

Percorsi dell'ingegneria italiana nel Novecento

Mario de Miranda

L'ingegneria italiana delle costruzioni ha conseguito nel corso del XX secolo importanti traguardi dal punto di vista dello sviluppo tecnico e scientifico della disciplina, risultati ottenuti attraverso una straordinaria esperienza di competizione e concorrenza, ma poi anche di integrazione, tra le due principali tecniche costruttive del nostro secolo che sono il cemento armato e l'acciaio.

Queste tecniche costruttive sono state affiancate e supportate dai relativi filoni di ricerca, sia a livello accademico e scientifico, che in campo progettuale negli studi di progettazione e negli Uffici Tecnici delle imprese di costruzione, come anche nel campo delle tecniche costruttive in cantiere e nelle officine. In queste note vogliamo ripercorrere questo sviluppo, questa competizione e questa ricerca, che hanno prodotto in quei decenni opere di grande interesse che hanno fortemente contribuito allo sviluppo economico e sociale del nostro Paese.

La tradizione e l'innovazione del cemento armato

La tecnica del cemento armato ha conosciuto in Italia un forte sviluppo a partire dagli anni Venti, continuando e crescendo negli anni Sessanta-Settanta attraverso l'opera di valenti progettisti e di valide imprese di costruzione¹.

Il ventennio fascista e la conseguente economia di guerra con l'autarchia, ossia la scelta/necessità di utilizzare solo materiali prodotti in Italia, hanno fortemente scoraggiato l'uso dell'acciaio nelle costruzioni, la cui produzione interna era limitata e che doveva essere prioritariamente destinato agli armamenti. L'acciaio doveva quindi essere utilizzato in maniera parsimoniosa, ottimizzata, nelle strutture in cemento armato prima e in precompresso poi.

L'ottimizzazione strutturale si declinava in buona misura con la riduzione dei ferri d'armatura, con la riduzione dei pesi strutturali, ossia nella riduzione delle sezioni resistenti, e con l'uso dell'arco per il superamento di luci maggiori ai quaranta metri. Questi concetti sono stati mantenuti in buona parte anche nei decenni seguenti, nel dopoguerra, portando a strutture spesso molto snelle e ardite, con anime, solette e controsolette molto sottili, e con copriferri molto

ridotti rispetto a quelli che si adottano oggi.

Il tema della durabilità delle strutture in calcestruzzo era poco sentito negli anni Sessanta, e le conoscenze tecniche su questi argomenti erano scarse se non, addirittura, a volte errate e fuorvianti. Molti ritenevano che la passivazione del ferro al contatto col cemento fosse definitiva, totalmente protettiva e praticamente eterna, e che di conseguenza il calcestruzzo armato fosse una “pietra artificiale” di durata pressoché illimitata. Queste convinzioni portavano alla prescrizione, da parte delle normative di allora, di copriferri dell’ordine dei 15-20 millimetri, valori che le conoscenze di oggi ci indicano come insufficienti a garantire vite utili, o assenza di innesco di corrosione, dell’ordine dei cento anni come oggi richiesti alle nuove strutture.

