primo fisso in  $L_S$ , posto in corrispondenza della parte esterna del cerchio ed il secondo mobile in  $L_R$  legato all'alidada in corrispondenza della parte interna. La graduazione è del tipo incrementale (non codificata) per cui il primo traguardo rappresenta lo “0”.

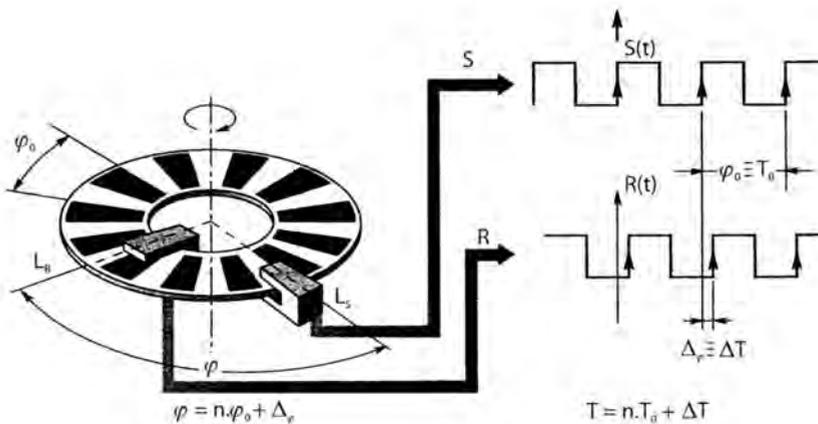


Figura 17. Schema semplificato di cerchio messo in rotazione tramite micromotori elettrici.

L'angolo da misurare ( $\varphi$  in figura) è compreso fra gli assi dei due diodi: se questi fossero posti entrambi in corrispondenza dell'intervallo periodico  $\varphi_0$  della graduazione, la differenza di fase  $\Delta\varphi$  sarebbe nulla, mentre non lo è generalmente per tutti gli altri casi concreti di misura d'una direzione generica. L'angolo azimutale (o zenitale, nel caso dell'altro cerchio) sarà quindi:

$$\varphi = n\varphi_0 + \Delta\varphi$$

con formula analoga a quella per la misura elettronica delle distanze, da cui l'integrazione. Il valore  $\Delta\varphi$  sta al periodo  $\varphi_0$  come la frazione di tempo  $\Delta T$  sta al periodo di rotazione  $T_0$ ;  $\Delta T$  è il tempuscolo necessario per il passaggio di un tratto qualunque della graduazione dal traguardo  $L_S$  al successivo  $L_R$ . La misura delle direzioni è quindi condotta a quella di un tempo! Il periodo  $T_0$  è fornito dalla velocità di rotazione del cerchio, rapportata al numero dei tratti incisi su di esso; il rapporto:

$$\frac{\varphi}{\varphi_0} = \frac{T}{T_0}$$

vale solo per  $0 \leq \varphi \leq \varphi_0$  per cui in definitiva si avrà la relazione di misura della direzione:

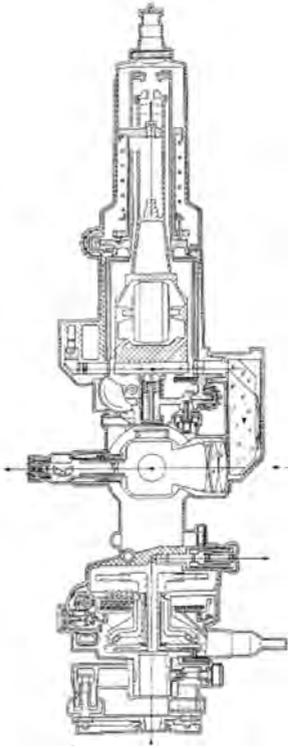
$$\varphi = n\varphi_0 + \frac{\Delta T}{T_0}\varphi_0$$

con stretta analogia con la formula per la misura elettronica delle distanze. È chiaro come la costruzione sia dei cerchi coi loro perni, che quella dei micromotori, insieme al posizionamento dei diodi di lettura, sia un bell'esempio di meccanica di alta precisione!

A proposito di strettissime tolleranze di lavorazione: per scopi speciali si usano da tempo teodoliti connessi a giroscopi, detti genericamente "giroteodoliti". Non ci si può qui addentrare nella struttura e nella meccanica di questi strumenti: per chi ne volesse sapere di più, si rimanda alla bibliografia<sup>8</sup>; ci si limita a ricordare come la connessione fra teodolite (oggi elettronico) e giroscopio, come nel caso del "Gyromat" della Deutsche Montan Technologie di Bochum richiede abilità particolari sia costruttive che di montaggio, per far sì che le osservazioni del moto giroscopico siano correttamente connesse con le misure azimutali del teodolite. Nel caso citato in bibliografia, lo scarto quadratico medio nelle misure di azimut rispetto al Nord geografico sono state inferiori a 0,9 milligon: ed un milligon corrisponde ad uno scostamento di circa 1,5 cm su chilometro. In figura 18 la sezione del giroteodolite costruito dalla ungherese MOM.

---

<sup>8</sup> Monti, Selvini, Vassena (1993).



**Figura 18.** Sezione del giroteodolite MOM.

E passiamo ora ai mezzi per la misura sulle immagini, ovvero agli strumenti per la fotogrammetria, sia aerea che terrestre. Oggi il calcolo elettronico, di cui le prime applicazioni risalgono in questa disciplina al 1960 circa, ha enormemente semplificato sia gli strumenti di presa che quelli per la trasformazione proiettiva, detta genericamente “restituzione fotogrammetrica”. Ma agli esordi non fu così; i primi strumenti capaci di far passare dalla prospettiva centrale, ovvero, con molte semplificazioni, dalle fotografie su lastra o su pellicola alle proiezioni ortogonali, dovettero necessariamente prescindere dal calcolo numerico, a quei tempi impossibile per la mancanza di adatti calcolatori digitali (benché le equazioni di “collinearità” fossero ben note dalla geometria analitica nello spazio) utilizzando invece i calcolatori “analogici”. Questi erano strumenti ottico-meccanici assai complessi, nei quali si generavano “modelli” dell’oggetto fotografato, fatti di luci e di ombre, osservabili tridimensionalmente attraverso strutture ottiche appropriate (stereoscopi, immagini anaglifiche). I modelli venivano esplorati dall’operatore, e disegnati in proiezione ortogonale “on-line” dallo stesso, inizialmente per mezzo di pantografi e più avanti di sistemi elettromeccanici ad ingranaggi, nella scala voluta. Va chiarito che i modelli erano, rispetto all’oggetto (generalmente il terreno, con

quanto di naturale e di antropico ad esso legato) in scale ridotte di migliaia di volte (per esempio, per ottenerne rappresentazioni in scala 1:2000, il modello era all'incirca in scala 1:5000, mentre le immagini fotografiche erano in scala media di 1:8000) per cui le operazioni di misura e di proiezione dovevano necessariamente tener conto di tali riduzioni; ciò che sul terreno poteva essere misurato con l'incertezza di qualche decimetro, sul modello ottico andava rilevato e misurato con incertezza cinquemila volte minore, ovvero entro il decimo di millimetro. A prescindere dalle distorsioni generate dalle parti ottiche, sia di presa che di restituzione, si trattava di provvedere i restitutori di parti meccaniche generali e particolari molto fini. Studiosi di molte università europee si sono dedicati allo studio di tali complessi strumenti e delle loro parti, a cominciare dalle viti di regolazione per finire con le parti ottiche<sup>9</sup>. Circa la correzione della distorsione delle camere da presa, vennero usate o lastre di vetro compensatrici oppure delle "camme" con lavorazione micrometrica, di cui la figura 19 fornisce un esempio, accanto allo schema teorico; non si dimentichi che la distorsione della camere da presa del tempo era dell'ordine di pochi centesimi di millimetro (oggi non supera tre o quattro micron!).

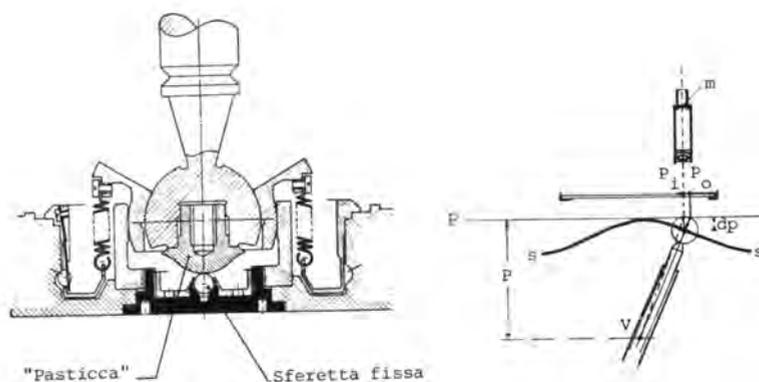


Figura 19. Esempio, accanto allo schema teorico, di camme con lavorazione micrometrica.

A proposito dei calcoli: anche in fotogrammetria, negli anni Quaranta del secolo appena passato, così come abbiamo visto per gli autoriduttori in topografia, si inventarono calcolatori analogici specifici: un esempio è quello di figura 20, che è un gioiello di meccanica fine per il calcolo, ovviamente meccanico e poi ottico, dei parametri dell'orientamento relativo di una coppia di fotogrammi. Altro elemento di spicco in figura 21: stavolta si tratta di un calcolatore da camera solare, ovvero da

<sup>9</sup> Solaini (1938).

dispositivo capace di fornire direzioni ed angoli a partire dall'immagine fotografata del sole, ripresa direttamente dall'aereo in contemporanea con l'assunzione dei fotogrammi del terreno.

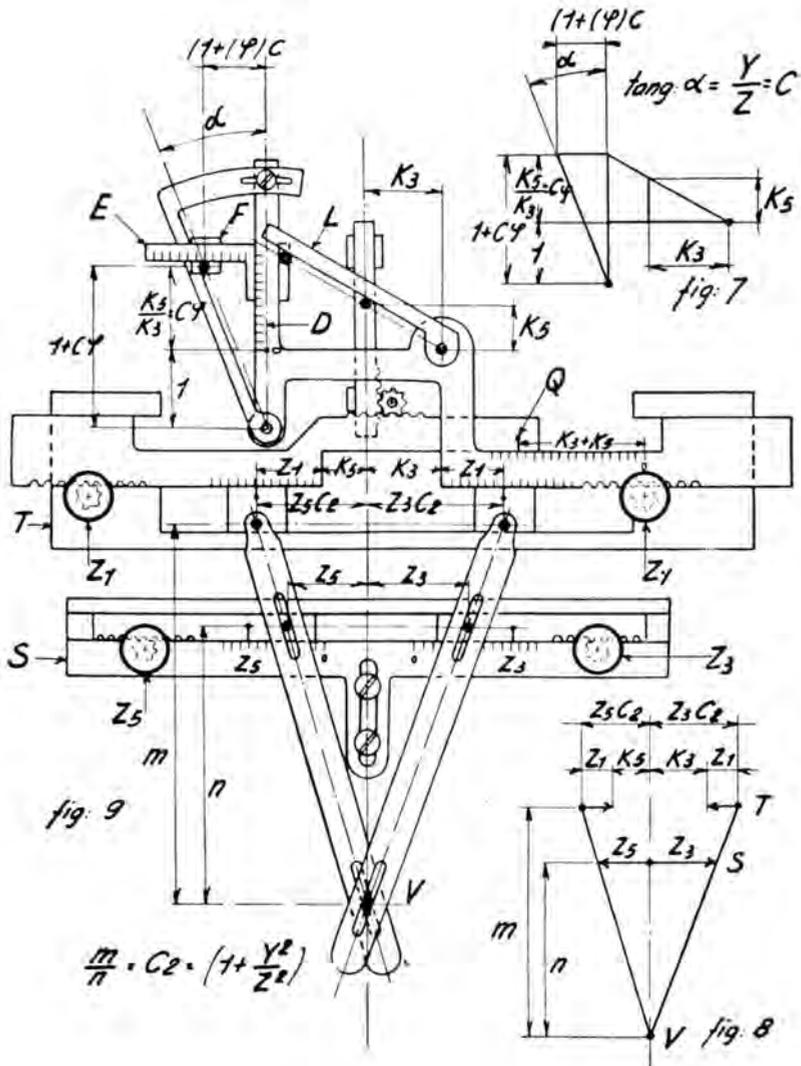
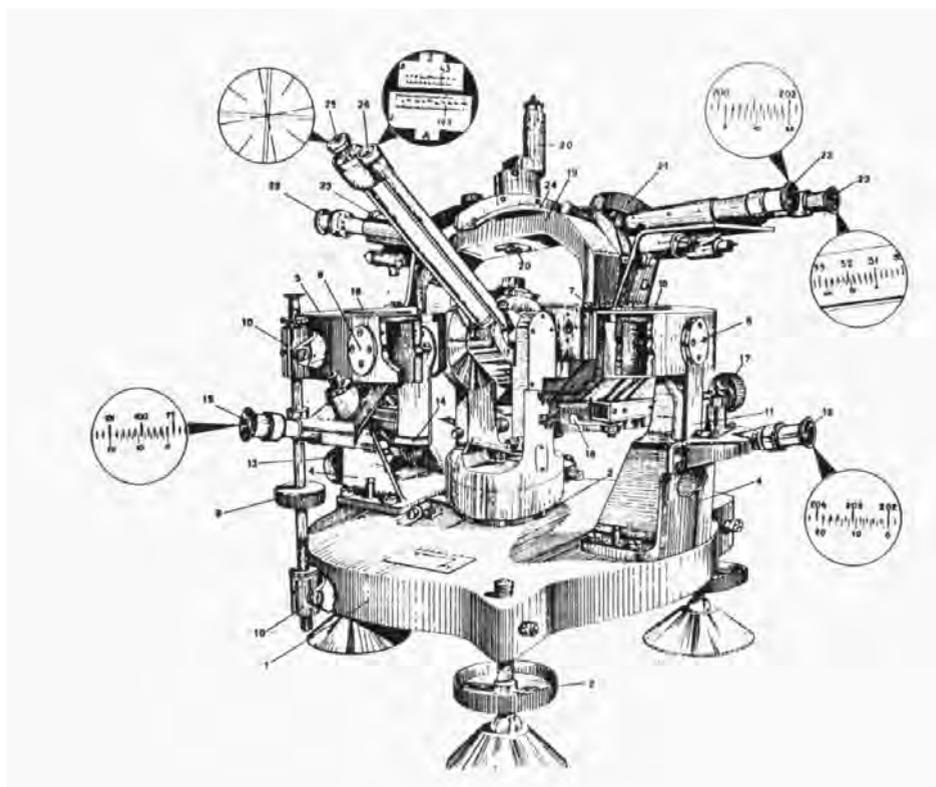


Figura 20. Esempio di calcolatore analogico.



**Figura 21.** Calcolatore da camera solare.

La complessità ottico-meccanica dei restitutori analogici era tale da destare meraviglia ancor oggi; ci si limita qui a mostrarne due esempi: quello di figura 22, che rappresenta lo Stereoplanigrafo di Bauersfeld, costruito dalla Carl Zeiss in diverse versioni (la prima del 1928, l'ultima del 1965) e quello di figura 23, lo Stereocartografo Galileo-Santoni Mod. V del 1965, l'ultimo in assoluto degli strumenti analogici, quando già sul mercato vi era almeno il restitutore analitico AP/c della OMI di Roma, oltre ai modelli militari per l'aeronautica USA, AS-11, sempre della OMI.

A proposito dello Stereocartografo Mod. V, vero e proprio capolavoro di meccanica fine ed ottica di alta precisione: quando già le correzioni per la rifrazione atmosferica e per la curvatura terrestre erano modellabili per via numerica, per esempio nel citato restitutore OMI AP/c, in esso il genio di Ermenegildo Santoni aveva progettato delle camme e delle superfici meccaniche modulabili per queste correzioni; la figura 24 ne mostra l'aspetto. Si tratta di pezzi meccanici capaci di

apportare alle parti mobili dello strumento, variazioni dell'ordine dei centesimi di millimetro nella trasformazione proiettiva<sup>10</sup>!

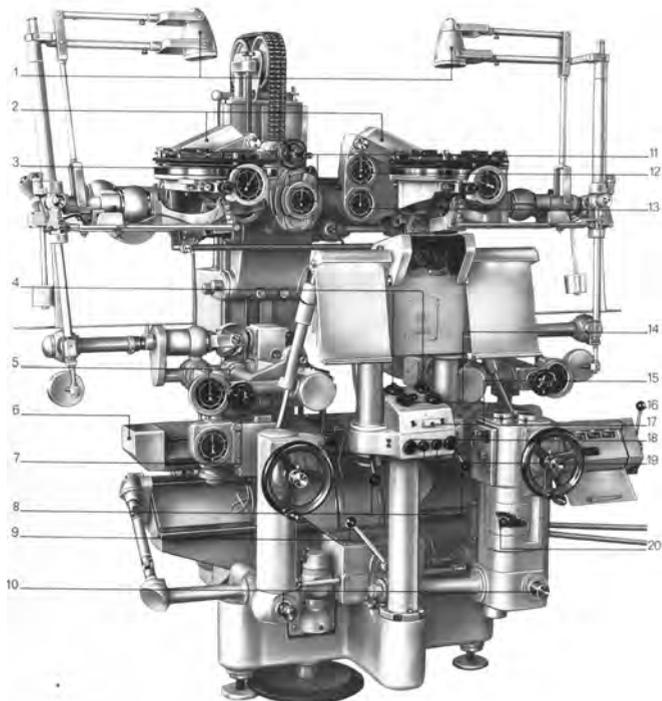


Figura 22. Stereoplanigrafo di Bauersfeld.

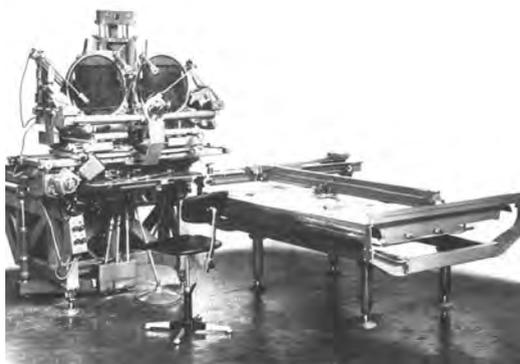
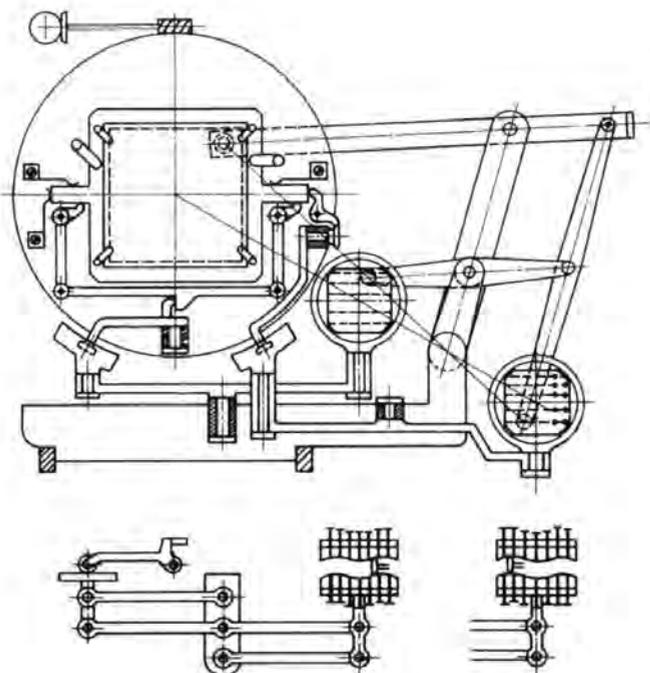


Figura 23. Stereocartografo Galileo-Santoni Mod. V.

<sup>10</sup> Bezoari, Selvini (1999).

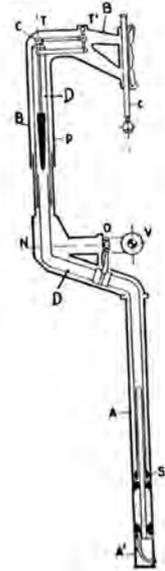


**Figura 24.** Camere e superfici meccaniche modulabili progettate da Ermenegildo Santoni.

Ma Santoni, che era un genio della meccanica e dell’ottica, già molto tempo prima aveva studiato e poi realizzato un altro stupefacente dispositivo. Negli strumenti analogici a proiezione meccanica, a differenza di quanto accadeva per esempio nello Steroplanigrafo che si serviva di proiezione puramente ottica, i raggi proiettanti delle immagini erano sostituiti dagli assi di aste metalliche cilindriche o di altra sezione, spesso cave. Uno degli appunti che venivano mossi a tali dispositivi, era quello per cui la flessione dovuta al peso proprio delle aste, che si muovevano nello spazio strumentale con rotazioni assai ampie, ne modificava l’assetto da rettilineo a curvilineo: si badi bene che tali flessioni generavano frecce dell’ordine dei decimi di millimetro, comunque tali da discostarsi dall’andamento puramente rettilineo dei raggi proiettanti nei restitutori a doppia proiezione ottica. Ebbene, Santoni studiò e mise a punto un sistema di contrappesi interno alle “bacchette”, capace di seguire la flessione, che come è noto è rappresentata dall’equazione differenziale del secondo ordine:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = - \frac{M}{EJ}$$

generando un momento uguale e contrario che annullasse la invero modestissima deformazione. La figura 25 rappresenta un tale dispositivo.

**Figura 25.** Sistema di contrappesi studiato da Ermenegildo Santoni.

Il primo strumento stereorestitutore, limitato a qual tempo al solo trattamento dei fotogrammi terrestri, è lo Stereoautografo del triestino Edoardo De Orel, allora capitano dell'esercito austro-ungarico, costruito nel 1911 in serie dalla Carl Zeiss di Jena. In figura 26 tale strumento, ancora utilizzato dal nostro Istituto Geografico Militare durante la campagna d'Etiopia 1935/36. Le aste di acciaio che sostituivano i raggi proiettanti della macchina da presa, erano in grado di ruotare e traslare entro limiti per allora strettissimi, dell'ordine dei centesimi di millimetro, ai fini della trasformazione proiettiva; ci sembra un bell'esempio di meccanica fine.

Circa la definizione di "restitutori analogici", ovvero mezzi meccanici capaci di sostituire al calcolo numerico quello derivante dall'analogia (come nel regolo calcolatore, che trasforma prodotti e quozienti in somme e sottrazioni di segmenti!) uno dei primi studiosi della fotogrammetria, il tedesco Walther Sander, scrisse allora<sup>11</sup> e con ragione, che «lo Stereoautografo è un dispositivo per la risoluzione di equazioni...».

A proposito di camere da presa, stavolta aeree: il loro meccanismo interno è ed era già negli anni Trenta assai complesso dal punto di vista meccanico: si trattava di sostituire alla lastra impressionata una lastra vergine, di armare l'otturatore, di regolare il diaframma ed infine di scattare nuovamente.

In figura 27 lo schema della camera di Santoni del 1935.

<sup>11</sup> Sander (1931).

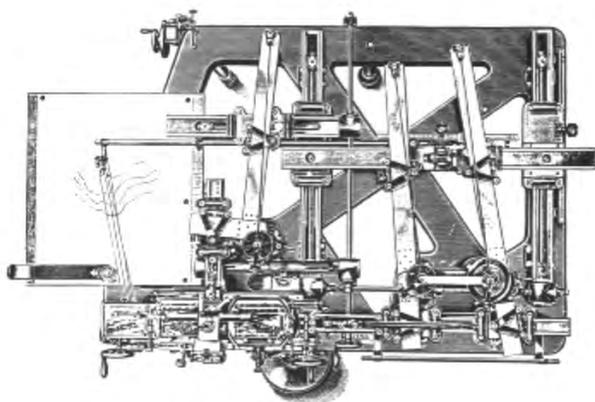


Figura 26. Stereografato del triestino Edoardo De Orel.

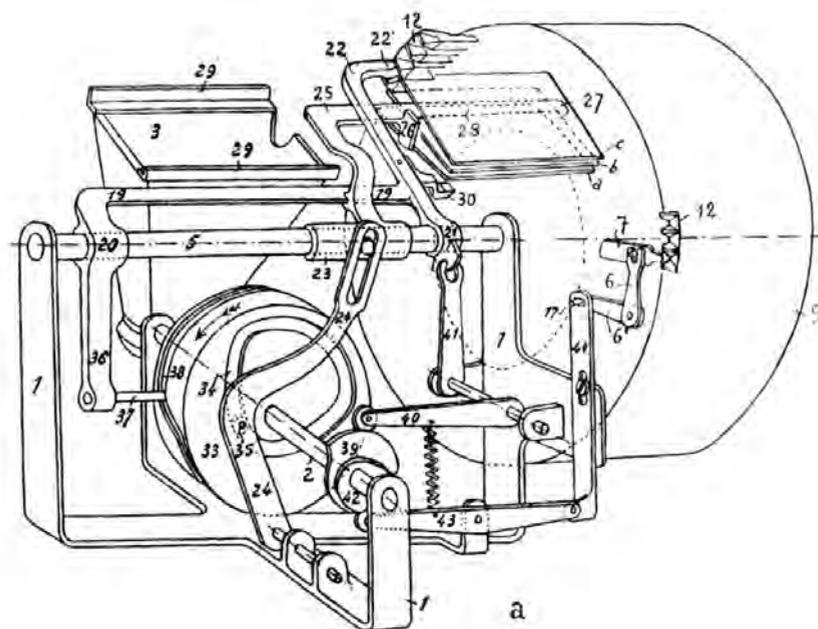
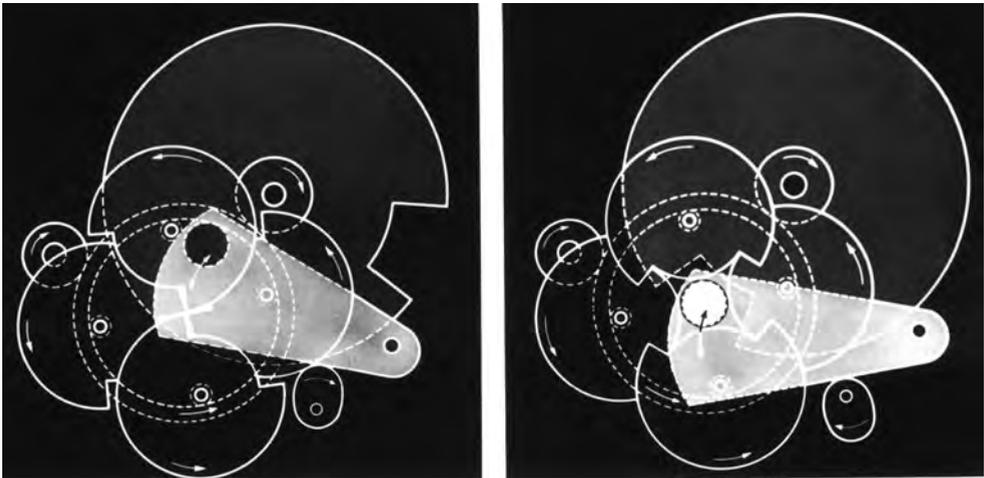


Figura 27. Schema della camera di Santoni del 1935.

Le camere successive a pellicola, erano ancor più raffinate: si trattava di spianare la pellicola entro la soglia di mezzo centesimo di millimetro, il che avveniva per il tramite di una pompa che faceva il vuoto nel dorso della camera, vuoto che doveva essere subito dopo lo scatto sostituito dalla normale pressione atmosferica, ai fini

del trascinamento della pellicola preparata per lo scatto successivo; il tutto naturalmente con le regolazioni di otturatore, diaframma, intervallo temporale di scatto, non solo: a partire dagli anni Settanta del secolo scorso, venne anche introdotto un sistema che evitasse l'effetto di trascinamento dell'immagine dovuta al movimento dell'aereo, sistema già accennato in precedenza e detto FMC, tenendo conto che il movimento retrogrado del film a questo fine è dell'ordine dei centesimi di millimetro!

Un altro problema puramente meccanico è sempre stato costituito dal tempo di scatto dei fotogrammi, e quindi dall'apertura dell'otturatore. Negli anni Sessanta si era giunti al millesimo di secondo, con l'otturatore assai complesso e formato da più parti, fra cui quattro dischi in rotazione continua ed una camma detta a "testa di cavallo" come nel caso della RMK (23 x 23) Zeiss (figura 28).



**Figura 28.** Schema dell'otturatore della RMK (23 x 23) Zeiss.

L'avvento dell'elettronica e dell'informatica, ha notevolmente ridotto gli interventi della meccanica di precisione nella costruzione sia degli strumenti topografici che di quelli fotogrammetrici. Se si considerano per esempio il teodolite Th42 Zeiss, ottico-meccanico, ed il suo successore ETh4 di tipo elettronico, si ha la misura della riduzione sopra citata: nel primo strumento si hanno 292 parti meccaniche, e 48 ottiche. Nel secondo, le parti meccaniche calano a 136 (meno della metà!) e quelle ottiche si riducono a loro volta a 31, con l'aggiunta di solo 4 parti elettroniche<sup>12</sup>! Non si creda però che la minuzia dell'intervento meccanico fine sia ridotta: per esempio, nel caso degli scanners (sono in realtà dei micro-

<sup>12</sup> Bezoari, Selvini (1996).

densitometri di alta precisione geometrica) che fanno passare da una immagine analogica, ovvero formata da granuli di alogenuri d'argento disposti in ordine sparso, ad una immagine digitale costituita da "pixel" ordinati in matrice, gli scostamenti dalla planeità dei supporti e dall'ortogonalità delle guide vanno contenuti entro limiti ridottissimi. Vale per esempio quanto richiesto dal Photoscan PS1 di Zeiss (Fig. 29); la precisione di posizionamento del supporto che porta i fotogrammi è migliore di  $\pm 2$  micron, intesa come s.q.m., mentre la deviazione angolare delle linee di CCD (Charged Couplet Devices) è tale, che lo scostamento della loro parte terminale rispetto all'asse ottico e sita a 7,7 mm da tale asse, è minore di 1 micron!

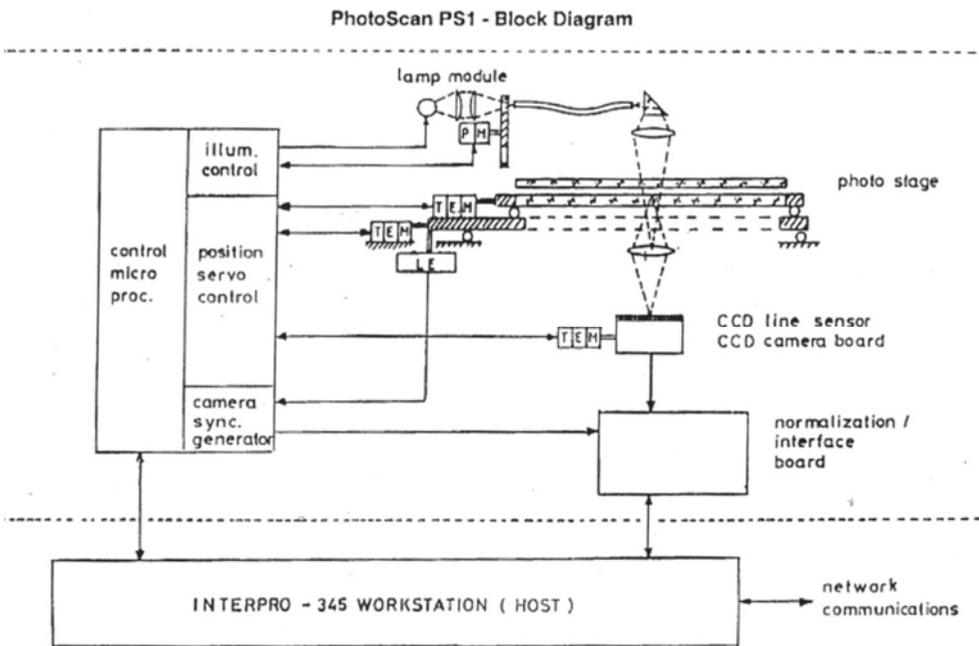


Figura 29. Diagramma a blocchi del PhotoScan PS1 di Zeiss.

Come si vede, l'intervento della meccanica di precisione è tuttora indispensabile, anche in piena era informatica, quando il calcolo numerico ha ormai del tutto soppiantato quello analogico ottenuto con dispositivi ottico-meccanici sempre più complessi.



**Figura 30.** Teodolite servito al tracciamento della base geodetica di Somma o del Ticino.

Vorrei concludere questa breve rassegna, con tre immagini significative: esse mostrano come già due e più secoli fa la meccanica di precisione fosse in grado di costruire strumenti per la misura sul terreno di grande pregio e soprattutto di elevata precisione (o meglio, diremmo oggi, di bassa incertezza). Si tratta di teodoliti, il primo ben noto (figura 30), dato che è servito al tracciamento della famosa base geodetica di Somma o del Ticino, una delle prime basi italiane che servì per la redazione della carta della Lombardia austriaca<sup>13</sup>, dovuto all'abilità di un bravissimo costruttore: l'austriaco Giuseppe Megele, che operava secondo i dettami ed i consigli dei tre astronomi di Brera, De Cesaris, Oriani e Reggio, che della misura furono gli attenti ed esperti autori. Lo strumento era dovuto al progetto di Georg von Reichenbach, il ben noto costruttore dei cannocchiali muniti di reticolo a tre fili per la misura ottica delle distanze<sup>14</sup>. Il secondo (figura 31) è uno strumento della metà dell'Ottocento, quindi più tardo di circa un secolo, ma dalle caratteristiche analoghe. Si pensi alle viti micrometriche di lettura dei cerchi, capaci già allora di leggere direttamente il secondo d'arco. Lo strumento venne prodotto a Londra, da "Troughton & Simms". Il terzo infine, più semplificato del precedente, col cerchio verticale limitato ad un settore, (figura 32) ha quattro viti calanti: anomalia tipica di molti strumenti inglesi e poi americani. Le tre viti che generalmente accompagnano gli strumenti topografici, costituiscono un sistema statico col minimo dei vincoli, il che facilita la resa verticale dell'asse principale. Quattro viti corrispondono ad un sistema iperstatico, tutto sommato di nocumento (un tavolino a tre gambe è sufficientemente stabile, se ne ha quattro può traballare!). Ma per gli strumenti d'Oltremarica e d'Oltreoceano ciò fu per molto

<sup>13</sup> Selvini (1984).

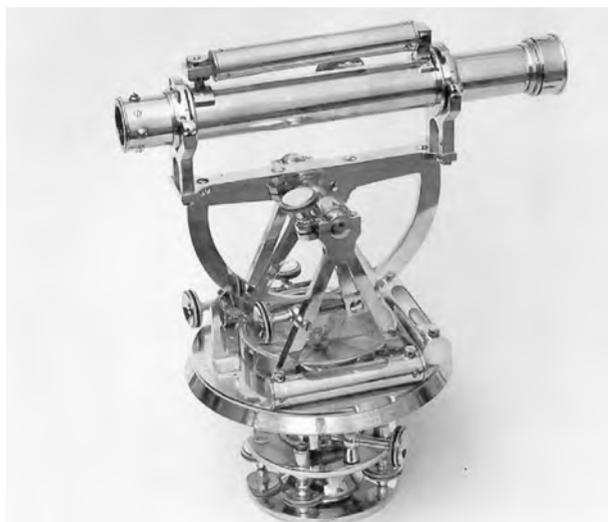
<sup>14</sup> Mazzon, Selvini (1981).

tempo prassi consueta. Lo strumento è marcato “W. Harris & Co. 50 Holborn, London, 1816-1839”. Come si vede, già in epoca preindustriale la meccanica di precisione era patrimonio di abili artefici, capaci, con pochi materiali (bronzo, ottone, ferro, argento per le graduazioni dei cerchi, oltre al vetro ottico) di ottenere strumenti di grande pregio, che hanno contribuito fortemente alla conoscenza del pianeta su cui viviamo.

---



**Figura 31.** Teodolite della metà dell'Ottocento.



**Figura 32.** Teodolite semplificato  
“W. Harris & Co. 50 Holborn,  
London, 1816-1839”.

---

**BIBLIOGRAFIA**

- Bezoari Giorgio, Monti Carlo, Selvini Attilio (1984), *Fondamenti di rilevamento generale*, Milano, Hoepli.
- Bezoari Giorgio, Monti Carlo, Selvini Attilio (2002), *Topografia generale con elementi di geodesia*, Torino, UTET.
- Bezoari Giorgio, Selvini Attilio (1995), *Strumenti topografici*, Napoli, Liguori.
- Bezoari Giorgio, Selvini Attilio (1996), *Manuale di topografia moderna*, Milano, Ed. CittàStudi.
- Bezoari Giorgio, Selvini Attilio (1999), *Gli strumenti per la fotogrammetria*, Napoli, Liguori.
- Mazzon Corrado, Selvini Attilio (1981), *Considerazioni storiche sulla relazione di Reichenbach e sull'anallattismo del Porro*, «Rivista del Catasto e dei Servizi Tecnici Erariali», Roma, n. 1.
- Monti Carlo (1974), *Experimental study of three theodolites Kern type DKM 2A*, «Bollettino di Geodesia e scienze affini», Firenze.
- Monti Carlo, Selvini Attilio, Vassena Giorgio (1993), *Uso di moderna strumentazione nella realizzazione di grandi opere nell'ingegneria civile: il caso del tunnel sotto il canale della Manica*, «Bollettino della SIFET», Milano.
- Sander Walther (1931), *Du développement de la Photogrammétrie. Handbuch der Photogrammetrie*, O. von Gruber, Lausanne.
- Santoni Ermenegildo (1971), *Selected Works*, «Bollettino della SIFET», Firenze.
- Selvini Attilio (1984), *La base geodetica di Somma fra cronaca e storia*, «Rivista del Catasto e dei Servizi Tecnici Erariali», Roma, n. 1.
- Selvini Attilio (1997), *Pistole automatiche: tecnica, storia e cronache*, Milano, Ghedini editore.
- Solaini Luigi (1938), *Studio sperimentale del Fotocartografo Nistri Mod. Aeronormal*. Memorie della ricerca scientifica, III Com. Naz. Astronomia e Geodesia Roma.



## Sintesi storica dello sviluppo della tecnologia tessile

I nostri progenitori di qualche decina di millenni “a.C.” – pur riparandosi nelle caverne e cibandosi di latte, carne animale e cacciagione oltre a qualche vegetale stagionale – sapevano già accendere il fuoco, usare l’arco e conoscevano le modalità elementari per utilizzare le pelli degli animali (quadrupedi) che erano riusciti a catturare con fini prevalentemente alimentari. Agli albori della civiltà l’uomo aveva già intuito e sviluppato l’uso della “leva” (utilizzando rami abbastanza lunghi e maneggevoli da appoggiare su fulcri lignei o pietrosi) e poi della “ruota” (ottenuta da tratti di tronchi cilindrici di vari diametri). Nelle caverne sono stati ritrovati, assieme ad utensili elementari in pietra e argilla “cotta”, anche residui di pellicce animali, corde e filamenti tra loro intrecciati che inducono a pensare ad una tecnologia tessile “in fieri”... Tutto questo – è opportuno ricordarlo – avveniva già prima di conoscere il ferro ed il rame. Queste tracce ci suggeriscono che l’esigenza di manufatti “coprenti”(a quel tempo prevalentemente lanieri) aveva già indotto i nostri progenitori a dedicare attenzione e cura ad una attività manuale di rilevante interesse che si sarebbe progressivamente sviluppata in termini sia di “tecnica” che di “varianti”. Per molti secoli all’arte della filatura e del tessimento si dedicarono soprattutto le donne (la cui dedizione venne esaltata in modo esemplare da Omero nella figura di Penelope che tesseva in ansiosa attesa del suo Ulisse) mentre la tosatura delle greggi fu compito prevelente degli uomini che tra l’altro portavano gli animali al pascolo e dovevano anche difenderli dai ricorrenti assalti delle belve. L’utilizzazione delle fibre vegetali (cotone, lino, ...) avvenne molto più tardi quando l’umanità da prevalentemente nomade si trasformò in stanziale caratterizzandosi come società agricola nell’ambito di una struttura comunitaria più ampia e diversificata legata ad un capoluogo che, seppur piccolo, aveva una funzione sociale apprezzata e riconosciuta.

Fermando l’attenzione alla realtà socio-economica indo-mediterranea (in pratica persiana, egizia e greca) di alcune decine di secoli “a.C.” (con un salto quindi di alcuni millenni dall’epoca delle caverne) e ponendo l’attenzione allo stato dello sviluppo tecnologico dell’umanità del tempo possiamo riconoscere che: a) l’uomo sapeva già lavorare molti metalli (rame, piombo, ferro, argento, oro, ...); b) era in grado di costruire edifici importanti e maestosi nonché strade, porti ben protetti, ampi magazzini per la conservazione di beni e derrate, ...; c) aveva avviato e consolidato i rapporti tra le varie regioni malgrado contrasti economici e politici assai duri; d) stava formando embrionali strutture socio-politiche atte ad agevolare continuativi rapporti commerciali tra le varie comunità; e) i prodotti tessili – di varia

fattura e consistenza – costituivano già a quel tempo motivo di trattative interessanti sia per specialità (cotone, lino, seta, lane di pecora e/o di cammello, ...) che per valore di scambio con altre merci.

In tutto quel lungo lasso di tempo la tecnologia tessile aveva raggiunto livelli considerevoli pur realizzando “macchine” elementari ma già concettualmente molto valide e tali da potersi giustamente considerare le antesignane di quelle operanti sino al tempo della “rivoluzione industriale” anglosassone (1700-1800).

Il ciclo di lavoro era ormai ben chiaro e si esprimeva nelle seguenti fasi:

1) Innanzitutto “la/le” materie prime andavano pulite: provenendo o dal mondo animale o da quello vegetale era inevitabile che esse fossero portatrici di tracce inquinanti. Per il lavaggio si usarono, per secoli, grandi “tine” di legno ma – anno dopo anno – come recipienti si preferirono ampie vasche di pietra con immissione continua di acqua di sorgente che, grazie al controllo di numerosa manodopera munita di grandi forchettoni di legno, trascinava in adeguati canali di scarico la maggior parte delle sporcizie.

2) Al lavaggio seguiva l’asciugamento delle fibre che si effettuava distribuendole – con molta cura e attenzione – su ampie superficie assolate e/o arieggiate affinché tutta l’umidità venisse esaurita. Tale operazione poteva durare anche più giorni se – per esempio – sopraggiungeva il maltempo che ribagnava le fibre: schiere di personale, generalmente maschile, era adibito alla movimentazione delle fibre con appositi forchettoni di legno per assicurare un omogeneo stato di asciugamento.

3) Le operazioni precedenti potevano creare agglomerazioni fibrose che, seppur di modesta entità, avrebbero potuto nuocere alla regolarità finale del filamento. Era pertanto necessario aprire i “ciuffi” di fibra parallelizzandone i singoli filamenti per renderli il più possibile omogenei ed adeguati alle esigenze delle lavorazioni successive. Tale operazione veniva effettuata attraverso la “cardatura” che consiste nel sottoporre le fibre all’azione di due cilindri “chiodati e contrapposti” il cui movimento provoca una robusta azione di parallelizzazione delle singole fibre disponendole e convogliandole – a mò di nastro – su una successione di cilindri di raccolta con peso modesto (al massimo qualche Kg) atti – con trasferimento manuale – ad avviarsi al proseguo delle operazioni.

4) In funzione della tipologia delle fibre trattate (lana di pecora, lana di cammello, cotone, lino, ...) i nostri avi avevano adeguato la tecnologia alle specifiche caratteristiche dei singoli filamenti. In particolare si erano ben resi conto che tra una fibra corta (ad esempio il cotone) ed una lunga (lino) ovvero tra lana d’agnello e di cammello esistevano esigenze operative diverse. Necessariamente avevano ben capito che – soprattutto con le fibre più lunghe – per ottenere una loro migliore parallelizzazione e conseguentemente una più

elevata uniformità del filato era opportuno sottoporle, dopo la cardatura, ad una vera e propria “pettinatura”.

Le considerazioni accennate vanno riportate in un contesto tecnologico in cui – per secoli – determinate operazioni potevano essere effettuate “solo” manualmente.

5) I nastri carda (pettinati o no ma con dimensione sezionale di circa un pollice e con i filamenti sostanzialmente paralleli) venivano appoggiati sui supporti superiori della macchina di “stiro” che attraverso una duplice azione di lieve torsione e ulteriore lieve allungamento creava le condizioni per ottenere uno “stoppino” delle dimensioni di una matita dotato di una modesta ma significativa torsione atta a sopportare la tensione dell’operazione successiva nel “ring”. Ogni stoppino veniva raccolto e avvolto su di un supporto (un tempo ligneo ma già un secolo fa di rigido cartone) atto ad essere inserito sulla parte superiore del filatoio da cui veniva tratto un capo da agganciare all’anellino di scorrimento sul “ring”.

6) La formazione del filo si realizzava nella macchina di filatura (“ring”) dove ogni stoppino, caricato sulla parte superiore della macchina, veniva richiamato da un sottile gancio metallico che scorreva in moto circolare su di un anello fisso d’acciaio (del diametro di alcuni centimetri) al cui centro trovavasi un “fuso” che veniva fatto ruotare su se stesso richiamando continuamente fibra dallo stoppino per avvolgersi attorno. La superficie piana su cui è inserito l’anello (il “ring”) è sottoposta ad un periodico movimento ascendente e discendente atto a distribuire sul fuso – per avvolgimento – un progressivo accumulo di filo alimentato dallo stoppino. L’idea-base del sistema consisteva nell’assottigliamento progressivo dello stoppino attraverso un moto di “trazione” che, associato ad una “torsione”, permetteva alle fibre (inizialmente pressoché parallele) di unirsi a mò di spirale acquistando una rilevante resistenza meccanica a trazione.

7) Dalla macchina di filatura che, è bene precisarlo, ha una lunghezza di molti metri (anche 12-14 metri e più con inserite molte decine di “ring”) possono ottenersi anche centinaia di “fusi/ora” ciascuno con quantità di filo valutabile in decine di grammi. In pratica diventa poi necessario trasferire il filo ottenuto su “coni” di cartone (rocche) atti a consentire una adeguata continuità nelle lavorazioni a valle. Tale operazione (nota come “roccatura”) si effettua con macchine in cui il filo transita dai fusi sottili a coni (generalmente di cartone) sui quali può venir trasferito – in tempi ridotti – anche un Kg e più di filato.

8) Altra operazione frequente nelle filature è l’abbinamento di due filati. Tale operazione (binatura) comporta il trasferimento contemporaneo dei filati di due rocche ad una terza da cui – accoppiati – vengono assieme ritorti (torcitura) con tecnologie sostanzialmente analoghe alle precedenti.

9) Nell’area laniera (prevalentemente) è frequente presentare i filati non solo “in rocche” ma anche sotto forma di “matasse”. Tale operazione – generalmente –

prevede di disporre già del filato in rocche (e pertanto sotto forte tensione) per poi trasferirlo nelle “matassatrici” dove le tensioni sono decisamente inferiori e quindi atte a meglio sopportare il successivo “stress” tintoriale. Può infatti accadere che il “bagno di tintura” ed il successivo asciugamento inducano un restringimento (“ritiro”) del filato tale da condizionarne le proprietà fisiche al punto da determinare rotture e/o sfilacciamenti.

10) Durante ma soprattutto al termine del ciclo lavorativo di “filatura” il prodotto subisce un controllo statistico per verificarne l’aderenza alle richieste standard del mercato. Le analisi di laboratorio sono continue – lotto per lotto – lungo tutto il percorso operativo e prevedono analisi a campione su:

a) caratteristiche della materia prima: uniformità della fibra, pulizia, lunghezza, % umidità, ecc.;

b) adeguamento agli obiettivi standard di reparto: regolarità del “titolo” (peso per unità di misura espresso in gr/m ovvero in pound/yard), numero di rotture (e quindi riannodature) ogni Kg (ovvero ogni 10 pound) di prodotto, ecc.;

c) tenacità del filato (in funzione del suo titolo) espressa come condizione di rottura sotto sollecitazione di un peso prestabilito (rapporto Kg/Ne dove Ne sintetizza la dimensione del filo).

Attraverso i controlli sopra-descritti i filati venivano catalogati e trasferiti quindi al magazzino per essere inscatolati e resi pronti per le spedizioni ai clienti.

La logica del processo suindicato era già chiara e ampiamente applicata (seppur con macchine rudimentali molte delle quali realizzate in legno) da molti secoli ma fu tra il 1500 e il 1600 che, in tutti i campi del sapere tecnologico, maturò un generale progresso supportato da basi scientifiche rigorose. Anche il mondo tessile ne profitò e si produssero macchine non più attivate solo dal lavoro umano e/o animale bensì – l’idraulica in primis e la termotecnica subito dopo – si sostituirono progressivamente alla pesante fatica delle persone. Ciò permise non solo un rilevante sviluppo in termini di “quantità” ma anche di esattezza e precisione esecutiva. Ricordiamo Heinrich Schickardt che, sul finire del 1500, progettò in tre fogli uno schema per la torcitura della seta mettendo chiaramente a fuoco gli elementi meccanici principali. L’Italia, in particolare, emergeva per la vasta diffusione di attrezzature meccaniche e/o idrauliche che attiravano l’attenzione di validi tecnici europei pronti a trasferire le tecnologie innovative nei loro Paesi.

Progressivamente (1600-1700) il maggiore sviluppo della tecnologia (tessile ma non solo) si ebbe in Francia, Germania e Inghilterra: fu proprio sul finire del 1700 che comparvero – anche con funzione di apprendimento scolastico – i primi testi

di meccanica tessile a cui si aggiunsero poco dopo le pubblicazioni concernenti le tecniche tintoriali.

Il settore tessile che, con l'alimentare, costituisce fattore di quotidiano uso e consumo per l'umanità coinvolge una serie rilevante di attività: dalle fibre (naturali, artificiali, sintetiche, ...) alla filatura, dalla tessitura alla tintoria e/o stampa sino alla confezione e distribuzione sul mercato esso attiva e rinnova quotidianamente un volume di interessi tecnico-economici di estrema rilevanza sia finanziaria che scientifica.

Fu proprio in quel periodo pre-rinascimentale che le macchine in genere e le tessili in particolare (per filatura, tessitura, tintoria, ...) vennero studiate, progettate con cura e proposte ad un mercato non più prevalentemente artigianale ma anche industriale. Si definivano con chiarezza le linee logiche più idonee per progettare e costruire filatoi ("rings"), orditoi, telai, finissaggi, mezzi di tintura e stampa: l'attività si trasformava progressivamente da artigianale ad industriale. Ciò accadeva particolarmente in Germania, Francia ed Inghilterra ... ma anche in Italia. Le produzioni diventavano seriali, i volumi aumentavano e le tipologie dei tessuti nonché le loro fantasie (di intreccio, di colore, di stampa, ...) si arricchivano di sempre maggiori caratteristiche e proprietà.

Le tecniche gestionali delle aziende del settore si affinavano progressivamente anche per la fisiologica pressione della forza lavoro che doveva sostenere volumi produttivi sempre più ampi e variegati. Sorsero nuove esigenze produttive, nuove tecniche organizzative del lavoro, nuove possibilità di ampliamento dei mercati e – negli ultimi due secoli – anche la tecnologia delle fibre si è sviluppata in modo rilevante. Alle fibre naturali (cotone, lana e seta) si sono progressivamente affiancate – grazie allo sviluppo della chimica – le fibre "artificiali" (rayon, viscosa, ecc.) e le "sintetiche" (nylon, acriliche, poliesteri, ecc.) dotate di eccellenti proprietà chimico-fisiche: si stima che senza l'ingresso sul mercato delle fibre chimiche la disponibilità di "tessile naturale" non sarebbe oggi sufficiente a far fronte alle odierne esigenze dell'umanità.

L'ingresso delle fibre chimiche ha richiesto un sostanziale affinamento della tecnologia mecano-tessile: le loro proprietà sia fisiche che chimiche esigono ed impongono soluzioni industriali più raffinate. Soltanto negli ultimi decenni (1950-2010) la capacità produttiva dei nuovi impianti e le proprietà chimico-fisiche delle nuove fibre hanno permesso di sostenere la "domanda" di un mercato mondiale che – in mezzo secolo – è più che raddoppiata sia in termini di consumi personali che di sempre nuove esigenze tecnologiche.

In tutti i segmenti dell'ampio e complesso ciclo industriale (dalla produzione del filo al tessuto pronto per l'uso) si sono avute innovazioni tecniche rilevanti in termini sia di proprietà intrinseche del prodotto (da fibra a filo e

quindi a tessuto e poi a manufatto), sia di volumi (in Kg/ora e mt/ora) e sia di produttività (in mt o Kg per unità produttiva).

## La filatura moderna

Quanto sopra ricordato accadeva (e in qualche parte del mondo accade ancora ...) sino a circa cinquant'anni fa ... Cosa è dunque cambiato nel settore in quest'ultimo mezzo secolo? Lo schema logico permane sostanzialmente invariato ma le macchine hanno subito trasformazioni sostanziali sia sotto l'aspetto della potenzialità di lavoro che della sicurezza, della minor rumorosità e – grazie all'ingresso rilevante dell'elettronica – anche nell'ambito dell'efficienza, degli automatismi e del controllo sulla qualità del prodotto.

Il punto focale del progresso tecnologico si riscontra nell'area della trasformazione della fibra (di taglio cotoniero o laniero) da nastro (cardato e/o pettinato) direttamente in filato (open-end). Ciò grazie al superamento del glorioso binomio “fuso ed anello” sostituito da un piccolo guscio metallico – conformato a “pera rovescia” e sostenuto dal banco di filatura – che, in intenso moto rotatorio sul proprio asse, pur scompaginando le fibre in ingresso le convoglia al foro di uscita inferiore da cui, grazie ad un iniziale filo di innesco preesistente, viene trascinato direttamente sulla rocca sottostante che lo raccoglie.

Per avere la percezione del progresso raggiunto si è verificato – grazie alla collaborazione di quattro aziende cotoniere europee di media dimensione attive nella fascia del filato cotoniero di alta qualità che hanno sostanzialmente rinnovato i loro impianti negli ultimi venti anni – il confronto del livello produttivo ottenuto con l'ausilio delle nuove tecnologie in uno stabilimento “standard”.

Anno	Ne medio (titolo)	Produz. (Tonn/anno)	N° addetti	N° telai	Area utile complessiva	Potenza impiegata (Kwh/Kg)
1970	40	ca. 800	240 (3 turni)	140	4500 mq	ca. 12
2010	40	ca. 1200	130 (4 turni)	80	3100 mq	ca. 9

*Nota:* è opportuno ricordare che l'unità di misura standard nel campo cotoniero si esprime in Ne (numero inglese) o in Nm (numero metrico).

*TITOLO DEI FILATI ovvero unità di misura dei filati.*

“Titolo” o “Numero” di un filato è l’unità di misura tipica della categoria ed è espresso come il “rapporto esistente tra la lunghezza ed il suo peso”. È opportuno precisare che due sono i sistemi per indicare la “dimensione” di un filo: nel primo, applicato a cotone, lana, lino e schappe, il termine che esprime il peso è fisso e variabile quello che esprime la lunghezza. Nel secondo, applicato solo alla seta e ai fili continui, è fissa la lunghezza e variabile il peso. Pertanto nel primo caso, se si comparano due filati della stessa materia ma di diversa grossezza, il più grosso risulterà il meno lungo. Viceversa, nel secondo metodo, il più voluminoso sarà anche il più pesante. Entrando in analisi è bene precisare che:

**TITOLO del COTONE:** è il numero indicante quante matassine occorrono per formare un determinato “peso fisso”. In particolare si ha:

- Numerazione Inglese (Ne): il peso fisso è di “una libbra” (= 0,4536 gr) e la matassina standard misura 800 yards (1 yard = 0,915 m) pari a 768 m. In pratica un filato di cotone è di “Ne 1” quando ad ottenere il peso di una libbra basta una sola matassina; sarà di “Ne 2”, “3”, ecc. quando a formare il peso di una libbra occorrono 2, 3, ecc. matassine;

- Sistema francese o chilogrammetrico (Nm): il peso fisso è di  $\frac{1}{2}$  Kg e la matassina di riferimento è di 1000 m. Pertanto una matassina avrà Nm 1 quando 500 m di filo pesano 500 gr, sarà Nm 2 se per ottenere  $\frac{1}{2}$  Kg occorrono 2 matassine, sarà Nm 3 se per avere un peso sempre di  $\frac{1}{2}$  Kg necessitano 3 matassine, ecc.

**TITOLO della LANA:**

- Numerazione Inglese (Ne): il peso di riferimento è sempre “una libbra” ma la matassina misura 560 yards cioè 512,064 m. Il filato è di “Ne 1” se a formare il peso di “una” libbra occorre un sola matassina, sarà del Ne 2 se ne occorrono due, e del Ne 3 se ne occorrono tre, ecc.

- Sistema internazionale o chilogrammetrico (usato specialmente per la lana pettinata): il peso di riferimento è di “un Kg” e la matassa di “1000 m”.

**TITOLO del LINO:**

- è ancora usato il sistema inglese ove il peso fisso è di “una libbra” (pari a Kg. 0,4536) e la matassina (in gergo chiamata “cut”) misura 300 yards pari a 274,32 metri.

Le fibre chimiche dal “rayon” al “nylon”, “poliestere”, “acrilico”, ... che hanno la possibilità di essere impiegate sia in “filo” che in “fiocco” seguono abitualmente i criteri di misura tipici usati per le storiche fibre naturali. In definitiva quale che sia l'unità di misura usata resta il principio che più alto è il “titolo” più sottile è il “filo”.

È opportuno, addentrandoci lungo l'interessante percorso della trasformazione da fibra a tessuto finito, menzionare lo sviluppo poderoso che – nel corso di alcuni decenni – si è avuto con la straordinaria, massiccia introduzione nel settore di molteplici nuove fibre con peculiari caratteristiche prestazionali che hanno influenzato notevolmente lo sviluppo della tecnologia del settore.

### **Menzione delle fibre tessili attualmente disponibili**

Si è già ricordato che per millenni l'umanità ha convissuto – utilizzandole con profonda sapienza – solo con le fibre di origine “naturale” come:

- A - fibre animali: lana di pecora, peli di cammello, cavallo, coniglio d'angora, ...
- fibre di seritteri: varie qualità di seta, ...
- fibre vegetali: cotone, canapa, juta, ramiè, ...
- fibre minerali: amianto, ...

Nella seconda metà dell'800 si ebbero le prime sperimentazioni per l'ottenimento di fibre artificiali che, malgrado alcune iniziali incertezze sulle loro applicazioni (resistenza meccanica, tingibilità, comportamento all'usura, ... ), si affermarono decisamente all'inizio del '900:

- B - fibre chimiche organiche da polimeri naturali (fibre artificiali) come:
  - fibre di cellulosa: procedimento alla viscosa
  - procedimento cuproammoniacale
  - fibre cellulosiche ad alto modulo elastico ad umido
  - fibre di cellulosa acetilata, acetato, triacetato, cotone acetilato, ...
  - fibre di proteine rigenerate, fibra alginica, fibre di gomma, ...

Successivamente (intorno agli anni 1930-'40) si svilupparono le fibre sintetiche (nylon e seguenti) che espressero subito caratteristiche di resistenza all'usura eccezionali talchè sia nell'area dell'abbigliamento che in quella dell'arredamento e degli usi industriali si proposero come componenti molto valide ed apprezzate:

- C - fibre chimiche organiche da polimeri sintetici:
  - fibre poliammidiche: poliammide “6.6.”, “6”, “11”,
  - poliammidi aromatiche, quiana, poliureiche, poliuretaniche “Elastan”,
  - fibre viniliche: clorofibre, cloruro di polivinile, cloruro di vinilidene, ...

fibre modacriliche: copolimero di cloruro di vinile e acetato di vinile ...  
 fibre acriliche: orlon, dralon, zefran, leacril, velicren, darvan, vinital, ...  
 fibre poliestere: terital, terilene, dacron, ...  
 fibre olefiniche: polietilene, polipropilene, fluorofibra, ...  
 altre fibre organiche: gomma sintetica, fibra polistirenica, fibra trivinilica, ...

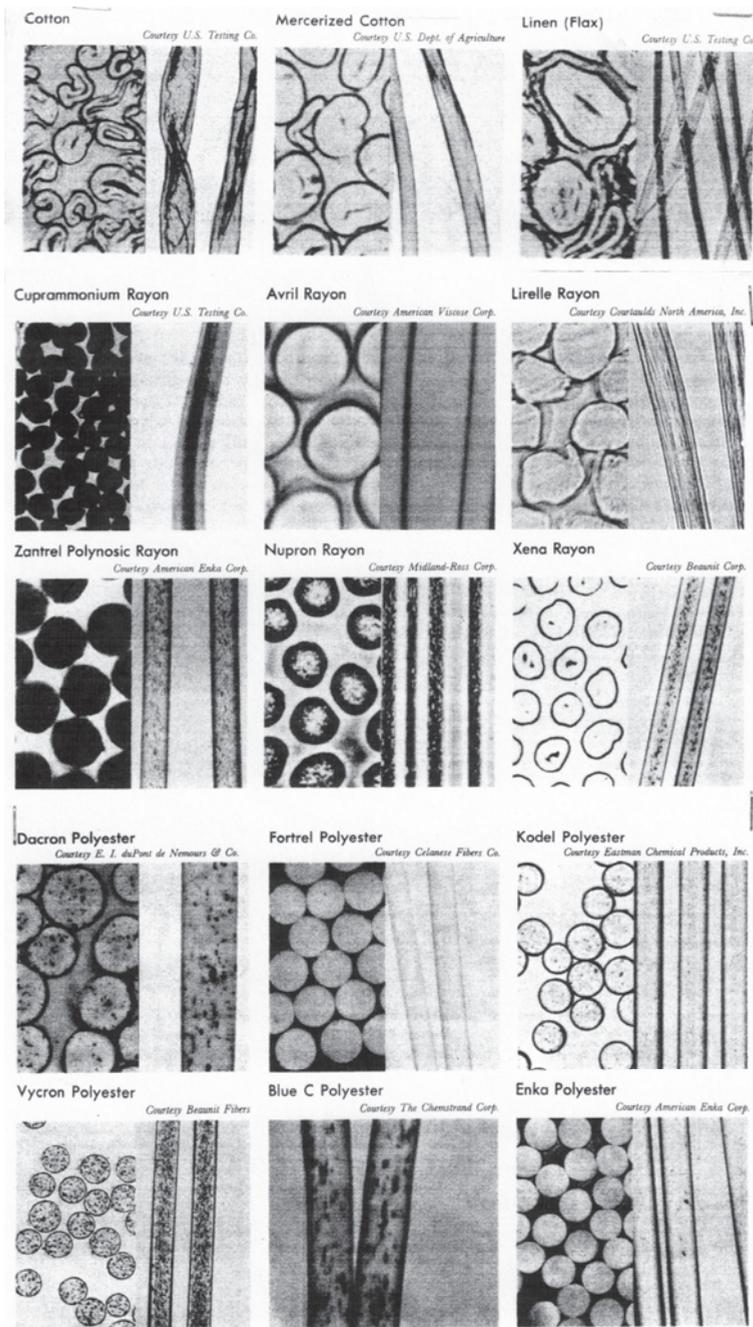
Il successo tecnico e commerciale delle fibre chimiche già menzionate ha continuato a stimolare la ricerca nell'ambito di altre aree potenzialmente suscettibili di fornire materiale tessile innovativo come:

D - fibre chimiche inorganiche da polimero sintetico:  
     fibre di vetro tessile, da carbonio, da metallo, ...  
     fibra metallizzata, ...

Il contributo della ricerca sia scientifica che tecnologica e industriale ha dato al settore uno spazio applicativo di incalcolabile valore: basti pensare che “se” non ci fosse stato il supporto della fibre artificiali e sintetiche l'umanità avrebbe sofferto una crisi gravissima per carenza di materiale tessile naturale. Basti pensare che un secolo fa la popolazione mondiale contava circa tre miliardi di persone contro gli oltre sette miliardi attuali e – certamente – il livello di materiale tessile oggi richiesto in “tutti” i settori produttivi (non solo per abbigliamento) è di gran lunga aumentato: cosa sarebbe accaduto al mercato in tali condizioni? Che prezzi avrebbero raggiunto lana e cotone in tale situazione non potendosi significativamente incrementare le superfici agricole dedite agli allevamenti e/o alla coltivazione del cotone?

Non dimentichiamo che attualmente l'umanità necessita più del doppio dei generi alimentari quotidianamente richiesti un secolo fa ... e, fortunatamente, anche il settore tessile (sia per abbigliamento che per esigenze di arredamento ed industriali) ha potuto soddisfare le enormi richieste del mercato grazie alle fibre artificiali e sintetiche.

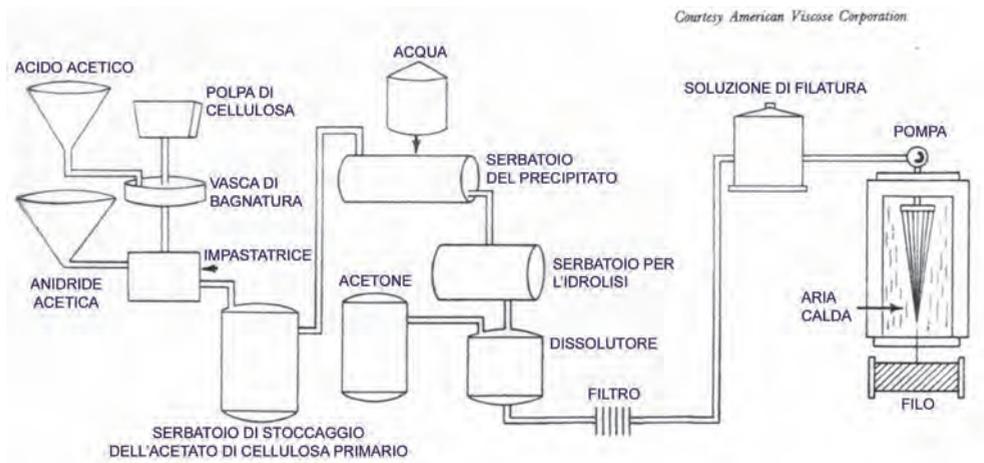
Nell'allegata figura n. 1 si riportano alcune espressive sezioni di fibre naturali e non. Le figure n. 2a e 2b riportano la sequenza logica dei cicli produttivi del filo “rayon” al cuprammonio e dell’“acetato di cellulosa”. Le figure n. 3, 4 e 5 esprimono in sintesi la sequenza delle principali operazioni a cui vengono sottoposte le fibre di cotone (o viscosa, poliestere, o altra fibra “corta”) da fiocco a filato. Le figure n. 6 e 7 evidenziano la sequenza di fasi operative che trasformano la fibra da “fiocco” in “filato”. Tale procedimento evidenzia la linea produttiva “tradizionale” che è ancora oggi concettualmente valida ma le singole macchine ivi schematizzate hanno oggi prestazioni di gran lunga superiori.



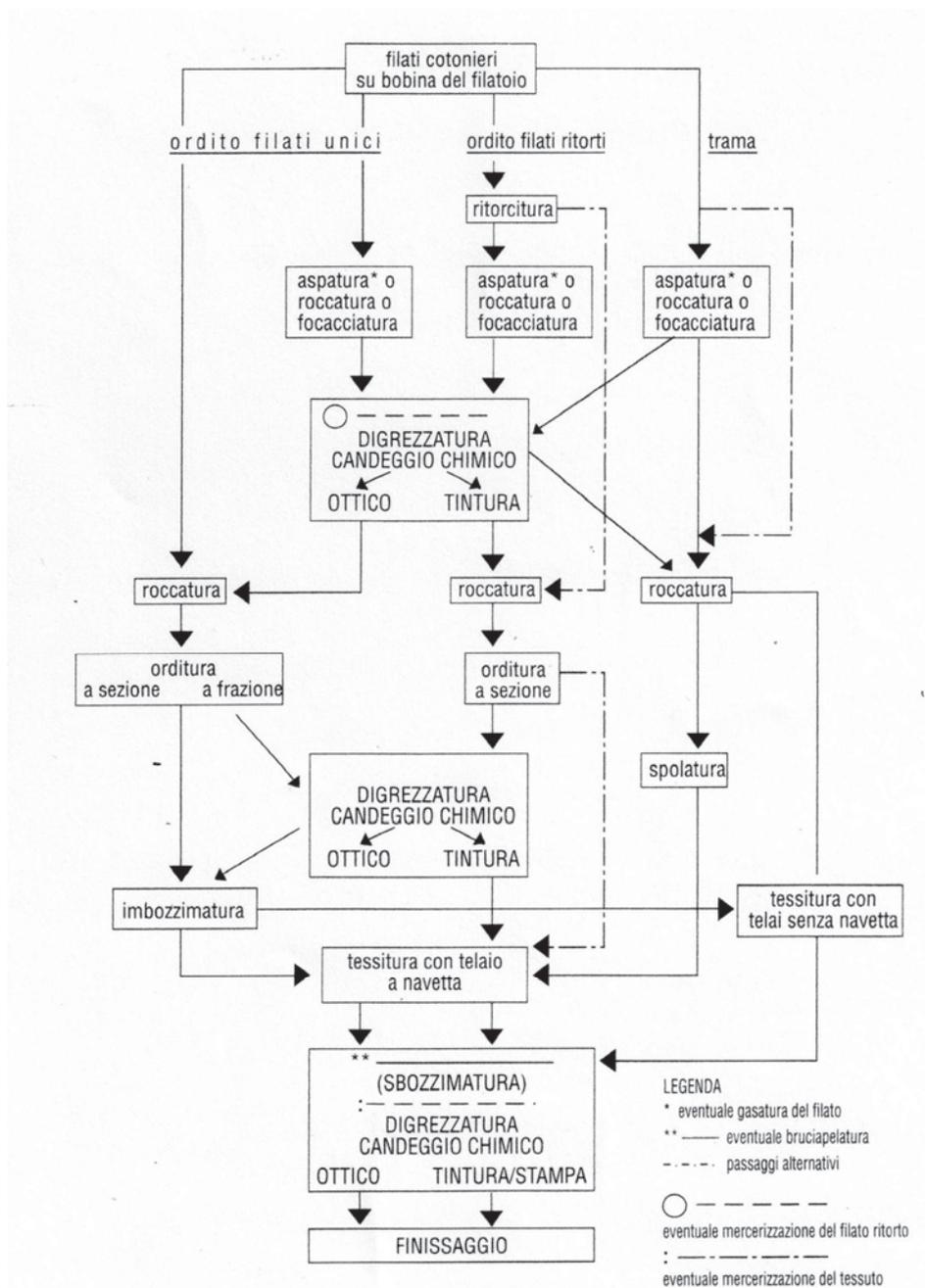
**Figura 1.** Esempi di sezione di varie tipologie di filati naturali e sintetici.



**Figura 2a.** Schema del processo industriale per il filato di rayon al cuprammonio.



**Figura 2b.** Schema del processo per la produzione dell'acetato di cellulosa.



**Figura 3.** Diagramma generale di produzione dei tessuti trama/ordito. *Nota* - Si fa presente che quando le operazioni ad umido vengono effettuate ad un dato punto del diagramma, le stesse non vengono ripetute successivamente.

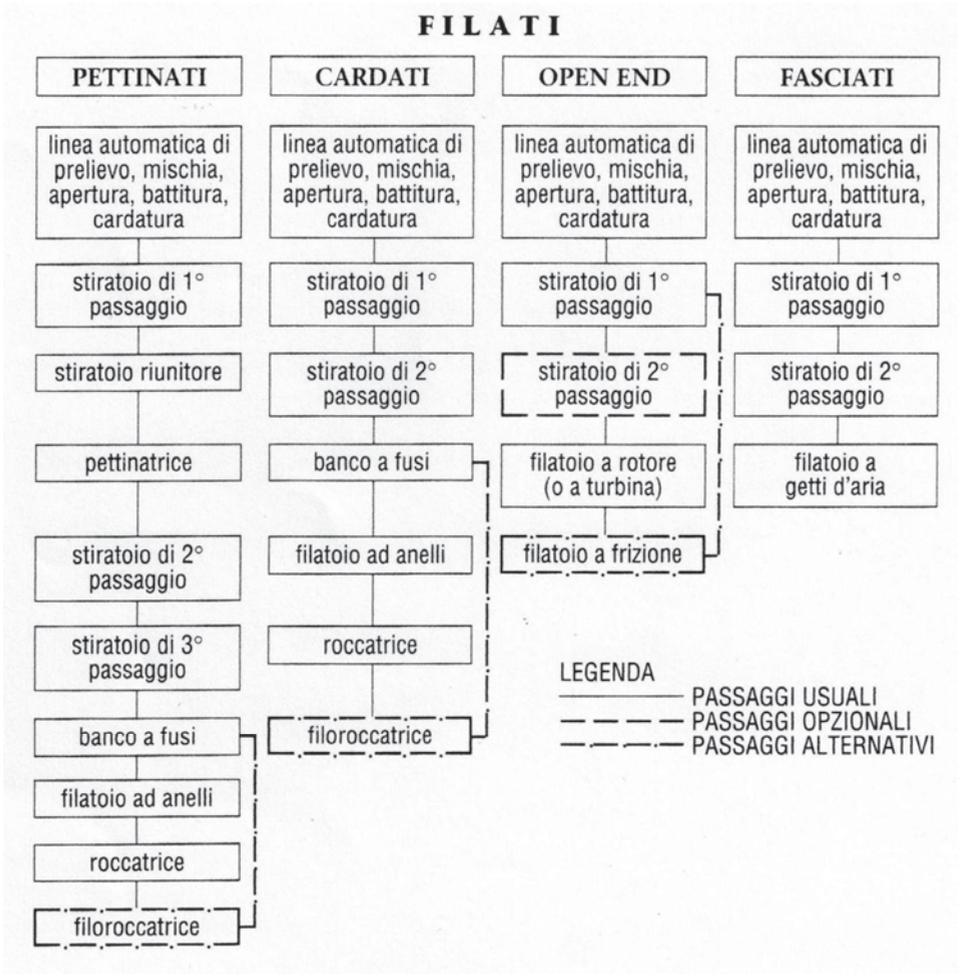


Figura 4. Linea di macchine nei cicli di filatura cotoniera.

