RASSEGNA DI ARCHITETTURA E URBANISTICA

SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

148

La Scuola italiana di ingegneria

RASSEGNA DI ARCHITETTURA E URBANISTICA
Anno LI, numero 148, gennaio-aprile 2016

Sommario

Editoriale di *Maria Argenti* **5**

La ricerca SIXXI **7**

Tullia Iori, Sergio Poretti
Storia dell'ingegneria strutturale italiana. Ascesa e declino **8**

RICERCHE

Ilaria Giannetti
Il tempo del «tubo-giunto» Innocenti **54**

Eliana Alessandrelli
Strutture «truccate». Le sperimentazioni di Eugenio Miozzi a Venezia **66**

Ilaria Giannetti
Dalla Liberazione alla Ricostruzione. Storie di ponti **78**

Chiara Tarisciotti
Calcolare con i modelli. Il laboratorio dell'Ismes **90**

Gianluca Capurso, Francesca Martire
«A prova di errore e incapaci di sbagliare». Elaboratori elettronici e progettazione strutturale **100**

100 strutture. Geografia e patrimonio dell'ingegneria italiana
sezione a cura di Anna Pietrantonio **112**

English texts **119**

Biografie degli autori / *Author biographies* **123**

Abbreviazioni **127**

La ricerca SIXXI

Nel 2012, grazie ad un ERC Advanced Grant, abbiamo avviato una ricerca sulla storia dell'ingegneria in Italia, la ricerca SIXXI, tutt'ora in corso.

Da alcuni anni ci occupavamo anche di strutture, negli studi di storia della costruzione che conducevamo all'Università di Roma Tor Vergata. Nel corso delle ricerche continui indizi ci segnalavano che la vicenda dell'ingegneria italiana del Novecento, di solito ricondotta interamente all'opera di Nervi e di Morandi, era in realtà molto più ampia, densa e ramificata. Era una vicenda di respiro nazionale, strettamente intrecciata alla storia del Paese. Era una vicenda collettiva che negli anni Cinquanta e Sessanta aveva portato alla formazione di una Scuola italiana di rilevanza internazionale. Ed era una vicenda che nel periodo immediatamente successivo al suo sviluppo era stata interamente rimossa.

Di qui gli obiettivi del progetto di ricerca: indagare e ricostruire l'intero sviluppo storico dell'ingegneria strutturale italiana; far conoscere la storia nelle facoltà di ingegneria e nelle facoltà di architettura, favorendo l'attivazione di un settore specifico di storia dell'ingegneria e colmando una sorta di imperdonabile «analfabetismo»; sensibilizzare le soprintendenze e il grande pubblico sull'esigenza di tutelare il patrimonio di opere, in gran parte sconosciuto, che la Scuola ha prodotto.

Come abbiamo impostato il lavoro?

A causa dell'assenza in Italia di un settore di ricerca sulla storia dell'ingegneria, lo stato dell'arte non comprendeva studi storici. Si partiva da zero. Questo ci ha portato, con un consistente gruppo di giovani, a ricercare su un territorio enorme e inesplorato le tracce lasciate sul campo dall'ingegneria del Novecento: scoprendo opere sconosciute; riesumando bibliografie sepolte; scandagliando archivi mai consultati; rintracciando personaggi dimenticati.

La vasta mole di documentazione reperita in queste indagini non viene solo catalogata, viene integralmente riprodotta. Si alimenta così una biblioteca-archivio, che diventa, a sua volta, lo strumento fondamentale per la fase dell'elaborazione. Nel SIXXIdata, infatti, si viene consolidando l'intero, eterogeneo mondo dell'ingegneria delle strutture italiana, con i suoi protagonisti, la sua tradizione professionale, la sua scienza, le sue pratiche, la sua iconografia.

Dopo aver ricostruito la storia, è altrettanto importante raccontarla. Per questo abbiamo deciso di divulgare gli esiti della ricerca strada facendo. In due modi. Da una parte pubblichiamo le indagini: saggi in cui sono ricostruiti gli episodi, di diverso genere, che confluiscono nello sviluppo dell'ingegneria strutturale: la microstoria di un'opera, il percorso sperimentale di un progettista, il contributo scientifico che ha agevolato in un certo momento il calcolo delle strutture, l'invenzione di un'attrezzatura tipica del cantiere italiano, l'attività di un laboratorio specialistico, la nascita e la vita di una rivista di settore ecc.

Contemporaneamente veniamo ricomponendo via via più nitidamente il quadro d'insieme. E andiamo raccontando la storia intera, in diversi formati: dalla classica conferenza al mini-corso all'interno di un master o di un dottorato, con l'intento di coinvolgere nuove energie sull'argomento.

Per questo numero di Rassegna *abbiamo scelto alcune indagini svolte da vari componenti del gruppo; premettendo ai saggi uno schizzo della vicenda complessiva, narrata nella forma del «monologo a due voci».*

Tullia Iori e Sergio Poretti

Storia dell'ingegneria strutturale italiana
Ascesa e declino

Tullia Iori, Sergio Poretti

Prologo

Quella che vogliamo raccontarvi è la storia della nascita e della vertiginosa ascesa di una Scuola d'ingegneria nell'Italia del Novecento. E della sua repentina scomparsa.

Non una scuola accademica, ma una Scuola di progettazione vera e propria, che produce uno straordinario patrimonio di grandi strutture: ponti, stadi, palazzi dello sport, sale da esposizione, grattacieli, stazioni.

È una storia gloriosa. Tanto che alla metà degli anni Sessanta l'ingegneria strutturale italiana è riconosciuta come una delle più prestigiose nel mondo.

Poi però, subito dopo il miracolo economico, la Scuola improvvisamente si estingue. E da allora viene completamente dimenticata. Anche dalla storiografia.

È vero che alcuni dei protagonisti sono ben noti: Nervi è forse il progettista italiano più famoso nel mondo e anche Morandi ha goduto di una certa popolarità. Ma la Scuola è frutto di un'avventura più articolata, condotta da due intere generazioni di scienziati, progettisti, imprenditori e costruttori. Di questa vicenda collettiva, in mancanza di una ricostruzione storica, si è persa completamente la memoria.

La ricerca SIXXI è nata con lo scopo di ricostruire questa storia.

E di raccontarla. Agli stessi ingegneri. Agli architetti. A tutti.

Lo facciamo qui con un «monologo a due voci». La prima voce (in corsivo) è quella dell'osservatore che guarda allo svolgimento della vicenda nel suo complesso, nelle grandi linee. La seconda (in tondo) è la voce dell'investigatore che si addentra nella ricostruzione di episodi determinati, di singole opere, di cantieri.

Due voci, nel tentativo di conservare la doppia natura dell'ingegneria strutturale: che è parte della storia culturale (bella, perché radicata altrettanto profondamente nell'area scientifica e nell'area umanistica), ma è anche un pezzo della storia materiale del Paese. Che non si può ricostruire senza entrare nel dettaglio di alcune, ben determinate pratiche: la progettazione strutturale che si svolge nello studio d'ingegneria; i modi di costruire del cantiere della grande struttura.

Scena I
Si passa dagli Stati preunitari all'Italia unita, si sviluppa la ferrovia, si costruiscono strutture in ferro (1830-1890)

In Italia l'ingegneria moderna nasce già negli Stati preunitari. Nonostante la condizione agricola e artigianale, per i vari regni, ducati e granducati è motivo di prestigio vantare un'ingegneria sul modello dei paesi «first comers». Così, nel periodo napoleonico e poi durante la Restaurazione s'istituiscono ovunque corpi di ingegneri dello stato. E, per la preparazione della nuova figura professionale, nascono apposite scuole di ingegneria.

All'inizio l'ingegnere italiano assume il profilo del tecnico-burocrate. È idraulico, agrimensore, architetto civile. Opera nella modernizzazione del catasto, nello sviluppo delle strade, nella bonifica delle paludi.

Ma nell'Ottocento il simbolo dell'ingegneria moderna è un altro: è la grande struttura

1. A. Oudry, ponte sospeso a San Giovanni dei Fiorentini a Roma, 1863 (AFICCD).

metallica. In tutti i paesi industriali è scoppiata la moda del ponte sospeso. Il ponte ferroviario a travata reticolare si distribuisce capillarmente sul territorio. Nelle città, i segni più espliciti della modernità sono la tettoia della stazione, la galleria urbana.

Succede però che l'ingegnere italiano, nonostante una solida preparazione scientifica, non sia preparato per la progettazione strutturale. E perciò, per un primo, lungo periodo la struttura metallica deve essere importata: la realizzazione affidata ad imprese e a progettisti stranieri.

Ma poi, con l'unificazione del Paese e con lo sviluppo della rete ferroviaria, alle strutture d'importazione si affiancano, via via più numerose, le opere di ingegneri e imprese italiane. E si può dire che alla fine del secolo l'ingegneria italiana abbia ormai raggiunto una completa autonomia.

Nel corso del secolo la penisola viene invasa da una miriade di ponti sospesi. La maggior parte è realizzata da ingegneri e imprese inglesi e francesi.

I famosi fratelli Seguin progettano sull'Arno, a Firenze, gli arditissimi ponti San Leopoldo e San Ferdinando, sospesi a canapi di ferro. In Piemonte l'ingegnere francese Paul Léon Lehaitre disegna il ponte Carlo Alberto a Casale e il Maria Teresa a Torino. A Roma il ponte sospeso che collega i ruderi di Ponte Rotto alla sponda è progettato da Camille Montgolfier Bodin, mentre il ponte a San Giovanni dei Fiorentini è stabilizzato utilizzando un sistema brevettato da Alphonse Oudry.

Non mancano però importanti eccezioni: come il ponte Real Ferdinando sul Garigliano progettato da Luigi Giura (del Corpo degli ingegneri di ponti e strade di Napoli); o il ponte sul Cecina, opera di Alessandro Manetti (che milita nel Corpo degli ingegneri della Toscana, ma ha studiato all'École des Ponts et Chaussées); o il ponte sul Lima nel Ducato di Lucca, progettato da Lorenzo Nottolini.

Anche le prime linee ferroviarie inizialmente sono affidate in concessione a imprenditori d'oltralpe. Dopo la Napoli-Portici, inaugurata nel 1839, si completa la Ferdinandea, che unisce le due capitali del Lombardo-Veneto, poi la Torino-Genova, la Leopolda e la Maria Antonia nel Granducato di Toscana, per ultime le linee pontificie. Ed anche la linea Centrale, che attraversa l'Appennino e coinvolge più Stati è progettata dall'ingegnere Jean Louis Protche, originario della Lorena sebbene in seguito naturalizzato bolognese.

Dopo l'unificazione, però, le cose cambiano; lentamente, ma cambiano.

Alfredo Cottrau, formatosi in Francia ma napoletano di nascita, realizza in vent'anni circa 4000 ponti ferroviari, prima come tecnico della Società delle ferrovie meridionali, poi con la sua Impresa Industriale Italiana di Costruzioni Metalliche, la IIICM.

Come in tutta Europa, la soluzione privilegiata è quella a travata reticolare, su una o più luci. Né mancano esempi di strutture particolarmente ardite, come i viadotti sulla linea Bari-Taranto, con pile reticolari rastremate alte fino a 73 metri (molto simili ai ben più celebrati ponti di Rouzat e Neuvial realizzati da Eiffel in Francia).

Cottrau, infatti, è l'Eiffel italiano (i due, tra l'altro, si contendono la paternità del brevet-

2. A. Cottrau, ponte a Pescara, 1873 (AFMIT).

3. Ponte sul Po a Piacenza, 1865 (AFAlinari).

to sui «ponti portatili», ideati dal napoletano e forse scopiazzati dal francese).

Le possenti travate compaiono nel paesaggio agricolo italiano come astronavi.

I ponti sopravvissuti non sono molti: il ponte Principe, vicino a Benevento e il ponte Palatino, a Roma. Ma a documentare il fenomeno nella sua estensione e intensità ci restano le straordinarie immagini contenute negli album che il fotografo del re, Achille Mauri, dedica a Vittorio Emanuele II.

Infine, a descrivere minutamente il passaggio dalle strutture d'importazione a quelle autoctone, è la sequenza dei ponti ferroviari sul Po. Fino all'arrivo del ferro il grande fiume non aveva mai sopportato un attraversamento stabile. Dopo l'Unità, in pochi anni vengono varati ben sei ponti a travata. E se i primi quattro – quello di Piacenza, quello di Mezzanacorti, quello di Pontelagoscuro, quello di Borgoforte – sono opera di progettisti e imprese straniere, gli ultimi due – quello di Casalmaggiore e quello di Cremona – sono ormai disegnati e calcolati da ingegneri italiani e costruiti dalla maggiore impresa italiana: la Società Nazionale delle Officine di Savigliano, la SNOS.

Utilizzando gli strumenti di calcolo messi a punto dagli scienziati italiani, si perfeziona il dimensionamento dei ponti ad arco reticolare, delle tettoie delle stazioni, delle volte e delle cupole delle gallerie urbane.

Il prodotto più compiuto del virtuoso connubio tra la scienza delle strutture avanzata e l'acquisita capacità di costruzione è il ponte sull'Adda a Paderno, che si guadagna di diritto un posto nella storia dell'ingegneria mondiale. Progettato dal direttore dell'Ufficio tecnico della SNOS, l'ingegnere svizzero Jules Röthlisberger, il magnifico arco di 150 metri di luce, incastrato alle imposte, è calcolato con l'elegante metodo dell'ellisse di elasticità. È una grande opera: occorrono 140 tavole per disegnare le migliaia di profili di ferro pudellato necessari per costruire l'arco, le pile, le travate, nonché i pezzi speciali di acciaio fuso e ghisa per formare le imposte, gli zoccoli, le piastre di scorrimento.

Nella lunga avventura ottocentesca non si vede ancora emergere un'identità propria dell'ingegneria italiana.

Ci sono però le premesse per la nascita della Scuola.

Nelle varie facoltà d'ingegneria delle università italiane unificate nel 1859 dalla legge Casati, si innesca una tradizione scientifica rilevante.

Siamo in una delle fasi più entusiasmanti nello sviluppo della meccanica, quei «trent'anni straordinari», per usare le parole di Edoardo Benvenuto, tra il 1850 e il 1880, in cui per strade diverse si arriva alla sistematizzazione definitiva della «teoria classica». Finalmente vengono messi a punto strumenti semplici e rapidi per il calcolo di tutte le strutture, anche quelle iperstatiche e complesse.

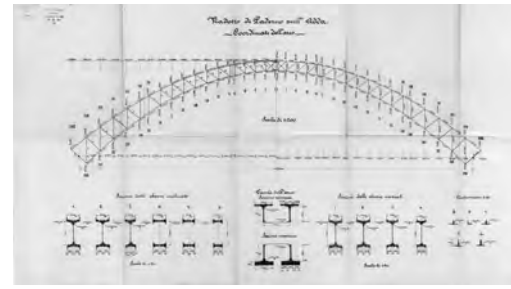
Tra le altre, si afferma una «via piemontese» per il calcolo di un qualsiasi sistema di

4. J. Röthlisberger, ponte sull'Adda a Paderno, 1887-89 (SIXXI, Poretti).

travature elastiche, anche nota come «via energetica», basata sul «principio di elasticità» enunciato da Federico Menabrea, e sul teorema «sulle derivate del lavoro di deformazione» di Alberto Castigliano, che ne consente l'applicazione. Intanto Luigi Cremona, con il suo «cremoniano», contribuisce ad aumentare la già straordinaria potenzialità applicativa del nuovo linguaggio della «statica grafica». E a diffonderlo nell'università italiana.

Contemporaneamente, sul campo, si moltiplicano le occasioni di collaborazione tra scienziati e costruttori: non è per caso che un paese ancora lontano dall'industrializzazione può vantare un ponte, come quello sull'Adda, che viene subito considerato tra i dieci più belli del mondo, nulla avendo da invidiare a quelli di Eiffel.

Mentre la struttura metallica s'inserisce nel territorio, parallelamente si svolge un solitario e disperato tentativo di contrastarne lo sviluppo. Portando avanti una tradizione risalente a Guarino Guarini e consolidata da Bernardo Vittone, Alessandro Antonelli propone una drastica alternativa alla costruzione metallica per lo sviluppo delle grandi strutture: una via italiana, che si basa sulla razionalizzazione della tradizionale muratura, «armata» con tiranti e catene. La tormentatissima vicenda della Mole rispecchia questo tentativo. Che si rivelerà un'utopia (Antonelli muore il 10 aprile 1889, sei mesi prima di vedere concluso, dopo 25 anni di cantiere, quello che con i suoi 163 metri sarebbe stato l'edificio più alto del mondo, se però dieci giorni prima non fosse stata inaugurata la torre Eiffel, portata su fino a 300 metri in soli due anni). Un'utopia che è anche una profetica anticipazione della struttura in cemento armato, che sarà il vero volano nello sviluppo dell'ingegneria italiana.



5. Ponte sull'Adda a Paderno, disegno esecutivo dell'arcata e dettagli dei profili (ASSnos).

Scena II
Arriva il cemento armato e si diffonde in tutti i cantieri (1890-1935)

La Scuola italiana nasce alla fine del secolo con l'avvento del cemento armato. E resta indissolubilmente legata a questo materiale.