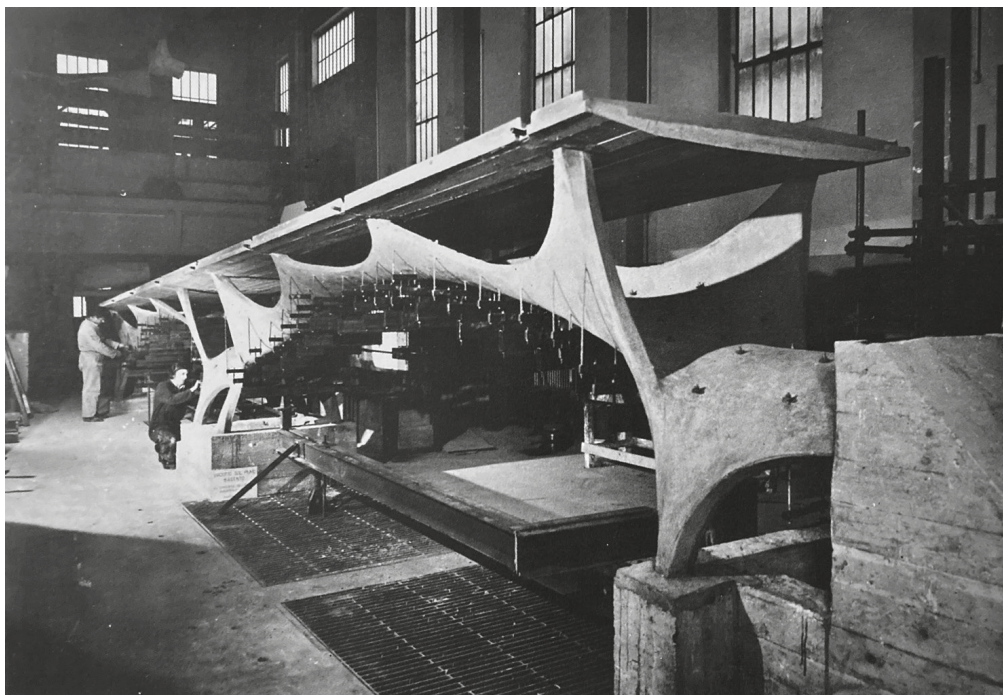
Inoltre, i calcestruzzi utilizzati in quegli anni risultavano relativamente porosi a causa dei tenori di cemento non elevati e dei rapporti acqua-cemento relativamente alti. Oggi le conoscenze sui calcestruzzi ci consentono di ottenere, con l’uso di additivi, di *filler*, di alti dosaggi di cemento, materiali estremamente compatti e impermeabili, oltre due volte più impermeabili di quelli degli anni Sessanta.

La ricerca sui materiali ha conosciuto nel secondo dopoguerra un forte impulso. I temi riguardavano la conoscenza dei meccanismi di degrado del calcestruzzo armato, della porosità, dei differenti agenti corrosivi, dello sviluppo e del ruolo della carbonatazione, dei metodi di miglioramento della resistenza al degrado con i primi sviluppi del mix design.

Altri temi paralleli riguardavano la conoscenza dei meccanismi reologici, l’affinamento della previsione dell’entità dei fenomeni lenti, viscosità e ritiro, lo sviluppo di teorie, procedure e metodi per il calcolo, ossia la corretta previsione, delle deformazioni a lungo termine. Tutti temi che acquisivano sempre maggiore importanza al crescere delle resistenze dei materiali, e quindi delle tensioni di lavoro, nonché delle dimensioni delle opere, e quindi dell’entità degli spostamenti.

La forma che può assumere, o che si può dare, ad una struttura in calcestruzzo è stata oggetto della ricerca progettuale di Pier Luigi Nervi che, costruttore oltre che progettista, disegnava forme in assonanza ed equilibrio con i principi statici e le esigenze costruttive².

Una differente ricerca orientata alla forma strutturale ed alle opportunità che la costruzione in calcestruzzo offre nel creare forme libere e anche complesse ed al tempo stesso suggestive, è stata portata avanti negli



Sergio Musmeci, ponte sul Basento, Potenza, 1967-81.
Modello statico del ponte in costruzione

stessi anni da Sergio Musmeci, ed espressa in varie opere, tra cui l'originale ponte con arcate a volta a doppia curvatura sul Basento³. Interessanti filoni di ricerca progettuale in quegli anni sono stati sviluppati ancora da Pier Luigi Nervi con le prime applicazioni della prefabbricazione strutturale delineata in interessanti esempi di straordinarie strutture per coperture di grandi spazi, alla base del cui progetto era sempre presente l'idea forte e innovativa ben cara a Nervi di "immaginazione costruttiva".

