

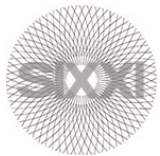
Author: T. Iori & S. Poretti

Title: La Scuola italiana di ingegneria

Title of the monograph: Il contributo italiano alla storia del pensiero. Tecnica, Enciclopedia Italiana di scienze, lettere ed arti

Date of publication: 01/10/2013

This paper was published in the framework of SIXXI Research



thanks to funding of



ERC ADVANCED GRANT 2011
P.I. SERGIO PORETTI



ENCICLOPEDIA ITALIANA

IL CONTRIBUTO ITALIANO
ALLA STORIA DEL PENSIERO
OTTAVA APPENDICE





ENCICLOPEDIA ITALIANA

DI SCIENZE, LETTERE ED ARTI

IL CONTRIBUTO ITALIANO
ALLA STORIA DEL PENSIERO
OTTAVA APPENDICE



ISTITUTO DELLA
ENCICLOPEDIA ITALIANA

FONDATA DA GIOVANNI TRECCANI

ROMA
MMXIII





PROPRIETÀ ARTISTICA E LETTERARIA RISERVATA

ISTITUTO DELLA ENCICLOPEDIA ITALIANA
FONDATA DA GIOVANNI TRECCANI S.p.A.

2013

ISBN 978-88-12-00089-0

Stampa
ABRAMO PRINTING S.p.A.
Catanzaro

Printed in Italy





ISTITUTO DELLA
ENCICLOPEDIA ITALIANA
FONDATA DA GIOVANNI TRECCANI

PRESIDENTE
GIULIANO AMATO

CONSIGLIO DI AMMINISTRAZIONE

LUIGI ABETE, FRANCO ROSARIO BRESCIA, PIERLUIGI CIOCCA, MARCELLO DE CECCO,
FERRUCCIO FERRANTI, PAOLO GARIMBERTI, FABRIZIO GIANNI, LUIGI GUIDOBONO
CAVALCHINI GAROFOLI, MARIO ROMANO NEGRI, GIOVANNI PUGLISI, GIANFRANCO
RAGONESI, GIUSEPPE VACCA

AMMINISTRATORE DELEGATO
FRANCESCO TATÒ

COMITATO D'ONORE

FRANCESCO PAOLO CASAVOLA, CARLO AZEGLIO CIAMPI, GIOVANNI CONSO

CONSIGLIO SCIENTIFICO

ENRICO ALLEVA, GIROLAMO ARNALDI, GEMMA CALAMANDREI, LUCIANO
CANFORA, MICHELE CILIBERTO, JUAN CARLOS DE MARTIN, EMMA FATTORINI,
DOMENICO FISICHELLA, EMMA GIAMMATTEI, PAOLO GUERRIERI, ELISABETH
KIEVEN, CARLO MARIA OSSOLA, GIORGIO PARISI, GIANFRANCO PASQUINO, LUCA
SERIANNI, SALVATORE SETTIS, PIERGIORGIO STRATA, GIANNI TONIOLO,
GIOVANNA ZINCONE

COLLEGIO SINDACALE

GIANFRANCO GRAZIADEI, Presidente; MARIO PERRONE, GIANCARLO MUCI
FABIO GAETANO GALEFFI, Delegato della Corte dei Conti





IL CONTRIBUTO ITALIANO ALLA STORIA DEL PENSIERO TECNICA

DIRETTORI SCIENTIFICI
VITTORIO MARCHIS, FRANCESCO PROFUMO

REDAZIONE ENCICLOPEDICA

RESPONSABILE
Monica Trecca

LAVORAZIONE E REVISIONE TESTI
Riccardo Martelli; Andrea Villa

SEGRETARIA DI REDAZIONE
Angela Damiani





ATTIVITÀ TECNICO-ARTISTICHE E DI PRODUZIONE

ART DIRECTOR
Gerardo Casale

PROGETTO GRAFICO
Giuseppe De Gregori

ICONOGRAFIA
Marina Paradisi; Fabrizia Dal Falco, Paola Salvatori (*cartografia*)

GRAFICA-IMPAGINAZIONE
Giuseppe De Gregori (*controllo*)

PRODUZIONE INDUSTRIALE
Gerardo Casale; Laura Ajello, Antonella Baldini, Graziella Campus

SEGRETERIA
Carla Proietti Checchi, Aurora Corvesi

DIREZIONE EDITORIALE

PIANIFICAZIONE EDITORIALE E BUDGET
Maria Sanguigni; Mirella Aiello, Alessia Pagnano, Cecilia Rucci

SEGRETERIA
Maria Stella Tumiatti

Ha contribuito con un servizio editoriale Red Ink srl (per la lavorazione e la revisione dei testi:
Lulli Bertini, Cecilia Causin, Claudio Censori, Sara Esposito, Silvia Moretti)





IL CONTRIBUTO ITALIANO
ALLA STORIA DEL PENSIERO

Tecnica



INDICE GENERALE

- xxv **Introduzione**
di *Vittorio Marchis*
- Saper fare 1400-1800**
- 3 **Le macchine e gli artefici: immagini di un'Italia preindustriale**
di *Vittorio Marchis*
- 7 **Il tramonto del Medioevo**
di *Andrea Bernardoni*
- Medioevo tecnologico
Documenti e reperti di cultura materiale
La cultura della tecnica nel tardo Medioevo
La rinascita della cultura tecnica nell'Italia del Quattrocento
Le macchine e gli esperimenti di Giovanni Fontana
Filologia e arte della guerra nel *De re militari* di Roberto Valturio
Filologia e ingegneria nei manoscritti di Mariano di Iacopo, detto il Taccola
Ingegneri-autori: tecnologia e disegno tecnico in Francesco di Giorgio
Oltre l'ingegneria: Leonardo da Vinci e la scienza della meccanica
La fine del Medioevo
Bibliografia
- 19 **La sfida della cupola**
di *Roberto Masiero - David Zannoner*
- Le cupole e la scienza
I progetti per la cupola di S. Maria del Fiore
S. Maria del Fiore e il Pantheon
Le cupole e l'invenzione della prospettiva
Il cantiere di S. Maria del Fiore
La struttura della cupola di S. Maria del Fiore
Cupole e teoria archimedeica
Le soluzioni di Filippo Brunelleschi
- Teorie strutturali e *scientia geometriae*:
Leonardo da Vinci
La cupola di S. Pietro: progetti e costruzione
Le altre cupole italiane, dal Rinascimento al Barocco
Guarino Guarini
Le fessure nella cupola di S. Pietro
Considerazioni finali
Bibliografia
- 36 **Alle origini della tecnologia moderna: Francesco di Giorgio e Leonardo da Vinci**
di *Domenico Laurenza*
- Tecnologia e cultura nel Medioevo
Due artisti-ingegneri
Francesco di Giorgio
Il *Trattato di architettura*
Leonardo da Vinci
Emancipazione culturale ed emulazione dei classici
L'imitazione delle opere della natura
Le macchine volanti
Dispositivi subacquei e progetti idraulici
Edilizia civile, macchine operatrici e scienza *de ponderibus*
Leonardo e Francesco: convergenze e differenze
Bibliografia
- 47 ***De re metallica***
di *Andrea Bernardoni*
- Il rinascimento dei metalli
Rinascita e sviluppo delle tecniche di fusione nel 16° secolo
Campane
Cannoni
Monumenti equestri e colossi di bronzo
Nascita della letteratura chimico-metallurgica
Teoria dei metalli e chimica del fuoco nel *De la pirotechnia*



- Arti del fuoco e letteratura sui metalli tra 16° e 17° secolo
Bibliografia
- 60 **L'ingegneria delle difese militari**
di *Micaela Viglino Davico - Enrico Lusso*
Teoria e prassi nelle fortificazioni quattrocentesche
La nascita e lo sviluppo del bastione agli inizi del 16° secolo
Il necessario e l'ideale: le grandi fortezze del Cinquecento
L'ottica territoriale della difesa nel Seicento
Sviluppi dei sistemi difensivi nel secolo dei lumi
Opere
Bibliografia
- 72 **I teatri delle macchine**
di *Vittorio Marchis*
L'idea del teatro
Le macchine a teatro
I segreti della seta
La seta al di là dei teatri
Teatri e macchine: da Padova a Roma e oltre
Le macchine, nuovi oggetti di culto: da Roma a Norimberga
Un epilogo europeo
Bibliografia
- 79 **Saper condurre le acque**
di *Cesare S. Maffioli*
Domenico Guglielmini e l'imitazione della natura
Francesco di Giorgio e Leonardo
Le traduzioni dell'opera di Vitruvio e i primi trattati d'acque
La misura delle acque e i navigli milanesi
Benedetto Castelli e i periti ferraresi e bolognesi
Il caso della laguna di Venezia
La sperimentazione in campo idraulico sino a Francesco Domenico Michelotti
Arte e natura
Opere
Bibliografia
- 91 **Dalle macchine semplici alla meccanica newtoniana**
di *Elio Nenci*
La leva
L'asse nella ruota
Il cuneo
La leva angolare e la resistenza dei materiali
Opere
Bibliografia
- 101 **Gli strumenti della scienza e la loro produzione**
di *Paolo Brenni*
Strumenti medievali e rinascimentali
La fabbricazione e il commercio tra il 14° e il 17° secolo
Il 17° e il 18° secolo
Il microscopio e il termometro
Il barometro, la pompa pneumatica e le macchine elettriche
Gli strumenti di calcolo
Lo sviluppo della produzione e della commercializzazione in Europa
La produzione di strumenti in Italia tra il 15° e il 18° secolo
Bibliografia
- 117 **L'Arsenale di Venezia e i cantieri navali della marina**
di *Pasquale Ventrice*
Il luogo dell'«immenso lavoro»
La «Casa dell'Arsenal»
L'iniziale localizzazione dei depositi delle polveri
Il reparto artiglieria, le sale d'arme e le fonderie
La «fabbrica» dei cannoni tra scienza e tecnologia
Le navi
Il Giardino di ferro
Le tecnologie nell'Arsenale e nei cantieri navali della marina
Bibliografia
- 130 **L'architettura barocca e le nuove sfide del costruire**
di *Gianfranco Gritella*
Nascita, sviluppo e caratteristiche dell'architettura barocca
Trasformismi architettonici dal Seicento al Settecento
La figura dell'architetto e le accademie
Gian Lorenzo Bernini e Francesco Borromini
Guarino Guarini
L'architettura barocca in Italia nel Settecento: Filippo Juvarra
L'architettura barocca in Italia nel Settecento: Bernardo Antonio Vittone
Il Barocco in Francia tra Sei e Settecento
L'Austria e le influenze del Barocco italiano
La Boemia e l'architettura tardobarocca mitteleuropea
L'Inghilterra e l'epilogo della civiltà del Barocco
Bibliografia