Il cemento armato trova in Italia il terreno fertile per un'immediata e vasta diffusione: è un materiale moderno con potenzialità statiche simili alla struttura metallica ma, a differenza di questa, è perfettamente compatibile con la tradizione artigianale del cantiere dell'opera muraria.

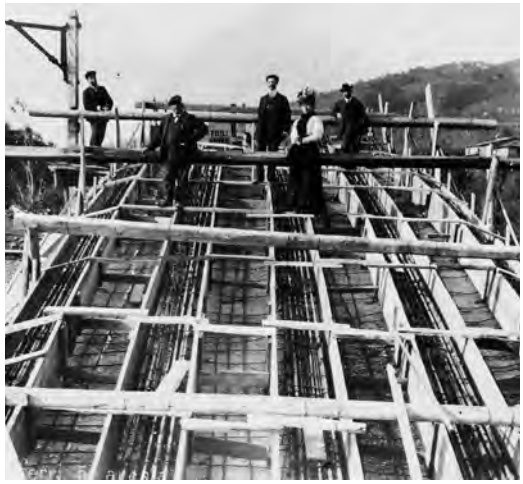
6. G.A. Porcheddu, ponte sulla Bormida a Millesimo, 1902 (ASBAH).

C'è però, all'inizio del secolo, un ostacolo da superare: l'ipotesi che con il nuovo materiale si possano realizzare anche le grandi strutture non è affatto scontata. L'applicazione della teoria elastica classica, che è nata per un materiale omogeneo come l'acciaio, presenta non poche difficoltà.

Dopo un primo atteggiamento diffidente, gli scienziati si impegnano a cercare un adattamento di quella teoria alla natura eterogenea del cemento armato. Lavorano fianco a fianco con i costruttori. E com'è tipico dei periodi pionieristici, spesso la pratica precede la teoria.

Comincia così la grande avventura della Scuola italiana. E si innesca subito quel proficuo interscambio tra scienza e tecnica che resterà uno dei suoi capisaldi.

In questi primi anni, l'oggetto «che fa la scienza» (per usare di nuovo un'espressione di Benvenuto) è il ponte ad arco.



7. A. Muggia, ponte sul Magra a Caprigliola, 1903-1908 (APFerrari).

Ad agevolare l'inserimento del cemento armato nell'ambito della scienza delle costruzioni sono i due più eminenti rappresentanti della disciplina: Camillo Guidi, che nel 1900 inserisce l'argomento nelle conferenze di appendice alle sue *Lezioni sulla scienza delle costruzioni*; Silvio Canevazzi, che dopo una serie di successivi affinamenti nel 1904 pubblica *Ferrocemento (cemento armato, smalto cementizio armato). Formule di elasticità e resistenza*.

In entrambi i casi, lo scetticismo per una tecnica considerata troppo rudimentale è superato grazie alla contiguità degli scienziati con alcuni costruttori protagonisti della fase di avvio del cemento armato.

Guidi ha tra i suoi allievi al Politecnico di Torino Giovanni A. Porcheddu, uno dei più importanti agenti del sistema Hennebique. Tra l'inizio del secolo e la prima guerra mondiale, Porcheddu con il cemento armato costruisce di tutto (solai e telai, grandi coperture e ponti). In questa multiforme attività, si inserisce anche la rielaborazione del classico ponte ad arco in muratura. Come si vede nel ponte sulla Bormida a Millesimo, inaugurato nel 1902, il massiccio sistema murario è trasformato in un'agile ossatura lasciata a vista,

con la ribassata volta costolonata che sostiene l'impalcato mediante una selva di sottili pilastrini.

Anche Canevazzi, a Bologna, opera a stretto contatto con un agente del sistema Hennebique, Attilio Muggia, che nel 1908 completa il più lungo ponte in cemento armato mai realizzato: una sequenza di 5 archi sul Magra a Caprigliola.

I cantieri di questi nuovi ponti, gremiti da decine di operai, con la loro atmosfera epica e sperimentale, divengono uno dei soggetti preferiti dai fotografi. E nel ponte sul Magra capita che il fotografo sia l'assistente di Muggia, l'ingegnere Nino Ferrari, che non rinuncia a mettere in posa in cantiere donne e bambini della sua famiglia. (Oltre ad arrischiarsi in un pericoloso scatto di gruppo all'interno del cassone ad aria compressa per le fondazioni.)

Il più ardito e spettacolare della fase pionieristica è il ponte sul Tagliamento a Pinzano, progettato da Giuseppe Vacchelli e costruito dalla Odorico tra il 1903 e il 1906, utilizzando un altro dei popolari brevetti europei: il sistema Melan. In questo caso l'impressionante esilità della struttura è dovuta alla particolare consistenza dell'armatura di acciaio, che in alcune fasi del procedimento svolge anche la funzione di centina.

Ma il momento culminante di questa fase di avvio del cemento armato lo troviamo nella vicenda di ponte del Risorgimento a Roma, realizzato in occasione del cinquantenario dell'Unità d'Italia, nel 1911.

8. Protagonisti della costruzione del ponte del Risorgimento, 1910: al centro, F. Hennebique (ASBAH).

Il ponte ad arco proposto da Porcheddu, con i suoi 100 metri di luce, stabilisce il record mondiale in quel momento. Ma soprattutto segna la transizione del cemento armato da prodotto commerciale protetto da brevetto a materiale a disposizione dell'ingegnere che ne può esplorare le potenzialità in gran parte sconosciute.

La progettazione va avanti attraverso un'avventurosa sequenza di tentativi, non senza controversie con la committenza.

La soluzione finale, che deve risolvere soprattutto il problema del terreno rivelatosi inaspettatamente di resistenza scarsissima, è definita da Hennebique personalmente.

9. Ponte del Risorgimento sul Tevere a Roma, 1909-1911 (AFPorcheddu).

10. E. Miozzi, ponte di Papadopoli sul Rio Nuovo a Venezia, 1932 (AFGiacomelli).

Alla fine la struttura costruita è composta da una volta molto sottile, irrobustita da sette timpani longitudinali che sostengono l'impalcato. La sagoma è diventata esilissima e in chiave si riduce a 85 centimetri. Rispetto alla prima soluzione disegnata dallo studio tecnico di Porcheddu, il peso e la spinta del ponte risultano dimezzati. E la fondazione è senza platea, con le spalle direttamente poggiate su speciali pozzi Compressol, vere e proprie radici al suolo.

Nonostante i buoni risultati delle prove di carico, il ponte, calcolato con le formule elastiche, in alcuni punti risulta sollecitato oltre i limiti imposti dal regolamento.

11. P.L. Nervi, Teatro Augusteo a Napoli, 1926-1929 (MAXXI, Nervi).

Indifferente alla condanna da parte della teoria classica, il ponte ne rivela i limiti. L'interminabile dibattito successivo dimostra come la struttura, ibridamente sospesa tra l'arco spingente, la doppia mensola e la trave incastrata ad inerzia variabile, sia di ardua modellazione. Inoltre, per comprendere il comportamento del cemento armato al di là della fase elastica, comportamento che Hennebique sembra avere perfettamente intuito, bisognerà aspettare gli anni Trenta con la messa a punto di una teoria dell'adattamento plastico.

Intanto scoppia la prima guerra mondiale: una guerra di trincea, che in Italia si combatte tra l'Isonzo e il Piave. Oltre alle migliaia di vittime umane, alla fine si contano decine e decine di ponti distrutti, per impedire l'avanzata nemica dopo Caporetto.

Nella ricostruzione dei tanti «ponti della vittoria», la sperimentazione sul ponte ad arco in cemento armato, ormai svincolata dai brevetti, si allarga ad un'intera generazione di giovani ingegneri.

Eugenio Miozzi nelle sue opere sfrutta tecniche avveniristiche per correggere l'andamento della linea delle pressioni, come le deformazioni e le lesioni sistematiche. Sono ponti ad arco ribassato in cemento armato come il ponte Druso a Bolzano o quello sul torrente Sojal; ma anche ponti in pietra e muratura come il ponte agli Scalzi o quelli sul Rio Nuovo a Venezia che, aiutati da originali legature in muntz metal, dimostrano la continuità tra lo sviluppo della muratura armata e quello del cemento armato.

In un panorama di piccole e piccolissime imprese, si afferma in questa fase anche la prima «impresa generale» di costruzioni in cemento armato, la Ferrobeton, di carattere nazionale, capace di costruire su tutto il territorio, da sud a nord, grazie alla guida scientifica di Giulio Krall. Considerato «il matematico che meglio conosceva l'ingegneria e l'ingegnere che meglio conosceva la matematica», porta avanti una propria ricerca continua sul ponte ad arco che, dopo la passerella sul Bisanzio e il ponte sul Biedano realizzati negli anni Trenta, proseguirà dopo la guerra con alcuni esemplari ponti urbani e alcuni dei più bei viadotti dell'Autostrada del Sole.

In questi stessi anni compare sulla scena Pier Luigi Nervi, che si è formato a Bologna alla scuola di Canevazzi. Dopo un lungo tirocinio nell'impresa di Muggia, si cimenta con la sua prima impresa di costruzione in alcune impegnative strutture, come il Teatro Banchini a Prato o il teatro Augusteo a Napoli. Sono strutture che rimangono nascoste dietro un linguaggio architettonico eclettico, ma consentono all'ingegnere di intravedere in cantiere le straordinarie potenzialità del cemento armato.

E quando realizza lo stadio Berta e le dinamiche strutture delle gradinate, della pensilina e della scala elicoidale, che, per alcune circostanze anche fortuite sono lasciate in vista, in tutto il mondo si parla finalmente del risveglio dell'architettura italiana

12. P.L. Nervi, Stadio G. Berta a Firenze, 1933 (AFTouring).

In questo periodo l'ingegneria italiana comincia ad assumere caratteri propri, legati alle vicende del Paese. Quali sono?

Prima di tutto l'evoluzione del ponte ad arco si collega più all'italica tradizione muraria che all'internazionale costruzione metallica. La sua trasformazione (archi ribassatissimi, collaborazione tra arco ed impalcato, trucchi correttivi) descrive una linea di continuità dalla muratura armata al cemento armato (scavalcando la costruzione reticolare).

È una conferma che la continuità con il passato, che distingue più in generale la costruzione moderna italiana, riguarda anche l'ingegneria e le grandi strutture.

In questi stessi anni nasce quella che potremmo definire una cultura ingegneristica moderna. Luigi Santarella, e lo stesso Miozzi, scrivono la cronaca dello sviluppo del ponte in cemento armato. Giuseppe Albenga traccia la cronologia della diffusione del nuovo materiale. Inizia le pubblicazioni «L'Industria italiana del cemento», che dà ampio spazio alle opere costruite. Studi che, se non possono essere considerati propriamente storici e critici, disseminano però la conoscenza degli esperimenti nel mondo professionale e creano le condizioni per lo sviluppo della Scuola.

In questo contesto, con lo stadio Berta, fa la sua spettacolare entrata in scena la figura tipica del progettista italiano. Con la sua polivalenza, infatti, Nervi non sarà solo il maggiore artefice dei successi dell'ingegneria italiana, ma sarà un modello per le due generazioni di ingegneri progettisti che popoleranno quella Scuola.

Scena III
Con l'autarchia si innesca una sperimentazione che prosegue durante la seconda guerra (1936-1944)

Ma nel 1936 lo scenario cambia improvvisamente: a seguito dell'invasione dell'Etiopia, pesanti sanzioni si abbattono sull'Italia. Gli scambi commerciali con gli altri paesi s'interrompono. Il fascismo proclama il regime di autarchia.

È una fase, questa autarchica, che rimarca tutta la singolarità del percorso che porta l'Italia alla modernizzazione. Il poco ferro disponibile nel Paese adesso serve tutto per l'industria bellica. L'impiego del cemento armato, fino a questo momento incentivato, viene prima limitato e poi, nel 1939, proibito del tutto. L'evoluzione della costruzione italiana subisce una secca inversione di marcia.

13. Ponte «Generale Menabrea» a Dogali, 2009 (foto B. Seiler).

Come risponde l'ingegneria delle grandi strutture alle limitazioni autarchiche?

In due modi: nelle colonie e nei tanti celebrativi «ponti dell'Impero» ritorna ad impiegare il calcestruzzo in una costruzione essenzialmente muraria; nei laboratori, all'opposto, sperimenta nuove tecniche per risparmiare metallo sfruttando meglio le risorse strutturali del composto cemento e ferro.

Su questo versante scientifico della sperimentazione prendono vita le due anime della Scuola: quella che porterà a prolungare la carriera del ponte ad arco e a sviluppare un'originale versione delle volte sottili; quella che determinerà un precoce e vivace sviluppo della precompressione.

14. P.L. Nervi, aviorimessa (I serie) ad Orvieto, 1936 (CSAC, Vasari).

La prima linea sperimentale mira a trarre il meglio dalla «resistenza per forma», approfittando della plasmabilità del cemento armato ed evitando gli angusti limiti di calcolabilità imposti dalla teoria classica.

È guidata da Arturo Danusso e portata avanti da Nervi, che in questi anni mette a punto un nuovo, originalissimo sistema di costruzione.

Convinto che il calcolo analitico basato sulla sola fase elastica sia inadeguato per il cemento armato, Danusso apre una strada nuova in Italia per la verifica della stabilità delle strutture, basata sulla sperimentazione empirica.

Mentre stimola i progettisti ad usare l'intuizione per esplorare il mondo delle nuove forme resistenti, istituisce, già nel 1931 al Politecnico di Milano, il laboratorio «Prove modelli e costruzione». Qui si indaga lo stato di sollecitazione in un modo più diretto, sia nella sezione dedicata alla fotoelasticità, sia nella sezione grandi modelli. Inizia così un'intensa attività di supporto alla progettazione di strutture complesse e altamente iperstatiche – dalle dighe, ai ponti, agli edifici alti – che dal 1950 proseguirà nel laboratorio dell'Ismes (Istituto sperimentale modelli e strutture) a Bergamo.

Con lo stesso approccio, negli anni dell'autarchia e della guerra Nervi si impegna, con la sua impresa Nervi e Bartoli, in una serie di esperimenti che lo porteranno a ripensare le procedure fondamentali della fabbricazione delle strutture in cemento armato.

Nel 1936, l'Aeronautica militare, che per ovvie ragioni è autorizzata ad utilizzare il cemento armato, gli affida la costruzione di due aviorimesse a Orvieto. Nervi disegna una struttura formata da un complesso intreccio di archi inclinati e per dimensionarla, non potendo ricorrere a un troppo complicato calcolo matematico, si fa fare un modello da Danusso.

Le prove danno risultati ottimi, ma la costruzione delle aviorimesse si rivela costosissima. Le casseforme necessarie per il getto in opera, infatti, hanno vanificato 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?* nel 1945.)

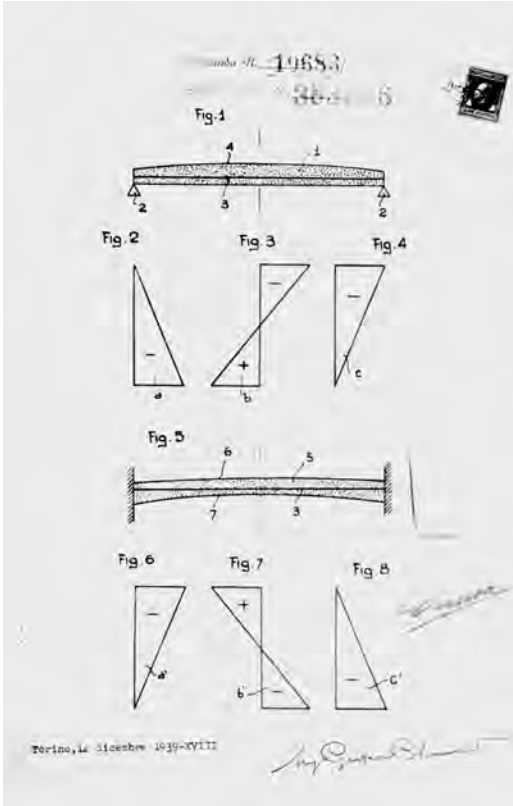
Così, quando l'Aeronautica gli richiede altre sei aviorimesse uguali, Nervi cambia strategia. E per liberare il cantiere dalle casseforme inventa quella che è passata alla storia come «prefabbricazione strutturale». La struttura viene scomposta in tanti piccoli pezzi che possono essere preparati a terra e poi ricomposti, come in un mosaico, e infine saldati con getti in opera locali, ripristinando la monoliticità. Le casseforme sono scomparse (a parte le spondine riciclabili che servono per preparare a terra i pezzi). Per giunta, i tempi di costruzione complessivamente sono dimezzati: mentre si gettano in opera le fondazioni e i pilastri inclinati, si preparano anche tutti i pezzi della volta, che poi si montano velocemente con l'ausilio di un ponteggio metallico leggerissimo e recuperabile.