Aderendo a questo invito di "costruire con immaginazione", si sviluppò in quei decenni un filone di ricerca altrettanto importante non tanto all'interno delle università, quanto nella pratica dei progettisti e degli uffici tecnici delle imprese: i moderni metodi di costruzione dei ponti. La costruzione tradizionale prevedeva cassature in legno armate su impalcature classiche, e nei ponti si realizzavano travate formate da travi e traversi in cemento armato fino a luci di 35 metri, ed archi a supporto degli impalcati per luci maggiori. Nel caso di luci minori gli archi erano superiori con l'impalcato che fungeva da trave catena in sistemi tipo Langer, mentre nel caso di luci maggiori erano posti inferiormente all'impalcato.

Le difficoltà tecniche maggiori venivano dalla realizzazione della centina che, nelle declinazioni più mature e suggestive, prendeva la forma di una raggiera multipla realizzata con elementi modulari in tubo d'acciaio.

A partire dagli anni Settanta diverse innovazioni furono proposte e presero piede.

Nell'edilizia lo sviluppo dei casseri scorrevoli e rampanti ha consentito di raggiungere facilmente grandi altezze degli edifici e, parallelamente, grandi altezze delle pile dei ponti.

Nei ponti, ai tradizionali metodi di armare da terra il supporto per le casseforme, ben adatti, come detto, alle travate di piccola luce e alle strutture ad arco, cominciarono ad imporsi e svilupparsi quattro metodi innovativi, tutti coniugati con la nuova e pionieristica, per gli anni Sessanta, tecnica della precompressione:

- la costruzione a sbalzo per conci⁴;
- la costruzione in opera di travate con l'ausilio di speciali attrezzature autovaranti⁵;
- la costruzione per posa in opera di grandi elementi prefabbricati⁶;
- la costruzione per varo longitudinale⁷.

Col primo metodo, rivalutando la essenziale e fondamentale figura tecnica della mensola, o *cantilever*, si è riusciti a superare col calcestruzzo le grandi luci, fino allora dominio degli archi, con snelle ed economiche travate in precompresso.

Col secondo, concependo e realizzando vere e proprie officine mobili, si sono costruiti viadotti a travate con luci medie con minimo numero di giunti e con grande produttività e, quindi, importanti economie ed elevate velocità.

Col terzo – ancora con l'uso di speciali attrezzature in acciaio aventi la molteplice funzione di sollevare, trasportare e porre in opera gli elementi e poi di autovararsi sulle campate successive – si è realizzata per luci medie-piccole la massima efficienza produttiva ed economica. Col quarto si è coniugata la costruzione senza giunti con la prefabbricazione, o la fabbricazione controllata, in un'officina attrezzata e protetta realizzata a piè d'opera.

Artefice dello sviluppo di originali sistemi strutturali e concezioni costruttive è stato certamente Riccardo Morandi che li ha ideati, sperimentati e realizzati, con coraggio e grande spirito pionieristico, nei suoi ponti a travata, ad arco, arco-telaio e strallati⁸.

Un altro filone di ricerca progettuale e costruttiva che, come abbiamo visto, è stato propedeutico ed essenziale per le grandi e articolate innovazioni costruttive, è stato lo sviluppo dei sistemi di precompressione italiani. Dal sistema Morandi ai Macchi, Stiap-Favini, Tecnicavi, fino al sistema Tensacciai tuttora ben presente anche in contesti internazionali, i sistemi di ancoraggio e tesatura hanno vissuto nel secondo dopoguerra un periodo pionieristico di invenzione, studio e sperimentazione in laboratorio, ma soprattutto sul campo⁹.

I problemi da risolvere erano la concezione, lo sviluppo e la produzione industriale di sistemi di ancoraggio e relativa componentistica efficienti ed affidabili, e lo sviluppo parallelo dei sistemi di tesatura, dei martinetti mono e multi-trefolo, che dovevano rispondere a differenti esigenze di capacità di carico, resistenza e maneggevolezza. Nonché lo sviluppo dei materiali di protezione dei trefoli, le iniezioni, le malte, le procedure di controllo.