- 145 **Breve storia del restauro statico**
di *Mario Como*
- Il comportamento statico delle costruzioni in muratura
- Riparazione, consolidamento e restauro statico nell'edilizia romana
- Danneggiamenti e riparazioni per cedimento fondale
 - Percezione della spinta delle volte e degli archi da parte dei Romani
 - Riparazioni e consolidamenti negli acquedotti
 - Spoliazioni
- Danneggiamenti e consolidamenti di epoca medioevale
- Crolli, danneggiamenti e riparazioni: la cattedrale di Beauvais
 - Danneggiamenti, demolizioni e riparazioni nelle torri medioevali
 - Un primo intervento di rinforzo sulle cupole
- Il Rinascimento
- Il Barocco
- Il restauro statico dal Settecento alla prima metà dell'Ottocento
- La cupola di S. Pietro in Roma
 - Il restauro statico del Colosseo
- Il restauro statico dalla seconda metà dell'Ottocento a oggi
- Bibliografia
- 158 **La rivoluzione del moschetto**
di *Gregorio Paolo Motta*
- Il campo di battaglia
- Archibugi e moschetti
- Le conseguenze
- Bibliografia
- 168 **Dalla legge veneziana del 1474 alle privative industriali**
di *Bruno Muraca*
- Caratteristiche del moderno istituto del brevetto
- Criteri basilari della moderna concezione di brevetto
- Le procedure moderne
- Privilegi concessi agli inventori sul territorio italiano prima del 1474
- Privilegi *ad personam*
- La chiatto di Brunelleschi
 - Il privilegio pontificio sull'arte molitoria a Pompeo Targone
- Le regie patenti
- Le patenti di privilegio *erga omnes* a Milano e in Lombardia
- La legge piemontese sulle privative industriali del 12 marzo 1855
- Bibliografia
- 178 **L'enciclopedismo scientifico**
di *Walter Panciera - Paolo Preto*
- Il «Giornale d'Italia» e il *Dizionario delle arti e de' mestieri* di Francesco Grisellini
- Enciclopedismo ed edizione italiana dell'*Encyclopédie méthodique*
- Lumi e innovazione tecnica in agricoltura e industria
- Scienze, scoperte, invenzioni, macchine
- Opere
- Bibliografia
- 187 **Artigiani e artisti: l'officina Italia**
di *Enrica Pagella*
- Una storia ancora da scrivere
- Il Rinascimento tra arte e artigianato: una nuova rappresentazione del mondo
- I cantieri artigiani: piccoli e grandi centri di produzione
- Produzioni di lusso, produzioni pregiate
- La sfida europea e le nuove esigenze della borghesia
- Bibliografia
- Saper organizzare 1800-1950**
- 197 **Le alterne sorti del 'risorgimento' industriale italiano**
di *Vittorio Marchis*
- 211 **La cultura politecnica**
di *Frédéric Ieva*
- L'istruzione tecnica prima dell'Unità
- La legge Casati
- Alle origini del Politecnico di Torino
- La fondazione del Politecnico di Milano
- L'epoca dei grandi trafori e delle ferrovie
- L'elettrotecnica italiana: Galileo Ferraris e Giuseppe Colombo
- Vito Volterra e la matematica italiana
- Opere
- Bibliografia
- 222 **L'ingegneria dei ponti e le nuove sfide del costruire**
di *Roberto Masiero - David Zannoner*
- Il secolo dell'industria e la nuova idea di ponte
- Le principali tipologie di ponti
- Ponti ad arco
 - Ponti a catenaria
 - Ponti strallati
 - Dalla ghisa al ferro laminato
 - Ponti a trave





- Ponti a struttura reticolare
Ponti a trave iperstatica
Ponte ad arco iperstatico
Le vicende italiane
Il Granducato di Toscana e il Regno delle Due Sicilie
Il predominio delle imprese straniere
L'Unità e il difficile processo di industrializzazione
L'unione di ferro e cemento
Bibliografia
- 239 **La nascita del sistema ferroviario e il ruolo della tecnica**
di *Andrea Giuntini*
I primi passi dell'esperienza ferroviaria preunitaria
Cavour
La politica ferroviaria piemontese
Croci e delizie delle ferrovie preunitarie
Una *chance* per l'ingegneria italiana
I luoghi dell'apprendimento
Il disegno delle linee e la produzione del materiale rotabile
La prima grande sfida tecnica: la Torino-Genova
La Porrettana
La svolta: il Fréjus
I valichi alpini
La Direttissima
Bibliografia
- 248 **Le imprese del Risorgimento**
di *Giovanni Paoloni*
Contesti economici e percorsi interpretativi
Tra agricoltura e industria
Gli imprenditori della seta e della lana
Cantoni, Crespi e l'industria del cotone
La pasta con il pomodoro
Casa Florio: dal tonno alle navi
Giovanni Ansaldo: alle radici dell'industria pesante italiana
Un po' di chimica
Epilogo
Bibliografia
- 260 **Inventori e invenzioni**
di *Sergio Onger*
Il primo Ottocento
Il caso di un inventore di provincia
Inventori italiani fuori d'Italia: Antonio Meucci
Dalla Società d'incoraggiamento d'arti e mestieri di Milano ai Politecnici
Privative industriali e innovazione
- Eugenio Barsanti, Felice Matteucci e il motore a scoppio
Tommaso Agudio e le ferrovie montane
Un percorso accidentato
Bibliografia
- 268 **Le esposizioni di arti e industrie**
di *Sergio Onger*
La nascita delle esposizioni
Gli esordi italiani del primo Ottocento
Gli anni del cambiamento (1851-1860)
Esaltare la nazione ed esibire il progresso (1861-1880)
L'Italia nell'«isteria espositiva» internazionale (1881-1911)
L'elettricità in mostra
Conclusioni
Bibliografia
- 279 **La formazione professionale tra filantropia e istituzioni**
di *Elena Canadelli*
Il contributo della filantropia: uno sguardo d'insieme
Una questione aperta: il dibattito sull'istruzione professionale
Il panorama preunitario: da Carlo Cattaneo a Carlo Ignazio Giulio
Scenari postunitari: Giuseppe Colombo e il boom delle scuole-officina
Tra le due guerre mondiali: Ugo Pizzoli e la psicologia del lavoro
Opere
Bibliografia
- 287 **La *business community* torinese**
di *Ivan Balbo*
La crisi del 1889-92
Una prima forzatura: il *business* dell'elettricità
I fattori del decollo: le banche miste, l'auto, il comune di Torino
La *business community* torinese tra interessi e politica
Bibliografia
- 297 **Una nuova tecnica del costruire: il calcestruzzo armato**
di *Aulo Guagnini*
Il rinnovamento dell'insegnamento della scienza delle costruzioni
La diffusione del calcestruzzo armato in Italia e la prima industria specializzata
Giovanni Antonio Porcheddu e i successivi sviluppi





- Pier Luigi Nervi ingegnere e impresario
Opere
Bibliografia
- 307 **Milano e la borghesia degli imprenditori**
di *Pier Luigi Porta*
L'istruzione superiore: la nascita del Politecnico
L'Università commerciale e gli studi economici tra i due secoli
La cultura d'impresa al volger del secolo
La cultura economico-sociale dopo la Grande guerra
Bibliografia
- 317 **Le innovazioni delle armi portatili**
di *Gregorio Paolo Motta*
Miccia e ruota
La pietra focaia e il combattimento in linea
La capsula e il fucile Minié
La retrocarica e la polvere infume
Bibliografia
- 326 **Chimica e società: la mediazione politica**
di *Luigi Cerruti*
I chimici e il Risorgimento
La cultura tecnica e le 'cattedre risorgimentali'
I presidi scientifici dello Stato unitario
La Prima guerra mondiale e la svolta a destra
Il sostegno al fascismo e alla politica bellicista
La ricostruzione e la fine di una tradizione di impegno
Bibliografia
- 337 **L'elettrotecnica fino alla Grande guerra**
di *Roberto Maiocchi*
Gli inizi
La svolta dell'Esposizione di Parigi
La nascita dell'industria elettrica e Galileo Ferraris
Gli anni Novanta: le linee di trasmissione Nordisti e sudisti
Verso la guerra
Bibliografia
- 348 **L'industria dei composti azotati**
di *Luigi Cerruti*
Il problema dei composti azotati alla fine dell'Ottocento
Competizione e creatività tecnologica
- Una produzione d'avanguardia in Italia: la calciocianamide
La soluzione tedesca: il processo Haber-Bosch
Luigi Casale: la risposta italiana alla sfida tedesca e l'appuntamento con il Giappone
L'opera di Giacomo Fauser
Il trasferimento internazionale di tecnologie
L'ultimo successo di Fauser: la produzione industriale dell'urea
Osservazioni finali
Bibliografia
- 360 **La siderurgia**
di *Francesco Iacoviello - Mauro Cavallini*
La siderurgia italiana all'inizio del 19° secolo
Primi impianti nell'Italia unita
Nuovi processi di produzione
La nascita dell'industria siderurgica italiana
I nuovi protagonisti e la Prima guerra mondiale
Dal fascismo al secondo dopoguerra
Opere
Bibliografia
- 368 **Le grandi infrastrutture: il sistema delle ferrovie e delle autostrade**
di *Andrea Giuntini*
Il ruolo delle infrastrutture
L'esperienza italiana
L'unificazione
Il completamento della rete
La nazionalizzazione
L'attività dell'azienda
L'epoca del motore
La guerra e le sue conseguenze
Ferrovie e fascismo
L'innovazione tecnologica nel settore della trazione
I 'treni popolari'
Lo sviluppo autostradale
La ricostruzione
Il secondo dopoguerra: uno spartiacque
Prestigio e velocità: l'Italia che riparte
Il trionfo del motore
L'Autostrada del Sole
La Direttissima Roma-Firenze e i primi passi dell'Alta velocità
Luci e ombre autostradali: un caso emblematico
Bibliografia
- 378 **Il fascismo e la preparazione della guerra: tecnici e politici**
di *Nicola Labanca*
Economia armata
Una storia da scrivere





- Il quadro europeo
 Le grandi sfide
 Le sfide affrontate dal regime fascista
 Vecchi e nuovi problemi
 Mobilitare per la guerra
 Mobilitare ingegneri e scienziati
 Una nuova leva di tecnologi militari
 Modelli di mobilitazione e regime politico
 Un caso eccezionale, ma non tanto
 La resa dei conti
 Bibliografia
- 391 **Il taylorismo e gli sviluppi dell'igiene industriale**
 di *Cristina Accornero*
 Alle origini del taylorismo
 L'ingegneria sociale nella fase del riformismo giolittiano
 'Taylorismo all'italiana' negli anni tra le due guerre
 Il 'taylorismo dal volto umano' nel secondo dopoguerra
 Oltre il taylorismo
 Opere
 Bibliografia
- 401 **L'imprenditoria femminile nell'Italia unita**
 di *Adriana Castagnoli*
 Dall'Unità alla Prima guerra mondiale
 L'involuzione dell'autonomia giuridica e patrimoniale delle donne
 Famiglia e impresa
 La fase del decollo industriale
 Da un dopoguerra all'altro
 Il primo associazionismo professionale femminile
 Autarchia e sperimentazione di nuovi prodotti
 L'apertura ai mercati internazionali
 Gli anni del 'miracolo economico'
 Il nuovo diritto di famiglia e la legge sulla parità nel lavoro
 Gli sviluppi dell'associazionismo professionale femminile
 Verso la fine del 20° secolo: individualismo, manager e *self-employment*
 Un cammino lungo un secolo
 Imprenditrici di se stesse
 Outsider straniere e imprenditoria etnica
 L'imprenditoria femminile agli inizi del 21° secolo
 Bibliografia
- 417 **L'industria farmaceutica**
 di *Mauro Capocci*
 L'introduzione della chimica
 Prima dell'Unità: dimensioni locali
- Dalla farmacia di famiglia all'industria
 Legge e farmaci di Stato
 Filantropia e produzione farmaceutica
 Nuova farmaceutica e autarchia
 La penicillina e lo sviluppo industriale del dopoguerra
 I brevetti sui farmaci
 Opere
 Bibliografia
- 427 **Le imprese aeronautiche del primo Novecento**
 di *Fabio Caffarena*
 Sulle ali del 20° secolo: artigianato del volo e modernità
 Dare ali alla patria: prove di volo dal deserto alle trincee
 La Grande guerra: il decollo dell'industria aeronautica
 Il fascismo: dalle favole alate allo schianto
 Il dopoguerra: una difficile ripresa di quota
 Opere
 Bibliografia
- 437 **Dal telefono alla radio (e ritorno?)**
 di *Gabriele Balbi*
 Due *media*, due idee
 Il telefono come punto-a-punto
 Il telefono uno-a-molti come radio: l'Araldo telefonico
 Il *wireless* come punto-a-punto: il telefonino di Marconi
 Il *wireless* come uno-a-molti
 1923-1925: punto-a-punto e uno-a-molti in Italia
 Telefono e/o radio
 Bibliografia
- 449 **Cose belle e utili: la nascita del prodotto industriale**
 di *Anty Pansera*
 Il ruolo dei futuristi
 Dalle arti 'applicate' all'industria: le Biennali di Monza
 Prima delle Biennali di Monza
 Le Esposizioni nazionali
 La Prima Esposizione internazionale d'arte decorativa moderna: Torino 1902
 Esposizione internazionale del Sempione: Milano 1906
 La prima Esposizione 'universale' italiana: Torino 1911
 Il programma di Monza e la prima 'uscita' delle Biennali
 La Grande guerra e la progettazione aeronautica