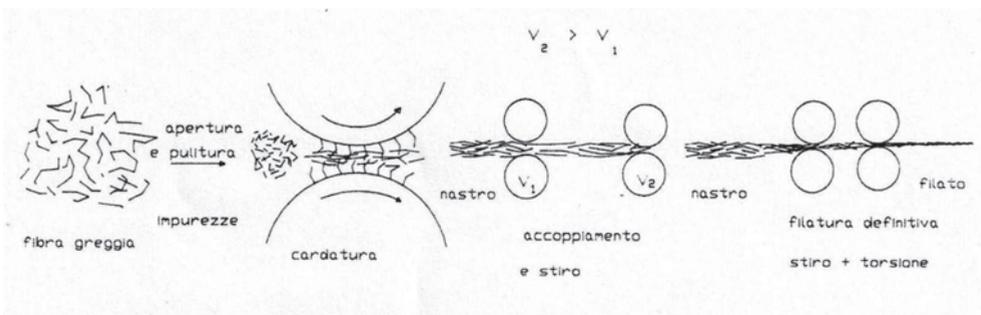
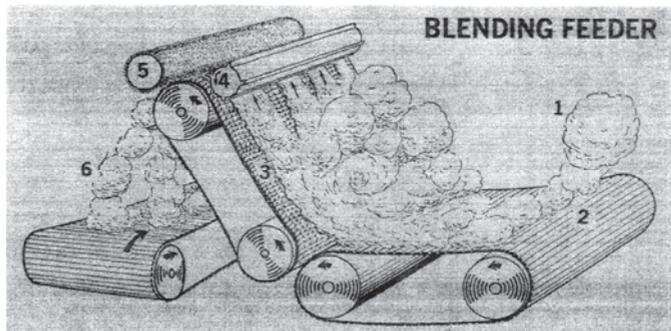
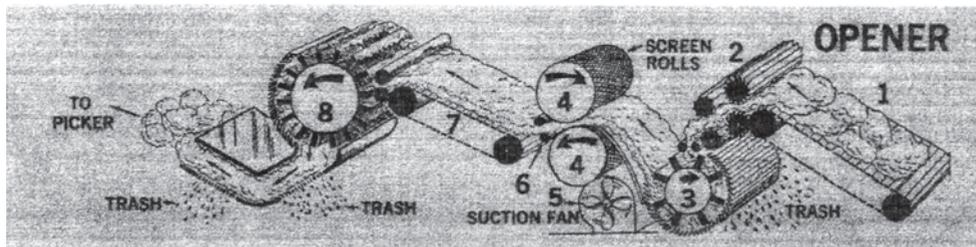


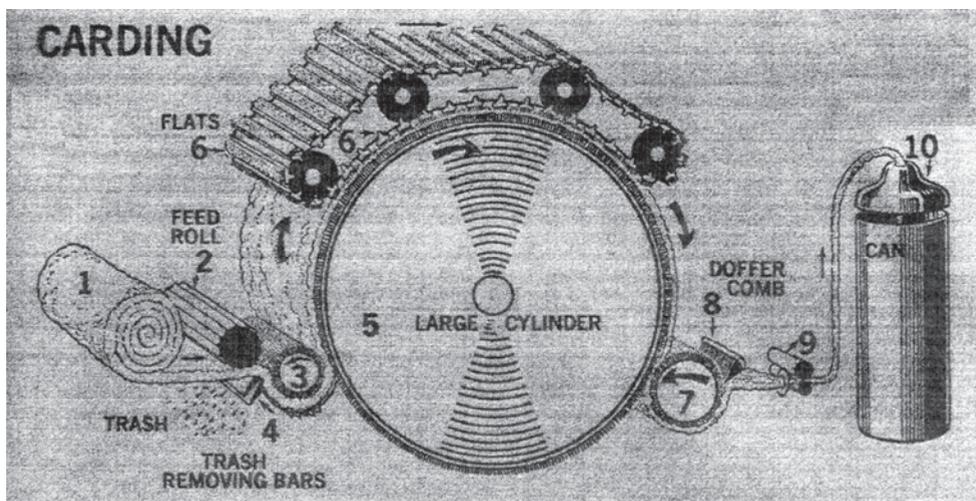
Figura 5. Schema semplificato delle preparazioni base di filatura meccanica.



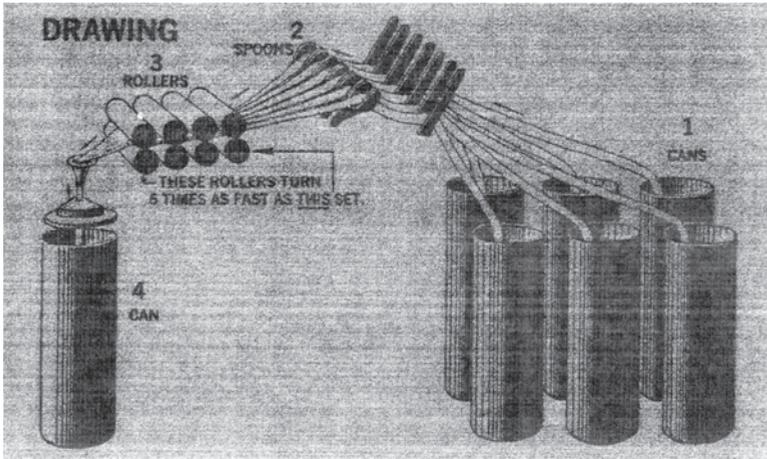
**Figura 6a.** Alimentatore della fibra: (1) alimentazione, (2) trasportatore, (3) miscelatore, (4) e (5) distributori, (6) trasportatore al processo di filatura. [Courtesy of Bibb Manufacturing Co.]



**Figura 6b.** Apritoio: (1) (2) e (3) alimentatori, (4) cilindri protettori, (5) aspiratore, (6) regolarizzatori, (7) nastro di trasferimento, (8) battitore che porta alla selezione.



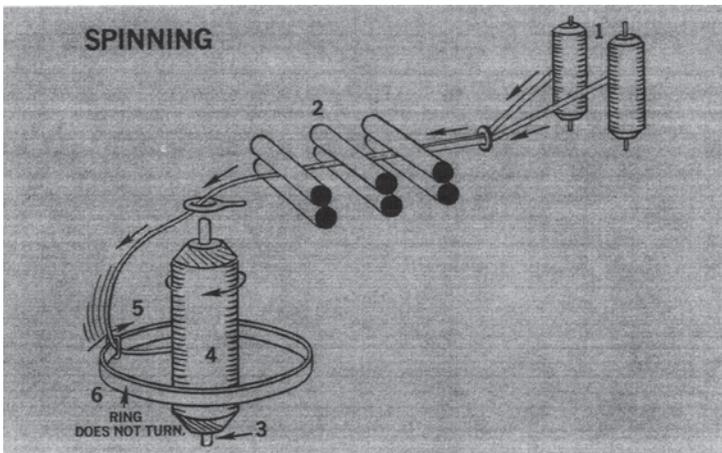
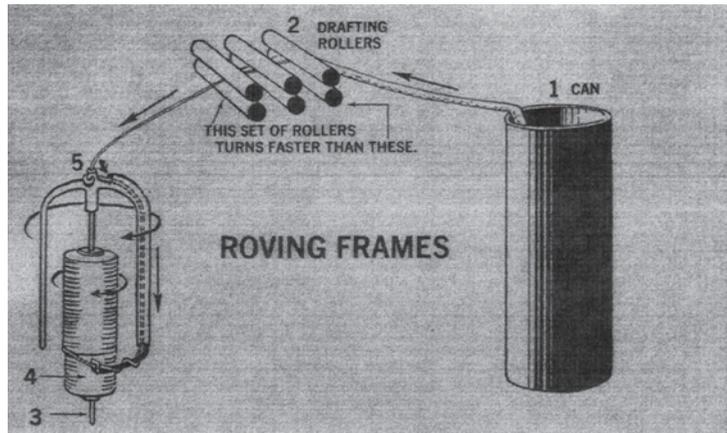
**Figura 7a.** Cardatura: (1) falda, (2) e (3) alimentatori, (4) rimozione degli scarti, (5) grande cilindro, (6) regolatore, (7) separatore, (8) pettine regolatore, (9) riunitore delle fibre e formazione del nastro, (10) contenitore del nastro. [Courtesy of Bibb Manufacturing Co.]



**Figura 7b.** Stiro: (1) contenitori (sei o più) (subbi), (2) porgitori, (3) rulli di stiro veloci (il rullo uscente ha le stesse dimensioni di quelli di alimentazione), (4) contenitore del nastro.

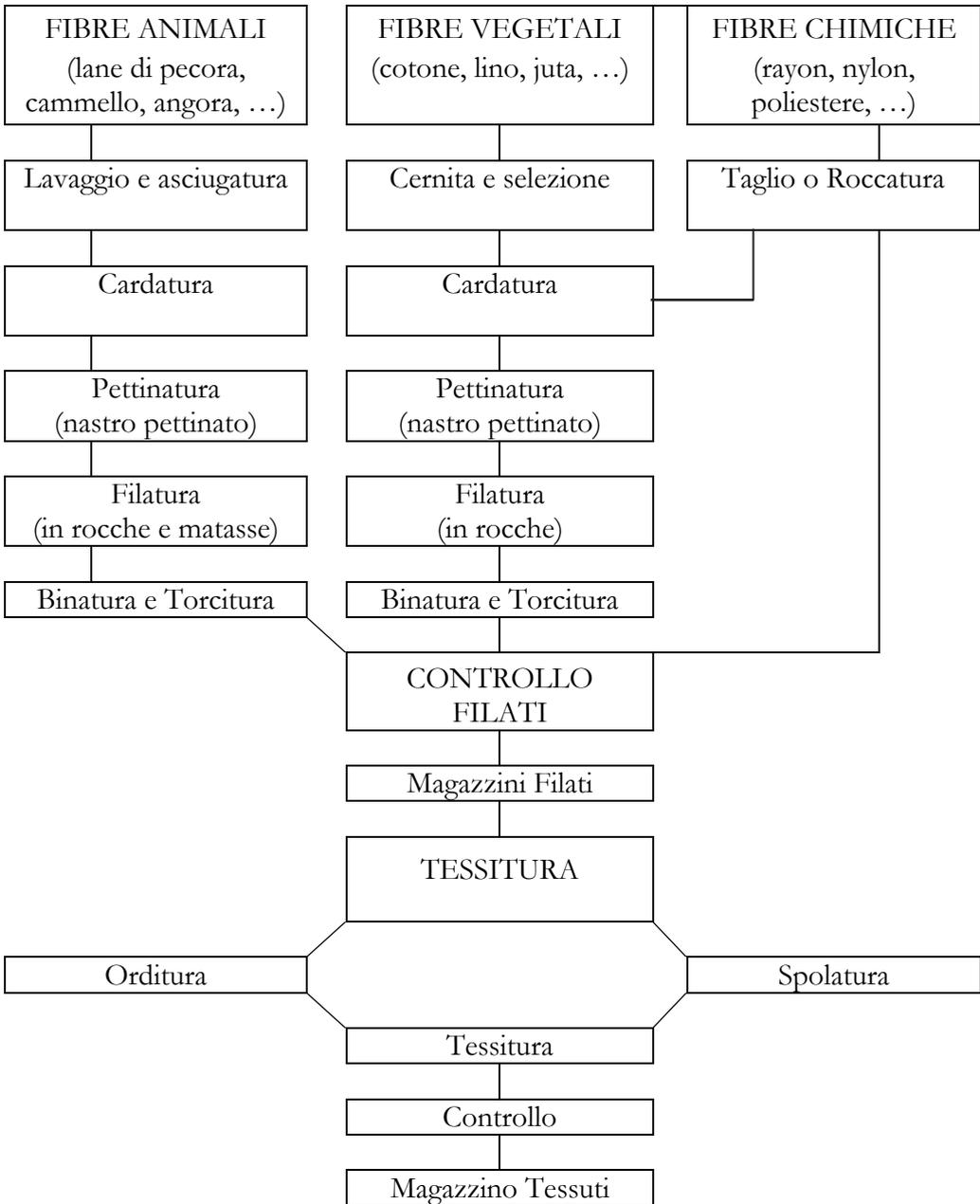
**Figura 7c.** Prima torcitura del nastro: (1) contenitore, (2) cilindri a trazione progressiva, (3) fuso bobinatore, (4) bobina, (5) ala.

[Courtesy of Bibb Manufacturing Co.]



**Figura 7d.** Spinning: (1) bobine, (2) cilindri di trazione, (3) fuso, (4) bobina, (5) anello mobile, (6) anello fisso.

SCHEMA GENERALE DEL CICLO TESSILE



## La tessitura

L'operazione consiste nell'intrecciare un insieme di fili paralleli (denominati "ordito") di lunghezza rilevante (anche Km) arrotolati su un "rocchetto" di notevoli dimensioni (tecnicamente denominato "subbio": vedi Fig. 8) e di considerevole peso (dell'ordine del quintale e più) con altri fili (denominati "trama") che, prelevati da "rocche" o "rocchettoni" (di peso generalmente non superiore a qualche Kg) grazie alla "pinza" di un apposito proiettile metallico (di qualche centimetro di lunghezza), vanno ad inserirsi nel piccolo interspazio che si crea tra i ranghi dei fili di ordito nel loro progressivo avanzamento (vedi Fig. 9 e 10).

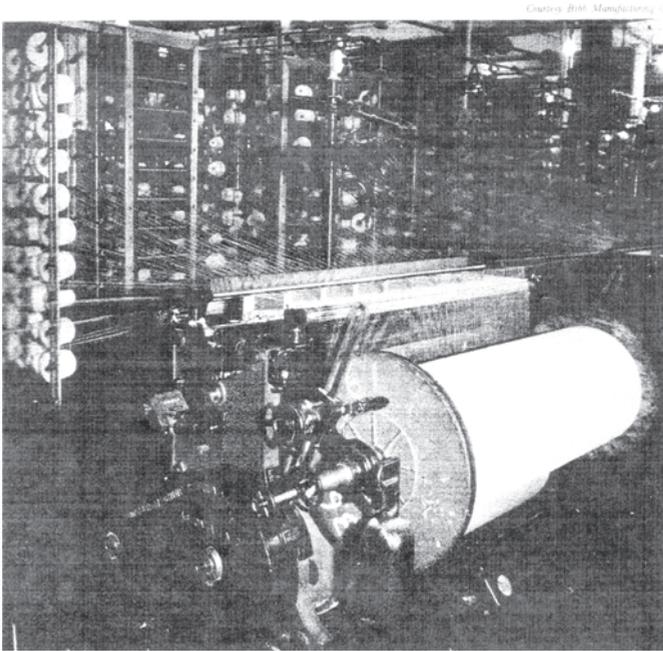
Sino a qualche decennio fa l'inserimento della trama nell'ordito avveniva tramite la storica "navetta" (vedi Fig. 11) – tuttora esistente in qualche parte del mondo – che trasportava, nel suo modesto spazio, un rocchettino di filo del peso di qualche decina di grammi o poco più: la navetta esauriva in breve tempo (dell'ordine di minuti) il suo contenuto con conseguente esigenza di sua costante sostituzione. In pratica l'avanzamento della formazione del tessuto sul telaio era assai lenta richiedendo altresì una sorveglianza assidua da parte delle tessitrici.

Allo stato attuale anche il proiettile è in via di superamento: le ultime esposizioni di macchinario tessile hanno presentato telai con "subbi" lunghi sino a cinque metri e con trame lanciate con sottili getti d'acqua o – meglio – addirittura con flussi d'aria ad alta pressione precisi, silenziosi (solo un lieve fruscio) e rapidissimi.

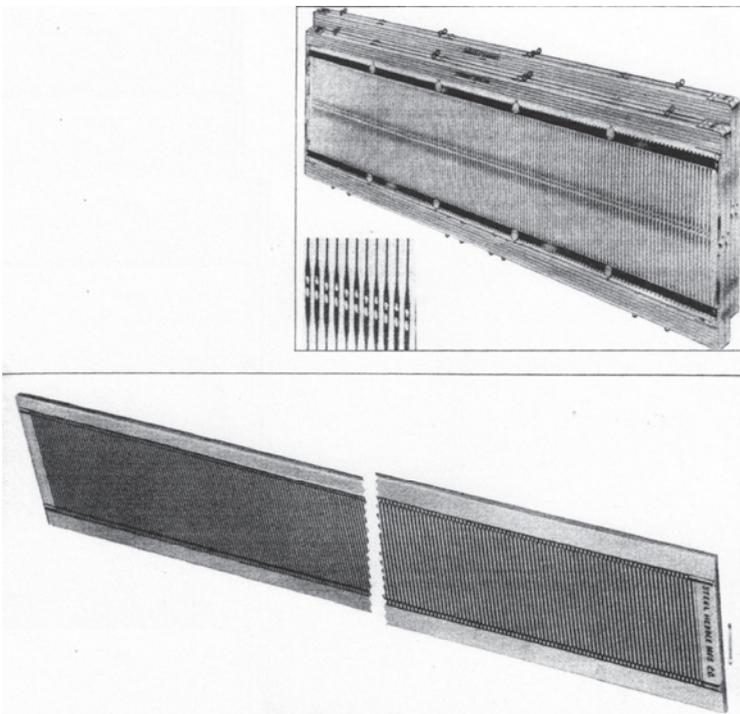
L'evoluzione del settore – come in tutti i campi della tecnologia – ha fatto passi da giganti sia in termini rapidità esecutiva che in sicurezza per le maestranze, nella cura dell'ambiente di lavoro condizionato, non più polveroso e molto meno rumoroso, maggiore autonomia degli operatori che possono comunicare dalla loro posizione di lavoro con tutti gli altri reparti e intervenire velocemente se viene percepito un qualche disservizio e/o scostamento dagli standard qualitativi.

Va da sé che la sala telai è il punto focale di una azienda tessile ma tutto il contesto si è adeguato raggiungendo in ogni segmento efficienza e capacità di controllo soltanto pochi anni or sono insperate.

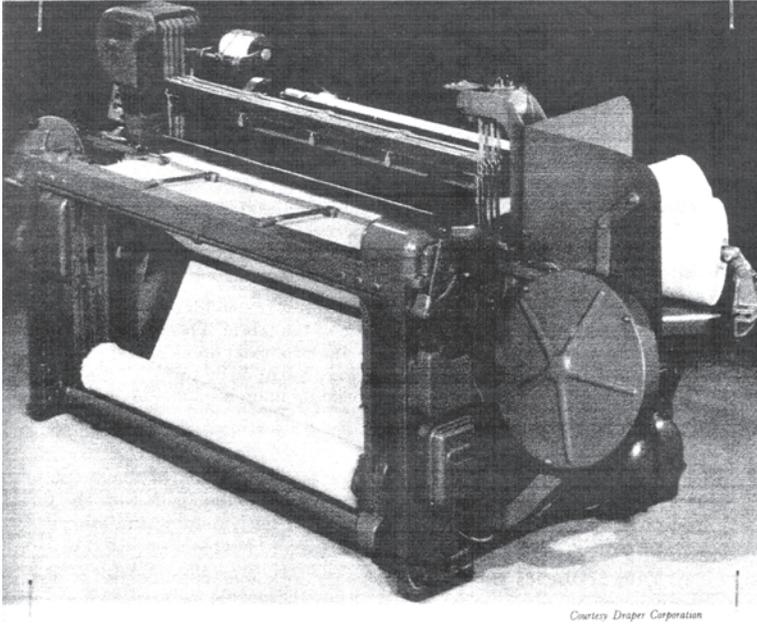
Cosa accade in una odierna tessitura quando – dalle filature – arrivano le scatole con i filati? Tutte le mansioni sono oggi non più manuali: l'immagazzinamento delle materie prime, previo controllo delle quantità, della conformità del prodotto e delle documentazioni amministrative, viene effettuato totalmente con mezzi meccanici suddividendo sin dall'inizio ciò che servirà per l'ordito da quel che sarà utilizzato in trama.



**Figura 8.** Dalle bobine o coni montati sulle cantre i filati vengono raccolti sui subbi per l'ordito.

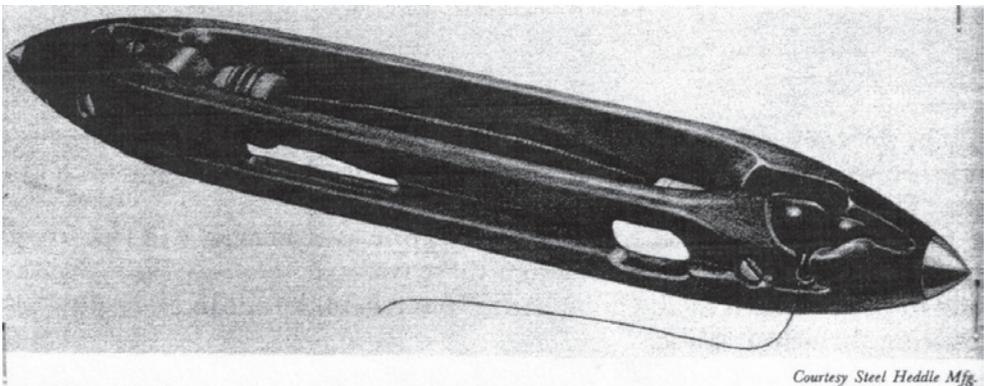


**Figura 9.** I filati di ordito passano attraverso le fessure tra le lamelle. [Courtesy Steel Heddle Mfg. Co.]



*Courtesy Draper Corporation*

**Figura 10.** Telaio tradizionale in funzione. Il subbio di ordito è situato sul retro della macchina mentre il filo di trama è alimentato dalle rocche tramite la navetta.



*Courtesy Steel Heddle Mfg.*

**Figura 11.** Nella navetta è inserito il fuso con il filo che fuoriesce da una fessura laterale. La navetta nel suo movimento lungo il telaio posa il filo di trama tra i fili di ordito che hanno un movimento alternato di elevazione e abbassamento.

L'ordito richiede il trasferimento delle rocche dalle scatole alle cantre, operazione questa che un tempo (sin a qualche lustro fa) veniva effettuata manualmente prelevando le rocche e allocandole sugli appositi appoggi e prendendo con cura – da ciascuna rocca – il filo necessario per alimentare il rullo

dell'orditoio. Oggi esistono strumenti pneumatici che prelevano i capi delle rocche presentandoli – secondo un preciso ordine di sequenza – all'orditoio con un risparmio rilevante di tempo da parte dell'addetto alla preparazione dei subbi per i telai. Tale operazione – assai delicata per la corretta impostazione dell'ordito – richiede oggi, per un subbio alto 240 cm con 12 fili al cm, due operai per meno di tre ore contro oltre cinque ore con tre addetti di venti anni fa.

Le recenti manifestazioni fieristiche del macchinario tessile di Barcellona (ottobre 2011) e di Pechino (marzo 2012) hanno dimostrato progressi rilevanti in tutti i comparti del settore e, per quanto attiene alla tessitura, sono acquisibili telai con fronte di cinque metri capaci di inserire ben trecento trame al minuto guidandole non più con navette tradizionali o proiettili tipo Sultzer bensì con un “soffio d'aria” sottile, preciso, silenzioso ed economico. Caratteristica ulteriore di queste nuove “macchine da tessere” risiede nella possibilità – insita nell'ampiezza del fronte di lavoro di ben “5” metri – di realizzare contemporaneamente due tessuti (ciascuno alto 2,5 m) di pari trama ma diverso ordito. E c'è di più: i tecnici presenti alla dimostrazione asseriscono che – volendo – possono realizzarsi, sempre utilizzando la stessa trama, anche quattro tessuti con quattro orditi differenti.

Dobbiamo ammettere che – di fronte a queste realizzazioni tese a precludere risultati ancora più importanti (e già allo studio: un soffio d'aria sottile ed assolutamente rettilineo che raggiunga “almeno” 8 m) – una sola macchina potrà tra non molto produrre tanto tessuto quanto sa darne “oggi” una tessitura artigianale di media potenzialità dotata di telai “ a proiettile” di dieci anni fa.

Pur con macchine estremamente efficienti è abituale il controllo totale dei tessuti che, completato l'arrotolamento del tessuto sul subbio in uscita dal telaio, si predispongono per le possibili successive lavorazioni. Tale operazione – per secoli – è stata affidata prevalentemente al personale femminile la cui sensibilità e capacità percettiva dava maggiori garanzie di attenzione sullo stato di assoluta uniformità del prodotto e di totale coerenza strutturale ed estetica con il modello “campione”.

Questa mansione è stata effettuata – sino ad oggi – lasciando scorrere il tessuto (di altezza massima non superiore a due metri e mezzo) sul tavolo di controllo ben illuminato e ad una velocità di srotolamento adeguata alla capacità percettiva della persona addetta alla mansione. In pratica, tenendo ben presente la maggiore o minore complessità del tessuto da esaminare, l'operazione veniva (e tuttora avviene) affidata (su due turni di lavoro giornaliero) ad una unità di controllo ogni 6-8 telai operanti su tre turni. Si è già trovata una alternativa – in via sperimentale – al controllo umano dei tessuti grazie a strumenti ottici che istantaneamente confrontano la “pezza” che scorre sul tavolo con un “campione”: i risultati “non” sono oggi del tutto soddisfacenti. Tuttavia la metodologia sarà perfezionata e

diffusamente distribuita perché il controllo dell'occhio umano non potrà percepire difettosità su un tessuto che “dovrà” scorrere a velocità nettamente superiori alle attuali e con un fronte di “5” metri e più ... Si conta di pervenire a soluzioni tecnicamente premianti con opportuni sensori ottici posizionati su ogni tavolo di controllo e connessi con un “calcolatore” che segnalerà – per ogni pezza – tipologia e posizione di ciascun difetto. È altresì già in atto una ricerca per dotare “ogni” futuro telaio di un “sensore - percettore” che segnali immediatamente il formarsi del difetto su “quella” determinata macchina onde consentire ai tecnici interventi rapidi e precisi. Si riportano qui di seguito (Fig. 12) alcuni esempi di ricorrenti “errori di costruzione” che possono verificarsi sui telai:

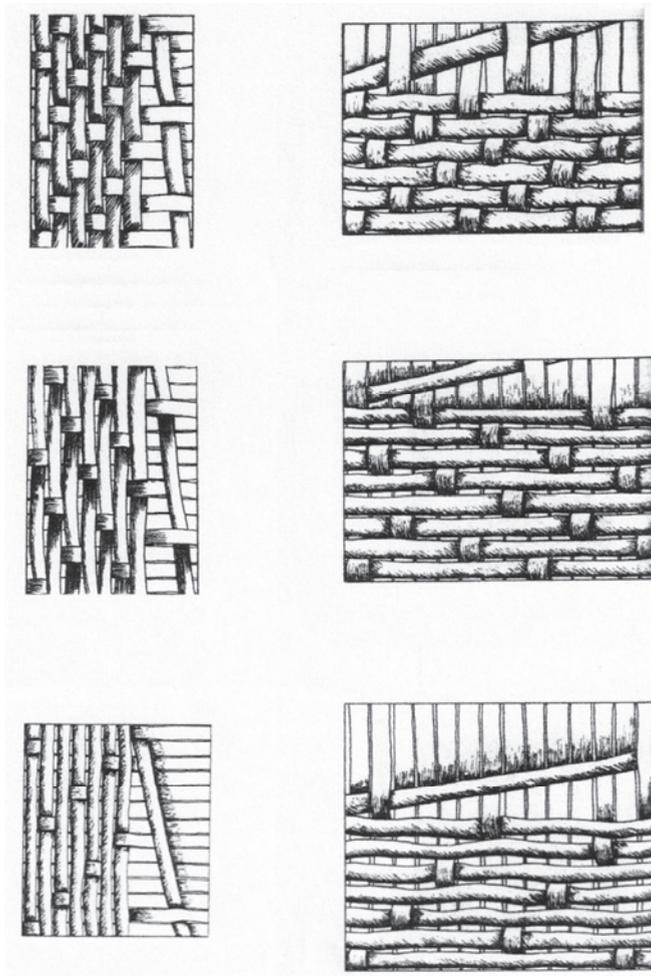
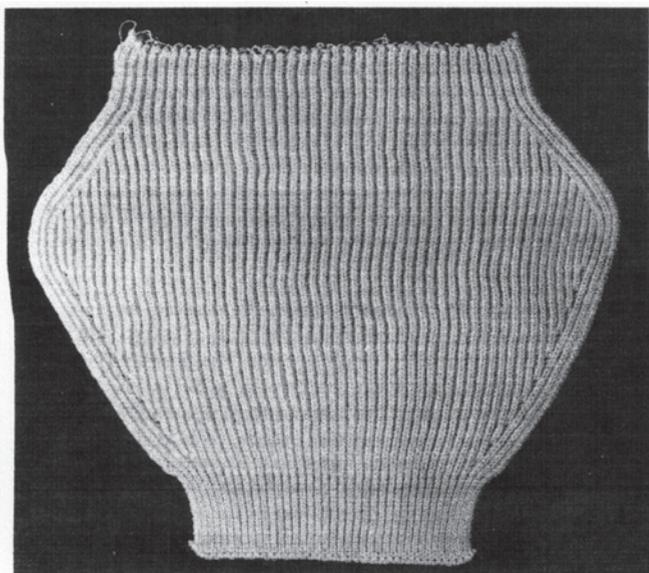


Figura 12. Errori di intreccio.

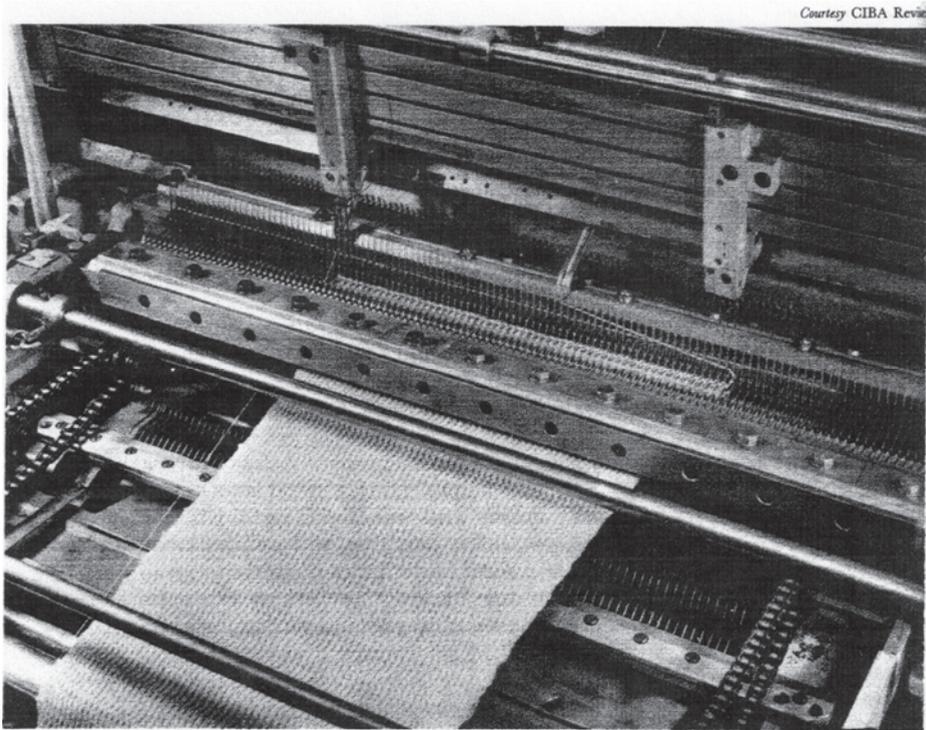
## Maglieria

Nel contesto della tessitura può allocarsi anche la tecnologia della maglieria che – secondo alcuni eminenti studiosi dello sviluppo della civiltà – avrebbe preceduto l'avvento della tessitura a telaio. L'ipotesi è affascinante ed è probabile che – qualche decina di millenni fa – al riparo di una caverna o di una capanna le nostre antenate, munite di due semplici e sottili bacchette di legno, abbiano cominciato ad intrecciare sapientemente “un solo” seppur grossolano filo di lana (probabilmente ottenuto stropicciando tra le mani il vello tagliato a qualche agnello) in modo da ottenere una superficie tessile non particolarmente estesa ma certamente molto utile, comoda da utilizzare (... pensiamo ai pargoli del tempo), facilmente lavabile in un ruscello e atta a giustificare la riunione in piccoli gruppi di più madri o nonne preoccupate della protezione termica dei loro pargoli e non solo.

A differenza della tessitura “tradizionale” che necessita di due elementi basilari (come l'ordito – o “catena”– disposto in senso verticale e la “trama” in senso trasversale) intrecciantisi e tra loro incrociandosi, la maglieria – per realizzare un tessuto – richiede “un solo” filamento da potersi impiegare in una continua anellatura. Caratteristica saliente del tessuto a maglia è la sua “estensibilità” dovuta al suo organo produttivo basilare (l'ago “per maglieria”) che permette la realizzazione di “intrecci curvilinei” in virtù di “maglie” che si sviluppano sia in senso verticale (in catena) e sia in senso trasversale (in trama) (Fig. 13 e 14):



**Figura 13.** Una maglia alla moda fatta con una macchina piatta. [Courtesy CIBA Reviews]



**Figura 14.** Un valido tessuto alla moda a maglia piatta con l'aiuto di un meccanismo a balza. Notare le due barre ad aghi e l'alimentazione del filo.

La possibilità di intrecci è immensa talchè anche in questo comparto si ha una disponibilità di strutture tessili molto fantasiose e disparate partendo dalle strutture di base che sono la “maglia diritta” (formata da un ago anteriore) e quella “rovescia” (realizzata da un ago posteriore, intendendosi con ciò la costruzione della maglia dal retro).

Anche in questo settore l'immaginazione ha dato luogo ad una miriade di alternative che basandosi sulla particolare “elasticità strutturale” del tessuto permette di ottenere dalla maglia “rasata” a quella “a costa”, dalla maglia “incrociata” (interlock) a quella “rovescia” (links) ...

Si possono impiegare anche due o più fili assieme (maglie “placcate”) ottenendo effetti di colore e di fantasia singolari.

Va da sé che l'industria ha sviluppato macchine automatiche con le quali – una volta impostato il modello desiderato e assicurata l'alimentazione dei filati (lanieri e/o cotonieri e anche serici) nei colori previsti – l'avviamento della produzione consente di ottenere quantitativi di “tessuto-maglieria” in quantità rilevanti. Va altresì rilevato che nel settore maglieria sono operanti sia le macchine circolari che

quelle rettilinee e, in entrambi i casi, si possono impiegare filati colorati (in genere non più di sei). È opportuno ricordare che qualora le maglie siano previste “monocolore” possono essere eseguite allo stato grezzo per poi essere avviate al reparto tintoria che provvede a dar loro “la” o “le” tinteggiature richieste. Talvolta il tessuto a maglia può essere sottoposto a stampa.

Va rilevato che i tessuti ottenuti da “maglieria in catena” sono generalmente “indemagliabili” in quanto i singoli ranghi verticali sono interconnessi tra loro orizzontalmente impedendo con ciò la “smagliatura” del manufatto.

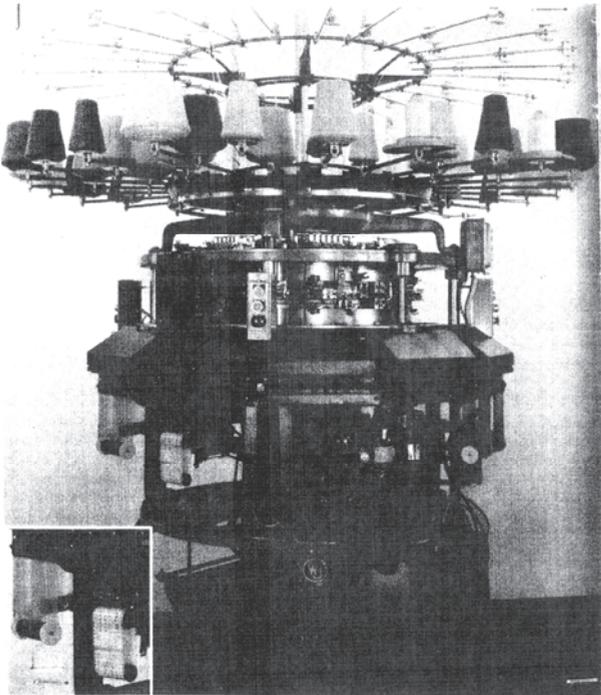
È bene precisare che sulle “macchine” per maglieria gli aghi si muovono individualmente e sono in grado di prendere il filo da soli mentre sui “teli” gli aghi si muovono cumulativamente e necessitano di alimentatori del filo sull’ago. Va da sé che se la disposizione degli “aghi” è su una circonferenza si avrà una macchina “circolare” mentre qualora la disposizione sia lungo una linea retta si avrà una “macchina rettilinea”.

La tipologia degli aghi è svariata: ce ne sono a “becco”, a “linguetta”, a “slitta”, a “moschettone e, ad ogni categoria, si attiene una specifica caratteristica operativa ottenendosi così numerose varianti degli articoli in produzione.

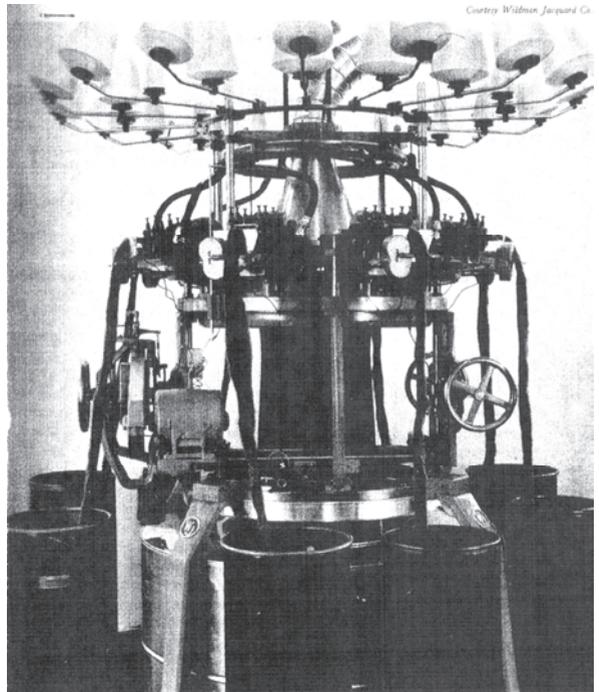
Un altro fattore condiziona l’impiego delle macchine per maglieria ed è la “finezza” intesa come numero di aghi inseriti in una specifica unità di lunghezza. È opportuno ricordarne alcune:

- a) finezza inglese: numero di aghi inseriti in “un” pollice inglese (25,4 mm);
- b) finezza Raschel: numero di aghi che si contano in “due” pollici inglesi (50,8 mm);
- c) finezza gauge: numero di aghi che si contano in “un pollice e mezzo” inglese (38,1 mm);
- d) finezza francese “gros”: aghi che si contano in “un pollice e mezzo” francese (41,7 mm);
- e) finezza francese “fin”: aghi che si contano in un pollice francese (27,8 mm);
- f) finezza metrica (o svizzera o jauge): esprime la distanza tra gli assi di due aghi adiacenti in decimi di millimetro.

Lo sviluppo della tecnologia tessile – anche in questo settore – è rilevante talché le dimensioni dei prodotti realizzati – sia su macchine rettilinee (Fig. 14) che circolari (Fig. 15 e 16) – raggiungono vari metri: una “rettilinea” da sei metri ovvero una “circolare” di oltre un metro di diametro sono nella normalità e, con velocità di alimentazione del filo di decine di metri al minuto, si raggiungono produzioni di svariate decine di “metri/ora” di tessuto a maglia come pure nell’area della maglieria intima e della calzetteria si raggiungono agevolmente centinaia di “pezzi” al minuto.



**Figura 15.** Macchine circolari per maglieria: la figura n. 15 rappresenta una Jacquard a più colori mentre la figura n. 16 realizza un effetto lanoso a pelo lungo.



**Figura 16.** Macchine circolari per maglieria: realizzazione di effetto lanoso a pelo lungo.

*La moquette*

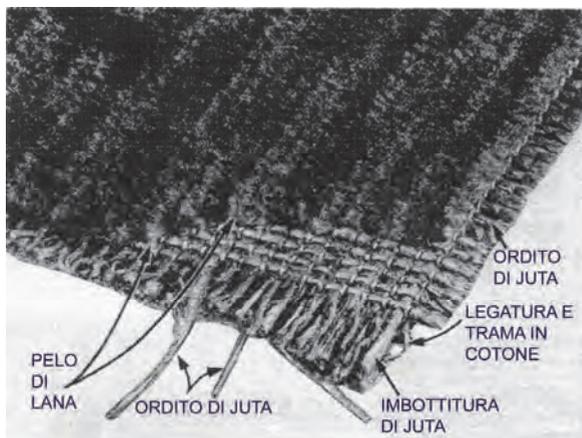
Il rivestimento tessile delle pavimentazioni ha una storia lunga e molto ricca: non v'è dubbio che i nostri progenitori, nelle loro primitive capanne, seppero distendere sul terreno – specialmente nelle aree climaticamente più impervie – ampie pellicce animali per difendersi dal freddo e dall'umidità. Come si sia poi arrivati al “tappeto” e alle sue caratteristiche strutturali ed estetiche non è agevole ricostruirlo: di certo l'origine si è avuta nei paesi orientali dove il nomadismo da un lato ed il rilevante livello economico e culturale raggiunto dalle società extra-europee già alcuni millenni “a.C.” (Cina, Persia, Egitto, ecc.) resero possibile lo sviluppo tecnico ed estetico di tale prodotto.

Il “tappeto” può definirsi come un particolare manufatto che – presentando intrecci di filati disposti in ordito e trama anche su ampie dimensioni – si presta a ricoprire pavimentazioni conferendo ad esse effetti estetici e di isolamento termico molto efficaci.

Il settore – noto con la sigla PTP (Prodotto Tessile per Pavimento) – è in costante sviluppo e la sua produzione, a livello mondiale, si attesta su livelli di incremento di oltre il 20% annuo: se ne comprende quindi l'importanza industriale e commerciale. I telai idonei sono molto larghi e con possibilità di utilizzare filati in molti colori su disegni anche assai complessi.

Due sono gli elementi essenziali nel PTP: il primo (area a pelo diritto altrimenti chiamata “strato di usura”) presenta l'aspetto “velluto” e il secondo l'aspetto “piatto” (vedi Fig. 17, 18, 19 e 20). L'aspetto velluto si attua tagliando la sommità dell'anello fibroso ottenendo così una molteplicità di “fiocchetti” mentre – lasciandolo inalterato – l'anello si mantiene “a riccio”. Per l'estetica si possono anche alternare l'effetto taglio con quello “a riccio” ottenendo caratteristiche particolari.

**Figura 17.** Struttura di un effetto velluto. [Courtesy Mohawk Carpet Mills, Inc.]



Il colore – per le moquettes – ha un valore rilevante sia per l’aspetto puramente estetico e sia per la sua resistenza all’usura e allo sfregamento. Per le dimensioni dei rotoli uscenti dai telai si preferisce evitare la tintura “in pezza” impiegando “filati d’effetto” pre-tinti. Tuttavia le moquettes vengono anche tessute con svariati disegni e, in tal caso, necessitano appropriati telai “Jacquard”. Più frequentemente l’arredamento di particolari ambienti esige moquettes con disegni e motivi predefiniti che richiedono macchine da stampa opportunamente strutturate sia per l’altezza delle pezze e sia per l’ampiezza del disegno: si pensi ad una pavimentazione tessile che debba riportare – con adeguata chiarezza – il nome di una importante società nella sala di ingresso ...

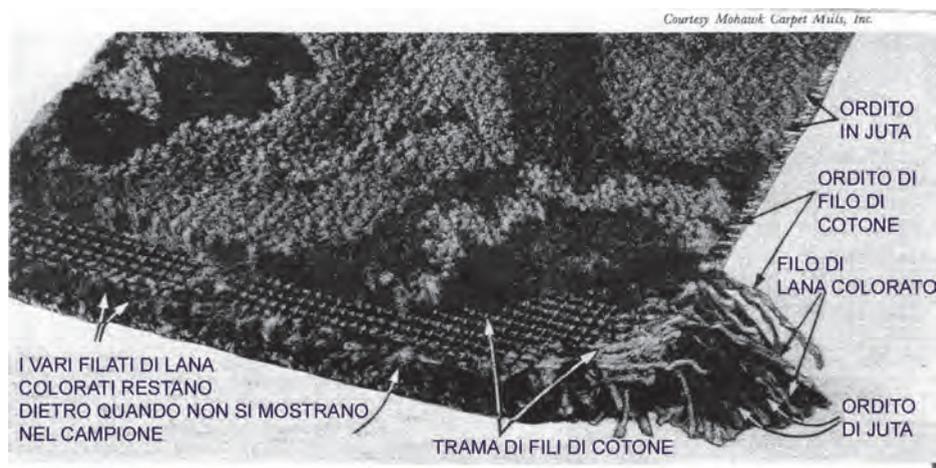
Per superare questa rilevante difficoltà è stata ormai da tempo ideata una nuova tecnica di tessitura PTP (“Axminster”) che permette l’impiego di un elevato numero di colori con effetti estetici eccezionali. Questa tecnologia si esprime con alcune varianti (Gripper, Spool, a Ciniglia,...) e consiste nell’avere – in corrispondenza del pettine – una serie di pinzette (“grippers”) per quanti sono i fili necessari all’altezza di tutto il prodotto. L’alimentazione di questi fili è fornita da una “cantra” che porta il necessario numero di fili moltiplicato per quanti colori sono stati programmati (anche 16 e più). Ogni pinzetta si trova davanti, incolonnati verticalmente, i fili di sua competenza che porgono la loro estremità pronta ad essere pinzata sporgendo da un apposito selettore. Un dispositivo tipo “jacquard” muove tutti i selettori di colore in modo che – ad ogni ciclo – la serie di pinzette si trova ad afferrare la lunghezza ottimale dei fili previsti dal disegno e trattenerli mentre una taglierina lo trancia. Tra i vantaggi di questo sistema c’è che la notevole disponibilità di tanti fili colorati – ciascuno nel suo adduttore – permette agevolmente di cambiare il disegno e/o la gamma di tinte sul tessuto.



**Figura 18.** Dettaglio di una costruzione legata in lana.

È opportuno far presente che alle fibre impiegate per la produzione di tappeti e/o moquettes si richiedono doti chimico-fisiche eccellenti per durata, buona conservazione dell'aspetto, contenutezza dei costi al punto che questo particolare settore diviene un durissimo selezionatore di talune proprietà delle fibre destinate a comporre lo "strato-usura" come: la resistenza meccanica e all'invecchiamento, la resilienza, la stabilità tintoriale alla luce e l'antistaticità. Particolarmente idonee a questa applicazione si sono dimostrate – oltre alla lana – il nylon ed il polipropilene.

Va altresì ricordato che tra le positive proprietà delle moquettes emergono l'assorbimento dei rumori e l'isolamento termico dell'ambiente al punto che – in determinati spazi – vengono utilizzate anche come rivestimento murale. L'oggettivo rischio – in caso di incendio – di propagazione della fiamma viene attenuato dall'uso di fibre modacriliche e all'immissione di particolari sostanze "flame-retardant" (come cariche di allumina idrata) nei lattici del sottofondo delle moquettes.



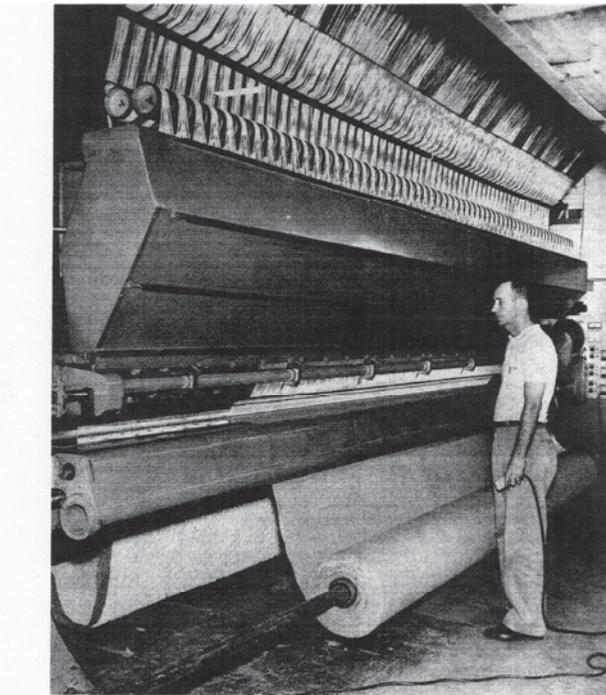
**Figura 19.** Dettaglio di un prodotto tessile per pavimento con filati in lana e ordito in cotone e juta.

## Tintura e stampa dei prodotti tessili

La fantasia umana non poteva contentarsi di intrecciare fili e filati per ottenere tessuti certamente utili e provvidenziali per il comune vivere ma non abbastanza soddisfacenti e gradevoli per assecondare l'individualismo dei singoli e la necessità di distinguersi dal proprio prossimo.

Vivere in un mondo pieno di splendidi colori e non riuscire a conformarvisi adeguatamente dovette apparire ai nostri progenitori una carenza insopportabile: l'ambiente in cui viviamo è pieno di colori che, mutando con le stagioni e durante le ore del giorno, caratterizzano – oltre al paesaggio – sia il mondo animale che

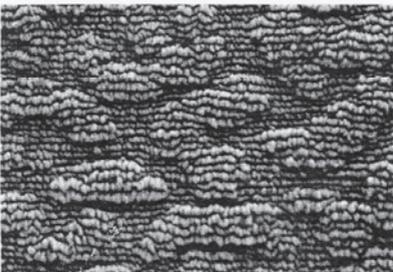
quello vegetale, e propongono soluzioni estetiche eccezionali. Non sappiamo con esattezza chi, quando e come cominciò a procurarsi le sostanze (terree, vegetali, animali, ...) idonee sia a realizzare un prodotto “colorante” e sia a trasferire il colore sulla pietra, sul legno, sul tessuto, ecc. Sta di fatto che – in Cina come nelle Ande, in Africa come in Medio-Oriente e anche nelle remote isole del Pacifico – sono state trovate tracce evidenti di manifestazioni pittoriche risalenti ad alcuni millenni or sono. Sembra che, in Europa, l’uso del colore sia stato impiegato successivamente ma di certo si diffuse rapidamente tant’è che Greci e Latini ci hanno lasciato validi esempi non solo di pitture murali, lignee e ceramiche bensì anche di tessuti sia d’abbigliamento che di arredamento.



**Figura 20.** La macchina per il *tufting* all’opera: si nota come il filato per il *tufting* viene guidato dall’alto al basso per essere punzonato mentre attraversa il tessuto.

In basso: le variazioni nell’altezza del tessuto danno al tessuto variegato un effetto di scultura.

[Photos courtesy Allied Chemical Corporations]



Dopo secoli e secoli di esperienze e messe-a-punto (teoriche e sperimentali) si è addivenuti a definire con chiarezza i requisiti fondamentali richiesti ad una sostanza colorante destinata all'impiego tessile:

- 1) solubilità o disperdibilità in fase acquosa o quanto-meno possibilità di solubilizzazione temporanea in fase di tintura;
- 2) intensità di colorazione;
- 3) capacità di “salita” e “fissaggio” sulle fibre;
- 4) idoneità ad ottenere tinte dotate di sufficiente resistenza (solidità) ai trattamenti chimici e fisici cui le fibre vengono assoggettate nel corso delle lavorazioni o dell'uso.

Esaminiamo brevemente ciascuno dei requisiti suesposti:

**SOLUBILITÀ:** tale proprietà in acqua viene conferita, nella maggior parte dei casi, mediante introduzione nella struttura aromatica di uno o più gruppi solfonici, motivo per cui il colorante è applicato in forma di sale sodico.

Per i coloranti di natura cationica la idrosolubilità si ottiene mediante la salificazione con acidi.

Coloranti insolubili suscettibili di solubilizzazione temporanea nel bagno di tintura e poi ritrasformazione nella forma insolubile all'interno delle fibre sono i ben noti coloranti al “tino” e allo “zolfo” per i quali la sequenza dei passaggi fondamentali che ne governa la applicazione è ben nota.

L'avvento e il sempre maggiore sviluppo delle fibre sintetiche, la più gran parte delle quali ha carattere nettamente idrofobo, ha determinato l'esigenza di studiare nuovi coloranti non solubili in acqua ma in questa disperdibili in modo da formare una dispersione abbastanza stabile ed omogenea. Tali coloranti – denominati appunto “dispersi” – debbono rispondere a numerosi requisiti quali la “finezza” (tra 1 e 4 micron), peso molecolare relativamente “basso”, una adeguata penetrazione nel substrato e una sufficiente solidità alla potenziale “sublimazione”.

**INTENSITÀ di COLORAZIONE:** riguardo alla intensità della colorazione essa è legata alla presenza contemporanea – in una struttura organica – di sistemi a doppi legami coniugati (denominati “cromofori”) e di gruppi accettori o donatori di elettroni (denominati “auxcromi”). La presenza di sistemi a doppi legami coniugati determina – da parte delle transizioni elettroniche – una richiesta di energia inferiore a quella che caratterizza i composti saturi motivo per cui la banda di assorbimento delle radiazioni luminose si sposta nella zona del vicino ultravioletto o del visibile. Tale effetto è denominato “batocromia” mentre l'effetto opposto – vale a dire lo spostamento dell'assorbimento luminoso verso le

lunghezze d'onda più piccole – prende il nome di “ipsocromia”. La tabella che segue riporta le corrispondenze più significative fra le lunghezze d'onda delle radiazioni “assorbite” e quelle “trasmesse”, cioè il “colore visto”:

Lunghezza d'onda della luce assorbita (Angstrom)	Radiazioni assorbite	Colore visto
4000 - 4350	Violetto	Verde giallastro
4350 - 4800	Blu	Giallo
4800 - 4900	Blu verdastro	Aranciato
4900 - 5000	Verde bluastro	Rosso
5000 - 5600	Verde	Porpora
5600 - 5800	Verde giallastro	Violetto
5800 - 5950	Giallo	Blu
5950 - 6050	Aranciato	Blu verdastro
6050 - 7500	Rosso	Rosso aranciato

**CAPACITÀ di SALITA e FISSAGGIO SULLA FIBRA:** fondamentale, per il processo tintoriale, è l'accessibilità al substrato tessile da parte delle molecole coloranti: le indagini condotte con l'ausilio della rontgenografia hanno permesso di stabilire che, a causa della loro massa molecolare, la maggior parte dei coloranti si diffonde nelle fibre soltanto attraverso le zone amorfe. È per tale motivo che le fibre idrofile, rigonfiabili in acqua, sono in grado di accettare agevolmente le molecole coloranti mentre quelle a struttura eminentemente idrofoba (come le poliestere e le poliolefiniche) possono essere tinte solo ricorrendo all'impiego di opportuni rigonfianti ovvero a particolari procedimenti di fissaggio ad alta temperatura.

Per rendersi conto dei rapporti dimensionali che intercorrono fra i pori delle fibre e le molecole coloranti si consideri che, ad esempio, nel caso del cotone il diametro dei pori è dell'ordine di 5 Å° per la fibra secca mentre è compreso tra i 20 ed i 100 Å° per la fibra bagnata. Nel caso della lana il valore è di circa 6 Å° allo stato secco e di 40 Å° allo stato bagnato. Per quanto riguarda i coloranti invece la estensione di un classico azocomposto per lana o per cotone può giungere ai 30 Å° secondo un piano e ai 15 Å° secondo l'altro.

Appare pertanto improbabile che gli aggregati superiori alle due o tre molecole coloranti riescano a penetrare nell'interno delle zone amorfe delle fibre. Soltanto molecole di dimensione relativamente ridotta come, ad esempio, l'acido “1naftol 4 solfonico” e l'acido cromatico sono in grado di introdursi nelle zone cristalline della lana.

Due sono i fattori che concorrono a determinare il trasferimento del colorante dalla iniziale fase di “bagno” alla successiva fase di penetrazione nella “fibra”: “diffusione” e “affinità”.

**DIFFUSIONE:** è bene tener presente che il processo di tintura consta essenzialmente di tre fasi e precisamente: a) diffusione del colorante dalla soluzione alla superficie della fibra; b) adsorbimento dalla superficie; c) diffusione all'interno della fibra.

La velocità di diffusione del colorante da una zona di maggior concentrazione segue la regola (legge di Fick) secondo cui essa è proporzionale al gradiente di concentrazione nel punto della fibra considerato.

**AFFINITÀ:** da un punto di vista qualitativo l'affinità di un determinato colorante per un determinato tessile può essere considerata come l'insieme delle forze di attrazione che si possono stabilire tra colorante e fibra in dipendenza dalla natura chimica e fisica degli stessi.

Dette forze possono essere essenzialmente dovute a:

1) attrazione elettrostatica tra fibra e ioni coloranti. Questo tipo di legame è preponderante, ad esempio, nella tintura delle fibre proteiche con coloranti anionici con “pH” nettamente acido ed è caratterizzato da un raggio d'azione stimato intorno a  $100 \text{ \AA}$  ;

2) attrazione dell'atomo di idrogeno da parte di due atomi elettronegativi con formazione del cosiddetto “legame a idrogeno” caratterizzato dalla “apparente” bivalenza di questo elemento.

Malgrado il suo corto raggio d'azione (circa  $5 \text{ \AA}$ ) questo tipo di legame gioca un ruolo assai importante nell'ambito del fenomeno tintorio in quanto sono numerose le strutture fibrose e le molecole coloranti dotate di gruppi in grado di interagire attraverso il “legame a idrogeno”. A titolo di esempio si ricorda la possibilità di agganciamento di un colorante amminico da parte degli ossidi di una catena cellulosica.

3) attrazione dovuta a deformazioni della configurazione elettronica di determinati atomi provocate dal campo elettrico di atomi vicini: questo tipo di attrazione – detta anche “attrazione elettronica di Van der Waals” – si origina dalla influenza che i nuclei di una molecola esercitano sugli elettroni dell'altra, influenza solo parzialmente bilanciata dalla repulsione reciproca sia tra gli elettroni e sia tra i nuclei. Queste forze di Van der Waals possiedono una bassissima energia di legame (circa  $2 \text{ Kcal / mole}$ ) ed un raggio d'azione molto ridotto, tanto che la loro intensità, per molecole monoatomiche, è pressochè inversamente proporzionale alla settima potenza della distanza fra i centri delle molecole. Ne consegue pertanto

che esse divengono effettivamente operanti solo quando le molecole colorifere presentano una struttura che permetta loro di portarsi ad immediato contatto con le concatenazioni della fibra: ciò appunto si verifica per i coloranti per fibre cellulose ai quali l'affinità tintoriale deriva da una architettura molecolare lineare,complanare e sufficientemente estesa per garantire una ampia superficie di contatto con il substrato e quindi una energia complessiva di adsorbimento sufficientemente elevata. A differenza dei legami a idrogeno, che sono di natura polare, le forze di Van der Waals sono comunemente considerate “non polari” e la loro azione riuscirà quindi particolarmente efficace tutte le volte in cui le zone idrofobe di un determinato substrato tessile sono sufficientemente avvicinate da molecole a carattere prevalentemente idrofobo come , ad esempio, si verifica per i coloranti diretti, al tino e in alcuni specifici per la lana. La necessità che dette molecole possiedano due o più gruppi polari trova la sua spiegazione nel fatto che questi ultimi, oltre a conferire la solubilità, stabiliscono dei legami polari con il substrato, provocando quindi il distacco di molecole d'acqua legate – ad esempio – agli ossidrilici cellulose permettendo così al colorante di avvicinarsi alla fibra in misura compatibile con il raggio di azione delle forze non polari.

4) Legame chimico propriamente detto, cioè legame covalente o bioelettronico, che consiste nella condivisione tra atomi di uno o più doppietti elettronici. Questo legame è molto forte: occorrono per la sua scissione, nel caso della molecola dell'idrogeno, ben 103,4 kcal/mole.

Con ogni probabilità, nel campo tintorio il legame covalente interviene unicamente nella tintura con coloranti reattivi ed è responsabile della elevata solidità ai trattamenti umidi che caratterizza tale classe di coloranti, capaci quindi di reagire, in determinate condizioni, con il substrato tessile per formare un vero e proprio composto.

5) Legame di coordinazione, che può intervenire ogni qualvolta si trovino a contatto due strutture contenenti rispettivamente atomi elettrone-donatori ed atomi elettrone-accettori. Legami del tipo coordinato si possono stabilire ad esempio tra i gruppi amminici della lana e gli atomi di cromo legati a molecole coloranti a complesso metallico. Altre forze di attrazione possono infine prendere origine dalla formazione di dipoli nella struttura delle fibre a causa della induzione esercitata da gruppi dipolari presenti nelle molecole dei coloranti.

Il grado con cui le diverse forze sopra descritte operano ai fini del fissaggio del colorante al substrato tessile dipende da molteplici fattori come: il carattere chimico-fisico della fibra, la natura chimica del colorante e la sua configurazione sterica, nonché le condizioni applicative.

Ne consegue che alla definizione dell'affinità concorrono in misura prevalente il numero, la posizione e l'orientazione dei "gruppi" capaci di stabilire mutue "forze di richiamo" tra fibra e colorante. Poiché queste forze sono prevalentemente a corto raggio d'azione ne consegue che le molecole coloranti debbono essere poste in grado di avvicinarsi il più possibile ai siti reattivi delle fibre, vale a dire debbono superare determinate "forze di repulsione" tra le quali hanno particolare rilievo quelle dovute al "potenziale di superficie" delle fibre, noto anche come il "potenziale zeta".

Misure effettuate con indagini elettro-cinetiche hanno infatti dimostrato che le fibre tessili acquistano – a contatto dell'acqua – un potenziale elettrico di probabile carica negativa che agisce come barriera nei confronti dei coloranti a carattere anionico: è quanto si verifica, ad esempio, per le fibre cellulosiche nei confronti dei coloranti diretti. Ovviamente i fattori determinanti che condizionano la capacità di una molecola colorante di superare tale barriera – in modo da entrare nel raggio di azione delle forze che presiedono alla affinità – sono il contenuto energetico della molecola stessa ed il livello del potenziale superficiale della fibra.

Per quanto attiene al primo fattore è chiaro che l'energia della molecola colorante riceverà un notevole incremento dall'innalzamento della temperatura del bagno (come si agisce appunto nella pratica tintoriale) mentre per quanto si riferisce al secondo è noto che l'aggiunta di elettroliti come cloruro o solfato sodico al bagno di tintura contenente un colorante diretto produce l'effetto di ridurre la repulsione da parte della fibra in quanto gli ioni-sodio, positivamente carichi, esercitano una azione schermante nei riguardi del potenziale negativo della sua superficie.

*Significato Termodinamico dell’Affinità.* Immerse nella soluzione di un colorante le fibre tessili lo adsorbono sino al raggiungimento dell'equilibrio di tintura, caratterizzato dal fatto che anche dopo un cospicuo arco di tempo non si verifica più alcuna variazione della concentrazione del colorante sia in fibra che in soluzione. Ci si trova quindi di fronte ad un sistema (colorante-fibra) nel quale le molecole del colorante, inizialmente distribuite nel volume relativamente grande della fase acquosa, sono in parte state compresse – per il raggiungimento dell'equilibrio – nel volume molto più ridotto della "fase fibra". Se si misura il lavoro speso per realizzare tale trasferimento (lavoro che è equivalente alla reciproca attrazione tra colorante e fibra) è possibile conoscere con buona approssimazione l'affinità di un dato colorante per una data fibra.

*Classificazione tintoriale.* I coloranti per tessili sono classificabili sia in base alla costituzione chimica e sia in base al comportamento tintoriale e alle condizioni di

applicazione. Quest'ultima classificazione è generalmente preferita nella pratica industriale in quanto permette al tintore di rendersi conto immediatamente se: a) un colorante risulta idoneo o meno all'applicazione su un determinato tipo di fibra; b) di avere sempre presenti le norme essenziali che ne condizionano l'impiego e c) di sapere a priori i limiti di solidità delle tinture con esso ottenibili. Naturalmente a ciascuna categoria tintoriale appartengono classi diverse di composti chimici: gli "azoderivati" ad esempio rientrano nei gruppi di coloranti basici, diretti, al cromo, premetallizzati, ...

È responsabilità del tecnico di reparto conoscere adeguatamente le caratteristiche sia delle fibre costituenti i tessuti da tingere e sia le proprietà intrinseche dei coloranti scelti e le industrie da cui provengono (ACNA; BAYER; CIBA; SANDOZ; ...).

### **Considerazioni generali sui coloranti**

Un prodotto tessile può essere tinto allo stato di fibra (in fiocco, in nastro o in filo) ovvero come tessuto (in maglia o da telaio) e le tecniche sono molteplici in funzione anche delle particolari caratteristiche che si intendono conferire al prodotto finale.

I coloranti per tessili sono classificabili sia in base al comportamento tintoriale e alle condizioni di applicazione e sia in base alla costituzione chimica: nella pratica industriale è sovente preferita la prima classificazione in quanto permette al tintore di rendersi conto immediatamente se un colorante risulta o meno idoneo all'applicazione per un determinato tipo di fibra, di avere sempre presenti le norme essenziali che ne condizionano l'impiego e di sapere a priori i limiti di solidità delle tinture con esso ottenibili. Naturalmente a ciascun gruppo tintoriale appartengono classi diverse di composti chimici e viceversa: gli azoderivati, ad esempio, cadono nei gruppi dei coloranti basici, diretti, acidi, al cromo, premetallizzati, dispersi, ...

I coloranti "basici" sono caratterizzati da alta purezza e vivacità dei toni ma hanno scarsa solidità alla luce; gli "acidi" sono perfettamente solubili in acqua e sono particolarmente apprezzati per i colori gialli e rossi; al "cromo" sono caratterizzati da alta solidità ai trattamenti umidi ed anche all'esposizione prolungata al sole; per i "premetallizzati" occorre un bagno di tintura fortemente acido per avere una soddisfacente uniformità della tinta e buona la solidità accompagnata da una ottima brillantezza. Sono impiegati anche coloranti premetallizzati impiegabili in ambiente neutro su fibre proteiche e poliammidiche. I coloranti "diretti" chimicamente sono di carattere acido come i coloranti per la lana ma si distinguono

per la loro capacità di tingere direttamente le fibre cellulosiche e talvolta anche fibre proteiche in bagni neutri o leggermente alcalini.

Un'altra categoria rilevante sono i "coloranti al tino" che divengono solubili in acqua dopo appropriata riduzione in mezzo alcalino tornando poi nella forma iniziale mediante ossidazione della forma ridotta sotto la quale sono penetrati nella fibra. A questa categoria appartengono i noti "indigosoli" (derivati dall'indaco) e gli "antrasoli" (derivati dall'antrachinone). I coloranti al tino – su fibra cellulosica – soddisfano ad elevati standard di solidità segnatamente alla luce, al cloro e ai trattamenti umidi (lavaggio) mentre non dimostrano molta resistenza allo sfregamento.

Altra rilevante categoria sono i coloranti allo zolfo costituiti da composti a peso molecolare elevato ottenuti per azione dello zolfo (o solfuri) sopra ammine o fenoli. È opportuno ricordare che la presenza dello zolfo nella chimica tintoria è rilevante anche perché quei coloranti normalmente insolubili in acqua divengono solubilizzabili ad opera della presenza di solfuro sodico in ambiente alcalino. La maggior parte dei coloranti allo zolfo offre su fibre cellulosiche tinte poco brillanti, per altro abbastanza economiche e solide ai normali lavaggi (ma non al cloro).

Lo sviluppo dei pigmenti per il settore tessile è in continuo progresso: coloranti azoici, reattivi, dispersi, "a pigmento speciale", "a pigmento resinoso", ...: tale esigenza è connessa alla costante richiesta dallo specifico mercato di prodotti sempre innovativi con caratteristiche peculiari aderenti alle necessità di una domanda vieppiù esigente e differenziata.

### *Generalità sui principi tintoriali di base della tecnologia tessile*

Dopo aver sinteticamente esposto la "gamma e le proprietà" dei prodotti chimici necessari per trasferire il colore sui vari prodotti tessili di uso comune è opportuno descrivere "come e con quali strumenti" il processo può realizzarsi industrialmente.

Il conferimento ad un substrato tessile della proprietà di riemettere selettivamente le radiazioni luminose che lo colpiscono è realizzato secondo una delle tre seguenti tecniche fondamentali:

a) trattamento del materiale da tingere con un colorante solubile le cui molecole siano in grado di unirsi a quelle della fibra grazie all'intervento di "forze fisiche" come, ad esempio, nel caso dei coloranti "diretti su cotone" e "acidi su lana";

b) sintesi di un pigmento insolubile all'interno della fibra mediante "diazoreazione" e copulazione come nei coloranti azoici a sviluppo ovvero produzione di un pigmento mediante ossidazione in fibra di strutture coloranti "temporaneamente solubilizzate" come nei coloranti al tino o allo zolfo. In questi

casi la sostanza colorante risulta trattenuta meccanicamente negli spazi intermicellari della fibra. Altri modi di ottenere la colorazione delle fibre tessili con molecole coloranti insolubili consistono nel trattare il substrato con sostanze “mordenti” atte a formare con determinati coloranti sali insolubili (lacche) come si verifica tra tannino e coloranti basici applicati su cotone ovvero introducendo direttamente il pigmento nella massa di filatura di una fibra sintetica ovvero provocandone l’adesione al tessile con un legante a base di adeguati polimeri;

c) trattamento del materiale con molecole coloranti solubili capaci di legame chimico “covalente” con la fibra come si verifica tra i coloranti reattivi e cotone o lana.

Fatta eccezione della “tintura in massa” e con legame resinoso il compiersi del fenomeno tintorio presuppone l’adsorbimento, da parte della fibra, del colorante o del suo precursore, la penetrazione di quest’ultimo all’interno dei pori ed il suo fissaggio per via fisica (generalmente meccanica) o chimica.

#### *Parametri essenziali del processo tintoriale*

Sono da considerarsi basilari i seguenti valori fisici del processo:

D) Velocità di tintura: vale a dire il tempo occorrente per il raggiungimento dell’equilibrio nel sistema fibra-soluzione. In altri termini il momento in cui le concentrazioni del colorante nella fase “fibra” e nella fase “soluzione” rimangono costanti e non si verifica più diffusione di colorante dall’esterno all’interno della fibra. La velocità di tintura (da non confondersi con il tempo complessivo di tintura) dipende da due fattori cinetici:

- a) salita relativamente veloce delle molecole coloranti sulla superficie della fibra;
- b) lenta diffusione delle molecole coloranti all’interno della fibra.

La salita è governata dalla “affinità” del colorante per il substrato: a valori elevati di affinità corrispondono elevate “velocità di salita” del colorante stesso e conseguenti rapidi esaurimenti del bagno di tintura.

La diffusione all’interno della fibra è intrinsecamente più lenta essendo osteggiata dalla conformazione molecolare della fibra stessa.

La velocità di diffusione è basilare per il processo tintoriale in quanto – in linea generale – i coloranti caratterizzati da alta rapidità migratoria danno tinte più uniformi grazie alla maggior capacità di uniforme distribuzione.

II) Esaurimento del bagno: esprime la percentuale in peso di colorante (rispetto alla quantità totale inizialmente presente nel bagno) che risulta “salita” sulla fibra a fine tintura.

III) Potere migratorio del colorante: rappresenta la sua capacità di trasferirsi dalle zone del substrato in cui la sua concentrazione è maggiore a quelle in cui è inferiore. Al potere migratorio è legata la possibilità di ottenere tinte uniformi grazie alla struttura del materiale da tingere, al controllo della temperatura del bagno, all'aggiunta di elettroliti al bagno, alla tipologia dell'apparecchio di tintura ed al rapporto bagno adottato.

IV) Temperatura: l'aumento della temperatura durante le normali operazioni di tintura si traduce nell'aumento della quantità di colorante sulla fibra sino ad un massimo dopo il quale si riscontra una diminuzione. Questo fenomeno è la risultante dei contrastanti effetti che l'innalzamento termico induce sul fattore cinetico e termodinamico della tintura: infatti l'apporto di energia termica accelera la velocità di salita e diffusione delle molecole coloranti ma provoca una diminuzione dell'entità di colorante che può essere adsorbito dalla fibra una volta raggiunto l'equilibrio. La temperatura alla quale si verifica – nelle condizioni pratiche di tintura che non prevedono necessariamente il raggiungimento dell'equilibrio – il massimo adsorbimento di colorante è definita come “temperatura di massima affinità” e varia – anche in misura pronunciata – da colorante a colorante anche del medesimo gruppo.

V) Aggiunta di elettroliti: l'aggiunta al bagno di tintura di sali inorganici quali il solfato o il cloruro di sodio agisce in modo completamente opposto all'esaurimento, a seconda del “pH” del bagno stesso: in ambiente neutro o debolmente alcalino (come nelle tinte delle fibre cellulosiche) promuove la salita del colorante mentre in ambiente acido (prevalentemente adottato per le fibre proteiche) la riduce migliorando l'ugualizzazione.

#### *Problemi ricorrenti in tintoria*

**Adsorbimento dei coloranti:** se la fibra da tingere rigonfia in misura notevole nel bagno di tintura le sue macromolecole possono allontanarsi reciprocamente aumentando così gli spazi accessibili alle molecole coloranti. La conseguente possibile alterazione dimensionale delle fibre si verifica – soprattutto secondo il diametro – come riportato nella tabella che segue:

Fibra	% rigonfiamento (diametro)	% allungamento (lunghezza)
Viscosa	26 -	3 - 5
Seta	18,7	1,7
Lana	16 -	1,2
Cotone	14 -	1,2
Nailon	5 -	1,2

Per attenuare il fenomeno del rigonfiamento (in particolare per la Viscosa) è ormai comune l'uso di tensioattivi imbibenti ed ugualizzanti per migliorare l'uniformità della penetrazione e distribuzione dei coloranti. Su questo tema influiscono anche le “differenze di torsione” e le “differenze di titolo”.

**Compatibilità dei coloranti:** nella maggioranza dei casi la realizzazione di un determinato tono di colore richiede l'uso di miscele di coloranti la cui compatibilità costituisce un problema complesso.

Nella tintura delle fibre naturali con intensità non troppo elevate e con miscela di due o più coloranti si constata in genere che ogni componente della miscela è adsorbito indipendentemente dagli altri mentre nel caso – ad esempio – del nailon o altre fibre sintetiche, caratterizzate da una più ridotta penetrabilità da parte del bagno tintoriale, la “salita di un colorante” avviene a spese della parziale esclusione di quella altrui. La incompatibilità che così si evidenzia tra gli stessi coloranti variando la natura del substrato è governata dalla loro differente affinità e può condurre al “blocco” della salita di un colorante ad opera del componente della miscela dotato di maggiore affinità.

**Effetto della struttura superficiale del substrato:** la velocità di tintura e la quantità di colorante che può montare sulla fibra risultano fortemente influenzabili dalla peluria superficiale del materiale da tingere al punto che – nella pratica comune – si ricorre di frequente alla nota operazione del “bruciapelo” per eliminare le terminazioni fibrose che provocherebbero effetti anche vistosi di irregolarità della tinta. In molti procedimenti la tintura è effettuata mediante ripetuti passaggi del tessuto nel bagno alternati con periodi di sosta per consentire l'adsorbimento del colorante che, dopo ogni passaggio, è proporzionale alla quantità di colorante trattenuta dal tessile. In presenza di una struttura superficiale “pelosa” detta quantità risulta superiore e di conseguenza si verifica un adsorbimento più pronunciato che, a sua volta, genera tonalità più intense. Se ne deduce immediatamente che disuguaglianze anche limitate negli effetti del “bruciapelo” (o “rasatura”) vengono evidenziate al momento della tintura.

## Memorandum delle fibre attualmente utilizzate

Si è già ricordato che per millenni l'umanità ha convissuto – utilizzandole con grande saggezza – soltanto con le fibre di origine “naturale” come:

- A - fibre animali: lana di pecora, peli di cammello, cavallo, coniglio d'angora, ...
- fibre di seritteri: varie qualità di seta, ...
- fibre vegetali: cotone, canapa, juta, ramié, ...
- fibre minerali: amianto, ...

Nella seconda metà dell'800 si ebbero le prime sperimentazioni per l'ottenimento di fibre artificiali che, malgrado alcune iniziali incertezze sulle loro applicazioni (resistenza meccanica, tingibilità, comportamento all'usura, ...), si affermarono decisamente all'inizio del '900:

- B - fibre chimiche organiche da polimeri naturali (fibre artificiali) come:
  - fibre di cellulosa: procedimento alla viscosa
  - procedimento cuproammoniacale
  - fibre cellulosiche ad alto modulo elastico ad umido
  - fibre di cellulosa acetilata, acetato, triacetato, cotone acetilato, ...
  - fibre di proteine rigenerate, fibra alginica, fibra di gomma, ...

Successivamente (intorno agli anni 1930-'40) si svilupparono le fibre sintetiche (nylon e seguenti) che espressero subito caratteristiche di resistenza all'usura eccezionali talchè sia nell'area dell'abbigliamento che in quella dell'arredamento e degli usi industriali si proposero come componenti molto valide ed apprezzate:

- C - fibre chimiche organiche da polimeri sintetici
  - fibre poliammidiche: poliammide “6.6.”, “6”, “11”,
  - poliammidi aromatiche, quiana, poliuree, poliuretana “Elastan”,
  - fibre viniliche: clorofibre, cloruro di polivinile, cloruro di vinilidene, ...
  - fibre modacriliche: copolimero di cloruro di vinile e acetato di vinile, ...
  - fibre acriliche: orlon, dralon, zefran, leacril, velicren, darvan, vinital, ...
  - fibre poliestere: terital, terilene, dacron,
  - fibre olefiniche: polietilene, polipropilene, fluorofibra, ...
  - altre fibre organiche: gomma sintetica, fibra polistirenica, fibra trivinilica, ...

Il successo tecnico e commerciale delle fibre chimiche già menzionate ha continuato a stimolare la ricerca nell'ambito di altre aree potenzialmente suscettibili di fornire materiale tessile innovativo come:

- D - fibre chimiche inorganiche da polimero sintetico:
  - fibre di vetro tessile, da carbonio, da metallo,
  - fibra metallizzata, ...