La riscoperta e la modernità della costruzione metallica

In questo contesto di forte vivacità e sviluppo tecnico dei sistemi costruttivi del cemento armato e del precompresso appariva difficile nel dopoguerra aprire uno spazio per il sistema della costruzione

metallica, che risultava, per le ragioni sopra citate, lontana dalla cultura tecnica delle imprese di costruzione italiane.

La riscoperta, la rinascita e la competitività della costruzione metallica si imposero a partire dalla metà degli anni Cinquanta, ed ebbero come elementi catalizzanti tre fattori principali¹⁰.

Il primo è stato l'interesse dello Stato italiano per una ricostruita industria siderurgica che, con la creazione di una grande società di carpenteria metallica, la CMF (Costruzione Metallica Finsider), gettò le basi per un nuovo sviluppo in grande scala dell'uso dell'acciaio nelle costruzioni.

Il secondo è stato l'apporto di progettisti, allora giovani ma determinati, competenti e per certi aspetti coraggiosi che mostrarono come l'acciaio consentisse di realizzare efficacemente, e quindi con sicurezza, rapidamente ed economicamente, opere sia di grandi dimensioni – campo naturale dell'acciaio – ma anche di dimensioni normali, quali i ponti a travata di media luce o i cavalcavia.

Il terzo è stata l'azione culturale portata avanti per diffondere le conoscenze della costruzione metallica tra i giovani ingegneri, nelle imprese di costruzione, nelle amministrazioni.

Tale azione è stata indispensabile in quanto la cultura tecnica dell'acciaio era quasi assente, era una cultura coltivata da una nicchia ristretta di specialisti, altamente specializzati ma relativamente isolati e che spesso avevano appreso la conoscenza e si erano formati una buona competenza o all'estero o studiando testi e pubblicazioni straniere. Si pensi che la rivista "Il Cemento" – promossa dall'industria del cemento e che ebbe un importante ruolo nella formazione della cultura tecnica degli ingegneri italiani – è nata nel 1924. La prima rivista tecnica sulle costruzioni in acciaio, "Costruzioni Metalliche", è stata fondata, invece, soltanto nel 1949. Questa rivista è stata inizialmente l'organo della ACAI (Associazione dei Costruttori in Acciaio Italiani) ed ha avuto un ruolo fondamentale nella diffusione della cultura dell'acciaio e delle realizzazioni in acciaio. Oggi CM è portata avanti dal CTA (Collegio dei Tecnici dell'Acciaio), una libera associazione tecnico-scientifica nata nel 1959 con lo scopo, prettamente culturale e non commerciale, di "diffondere e perfezionare la costruzione metallica".

L'impulso alla diffusione ed all'affinamento della cultura tecnica dell'acciaio è stato innescato dall'iniziativa delle aziende italiane

della siderurgia (Ilva, Italsider e Finsider) che, attraverso l'azione di un gruppo di ingegneri appartenenti all'industria, alla professione ed alle università, attraverso le strutture del CTA e di "Costruzioni Metalliche", hanno prodotto un grandissimo numero di pubblicazioni, libri su diversi temi delle costruzioni metalliche, e corsi di formazione e perfezionamento, gli antesignani dei corsi post-universitari odierni. Questa azione culturale produsse due esiti determinanti: la creazione di corsi universitari sulle strutture in acciaio con parallela diffusione di tali strutture presso gli ingegneri più giovani; la parallela nascita di ambiti di ricerca teorica e sperimentale.

Lo studio, lo sviluppo, e la divulgazione di raccomandazioni tecniche sulle costruzioni in acciaio si sviluppò inizialmente nella forma di Istruzioni del Consiglio Nazionale delle Ricerche e, successivamente, con l'inserimento di tali raccomandazioni nelle Normative Tecniche e nei Decreti Ministeriali. La ricerca sulle costruzioni metalliche si è quindi sviluppata in maniera integrata ad opera di ingegneri che erano, dagli anni Cinquanta agli anni Settanta, sia progettisti sul campo che docenti universitari autori di studi teorici, in un percorso di proficua interazione e sinergia che ha portato alla produzione di ottime normative tecniche, caratterizzate, pur nel rigore scientifico, dalla vicinanza con la pratica progettuale e costruttiva.