- Dal carrozziere al *car designer*
 L'importanza delle Triennali di Milano negli anni Trenta
 Al Palazzo dell'arte negli anni Quaranta
 Artisti, architetti, ingegneri
 Un architetto divulgatore
 Un *enfant terrible* del progetto
 La ricostruzione e le riconversioni: Vespa e Lambretta
 A chiudere
 Bibliografia
- 462 **L'IRI dagli anni Trenta agli anni Settanta**
 di *Franco Amatori*
 Nascita e primi anni dell'IRI
 La questione siderurgica e il piano Sinigaglia
 L'Alfa Romeo e le grandi reti
 L'Alfa Romeo di Giuseppe Luraghi
 L'Autostrada del Sole
 La teleselezione
 Verso la terza rivoluzione industriale
 L'uso civile dell'energia nucleare
 L'elettronica
 Un protagonista dell'high-tech IRI: Carlo Calosi
 Le telecomunicazioni
 Conclusioni
 Opere
 Bibliografia
- 472 **L'avventura Olivetti**
 di *Emilio Renzi*
 «Prima fabbrica nazionale macchine per scrivere» (1908-1932)
 Impresa responsabile, leader mondiale (1932-1960)
 La Divisione elettronica (1960-1977)
 Mutazione e caduta (1978-1996)
 Metamorfosi e fine (1996-2003)
 Opere
 Bibliografia
- 486 **L'Italia e l'autarchia**
 di *Roberto Maiocchi*
 La nascita del nazionalismo scientifico-tecnico
 Il dopoguerra
 L'autarchia in embrione
 L'autarchia di guerra
 Il problema energetico
 Il tessile
 La cellulosa
 I metalli
 Prodotti chimici strategici
 Scienziati propagandisti
 L'autarchia di pace (per la guerra)
 Bibliografia
- Fare è conoscere 1950-2000
- 501 **Quale futuro per l'industria italiana?**
 di *Vittorio Marchis*
- 517 **Il piano INA-Casa: 1949-1963**
 di *Paola Di Biagi*
 Il piano: finalità, funzionamento, esiti
 Le realizzazioni: «non case ma città»
 Un laboratorio di progettazione, tra tradizione e innovazione
 Bibliografia
- 521 **La Scuola italiana di ingegneria**
 di *Sergio Poretti - Tullia Iori*
 L'egemonia del cemento armato
 La sperimentazione su modelli e il sistema Nervi
 Gustavo Colonnetti e la precompressione
 Dalla ricostruzione al boom economico
 L'invenzione di Morandi
 Ingegneria *Italian style*
 La scomparsa delle lucciole
 Opere
 Bibliografia
- 529 **L'Italia non è un Paese povero: dall'AGIP all'ENI**
 di *Fabio Catino*
 Gli albori dell'industria del petrolio in Italia
 Prima dell'ENI
 Enrico Mattei, il codice genetico dell'ENI
 La difesa dell'oro blu di Caviaga
 La prima metanizzazione del Paese e l'eredità del gas
 La conquista della petrolchimica
 La visione del futuro nella forza del passato
 Bibliografia
- 541 **I materiali sintetici: successi, delusioni e speranze**
 di *Luigi Cerruti*
 I primi materiali sintetici e semisintetici
 La nascita della chimica macromolecolare e la gomma sintetica
 Giulio Natta e la scoperta del polipropilene
 Uno sviluppo scientifico e tecnologico prodigioso
 Il riverbero sulla ricerca accademica
 La 'guerra chimica' e il fallimento di una classe dirigente
 Sicurezza negli impianti, inquinamento e salute dei lavoratori
 Uno sguardo al futuro: i materiali compositi





- Protezione dell'ambiente e innovazione tecnologica
Osservazioni finali
Bibliografia
- 553 **L'illusione del nucleare**
di *Fabio Catino*
Agli albori del nucleare italiano, eccellenza e foschi presagi
Il primo impulso alla pianificazione, il CISE e i suoi risultati
Le implicazioni militari e la 'strategia nucleare' italiana in politica estera
La nascita dei comitati nazionali e il dibattito culturale verso la nazionalizzazione
L'epoca d'oro del nucleare italiano
La nazionalizzazione dell'energia elettrica, il caso Ippolito e l'inizio del declino
Da Černobyl' a Fukushima: rischio nucleare e sua percezione
Qualcosa rimane
Opere
Bibliografia
- 566 **Il servizio elettrico dai sistemi regionali alla liberalizzazione**
di *Renato Giannetti*
Le quattro fasi di sviluppo dei sistemi elettrici
Lo sviluppo della rete nazionale e la creazione dell'ENEL
Modelli d'interconnessione nel secondo dopoguerra
L'integrazione 'stretta': l'ENEL e il modello EDF
1980-2010: dall'integrazione tecnica alla competizione
Le tariffe elettriche
La teoria delle tariffe dalle origini alla Seconda guerra mondiale
Le tariffe nei sistemi integrati
Deregolazione e concorrenza: la tariffa *price cap*
La pratica delle tariffe in Italia
La discriminazione tariffaria e il blocco delle tariffe
La politica economica: gli incentivi per i nuovi impianti e l'equità distributiva
La 'fascia sociale'
Il sovrapprezzo termico
Le istituzioni della regolazione come servizio pubblico
Agenzie di regolazione e ordinamento costituzionale e amministrativo
La liberalizzazione del mercato e l'agenzia di regolazione
Conclusioni
Bibliografia
- 578 **Il miracolo economico italiano**
di *Andrea Villa*
La crescita demografica e i diversi settori produttivi
Il boom economico in cifre
Le origini
Le conseguenze sociali
Il mutamento dei costumi
L'incuria ambientale
Bibliografia
- 589 **I 'bianchi': la tecnologia in cucina**
di *Giovanni Paoloni*
Una storia di successo
La fatica domestica
Elettricità e vita quotidiana
All'origine dei 'bianchi'
Gli italiani e la 'casa elettrica': da sogno a realtà
Dalla cucina al frigorifero
Lavatrici e lavastoviglie: la scoperta della comodità
La 'fabbrica europea' degli elettrodomestici
Dall'Europa al mercato globale
Opere
Bibliografia
- 601 **Nascita e sviluppo dell'industria automobilistica**
di *Donatella Biffignandi*
I precursori
Il periodo pionieristico
Dalla Fiat in poi
Tra le due guerre
L'arrivo delle utilitarie
Il decennio della ricostruzione
Dalla ricostruzione agli anni del boom
Radiografia del dopo boom
Le crisi petrolifere e il sistema Toyota
Automobile: fine di un'era?
Bibliografia
- 614 **L'industria tessile**
di *Yasuhiro Ota*
Dal 14° secolo alla metà del 19°
Dall'Unità alla Prima guerra mondiale
Dal primo dopoguerra alla Seconda guerra mondiale
Il secondo dopoguerra: ripresa e 'americanizzazione'
Il miracolo economico e la nascita della moda italiana
L'utilizzo delle fibre sintetiche
La trasformazione del settore tessile
Le aziende





- Le nuove strategie dell'industria tessile
 La seta
 Le aziende
 La lana
 Le aziende
 Scelte vincenti: locale/globale
 Bibliografia
- 630 **I percorsi della moda *made in Italy***
 di *Andrea Merlotti*
 Quattro città: Roma, Firenze, Torino e Milano
 L'affermarsi della moda-boutique
 L'abbigliamento pronto fra gli anni
 Cinquanta e Sessanta
 Gli anni Sessanta: dall'alta moda all' 'altra moda'
 Milano e il giornalismo di moda
 L'età degli stilisti e del *made in Italy*
 Crisi e nuove sfide
 Bibliografia
- 641 **La sfida dello spazio**
 di *Claudio Censori*
 La rinascita della ricerca scientifica
 Lo sviluppo dell'attività missilistica
 Il progetto San Marco
 SIRIO e le telecomunicazioni
 L'ASI e la programmazione dell'attività
 spaziale
 Un satellite al guinzaglio
 Italsat
 Osservazione della Terra
 Lampi di raggi gamma
 Esplorazione spaziale
 Stazione spaziale internazionale
 Bibliografia
- 652 **Aurelio Peccei e i limiti
 dello sviluppo**
 di *Roberto D. Peccei*
 Gli studi sul futuro
 Aurelio Peccei: manager illuminato
 Verso l'abisso: *Project 1969* e la nascita
 del Club di Roma
 Genesi del primo rapporto al Club di Roma:
Limits to growth
 I limiti dello sviluppo
 L'evoluzione del pensiero di Aurelio Peccei
 Opere
 Bibliografia
- 662 **L'opera d'arte nell'epoca della sua
 riproducibilità industriale**
 di *Enrico Morfeo*
 L'anteguerra e una modernità incompleta
 La ricostruzione: nuove urgenze e nuovi valori
- Piccolo, leggero, per tutti
 Olivetti: un caso a parte
 Addomesticare la tecnica
 Una modernità possibile
 Fra produzione e contestazione
 Un'industria culturale
 Bibliografia
- 672 **Tecnologie digitali**
 di *Franco Filippazzi - Giulio Occhini -
 Fulvia Sala*
 L'era digitale
 I fondamenti concettuali
 Una cronologia essenziale
 Gli sviluppi industriali
 I fatidici anni Cinquanta
 Il caso Olivetti
 Le multinazionali
 L'industria del software
 L'automazione industriale
 Mercato e occupazione
 Il mercato digitale
 Dinamiche di crescita
 L'occupazione
 Cultura, economia e società
 Sapere e saper fare
 Come cambia il lavoro
 L'ambiente intelligente
 Altri settori e attività
 Quali competenze
 Genio italiano: alcuni contributi
 Bibliografia
- 684 **Elettronica italiana: una storia
 con un futuro**
 di *Luca De Biase - Giuseppe Caravita*
 Il miracolo economico
 Un episodio premonitore
 L'elettronica dei pionieri
 L'Italia nello spazio
 L'Olivetti si riconfigura
 L'epopea della Telettra
 Una *start-up* dentro un gigante: i MEMS
 della STM
 Ecosistemi locali
 Arduino: il futuro è aperto
 Bibliografia
- 696 **Le tecnologie per la vita
 e per la salute**
 di *Vittorio A. Sironi*
 Gli sfumati confini tra scienze della vita
 e biotecnologie
 Le origini del paradigma tecnologico
 in medicina
 La medicina da arte a scienza





	Quantificare e misurare la malattia La tecnologia applicata allo studio della patologia		
	L'evoluzione della diagnosi tecnologica Vedere il corpo malato: dai raggi X alla diagnostica per immagini Dalla microscopia alla medicina molecolare Dal laboratorio biochimico alla bioinformatica		
	La terapia tecnologica: prospettive e speranze della medicina La rivoluzione farmacologica Evoluzione e futuro della farmacologia Le tecnoterapie: dai trapianti alla medicina rigenerativa		
	Potenzialità della biomedicina e nuovi compiti delle scienze della vita Bibliografia		
710	L'industria e le crisi degli ultimi decenni di <i>Giuseppe Berta</i> La grande impresa: un declino che viene da lontano L'alternativa dei distretti La crisi dei primi anni Novanta Un problema di crescita Crisi e metamorfosi dell'industria italiana: le medie imprese Una metamorfosi in atto Bibliografia	721	Raccontare il lavoro, cantare la tecnica di <i>Vittorio Marchis</i> Un sapere tacito Una scienza per tutti Il trionfo del progresso Il mito dell'America La città industriale Il potere delle immagini Le passioni meccaniche La bellezza della materia Dentro le fabbriche <i>L'Italia non è un Paese povero</i> <i>Homo faber</i> Macchine Quale futuro? Bibliografia
		731	Cronologia 1420-2013 di <i>Vittorio Marchis</i>
		747	Indice dei nomi
		767	Autori del volume
		768	Referenze iconografiche delle tavole fuori testo





INTRODUZIONE

«Senza la tecnica l'uomo non sarebbe mai esistito», affermava José Ortega y Gasset inaugurando nel 1933 il corso *¿Qué es la técnica?* presso l'Università di Santander. E in verità ogni approccio storiografico alle vicende dell'umanità non può prescindere dalla dimensione del fare, del manipolare, del fabbricare, del produrre. Anche se la nostra specie, quella del cosiddetto *homo sapiens*, ha attraversato varie fasi in cui il rapporto con il fare si è profondamente modificato. Nell'evoluzione dell'uomo, a partire dai primati da cui biologicamente proviene, momento cruciale fu la scoperta dell'utensile che aumentava le capacità operative fornite naturalmente dal proprio corpo. Chi non ricorda il famoso *incipit* del film di Stanley Kubrick, *2001: a space odyssey* (1968; *2001 Odissea nello spazio*)?