Il contributo che le ricerche sia scientifica che tecnologica e industriale hanno dato al settore è di incalcolabile valore: basti pensare che “se” non ci fosse stato il supporto delle fibre artificiali e sintetiche l’umanità avrebbe sofferto una crisi gravissima per carenza di materiale tessile naturale. Ricordiamo che – un secolo fa – la popolazione mondiale contava circa tre miliardi di persone contro gli oltre sette miliardi attuali e – certamente – le esigenze di materiale tessile oggi richiesto in tutti i settori produttivi è di gran lunga aumentato: cosa sarebbe accaduto in tali condizioni? Che prezzi di mercato avrebbero raggiunto lana e cotone in tale situazione non potendosi significativamente incrementare le superfici agricole dedite agli allevamenti e/o alla coltivazione del cotone?

Non dimentichiamo che attualmente l’umanità necessita più del doppio dei generi alimentari quotidianamente richiesti un secolo fa e, fortunatamente, anche il settore tessile (sia per abbigliamento, arredamento ed esigenze industriali) ha potuto soddisfare le enormi richieste del mercato grazie alle fibre artificiali e sintetiche.

### Valore economico del settore tessile nel contesto dell’economia mondiale

Questo argomento – di vitale importanza per comprendere a fondo il valore non solo tecnico e scientifico dell’area tessile ma anche economico-finanziario – si riassume in pochi ma rilevanti dati:

Fibre	Produzioni (2011) (Mil. tonn/anno)	%	Valore medio (Euro/tonn)	Stima Valore totale (Mil. Euro/anno)	%
cotone	181	22,-	34	6.161	11,3
lana	118	14,3	49	5.754	10,5
seta	8	0,01	149	1.192	2,2
fibre artificiali	95	11,5	68	6.460	12,-
fibre sintetiche	387	47,8	82	31.734	58,-
altre	36	4,39	92	3.312	6,-
	825	100	---	54.613	100

Si stima che il settore – nei suoi vari segmenti produttivi e commerciali – assorba, a livello mondiale, non meno di 48,5 Milioni di addetti, vale a dire circa il 3,4 % dei lavoratori del mondo attuale valutati in 1450 Milioni (su un totale di oltre 7 miliardi di viventi: giovani, vecchi, donne e bambini ...). Il quadro che segue quantifica – seppure in linea approssimativa – il peso economico del settore nell’economia mondiale evidenziando come – con l’edilizia, l’alimentare, l’energia, ecc. – costituisca un supporto indispensabile per il benessere generale.

*Indicazioni sulla costruzione del valore aggiunto del settore (\*)*

Filiera Produttiva	N° Addetti (milioni)	Stima Valore Aggiunto (Euro/Tonn)	Tot.Valore Aggiunto (Milioni di Euro/anno)
Produtz. Fibre:			
- naturali	1,8	220 - 252	3.168 – 3.630
- sintetic.+ artif.	1,2	165 - 188	1.617 - 1.848
	=====	=====	=====
	3,0		4.785 - 5.478
Trasformazione fibre:			
- filatura	4,1	50 - 52	1.650 - 1.716
- maglieria, tessitura	8,-	33 - 36	1.980 - 2.160
- finissaggi, nobilitazione	5,5	80 - 87	3.360 - 3.645
- confezione	7,1	85 - 92	4.165 - 4.520
	=====	=====	=====
	24,7		11.155 -12.041
Commercializzazione	20,8	96 - 104	13.632 -14.768
TOTALE	48,5		29.572 – 32.287

(\*): I dati riportati in tabella si riferiscono all'anno 2010 e sono dedotti dalle relazioni trimestrali del "Comitato per il Tessile" dell'ONU.

*Nota:* Alcune delle fotografie riportate nel testo sono state riprodotte dalle note pubblicazioni "NOBILITAZIONE DEI TESSILI" del Prof. Franco Corbani "TEXTILES: FIBER TO FABRIC" dei Proff. David Potter e Bernard Corban "MANUALE DI TECNOLOGIA TESSILE" edito da Zanichelli/ESAC

Ringrazio gli Autori e gli Editori per il loro encomiabile contributo.

## Storia degli apparecchi di sollevamento

### Introduzione

Le gru, escludendo per ora quelle montate su ruote con pneumatici od eventualmente su cingoli, di cui si farà cenno in seguito, fanno parte delle macchine usate nella movimentazione interna per trasportare materiale, semilavorati, prodotto finito. Le macchine impiegate in questo genere di movimentazione, a seconda della loro caratteristica di funzionamento, possono essere distinte in due gruppi:

1) *macchine a movimento continuo*, ad esempio nastri trasportatori, trasportatori a tazze, questi ultimi usati qualora si debbano superare dei dislivelli con forti pendenze, oppure teleferiche. Si tratta dunque di apparecchi fissi con un solo grado di libertà, ossia che possono operare solo lungo una retta, eventualmente una linea, ma il trasporto di materiale avviene solo tra due punti fissi. A questi apparecchi il materiale da trasportare è loro addotto in modo continuo oppure intermittente con un prefissato intervallo tra due operazioni di carico. Si hanno così apparecchi ad alimentazione continua oppure discontinua.

2) *Macchine a movimento discontinuo*. Appartengono a questo gruppo le macchine che trasportano il carico muovendosi col medesimo. Un esempio di tali macchine sono le gru a ponte. Queste sono gru costituite da una traversa, ossia il ponte, scorrevole, mediante ruote poste agli estremi, lungo una coppia di rotaie 'aeree' solidali con la struttura portante, non facente parte della gru. Tale movimento avviene in un piano orizzontale in senso normale all'asse della traversa. Il ponte, talvolta monotrave, è normalmente composto da due travi parallele uguali collegate tra loro agli estremi da due travi dette testate che portano le succitate ruote. Sulle travi principali della traversa è appoggiato il carrello che regge l'argano di sollevamento del carico. Detto carrello può traslare lungo il ponte. Si sottolinea che i tre movimenti del carico, che è collegato alla gru mediante la fune, sono sollevamento, traslazione nel senso delle vie di corsa (dovuto allo scorrimento del ponte), spostamento nella direzione dell'asse del ponte (dovuto alla traslazione del carrello). Questi movimenti sono tra loro indipendenti. In pianta, tale tipo di gru può essere utilizzato in un'area rettangolare con lato minore pari alla luce del ponte e lato maggiore pari alla lunghezza delle vie di corsa. Caratteristica di queste gru è di avere il carico sempre ad una quota minore rispetto a quella delle rotaie di scorrimento, sicché il carrello appoggia direttamente sulla traversa senza incastrature che lo sorreggano.

Altro esempio di macchina appartenente a questa categoria sono le gru girevoli. Si prendano come riferimento concreto le gru per edilizia, che sono gru con torre fissa montata su rotaie. Su questa torre è posta la parte girevole, costituita dal braccio che regge il carico, dal controbraccio che regge il contrappeso e dalla cuspide, sebbene questa, in certi tipi, non sia realizzata. Lungo il braccio può traslare il carrello. Poiché le rotaie servono solo per permettere di spostare la gru fino al punto in cui deve operare, l'area in cui la gru può essere impiegata è una corona circolare con centro sull'asse di rotazione del braccio e contorni due cerchi con raggio rispettivamente circa pari alla massima ed alla minima distanza del carico dal predetto asse di rotazione.

Da quanto detto appare evidente come le gru girevoli abbiano il carico eccentrico rispetto all'asse di rotazione. La presenza di tale sbalzo e della torre fissa rendono quindi la struttura di questo tipo di gru più complessa rispetto a quanto visto per i carriponte.

La necessità di spostare carichi da un punto ad un altro è sentita in quasi tutti i procedimenti produttivi, così le gru, anche se appartenenti allo stesso tipo, possono essere impiegate in diverse condizioni di servizio. Si hanno così: le gru da cantiere od anche da montaggio, le gru scaricatrici, le gru facenti parte di un procedimento produttivo che devono ripetere un ciclo di lavoro con una cadenza determinata.

## **Classe di utilizzo**

Il problema del sollevamento dei carichi è sicuramente stato sentito dall'uomo fin da tempi remotissimi. Descrizioni di semplici apparecchi di sollevamento sono riportate in [1]. Anche nel codice Atlantico di Leonardo sono rappresentate due tipi di gru girevoli, probabilmente dovute al Brunelleschi [2].

Nel presente scritto si tratterà però soltanto di apparecchi di sollevamento costruiti in tempi recenti cioè non prima dell'inizio della navigazione a vapore.

Per caratterizzare un apparecchio di sollevamento oltre ai dati di ingombro, ai dati cinematici dei vari movimenti il carico massimo da sollevare, devono essere note le condizioni di impiego. L'effetto di queste ultime è introdotto nei calcoli di dimensionamento della gru, mediante coefficienti di maggiorazione dei carichi sollecitanti la macchina, coefficienti che sono forniti dalla normativa di calcolo seguita.

Per intuire come anche le macchine di sollevamento, a volte apparentemente abbastanza semplici, siano oggetto di continui studi di approfondimento, basta esaminare una normativa di calcolo ad esse dedicata, e confrontare le successive edizioni della stessa normativa. Ad esempio si prendano in considerazione le

norme F.E.M. (*Fédération Européenne de la Manutention*) che sono state impiegate ed hanno anche influenzato la normativa nazionale di alcuni stati per circa tutta la seconda metà del XX secolo e tuttora sono seguite. Queste sono divise in due parti riguardanti vicendevolmente:

- le **carpenterie**, ossia la struttura portante facente parte della gru ed
- i **meccanismi** necessari per far compiere al carico gli spostamenti voluti.

In entrambe le parti vengono classificate le condizioni di esercizio in cui la macchina deve operare, ma, poiché trattano di organi diversi, le grandezze su cui detta classificazione si basa non saranno le stesse. Qui si seguirà quanto detto nelle suddette norme a proposito delle carpenterie. Senza voler entrare in particolari, si ricorda solo che tali norme distinguono le condizioni di funzionamento in gruppi, ordinati in modo crescente che man mano rappresentano impieghi sempre più gravosi. Tale parametro è apprezzato mediante lo spettro dei carichi che l'apparecchio è chiamato a sopportare e il numero di manovre che lo stesso deve compiere durante la sua vita economica. Col termine spettro di carico si intende la curva, ottenuta riportando in ordinate i carichi che la gru deve reggere, disposti in senso decrescente, ed in ascisse gli intervalli di vita economica della gru per cui questi sollecitano la medesima. Le norme fissano alcuni spettri in modo da rappresentare dei funzionamenti tipici di gru, perciò i carichi sono espressi come frazioni del carico massimo. Questi spettri di carico sono denominati stati di carico. Mentre le vite sono espresse in numero di manovre che l'apparecchio deve compiere. Anche per le vite le norme fissano alcuni valori significativi, denominati classi di utilizzazione.

Per determinare la classe di impiego di una gru si sceglie tra questi dati la coppia che più si avvicina a quanto è richiesto dall'apparecchio in oggetto. Tale coppia dà la classe di utilizzazione dell'apparecchio. In fase di progetto, in base alla suddetta classe è possibile determinare il coefficiente di maggiorazione dei carichi con cui eseguire il dimensionamento della struttura della gru. Si sottolinea che le vite effettive espresse qui in numeri di manovre non possono corrispondere al valore riportato nella normativa. Quest'ultimo è solo un valore nominale di riferimento.

Come esempio nella edizione del Giugno 1962 delle suddette norme sono date tre classi di utilizzazione distinte in senso crescente con A,B,C, e tre stati di carico indicati sempre in senso crescente 1,2,3. Si componga quindi la seguente Tabella 1.

Si hanno così quattro gruppi di utilizzo [3].

Nelle stesse norme, ma nella edizione 1970, con quattro classi di utilizzazione e tre stati di carico si hanno sei gruppi di utilizzo [4]. Ed in fine nella edizione del 1987 le medesime norme con quattro classi di carico (classi di spettro di carico) e dieci classi di utilizzazione danno otto gruppi di apparecchi [5].

**Tabella 1.** Classificazioni in gruppi di apparecchi di sollevamento

Stato di carico	Classe di utilizzazione		
	A	B	C
1	I	I	II
2	I	II	III
3	II	III	IV

Come già detto ad ogni gruppo corrisponde un coefficiente di maggiorazione dei carichi. Il valore massimo di questo coefficiente è sempre lo stesso in tutte e tre le edizioni citate delle norme in oggetto. Mentre il numero dei gruppi continua ad aumentare man mano le edizioni sono sempre più recenti. Questo è un indice di una continua ricerca per una più profonda conoscenza dei problemi di questi apparecchi.

Per quanto riguarda i meccanismi la determinazione della classe è formalmente analoga a come operato in precedenza, sostituendo al numero di manovre le durate, espresse come ore di funzionamento.

## Generalità sulle carpenterie

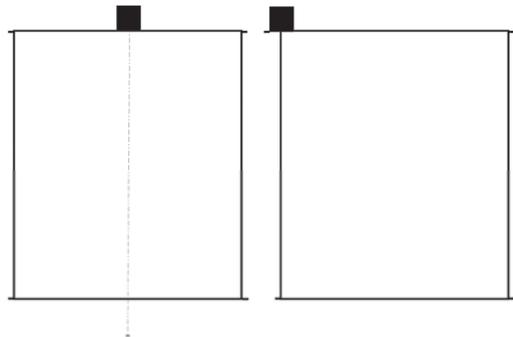
La carpenteria delle gru è sempre stata realizzata principalmente con struttura a traliccio, ossia con aste tra loro connesse in modo da essere sollecitate solo ad azione assiale. Questo comportava, per la realizzazione dei nodi (punti in cui confluivano più aste), di usare delle piastre. Le aste concorrenti nel nodo e la relativa piastra venivano solitamente congiunte mediante chiodatura o saldatura. Tuttavia questi elementi non erano molto adatti ad essere realizzati mediante saldatura perché si trattava di congiungere pezzi non complanari e perciò i cordoni risultavano essere di tipo ad *angolo*. D'altra parte anche la realizzazione di questi risultava abbastanza laboriosa perché i pezzi dovevano essere tracciati ed assemblati.

Attorno agli anni '50 del secolo scorso sono state introdotte le saldatrici automatiche o semiautomatiche. Queste saldatrici, che funzionano con la tecnica dell'*arco sommerso* o di quella *in protezione di gas*, sono particolarmente convenienti se applicate in elementi con cordoni lunghi.

### *Carpenterie delle gru a ponte*

Tale motivo ha portato, nel campo delle gru a ponte, ad abbandonare la realizzazione della traversa con struttura a traliccio sostituendola con soluzione ad

anima piena. Naturalmente questa sostituzione è avvenuta in modo graduale. Ossia all'inizio la soluzione ad anima piena era stata adottata per luci piccole e carichi elevati. Successivamente la soluzione ad anima piena è stata impiegata anche per travi con grandi luci e soggette a carichi non elevati [6]. Si precisa inoltre che queste travi, ora realizzate a sezione costante, per qualche tempo furono costruite da alcuni costruttori con la briglia inferiore piegata, in modo di sfruttare meglio il materiale. Inoltre poiché dette travi debbono poter reggere anche l'azione torcente, risulta quasi necessario che siano realizzate con *scatolati*, ossia con travi in lamiera saldata con sezione retta cava – queste travi sono anche dette *travi a cassone*. Ne risulta una sezione rettangolare cava con pareti sottili. La trave è posta in opera con l'asse maggiore contenuto nel piano verticale. La rotaia può essere applicata alla faccia superiore della sezione o in corrispondenza dell'asse di simmetria della sezione stessa oppure in corrispondenza di uno spigolo. Nella prima soluzione, detta *americana*, la faccia superiore del cassone deve essere rinforzata mentre nella seconda questo non è necessario (Fig. 1).



**Figura 1.** Disposizioni della rotaia sul cassone.

Nelle Figure 2 e 3 sono riportati i ponti di due gru a traliccio costruite circa negli anni '50. Il ponte a cassone, riportato nella Figura 4, è di costruzione datata 2010. La differenza di architettura è evidente.

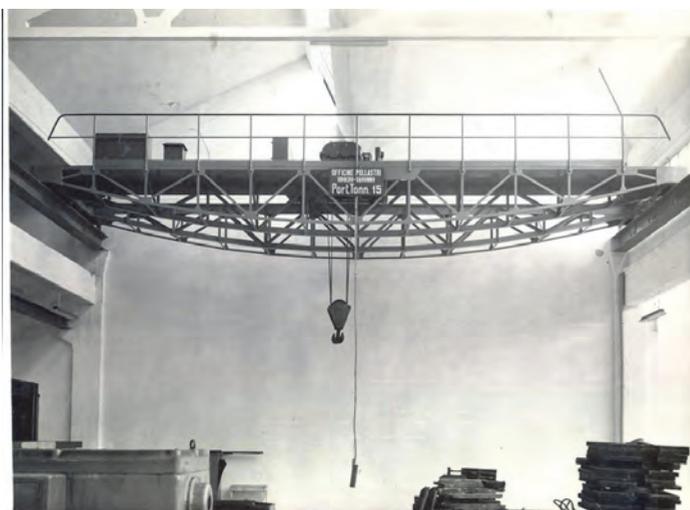
Sono state utilizzate anche aste con sezioni composte da più elementi, come ad esempio molto usata è la sezione a P [7]. Questa, come è rappresentato nella Figura 5, consta di due lamiere perpendicolari saldate tra loro lungo uno spigolo ed irrigidite da altre due lamiere di larghezza ridotta. Queste ultime sono anch'esse tra loro saldate lungo uno spigolo e connesse alle precedenti in modo da ottenere la sezione rappresentata nella Figura 5. Da una osservazione di questa figura si può facilmente capire, almeno in prima approssimazione, come la sezione venga sollecitata. Infatti la parte di sezione indicata con a-a, avente il proprio asse nel piano orizzontale, può essere assimilata alla sezione di una trave di controvento,

cioè impiegata per resistere ad una sollecitazione orizzontale. Parimenti si può dire che la parte di sezione indicata con b-b può essere pensata appartenente ad una trave portante, ossia messa per reggere il carico verticale. D'altra parte le due succitate travi unitamente alle due travi irrigidenti, se come in questo caso tutte connesse tra loro mediante saldatura, danno adito ad una sorta di tubo. Questo, come anche già ricordato in precedenza, è un elemento molto resistente specialmente riguardo alla torsione. Quindi detto tipo di sezione risulta adatto per essere impiegato per le travi costituenti il ponte di questo genere di gru ed inoltre presenta una architettura adatta ad essere proporzionata in modo di avere un buon utilizzo del materiale.



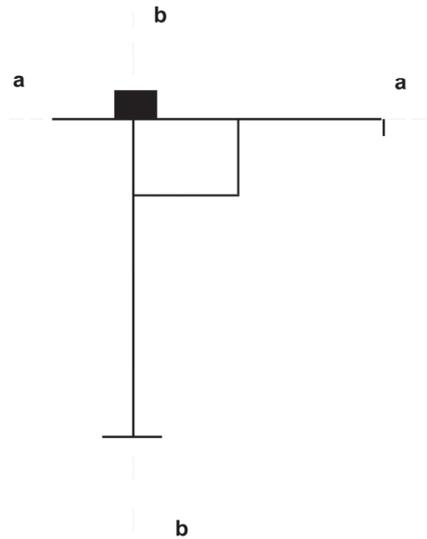
**Figura 2.** Ponte a traliccio, portata 20 t, luce 12 m. Costruzione anni '50. Per la cortesia dell'ing. Riccardo Pollastri.

**Figura 3.** Ponte a traliccio, portata 15 t, luce 10 m. Costruzione anni '50. Per la cortesia dell'ing. Riccardo Pollastri.



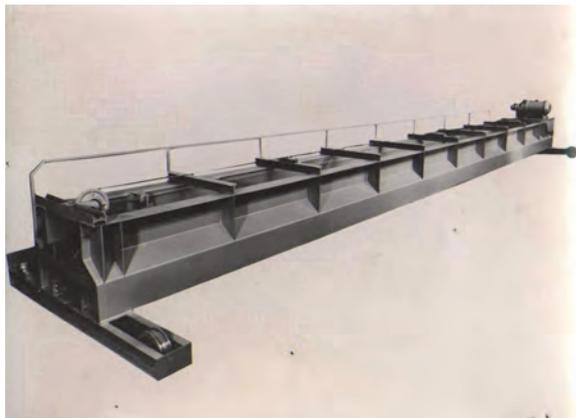


**Figura 4.** Ponte a cassone, luce 32 m, portata 20 t. Costruzione 2010. Per cortesia dell'ing. Riccardo Pollastri.



**Figura 5.** Sezione di trave a P.

Circa nella seconda metà del ventesimo secolo, sono apparsi i profilati in lamiera piegata. Alcuni costruttori hanno dunque pensato di impiegare la lamiera piegata nella costruzione di ponti per piccole gru. Nella Figura 6 è riportata la fotografia di un prototipo, costruito dalla BCV Progetti nel corso di una ricerca svolta per conto delle Officine Pollastri S.p.a sull'impiego della lamiera piegata per i ponti delle sunnominate gru (anno 1976).



**Figura 6.** Prototipo ponte in lamiera piegata. Per la cortesia della soc. BCV.

### Gru a cavalletto o a portale

Quando le gru a ponte debbono operare in siti dove non vi siano strutture su cui porre le rotaie di scorrimento, allora la traversa deve essere sorretta da cavalletti mobili, detti anche stilate, aventi, alla base, carrelli atti a scorrere su rotaie od eventualmente sul terreno, e gli estremi superiori connessi alla traversa. Si hanno così le *gru a portale* o *a cavalletto*, talvolta dette anche semplicemente *cavalletti*, gru che sono abbastanza simili alle gru a ponte. Entrambe sono anche classificate come *gru scorrevoli*. In modo più preciso si ha una traversa sulla quale trasla un carrello. Questo, come quello delle gru a ponte, porta a bordo sia il proprio motore di traslazione, sia gli argani di sollevamento. Tuttavia, in alcuni casi, i suddetti dispositivi possono essere vincolati alla carpenteria.

La via di corsa del carrello può essere realizzata in un tubo solidale con la traversa, oppure con le rotaie appoggiate sulle briglie superiori delle due travi costituenti la traversa.

Si sottolinea però che la progettazione di queste gru richiede qualche precisazione per quanto riguarda la movimentazione di scorrimento. Nella Figura 7 è rappresentata una gru per container, costruita nel 1975, equipaggiata con motori a corrente continua in accoppiamento Ward-Leonard<sup>1</sup>, avente 32 m di luce tra le stilate e sbalzo di 12,5 m. Se entrambe le stilate sono incastrate alla traversa, la struttura di tale gru può essere assimilata, in un piano normale alle rotaie di

<sup>1</sup> Il sistema Ward-Leonard è un accoppiamento tra motori a corrente continua ad eccitazione indipendente. Questo sistema permette di regolare in modo molto preciso la velocità di rotazione dell'organo mosso. Il sistema Ward-Leonard è stato molto impiegato negli apparecchi di sollevamento fino a qualche anno fa. Ora, come detto nei paragrafi successivi, è stato sostituito con altri.

scorrimento, ad un portale a due cerniere: una per stilata, posta al contatto ruota-rotaia. Una siffatta struttura è però sensibile ad effetti termici nel senso che allungamenti di origine termica sulla traversa potrebbero generare delle reazioni trasversali tra ruote e rotaie. Queste potrebbero essere causa di impuntamenti. Per ridurre tali reazioni potrebbe convenire rendere più flessibile uno dei due cavalletti. Questo cavalletto è detto stilata elastica. Tuttavia gli spostamenti di origine termica aumentano con la lunghezza della luce della gru, sicché la soluzione descritta, non è più utilizzabile per gru poste su rotaie di grande scartamento. È quindi necessario rendere isostatico il portatale. Questo risultato è ottenuto incernierando una stilata alla traversa, come nella Figura 7 dove il cavalletto di sinistra è incernierato sia al piede sia all'attacco con la traversa. Questa stilata si comporta quindi come una biella. Ossia trasmette solo azione assiale. Secondo alcuni autori, la soluzione con stilata elastica è applicabile fino a circa luci di 20 m [8]. Queste macchine possono avere luci anche superiori a 130 m. Però con luci così elevate il sopraccitato autore consiglia di adottare soluzioni con tre cavalletti.



**Figura 7.** Gru a cavalletto per container. Per la cortesia della soc. BCV.

Per il movimento di scorrimento è parimenti importante la sincronizzazione tra le ruote motrici che si trovano ai piedi delle due stillate. Anche qui la scelta delle

varie soluzioni dipende dalla luce del cavalletto. Se si considerano cavalletti di luce sempre crescente, le soluzioni classiche possono essere così sintetizzate [8]:

1) movimento impresso da un motore centrale con albero che lo trasmette alle ruote collocate sotto le due stillate;

2) movimento comandato da due gruppi motore - ruote, uno per stillata. I motori sono alimentati in parallelo ed in più i rotori di questi sono connessi meccanicamente tra loro da una barra sincronizzatrice;

3) movimento comandato da due motori, uno per stillata, connessi tra loro elettricamente ad *albero elettrico*, ossia imponendo il sincronismo per via elettrica. Questa ultima soluzione è adottata per cavalletti con luci molto grandi.

Le gru a cavalletto sono impiegate per molte operazioni. Ad esempio sono usate per scaricare o caricare autocarri, vagoni ferroviari, per trasportare materiali, come gru per cantiere.

#### *Gru a cavalletto per trasporto container*

Particolare importanza ha l'impiego di queste gru per trasportare container come appunto quella rappresentata nella Figura 7. Queste gru, quando sono installate nei porti, debbono operare in serie con gli scaricatori (vedere par. *Ponti scaricatori*) trasportando i container dal luogo dove sono stati lasciati dagli scaricatori alle aree di stoccaggio. Quindi le caratteristiche delle suddette macchine debbono essere scelte in funzione di quelle degli scaricatori. Si puntualizza però che spesso nelle gru da banchina la velocità di scorrimento non ha molta importanza sulla rapidità di esecuzione del ciclo di lavoro. Qui, invece, tale velocità acquista una notevole importanza. Infatti per eseguire il succitato trasporto queste macchine debbono compiere tragitti di lunghezza anche notevole dell'ordine di grandezza di 500 m. Peraltro gli scaricatori sono macchine ad alta produttività oraria, intendendo con tale dizione il numero di container trasportati in un'ora. Di conseguenza queste gru a cavalletto debbono avere velocità elevate in tutti i movimenti che debbono fare compiere al carico, in modo di non formare degli accumuli di container nelle aree dove questi sono scaricati da un mezzo trasportatore e caricati su un altro. Quindi, gli stessi problemi esistono sia se i container passano direttamente dallo scaricatore a queste gru da parco, sia, come sempre più usato, tra il trasportatore e la gru da parco è interposto un tratto in cui il container è trasportato con altro mezzo.

Le velocità di regime dunque possono raggiungere, per le gru qui descritte: per lo scorrimento circa 120 m/min, per il sollevamento 40 m/min a carico e 80 m/min a vuoto e per la traslazione del carrello 130 m/min [9].

Si tratta inoltre di gru di dimensioni decisamente notevoli aventi scartamento delle rotaie, come ordine di grandezza, compreso tra 35 e 45 m, sbalzi tra 4 e 12 m, alzate tra 13 e 17 m.

Le gru adibite al succitato servizio sono equipaggiate con organo di presa costituito da traversa con spider fisso o universale telescopico.

In generale queste macchine sono azionate, anche per lo scorrimento, in corrente continua o, più recentemente, con motore in corto circuito alimentato da un inverter (Vd. nota n. 3). In particolare per esse, date le prestazioni richieste, risultano importanti gli effetti del pendolamento del carico. La protezione contro tale fenomeno è condotta con vari sistemi, per la cui descrizione si rimanda alla letteratura specializzata.

Le gru per container sono impiegate non solo nei porti, ma anche negli scali ferroviari ed altre operazioni.

In conclusione si può dire che queste gru adibite al trasporto container, date le caratteristiche richieste, sono macchine di complessa progettazione.

### *Gru a cavalletto mobili su gomme*

Si tratta di gru che hanno la prerogativa di potersi muovere su diverse piste di scorrimento. Naturalmente queste gru sono automotrici, utilizzando i sistemi diesel-elettrici oppure i diesel-idraulici. La scelta tra i due sistemi è condizionata dal servizio richiesto [9]<sup>2</sup>.

## **Gru da banchina**

Le due classiche gru da banchina, ma questi tipi di gru sono impiegate anche nei cantieri navali, sono le gru *a braccio sollevabile* ed *a braccio retrattile*, dette anche *a braccio* e *bracchetto*. Entrambe appartengono al gruppo delle gru girevoli che sono impiegate quando il carico agisce a sbalzo rispetto alle rotaie su cui può scorrere la gru medesima. La struttura delle gru girevoli è divisa in due parti: una, appoggiata sopra le rotaie, è detta portale. Questa non può rotare attorno all'asse normale della gru. L'altra, detta parte girevole perché appunto può compiere la suddetta rotazione, è solidale col braccio. L'accoppiamento tra queste parti, se realizzato come semplice appoggio, consiste in un sistema ruote - rotaia: le ruote, solidali con la parte girevole, la rotaia, circolare, solidale con la parte fissa. Naturalmente il centro della

---

<sup>2</sup> Nella memoria, qui richiamata, gli autori Matteazzi e Minoia svolgono un'analisi molto completa della movimentazione del container. Questa analisi, sebbene condotta in periodo non recente, nel suo complesso, è ancora di interesse per chi voglia approfondire l'argomento.

rotaia deve essere posto sull'asse di rotazione della parte girevole e gli assi delle ruote devono convergere al centro del suddetto cerchio. L'accoppiamento tra parte girevole e portale, così concepito, non è quindi in grado di trasmettere azioni di trazione, ossia costituisce un vincolo unilatero. Senza entrare in particolari del caso qui esposto, si sa che una gru nel suo funzionamento è soggetta a carichi variabili ed anche ad azioni flettenti, sicché potrebbero aversi dei distacchi anche locali tra ruote e rotaia costituenti il sopraccitato appoggio. Questi distacchi sono dannosi e perciò, per evitarli, occorre prevedere una contrappesatura.



**Figura 8.** Gru Arsenale di Venezia. Per gentile concessione dell'Archivio fotografico della Soprintendenza per i beni architettonici e per il paesaggio di Venezia e laguna. Foto dell'architetto Claudio Menichelli.

**Figura 9.** Comando di rotazione. Per gentile concessione dell'Archivio fotografico della Soprintendenza per i beni architettonici e per il paesaggio di Venezia e laguna. Foto dell'architetto Claudio Menichelli.



Un esempio di questo tipo di gru è rappresentato nella Figura 8 che si riferisce ad una gru installata presso l'Arsenale di Venezia. Si tratta di una gru 'antica' costruita dai cantieri navali Armstrong e consegnata alla Marina Italiana nel 1876. In questa figura si notano il braccio che ruota attorno all'asse di rotazione; il cilindro di sollevamento; il contrappeso per ridurre l'eccentricità del carico trasmesso dal braccio alla corona di rulli. Questa, che permette la suddetta rotazione del braccio, è meglio rappresentata nella Figura 9.

La gru è a sbraccio fisso ed ha portata 160 t (1570 kN). Detta gru, inoltre, è dotata di due sistemi di sollevamento: uno costituito da un paranco con portata 38 t (373 kN), mosso da un motore a vapore, l'altro, principale, composto da un cilindro idraulico che può sollevare circa 160 t. Si fa notare che la gru in oggetto non ha il portale, ma l'anello che regge i rulli è appoggiato ad un basamento in muratura. Questa gru è stata costruita per trasportare i cannoni per le corazzate della classe Duilio. In particolare nella Figura 9 sono rappresentati i particolari del dispositivo di rotazione. Ossia la corona dentata fissa ed il pignone, con questa ingranante, solidale con la piattaforma girevole. Tale piattaforma è sorretta dai pattini con essa solidali, a loro volta appoggiati sui rulli. Questi sono disposti a corona circolare con gli assi di rotazione convergenti sull'asse di rotazione della gru. Mentre nella Figura 10 si vede il traliccio del braccio. Si tratta di un traliccio doppio realizzato con chiodatura.



**Figura 10.** Carpenteria braccio.

Per gentile concessione dell'Archivio fotografico della Soprintendenza per i beni architettonici e per il paesaggio di Venezia e laguna.

Foto dell'architetto Claudio Menichelli.

La soluzione costruttiva di appoggiare la parte girevole al portale, come sopra descritto, una volta molto usata, ora è stata abbandonata. Infatti qualora il precedente

accoppiamento fosse realizzato generando un incastro, ad esempio introducendo tra portale e parte girevole una ralla, l'accoppiamento potrebbe reagire a dei moti di ribaltamento poiché il vincolo è bilatero. In questo modo viene impedito che la parte girevole ribalti sul portale sicché, a rigore, non sarebbe necessario alcun contrappeso sulla parte girevole. Peraltro il contrappeso viene usato, anche in questo caso, con lo scopo di ridurre il momento sollecitante il cuscinetto che collega le suddette parti. Il criterio generalmente seguito per dimensionare il contrappeso è che questo sia tale da generare un momento equilibrante metà di quello di ribaltamento esercitato sul cuscinetto dalla parte girevole della gru quando questa è in carico massimo. Con il detto criterio di proporzionamento del contrappeso, la gru si trova in condizione di massima sollecitazione sia quando è soggetta al massimo momento dovuto al carico, sia quando è scarica. Naturalmente in queste due condizioni il momento cui è soggetto il cuscinetto è uguale, ma di verso opposto. Si è qui fatto riferimento alle così dette *gru a cuscinetto*, ossia gru nella cui struttura l'incastro tra portale e parte girevole è realizzato mediante un cuscinetto volvente (ralla). Un tipo di gru, che non necessita l'uso della suddetta ralla, è quello detto a *colonna girevole*, rappresentato nelle Figure 11 e 13.

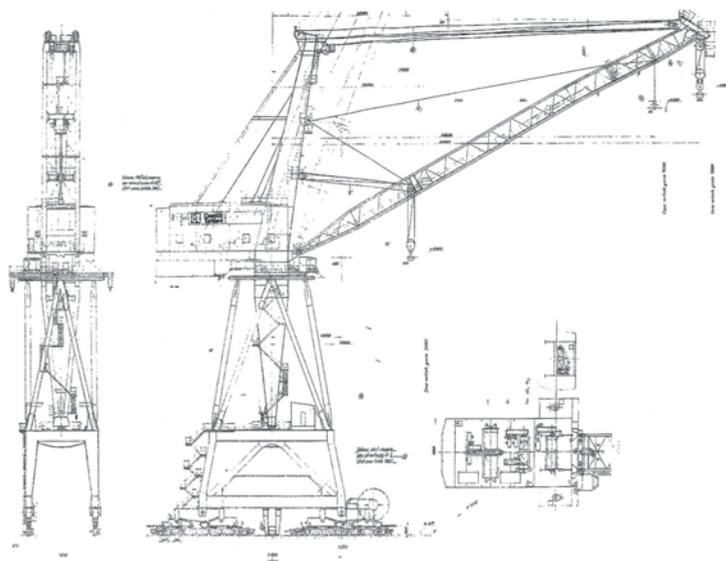
In origine, come è stato sopra visto, le gru da banchina erano a braccio rigido, con distanza del carico dall'asse di rotazione della gru (distanza detta *sbraccio* nel gergo dei costruttori) invariabile. Queste gru a sbraccio costante, con lo sviluppo dei trasporti marittimi, si sono rivelate inadatte ad essere impiegate nei porti moderni. Infatti queste, essendo a sbraccio costante, se il portale è fisso sulla banchina possono trasportare il carico soltanto lungo una circonferenza di raggio pari allo sbraccio. Quindi per evitare tale limitazione è necessario che la gru compia, durante il ciclo di lavoro, dei movimenti di scorrimento (lungo le rotaie) onde poter operare, anziché lungo una linea, all'interno di un'area. Questo può rallentare il ciclo di lavoro. Ma più importante, al fine di avere un buon sfruttamento delle gru da banchina, è che queste occupino uno spazio ridotto nella direzione parallela alla riva, in modo di avere più gru che possano operare contemporaneamente su una stessa nave. Infatti queste con lo sviluppo dei trasporti marittimi continuano ad aumentare le proprie dimensioni. Per tale motivo già dagli ultimi anni del XIX secolo furono abbandonate le gru a braccio rigido ed introdotte gru i cui bracci avessero proiezione sul piano orizzontale variabile. Per avere una buona utilizzazione energetica della gru, occorre che questa compia i movimenti di variazione dello sbraccio col carico sempre alla stessa quota rispetto ad un generico piano orizzontale. Tale condizione è facilmente ottenibile, almeno in molti casi, nelle gru tipo quelle per edilizia nelle quali il braccio rimane sempre nello stesso piano orizzontale ed il carrello, per variare lo sbraccio, trasla lungo il braccio della

gru. Tale movimento non richiederebbe assorbimento di energia qualora si fosse in assenza di forze d'attrito.

### *Grù a braccio sollevabile*

Nelle gru a braccio sollevabile (vd. Figg. 11, 12), l'estremo inferiore del braccio è incernierato, con cerniera piana, alla piattaforma girevole. Tale braccio può così rotare attorno all'asse della suddetta cerniera variando la propria inclinazione rispetto al piano orizzontale. Di conseguenza, durante il movimento di variazione dello sbraccio, l'estremo superiore del braccio continua a variare quota.

Dato il carattere del presente scritto, non si svilupperà la descrizione dei vari sistemi per ottenere, anche in questo caso, che lo spostamento del carico, conseguente alla variazione di sbraccio, avvenga lungo una orizzontale. Tuttavia si puntualizza che non tutti i succitati metodi conducono rigorosamente alla condizione di moto come sopra indicata, ma alcuni di questi, anche usati dai costruttori, si limitano solo ad approssimare la medesima condizione di movimento.



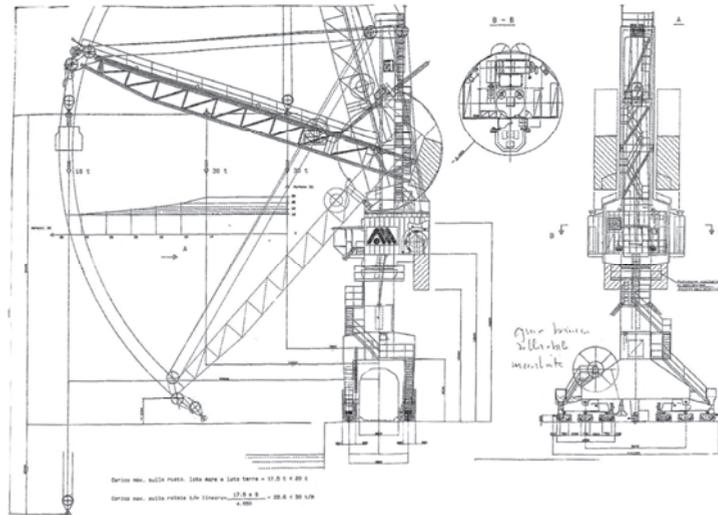
**Figura 11.** Gru a braccio sollevabile a colonna girevole. Per la cortesia del sig. Roberto Siligardi.

In termini geometrici si potrà dire che la condizione di carico moventesi con quota costante, cioè in equilibrio indifferente, corrisponde a quando ad una

variazione di quota  $\Delta h$  dell'estremo superiore del braccio corrisponde una ugual variazione di lunghezza del *pendolo*, intendendo con tale termine la distanza fra gancio del carico e carrucole superiori del braccio. Da un punto di vista statico, poiché il braccio è un'asta vincolata all'estremo inferiore con una cerniera, perché tale asta sia in equilibrio occorrerà che la risultante di tutte le forze su questa agenti passi per la suddetta cerniera. Di qui i due metodi di operare:

- il primo facendo rispettare alla fune di sollevamento la suddetta condizione geometrica e raggiungendo così la condizione di equilibrio indifferente per il carico;
- il secondo, aggiungendo al braccio delle forze equilibranti, in modo che la risultante di tutte le forze agenti sul detto braccio passi per il centro della cerniera di piede.

**Figura 12.** Gru a braccio sollevabile a cuscinetto. Per la cortesia del sig. Roberto Siligardi.



Il movimento di variazione dello sbraccio, se condotto col carico a quota costante, può comportare l'impiego di motori di potenza anche molto minore, di quando il medesimo è condotto in modo generico [8].

Il movimento del braccio può essere comandato mediante fune, si ha così un altro argano simile a quello di sollevamento che mediante una taglia comanda il predetto movimento. Questa soluzione è adottata nelle gru per cantiere navale.

Altri metodi di movimentazione del braccio sono:

- impiego di cremagliera;
- impiego di vite;
- impiego di cilindri idraulici.

Per fare meglio intuire il funzionamento di queste gru a braccio sollevabile si descrivono brevemente le gru rappresentate nelle Figure 11 e 12.

Nella Figura 11 è rappresentata una gru a braccio sollevabile, costruita nell'anno 1988, per cantiere navale, del tipo a colonna girevole, intendendo col termine colonna un perno di notevoli dimensioni. Nel caso della figura in oggetto, tale perno è cavo e solidale con la piattaforma girevole. Questo perno inoltre è vincolato al portale, in basso, con un reggispinta tale da approssimare una cerniera sferica ed in alto con un vincolo puramente radiale assimilabile ad un carrello. La gru è contrappesata con contrappeso sulla piattaforma girevole. Tuttavia, per quanto detto sopra circa il vincolo della piattaforma, l'entità del contrappeso dipende dalla necessità di avere sulla piattaforma una sollecitazione più favorevole, ad esempio come è stato in precedenza indicato.

La gru, da 200 t è dotata di tre argani: due da 100 t (980 kN), uno con carrucole di rinvio in punta al braccio, l'altro a circa un terzo del braccio, ed uno da 10 t (98 kN), tutti con il movimento di variazione dello sbraccio orizzontale, imposto dalla fune di sollevamento. Non vi è alcuna compensazione del peso del braccio sollevabile, come è normale perché si tratta di un braccio mosso mediante fune.

Sulla piattaforma girevole, sotto il braccio, è posta la cabina del manovratore.

Nella Figura 12 è descritta una gru, sempre a braccio sollevabile, ma del tipo gru a cuscinetto. Si tratta di una gru da banchina per carico 75/30 t (736/294 kN) anno di costruzione 1992. Il braccio sollevabile è mosso da una vite, interposta tra il braccio stesso e la parte girevole della gru denominata *torre*.

Detto braccio, inoltre, è prolungato oltre la cerniera che lo vincola alla torre. All'estremo di tale prolungamento è posto il contrappeso del braccio. Questo contrappeso è stato inserito con lo scopo di portare il baricentro del sistema braccio sollevabile - contrappeso in corrispondenza della sunnominata cerniera, ossia di equilibrare il peso del braccio sicché non abbia alcuna influenza sul moto di variazione dello sbraccio. La sezione di questo contrappeso è rappresentata con l'area tratteggiata con linee punteggiate avente contorno a "pentagono". La contrappesatura qui descritta è molto semplice e teoricamente rigorosa, tuttavia comporta dei vincoli strutturali sicché spesso sono impiegati tipi diversi da questa, anche se solo approssimati.

Pure in questa gru il movimento orizzontale del carico durante la variazione dello sbraccio è imposto dalla fune. Si tratta quindi di un sistema 'ibrido' in cui il movimento di variazione di sbraccio del carico è imposto dalla fune traente, mentre l'equilibratura del peso del braccio è imposta col contrappeso. Naturalmente tutta la condizione di equilibrio poteva essere realizzata caricando il braccio oltre che con contrappeso già visto con un'altra forza proporzionale al carico sollevato. Un

sistema di contrappesatura del braccio per metterlo in condizione di equilibrio indifferente rispetto al carico è riportato in [7], indicato come Sistema Kampnagel.

Sulla parte girevole è posto un altro contrappeso la cui sezione è tratteggiata come quella del contrappeso del braccio. La funzione di questo ultimo contrappeso è analoga a quanto descritto a proposito della gru sopra trattata.

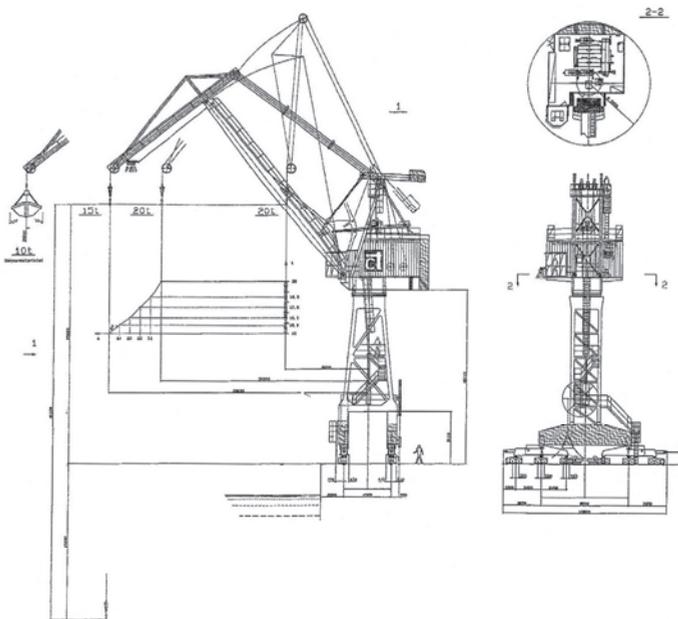
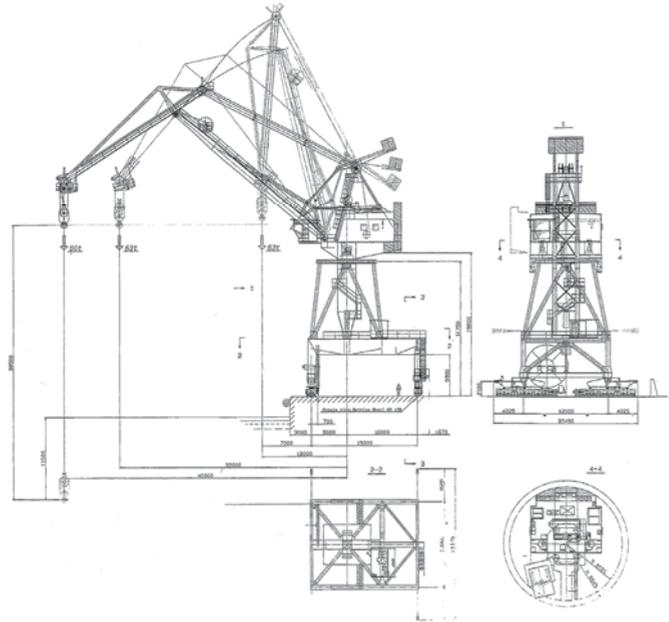
Infine nel disegno è indicato, con linee tratteggiate, il braccio con la punta appoggiata a terra. Questa è la posizione nella quale viene eseguita la manutenzione.

### *Gru a braccio retrattile*

Nelle gru *a braccio retrattile* (vd. Figg. 13 e 14) il braccio è costituito da un parallelogrammo articolato con un lato minore fisso, compreso tra le due cerniere di attacco alla torre, due lati maggiori, rispettivamente detti *puntone*, il più in basso, e *tirante* il più in alto, ed il quarto detto *bracchetto*. Quest'ultimo ha una parte a sbalzo. Data l'architettura di questo braccio è capibile come un opportuno proporzionamento di questo parallelogrammo possa condurre l'estremo a sbalzo del braccetto a percorrere, durante il moto di variazione dello sbraccio, una traiettoria a quota costante anche solo in modo approssimato. Come fatto per le gru a braccio sollevabile, non si entrerà nel merito del proporzionamento del suddetto parallelogrammo ma si considererà il problema risolto. Quindi, poiché la fune di sollevamento del carico per raggiungere l'esterno del braccio, dovrà evolversi per tutta la lunghezza del puntone e parte del braccetto, appare evidente che la lunghezza di fune contenuta nel braccio è indipendente dalla posizione assunta dal braccio medesimo. Ne consegue che perché il carico descriva una traiettoria a quota costante basterà mantenere costante il pendolo, ossia mantenere ferma rispetto al tamburo la fune di sollevamento. Peraltro risulta abbastanza complesso contrappesare il braccio per far sì che il baricentro di questo, durante il succitato movimento, non cambi quota. Con riferimento alla Figura 13 che rappresenta una gru per cantiere navale, si nota che questa contrappesatura è del tipo mobile. Ossia il contrappeso è posto all'estremo superiore di un bilanciante, incernierato sulla cerniera di attacco del tirante alla torre. Questo bilanciante, prolungato oltre la sunnominata cerniera, è mosso da una biella che lo collega al puntone del braccio. Di conseguenza il bilanciante assume una particolare posizione in funzione di quella assunta dal braccio. Però si specifica che la posizione relativa tra braccio e bilanciante non resta costante. Si sottolinea inoltre che la sunnominata biella è realizzata in modo 'alleggerito'.

Nella Figura 13 si nota inoltre che si tratta di una gru a colonna girevole, avente portata 6 3/50 t (618/490 kN). Il movimento di ritiro del braccio è realizzato con una vite interposta tra la torre ed il puntone. La gru è stata costruita nell'anno 2000.

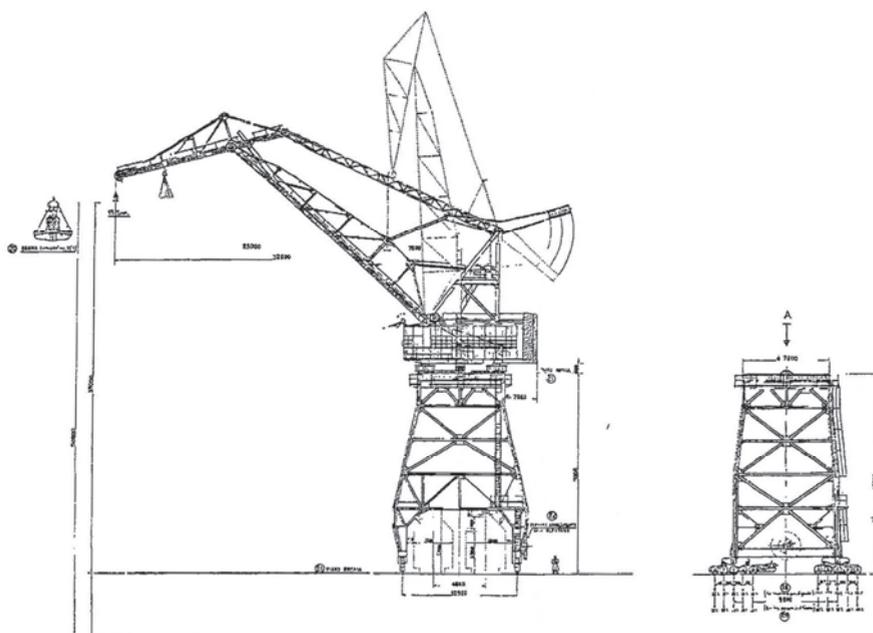
**Figura 13.** Gru a braccio retrattile a colonna girevole. Per la cortesia del sig. Roberto Siligardi.



**Figura 14.** Gru a braccio retrattile a cuscinetto. Per la cortesia del sig. Roberto Siligardi.

Nella Figura 14 è rappresentata come detto sopra una gru da banchina a braccio retrattile del tipo gru a cuscinetto. Il sistema di cotrappesatura e il sistema di ritiro del braccio sono dello stesso tipo di quanto visto sopra. La portata è 20/15 t (196/147 kN), l'anno di costruzione è 1982.

Attorno alla metà degli anni '60 sono state costruite anche alcune gru, equipaggiate con benna, che, per facilitare il manovratore nell'operazione di introdurre la benna nel boccaporto della nave in scarico, avevano la cabina posta sul braccetto.



**Figura 15.** Gru a braccio retrattile a cuscinetto, di costruzione anni '30. Per la cortesia del sig. Roberto Siligardi.

### *Carpenterie*

Si vuole ora condurre un piccolo raffronto tra le carpenterie delle gru moderne e quelle di molti anni fa, ossia precedenti all'avvento delle attuali tecniche di saldatura, come sopra esposto. Nella Figura 15 è riportato il disegno d'insieme di una gru a braccio retrattile il cui anno di costruzione è stimabile attorno agli anni '30. La gru ha una portata massima di 15 t (147 kN). La struttura, a traliccio, sembra realizzata con giunzioni chiodate, tecnica ormai abbandonata come detto in precedenza. Se si

confrontano in generale le strutture dei portali delle tre macchine riportate, nelle Figure 13, 14 e 15, si nota che i tralici delle prime due hanno le maglie più grandi di quella di epoca più remota. Questo è dovuto all'impiego nella costruzione delle macchine più recenti di ferri scatolati, molto più resistenti ai fenomeni di instabilità. Le aste possono così essere più lunghe sicché la struttura appare più semplice. Tale semplicità risulta più evidente confrontando le parti inferiori dei portali. Mentre per la gru di Figura 15 questa è ancora realizzata a traliccio per le altre due è costituita da travi, in commercio già saldate, a sezione a doppio T. Sia questo tipo di travi, sia gli scatolati sono stati posti sul mercato attorno agli anni '60.

Analoghe considerazioni si possono fare per il puntone del braccio retrattile. Questo nella costruzione degli anni '30 è un'asta a traliccio. Nelle costruzioni recenti tale puntone è costituito da uno scatolato con un irrigidimento in prossimità dell'attacco alla torre girevole.

Si è qui condotto un confronto tra soluzioni del passato e soluzioni presenti avendo per oggetto tre gru a braccio retrattile, ma i concetti di fondo possono essere estesi a qualsiasi costruzione di questo tipo.

#### *Impiego delle gru a braccio retrattile ed a braccio sollevabile*

Queste gru sono molto simili, sia se impiegate come gru da banchina, sia come gru per cantieri navali. Tuttavia le gru a braccio sollevabile sono state preferite, date la loro leggerezza e semplicità, sia come gru da banchina, sia come gru per cantiere navale [7]. All'epoca del volume citato, 1977, le gru da banchina erano costruite per portate comprese tra 1,5 e 6 t, mentre le gru da cantiere potevano giungere fino a 60 t.

Dai disegni sopra riportati questi valori appaiono largamente superati.

Questi tipi di gru ora sono principalmente azionati in corrente continua ed anche è ormai diffuso l'azionamento con motore trifase asincrono in corto circuito, azionato tramite un inverter<sup>3</sup>.

Tuttavia per i porti specializzati per i container queste gru sono ormai superate. Conservano però tutta la loro importanza per i porti in cui transitano merci varie.

Si segnala però che attualmente nelle gru multiuso scorrevoli su rotaie sono preferite le gru a braccio retrattile. Mentre per quelle scorrevoli su pneumatici sono tutte del tipo a braccio sollevabile. Queste gru sono montate su sottocarro

---

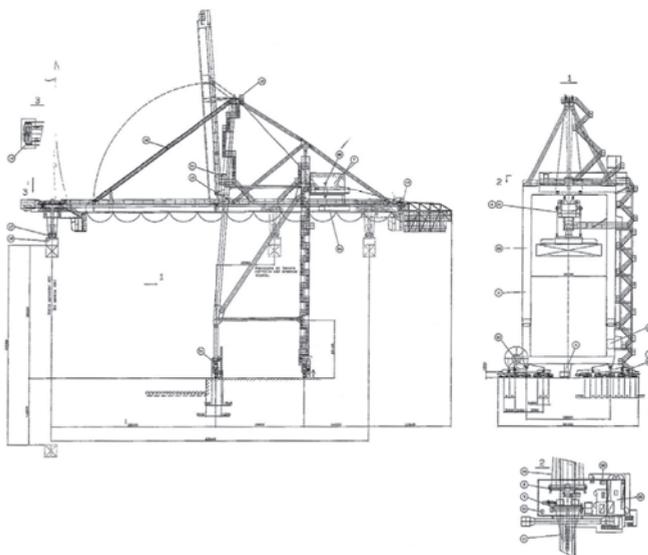
<sup>3</sup> In particolare questo genere di azionamento è così realizzato: linea di alimentazione trifase con tensione e frequenza costanti - raddrizzatore (corrente alternata - corrente continua) - invertitore (corrente continua - corrente alternata con frequenza e tensione variabili) - motore trifase. La regolazione viene eseguita agendo sulle tensioni e sulle frequenze variabili [12].

gommato e hanno la ralla di rotazione della torretta montata subito sopra il sottocarro medesimo. Detto sottocarro è munito di stabilizzatori normalmente a comando idraulico. Perché la macchina possa superare barriere aeree, quali ad esempio elettrodotti, questa viene dotata della possibilità di abbattere la torretta. Questa operazione è ottenuta con l'impiego di martinetti idraulici. Naturalmente i sottocarri possono essere automotori o trainati [9].

## Ponti scaricatori

Si torna ora alle gru a portale, di cui è già stato detto come queste siano spesso impiegate per scaricare autocarri, vagoni ferroviari ed anche navi. I cavalletti per questo ultimo servizio, che sono delle gru da banchina dette *ponti scaricatori*, sono un po' diversi dagli altri cavalletti. Infatti il braccio è prolungato oltre le stilate e, specialmente dal lato mare presenta uno sbalzo molto elevato (vd. Fig. 16) in modo che il carrello possa raggiungere tutti i punti della nave necessari per eseguire l'operazione richiesta<sup>4</sup>.

**Figura 16.** Scaricatore a braccio sollevabile *high profile*. Per la cortesia del sig. Roberto Siligardi.



<sup>4</sup> Oltre agli scaricatori propriamente detti, vi sono delle gru a cavalletto con sbalzo lato mare sollevabile. Tali gru sono ad impiego misto banchina/parco. Normalmente rispetto agli scaricatori il loro sbalzo mobile è più corto mentre la luce del portale è maggiore [9], [6].

I ponti scaricatori vengono installati con i binari, su cui possono scorrere, paralleli alla riva e con la rotaia lato mare molto prossima alla riva medesima. Lo scartamento di tali rotaie è però minore di quello necessario per i cavalletti. Tuttavia perché i carrelli di questi siano in grado di sorvolare le navi in scarico o in carico, sebbene ormeggiate parallelamente alla riva, occorre che le parti a sbalzo, lato mare, raggiungano lunghezze notevoli. Questi sbalzi, benché necessari, possono però rendere difficoltosa la manovra di attracco delle navi per il pericolo di urti tra questi sbalzi e le sovrastrutture della nave. Inoltre, per lo stesso motivo, questi sbalzi possono impedire gli spostamenti di scorrimento, ossia lungo le rotaie, della stessa gru. Dunque i bracci di tali gru dovranno essere costruiti in modo che, quando esse siano fuori servizio, nulla possa sporgere dalla riva almeno fino ad una conveniente altezza dall'acqua. Infatti non sembra razionale realizzare delle gru con braccio fisso avente altezza dall'acqua tale da escludere la possibilità di collisioni con la nave in scarico. Il risultato sopra descritto, detto in gergo che il braccio a mare deve poter scomparire dietro il filo della banchina, può essere ottenuto in due modi:

A) collegando la parte a sbalzo lato mare del braccio al resto del medesimo, solidale col portale, mediante cerniera e impedendo la rotazione dello stesso sbalzo con un tirante flessibile inserito tra questo e la parte più elevata del portale. Un argano comanda il movimento di impenna di questo sbalzo. Tale argano è detto *argano di impenna*. Con questo movimento lo sbalzo, quando la gru è fuori servizio, può raggiungere un'inclinazione sull'orizzontale attorno a  $75^{\circ}$ - $80^{\circ}$ , ossia molto prossima a  $90^{\circ}$ . Questo tipo di scaricatori sono detti *a braccio sollevabile* o anche ad *high-profile*. Nella Figura 16 è rappresentato uno scaricatore a braccio sollevabile. In tale figura il tirante flessibile è realizzato in due tronchi uniti nel centro con una cerniera. In questo modo, quando lo sbalzo viene sollevato, i suddetti tronchi tendono a ricoprirsi permettendo così il moto di impenna. I due ritti lato mare sono divisi ciascuno in due tronchi non coassiali che formano tra loro un piccolo angolo, in modo che, a braccio sollevabile alzato, nulla sporga oltre il filo della banchina.

Gli scaricatori a braccio sollevabile però hanno l'inconveniente di avere, nella condizione di fuori servizio, uno sviluppo verticale molto elevato dell'ordine di grandezza di circa 100 m. Questo comporta l'impossibilità di usare queste gru in vicinanza di aeroporti o in territori con particolari vincoli, ad esempio paesaggistici.

D'altra parte anche l'effetto del vento con gru in fuori servizio diverrebbe molto più gravoso rispetto alla condizione di gru in esercizio. Ciò comporterebbe un maggior costo di costruzione della gru.

Per questi motivi alcuni costruttori hanno introdotto la variante di costruire lo sbalzo lato mare in due metà collegate da uno snodo, in modo che durante

l'impenno queste, ripiegandosi l'una sull'altra, riducessero l'altezza totale sull'acqua della macchina.

Questo tipo di scaricatori, di netta derivazione di quelli a braccio sollevabile, sono stati denominati *scaricatori a braccio retrattile articolato*.

B) realizzando il braccio dello scaricatore scorrevole orizzontalmente. In modo più preciso tale braccio può scorrere all'interno del portale, vincolato a questo mediante rulliere. In questo modo si realizza una struttura con ingombro verticale molto minore perché manca la sovrastruttura del portale necessaria per reggere lo sbalzo mobile degli scaricatori a braccio sollevabile. Naturalmente, questo tipo di struttura risulta un po' più pesante di quella degli scaricatori del tipo qui sopra richiamato. Il moto di traslazione del braccio è comandato da un argano detto *di alaggio*. Ma il principale vantaggio di questo tipo di soluzione costruttiva è che lo scaricatore passa dalla condizione di lavoro, ossia col braccio esteso verso mare, a quella di fuori servizio ritirando detto braccio fino a scomparire oltre il filo della banchina. Mentre l'ingombro verticale resta costante. Questo tipo di scaricatore è detto *a braccio scorrevole* o, nei paesi di lingua inglese, *low-profile*.

In tutte queste gru, almeno nella soluzione classica, il carico può spostarsi lungo tre direzioni:

$\alpha$  - dovuta allo scorrimento della gru e perciò parallela alla riva. Il moto è imposto da apposita movimentazione agente direttamente sui carrelli;

$\beta$  - parallela al braccio, generata dalla traslazione del carrello sul braccio stesso. Questo movimento è imposto al carrello mediante fune comandata da argani, oppure da motori situati sul carrello stesso;

$\gamma$  - in senso verticale ottenuta per mezzo dell'argano di sollevamento.

Il movimento  $\alpha$  viene impiegato principalmente per mettere in posizione la gru rispetto alla nave. Per quanto riguarda i movimenti  $\beta$  e  $\gamma$  questi possono essere così realizzati: per alleggerire la struttura del braccio saranno vincolati alla struttura fissa (portale) sia gli argani che generano lo spostamento  $\beta$  sia quelli dello spostamento  $\gamma$ . Di solito detti argani sono posti nella stessa sala macchine. Questo criterio di sistemazione degli argani è denominato, nel gergo dei costruttori, *rope trolley*.

Qualora invece la traslazione del carrello sia realizzata con motori propri ed in più anche l'argano di sollevamento e le proprie pulegge di rinvio siano solidali col carrello stesso, allora la disposizione è detta *man trolley*.

Naturalmente le dimensioni degli scaricatori sono legate a quelle delle navi e di conseguenza anche ai fondali del porto. Vi sono quindi scaricatori denominati *Panamax*, costruiti per poter operare con navi che possano transitare per il canale di Panama. Delle caratteristiche di questi si cita solo, come esempio, che sono costruiti



## Ringraziamenti

L'Autore ringrazia: il dott. Pierluigi Vaccario che nel maggio del 2011, allora amministratore unico della Società CT Crane Team s.r.l., ha permesso al perito industriale Roberto Siligardi direttore tecnico di fornirgli un'ampia documentazione grafica e di avere con lo scrivente alcuni interessanti colloqui. In alcune figure di questo scritto sono riportati disegni, o parti di questi, comprese nella suddetta documentazione.

Si ringrazia inoltre la Soprintendenza per i beni architettonici e paesaggistici di Venezia e laguna, la Soc. BCV progetti e la Soc. Pollastri Sollevamento per aver concesso la pubblicazione di alcune fotografie dei loro archivi.

## BIBLIOGRAFIA/SITOGRAFIA

- [1] Martines G., *Macchine da cantiere per il sollevamento dei pesi*, Annali di architettura, Rivista del Centro Internazionale di Studi di Architettura Andrea Palladio di Vicenza, n. 10-11 1998-99.
- [2] URL: <<http://www.leonardo3.net/leonardo/machines.php>>.
- [3] Fédération Européenne de la Manutention, *Règles pour le Calcul des Appareils de Levage*, section 1 premier fascicule; "Charpente" edition Juin 1962; deuxième fascicule, "Mecanismes" "Annexes" edition, rev. novembre 1965.
- [4] Fédération Européenne de la Manutention, section 1, *Heavy lifting equipment, Rules for the Design of Hoisting Appliances*, 2<sup>nd</sup> edition, December 1970.
- [5] Fédération Européenne de la Manutention, section 1, *Heavy lifting equipment, Rules for the Design of Hoisting Appliances*, 3<sup>rd</sup> Edition comprises booklets 1 to 8, October 1987.
- [6] Zignoli V., *Costruzioni Metalliche*, Torino, Unione Tipografico-Editrice Torinese, Vol. II, 1957.
- [7] Maia S., *Macchine di Sollevamento e Trasporto*, Milano, CLUP, 1977.
- [8] Zignoli V., *Trasporti Meccanici*, Milano, Hoepli, 1953.
- [9] Matteazzi S., Minoia S., *Panorama delle apparecchiature di sollevamento per unità di carico*, Trasporti Industriali & Movimentazione, n° 436, settembre 1995, n° 441, aprile 1996, n° 446, ottobre 1996, n° 447, novembre 1996.
- [10] Ernst H., *Les Appareils de Levage*, tome III Appareils Spéciaux, traduzione dall'edizione tedesca del 1953 eseguita da H.W. Gunther, Paris, Gauthier-Villars, 1961.
- [11] Soprintendenza di Venezia dei Beni Culturali, *La Gru Idraulica Armstrong dell'Arsenale di Venezia*, cap IX, URL: <[www.soprintendenza.venezia.beniculturali.it/soprive/](http://www.soprintendenza.venezia.beniculturali.it/soprive/)>.
- [12] Lupò G., *Macchina Asincrona*, Università di Napoli Federico II Facoltà di Ingegneria, Corso di Laurea in Ingegneria Navale.
- [13] URL: <[http://www.sapere.it/enciclopedia/ponte+\(lessico\).html](http://www.sapere.it/enciclopedia/ponte+(lessico).html)>.

## La meccanica delle armi da fuoco portatili

### Generalità

L'improvviso ed enorme sviluppo delle armi da fuoco verificatosi nella seconda metà del XIX secolo, è sicuramente dovuto a diversi fattori quasi contemporanei. Sostituitasi la termodinamica alle vecchie e precedenti teorie del "flogisto" prima, del "calorico" poi, nascono quasi insieme il bossolo metallico per la "cartuccia" non più di carta, la polvere senza fumo generata dai progressi della chimica, infine la ripetizione automatica e semiautomatica dei colpi: e qui la meccanica fa il suo ingresso trionfale nell'ambito di quelle che sono le "macchine termobalistiche", ovvero per l'appunto le armi da fuoco.

Non che la meccanica non fosse presente nei secoli precedenti: ma si trattava allora soprattutto dell'opera di valenti artigiani, che seguivano lentamente i progressi e le invenzioni: dall'accensione a miccia, ovvero a "fuoco vivo", alla ruota (primo capolavoro di meccanica fine, e siamo nel Cinquecento) e poi allo "snaphaunce", quindi all'acciarino a pietra focaia per finire alla capsula col fulminato di mercurio. L'intervento della meccanica ottocentesca porta alla rigatura delle canne, onde fornire moto rotatorio al proiettile ancora di piombo, ed ai primi tentativi di retrocarica. Eccelle in questa tecnica il novarese Giovanni Cavalli, già nel 1830. Ma solo la correlazione fra le novità appena sopra ricordate comporta la vera e propria rivoluzione nelle armi da fuoco in genere, ed in particolare in quelle portatili, da guerra, da difesa e da caccia<sup>1</sup>.

Vediamo di esaminare in modo specifico l'apporto della meccanica in questo settore, tralasciando ovviamente l'influenza particolare della chimica e della termodinamica e dando per scontato l'uso dei proiettili di piombo ma rivestiti di altro metallo (ottone, rame, mallechort: quest'ultima lega di rame, nichel e zinco dovuta ai francesi Maillat e Chorier nel 1819) oppure fatti di acciaio sinterizzato. È il maggiore svizzero Rubin che "inventa" il proiettile di questo tipo, oltretutto di calibro ben minore di quello delle grosse palle tonde in piombo, usate nelle armi a retrocarica; Rubin introduce anche i primi bossoli in ottone. Però già nel 1836 il francese Lefauchaux aveva ideato la cartuccia con bossolo in cartone su fondello metallico (le famose munizioni "a spillo", usate ancora nei primi decenni del ventesimo secolo). Nel 1847 era stato l'altro francese, Flobert, a ideare la cartuccia a percussione anulare mentre si deve a Pottet la cartuccia a percussione centrale, con

---

<sup>1</sup> Selvini (1997).

gli inneschi introdotti dall'inglese Edmund Monnier Boxer e poi dall'americano Hiram Berdan dello USA Ordnance Department.

Nel 1871 Wolkman inventa il "collodium"; subito dopo il francese Vieille ottiene una buona polvere senza fumo dalla mistura di acido picrico e nitrocellulosa: sarà il capostipite di tutte le moderne polveri infumi. La potenza delle nuove munizioni caricate con tali propellenti, ben diversi dalla polvere nera usata per secoli, non creò troppi problemi alle armi portatili, lunghe o corte però a ripetizione manuale. Gli otturatori erano divenuti certamente più complessi di quelli dei fucili "ad ago" (Chassepot, Dreyse...) ma la loro funzione non comportava difficoltà particolari: alette e naselli di ritegno assicuravano la buona tenuta nel manicotto che chiudeva la camera di scoppio. Ben diversa era la situazione che si presentava ai primi sperimentatori, ai primi ideatori delle armi (soprattutto corte) a ciclo di sparo semiautomatico ed automatico: uno dei più intelligenti fra loro, Karel Krnka (dallo pseudonimo di "Kaisertreu", fedele all'imperatore), scrisse un libro<sup>2</sup>, pubblicato a Vienna nel 1902, in cui elencava le varie possibilità dei sistemi di chiusura degli otturatori: le sue osservazioni sono valide ancor oggi ad oltre un secolo di distanza. Vediamo di farne qualche cenno.

Limitiamo per ora il discorso alle pistole semiautomatiche (nel linguaggio corrente sono dette "automatiche", ma il termine giusto è quello sopra indicato: in altre lingue, come per esempio l'inglese ed il tedesco, sono più correttamente indicate rispettivamente con gli aggettivi *self loading* e *selbstlade*, entrambi traducibili con il termine italiano "autocaricantesi"). Queste, nate fra l'ultimo decennio dell'Ottocento ed il primo del Novecento, a distanza di un secolo e più offrono ancora le stesse caratteristiche meccaniche; ben poco è stato innovato in questo ambito, a differenza di quanto è invece accaduto per i fucili, per i quali c'è ormai un divario enorme fra quelli nati alla fine dell'ottocento ed ancora largamente usati nella seconda guerra mondiale, e quelli oggi in dotazione a tutti gli eserciti. In dipendenza generalmente (ma con alcune eccezioni) della potenza della munizione impiegata, le armi semiautomatiche portatili si suddividono generalmente come segue, dal punto di vista della meccanica di chiusura dell'otturatore:

- chiusura labile, a massa (e molla) (in inglese, *simple blowback*);
- chiusura geometrica (in inglese, *locked breech*);
- chiusura metastabile o ad apertura ritardata (in inglese, *hesitation* od anche *delayed blowback*).

Le armi a chiusura geometrica (anche lunghe, non solo le pistole) presentano sistemi meccanici fra i più vari; ne diremo per alcuni casi specifici più avanti. È però

---

<sup>2</sup> Krnka (1902).

opportuno chiarire subito qualche particolarità sulla chiusura geometrica; in generale sui sistemi di otturazione delle armi corte e lunghe vi è un bel volume, purtroppo solo nella sua lingua originale, il tedesco, che ne fa una classifica veramente completa<sup>3</sup>; in questo libro fra l'altro la classifica delle chiusure è diversa da quella sopra riportata: vi si parla di *Stoffschluß*, *Formschluß* e *Kraftschluß*, che tradurremo rispettivamente con “chiusura materiale” (tipica nel nostro caso delle armi ad avancarica, nelle quali la chiusura è assicurata dal fondo otturato della canna, ed anche dei revolver nei quali il fondo del tamburo è chiuso dal telaio), “chiusura per forma geometrica” (il già sopra citato *locked breech*) ed infine chiusura attraverso forze esterne (che comprende tutte le chiusure a massa, con o senza molla di recupero, demoltiplicate, frenate o meno). Ovviamente non ci occuperemo qui delle armi ad avancarica.

La chiusura geometrica si ottiene sia con armi a canna mobile che con armi a canna fissa. Nel primo caso, tipico delle armi corte, la canna rincula, sotto l'effetto dei gas di sparo, rigidamente connessa con l'otturatore, sinché la pressione in canna scende di colpo a valori praticamente nulli. Solo a questo punto la connessione fra canna ed otturatore, per effetto di vari ed ingegnosi sistemi di legame viene a mancare e l'otturatore continua la sua corsa in arretramento, espellendo il bossolo vuoto, per poi ritornare in chiusura, spinto da molle di diversa fattura, introducendo una nuova cartuccia, prelevata dal serbatoio di cui l'arma è fornita, nella camera di scoppio ed armando il sistema di percussione (cane esterno, oppure interno, o percussore lanciato). Il movimento della canna può essere ripartito in “corto” oppure “lungo” rinculo; oggi quest'ultimo è solo utilizzato in alcuni fucili da caccia a canna liscia, ma nel passato fu tipico anche di alcune pistole (ad es. Frommer).

Se la canna è fissa, opzione tipica di molte armi lunghe soprattutto da guerra, l'otturatore è in chiusura geometrica sinché un sistema di aste, mosse da una frazione dei gas di sparo, prelevata dalla canna dell'arma, non lo svincola facendolo arretrare col già indicato ciclo di espulsione del bossolo, di introduzione della nuova cartuccia e di caricamento del dispositivo di sparo. Vi sono però e non da oggi anche armi corte munite di questo sistema, così come ve ne sono che utilizzano il gas per frenare l'apertura dell'otturatore sinché la pressione in canna sia nulla o quasi.

La meccanica di precisione si è sbizzarrita nel trovare i sistemi di connessione fra canna e carrello, nelle armi corte: vi sono connessioni realizzate con dentelli che obbligano la canna a ruotare al fine di svincolarsi dal carrello (Steyr, M 1907 ed M 1912, recentemente ripreso da Beretta, nella pistola Px4 Storm, Fig. 1).

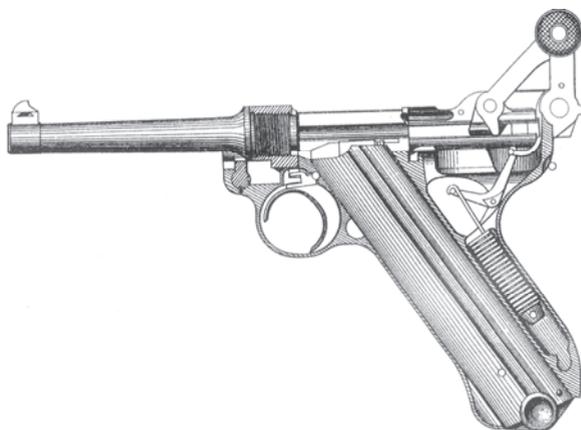
---

<sup>3</sup> Dannecker (2008).