La Scuola di Milano, del Politecnico, guidata da Leo Finzi con Giulio Ballio, Marco Locatelli, Carlo Urbano e Riccardo Zandonini, ha portato avanti studi e sperimentazioni sulla stabilità dell'equilibrio di elementi compressi, sulle giunzioni bullonate, sulla plasticità e duttilità e sulle condizioni per la loro presa in conto nella progettazione delle strutture in acciaio.

E successivamente la Scuola di Napoli, guidata da Federico Mazzolani, con Raffaele Landolfo, Edoardo Cosenza e Attilio De Martino, ha fornito un fondamentale contributo in numerose ricerche applicate, soprattutto in tema di progettazione antisismica e comportamento sismico dei nodi e degli elementi strutturali in acciaio e acciaio-calcestruzzo.

Così come la Scuola di Pisa, guidata da Luca Sanpaolesi, con Stefano Caramelli e Carlo Croce, ha sviluppato approfondite ricerche sulla sicurezza strutturale e sulla resistenza a fatica delle strutture metalliche. Temi fondamentali sono stati anche lo studio delle lastre ortotrope, con ricerche e studi costruttivi di Fabrizio de Miranda e Michele Mele,



Silvano Zorzi, Sabatino Procaccia, Luciano Lonardo, Viadotto Sfalassà,
lungo l'autostrada A3, presso Bagnara Calabria (RC), 1968-72

dei collegamenti bullonati e saldati, degli apparecchi di sollevamento, della stabilità delle lamiere irrigidite. E dall'altra parte tale ricerca ha aperto la strada alla realizzazione di opere di grande innovazione ed interesse, se rileggiamo ad esempio grandi ponti quali il Viadotto Italia¹¹, lo Sfalassà, e poi i ponti strallati all'Indiano a Firenze¹² e i ponti strallati di Rande¹³ in Spagna, e sul rio Paranà in Argentina.

L'integrazione e l'innovazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo

Un importante argomento oggetto della ricerca progettuale e tecnica degli anni Sessanta è stato il tema della struttura composta acciaio-calcestruzzo.

L'unione strutturale dei due materiali era vista con diffidenza e di fatto osteggiata dal mondo tecnico accademico degli anni Cinquanta.

La netta separazione tra i mondi del cemento e quello dell'acciaio contribuiva ad una altrettanto netta separazione nell'uso dei materiali per gli impalcati: o cemento armato o acciaio. Tuttavia, del 1954 alcuni progetti pionieristici di Fabrizio de Miranda, quali il ponte sul fiume Chiese tra Boazzo e Bissina aprirono la strada in Italia ad uno sviluppo nuovo e proficuo: l'integrazione tra elementi in acciaio ed elementi in calcestruzzo a formazione di un unico elemento strutturale chiamato "struttura composta acciaio-calcestruzzo"¹⁴.

Esperienze di questo tipo erano state compiute alcuni anni prima negli Stati Uniti e in Germania e, quindi, i primi ponti a struttura composta sono stati progettati sulla base di quelle esperienze, adottando e perfezionando i metodi di calcolo e sviluppando tipologie strutturali originali, moderne ed efficienti.

Il concetto alla base delle strutture composte è semplice: una trave da ponte o di un edificio è conveniente e razionale configurarla in modo tale che le parti in compressione siano in calcestruzzo, materiale vocato a tale attitudine, e le parti tese siano in acciaio. Tra i due materiali è bene che venga realizzata una connessione semplice e sufficientemente rigida e resistente.

Dalle prime esperienze si è passati alla formalizzazione dei metodi di calcolo – con la redazione delle Istruzioni CNR 10.016- 67 –, all'attivazione di ricerche teoriche sul comportamento nel tempo e a rottura di tali costruzioni, sulle caratteristiche, resistenza, deformabilità e duttilità dei sistemi di connessione.