Ma ormai è guerra mondiale e non c'è più niente da costruire. Nervi, sempre su suggerimento di Danusso, sperimenta variazioni nelle percentuali di armatura e calcestruzzo e finisce per inventare un nuovo materiale. Usando quello che può trovare in tempo di guerra, spalma a mano il calcestruzzo direttamente su un pacchetto di reti da pollaio sagomate: nasce così il ferrocemento, un materiale omogeneo, duttile, perfettamente elastico, resistentissimo. Dopo averlo brevettato, la situazione precipita: l'armistizio, l'invasione e Nervi chiude l'impresa per non collaborare con i nazisti. Ma a giugno del 1944, quando arrivano gli Alleati a Roma, con il ferrocemento inizia a costruire la sua prima struttura, un piccolo magazzino alla Magliana. Il padiglione è tutto di ferrocemento: le pareti e il tetto, sapientemente ondulati, devono resistere per forma, e sono spessi appena 2,5 centimetri. Il cantiere, in verità, è lento e faticoso e ci si accorge nell'occasione che realizzare in opera il ferrocemento, tutto a mano, è un'operazione tutt'altro che facile.

15. P.L. Nervi, aviorimessa (II serie) ad Orbetello, 1940-42 (CSAC, Vasari).

Perciò, quando potrà ricominciare a costruire liberamente, Nervi metterà insieme i due espedienti escogitati durante l'autarchia e la guerra, la prefabbricazione strutturale e il ferrocemento. Dalla combinazione nascerà il «Sistema Nervi», una vera e propria rivoluzione nel modo di costruire.

16. P.L. Nervi, padiglione alla Magliana, Roma, 1945 (SIXXI, Poretti).



17. Brevetto sulla precompressione di G. Colonnetti, 1939 (ACS, Brevetti).

Ma procediamo con ordine. Come abbiamo detto c'è una seconda linea sperimentale autarchica, che fa leva sulla tecnica della precompressione come strumento per risparmiare ferro aumentando l'efficienza statica della struttura.

In questo caso, il ferro non è impiegato per resistere alla trazione ma per precomprimere il calcestruzzo, che diventa così capace di resistere da solo (o quasi) agli sforzi di flessione.

In questo modo, la difficoltà di realizzare luci ampie è aggirata (agendo per via meccanica), approfittando della possibilità che offre il composto armatura-calcestruzzo di innescare e mantenere, al proprio interno, stati di coazione.

È l'idea di Freyssinet, divulgata in Italia da Gustavo Colonnetti, che ha studiato a lungo sia il corpo elastoplastico sia gli stati di coazione. In quella «rivoluzione dell'arte del costruire» d'oltralpe, lo scienziato torinese riscontra una geniale applicazione delle proprie teorie, sempre finalizzate ad ottimizzare il comportamento strutturale del cemento armato. «Calcolare meglio!»: questa è la strada indicata dallo scienziato per risparmiare ferro.

18. R. Morandi, ponte sull'Elsa a Canneto presso Empoli, 1950 (ACS, Morandi).

Col suo entusiasmo, nel 1939 elabora un sistema di calcolo per le travi ad armatura preventivamente tesa e deposita un proprio brevetto per travi precompresse a sezione variabile (che sintetizza il meglio dei sistemi già messi a punto dallo stesso Freyssinet e, in Germania, da Dischinger e da Hoyer).

Ma siamo ad un passo dall'entrata in guerra e non è certo il momento più adatto per introdurre innovazioni nell'impiego del cemento armato. Questo non basta a frenare l'azione di Colonnetti, che durante il conflitto prosegue in esilio la sua attività didattica nel campo di internamento universitario italiano di Losanna. Qui transitano alcuni degli ingegneri che saranno gli artefici della nuova tecnologia della precompressione in Italia: Franco Levi, Aldo Favini, Silvano Zorzi.

E quando, richiamato a Roma e nominato presidente del Cnr, Colonnetti diviene uno dei registi della ricostruzione, il cemento armato precompresso decolla in grande stile, anche grazie all'attività del Centro studi sugli stati di coazione elastica da lui stesso istituito in seno al Cnr.

Alla fine della guerra tutto è pronto affinché con la rivoluzionaria tecnologia si costruiscano i primi ponti: quello sul Samoggia di Giuseppe Rinaldi e quello sul Piave a Vallesella di Carlo Pradella; poi il ponte sull'Elsa di Morandi e il ponte per l'impianto sul Mucone di Zorzi sono solo un anticipo delle sorprendenti invenzioni strutturali che i due disegneranno nel seguito di questa storia.

19. Ponte sul Po a Pontelagoscuro presso Ferrara, 28 aprile 1945 (IWM).

Le due strade delle volte sottili e del precompresso sono le stesse che in tutto il mondo segnano il rilancio delle strutture in cemento armato subito dopo l'ultima guerra.

Questo conferma che l'ingegneria italiana, sebbene invischiata nelle singolari vicende del Paese, mantiene anche la sua appartenenza alla grande famiglia internazionale dell'ingegneria moderna.

Alla base di tale ortodossia c'è il saldo radicamento di tutte le ingegnerie moderne nell'alveo del positivismo ottocentesco. La razionalità è basata sull'applicazione della scienza. Il linguaggio della struttura ostenta questo principio. E lo esprime in una speciale prospettiva: nella positività della sua realizzazione. La grande struttura – sia la torre di Eiffel o il ponte di Maillart – è il simbolo più efficace del progresso, in quanto lo rappresenta, non già come un'aspirazione, ma come pienamente realizzato.

Questa stessa forza simbolica possiede la struttura italiana.

Ma le due anime della Scuola italiana sono anche molto diverse: corrispondono alle due diverse concezioni del positivismo che convivono al suo interno.

L'approccio di Danusso e Nervi – che trova sbocco nel mondo delle volte, dei gusci, degli archi – è di tipo naturalistico. In questo caso la scienza è fondamentale, ma solo come strumento di controllo di una razionalità di ordine superiore che ha il suo modello nella natura. La ricerca di forme resistenti passa prima per le vie misteriose dell'intuizione, dell'empirismo, dell'immaginazione e poi, per verificare il reale comportamento, usa prove in laboratorio sul modello in scala.

Lo scientismo di Colonnetti e Morandi e Zorzi, al contrario, si basa sulla fiducia illimitata nella scienza. Lo strumento magico è la coazione, che apre la strada al cemento armato precompresso. In questo caso la struttura è un prodotto artificiale, generato sulla carta attraverso rigorosi procedimenti scientifici di tipo analitico. Non ci si accontenta delle qualità naturali del materiale: la scienza, intervenendo in aiuto, le può migliorare. Tesando il ferro per comprimere il calcestruzzo, sulla base di una strategia scientifica precisa, si «addestra» la struttura a resistere meglio e di più.

Scena IV
Dopo la guerra, si ricostruiscono le ferrovie e le strade (1945-1955)

Gli esperimenti sulle volte sottili e sul precompresso proseguono durante il conflitto e poi confluiscono nei cantieri della ricostruzione.

Quella che porta alla liberazione dell'Italia è una guerra che si combatte sul territorio. Migliaia sono i ponti distrutti dalle truppe tedesche in ritirata e dai bombardamenti alleati.

Le più urgenti operazioni di ripristino sono intraprese già dalle truppe anglo-americane che risalgono la penisola.

A seguire, negli anni successivi viene condotta con rapidità ed efficienza la definitiva ricostruzione dei ponti ferroviari, dei ponti stradali, dei ponti urbani.

È la ricostruzione degli ingegneri, che scorre silenziosa in un proprio alveo, mentre a monopolizzare il vivace dibattito sono le strategie urbanistiche e i problemi della casa. È la ricostru-

20. Ponte Bailey in costruzione, 1945 (ASAnas).

21. Ponte sul Po a Cremona in ricostruzione (ASAnas).

zione che poi, anche per questa sua discrezione, resta esclusa dalle ricognizioni storiche.

Si tratta invece di un momento cruciale nella storia dell'ingegneria italiana: è proprio adesso, infatti, con la partecipazione da protagonista alla ricostruzione del Paese, che la Scuola comincia ad assumere una propria personalità.

La maturazione avviene su due fronti.

Nei cantieri, dove – affrontando problemi non ordinari, come il ripristino provvisorio del passaggio dei treni su ponti squassati dalle bombe – si sviluppa una particolare capacità di inventare soluzioni artigianali caso per caso.

Nel mondo della professione, che è interamente coinvolto nelle migliaia di opere infrastrutturali della ricostruzione. C'è lavoro per tutti e la Scuola assume un carattere definitivamente collettivo. Due generazioni di scienziati e di progettisti operano fianco a fianco. La prima, quella degli scienziati Colonnetti e Danusso con i progettisti Nervi, Morandi, Cestelli Guidi, Krall, ha finalmente modo di applicare gli esiti della lunga sperimentazione condotta negli anni dell'autarchia e della guerra. La seconda, quella degli allievi Levi, Pizzetti, Oberti insieme ai giovani Zorzi, Carè e Giannelli, Galli e Franciosi, Musmeci, entra adesso nella scena produttiva.

Il ripristino provvisorio dei ponti da parte degli alleati costituisce una sorta di preambolo epico alla ricostruzione definitiva.

È un'ingegneria di pronto soccorso, che riguarda prima di tutto i ponti ferroviari.

Le operazioni sono coordinate dalle Railway Construction Troops al seguito del Genio militare e si avvalgono anche delle maestranze locali. Per i lavori si utilizza soprattutto il ponte Bailey, ma anche, in più occasioni, il ponte portatile Roth Waagner, sequestrato all'esercito tedesco. Le procedure codificate nei manuali americani si combinano con la capacità di improvvisazione dei tecnici e degli operai del cantiere artigianale italiano.

Il passaggio dall'emergenza bellica alla ricostruzione definitiva dei ponti ferroviari e stradali è graduale. Il coordinamento delle operazioni è trasferito dal Genio militare alleato alle amministrazioni italiane (il Ministero dei Lavori Pubblici, l'Anas e le Ferrovie dello Stato) man mano che le aree del Paese vengono liberate.

E anche a guerra finita il ripristino del ponti è ancora scaglionato in più interventi.

Per riattivare subito, magari parzialmente, le linee ferroviarie ci si arrangia: si trova sul momento il modo per riparare le pile danneggiate e recuperare le travate affondate, inventando espedienti fantasiosi per il sollevamento e il riuso dei pezzi. Solo in un secondo momento si procede alla ricostruzione definitiva.

In questa seconda fase, le poche ditte italiane specializzate in costruzioni metalliche sono tutte impegnate: le Officine di Savigliano, la ditta Antonio Badoni, la milanese Mottura e Zaccheo. Le imprese, che prima della guerra operavano in seno ad una siderurgia del rottame com'era quella italiana, sono fortunatamente attrezzate per la rifusione del materiale recuperabile. I nuovi profili, invece, sono in gran parte forniti dall'Ilva di Marghera.

La collaborazione tra i genieri alleati, i *sappers*, e i tecnici italiani, iniziata durante il con-

flitto, si prolunga nei primi anni del dopoguerra.

Alla fine, la complementarietà tra l'alta specializzazione dei primi e l'intraprendenza dei secondi risulterà particolarmente proficua. Tanto che nei manuali americani comparirà un'appendice di *Unusual methods*, in cui sono descritte procedure di cantiere nuove e poco ortodosse, tutte tentate con risultati sorprendenti nel teatro di guerra italiano.

L'approccio pragmatico e graduale adottato nella ricostruzione dei ponti ferroviari resta impresso nella configurazione eterogenea di alcuni di essi. Se col tempo i fitti tralicci ottocenteschi vengono sostituiti con le nuove travate reticolari, più robuste e leggere ma anche più standardizzate e meno eleganti, restano ancora oggi in opera ponti sul Po ricomposti allora provvisoriamente con campate di diversi tipi e mai più sistemate.

A parte gli 811 ponti ferroviari danneggiati, circa un quarto del patrimonio totale, ci sono da ricostruire ben 2944 ponti stradali, su tutta la penisola, con la maggiore concentrazione tra la linea Gustav e la linea Gotica. C'è dunque spazio per tutti: gli ingegneri, che sono pochi e nemmeno tutti in grado di progettare una grande struttura, nel giro di pochi anni accumulano un carnet di realizzazioni capaci di saziare, in tempi meno drammatici, un'intera carriera. Alcuni di loro non hanno mai disegnato un ponte: come Riccardo Morandi che, alla fine della guerra, ha 43 anni e fino ad allora si è sempre dedicato a cinematografi, stabilimenti e chiese. Tra il 1946 e il 1954 – tra emergenza, ricostruzione e investimenti per lo sviluppo – vince più di venti appalti-concorso per ponti, solo per citare i più rilevanti, tra cui alcuni all'estero: compete in collaborazione con le più disparate piccole e piccolissime imprese che, anche loro, sono tutte coinvolte nei lavori, indipendentemente dal curriculum, spesso inesistente (Bajocchini Cinti Rinversi, Droghetti e Masotti, ma soprattutto l'impresa fondata dai fratelli Giovannetti, alla quale sono legate le prime sperimentazioni di Morandi sul precompresso).

22. Ponte sull'Oglio a Palazzolo, foto 1945 (ASAnas).

C'è spazio anche per tutte le tipologie, basta dimostrare la ragionevolezza dei costi. All'inizio prevalgono quelle più tradizionali, come il ponte sull'Arno ad Incisa progettato da Cestelli Guidi recuperando l'autarchica soluzione dell'arco non armato, o il ponte sull'Oglio a Palazzolo sull'autostrada Bergamo-Brescia, ricostruito dopo il bombardamento, dov'era e com'era, con un grande arco parabolico dall'impresa Fratelli Ragazzi.

Ma poi anche le scelte più sperimentali sono approvate, fornendo ai progettisti un inesauribile laboratorio a cielo aperto per mettere alla prova idee più o meno mature, destinate in

23. R. Morandi, ponte sul Lussia a Vagli, 1953 (SIXXI, Poretti).

24. R. Morandi, ponte S. Nicolò sull'Arno a Firenze, 1947-1948 (SIXXI, Poretti).

pochi casi a superare il primo test sul campo. Così Krall nei due ponti sul Calore vicino a Benevento per la prima volta applica la tecnica dei due semiarchi gemelli gettati sulle sponde e poi ruotati. Morandi prova, tra le altre, la trave a contrappesi nel ponte Ercolaneo sul Liri e la trave ad uniforme resistenza e a conci precompressi sempre sul Liri a Sora, oltre a verificare personalmente la soluzione rotante di Krall nel cantiere della passerella sul Lussia a Vagli di sotto, nascosto tra le Alpi apuane.

Alle prime applicazioni di sottilissime travi e telai in cemento armato precompresso, che dimostrano potenzialità sorprendenti, si sovrappone una nuova versione, altrettanto leggera, del ponte ad arco: quello «tipo Maillart». L'arco sottile con impalcato irrigidente funziona come un ponte sospeso invertito. L'arco, talmente esile da risultare privo di rigidezza flessionale, è solo compresso. L'impalcato assorbe i momenti flettenti.

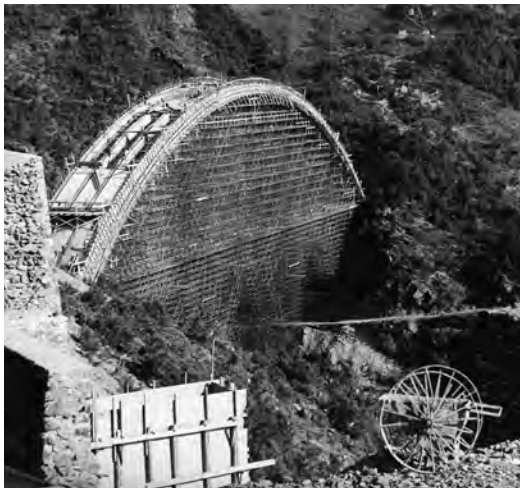
La tipologia è importata in Italia da due scienziati: il romano Giulio Ceradini, che ha collaborato nel laboratorio del Politecnico di Zurigo tra il 1943 e il 1946 monitorando i ponti di Maillart sotto la guida di Mirko Roš; il napoletano Adriano Galli, che subito dopo la laurea ha usufruito di una borsa di studio presso lo stesso laboratorio. Al rientro, Ceradini coinvolge i coetanei Arrigo Carè e Giorgio Giannelli nella riedizione italiana del «tipo Maillart» nei ponti sul Nera e sul Frigido. Galli, insieme al giovane Vincenzo Franciosi, progetta il ponte sul Corace e il ponte sul Vernotico a Gragnano.

25. A. Galli, V. Franciosi, ponte sul Corace a Gimigliano, 1954-1955 (APFranciosi).

Se nessuno o quasi si accorge dell'immenso lavoro di ingegneria in atto lungo le linee ferroviarie e le statali, diverso è il capitolo della ricostruzione dei ponti urbani, su cui si anima un vivace dibattito tra storici, restauratori, architetti. Ogni volta, la tesi del rifacimento del ponte precedente (specie se storico) e quella della costruzione di un ponte nuovo si contrappongono. Quando vince il nuovo, il tema è, ancora una volta, quello dell'arco, ribassatissimo, che, con il suo funzionamento ibrido tra effetto arco ed effetto trave, riporta l'interesse sia degli scienziati che dei progettisti all'ormai lontana vicenda del ponte del Risorgimento.