**Figura 1.** La Beretta Px4 Storm.

Uno dei primi metodi si avvale del movimento a ginocchio dell'otturatore (Borchardt, 1893; Luger, 1900, Fig. 2), ma il sistema più diffuso si deve all'americano Colt, e consiste in una bielletta che obbliga la canna ad abbassarsi lasciando così libero il carrello che vi è legato tramite risalti (Fig. 3); sistema poi semplificato eliminando la bielletta e sostituendola con adatte appendici della parte posteriore della canna (pistola belga FN Browning GP, pistola polacca VIS-Radom, pistola svizzera SIG P220). Un sistema di connessione a chiavistello venne introdotto già nel 1896, con la pistola Mauser di cui diremo fra breve, utilizzato in altre armi fra cui la italiana sperimentale "Vitali" e poi ripreso sotto altra forma nel 1938, dalla tedesca Walther di Zella-Mehlis (oggi ad Ulm). Più avanti tale congegno venne utilizzato dalla Beretta col modello 1951 e poi col mod. 92 di gran successo mondiale (questa pistola è dal 1985 l'arma da fianco dell'esercito statunitense, sotto la sigla "Pistol, M9A1" oltre che di molte altre forze armate e polizie). Ma vediamo, in ordine, queste ingegnose realizzazioni meccaniche, anche con schemi semplificati.



**Figura 2.** La Luger P08 parzialmente sezionata.

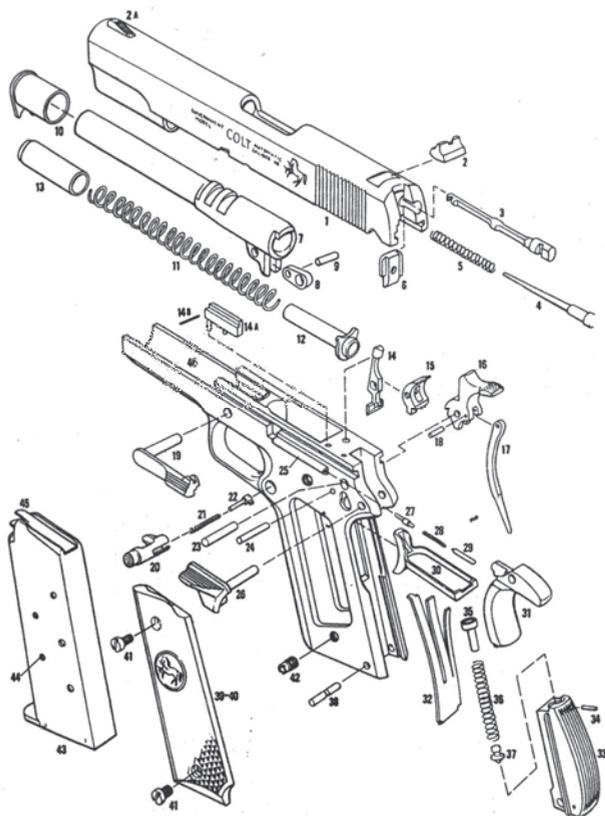


Figura 3. La Colt M 11 scomposta.

### I sistemi di chiusura dell'otturatore: la chiusura geometrica

Non ci occuperemo qui delle prime realizzazioni di armi semiautomatiche corte o lunghe, trattandosi di lavori poco più che artigianali, nei quali certamente la meccanica fine aveva un ruolo importante ma che poco hanno lasciato di sé nel mondo industriale successivo. Parleremo invece delle prime armi corte di larga e larghissima diffusione, nelle quali i sistemi di otturazione hanno rappresentato la via sulla quale nel tempo ed ancor oggi l'inventiva e l'industria si sono indirizzate.

La prima pistola di grande successo, poi prodotta in milioni di esemplari, è la Mauser C 96 (ove la "C" sta per "Konstruktion" mentre il numero indica l'anno di introduzione: 1896). Anche se non è il primo sistema di otturazione e di legame fra canna ed otturatore, come vedremo poi, questo sistema, insieme ad un paio di altri utilizzati pochi anni dopo, è giunto sino ai nostri giorni e sia pure con varianti più o meno vistose. Questa pistola ha solo 30 parti, senza che vi sia una vite di collegamento (salvo quella di connessione delle guancette in legno): un capolavoro

di meccanica ad incastro (v. Fig. 4). Si veda ora lo schema di figura 5, assai semplificato ma rigoroso; esso mostra il modello cinematico dalla posizione di “pronti al fuoco” sino al ritorno in chiusura dell’otturatore. In 1, la cartuccia è nella camera di scoppio e l’otturatore chiuso. In 2, la carica è stata accesa, la pressione in canna vale  $p$ , il proiettile è alla fine della canna, che è ancora solidalmente legata all’otturatore, il cui assieme è arretrato di circa 0,9 mm. In 3, il proiettile ha lasciato la canna, ove la pressione è ora nulla, e si trova a circa 255 mm dalla “volata” (la bocca della canna) mentre il chiavistello a due denti SR si sta inclinando. In 4, SR si è del tutto inclinato e si è arrestato conto il risalto  $P_1$  mentre l’otturatore ha raggiunto  $P_2$ . Da qui, sotto la spinta della molla elicoidale di recupero SF, ricomincia il ciclo di chiusura, camerando la nuova cartuccia.

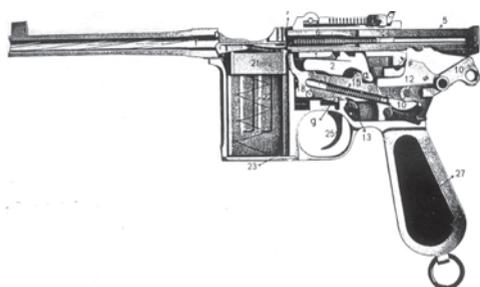


Figura 4. Sezione della Mauser C96.

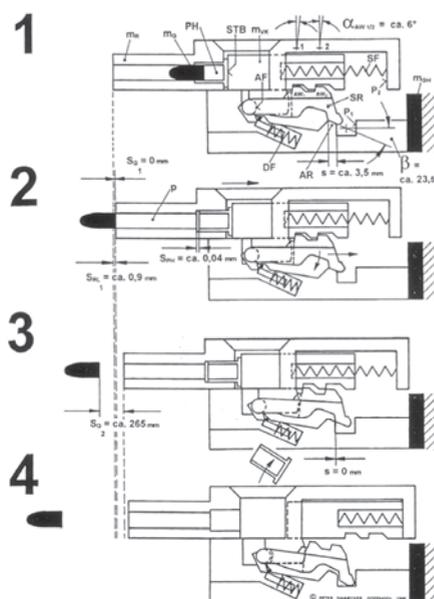


Figura 5. Schema operativo della Mauser C96.

Un'altra soluzione, precedente come realizzazione semi-industriale è quella presente nella pistola C93 dell'ingegner Ugo Borchardt della DWM (Deutsche Waffen- und Munitionsfabriken). L'azienda aveva per sigla telegrafica "Parabellum", derivata dal noto motto latino: "Si vis pacem, para bellum". L'arma venne poi modificata quasi un decennio più tardi da Georg Luger, raggiungendo grande successo (qualche milione di pezzi costruiti e secondo tolleranze lavorative eccellenti). In verità il movimento dell'otturatore a ginocchio, era stato già realizzato in una pistola a ripetizione manuale progettata nel 1854 da Horace Smith e Daniel B. Wesson: la "Volcanic". Da questa deriverà poi il fucile di Tyler Henry (1860), che a sua volta fa da capostipite per i ben noti e diffusi fucili Winchester a leva (1866). La pistola di Georg Luger, diverrà nel 1908 l'arma corta dell'imperiale esercito tedesco, in calibro 9 mm, sotto la sigla "P08" ("P" per Pistole, 08 l'indicazione dell'anno di adozione). Essa sarà poi l'arma della Wehrmacht, sino al 1938, anno in cui verrà sostituita dalla Walther P38 di cui si dirà più avanti. Già nel 1900 però l'arma era stata adottata dall'esercito svizzero, nel calibro originario 7,65 mm Parabellum, come "Pistole, Ordonnanz 1900, System Borchardt-Luger". Si veda lo schema di figura 6. Nella fase 1 l'arma ha la cartuccia in camera di scoppio, il percussore armato ed è pronta per lo sparo. Il carrello  $m_{VK}$  che fa da otturatore è connesso con un sistema di aste  $H_1$  ed  $H_2$  aventi centri di rotazione  $D_1, D_2, D_3$ . In 2, la carica di lancio è accesa, con la pressione  $p$  che manda il proiettile  $m_G$  lungo la canna  $m_R$ . Questa, unita solidalmente col carrello, riceve un impulso che la fa arretrare, mentre il proiettile esce dal vivo di volata. In 3 il proiettile è ormai fuori dalla canna, mentre il sistema delle aste urta contro la parete inclinata del fusto dell'arma: accade ciò che avverrebbe se un uomo disteso orizzontalmente ed a gambe unite, ricevesse un forte urto sulla pianta di uno dei piedi: il ginocchio si piegherebbe, e le due parti inferiore e superiore della gamba si disporrebbero a "V" rovescia. In 4 il carrello ha raggiunto il fusto della pistola allungando la molla di recupero che lo riporterà in chiusura, camerando la nuova cartuccia; nel frattempo il bossolo vuoto è stato espulso.

Ma sicuramente il sistema di connessione più diffuso nel tempo, e giunto in varie versioni sino ad oggi come si è detto più sopra, è quello ideato da John Moses Browning, utilizzato sulla pistola USA M11 (poi M11A1/ M11A2) in cal. .45. Si veda lo schema di figura 7; in 1 la canna ed il carrello otturatore sono rigidamente connessi dai risalti a dentelli fresati in positivo sulla canna ed in negativo sull'intradosso del carrello. La canna è connessa nella sua parte inferiore al fusto dell'arma per il tramite della biella  $K$ , con centri di rotazione  $D_1$  e  $D_2$ ; in 2 il proiettile è già uscito dalla canna e la biella è parzialmente ruotata, mentre il complesso canna e carrello stanno arretrando. In 3 la rotazione ulteriore della biella ha fatto abbassare la canna, che si è arrestata contro il risalto  $P$  del fusto, mentre il

carrello, svincolato dalla canna, continua l'arretramento espellendo il bossolo vuoto, per poi ritornare in chiusura sotto la spinta della molla SF, ed il ciclo riprende.

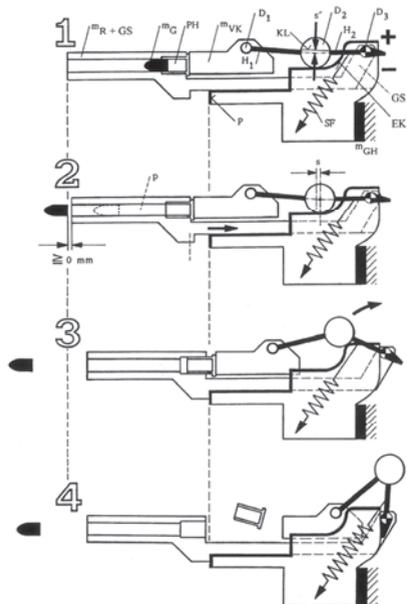


Figura 6. Schema operativo della P08.

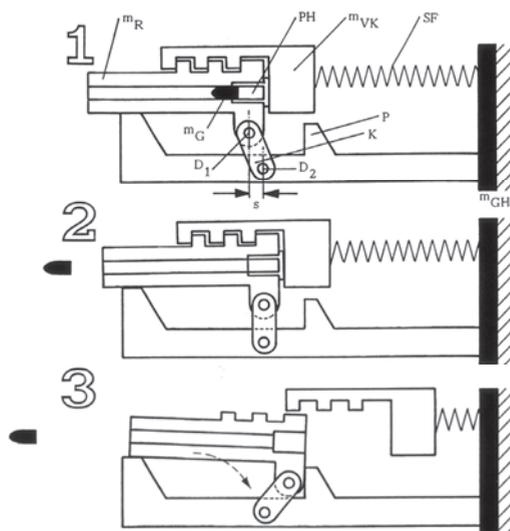
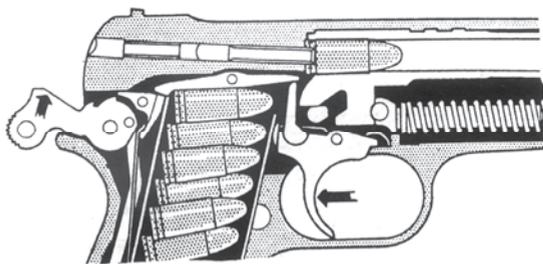
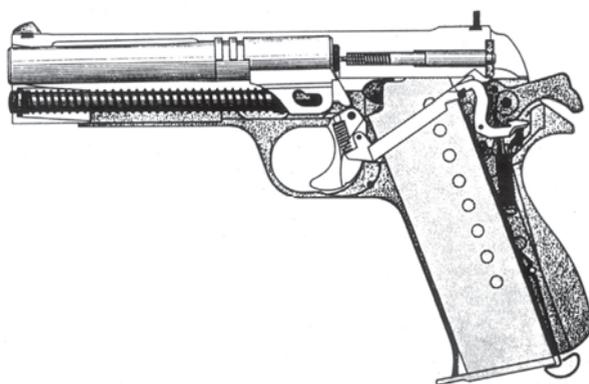


Figura 7. Schema operativo della Colt M11.



**Figura 8.** Sezione parziale della FN35.

Vediamo subito le sue varianti principali; in figura 8 la sezione della citata pistola belga FN, ultimo progetto di Browning: si vede come l'appendice inferiore della canna provveda al suo abbassamento pur senza la bielletta della Colt M11. Altrettanto si vede in figura 9, che riguarda la citata pistola svizzera SIG (Schweizerische Industrie Gesellschaft di Neuhausen am Rheinfahl, fondata nel 1853) modello P 220; analoghe soluzioni si trovano in parecchie altre pistole, come la francese M35, la statunitense M 59 Smith & Wesson, la citata polacca VIS-Radom.



**Figura 9.** Sezione della P 220 SIG.

Diversa come soluzioni meccaniche, la pistola Webley & Scott, del Regno Unito; fabbricata nel 1905, col calibro inconsueto (ma diffuso in quel Paese) .455 espresso in pollici, si vede in sezione nella figura 10: la canna è a corto rinculo, ma la connessione col carrello è governata dalle due vistose fresature diagonali. Non solo, la molla di recupero è laminare a "V". La pistola praticamente non ebbe gran successo (l'armata britannica ha preferito, sino alla fine della seconda guerra mondiale il revolver nello stesso calibro) ed è quasi sconosciuta al di fuori del paese d'origine.

Torniamo ora al sistema a chiavistello della Mauser C96; almeno due realizzazioni italiane in proposito vanno menzionate.



**Figura 10.** Sezione della W&S del 1905 in cal. .455.

Giuseppe Vitali, nato a Bergamo nel 1845, ufficiale in servizio permanente effettivo del Regio Esercito, nel 1887 si era già dedicato alla progettazione di parti d'arma. Agli inizi del Novecento, aveva realizzato un prototipo di pistola semiautomatica, alquanto diversa da quelle allora conosciute; intanto l'arma era a "doppia azione", ovvero il grilletto agiva come nei revolver, armando il cane: e ciò allora era una novità, dato che il dispositivo venne utilizzato su larga scala solo negli anni Trenta, per diffondersi considerevolmente solo verso la fine del secolo. Altra novità era costituita dalla presenza di due molle di rinculo, cosa che verrà ripresa nel 1938 dalla Walther per la già nominata P 38. E non ultimo, oltre alla possibilità di basculare canna, carrello e serbatoio, così da rendere più facile la pulizia e lo smontaggio, la Vitali aveva due protuberanze laterali del grosso cane (Figg. 11 e 12) che impedivano lo sparo a carrello non perfettamente chiuso. Purtroppo l'arma, con chiusura a canna rinculante e chiavistello mutuato dalla Mauser C 96, venne provata dall'esercito ma scartata, preferendole l'arma di Revelli di cui si dice qui avanti<sup>4</sup>.



**Figura 11.** Disegno della Vitali a carrello arretrato.

<sup>4</sup> Bravetta (1901).



**Figura 12.** Il cane della Vitali con le due protruberanze.

La seconda realizzazione, stavolta di buon successo dato che l'arma venne adottata dal Regio Esercito come Mod. 1910, ma conosciuta anche come "Glisenti" (o "Brixia", con qualche variante) è quella dovuta ad Abiel Bethel Revelli, conte di Beaumont, ufficiale di artiglieria, nato a Sciolze nel 1864 e morto a Torino nel 1930, progettista della prima pistola mitragliatrice in assoluto della quale si parlerà più oltre<sup>5</sup>.

La M 1910, camerata per una cartuccia in cal. 9 mm ma con carica minore rispetto a quella analoga della Luger P08 (quest'ultima cartuccia è universalmente conosciuta come "9 × 19" o "9 Parabellum", aggettivo preso dalla già citata sigla telegrafica della DWM), ha una chiusura a chiavistello ma di forma assai diversa rispetto a quella della Mauser, della Vitali e di altre successive. Il chiavistello, in figura 13, ha la forma di un blocchetto girevole DR imperniato in  $D_1$  con l'appendice superiore inserita nell'incavo  $m_{VK}$  dell'otturatore. Si veda lo schema di figura 14; in 1 la pistola è pronta per il fuoco. In 2 il proiettile ha raggiunto il vivo di volata ed il blocchetto-chiavistello è ruotato di  $\beta = 7^\circ$  mentre il complesso canna-otturatore è arretrato di 0,4 mm. Nella fase 3, il proiettile ha lasciato la canna, la rotazione è di  $20^\circ$ , mentre infine in 4 la canna col suo contenitore si è arrestata in  $P_1$  e l'otturatore ha completato l'arretramento espellendo il bossolo vuoto; ritornerà in avanti, sotto la spinta della molla  $SF_2$  inserendo una nuova cartuccia in canna ed armando il percussore.

I serbatoi delle pistole semiautomatiche del primo mezzo secolo della loro storia, generalmente chiamati "caricatori", fissi (per es. nella Vitali, nella Mauser C96 e nelle austriache Steyr M7 ed M12) o mobili in genere, hanno capienza di 6-10 cartucce, con media pari a 7 e con la sola eccezione della "Plus Ultra" spagnola, in cal. 7,65 Browning che aveva un caricatore bifilare da 20 colpi. Tutti, anche quelli attuali (che però hanno di solito grande capienza, sino a 17 cartucce in cal. 9 Parabellum) sono provvisti di un elevatore di lamiera spinto in alto da una molla a spirale. Vi è stata una sola eccezione, che non ha avuto fortuna:

<sup>5</sup>Dannecker (2010).

quella delle tre pistole, due rimaste sotto forma di prototipi ed una sola costruita in piccola serie dalla FNA (Fabbrica Nazionale di Armi, di Brescia): sono le armi di Giulio Sosso, monferrino, geniale inventore<sup>6</sup> ricordate purtroppo più negli USA che in Italia. Dice infatti Elmer Swanson<sup>7</sup> di tale arma: «Giulio Sosso 9 mm caliber, barrel length 6 inches [...] weight 3 pound 14 ounces [...] Blue black finish, checkered handle, outside hammer [...] Made in 1942». Il caricatore della pistola FNA (Fig. 15), così del resto come negli altri due prototipi, è sprovvisto della consueta molla, che talvolta è causa di malfunzionamenti specie nelle pistole militari sottoposte a polvere, sabbia, cadute, ed è invece provvisto di un sistema a noria: assoluta semplicità di alimentazione e grande capienza, 20 cartucce cal. 9 Parabellum. Uno dei due prototipi, conservato oggi nel Museo della Beretta a Gardone Valrompia, è rivoluzionario anche per la struttura, che è in “zama”, la poco conosciuta lega a base di zinco, materiale allora autarchico da noi; ha una cartella asportabile che facilita smontaggio e pulizia. L’arma, smontata così come il caricatore, è in figura 16 mentre in figura 17 si vede la sezione del primo prototipo, risalente al 1934, e provvisto di un sistema di chiavistello che anticipa quello usato qualche anno dopo dalla Walther per la famosa P38.

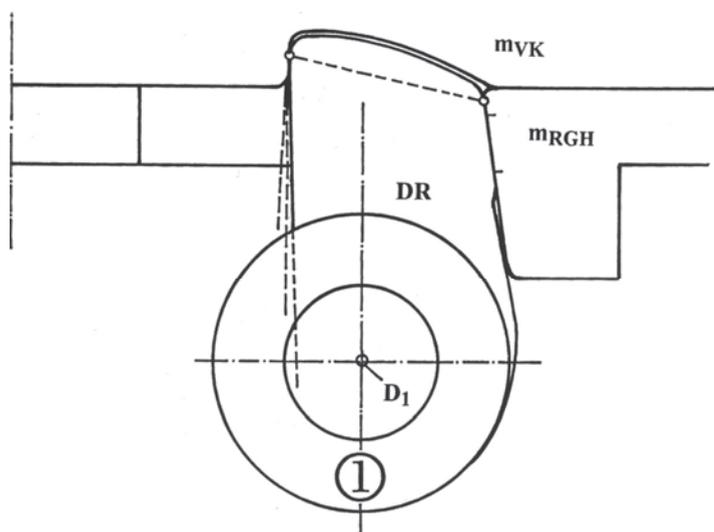


Figura 13. Il chiavistello girevole della Glisenti.

<sup>6</sup> Blaesser (1970).

<sup>7</sup> Swanson (1955).

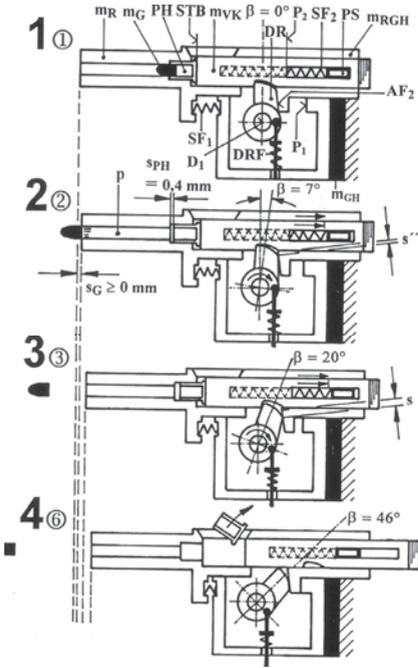


Figura 14. Schema di funzionamento della Glisenti.



Figura 15. La FNA Sosso smontata.



Figura 16. La Sossa in zama scomposta.

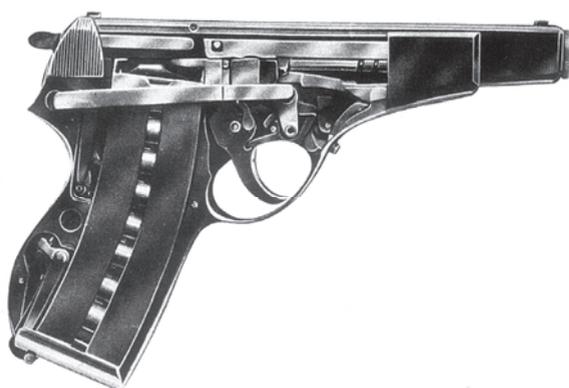


Figura 17. Sezione della prima Sossa.

Ed ora vediamo la meccanica della canna rototraslante, utilizzata per la prima volta nella pistola austriaca Roth-Steyr M07 in cal. 8 mm; si osservi la figura 18, che rappresenta la canna dell'arma in due posizioni: nella parte anteriore i due dentelli di guida della rotazione, in quella posteriore gli altri due di blocco, nonché lo schema semplificato di chiusura e svincolo. Nella fase 1 l'arma è pronta per il fuoco. I dentelli  $W_{1,2}$  sono inseriti negli intagli  $AF_{1,2}$  dell'otturatore  $m_{VK}$  mentre gli altri due naselli  $SW_{1,2}$  combaciano con le guide inserite nel fusto  $SK_{1,2}$ .

Nella fase 2, la cartuccia è accesa e la pressione  $p$  spinge la pallottola  $m_G$  lungo la canna  $m_R$ . Contemporaneamente il complesso  $m_R$  ed  $m_{VK}$ , cioè canna ed otturatore, saldamente connessi, ricevono un impulso che li fa arretrare. Ma subito la canna ruota verso destra, sotto l'effetto delle guide in cui i naselli sono inseriti, liberando l'otturatore che continua l'arretramento, mentre la canna si arresta contro

$P_1$ ; lotturatore a sua volta si ferma poi contro  $P_2$  ma la molla di recupero SF lo riporta in chiusura, dopo che il bossolo vuoto è stato estratto ed espulso.

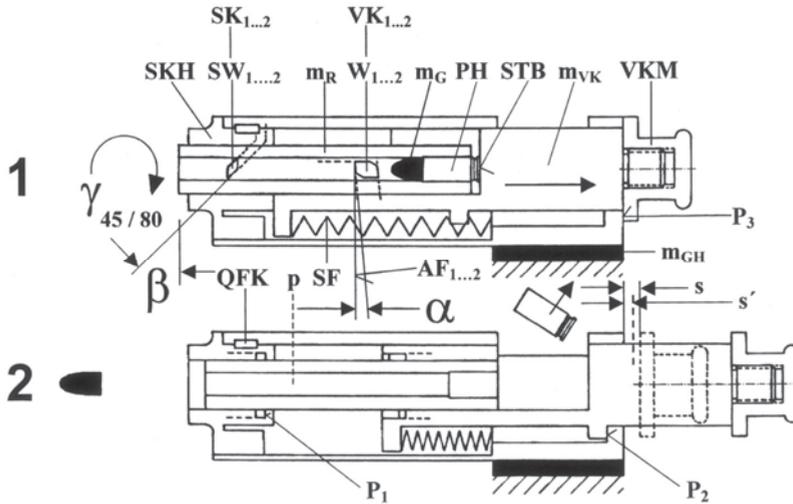


Figura 18. Schema della Roth-Steyr.

Sullo stesso criterio è stata costruita la Steyr M12, in cal. 9 Steyr (o  $9 \times 23$ ), arma ufficiale dell'esercito austriaco durante la prima guerra mondiale. Di questa ne venne fatta anche una versione con serbatoio allungato a 16 colpi e capace del tiro automatico; in figura 19 il semplice dispositivo per questo tipo di tiro a raffica, che esclude il disconnettere di cui si dirà più oltre.

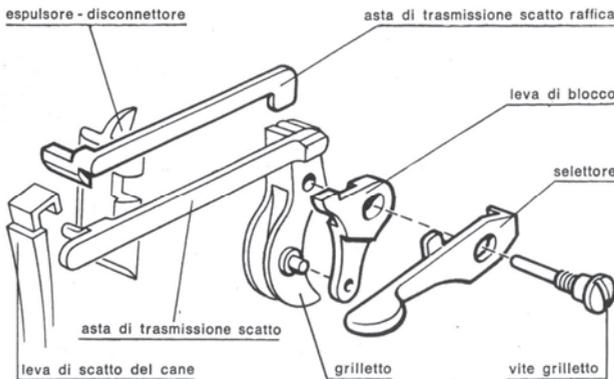


Figura 19. Il dispositivo per lo sparò a raffica della Steyr M12/16.

Ecco ora una realizzazione di grande importanza: quella adottata dalla Carl Walther Waffenfabrik di Zella-Mehlis in Turingia: si tratta della pistola d'ordinanza della Wehrmacht, dalla già citata sigla P38. Si veda lo schema di figura 20; in 1 l'arma è pronta per lo sparo. In 2, il proiettile sta per lasciare la canna, e per effetto del rinculo sia la canna  $m_R$  che il carrello otturatore  $m_{VK}$  arretrano solidali, legati dal chiavistello inclinabile SR. Nella fase 3, il proiettile è ormai fuori dal vivo di volata, e ne dista circa 41 mm. Il chiavistello ha percorso 2,5 mm in arretramento, e sta per scivolare lungo il piano inclinato della superficie sottostante del telaio dell'arma. In 4, il legame fra canna e carrello è terminato, per la caduta del chiavistello. La canna si è arrestata contro  $P_1$  ed il carrello ha terminato la corsa contro  $P_2$  mentre la molla di recupero (in realtà sono due, accoppiate) è compressa ed il bossolo vuoto sta per essere espulso. Da qui, il ciclo riprende.

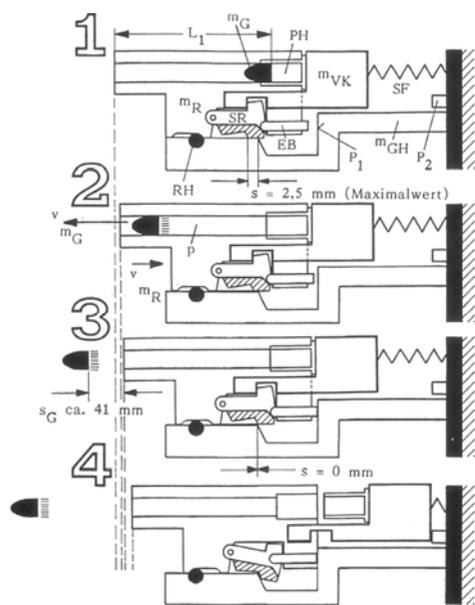
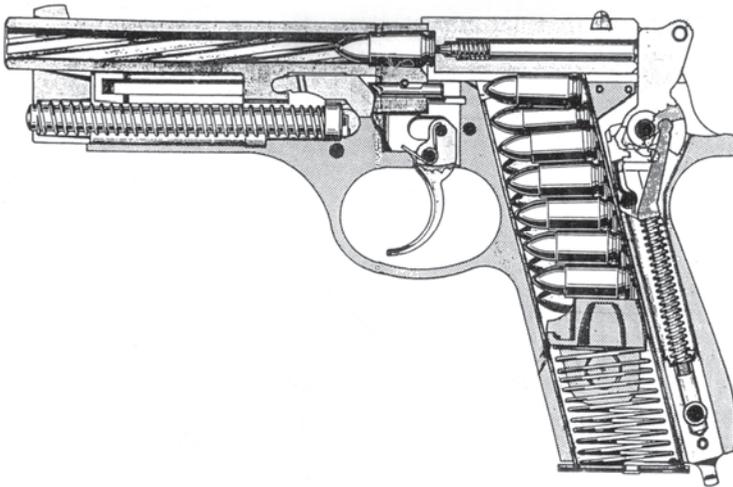


Figura 20. Lo schema della Walther P 38.

Analoga soluzione è stata ripresa, così come già detto più sopra e circa mezzo secolo più tardi, dalla Beretta con la pistola M51 e poi con la M92: in figura 21 la sezione di quest'ultima arma.

Una elevatissima commistione fra meccanica di precisione ed inventiva degli ingegneri progettisti è ritrovabile proprio nella P38. Le sue innovazioni verranno, dopo la fine della seconda guerra mondiale, copiate e ricopiate in parecchie altre armi corte un po' dappertutto. Vediamo di parlarne e sia pure in breve. L'arma intanto è a "doppia azione" (lo avevamo del resto già visto con la nostra Vitali, e la

Walther adotterà tale sistema nelle pistole da difesa e per la polizia “PP” (Polizei Pistole) e “PPK” (Polizei Pistole Kurz) dell’inizio degli anni Trenta). Ma nella pistola da combattimento P38 vi è ben altro: se ne osservi la vista “esplosa” in figura 22; le parti sono ben 50 (contro le 30 della vecchia Mauser C96) perché l’arma ha un dispositivo che permette il disarmo del cane tramite una leva, mantenendola in condizioni di assoluta sicurezza, non solo: in caso di caduta il colpo non può partire perché il percussore dispone di una sicura automatica che si disinnesca solo se si preme il grilletto. Come detto, questi dispositivi saranno tipici di altre pistole della fine del millennio; esaminiamo a tal proposito i tre schemi di figura 23, che per l’appunto riguardano la pistola svizzero-tedesca Sig-Sauer (la prima è la già ricordata industria di Neuhausen am Rheinfall, la seconda è l’antica fabbrica di Suhl in Turingia, spostatasi nel dopoguerra ad Eckernförde, nella Repubblica Federale). Nel primo schema, l’arma è in fase di sparo: sotto la pressione sul grilletto, il cane si arma (come in un revolver) ed il percussore, attraverso il movimento di leve azionate dalla catena di scatto, si libera dal dentello tratteggiato che l’aveva messo in sicura permettendogli così di percuotere la capsula della cartuccia. Nel secondo schema, la leva esterna posta sul lato sinistro della pistola, abbassata dal tiratore, fa ruotare il cane che si abbatte non raggiungendo però la parte posteriore del percussore: d’altronde quest’ultimo è in sicura perché il dentello tratteggiato lo blocca. Infine, nel terzo schema il cane è armato e pronto per lo sparo, ma la sicura al percussore è ancora attiva: solo la pressione del tiratore sul grilletto la potrà rimuovere.



**Figura 21.** Sezione della Beretta M92.

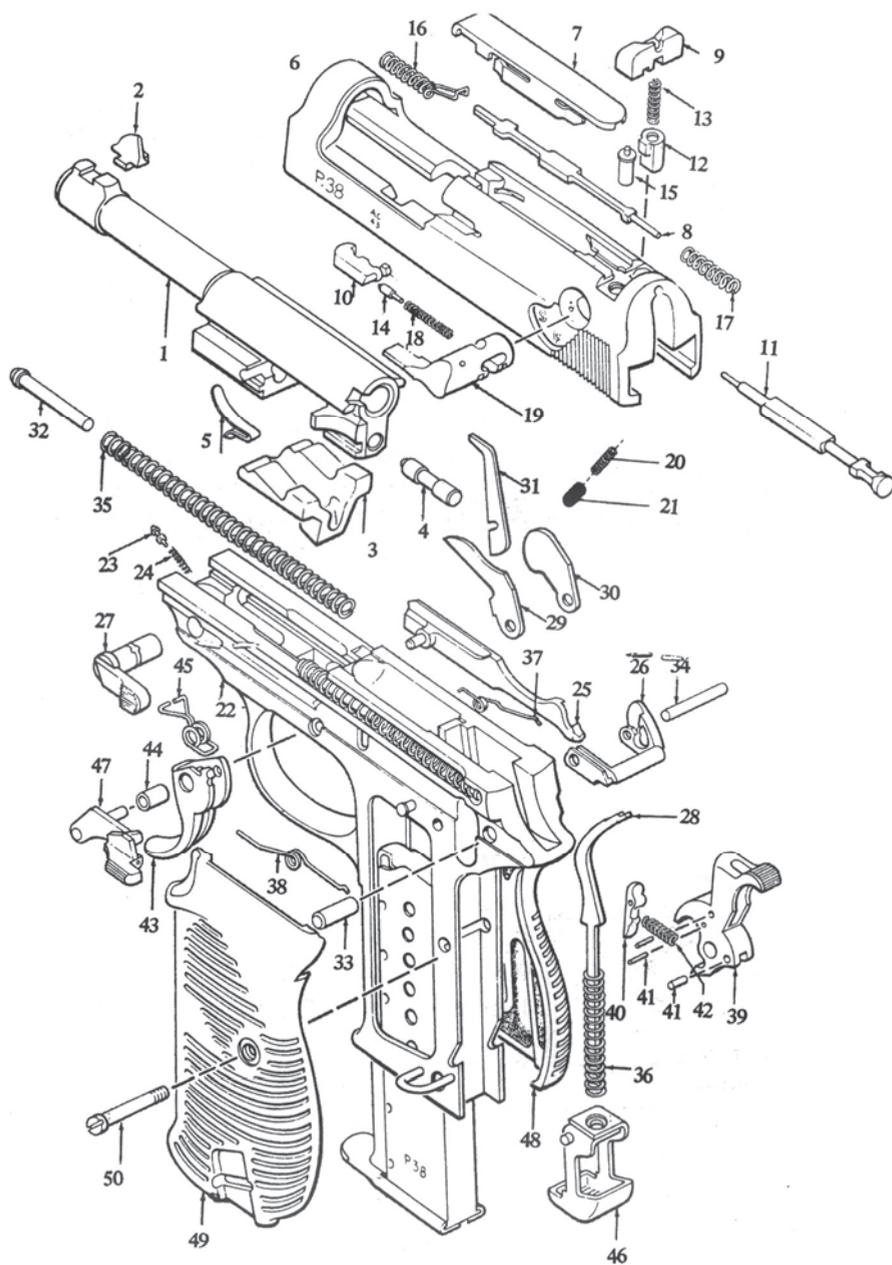
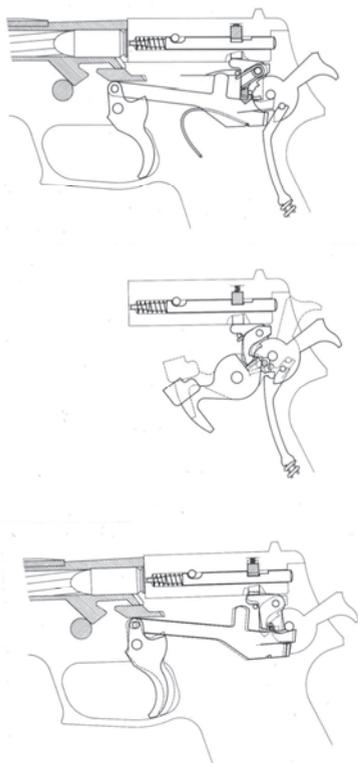


Figura 22. Vista “esplosa” della Walther P38.



**Figura 23.** Schemi di sicurezza della SIG-Sauer.

Sul sistema di chiusura con canna a corto rinculo e con chiavistello è stato costruito, in pochi esemplari, anche il fucile italiano semiautomatico “M 39” da una azienda cremonese, la “Armaguerra” chiusa nel 1945; il fucile era nel calibro d’ordinanza italiano  $6,5 \times 52$ , con caricatore fisso da 6 colpi e non ebbe purtroppo alcuna diffusione.

Una soluzione del tutto particolare per le armi a chiusura geometrica, è quella dell’otturatore provvisto di rulli che entrano in apposite cavità ricavate nel manicotto della camera di scoppio. Tipico esempio in merito è quello della nota mitragliatrice MG42, costruita da varie aziende durante la seconda guerra mondiale e dopo il ’45 dalla “Rheinmetall” di Düsseldorf (e tuttora adottata in altra versione e nel calibro .308 dalla NATO). Di quest’arma non si dirà qui, preferendo illustrare la pistola cecoslovacca M52 (Vzor 52 nella lingua originale) in cal.  $7,62 \times 25$  di origine sovietica, che usa lo stesso principio: chiusura a rulli con canna rinculante, esattamente (calibro e cartuccia a parte!) come nella MG42. In figura 24 la canna con i rulli vista dal basso. Si veda ora la figura 25; in 1 l’arma è pronta per lo sparo ed i rulli R sono alloggiati negli incavi corrispondenti del carrello-otturatore. In 2, a

sparo avvenuto mentre il proiettile è già fuori dal vivo di volata, i rulli, che hanno tenuto la canna connessa al carrello nella prima fase di arretramento e che si è poi arrestata contro  $P_1$ , sono ormai usciti dalla loro sede liberando il carrello che rincula ulteriormente espellendo il bossolo, arrestandosi in  $P_2$  per poi ritornare in chiusura, camerando la nuova cartuccia, sotto il richiamo della molla SF.



Figura 24. Canna e rulli della M52.

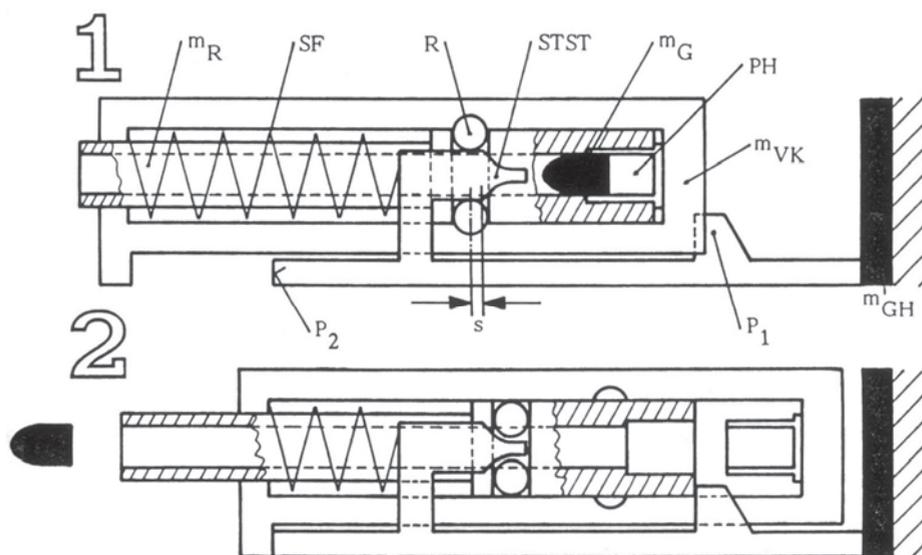


Figura 25. Lo schema della M 52.

Vediamo ora la chiusura ed apertura dell'otturatore guidata dalla presa di gas dalla canna. In figura 26 lo schema al solito semplificato della carabina automatica AK 47 (AKM, AK 74) di fabbricazione sovietica, diffusa in tutto il mondo e della quale si sono assai spesso occupati i giornali anche per fatti delittuosi accaduti nel nostro paese.

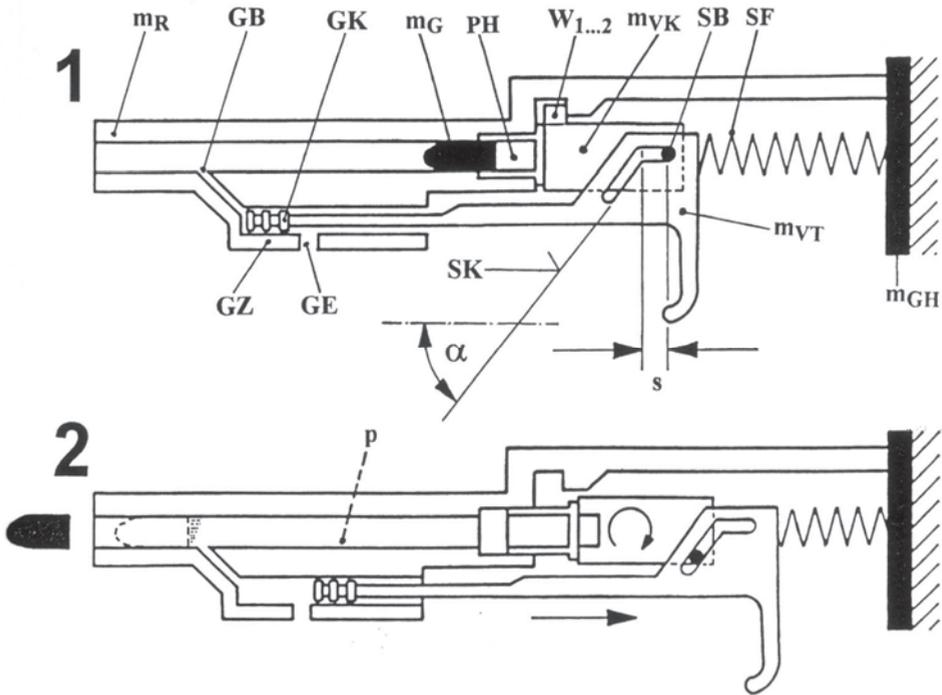


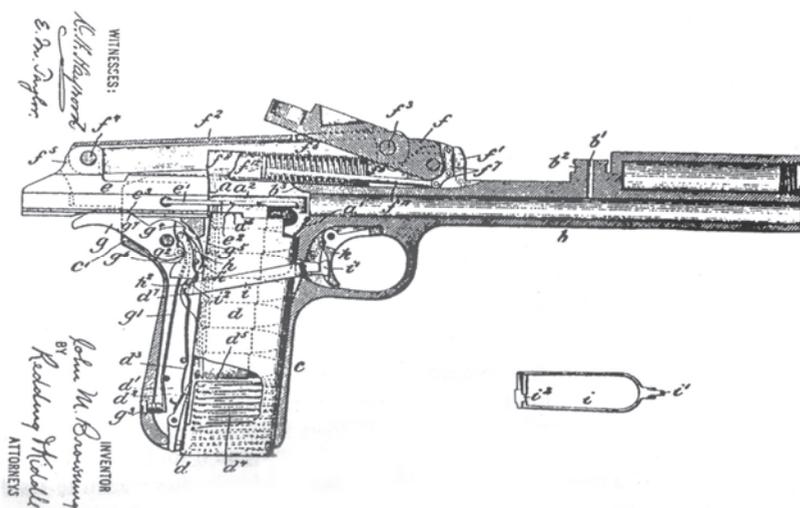
Figura 26. Schema dell'AK 47.

In 1 l'arma è pronta per il fuoco, e si vede in GB, verso la volata, il foro di presa del gas, mentre in GK vi è un pistone che attraverso un condotto parallelo alla canna è collegato con l'otturatore  $m_{VK}$ . In 2 il proiettile è già fuori dal vivo di volata, mentre la pressione del gas  $p$  spinge il pistone GK all'indietro, svincolando l'otturatore e facendolo a sua volta arretrare, con l'espulsione del bossolo. La molla SF riporterà poi l'otturatore in chiusura, camerando la nuova cartuccia ed il ciclo automatico riprende. Molte armi lunghe, fra le prime il fucile semiautomatico Garand M1 statunitense, in calibro .30/06 e poi in .308 NATO, diffuso in qualche milione di esemplari durante e dopo la seconda guerra mondiale, e la carabina M1 sempre statunitense, in calibro .30, sono basate sullo stesso principio; tra di loro il nostro Beretta BM 59, sempre in .308 NATO (7,62 mm). Più avanti nel tempo, i fucili d'assalto della serie Colt AR15 – M16 e derivati, in calibro .223 (5,6 mm) ed altri ancora.

Sullo stesso principio funziona la pistola "Desert Eagle Mark XIX" in cal. .50 Action Express, della israeliana IMI (Israel Military Industries, poi IWI, Israel Weapon Industries). Si tratta di una delle pochissime applicazioni del principio della sottrazione di gas alle armi corte.

Sempre a prelievo di gas va ricordata la enorme “Wildey” americana, calibro .475 Wildey Magnum, con energia di ben 240 kgm! (il 9 Parabellum NATO fornisce in media 50 kgm).

A questo punto occorre ritornare alla fine dell'Ottocento, per vedere come certe idee nascano in anticipo. Il 20 aprile del 1897, su richiesta pervenuta il 14 settembre di due anni prima, venne approvato il brevetto numero 580923 richiesto da John Moses Browning, il fecondo inventore americano già sopra richiamato. Il brevetto riguardava una pistola in cui il carrello, a ginocchio, operava con presa di gas dalla canna! Se si vedono le date, come non pensare alla primogenitura dell'americano sia su Borchardt per l'otturatore a ginocchio che sul sistema di presa del gas? Guardando la figura 27, si vede come il gas prelevato dalla canna col forellino b', faccia rialzare violentemente l'otturatore a ginocchio in corrispondenza della cerniera f<sup>3</sup>, espellendo il bossolo per poi tornare in chiusura sotto il richiamo della molla di recupero. L'arma aveva la tendenza a sparare a raffica, mancando del dispositivo che da allora in poi ha sempre contraddistinto le pistole semiautomatiche, chiamato “disconnettore”; si tratta di una levetta che, arretrato il carrello allo sparo, interrompe per l'appunto la catena di scatto, evitando così che il cane (od il percussore) colpisca nuovamente la capsula della nuova cartuccia; nelle poche pistole a tiro automatico tale dispositivo è assente oppure (Steyr M12/16 citata) temporaneamente disattivato.



**Figura 27.** Disegni di brevetto della pistola di John Moses Browning a recupero di gas.

Ma torniamo ancora ai nostri giorni.



**Figura 28.** La pistola Glock.

Pistola del tutto nuova come concezione e materiali quella fabbricata a Deutsch Wagram dall'austriaca Glock, in origine azienda di materie plastiche. L'arma nasce nel 1980, su progetto computerizzato; ha il fusto in poliammide iniettato, così come il caricatore e solo la canna ed il carrello sono in acciaio; se ne vede l'aspetto in figura 28. Qui la chiusura è però con canna a corto rinculo, del tipo "Petter", variante della Browning; la pistola ha 33 pezzi, ed anche in questo caso il percussore si arma solo tirando il grilletto, che è provvisto di una speciale appendice. Il sistema si chiama "safe action" ed anche qui non vi sono altre sicure. La pistola ebbe immediata e larga diffusione, divenendo nel 1982 l'arma di ordinanza dell'esercito austriaco, e nel 1986 vinse lo "US Award Best in the Market". Data la sua struttura in materiale plastico, giornalisti al solito male informati avevano scritto che l'arma non poteva essere rivelata dai normali scanner degli aeroporti: per smentirli è occorsa la puntuale precisazione della "Linescan", azienda della "Astrophysics Research Corp." che su molti giornali fece pubblicare una pagina col seguente commento: «Who says we can't stop the Glock?».

Verso la fine del millennio ebbero diffusione, soprattutto negli USA, le pistole capaci di sparare solo a "doppia azione", ovvero, come nei revolver, tirando il grilletto in modo che questo armasse il cane od il percussore. Una di queste armi è la Colt M 2000 detta "All American"; in figura 29 si vede lo schema meccanico adottato per la pistola: il grilletto è connesso con una leva a forchetta, che agisce sul percussore e relativa molla. Dopo una certa corsa, la forchetta si abbassa e libera il percussore che può così percuotere la capsula di accensione della cartuccia.

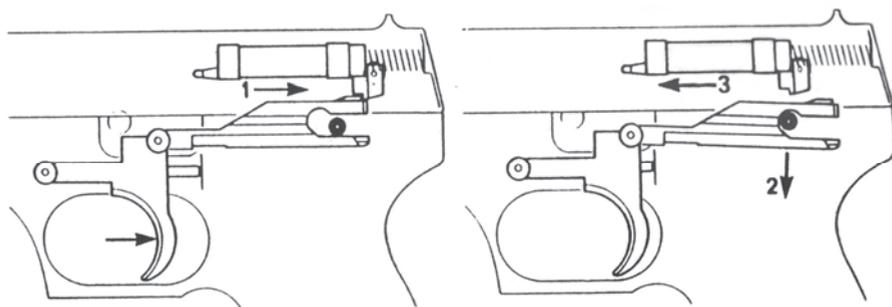


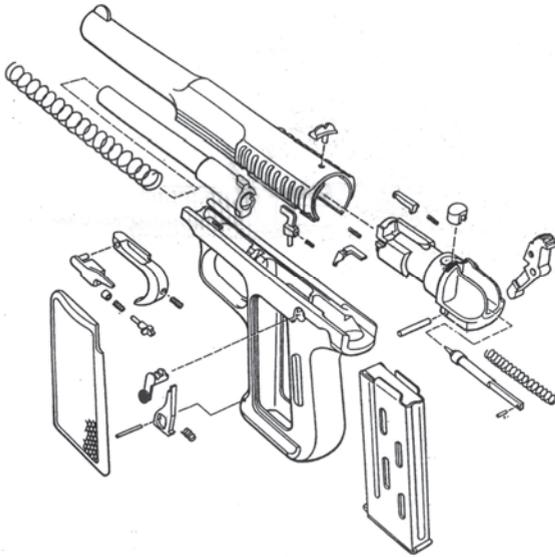
Figura 29. Schema della COLT M2000.

### L'apertura a massa frenata

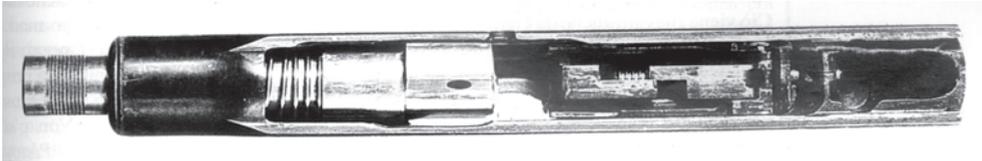
Parliamo ora delle pistole ad apertura a massa frenata (*delayed blowback*). Una delle prime armi di successo di questa categoria venne prodotta dalla statunitense "Savage Arms Division" del gruppo "Emhart Industries" di Westfield, Mass. all'inizio del secolo ventesimo. La canna presenta dei naselli (all'incirca come nelle Steyr, Fig. 30) che la fanno ruotare appena accesa la carica di lancio ma non arretrare vincolata all'otturatore come nelle Steyr; ciò dovrebbe permettere un ritardo nello svincolo dello stesso otturatore. In realtà prove fotografiche eseguite in Germania mostrarono che l'otturatore inizia il suo moto retrogrado quando il proiettile è ancora in canna. Questo sistema fu ripreso più tardi in altre armi; nel secondo dopoguerra la francese "Manufacture d'Armes de Bayonne" (MAB) produsse la pistola in cal. 9 Parabellum P15, basata sullo stesso sistema. Disse il costruttore che «dans cette arm, le canon ne bascule pas après recul comme dans la plupart des pistolets de même calibre. Au départ du coup, l'ensemble canon-glissière est verrouillé, puis le canon tourne sur son axe, libérant progressivement la glissière. Cet freinage donne une secousse moins brutale que le choc habituel et permet ainsi une plus grande régularité de tir». In realtà, come già avveniva nelle Savage, il ritardo di apertura è anche qui assai modesto, e la potente cartuccia causa un certo rigonfiamento del bossolo; ancora più evidente nella versione in calibro 7,65 Parabellum, essendo in questo caso il bossolo a collo di bottiglia.

Una soluzione diversa è quella delle pistole fabbricate negli anni Venti del Novecento dalla "Remington Arms Company" di Ilion, N.Y.; qui nella pistola M51 l'otturatore è diviso in due parti (Fig. 31) e la parte anteriore trasla di circa 2,5 mm arrestandosi poi contro una parte fresata dell'interno del carrello, come si vede in figura. Il tempo impiegato dal proiettile per percorrere la canna, corrisponde all'incirca a quello usato dalla parte mobile dell'otturatore per riconnettersi alla parte fissa del carrello, dando così inizio al modo retrogrado comune che permetterà

l'espulsione del bossolo. Da qui in poi, il ciclo è identico a quello delle altre pistole a semplice rinculo.



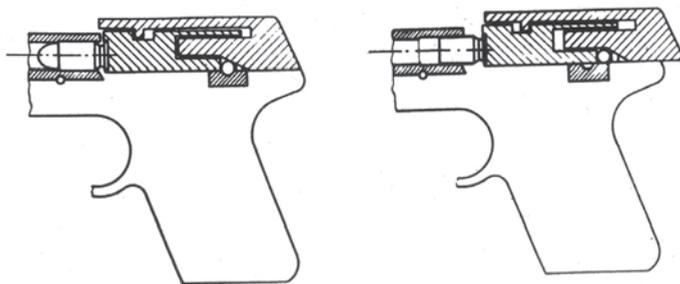
**Figura 30.** La Savage smontata.



**Figura 31.** L'otturatore della Remington in due pezzi.

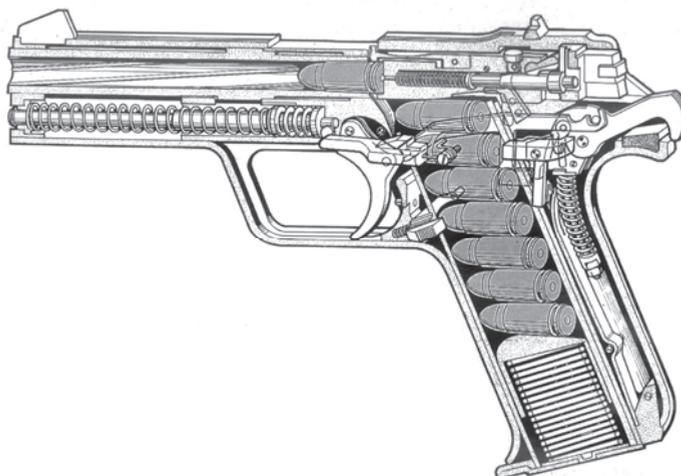
L'inventiva umana, così del resto come le possibilità della meccanica di precisione, è quasi illimitata. Una soluzione assai semplice ma efficace nell'ambito del frenaggio del carrello per attrito, è quella proposta da Edgar Budischowsky della "Korriphila Präzisionsmechanik GmbH" di Heidelberg nel 1985. Si veda lo schema di figura 32; la pistola HSP 701 ha il carrello separato dall'otturatore, un po' come nella M51 Remington, ed il frenaggio viene ottenuto per il tramite di un cilindretto di acciaio bonificato giacente su di un supporto ad incavo semicilindrico, contrastante con una superficie inclinata del carrello. L'otturatore ha superiormente una sede parallelepipedica entro la quale scorre un dente di sezione rettangolare sito nell'intradosso del carrello. Allo sparo l'otturatore, per poter rinculare, deve vincere la resistenza del cilindretto che tenta di restare allocato nella sua sede. Intanto la pressione cala e la forza viva dell'otturatore ha il sopravvento sulla resistenza del

cilindretto: questo esce dalla sua sede e trasla verso l'alto ed il carrello arretra. La resistenza al sollevamento del cilindretto è funzione della inclinazione della superficie obliqua del carrello: a maggior inclinazione corrisponde minor tempo di apertura; è così possibile avere tempi correlati con cariche e cartucce di calibri diversi: la HSP 701 è fornita sia in 9 Parabellum che in .45 ACP.



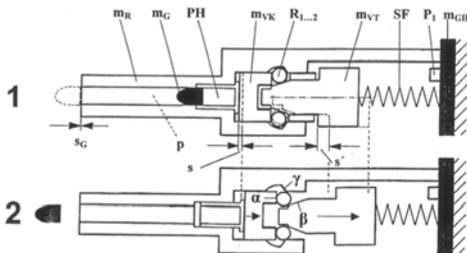
**Figura 32.** Schema del ritardo d'apertura nella Korriphila.

Un sistema analogo è quello della pistola B 82 della italiana Benelli di Urbino in 9 Parabellum (Fig. 33), anch'essa con otturatore e carrello separati; il freno nell'apertura viene ottenuto con una bielletta sita nella parte superiore e posteriore dell'otturatore, la cui rotazione impedisce al carrello di aprirsi del tutto prima che la pressione in canna sia diminuita.



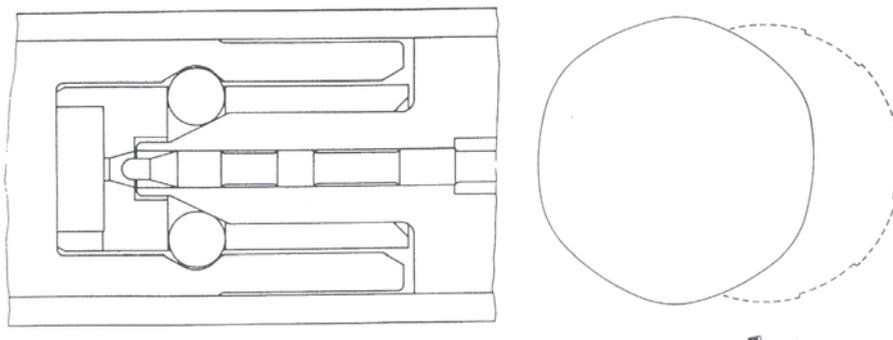
**Figura 33.** La Benelli.

Una soluzione completamente diversa è quella attuata nella pistola P9 della tedesca Heckler & Koch, azienda di grande successo del secondo dopoguerra e produttrice di armi diffuse in tutto il mondo, con sede ad Oberndorf am Neckar. Il sistema di chiusura è mutuato da quello del fucile d'assalto G3 della stessa Casa; a sua volta questo discende da uno dei primi fucili d'assalto del tempo della seconda guerra mondiale, lo St45(M) della Mauser, derivante da studi di un complesso gruppo del quale facevano parte Niemann, Jungermann, Altenburger, Illenberger, oltre al matematico Meier. Si era negli ultimi mesi di guerra e dopo la sua fine se ne interessò anche la statunitense Springfield Armory. Qualche anno più tardi un altro ingegnere tedesco, Vorgrimmler, già della Mauser ed emigrato in Spagna, diede vita al primo fucile d'assalto spagnolo, il "CETME" (acronimo di Centro de Estudios Técnicos de Materiales Especiales), dal quale nel 1956 derivarono per l'appunto il G3 e nell'anno successivo lo svizzero Stgw 57, tutti con lo stesso sistema innovativo di chiusura a rulli. La figura 34 illustra il sistema a rulli tipico delle armi di cui sopra; in 1 l'arma è pronta per lo sparo, la molla SF spinge i rulli  $R_{1,2}$  nelle cavità del telaio  $m_{GH}$  sotto l'angolo  $\gamma$ ; in 2 allo sparo si verifica la pressione  $p$  in canna; mentre il proiettile  $m_G$  è già fuori della volata, l'otturatore  $m_{VK}$  arretra e spinge, sotto l'angolo  $\alpha = 0$  contro i due rulli. Questi, a loro volta, spingono sotto l'angolo  $\beta$  contro il pesante porta-otturatore  $m_{VT}$  che subisce una forte accelerazione all'indietro, così che diminuisca fortemente la massa complessiva di otturazione mentre l'otturatore  $m_{VK}$  limita lo spazio  $s$  di sicurezza evitando il rigonfiamento del bossolo. Porta-otturatore ed otturatore poi vengono riportati in avanti dalla molla SF ed il ciclo riprende. Occorre notare qui il differente comportamento dei rulli rispetto al caso della chiusura geometrica esposta a proposito della pistola cecoslovacca M52 e della mitragliatrice MG42. Una importante osservazione, relativa al G3; la cartuccia è qui quella in calibro .308 NATO, ovvero  $7,62 \times 51$ . Se non ci fosse il sistema di frenaggio dovuto ai rulli, e l'arma fosse del tipo a semplice chiusura con massa e molla (di cui si dirà più oltre) il peso dell'otturatore dovrebbe essere di ben 11 kg circa, cosa ovviamente assurda per un'arma portatile!



**Figura 34.** Schema operativo del fucile d'assalto G3 H&K.

Circa la pistola P9 va anche ricordato che la canna non ha la classica rigatura ottenuta per brocciatura, con “vuoti” e “pieni”. La canna ha invece profilo poligonale (Fig. 35) ottenuto per martellatura su mandrino; ciò evita le piccole perdite di gas, allo sparo, passante per i “vuoti” che qui non esistono, assicurando così maggior velocità al proiettile. Anche questa novità è un tipico prodotto della meccanica di precisione, ma l’arma ha ben 77 parti: più del doppio della Mauser C96 citata all’inizio.



**Figura 35.** I rulli e la canna poligonale della P9.

Il frenaggio dell’otturatore può essere ottenuto per altra via, come nella pistola della Steyr-Daimler-Puch, denominata GB80 e simile alla americana Les P18 della americana Rogak, Illinois<sup>8</sup>. La sigla GB vale per “Gas Bremse”, ovvero “freno a gas”, che per l’appunto è il sistema qui adottato, ideato da Johann Kepplinger e brevettato nel 1975. La canna dell’arma presenta vistosi fori (Fig. 36) dai quali esce una frazione dei gas di sparo: si osservi lo schema di figura 37; in 1 l’arma è pronta per lo sparo ed  $L_{GB}$  è la distanza fra la culatta ed i fori. In 2 il proiettile è appena dietro ai fori  $GB_{1,2}$  mentre il carrello otturatore retrocede del tratto di sicurezza  $s'$ . In 3 il proiettile ha sorpassato i fori e la parte RR del cilindro GZ si riempie della frazione di gas prelevata, alla pressione  $p'$ , mentre il carrello  $m_{VK}$  continua il rinculo. Nella fase 4, il proiettile ha raggiunto la volata, la pressione nel cilindro ha ora il massimo valore  $p''$  che preme contro lo stantuffo GK impedendo l’ulteriore arretramento del carrello; finalmente in 5, uscito il proiettile, la pressione sia in canna che nel cilindro è nulla ed il carrello termina la propria corsa retrograda comprimendo la molla SF che lo riporterà poi in avanti camerando al solito la nuova cartuccia. Analogo sistema è quello della pistola P7 della già citata Heckler & Koch. Ma qui i fori di presa del gas sono appena sotto la camera di scoppio; l’arma ha inoltre un sistema di armamento parziale del pesante percussore lanciato che

<sup>8</sup> Selvini (1997).

ricorda un simile sistema della Roth-Steyr M08; in figura 38 la P7 smontata, che ha avuto grande successo.

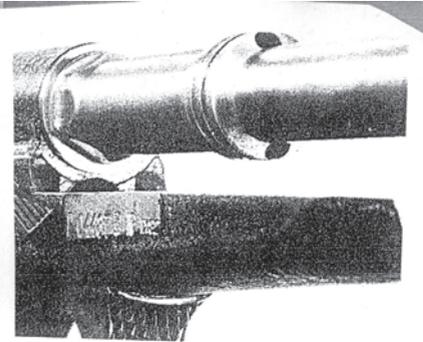


Figura 36. I fori di presa del gas nella GB 80.

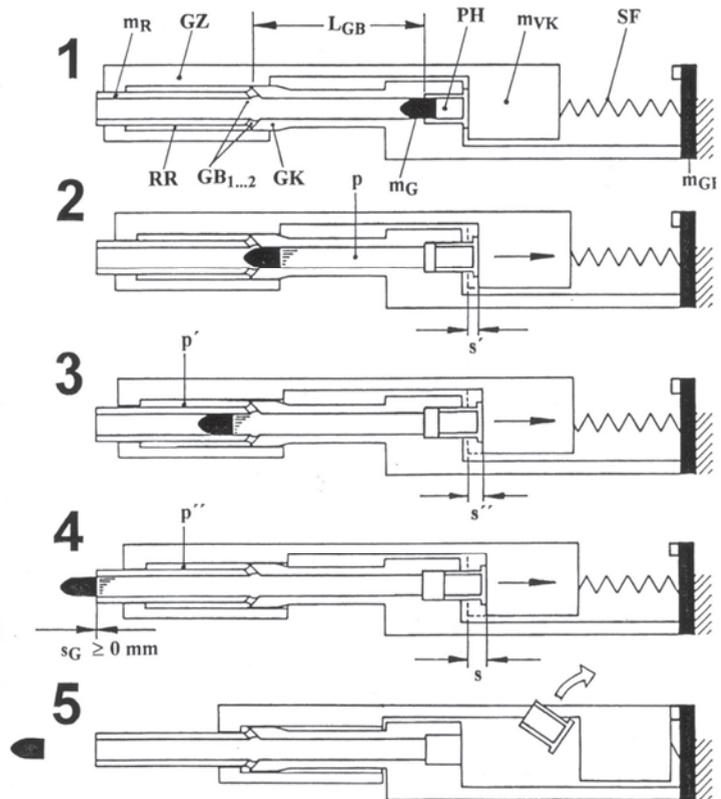
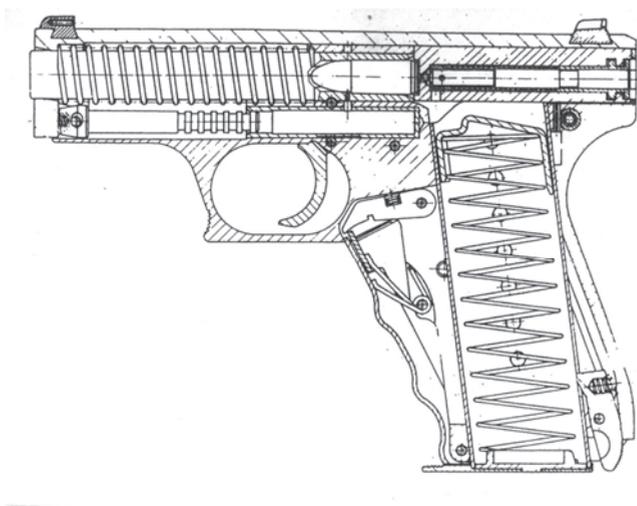


Figura 37. Schema operativo della pistola GB 80.

Un prodotto della tecnologia di fine del secolo ventesimo è la H&K “PSP” (Polizei Selbstlade Pistole, pistola semiautomatica per la polizia) derivata dalla P7 e visibile in sezione nella figura 39. L’arma è anch’essa a prelievo di gas dalla canna e presenta novità interessanti pur avendo solo 43 parti; essa è sempre in sicura, e si arma solo impugnandola. Il pesante percussore è sempre in riposo e si attiva solo impugnando la pistola così come detto; se questa cade non succede nulla, dato il tipo di sicura adottato: perciò non vi sono nella PSP sicure a leva o di altro tipo.



**Figura 38.** La pistola P7 H&K.



**Figura 39.** Sezione della H&K PSP.

## La chiusura semplice a massa

Gran parte delle pistole da difesa e da tiro, di calibro piccolo o medio quali .22 (5,6 mm), .25 ACP<sup>9</sup> (6,35 mm Browning), .32 ACP (7,65 mm Browning) e .380 ACP (9 corto Browning o 9 × 17) hanno chiusura labile a massa (con il contributo della molla di recupero del carrello). La chiusura è regolata semplicemente dal teorema delle quantità di moto:

$$mv = MV$$

ove i simboli valgono:

m = massa del proiettile,

v = velocità del proiettile,

M = massa del carrello,

V = velocità del carrello.

Tanto per fare un esempio e sostituendo le masse con i pesi senza differenza sostanziale, per una pistola come la Beretta M 34 in cal. 9 corto, si avrebbero i dati medi (in kg ed in m), essendo il peso del proiettile di 6 g con velocità media di 295 ms<sup>-1</sup> e quello del carrello di 200 g:

$$0,006 \times 295 = 0,200 \times V$$

da cui risulta una velocità di rinculo del carrello di 8,85 ms<sup>-1</sup>, in realtà ancora ridotta dalla resistenza della molla di recupero, ed anche dalla molla del cane e quindi ben governabile dalla mano del tiratore. A questo proposito va ricordato che i costruttori si sono sbizzarriti nel produrre masse del carrello modeste e molle assai robuste o viceversa. Una pistola da tiro degli anni Venti, prodotta dalla britannica Webley & Scott in cal. .22, era addirittura priva di molla, per cui occorreva rinchiudere a mano il carrello dopo ogni colpo. Al contrario ed in teoria sarebbe possibile costruire una pistola con molla così potente da impedire l'arretramento del carrello, ma ciò ovviamente non avrebbe senso.

Va anche detto che sono state costruite pistole a chiusura a massa anche in calibro 9 Parabellum (od in 9 Glisenti, come le Beretta M 15 ed M 23<sup>10</sup>, Fig. 40). Un tipico esempio è la spagnola Condor della Astra, ovviamente con carrello e molla sufficientemente potenti da resistere al forte rinculo di questa munizione.

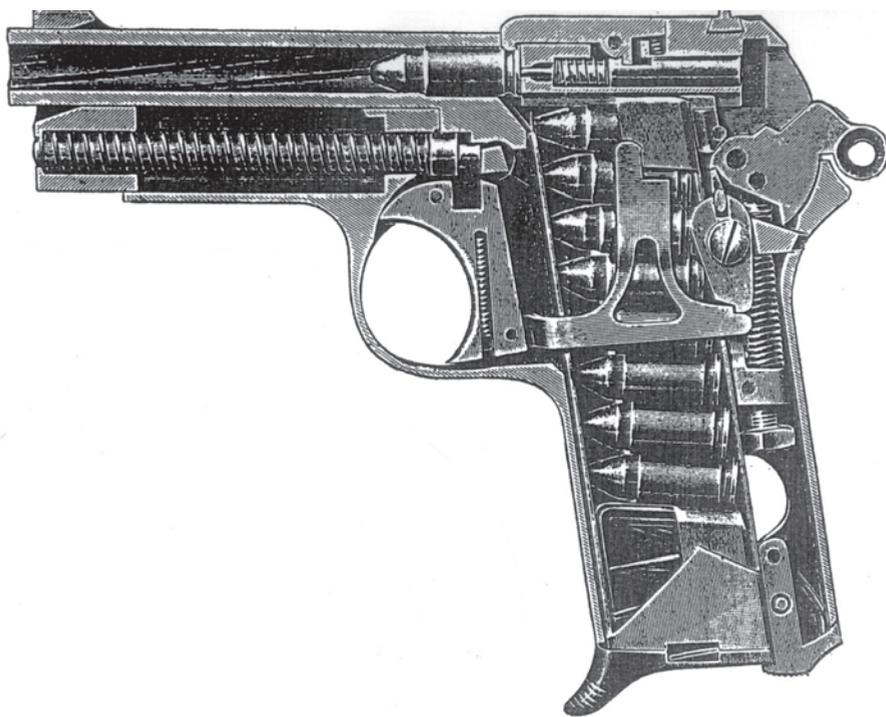
Gran parte delle pistole mitragliatrici (da noi dette genericamente "mitra") ha proprio questo tipo di chiusura, pur essendo calibrate per la cartuccia 9 Parabellum; gli è che qui il peso dell'arma è ben maggiore di quello delle pistole ed inoltre le masse degli otturatori sono assai elevate. Ben noti sono i prodotti della Beretta, dal Mod. 38 e 38/42 sino all'attuale M12; altri costruttori italiani si sono cimentati, durante e dopo la seconda guerra mondiale nella produzione di queste armi

---

<sup>9</sup> ACP = Automatic Colt Pistol

<sup>10</sup> Menchini (1974).

(Franchi, Isotta Fraschini, Benelli, FNA, OG...). Un'arma interessante prodotta in pochi esemplari e presente nel Museo Storico Italiano della Guerra di Rovereto è la TZ45, qui in figura 41<sup>11</sup>. Alcuni esemplari di mitra però hanno sistemi di freno d'apertura: tipico il caso del "Thompson" americano in calibro .45 ACP (noto per la sua comparsa in molti film sui "gangster" nell'epoca del proibizionismo) ed avente la sigla ufficiale M1928A1, largamente usato anche durante la seconda guerra mondiale sia dagli inglesi che dagli americani. Altrettanto ma con diverso dispositivo avveniva per il primo "mitra" del mondo, la pistola mitragliatrice binata "Villar Perosa" in calibro 9 Glisenti, ideata da Revelli, così come nelle versioni successive OVP e Pavese-Revelli<sup>12</sup>. Bisogna anche ricordare che tutti i mitra (con pochissime eccezioni) sparano ad otturatore aperto, per evitare che il forte riscaldamento provochi l'autocombustione (cook off) delle cartucce dopo le prime raffiche.



**Figura 40.** Sezione della Beretta M 23 cal. 9 Glisenti.

<sup>11</sup> Selvini (2001).

<sup>12</sup> Dannecker (2010).



**Figura 41.** La pistola mitragliatrice TZ45.

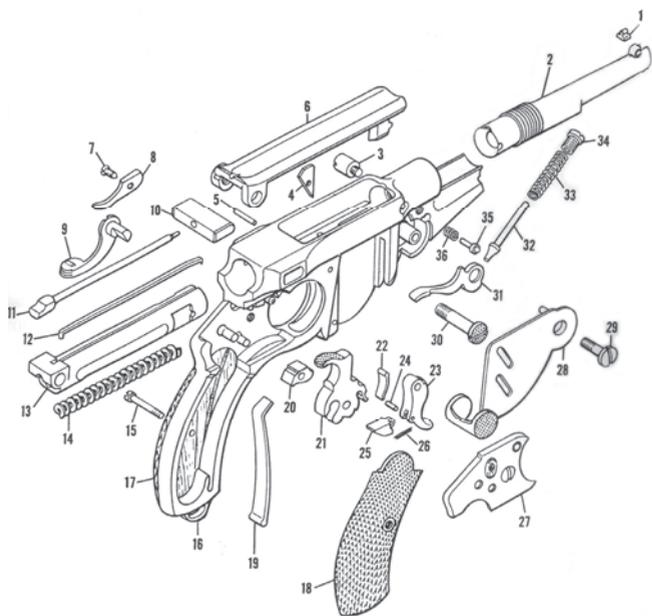
Tutte le pistole da tiro sportivo, in calibro .22 corto oppure .22 long rifle, sono a chiusura di massa; va qui osservato come l'equilibrio fra massa dell'otturatore, molla di recupero e molla del cane debba essere studiato con grande accuratezza, soprattutto nel caso del calibro .22 corto, la cui energia è di appena 3,9 kgm. Si tratta di un vero e proprio capolavoro di meccanica fine, dato che nel tiro celere un inceppamento fa sicuramente perdere una gara! Ricorderemo che nel 1932, nelle Olimpiadi di Los Angeles il ravennate Renzo Morigi, usando una pistola Walther vinse colpendo cinque sagome in soli 2 secondi: primato mai più poi eguagliato. Sempre con una di tali pistole, ma di modello ulteriore, nel 1935 il bolognese Walter Boninsegni divenne campione del mondo.