Fabrizio de Miranda, ponte sullo Stretto del Rande, Vigo, 1973-81

Si sono quindi vinte le resistenze iniziali, ampliate le esperienze realizzative e, infine, sono arrivate le normative internazionali, quali gli eurocodici, a uniformare a livello europeo i metodi di calcolo che nel contempo si erano diffusi.

Oggi le strutture composte acciaio-calcestruzzo, anche chiamate mutuando il termine della traduzione francese “strutture miste”, sono realizzate e diffuse in tutto il mondo ed anche in Italia vengono adottate con successo in numerosi casi. Esse rappresentano oggi, idealmente, il punto d’incontro tra le due culture tecniche considerate per anni alternative, in competizione, se non quasi in lotta e antagonismo.

Viceversa, la struttura composta, partendo dalla sua declinazione più tradizionale ed essenziale della trave/travata in semplice appoggio, viene oggi utilizzata in nuove applicazioni: le diaframature reticolari di travate a cassone, le colonne in acciaio riempite di calcestruzzo, le teste delle antenne dei ponti strallati, in acciaio e calcestruzzo collaborante, i puntoni strutturali con sezione metallica aperta o a cassone integrate con getto di calcestruzzo. Tutte strutture efficienti che mostrano, o dimostrano, come oggi l’ingegneria strutturale è certamente non più ingegneria di separazione o di culture settarie, ma è ingegneria di integrazione tra i materiali e i metodi costruttivi, in una visione strutturale di concezione, analisi e costruzione di forte unitarietà e sinergia.

L’influenza dei terremoti e l’avvento dei computer

A partire da metà degli anni Sessanta due nuovi importanti temi furono oggetto di attenzione e ricerca da parte della comunità dell’ingegneria: la sismica e l’applicazione al calcolo ed al progetto degli elaboratori elettronici di dati.

In Italia il terremoto di Messina del 1908 fu il drammatico punto di partenza di un insieme di studi e ricerche che sfociarono in una prima serie di Istruzioni tecniche e normative che definivano alcuni criteri costruttivi e, in basi empiriche, alcuni dati di progetto per le nuove costruzioni. Successivamente la ricerca sui temi coniugati di sismologia, ossia della conoscenza dei terremoti, e dell’ingegneria sismica, ossia della definizione dei criteri per realizzare strutture resistenti ai terremoti, cominciò a svilupparsi, ma molto lentamente fino alla fine degli anni Sessanta.



Centro Nazionale Universitario di Calcolo Elettronico, Università di Pisa, 1965

La prima definizione delle zone sismiche – empirica e senz’altro insufficiente (ne erano state individuate due sole) – fu formalizzata nel 1927. La prima Specifica tecnica in tema di azioni sismiche è stata la Circolare ANAS n. 605 del 3/7/1964. La prima legge che definiva prescrizioni e azioni per le costruzioni antisismiche fu emanata nel 1974, Legge n. 64. Il primo testo italiano di Ingegneria sismica, sintesi delle ricerche di fine anni Sessanta, fu *Introduzione all’Ingegneria antisismica* di Giuseppe Grandori del 1970¹⁵.

Da allora i temi dell’analisi sismica, della opportunità e necessità della presa in conto delle risorse plastiche delle strutture duttili, delle corrette tecniche di disegno di dettaglio delle strutture, furono sviluppate in grande misura anche in vari ambiti della ricerca universitaria.

Della Scuola di Milano importante è stato anche il contributo di Alberto Castellani, che introdusse e accompagnò in quegli anni i primi studi italiani di ingegneria del vento.

Un filone di ricerca alternativo nelle strategie di protezione sismica fu il tema dell’isolamento sismico, testimoniato pionieristicamente da alcuni primi esempi applicativi in Italia a Monte d’Ago presso Ancona¹⁶, e sui viadotti Slizza e Vallone sull’autostrada Udine-Tarvisio¹⁷.

Dagli anni Ottanta ai nostri giorni la ricerca sismica si è sviluppata lungo diverse direttrici sfociando in una evoluzione dei metodi di calcolo e delle normative.