All'inizio della nostra 'storia' la tecnica consiste nella semplice scoperta di nuove opportunità trovate per caso nell'ambiente: nomadi, cacciatori e raccoglitori, i nostri progenitori inseguirono per migliaia di anni sul nostro pianeta le trasformazioni delle risorse disponibili, adeguandosi a esse e riuscendo a sopravvivere evitando l'estinzione. Poi avvenne quella che si chiama prima rivoluzione agricola, collocabile intorno al 10^o-9^o millennio avanti l'era volgare, e l'*homo faber* divenne agricoltore e allevatore. Le violente trasformazioni della società, accompagnate da scoperte destinate a sconvolgere la natura delle cose, sono rimaste impresse nei grandi miti dell'antichità legati, nel nostro mondo occidentale, alle figure di Ercole e Prometeo, di Proserpina e Dedalo, di Pasifae ed Edipo e di molti altri ancora. Le colture dell'olivo e della vite, doni degli dei, cambiarono il volto al paesaggio e, con la nascita dei primi nuclei abitativi organizzati, sorse la scrittura e con essa le leggi. Ma se la scrittura e l'uso dei numeri nacquero da profonde esigenze dettate dalla necessità di consolidare nel tempo i costumi come le proprietà, il fare, nella sua immediatezza e al contempo nella sua stretta dipendenza da un'esperienza diretta e trasmessa da maestro ad apprendista, rimase una 'cultura tacita', priva nella maggior parte dei casi di quelle necessità legate alla memoria.

E così la cultura del fare, e in generale la tecnica, mantenne nella sua assoluta concretezza un distacco da ciò che invece attiene al fare memoria di sé, e questo, anche se in forma diversa e più attenuata, accadde anche quando alla rivoluzione agricola successe quella industriale. Infatti, quando nel 18^o sec. in Inghilterra, e nel nostro Paese un secolo più tardi, la società degli agricoltori e degli artigiani si mutò in quella dei tecnici e degli imprenditori, il sapere tecnico si consolidò nelle nuove scuole professionali, ma ancora una volta esso rimase, nella sua più profonda essenza, 'tacito', e per molti versi privo di memoria.

Oggi che nella società globalizzata i paradigmi dell'industria si stanno trasformando in quelli di una rete di saperi e di conoscenze, ancora una volta la memoria, e in particolar modo la memoria dei processi tecnologici, resa gigantesca dai nuovi *media*, ma divenuta





inevitabilmente più fragile, sfugge come l'acqua dalle mani di chi l'ha raccolta. E forse oggi una nuova rivoluzione sta ancora accadendo, provocando un nuovo rivolgimento dei paradigmi.

A questo punto, prima di introdurre quest'opera, che vuole tracciare la storia della cultura tecnica e industriale del nostro Paese nell'epoca moderna e contemporanea, è necessario premettere alcune note storiografiche. La storia della tecnica è disciplina assai recente, soprattutto in Italia, dove le prime testimonianze, a parte il mito e la genialità di Leonardo più volte celebrati, risalgono alla metà del 20° sec. quando a Milano sorse il Museo nazionale della scienza e della tecnologia Leonardo da Vinci per opera di Guido Ucelli di Nemi, il quale, nel 1953, in occasione dell'inaugurazione affermò: «Il Museo è vivo, di tutti, aperto a tutti. Oggi il mondo cammina a ritmo vertiginoso e tutti ne cerchiamo le ragioni e le possibilità. Il Museo vive, è il Museo del Divenire del Mondo».

Gli studi e le ricerche di Luigi Bulferetti e di Carlo Maccagni, con una matrice di base di studi storici tradizionali, iniziarono un percorso che più tardi si intrecciò con gli studi di storia economica di Carlo Poni e con quelli dovuti a Paolo Galluzzi e al folto gruppo di storici della scienza e della tecnica da lui raccolti intorno al Museo Galileo di Firenze. Altra è stata l'attenzione per quella che in ambiente anglosassone è chiamata *industrial archaeology* e che in Italia invece ha assunto piuttosto le dimensioni di una storia dell'architettura industriale. Le successive evoluzioni della storia della tecnica hanno portato a introdurre questa disciplina, non senza difficoltà, non solo nei percorsi formativi umanistici, ma anche in quelli scientifici e tecnologici.

E, così, già da queste poche righe si intuiscono i complessi percorsi che si stagliano intorno alla cultura del fare e del produrre, dalle arti alle industrie. A parte le disquisizioni, per lo più inutili, intorno alle definizioni di *tecnica* e *tecnologia*, che qui si vogliono assolutamente evitare, si può affermare che la storia della tecnica, intesa nel suo senso più generale e storicamente più esteso, distaccandosi dalla storia della scienza, che per sua natura ha una connotazione più teoretica e filosofica, ha trovato punti di contatto, intersezioni e talvolta attriti con altre discipline: la già citata storia economica, la storia dell'industria e delle imprese, la storia militare, la storia del disegno industriale, ma anche la storia dell'arte, la storia della fotografia e del cinema, la storia dell'architettura e, non da ultima, la geografia economica. Solamente guardando a questa costellazione di discipline e di saperi si può comprendere la solo apparente disomogeneità dei contributi di questo volume che invece vuole fissare, se mai è possibile, gli statuti epistemologici di una scienza nuova che necessita proprio oggi di fronte al vorticoso 'divenire del mondo' di un riferimento storiografico saldo.

Si è già accennato alla natura 'tacita' del sapere tecnico e a questo punto è il caso di rivalutare la dimensione 'archeologica' di molti studi che anche oggi, sulla base di reperti abbandonati, di testimonianze grigie, di scritture morte, di archivi sepolti, deve costruire la Storia. In Italia tutto questo è quanto mai necessario perché soprattutto ciò che è accaduto nel passato più prossimo rischia, parallelamente all'obsolescenza delle macchine e dei processi, l'oblio più completo. E se è abbastanza facile intuire i 'modi' con cui gli artigiani procedevano nella realizzazione delle loro 'opere', molto più complesso è inseguire, per es., come si sono evoluti i processi di progettazione, sviluppo e produzione di un'automobile o le mutevoli vicende nella realizzazione di una grande opera pubblica.

Quest'opera è divisa in tre parti nelle quali, con le debite eccezioni, si sono suddivise tre epoche del cammino tecnico e tecnologico attraversato dal nostro Paese. Nella prima parte è il 'saper fare' a determinare il leitmotiv di una grande varietà di saperi in cui l'artigianalità è fondamentale e dove l'abilità, soprattutto manuale, è stata al centro della realizzazione di 'cose' determinanti per la crescita di una penisola ancora divisa politicamente, ma unita dallo spirito e dalla lingua. Nella seconda parte, dedicata al 'saper organizzare', che si estende dal 19° sec. alla metà del 20°, si è posta l'attenzione sulle trasformazioni





imposte da una rivoluzione industriale che non solo ha cambiato il modo di produrre, ma ha profondamente mutato i contesti culturali, sociali ed economici e si è accompagnata in Italia con il processo di unificazione politica.

La terza parte, che temporalmente copre un arco di tempo che va dagli anni Cinquanta del secolo scorso a oggi e per molti versi è attraversata dalla rivoluzione dell'informazione e dei *media* – se mai in futuro gli storici la definiranno tale –, guarda a ciò che è accaduto in Italia dagli anni della ricostruzione, dopo il secondo conflitto mondiale e il disastro della guerra civile, al miracolo economico, sino alle crisi di fine secolo e oltre, cercando di individuare non già le cause di una certa decadenza, ma gli elementi di speranza che devono farci traghettare verso nuovi equilibri di integrazione europea, come già all'inizio di questi tempi profetizzava Gustavo Colonnetti.

Le pagine di questo volume non vogliono essere un nostalgico sguardo su un passato ormai svanito e irraggiungibile, ma piuttosto lo stimolo a riaprire nuove frontiere di conoscenza, con l'ottimistica convinzione che sempre, dopo un periodo di recessione si aprono nuove strade per uno sviluppo positivo. Ma senza la consapevolezza del proprio presente, che si fonda incondizionatamente su una continuità con il proprio passato, fatto di successi, ma anche di errori, nulla si può costruire.

Per ritornare ora alla nutrita bibliografia che negli ultimi decenni ha arricchito la storia della tecnica italiana in Italia, va ancora fatto notare come spesso sono mancati studi di carattere generale, mentre si sono privilegiate le storie particolari intorno a una specifica industria, a un determinato prodotto industriale, a un definito contesto geografico. In questo senso i saggi di questo volume, nella loro specifica natura, vogliono viaggiare un po' controcorrente, lasciando da parte il 'particolare' con il rischio sì di perdere qualcosa in termini di definizione, ma con la speranza di fornire al lettore, anche non profondamente esperto di questo o quel settore, la possibilità di compiere a volo d'uccello un viaggio nella storia degli artefici e delle cose che hanno realizzato, spesso restando nel completo anonimato. A questi attori della nostra storia vanno indirizzati quest'opera e il riconoscimento della nostra memoria. Gli scritti che il folto numero di autori coinvolti ha preparato vogliono essere una sfida, un primo tentativo di costruire un'organica e trasversale *storia italiana* della tecnica e dell'industria: di fronte a un futuro di integrazione europea e di globalizzazione planetaria.

Certamente questo volume, dedicato alla cultura italiana della tecnica, coinvolgendo le arti applicate così come le più recenti culture industriali, senza dimenticare, attraverso brevi incursioni, le intersezioni con l'architettura, con il design e con la letteratura, non riesce a esaurire gli argomenti che un'enciclopedia globale avrebbe potuto prevedere: ma l'eshaustività sarebbe stata un'utopia e la scelta dei saggi, e dei loro autori, è stata dettata dalla principale esigenza di dare al Lettore, ancorché non specialista, un'idea generale della complessità dei processi tecnologici che hanno accompagnato le fortune e i momenti più critici della storia del nostro Paese. A tal fine si è voluto corredare il volume di un significativo apparato iconografico (che trasversalmente illustra molti dei temi affrontati nei saggi), completato da un sintetico atlante tematico. Egualmente indispensabili per il completamento dell'opera la Cronologia finale e l'Indice dei nomi, utili strumenti di consultazione che non si sarebbero potuti realizzare senza il supporto della Redazione, la quale, con infaticabile e paziente attività, ha accompagnato chi scrive e tutti gli autori sin dai primi istanti della messa in cantiere del volume. Senza questo gioco di squadra non si sarebbe mai arrivati alla sua realizzazione.