Non si può chiudere questa parte, senza ricordare che le pistole aventi chiusura a massa sono comparse per la prima volta nel 1893. Di tale data è infatti il brevetto n° 78500 del 10 giugno di quell'anno, richiesto da Theodor Bergmann di Gaggenau nel Baden, che recita testualmente, tradotto in italiano: «arma da fuoco semiautomatica, nella quale alla chiusura della canna, dopo la partenza del colpo, si provvede in modo tale che è unicamente l'inerzia della massa dell'otturatore, in combinazione con la forza di una o più molle ad esso legate, ad evitare l'apertura della camera di scoppio e dove inoltre le molle provvedono poi a riportare nella giacitura originale l'otturatore»<sup>13</sup>. Il sistema verrà diffuso dal solito Browning, con brevetto n° 58926 del 20 aprile 1897 e successivi, dai quali deriverà la diffusissima M900 in calibro .32 ACP (7,65 mm), mentre la pistola di Bergmann, vista nelle sue parti in figura 42 e con serbatoio fisso, venne prodotta in poche decine di esemplari. La M900 di Browning, della quale alla fine del 1908 erano stati costruiti 724.550 (!) esemplari<sup>14</sup>, prima vera pistola da difesa tascabile, con caricatore sito nel

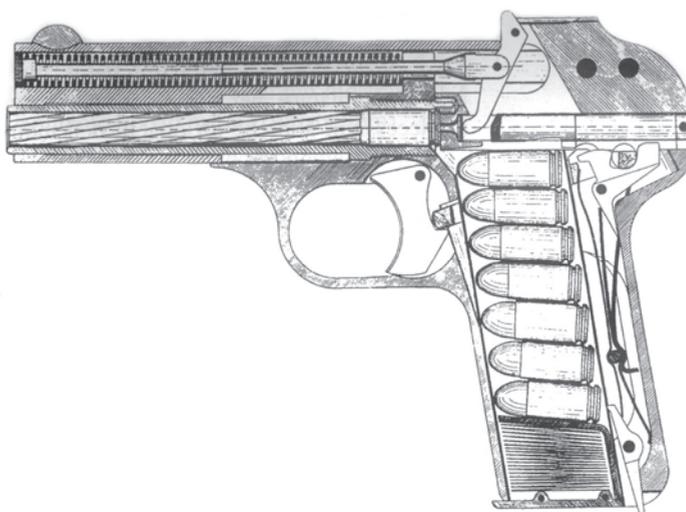
<sup>13</sup> Selvini (1972).

<sup>14</sup> Selvini (1997).

calcio così come avverrà poi in quasi tutte le altre armi corte sia da difesa che da guerra, è visibile in sezione nella figura 43.



**Figura 42.** Vista smontata della Bergmann del 1893.



**Figura 43.** La pistola M900 di Browning, prima tascabile di successo.

La meccanica fine si è sbizzarrita anche nel produrre minipistole di piccolo calibro (ma pur sempre armi letali o comunque lesive). Queste pistole, databili all'incirca degli anni Venti del secolo scorso, erano spesso nascoste nelle borsette di signore più o meno gentili; in figura 44 la "Kolibri" in calibro 2,7 mm, della quale in<sup>15</sup> si dice: «la cartuccia era lunga solo 11,2 mm, col bossolo da 9,2 mm e sparava un proiettile incamiciato del peso di 0,2 grammi. Il minuscolo proiettile entrava pur sempre per 3,5 cm nel legno di abete, per cui come giocattolo era troppo pericoloso». In figura 45 la sezione della "Erika" in cal. 4,25 mm; ma in figura 46 la belga "Bayard" addirittura in calibro 7,65 ed anche 9 x 17: se ne stimano le dimensioni dal confronto con la mano che la sostiene!



Figura 44. La "Kolibri" a confronto con la cartuccia cal. 12 a pallini.

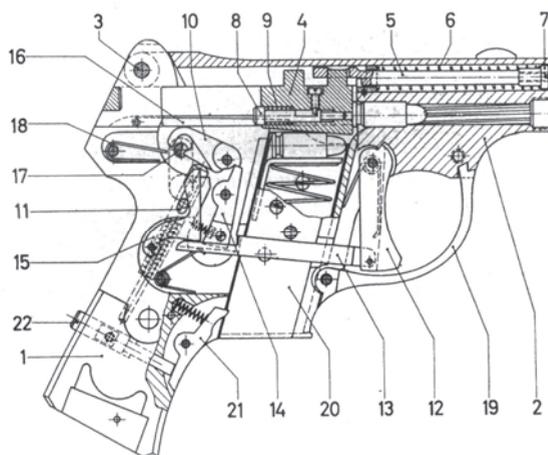


Figura 45. Sezione della "Erika".

<sup>15</sup> Bock (1968).



**Figura 46.** La “Bayard” a confronto con la mano del tiratore.

Qualche considerazione sull’evoluzione delle pistole. Queste ormai durano, pressoché invariate, da oltre un secolo<sup>16</sup>, e ciò è un poco anomalo<sup>17</sup>; le invenzioni umane in genere, quelle delle armi da fuoco in particolare, vivono un secolo ed anche meno. Si pensi al volo col “più pesante dell’aria”: che differenza fra i primi “Caproni” del 1911 e gli attuali aerei; dal motore a pistoni alle turboeliche e poi ai reattori<sup>18</sup>. Per le armi da fuoco, la miccia, poi nel Cinquecento la ruota, nel Seicento lo “snaphaunce”, nel Settecento l’acciarino, nell’Ottocento la capsula di fulminato di mercurio, quindi la cartuccia a spillo, poi la percussione anulare ed infine quella centrale. Gli stessi fucili sono grandemente mutati dalla fine dell’Ottocento ai giorni nostri: vi si sono sperimentate le munizioni senza bossolo (“caseless”) delle quali faremo un cenno più avanti, insieme a nuovi tipi di accensione delle cariche. Nulla o quasi invece per le pistole; per loro la struttura, la meccanica, la dinamica sono le stesse del 1896, il tempo della Mauser e della Borchardt. Le uniche e modeste innovazioni non sono di tipo meccanico: riguardano l’uso di leghe leggere e di materiale plastico per i fusti, l’impiego di caricatori bifilari di grande capienza, di meccanismi di sicura evoluti e di comandi adatti anche ai mancini, di nuovi sistemi di mira anche notturni; tutto qui. Qualche timida innovazione per le cartucce, sia per dimensioni che per cariche: ma il calibro NATO e comunque diffuso in tutto il mondo è pur sempre il “9 Parabellum” della Luger P08.

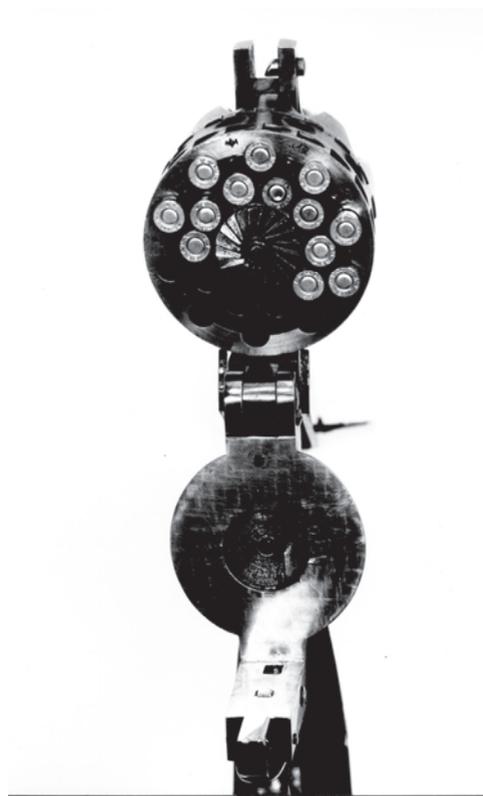
Prima di parlare delle industrie, ed esulando dal tema delle armi automatiche e semiautomatiche, vorremmo dire due parole su una delle applicazioni della meccanica al tema, sin qui escluso, delle rivoltelle, ovvero di quelle armi corte in cui vi è come serbatoio un tamburo girevole di varia fattura; tali armi hanno preceduto

<sup>16</sup> Krnka (1902).

<sup>17</sup> Bravetta (1899).

<sup>18</sup> Selvini (1997).

almeno di un secolo le pistole di cui sin qui si è parlato. Per ragioni dimensionali, la capienza del tamburo in genere andava (e va tuttora) da cinque ad otto cartucce, anche in rapporto al calibro. Ma nel primo decennio del Novecento vennero costruite da una piccola azienda belga (HDH, Henry, Dassion & Heuschen) delle rivoltelle con tamburo da 10, 12 e 20 cartucce<sup>19</sup>. Quelle con quest'ultima capienza, avevano due canne sovrapposte e due percussori: era un capolavoro di meccanica fine, l'assicurare adatta rotazione a questi enormi tamburi ed il far percuotere alternativamente l'una e poi l'altra cartuccia. Si dice che Benito Mussolini avesse uno di tali revolver sul suo tavolo, nel famoso "covo" di via Paolo da Cannobio a Milano; si vedano le tre figure 47, 48, 49 che mostrano la cura con cui queste armi venivano prodotte.



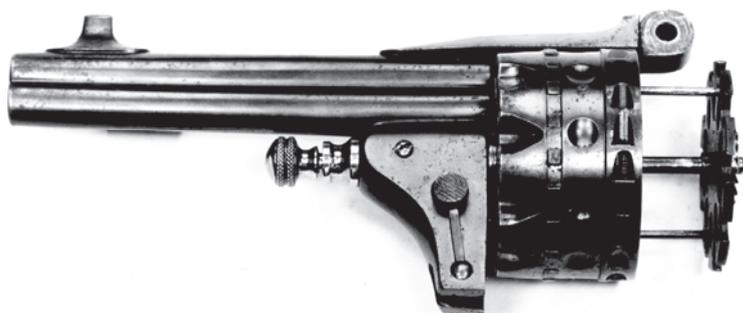
**Figura 47.** Vista posteriore del revolver HDH coi fori su due cerchi.

---

<sup>19</sup> Selvini (1971).



**Figura 48.** Il doppio percussore del revolver HDH.

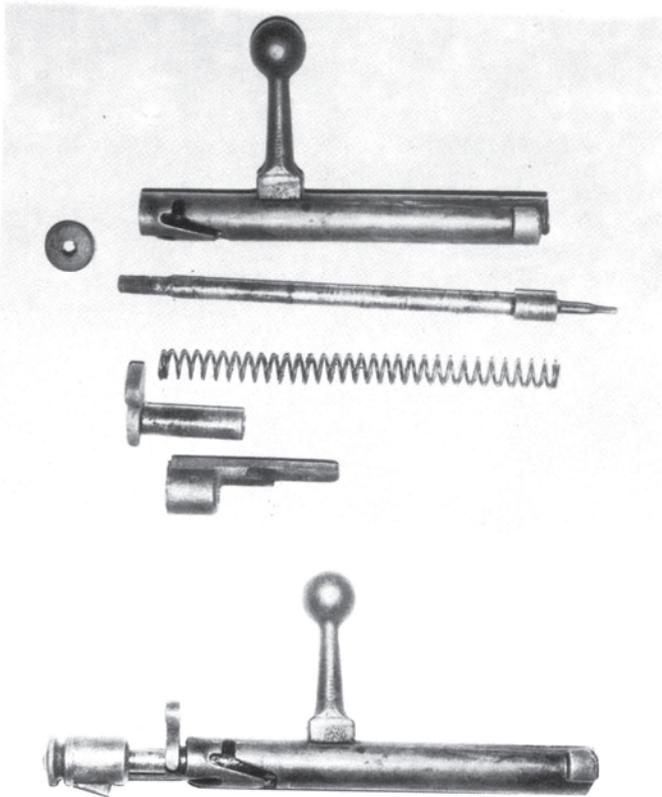


**Figura 49.** La parte anteriore del revolver HDH con le due canne sovrapposte.

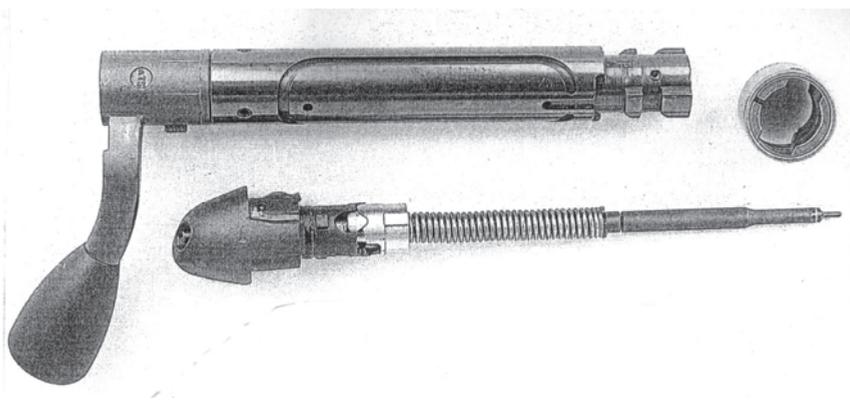
---

E poi ancora qualche parola sulle armi lunghe; si è già detto che qui il progresso è stato rimarchevole, e lo abbiamo visto illustrando qualche fucile d'assalto. Prendiamo sommariamente in esame i fucili militari della fine dell'Ottocento: la struttura era semplice, l'otturazione manuale con sistema girevole-scorrevole o solo scorrevole; per il primo tipo ricorderemo il nostro Mod. '91, e l'insuperabile Mauser tedesco Kar. '98. Con otturatore solo scorrevole l'austriaco Mannlicher e lo svizzero Rubin-Schmidt. In figura 50 il relativamente semplice otturatore del '91, in figura 51 un moderno otturatore, ennesima derivazione da quello del "Mauser Kar. '98" sopra ricordato: è quello della carabina Steyr "Elite 08" dei nostri tempi.

L'arma possiede una sicura a rotella che può assumere tre posizioni: in quella mediana, l'otturatore è in sicurezza e può essere aperto, sì che il tiratore possa scaricare l'arma in assoluta tranquillità. Se ora si spinge verso il basso il manubrio dell'otturatore, viene attivata una ulteriore sicura al percussore; inoltre l'otturatore viene così ruotato che il percussore si trova in una tale situazione per cui ne viene impedito l'avanzamento rispetto alle pareti dell'otturatore, anche nel caso che esso si possa muovere dalla posizione di riposo. Se la rotella della sicura è nella posizione più avanzata, il tiratore è costretto a premere una camma, prima che la rotella si possa muovere; per poterla azionare portandola nella posizione mediana, il manubrio dell'otturatore libera automaticamente la sicura al percussore. Come si vede la meccanica fine gioca qui un ruolo fondamentale in un'arma che non è da guerra bensì da caccia e da tiro.



**Figura 50.** Il semplice otturatore del fucile mod. '91 (sopra, smontato).



**Figura 51.** Il complesso otturatore della Steyr "Elite".

Per ultimo, ricorderemo che da alcune industrie sono state studiate armi lunghe del tutto innovative, utilizzanti le già sopra menzionate munizioni senza bossolo. In particolare la più volte citata "Heckler & Koch" di Oberndorf am Neckar, a suo tempo fondata da ingegneri già dipendenti della Mauser, ha prodotto sotto forma di prototipo il fucile d'assalto "G11" in cal.  $4,73 \times 33$ , assolutamente rivoluzionario, la cui immagine è in figura 52: come si vede, non assomiglia a nessuno dei fucili militari anche attuali.



**Figura 52.** Il "G11" della H&K con le cartucce "caseless": non assomiglia nemmeno ai moderni fucili d'assalto! Si confrontino le sue dimensioni con quelle dell'elmetto.

## Qualche curiosità

Come si è visto, da ormai più di un secolo la struttura meccanica delle pistole semiautomatiche non è cambiata<sup>20</sup>. Vi sono però stati, nel passato, alcuni tentativi di variarne sia i cinematismi che l'aspetto; ne daremo qui qualche sommaria indicazione, come completamento della loro descrizione.

Così come è stato descritto, la ripetizione dei colpi è ottenuta con arretramento del carrello o del solo otturatore (Mauser C96, Glisenti M 10...) legati o meno alla canna. Ma in origine si è cercato anche di sfruttare, a tale fine, l'avanzamento della canna sotto la frizione del proiettile contro le rigature della stessa. Si sono infatti prodotte, in qualche decina o centinaio di esemplari, pistole a "canna avanzante", come la Mannlicher 1894 e la Schwarzlose mod. 1907 in cal. 7,65 Browning; in esse la canna sotto sparo avanza di alcuni centimetri permettendo l'espulsione del bossolo vuoto, ritornando poi in chiusura sotto la spinta di molle e camerando così la cartuccia successiva. L'idea venne riproposta nel 1985 da due ingegneri tedeschi, H.E. Engel e U. Eicher, con un articolo sul n° 12/85 del "Deutsches Waffen-Journal" ma senza seguito.

Un'altra curiosità la si ritrova nelle pistole francesi della Manufacture Française d'Armes et Cycles de Saint-Etienne della fine del 1920: in esse il carrello non esiste e l'otturatore non può essere azionato a mano per introdurre la cartuccia in canna; questa invece bascula, come le canne dei fucili da caccia ad anima liscia, utilizzando come leva il ponticello del grilletto e permette quindi l'introduzione della prima cartuccia. Va notato che in queste pistole la chiusura della canna è possibile solo se il caricatore viene anche esso introdotto correttamente. Inoltre esse sono a sola "doppia azione", anticipando così la già citata COLT 2000, e mancano di qualunque leva di sicura, così del resto come avviene in gran parte delle rivoltelle.

Un tentativo di integrare forma di pistola e di revolver la si ritrova nella Dardik del 1956: in essa la struttura generale è quella della pistola, ma le cartucce vanno dal caricatore a noria (come nelle armi di Sosso!) in una specie di tamburo trilobato che permette poi anche l'espulsione del bossolo; inoltre esse, nel cal. .22 long rifle, hanno il bossolo in materiale plastico a sezione triangolare curvilinea.

## Le industrie

Occupiamoci brevemente delle industrie italiane che hanno prodotto armi sin dall'Unità (1861), molte delle quali sono da tempo scomparse, mentre altre vi si sono aggiunte soprattutto dopo la seconda guerra mondiale.

---

<sup>20</sup> Selvini (1970).

La più antica fabbrica italiana (ed anche del mondo) è, secondo la denominazione ufficiale attuale, la “Fabbrica d’Armi Pietro Beretta S.p.A.”, di Gardone Valrompia. Nata nel 1526, è stata tramandata dalla stessa famiglia per ben quindici generazioni, ed è oggi una “holding” operante in diverse parti del pianeta, controllando una buona quota della produzione di armi leggere, attraverso la UPIFRA, società di diritto lussemburghese. L’acronimo è ottenuto dai nomi Ugo, Pietro, Franco: Ugo Gussalli Beretta (il doppio cognome è dovuto al fatto che l’ultimo Beretta non ha avuto eredi diretti) ed i suoi figli Pietro e Franco dirigono il complesso internazionale. Il gruppo Beretta controlla, oltre all’azienda gardonese, le seguenti altre imprese:

- Benelli Armi S.p.A.
- Franchi S.p.A.
- Beretta U.S.A. Corp.
- Benelli U.S.A. Corp.
- Meccanica del Sarca
- Stoeger Industries Inc.
- Burris Corp.
- Cougar Corp.
- Pietro Beretta Holding B.V.
- Stoeger Silah Sanay A.S.
- HumbertCtts S.a.s.
- Beretta Benelli Iberica S.A.
- Société Française Berettarmi S.A.
- Beretta Hellas S.r.l.
- Beretta Luxembourg S.A.
- Beretta Suisse S.A.
- Cougar France Eurl
- Sako OY Ltd
- Stoeger Canada Ltd
- Manfred Albers G.m.b.H.

Come si vede, la holding è sparsa dagli U.S.A al Canada, dalla Turchia alla Grecia, dalla Francia alla Spagna ed alla Germania. Ricorderemo che l’inizio dell’espansione va ricercato nel citato contratto di fornitura agli U.S.A. delle pistole M 92 (poi denominate dalla Difesa statunitense “M9 PDW”, Personal Defence Weapon): fu allora lo stesso segretario di stato Weinberger ad informare telefonicamente del grande successo il nostro ministro degli esteri del tempo, il senatore Giovanni Spadolini.

Vediamo ora in breve altre fabbriche italiane tuttora attive. La Benelli S.p.A. di Urbino, fondata nel 1967, appartiene al gruppo Beretta e produce armi da caccia e pistole da difesa; occupa qui circa 150 persone ed è presente in ben 74 Paesi con una organizzazione capillare, oltre ad avere la già sopra citata filiale U.S.A. Sempre del gruppo Beretta è la Franchi S.p.A. di Fornaci, Brescia, con altrettanti occupati e che produce soprattutto fucili da caccia. Perazzi S.p.A. di Botticino Mattina (BS) produce ottimi fucili da caccia ed ha una filiale U.S.A. in California (la Perazzi USA). La Vincenzo Bernardelli S.p.A. di Gardone Valrompia produce anche pistole da difesa, con un centinaio di addetti. Pistole da difesa e da tiro sono prodotte dai F.lli Tanfoglio s.n.c. sempre di Gardone; queste armi sono assai diffuse soprattutto per il tiro sportivo. Eccellenti fucili da caccia e da tiro sono prodotti da Renato Gamba di Gardone e da Antonio Zoli S.p.A. della stessa città.

Vanno ancora ricordate La Fabbrica Bresciana di Armi S.p.A. (FABARM) con sede a Travagliato (BS), con una cinquantina di occupati; la Fratelli Marocchi s.r.l. di Sarezzo (BS) con altrettanti dipendenti; la Fabbrica Italiana di Armi Sabatti di Gardone Valrompia, che produce rinomati fucili da caccia e da tiro, ed ancora la Investarm di Marcheno (BS). Come si vede, la Val Trompia è il sito tradizionale delle fabbriche italiane di armi; qualcosa del genere accade in Germania con la Turingia ed in Spagna con i Paesi Baschi.

Negli anni Sessanta del secolo scorso sono nate piccole aziende produttrici di armi sportive; citiamo per tutte la Pardini Armi del Lido di Camaiore, con pistole in cal. .22 (5,6 mm) e ad aria compressa.

All'incirca in tale data è da allocare la costruzione di repliche di armi del West americano; diversi sono ormai i costruttori italiani noti in tutto il mondo che si dedicano a tale produzione. Ricorderemo qui Aldo Uberti & C. s.r.l. di Sarezzo (BS) e la F.A.P. dei fratelli Pietta di Gussago sempre nel bresciano.

Lo stato unitario, sin dalla sua fondazione nel 1861, ha prodotto armi da guerra nei suoi arsenali e nelle sue regie fabbriche d'armi e pirotecniche; ricordiamo, in ordine sparso, i siti più noti:

- in figura 53, il Laboratorio Pirotecnico di Bologna;
- in figura 54 la Regia Fabbrica d'Armi di Brescia;
- in figura 55 il Laboratorio Pirotecnico di Capua;
- nelle figure 56 e 57 il Regio Polverificio sul Liri;
- nelle figure 58 e 59 la Regia Fabbrica d'Armi di Terni;
- in figura 60 il Regio Arsenale di Torino;
- in figura 61 la Regia Fabbrica d'Armi di Torre Annunziata.

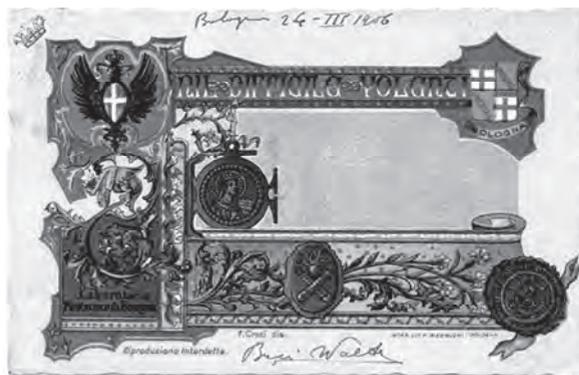


Figura 53. Il Laboratorio Pirotecnico di Bologna.

Figura 54. La Regia Fabbrica d'Armi di Brescia.



Figura 55. Il Laboratorio Pirotecnico di Capua.



Figura 56. Il Regio Polverificio sul Liri.



Figura 57. Il Regio Polverificio sul Liri.

**Figura 58.** La Regia Fabbrica d'Armi di Terni.



**Figura 59.** La Regia Fabbrica d'Armi di Terni.



Figura 60. Il Regio Arsenale di Torino.



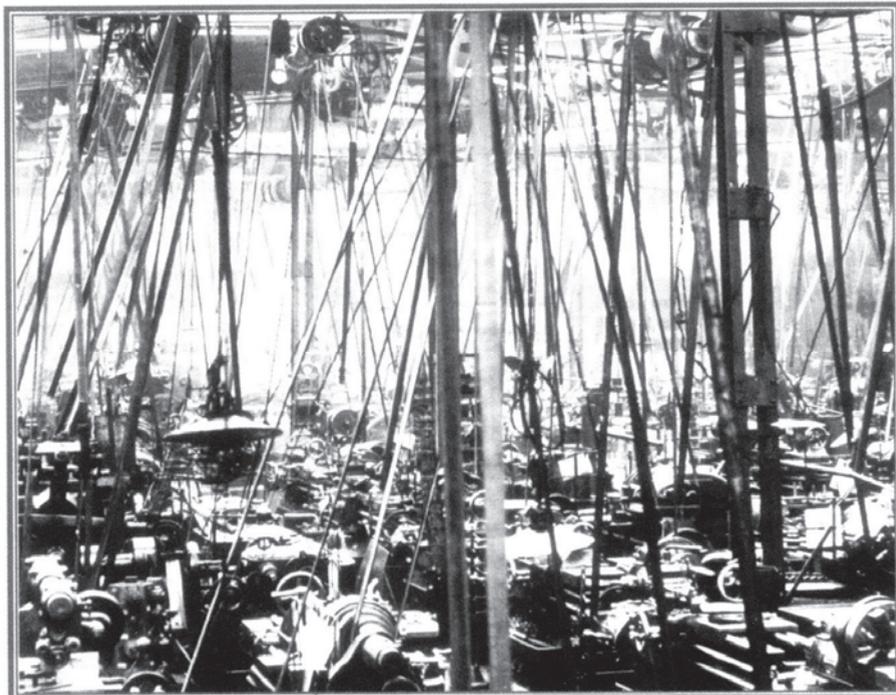
Figura 61. La Regia Fabbrica d'Armi di Torre Annunziata.

Fra le aziende private scomparse dopo la fine della seconda guerra mondiale, abbiamo già ricordato la cremonese “Armaguerra”, e ne abbiamo citato il fucile semiautomatico con canna a corto rinculo: in figura 62, si vede una copia di quest’arma sfortunata, nelle mani della signora. Invece, appoggiata alla ringhiera, una copia del tedesco “Gewehr 43” più tardi detto “Karabiner 44” della Walther di Zella Mehlis, a sottrazione di gas e prodotto in ben 400.000 esemplari fra il 1943 ed il 1945. Come si è già detto, questo è il capostipite dei moderni fucili d’assalto.

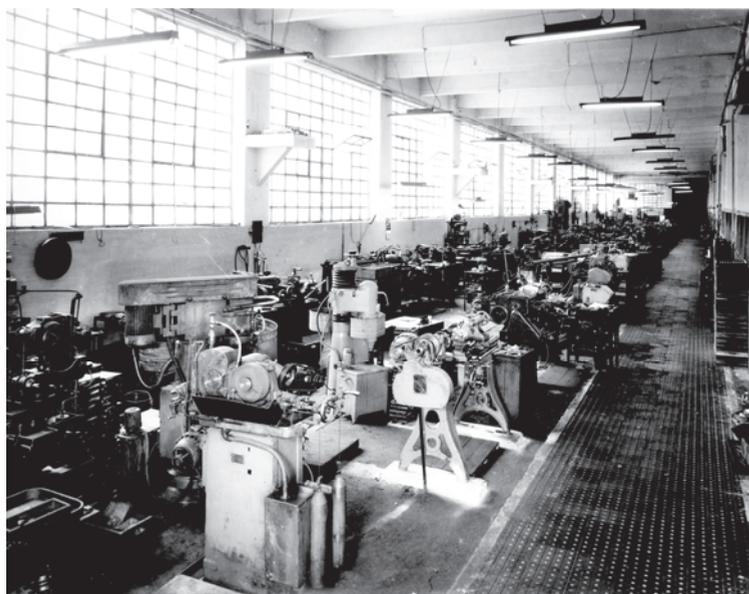


**Figura 62.** A confronto, il Gewehr 43 e lo sfortunato “Armaguerra” italiano.

Chiuderemo questo capitolo che riguarda l’apporto fornito dalla meccanica alla produzione delle armi portatili (molto ci sarebbe da aggiungere su quanto riguarda le armi pesanti) con due immagini scattate a distanza di quasi un secolo: in figura 63 l’interno di un edificio per la produzione di armi alla fine dell’Ottocento: una specie di foresta caratterizzata dalle centinaia di cinghie trasmettitori del movimento alle modeste macchine utensili di allora, la cui energia derivava da un motore dapprima a vapore, più tardi azionato dal gas di città ed infine dall’elettricità. In figura 64 un edificio della fine del Novecento, quando ben diversa era la situazione produttiva (e progettuale!) con l’impiego di macchine utensili programmabili ed a controllo numerico, e lavorazione computerizzata.



**Figura 63.** La “foresta di cinghie” dei vecchi opifici.



**Figura 64.** Un edificio industriale del 1970.

## BIBLIOGRAFIA

- Blässer Gerd, Selvini Attilio (1970), *Giulio Sosso, ein Erfinderschicksal*, DWJ-Verlag, Schwäbisch Hall.
- Bock Gerhard, Weigel Wolfgang (1968), *Handbuch der Faustfeuerwaffen*, Neumann-Neudamm, Melsungen.
- Bravetta Vittorio Emanuele (1899), *Rivoltelle e pistole automatiche*, Tip. Elzeviriana, Roma.
- Dannecker Peter (2009), *Verschlußsysteme von Feuerwaffen*, DWJ-Verlag, Blaufelden.
- Dannecker Peter, Selvini Attilio (2010), *Uno sputafuoco sconosciuto*, «Armi Magazine», Milano, n. 7.
- Krnca Karel (1902), *Die principiellen Eigenschaften der automatischen Feuerwaffen*, W. Braumüller & S., Wien.
- Menchini Ugo (1974), *Le pistole Beretta, 1915-1974*, Olimpia ed., Firenze.
- Selvini Attilio (1997), *Pistole automatiche, tecnica, storia e cronache*, Ghedini, Milano.
- Selvini Attilio (2001), *Ein Phantom: die italienische MP TZ45*, «Internationales Waffenmagazin», Solothurn, n. 2.
- Selvini Attilio (1972), *Le pistole automatiche "blowback" ed il loro inventore, Theodor Bergmann*, «TAC ARMI», Milano, n. 9.
- Selvini Attilio (1971), *I revolver multicolpo di Henry, Dassion e Heuschen*, «TAC ARMI», Milano, n. 7.
- Selvini Attilio (1970), *Pistole automatiche, fino a quando?* «TAC ARMI», Milano, n. 3.
- Swanson Elmer (1955), *Automatic Pistols*, Wesmore Book Co. Weehawken, NJ.

## I TEATRI DELLA MECCANICA

---



IL GORGONZOLA PAROSO  
MARCA COLOMBO

IL REGGIANO PERFETTO  
MARCA COLOMBO

MARCA COLOMBO  
Giovanni Colombo  
GORGONZOLANO

**L'AUTOMA**  
*La scienza  
moderna ha creato  
l'uomo d'acciaio  
che parla, cammina,  
ma non sarà mai  
perfetto fin quan-  
do gli sarà data  
la possibilità di  
gustare i  
FORMAGGI COLOMBO.*

**GIOVANNI  
COLOMBO**  
PAVIA - ITALY -

Manifesto pubblicitario dei Formaggi Giovanni Colombo. Illustratore Grisani. Pavia, anni '30. La scritta «L'AUTOMA La scienza moderna ha creato l'uomo d'acciaio che parla, cammina, ma non sarà mai perfetto fin quando gli sarà data la possibilità di gustare i "FORMAGGI COLOMBO"» precede il test di Turing. Immagine tratta da *Tecnica e Sentimento. L'anima della pubblicità*, Edizioni Verba&Scripta, 2007, Pavia.

## Il pensiero retroattivo tra Arte e Meccanica

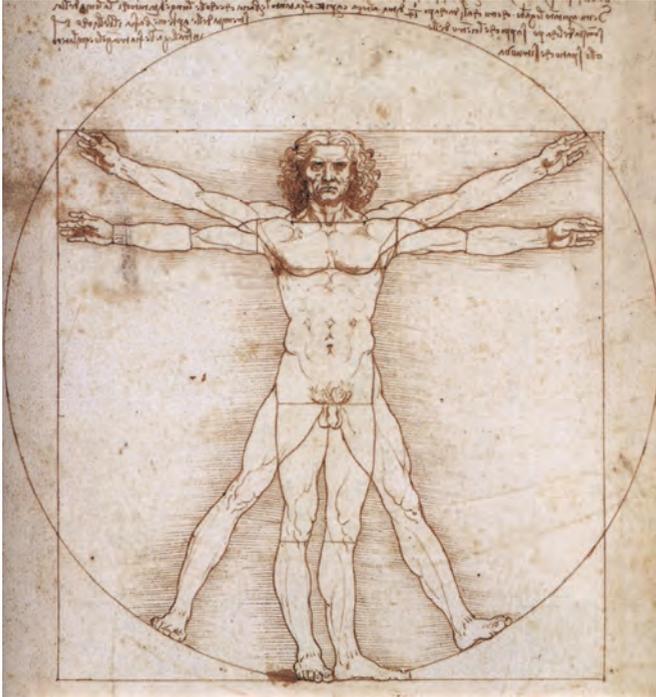


Figura 1. L'uomo di Leonardo da Vinci.

### Quale arte e quale meccanica?

*Arte e Meccanica.* Potremmo declinare questo binomio in infiniti modi: l'arte della meccanica, la meccanica nell'arte, storia dell'arte e storia della meccanica e loro intersezioni. Sviluppando il tema in questo modo forse faremmo un torto allo spirito intrinseco delle espressioni artistiche nelle quali va rimosso tutto quanto assomiglia a descrizioni noiose o a lunghe sequenze di citazioni e quanto è distante dal suscitare emozioni. E probabilmente saremmo ugualmente distanti dalla cultura della scienza meccanica intesa come quell'arte-scienza capace di organizzare movimento, interpretare, costruire o sviluppare la dinamica di piccoli o massimi sistemi.

Insomma ciò che potrebbe essere ragionevole è descrivere le tappe dell'interazione tra la cultura della scienza meccanica e il pensiero artistico, per

scoprire dove e quando queste combinazioni hanno prodotto nuove forme di pensiero e di espressioni artistiche o nuovi filoni e interpretazioni della meccanica.

Da qualunque “parte” si voglia “partire” in questo viaggio incrociato, dobbiamo però fare i conti con le relative definizioni, quindi su cosa intendiamo per arte e per meccanica.

In modo più che banale proviamo a consultare le definizioni di Wikipedia.

### **La meccanica:**

In fisica con il termine **meccanica** si indica una qualsiasi teoria che si occupi del movimento dei corpi. In base alle caratteristiche fisiche della materia studiata le teorie **meccaniche** si suddividono principalmente in: Meccanica classica, Meccanica statistica, Meccanica quantistica e Teoria della relatività.

Tale definizione certamente non mette in luce tutte le forme di interazione tra la “materia” e le “forze” che agiscono su di essa. Dovremmo tener conto della statica che analizza le forze in equilibrio o meglio che non implicano variazioni della quantità di moto come succede per le costruzioni, l'architettura, l'ingegneria civile e la stessa dinamica in cui variazioni presenti sono studiate tenendo conto non solo del movimento ma delle forze presenti, o la stessa cinematica che studia il moto dei corpi senza riferirlo alle forze che lo influenzano (vedi il caso dei vari tipi di cerniere a diversi gradi di libertà).

Partendo da questo quadro, credo però opportuno focalizzarci principalmente su due elementi chiave relativi al **senso e alla rappresentazione del movimento** e alla trasformazione del concetto di meccanica per effetto della fisica quantistica, della relatività e della teoria dei sistemi che non a caso vanno alla radice dei concetti e alle relative interazioni di **tempo, spazio, materia ed energia, anche in rapporto con l'ambiente**.

Aggiungerei però anche ulteriori aspetti che si sono manifestati sempre più per effetto delle evoluzioni tecnologiche legate alle **macchine**: da quelle fisiche (rappresentate storicamente da quelle di Leonardo Da Vinci) a quelle a vapore, dal motore a scoppio (auto, aerei) alle **macchine virtuali**. Queste ultime hanno determinato lo sviluppo dei calcolatori, il fenomeno della digitalizzazione delle informazioni quindi dell'informatica, delle reti, della multimedialità, dei *new* e dei *social media*.

La meccanica ha basato la propria scienza su principi e su modelli matematici di supporto come la composizione e scomposizione vettoriale, applicate a traiettorie, linee di forza, tensori, a rappresentare sistemi statici e dinamici come il trasferimento di forze da forme lineari a rotanti e viceversa, a descrivere, progettare macchine, siano esse auto, navi, treni, aerei o apparecchi industriali.

Ha poi avuto sviluppi speciali nell'ambito delle scienze applicate come l'architettura, le grandi strutture civili, opere a cavallo tra strutture e territorio, tra costruito e ambiente naturale, l'ingegneria aerospaziale anche per effetto dei contributi dati dalla meccanica dall'avvento delle tecnologie dei materiali da caratteristiche meccaniche fisiche e chimiche nuove rispetto al passato (es. vetro e acciaio). Lo sviluppo della meccanica nel senso più tradizionale si è avuto attraverso la combinazione con la pneumatica, l'avvento dell'elettromeccanica fino allo sviluppo dell'elettronica e delle tecnologie dell'informazione, della comunicazione e della gestione della conoscenza applicate alle macchine. Cosa c'è di più forte dell'immaginario collettivo legato alla robotica e all'avvento degli *avatar* con sembianze umane che progressivamente ricalcano le peculiarità della specie umana? Come la capacità di registrare, pensare, quindi ragionare (e fin qui molto facile per una macchina) di possedere capacità critica (beh non tanto difficile) di emozionarsi (beh già qui un po' più difficile, magari simulare i diversi comportamenti), di apprendere (e qui tanto si è fatto e si sta facendo) di pianificare e predire il futuro e avere memoria (compreso l'oblio)? Fin qui tutto abbastanza tra le righe, tutto "programmabile" nella naturale evoluzione della tecnica specifica della meccanica. Se si parla di creatività, nel senso profondo del termine, se si pensa a quanta potenzialità è possibile sprigionare dalla natura umana, allora si è di fronte ad un reale salto di qualità. Intendo con questo alcune capacità di apprendere, di apprendere con discontinuità, ovvero di rielaborare non solamente secondo schemi prestabiliti, ma attraverso la scoperta e la capacità di cambiamento anche su se stessi. Come nella figura del protagonista Rodion Romanovich Raskol'nikov, descritto nell'opera *Delitto e castigo* di Dostoevskij, con il riconoscimento della colpa commessa, il pentimento ed il rinnovamento spirituale: una rivoluzione interiore che fa prendere coscienza di quanto accade. Il senso di coscienza appunto. E anche altre caratteristiche tipiche della specie umana e dei sistemi viventi in generale: la capacità di auto-correggersi, come di riprodursi. È questa una frontiera con cui la meccanica già dal secolo scorso si è dovuta confrontare. Non a caso possiamo e dobbiamo riferirci alle esperienze degli anni venti che elaborano progressivamente il pensiero legato alla **teoria dei sistemi**, superando l'approccio meccanicistico tradizionale e aprendo nuovi orizzonti nella comprensione dei fenomeni complessi.

Fino a trovare nuove sinergie e intersezioni con il pensiero artistico che percorre esperienze di rifondazione dell'espressione umana e supera l'estetica tradizionale per addentrarsi in una pluralità di movimenti e manifestazioni artistiche tra cui il cubismo, il futurismo, l'astrattismo, l'arte cinetica, le diverse avanguardie. Per arrivare ai giorni nostri in cui la triangolazione tra artista, opera d'arte e fruitore cortocircuita e perfino ribalta i ruoli facendo diventare l'opera d'arte la performance che considera l'emozione del fruitore essa stessa la vera "opera d'arte". Insomma

l'emozione non come effetto della fruizione dell'opera d'arte ma l'oggetto stesso dell'opera.

Quindi dobbiamo fermarci e riprendere allora anche la stessa definizione di arte, ancora pescata da Wikipedia. Essa mette in evidenza alcuni punti chiave che meritano una riflessione.

La definizione di **arte** cita:

L'arte, nel suo significato più ampio, comprende ogni attività umana – svolta **singolarmente o collettivamente** – che porta a **forme creative di espressione estetica**, poggiando su accorgimenti tecnici, abilità innate e norme comportamentali derivanti dallo studio e dall'esperienza.

Nella sua accezione odierna, l'arte è strettamente connessa alla capacità di trasmettere **emozioni**, per cui le espressioni artistiche, pur puntando a trasmettere “messaggi”, non costituiscono un vero e proprio **linguaggio**, in quanto non hanno un codice inequivocabile condiviso tra tutti i fruitori, ma al contrario vengono **interpretate soggettivamente**. Alcuni filosofi e studiosi di semantica sostengono però che esista un linguaggio oggettivo che prescinderebbe dalle epoche e dagli stili e che dovrebbe essere codificato per poter essere compreso da tutti, sebbene gli sforzi per dimostrare questa affermazione siano stati finora infruttuosi.

Nel suo significato più sublime, l'arte comprende ogni attività umana creativa di espressione estetica, **priva di qualsiasi pregiudizio da parte dell'artista** (o del gruppo di artisti) che compie l'opera rispetto alla situazione sociale, morale, culturale, etica e religiosa che le masse del suo tempo stanno invece subendo. L'arte indica **l'espressione estetica della propria interiorità**; in questo senso **non v'è concetto di bellezza**.

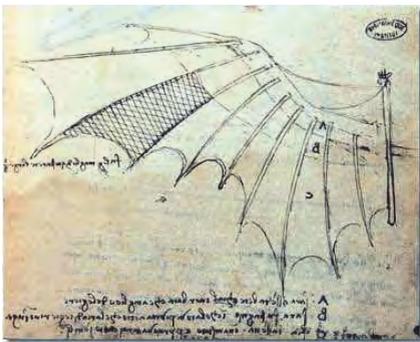
Non si può non cogliere dalla stessa definizione quanto il pensiero artistico permea la nostra vita individuale e collettiva esplicitando e dando forma al pensiero dell'oggi, anticipando con la sensibilità dell'artista le tensioni. Tensioni ed espressioni spinte da sistemi di attese, di paure, speranze, espressioni di vita, di idee e di pensiero, e di quanto sta nel magma delle emozioni. Tutto questo per trasformarlo in opere, segno del *proprio tempo, quindi della storia* e al tempo stesso *fuori dal tempo*. In questa espressività, il codice linguistico dell'artista non si uniforma al linguaggio consolidato, quello condiviso e “atteso”, ma si muove nello spazio dell'interpretazione o meglio dell'ambiguità, intesa come valore nella lettura multipla e del coinvolgimento del fruitore dell'opera.

Queste due definizioni ad un occhio distratto suggeriscono una lettura dei due fenomeni – meccanica e arte appunto – come praticamente contrapposti, bianco e nero, luce e tenebre. Da una parte il netto determinismo della meccanica, orientato alla esplicitazione di regole ed effetti, di previsioni precise, di rappresentazioni

oggettive e con codici definiti e dall'altra l'ambiguità, il linguaggio multiplo e la rappresentazione soggettiva.

Questa lettura, istintivamente emergente dall'inconscio della pseudocultura fatta a compartimenti stagni, non coglie però il ruolo delle ricche interazioni che possono nascere tra i diversi ambiti della cultura umana che sa scoprire, sedimentare, fare sintesi, sa reinterpretare e trasformare quanto è diverso dal proprio specifico ambito e incorporarlo, dando così nuovo senso alle cose. E l'arte questo fa nell'interpretare i segni del proprio tempo. Così ha fatto anche sul pensiero e sulle manifestazioni della meccanica.

Per comprendere questa sintesi basta osservare le opere di artisti come **Leonardo da Vinci** nel XVI secolo con le sue idee di macchine, frutto di combinazione di immaginazione, metodo e rappresentazione, anticipando gli apparecchi che solo molti secoli dopo si sarebbero materializzati in aerei, elicotteri e auto. Leonardo inventa una bicicletta molto simile a quella attuale con la trasmissione a catena, ripresa solamente tre secoli dopo (a fine '800) dopo che furono esplorate soluzioni diverse, evidentemente meno efficaci. Perfino idee come la penna stilografica. Dietro c'è sempre stata la ricerca delle forme, dei meccanismi per trasformare forze e movimenti in altre forme funzionali allo scopo. E alla base c'è sempre la tensione verso la scoperta (o la costruzione) anche di regole, tecniche e principi, che fossero sintesi con valenza generale. Ad esempio le leggi a cavallo tra matematica, geometria, arti figurative e perfino fisiologia. Basti pensare a come attraverso esse si esplorano le armonie della figura umana, dalle proporzioni macroscopiche che rispettano le regole del famoso rapporto aureo alle forme geometriche, come quella del pentagono (quindi anche della stella a cinque punte) che esprimono lo stesso identico rapporto aureo tra diagonale e lato della figura.

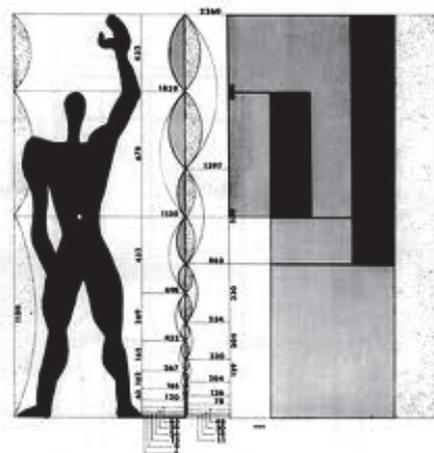


**Figura 2.** Disegno dell'Ala di Leonardo.



**Figura 3.** Stesura dei colori dello spettro secondo un ordine a spirale sull'Ala di Leonardo: elaborazione digitale dell'autore negli anni '80 su sistema di elaborazione immagini IBM 7350 per la realizzazione del Museo Leonardiano di Vinci da parte di IBM.

Sulle armonie della fisiologia umana da cui ricavare moduli e riferimenti compositivi ha dato un contributo significativo anche Le Corbusier che con il suo modulator ha voluto fondare la sua strategia espressiva e compositiva anche nell'architettura.



**Figura 4.** Il Modulor di Le Corbusier



**Figura 5.** Particolare sull'Unité d'Habitation a Marsiglia.

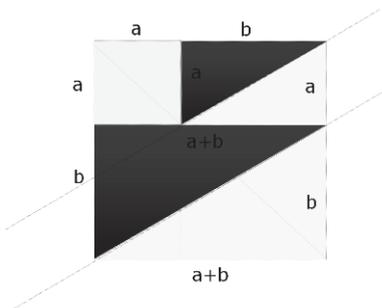
Un ruolo di riferimento assoluto è sempre stato ricercato dall'“uomo artista”: un simbolo o uno schema che fosse “propiziatorio”, “magico”, “sacro” quindi “divino” e impenetrabile alla ragione umana, a cavallo tra scoperta di purezza e di presenza diffusa. Uno di questi simboli è appunto la sezione aurea che è stata utilizzata da più artisti, architetti e scienziati nei diversi periodi storici. Il suo valore è espresso dal rapporto tra parti di figure geometriche regolari (come dicevamo tra diagonale e lato del pentagono) e al tempo stesso è espresso da un valore numerico irrazionale, quindi non rappresentabile attraverso il rapporto tra due numeri naturali, ma da un numero con una sequenza infinita di cifre decimali (come d'altronde il valore di Pi greco 3,14...). Questo ha aumentato un senso di irraggiungibilità nella sua pienezza, quindi un velo di mistero.

Attraverso questo rapporto, definito anche come medio proporzionale tra due parti di un segmento e l'insieme, sono state interpretate molte forme della natura e ad esso si sono riferite molte opere di diversi artisti, da pittori a musicisti e architetti. Ha quindi avuto un ruolo importante nel rapporto tra regole scoperte nella natura e regole della costruzione ed espressione umana. Un ponte, tra due saperi (di interpretazione e di creazione), che hanno assunto significati differenti nel corso della storia.

Mi riferisco in prima istanza alla lungimiranza di **Tolomeo**, propiziatore delle regole auree che poi hanno aperto alla identificazione della sequenza del **Fibonacci del 1200**. Ma poi ha piegato tale intuito nella costruzione della meccanica celeste “forzando” la mano nel disegno dell’interpretazione dell’universo verso un’idea sistemica assoluta, a somiglianza delle regole matematiche scoperte e non guidato dalla corretta indagine scientifica come più avanti fatta da Copernico e Galileo. Un ponte tra regole ideali dei numeri e natura che non poteva che crollare ed essere superato appunto dalla rivoluzione copernicana.

Lo sviluppo delle **regole auree** si è manifestato in tempi e occasioni differenti sia in ambito espressivo e artistico sia in ambito scientifico (matematica e studio delle forme della natura) rafforzandosi a vicenda. Questo fatto ha idealizzato queste interessanti regole sostenendo una concezione di arte nella quale la massima espressione estetica sarebbe quella basata su tali regole e comunque concependo la vera arte solo quella che fosse somigliante alla natura.

Non è infrequente rilevare infatti la presenza del rapporto aureo in natura. Anche recentemente vi sono ricerche che hanno verificato che i rapporti dinamici presenti tra parti del corpo (come ad esempio tra struttura dentaria e cranio o rapporti della struttura genomica) si manifestano secondo precisi valori che riconducono al leggendario e affascinante rapporto aureo. Ma questi importantissimi legami e riscontri non devono portarci a forzare e soggiogare il pensiero dell’arte esclusivamente ad alcune regole della natura, benché siano un riferimento fondamentale.

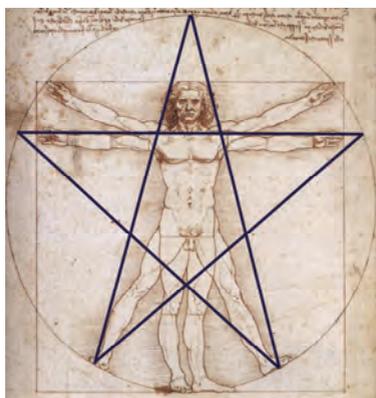


**Figura 6.** Schema in cui si rappresenta il rapporto aureo attraverso la similitudine di due triangoli. Essi hanno le ipotenuse parallele e i due cateti rispettivamente  $a$  e  $b$  per il primo triangolo,  $b$  e  $(a+b)$  per il secondo.

Il rapporto aureo in particolare dobbiamo apprezzarlo per quanto rappresenta il senso di sviluppo (quindi di movimento) e dell’evoluzione. La citata sequenza del Fibonacci, visibile nelle forme a spirale dalle conchiglie alle galassie, ha un rapporto tra i numeri in sequenza che tende progressivamente al numero aureo. In altri termini il numero aureo (detto anche sezione aurea) effettivamente rappresenta l’evoluzione e anche per questo è definibile attraverso il concetto di medio proporzionale: un segmento minore  $a$  e un segmento maggiore  $b$  la cui somma è  $c$  ( $c=a+b$ ) esprimono uno speciale rapporto quando  $(a:b)$  è uguale a  $(b:c)$ . In termini matematici  $a:b=b:(a+b)$ , quindi il

segmento  $b$  è medio proporzionale tra  $a$  e  $a+b$ ; tale valore è un numero irrazionale espresso in circa  $0,618\dots$  mentre l'inverso quindi lato maggiore rispetto al minore, detto rapporto aureo o sezione aurea, è  $1,618\dots$ , ovvero lo stesso identico valore decimale ma con una unità in più. Esso approssimato risulta essere:

$$\Phi \equiv \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \approx 1,6180339887$$



**Figura 7.** Rapporto della figura umana e la stella/pentagono. Notare il rapporto aureo tra apertura braccia e apertura gambe, coincidenti con diagonale e lato del pentagono costruibile sulla stella.

Il significato dinamico di questo rapporto può essere interpretato secondo la considerazione che un'entità in crescita, per arrivare al punto finale (percorrendo un segmento  $c$  pari ad  $a+b$ ) passa tra i due segmenti  $a$  e  $b$  mantenendo equivalente (quindi costante) il rapporto di quanto fatto e quanto da fare ( $a:b$ ) con quanto da fare e tutto il percorso ( $b:(a+b)$ ).

La rappresentazione visiva e grafica che meglio esprime il rapporto aureo può essere osservata in due segmenti di un pentagono: lato e diagonale. Altro non è che il rapporto nella stella a cinque punte tra la distanza di due punte opposte e due vicine. Questa forma presente in natura ad esempio nelle stelle marine è facilmente osservabile anche nell'uomo e la stessa figura umana realizzata da Leonardo rappresenta tale rapporto. L'altezza (uguale all'apertura delle braccia) si rapporta con l'apertura delle gambe secondo il rapporto aureo.

Questo connubio tra **natura e mondo artificiale**, quest'ultimo inteso nel senso linguistico-simbolico, come espressione delle opere dell'uomo o del suo pensiero, tra lettura del mondo che ci circonda e l'artefatto umano, sia esso una sistemazione concettuale della conoscenza o la creazione di un manufatto, o una specifica macchina, è un anello chiave che ci può aiutare nell'interpretazione dei passi cardine dell'espressione artistica legata al percorso nel quale la meccanica ha posto le sue pietre miliari.

Proprio focalizzandoci sul senso di questo rapporto tra natura e mondo dell'espressione umana, anche osservando l'operare di Leonardo, comprendiamo il ruolo chiave della "rappresentazione" tramite cui riusciamo a costruirci e a

rappresentare un'idea, quindi ad esprimere il nostro pensiero creativo. Sia essa un'opera d'arte o un artefatto meccanico reale o simbolico. (A tal proposito vengono in mente le macchine inutili di *Bruno Munari*, espressione contemporanea di amore per la meccanica combinata con il desiderio di superare l'utilità a tutti i costi per dare spazio al piacere dell'inutile ...).

Su quanto si possa esprimere attraverso forme rappresentative significative, è stata fondamentale l'iconografia e il disegno, ed oggi sempre più sono imprescindibili le rappresentazioni numeriche, quindi i modelli matematici con la capacità di essere elaborati e rappresentati poi secondo diverse modalità. Questo aspetto possiamo osservarlo sia sulla rappresentazione di oggetti virtuali generati ad esempio da algoritmi matematici (vedi più avanti la computer art e i frattali) sia di oggetti ripresi dal mondo attraverso processi e macchine (es. un apparecchio fotografico, scanner ecc.) o attraverso tecniche tradizionali di disegno.

E su ognuno di questi fronti capacità tecnica ed espressione artistica hanno interferito offrendo interessanti spunti di riflessione.

### **La fotografia e la rappresentazione del movimento**

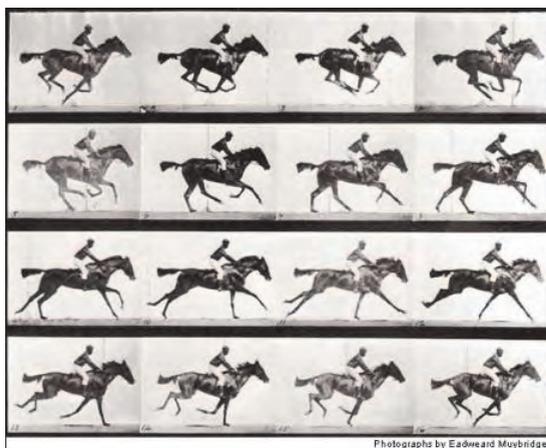
Se tralasciamo i capisaldi della rappresentazione del movimento della nostra storia dalla pittura rinascimentale (uno tra i tanti il Botticelli che utilizzava la luce sui corpi in movimento) possiamo concentrarci sul ruolo chiave della rivoluzione della rappresentazione iconografica data dall'avvento della fotografia di metà '800. La meccanica fotografica, abbinamento geniale di meccanica, ottica e chimica data dal trattamento dei sali d'argento e poi attraverso Nadar il loro fissaggio, apre nuovi spiragli all'espressione umana e alla rappresentazione del mondo. Una raffigurazione che presto mette in luce il ruolo, certo fondamentale, ma subalterno del mezzo – la macchina, la pellicola e lo sviluppo, oggi trasformato per effetto del digitale – rispetto a quella del fotografo, che ne conferisce ovviamente l'intrinseca soggettività anche se attraverso un mezzo meccanico. Una espressività basata su una pseudo-verosimiglianza del reale derivante dalla semplice ripresa ottica ben diversa dall'intero processo semiotico del complesso processo ripresa-sviluppo e visualizzazione-fruizione attraverso il processo attivato dall'occhio-mente del fruitore. Espressività che si esplicita non nella sola tecnica di ripresa con la scelta del soggetto, del momento, di inquadratura, taglio, prospettiva, luci, ma anche alla luce dello stile linguistico adottato, dello specifico percorso espressivo e dal significato profondo conferito all'immagine.

Che la fotografia, con la sua meccanica, abbia aperto alla nuova arte del vedere e abbia trasformato la stessa concezione della pittura, non c'è da parlarne. È noto a

tutti infatti quanto gli sviluppi del pensiero artistico e dell'espressività iconografica siano passati per forme pittoriche che si differenziano dal verismo fotografico attraverso l'impressionismo e altre forme che tendono a focalizzarsi sull'effetto globale, l'impressione, l'espressione che va oltre oggetti e spazi.

Credo utile invece soffermarsi su come la fotografia, con la sua specifica meccanica sia stata capace di varcare una soglia di conoscenza della dinamica e della meccanica del movimento.

Una probabile scommessa, fatta da Leland Stanford, allevatore e già governatore dello Stato della California, relativa al fatto che i cavalli nella loro corsa staccassero o meno tutte le quattro zampe dalla terra, è stata una pietra miliare della scoperta della fisiologia, per effetto del "fermare per un attimo la realtà e leggere cosa succede in quell'istante". Operazione svolta in modo strutturato dal fotografo Eadweard Muybridge dietro commissione di Stanford. E su questo filone esplorativo possiamo vedere i contraccolpi nell'arte pittorica, che in presenza di questo nuovo media e delle sue specifiche forme di espressività, si concentra invece su nuove forme di rappresentazione della realtà e in particolare del movimento.



**Figura 8.** Eadweard Muybridge rappresentante la corsa a cavallo.

Cogliere il momento cruciale, in prima istanza può essere il modo che meglio rappresenta il movimento, ma bisogna anche comprendere qual è il momento.

L'esperienza di Muybridge che ha fatto notare lo stacco delle quattro zampe da terra ha ad esempio rotto la convinzione

comune che il cavallo si staccasse completamente da terra nella posizione di massima estensione, come dipinta in passato.

Le immagini di Muybridge ribattono questa convinzione e al contempo hanno posto il quesito se rappresentare il movimento può essere ridotto a una singola e semplice immagine. Le risposte sono scritte nella storia della pittura e della fotografia, del cinema, delle avanguardie artistiche del pensiero moderno e contemporaneo. Partendo dal cubismo, passando per il futurismo, osservando le esperienze dell'arte cinetica e le tante forme espressive d'avanguardia e di arte contemporanea.

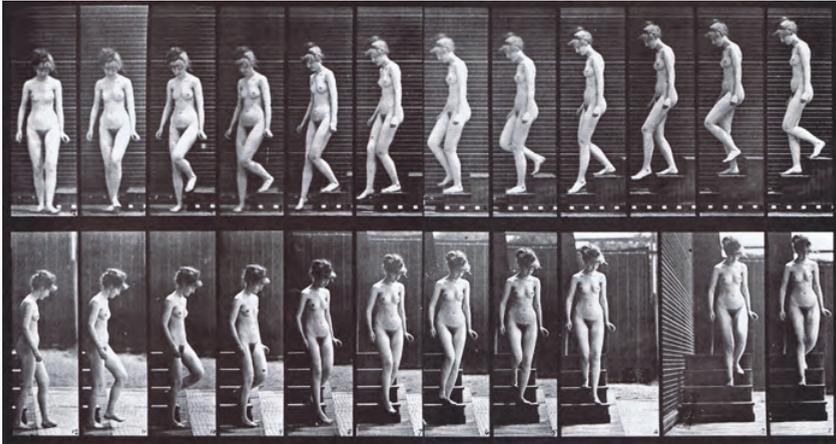


Figura 9. Woman descending stairs, Muybridge.

---

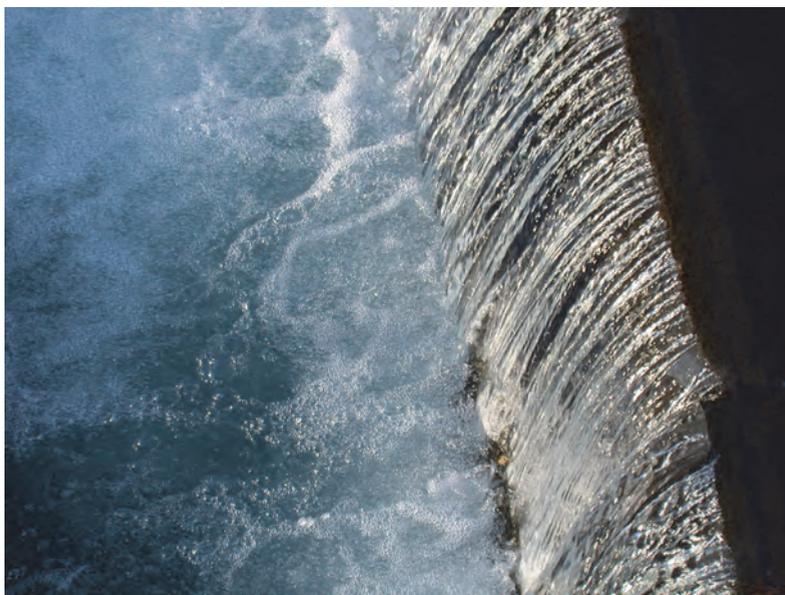
### Dalla sequenza agli effetti di mosso



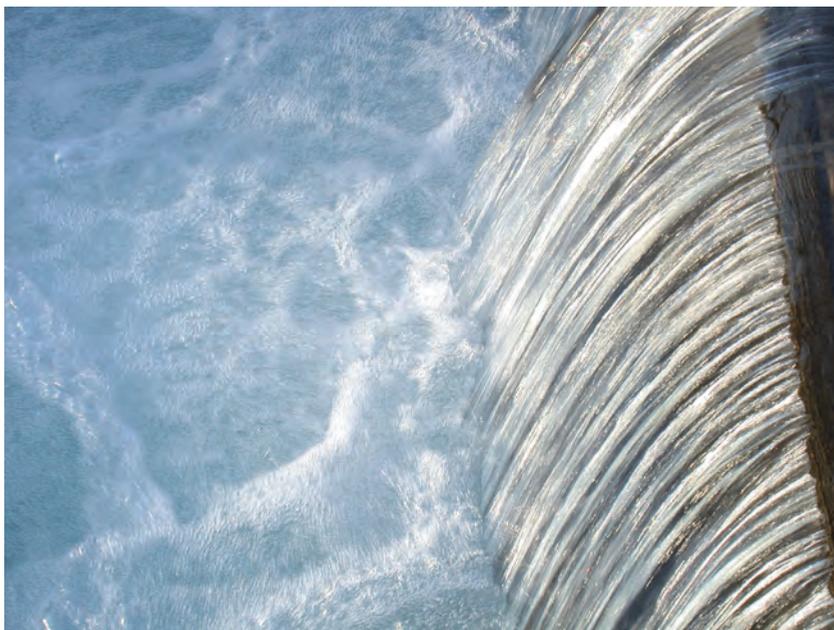
Figura 10. Non vedo non sento non parlo: Sequenza di 16 fotogrammi con una delle prime digital camera 2.1 Megapixel o MP. Foto dell'autore, Settembre 2001.

Sul tema del movimento la fotografia ha e ha avuto molto da esprimere, potendo rappresentare in modo eccellente diverse forme di movimento non solo attraverso le sequenze di singole immagini. È la stessa meccanica dei fluidi che ci suggerisce come osservare il fenomeno: la visione euleriana, quella di un osservatore esterno che vede il movimento (o il flusso di un fluido) da un punto fisso esterno e la visione lagrangiana, ovvero quella secondo il punto di vista di chi segue il movimento, quindi dall'interno del movimento. Potremmo dire due visioni complementari, una oggettiva e l'altra soggettiva. Il linguaggio scientifico della meccanica ha studiato il fenomeno secondo queste due visioni. Analogamente le diverse forme dell'espressione umana, prima di tutte la cinematografia. Ugualmente la fotografia può rappresentare queste visioni. La prima situazione è ben espressa quando abbiamo una ripresa che segue un oggetto in movimento. In uno scatto con tempi brevi, da cui il significato di istantanea, attraverso l'effetto "freezing", viene fissato lo stato di un soggetto in un certo istante che se ben scelto esprime il momento culminante di una scena o meglio il momento più significativo o più rappresentativo di un evento. La posa lunga, ovvero con un tempo di esposizione più esteso (anche di diversi secondi) descrive il flusso nel tempo, sia breve o anche prolungato, di un movimento.

Ecco nelle immagini seguenti la rappresentazione del movimento dell'acqua utilizzando tempi di ripresa differenti.



**Figura 11.** Cristalli d'acqua: tempo di esposizione breve (1/250 sec).



**Figura 12.** Capelli sciolti: acqua ripresa con tempo di posa lento (1/30 sec). Fotografie dell'autore tratte dal romanzo *Il viaggio di Pokares*, gennaio 2002.

La seconda situazione invece è ancora più interessante. È quella solidale al movimento, come fossimo in sella alla telecamera e come tale è più immersiva, più soggettiva. Si ha quando l'osservazione del movimento è dal suo interno.

Inutile citare e richiamare la visione inconscia, la dimensione dell'emozione. È a noi tutti noto il senso introspettivo di questa forma espressiva. E questa visione si è poi ovviamente manifestata nella sua pienezza nel cinema e attualmente nei videogiochi.

Val la pena invece di esplorare una terza via nella rappresentazione che sia oggettiva ma con un effetto parzialmente soggettivo, quella che si manifesta allorché è presente un movimento della camera di ripresa (macchina fotografica o telecamera), che minimizza lo spostamento relativo dell'oggetto in movimento rispetto alla ripresa. Si ottiene in questo caso un effetto di mosso dello sfondo che, dal punto di vista cinematografico in senso stretto, scorre dietro la figura ripresa, in modo inverso rispetto al movimento combinato del soggetto più fotocamera. Si determina così l'*effetto panning* in cui lo sfondo risulta mosso, rappresentazione simile all'effetto sfuocato (ma la causa è ben diversa) che ha molta efficacia espressiva, soprattutto se la ripresa non ha un tempo di esposizione molto breve. Con questa tecnica si mette in evidenza il soggetto e si smorza l'importanza dello sfondo, appunto come quanto accade nel nostro processo percettivo che seleziona quanto

è di nostro interesse rispetto a quanto sta intorno. Questa forma di espressività eccola rappresentata in un'immagine di un ballo realizzata negli anni '80. Particolare assonanza tra questa fotografia e un'opera pittorica del futurista Gino Severini emerge attraverso il confronto di queste due rappresentazioni simili nella loro struttura compositiva. Nelle due immagini l'incredibile somiglianza dei soggetti rappresentati (uomo che slancia una figura femminile) si manifesta anche nella posizione delle braccia della donna, delle gambe, della gonna. Questa similitudine strutturale, emersa casualmente in questo lavoro, mette in luce lo studio raffinato da parte di Severini di una delle due forme di movimento definite di riferimento dai futuristi: quella dei soggetti umani che si sviluppa in verticale rispetto all'altra ovvero quella dei corpi meccanici normalmente di forma e in movimento orizzontale.



**Figura 13.** Gino Severini, *Danseuse*.



**Figura 14.** Innalzamento dinamico. Foto dell'autore, 1980, dall'opera inedita *Immagini di concetti*.

---

## **Il cinema e la fucina della comunicazione in movimento**

*Dalla rappresentazione dello spazio nel tempo alla costruzione della narrazione*

Se la meccanica attraverso la tecnica fotografica ha inizialmente espresso *l'arte della meccanica* per aprire nuova espressività data dal mezzo in se e per sé, presto si colgono le peculiarità del fotografare, ovvero del linguaggio espressivo che

seleziona, interpreta, esplora il reale e “costruisce” rappresentazioni del pensiero e dell’anima umana.

La fotografia, che qui non approfondiamo nel suo lungo percorso, si è espressa in diverse direzioni, dal ritratto, al paesaggio e all’ambiente ed ha osservato e interpretato il mondo, l’uomo e il pensiero umano, attraverso l’occhio critico dei fotografi. Si sviluppa così il filone dell’arte che dall’800 apre anche al cinema e quindi alla narrazione visiva. La fotografia dai Lumière a Nadar, quest’ultimo ingegnere che comprese come fissare le immagini, a Cartier Bresson, agli italiani attenti osservatori e partecipanti alla realtà sociale, come Berengo Gardin, agli interpreti del paesaggio e dell’Architettura come Gabriele Basilico, all’espressività simbolica come Franco Fontana, Luigi Ghirri, agli interpreti dell’arte altrui, sovrapponendo arte all’arte come Ugo Mulas.

Tempi, ritmi, prospettive, panoramiche, inquadrature diventano alcuni degli elementi strutturali della semiotica del linguaggio visivo, alcuni tipici della fotografia altri peculiari del cinema, quest’ultimo arricchito dalle tecniche di ripresa, con scene, sequenze, inquadrature, campi e controcampi, carrellate e panoramiche, e tutte le tecniche di montaggio sempre più importanti nella costruzione di scene realizzate al computer. La meccanica, in questo contesto, non è espressa dalle sole attrezzature di ripresa ma dalla complessa “macchina” organizzativa che spazia dalla creazione dei set, alla struttura dei processi che coinvolge persone, attrezzature e risorse finanziarie. In parte affiancata dai corrispondenti della produzione e postproduzione digitale, che ha visto prima scenari simulati con semplici modellini ma che a partire dal film Titanic fino alle ultime produzioni in 3D ha inserito nelle scene personaggi e ambienti naturali completamente ricostruiti al computer.



**Figura 15.** Immagine del cantiere del Titanic.



**Figura 16.** Immagine del film Titanic.

Il film Titanic rappresenta il transatlantico come l’emblema di un’opera di ingegneria navale concepita sicura e affidabile che, a causa dei limiti dell’uomo nel prevedere quanto è prevedibile ha dimostrato i limiti della tecnica che con l’errore umano si è trasformata in tragedia. Al tempo stesso è stata oggetto di espressione

artistica attraverso il film e le relative tecniche di simulazione digitale adottate per la prima volta in modo significativo in sostituzione dei modellini fisici.

## L'ingegneria delle costruzioni: dalla Torre Eiffel del 1889 al MAXXI

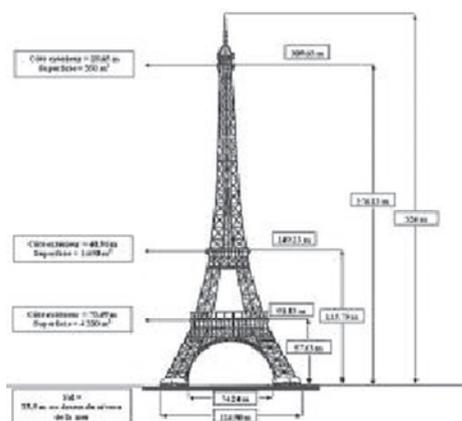


Figura 17. Disegno della Torre Eiffel.

Se la meccanica fotografica e cinematografica sviluppano nuova espressività visiva, l'industria e la produzione dei nuovi materiali offrono nuove opportunità all'architettura e all'ingegneria civile. Opere architettoniche iniziano a sfruttare l'acciaio già da fine '800 dando nuove forme alle opere secondo nuove applicazioni della statica e

della dinamica. La più significativa opera in tal senso è quella dell'ingegnere Gustave Eiffel, che prima della famosa **Torre Eiffel** costruì anche la struttura interna della Statua della libertà. Realizzata in meno di due anni per l'Esposizione Universale del 1889, una *Fiera Mondiale* organizzata per celebrare il centenario della Rivoluzione francese, ancora oggi dimostra la sua grandezza a oltre 120 anni di distanza. Con i suoi 324 m, per 40 anni è stata la struttura più alta del mondo, fino alla costruzione nel 1930 del Chrysler Building a New York. La sua "dinamicità" è espressa dagli oltre 15 cm di dilatazione termica e altrettanti di oscillazione.

La costruzione ai tempi destò molte polemiche e grande resistenza da parte soprattutto dei parigini, che la chiamarono *l'asparago di ferro* per la sua struttura reticolare. La contestazione arrivò al punto che era prevista la sua demolizione ma fu mantenuta solo perché necessaria per le antenne della radio appena decollata. Oggi la Torre Eiffel è una delle opere più visitate con oltre 250 milioni di visitatori.

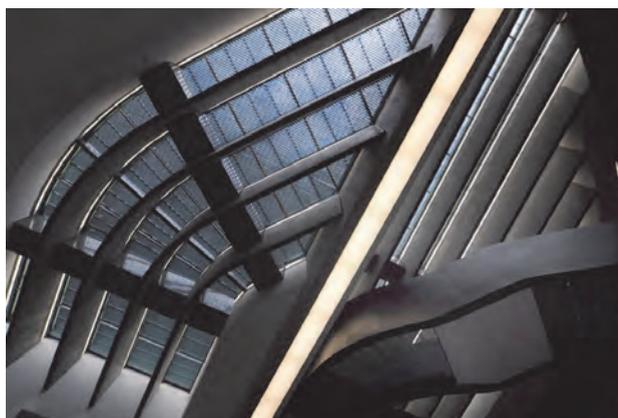
Il percorso delle architetture meccaniche e più in generale l'architettura basata sulle strutture è ricco di stimoli ed esperienze. Le costruzioni concepite in tal senso assolvono al tempo stesso sia le funzioni statiche (o dinamiche) secondo i principi delle forze e delle spinte in equilibrio e secondo la capacità da parte dei materiali costruttivi di rispondere alle sollecitazioni di varia natura, sia ad un disegno architettonico che dia un senso all'opera. Architetti di tutto il mondo hanno incarnato questi concetti alla luce anche dei materiali che progressivamente si sono resi disponibili, dall'acciaio e il vetro, ai materiali sempre più vicini alla natura.



**Figura 18.** Disegno che rappresenta l'ispirazione del MAXXI a partire dal progetto di Pierluigi Nervi.

Mi piace ricordare Pier Luigi Nervi (1891-1979) e le sue strutture con un'immagine del Pirellone (1956-1961) realizzato con Giò Ponti, struttura più alta al mondo in semplice calcestruzzo, che richiama la forma e per certi versi le sollecitazioni di un'ala di aereo. Un'immagine grafica che richiama l'opera di Nervi mette invece in relazione un suo progetto relativo al *Palazzo dell'Acqua e della Luce* con il MAXXI, il *Museo dell'Arte del XX secolo* recentemente realizzato a Roma (1998-2009) ad opera dell'architetto (matematica per la verità) Zaha Adid. Nel disegno è evidente un senso di movimento e trasformazione dall'opera di Nervi a cui si è ispirata l'artista-architetto di origine iraniana. L'opera concepisce lo spazio in senso plastico, in cui la struttura (quindi la sua meccanica) inglobata in questo involucro più che *spazio per l'arte è arte dello spazio* attraverso l'alterazione di riferimenti e rapporti tradizionali, come la rottura di riferimenti verticali (es. muri inclinati), sbalzo sul vuoto, illuminazione filtrata dall'alto secondo criteri dinamici.

**Figura 19.** Il MAXXI a Roma, progetto Zaha Adid, Copertura e illuminazione. Foto dell'autore.





**Figura 20 a e b.** Il MAXXI a Roma, progetto Zaha Adid. Parete inclinata e corpi scala. Foto dell'autore.



**Figura 21.** Vincitore del prestigioso premio RIBA Lubetkin, The National Stadium in Beijing di Herzog & de Meuron, con China Architectural Design e Research Group, Arup Sport e Ove Arup e Partners Hong Kong, e l'artista Ai Wei Wei (Foto: Iwan Baan).