A Firenze, dove tutti i ponti (tranne Ponte Vecchio) sono stati distrutti nella notte del

26. G. Krall, C. Pascoletti, ponte di Mezzo sull'Arno a Pisa, 1947-1950 (SIXXI, Poretti).



27. R. Morandi, ponte sul rio Lupara per la Voltri-Albissola, 1952-1955 (ASAnas).

3 agosto 1944, il primo ad essere ricostruito (a parte i ponti Bailey dei *sappers*) è il ponte di San Nicolò. Già nel 1946 vince l'appalto il progetto di Morandi, il quale, giusto in contrapposizione col «tipo Risorgimento», propone un arco «a flessibilità confrontabile» con ridotto effetto trave.

A Pisa, nella stesso momento, la Ferrobeton si aggiudica l'appalto per la ricostruzione del centralissimo ponte di Mezzo. Nell'arco essenziale disegnato insieme a Cesare Pascoletti, Krall include una struttura funzionante in realtà come un telaio a due cerniere, evitando così di trasmettere la spinta alla fondazione.

La ricostruzione si è avvalsa fin dall'inizio dei consistenti aiuti economici elargiti prima dalle Nazioni Unite, attraverso l'UNRRA, e poi soprattutto dagli Stati Uniti.

Per portare a termine la riparazione dei danni di guerra ed avviare la rinascita del Paese interviene, nel 1948, il programma ERP, meglio conosciuto come Piano Marshall.

Il Fondo Lire, alimentato dalla vendita dei beni devoluti all'Italia nell'ambito del piano, continua – ben oltre la chiusura di questo, nel 1952 – a finanziare più o meno direttamente le opere necessarie per il potenziamento delle ferrovie e delle strade, ritenuto indispensabile volano per lo sviluppo del Paese.

Superata l'emergenza, nella prima fase degli investimenti per lo sviluppo stradale viene data priorità ad alcuni tratti paesaggistici, con l'intento di riavviare l'attività turistica.

Intanto viene rettificata l'Aurelia e nel 1952 il record nazionale di luce è conquistato dal ponte ad arco alla foce del Calignaia, 102 metri.

Il raddoppio della statale nel tratto tra Voltri e Albissola (solo 26 chilometri) è concepito proprio come un'autostrada turistica. L'Anas assegna i lotti con ponti di grande luce mediante appalto-concorso. Le imprese devono coinvolgere i progettisti più bravi: Morandi, gareggiando con varie imprese, realizza, tra gli altri, il ponte sull'Arrestra e il ponte sul Lupara. Nel paesaggio spettacolare della costa ligure, l'arco in cemento armato sembra la soluzione più opportuna. In più occasioni si superano i cento metri di luce. Nella costruzione, archiviate le troppo costose centine in legno, si alternano le centine Innocenti-Dalmine basate sul sistema «tubo-giunto» inventato da Ferdinando Inno-

28. Autostrada Napoli-Pompei-Salerno con la sequenza di ponti tipo «Maillart», 1954-1958 (SIXXI, Poretti).

centi, e le centine di Eusebio Cruciani in legno lamellare prefabbricate.

Tutta l'operazione è di fatto una prova generale per verificare le potenzialità organizzative, in vista dei cantieri dell'Autostrada del Sole.

Sull'altra autostrada turistica, la Napoli-Pompei-Salerno si celebra il trionfo del ponte Maillart. Nel lotto più difficile, da Cava dei Tirreni a Canalone di Salerno, finanziato dalla Cassa per il Mezzogiorno con il Fondo Lire, la ditta Grassetto realizza, su progetto di Antonio Benini e dello svizzero Ernst Schmidt (collaboratore di Roš), una bellissima sequenza di ponti ad arco sottilissimo ed impalcato irrigidente: il ponte sul vallone Rotolo, il ponte Madonna degli Angeli, il ponte sul vallone Olivieri e il ponte sul vallone Caiafa, di oltre 130 metri di luce.

Anche Nervi partecipa energicamente alla ricostruzione, portando avanti gli esperimenti iniziati nelle aviorimesse e nel padiglione alla Magliana. Come anticipato, l'unione di prefabbricazione e ferrocemento produce un modo di costruire nuovo: il sistema Nervi.

Nella copertura del padiglione della Fiera di Milano e nella volta nervata per la Facocchieria a Torre in Pietra, tenta una serie di perfezionamenti sul campo del suo procedimento costruttivo senza impiego di casseforme.

Nel 1947, il salone B del Palazzo delle Esposizioni di Torino è l'occasione ideale per verificare la possibilità di costruire con il sistema Nervi strutture di grande luce. La volta a botte di quasi cento metri di luce è composta da archi ondulati affiancati, impostati, attraverso ventagli, su setti inclinati. I conci d'onda in ferrocemento, spessi 4 centimetri, sono prefabbricati a terra, collocati in sito su un leggero ponteggio e monoliticamente saldati con getti in opera. Il procedimento costruttivo è brevettato prima della conclusione dei lavori.

L'opera, subito pubblicata su molte riviste anche internazionali, ravviva la fama che Nervi ha conquistato negli anni Trenta. E costituisce il presupposto per i tanti capolavori degli anni del boom. Meno conosciute sono le tante tappe del paziente perfezionamento del sistema condotte nella prima metà degli anni Cinquanta: il salone C sempre a Torino, il ristorante e il trampolino del Kursaal a Ostia, la sala delle feste alle terme di Chianciano.

Un esperimento a parte è quello che porta alla sofisticata invenzione formale e strutturale del solaio a nervature isostatiche, brevettato nel 1949 e realizzato nel magazzino sotterraneo del lanificio Gatti. Qui il disegno delle linee di flessione, che la fotoelasticità ha consentito di vedere, assume forma plastica concreta.

Le due anime che si sono formate all'interno della Scuola durante l'autarchia entrano in modo diverso nell'avventura della ricostruzione.

Il cemento armato precompresso è ancora in una fase sperimentale, nella quale devono essere messe a punto e testate le procedure tecnologiche. Si lavora su schemi strutturali molto semplici (la travata appoggiata, il telaio incernierato) e non si vede ancora una caratterizzazione architettonica. Anche se sono già all'opera i progettisti specialisti che tra poco

daranno vita ad alcune delle espressioni più interessanti e inedite della Scuola italiana.

La strategia delle forme resistenti invece trova già pieno sviluppo. Da una parte si assiste alla rinascita del ponte ad arco in cemento armato, ormai definitivamente riscattato dalla sua derivazione dal ponte in muratura. La conoscenza più completa della collaborazione tra arco e impalcato da una parte, e del comportamento elastoplastico del cemento armato dall'altra, consente alleggerimenti, trasparenze e, di conseguenza, ampliamenti continui della luce.

Contemporaneamente la «sperimentazione continua» di Nervi, condotta nei numerosi cantieri del dopoguerra, arriva a risultati straordinari e, soprattutto sul tema della grande copertura, mostra le sue eccezionali potenzialità di generare forme strutturali nuove.

29. P.L. Nervi, Salone B a Torino Esposizioni, 1947-1948 (MAXXI, Nervi).

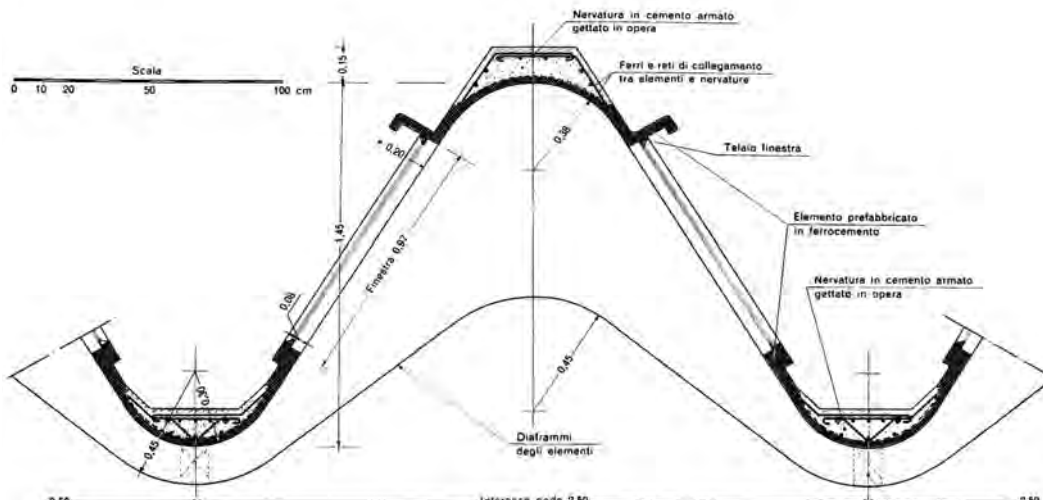
Scena V
Dalla ricostruzione il Paese passa al miracolo economico, si costruisce l'Autostrada del sole (1956-1964)

La ricostruzione delle infrastrutture ha contribuito a rimettere in moto l'economia e rilanciare il turismo. Sullo slancio, l'operazione prosegue con un audace piano che accompagna l'Italia verso il miracolo economico: la costruzione della rete autostradale.

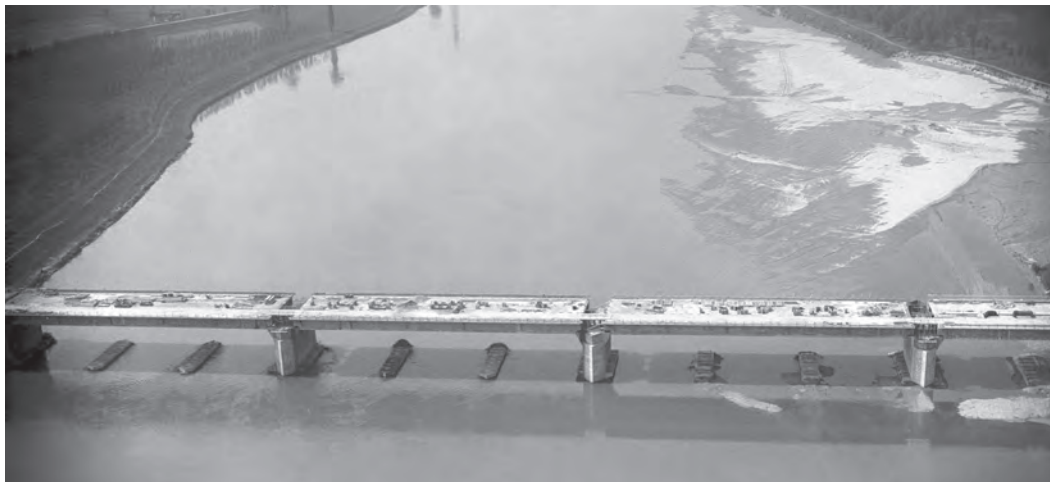
È un programma che – come il parallelo Piano INA Casa – dovendo contribuire a combattere la disoccupazione, rinuncia all'innovazione tecnologica e conserva il cantiere artigianale.

Fortemente voluto da un gruppo di aziende interessate allo sviluppo del traffico automobilistico, il piano prevede come primario obiettivo la realizzazione del collegamento Milano-Napoli, l'Autostrada del Sole.

Il progetto di massima è firmato da Francesco Aimone Jelmoni ma l'opera è un'avventura collettiva, che vede coinvolti tutti i più importanti progettisti strutturali del Paese. La Scuola italiana di ingegneria si mette al



30. Salone B a Torino Esposizioni, disegno esecutivo del concio d'onda (MAXXI, Nervi).



31. S. Zorzi, ponte sul Po a Piacenza per l'Autostrada del Sole, 1958 (AFFarabola).

32. R. Morandi, ponte sul Sambro per l'Autosole, 1957-1959 (ASDalmine).

servizio dell'epica impresa. Otto anni, dal 1956 al 1964, saranno sufficienti a progettare e costruire 755 chilometri di autostrada con circa 400 ponti di media e grande luce e 38 gallerie.

I lotti, ciascuno di pochi chilometri di tracciato, sono affidati a centinaia di piccole e medie imprese. Nessun ponte è uguale all'altro: unico elemento comune è il materiale, il cemento armato, ordinario o precompresso.

Subito riconosciuta come la «più bella del mondo», con la sua sequenza di capolavori, l'autostrada contribuisce all'inserimento della Scuola italiana nel gotha dell'ingegneria mondiale.

Il programma pluriennale di costruzione delle autostrade è varato con una legge del 1955 firmata dal ministro Giuseppe Romita, ingegnere torinese. Il tratto da Milano a Napoli è solo l'inizio di un percorso che dovrà raggiungere Reggio Calabria. A partire da questa spina dorsale, numerosi rami dovranno innervare tutto il Paese.

Il 19 maggio 1956 il rito della posa della prima pietra si svolge alla presenza del presidente Gronchi. Il progetto di Jelmoni, elaborato prima per la SISI (Società Iniziative Stradali Italiane, «società di studio» che vede la partecipazione di Eni, Fiat, Italcementi e Pirelli) e poi sviluppato per l'Italstrade, prevede ponti tutti uguali: con archi parabolici di cemento armato, di luce contenuta.

Tra l'avvio simbolico dei lavori e la fine del 1956, Fedele Cova, amministratore delegato e direttore tecnico della Società Autostrade, organizza una macchina da guerra.

I progetti di Jelmoni sono solo la base per le gare di appalto. Le imprese, che non possono vincere più di un lotto – di norma 3 o 4 chilometri di tracciato – sono chiamate alla progettazione esecutiva e, per essere competitive, devono scegliere i migliori ingegneri disponibili.

Pur di impiegare tanti operai, si scarta la prefabbricazione: il cemento armato gettato in opera resta protagonista.

Tra Milano e Bologna il primo ostacolo è l'attraversamento del Po. Lo risolve Zorzi, con l'Impresa Rizzani, con una sequenza di 16 travi appoggiate-appoggiate, ben più sem-

33. G. Krall, viadotto sul Merizzano per l'Autosole, 1957-1959 (AFGiacomelli).

plice della più sofisticata trave continua iperstatica su più appoggi, presentata al primo concorso. È la prima vera opera importante costruita con il cemento armato precompresso, che ne sdogana definitivamente l'impiego in Italia. Le operazioni di collaudo sono dirette da Levi: per tutte le opere in precompresso, infatti, l'Ufficio Collaudi si avvale della collaborazione del Centro studi per gli stati di coazione elastica.

Quando viene inaugurato il tratto Milano-Bologna, il 15 luglio 1959, i lavori della Transappenninica sono a buon punto.

Nella valle del Setta, lungo le pendici orientali di Monte Sole, l'impresa Sogene costruisce il viadotto Quercia-Setta e il ponte sul Sambro, con cui Morandi, che stranamente rinuncia alla precompressione, mette la sua firma sull'Autosole.

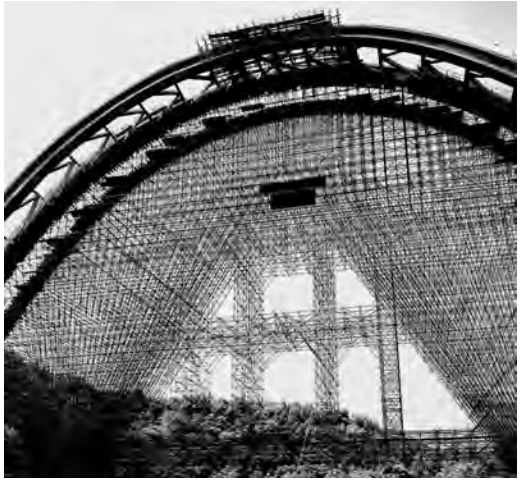
Proseguendo verso sud, i viadotti sul Merizzano e sul Gambellato (e quello sul Rio Torto) sono appaltati (nel 1957) alla Ferrobeton. Il progettista, Krall, propone una spettacolare sequenza di elegantissimi archi: quello sul Gambellato, di 124 metri di luce, e i due parabolici sul Merizzano, ciascuno di 96 metri.

Ma l'arco più grande dell'Autosole è quello sull'Aglio: 164 metri di luce, record in Italia per l'epoca. L'impresa Enrico Romagnoli vince l'appalto-concorso con il progetto di Guido Oberti, allievo di Danusso e responsabile dell'Ismes (dove si eseguono prove di carico per verificare gli effetti del carico di punta sulle pilastrate gravanti sull'arco).

34. A. Carè, G. Giannelli, viadotti Poggettone e Pecora vecchia per l'Autosole, 1960 (ASAutostrade).

La sequenza di viadotti sui fossi della Volpe, del Poggettone e della Pecora vecchia, proprio tra l'Emilia e la Toscana, disegna la curva più bella. L'impresa Garbarino-Sciaccaluga-Mezzacane coinvolge Carè e Giannelli. La struttura è scomposta in sei piani paralleli, con i piloni ritagliati a riquadri come fogli di carta.

Nel frattempo è portato avanti il tratto Napoli-Roma, che può essere inaugurato il 22 settembre 1962. Nell'ultimo segmento, tra Firenze e Roma, ancora ponti d'autore: Carlo Cestelli Guidi con il viadotto di San Giuliano, un arco portale incernierato alle imposte di 100 metri di luce; Morandi con il ponte sul Tevere ad Attigliano; Carè e Giannelli con l'arco sagomato del ponte sul Borro Caprenne.