In questo, un forte ruolo di supporto nelle capacità di analisi è venuto dal contestuale sviluppo del calcolo automatico.

I primi elaboratori elettronici adibiti al calcolo strutturale sono stati resi disponibili, inizialmente presso le università e le grandi aziende di informatica, a inizio anni Settanta. Il CILEA, Consorzio Interuniversitario Lombardo per l’Elaborazione Automatica, creato tra cinque università di Milano e Pavia, fu istituito nel 1974. L’input dei dati avveniva prevalentemente con schede perforate. L’elaboratore era un Univac 1108 ubicato a Segrate, dove accedevano utenti esterni e ricercatori. Nel 1968 fu rilasciato dal MIT, Massachusetts Institute of Technology, e distribuito in ambito universitario il codice di analisi strutturale ICES STRUDL II, che – supportato da moderne software house – è utilizzato anche ai giorni nostri, dopo oltre cinquanta anni dal suo rilascio. L’acronimo STRUDL indicava l’obiettivo del programma: Structural Design Language, ed infatti la sintassi dei dati di input e di output richiama lessicalmente il linguaggio ingegneristico.

Dalla prefazione del manuale: “Strudl è anche un linguaggio con il quale un ingegnere può descrivere un problema, le sue procedure risolutive, e richiedere i risultati ...”, e rappresentava una prima applicazione di dialogo uomo-macchina e quindi, in nuce, di intelligenza artificiale¹⁸.

Dai centri universitari le risorse di calcolo si estesero all'esterno con l'introduzione dei personal computer intorno al 1980. Un formidabile strumento di calcolo divenne così disponibile agli studi di ingegneria e poi alle imprese di costruzione in termini di analisi, verifica e ottimizzazione del progetto.

È interessante notare come nei primi anni di avvento dei computer nell'ingegneria strutturale la modellazione di sistemi complessi veniva realizzata essenzialmente con modelli fisici, per lo studio dei quali la scuola dell'ISMES di Bergamo è stata un memorabile artefice, sviluppando nel contempo l'interessante tema di ricerca della modellistica fisica statica e dinamica¹⁹.

In ambito universitario, ma anche negli studi di progettazione, iniziò un periodo di forte sviluppo di software su tutti i possibili temi dell'ingegneria, consentendo la soluzione precisa e rapida di problemi complessi, che pochi anni prima era possibile affrontare soltanto con metodi iterativi manuali o grafici.

Negli anni più recenti si è assistito al crescente sviluppo di numerosi programmi di software commerciali basati su procedure generali agli elementi finiti, e dotati di capacità di integrazione con il disegno tecnico, in una nuova rappresentazione tridimensionale e con le basi degli elementi costruttivi, in un percorso integrato di gestione delle informazioni della costruzione, ossia il cosiddetto *Building Information Management*.

Conclusioni

L'ingegneria italiana del Novecento ha vissuto numerose fasi di sviluppo, ricerca e sperimentazione, sia nelle università che negli studi di progettazione, attraverso l'analisi matematica prima e l'analisi numerica poi, con la modellistica strutturale, ma soprattutto sul campo con realizzazioni ardite, pionieristiche e spesso di grande suggestione. Nei primi ottant'anni il progetto e la “modellazione” delle strutture erano frutto di conoscenza profonda e spesso intuizione ingegnosa del comportamento delle strutture supportato esplicitamente dall'analisi matematica; il calcolo, essenzialmente manuale, richiedeva altrettanta intuizione, conoscenza scientifica e precisione.

Negli ultimi vent'anni, l'uso del computer ha modificato il modo di progettare fornendo certamente un importante strumento di calcolo, ma al tempo stesso privando apparentemente il progettista della necessità di comprendere a fondo il funzionamento fondamentale della struttura. Questa tendenza si è accentuata negli anni recenti e ha comportato come conseguenza una maggiore attenzione verso la cosiddetta “modellazione” di strutture già definite in clonazione di tipi e schemi esistenti e quindi disponibili, a scapito dell'attenzione sull'innovazione e sulla fantasia progettuale.