VITTORIO MARCHIS



AUTORI DEL VOLUME

- CRISTINA ACCORNERO: *Il taylorismo e gli sviluppi dell'igiene industriale*
 FRANCO AMATORI: *L'IRI dagli anni Trenta agli anni Settanta*
 GABRIELE BALBI: *Dal telefono alla radio (e ritorno?)*
 IVAN BALBO: *La business community torinese*
 ANDREA BERNARDONI: *Il tramonto del Medioevo; De re metallica*
 GIUSEPPE BERTA: *L'industria e le crisi degli ultimi decenni*
 DONATELLA BIFFIGNANDI: *Nascita e sviluppo dell'industria automobilistica*
 PAOLO BRENNI: *Gli strumenti della scienza e la loro produzione*
 FABIO CAFFARENA: *Le imprese aeronautiche del primo Novecento*
 ELENA CANADELLI: *La formazione professionale tra filantropia e istituzioni*
 MAURO CAPOCCI: *L'industria farmaceutica*
 GIUSEPPE CARAVITA: *Elettronica italiana: una storia con un futuro*
 ADRIANA CASTAGNOLI: *L'imprenditoria femminile nell'Italia unita*
 FABIO CATINO: *L'Italia non è un Paese povero: dall'AGIP all'ENI; L'illusione del nucleare*
 MAURO CAVALLINI: *La siderurgia*
 CLAUDIO CENSORI: *La sfida dello spazio*
 LUIGI CERRUTI: *Chimica e società: la mediazione politica; L'industria dei composti azotati; I materiali sintetici: successi, delusioni e speranze*
 MARIO COMO: *Breve storia del restauro statico*
 LUCA DE BIASE: *Elettronica italiana: una storia con un futuro*
 PAOLA DI BIAGI: *Il piano INA-Casa: 1949-1963*
 FRANCO FILIPPAZZI: *Tecnologie digitali*
 RENATO GIANNETTI: *Il servizio elettrico dai sistemi regionali alla liberalizzazione*
 ANDREA GIUNTINI: *La nascita del sistema ferroviario e il ruolo della tecnica; Le grandi infrastrutture: il sistema delle ferrovie e delle autostrade*
 GIANFRANCO GRITELLA: *L'architettura barocca e le nuove sfide del costruire*
 AULO GUAGNINI: *Una nuova tecnica del costruire: il calcestruzzo armato*
 FRANCESCO IACOVIELLO: *La siderurgia*
 FRÉDÉRIC IEVA: *La cultura politecnica*
 TULLIA IORI: *La Scuola italiana di ingegneria*
 NICOLA LABANCA: *Il fascismo e la preparazione della guerra: tecnici e politici*
- DOMENICO LAURENZA: *Alle origini della tecnologia moderna: Francesco di Giorgio e Leonardo da Vinci*
 ENRICO LUSSO: *L'ingegneria delle difese militari*
 CESARE S. MAFFIOLI: *Saper condurre le acque*
 ROBERTO MAIOCCHI: *L'elettrotecnica fino alla Grande guerra; L'Italia e l'autarchia*
 VITTORIO MARCHIS: *Le macchine e gli artefici: immagini di un'Italia preindustriale; I teatri delle macchine; Le alterne sorti del 'risorgimento' industriale italiano; Quale futuro per l'industria italiana?; Raccontare il lavoro, cantare la tecnica; Cronologia 1420-2013*
 ROBERTO MASIERO: *La sfida della cupola; L'ingegneria dei ponti e le nuove sfide del costruire*
 ANDREA MERLOTTI: *I percorsi della moda made in Italy*
 ENRICO MORTEO: *L'opera d'arte nell'epoca della sua riproducibilità industriale*
 GREGORIO PAOLO MOTTA: *La rivoluzione del moschetto; Le innovazioni delle armi portatili*
 BRUNO MURACA: *Dalla legge veneziana del 1474 alle private industriali*
 ELIO NENCI: *Dalle macchine semplici alla meccanica newtoniana*
 GIULIO OCCHINI: *Tecnologie digitali*
 SERGIO ONGER: *Inventori e invenzioni; Le esposizioni di arti e industrie*
 YASUHIRO OTA: *L'industria tessile*
 (trad. dall'ingl. di MANUELA ESPOSITO)
 ENRICA PAGELLA: *Artigiani e artisti: l'officina Italia*
 WALTER PANCIERA: *L'enciclopedismo scientifico*
 ANTY PANSERA: *Cose belle e utili: la nascita del prodotto industriale*
 GIOVANNI PAOLONI: *Le imprese del Risorgimento; I 'bianchi': la tecnologia in cucina*
 ROBERTO D. PECCEI: *Aurelio Peccei e i limiti dello sviluppo*
 SERGIO PORETTI: *La Scuola italiana di ingegneria*
 PIER LUIGI PORTA: *Milano e la borghesia degli imprenditori*
 PAOLO PRETO: *L'enciclopedismo scientifico*
 EMILIO RENZI: *L'avventura Olivetti*
 FULVIA SALA: *Tecnologie digitali*
 VITTORIO A. SIRONI: *Le tecnologie per la vita e per la salute*
 PASQUALE VENTRICE: *L'Arsenale di Venezia e i cantieri navali della marina*
 MICAELA VIGLINO DAVICO: *L'ingegneria delle difese militari*
 ANDREA VILLA: *Il miracolo economico italiano*
 DAVID ZANNONER: *La sfida della cupola; L'ingegneria dei ponti e le nuove sfide del costruire*



SERGIO PORETTI TULLIA IORI

La Scuola italiana di ingegneria

Nel secondo dopoguerra, nei due decenni in cui il Paese passa dalla ricostruzione al miracolo economico, l'ingegneria italiana si impone all'attenzione internazionale con una serie di opere strutturali di grande originalità.

Dopo la Liberazione, le occasioni per realizzare grandi strutture si susseguono numerose. Non è ancora finita la ricostruzione delle migliaia di ponti demoliti che già si avvia l'epica impresa dell'Autostrada del Sole. Nel frattempo, i grandi eventi di rilevanza internazionale, dalle Olimpiadi di Roma del 1960 alle celebrazioni del centenario dell'Unità a Torino nel 1961, richiedono la realizzazione di coperture di grande luce. E poi ci sono gli hangar e le stazioni negli aeroporti internazionali, i grattacieli a Milano e a Roma.

In questo fervore operativo prende corpo una vera e propria scuola di ingegneria. La sottilissima volta minutamente ondulata di Pier Luigi Nervi (1891-1979), l'avveniristica superficie minima del ponte sul Basento di Sergio Musmeci (1926-1981), il cavalletto strallato omogeneo in cemento armato precompresso di Riccardo Morandi (1902-1989), il ponte a travata sobriamente sagomato di Silvano Zorzi (1921-1994) sono le figure di un'ingegneria *Italian style* che va a occupare un posto di primo piano nel panorama dell'ingegneria internazionale.

A spiegare il paradosso per cui un Paese in forte ritardo tecnologico può esprimere improvvisamente un'ingegneria così avanzata non basta il talento di alcuni protagonisti. Nella prospettiva storica, l'exploit dell'ingegneria *made in Italy* appare come il momento culminante di una lunga sperimentazione, iniziata con l'avvento del cemento armato ai primi del Novecento e proseguita senza interruzioni negli anni dell'autarchia e della Seconda guerra mondiale. Su questo percorso, l'impegno di alcuni scienziati eredi della tradizione accademica innescata già negli Stati preunitari, in stretta collaborazione con una generazione particolarmente prolifica di progettisti, conduce infine alla maturazione di una maniera originale di progettare e costruire grandi strutture in cemento armato.

Ma l'apparizione dell'ingegneria *made in Italy* nel firmamento dell'ingegneria mondiale è un fenomeno tanto esaltante quanto fulmineo. Già negli anni della crisi immediatamente successiva al boom economico la meteora risulta scomparsa. E nell'attività successiva, a parte alcune code e qualche eccezione, l'opera strutturale italiana non riuscirà più a recuperare l'identità e l'autorialità del periodo aureo.

L'egemonia del cemento armato

In Italia l'ingegnere moderno nasce negli Stati preunitari precocemente, nell'immediata scia delle ingegnerie che si vengono delineando nei Paesi *first comers*. Tuttavia, solo più tardi, con l'avvento del cemento armato, assumerà la fisionomia specifica del progettista strutturale.

Durante l'Ottocento, infatti, mentre nelle università si consolida una robusta tradizione scientifica, nei vari corpi dello Stato l'ingegnere assume il profilo professionale del tecnico burocrate. È una figura con competenze molteplici: idraulico, agrimensore, architetto civile che opera soprattutto nella modernizzazione delle grandi sistemazioni catastali, nello sviluppo della rete stradale, nella bonifica delle zone paludose.

La realizzazione delle strutture metalliche, invece, è generalmente affidata a imprese e a progettisti stranieri. È vero che anche ingegneri italiani progettano alcuni dei tanti ponti sospesi disseminati sul territorio e delle centinaia di ponti ferroviari costruiti con lo sviluppo della rete nazionale dopo l'unificazione del Paese. Ma questi hanno acquisito all'estero le competenze necessarie per la progettazione e la costruzione delle strutture in ferro. Come Alfredo Cottrau (1839-1898) che, a partire dal 1870, sviluppa un'estesa attività imprenditoriale con l'Impresa industriale italiana di costruzioni metalliche. E la stessa Società nazionale officine di Savigliano, che pure negli ultimi due decenni del secolo raggiunge una propria autonomia e una dimensione nazionale, ingaggia come



SERGIO PORETTI - TULLIA IORI

direttore l'esperto ingegnere svizzero Jules Röthlisberger (1851-1911), allievo di Karl Culmann al Politecnico di Zurigo. È lui il progettista delle opere più importanti, compreso il ponte di Paderno sull'Adda inaugurato nel 1889, giustamente considerato, con quelli di Alexandre-Gustave Eiffel (1832-1923), tra i ponti più belli del mondo, con la sua arcata di 150 m di luce, dimensionata con l'elegante metodo analitico e grafico dell'ellisse di elasticità.

Sarebbe però inesatto parlare di ritardo generale nello sviluppo ottocentesco dell'ingegneria italiana. Nel frattempo, infatti, sul versante scientifico la ricerca italiana partecipa in prima linea, con i contributi di Federico Menabrea (1809-1896), di Alberto Castigliano (1847-1884), di Luigi Cremona (1830-1903), a una delle fasi più entusiasmanti nello sviluppo della meccanica: quei «trent'anni straordinari», per usare le parole di Edoardo Benvenuto (1940-1998), tra il 1850 e il 1880, in cui per strade diverse (e la via piemontese non è la meno importante) si arriva alla sistematizzazione pressoché definitiva della 'teoria classica', con la conseguente messa a punto di strumenti semplici e rapidi per il calcolo delle strutture più complesse.

L'avvento del cemento armato, alla fine del secolo, imprime una svolta drastica allo sviluppo dell'ingegneria in Italia (e dell'edilizia in generale). Rispetto alla costruzione metallica, infatti, il cemento armato presenta una maggiore compatibilità con lo stato artigianale dell'edilizia italiana. E, dopo un periodo di iniziale scetticismo da parte dell'ambiente accademico, anche nel settore scientifico l'attenzione si concentra interamente sul nuovo materiale: tant'è che, in pochi anni, la struttura metallica scomparirà dalla scena produttiva italiana, per riapparire solo in pochissimi episodi.

Ad agevolare l'inserimento del cemento armato nell'assetto della scienza delle costruzioni, sviluppata in precedenza con esclusivo riferimento alla struttura metallica, sono i due più eminenti rappresentanti della disciplina: Camillo Guidi (1853-1941), che nel 1906 inserisce l'argomento in appendice al suo diffusissimo testo *Lezioni sulla scienza delle costruzioni*, e Silvio Canevazzi (1852-1918), che dopo una serie di successivi affinamenti nel 1904 pubblica *Ferrocemento (cemento armato, smalto cementizio armato). Formule di elasticità e di resistenza*.

In entrambi i casi l'iniziale pregiudizio per una tecnica considerata troppo rudimentale è superato grazie alla contiguità degli scienziati con alcuni protagonisti della fase pionieristica del cemento armato. Guidi ha tra i suoi allievi Giovanni A. Porcheddu (1860-1937), uno dei più importanti agenti del sistema Hennebique. Canevazzi insegna a stretto contatto con Attilio Muggia (1861-1936) che, a sua volta, è un agente dello stesso sistema francese.