**Figura 22.** Sydney Tower sede dell'University of Technology.

L'idea di architettura-scultura è perseguita anche per opere contemporanee che interpretano anche la concezione dell'involucro in modo sempre più d'avanguardia. Un esempio di complessità ma al tempo stesso di semplicità concettuale è quello dello stadio realizzato per i giochi olimpici di Pechino degli architetti Herzog e de Meuron. La struttura in calcestruzzo segue forme naturali come fosse un nido d'uccello e la struttura e l'involucro nei fatti coincidono. La copertura, che può essere dinamicamente aperta o chiusa, conferisce un ulteriore senso di funzionalità. All'espressività delle grandi strutture si accompagna nell'architettura contemporanea una maggiore e diffusa concezione di tipologie ecosostenibili e, come tali più orientate a diventare "macchine viventi" con alcuni casi di "edifici con pelle che cambia, che si relaziona con l'ambiente" come la Sidney Tower che si adatta all'ambiente.

Un tessuto leggero composito, a maglia tridimensionale dalle elevate prestazioni energetiche può essere teso a piacimento su di un telaio in acciaio sovrapposto a muri e coperture. Filamenti LED e nervature per comunicazione intelligente e celle fotovoltaiche conferiscono funzionalità, gestione termica e autonomia energetica, oltre a una forte espressività. Il richiamo ai concetti di frontiera, di involucro, come filtro che seleziona energia, materia ci rimanda alla teoria dei sistemi, alle caratteristiche dei sistemi viventi e a quanto esplorato dalla filosofia del confine, come più avanti meglio espresso. Il comportamento reattivo in architettura è perseguito attraverso la combinazione di sistemi materiali (ingegneria meccanica, ingegneria strutturale, scienza dei materiali) sistemi informativi e di elaborazione (flussi informativi continui, analisi ed elaborazione dei dati rilevati e memorizzati), sistemi comportamentali (sviluppo della logica, dei gesti, e dell'intelligenza artificiale). Ad essere coinvolta è la dinamica strutturale, le dimensioni climatica e del benessere e fino agli aspetti legati al comportamento sociale. I sistemi così concepiti danno risposte differenziate e gestendo il tutto in modo sia diretto ma anche indiretto.



**Figura 23.** Kurilpa Bridge del Queensland in Australia su cui è applicata la Tensegrità.

È sempre più facile trovare negli addetti ai lavori l'adozione di terminologie che rimandano "all'involucro che respira", al sistema che si adatta e che reagisce alle condizioni ambientali. Si

fa oramai strada l'uso di strutture cinetiche composte da barre, lamine incernierate, strutture a membrana che adottano la *tensegrità*, (tensione + integrità) e che richiamano Buckminster Fuller di fine anni '40. Donald E. Ingber in *L'Architettura della Vita* definisce «la tensegrità come un sistema che acquista stabilità grazie al modo in cui le forze meccaniche di tensione e di compressione sono distribuite e bilanciate all'interno della struttura stessa. Forze presenti all'interno del sistema/struttura e forze opposte rendono insieme la struttura intrinsecamente stabile» come al Kuripla Bridge in Australia.

## L'impressionismo, l'espressionismo e il cubismo

Se la fotografia ha creato nuove strade per scrutare ed interpretare la realtà, il percorso pittorico dell'800 ha naturalmente reinterpretato il proprio dominio d'indagine sviluppando nuove forme espressive nella rappresentazione del sentimento e della percezione. A noi tutti è noto, nello sviluppo della pittura, il ruolo dell'impressionismo, poi dell'espressionismo elaborato principalmente dal pensiero francese che volendo superare il realismo della stessa fotografia e abbattendo la dimensione del dettaglio, andava alla ricerca della percezione globale del mondo esterno. Sono così espressi momenti gioviali di vita campestre e sociale (Manet, Monet, Renoir, Degas e Cézanne) e poi dell'espressione del sentimento, della vita interiore sia essa guidata dalla disperazione (Munch), o riferita ai luoghi di vita quotidiana con **Matisse**, **Vlaminck**, **Derain** e **Marquet**, che si ispirarono a Vincent **Van Gogh** e Paul **Gauguin**.



**Figura 24.** Claude Monet, *La promenade de la femme à ombrelle*.

Le tecniche impressioniste e la stessa esperienza del puntinismo basata sulla scomposizione del colore attraverso punti colorati, fusi dal nostro occhio-cervello, hanno concentrato la propria attenzione sulla rappresentazione del mondo, dagli spazi esterni alle persone, con intensità di luci e colore anche nelle zone in ombra ed hanno permesso la rappresentazione del movimento come fosse una sfumatura striata, quasi a simulare effetti di mosso e sfo-

cature direzionate. Nell'opera *La promenade de la femme à ombrelle* di Claude Monet i vestiti prendono corposità e vengono dipinti gonfi dal vento, così da rappresentare il movimento attraverso l'immaterialità del vento espresso anche da una forma vagamente circolare di assembramento delle nuvole. A complemento l'espressionismo manifesta la sofferenza e le diverse dimensioni interiori attraverso forme e tensioni di vita, azioni umane come espresse nell'opera *La danza* di Matisse.



Figura 25. Henri Matisse, *La Danza*.

Ma a porsi in contrasto con l'espressione classicista nella sua struttura dello spazio tradizionale rappresentata dalla prospettiva, è il percorso delle avanguardie parigine che certamente indirizzando il senso e il ruolo dell'interiorità ha aperto la strada dell'astrattismo, come appunto forma pura del pensiero. Il movimento del Cubismo, anche alla luce delle influenze del pensiero teorico della fisica e delle nuove teorie sulla relatività, rompe con le tradizionali forme di rappresentazione dello spazio e del tempo, sovrapponendo i diversi punti di vista dello stesso oggetto (Picasso) e ricercando nella sequenza visiva la struttura del movimento.

Figura 26. Marcel Duchamp, *Nu descendant un Escalier n. 2*, olio su tela, 147,5 x 89 cm, Philadelphia, The Philadelphia Museum of Art.

È di Marcel Duchamp il richiamo alla sequenza fotografica di Muybridge nella sua interpretazione di cento anni or sono, del 1912, di *Nu descendant un Escalier n. 2* in cui rappresenta in modo astratto una donna e il relativo movimento appunto come una sovrapposizione dei momenti diversi sulla stessa tela.

Quest'opera diventa oggetto di dibattito a livello internazionale, non solo europeo, tanto che nel 1913 negli Stati Uniti viene esposta all'Armony Show e la discussione che destò fu tale che ci furono richiami, caricature, provocazioni e ricordi dell'evento.





**Figura 27.** J. F. Griswold, *The Rude descending a staircase (Rush-Hour at the Subway)*, The New York Evening Sun, 20th March 1913, *Maleducato che scende una scala (ora di punta nella Metropolitana)*.



**Figura 28.** Francobollo commemorativo dell'Armory Show, Usa 1998.

## Il primo e secondo futurismo

Se esiste un momento storico significativo come punto di intersezione chiave nel pensiero e nell'espressione artistica che faccia riferimento esplicito alla meccanica questo è la proclamazione del manifesto del Futurismo e l'opera dei pittori futuristi. Siamo, non a caso nel 1913, momento storico in cui la scienza elabora nuovi modelli concettuali della fisica (dalla meccanica quantistica di inizio secolo alla teoria della relatività elaborata da Einstein tra il 1905 e il 1913) e la tecnologia meccanica esprime grandi risultati nell'auto (la motorizzazione di massa alle porte con le Ford nel 1909), nelle imbarcazioni e nell'aeronautica (dopo pochi anni nel 1919 c'è la prima traversata aerea dell'Atlantico).

Marinetti, promotore del Manifesto intitolato "L'immaginazione senza Fili" che esprimeva lo spirito del Futurismo, non pronunciava un generico interesse artistico, ma affermava che il movimento si fondava sul *completo rinnovamento della sensibilità umana in conseguenza delle grandi scoperte scientifiche*. Fa riferimento al telegrafo, al telefono, al grammofo, ai mezzi di trasporto meccanico dal treno alla bicicletta, dalla motocicletta all'automobile, dal transatlantico al dirigibile e all'aeroplano. E non trascura il quotidiano, il cinematografo e quanto si sarebbe poi manifestato nell'evoluzione dei media e della comunicazione. Queste scoperte e invenzioni, non

fini a se stesse ma per quanto avrebbero esercitato e influenzato la nostra psiche. Non è un inno quindi al tecnicismo basato sul mito e sulla potenza delle macchine, ma l'attenzione alla nascita della sensibilità che deriva da questo nuovo contesto.

È sorprendente quanto proprio a cento anni di distanza, la ricaduta dell'innovazione, meccanica allora, della dimensione digitale oggi, diciamo della *meccanica virtuale* derivante dal digitale, sia oggetto di uguale attenzione.

La dialettica di confronto e di differenziazione dei futuristi italiani, Boccioni per primo, con i movimenti pittorici europei del periodo, primi tra tutti i neoimpressionisti e i cubisti, porta l'espressività italiana a focalizzarsi sul dinamismo, il movimento appunto espresso diversamente dalle visioni multiple ma comunque statiche del movimento francese. Alcune opere, nate dopo l'incontro dei principali esponenti italiani a Parigi con i pittori francesi nel 1911 (Picasso, Braque...), mettono in luce questo filone evidenziando una costruzione più astratta dei rapporti tra l'oggetto colto nel suo dinamismo e l'ambiente. Una per tutte l'opera di Carlo Carrà *Il cavaliere rosso* del 1913, alla dimensione della sensazione – quasi a mantenere inalterato il contributo dell'impressionismo nell'importanza della carica emotiva – aggiunge quella della “concettualità”, della conoscenza determinata dalla costruzione.



**Figura 29.** Carlo Carrà, *Il cavaliere rosso*, 1913, Milano, collezione privata.

Il richiamo e l'influenza del cubismo è palese. Ma esiste un'ulteriore ricerca nell'interpretazione del dinamismo rappresentato come

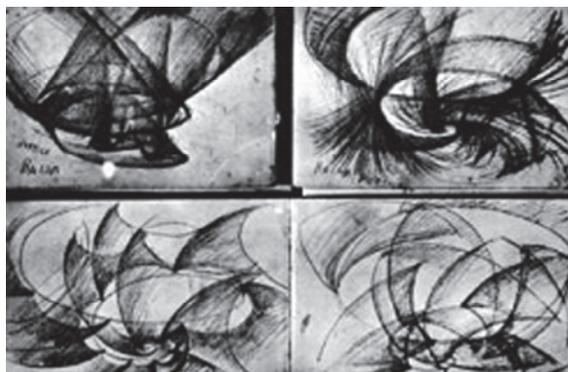
azione simultanea del moto caratteristico particolare all'oggetto (moto assoluto) con le trasformazioni che l'oggetto subisce nei suoi spostamenti in relazione all'ambiente mobile o immobile (moto relativo) [...] Tra moto di rotazione e moto di rivoluzione, insomma, è la vita stessa afferrata nella forma che la vita crea nel suo infinito succedersi. Questo succedersi, mi sembra oramai chiaro, non lo affermiamo con la ripetizione di gambe, di braccia, di figure, come molti hanno stupidamente supposto, ma vi giungiamo attraverso la ricerca intuitiva della forma unica che dia la continuità nello spazio<sup>1</sup>.

Boccioni prosegue e sviluppa così una casistica delle diverse configurazioni affermando che

un oggetto in velocità (treno, automobile, bicicletta) nella pura sensazione appare come un ambiente emotivo sotto forma di “penetrazione orizzontale” ad angolo acuto, completamente diverso dall'ambiente emotivo in forma di “pieno cilindro” perpendicolare in cui appare una figura umana in piedi. Questi due ambienti emotivi sono completamente diversi dalla “pesantezza” ondulata longitudinale (ambiente emotivo creato da una figura umana sdraiata), dalla “elasticità cilindrica” appoggiata su scatti angolari e quadrangolari (ambiente emotivo della figura che trotta), dalla “leggerezza spiralicca” dei segmenti di cono (ambiente emotivo di un vaso di fiori)<sup>2</sup>.

Tra i futuristi ricordiamo Giacomo Balla e il suo senso di dinamismo naturale, soprattutto nella rappresentazione del cane al guinzaglio del 1912.

**Figura 30.** Giacomo Balla, *Studi per vortice*, 1911, Roma, Collezione Balla.



<sup>1</sup> Boccioni, *Cultura, Scultura Futurista*, 1914, citato da M. Calvesi.

<sup>2</sup> *Ibidem*

**Figura 31.** Giacomo Balla, *Dinamismo di un cane al guinzaglio*, 1912.



### La visione dall'alto



**Figura 32.** Alfredo Gauro Ambrosi (Roma 1901-Verona 1945), *Battaglia aerea*, 1933.

Nel 1912 nel Manifesto della Letteratura Futurista Marinetti parla di «psicologia intuitiva della materia che si rivela dall'alto di un aeroplano». È questa una premessa e una conseguenza dello sviluppo dell'arte meccanica esplicitata con l'aeropittura. Nella nostra contemporaneità di cento anni dopo, siamo oramai abituati a “vedere” il territorio dall'alto e ad esplorare le nuove viste realizzate attraverso le ortofoto e le riprese satellitari, *Google Map* per intenderci, ma anche attraverso viste asso-

nometriche riprese da bassa quota che ci danno nuove visioni delle cose rispetto a quelle quotidiane e tradizionali delle rappresentazioni a terra.

Questa pluralità di viste (dall'alto, da terra, a volo d'uccello), la creazione di corrispondenze generate da automatismi e aggiornamenti costanti, ci fa intuire anche se vagamente, la tensione del pensiero del secondo futurismo verso queste nuove letture del mondo. Il secondo futurismo ovviamente elabora un pensiero di rinnovamento delle strutture linguistiche anche in continuità con il manifesto del 1912, denominato *Manifesto Tecnico della Letteratura Futurista*. Si dà così ruolo all'intuizione artistica complementare e non contrapposta all'intelligenza, ricercando sinergie tra concetti come ordine e caos.

Attraverso l'opera dei pittori futuristi si coglievano e reinterpretavano le teorie di Charles Henry dando senso e spazio a concetti come gioia ed energia, a schemi come ritmo e contrasto. Si esploravano le aderenze tra concetti di movimento e di circolarità, che come vedremo sono alla base, nella teoria dei sistemi, dello stesso concetto di retroazione e di cicli chiusi che generano conoscenza e la stessa vita. Questo processo nasce dall'esplorazione delle strutture della logica. Marinetti considera l'intuizione una forma contratta, sintetica e diretta della logica. È attraverso la catena di analogie che si riesce ad "abbracciare la vita della materia". Ed è attraverso l'analogia dei movimenti successivi di un oggetto che si esplora non solo lo spostamento dell'oggetto nello spazio ma si crea una relazione con il movimento di pensiero che lo assimila a diverse zone dello spazio mentale. Tutto ciò mette in luce la fitta tela di corrispondenze tra il pensiero artistico e il pensiero scientifico del periodo relativamente alle diverse leggi del mondo subatomico. Mi riferisco al principio di indeterminazione di Werner Heisenberg (forse sarebbe meglio definirlo teorema essendo stato dimostrato) esplicitato nel 1927. Secondo tale principio vi sono due sostanziali elementi di indeterminazione concernenti le particelle elementari, che sono la stessa dualità onda/particella e la non-località (*entanglement* quantistico)<sup>3</sup>. L'intuito futurista già dettava l'agenda di esplorazione dei concetti relativi al rapporto tra osservatore ed osservato, tra spazio fisico e mentale. A fare da terza voce tra scienza del subatomico e pensiero artistico è da considerare un altro tassello importante della cultura frutto della intersezione tra studiosi biologi, ingegneri e scienziati che hanno promosso e sviluppato la teoria dei sistemi.

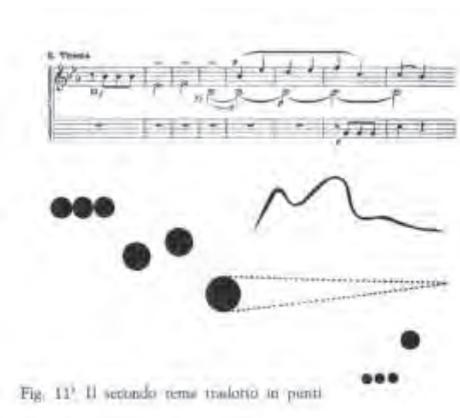
---

<sup>3</sup> Il Principio di Indeterminazione rappresenta l'elemento chiave della meccanica quantistica che decreta il sostanziale indeterminismo comportamentale delle entità appartenenti al mondo subatomico, definendo criteri diversi di indagine dalla fisica classica.

## Il movimento moderno

Il pensiero razionalista e l'architettura trovano, com'è noto, nel Bauhaus la massima espressione del movimento moderno, inteso come capacità interdisciplinare, tra architettura, pittura, arti visive in genere e musica di dare coerenza al pensiero espressivo. Dal Bauhaus infatti nascono la teoria della forma e della figurazione di *Paul Klee*, l'espressione del colore di *Vasijj Kandinskij*, e i diversi riferimenti alternativi al classicismo orientati alla sola funzione e all'eliminazione di qualunque elemento ornamentale, espressi dall'architettura di *Walter Gropius* e *Le Corbusier*.

Ad essi ci si deve riferire come pietra miliare non del solo '900, ma di tutta la storia del pensiero artistico applicato alle professioni del costruire, del comunicare e della visione. Punto di partenza del design che ha aperto la via anche ad un nuovo modo di interpretare e indirizzare l'industrializzazione, la produzione e la fruizione dei beni, quindi la stessa industria meccanica. È riferimento nella rottura con il classicismo per dare centralità alla "funzione" come base del costruire, è la ricerca di un'estetica coincidente con la funzione, di regole e principi a cui riferirsi per le forme, il colore, il senso dello spazio, la fruizione, attingendo ai principi base che portano al minimalismo. E questo è stato il terreno più fertile nel quale artisti e architetti hanno creato la meccanica dell'arte, il pensiero logico attraverso cui indirizzare i principi fondamentali dello spazio, dell'uso e delle tecniche costruttive.



**Figura 33.** Dal linguaggio di Beethoven a quello di Kandinskij.



**Figura 34.** Vasily Kandinskij.



**Figura 35.** La Casa minimalista Red Cube dell'architetto ungherese Farkas Molnar (1897-1945), *The Red Cube*, 1922-1923.

### **Pavel Florenskij: P intreccio tra tecnologia, pensiero scientifico, creatività artistica e riflessione religiosa**

Ad occuparsi dei temi del rapporto tra arte e fede, tra espressività artistica, semiotica e simbologia come anche del rapporto tra l'espressività attraverso le macchine e il ruolo delle macchine nell'espressione artistica, non sono stati solo i critici e gli artisti, a noi tutti familiari per la loro notorietà ma anche filosofi, teologi, matematici, ingegneri che con i loro contributi hanno progressivamente messo in luce le intersezioni tra questi saperi. Uno tra questi è Pavel Florenskij che proprio per la sua estrema genialità e per aver incarnato questi diversi ruoli (era infatti filosofo, teologo, teorico dell'arte e di estetica, ingegnere di altissimo valore e studioso di semiotica) ha lasciato un segno fondamentale nel pensiero russo e nella cultura europea del '900. Florenskij (Evlach 1882 - Leningrado 1937) elabora riflessioni profonde sul ruolo delle macchine che distingue in due categorie: quelle interne (afferenti al corpo umano) e quelle esterne costituite dagli artefatti.

Al centro delle sue riflessioni è però il rapporto tra visibile e invisibile, interpretato alla luce della condizione umana che si trova a far convivere la dimensione terrena e quella spirituale. Considera poi il ruolo svolto dall'opera d'arte e dall'iconografia religiosa nel dialogo tra queste due dimensioni.

Nel considerare il rapporto tra queste due componenti, riprende e sviluppa le riflessioni sul ruolo del "confine", inteso come luogo di scambio e di traduzione, non solo dunque in funzione della distinzione ma anche dell'interscambio, tra dimensione terrena e quella spirituale.

All'interno di queste considerazioni il peccato viene interpretato come l'assenza della giusta funzione di questo confine che permette la corretta permeabilità tra l'io e il mondo.

Le riflessioni di Florenskij vengono elaborate anche alla luce del pensiero di Vladimir Ivanovic Vernadskij (1863-1945) che poneva le basi in quegli anni del significato di biosfera e di noosfera, anticipando per alcuni aspetti i temi della teoria dei sistemi elaborati dai cibernetici e dando le linee di riferimento per l'attuale concezione di ecologia. È appunto sul significato di confine, tra interno ed esterno, tra sistema vivente e sistemi non viventi, inteso come membrana semipermeabile, come filtro che permette di assimilare la materia inerte da parte dei viventi, che si concentra la riflessione di Vernadskij «che giunge così all'idea che ciò che chiamiamo vita sia situato appunto nella linea di confine tra sistemi viventi e ambiente, anzi coincida con questa linea di confine»<sup>4</sup>. Questa interpretazione di *confine* gli permette di elaborare il concetto di *biosfera*, come un grande sistema vivente, unico luogo nel cosmo con la compresenza di distinti sistemi viventi e materia non vivente, e quella di *noosfera* come l'insieme dell'intelligenza e della cultura umana, una sorta di cefalizzazione dell'intelligenza e della consapevolezza. Florenskij manda nel 1929 un'interessantissima lettera a Vernadskij in cui dà un'interpretazione di questo concetto anche sul piano spirituale, immaginando una sorta di *pneumatofera* che, riprendendo anche spunti di Gregorio di Nissa, pone l'accento sulla continuità spirituale non solo dell'umanità intera ma anche del singolo individuo nell'evolvere del cosmo.

Sul tema di questa "frontiera", distinta ma al tempo stesso luogo di passaggio e di interscambio tra visibile e invisibile, egli pone sul tavolo la capacità del mondo visibile di essere specchio, immagine dell'invisibile nel quale l'arte (soprattutto le icone) svolge un ruolo chiave. Per alcuni aspetti il suo pensiero è vicino a quello di artisti come Paul Klee che affermarono che "l'arte non riproduce il visibile, ma rende visibile". La permeabilità di questa frontiera e il ruolo della simbologia rafforzano il senso della complementarità e il contrasto tra rappresentazioni dell'iconografia russa per sua natura opaca e le prospettive rinascimentali trasparenti: rappresentano questa doppia funzione, come anche rappresentano il mistero dell'incarnazione del Dio, puro spirito, invisibile, che si fa uomo e che si manifestando, in modo concreto e visibile all'umanità intera e anche ad ognuno di noi.

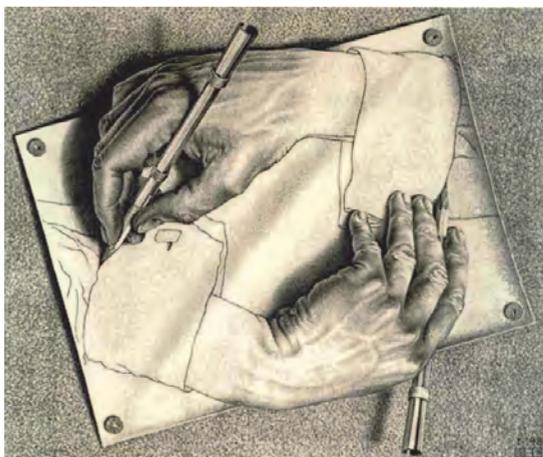
Ma Pavel Florenskij risulta essere pensatore chiave anche nell'interpretare il ruolo della stessa tecnologia ponendo l'attenzione ai temi che oggi sono patrimonio del nostro senso di sviluppo. Nella lettera a Vernadskij scriveva che se al suo tempo l'industria e l'economia erano basate sull'elettricità e parzialmente sulla termodinamica, l'industria del futuro non sarebbe potuta essere che quella imperniata sulla biologia e l'elettronica, alla quale sarebbe subentrata la biotecnica (quella che oggi chiamiamo comunemente biotecnologia), mentre chimica e fisica sarebbero

<sup>4</sup> Silvano Tagliagambe, *Come leggere Florenskij*, Milano, Bompiani, 2006.

diventate principalmente biochimica e biofisica)<sup>5</sup>. Questa visione ha come fondamento l'attenzione del rapporto tra macchine esterne ed interne e anticipa il rapporto di distinzione e di progressiva integrazione tra materiale vivente e non vivente.

## Maurits Cornelis Escher

Maurits Cornelis Escher (Leeuwarden, 17 giugno 1898 - Laren, 27 marzo 1972) è colui che meglio esplora le rappresentazioni dello spazio e delle forme della natura, i processi ciclici e le metamorfosi. Figlio di un ingegnere idraulico, anche se non brilla negli studi progressivamente elabora un originalissimo percorso artistico che nasce dall'esplorazione di schemi e processi matematici e visuali assunti a metodo. Esprime così la forza di mondi simultanei, dell'illusione, dell'impossibile, esplorando le dimensioni dello spazio, del piano, del morphing, delle compenetrazioni di luoghi, siano essi paesaggi o prospettive di oggetti comuni.



**Figura 36.** *Mani che disegnano*, litografia 1948 di M.C. Escher.

La dimensione del movimento è espressa soprattutto dal modo unico e impeccabile di rappresentare lo sviluppo e il senso della metamorfosi, portandoci da un luogo ad un altro, da un ampio paesaggio ad un microambiente e viceversa. Oppure attraverso il passaggio da forme astratte a figure reali o viceversa e al tempo stesso alternando tali figure con sfondi che hanno dignità di figure e per questo scambiando nella metamorfosi i ruoli. Mutamenti che trasformano oggetti quotidiani in paesaggi urbani. La metamorfosi si legge nelle figure che progressivamente passano dal rappresentare un essere vivente ad un altro, come i pesci con gli uccelli o secondo alternanza di figure e sfondi, di luci e tenebre.

<sup>5</sup> Ibidem p. 87

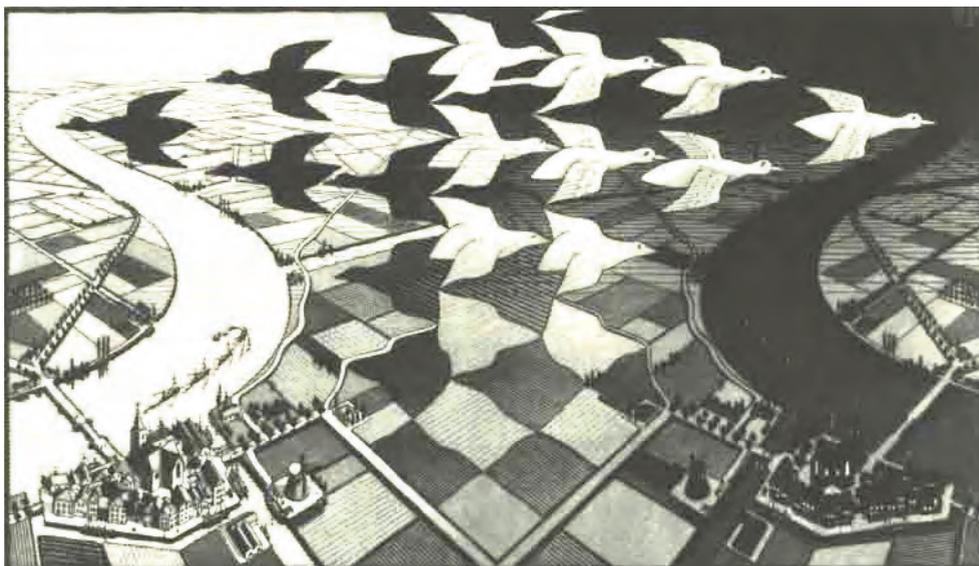


Figura 37. *Luce e Tenebre* di M.C Escher.



Figura 38. Escher, *Rettili*, 1943



**Figura 39.** *Mano con sfera riflettente.* Litografia 1935. Autoritratto di M.C. Escher.

Così i rettili passano dalla loro schematizzazione su un piano del disegno alla loro consistenza tridimensionale per rientrare nel disegno (1943).

I temi della ricorsività, a significare i processi naturali ciclici e infiniti, sono rappresentati anche con le spirali della striscia di Moebius mentre la reciproca necessità delle parti è espressa con le mani che prendono corpo tridimensionale e si disegnano reciprocamente.

I temi dei cicli, delle forme di interazione e di integrazione, sono solo alcune espressioni realizzate con il disegno geniale appunto di questo artista self made, riconoscente al suo maestro Jesserum de

Mesquita, ebreo deportato con la famiglia dai nazifascisti, a cui rimane legato nel ricordo.

Un artista che con l'opera *Mano con sfera e specchio* rappresenta la capacità di esprimere i processi introspettivi secondo forme simboliche altamente reali e virtuali al tempo stesso, astratte e concrete. Supera, a parer mio, anche il senso del movimento collassato dei diversi punti di vista del cubismo, della sequenza e del movimento futurista, dell'astrattismo, con la nitida e al tempo stesso simbolica collocazione multipla dell'io semplicemente con la rappresentazione della propria mano che porta e supporta l'io dell'artista nella sfera riflessa dentro la propria stanza.

Sono impliciti i temi dell'agenda del pensiero scientifico e filosofico, della prima metà del '900, dal rapporto tra osservatore ed osservato all'esplorazione delle dinamiche della vita, della perpetuazione della individualità dopo la morte.

Il senso di metamorfosi espresso dalle sue opere, l'ambiguità controllata della figura sfondo, le alternanze cangianti poste in essere e il forte simbolismo ben rappresentano il senso scientifico dei meccanismi di retroazione, di flussi energetici, di scambio di materia presente nella teoria dei sistemi e nelle altre tematiche esplorate dal mondo.

## Alexander Calder

Il pensiero e l'opera d'arte di Calder può in estrema sintesi essere intesa come scultura-circo, macchina che esprime equilibri dinamici, strutture artistiche di animali, persone e sistemi su cui esistono espressioni uniche del movimento.



**Figura 40.** *Disco bianco, sette punti su rosso e nero*, 1960. Mobile con base fissa lamine di metallo di A. Calder. Concessione Elcon Galley NY.

**Figura 41.** *Fafnir Dragon II*, 1969. Acciaio Verniciato di A. Calder.



Le sue figure-sculture di sfere, punti, bilancieri danno consistenza e corpo al senso degli equilibri dinamici espressi dalle reti complesse, visualizzando nello spazio e nella mente del fruitore di queste opere il movimento intrinseco dei sistemi in equilibrio, equilibrio dinamico appunto. Questo senso è rafforzato dal colore e dal contrasto tra colore e assenza di colore con bianchi o neri in opposizione ai rossi tipici delle grandi opere da lui realizzate.

In tutto questo figure di persone e di animali sono pregnanti di questa tensione dinamica. La rappresentazione del movimento delle strutture, come anche degli animali, in Calder ha dato lo spunto per altre opere dove la meccanica si manifesta con interventi artistici in cui la tecnologia simula forme animali per creare uno zoo, come è successo nel giardino di Alverca, in Portogallo, ad opera di Leonel Moura.

## Dalla meccanica delle macchine alla teoria dei sistemi complessi

*Strutture, organizzazione, feedback, reti, olistismo, flussi e processi*

Se, ripensando al primo Novecento, la memoria scientifica ci porta all'esperienza della relatività e alla fisica quantistica, non possiamo dimenticare però quanto era nell'agenda degli studiosi in diverse discipline scientifiche che spaziavano dai biologi organicisti agli psicologi della forma, dagli ingegneri cibernetici e a chi si avvicinava all'ecologia. Ma non meno filosofi, studiosi di fenomeni sociali, di economia e di organizzazione.

Tutti questi studiosi si ponevano quesiti che in qualche modo miravano a comprendere i principi base della conoscenza della vita, a ciò che non è più riconducibile a schemi semplici, ma a tematiche complesse e a fenomeni come quelli del caos, secondo nuovi riferimenti concettuali.

Il quesito più banale, ma che apriva a questioni decisamente ampie, era quello della differenza tra l'insieme delle parti e il tutto, cioè cosa determina il valore olistico di un'entità. Partendo da una realtà banale, meccanicistica come una semplice bicicletta o macchina scomponibile in tante parti, (ma che assume nuove funzioni e valore nella sua organizzazione, e nella struttura compositiva delle parti) si arriva al quesito fondamentale di cos'è un sistema complesso. Quali paradigmi vanno tenuti in conto per comprendere l'essenza della vita, e come un sistema o essere vivente sia capace di relazionarsi con l'ambiente? Come percepire, evolvere, trasformarsi, auto-correggersi, auto-ripararsi, auto-perpetuarsi? E ancora che senso ha apprendere, avere coscienza, proiettandosi quindi verso le sfere specifiche dell'interiorità dell'uomo, della sua espressività artistica, della religiosità e di quanto lo distingue dagli animali.

In questo contesto la ricerca per comprendere le proprietà essenziali o sistemiche non presenti nelle singole parti, si è tradotta nell'elaborazione dei concetti relativi ad un sistema che deve essere articolato secondo un'organizzazione composta a più livelli, con proprietà che "emergono" appunto solo a certi livelli e non prima, aprendo in tal modo la strada alla comprensione di diversi fenomeni prima solo vagamente intuiti.

Si strutturano i primi concetti legati alle reti, al significato di connessione, di relazione, di contesto. Si sviluppano la cibernetica e la teoria dei sistemi e i principi della comunicazione.

Studiosi come Vladimir Ivanovič Vernadskij esplorano e indicano la via della comprensione del sistema Terra e della vita attraverso concetti come la biosfera (e poi anche la noosfera), intendendola come un sistema vivente e ponendo sotto nuova luce il rapporto tra esseri viventi e materia non vivente, esplorando in modo

originale, come già detto, il concetto stesso di confine in questo ambito, nella sua duplice funzione di differenziazione tra sistema vivente e ambiente e come sistema-filtro che permette di scambiare materia ed energia tra interno ed esterno, secondo criteri intrinseci dell'organizzazione del sistema vivente.

Il pensiero sistemico si fa più consistente, non solo concependo la conoscenza olistica come elemento imprescindibile per la comprensione delle singole realtà, ma come unico modo per dare senso alla materia e ai processi, allo stesso tempo ai fenomeni materiali e immateriali.

Alfred North Whitehead esprimendo il concetto di processo afferma che «l'ordine e le attività delle cellule non sono spiegabili con modelli meccanicistici. Il metabolismo è un'attività continua, complessa e altamente organizzata: ci sono migliaia di reazioni chimiche simultanee per trasformare le sostanze nutritive, sintetizzare le sue strutture essenziali ed eliminare i prodotti di scarto».

D'altronde si può osservare che la scienza (ma anche l'arte come vedremo) si pone sempre in un'alternanza di ricerca tra l'esplorazione in specifiche aree e la ricerca di sintesi per il tutto. I primi rappresentati da Copernico, Galileo, Cartesio, Bacone e Newton, giustamente erano concentrati su problematiche del loro momento storico molto specifiche, contrariamente a coloro che hanno indirizzato la propria indagine all'impianto olistico, "organicistico", ecologico secondo un pensiero sistemico. Meno noti ai più, ma personaggi chiave nell'evoluzione del pensiero sistemico: **Ludwig von Bertalanffy** (1901-1972) biologo austriaco fondatore della teoria generale dei sistemi, **Norbert Wiener** (1894-1964) matematico e statistico statunitense, famoso per ricerche sul calcolo delle probabilità padre della cibernetica moderna, **Claude Bernard** (1813-1878) fisiologo francese, **John von Neumann** (1903-1957), matematico e informatico ungherese naturalizzato statunitense, **Vladimir Ivanovič Vernadskij** (1863-1945) geochimico e mineralogista russo che rielabora il concetto di biosfera e introduce il concetto di noosfera, **Ilya Prigogine** (1917-2003) chimico e fisico russo naturalizzato belga che ha esplorato il mondo delle strutture dissipative, i sistemi complessi, i cileni **Francisco Varela** (1946-2001) biologo, filosofo, neuroscienziato ed epistemologo e **Humberto Maturana** (1928) biologo e filosofo cileno per i loro importanti contributi nei campi della biologia, dell'immunologia, delle neuroscienze, negli studi sull'intelligenza artificiale, nella cibernetica, nella teoria dei sistemi e nell'epistemologia a cui si deve lo sviluppo del concetto di "autopoiesi", l'eclettico **Gregory Bateson** (1904-1980) antropologo, sociologo e psicologo britannico, che si è occupato di semiotica e cibernetica, **Stuart Kauffman** (1939) biologo americano, e ricercatore sui modelli di reti binarie (booleane), sistemi complessi applicati ai sistemi biologici, e ai temi dell'auto-organizzazione come processo complementare all'evoluzione darwiniana.

Bisogna ricordare che questa visione olistica è suggerita spesso da poeti e filosofi che, come Goethe, già in passato avevano dimostrato attenzione a concetti come la morfologia (forma dinamica ed evolutiva), i *patterns* (poi sviluppati da artisti e studiosi del Bauhaus), la natura e gli organismi viventi, per i quali lo stesso Kant aveva elaborato delle teorie sull'auto-riproduzione e l'auto-organizzazione, distinguendo ciò che accade nelle macchine (dove una parte è concepita *per* l'altra) da ciò che accade negli organismi (una parte esiste *per mezzo* dell'altra)<sup>6</sup>.

Ma anche altri studiosi danno contributi interdisciplinari gettando ponti tra diverse discipline. **James Hutton** pone in evidenza la concatenazione dei processi geologici e biologici; **Georges Cuvier** definisce un sistema di classificazione zoologica basato su analogie di relazioni strutturali. Infine **Louis Pasteur** e **Claude Bernard** dalla teoria dei germi nelle malattie fanno emergere il rapporto tra un organismo e il suo ambiente; l'organismo a sua volta ha un ambiente interno in cui vivono i suoi organi e i suoi tessuti, nei quali esistono delle invarianti dell'ambiente interno (anticipando quello che poi **Walter Cannon** già negli anni '20, sviluppa come i concetti di equilibrio dinamico nel fenomeno della omeostasi).

Di fronte all'emergere delle teorie della complessità si fanno strada due modelli (quello vitalistico e poi organicistico) che superano i limiti della visione meccanicistica della vita.

### I tre modelli della visione biologica

Meccanicistica	Vitalistica	Organicista
<p><b>Riduzione dei fenomeni della vita a interazioni della materia</b> (la biologia ridotta a fenomeni fisici e chimici)</p> <p>Riduzionismo</p> <p>Difficoltà a comprendere la specializzazione delle cellule dalla stessa informazione genetica</p>	<p><b>Un'entità immateriale va aggiunta alla fisica e chimica</b></p> <p>Materia + entità immateriale</p> <p>Difficoltà a superare il meccanicismo con "un regista o ideatore"; spaccatura spirito-corpo</p>	<p><b>L'organizzazione e rapporti organizzanti vanno aggiunti alla fisica e chimica</b></p> <p>Materia + entità immateriale (schema) poggiata sulla materia</p>

**Figura 42.** Elaborazione dell'autore dal testo *La rete della vita* di F. Capra.

<sup>6</sup> Vedi per queste e le seguenti tematiche Fritjof Capra, *La rete della vita*, BUR, 2005.

Certo è che **Hans Adolf Eduard Driesch** già a fine '800 ci pone di fronte a un fatto chiave: attraverso la distruzione di una cellula di embrione bicellulare si genera un nuovo organismo completo anche se più piccolo, ovvero vi è la rigenerazione dell'intero da una parte.

La visione organicista per prendere corpo ha necessità di una teorizzazione più forte, più marcatamente sistemica, e il contributo degli studiosi di cibernetica sarà un tassello chiave.

L'esperienza nell'ambito della fisica di inizio secolo aveva già portato a cercare di capire cos'è un evento, e lo stesso **Werner Heisenberg** affermando che «Il mondo appare così come un *complicato tessuto di eventi*, in cui *rapporti* di diversi tipi *si alternano*, *si sovrappongono o si combinano*, determinando in tal modo la struttura del tutto», già anticipa un concetto fondamentale, poi ripreso dai teorici delle reti. È il tutto che determina il comportamento delle parti e la teoria dei quanti sposta il problema dalle particelle a schemi ondulatori di probabilità. Ma non probabilità di “cose” ma probabilità di interconnessioni. Insomma c'è un rovesciamento di importanza nello schema tra entità fisiche e relazioni tra esse, per cui sta nel sistema di relazioni, nell'organizzazione che va concentrata l'attenzione. **Gregory Bateson** (1969 Hawaii) riferendosi agli schemi e alle relazioni (pattern) afferma non a caso: «*Le relazioni sono l'essenza del mondo vivente*».

Questo percorso mentale sul piano della percezione era anche nella testa degli psicologi della forma, che già a fine '800 (era il 1890) con **Christian von Eherenfels** concepiva il «**gestalt come uno schema (pattern) non riducibile di percezione**».

Questa intuizione, esplorata in modo approfondito nell'ambito del Bauhaus, è in perfetta sintonia con quanto poi si è sviluppato nel mondo dell'espressione artistica, perché il tema della percezione visiva è sia terreno d'indagine da parte di diversi studiosi, sia mezzo di espressione degli artisti, i quali hanno assunto un interesse particolare da farlo diventare oggetto della loro espressione artistica. Il tema evidentemente non è solo percettivo in senso stretto ma coinvolge il rapporto con l'ambiguità, con l'iper-espressività, con il contesto, facendo leva su come le strutture percettive influenzano la nostra vita, le nostre emozioni e il nostro pensiero.

Pattern: modelli e schemi immateriali, questo è il tema. **Max Wertheimer** e **Wolfgang Köhler** affermano che gli organismi viventi non percepiscono la realtà circostante in termini di elementi isolati ma come strutture (**pattern**) integrate, totalità organizzate dotate di significato con qualità che sono assenti nelle loro parti. Emerge così il concetto di strutture e di organizzazione, che a diversi livelli esprimono caratteristiche differenti di un sistema. Si parla quindi di “emergenze”, ovvero di caratteristiche che si manifestano solo da un certo livello in poi.

Banalmente basta pensare all'acqua: alcune sue caratteristiche fisico chimiche si manifestano nelle molecole ma non a livello di atomi di idrogeno e di ossigeno che la compongono.



**Figura 43.** Comunità, rete oltre alle gerarchie sono i nuovi concetti per comprendere gli organismi viventi.

Possiamo osservare che i sistemi sono scomponibili in sottosistemi ma che strutture e sottostrutture non sono delle gerarchie intese come quelle umane dove i vertici sono più importanti dei diversi anelli della catena.

**Charles Elton** in *Animal Ecology* (1927) descrive le catene alimentari e cicli alimentari e **Arthur George Tansley** (1871-1955) introduce il concetto di ecosistema nelle comunità animali e vegetali aprendo alla concezione moderna dell'ecologia. **Vladimir Vernadskij**, nel 1926, prendendo spunto da **Eduard Suess** ed estendendo il concetto di Biosfera parla di forza geologica che crea e controlla l'ambiente planetario. I concetti di rete, di comunità, oggi a noi noti nella realtà digitale, trovano i primi approcci concettuali in quegli anni, intersecandosi con tutte le esperienze sulla teoria dei sistemi che dagli anni '50 hanno animato il dibattito scientifico.

Anche alla luce delle considerazioni del biologo **Joseph Woodger**, secondo cui esiste una tendenza degli organismi viventi ad avere una struttura gerarchica, a formare strutture a più livelli di sistemi dentro sistemi, le basi dell'ecologia moderna sono gettate. **Lincoln** recentemente (1982) ha inteso un ecosistema appunto come una comunità di organismi e del loro ambiente fisico interagenti come

**un'unità ecologica.** Organismi (come sistemi) parti di essi (sottosistemi) e comunità di organismi, fino a ecosistemi, si basano su principi di strutture gerarchiche, ognuno di essi definito con un confine e inserito nel proprio ambiente. Sia i sistemi che l'ambiente si trasformano e si auto condizionano, co-evolvendo appunto in un rapporto reciproco di sviluppo.

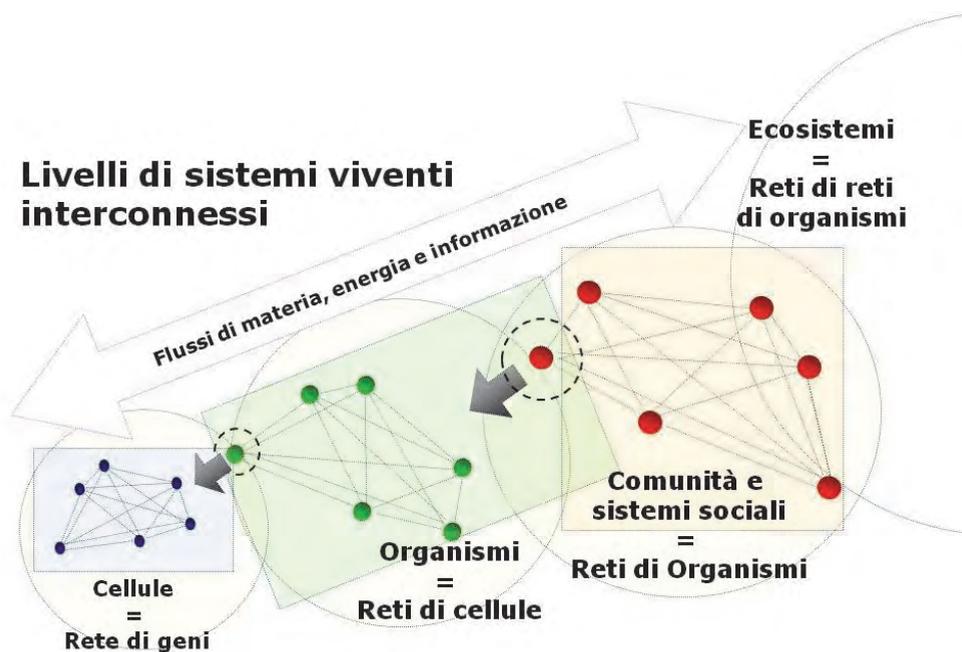


Figura 44. I livelli dei sistemi viventi.

Molti di questi riferimenti nascono dall'esperienza di metà degli anni '40 con i gruppi di lavoro sulla cibernetica, la scienza del controllo e della comunicazione nell'animale e nella macchina, da cui sarebbe emersa la teoria dei sistemi. Dal 1946 furono tenute a New York dieci conferenze organizzate dalla Macy Foundation e condotte da Warren McCulloch psichiatra e psicologo. Ruolo chiave lo ebbero **Gregory Bateson**, umanista, biologo, antropologo, epistemologo e poi psichiatra aperto ai diversi temi anche per l'attenzione ad una migliore **concezione della mente**, **Norbert Wiener**, matematico e filosofo e lo stesso **John von Neumann**, matematico, noto per la teoria dei quanti, la teoria dei giochi e soprattutto considerato per alcuni aspetti **l'inventore del calcolatore digitale**.

## L'emergere del concetto di anelli chiusi e di retroazione

L'elaborazione intellettuale e il confronto porta dei risultati che a distanza di alcuni anni permettono a **Nobert Wiener**, nel 1950, di affermare «*Noi non siamo materia che rimane, ma strutture (patterns) che si perpetuano*». Il ruolo della comunicazione diventa elemento chiave, nel senso di schema comunicativo basato sulle nozioni di anelli chiusi e di reti. I messaggi, i sistemi di controllo e soprattutto i meccanismi di retroazione (veri e propri feedback), sono “schemi” di organizzazione, elementi immateriali che governano la materia. La retroazione è alla base della auto-regolazione e del controllo quindi anche dell'auto-organizzazione.

Wiener afferma che il valore della retroazione in un sistema è che il comando (istruzione o segnale che sia) in questo caso agisce direttamente sul **funzionamento effettivo del sistema** e non su quello genericamente previsto. I meccanismi di retroazione, flussi su anelli chiusi all'interno di un sistema, consentono quindi di gestire le forme di interazione con l'ambiente esterno, dimostrando di essere un elemento imprescindibile per ottenere forme di equilibrio dinamico e per governare i processi di omeostasi. A seconda dell'azione-reazione della catena di nessi causali, il feedback può essere un sistema di auto bilanciamento o un sistema di auto rafforzamento. Pensiamo a correzioni dinamiche per mantenere inalterati alcuni valori come l'insulina nel sangue, la temperatura corporea (auto bilanciamento) o di auto rafforzamento (es. amplificazione della risposta all'aumentare della sollecitazione esterna).

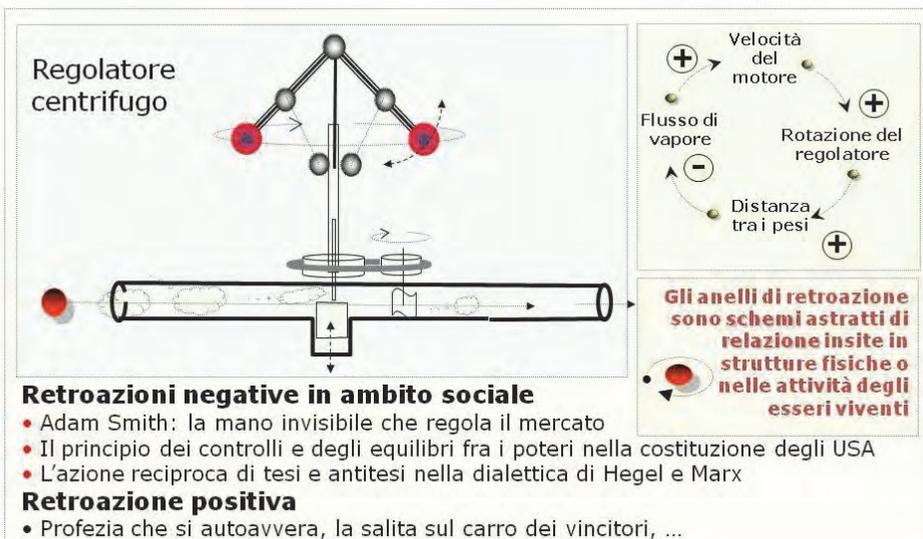


Figura 45. Esempio di sistema con retroazione negativa (di bilanciamento).

Se ci si sposta da un piano strettamente operativo finalizzato a preservare il sistema nell'ambiente entrambi in costante cambiamento, e si entra sulle sfere più alte legate ai processi cognitivi, si può facilmente condividere quanto affermato da **William Ross Ashby** nel 1962, che la consapevolezza di sé e la stessa autocoscienza appaiono come espressione di processi di retroazione.

Oggi tutti sappiamo di quanto i meccanismi di feedback pervade la vita quotidiana, sia sul piano fenomenico e del comportamento (partendo dai meccanismi di azione-reazione) sia in quelli della comunicazione: dall'informazione alla conoscenza. Basta osservarli nei mass media e in forma ancora maggiore nei new media, nella politica e nelle organizzazioni, nella pubblicità e nell'ambito del mercato e del sociale.

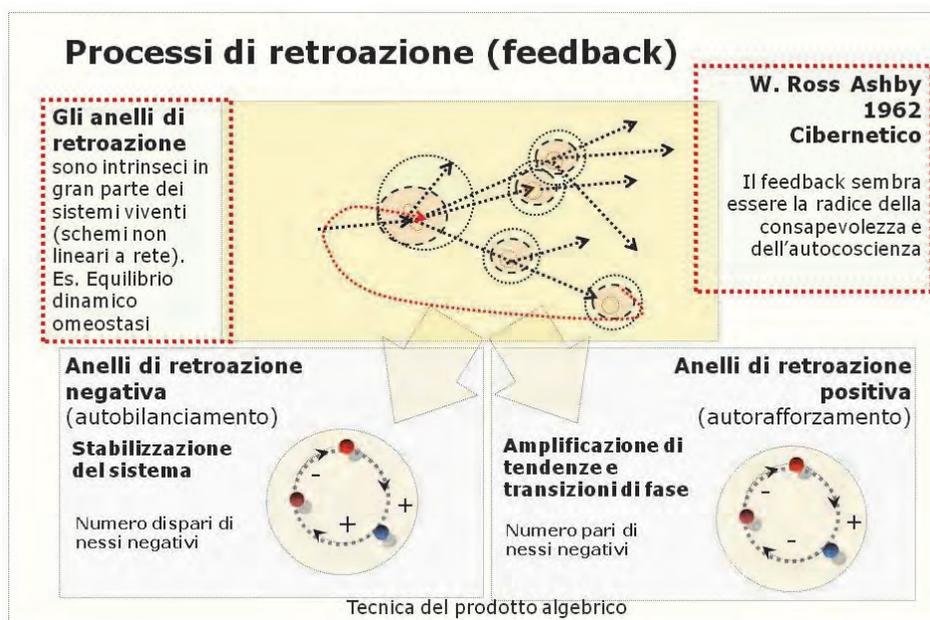


Figura 46. I processi di retroazione.

La sua sfera di influenza tocca anche il pensiero dell'arte, per quanto riguarda sia l'opera in sé (interattività interna) sia il rapporto tra opera e fruitore nonché tra artista e fruitore, fino a forme artistiche di pura interazione (performances) o di cortocircuito tra fruitori come nelle **urban art** e **land art** o di animazione sociale (**performing media**).

Le diverse forme di interattività saranno riprese in modo evidente anche nelle tecnologie di elaborazione dati che da programmi batch (sequenza di istruzioni

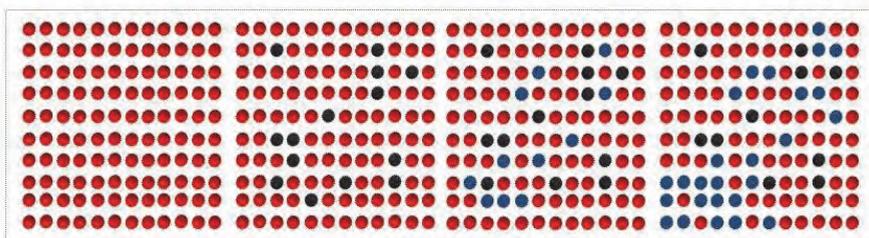
senza interazione esterna al sistema) sono passate ad applicazioni interattive, in cui l'utente può interagire con la macchina. Ed ora accade che l'interattività si esprime anche tra diversi utenti mediante la macchina.

Al concetto di feedback si associa ovviamente quello di rete composta da elementi in relazione tra loro, secondo una natura non lineare di interconnessioni attraverso cui flussi continui di informazione, materia ed energia, filtrati dall'esterno secondo criteri interni al sistema, sono organizzati per aumentare l'ordine interno del sistema.

Il concetto di rete si fa strada, dà senso alle diverse componenti del sistema. Emergerà in seguito che lo schema dei sistemi viventi è appunto a rete, capace di auto-organizzazione. Negli anni '20 si era già studiato lo schema delle reti applicato all'ambito delle catene alimentari.

**L'analisi dei sistemi viene però elaborata** negli anni '40 dalla ricerca operativa, anche alla luce della pianificazione bellica e viene poi sviluppata anche sul piano delle organizzazioni e dalle esperienze aziendali (Jay Forrester), applicando il modello anche all'**impresa come sistema sociale vivente** (Ulrich: Business School S. Gallo). Oggi l'assenza di un preciso confine di una organizzazione sociale non permette di concepire l'impresa come un sistema vivente in senso stretto, ma le riflessioni sui diversi ambiti come biologia, neuroscienze, organizzazioni sociali trovano già elevate correlazioni interdisciplinari.

Ogni nodo ha due possibili configurazioni: on e off  
(**lampadina accesa o spenta**)



La grande scoperta: **emergenza spontanea di ordine**  
definibile come **auto-organizzazione**

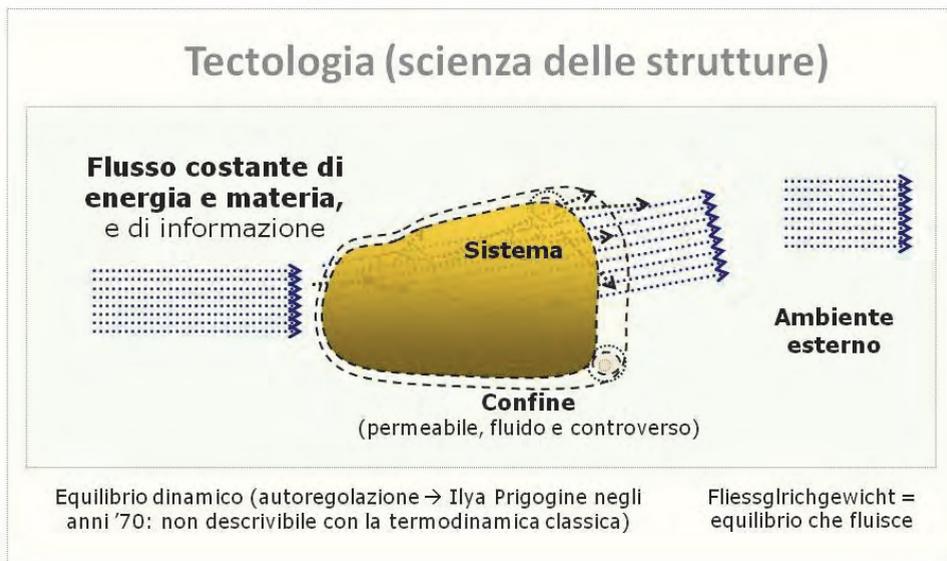


**Figura 47.** Costruzione di una rete binaria e l'emergere dell'auto-organizzazione.

Nel 1943 il neuroscienziato **Warren McCulloch** e il matematico **Walter Pitts** creano un modello di rete binaria per simulare la rete del sistema nervoso e in seguito **Kaufmann**, alla luce della scoperta dell'emergenza spontanea di ordine su questi modelli, traccia uno scenario del rapporto tra sistemi ordinati, complessi e caotici, e suggerisce il posizionamento dei sistemi viventi, alla luce della capacità di auto organizzazione attraverso la configurazione di relazioni caratteristiche per adattarsi all'ambiente.

Negli anni '50, la genetica che studia la struttura del DNA, sposta l'attenzione verso l'approccio meccanicistico (dalle cellule alle molecole) ma emerge anche prepotentemente la rilevanza della comprensione del modo in cui i geni comunicano e cooperano tra loro nello sviluppo di un organismo.

Bertalanffy nel 1968 mette a punto la teoria generale dei sistemi con cui si afferma che i sistemi viventi sono sistemi aperti nei quali esiste un flusso di energia e materia che li attraversa costantemente. Tale materia/energia viene filtrata secondo criteri interni propri dell'organizzazione (per cui si afferma che esiste anche una chiusura operativa) rivelando quando il sistema è lontano dall'equilibrio. Questo permette la regolazione e l'autoregolazione, il metabolismo e l'adattamento costante all'ambiente. Si superano così le concezioni tradizionali di termodinamica, si dà spiegazione del fatto che nei sistemi aperti la dissipazione di energia permette di generare forme d'ordine, e si mette a punto il concetto di auto-organizzazione.



**Figura 48.** Schema di rappresentazione di un sistema attraversato da un flusso costante di energia e materia, in relazione con l'ambiente attraverso il proprio confine.

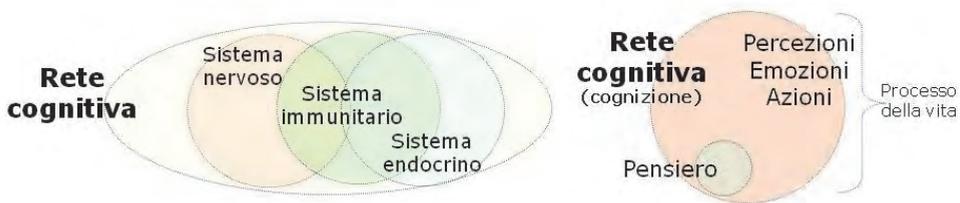
Negli anni '70 e '80 diversi studiosi arrivano a conclusioni molto vicine tra loro: Ilya Prigogine in Belgio, Hermann Haken, Manfred Eigen in Germania, James Lovelock in Inghilterra, Lynn Margulis negli USA, Humberto Maturana e Francisco Varela in Cile. Questi studiosi portano la teoria dei sistemi formale verso modelli sistemici sulla vita e relativi modelli matematici. Nascono le prime esperienze sugli automi e sui modelli di rete.

Ma per comprendere meglio il senso della vita è necessario appoggiarsi al significato di **autopoiesi**, termine coniato nel 1972 da Humberto Maturana che definisce un sistema come entità che crea costantemente se stesso ridefinendosi continuamente, sostenendosi e riproducendosi. Un sistema vivente è dunque una rete autopoietica che non è composta da un insieme di elementi statici (es. schema di organizzazione di un cristallo) ma da un insieme di relazioni tra processi di produzione dei componenti.

Maturana afferma *«che il sistema nervoso funziona come una rete chiusa di interazioni in cui ogni cambiamento **delle relazioni di interazione** fra alcuni componenti dà sempre come risultato un mutamento **delle relazioni dell'interazione** degli stessi componenti o di altri componenti»*.

Un'affermazione **ricorsiva ed espansiva** che esprime l'alta interattività nel cambiamento interno al sistema, che significa tra l'altro che i sistemi viventi sono cognitivi e il vivere è un processo di cognizione. Maturana spinge il proprio ragionamento fino ad affermare nel 1969 a Chicago che *«non è necessario che ci sia un cervello perché esista una mente»*, cioè che esiste una mente anche negli organismi senza sistema nervoso.

La rete cognitiva presente nell'uomo e che combina il sistema nervoso, endocrino, immunitario ecc. è ciò che determina il processo della vita composta non da solo pensiero ma anche da percezioni, emozioni ed azioni.



**Figura 49.** La rete cognitiva intesa come interazione di più sottosistemi.

L'apertura alla concezione della mente come sistema, e la presenza di processi mentali è evidente non solo per gli organismi ma anche nei sistemi sociali e negli ecosistemi.

Questa teoria denominata Teoria Santiago ed elaborata da Maturana e da Varela trova sintonia e ulteriore senso con il pensiero esposto già a inizio secolo da Vladimir Vernadskij sulla biosfera e noosfera per quanto riguarda l'ecosistema Terra-Gaia, concepito da James Lovelock secondi cui il nostro pianeta è nel suo insieme un sistema vivente.

Nuovi concetti che aiutano a capire i sistemi complessi si fanno avanti attraverso il Nobel per la chimica 1977 Ilya Prigogine, che offre una nuova visione superando la termodinamica tradizionale e mettendo meglio a fuoco il senso del concetto di entropia. Ogni processo irreversibile tende ad aumentare l'entropia che aumenta globalmente nell'universo, come anche la dimensione del tempo. Prigogine osserva che in natura esistono organismi viventi in grado di auto-organizzarsi e per questo diminuiscono la propria entropia (ovvero il livello di degrado dell'energia) a discapito dell'ambiente. L'entropia, funzione poco comprensibile al pubblico fino alle riflessioni di Prigogine, rappresentava il degrado dell'universo costituito dalla perdita della qualità dell'energia. La causa di ciò era imputata ai sistemi dissipativi che, come entità che consumano energia, determinano il degrado dell'essere facendo aumentare l'entropia dell'universo.

La visione di Prigogine offre invece una diversa lettura dei sistemi dissipativi, che essendo lontani dall'equilibrio possono sviluppare strutture con maggior ordine, aprendo la via al mondo più organizzato, come fossimo in una partita tra la natura e l'uomo, una partita che può aprire alla vita e al mondo "possibile" contro il degrado.

Questo pensiero positivo che controbilancia il male e che sprigiona energie positive nel costante flusso di energia sui sistemi viventi e non viventi, è "sentito e percepito" dal pensiero comune e indagato dagli artisti, che vanno alla ricerca di immagini e metafore sul tema alla ricerca del senso dell'ordine e del disordine, di catastrofe, di entropia e quello di energia positiva.

Il tema è ovviamente da osservare anche sul piano più ampio come il sistema Terra, che essendo lontana dall'equilibrio, secondo Prigogine, può essere concepita come un organismo vivente, mentre Marte, essendo in equilibrio, non può avere vita al suo interno (mancanza di atmosfera). L'autoregolazione, nel suo pensiero elaborato nel recente passato, è presente nella Terra: il Sole ha aumentato il calore del 25% dalla comparsa della vita, malgrado ciò nella Terra (almeno fino a poco fa) la temperatura è rimasta sostanzialmente costante. È evidente che esistono anelli di retroazione che collegano sistemi viventi e non viventi.

Questo senso olistico e secondo principi di rete e di relazioni tra differenti discipline, porta **Ilya Prigogine**, **Francisco Varela**, come anche **Harold Morowitz** ed **Enzo Tiezzi** a considerare le conoscenze come rete e ad elaborare sistemi di relazioni tra essi: fisica, chimica, la nuova scienza dell'ecologia e gli stessi

fenomeni sociali sono nei fatti interconnessi e legati a doppio filo in una nuova scienza che ora possiamo definire della scienza della complessità.

Questa linea di pensiero, oggi sempre più attenta da parte di studiosi e filosofi come **Edgar Morin**, in Italia **Mario Ceruti**, che tende ad una visione connessa della realtà, che osserva con attenzione tutto quanto è olistico e con interrelazioni tra le parti, porta il significato di ecologia verso un senso più profondo. Senso che parte dall'osservazione delle cose, siano esse sistemi o entità di altra natura all'interno del proprio ambiente (naturale e sociale), che cerca di scoprire i flussi (quindi le provenienze e le destinazioni), le retroazioni e i filtri posti in essere per le informazioni, la materia e l'energia che attraversa il sistema.

**Figura 50.** Bicicletta di Leonardo,  
XVI secolo.



Prendiamo come metafora uno dei simboli per eccellenza del movimento da Leonardo in poi, rappresentato dai futuristi e oggetto del mito sportivo: la bicicletta. Anche se non è un sistema vivente, osserviamo come si supera la stessa concezione olistica in una visione di ecologia. Abbiamo visto che è composta di parti, correlate tra loro e che il vero valore è dato dal suo insieme, ovvero dalla presenza di una struttura, l'organizzazione delle parti che a livello globale permette anche ad una persona di muoversi diversamente che a piedi (proprietà emergente quando composta globalmente). L'approccio ecologico, definito di *ecologia profonda*, porta a comprendere il significato di questo all'interno di tutti i processi che permettono di costruirla, attraverso il reperimento delle materie prime, l'organizzazione del lavoro e poi le differenti modalità d'uso e la sua dismissione con il riuso di tutti i suoi componenti all'interno quindi di cicli globali del sistema Gaia. In questo senso l'ecologia profonda è incentrata sulla natura come ecosistema e non sull'uomo come vertice di una catena evolutiva.

Se questo pensiero porta a concepire il riuso e la riduzione d'impatto del nostro vivere per mantenerci in contesto ecocompatibile a garanzia delle prossime generazioni, dall'altra il pensiero scientifico ha portato ad affrontare il futuro

secondo un nuovo principio. Quello che passa da una concezione per cui le strutture dissipano energia, ad una concezione di controbilanciamento determinata dalla creazione di nuove forme d'ordine, intese come configurazioni che aumentano l'organizzazione e le strutture dell'essere esistente, secondo la visione di Prigogine. Così, come suggerisce Kaufmann, l'evoluzione è basata anche sui processi di auto organizzazione che si affiancano ai meccanismi di selezione darwiniana.

## La macchina di Turing e l'avvento del calcolatore

La teoria dei sistemi ha portato, come abbiamo notato, contributi fondamentali nello sviluppo del pensiero verso un nuovo rapporto tecnologia-natura, un contributo fondamentale anche per quanto riguarda la teoria dell'informazione e la nascita del calcolatore. Un ruolo chiave ebbe **Claude Shannon**, allievo di Wiener, che a fine degli anni '40 mise a punto la Teoria dell'informazione, anche se oggi possiamo dire che è meglio parlare di Teoria del Segnale. Wiener dal canto suo affermava che un messaggio, essendo codificato, è uno schema di organizzazione, creando l'analogia tra schemi di comunicazione e schemi di organizzazione negli organismi.

L'uso della macchina ai fini della simulazione della mente umana nella sua capacità logica è invece quello messo a punto nel 1937 da **Alan Turing**, personaggio simbolo con il suo contributo *On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem*. Turing, concependo una macchina che manipola strutture di simboli, esamina la possibilità di prevedere la risposta del sistema alla luce dei dati di input e delle configurazioni del momento della macchina.

Da qui estende il concetto e valuta il comportamento complessivo del sistema nel simulare la struttura dei ragionamenti attraverso le configurazioni poste in essere dalla macchina stessa. Dà così significato generalizzato al fenomeno, quindi nei fatti costruisce una macchina ideale, la cui logica si basa sulla rappresentazione simbolica dell'informazione. Concepisce quindi il modello di computing, ovvero lo schema, l'organizzazione interna del calcolatore, immateriale che, combinato con la fisicità dei dispositivi ha permesso lo sviluppo dei calcolatori e dell'informatica. Una macchina, quella di Turing, che funziona perché segue una logica prevedibile e ripetibile e che anticipa l'attuale concezione della programmazione, quindi dell'architettura software. Oggi ne vediamo le sue estensioni sia attraverso le macchine e i sistemi virtuali, come anche le architetture di rete orientate al *cloud computing*.

Dopo le esperienze oltreoceano come quelle di **John Von Neumann** inizialmente fondamentali per dare “fisicità” e architettura allo sviluppo dei calcolatori, il tema della simulazione della mente prende però una strada fuorviante quando si vogliono generalizzare le potenzialità del calcolo dei computer nella concezione della mente attraverso una banale analogia tra cervello e computer. Se ovviamente ha senso elaborare schemi all’interno dell’intelligenza artificiale, non ha senso concepire il cervello (e a maggior ragione la mente) come un sistema che semplicemente elabora informazione. La mente come rete (quindi non solo il cervello) utilizza diversi sottosistemi del corpo umano il cui sistema nervoso elabora segnali ma soprattutto interagisce con l’ambiente modificando di continuo la sua struttura. La nostra mente fatta di intelligenza, memoria, processi decisionali è permeata dalle emozioni e al pensiero si accompagnano sempre sensazioni corporee. La mente umana inoltre pensa per mezzo di idee, non di sole informazioni, vive di pensieri profondi mediati dai linguaggi (visivi, verbali, percettivi) e dalla semiotica, proiettata nella vita quotidiana dal sistema di attese e condizionata dal pregresso vissuto, con diversi livelli di coscienza e autocoscienza, senso di libertà e volontà, come anche capacità di contemplazione certamente non riconducibili ad un sistema predeterminato. Una rete di sollecitazioni e risposte tra aspetti differenti, una pluralità di interscambi, condizionamenti reciproci e trasformazioni che sono alla base della mente umana.

È proprio nello spostamento dell’attenzione dal concetto di informazione a quello di rete di comunicazione, inteso appunto non come un semplice scambio informativo ma come la costruzione di uno spazio semiotico tra due o più soggetti (comunità di soggetti), che si innesta anche un nuovo significato: quello della *semiosfera*. **Jurij Lotman**, semiotico, fondatore dell’università di Tartu in Estonia, anche alla luce delle riflessioni di Vernadskij relative alla biosfera e noosfera, concepisce la semiosfera come il *luogo relazionale* dentro cui si stabilisce il contatto tra due o più soggetti individuali.

Le sue riflessioni ci aiutano a capire come l’espressione e l’intervento artistico assumono il loro profondo significato di interscambio tra autore e fruitore.

## Dalla teoria dei sistemi alle intersezioni con l’arte

I temi trattati dalla teoria dei sistemi in relazione al senso di vita, di ordine, di caos, di organizzazione e di struttura, nonché quello di cicli e ripetitività, flussi e retroazioni, di meccanismi che arrivano dalla fisicità ai nuovi media, alla virtualità e alla comunicazione, allo spazio semiotico non potevano non essere anche punti di riferimento per le correnti del pensiero artistico contemporaneo, frutto di

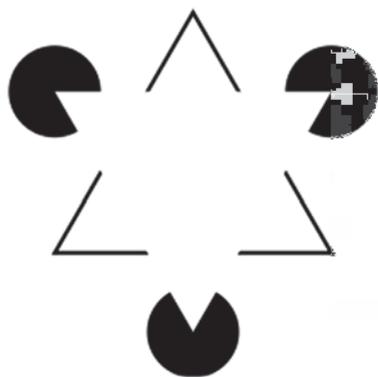
convivenza tra astrattismo e matericità, bisogno d'ordine e senso di libertà, molteplicità di materiali e continue nuove forme espressive.

Il piano espressivo passa quindi per i meccanismi percettivi espressi dal Bauhaus e che dà corpo a tutto il design industriale, e arriva alle diverse forme d'arte legate all'interazione e alle nuove forme di comunicazione digitale. Un'arte sempre meno attaccata alla rappresentazione tradizionale come "quadro" o scultura, per attraversare esperienze di diversa natura, materiali e immateriali, ma capaci d'interagire con la mente dell'uomo.

**Figura 51.** *Donna dal parrucchiere.* L'immagine provocatoriamente inverte figura e sfondo. Le due donne (nel significato le figure) appaiono percettivamente come sfondo mentre la tenda in primo piano interferisce come figura anziché essere uno sfondo. Dal libro dell'autore *L'Interruttore di Kandinsky*.



Questi aspetti possiamo osservarli non solo sulle opere d'arte ma anche sulla vita quotidiana che in una dialettica anche se a tratti sorda e muta, mette in relazione il mondo dell'arte e la quotidianità del vivere. Un primo elemento in cui l'esperienza scientifica e di ricerca sul piano fenomenico dei processi percettivi ha avuto ricadute e stimolo nel mondo dell'arte e anche sull'industria è il tema della percezione visiva, che ha coinvolto un ampio spettro del sapere che va dalla psicologia della forma al design industriale e che con la teoria dei sistemi hanno condiviso diversi concetti come ad esempio l'importanza dei singoli elementi nella visione globale. Questo aspetto è felicemente espresso nel rapporto tra figura e sfondo e dal rapporto tra margine fisico e margine percepito, come espresso nelle figure.



**Figura 52.** Il triangolo di Gaetano Kanizsa con evidenza del margine fenomenico nel triangolo bianco (bordo non fisico ma presente nella percezione).

L'importanza dei singoli elementi solo se osservati all'interno dell'organizzazione percettiva è ben espressa da psicologi della forma come Gaetano Kanizsa, autore della figura che prende il suo nome. Questa figura dimostra la percezione di un triangolo bianco (più chiaro dello sfondo) che, malgrado non sia disegnato, emerge come interazione con gli altri elementi.

Si tratta di un'articolazione figura-sfondo innata nel nostro sistema percettivo.

Diverse opere di artisti, primo tra tutti Maurits Escher si basano sulle capacità percettive umane di articolare figura e sfondo in modo bivalente. Si sfrutta quindi questa ambiguità per valorizzare forme e contro-forme escludentesi a vicenda nel processo di percezione anche se presenti contemporaneamente nell'opera.

Non si può non citare, sul tema delle figure e degli sfondi René Magritte che pone in dialettica illusione e realtà e al tempo stesso provoca l'osservatore alla lettura critica delle proprie immagini. Qui vediamo due opere che richiamano le figure della donna e del cavallo.



**Figura 53.** *Liaisons dangereuses* di René Magritte, 1936.

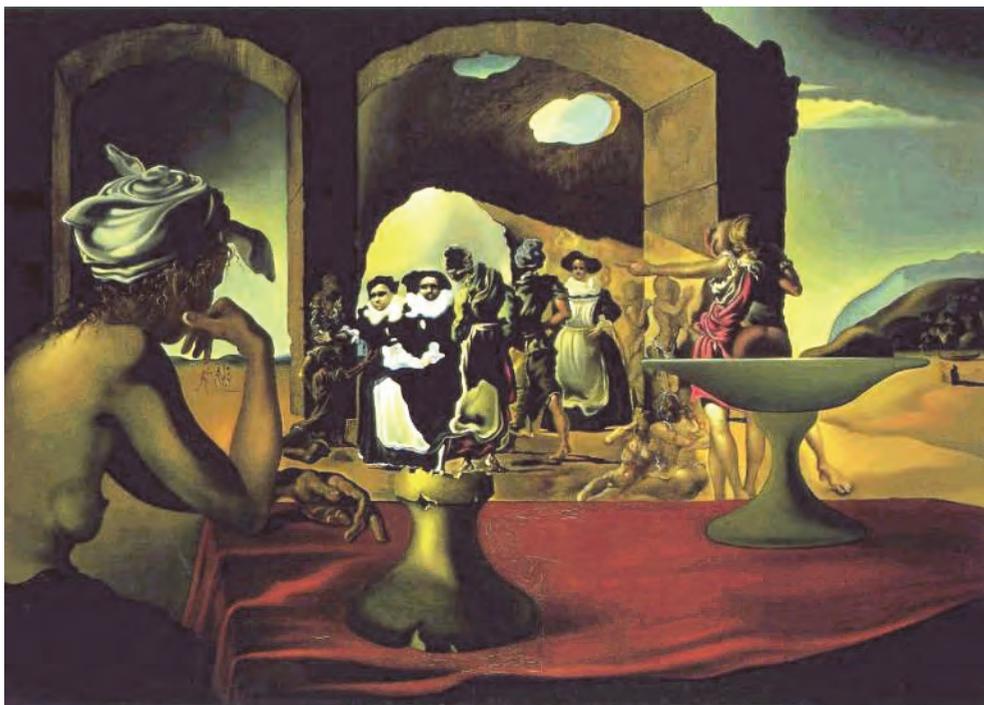
Figura 54. René Magritte, *Le blanc-seing*, 1965.