35. Centina Innocenti del viadotto sul Biscione per l'Autosole, 1959 (ASDalmine).

36. Centina Innocenti per il viadotto di San Giuliano per l'Autosole, 1962 (ASAutostrade).

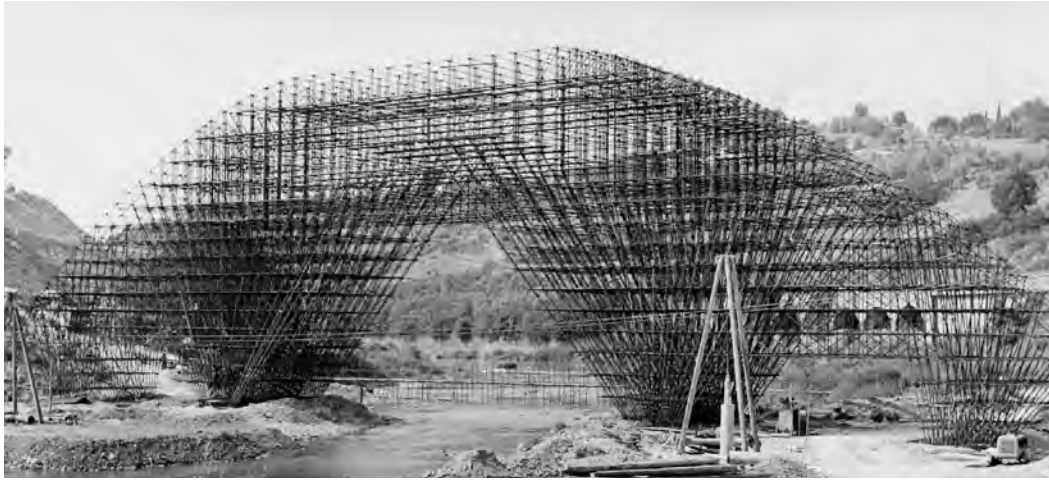
Ma i ponti più belli sono gli ultimi due, entrambi sull'Arno, entrambi di Zorzi. Il primo, nei pressi di Incisa, è formato da due archi portali affiancati, gemelli, di 104 metri di luce, precompressi con il brevetto BBRV. L'altro, a Levane, è un sontuoso arco poligonale (disegnato secondo la funicolare dei carichi) in cemento armato ordinario, di 134 metri di luce. È intitolato (unico caso) al padre dell'Autosole, Romita, prematuramente scomparso già nel 1958 prima di poter vedere realizzato il suo ardito progetto.

Nei cantieri delle centinaia di ponti e viadotti dell'Autosole, progettati uno ad uno, si esprime appieno la Scuola italiana. Con le sue due anime.

Nei ponti sui grandi fiumi delle pianure del Nord, risolti con travate isostatiche, la precompressione si consolida come tecnologia ormai matura.

Sugli Appennini, il grande arco leva il suo canto del cigno, andando ben oltre i 120 metri di luce, limite raggiunto fino a quel momento in Italia.

37. S. Zorzi, ponte G. Romita sull'Arno a Levane per l'Autosole, 1964 (SIXXI, Poretti).



38. Centina Innocenti del ponte sull'Arno a Incisa per l'Autosole, 1962 (ASAstaldi).

Ma l'italianità dell'autostrada si coglie nello spettacolo del cantiere. Opera a scala territoriale, l'autostrada è composta di tanti pezzi d'autore fabbricati a mano: è una gigantesca, collettiva opera d'artigianato.

Il cantiere condotto dalla piccola impresa assume un carattere epico e mostra (in maniera teatrale) come l'italianità della Scuola sia basata sull'intrinseca natura artigianale che il cemento armato conserva nella grande struttura.

La «primadonna» è la centina Innocenti. Lo speciale giunto consente di assemblare migliaia di tubi metallici per costruire ponteggi e impalcature. È un sistema più economico delle centine di legno, perché i tubi e i giunti possono essere riutilizzati infinite volte. In un cantiere che deve combattere la disoccupazione poi, il sistema è perfetto, perché l'assemblaggio richiede tanta manodopera. Così (mentre Ferdinando Innocenti è impegnato a inventare la Lambretta), lungo il tracciato appaiono una dopo l'altra tante «splendide incastellature di tralicci tubolari in acciaio disposti a ventaglio».

Quasi sempre sono previste carreggiate affiancate, ma separate: quindi ogni volta occorre costruire due ponti vicini. Ed ecco allora l'idea geniale: per gettare l'arco gemello anziché perdere tempo a smontare e rimontare la centina, si studia un sistema per traslare la centina con l'ausilio di argani, forzosamente azionati a mano.

Altri protagonisti dei cantieri dell'Autosole sono i temerari blondin Cruciani a falconi oscillanti, utilizzati per la distribuzione dei getti; e la centina per arco, brevettata dallo stesso Cruciani già nel 1947, e testata lungo la Voltri-Albissola.

Scena VI
Si ospitano eventi di rilevanza internazionale, le Olimpiadi di Roma, Italia '61 (1956-1964)

All'opera collettiva per eccellenza dell'ingegneria italiana manca l'apporto del suo più importante protagonista, Pier Luigi Nervi. In compenso, negli stessi anni le sue strutture stanno entrando in tutte le case del mondo con le immagini televisive delle Olimpiadi di Roma del 1960. Dopo l'inaugurazione del Salone dell'automobile nel padiglione di Torino, Nervi ha avuto i più ampi riconoscimenti in campo internazionale. Ma la definitiva consacrazione tra i maestri dell'ingegneria del Novecento avviene tra il 1957 e il 1962, come sottolinea lo stesso ultrasettantenne ingegnere nell'introduzione al suo Nuove strutture.

Nel 1955 Roma ha finalmente ottenuto di ospitare le Olimpiadi. E Nervi con la sua piccola impresa si trova a condurre 4 grandi cantieri in soli 4 anni.

Qui, nelle cupole minutamente plissettate, nei pilastri sagomati, nei solai a nervature isostatiche, il sistema Nervi dà vita a un linguaggio strutturale inedito e compiuto, che appare come un monumentale prodotto del made in Italy.

L'area designata ad accogliere il villaggio degli atleti è quella Flaminia, vicina al Foro Mussolini, ribattezzato Italico. Ai margini

39. P.L. Nervi nel cantiere del Palazzetto dello Sport al Flaminio a Roma, 1957 (MIT, Lee).

del quartiere olimpico, che prevede la sopraelevazione di corso Francia, si collocano il Palazzetto dello Sport e lo stadio Flaminio. Altri impianti sono collocati all'Eur.

Il Palazzetto dello Sport è la prima fra le strutture per le Olimpiadi a essere completata.

Nasce prima dell'assegnazione dei Giochi a Roma, come prototipo da proporre identico in più città d'Italia. Il Coni affida il progetto all'architetto Vitellozzi, che chiama Nervi (in un primo momento collabora anche Musmeci) per studiare la copertura di grande luce.

Il progetto è essenziale: una cupola ribassata, a pianta circolare, di 60 metri di diametro, sollevata su 36 cavalletti radiali inclinati. Il campo di gioco, sotto il livello del terreno, è circondato da gradinate a *crescent*. La calotta, liscia all'esterno, all'interno si anima in un ricamo di nervature incrociate, creando un suggestivo effetto ottico.

Il cantiere è un'applicazione esemplare del «sistema Nervi».

Mentre si realizzano in opera le fondazioni e i cavalletti perimetrali, nel terreno a fianco, contemporaneamente, si preparano i pezzi del mosaico che andranno a comporre la cupola. La calotta sferica infatti è stata scomposta in 1620 tavelloni romboidali da realizzare a piè d'opera.

Il doppio cantiere, che consente di dimezzare i tempi, è il punto di forza della prefabbricazione strutturale di Nervi.

I tavelloni, realizzati in ferrocemento, sono pezzi piccoli, di due centimetri e mezzo di spessore, facili da impilare e leggeri da trasportare. Per essere certi della componibilità geometrica tra i piccoli tavelloni e la calotta a doppia curvatura, si allestisce a terra, in guisa di dima, uno spicchio di cupola corrispondente a 10 gradi. Su questo si preparano i 13 prototipi dei tavelloni: le «nonne». All'interno delle nonne, rovesciate, si generano 2 o 3 controforme: le «mamme». Con queste, più squadre di operai producono, al coperto, 108 tavelloni: le «figlie» (identiche alla rispettiva nonna). Nei periodi di massima attività del cantiere, gli operai arrivano a preparare 30 «figlie» al giorno.

40. Le «nonne», Palazzetto dello Sport al Flaminio (MAXXI, Nervi).

Per comporre la cupola si impiega un leggero ponteggio Innocenti, affittato per 2 mesi: per il montaggio del puzzle bastano

41. P.L. Nervi, A. Nervi, Stadio Flaminio a Roma, 1957-1959 (AFFarabola).

30 giorni. Poi un getto in opera, nei canali e sulla calotta, ripristina la monoliticità della copertura.

Mentre si completa il Palazzetto, all'appalto-concorso ad inviti per la ricostruzione dello stadio Torino, demolito, il progetto presentato dalla Nervi e Bartoli, firmato da Pier Luigi e dal figlio maggiore Antonio, viene ritenuto il più valido. Il cantiere del nuovo stadio Flaminio comincia il 10 luglio 1957 e a febbraio del 1959 l'opera è già collaudata. L'anello di telai sagomati e gradinate prefabbricate, le cui superfici di cemento sono lasciate a vista, circonda il campo da gioco. La pensilina sulla tribuna d'onore è un capolavoro geometrico-costruttivo: la sagoma dello sbalzo cambia con continuità dall'incastro fino all'estremità libera, in un incremento di snellezza, ottenuto con un'elegante superficie rigata.

Parallelamente al cantiere dello stadio, il Palazzo dello Sport all'Eur – l'impianto più capiente realizzato per le Olimpiadi – è l'opera nella quale Nervi concentra gran parte delle sue invenzioni strutturali. Il progetto gli è affidato insieme a Piacentini, che si occupa del prospetto. Ma alla fine la facciata, «maschia» e «romana», disegnata dall'anziano architetto del regime, lascia il posto all'essenziale vetrata voluta dall'ingegnere.

La gigantesca cupola minutamente pieghettata è increspata da 144 onde di ferrocemento. La spinta della calotta è convogliata dai ventagli su pilastri inclinati a sagoma variabile, mentre la copertura anulare della galleria agisce da rinfianco. Il progetto esecutivo, interamente basato sull'adozione del «sistema Nervi», comprende una stima del costo per le strutture che è di 633 milioni di lire. Nessuno è in grado di eseguire quel lavoro a quella cifra, in tempo per l'inizio dei Giochi. Così, le opere strutturali sono affidate ancora alla Nervi e Bartoli, con un ulteriore ribasso dell'8% sull'offerta.

42. Le «figlie» accatastate, Palazzetto dello Sport al Flaminio (MIT, Lee).

Anche qui le operazioni si svolgono in due cantieri.

Da una parte si realizzano le fondazioni; si gettano in opera i pilastri inclinati a sagoma variabile, usando sempre la stessa cassaforma; si confeziona il sinuoso solaio a nervature isostatiche, su una controforma liscissima di

43. P.L. Nervi, Palazzo dello Sport all'Eur a Roma, M. Piacentini, 1956-1960 (AFFarabola).

ferrocemento che si muove su un carrello; si modellano le famose scale a «dinosauro».

Nel frattempo, tutt'intorno, sulle pendici della collina, si attrezza uno spettacolare cantiere di prefabbricazione che prepara 576 conci d'onda traforati per la cupola, più centinaia di pezzi speciali per il bordo dell'oculo e per l'attacco perimetrale, 432 pieghe per i ventagli, 1440 sedute per le gradinate, 72 pilastrini a sagoma trilobata per sostenere la vetrata perimetrale, 1824 tavelloni romboidali per l'intradosso della galleria perimetrale, visibile anche dall'esterno attraverso la facciata trasparente. Numerati e accatastati, i pezzi vengono via via montati non appena sono pronte le strutture in opera che devono sostenerli. L'operazione finale è l'assemblaggio dei conci d'onda, che impegna circa tre mesi, compreso il getto finale in opera della soletta continua superiore.

Durante i Giochi, la critica straniera è incantata dalla cupola, leggerissima ed enorme. Le riprese televisive esaltano il gioco di linee radiali, che fanno da magnifico sfondo agli incontri di pugilato. L'immagine del giovane Cassius Clay con la medaglia d'oro dei pesi medio-massimi al collo, nella gloria della cupola, sarà pubblicata su tutte le copertine sportive.

Intanto, anche il viadotto di corso Francia è affidato a Nervi a tempo quasi scaduto (maggio 1959), contando sulle sue straordinarie capacità di costruttore. Ed è ancora una volta il «sistema Nervi» a consentire l'impresa: mentre si realizzano in opera le pile a sagoma variabile, si prefabbricano, con le ormai

44. Palazzo dello Sport all'Eur, 1959, il cantiere di prefabbricazione circonda la costruzione (AFFarabola).

consuete matrici, le travi a V in ferrocemento (4 al giorno), leggere e facili da spostare.

Progettato insieme agli architetti autori del Villaggio Olimpico, in particolare con Moretti, è al tempo stesso strada sopraelevata e suggestivo portico che arricchisce la composizione e l'agibilità pedonale del quartiere degli atleti.

Quando Gronchi dichiara aperti i Giochi, il 25 agosto 1960, fervono già i preparativi per un'altra occasione di rilievo internazionale: le celebrazioni per il Centenario dell'Unità d'Italia, a Torino.

Sono previste tre opere strutturali: il Palazzo del Lavoro, il Palazzo a Vela, la monorotaia Alweg che futuristicamente collega i padiglioni.

Al concorso-appalto più ambito, quello per la costruzione del palazzo dell'Esposi-

45. R. Morandi, Monorotaia «Alweg» per Italia '61 a Torino, 1961 (AFFarabola).

46. P.L. Nervi, G. Covre, Palazzo del Lavoro per Italia 61 a Torino, 1960-1961 (AFFarabola).

zione Internazionale del Lavoro, partecipano 6 imprese, associate con diversi team di ingegneri e architetti: tra questi, Gabetti e Isola con Morandi per la Borini e Padana; Mollino e Bordogna con Musmeci per la Guerrini.

Ma vince ancora Nervi, l'unico a garantire il rispetto dei tempi, ormai ridottissimi. Per questo rinuncia alle sue invenzioni più peculiari e affida la copertura a 16 spettacolari ombrelli di acciaio, sostenuti da enormi pilastri centrali in cemento armato. Ciascun ombrello, di 40 metri di lato, è autonomo, separato dagli altri con un sottile lucernario e può essere costruito indipendentemente.

La costruzione procede rapidissima e in meno di un anno (da febbraio a dicembre 1960) l'immenso edificio è completo.

In opera si realizzano i pilastroni, alti 20 m, uno ogni 10 giorni. Intanto in officina si preparano i pezzi dell'ombrello. Le travi a doppio T della raggiera sono confezionate dalla ditta Antonio Badoni di Lecco, da sempre a fianco di Gino Covre, il dimenticato progettista, vero campione delle strutture metalliche italiane.

A poche decine di metri, si gonfia intanto il Palazzo delle mostre, il cui appalto-concorso ad inviti, su progetto di massima di Annibale e Giorgio Rigotti, è stato aggiudicato alla fine di maggio del 1959 all'impresa Guerrini. Il progetto presentato, originale rispetto al bando e quindi definito fuori concorso, è stato elaborato da Levi con Nicolas Esquillan (che ha calcolato la volta del Cnit di Parigi): una copertura a vela, appoggiata su tre punti, in cemento armato precompresso. In cantiere la precompressione sarà sfruttata a tutto campo, soprattutto come tecnica provvisoria per le fasi intermedie della costruzione. Chiusa da una complicata vetrata sghemba, vi sarà allestita la mostra *Moda Stile Costume*. Oggi resta solo la vela, copertura di un nuovo inopportuno edificio sportivo.

Anche Morandi ha l'occasione di lasciare un segno nell'area di Italia '61, con la realizzazione delle travi, naturalmente precompresse, della avveniristica monorotaia soprelevata.

Vera icona dell'Esposizione, simbolo della modernità, l'aerodinamico «treno volante», che si specchia nel laghetto artificiale, prefigura un futuro di sviluppo, mentre l'Italia è già in brusca frenata.

47. F. Levi, N. Esquillan, Palazzo delle mostre, Torino, 1961 (AFFarabola).

Il riconoscimento di una Scuola italiana di ingegneria si basa sull'assoluta originalità dei linguaggi delle strutture realizzate in questi anni.

Che cosa dice di particolare il linguaggio di Nervi?

Osservando dall'interno la cupola del Palazzetto, possiamo vedere il flusso delle tensioni, che, partendo dall'alto, gradualmente si dirada, arriva ai ventagli, passa sulle braccia divaricate dei cavalletti e da questi finalmente a terra.

Come sempre, la struttura è egocentrica: parla di se stessa. In questo caso ci descrive minuziosamente la coerenza tra forma e comportamento statico.