Comincia così quel proficuo interscambio tra scienza e tecnica che resterà uno dei capisaldi della Scuola italiana. In questo clima a Torino un altro giovane al-

lievo di Guidi, Arturo Danusso (1880-1968), inizia la sua avventura, che scorrerà sempre sul doppio binario della teoria e della sua applicazione pratica. Mentre a Bologna, della compresenza di Canevazzi e Muggia approfitta un altro allievo eccellente, Pier Luigi Nervi, che inizia qui la sua attività di progettista specialista nel progetto e nella costruzione di strutture in cemento armato.

La sperimentazione su modelli e il sistema Nervi

Operando sul doppio fronte della ricerca teorica e della progettazione, Danusso matura la convinzione che la teoria classica sia inadeguata a descrivere il comportamento statico della struttura in cemento armato.

Il calcolo analitico, messo a punto con riferimento al comportamento del materiale in fase elastica, non può tener conto delle risorse nascoste che la struttura in cemento armato attiva nella fase iniziale della deformazione plastica, quando tende a scaricare parti, che in regime elastico risulterebbero eccessivamente caricate, se vi sono altre parti di essa, inizialmente meno impegnate, in cui gli sforzi possono emigrare a beneficio della stabilità dell'insieme. Partendo da questa considerazione, peraltro largamente condivisa, Danusso, anziché impegnarsi per l'affinamento dello strumento analitico, come stava facendo Gustavo Colonnetti (1886-1968), apre una strada nuova in Italia per il calcolo e la verifica delle strutture, basata sulla sperimentazione empirica.

Da un lato, stimola i progettisti a esplorare liberamente il mondo delle nuove forme resistenti che il cemento armato consente di realizzare, senza lasciarsi condizionare dai limiti della teoria, usando l'intuizione nella fase dell'ideazione.

Dall'altro, istituisce già nel 1931 il laboratorio Prove modelli e costruzioni nel Politecnico di Milano. Qui, due anni dopo, entra in funzione la sezione della fotoelasticità, procedimento ottico che consente di 'vedere' la distribuzione delle tensioni, e nel 1935 la sezione grandi modelli, attraverso i quali è possibile indagare direttamente lo stato di sollecitazione. Inizia così un'intensa e continua attività di supporto alla progettazione di strutture in cemento armato complesse e altamente iperstatiche, dalle dighe, ai ponti, agli edifici alti, che dal 1951 proseguirà e si amplierà nel laboratorio dell'ISMES (*Istituto Sperimentale Modelli e Strutture*) istituito dallo stesso Danusso a Bergamo.

Le sollecitazioni di Danusso a mettere in atto una visione sintetica del comportamento statico della struttura si incontrano, all'inizio degli anni Trenta, con l'attività che Nervi, con lo stesso orientamento, stava autonomamente conducendo da alcuni anni. Dopo le strutture del Teatro Banchini a Prato, o del Teatro Augusteo a Napoli (la cui moderna plasticità risultò



visibile solo nella fase del cantiere), dopo le dinamiche strutture esibite dello stadio Berta a Firenze, che gli procurarono un'immediata, stupefacente fama internazionale, dalla stessa impostazione intuizionista e sperimentale nascono nel 1936 le aviorimesse per l'aeronautica militare. Qui finalmente la collaborazione tra Nervi e Danusso può concretizzarsi con le prove eseguite nel laboratorio di Milano su un modello di celluloido.

Negli stessi anni dell'autarchia e della guerra, Nervi si impegna, con la sua impresa Nervi & Bartoli, in una sperimentazione parallela, volta a reinventare il modo di fabbricare le strutture in cemento armato. Il problema da risolvere è il costo elevato delle centine e casseforme necessarie per il getto in opera, che rischia di vanificare il risparmio di materiale dovuto all'efficienza statica della complessa struttura. E non si tratta soltanto di economia spicciola: «La cassaforma in legname costituisce un passaggio obbligato attraverso forme proprie del legno, che limita la libertà della struttura cementizia» scrive Nervi in *Scienza o arte del costruire?* (1945). È necessario dunque inventare un procedimento per costruire la struttura in modo più semplice ed economico (perché più adatto alla natura del materiale).

Nasce da questa esigenza il sistema Nervi, che si basa su due geniali espedienti: la prefabbricazione strutturale e il ferrocemento.

La prefabbricazione strutturale consiste nel confezionare a piè d'opera piccole parti e nell'unire poi i pezzi prefabbricati con getti di 'saldatura', ripristinando integralmente la monoliticità e la continuità strutturale. È lo stratagemma escogitato nella costruzione della seconda serie delle aviorimesse per l'aeronautica (le sei di Orvieto, Orbetello, Torre del Lago), quando lo stesso complicato intreccio degli archi della prima serie viene eseguito, questa volta, senza cassaforma, con il solo ausilio di un leggerissimo ponteggio mobile.

Il ferrocemento è un inedito composto messo a punto negli anni della guerra, nella costruzione di barche. È un feltro composto di reti metalliche inglobate in un impasto di cemento e sabbia, adatto alla realizzazione di solette sottili, che sfruttano la resistenza per forma. Con due, nuove, fondamentali proprietà: strutturalmente si comporta come un materiale omogeneo; il confezionamento non richiede la cassaforma, in quanto la rete d'armatura può trattenere l'impasto applicato direttamente a mano.

Perfezionato attraverso numerose esperienze minori, il sistema si rivela adatto alla realizzazione di grandi coperture. Ed è questa la vera, straordinaria invenzione di Nervi. Nel 1947, per il salone B dell'Esposizione di Torino, saldando in sito piccoli 'conci d'onda' in ferrocemento dello spessore di soli tre centimetri, prefabbricati manualmente a piè d'opera, l'ingegnere costruisce una volta a botte di oltre 90 m di luce, con rapidità ed economicità straordinarie.

Su questa strada, nelle grandi coperture minutamente ondulate o nervate dei capolavori della maturità di Nervi, si completa un'interpretazione assolutamente originale della volta sottile, con una strategia tecnologica che nel dopoguerra anche a livello internazionale diventa uno dei motori del rilancio in grande stile della struttura in cemento armato.

Gustavo Colonnetti e la precompressione

Un'altra innovazione basilare per la rivitalizzazione della struttura in cemento armato è la tecnica della precompressione. La difficoltà di realizzare luci ampie, a causa soprattutto della scarsa resistenza a trazione del calcestruzzo – che nella volta sottile viene superata per via geometrica sfruttando la resistenza per forma – con la precompressione è aggirata invece per via meccanica, approfittando della possibilità del composto armatura-calcestruzzo di innescare stati di coazione.

Mentre alla base dello sviluppo delle volte sottili, come abbiamo visto, c'è il sodalizio tra Danusso e Nervi, il protagonista assoluto dello sviluppo del cemento armato precompresso è un altro scienziato, Gustavo Colonnetti, anche lui esponente prestigioso della scuola torinese.

Convinto assertore della necessità di indagare le strutture al di là della teoria classica dell'elasticità, Colonnetti ha studiato a lungo sia il comportamento del corpo elastoplastico sia gli stati di coazione. E quando, sul finire degli anni Trenta, durante un giro di conferenze a Parigi viene affascinato dagli esperimenti di Eugène Freyssinet (1879-1962), intraprende un'efficacissima opera di divulgazione della precompressione in Italia. In quella 'rivoluzione dell'arte del costruire' riscontra, infatti, una geniale applicazione delle proprie teorie, al fine di ottimizzare il comportamento strutturale del cemento armato.

Con questo entusiasmo il 1939 diventa un anno particolarmente operoso. A settembre elabora un sistema di calcolo per le travi ad armatura preventivamente tesa; a dicembre deposita un brevetto per travi precomprese, che sintetizza il meglio dei sistemi già messi a punto dallo stesso Freyssinet e, in Germania, da Franz Dischinger (1887-1953).

Ma siamo in piena autarchia, a un passo dall'entrata in guerra, e non è certo il momento più adatto per introdurre innovazioni nell'impiego del cemento armato. Ciò non basta ad arrestare l'azione di Colonnetti. Durante il conflitto, prosegue il suo lavoro nel Campo di internamento universitario italiano, organizzato con la Scuola di ingegneria di Losanna per consentire a giovani universitari fuggiti dall'Italia di proseguire gli studi. Nel Campo transitano alcuni degli ingegneri che saranno gli artefici della nuova tecnologia della precompressione in Italia: Franco Levi (1914-2009), Aldo Favini (1916-2013), Silvano Zorzi.



SERGIO PORETTI - TULLIA IORI

E quando, richiamato a Roma nel dicembre del 1944 come presidente del CNR (*Consiglio Nazionale delle Ricerche*), Colonnetti diviene uno dei grandi registi della ricostruzione, lo sviluppo del precompresso è una delle priorità. Nel luglio del 1945 viene istituito, presso il Politecnico di Torino, il Centro di studio sugli stati di coazione elastica, la cui direzione è affidata a Levi. Nel 1947 viene varato il decreto legge che regola l'impiego delle strutture precomprese. Nel 1949 si costituisce l'Associazione nazionale italiana del cemento armato precompresso.

L'effetto dell'azione promozionale è immediato. Tra il 1949 e il 1951 si costruiscono i primi ponti in cemento armato precompresso: quello sul Samoggia di Giuseppe Rinaldi, collaudato nel marzo del 1950; il ponte sull'Elsa di Riccardo Morandi, completato a settembre dello stesso anno; il ponte per l'impianto sul Mucone, del 1951, del più giovane Zorzi.

In queste primissime opere lo schema statico è quello più semplice, la trave appoggiata, e la tecnica è quella più comune a cavi scorrevoli post-tesi. È una fase sperimentale e il cantiere del precompresso diventa luogo ideale per mettere a punto sul campo la necessaria collaborazione fra teorici e progettisti. Come stabilito nel decreto del 1947, infatti, è il Centro studio delle coazioni elastiche che approva i progetti e collauda opere e brevetti.

Per i progettisti più appassionati, il precompresso spalanca un nuovo, stimolante campo sperimentale. Da questa rivoluzionaria tecnologia nasceranno le inedite, stupefacenti strutture di Morandi e la stessa magia alimenterà il più sobrio, ma non meno sofisticato rinnovamento stilistico che Zorzi condurrà sugli schemi strutturali più semplici.

Dalla ricostruzione al boom economico

Con la sperimentazione di Nervi sulle volte sottili e con i primi ponti in precompresso siamo già entrati nel vivo della ricostruzione postbellica: è la fase in cui si innesca un periodo di straordinaria operatività per l'ingegneria italiana, che finalmente può applicare nella realizzazione di grandi piani infrastrutturali gli esiti di linee sperimentali lungamente elaborate negli anni precedenti.

Nella ricostruzione delle migliaia di ponti demoliti durante il conflitto, l'arco in cemento armato ordinario, che ha avuto ampia diffusione nel periodo tra le due guerre, continua a dominare la scena. Lo stesso Morandi, che pure è già intensamente impegnato con martinetti e trefoli, nella ricostruzione del ponte San Niccolò a Firenze, fatto saltare con tutti gli altri nella notte del 3 agosto 1944, ripropone un arco ribassato risultante dalla ricerca di una soluzione 'a flessibilità confrontabile' lungo l'intera luce.

Sebbene ampiamente collaudata, la tipologia del ponte ad arco riaccende anche l'interesse della scien-

za oltre che dei progettisti. Lo dimostra una sottile linea sperimentale che si snoda tra le minute vicende della ricostruzione e che consiste nella riproposizione di uno dei tipi strutturali messi a punto da Robert Maillart (1872-1940): il ponte a volta sottile con impalcato irrigidente. È una struttura che funziona, grosso modo, come un ponte sospeso ribaltato. L'eleganza dello schema affascina i giovani, progettisti e teorici. Il ponte sul Nera e il ponte sul Frigido sono progettati nel 1947 da due esponenti della scuola romana, Arrigo Carè (1919-2004) e Giorgio Giannelli (1918-1985), a stretto contatto con il teorico Giulio Ceradini (1918-2005), che nei tre anni precedenti ha studiato la tipologia nel Laboratorio federale di prova sui materiali di Zurigo. In seguito, nel 1955 il ponte sul Corace e nel 1956 il ponte sul Vernotico sono realizzati da Adriano Galli (1904-1956) e Vincenzo Franciosi (1925-1989), che tengono viva la solida tradizione della scuola napoletana.