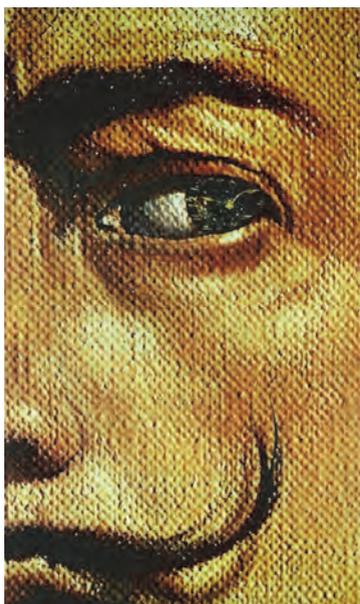
Figura 55. Gala in contemplazione del Mar Mediterraneo che diventa a venti metri il ritratto di Abraham Lincoln. S. Dalí, 1976. In piccolo (come fossimo a distanza) emerge la figura di Lincoln.

In altre opere come quelle di Salvador Dalí sono presenti strutture visive a diversi livelli che quindi convivono dando corpo al concetto che una proprietà (in questo caso il riconoscimento) di una figura esclude altre alternative che “emergono” a certe condizioni ovvero ad una specifica distanza, come pure scompaiono invece più da vicino o da lontano.

In altre opere egli ancora meglio esprime le combinazioni di diverse immagini: esse possiedono all'interno rappresentazioni multiple.



**Figura 56.** Mercato di schiavi con apparizione del busto invisibile di Voltaire composto da figure di persone (1940).



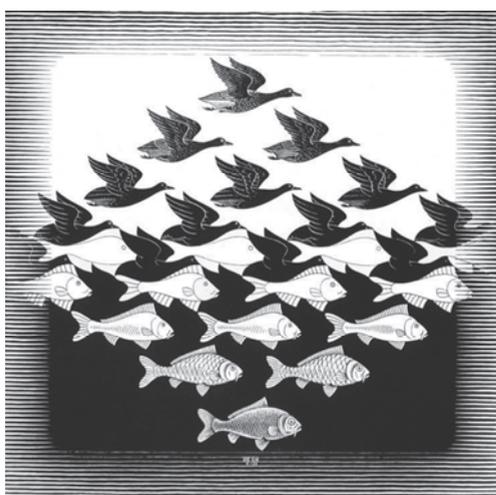
**Figura 57.** Autoritratto macrofotografico di Dalí con apparizione di Gaia vestita da religiosa spagnola (dentro l'occhio in orizzontale) 1962. Notare anche l'orologio coincidente con l'iride.

**Figura 58.** Le scale impossibili riprese da Escher.

In Escher il concetto di strutture incompatibili è ancora più evidente quando allo scorrere dell'occhio in un'opera che rappresenta spazi tridimensionali si incontra l'incongruenza spaziale di un punto di vista diverso. La struttura impossibile che viene rap-



presentata deriva infatti da una speciale terza dimensione, espressa sul piano bidimensionale in cui due possibili configurazioni prospettiche per porzioni dell'opera possono essere percepite a momenti alterni, analogamente alle articolazioni figura-sfondo descritte precedentemente. Le rappresentazioni parziali sono congruenti per una sola configurazione. Al persistere della percezione dell'opera il sistema visivo dell'utente – guidato e stimolato dalla mente – “aggancia” la configurazione alternativa basandosi sugli stessi insiemi di stimoli, organizzati secondo un altro schema e rendendo di conseguenza in quel momento, incongruente, dal punto di vista spaziale, l'interpretazione precedente. Il fruitore vive così un'alternanza di visione di configurazioni incompatibili tra loro e proprio per questo la tensione esplorativa assume valenza espressiva e artistica.



**Figura 59.** *Cielo e Acqua I*, silografia, 1938, di M.C. Escher.

Questa ambivalenza è un altro elemento emergente delle opere di Escher che nelle sue opere nei fatti esprime visivamente un altro concetto della teoria dei sistemi, quando rappresenta strutture animali e movimenti ciclici di processi circolari, aspetti chiave dell'evoluzione e non del solo movimento.

Così, in una metafora visiva sul tema della metamorfosi egli rappresenta i rettili che passano dalla loro schematizzazione sul piano del disegno, alla loro consistenza tridimensionale. Attraversano gli oggetti dello studio delle scienze (libri, geometria dei cristalli, altri oggetti quotidiani) per rientrare nel disegno, ripetendo infinitamente questo ciclo (1943). Una rappresentazione del movimento tipica del suo stile, frutto di una rigorosa elaborazione simbolica e di una impeccabile rappresentazione grafica.



**Figura 60.** *Rettili*, litografia, 1943, di M.C. Escher.

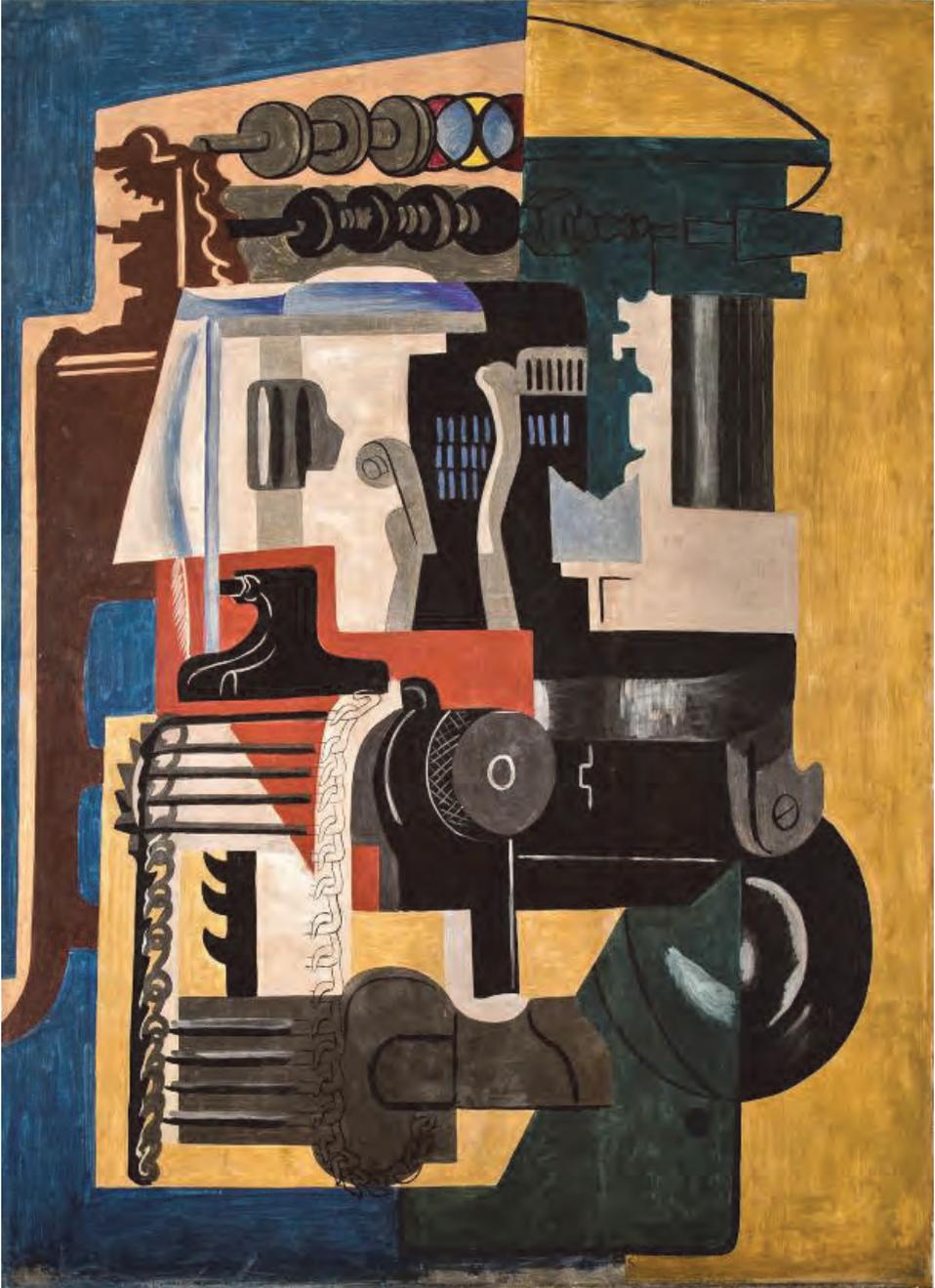
## Il secondo dopoguerra e il ritorno al Classicismo e al Futurismo

Il pensiero artistico, si sa, è bizzarro e tende a vivere momenti di passione basati su rigetti del passato e proiezioni sul futuro, e poi a svilupparsi con ritorni e richiami a valori radicati in esperienze precedenti. Un'altalena che non ha risparmiato il pensiero futurista che reinterpreta e reincarna in momenti diversi sia il cubismo che lo stesso futurismo fino ad arrivare anche al classicismo.

Possiamo leggere questa metamorfosi e questa ciclicità nella vita e nelle opere di uno dei principali esponenti del futurismo: Gino Severini (Cortona, 7 aprile 1883 - Parigi, 26 febbraio 1966). Tra i più capaci ad interpretare i valori del costruttivismo e del cubismo nel pensiero originale e dinamico del futurismo, Severini ha studiato a fondo l'impressionismo e il postimpressionismo a Parigi mantenendo rapporti e avendo contatti con l'avanguardia artistica del tempo: da Signac a Modigliani e Picasso. Nel 1910 aderisce al Movimento futurista con Filippo Tommaso Marinetti, Balla, Boccioni, Carrà, e Russolo attraverso il manifesto della pittura futurista.

Dal 1921, anno in cui pubblica il trattato *Du cubisme au classicisme* (Dal cubismo al Classicismo), Severini passa da un'estetica "cubofuturista" ad una pittura che si può definire "neoclassica" con influenze metafisiche, una tendenza di diversi artisti come Picasso, De Chirico e Derain che sentono il bisogno, dopo questo slancio in avanti dato dal cubo-futurismo, al "*rappel à l'ordre*" (richiamo all'ordine), ad una nuova stagione artistica basata sul rigore, sul metodo e meno sull'intuizione.

Per oltre undici anni, a fronte di una crisi religiosa, si concentra su opere sacre e solo nel secondo dopoguerra, ritorna ai soggetti del suo periodo Futurista, riscrivendo in chiave di decorativismo astratto alcune delle proprie opere futuriste. È di questo periodo una delle più significative opere dell'artista che richiama una macchina tessile. L'opera commissionata dall'anonima società Roberto Giampaoli a metà degli anni '40 è stata rinvenuta recentemente a Roma nel rifacimento dei locali del Palazzo Theodoli, in precedenza locale commerciale e ora sede del Centro di Informazione della Camera dei Deputati che ha restaurato l'opera e attualmente l'ha esposta nella hall del Palazzo dei Gruppi Parlamentari.



**Figura 61.** *Macchina per produrre calze*, 1947-1948, cm 290 x 210, di Gino Severini (1883-1966), oggi esposta presso la hall dell'Aula del Palazzo dei Gruppi Parlamentari della Camera dei Deputati.

## L'arte meccanica: gli anni '60 e la rilettura contemporanea

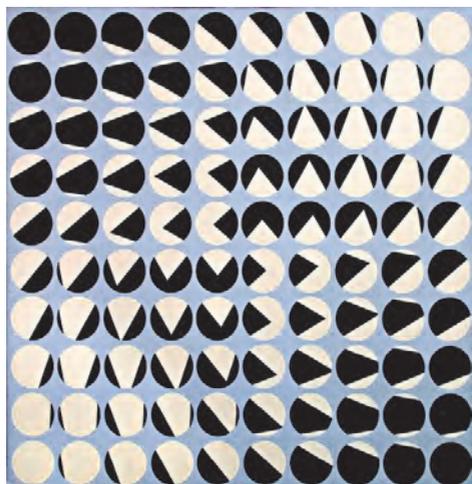


Figura 62. Garcia Rossi, *Progressione*, 1959.

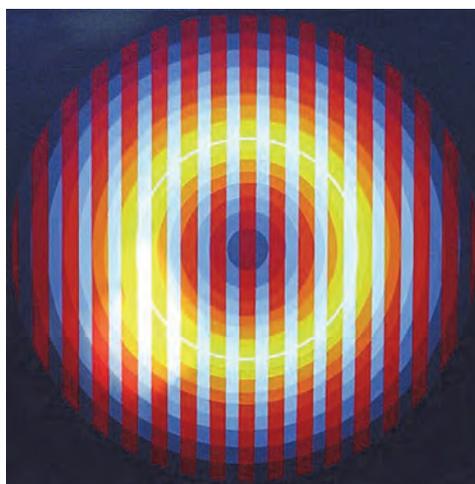


Figura 63. Garcia Rossi, *Electric Colour Light*, 2006.

L'arte meccanica negli anni '60, manifestazione di un rinnovato momento di avanguardia artistica, esprime sotto altra chiave quanto in qualche modo fatto proprio dai futuristi a inizio secolo, dopo poco più di 50 anni.

Il senso del movimento, in questo caso manifestato con il metodo e il rigore dell'astrattismo, è rappresentato da sequenze, schemi e tecniche riprese da meccanismi cinetici e dalle forme della geometria degli spazi immaginari.

Correnti artistiche come *GRAV* (Group de Recherche d'Art Visual) nate negli anni '60 in parallelo con le forme di pop art e di op art (optical art), esplorano le forme espressive in cui tensioni dinamiche sono basate su sole sollecitazioni visive, sull'uso della luce ed escludendo tutto quanto fosse legato a categorie culturali, sociali e storiche. Rappresentante del movimento GRAV è l'argentino Horacio Garcia Rossi; il suo percorso artistico lo porta dagli anni '70 ad esplorare le interazioni tra luce e colore considerando il nuovo medium colore-luce.

### Arte contemporanea

Tracciare una linea tra quella che definiamo arte moderna e arte contemporanea è solo una questione puramente didattica. L'arte contemporanea, infatti, affonda le radici su moltissimi stili espressivi e soprattutto pensieri intorno all'arte del movimento moderno anche se si possono trovare tante differenze quante

assonanze e linee di continuità. Non a caso possiamo anche parlare in diversi casi di semplice postmoderno, perché la dialettica di continuità quanto di contrasto con il moderno si basa su un comune patrimonio di tematiche e di rotture di paradigmi.



**Figura 64.** Joseph Kosuth, *Una e tre sedie*, 1965: sedia fisica, fotografia e parola.

Diversi movimenti dell'arte contemporanea possiamo vederli caratterizzati in questo senso, partendo dall'arte concettuale che rompe con l'aspetto "perceptivo" per dare valore al pensiero che lo genera. Questo movimento affonda le proprie radici nel pensiero e nelle opere dello statunitense Joseph Kosuth del '65 (provocazione delle tre sedie: sedia fisica, fotografia e parola), ma anche dello spagnolo Brossa (con il suo cerilla: ovvero fiammifero, opera composta dal testo con all'interno l'oggetto fiammifero), in continuità con la concezione di Marcel Duchamp secondo cui qualunque oggetto può essere arte. Fino alle provocazioni del neodadaista Piero Manzoni con l'opera *merda d'artista*, che sfida l'arte tradizionale tra il beffeggio e la concettualizzazione.

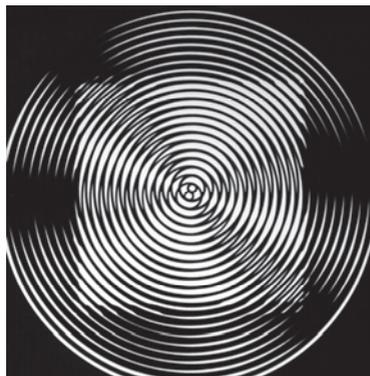
Ma questo pensiero si manifesta anche nella pop art, che con le scatole Brillo di Andy Warhol viene cancellata la linea di demarcazione tra opera d'arte e oggetto quotidiano. Si rende esplicita così l'ibridazione concettuale della replicabilità di un oggetto industriale e la singolarità dell'oggetto d'arte. Il senso industriale si innesta nell'arte moderna, rappresentata nell'architettura del Bauhaus e da tante opere della pop art come il ritratto di Marilyn Monroe espressa in tutte le salse e colori da Andy Warhol.

A questa tendenza si affiancano anche certe forme espressive che ricercano l'essenzialità, quindi l'eliminazione esasperata di quanto è considerato orpello. Artisti e architetti già avevano tracciato la strada al minimalismo espressivo basato su un cromatismo di colori primari e le linee rette nella corrente tedesca De Stijl come lo stesso Mondrian. Va ricordato anche il movimento Gestalt con l'ungherese Victor Vasarely, (1906-1997) focalizzato sulla ricerca delle forme e degli equilibri cromatici. Questa eredità è stata poi raccolta e rielabo-

rata dagli architetti e artisti del Bauhaus, relativi all'abitazione minima, agli standard di abitabilità, di funzionalità e nell'ambito dell'arte con gli studi delle forme (linea punto, superficie ecc.) di Paul Klee e di Vasilij Kandinskij nello studio dell'essenza delle forme e del colore.

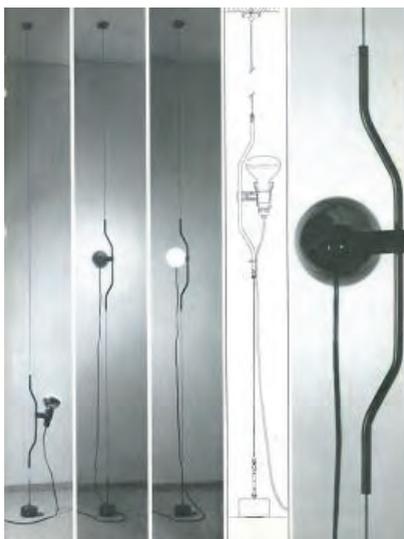


**Figura 65.** *Zebras*, 1965, di Victor Vasarely.



**Figura 66.** Victor Vasarely, *Untitled*, Original Screened Multiple.

Questo è il patrimonio culturale che ha portato nuova espressività e l'orientamento verso l'essenzialità e che ancora oggi è presente nella cultura del design degli oggetti industriali, nella grafica e nell'arte.



**Figura 67.** Lampada *Parentesi* di Achille Castiglioni.

Tutto ciò è ben espresso da recenti nomi italiani come Bruno Munari e Achille Castiglioni. Il design di quest'ultimo rappresenta la ricerca di essenzialità al punto che la stessa lampada *Parentesi* progettata nel 1970 per *Flos*, non ha bisogno di elementi di fissaggio per effetto dell'attrito innestato dalla forma a parentesi del supporto della lampada. Composta da un cavo d'acciaio agganciato al soffitto e mantenuto in tensione da una base sul pavimento che fa da contrappeso, il progetto riprende uno schizzo di Pino Manzù dove Castiglioni sostituisce l'asta con un cavo teso che passa in un tubolare a forma di parentesi. Nel '79 gli viene conferito il premio di design "Il Compasso d'oro" dell'ADI (Associazione designer Italiani), premio esteso anche ad oggetti non strettamente industriali (es. *Rivista IF* della Fondazione IBM, 1998).

Altra area di estremo successo per il design italiano è quello automobilistico espresso da designer come **Flaminio Bertoni**, **Sergio Pininfarina** (senatore a vita, con 5 lauree *honoris causa*, collaborazioni con Alfa Romeo, Ferrari, Fiat, GM, Lancia Maserati, Mercato cinese, Peugeot) e **Giorgetto Giugiaro** (80 modelli andati in produzione per Fiat, Volkswagen, Audi, Alfa Romeo, BMW, Lancia, Daewoo, Maserati, Lotus, Renault, Seat, Saab). Per il suo lavoro quest'ultimo ha ricevuto molte onorificenze (Cavaliere del lavoro, laurea *honoris causa*, il *Compasso d'oro*. Nel 1999 è stato insignito del titolo di *Car Designer del Secolo*, conferitogli a Las Vegas).

Questo orientamento all'essenzialità, che potremmo osservare in molti aspetti dell'arte contemporanea, anche se da una parte ha prodotto un'eccellente vena creativa, al tempo stesso ha però generato discutibili forme espressive e corrispondenti produzioni industriali, frutto di atteggiamenti riduzionistici, basati su tecnicismi e su un'ideologia economicista, madre tra l'altro della progressiva mercificazione dell'arte. I modelli economici in auge, facendo solo riferimento alla produttività in senso stretto (es. PIL), hanno ignorato l'interazione tra *sistema economico* e *sistema ecologico* e hanno trascurato l'importanza dei "beni relazionali" e di tutti quelli non meramente strumentali al profitto. Scrive Luigino Bruni<sup>7</sup> che l'economia neoclassica è incapace "di dar conto delle relazioni umane a motivazione intrinseca". Perciò anche le arti hanno seguito di frequente, e in modo via via crescente soprattutto a partire dagli anni Ottanta, questa linea. Tanto che, come scrive Umberto Galimberti, «oggi capiamo unicamente che cosa è utile, efficace, produttivo, ma nulla sappiamo di cosa è buono, giusto, vero, bello, sacro. Ne è prova l'arte che diventa arte solo se entra nel mercato»<sup>8</sup>. Quest'approccio ha avuto come effetto anche molte manifestazioni artistiche con una progressiva separazione tra la componente razionale e quella emozionale. Anche dove le forme

<sup>7</sup> Luigino Bruni, *La ferita dell'altro. Economia e relazioni umane*, Casa editrice Il Margine, Trento, 2007.

<sup>8</sup> Umberto Galimberti, *E se oggi l'alienazione fosse più radicale di quella di Marx?*, in "D. la Repubblica", n. 772 del 17 dicembre 2011.

espressive artistiche hanno perseguito la preminenza di un'idea, si è tralasciato il piano del coinvolgimento e trasporto veicolato dalla tensione estetica, ridotta perlopiù a tecnicismi e ripetizioni prive di nuovo significato. Bandendo il concetto e di conseguenza il senso di *bellezza*, si è lasciato per strada anche il ruolo imprescindibile del piano emotivo dato dal perseguire comunque un'armonia percettivo-espressiva. Gli stessi attrezzi concettuali alla base della riflessione artistica per certi versi si sono impoveriti e sono stati soggetti a un appiattimento di massa. Il concetto di *semplice dualismo* ha ad esempio fagocitato il senso di *relazione multipla*, creando nei fatti un solco profondo tra la ragione, il senso razionale, concettuale, dell'astratto e quanto è espresso dalla dimensione emotiva e da quella corporea.

A fare da contraltare è un atteggiamento ben diverso perseguito da altre linee di pensiero, basate sul senso della "struttura che connette" (Bateson) capace di abbracciare la complessità, intesa come ricchezza, pluralità, diversità e di accogliere e accettare perfino le contraddizioni della realtà.

Alcuni di questi movimenti di pensiero, come si è detto, sono nati sulla scia dei contenuti esplorati dalla teoria dei sistemi, dalla comprensione della complessità, passando per le concezioni del rapporto più stretto tra sistema e ambiente e concentrandosi quindi sull'importanza della conoscenza degli ecosistemi, dei flussi globali composti da una pluralità e varietà di segnali ed eventi. Questi movimenti si sono dimostrati attenti al risultato olistico, in cui natura ed uomo trovano sintonie e non contrapposizioni, dove l'esplosione della produzione industriale è bandita e il riuso dei materiali, degli oggetti e di quanto è comunque memoria storica della vita assume un ruolo chiave nella creazione (e mantenimento) dei manufatti, quindi anche delle opere d'arte.

Nascono quindi movimenti capaci di mettere in relazione le diverse forme artistiche attraverso nuove espressioni combinate di arte tradizionale, musica, scrittura, architettura, ambiente, suono e luce, nonché le emergenti tecnologie digitali dell'informazione e comunicazione. Trovano così sinergiche esperienze artisti e scienziati, ecologisti e musicisti, capaci di intelligente ibridazione finalizzata ad armonie espressive. Esempi di ricerca di relazioni tra forme linguistiche differenti possiamo osservarle in artisti come **Luigi Veronesi**, esponente dell'astrattismo storico, che mettono in relazione musica e pittura, come ad esempio nell'opera realizzata nel corso di una stagione culturale sperimentale focalizzata sull'ibridazione tra espressioni di arti figurative e territorio, promossa dal Comune di Villasimius nel 1982. Veronesi crea strette corrispondenze tra lo sviluppo temporale di un brano musicale (in questo caso una composizione musicale di Erik Satie) e lo sviluppo spaziale e cromatico dell'opera pittorica<sup>9</sup>.

---

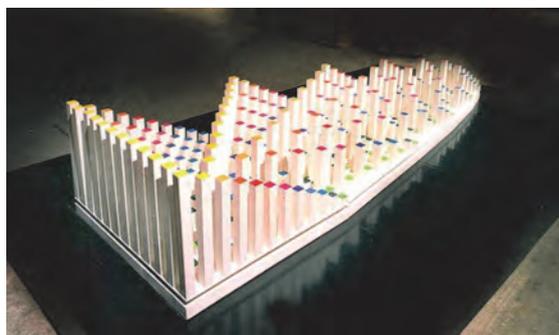
<sup>9</sup> Il titolo dell'opera non è certo, probabilmente *Trascrizioni cromatiche*, o *Su un muro* o magari *Trascrizioni cromatiche su un muro* e l'identificazione del brano rappresentato non è nota ed è

Possiamo osservare che la dimensione del tempo musicale migra nello spazio e la sonorità della composizione nel cromatismo.



**Figura 68.** Luigi Veronesi, 1982. Opera muraria al Comune di Villasimius rappresentante un brano musicale di Erik Satie.

Al tempo stesso, come osserva Enrico Crispolti, ci sono artisti come **Marcello Aitiani** che adombrano deliberatamente una consapevolezza della complessità (ordine-disordine), rifacendosi a Prigogine quando richiamano passi quali: «l'evoluzione dell'universo non è stata nella direzione della degradazione ma in quella dell'aumento di complessità». Opere come *Nave di Luce* degli anni '80 esprimono questa complessità mettendo in rete, mediante specifici collegamenti telematici, vari luoghi di diverse città. Venivano in tal modo esplorate inedite modalità percettive, espressive e della comunicazione, derivanti dalla presenza di opere e spazi reali coesistenti con eventi e dimensioni di tipo virtuale.



**Figura 69.** *Nave di Luce* (1990) di Marcello Aitiani, evento artistico telematico con opere visive e musicali, realizzato in collaborazione con CNUCE/C.N.R.-Conservatorio di Musica di Firenze (direz. informatico-musicale di F. Giomi). Nella fotografia: uno dei lavori plastici, componenti della *Nave di Luce*, in legno dipinto (290x165x64 cm).

lasciata al lettore. La composizione dell'opera suggerisce un brano per pianoforte dove sono evidenti le note suonate dalle due mani nella parte superiore ed inferiore del quadro.

Allo stesso tempo emergono movimenti come quello dell'arte povera (che concepisce il "ritorno" al semplice, al quotidiano e all'essenziale sul piano dei materiali) fondando il proprio pensiero anche su principi di riuso, di sostenibilità, di contrasto allo sviluppo smodato delle risorse e contro quanto è senza rispetto per l'ambiente e la natura.

Ai processi industriali e alle macchine che riciclano i materiali, dando vita a nuovi manufatti (come giocattoli, partendo dalle bottiglie di plastica), si sono quindi affiancate espressioni artistiche diverse, basate sulla "circolarità" dei materiali e del loro riuso, permettendo la produzione di opere, sempre più intrinsecamente effimere. Per ironia della sorte, alle iperproduzioni del passato industriale, si affiancano ora le iperproduzioni artistiche che riciclano tutto, ripetendo cliché, e in diversi casi senza elaborazione artistica profonda sul piano della declinazione significativa fuori dagli schemi.

L'espressione artistica, parallelamente a queste linee di sviluppo va quindi alla ricerca di nuovi linguaggi e trova nuove forme superando anche la stessa materialità, affacciandosi alle cosiddette *performance* e agli *happening* in cui sempre di più l'opera è composta da eventi pianificati, innestati nella drammaturgia, negli effetti spettacolari e nella natura semiteatrale (*performances*). Si sviluppano le improvvisazioni collettive, eventi dove l'influenza dei partecipanti svolge un ruolo chiave nell'intervento artistico (*happening*).

Oggi questo fenomeno è emergente, collegato anche a connessioni e sincronie in rete ma già anticipati da happening territoriali, le forme attuali di *Land Art*, come quello svolto a Ulassai piccolo centro urbano della Barbagia in Sardegna all'inizio degli anni '80 (settembre '81) per mano dell'artista **Maria Lai**. L'intervento, che oggi potremmo definire *happening territoriale*, consistette nel legare il paese alla montagna (forte segno del territorio essendo sovrastante il paese) attraverso un nastro azzurro<sup>10</sup>. Questo intervento fece superare perfino antichi contrasti nella popolazione a fronte di una provocazione metaforica dell'artista, che così volle «intervenire sulla e con la gente per legarsi alla

---

<sup>10</sup> L'evento nasce traendo spunto da una storia diventata leggenda locale. Nel 1861 un costone della montagna sopra il centro abitato staccatosi travolse e ammazzò tre bambine mentre una si salvò trovata con un nastro celeste in mano. L'artista narra la storia come un gruppo di anziani (la tradizione) che sotto la pioggia insistente si ripararono dentro una grotta della montagna e che una bimba (la tensione del futuro) con loro uscì improvvisamente per seguire un nastro azzurro che svolazzava all'esterno. La montagna crollò e tutti morirono dentro la grotta, tranne la bambina salvata dal suo istinto nel seguire il "filo" azzurro, segno divino tradotto dall'artista in segno dell'arte. Quello di legarsi alla montagna rappresentava un nuovo patto, tra l'uomo e la natura, ma per fare questo coinvolse i concittadini a legarsi prima tra loro, superare vecchi rancori e farsi coinvolgere in un'opera collettiva che legava il paese alla montagna.

montagna», in piena contrapposizione a quanto le fu chiesto in precedenza: un monumento ai caduti, che lei si rifiutò categoricamente di realizzare. Possiamo dire che alla richiesta dell'amministrazione pubblica, basata su una concezione statica e di pura memoria storica, la risposta è stata quella di attivare il "movimento" di una collettività guidato simbolicamente attraverso un nastro azzurro che legava tra loro le case e queste alla montagna, secondo un riferimento evocativo di memoria storica ma vivo nella gente.

Le attuali forme di *Land Art* sono internazionalmente espresse da artisti americani di adozione come **Christo e Jeanne-Claude**<sup>11</sup> e da **Walter de Maria**. I primi, una coppia molto legata, lei recentemente scomparsa, hanno realizzato interventi attraverso stesura e impacchettamenti di opere nelle valli del Colorado, a Miami nelle strutture nelle principali città del mondo come Parigi, Berlino, New York e Roma (Porta Pinciniana). Lo scultore americano Walter de Maria, invece approdato dal movimento di Minimal Art, realizza installazioni che si innestano sul territorio, come *The Lightning Field* nel nuovo Messico, che permette di ottenere un effetto spettacolare con la luce di diverse centinaia di pali conficcati nel terreno in alcuni chilometri quadrati che svolgevano la funzione di parafulmine. Effetto visibile solo in brevi periodi dell'anno o attraverso fotografie e video.

L'avvento delle tecnologie digitali, al contempo ha sviluppato forme d'arte capaci di utilizzare le potenze elaborative, la multimedialità e le rappresentazioni su grandi schermi.

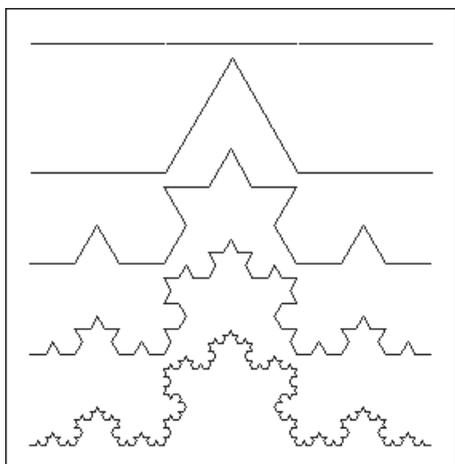
La Video art elabora le proprie opere partendo da immagini, come disegni o fotografie su supporti vari, che digitalizzate hanno dato luogo all'arte digitale, frutto di moltissime sperimentazioni, installazioni e performance.

Diversi movimenti esprimono addirittura un'arte sostanzialmente affidata alle macchine. Un esempio recente è quello del neoplastico **Leonel Moura**, che utilizza nelle sue opere la robotica, creando uno zoo abitato da robot che sostituiscono gli animali, percorre una linea di pensiero che giunge a creare un'arte attraverso l'uso di intelligenza artificiale. Con la pubblicazione del *Symbiotic Art Manifest* sostiene che le macchine possono fare arte, che uomo e macchina possono creare arte simbiotica, un nuovo paradigma che apre a nuovi modi di fare arte.

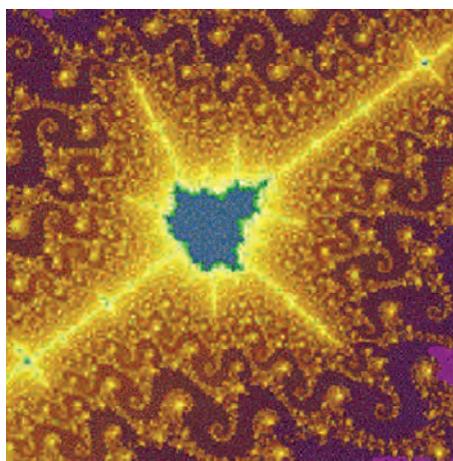
---

<sup>11</sup> **Christo Vladimirov Javašev** (di origine bulgara) e **Jeanne-Claude Denat de Guillebon** (di origine franco-marocchina), coniugi statunitensi, nati lo stesso giorno, il 13 giugno 1935.

## Artificiale e naturale: dalla Computer Art e teoria dei frattali all'iperrealismo pseudofotografico

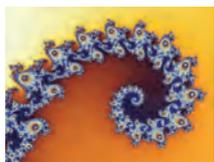


**Figura 70.** La replicabilità e l'inserimento progressivo di una forma su se stessa è alla base dei frattali.



**Figura 71.** Il set dei frattali di Mandelbrot.

Degno di nota nella creazione artistica attraverso le tecnologie digitali è l'esplorazione delle immagini dette artificiali o sintetiche, ovvero generate da algoritmi che replicano formule o forme auto somiglianti come quelle derivanti dall'uso di numeri complessi.



**Figura 72.** Particolare di un frattale.

Tali rappresentazioni numeriche, derivanti dall'elaborazione di questo algoritmo sono denominate immagini frattali e sono rappresentazioni disposte sul piano (o su superfici ideali a tre dimensioni), in cui ogni punto rappresenta il valore calcolato, sulla base delle sue coordinate. In certi casi i valori numerici sono assegnati in relazione a come le sequenze numeriche generate si comportano in termini di convergenza, divergenza o alternanza periodica a valori specifici.

Queste matrici (o superfici) estese di numeri sono poi rappresentate visivamente attraverso l'associazione dei valori numerici con sequenze cromatiche.

Si possono modificare queste associazioni tra valori numerici e scale cromatiche e si ottengono ulteriori immagini, altrettanto affascinanti. Attraverso questa tecno-

logia, nei fatti si passa dunque da una tradizionale forma di creazione dell'opera con una costruzione progressiva per mezzo di pennelli e colori ad una forma inversa dell'opera, ovvero attraverso la selezione tra infinite opere possibili, secondo la scelta di un particolare ingrandimento, l'esplorazione del piano e una particolare combinazione di numeri e scale cromatiche associate.

L'artista, in questo filone espressivo, si può concentrare sulla selezione e ricerca progressiva quanto sul piano delle infinite potenzialità è più consono alle proprie aspettative.

Le immagini generate, oltre ad essere estremamente affascinanti dal punto di vista percettivo, hanno permesso di esplorare la struttura iconica che molto si avvicina alle forme della natura e che consentono di osservare il variare delle forme al variare dei livelli di esplorazione. In altri termini all'ingrandire dell'immagine (ovvero andando ad esplorare aree numeriche con maggior dettaglio decimale) appaiono figure affascinanti sempre diverse e solo in alcuni casi con riprese di strutture precedentemente incontrate.

Questo è stato possibile per effetto della disponibilità di potenza elaborativa (inizialmente solo per pochi), già dagli anni '70 e '80. Attraverso i modelli matematici concepiti da Henri Poincaré (che tra l'altro concepì la teoria del caos e il sistema caotico deterministico) furono riesumati da Benoît Mandelbrot che, per mezzo dell'uso dell'elaboratore subito capì le potenzialità nella rappresentazione delle forme della natura, superando la geometria classica.



Quest'ambito, a cavallo tra scienza, matematica, rappresentazioni visive ed espressione artistica, basate su forme vicine alla natura e permesse dalle potenzialità di calcolo e di rappresentazione cromatica dei valori numerici, ha aperto ad inaspettate conoscenze esplorate e guidate non solo dalla ragione ma anche dall'emozione.

**Figura 73.** Immagine virtuale iperrealista che richiama le immagini impossibili di Escher.

Le espressioni artistiche però hanno trovato ancor più affascinanti in prospettiva le potenzialità derivanti dalle realizzazioni della “combinazione” di immagini costruite o catturate al computer in diversa modalità, sempre più con macchine fotografiche digitali o attraverso disegni digitalizzati, ed elaborazioni successive.

La capacità di costruire sequenze, combinazioni video, musica su un unico supporto digitale, ha poi aperto alla multimedialità diffusa, amplificando le possibilità creative. Ma al tempo stesso, dopo una fase transitoria di contributi indifferenziati, ha selezionato coloro che avevano capacità professionale ed espressiva nella gestione di tali strumenti.

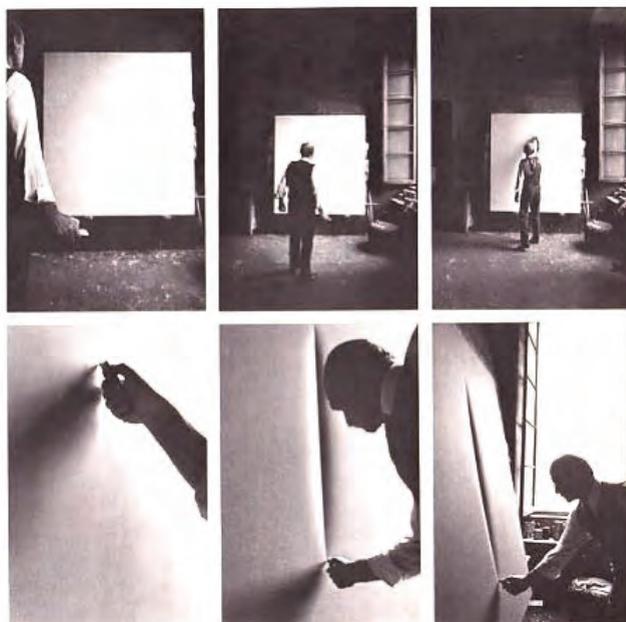
Tale terreno espressivo ha favorito le forme di elaborazione musicale, le *performance* in cui svolge un ruolo chiave la pianificazione registica, lo stile drammaturgico teatrale e l'uso raffinato delle luci. Analogamente si sviluppano le forme sociali denominate *happening* basate sull'improvvisazione collettiva, e dagli anni '60 il **movimento fluxus** promosso da George **Maciunas** (1931-1978) orientato a dare corpo alla libertà di espressione con poesia sperimentale, musica e arti visive. Secondo tale movimento i gesti più diffusi ed elementari esprimono l'artisticità e quindi diventa d'obbligo lo sconfinamento dell'atto creativo nello sviluppo della quotidianità. Gli happening che si esprimono attraverso poesia, musica, danza, teatro e le stesse performance artistiche, diventano forme alternative di espressività, scovre da dogmi e schemi preconfezionati, in cui i fruitori assumono un ruolo proattivo, analogamente a quanto oggi accade nell'ambito dell'innovazione dei contenuti digitali nel quale i fruitori sono anche produttori (*User Generated Content*) e protagonisti della costruzione della conoscenza.

Scenari, questi, certamente indotti ma altrettanto distanti, dalle prime forme di cinquant'anni prima di arte sociale come quanto vissuto nel Cabaret Voltaire, il noto locale a Zurigo d'intrattenimento che dal 1916 ha stimolato intenzioni artistiche e politiche sperimentali e le serate futuristiche che ponevano sul tappeto il dibattito relativo all'arte.

Oggi viviamo una pluralità di movimenti artistici interessati in alcuni casi all'aspetto tecnico-espressivo, in altri all'uso dei materiali più diffusi (sfociando nell'arte povera), quindi al riuso degli oggetti quotidiani e agli scarti di materiali poveri come carta, legno, plastica. Ulteriori movimenti sono inquadrabili nella **performance art, nella transavanguardia e nell'arte informale**, corrente questa di pensiero, che come l'astrattismo si stacca dal reale e in più radicalizza l'assenza di qualunque forma nella tela. Nuovi stili che amplificano ed esasperano alcuni filoni dell'arte moderna come il dadaismo e come questo mettono in crisi il senso intrinseco della stessa opera d'arte fino alla dissacrazione, come anche dell'artista stesso (provocatoriamente denominato in passato da Duchamp “anartista”).



**Figura 74.** Lucio Fontana, *Concetto Spaziale, Attese*, 1962.



**Figura 75.** Sequenza del taglio della tela di Lucio Fontana.

**Figura 76.** Decollage di Mimmo Rotella con rappresentazione di Marilyn Monroe.

Tra i maggiori esponenti italiani di queste forme d'arte contemporanee segnalò il calabrese **Mimmo Rotella** (1918-2006), che con i suoi *decollage* realizzati con immagini dei manifesti pubblicitari, ci provoca ad andare oltre rispetto alla percezione diretta. Come anche **Lucio Fontana** (1899-1968) le cui ricerche spaziali sono note per i suoi tagli sulla tela a creare spazi vuoti ed equilibri inediti, ed infine **Alberto Burri** (1915-1995) che esprime una speciale attenzione alle proprietà fisiche dei colori ottenute con mezzi poveri. L'artista ottiene effetti cromatici simili ad una coltura batterica attraverso additivi nei pigmenti utilizzati, rafforzando il senso di materia che si trasforma e degrada. E dal tema di metamorfosi si apre ai temi del rapporto tra vita e morte, anticipando il senso di matericità, ma in un senso vivo e di purificazione.

Altri esponenti, tra i tanti che offrono spunti del pensiero artistico contemporaneo sono gli artisti di **Studio Azzurro** con le installazioni che dal 1982 realizzano lavori condivisi tra Fabio Cirifino, Paolo Rosa, Leonardo Sangiorgi e Stefano Roveda, a cavallo tra sperimentazione artistica e produzione video, fotografia, grafica e animazione, cinema e sistemi interattivi. È un'anima formata da più persone con un approccio verso "ambienti sensibili", "interfacce naturali", abbinando tecnologia, narrazione e interazioni naturali come toccare, calpestare, emettere suoni.

Altro riferimento nell'attuale panorama contemporaneo che va nella direzione dell'iper realismo, con un senso spinto di realtà simulata e costruita, come un set cinematografico è quella del giovane dello Zambia Jonatahan Wateridge (1972) con le tematiche legate alla fiction nella realtà in cui si combinano tensioni del presente-futuro (non a caso astronauti), ma anche agli scenari di decadenza tecnologica. Ecco rappresentati palcoscenici che richiamano set cinematografici che indirizzano l'attenzione verso il rapporto tra senso del reale, verismo contemporaneo e tecniche tradizionali.





**Figura 77.** Jonathan Wateridge, *Group Series No. 2. Space Program*.

La sua originalità, oltre ad una raffinata tecnica traslata dall'esperienza svolta sui set cinematografici è la creazione di dubbi e ambiguità nella visione iperrealista che si manifesta di natura pittorica solo a breve distanza. Non riproduce la realtà con la pittura, ma dipinge la realtà ricostruita dalla fotografia, dal cinema e dalla televisione. Come fossero quadri di realtà sovrapposti e resi simbolici solo a breve distanza.

Wateridge persegue una duplice natura delle scene attraverso una serie di indizi visivi. Raffigurati in scala reale, sembra che lo spettatore sia coinvolto a partecipare alle scene.



**Figura 78.** Jonathan Wateridge, *The Architect's House* (2009).

Questa linea espressiva, che ritorna all'evocazione veristica tipica di opere settecentesche come Velasquez e alla fotografia, è percorsa da artisti giovani. Una per tutte Raphaella Spence nata nel 1978 che descrive temi classici o contesti contemporanei amplificando quanto già compreso dalla fotografia: la realtà costruita nell'immagine dell'artista non è che un lontano parente della realtà a cui si riferisce. Ed oggi che la fotografia non può che cavalcare il mondo digitale, tali immagini prodotte dalla mano dell'artista, vanno nella direzione dell'artigianalità in opposizione alle correnti che si orientano verso la meccanicità come estensione della propria mano.



**Figura 79.** *Suggestione azzurra*, Olio su tela di Luciano Ventrone, 2007.

**Figura 80.** Immagine pittorica iperrealista della giovane Raphaella Spence.



## Dalla sbornia del virtuale-digitale al ritorno alla fisicità

Lo sviluppo dell'espressività attraverso l'uso della dimensione digitale, quindi attraverso forme che hanno all'interno strutture immateriali date dal digitale, non poteva, secondo il principio dei pesi e contrappesi, non esprimersi se non col bisogno di ritorno alla fisicità, alla matericità. L'artista torna così ad operare su materiale fisicamente ben identificato, è meno tecnologo e più artigiano, nel senso di creatore di oggetti unici, di cura della qualità e non della quantità, riprendendo la distanza dall'industrializzazione di massa, dalla comunicazione mass mediatica, come quella globale e pervasiva, dall'esclusività come fattore distintivo e non omologativo. In qualche modo lasciando la macchina a produrre per la vita e la quotidianità, mentre l'arte a produrre per il momento distintivo e riflessivo della nostra esistenza. Come ad interrompere l'ambiguità tra tempi del lavoro e di stacco, tra lavoro ubiquo, sistema relazionale funzionale al lavoro e la sua distinzione netta con momenti sociali liberi o momenti interiori e di riflessione.

Qualche segnale di alcune di queste considerazioni sono espresse da La **transavanguardia**, un movimento artistico italiano nato nei primissimi anni '80 che teorizzava un ritorno alla manualità, alla gioia e all'espressività viva, dopo un periodo di dominio dell'arte concettuale. In questo movimento, teorizzato e guidato da Achille Bonito Oliva erano fondamentali i caratteri di valorizzazione del luogo in cui operava dell'artista, la liberazione dai riferimenti pregressi sovra-strutturali e ideologici e la raccolta dei segnali deboli, delle novità e dell'inaspettato. Lo stesso termine transavanguardia vuole rappresentare un percorso trasversale e non di sviluppo in avanti.

D'altro canto già dall'eredità di Turing, che ha pensato ad una macchina che elabora simboli, quindi non fisica ma che al tempo stesso necessita di una macchina fisica, emerge un diverso rapporto tra virtuale e fisico. È oramai evidente che l'immaterialità, come l'astrazione, il simbolo e la sua elaborazione, come qualunque espressione concettuale necessita di riscontri fisici su cui manifestarsi e l'esperienza organicista ben ci fa comprendere che non esiste struttura (immateriale per sua natura) senza materia. Oggi osservando la stessa Rete, l'avvento del *cloud computing*, sappiamo che le applicazioni e soprattutto i nostri dati, stanno da qualche parte e sono su qualche sistema, anche se non sappiamo dove e come sono organizzati fisicamente. Come anche un testo, un'immagine, un'audio o un video digitale che devono possedere una struttura, una codifica ma anche un supporto fisico. Questi aspetti ci spingono ad interpretare diversamente il rapporto tra immateriale e materiale, allo stesso modo tra realtà virtuale, mondo digitale in genere e realtà fisica non come una secca contrapposizione ma come facce di una stessa medaglia.

Il tema della fisicità espressiva, ovvero della manualità dell'artista è ancora vivo e a tal riguardo credo significativa una riflessione del critico d'arte Gillo Dorfles apparsa recentemente nel *Corriere della Sera* e resa disponibile online<sup>12</sup> dal titolo: *Se l'artista spegne il pc e torna a fare l'artigiano*, nel quale afferma che

quando l'uomo «aurignaziano» (dopotutto solo alcune migliaia d'anni orsono) prese a impastare l'argilla per farne simulacri e a scarabocchiare sulle pareti delle caverne per tracciarne figurazioni di animali o di divinità, certo si trattava d'un impulso irrefrenabile attraverso il quale l'uomo «primitivo» si sentiva un po' più simile alla divinità. E quando i tanti mezzi meccanici – dal tornio del vasaio all'ultimo computer elettronico – presero a togliergli di mano ogni rapporto tra il suo corpo e l'attività creativa, senza dubbio la nuova stagione si presentava piena di fascino ma di pericolose insidie. Ed ecco che, dopo aver tanto inneggiato ai prodigi della macchina e della tecnologia, oggi ci sembra di assistere a un misterioso ritorno alle antiche virtù della nostra mano.

«Recupero della manualità»: questa sembrerebbe la giusta espressione; ma in realtà si tratta di qualcosa di più complesso: un bisogno di attivare tutti i rapporti tra il nostro corpo e la sua partecipazione ad attività creative: ne sono una prova gli sviluppi della danza, l'avvento della Body Art, oltre al nuovo interesse per molte forme di artigianato che (per fortuna) non sono sparite del tutto dal panorama estetico del nostro mondo come la ceramica, il vetro, la tessitura, ecc. E molti, tuttavia, non si avvedono come questo ritorno non ha nulla a che vedere con l'avvento di tante recenti correnti pittoriche: dall'arte astratta a quella concettuale e via dicendo.

In effetti la «modernità» dell'espressione artistica – se anche si vale delle nuove tecnologie – non può trascurare quel particolare impulso che solo il «contatto» del nostro corpo con gli antichi e moderni «materiali espressivi» di cui l'arte si è sempre servita, può permettere l'avvicinarsi di nuove attività ancora latenti e che soltanto attraverso la corporeità – tanto quella «mentale» che quella manuale – può verificarsi. Il che spero ci faccia «toccar con mano» come non è certo la scomparsa dell'artigianato a segnare un progresso nel complesso universo della produzione artistica dei nostri giorni.

Questa riflessione di Gillo Dorfles ben esprime questo disagio del nostro micro tempo in coda ad un'era di espressività artistica prima legata all'arte “concettuale” e poi che ha esplorato l'uso dei linguaggi digitali e che pervadono il piano percettivo quanto quello mentale.

Certo è che superata questa collina, il paesaggio che avremo davanti sarà ancora una volta nuovo, con richiami al passato e al tempo stesso negazioni del passato, con tecniche raffinate e tecniche semplici, meccanica raffinata composta da logiche sopraffini o meccanica di base, ognuna di queste in un confronto dialettico con la

---

<sup>12</sup> URL: <<http://lettura.corriere.it/se-l%E2%80%99artista-spegne-il-pc-e-torna-a-fare-lartigiano/>>.

storia e con il mistero. Si amplifica la strada che crea nuova circolarità (con meccanismi di feedback) come antidoto allo star fermi nella stasi e al movimento senza meta. Probabilmente verso una ciclicità, oramai accelerata, di richiami al passato e sguardo al futuro, secondo un presente sempre più effimero, ma sempre più desiderato intenso.

## Conclusione

Anche se a primo acchito può sembrare che tra meccanica ed espressione artistica ci siano legami deboli, abbiamo constatato forti relazioni tra questi due ambiti.

Se la meccanica ha influenzato l'evoluzione dell'arte come nuova espressività data dal mezzo (**l'arte della meccanica**) in sé e per sé, altrettanto ha svolto nella riflessione teorica (**la meccanica nell'arte**) e nell'espressività degli artisti (**la meccanica come arte**). Dualismo espresso nelle mostre recenti che hanno voluto evidenziare il cambio di paradigma soprattutto negli anni '60 che ci ha portato a vivere il passaggio appunto dalla *meccanica rappresentata con l'arte all'arte rappresentata dalla meccanica*. Temi questi non sono di solo posizionamento teorico, ma che più in generale si sono manifestati chiave nel rapporto tra espressione artistica e uso della tecnologia, meccanica in questo caso. Ma la questione è di natura generale: come la meccanica anche l'ottica, l'elettronica, la biotecnologica sono oramai alle porte della nostra espressività. Un rapporto in cui l'artista utilizza, sperimenta, controlla, verifica, delega, si spinge più in là, torna indietro nell'uso e nella simbiosi con queste macchine esterne. E questo fa parte integrante del suo percorso artistico.

Questo rapporto tra meccanica (tecnologia più in generale) e arte non si può affermare essere di pura causalità, ovvero di rapporto causa (meccanica) effetto (arte), o anche viceversa, di evento nato prima ed evento conseguente, ma allo stesso tempo possiamo però affermare che esiste una forte correlazione, un legame tra due fenomeni e che possiamo dedurre attingere ad un comune patrimonio: quello del pensiero tecnico-scientifico-filosofico che pervade costantemente la cultura della società e da essa trae linfa. Un'interazione reciproca che è propria della vera cultura, quella senza etichette di artistico, scientifico o umanistico e che si innesta sulla società che la produce. Pensiero che pervadendo i vari saperi secondo approcci e stili che si confrontano con il passato, con il cambiamento, con l'ignoto, vive la sfida dell'oggi e del domani ripescando dalla stessa storia, ma ogni volta aprendo al futuro secondo una propria specificità, quella del momento storico. E la meccanica, reinterpretandosi nel corso della storia secondo il pensiero tecnico-scientifico, sia esso legato alla matematica, alla fisica e all'ingegneria e secondo

nuove regole anche alla biologia e all'ecologia, ha posto e ha suggerito i quesiti chiave anche sul piano filosofico, l'agenda del pensiero che artisti e uomini di cultura hanno interpretato: dalla concezione di spazio e di tempo, a quella di movimento. Non solamente la meccanica tradizionale ma anche la sua evoluzione verso le forme contemporanee di movimento virtuale, di concettualizzazione ha aperto a nuove forme espressive in cui cambiano i rapporti tra artista, opera d'arte e fruitore, tra contesto e intervento artistico, tra opera e ambiente, tra emozione individuale e collettiva. La produzione industriale effetto della meccanica si riverbera nel rapporto tra unicità e molteplicità dell'opera, tra materialità e immaterialità, tra fisicità e virtualità. Ed anche di ritorno alla fisicità e alla concretezza del mondo che intorno a noi ci appaga per la sua vicinanza al nostro benessere fisico e mentale e che diventa temporaneo, complementare alle certezze e ai punti fermi della vita.

Un'evoluzione dell'espressività che traccia corsi e ricorsi storici che l'evoluzione umana è evidentemente incline a percorrere nella propria storia. Nell'infinita dialettica del vivere, del sentire e del pensare umano.

### *Ringraziamenti*

La stesura di quest'articolo è stata elaborata anche con il confronto con alcune persone a cui sono particolarmente grato per l'apporto critico, in particolare Marcello Aitiani, Vanni Boni, Veronica Caddeo, Roberto Crnjar, Pamela Ladogana, Cristina Mazzantini, Gino Melchiorre, Alessandra Pasolini, Francesca Porcella e Silvano Tagliagambe a cui vanno i miei sentiti ringraziamenti. Senza il loro contributo, attraverso spunti, riflessioni e critiche, il testo sarebbe carente e certamente insufficiente nell'analisi svolta. Un grazie speciale anche a Virginio Cantoni per la fiducia accordatami e la pazienza di Alessandra Setti.

## BIBLIOGRAFIA

- Maurizio Calvesi, *Il futurismo. La fusione della vita nell'arte*, nella Collana "L'arte moderna" a cura di Franco Russoli, Fabbri, 1967.
- Fritjof Capra, *The Web of Life*, Doubleday, Anchor Book N.Y., 1996, traduzione italiana la *Rete della Vita*, Bur, 2006.
- Carlo Crespellani Porcella, *L'interruttore di Kandinskij. Il salto comunicativo tra linguaggio, visione e mondo digitale*, Alfredo Guida Editore, Napoli e Isola Felice, Sassari, 2001.
- Carlo Crespellani Porcella, con pseudonimo Alek Ollporak, *Il viaggio di Pokares*, Isola Felice, Sassari, 2003, URL: <<http://pokares.wordpress.com>>.
- Enrico Crispolti, *Una grande metafora coscienziale*, in *Nave di Luce. Arte, musica, telematica*, Electa, Milano 1990, pp. 19-22.
- Bruno Ernst, *Lo specchio magico di M.C. Escher*, Benedikt Taschen Verlag GmbH, Koln, 1996
- M.C. Escher, *Il Mondo di Escher*, Garzanti, 1978.
- Jurij M. Lotman, *La cultura e l'esplosione. Prevedibilità e imprevedibilità*, Collana "Campi del Sapere/I segni e la critica", Feltrinelli, Milano 1993.
- Silvano Tagliagambe, *Come leggere Florenskij*, Bompiani, Milano 2006.
- Silvano Tagliagambe, *Epiistemologia del confine*, Il saggiaatore, Milano, 1997.
- A.M. Turing, *On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem*, "Proceedings of the London Mathematical Society", (2), vol. 42, 1937.
- Conrad Hal Waddington, *Strumenti per pensare, un approccio globale ai sistemi complessi*, Biblioteca EST, Ediz. Scientifiche Mondadori, 1977.

## SITOGRAFIA

- Relativamente al movimento, fotografia, Muybridge e Duchamp:*  
 Enrico Menduni  
 URL: <[http://www.mediaudies.it/IMG/pdf/La\\_scomposizione\\_del\\_movimento.pdf](http://www.mediaudies.it/IMG/pdf/La_scomposizione_del_movimento.pdf)>.
- Relativamente ai frattali:*  
 URL: <<http://www.metaforum.it/archivio/2006/index6503.html?t8657.html>>.
- La rassegna della corrente "cinetica" che si sviluppò tra gli anni Cinquanta e Sessanta:*  
 URL: <<http://www.gds.it/gds/multimedia/arte-foto/gdsid/194650/pg/1/#tsmmedia>>.
- Gillo Dorfles su Corriere.it:*  
 URL: <<http://lettura.corriere.it/se-1%E2%80%99artista-spegne-il-pc-e-torna-a-fare-lartigiano/>>.
- L'impressionista Alfredo Gauro Ambrosi (Roma, 1901-Verona, 1945):*  
 URL: <<http://www.futur-ism.it/zoom.asp?pg=FC&img=1885g.JPG>>.
- Su Benedetta Capa Marinetti, Francesca Londino in:*  
 Arte Moderna  
 URL: <[http://guide.supereva.it/donne\\_e\\_arte/interventi/2007/06/297323.shtml](http://guide.supereva.it/donne_e_arte/interventi/2007/06/297323.shtml)>.
- Su Leonardo da Vinci:*  
 URL: <<http://www.macchinedileonardo.com/index.php?le-macchine-meccanica>>.

*Sul tema e rappresentazioni parametriche dei frattali.*

URL: <<http://www.metaforum.it/archivio/2006/index6503.html?t8657.html>>.

URL: <<http://aleph0.clarku.edu/~djoyce/cgi-bin/expl.cgi>>.

Mostra sul *Futurismo 1909-2009 – Velocità+Arte+Azione*, Milano Palazzo Reale, 6 Febbraio - 7 Giugno 2009

URL: <<http://php.grupporetina.it/arthemisia/?IDC=2>>.

*Sull'iperrealismo contemporaneo*

*Tra i più famosi americani:*

Chuck Close,

URL: <[http://4.bp.blogspot.com/\\_kPrsq9C3qFE/TSE-SW3gCsI/AAAAAAAAA8k/cYCKksrcYZQ/s1600/kate\\_moss\\_chuck\\_close.jpg](http://4.bp.blogspot.com/_kPrsq9C3qFE/TSE-SW3gCsI/AAAAAAAAA8k/cYCKksrcYZQ/s1600/kate_moss_chuck_close.jpg)>.

Richard Estes,

URL: <<http://www.marcomarcucci.com/ESTES/BIOGRAFIA%20RICHARD%20ESTES/estes3.jpg>>.

Ralph Goings,

URL: <<http://flavorwire.com/wp-content/uploads/2010/11/ralph-goings.jpg>>.

Richard McLean

URL: <[http://images.artnet.com/images\\_US/magazine/news/artmarketwatch/artmarketwatch10-9-08-1.jpg](http://images.artnet.com/images_US/magazine/news/artmarketwatch/artmarketwatch10-9-08-1.jpg)>.

*In Italia:*

Roberto Bernardi,

URL: <[http://4.bp.blogspot.com/\\_hAh7EloBJoM/SVHJgmqKQPI/AAAAAAAAA-8/4eI782ykxYM/s400/bernardi.png](http://4.bp.blogspot.com/_hAh7EloBJoM/SVHJgmqKQPI/AAAAAAAAA-8/4eI782ykxYM/s400/bernardi.png)>.

Raphaella Spence,

URL: <[http://www.raphaellaspenca.com/paintings/Spence\\_paintings\\_p08.html](http://www.raphaellaspenca.com/paintings/Spence_paintings_p08.html)>.

Vania Comoretti,

URL: <[http://3.bp.blogspot.com/\\_w4st7TH384M/TSHVVK8\\_DDI/AAAAAAAAANn0/y6sUHEfgtP4/s800/vania%2Bcomoretti%2B%2B%252816%2529.jpg](http://3.bp.blogspot.com/_w4st7TH384M/TSHVVK8_DDI/AAAAAAAAANn0/y6sUHEfgtP4/s800/vania%2Bcomoretti%2B%2B%252816%2529.jpg)>.

Chiara Albertoni,

URL: <<http://www.equilibriarte.org/member/171>>.

Daniela Montanari,

URL: <<http://www.equilibriarte.org/site/danielamontanari>>.

Luciano Ventrone,

URL: <[http://www.artelabonline.com/article\\_files/art\\_1135\\_XL.jpg](http://www.artelabonline.com/article_files/art_1135_XL.jpg)>.

Luigi Benedicenti,

URL: <[http://3.bp.blogspot.com/\\_0bbdKNaMTUI/TLtN7hYIITI/AAAAAAAAAEL8/AQXloArA8Jk/s1600/bene\\_image001.jpg](http://3.bp.blogspot.com/_0bbdKNaMTUI/TLtN7hYIITI/AAAAAAAAAEL8/AQXloArA8Jk/s1600/bene_image001.jpg)>.

## **Introduzione**

Collezioni, musei, archivi possono essere definiti come raccolte sistematiche ed ordinate di oggetti e/o di documenti appartenenti a varie epoche e generalmente, ma non necessariamente, fruibili dal pubblico. Ad esempio, non sono, in generale, fruibili dal pubblico generico, ovviamente, le collezioni private.

In questo ambito, le raccolte sono intese come riferite alla meccanica: tra gli oggetti, quindi, vengono considerati strumenti, meccanismi, macchine, dispositivi, mentre i documenti riguardano libri, disegni, scritti, relativi alle discipline meccaniche in senso lato.

Collezioni, archivi e musei sono strumenti di importanza fondamentale per la conservazione dei beni culturali meccanici, in quanto documentano in modo diretto gli sviluppi della meccanica nelle diverse epoche. Come tali, essi consentono la conoscenza, attraverso la ricostruzione, dell'evoluzione storica della meccanica e quindi, collezioni, archivi e musei sono strumenti imprescindibili per la storia della meccanica: proprio questa loro funzione sarà qui specificatamente considerata.

## **I perché della storia**

Esistono molte motivazioni per lo studio della storia e, quindi, per la conservazione dei beni culturali scientifico-tecnici e, in particolare, meccanici. Ne vengono qui elencate e commentate alcune.

### *a) Preziosità*

Gli oggetti ed i documenti meccanici sono, a pieno titolo, beni culturali e, come tali, non sono ripetibili. Una volta distrutti, restano, al massimo delle ... bellissime riproduzioni.

### *b) Cultura*

I prodotti dalla cultura dell'essere umano (in contrapposizione ai beni naturali) possono essere:

- Materiali (cioè fisicamente tangibili): ad esempio, macchine, edifici, strumenti;

- Immateriali (cioè fisicamente intangibili) ad esempio, lingue, dialetti, teorie scientifiche, software.

Essi sono “messaggi” mandati dagli “abitanti” del passato a noi, “abitanti” di oggi, che, con una decodifica, ricostruiamo il passato. I beni culturali scientifico-tecnici, quindi, sono una chiave di lettura indispensabile per ricostruire la storia della tecnica, dell’economia, del lavoro, che sono parti non trascurabili della Storia.

Lo studio della storia scientifico-tecnica, quindi, conferma l’unicità della cultura: scienza-tecnica ed umanesimo ne sono due sfaccettature. Cultura senza confronto con la scienza e la tecnica, infatti, è erudizione di altri tempi, mentre formazione scientifica senza i valori umanistici si riduce a puro addestramento.

La storia della scienza e della tecnica è strumento per guardare al passato con attenzione critica e per riconoscere nei processi evolutivi la condizione essenziale per una migliore consapevolezza dello stato presente e, pertanto, è condizione indispensabile per ogni responsabile progetto del futuro.

Il recupero del passato, quindi, non è guardare inutilmente al tempo trascorso, nè riesumare un patrimonio polveroso, né adorare le ceneri, ma trasmettere il fuoco.

La figura 1 mostra un graffito della Valcamonica (circa 700 a.C.): esso può essere considerato un documento “meccanico” dell’antichità che trasmette informazioni interessanti sulla costruzione dei carri, sull’addomesticamento del cavallo, sul suo utilizzo per il traino.

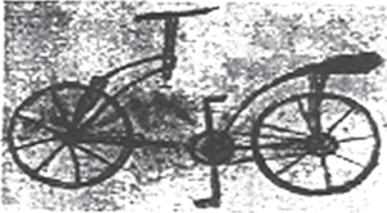


**Figura 1.** Graffito della Valcamonica (circa 700 a.C.) che trasmette informazioni sugli animali da traino e sulla costruzione di carri.

c) *Tecnica*

L'esame critico delle soluzioni costruttive del passato può fornire idee utili anche oggi: idee del passato non sviluppate (magari per mancanza di materiali e tecnologie adatte) possono essere riprese oggi, nel contesto attuale.

La figura 2 rappresenta la "bicicletta" di Leonardo (secondo alcuni non sarebbe di Leonardo ma di un allievo: ciò comunque è ininfluente ai fini delle considerazioni qui svolte): si osservi la trasmissione a catena, molto simile ad una attuale, poi "dimenticata" e "reinventata" solo alla fine dell'800.

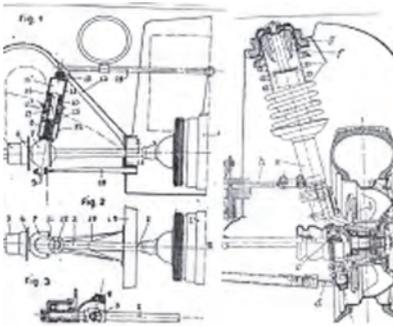


**Figura 2.** La "bicicletta" di Leonardo che anticipa la trasmissione a catena.

Un disegno di Leonardo, poi, rappresenta una penna molto simile ad una stilografica di oggi. Leonardo l'avrebbe anche realizzata (studi calligrafici dimostrerebbero che il tratto è continuo e non con le interruzioni necessarie per intingere il pennino nel calamaio). Anche questa idea di Leonardo è stata poi "dimenticata" e ripresa qualche secolo dopo.

Un'altra considerazione interessante è che il Conservatoire Nationale d'Arts e Metiers, primo museo scientifico-tecnico moderno, inaugurato nel 1794, era stato proposto da Cartesio nel XVII secolo, con l'idea di presentare ai progettisti le evoluzioni della macchine in ordine cronologico, proprio con l'obiettivo di stimolare la creatività dei progettisti.

Un altro esempio è quello rappresentato nella figura 3, relativo ad un brevetto Fiat (1926) che anticipa la sospensione McPherson comparsa negli anni Cinquanta: a sinistra il brevetto e a destra la soluzione degli anni Cinquanta.



**Figura 3.** Brevetto Fiat (1926) (a sinistra) che anticipa la sospensione McPherson comparsa negli anni Cinquanta (a destra).

*d) Estetica*

Molte soluzioni costruttive del passato sono di grande bellezza ed ancora oggi ne è interessante e piacevole l'osservazione.

*e) Etica*

Dalle soluzioni costruttive del passato emergono esempi di professionalità, abilità, deontologia, una riflessione sulle quali, soprattutto da parte dei giovani, può essere anche oggi molto opportuna.

*f) Formazione*

Dall'accurato esame della storia possono nascere apprezzamento per i lati positivi dello sviluppo e del lavoro che c'è sotto ogni realizzazione, anche se oggi può sembrare "banale" e valutazione corretta dello sviluppo di oggi, che sarà rapidamente superato.

Ad esempio, Vincenzo Monti, nell'ode *Al Signor di Montgolfier*, scritta in occasione della prima ascensione in mongolfiera, afferma che all'umanità, dopo essere riuscita a "volare", non rimane che ... sedere a tavola con Giove e bere con lui il nettare dell'immortalità (siamo in epoca neoclassica): una considerazione critica della storia gli avrebbe evitato questa ingenuità.

Scienza e tecnica (che hanno un ruolo dominante nella realtà quotidiana) hanno di fatto un peso culturale modesto. La cultura scientifico-tecnica, ancora oggi, è spesso percepita solo come la base per risolvere problemi pratici. Uno studio attento e critico della storia della scienza e della tecnica può essere un contributo per mettere in giusta luce lo sviluppo attuale. La cosa è di particolare importanza anche perché la disinformazione scientifico-tecnica è spesso fonte di molti problemi e di molti incidenti.

*g) Didattica*

Le soluzioni costruttive del passato sono, in generale, caratterizzate da grande semplicità e, quindi, permettono di scoprire immediatamente i principi che stanno alla loro base.

*h) Economia*

I beni culturali hanno anche una notevole valenza economica: si pensi, ad esempio, al turismo, alla creazione di nuove professionalità.

## Panorama storico

I musei, che possono essere considerati fra le istituzioni più importanti per la conservazione della cultura, vengono tradizionalmente divisi, in relazione alle tipologie di collezioni, nelle seguenti categorie:

- Artistici
- Archeologici
- Storici
- Naturalistici
- Scientifico-tecnici
- Demoantropologici

Nell'ambito delle considerazioni svolte in questa sede, interessano in modo particolare i musei scientifico-tecnici e quelli demoantropologici, dedicati, questi ultimi, a documentare la storia dell'agricoltura e dei mestieri popolari.

I musei di queste due ultime categorie possono, in relazione sia alla strutturazione delle collezioni, sia alle finalità, essere distinti nelle seguenti famiglie.

- Tradizionali (risentono ancora dell'impostazione del passato e non hanno ancora completamente beneficiato dei rinnovamenti, legati sia alle nuove teorie museologiche, sia alle nuove tecnologie)
- Tradizionali rinnovati (pur con una impostazione generale tradizionale, hanno subito rinnovamenti anche radicali)
- Specializzati (sono dedicati ad un tema specifico, ad esempio all'automobile, all'aeroplano, alla macchina per scrivere)
- Diffusi (sono costituiti da vari insediamenti, generalmente distribuiti lungo una via di comunicazione ed in sedi significativamente collegate alle collezioni in esse conservate: ad esempio, il reparto ferroviario in una stazione dismessa, il reparto aeronautico presso un aeroporto)
- Per bambini (hanno lo scopo di insegnare, attraverso dei giochi, la fisica e le altre scienze ai bambini: ad esempio, il gioco dell'altalena è un mezzo valido per insegnare il principio della leva)
- Universitari (traggono origine dalle collezioni di reperti e di strumenti utilizzati per la didattica nelle università)
- Aziendali (sono costituiti dalle collezioni di oggetti, quali macchine, strumenti, dispositivi, prodotti dall'azienda e quindi, documentano la storia e l'attività dell'azienda stessa).

Il museo non è un'istituzione moderna: esso, infatti, deriva la denominazione da "casa delle Muse", cioè raccolta di opere d'arte, strumenti, oggetti, fatta allo scopo

di conservare la tradizione, partendo dal presupposto che dove non c'è tradizione non c'è cultura.

Vitruvio riconosce che, oltre ai valori dello spirito, delle lettere e delle arti, vi sono valori tecnico-scientifici di pari importanza.

Tolomeo II Filadelfo, nel 284 a.C., fonda il *Mouseion* di Alessandria d'Egitto, che ospita studiosi, mettendo loro a disposizione biblioteche e collezioni di strumenti scientifici.

Quella di Tolomeo, è forse, la più significativa esperienza del mondo antico.

Molto più tardi, una forma di museo più vicina a quella moderna è costituita dalle *Wunderkammer*, cioè dalle “stanze delle meraviglie” cinquecentesche e seicentesche appartenenti ad eruditi o a principi, che raccolgono accanto a *naturalia* (animali imbalsamati, minerali, vegetali), anche *artificialia* (manufatti, macchine, strumenti, oggetti d'arte).

Ad esse può essere ricondotto il museo di Manfredo Settala, singolare figura di erudito milanese, figlio del profeta della peste manzoniana Ludovico, e, sembra, ispiratore del Manzoni per la figura di Don Ferrante. Egli colleziona un gran numero di oggetti rari e curiosi: il Museo Settala nel 1751 passa alla Biblioteca Ambrosiana e nel 1943 viene distrutto dai bombardamenti.

Negli anni fra il 1610 e il 1670, Ferdinando II, Granduca di Toscana, promuove una raccolta molto ampia di strumenti scientifici: quanto è rimasto di essa, assieme ai cimeli galileiani e a quelli dell'Accademia del Cimento confluiscono nelle collezioni dell'Istituto e Museo di Storia della Scienza di Firenze.

A partire dal Settecento, si assiste a una vera e propria “esplosione” di interesse per il mondo antico. L'antichità viene, in tale periodo, sentita molto viva e ispira molti aspetti della vita compresi quelli tecnici: la scienza dell'antichità acquista una configurazione sistematica e metodologie e strumenti di indagine [1].

Durante l'Ottocento, un'importanza traente per la fondazione dei musei scientifico-tecnici è rivestita dalle grandi esposizioni internazionali [2][3] che dei musei scientifico-tecnici sono spesso state la scintilla iniziale e ai quali talora, con la loro dismissione, hanno dato origine [4].

Nascono in questo periodo il Science Museum di Londra (1851) [5], il Technisches Museum di Vienna (iniziato nel 1873 e inaugurato nel 1907), il Museo Tecnico di Tokio (1877), il Deutsches Museum di Monaco (1903) [6] il cui fondatore Oskar von Miller aveva tratto ispirazione dal Salone dell'Elettricità di Parigi (1881).

Il Deutsches Museum si pone come obiettivo specifico la salvaguardia dei capolavori tecnico-scientifici così come la pinacoteca salvaguarda i capolavori della pittura. Esso inoltre costituisce uno dei primi esempi di applicazione della

interattività: il visitatore cioè può interagire con parte del materiale esposto, ad esempio, azionando una macchina o seguendo l'evolvere di un fenomeno [7].

A Torino, nel 1862 viene istituito il Regio Museo Industriale allo scopo di promuovere l'istruzione professionale e il progresso dell'industria. Esso, a partire dal 1870, attraversa un periodo di crisi: le collezioni disperse vengono portate al Castello del Valentino dove durante la seconda guerra mondiale (1942) vengono distrutte.