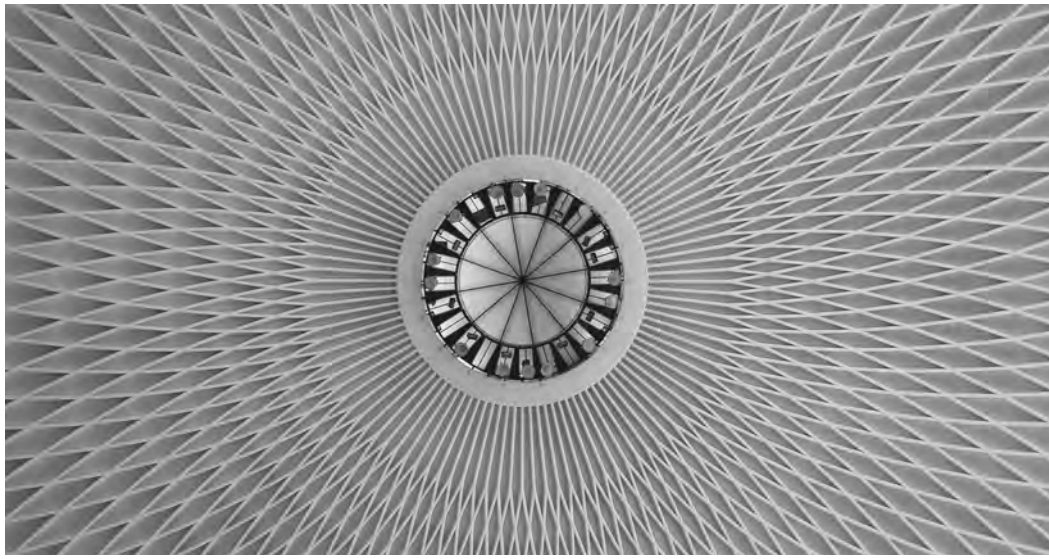
Nello stesso tempo la struttura ci parla anche del modo in cui è stata costruita. Certo, in modo più indiretto: la cupola sembra uscita da un enorme stampo e invece sappiamo che è composta di tanti piccoli pezzi. Ma non è una falsificazione: al contrario nell'illusionismo si svela una verità più intima del cemento armato: che può essere gettato in fasi diverse e riacquistare una perfetta monoliticità. Senza bisogno di alcuna finitura superficiale. È la prerogativa della pietra fusa, che Nervi manipola con la destrezza dell'artefice.

Dove sta, dunque, la peculiarità delle cupole di Nervi, rispetto al panorama affollatissimo delle volte sottili? Nella superficie minutamente corrugata, ondulata, sagomata. Le volte sottili degli altri sono tutte lisce. Forme così articolate sarebbero troppo costose per chiunque. Ciò che le rende possibili, e paradossalmente economiche, è il «sistema Nervi».

L'originalità nasce dunque dal sistema costruttivo. E questo a sua volta rimanda alla tradizione di grandi costruttori del Paese.

Scena VII
Si sviluppano sperimentazioni avanzate, Morandi inventa strutture inedite (1956-1964)

Alle grandi realizzazioni del boom, Riccardo Morandi ha partecipato con continuità, ma la sua opera è rimasta appartata. Sulla Geno-



48. Ipografia della copertura del Palazzetto dello Sport (SIXXI, Poretti).

va-Savona e poi sull'Autosole ha firmato alcuni ponti singolarmente sobri. A Roma ha progettato il cavalcavia della via Olimpica. A Torino ha disegnato la monorotaia sopraelevata.

In realtà, l'ingegnere romano in questi anni sta seguendo un proprio percorso, che lo condurrà presto a mettere a punto un personale, inconfondibile stile strutturale e architettonico.

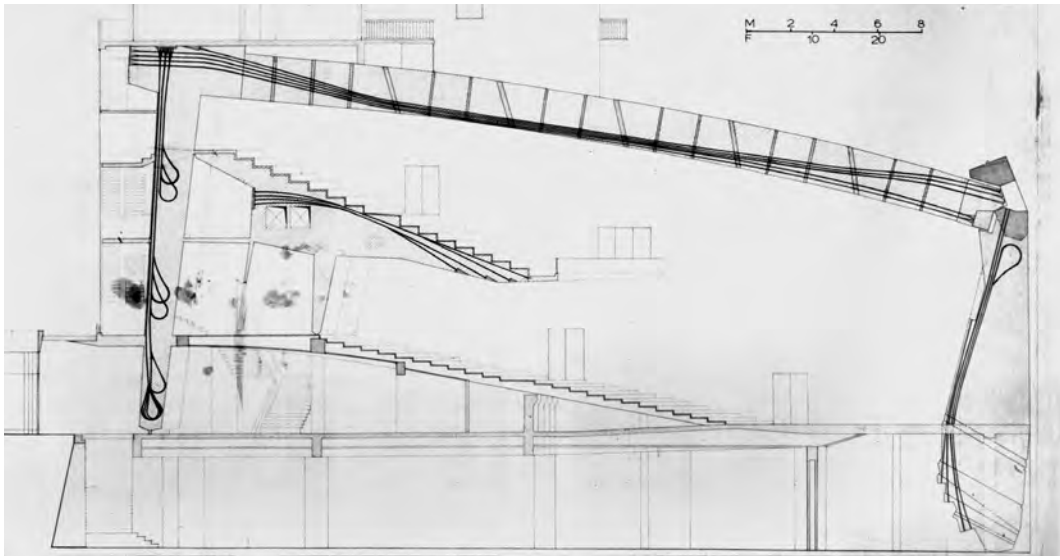
A ben guardare, fin dai primi lavori degli anni Trenta emerge la sua spiccata propensione a ridisegnare le più convenzionali strutture in cemento armato – ad arco, a travata, a telaio – con una maggiore leggerezza ed essenzialità.

Poi, negli anni della guerra, potenzia la sua ricerca della leggerezza con l'impiego sapiente e appassionato della precompressione. Partecipa attivamente allo sviluppo della nuova tecnica: deposita una serie di brevetti di dispositivi per la tensione dei cavi; esegue alcune prove sperimentali su prototipi; poi, lungo le linee di fronte devastate dalla guerra, disegna e costruisce inediti ponti. Sfruttando la magia della precompressione per concepire nuovi assetti strutturali, Morandi, prima rielabora versioni più sofisticate e leggere delle tipologie strutturali di base – la travata isostatica Gerber, il telaio incernierato al piede, la trave bilanciata con tiranti sottesi – e poi, alla metà degli anni Cinquanta, arriva finalmente alla sua spettacolare invenzione: il cavalletto strallato omogeneizzato.

La strategia della leggerezza di Morandi è basata su alcuni punti chiave.

Scomporre è il primo di questi. In analogia geometrica alla prefabbricazione strutturale di Nervi, Morandi scompone i suoi telai, le sue travi, in conci piccoli, da preparare a terra. Poi li riassembla in un modo che non potrebbe essere più lontano da quello di Nervi: gli elementi sono infatti come pezzi meccanici che si combinano insieme grazie a cavi e sistemi di ancoraggio, entrando in coazione. I conci sono ottenuti, prima con procedure rudimentali (piccole scatole di legno da girare più volte) come nella copertura della mensa della caserma De Tommaso a Roma o nel ponte sull'Elsa presso Empoli, o anche nel telaio zoppo del cinema Maestoso; poi – per esempio nel viadotto sul Polcevera – con una tecnica più moderna che consente, con una attrezzatura Dywidag o simile, di preparare i pezzi in opera a sbalzo a partire da quelli già pronti. Ma sempre di costruzione per pezzi da scomporre e ricomporre si tratta. E la scomposizione si deve vedere, tanto che i conci sono ancora distinguibili ad opera completata.

La strategia della scomposizione coinvolge anche le singole parti del sistema statico: il telaio zoppo è isolato dal resto delle componenti strutturali grazie a cerniere, neanche fosse una biella. E che la cerniera diventi un meccanismo a capsulismo o sia di tipo Mesnager, poco importa, perché in entrambi i casi



49. R. Morandi, Cinema Maestoso a Roma, 1954 (ACS, Morandi).

50. R. Morandi, viadotto sulla Fiumarella a Catanzaro, 1958-1964 (ACS, SGI).

quella che viene esibita (con tagli, sagomature, incisioni) è l'autonomia tra le parti collegate, siano i due semiarchi del ponte sul Lussia o i piloni inclinati del ponte per la via Olimpica o del nuovo padiglione a Torino Esposizioni.

Scomporre, dunque, ma anche bilanciare. È il secondo punto chiave dell'approccio di Morandi. Non una delle sue opere mature fa a meno di un controcarico per bilanciare il sistema. Lo troviamo nello sbalzo che compensa la torsione, dovuta alla curvatura della trave della balconata, nei primi cinema romani; o nel vero e proprio contrappeso da appendere alle spalle del ponte, per ridurre il momento flettente nella mezzeria della luce libera, come nel ponte Amerigo Vespucci a Firenze; o nella serie di puntoni sottili che sostengono l'impalcato del viadotto sulla Fiumarella a Catanzaro, inclinati per contrastare il gigantesco arco fino a ridurne la spinta di circa il 10% (e non è per niente poco); o nei tiranti sottesi presollecitati del ponte per la via Olimpica, che generano sulla trave un momento opposto rispetto a quello dovuto al carico. Espedienti ai quali si aggiunge il più efficace dei bilanciamenti, la presollecitazione, che usata anche in fasi intermedie di cantiere consente veri e propri prodigi, come la rotazione dei semiarchi dello Storms River Bridge in cui, passo dopo passo, la tensione da flessione è bilanciata da cavi esterni pretesi, calibrati ad hoc.

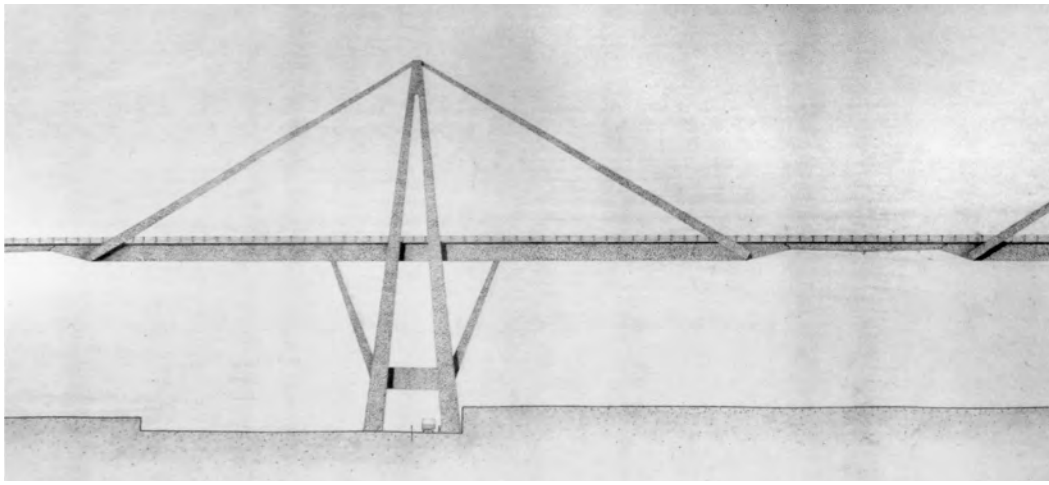
La scomposizione e il bilanciamento sono due vie per convergere verso l'ideale della uniforme resistenza. A raggiungere appieno questo obiettivo concorre l'idea di realizzare tutti gli elementi strutturali con un solo materiale. È

51. R. Morandi, ponte sulla laguna di Maracaibo in Venezuela, 1957-1962 (CSAC, Vasari).

il terzo punto chiave, che consente di ottenere la massima uniformità (o confrontabilità), oltre che degli sforzi, anche delle deformazioni e, cosa non meno importante, di plasmare strutture omogenee anche formalmente.

La tendenza alla omogeneità viene estesa anche a quello che può essere considerato il punto di arrivo del percorso progettuale di Morandi, il cavalletto strallato.

La prima realizzazione nel grandioso ponte sulla laguna di Maracaibo, il più lungo del mondo con i suoi 9 chilometri, gli procura una fama internazionale paragonabile, tra gli italiani, solo a quella di Nervi.



52. R. Morandi, viadotto sul Polcevera a Genova, 1960-1965 (ACS, Morandi).

Qui, 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.

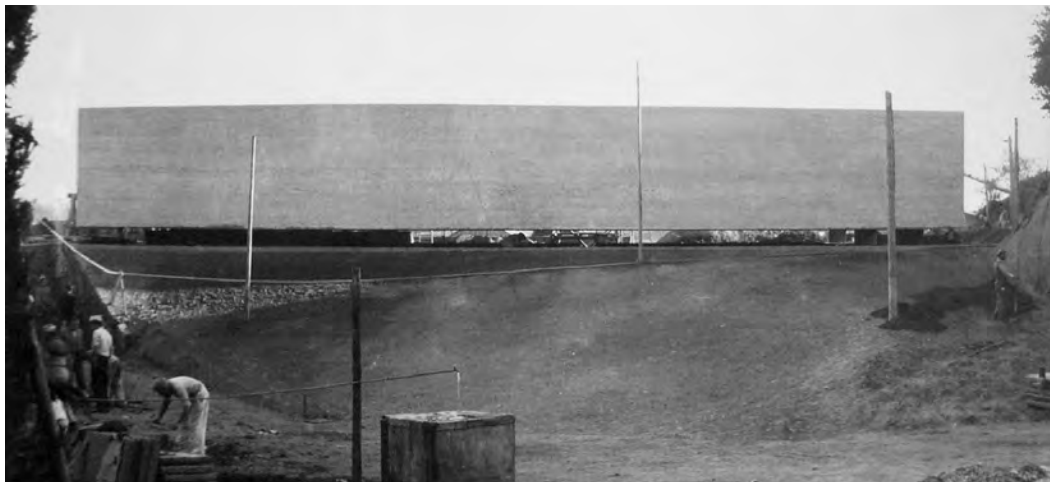
L'originalità del cavalletto strallato sta nell'impiego del cemento armato. Ne è pienamente consapevole Morandi, che nelle successive realizzazioni italiane – sul Polcevera soprattutto, ma poi anche nel viadotto nell'ansa del Tevere alla Magliana e nelle aviorimesse all'aeroporto di Fiumicino – può estendere l'impiego del cemento in coazione alla struttura intera.

Sono plasmati in cemento persino gli stralli, evidentemente sollecitati a trazione e dunque, di solito, ragionevolmente di acciaio. Nella versione di Morandi, lo strallo è composto da un fascio di trefoli di acciaio, avvolto da una guaina in cemento armato precompresso. I cavi interni sopportano da soli il peso proprio del ponte, ma i carichi accidentali li farebbero allungare troppo: allora la guaina intorno ai cavi viene precompressa di quel tanto che basta ad evitare che il carico accidentale la solleciti a trazione. Il confezionamento di un elemento così complicato però non è per niente banale, tanto che il sistema costruttivo cambia continuamente. Inizialmente (a Genova e alla Magliana) la guaina viene brutalmente gettata in opera tra casseforme appese di legno. Nelle versioni finali diventa un sofisticato pettine prefabbricato che si chiude con un coperchio inchiavardato e sigillato (sia nel ponte sul Wadi Kuf che nel ponte sul Carpineto). Ma quello che più colpisce sono le dimensioni complessive dello strallo: del tutto indipendenti dal numero e dalla posizione dei trefoli! Un solo intento guida l'operazione di sagomatura e modellazione dello strallo: entrare con la giusta proporzione nell'equilibrio della figura.

53. R. Morandi, viadotto sul Polcevera, 1967 (AFLeoni).

Il cavalletto strallato «omogeneizzato» (come preferisce dire Morandi) è il prodotto di un altro dei linguaggi che diffondono nel mondo l'unicità della Scuola italiana.

Anche questa struttura, come la cupola di Nervi, parla di se stessa: mette in scena il pro-



54. M. Fiorentino, G. Perugini e altri, mausoleo delle Fosse Ardeatine a Roma, 1945-1949 (ANFIM).

prio funzionamento statico. Ma il linguaggio è differente dalle forme naturali di Nervi. Queste descrivono l'equilibrio delle tensioni interne. La struttura di Morandi è una figura astratta e artificiale che rappresenta la contrapposizione delle forze esterne, il gioco di pesi e contrappesi, delle spinte e delle controspinte.

Qual è in questo caso l'originalità? L'italianità?

La struttura strallata è già ben conosciuta negli anni Cinquanta, ma è sempre realizzata in acciaio. L'invenzione di Morandi consiste nel costruirla in cemento armato precompresso. Interamente. Compresi gli stralli. È questo l'aspetto inedito e sorprendente: la leggerezza tipica del sistema tirantato viene innestata in una struttura plasmata in opera di natura sostanzialmente muraria. Fabbricata a mano.

Con questa artigianalità sofisticata, il linguaggio di Morandi ci parla ancora della modernizzazione italiana e del made in Italy. *Ma mentre la cupola dal «vasaio» Nervi si colloca nella tradizione classica dell'artigianato, le meccaniche metafore strutturali di Morandi si collegano al filone visionario, innescato dalle spericolatezze ottocentesche di Antonelli sulla muratura armata e rilanciato in grande stile dal futurismo.*

Scena VIII
Si creano occasioni per memorabili collaborazioni tra ingegneri e architetti (1945-1964)

Fin qui abbiamo seguito un filo evolutivo che si svolge tutto all'interno dell'ingegneria delle grandi strutture. Ci siamo concentrati sui rapporti tra strumenti scientifici, modi di costruire, pratiche della progettazione strutturale.