Sulla fase della ricostruzione vera e propria, mirata al ripristino del patrimonio distrutto durante la guerra, s'innesta, a partire dalla metà degli anni Cinquanta, un vasto programma di nuove opere edilizie e infrastrutturali. È il periodo, breve e straordinario, del miracolo economico (più o meno coincidente con la presidenza della Repubblica di Giovanni Gronchi). Nel giro di pochi anni, dallo stato di cronica arretratezza l'Italia balza direttamente nel piccolo gruppo dei Paesi più sviluppati. Un salto acrobatico che ha indotto recentemente gli storici dell'economia a definire il Paese ritardatario di successo sulla via della modernizzazione.

È la fase in cui la Scuola italiana di ingegneria si consolida sul campo. Non solo con le opere dei suoi protagonisti più noti, ma grazie alla diffusa collaborazione nella pratica fra due intere generazioni di teorici e progettisti: i maestri Colonnetti e Danusso, affiancati dagli allievi Levi, Giulio Pizzetti (1915-1990), Guido Oberti (1907-2003), Ceradini; i progettisti, Giulio Krall (1901-1971), Nervi, Morandi, Carlo Cestelli Guidi (1906-1995) inseguiti da vicino dai più giovani Zorzi, Musmeci, Carè e Giannelli, Galli e Franciosi.

L'Autostrada del Sole, primo tronco di un vasto e ambizioso piano autostradale, promosso nel 1955 dal ministro Giuseppe Romita, destinato a favorire il trasporto automobilistico privato, per l'ingegneria strutturale ha un effetto propulsivo straordinario, paragonabile a quello che il piano Ina-Casa (che è entrato nel secondo settennio) esercita sull'architettura.

È anche l'occasione per la definitiva affermazione del cemento armato, sia ordinario sia precompresso: solo due, su circa 400, saranno i ponti in acciaio, entrambi progettati da Fabrizio de Miranda (n. 1926).

Il rapido avvio della costruzione (il progetto di massima era già stato elaborato, tra il 1953 e il 1955, da Francesco Aimone Jelmoni, 1910-1991) è seguito da una straordinaria efficienza nella fase esecutiva. Il

19 maggio 1956 si posa il primo cippo chilometrico a San Donato Milanese e già il 4 ottobre 1964 sono aperti al traffico i 750 chilometri complessivi. Il segreto della rapidità sta nella frammentazione dei lavori in piccoli lotti, ciascuno di pochi chilometri. La conseguenza è che nei tanti appalti-concorso le opere vengono ridisegnate una a una. Nella dimensione del piccolo cantiere il vantaggio della standardizzazione viene meno. E alla fine, nella varietà dei ponti e dei viadotti, la 'strada dell'Unità' diventa un repertorio completo delle diverse anime della Scuola italiana.

Alla travata o al portale in precompresso vengono affidati gli attraversamenti dei fiumi più prestigiosi (il Po, l'Arno, il Tevere), con soluzioni, per lo più isostatiche, elaborate dagli specialisti della tecnologia, Zorzi, Morandi, Cestelli Guidi, Castiglia, Levi, Turazza. Sono questi i cantieri nei quali la collaborazione tra teorici e progettisti viene istituzionalizzata: l'apposito Ufficio collaudi, che dal maggio 1958 affianca i direttori dei lavori, si avvale della collaborazione del Centro studi delle coazioni elastiche.

Contemporaneamente l'arco in cemento armato di grande luce, con la sua eleganza, svolge il ruolo della primadonna nel tratto appenninico. Nello spazio di poche decine di chilometri si susseguono alcuni dei ponti più belli del Novecento italiano: il viadotto sull'Aglio di Oberti, il Poggettone e Pecora Vecchia di Carè e Giannelli, i ponti sul Merizzano e sul Gambellato di Krall, quello sul Sambro di Morandi.

Ma il vero artefice di un'opera così imponente, portata a termine in tempi tanto rapidi, è il piccolo cantiere italiano (disseminato lungo tutto il percorso). A restituire il carattere epico e artigianale della grande impresa sono la centina per il getto in opera dei ponti, una splendida incastellatura di tralicci tubolari in acciaio disposti a ventaglio, e i temerari Blondin tipo Cruciani, teleferiche a falconi oscillanti utilizzate per la distribuzione dei getti.

All'opera collettiva per eccellenza dell'ingegneria manca l'apporto del suo più importante protagonista, Nervi. In compenso negli stessi anni la sua opera sta entrando in tutte le case con le immagini televisive delle Olimpiadi di Roma del 1960.

Dopo la realizzazione del Salone dell'automobile di Torino, Nervi ha avuto i più ampi riconoscimenti in campo internazionale. Numerose, autorevoli monografie ne illustrano l'opera; i suoi stessi scritti spiegano i principi, i metodi e i procedimenti; le conferenze e le tante lauree *honoris causa* nelle più prestigiose università confermano l'interesse del mondo scientifico per il suo lavoro. Eppure, la definitiva sua consacrazione tra i maestri dell'ingegneria del Novecento avviene tra il 1957 e il 1962, «periodo questo particolarmente intenso», sottolinea lo stesso ultrasessantenne ingegnere nell'introduzione a *Nuove strutture* (1963), ultima puntata della sua autobiografia saggistica, iniziata con *Scienza o arte del costruire?* e proseguita con *Costruire correttamente* (1955).

Nella circostanza, con la sua impresa Nervi & Bartoli l'ingegnere progetta e costruisce in pochi mesi quattro autentici capolavori. Il Palazzetto dello sport al Flaminio, in cui la cupola di 60 m di diametro sostenuta da 36 cavalletti radiali è disegnata all'interno da una minuta trama di nervature romboidali. Il Palazzo dello sport all'Eur, coperto da una cupola di 100 m, fortemente ribassata e plasmata con fitte onde radiali. Lo Stadio Flaminio, scandito all'esterno dalla ripetizione dei telai delle gradonate, sulle quali spicca la snella pensilina dal profilo corrugato. Il viadotto di corso Francia, sostenuto da piloni sagomati, la cui sezione, cruciforme alla base, vira seguendo una rigata verso il rettangolo in sommità.

Nell'insieme le forme architettoniche appaiono piuttosto tradizionali, con una netta predilezione per le curve simmetriche. L'originalità e la modernità stanno nelle minute modellature della struttura in cemento armato: trame e ondulazioni delle cupole e delle volte, sagomature dei pilastri.

In queste forme si coglie il tratto inconfondibile dell'architettura di Nervi. Le superfici, sebbene ricche e articolate come è tipico della decorazione, in realtà riproducono fedelmente il flusso delle tensioni all'interno della struttura. Sfruttando la natura di pietra fusa del cemento armato, la forma segue, punto per punto, l'andamento delle sollecitazioni. Nel carattere minuziosamente descrittivo, la sincerità strutturale, che rimanda alla tradizione ingegneristica moderna, assume una sua personalissima intonazione. L'immagine non si accontenta di evidenziare la congruità tra forma e struttura, ne ostenta la totale identificazione.

È il risultato della capacità di Nervi di intuire il comportamento strutturale, naturalmente. Ma anche delle potenzialità del sistema Nervi, di cui le opere olimpiche sono il teatro. Nonostante la dimensione, la costruzione delle articolate forme strutturali si svolge manualmente, in modo straordinariamente economico. Ampiamente collaudato in opere minori negli anni precedenti, il sistema Nervi viene applicato in tutte le sue varianti, escogitando di volta in volta la più conveniente combinazione tra pezzi da prefabbricare e getti di completamento in opera.

Quando Gronchi dichiara aperti i Giochi di Roma, il 25 agosto 1960, fervono già i preparativi per un altro evento di rilievo internazionale: le celebrazioni per il centenario dell'Unità d'Italia, a Torino. È un'altra occasione nella quale alcuni tra i più importanti protagonisti della Scuola italiana si confrontano direttamente.

Al concorso più ambito, l'appalto per la costruzione del Palazzo del lavoro, partecipano varie coppie illustri di architetti e ingegneri, da Roberto Gabetti e Aimaro Oreglia d'Isola con Morandi a Carlo Molino con Musmeci. Ma vince anche qui Nervi, che più degli altri garantisce il rispetto dei tempi, ormai seriatissimi. Anche se per costruire il colossale edificio in meno di un anno (da febbraio a dicembre del 1960)

SERGIO PORETTI - TULLIA IORI

deve rinunciare alle sue più tipiche soluzioni strutturali in cemento armato, affidando la realizzazione degli spettacolari ombrelli di acciaio a Gino Covre (1892-1971) e alla ditta Antonio Badoni di Lecco.

A poche decine di metri, intanto, si erige il Palazzo delle mostre: una copertura a vela appoggiata su tre punti, ideata da Levi con la collaborazione di Nicolas Esquillan (1902-1989), che ha calcolato la volta molto simile del Centre des nouvelles industries et technologies (CNIT) di Parigi, in cemento armato precompresso. È l'ennesimo esempio di come la stretta collaborazione tra scienza e progettazione in questo aureo periodo produca risultati di grande rilevanza.

L'invenzione di Morandi

Nelle grandi realizzazioni del boom la partecipazione di Morandi è defilata. A Roma progetta il cavalcavia della via Olimpica. A Torino disegna la futuristica monorotaia sopraelevata. Per l'Autostrada del Sole firma alcuni ponti singolarmente sobri. Ma, parallelamente, l'ingegnere romano, alle prese con opere ben più impegnative, ha imboccato un percorso che lo condurrà presto a mettere a punto uno stile architettonico assolutamente unico.

Fin dai primi lavori degli anni Trenta è emersa la sua spiccata propensione a ridisegnare le più convenzionali strutture in cemento armato – ad arco, a travata, a telaio – con una maggiore leggerezza ed essenzialità. Nelle sue opere, i setti e le lastre curve delle classiche strutture in cemento armato sono scomposti in fasci di elementi lineari. Dalla continuità di superfici prevalentemente iperstatiche si passa a lineari sistemi di aste, preferibilmente isostatici, scanditi da evidenti cerniere. Applicata al classico ponte ad arco questa strategia conduce agli alleggerimenti dei ponti sull'autostrada Genova-Savona, della passerella sul Lussia, del ponte sullo Storms River (Sudafrica), prima di arrivare all'impressionante esilità del ponte sulla Fiumarella a Catanzaro, con il suo arco di oltre 230 m di luce.

Nel frattempo, in una sperimentazione iniziata negli anni della guerra, la strategia della leggerezza viene rafforzata dall'impiego sapiente e appassionato della precompressione. Autore di una serie di brevetti di dispositivi per la tensione dei cavi e di alcune prove sperimentali eseguite nell'ambito dell'impresa F.lli Giovannetti, dopo il pionieristico ponte sull'Elsa, Morandi fa leva sulla nuova tecnica per riproporre versioni ancora più sofisticate e ultraleggere delle tipologie strutturali di base: la travata isostatica Gerber, il telaio incernierato al piede, la trave bilanciata con tiranti sottesi.

È la strada che porta Morandi alla sua più spettacolare invenzione: la trave strallata su cavalletto bilanciato. La prima realizzazione nel grandioso ponte sulla laguna di Maracaibo (Venezuela), il più lungo

del mondo con i suoi 9 chilometri, gli procura una fama internazionale paragonabile, tra gli italiani, solo a quella di Nervi.

Alla consueta disarticolazione in elementi lineari del pilone e dell'impalcato Gerber si aggiunge il sistema antenna-stralli, che rende le membrature più esili e l'insieme più imponente e spettacolare.