Ad ogni modo, l'ingegneria italiana del Novecento, coi suoi numerosi e articolati filoni di ricerca, ha certamente vissuto diverse epoche, caratterizzate da un cammino di forte innovazione, coraggio nell'esplorare percorsi e soluzioni mai realizzati, intuizione nel comprendere e interpretare correttamente i comportamenti strutturali, e testimoniato da numerose realizzazioni di forte interesse, a volte di grandi e suggestive dimensioni, e spesso anche di elevata espressività strutturale e formale.

1. L. Santarella, E. Miozzi, *Ponti italiani in cemento armato*, Hoepli, Milano 1924¹, 1948².

2. P. L. Nervi, *Costruire correttamente*, Hoepli, Milano 1965.

3. S. Musmeci, *Struttura ed Architettura*, in "L'Industria Italiana del Cemento", n. 10, 1980, pp. 771-786.

4. J. Mathivat, *The cantilever construction of prestressed concrete bridges*, John Wiley, Chichester 1979.

5. S. Zorzi, *Ponti a travata realizzati con centine autovaranti*, in "L'Industria Italiana del Cemento", vol. 50, n. 11, 1980, pp. 399-424.

6. M. de Miranda, G. Geremia, *Strutture autovaranti in acciaio per la costruzione di impalcati da ponte*, in "Costruzioni Metalliche", vol. 39, n. 2, 1987.

7. F. Leonhardt, W. Baur, W. Trah, *Brücke über den Rio Caroni, Venezuela*, in "Beton- und Stahlbetonbau", vol. 61, n. 2, 1966, pp. 25-38.

8. R. Morandi, *Qualche considerazione sull'evoluzione negli ultimi sessant'anni della progettazione di opere in calcestruzzo armato*, in "L'Industria Italiana del Cemento", n. 2, 1985, pp. 118-120.

9. T. Antonini, *Cemento armato precompresso: richiami teorici ed esercizi*, Tamburini, Milano 1973.

10. M. de Miranda, *Strutture in acciaio in Italia dal '50 al '70: competizione, innovazione e grandi sfide*, in "Territorio", n. 67, 2013, pp. 72-77.

11. F. de Miranda, C. Cestelli Guidi, C. Pellegrino Gallo, *Il progetto del viadotto sul fiume Lao dell'Autostrada Salerno-Reggio Calabria*, in "Costruzioni Metalliche", vol. 17, n. 6, 1965.

12. F. de Miranda, *Il ponte strallato sull'Arno a Firenze in località l'Indiano*, in "Costruzioni Metalliche", vol. 30, n. 6, 1978, pp. 239-243.

13. F. de Miranda, A. Leone, A. Passaro, *Il ponte strallato sullo stretto di Rande presso Vigo (Spagna) delle "Autopistas del Atlantico"*, in "Costruzioni Metalliche", vol. 31, n. 2, 1979, pp. 55-62.

14. F. de Miranda, *In tema di ponti a travata sistema misto acciaio-calcestruzzo*, "Acciaio e Costruzioni Metalliche", n. 2, 1956.

15. G. Grandori, *Introduzione all'ingegneria sismica*, Tamburini, Milano 1970.

16. F. de Miranda, F.G. de Miranda, *Una struttura speciale antisismica a grandi luci di acciaio e c.a. per un Centro Civico ad Ancona*, in "Costruzioni Metalliche", vol. 43, n. 5, 1991, pp. 280-297.

17. F. de Miranda, M. de Miranda, *I viadotti Slizza e Vallone dell'Autostrada Udine-Tarvisio*, "Costruzioni Metalliche", vol. 40, nn. 2/3, 1988.

18. R.D. Logcher, B. Flashbent, E. Hall, C. Power, R. Wells, A. Ferrante, *ICES - Strudl II - The Structural Design*

Language - Engineering User's Manual,
Research Report R86-91, MIT, Boston
1968.

19. ISMES, *La sperimentazione
dinamica delle strutture - Metodi e
tecniche d'indagine*, Ed. Ismes, Bergamo
1988.