Per portare avanti il racconto velocemente abbiamo dovuto tralasciare aspetti rilevanti. Tra questi il più importante è il rapporto tra ingegneria e architettura. Inutile dire che gli scambi – sul terreno comune del cemento armato – sono stati continui ed intensi. Fin dagli anni Trenta, le sperimentazioni architettoniche più tipiche del modernismo italiano sono basate su ardite strutture (anche quando queste rimangono nascoste). Reciprocamente, la speciale intonazione figurativa della struttura italiana è dovuta, in gran parte, all'influenza dell'architettura.

Sarebbe di sicuro interesse inserire questo tema in un racconto di più vasto respiro. Ma anche rimanendo stretti sull'evoluzione delle grandi strutture, arrivati al secondo dopoguerra non possiamo evitare di imbatterci in alcune vicende che vedono l'architettura direttamente implicata. Non si tratta soltanto di influenze più o meno indirette tra le due aree, ma di operazioni concrete compiute insieme da ingegneri e architetti.

Per esempio, il tentativo di fondare e condurre insieme una nuova rivista. Ad aprile del 1947 esce il primo numero di «Strutture». I direttori sono Nervi e Libera, insieme a Cestelli Guidi. Il comitato comprende alcuni dei più bei nomi dell'ingegneria – Albenga, Belluzzi, Colonnetti, Danusso, Galli, Giannelli, Krall – e dell'architettura – Foschini, Michelucci, Nicolosi, Quaroni, Ridolfi, Samonà, Vaccaro. L'obiettivo, a giudicare dai contenuti, non è quello di convergere verso un linguaggio comune,

55. L. Calini, E. Montuori e altri, biglietteria della Stazione Termini a Roma, 1947-1950 (AFFFS).

diminuendo la distanza che separa la cultura architettonica da quella ingegneristica. (Come avviene per esempio quando le riviste di architettura offrono ospitalità ad alcuni ingegneri prediletti.) «Strutture» si propone come casa comune, dove mettere uno accanto all'altro i contributi di scienziati, di strutturisti, di architetti, rispettando di ognuno la specificità. È un tentativo nel suo genere unico. Che non riscuote però particolare successo, se è vero che con il terzo numero, quello doppio di dicembre dello stesso anno, cessano le pubblicazioni.

Più incisive sono le frequenti collaborazioni nella progettazione, da cui nascono architetture con forte rilevanza strutturale. In alcuni casi sono il prodotto di coppie particolarmente affiatate: Libera e Musmeci nel palazzo della Regione a Trento, D'Olivo e Zorzi nel Villaggio del fanciullo a Opicina, Mollino e Musmeci nel Teatro Regio a Torino, Vaccaro e Nervi nella stazione di Napoli, Viganò e Zorzi nell'istituto Marchiondi a Milano, Moretti e Zorzi nelle terme di Fiuggi. In altri casi sono espressioni di una figura ibrida di architetto-ingegnere, impersonata di volta in volta da progettisti di diversa estrazione: la colossale «pietra tombale» di Perugini e Fiorentino alle Fosse Ardeatine, il «dinosauro» di Montuori nella stazione di Roma Termini, la «foresta di cemento» di Michelucci per la Chiesa dell'Autostrada, per citare solo le più note.

Ma l'evento più stimolante per l'incontro tra ingegneria e architettura è un altro: è il grattacielo. Tema che, per natura e per storia, richiede il contributo paritetico delle due figure. Fin dall'inizio, nei primi anni Cinquanta, ci si rende conto che il canonico prisma di acciaio e vetro, che tutte le città occidentali stanno importando dall'America, non si addice affatto al cantiere italiano del dopoguerra. Occorre rielaborare il prototipo. E per farlo, scendono in campo le star dell'ingegneria e dell'architettura italiane. Da alcune memorabili collaborazioni scaturisce un'alternativa compiuta al modello internazionale: il grattacielo «Italian Style», prodotto significativo del lavoro comune tra architetti e ingegneri italiani.

56. Copertina del primo numero di «Strutture», 1947.

57. A. Danusso, Torre Velasca, Milano, BBPR, 1950-1957 (AFAitec).

Tutto comincia dalla Torre Velasca, nella quale i BBPR collaborano con Danusso. Siamo tra il 1950 e il 1957. L'ipotesi della struttura in acciaio, la più ovvia per un edificio di 25 piani, dopo un'accurata analisi economica fatta da uno studio di specialisti americani, viene scartata.

Si opta per una ossatura in cemento armato tutt'altro che regolare. Una serie di grossi pilastri viene vistosamente esibita all'esterno della parete.

L'ampliamento nella parte alta, che determina la caratteristica, antigraziosa fisionomia della torre, è risolto strutturalmente inclinando i costoloni esterni. Due solai speciali assorbono le conseguenti sollecitazioni orizzontali: al diciottesimo piano una soletta incorpora un sistema di tiranti che legano i pilastri verso l'interno; al quindicesimo una doppia soletta a forte inerzia ne assorbe la tendenza implosiva.

La versatilità del sistema laterocementizio consente le continue variazioni, da cui deriva la forma compiuta dell'insieme.

La struttura è complicata. Ma la si può calcolare sfruttando alcune prove su modelli all'Ismes: sulle pareti del nucleo centrale di controvento, sul pilastro a sezione continuamente variabile, sul solaio di 10 metri di luce ai piani alti.

Nel grattacielo Pirelli, realizzato subito dopo, tra il 1955 e il 1959, Gio Ponti, partendo dall'ipotesi di pianta rettangolare con maglia ordinata di pilastri e travi, passa gradualmente alla forma «finita» lenticolare, con un corpo di fabbrica molto sottile.

Nervi, chiamato con Danusso a progettare la struttura, rinuncia allo schema del telaio elastico controventato e concepisce una megastruttura davvero insolita per un edificio alto 130 metri. Quattro possenti piloni verticali in cemento armato – le due punte scatolari e due setti a farfalla intermedi – sostengono solai con luci enormi: veri e propri impalcati da ponte. Pesantissimi.

Ma il peso ha un effetto benefico in questo caso. Perché l'edificio si oppone al vento per gravità, come una diga. Per questo i setti verticali spessi e pieni alla base si assottigliano andando in alto.

Una struttura così è quasi impossibile da calcolare analiticamente.

Anche in questo caso ci si avvale allora delle prove su modelli realizzati all'Ismes. Se ne fanno due. Uno, dell'insieme, in scala 1:15, è un vero e proprio edificio in miniatu-

ra alto 10 metri, e fornisce preziose informazioni sul comportamento aerodinamico e sul collegamento tra solai e setti. L'altro, di un solaio, in scala 1:5, consente di calibrarne lo spessore, applicando però la precompressione per contenere le frecce in mezzeria (ma a Nervi, lo sappiamo, la precompressione non piace affatto e con una prova di carico in sito riuscirà in extremis a dimostrare che non è necessaria).

Alla fine, struttura e forma si integrano perfettamente. L'edificio costruito interamente in opera ha la compiutezza dell'oggetto di design. E Ponti, in un primo momento contrario a lasciare i piloni di cemento armato in vista, presenta l'opera sulla sua «Domus» e su altre riviste internazionali usando il disegno essenziale della struttura nuda come logo e parlando di «invenzione strutturale» alla base della soluzione architettonica.

Con il Pirelli l'immagine del grattacielo in cemento armato «Italian Style» si diffonde nel mondo. E quando, nel 1960, la Società Generale Immobiliare deve costruire un complesso per uffici a Montreal chiama lo stesso Nervi a progettarlo. Insieme a Moretti, questa volta.

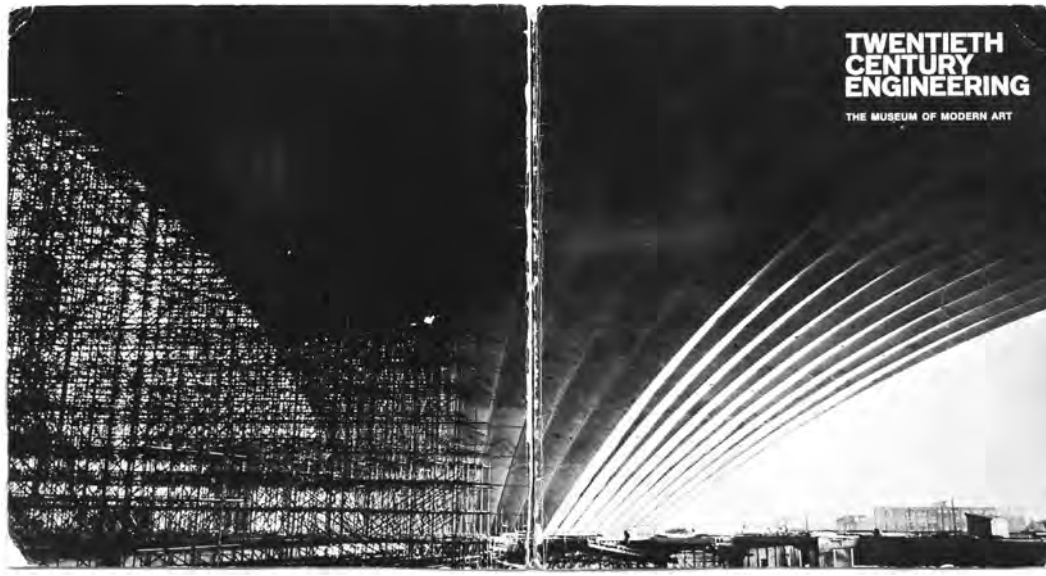
Dalla collaborazione, tutt'altro che serena, nasce il grattacielo in cemento armato più alto del mondo, con i suoi 190 metri.

Anche in questo caso la struttura è diversa dal canonico telaio multipiano controventato. Il sistema resistente principale, formato da un nucleo di setti incrociati in diagonale, è stabilizzato dai quattro pilastri d'angolo. La soluzione, inedita, anticipa i sistemi ad «outrigger» che si diffonderanno negli anni successivi. A completamento, due pilastri sono dislocati per ogni lato della pianta quadrata.

Moretti, che stimola Nervi a «più inventivi giochi di strutture», sfrutta la soluzione strutturale per differenziare il più possibile l'immagine architettonica dall'«ormai stan-

58. Gio Ponti, P.L. Nervi e altri, Grattacielo Pirelli, Milano, 1954-1960 (foto U. Mulas).

59. P.L. Nervi, L. Moretti e altri, Stock Exchange Tower, 1960-1965 (ASC, SGI).



60. Copertina del catalogo della mostra *Twentieth Century Engineering*, MoMA, New York 1964.

co» prisma indefinito tutto di vetro. Lo fa alla sua maniera, introducendo alcune correzioni ottiche che guidano verso la percezione di un oggetto compiuto. Rastrema il volume arretrando i solai di pochi centimetri ad ogni piano. Lo scandisce con tre tagli in corrispondenza delle braccia dell'«outrigger». Ingigantisce i quattro pilastri d'angolo con una scocca di rivestimento. Nasconde i pilastri lungo i lati gonfiando con una leggera bombatura il *curtain wall*.

Il grattacielo italiano non è semplicemente diverso dal grattacielo International Style. Ha un'impostazione tettonica antitetica.

Per la torre di Montreal, Luigi Moretti parte da alcuni presunti difetti rilevati nel Seagram Building, che i più in quel momento considerano come il modello perfetto di grattacielo in curtain wall. *Per Moretti, «la forma senza rastremazione del prisma» e la non «prendibilità» della struttura sono carenze che le «pareti di cristallo magnificamente dimensionate» non bastano a compensare.*

Quello che in realtà Moretti rifiuta (insieme a tutti i progettisti italiani) è il linguaggio astratto, artificiale e impersonale, per cui il grattacielo è diventato il simbolo di un'architettura concepita come prodotto industriale.

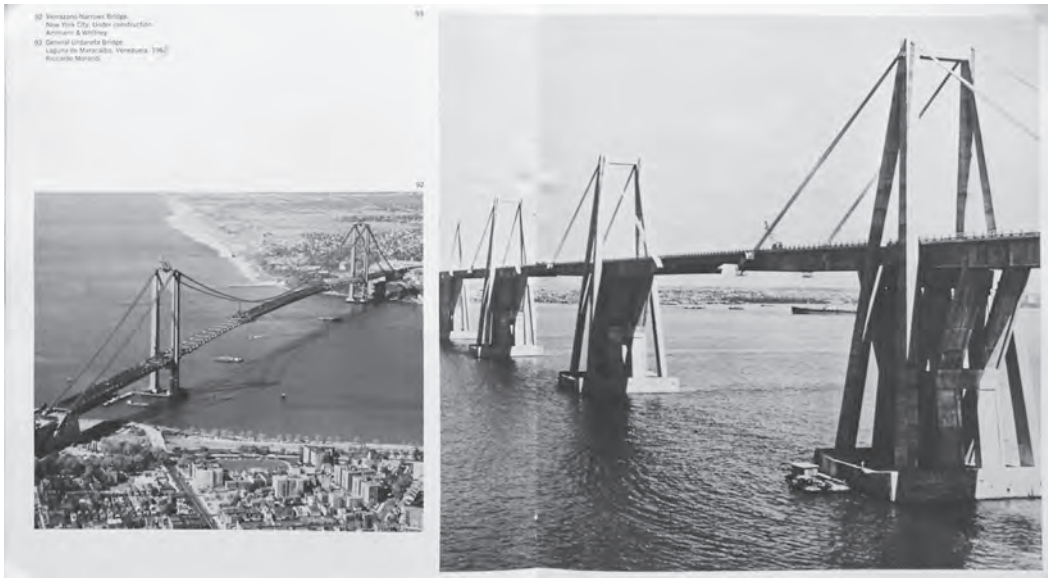
Il grattacielo italiano, all'opposto, è l'applicazione in scala dilatata del sistema misto. Lo stesso con cui si costruisce in Italia la casa popolare o la palazzina. Sistema che è la quintessenza dell'artigianalità. L'ossatura in cemento armato si combina con le parti murarie. Tutto è fatto in opera. A mano. E quindi struttura e forma si possono variare, piano per piano, punto per punto. Nessuna standardizzazione è conveniente.

È questo che la forma compiuta alla fine comunica: nonostante le dimensioni, l'edificio è un oggetto unico, un manufatto irripetibile. Così, insieme al ponte di grande luce e alla grande copertura, il grattacielo dimostra che in Italia l'artigianato può convivere con la modernità, anche nelle situazioni più estreme.

Scena IX
L'epoca preindustriale si conclude, arriva l'omologazione culturale, si diffonde la prefabbricazione industriale (1965)

All'inizio degli anni Sessanta la fama internazionale dell'ingegneria italiana dilaga.

La cupola di Nervi suscita l'ammirazione estasiata di Grace Kelly e si guadagna uno spazio anche nei giornali femminili. Il cavalletto strallato di Morandi è una delle figure più eloquenti del made in Italy, *pubblicato su «Oggi», su «Epoca», ma anche su «Fortune». Attraverso la neonata televisione, le struttu-*



61. Pagina interna del catalogo della mostra *Twentieth Century Engineering*, MoMA, New York 1964.

re diffondono nel mondo i segni del miracolo italiano. 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 alla metà degli anni Sessanta, giunta al culmine del successo, la Scuola italiana si estingue improvvisamente. Finito il miracolo, anche la Scuola sparisce dalla scena. I gloriosi studi dei protagonisti chiudono, uno dopo l'altro. Il clima culturale in cui è cresciuto il progettista polivalente si dissolve. La specializzazione, quella che divide il lavoro in base alle competenze, non è più rinviabile. Viene meno il bassissimo costo della mano d'opera, condizione essenziale per la sopravvivenza del cantiere artigianale. Arriva il computer e cambia il modo di calcolare le strutture.

Nel panorama delle grandi strutture la svolta si manifesta subito. Il ponte ad arco viene ovunque soppiantato dal viadotto a travata e pile altissime, con ampio impiego della prefabbricazione industriale. Esigenze economiche e regolamenti anti-sismici determinano la soluzione strutturale e architettonica. Da un giorno all'altro, la grande struttura non è più l'opera individuale di un autore: è il prodotto spersonalizzato del team plurispecialistico.

Non è certo una trasformazione limitata al settore dell'edilizia. Allargando lo sguardo, vediamo che l'ingegneria è trascinata in una crisi che investe il Paese intero in questi anni. È una svolta epocale: improvvisamente, la tradizione della cultura materiale, mantenuta nell'italietta del Ventennio, rianimata nella ricostruzione, trionfante durante il miracolo, si scioglie nell'ondata della generale omologazione che sommerge il Paese.