L'originalità del cavalletto strallato non consiste nella scelta della tipologia strutturale, già ampiamente collaudata nel campo della costruzione metallica, ma nella sua esecuzione con la tecnica del cemento armato precompresso, che prevede la modellazione artigianale degli elementi. Dal contrasto fra la leggerezza di struttura tirantata e la natura sostanzialmente muraria nasce la forza figurativa e simbolica del cavalletto strallato. Ne è pienamente consapevole Morandi, che nelle successive realizzazioni italiane – il viadotto del Polcevera a Genova soprattutto, ma poi anche il viadotto nell'ansa del Tevere alla Magliana (Roma) e gli hangar all'aeroporto di Fiumicino – estende l'impiego del cemento in coazione alla struttura complessiva. Appaiono alla fine plasmati in cemento persino gli stralli, evidentemente sollecitati a trazione e dunque di solito ragionevolmente di acciaio.

Ingegneria *Italian style*

All'inizio degli anni Sessanta la fama internazionale dell'ingegneria italiana dilaga in tutto il mondo. Le cupole di Nervi, che fanno da sfondo alla premiazione con la medaglia d'oro di Cassius Clay, ammirate da Grace Kelly durante una celebre visita in Italia, diffondono i simboli del miracolo italiano. Nel cavalletto strallato di Morandi si riconosce uno dei segni più monumentali del *made in Italy*. Alla mostra *Twentieth century engineering* al Museum of modern art di New York, nel 1964, in un succinto panorama mondiale, è incluso un numero elevatissimo di opere italiane.

Ma quali sono gli elementi fondamentali su cui si basa l'identità così spiccata che è venuta assumendo nel corso di queste vicende l'ingegneria strutturale italiana? L'artefice della Scuola di ingegneria italiana è una figura polivalente di scienziato, costruttore, designer. Figura che, se da una parte resta saldamente radicata nell'alveo del positivismo di stampo ottocentesco, dall'altra, assume una connotazione spiccatamente umanistica.

Il singolare positivismo umanistico, che distingue l'ingegneria italiana dalle altre, per es. quella anglosassone, è conseguenza del suo profondo legame con la storia culturale del Paese, dalla quale assorbe i principali caratteri. Il neoidealismo, prima di tutto. Sappiamo bene come non ci sia altro caso al mondo in cui un filosofo abbia influenzato tanto la cultura di un Paese, come Benedetto Croce nei confronti dell'Italia. La sua estetica, in particolare, è penetrata in tutti i settori della cultura, suscitando entusiasmi, alimentando vere e

proprie fedi, innescando il più sofisticato dibattito, arrivando a forgiare il buon senso comune (anche di quella professionalità illuminata che si viene riscoprendo come una delle anime più originali del modernismo italiano). Particolarmente sensibile a questa influenza è l'ingegnere. Che anziché opporsi alla subordinazione della scienza rispetto alla cultura umanistica, ne diventa paradossalmente il più convinto assertore.

Poi, il cattolicesimo. Anche nel dibattito che porta verso il concordismo tra scienza e fede religiosa, centrale nella cultura italiana, l'ingegnere è parte molto attiva. La tesi della reciproca compatibilità, basata, non sull'indipendenza della scienza (per quel che riguarda la conoscenza), ma sulla sua presunta natura metafisica e spiritualistica, trova nell'ingegnere il più entusiasta sostenitore. Soprattutto tra gli scienziati. Colonnetti parla di ingegnere aiutante di Dio e allude a una sostanziale equivalenza tra giustizia distributiva delle tensioni e giustizia divina. Danusso prospetta «l'ordine fisico (come) specchio analogico dell'ordine morale» (secondo il titolo di un suo saggio del 1965) e non perde occasione per tracciare suggestive analogie tra la meccanica e la vita.

Il futurismo, anche. L'affinità tra l'ingegneria e la più importante avanguardia italiana nasce da un'attrazione reciproca. L'iconografia futurista usa tutti i caratteri dell'ingegneria strutturale: positivismo, scienziatismo, tecnologismo, artigianalità. La macchina più adatta a evocare velocità, leggerezza, dinamismo è la struttura moderna. Nel dramma di Tommaso Marinetti *Poupées électriques* (1909) l'ingegnere è metafora non del buon senso comune, ma della genialità futurista. E, d'altra parte, non è nella tensistruttura progettata dall'ingegnere Guido Fiorini (1891-1965) che troviamo la trascrizione più fedele delle visioni di Antonio Sant'Elia (1888-1916)? Reciprocamente, infatti, l'ingegneria italiana assorbe dal futurismo il carattere figurativo, il lirismo, il gusto visionario.

Dal complesso di questi caratteri deriva la speciale italianità dell'opera strutturale. Che accomuna l'ingegneria di questi anni con il design, non a caso protagonista di un successo internazionale altrettanto eclatante. D'altra parte, il tavolo e il ponte condividono, oltre alla centralità dell'aspetto strutturale nella morfologia, una delle radici più profonde dell'*Italian style*: la conservazione della natura artigianale nell'oggetto tecnologicamente avanzato.

La scomparsa delle lucciole

Alla fine degli anni Sessanta il periodo aureo dell'ingegneria italiana si conclude bruscamente. Alla base di questa involuzione c'è il mutamento delle condizioni produttive, con il passaggio dall'eccezionale sviluppo degli anni del boom alla successiva crisi congiunturale, all'instabilità politica fino alle crisi energetiche e all'austerità degli anni Settanta.

Ma la quasi totale eclisse di opere d'autore nei decenni successivi al miracolo è anche la conseguenza di una trasformazione più generale e profonda del settore dell'ingegneria strutturale, che conduce, in un quadro più ampio, all'estinzione della figura classica del progettista di grandi strutture.

Con l'avvento dell'informatica e i mutamenti nelle modalità di applicazione dello strumento scientifico, da una parte, e con la specializzazione avanzante, dall'altra, il rapporto tra scienza e tecnica – così intenso e fecondo nel periodo aureo dell'ingegneria *Italian style* – diviene ora indiretto e mediato (in Italia addirittura accademicamente conflittuale). La grande struttura non è più l'opera individuale di un autore: è il prodotto, impeccabile, sofisticato, ma spersonalizzato del team multinazionale e plurispecialistico.

A impreziosire il declino dell'ingegneria italiana, il periodo aureo lascia varie code da cui scaturiscono alcuni memorabili capolavori postumi.

I viadotti anonimi e standardizzati della Salerno-Reggio Calabria (confrontati con quelli d'autore dell'Autostrada del Sole) restituiscono una delle immagini più chiare del declino della scuola italiana. Con due eccezioni: il viadotto Italia sul fiume Lao e il viadotto sulla fiumara dello Sfalassà, che trovano, entrambi, una nuova identità nel felice inserimento di gigantesche travi di acciaio tra le campate in precompresso.

C'è poi lo sforzo solitario di Zorzi che, pur accettando l'inevitabile egemonia del viadotto a travata, non si rassegna alla spersonalizzazione dell'opera strutturale e s'impegna nel disperato tentativo di sublimare la semplicità di quello schema attraverso l'accurato design. Operazione che lascia tracce, quasi invisibili, ma profonde, in alcuni viadotti di ultima generazione, per es. quello sul Gorsexio. E che lo porta a disegnare uno dei più bei ponti italiani del Novecento, il quasi sconosciuto ponte di Pinzano sul Tagliamento, un portale a tre cerniere di 163 m di luce, gettato senza centine.

Ma il più affascinante capolavoro postumo della scuola italiana è il ponte sul Basento a Potenza di Mursmeci. Dal tentativo di ricavare scientificamente la forma minima, scaturisce uno dei simboli più originali ed efficaci dell'intera sperimentazione italiana: una forma plastica, possente e inedita, in cui la superficie in cemento diviene immagine speculare della membrana tesa.

Un capitolo a parte richiederebbero poi le tante opere realizzate all'estero dagli ingegneri italiani. Prima di tutto quelle di Nervi, vera archistar *ante litteram*. In architetture come la sede dell'Unesco a Parigi, la stazione degli autobus a New York, la torre di Montréal, l'ambasciata italiana a Brasilia, lo stile Nervi continua a diffondersi nel mondo. Mentre in patria riceve la definitiva consacrazione con la costruzione dell'Aula vaticana.

Contemporaneamente, anche nella generalizzata difficoltà di un reinserimento nel quadro internazio-

SERGIO PORETTI - TULLIA IORI

nale, si registra qualche eccezione. Massimo Majowiecki (n. 1945) operando nel settore delle tensostrutture fin dagli esordi negli anni Settanta, fornisce contributi originali sul versante teorico con l'uso del calcolatore elettronico, con particolare riferimento alla interattività. Una sperimentazione che gli consente di realizzare opere importanti, in Italia e all'estero.

Così come Mario Petrangeli (n. 1938), allievo di Ceradini e di Morandi, che sa conquistare una dimensione internazionale, fino a misurarsi con la sfida del ponte strallato ferroviario: quello sul Po lungo la linea Alta velocità Bologna-Milano, inaugurato nel 2005.

Con queste e altre eccezioni, resta il fatto che nel suo insieme l'ingegneria italiana, dopo gli anni del miracolo, stenta a ritrovare una propria identità nelle nuove dinamiche sovranazionali. La generazione di Nervi, Morandi, Musmeci, Zorzi, Cestelli Guidi consegna ai posteri un cospicuo patrimonio di opere di altissima qualità. Ma non lascia eredi. Mentre si dissolve l'*humus* culturale ed economico in cui è cresciuta la figura demiurgica del progettista tuttofare protagonista dell'ingegneria *made in Italy*, i gloriosi studi dei protagonisti chiudono uno dopo l'altro. E vengono meno anche le condizioni che hanno consentito la sopravvivenza del cantiere artigianale, basato sul massiccio impiego di maestranze ancora legate alla gloriosa tradizione e tuttavia a buon mercato.

Tra le figure coinvolte nella pasoliniana «scomparsa delle lucciole» – metafora del dissolvimento della tradizione culturale italiana nel dilagante processo di omologazione – una delle più illustri è l'ingegnere.

Opere

C. GUIDI, *Lezioni sulla scienza delle costruzioni*, Torino 1891.

S. CANEVAZZI, *Ferrocemento (cemento armato, smalto cementizio armato). Formule di elasticità e resistenza*, Torino 1904.

A. DANUSSO, *Le autotensioni. Spunti teorici ed applicazioni pratiche*, «Rendiconti del seminario matematico e fisico di Milano», 1934, 8, pp. 217-46.

G. COLONNETTI, *Scienza delle costruzioni*, Torino 1941.

P.L. NERVI, *Scienza o arte del costruire? Caratteristiche e possibilità del cemento armato*, Roma 1945.

C. CESTELLI GUIDI, *Il conglomerato precompresso. Teoria, esperienza, applicazioni*, Roma 1947.

G. BOAGA, B. BONI, *Riccardo Morandi*, Milano 1962.

Twentieth century engineering, New York 1964.

S. MUSMECI, *La statica e le strutture*, Roma 1971.

Silvano Zorzi. *Ponti e viadotti*, Roma 1981.

Bibliografia

E. BENVENUTO, *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico*, Firenze 1981.

E. BENVENUTO, *Contributi italiani alla scienza delle costruzioni*, in *Storia delle scienze*, a cura di C. Maccagni, P. Freguglia, Busto Arsizio 1989, pp. 875-938.

T. IORI, *Il cemento armato in Italia dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Roma 2001.

S. PORETTI, *Un tempo felice dell'ingegneria italiana. Le grandi opere strutturali dalla ricostruzione al miracolo economico*, «Casabella», 2006, 739-40, pp. 6-11.

«Rassegna di architettura e urbanistica», gennaio-agosto 2007, 121-22, nr. monografico: *Ingegneria italiana*, a cura di T. Iori, S. Poretti.

T. IORI, S. PORETTI, *Pier Luigi Nervi. L'Ambasciata d'Italia a Brasilia*, Milano 2008.

S. PORETTI, *Modernismi italiani. Architettura e costruzione nel Novecento*, Roma 2008.

T. IORI, *Pier Luigi Nervi*, Milano 2009.

«Rassegna di architettura e urbanistica», maggio-dicembre 2012, 137-38, nr. monografico: *Ingegneria oggi*, a cura di T. Iori, S. Poretti.