All'inizio del Novecento sorge il Museo Politecnico statale di Mosca mentre, dopo la prima guerra mondiale, si sviluppano circa 100 musei scientifico-tecnici negli USA.

Nel 1929 viene riordinato l'Istituto e il Museo di Storia della Scienza di Firenze.

L'Esposizione Nazionale di Milano del 1881 [3] e l'Esposizione internazionale del Sempione (1906) [8], provocano un risveglio di interesse per le crescenti realizzazioni della tecnica. Nel 1908 Giuseppe Belluzzo, docente del Politecnico di Milano, sostiene la necessità di realizzare un museo industriale. L'idea è caldeggiata anche da un personaggio come Guglielmo Marconi e nel 1930 il Comune di Milano ne decide l'organizzazione. La guerra provoca notevoli ritardi nell'assegnazione della sede (antico Monastero Olivetano di San Vittore, 1947) e nell'inaugurazione del Museo Nazionale della Scienza e della Tecnica (ora Tecnologia) "Leonardo da Vinci", che si apre nel 1953 proprio con una grande mostra leonardesca [9]. Vale la pena qui di ricordare le parole del promotore del Museo, Guido Ucelli di Nemi:

Il Museo documenta, con raccolte e studi continuamente aggiornati, gli sviluppi ed il progresso della scienza e della tecnica. Alla base dell'ordinamento generale del Museo, vige un criterio storico che illustra ed esalta, oltre al coerente, logico susseguirsi e concatenarsi di scoperte interdipendenti, anche il fattore umano, la relazione cioè fra l'uomo ed il ritrovato tecnico, in una sintesi continua di miglioramento e di superamento. Il Museo si propone anche una funzione altamente didattica, mediante l'osservazione diretta dei fenomeni e l'illustrazione dei processi industriali, favorendo non solo la formazione di quella cultura necessaria al progredire della collettività, ma anche l'allargamento delle cognizioni singole ed il manifestarsi delle intuizioni spontanee, preziose in particolar modo per la rivelazione della personalità di ognuno.

Dopo il 1970 si sviluppano molti musei demoantropologici che documentano le attività agricole, artigianali, delle professioni popolari e che costituiscono validi esempi di musei tecnici.

I musei configurati in modo tradizionale possono presentare gli inconvenienti di un rapporto esclusivamente o prevalentemente passivo con i visitatori che si

limitano ad osservare gli oggetti esposti; inoltre essi, a parte la difficoltà comunque presente di stare al passo con il progresso, talora indulgono più alle “celebrazioni” del progresso che non alla “educazione” dei visitatori.

Il museo scientifico-tecnico, costituito solo da raccolte di oggetti, oggi è in buona misura superato. Gli oggetti devono essere valorizzati con l’inserzione in una più ampia prospettiva territoriale e antropologica.

Si presenta allora il concetto di “museo attivo” nel quale il rapporto tra visitatore e materiale esposto viene rovesciato.

Ciò avviene, ad esempio, già nel 1937 al Palais de la Decouverte a Parigi e, come ricordato, al Deutsches Museum di Monaco dove il visitatore ha la possibilità di svolgere un ruolo attivo compiendo egli stesso esperimenti sul materiale esposto con l’obiettivo di spiegare la scienza in modo semplice e mediante sperimentazioni attive.

Negli anni Sessanta musei di questo tipo tendono a svilupparsi: gli “Science Center” si propongono come una introduzione “di massa” alla scienza, attraverso stimoli, curiosità, divertimenti legati alla possibilità di riprodurre fenomeni ed esperienze. L’interattività che oggi, in misura maggiore o minore, interessa un gran numero di musei, nel caso dei musei scientifico-tecnici può avvenire sia azionando in modo “reale” una macchina o un meccanismo, sia interagendo con un sistema virtuale, sia attraverso laboratori, questi ultimi dedicati soprattutto ai bambini che, giocando, apprendono i principi base della scienza.

Tra i musei tecnici si possono annoverare anche i “musei all’aperto” [10] consistenti, in generale, in installazioni che ricostruiscono o salvaguardano un villaggio o un ambiente. Il primo di essi è il Museo Nordico fondato da Hazelius a Stoccolma nel 1873.

Gli ecomusei che studiano, valorizzano, conservano e presentano in modo globale una comunità delimitata geograficamente sono caratterizzati anche essi da una componente di museo tecnico in quanto presentano una popolazione in modo globale [11].

Il museo scientifico-tecnico, particolarmente nelle configurazioni di sistema integrato di servizi museali, può entrare come valida componente nella costituzione del “Parco Scientifico Tecnologico” [12][13]. Con tale termine si intende una concentrazione programmata, in una data porzione di territorio, di una serie di istituzioni scientifiche, quali università, centri di ricerca, industrie e, appunto, musei.

Il Parco Scientifico Tecnologico, con la sua articolata varietà di sfaccettature, riflette la complessità dell’evoluzione della conoscenza scientifico-tecnica, la organizza e la coordina.

Una notevole importanza sulla salvaguardia del patrimonio scientifico-tecnico del passato è offerta dalle collezioni. Esse si possono definire come raccolte

ordinate di oggetti omogenei (ad esempio per funzione, natura, epoca, tipo di produzione) con l'obiettivo, oltre che dello status symbol o del bene rifugio, spesso presenti, dell'interesse culturale.

Il collezionismo acquista nomi diversi in funzione degli oggetti raccolti: emerofilia (giornali), enofilia (vini), erinnofilia (sigilli chiudi lettera), filatelia (francobolli), fillumenia (fiammiferi).

Per quanto riguarda la storia della tecnica, collezioni molto importanti e con una notevole diffusione sono quelle di auto e motoveicoli, strumenti scientifici, attrezzi e utensili, macchine. Dal collezionismo si possono trarre molte informazioni sulla storia dell'arte, dell'artigianato, della scienza, della tecnica e anche sulla storia economica e politica.

Iniziatori di collezioni sono greci e romani ma è soprattutto dal Rinascimento che inizia il collezionismo in senso moderno; ciò avviene soprattutto a opera di principi e papi: Giulio II, Leone X, Francesco I, Carlo V, Lorenzo de' Medici, Margherita d'Austria, Caterina de' Medici sono grandi collezionisti.

A partire dal XVII secolo i collezionisti diventano ancora più numerosi e si incontrano anche in altri strati sociali.

Nel XIX secolo si formano grandi collezioni che spesso, in seguito a lasciti, diventano pubbliche.

Di notevole interesse sono anche le collezioni aziendali che documentano l'evoluzione della produzione dell'azienda e che non di rado costituiscono il nucleo iniziale di musei aziendali.

Una vasta problematica storico-critica sui musei è riportata in [14][15].

Considerazioni generali sulla storia dei musei si trovano in [16][17]. In [18] sono contenuti saggi di diversi autori con un'ampia panoramica sulla realtà museale in diversi Paesi ed in [19] è contenuta una indagine statistica vasta e dettagliata sui musei scientifico-tecnici in Italia.

## **Considerazioni generali sui musei**

Il museo può essere considerato come una comunicazione di sintesi, utilizzando vari linguaggi: scritto, grafico, parlato espositivo. Tale comunicazione ha la sua base fondamentale in collezioni permanenti (o, talora, temporanee) aperte al pubblico, di oggetti che abbiano interesse, in questo caso, tecnico e, specificatamente, meccanico. Nell'ambito dei beni culturali meccanici, fra le collezioni di maggior interesse si possono ricordare dipinti di soggetto tecnico, disegni, incisioni, libri, strumenti, macchine, meccanismi, dispositivi, impianti. La conoscenza esatta delle collezioni è una condizione imprescindibile per chi progetta un museo. È pure

necessario distinguere tra collezioni esposte e collezioni conservate. Un museo dovrebbe conservare tutto ed esporre solo una parte del materiale conservato, magari a rotazione.

Oggi è necessario che il museo trasmetta stimoli ed incentivi culturali ad una vasta utenza, non più solo elitaria, come avveniva in passato. Le funzioni del museo possono quindi essere ricondotte alle seguenti [17][20][21]:

- a) Raccolta dei beni scientifico-tecnici
- b) Recupero, cioè restauro dei beni raccolti, in modo tale da renderli osservabili e studiabili
- c) Conservazione dei beni così recuperati
- d) Ricerca, effettuata sui beni raccolti e conservati
- e) Didattica, cioè diffusione di conoscenze, attraverso sia alla semplice esposizione, sia ad altre manifestazioni culturali, quali, ad esempio, mostre, conferenze, seminari.

In generale, si può affermare che la configurazione generale di un museo, particolarmente tecnico e, soprattutto, meccanico, possa essere la seguente:

#### *a) Introduzione*

Comprende tutto ciò che mette il visitatore nelle condizioni ottimali per fruire al meglio della visita. Essa, in generale, può essere costituita dalle seguenti parti:

- a.1) obiettivi: sarebbe opportuno che all'ingresso il museo presentasse, attraverso pannelli, quali sono i suoi obiettivi
- a.2) "indice": esso comprende un elenco scritto ed, eventualmente, attraverso oggetti significativi, le sezioni e la loro sequenza
- a.3) criteri di visita: sarebbe utile suggerire una sequenza di visita ritenuta la più utile all'apprendimento del messaggio che il museo vuole trasmettere
- a.4) cenni storici sul museo: può essere interessante, soprattutto per i musei più antichi, presentare l'evoluzione storica del museo stesso
- a.5) cenni storici sull'edificio: molti musei trovano collocazione in edifici di grande interesse storico ed artistico.

#### *b) Esposizione*

L'esposizione costituisce la parte fondamentale del museo, con la quale esso esplica le sue funzioni istituzionali. I visitatori costituiscono, in generale, una popolazione per la quale può essere assunta, come variabile statistica, l'interesse per il materiale esposto che varia, ovviamente, da persona a persona. L'ideale sarebbe che ciascun visitatore potesse "ritagliarsi" un itinerario specifico e personalizzato. Poiché ciò è molto difficile da realizzare con un museo reale (potrebbe esserlo con un museo virtuale), si può considerare l'ipotesi di rendere possibili tre itinerari

diversi, caratterizzati da un approfondimento via via crescente e destinati a tipologie di visitatori che vanno dal semplice curioso, alla persona culturalmente impegnata, fino allo studioso. Si potrebbero allora ipotizzare i seguenti tre tipi di percorso:

b.1) sequenze di unità museali (sale, o sezioni, o vetrine) lineari, destinate a tutti i visitatori

b.2) zone (sale, o sezioni, o vetrine) di approfondimento, destinate ai visitatori con interessi culturali maggiori

b.3) sequenze lineari, zone di approfondimento ed approfondimenti ulteriori, quali, ad esempio, link, accesso a cataloghi specifici, contatti con il personale scientifico del museo, destinate agli studiosi.

### *c) Chiusura*

La parte finale del museo potrebbe comprendere le seguenti informazioni:

c.1) riassunto delle sezioni del museo con richiami sulle sezioni fondamentali e sui pezzi più importanti

c.2) catalogo multimediale del museo, con possibilità di ripercorrere virtualmente qualche sezione o di rivedere qualche pezzo

c.3) questionari, con i quali i visitatori sono invitati ad esprimere giudizi e proposte costruttive.

## **Alcune considerazioni sulla progettazione di un museo “meccanico”**

Il museo scientifico-tecnico è, come si è detto, una forma di comunicazione e, come tale, richiede una progettazione secondo passi analoghi a quelli relativi alla progettazione di un processo comunicativo. I passi verranno presentati ed applicati al caso studio relativo alla progettazione di un museo dedicato alle macchine agricole [22].

### *a) Prerequisiti*

I prerequisiti sono denominati anche “comportamento iniziale” perché il modo di comportarsi, di agire di una persona è legato alle nozioni, alle conoscenze che possiede. Si può quindi ipotizzare che, in un museo del genere, i prerequisiti dei potenziali visitatori siano riconducibili ai seguenti:

- cultura generale buona o ottima
- cultura tecnica non necessariamente presente
- interesse e motivazione buoni o ottimi

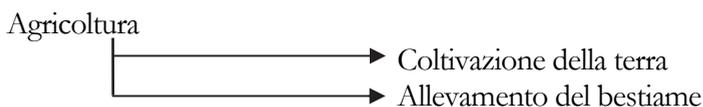
*b) Obiettivi*

Gli obiettivi, denominati anche, in analogia al punto precedente, “comportamento terminale” sono definibili come le conoscenze che i visitatori dovranno avere alla fine della visita. Essi, nel caso in oggetto, potrebbero essere definiti come segue:

*conoscenza dei problemi dell'agricoltura, definita come coltivazione della terra ed allevamento del bestiame.*

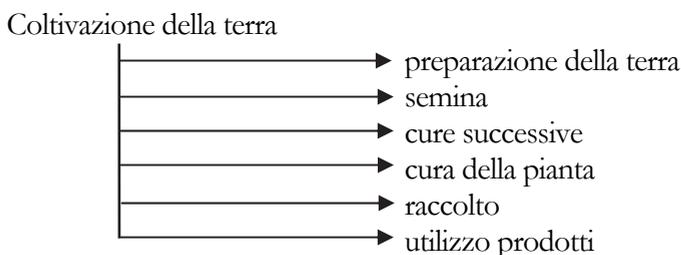
*c) Analisi dei concetti*

Un procedimento di analisi applicato al comportamento terminale permette di individuare i concetti insiti in tale definizione. Lo sviluppo del procedimento di analisi porta ad individuare concetti via via meno generali, come è mostrato nelle figure 4, 5, 6, 7.



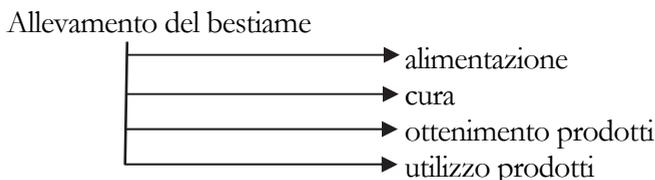
**Figura 4.** Approccio allo sviluppo dei concetti insiti nel comportamento terminale.

---



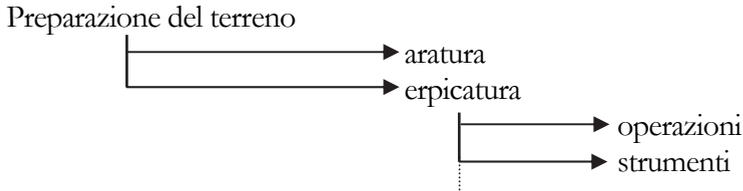
**Figura 5.** Sviluppo dei concetti scaturiti da un'analisi del concetto generale “coltivazione della terra”.

---



**Figura 6.** Sviluppo dei concetti scaturiti da un'analisi del concetto generale “allevamento del bestiame”.

---



**Figura 7.** Sviluppo dei concetti scaturiti da un'analisi del concetto generale "preparazione della terra".

#### d) Unità museale

L'unità museale relativa ad un certo concetto può essere definita come la parte di museo deputata alla trasmissione di quel concetto. Essa dovrebbe essere costituita dalle seguenti tre parti:

- informativa (RUL) o regola, con la trattazione informativa del concetto;
- critica (EG) o esempio completo, con la guida a riflettere criticamente sul concetto, esaminandolo secondo diversi punti di vista;
- applicativa (EG') o esempio incompleto, con l'aggancio del concetto ad una o più situazioni pratiche.

Nel caso del concetto "Erpicatura" (Fig. 7), le tre parti sono espresse in tabella 1.

**Tabella 1.** Le tre parti dell'unità museale relativa al concetto "erpicatura".

RUL (parte informativa)	Descrizione generale
EG (parte critica)	Ambienti di erpicatura e di utilizzo dell'erpice
EG' (parte applicativa)	Soluzioni costruttive di erpice

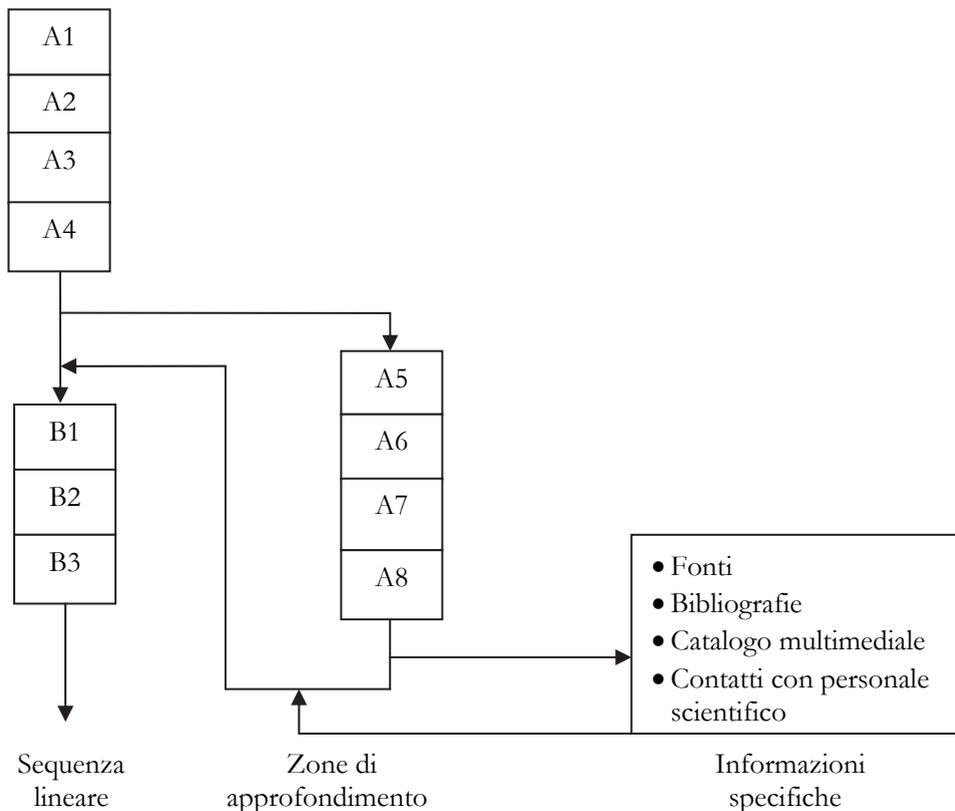
**Tabella 2.** Sviluppo dei contenuti delle parti richiamate in tabella 1.

<i>Parte informativa</i> L'erpice è la macchina che ha la funzione di completare il lavoro di aratura, preparando il terreno per la semina. L'erpice agisce con appositi denti, in moto relativo rispetto al terreno, che sminuzzano le zolle.
<i>Parte critica</i> Diorama/i con uno o più esempi di erpicatura
<i>Parte applicativa</i> Alcune soluzioni costruttive di erpice

e) *Percorsi museali*

Come detto sopra, sarebbe opportuno attribuire al museo un carattere ipertestuale, in relazione ai diversi interessi dei visitatori.

La figura 8 mostra un esempio di proposta di percorsi museali diversificati.



**Figura 8.** Proposta di percorsi museali diversificati.

La tabella 2 mostra i contenuti dell'unità museale percorsa da tutti i visitatori, mentre la tabella 3 mostra un esempio di contenuti dell'unità (delle unità) di approfondimento, da percorrere solo da parte dei visitatori più interessati.

**Tabella 3.** Contenuti dell'unità museale di approfondimento.

<p><i>Parte informativa</i></p> <p>La funzione generale “erpicoltura” si compone di un certo numero di funzioni componenti che devono essere svolte dalle varie parti dell’erpice. Tali funzioni componenti, in generale, sono</p> <p>a) sminuzzamento zolle È la funzione fondamentale, che costituisce l’obiettivo della macchina</p> <p>b) continuità fisica Costituisce il legame fisico fra tutte le funzioni componenti</p> <p>c) protezione macchina Realizza il riparo di determinate parti della macchina durante il funzionamento</p> <p>d) protezione esterna Realizza il riparo di cose e persone vicino alla macchina durante il funzionamento</p> <p>e) traslazione e direzione Realizza lo spostamento della macchina lungo una determinata traiettoria voluta</p> <p>f) livellamento terreno Realizza l’uniformità di aspetto e la compattazione del terreno lavorato</p> <p>g) profondità di lavorazione Consente di variare la profondità dello strato di terreno lavorato</p> <p>h) adattamento ai diversi tipi di terreno Consente di variare le caratteristiche della lavorazione in relazione alle caratteristiche del terreno</p> <p>i) collegamento con lavorazioni successive Consente di far seguire immediatamente all’erpicoltura altre lavorazioni</p>
<p><i>Parte critica</i></p> <p>Rappresentazioni (diorami fissi ed in moto, fotografie, dipinti, sistemi multimediali) di operazioni di erpicatura in varie epoche ed in varie zone geografiche, con commento tecnico, economico, sociologico ed umano</p>
<p><i>Parte applicativa</i></p> <p>Raccolta sistematica e commentata di soluzioni costruttive di erpice, sotto forma di macchine reali, disegni, fotografie e sistemi multimediali</p>

La figura 9, infine, mostra, come sviluppo dell’unità di approfondimento, una scheda di individuazione delle soluzioni costruttive relative alle funzioni componenti di erpice storico.



“meccanici” hanno un’importanza particolare e, inoltre, parlano di sé, raccontando una storia.

Ogni manufatto esposto esiste veramente solo quando incontra il nostro sguardo: ciò avviene a partire dall’esperienza e dalla formazione culturale del singolo individuo. Il contesto di un oggetto non riguarda solo le coordinate spaziali e temporali ma contempla vari aspetti collegati alla sua nascita e al suo impiego.

Il museo quando mostra un oggetto presenta una storia costruita di verità relative in quanto lasciano al pubblico la possibilità di vedere solo una porzione della verità [23].

Anche Francesco Antinucci [24][25] è dell’avviso che il museo, raccogliendo beni non destinati ad esso, collocandoli in luoghi e modi non previsti all’atto della creazione e destinandoli a fruitori diversi da quelli originari, è uno tra i principali agenti che destabilizzano rendendone difficile la comprensione. Inoltre, sottolinea sempre l’Autore, l’affollamento tipico delle sale museali va a discapito della percezione dei singoli oggetti a causa della difficoltà di separazione e di ricordo (memoria), della sazietà semantica (troppe esperienze dello stesso tipo e troppo concentrate) e delle dinamiche percettive (opere spazialmente troppo vicine) e attenzionali.

La comunicazione tra gli oggetti ed il pubblico non avviene in modo spontaneo e automatico, è importante quindi valutare soluzioni espositive diverse in relazione alle esigenze dei visitatori [26]. L’allestimento museale, incidendo profondamente nel rapporto pubblico-oggetti, ha il compito di agevolare l’approccio visivo del fruitore impiegando criteri che tengono conto delle modalità e delle caratteristiche percettive dei visitatori [27].

Una ricerca effettuata [28], con lo scopo di capire la relazione tra la lettura dei testi e l’interesse preesistente nel visitatore, ha dimostrato che proprio quest’ultimo fattore esercita un ruolo determinante sulla decisione di consultare le spiegazioni, e che la quantità di testo esaminata è inversamente correlata alla sua lunghezza: più è corto e maggiori sono le possibilità che venga letto per intero.

In [29] è osservato il comportamento di numerosi visitatori del Natural History Museum di Londra registrandone le conversazioni. Dalle prime osservazioni è sembrato che le persone non leggessero didascalie e pannelli. Ascoltando le registrazioni, però, è emerso un fenomeno che la ricercatrice ha chiamato test-eco: il 70% del pubblico ha usato parole e frasi tratte proprio dai supporti informativi per parlare degli oggetti esposti.

Seppellire però gli oggetti di informazioni o “impaginarli” negli spazi espositivi come fossero illustrazioni di un libro non porta al raggiungimento degli scopi educativi.

Ripartiamo dall'oggetto (il quadro, il reperto, lo strumento, il documento, ecc.) e dalla sua realtà concreta: materia, forma, origine, funzione lo rendono unico; valenze simboliche, studi, attribuzioni gli hanno dato un valore; vicende storiche e collezionistiche lo hanno portato davanti ai nostri occhi. Guardiamolo, e insegniamo al pubblico a guardarlo, con una attenzione almeno pari a quella dedicata al pannello didattico che lo accompagna. L'esortazione a guardare dovrebbe essere la prima regola, spesso disattesa, di chi conduce una visita guidata [23].

Queste obiezioni chiedono di riesaminare il ruolo rivestito dalla parola, specialmente quando ci si rivolge a un pubblico con ridotto livello di istruzione. È necessaria una riflessione attenta che riveda il grado di approfondimento dei contenuti e come inserire la terminologia specialistica trovando lo spazio per spiegarne il significato. Il museo, quindi, dovrebbe essere più morigerato nel fornire testi, selezionandoli in base alla tipologia di pubblico e costruendoli a più livelli di comprensione.

Impiegare la tecnologia per spiegare gli oggetti è un'operazione delicata che deve evitare un utilizzo sconsiderato di cui un esempio possono considerarsi le riproduzioni elettroniche perché rispettano solo le dimensioni dello schermo. Anche se il cervello umano è in grado di operare il rapporto di scala, l'effetto percettivo immediato non è affatto lo stesso: la modalità senso-motoria non corregge la scala.

Secondo Antinucci [24][25], mettere uno schermo di computer a fianco dell'oggetto e farci scorrere sopra le immagini delle «copie con ricostruzione» è una pessima idea, il cui risultato è quello di vanificare gran parte del difficile lavoro critico, concettuale ed esecutivo impiegato per la copia ricostruita. Se si utilizzano immagini elettroniche, vanno quindi usati appropriati sistemi di presentazione, come proiezioni ad alta luminosità e risoluzione che permettano di far raggiungere alle immagini le dimensioni necessarie, oppure schermi al plasma di dimensioni appropriate. «[...] un sistema più sofisticato consiste nell'effettuare la ricostruzione sull'originale non in forma fisica bensì virtuale» [24].

Il rischio più grande riguarda l'eventualità di catalizzare l'attenzione sul supporto informativo ponendo così in secondo piano l'oggetto. È altresì vero che i progressi della tecnologia hanno permesso di compiere operazioni che facilitano la lettura dei manufatti e possono diventare strumenti per pubblicizzare il nostro patrimonio in giro per il mondo.

## Evoluzione storica di soluzioni costruttive

### *Introduzione*

L'evoluzione storica di soluzioni costruttive, realizzata per via informatica, può essere definita come una raccolta sistematica di esempi significativi, collegati ciascuno ad un data-base. Così configurata, l'evoluzione storica può essere considerata l'attuazione, nel contesto moderno, dell'antico sogno di Cartesio, alla base del Conservatoire.

Un insieme ordinato di evoluzioni storiche di soluzioni costruttive può essere una utile base per la progettazione moderna, un valido strumento didattico ed un riferimento di interesse per gli storici.

### *I passi fondamentali di una realizzazione*

La realizzazione storica di una soluzione costruttiva può essere fatta seguendo, in linea generale, i passi seguenti.

#### a) Delimitazione ambito

La delimitazione dell'ambito fa riferimento ai limiti imposti in termini di:

- Soluzione costruttiva
- Costruttore
- Arco di tempo
- Paese
- Connotazioni costruttive

#### b) Ricerca fonti

La ricerca delle fonti fa riferimento a:

- Musei (generali, specialistici, aziendali)
- Archivi
- Biblioteche

Una volta fotografati gli oggetti conservati nei musei, ci si trova a gestire un archivio di sole immagini.

#### c) Raccolta casi

I casi individuati devono essere selezionati in base ad ovvi criteri di significatività e di rappresentatività.

d) Acquisizione

Le immagini relative ai casi individuati devono essere acquisite mediante scansione. La scansione può creare notevoli problemi in quanto talune immagini (soprattutto disegni aziendali) hanno grandi dimensioni e, pertanto, devono essere acquisite “a pezzi” e, successivamente, “incollate” informaticamente.

e) Restauro informatico

Molti disegni originali sono danneggiati (pieghe, umidità, macchie, stazionamento in officina) e può essere opportuno un restauro informatico.

f) Realizzazione banca-dati

Ciascun caso dovrà essere collegato ad una banca dati che dovrà comprendere, in linea generale, i dati seguenti:

- Dati generali

Soluzione costruttive

Costruttore

Modello

Paese

Anno

- Dati dell'immagine (formali)

Disegno/ fotografia

Disegno a mano/ CAD

Disegno a mano: matita/ penna

Disegno in bianco e nero /colori

Disegno in proiezioni ortografiche/assonometriche/prospettiche

- Dati dell'oggetto (contenuti)

Funzione generale

Principi/soluzioni costruttive della funzione generale

Funzioni componenti

Principi/soluzioni costruttive delle funzioni componenti

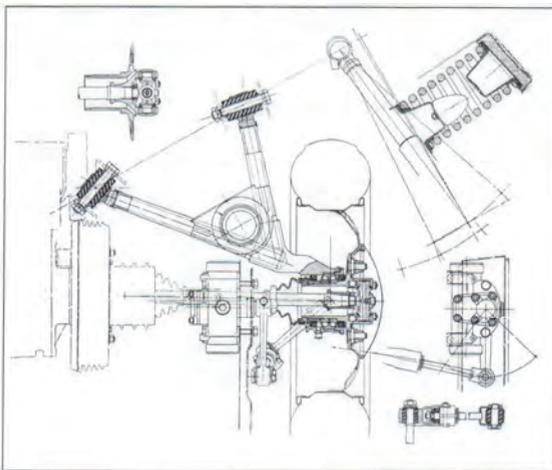
g) Collegamento immagine-banca dati

A ciascuna immagine deve essere collegato il proprio data-base ed ogni voce di questo deve essere una chiave d'accesso.

## Un caso studio [30][31][32][33][34]

Viene ora accennato, come caso studio, al procedimento di costituzione di una banca-dati relativa a disegni e fotografie di sospensioni per autovettura. Tale banca-dati è stata realizzata secondo la procedura generale menzionata al capitolo precedente. Le immagini provengono da musei, archivi e collezioni di soggetto automobilistico e corrispondono a 500 casi di esempi costruttivi, che abbracciano un arco di tempo che va dalla fine del XIX secolo fino al 2002. Ciascuna immagine è collegata ad un data-base relativo alle informazioni elencate al punto f) del precedente paragrafo, particolarizzate al caso delle sospensioni. Il data base è disponibile su [35][36].

La figura 10 mostra un esempio di videata.



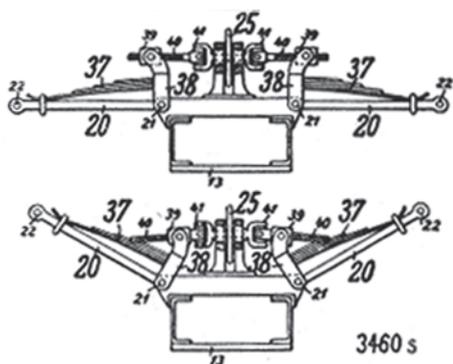
**Figura 10.** Esempio di videata dall'archivio di sospensioni.

La banca-dati di cui sopra è spesso utilizzata nella didattica: ad esempio, viene messa a disposizione di allievi, invitati ad applicarla per trovare qualche soluzione innovativa.

Ad esempio, è stato fissato il seguente compito: trovare il concept di una sospensione a barre di torsione, con variazione dell'altezza da terra ottenuta con un dispositivo semplicemente meccanico, traendo ispirazione da un esempio storico.

Esplorando il data-base è stato trovato il brevetto tedesco del 1940, rappresentato in figura 11 [30][35][36][37].

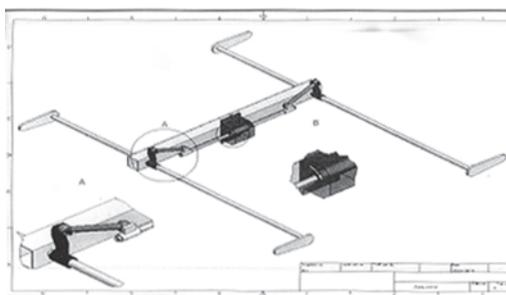
I bracci superiori (20) del quadrilatero ricevono l'azione di molle a quarto di balestra (37) trasversale, che costituiscono gli organi elastici. L'estremità della balestra che normalmente è vincolata ad incastro al telaio è qui spostabile mediante il braccetto 38, azionato, attraverso alla madrevite 39, dalla rotazione della vite 40.



**Figura 11.** Brevetto tedesco (1940) relativo ad una sospensione automobilistica con possibilità di variare l'altezza da terra con un sistema puramente meccanico.

Partendo, quindi, dalla funzione “variazione di altezza da terra”, con un procedimento di astrazione si arriva a determinare il principio generale di attuazione, esprimibile come “variazione del punto di vincolo della molla al telaio”. Nel caso di sospensione a barre di torsione longitudinali, la variazione di posizione del punto di vincolo della barra al telaio è riconducibile alla rotazione della sezione di incastro della barra stessa.

Una possibilità di attuazione di tale principio è rappresentata nel concept della figura 12 nella quale la rotazione della sezione di incastro è ottenuta con la rotazione della vite trasversale, che porta alle estremità una filettatura destra ed una sinistra. La rotazione della vite, quindi, fa allontanare o avvicinare le due madreviti che, attraverso un meccanismo biella-manovella fanno ruotare la sezione di incastro della barra [33][37].



**Figura 12.** “Concept” di sospensione a barre di torsione con possibilità di variare l'altezza da terra, tratto da un esempio storico.

## Conclusioni

Da quanto detto precedentemente risulta confermata l'importanza dei musei delle collezioni e degli archivi di soggetto meccanico. Tali istituzioni svolgono un ruolo insostituibile nella conservazione e della conoscenza dei beni culturali

meccanici: come tali, essi sono strumenti imprescindibili per lo studio della storia della meccanica. La loro valorizzazione richiede sia la loro conoscenza, sia il loro continuo arricchimento, sia la corretta gestione: ogni iniziativa in queste direzioni è, pertanto, la benvenuta.

Di particolare importanza è poi lo sviluppo di evoluzioni storiche di soluzioni costruttive: esse possono essere considerate il punto di incontro di musei, di archivi e di collezioni e possono costituire un ruolo culturale e tecnico di primo piano.

Approfondimenti sulla costituzione e l'utilizzo di archivi digitali di soluzioni costruttive si trovano in [37].

## BIBLIOGRAFIA/SITOGRAFIA

- [1] G. Pucci, *Passato prossimo*, La Nuova Italia Scientifica, Roma, 1993.
- [2] F. Pagliari, *Il trionfo della tecnica. Le Esposizioni universali*, Rivista IBM, 1991.
- [3] *Esposizione Nazionale di Milano 1881. Documenti ed immagini 100 anni dopo*, Catalogo della Mostra, Museo di Milano, 1981.
- [4] L. Aimone, C. Olmo, *Le Esposizioni universali*, Allemandi, Torino, 1990.
- [5] D.A. Robinson, *Il Science Museum e l'industria: una storia in simbiosi*, Rivista IBM, 1992.
- [6] G. Knerr, W. Glockner, *Il Deutsches Museum*, Museoscienza 2, 1992.
- [7] E.H. Berninger, *Come documentare i capolavori della scienza*, Rivista IBM 2, 1991.
- [8] E. Rovida, F. Rosa, *Gli Ingegneri e l'Industria Metallmeccanica all'Esposizione del 1906*, in *Milano e l'Esposizione internazionale del 1906. La rappresentazione della modernità*, a cura di P. Audinino, M.L. Betri, A. Gigli Marchetti, C.G. Lacaita, Franco Angeli, Milano, 2008.
- [9] *Cinque anni del Museo 1953-1958*, Museo Nazionale della Scienza e della Tecnica, Milano.
- [10] *Dichiarazione con i compiti del museo all'aperto*, ICOM NEWS 11, 1958.
- [11] A. Gniecchi Ruscone, *L'esperienza dell'Écomusée Urbaine Le Creusot Montceau Les Mines*, Tesi di laurea, Università di Milano, 1977-78.
- [12] S. Garattini, *Parchi tecnologici a rischio di lottizzazione politica*, Negri News 4, 1991.
- [13] A. Romano, *Il ruolo del parco scientifico-tecnologico*, Energia e Innovazione 1, 1992.
- [14] A. Mottola Molfino, *Il libro dei musei*, U. Allemandi, Torino, 2006.
- [15] F. Drugman (a cura di), *I luoghi del sapere scientifico e tecnologico*, Rosenberg & Sellier, Torino, 1994.
- [16] Pietro Romanelli (a cura di), *Museo perché, museo come. Saggi sul museo*, De Luca, Roma, 1980.
- [17] L. Binni, G. Pinna (a cura di), *Museo. Storia e funzioni di una macchina culturale dal '500 a oggi*, Garzanti, Milano, 1989.
- [18] R. Lumley, *L'industria del museo*, Costa & Nolan, Genova, 1988.
- [19] E. Reale, *I musei scientifici in Italia: la ricerca, la didattica e la diffusione della cultura scientifica*, Convegno nazionale "Il ruolo dei musei scientifici per lo studio, la documentazione e la diffusione della cultura scientifica. Lo scenario attuale, le prospettive", CNR, Roma, 02.12.2003.

- [20] I. Arestizabal, A. Piva, *Museo*, Garzanti, Milano, 1989.
- [21] G. Pinna, in Atti del Convegno Internazionale “Musei e Museologia”, Milano, 1980.
- [22] E. Rovida, *Contributo alla progettazione di un museo agricolo*, Convegno nazionale “Agricoltura, musei e trasmissione dei saperi”, Verona, 13-14 febbraio 1998.
- [23] M.T. Balboni Brizza, *Immaginare il museo. Riflessioni sulla didattica e il pubblico*, Jaka Book, Milano, 2007.
- [24] F. Antinucci, *Comunicare nel museo*, Laterza, Roma-Bari, 2006.
- [25] F. Antinucci, *Musei virtuali. Come fare innovazione tecnologica*, Laterza, Roma-Bari, 2007.
- [26] J. Beneš, *Variabilité des modes d'exposition*, *Museum International*, 35(2), 102-107, 1983.
- [27] M.L. Tomea Gavazzoli, *Manuale di museologia*, ETAS Firenze, 2003.
- [28] S. Bitgood, S. Dukes, L. Abbey, *Interest and effort as predictors of reading: a test of the general value principle*, *Current Trends in Audience Research*, 19, 1-6, 2006.
- [29] P. McManus, *Oh, yes, they do: How museum visitors read labels and interact with exhibit items*, *Curator* 32, 174-189, 1989.
- [30] G.F. Biggioggero, S. Calabrò, G. Menzio, E. Rovida, *Evoluzione storica di soluzioni costruttive. Il caso di sospensioni per autovettura*, Politecnico di Milano Dipartimento di Meccanica, 2003.
- [31] G.F. Biggioggero, S. Calabrò, G. Menzio, E. Rovida, *L'evoluzione di soluzioni costruttive come base per la progettazione*, Convegno Nazionale XIV ADM XXXIII AIAS, Bari, 31 agosto-2 settembre 2004.
- [32] F. Rosa, E. Rovida, *Some considerations about the modern role of the mechanical historical heritage*, 13th World Congress in Mechanism and Machine Science, Guanajauto, Mexico, 19-25 June 2011.
- [33] F. Rosa, E. Rovida, *The historical heritage: a tool in the abstraction process in the modern design*, International Design Conference DESIGN 2006, Dubrovnik, Croatia, May 15-18, 2006.
- [34] M. Fagnoli, E. Rovida, *The use of historical database in engineering education*, AEDS 2004 Workshop, Pilsen - Czech Republic, 11-12 November 2004.
- [35] URL: <<http://ddg.mecc.polimi.it>>.
- [36] URL: <<http://ingprj.diegm.uniud.it/bricks/confpresing/home.htm>>.
- [37] E. Rovida, *Machines and Signs. The history of drawing of machines*, Springer, Dordrecht, 2013.

### **Per approfondimenti:**

- S. Bitgood, *Environmental psychology in museums, zoos, and other exhibition centers*, in Bechtel, A. Churchman (Ed.), *The Environmental Psychology Hand-book*, Publishing House Wiley, New Jersey, 2002.
- M.F. Mortensen, *Analysis of the educational potential of a science museum learning environment: visitors' experience with and understanding of an immersion exhibit*, *International Journal of Science Education*, Taylor & Francis, 2011.
- C.J. Tuckey, *Schoolchildren's Reactions to an Interactive Science Center*, *Curator: The Museum Journal* Volume 35, Issue 1, pages 28–38, March 1992.

Nonostante il vivo ed ancora attuale dibattito sulla nascita, sviluppo, validità e ruolo della rivoluzione industriale molti studiosi condividono il giudizio dello storico americano David S. Landes per il quale, nel lavoro il *Prometeo liberato*, i suoi effetti sono stati per il genere umano simili alle conseguenze del gesto di Eva nel raccogliere il *frutto proibito*. Infatti se un'affascinante evoluzione dei materiali e degli impianti ha coinvolto la società nel corso dell'Ottocento e nel Novecento, rendendo difficile da stabilire quale sia stato l'elemento della meccanica protagonista dell'età contemporanea, tuttavia, tale emancipazione sociale ed economica non sarebbe stata possibile nello spaccato significativo della storia dell'industria, del mondo del lavoro, della tecnologia, dell'ambiente, ecc., senza il *frutto dell'albero del sapere* in virtù del quale si sono quindi attuate le nuove forme dell'industrializzazione e delle macchine e si sono mutati i comportamenti sociali e le forme di vita.

In tale prospettiva crediamo che sia stato particolarmente importante che nell'anno in cui l'Università di Cambridge ha celebrato i suoi Ottocento anni di vita, nel 2009, promuovendo numerosissime iniziative ed assumendo ancora in modo più determinante un ruolo nella cultura mondiale, si sia ricordato il bicentenario dalla morte di Matthew Boulton, con una mostra presso il Fitzwilliam Museum, museo collegato per le iniziative all'Università di Cambridge. Essa era basata sul rapporto sviluppo tecnologico - rivoluzione industriale e legata alla figura di questo studioso ed alla attività della *Lunar society*. Nelle bacheche era presentata la citata organizzazione dedita a scienze ed invenzioni e si ricordava che era costituita da imprenditori, filosofi, intellettuali ed ingegneri. Essi dal 1766 al 1813 s'incontravano a Birmingham, nei giorni di luna piena, e tale circostanza evidenziava sia una certa autoironia, in quanto amavano proporsi con l'appellativo di lunatici, sia un'insostituibile esigenza, perché solo la luce della luna piena consentiva ai partecipanti di rientrare nelle abitazioni. Boulton, tra l'altro, aveva fondato una *fonderia* a Soho per tentare di superare il problema della *falsificazione delle monete*, una difficoltà enorme non solo in Inghilterra, e per aprire la via alla produzione di opere

---

<sup>1</sup> In alcune parti del lavoro mi sono rifatta al mio testo *Storia, scienze, ingegneria, industrializzazione: aspetti della ricerca scientifica europea* pubblicato nella «Rassegna Storica Lucana», numero 49-50, pp. 143-166. In un discorso più ampio cfr. *L'ingegneria e la sua storia, Ruoli, istituzioni, contesti culturali nel XIX e XX secolo*, a cura di A. Di Leo, Marlin Editore, Cava de' Tirreni 2007. Il volume presentato nel 2009 a Cambridge ha ottenuto vasti consensi per la ricerca svolta presso la Facoltà di Ingegneria di Salerno.

artistiche in metallo. Soprattutto collaborava per l'utilizzazione del motore a vapore e, creando la "Boulton e Watt", ottenne un enorme riscontro commerciale, contribuendo al ruolo della Gran Bretagna come nazione guida per l'industrializzazione. Nella prima bacheca della mostra era presentato un gruppo dei soci impegnati nelle attività di ricerca per circa cinquanta anni, come era dimostrato dalle loro intense corrispondenze. Fra questi erano Matthew Boulton, Erasmus Darwin, James Watt, Josiah Wedgwood, Joseph Priestley: accanto ad ognuno erano ricordate le date di nascita e di morte. La seconda bacheca, dal 1797 al 1804, si occupava della stampa delle monete ed esponeva le medaglie create da Boulton. Nella terza era presentata la sede di Birmingham; nella quarta *The Sobo manufactory*, foto dello stabilimento e della macchina per la pressa. Infine l'ultima bacheca aveva l'indicazione *The early years of the Sobo mint* e la raffigurazione di Boulton.

Tenendo presente la necessità di rintracciare i tesori del sottosuolo, divenuti indispensabili, proprio nelle *miniere* fu utilizzata (1764) "la macchina a vapore". Essa, nel corso dell'esperimento, pur perdendo il 90% del vapore, permetteva di liberarsi dalla schiavitù dell'energia idraulica e determinava nuove e diverse aggregazioni industriali. Dimensioni nuove si schiudevano nella società con varie reazioni negative e positive perché se mutava l'aspetto di molte città e del *paesaggio*, con l'espansione delle fabbriche e la creazione della *questione operaia*, tuttavia l'era del vapore iniziava il suo percorso e apriva la prospettiva al mondo della produzione industriale, delle locomotive, dei piroscafi, delle strade ferrate, della motorizzazione.

Risalta, nel quadro della problematica in oggetto, il ruolo delle prime associazioni professionali.

L'*Institution of Civil Engineers*, fondata nel 1771, configurata come organismo professionale nel 1818, e l'*Institution of Mechanical Engineers*, formalizzata nel 1847 e avente come primo presidente George Stephenson, storicamente erano state con i loro statuti impegnate ad istruire i soci con aggiornamenti scientifici sulle grandi problematiche della ingegneria civile e della meccanica.

La loro storia in Westminster testimonia un problema che affonda le radici in un processo culturale storico diffuso in gran parte d'Europa: il metodo nell'insegnamento delle conoscenze per la formazione tecnica e scientifica. Infatti gli aggiornamenti ed il grado di formazione degli uomini impegnati in operazioni tecniche venivano considerati, non dallo Stato, ma dalla stessa comunità degli ingegneri, come ricordato da Gianluca Lapini nelle riflessioni sulla ingegneria inglese del primo Ottocento.

In un quadro, considerato particolarmente importante per la vita delle due prime associazioni, per i personaggi e la scena riprodotta, dipinto da John Lucas per ricordare la costruzione del "Britannia Bridge", si ha un esempio di tali percorsi. Al centro di un gruppo di quattordici studiosi vi è Robert Stephenson che, pensoso,

illustra, tenendo una mano sui disegni, la dimensione dei tubi per il Britannia Bridge, al lato è il suo assistente Charles Hurd Wild che prende appunti, mentre ascoltano gli ingegneri Isambard Kingdom Brunel, Joseph Locke, ingegnere per le ferrovie, Geoges Parker Bidder e l'ufficiale navale Christopher Claxon, amico di Brunel e capace di consigliare su alcune questioni scientifiche. Tutti i presenti dimostrano grande attenzione mentre, in primo piano, è raffigurato uno sgabello con una grande cartella e strumenti necessari alla professione.

Il passaggio dal mestiere alla professione d'ingegnere, le caratteristiche dell'ingegneria meccanica inglese, tra apprendistato, intuizioni, capacità e meriti individuali, ebbe una sostanziale e concreta evoluzione scientifica con la diffusione di una diversa concezione ingegneristica più articolata ed internazionale sollecitata anche, in modo sottile, già dal padre di Brunel, l'ingegnere Marc. Lo dimostrano opere come le *Ferrovie* realizzate dai Stephenson o la Great Western Railway «il biliardo di Brunel» che, con particolari accorgimenti, serviva per collegare nel 1841 «from London to Bristol». L'opera incessante di Isambard Kingdom Brunel (1806-1859), anche rivolta ai piroscafi, fa definire questo ingegnere da Steven Brindle nel suo volume *The man who built the world*. Tra i vari musei di Londra dedicati all'evoluzione della meccanica è da visitare il famoso *Science Museum* di Londra, un museo, che, data la molteplicità dei fondi e delle collezioni, costituisce una fonte inesauribile di ricerche sull'argomento. La collezione dei mezzi di trasporto, che evidenzia anche il passaggio dalla macchina a vapore di James Watt all'uso del motore a scoppio, è una delle più interessanti: antiche imbarcazioni, velieri, sommergibili, treni e locomotive, i primi prototipi di auto, velocipedi e biciclette, elicotteri ed aeroplani, tra i quali i modelli originali degli aerei utilizzati per sorvolare l'Oceano Atlantico nel 1919 e per il passaggio sull'Australia nel 1930. Le visite di studio permettono collegamenti con vari aspetti della disciplina ed offrono, pertanto, numerose riflessioni sulla lavorazione e produzione dei metalli, sulla storia dei trasporti ed indirettamente il loro collegamento con la vita quotidiana. Costituisce particolare richiamo la prestigiosa “Puffing Billy”, la più antica locomotiva a vapore esistente.

Indubbiamente il treno si presenta come elemento dinamico ed innovatore della società e ben si adatta, lentamente, nella età contemporanea, all'affermazione del mondo borghese come ricordano le tante *cartoline postali*, di vari luoghi, che, con la scritta *saluti*, raffiguravano e celebravano gli uomini eleganti con le cartelle di affari e le donne con colletti, guanti e cappelliere mentre nelle stazioni arrivava, con il suo messaggio di velocità e di efficienza, la locomotiva. Certo la sua diffusione sollecitava strutture ed infrastrutture da realizzare secondo capacità ed intuizioni innovative.

I mezzi di trasporto valgono per le scoperte geografiche e scientifiche, fra le quali rilevanti tra Ottocento e Novecento, le missioni all'Antartico, quinto continente in ordine di grandezza e completamente coperto da ghiacci, che danno una diversa e acuta dimensione al rapporto fra evoluzione della meccanica e capacità umane come, fra l'altro, testimonia il *Polar Museum* di Cambridge, con particolare riferimento alle intuizioni di Robert Falcon Scott (1868-1912).

Ma l'era della motorizzazione di massa doveva sconvolgere la società civile in particolare dal 1909, con il modello T di Henry Ford. Sullo sfondo dell'Europa che celebrava Parigi e la *Tour Eiffel*, anche con una grande marcia sulle scale della torre, l'Italia del primo Novecento è raffigurata nella rivista «L'Illustrazione Italiana» e nelle copertine della «Domenica del Corriere». La bicicletta, il giro ciclistico di Francia che si corre dal 1903, ed il Giro d'Italia, che, alle tre meridiane del 13 maggio 1909 parte da Milano, conquistano il pubblico, che segue gli avvenimenti e che, con interesse, si affolla sul traguardo di ogni tappa. I primi campioni come Ganna di Varese, Rossignoli di Pavia, Beni e Celle aprono la strada a personaggi del valore di Coppi e Bartali, che riempiono, con le loro imprese, il tempo libero di molti italiani; questo sport si diffonde tanto che alla bicicletta si ispirano anche alcune canzoni popolari. La nascita e lo sviluppo della FIAT incrementano la possibilità, in qualche decennio, secondo tempi logici, di passare dall'uso della carrozza all'uso dell'auto come strumento di lavoro, di svago, di stato sociale. Nel periodo del "miracolo economico" l'utilitaria diviene una concreta possibilità, mentre le Ferrari sono le protagoniste dei sogni, dello sport e della passione sportiva. Il ruolo indispensabile delle *autoambulanze* si sviluppa durante e dopo gli avvenimenti bellici, ed apre alle nuove forme del *pronto soccorso* e della rianimazione, il cui valore, medico e sociale, è testimoniato, poi, dal 118.

La *pubblicità* diviene presto forma di comunicazione privilegiata per le conquiste della meccanica in ogni campo domestico: grammofoni, scaldabagni a gas, binocoli, macchine fotografiche, automobili, macchine da scrivere, lavatrici, televisori, frigoriferi, ecc., che segnalano l'evoluzione tecnologica ed evidenziano, con l'uso dei prodotti della meccanica, il mutare del *ruolo femminile nel lavoro e nelle mura domestiche*, costituendo un aspetto non trascurabile *della storia di genere*.

Nelle copertine di Beltrame non mancano i disastri ferroviari, che evidenziano come il treno sia divenuto il mezzo di locomozione prevalente, iniziano le illustrazioni sui fratelli Wright che cominciano a imporre l'aeroplano all'attenzione generale e le notizie sugli incidenti di auto, anche quando l'automobile costituisce ancora una rarità. Le navi influiscono e consentono l'emigrazione nelle Americhe, anche se il «Corriere della sera», dell'8 aprile 2011, con l'articolo *Quando i naufraghi eravamo noi*, ricorda alcune "date nere" che segnano gli incidenti marittimi che costarono la vita a tanti *emigranti italiani*. Nel 1891 affondava l'Utopia, nel 1898 il

Bourgogne, nel 1906 il Sirio «che non aveva le doppie eliche» e nel 1927 la Principessa Mafalda. La nave, a lungo ammiraglia della flotta commerciale italiana, nell'ultimo viaggio dell'undici ottobre 1927, vide per otto volte fermarsi i motori nel Mediterraneo ed il capitano per otto volte li fece ripartire, cercando riparazioni alla parte meccanica a Dakar e a Capo Verde.

In effetti maggiori accorgimenti e verifiche cominciarono dagli anni Trenta del Novecento. Le motonavi con partenze settimanali per il Nord America (Genova-Nizza-Napoli-Gibilterra-New York, oppure Trieste-Napoli-Marsiglia-New York) e per il Sud America (Genova-Nizza-Barcellona-Brasile-Plata oppure Trieste-Napoli-Brasile-Plata) permettevano di affrontare viaggi più sicuri e confortevoli. Le navi saranno anche petroliere e porta containers.

In particolare l'automobile come tecnica, trasporto, velocità, sollecita il mutare della vita nei luoghi privati e sociali. La nascita delle *case automobilistiche* con i loro regolamenti e lo sviluppo della rivalità sono pagine significative nelle attività delle nazioni e della vita quotidiana. Esse sono testimoniate, poi, dall'OICA una specifica federazione che si interessa anche delle esposizioni internazionali. Ugualmente si evidenzia in modo sempre maggiore il ruolo assunto nelle comunità dai *meccanici*, da quelli delle concessionarie fino ai meccanici di fiducia delle città e dei paesi, per la revisione, il controllo e la sicurezza di freni, pneumatici, accessori.

L'Automobile Club Italiano spesso ricorda, con la rivista mensile *Le Vie d'Italia*, l'incremento del numero dei soci e consiglia mete e percorsi che sostituiscono le "gite fuori porta", inaugurando la nuova stagione del turismo, propagandando le lingue straniere e vari sport che contribuiscono a «beneficare i corpi, gli spiriti, le menti». Nascono le scuole per la guida di autoveicoli e fra queste la Scuola Baj, autorizzata dal Ministero con decreto 17528 e premiata con medaglia d'oro. Nella propaganda su *Le Vie d'Italia* del 1931 essa si vanta di avere fatto ottenere la patente ad "un esercito" di 40.000 persone. Solo più tardi, con l'esigenza di rendere più sicura la vita degli automobilisti, si diffondono le polizze assicurative, dapprima volontarie e poi obbligatorie.

Nelle pagine del mensile vi sono anche indicazioni sul calendario automobilistico e sui grandi premi internazionali e diviene significativa l'informazione sulla produzione mondiale del greggio, in relazione al problema dei carburanti, ed il profilo dei profitti dell'industria automobilistica. Hanno notevole rilievo nella pagina *Ferrovie* le indicazioni sulla nascita, fra le due guerre, delle nuove comunicazioni effettuate con treni di grande velocità tra l'Europa e l'Italia; «i grandi espressi internazionali» creano un ampio quadro di nuove forme di comunicazione a «vantaggio e per il prestigio» del nostro Paese. Il nuovo treno, del 1931, Riviera-Napoli Express presenta aspetti interessanti rispetto ai servizi precedentemente esistenti, sia per le comunicazioni internazionali, sia per le comunicazioni tra zone

interne del Paese. Esso compie, tra l'altro, il percorso Milano-Roma impiegando solo 9,42 ore in confronto delle 11,15 o 12,55 ore richieste dagli altri treni ordinari. Uno sguardo all'evoluzione degli *orari ferroviari* e alla riduzione dei tempi di ogni percorso è un segnale dell'impatto tra miglioramenti tecnologici della meccanica, come la storia dell'ingegneria meccanica dimostra, e conseguenze nella società civile contemporanea, che considera sempre di più la velocità un valore importante nell'ambito del mutare del valore del *tempo*. Il tempo, visto sotto tante angolazioni, nella vita è uno degli elementi con il quale dobbiamo relazionarci in tutti i modi e, in effetti, solo l'avanzare della cultura nella sua complessità, umanistica e scientifica, può consentire di viverlo meglio.

Nei *francobolli*, indirettamente, viene celebrato il ruolo sociale della meccanica attraverso collezioni filateliche che ricordano tale tema, nelle portaerei della marina militare, nell'aeronautica, nei modelli di auto, ecc. e naturalmente si amplia, anche con tutta la sua importanza, nel XX secolo, la storia delle comunicazioni internazionali, con i francobolli e la *posta aerea* che si aggiunge al *servizio postale navale* sorto nel 1892.

Nascono i saloni di esposizione di modelli, come quelli di Parigi, primo al mondo per le auto e poi salone dell'aeronautica, di Londra e di Ginevra, che espongono le produzioni di varie marche, i cui perfezionamenti tecnici ed estetici sono poi evidenziati nelle fiere di auto d'epoca e nei vari musei delle auto, tra i quali il recente museo italiano inaugurato a Torino dal Presidente della Repubblica Napolitano il 17 marzo 2011. Fra i simboli internazionali di eccellenza sono da citare il museo Ferrari a Maranello ed il museo Casa Enzo Ferrari a Modena e tra le mostre del "ciclo e del motociclo" il museo della Moto Guzzi a Mondello del Lario.

I musei della meccanica sono un'evidente storia dei cambi, delle frizioni, delle carrozzerie; una storia dei disegni, dei motori e dei materiali, legata a personaggi e "miti", da Niki Lauda a Michele Alboreto a Valentino Rossi, ed a circuiti sportivi come Montecarlo, Monza o del Mugello. E tuttavia nelle sedi storiche realizzate si cominciano a diffondere, accanto alle tradizionali esposizioni, anche attività didattiche e documentazioni basate su giornali, fotografie, quadri, fumetti e canzoni che offrono riflessi sociali vivissimi e significativi non solo per gli appassionati dei motori e delle macchine. In modo particolare si accosta a tali iniziative il museo di Guido Fisogni, sorto nel 1966 a Palazzolo Milanese, dedicato alla storia dei distributori di benzina e costituito da ben 7.500 pezzi.

Costituisce una fonte validissima per l'indagine storica sul rapporto tra l'industria meccanica ed il mondo rurale il museo "Gino Tonutti", allestito in quegli spazi che una volta erano la *vecchia fabbrica di attrezzi agricoli* della famiglia. Si evidenzia con la struttura il valore dell'*archeologia industriale*, aspetto della ricerca per il quale richiamiamo alle numerose iniziative ed ai programmi scientifici dell'AIPAI

in relazione al tema trattato, mentre i mezzi esposti rendono visibile l'indispensabile tappa della *meccanizzazione del lavoro agricolo*: una imballatrice è del 1925 ed altri macchinari sono in particolare degli anni Trenta e Quaranta del Novecento. Si evolvono materiali, strutture, forme, disegni, funzioni, secondo l'impulso che l'evoluzione della collettività e dell'attività imprenditoriale sollecita nell'ampio e costruttivo rapporto tra industria e società contadina caratterizzato da molteplici realtà economiche e sociali. Nella storia dei beni archeologici ed industriali merita indubbiamente una particolare attenzione la grande pressa idraulica per fucinare l'acciaio, esposta, nel 1999, nella piazza della stazione di Terni ed in funzione dal 1935 al 1993, sia come simbolo del rapporto macchina e monumento, sia per il richiamo all'industria meccanica, struttura portante della economia delle nazioni.

Fin dall'inizio della sua pubblicazione, avvenuta nel mese di luglio del 1927, la rivista tecnica per eccellenza del Novecento, *L'Ingegnere*, presenta, naturalmente, una serie di elementi relativi ai compiti, avanzamenti, studi della meccanica, proponendo riflessioni per tanti aspetti della ricerca storica: il ruolo degli imprenditori, le politiche dei vari governi, gli avanzamenti tecnologici, le *competenze necessarie*, evidenziando come l'ingegneria meccanica partecipi in modo particolare allo slancio del secondo dopoguerra, quando la nostra nazione dovette attuare una grande trasformazione costituzionale, sociale, economica, culturale. I problemi legati alla necessità di ricostruire impianti industriali avevano dato non solo uno sprone al rinnovamento delle tecnologie, ma, unendo teoria e sperimentazione, nei progetti, si cercavano di individuare gli elementi utili per attuare le migliori scelte in un clima di grande austerità, come si rileva fin dal primo Convegno Nazionale per la ricostruzione dell'Industria, che si tenne a Milano nel 1946 in occasione della Fiera. Nell'ambito di tali indagini la citata rivista pubblicava la sintesi dei lavori, e, nel gennaio del 1952, l'articolo dell'ingegnere Evandro Chicca su *Le difficoltà che travagliano l'industria meccanica italiana* ove sono analizzate cause tecniche, fiscali e politiche. I temi trattati nei due testi toccano: le politiche governative, l'esame della situazione dell'industria italiana nel dopoguerra, l'indirizzo della produzione e le possibilità di sviluppo nell'ambito dell'economia mondiale, il problema delle materie prime e dell'energia motrice, l'organizzazione della produzione, l'esame delle condizioni degli impianti, i cicli di lavorazione e loro applicazione, l'unificazione e semplificazione, la loro influenza sul mercato interno ed estero, l'efficienza tecnica ed amministrativa, la ricerca scientifica, gli istituti e laboratori scientifici di ricerca, la formazione di una coscienza tecnica nel Paese, l'istruzione professionale. Tutto allo scopo di portare un reale ed efficiente contributo alla riorganizzazione, attraverso lo studio dei metodi e mezzi per potenziare la competitività economica. Influssano cause complesse per le quali era impossibile concepire di intervenire, su una sola di esse, con provvedimenti miracolistici. Ai

costi di produzione, della mano d'opera e dei materiali, bisognava aggiungere gli oneri sociali e fiscali, inoltre gravava sul costo della mano d'opera eccessiva l'impossibilità di ridurre le attività industriali alle reali richieste dei mercati del dopoguerra che dovevano anche tenere conto dell'elevato costo delle materie prime che provenivano in gran parte dall'estero. Accanto a tali analisi si cercava di configurare anche un modello di industria meccanica diverso, basato su una maggiore vita associativa che facesse vivere, nelle sedi opportune, le richieste delle varie componenti sociali. Le "esigenze associative" dovevano sempre di più assumere un ruolo pregnante come accadeva nei Centri sociali *Marzotto* nel Veneto, *Olivetti* in Piemonte, *Opera sociale Vaccari* in Liguria, nelle *Associazioni sociali Edison*, *Crespi*, *Pirelli*, *Agnelli* ed altre in scala minore. Il valore sociale di un'azienda si doveva basare sulla capacità dei dirigenti di stabilire rapporti umani e sociali integrati e vivificati. Su tali indicazioni si avviava la meccanica alle concrete esigenze del secondo Novecento con fasi alterne e con la presenza di imprenditori provenienti dalle esperienze sostanziali delle officine e della gavetta, capaci di organizzare piccole e medie industrie meccaniche nei decenni 1961-1991. Naturalmente in tale periodo è da evidenziare l'ampio e complesso fenomeno emigratorio dei giovani del Sud dell'Italia chiamati in vari ruoli ad impegnarsi nelle attività della FIAT e delle altre industrie meccaniche del Nord. Dopo gli anni Novanta subentrava una nuova fase economica e si cominciava a risentire della diffusione informatica promossa dal Giappone che imponeva nuove tecnologie divenute, sempre di più, indispensabili e caratterizzanti il nuovo secolo.

In realtà le conseguenze della diffusione della meccanica, in tanti campi del vivere civile, comporta il pericolo che l'evoluzione scientifica possa oltrepassare quanto la stessa "natura", intesa come quotidiano, possa concedere. Infatti i riflessi dell'economia globale e l'evoluzione di vari campi della ricerca creano la necessità di trattare, in modo sempre più determinato, dell'ambiente e della politica che ad esso si rapporta in un ampio intreccio che fa emergere le gravi contraddizioni implicite nello sviluppo tecnologico e scientifico dell'età contemporanea e che evidenzia i limiti ed i quesiti dello stesso sviluppo. Ciò richiama una maggiore valutazione per i temi relativi allo studio dei rapporti fra uomo e risorse ambientali per quanto concerne il clima, l'inquinamento o l'esaurimento delle risorse: elementi che intervengono sul rapporto ingegneria, meccanica, ambiente, invitando ad approfondire le ricerche sui veicoli alternativi, ibridi, solari e sulle sfide al risparmio energetico. La rivista *L'Ingegnere Italiano* ricorda che per superare le sfide del nostro secolo servono creatività, fantasia, ricerca ed innovazione. A confermare il valore di tali indicazioni vi è la realtà prestigiosa di Birmingham che evidenzia anche l'importanza delle grandi collaborazioni internazionali con la Cina e l'India. Le West Midlands sono il maggiore punto di riferimento per la rinascita delle auto

inglesi e per tutto quello che a parere di molti caratterizza il nuovo aspetto della rivoluzione industriale: intensa ricerca scientifica, lavoro altamente qualificato, sostenibile impatto ambientale. In una suggestiva circostanza storica, evidenziata nella contea da alcuni musei, il rinnovamento avviene proprio in quei territori che hanno visto i villaggi minerari di Coventry, le attività della *Lamar society*, gli esperimenti con “la macchina a vapore” di James Watt e le valide intuizioni nella meccanica dell’ingegneria inglese.



## AUTORI

---

*Annalisa Banzì*, cultore della materia in Psicologia della Percezione Artistica

*Enrico Bazzaro*, già ordinario di Costruzione di Macchine presso il Politecnico di Milano

*Gian Francesco Biggioggero*, già ordinario di Disegno di Macchine presso il Politecnico di Milano

*Virginio Cantoni*, ordinario di Sistemi per l'Elaborazione delle Informazioni presso l'Università degli Studi di Pavia

*Francesco Caputo*, ordinario di Disegno Assistito dal Calcolatore presso l'Università degli Studi di Napoli "Federico II"

*Vito Cardone*, ordinario di Disegno presso l'Università degli Studi di Salerno, già presidente della Conferenza dei Presidi delle Facoltà di Ingegneria

*Emilio Chirone*, professore onorario presso l'Università degli Studi di Brescia, già ordinario di Disegno Tecnico Industriale

*Andrea Cinotti*, progettista di macchine operatrici e libero professionista del settore

*Carlo Crespellani Porcella*, già responsabile Comunicazione e Formazione per la Fondazione IBM

*Umberto Cugini*, professore emerito di Metodi di Rappresentazione Tecnica presso il Politecnico di Milano

## AUTORI

*Roberto Curti*, operatore di esperienze museografiche per la valorizzazione della cultura tecnica e del patrimonio industriale, in particolare della Fondazione del Museo del Patrimonio Industriale del Comune di Bologna

*Peter Dannecker*, lettore presso la Bundesakademie für Wehrverwaltung und Wehrtechnik di Mannheim, lettore presso la CCG (Carl-Cranz-Gesellschaft für technisch-wissenschaftliche Weiterbildung) di Wessling, sezione VS (difesa e sicurezza)

*Paolo Dario*, ordinario di Robotica Biomedica presso la Scuola Superiore Sant'Anna di Pisa

*Adriana Di Leo*, già ordinario di Storia dell'Ingegneria presso l'Università degli Studi di Salerno

*Roberto C. Garberi*, assistente attività didattica cattedra Storia dell'Industria presso l'Università degli Studi di Milano e collaboratore/consulente presso Fondazione Agusta

*Michele Gasparetto*, ordinario di Misure Meccaniche e Termiche presso il Politecnico di Milano

*Giancarlo Genta*, ordinario di Meccanica presso il Politecnico di Torino

*Andrea Giuntini*, associato di Storia Economica presso l'Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

*Francesco Jovane*, professore emerito di Sistemi Integrati di Produzione presso il Politecnico di Milano

*Vittorio Leoni*, già Presidente Vicario di Federazione ANIMA Confindustria

*Vittorio Marchis*, ordinario di Storia della Scienza e delle Tecniche presso il Politecnico di Torino

*Edoardo Rovida*, già ordinario di Disegno e Metodi dell'Ingegneria Industriale presso il Politecnico di Milano

*Sergio Sartori*, già direttore dell'Istituto Metrologico G. Colonnetti di Torino

*Attilio Selvini*, ordinario di Topografia e Cartografia nel DIAR del Politecnico di Milano, già presidente della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia (SIFET)

*Francesco Tozzi Spadoni*, già Amministratore Delegato di molte aziende tessili, titolare di alcuni brevetti nel settore e ventennale collaboratore de "Il Giornale dell'Ingegnere"



# HISTORY OF MECHANICS

## ABSTRACT

The committee for the History of Engineering of the Faculties of Engineering Deans Council (Conferenza Presidi delle Facoltà di Ingegneria, now Conferenza per l'Ingegneria, CopI) decided to promote a sequence of monothematic meetings with the aim of producing a comprehensive series on the *History of Italian Technology*. Each book is anticipated by a workshop, which includes a set of lectures on a specific topic and which plans the issues to be addressed in the book, going through the content discussion and the detailed analysis of subjects, gaps and overlaps.

The first two books of the series deal with the history of the electrical technique (*Storia della Tecnica Elettrica*, Cisalpino, 2009) and the history of telecommunications (*Storia delle Telecomunicazioni*, Florence University Press, 2011) respectively.

This third book is devoted to the history of mechanics (*Storia della Meccanica*) and the content has been discussed during an 'ad hoc' workshop held at the Milan Polytechnic Institute on April 28<sup>th</sup>, 2011.

The subjects are considered under different aspects: the history of ideas and discoveries, the birth and the growth of the mechanical industries, the impact in education particularly in the universities, the socio-economic reflections, up to the critical issues conveyed by the global crisis.

The two volumes provide an overview of the mechanical evolution in Italy given by experts of universities and protagonists of industrial sectors, and are of interest to students and researchers. Another goal is to promote this area in the new generation, with possible motivations towards innovative research in the field.



## TABLE OF CONTENTS

---

- VII *Foreword*  
Vito Cardone
- XIII *Introduction*  
Virginio Cantoni, Vittorio Marchis, Edoardo Rovida

### **The schools**

---

- 3 *Schools of mechanics*  
Gian Francesco Biggioggero and Edoardo Rovida
- 39 *Notes on the history of machine design*  
Emilio Chirone
- 97 *Machine design*  
Umberto Cugini and Giancarlo Genta
- 139 *Mechatronics and robotics*  
Paolo Dario and Umberto Cugini

**From the laboratory to the society**

---

- 155 *The contribution of metrology*  
Michele Gasparetto and Sergio Sartori
- 213 *Associations in Mechanical Field*  
Vittorio Leoni
- 237 *The mechanics industry in Southern Italy*  
Francesco Caputo

**Mechanics of transports**

---

- 315 *The mechanical production in the railway rolling stock sector. A general view between XIXth and XXth centuries.*  
Andrea Giuntini
- 341 *The technology evolution of the rotating wing and the Agusta Westland contribution*  
Roberto C. Garberi
- 427 *Wheels and engines*  
Edoardo Rovida

**Mechanics in the industrial production**

---

- 463 *Production systems for the future factory*  
Francesco Jovane
- 475 *Machinery in industrial manufacturing*  
Roberto Curti and Andrea Cinotti
- 545 *Precision mechanics, with particular reference to surveying and photogrammetric instruments*  
Attilio Selvini

- 573 *History of the technological textile development*  
Francesco Tozzi Spadoni
- 615 *History of the lifting equipment*  
Enrico Bazzaro
- 641 *The mechanics of handguns*  
Attilio Selvini and Peter Dannecker

### **Theatres of mechanics**

---

- 693 *Feedback thinking between Art and Mechanics*  
Carlo Crespellani Porcella
- 771 *Collections, archives, museums*  
Annalisa Banzi and Edoardo Rovida
- 795 *Mechanics and society*  
Adriana Di Leo



## EDITORS

---

**VIRGINIO CANTONI** is born in 1948. He is full professor in Computer Engineering at the University of Pavia and former Dean of the Faculty of Engineering. In the period 2008-2011 he has been seconded to the Centro Linceo “Beniamino Segre” of the Accademia dei Lincei. He is the founder and first Director of the University of Pavia’s European School of Advanced Studies in Media Science and Technology and former Director of the Interdepartmental Centre for Cognitive Science. His research activity is concerned with pattern recognition and parallel architectures for image processing and computer vision.

He is author or co-author of more than 270 journal, conference papers and book chapters as well as editor or co-editor of 29 books and co-author of three books on Pyramidal Architectures for Computer Vision, 3C Vision: cues, contexts and channels and Alessandro Volta – The 1878 Celebrations at the University of Pavia.

He has organized many International Conferences, Seminars and Workshops including a NATO Advanced Research Workshop on pyramidal systems for computer vision. An Expert and Project Reviewer for the EU Commission, he became a Fellow of the IAPR in 1994 and Fellow of the IEEE in 1997.

**VITTORIO MARCHIS** is born in Turin in 1950. He received his degree in Mechanical Engineering at the Polytechnic of Turin in 1975. His research experiences are in the fields of applied thermodynamics, power systems, and control modelling and he was consultant in the aerospace industry. Assistant professor in Applied Thermodynamics and Aircraft Engines (1976), Associate professor of Applied Mechanics (1980), Full professor of Theoretical and Applied Mechanics (1990) at the University of Catania, then at the Polytechnic of Turin, since 1987 he holds also courses and lectures of History of Technology.

In 1984 he started with some colleagues the project which lead to the foundation of the Institute of Advanced Studies in Human Sciences (ISSU). He is Director of the Historical Documentation Centre and Museum of the Polytechnic of Turin and he has been member of several advisory groups of the Ministry of Scientific Research, of the Ministry of Education, of the Ministry of the Cultural Heritage, and of the National Research Council (CNR), where he takes active part in the national programs for the diffusion of the scientific culture and for its preservation and access.

He is member of the editorial boards of national and international reviews and publishers, and participates to several scientific boards of research institutions. He has collaborated to several radio and television programs in Italy and in France, he has conducted a series of 15 lectures on the 20th Century History of Technology and authored and conducted some radio programs around chemistry, automobile culture, and the world of smells. He is author of over 500 papers and 9 books. He organised several scientific conferences and symposia, and he directed many historical exhibitions.

His interests are now especially focused on the impact of new technologies on society and its institutions. A particular attention is placed to innovations and patents.

**EDOARDO ROVIDA** is born in Milano in 1941. He received his degree in Mechanical Engineering at the Polytechnic of Milan in 1966. He is full professor of Machine Design and researcher in the following fields: *methodic design* (product development of industrial product using methods as TRIZ, CREAX, Biomimetic, and product lifecycle management using methods as Design for X, PLM); *technical communication* (transmission of technical information linked to the development of industrial product, e.g. instructions for use and maintenance, and related to the “Engineering Education”); *cultural heritage in mechanical field* (collection of historical solutions to be critically analyzed as possible source of ideas useful in the modern design).

He is teacher in: Methods of Technical Representation (Bachelor Level); Design Methods, History of Mechanics, and Scientific Technical Communication (Master Level); Scientific Technical and Public Communication (PhD Level).

He is member of the Scientific Advisory Board of ICED (International Conference on Engineering Design); of the International DESIGN Conference; of the TMCE Conference (Tools and Methods of Competitive Engineering); of the Technical Committee “Technical Drawings” of UNI (Unificazione Nazionale Italiana-Italian Standard Institution) since 1972.



STORIA DELLA TECNICA ELETTRICA

*a cura di* Virginio Cantoni e Andrea Silvestri

472 p., Milano, Cisalpino, 2009

ISBN: 978-88-323-6214-5

STORIA DELLE TELECOMUNICAZIONI

*a cura di* Virginio Cantoni, Gabriele Falciasecca, Giuseppe Pelosi

2 voll., 1024 p., Firenze, FUP, 2011

ISBN: 978-88-6453-243-1 (brossura) e 978-88-6453-245-5 (e-book PDF)

STORIA DELLA MECCANICA

*a cura di* Virginio Cantoni, Vittorio Marchis, Edoardo Rovida

2 voll., 848 p., Pavia, Pavia University Press, 2014

ISBN: 978-88-96764-52-7 (brossura) e 978-88-96764-53-4 (e-book PDF)