Pasolini denuncia per primo il cambiamento, come un vero e proprio «genocidio» della cultura materiale italiana. Lo fa nel 1975 con la bella metafora della «scomparsa delle lucciole»: «Nei primi anni Sessanta, a causa dell'inquinamento dell'aria, e, soprattutto, in campagna, a causa dell'inquinamento dell'acqua (gli azzurri fiumi e le rogge trasparenti) sono cominciate a scomparire le lucciole. Il fenomeno è stato fulmineo e folgorante. Dopo pochi anni le lucciole non c'erano più. (Sono ora un ricordo, abbastanza straziante, del passato: e un uomo anziano che abbia un tale ricordo, non può riconoscere nei nuovi giovani se stesso giovane, e dunque non può avere i bei rimpianti di una volta.)

Quel "qualcosa" che è accaduto una decina di anni fa lo chiamerò dunque "scomparsa delle lucciole"».

La sua diagnosi ancora oggi infastidisce qualcuno, ma i più la indicano, se non come un'analisi storica corretta, come la lucidissima profezia di un veggente.

62. P.L. Nervi, sala delle udienze pontificie in Vaticano, 1966-1971 (SIXXI, Poretti).

Scena X
Il Paese attraversa la congiuntura economica, dai tentativi di mantenere in vita la Scuola nascono alcuni capolavori postumi (1965-1980)

Non è detto che, nella storia, i periodi di decadenza abbiano meno fascino dei periodi eroici. Il declino dell'ingegneria italiana, per esempio, risulta impreziosito da scie che il momento aureo si lascia dietro.

I più importanti progettisti della prima generazione, Nervi su tutti, ampliano la loro attività all'estero e realizzano grandi opere in tutto il mondo.

Qualcuno di quelli più giovani tenta, nelle mutate condizioni, di recuperare comunque una nuova identità dell'ingegneria italiana.

E così, nel quadro del generale declino si inseriscono alcuni memorabili capolavori, che abbiamo definito postumi. Episodi isolati ed utopistici, che però gettano una luce retrospettiva sulle vicende della Scuola e possono aiutarci a scoprirne alcuni aspetti reconditi.

Tra le tante opere realizzate all'estero dagli ingegneri italiani, fino alla fine degli anni Settanta, spiccano in primo piano quelle di Nervi, vera archistar ante litteram.

In ogni parte del mondo si desidera un'opera di Nervi. Le università fanno a gara per conferirgli lauree honoris causa, tiene le Norton Lectures ad Harvard, i suoi libri sono tradotti in molte lingue.

63. P.L. Nervi, Ambasciata d'Italia a Brasilia, 1964-1971 (MAXXI, Nervi).

In architetture come la sede dell'Unesco a Parigi, la stazione degli autobus a New York, la cattedrale di San Francisco, l'ambasciata italiana a Brasilia, si ritrovano tutti gli elementi più caratteristici legati al sistema Nervi: il solaio a nervature isostatiche, le superfici minutamente corrugate, il pilastro a sezione variabile ecc.

Ma nelle opere lontane, lo Studio Nervi si occupa solo della progettazione; spesso in

64. S. Zorzi, viadotto sul Gorsexio a Voltri per l'Autostrada Voltri-Alessandria, 1973-1978 (SIXXI, Poretti).

collaborazione con architetti di rilevanza internazionale. La costruzione, invece, è affidata ad imprese locali, che impiegano le tecniche canoniche del cemento armato.

In queste condizioni, il sistema Nervi, che è nato e cresciuto in seno alla Nervi e Bartoli, quando viene esportato nei suoi effetti puramente formali, finisce per trasformarsi in uno stile: lo stile Nervi.

La mutazione si rileva in parte anche nelle ultime opere realizzate in Italia. Si può dire che, se c'è un'opera in cui lo stile Nervi riceve la sua definitiva consacrazione, questa è l'Aula delle udienze pontificie in Vaticano.

In Italia, intanto, c'è lo sforzo solitario di Silvano Zorzi. Il quale è uno dei primi a rendersi conto che non è più possibile costruire i viadotti con tecniche artigianali; che ci si deve liberare dalla «schiavitù della centina», come è già da tempo avvenuto nei paesi più industrializzati. E che, di conseguenza, bisogna accettare la scomparsa dell'arco e l'inevitabile egemonia del viadotto a travata e pile alte.

Non si rassegna però che tutto questo comporti necessariamente la spersonalizzazione dell'opera strutturale.

E così, nei viadotti di ultima generazione, dopo i capolavori dell'Autostrada del Sole, si impegna nel disperato tentativo di sublimare la semplicità della figura della travata su più pile.

Come? Concentrando lo sforzo progettuale sull'accurato disegno degli elementi.

65. S. Zorzi, viadotto sul Gorsexio, 1973-1978 (AFCMC).

Non si tratta di disegno in senso astratto.

È disegno strutturale, perché la sagomatura di piloni e impalcati è legata alla sapiente accordatura degli sforzi, alla sofisticata manipolazione delle possibilità di resistenza, di cui è capace uno specialista della precompressione come lui.

È disegno costruttivo anche, perché a sostituire le tradizionali impalcature (dopo alcuni tentativi subito abbandonati di impiegare la prefabbricazione) si inventano (o reinventano) marchingegni protoindustriali che consentono di mantenere il getto in opera, fatto

66. S. Zorzi, ponte sul Tagliamento a Pinzano, 1967-70 (SIXXI, Poretti).

67. S. Zorzi, viadotto lungo il Fichera per l'autostrada Palermo-Catania, 1970-1972 (AFChiolini).

a mano. Al posto della spettacolare centina Innocenti vediamo scorrere sul tracciato del viadotto il carrellone scorrevole a sbalzo o la centina autovarante, colossali apparecchi da estrusione che avanzano lasciandosi alle spalle i sottili impalcati.

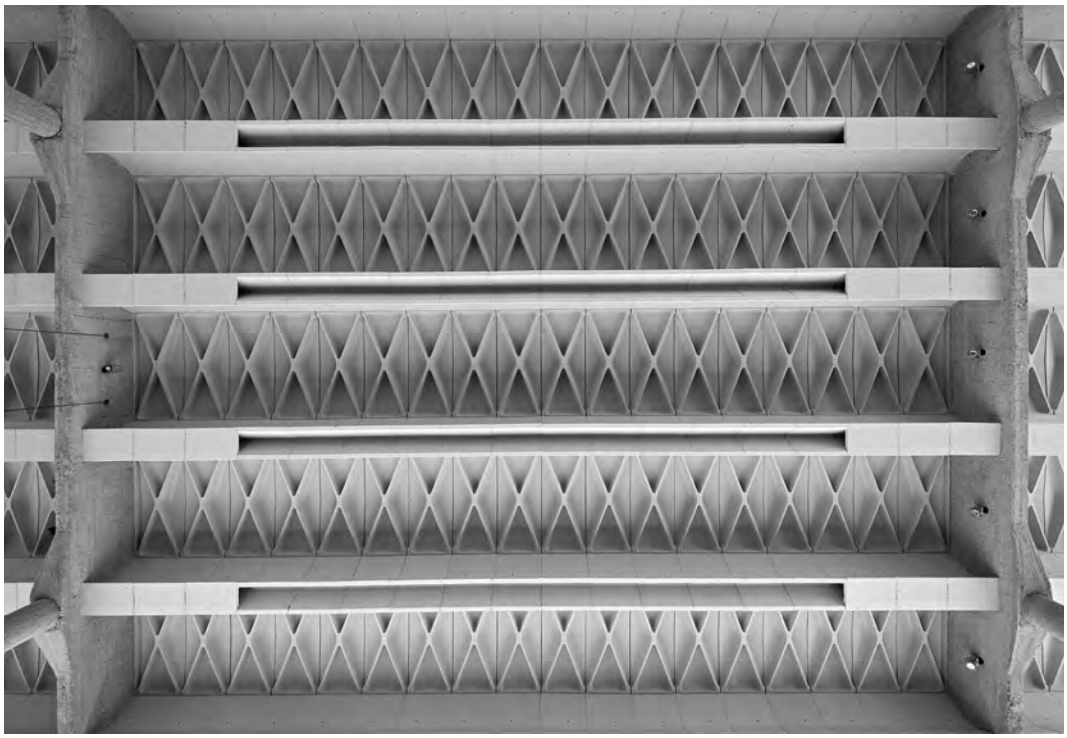
Nascono così, non stupefacenti figure ma sobri ed essenziali oggetti, strutture minimali, la cui qualità sta tutta nell'eleganza dei profili. Sono le sopraelevate urbane di Milano e i viadotti di ultima generazione: sul Gorsexio, sul Teccio, lungo il Fichera.

E nasce anche uno dei più bei ponti italiani del Novecento, il quasi sconosciuto ponte di Pinzano sul Tagliamento, un portale a tre cerniere di 163 metri di luce, gettato interamente in opera senza centine.

La centralità del design non riguarda solo le opere di Zorzi.

Un più ampio movimento di design strutturale si è sviluppato in seno alla Scuola e sopravvive negli anni Settanta, inserendosi nel filone dell'edilizia basata sulla prefabbricazione industriale.

Storicamente, possiamo farne risalire l'origine nel campo d'internamento di Losanna, dove gli ingegneri allievi di Colonnetti si sono



68. A. Mangiarotti, B. Morassutti, A. Favini, chiesa parrocchiale a Baranzate, 1956 (SIXXI, Poretti).

trovati per mesi a stretto contatto con alcuni giovani designer della scuola milanese: Alberto Rosselli, Angelo Mangiarotti, Vico Magistretti, Maurizio Mazzocchi. Insieme hanno collaborato al «Bollettino», pubblicato a Vevey e a Winterthur tra giugno 1944 e maggio 1945. Al ritorno hanno dato vita alla rivista «Cantieri».

Si è creata così una familiarità che trova conferma, negli anni successivi, nelle proficue collaborazioni da cui nascono opere come la fabbrica Brionvega di Zorzi e Marco Zanuso, la chiesa parrocchiale a Baranzate di Favini, Mangiarotti e Morassutti, il magazzino per la Birra Poretti a Mestre di Mangiarotti e Favini e molte altre.

Infine, c'è un'opera in cui l'avventura della Scuola italiana trova la sua conclusione e la sua apoteosi: è il ponte sul Basento di Sergio Musmeci.

La forma senza nome del guscio portante è concepita applicando, per via analitica e con prove su modello, una sorta di teorema: fissati i vincoli e noti i carichi l'incognita da «calcolare» è la forma. Se poi cerchiamo la forma migliore, la forma minima, la forma più leggera, il problema matematico è determinato.

69. Chiesa parrocchiale a Baranzate durante la costruzione (APCastelnuovo).

70. Ponte sul Basento a Potenza, la centina in costruzione, 1971-1975 (APFlamigni).

71. Ponte sul Basento, modello in microcemento, 1971 (AFIsmes).

Per non intaccare la purezza di questo calcolo scientifico della forma è necessario però prescindere da tutti gli altri condizionamenti. Tutti: gli schemi strutturali consueti, i confini della geometria classica; ma, soprattutto, le tecniche di costruzione (posizione scandalosa in un ambiente di maestri costruttori come la Scuola italiana).

È inevitabile che, poi, questi fattori tornino in gioco nel travagliato percorso del progetto esecutivo e del cantiere: a quel punto la forma costruita deve subire trasformazioni pesanti.

I modelli di perspex e il grande modello di microbeton portato a rottura all'Ismes inducono a modificare la curvatura trasversale, altrimenti impercettibile, e ad ispessire molto i bordi.

La difficoltà di costruire in cantiere una forma difficile persino da disegnare comporta aumento dei costi e ritardi nei tempi.

Ma attraverso queste vicissitudini, la forma, anziché snaturarsi come ci si poteva aspettare, assume piuttosto un doppio registro. Notevolmente appesantita, appare come un possente guscio murario. Eppure conserva anche la fisionomia della membrana tesa, poi capovolta, che gli deriva dal concepimento per via scientifica.

72. S. Musmeci, ponte sul Basento, 1967-1975 (MAXXI, Musmeci).

Negli anni Settanta la Scuola, ormai estinta, continua a generare linguaggi nuovi; linguaggi che esprimono la sua italianità, ma con accenti diversi da quelli della fase cruciale.

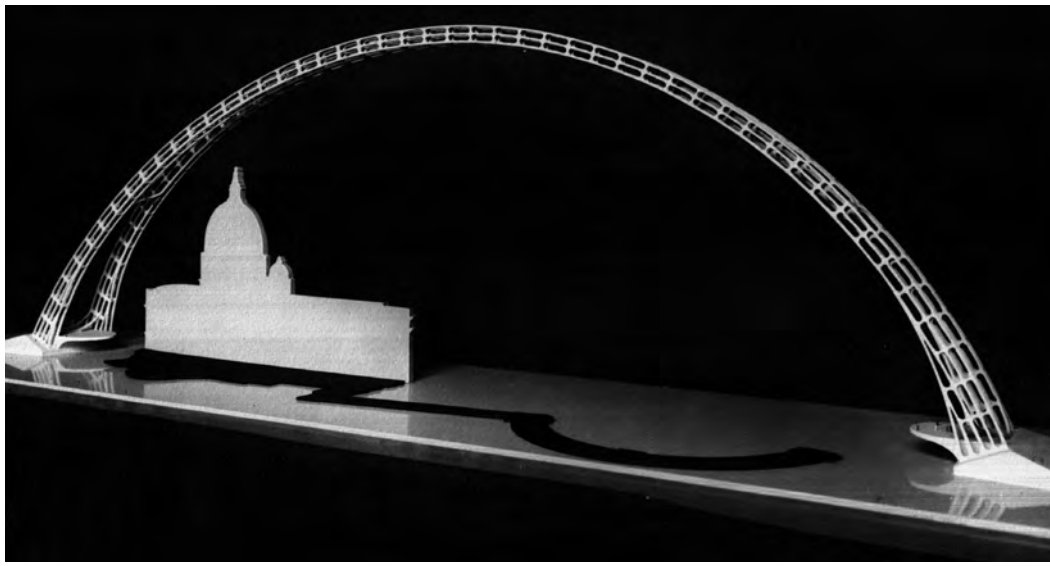
Uno è quello che nasce dalla trasformazione del «sistema Nervi» in «stile Nervi». È un linguaggio manieristico: genere abbastanza raro nel campo delle strutture, che non a caso potremmo ritrovare nelle opere di alcune archistar attuali.

Un altro è quello messo a punto nelle opere della maturità di Zorzi. In questo caso la struttura ha una diversa natura, sia rispetto alla forma resistente di Nervi, sia rispetto alla figura equilibrata di Morandi. Il viadotto di Zorzi è essenzialmente un oggetto, un oggetto di design, di design strutturale. Il linguaggio, sommesso eppure incisivo, dimostra come sarebbe possibile rivitalizzare la Scuola italiana nella fase post-artigianale, sublimando attraverso il disegno la semplicità dello schema strutturale. Ma poi, rimanendo isolato in pochi episodi, si rivela come una bella utopia. Chi può riconoscere il viadotto attentamente disegnato nel mucchio delle travate prefabbricate tutte uguali?

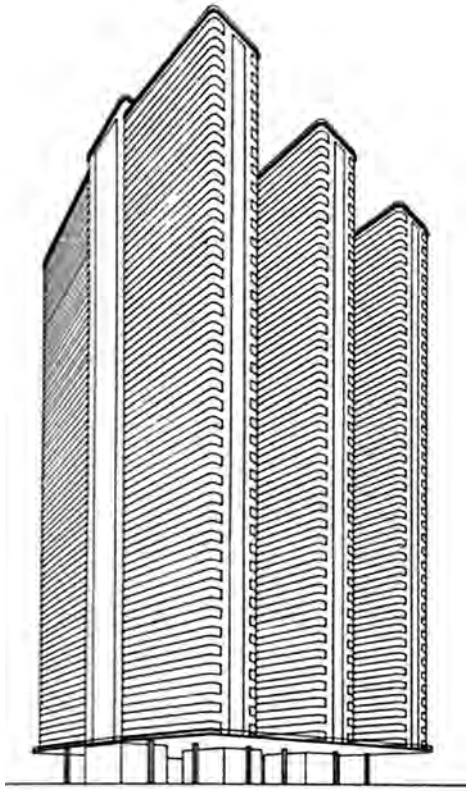
Comunque, attraverso il più scarno dei suoi linguaggi, scopriamo un'ennesima sfaccettatura della Scuola. Che deriva dalla vicinanza tra ingegneria e design e da certe interessanti commistioni con gli architetti impegnati sul tema delle strutture prefabbricate industriali.

73. Musmeci in cantiere a Potenza, 1975 (MAXXI, Musmeci).

Un terzo linguaggio inedito è quello espresso, non da un autore, ma da una singola opera, il ponte sul Basento. È forse l'unico esempio che non abbia un carattere asseverativo. L'opera costruita esprime un'ambiguità. L'immagine finale del ponte resta sospesa tra la ragnatela e il pachiderma. Si genera così un linguaggio strutturale critico. Letteralmente. La struttura infatti è l'ennesimo ritratto della Scuola italiana, colta questa volta nel suo momento più drammatico, quello della definitiva crisi.



74. G. Covre e altri, *Arco monumentale per l'E42 a Roma*, 1937 (APCovre).



75. G. Fiorini, *Progetto per edificio a torre in tensistruttura*, 1933.

Epilogo

Nel momento della maturazione della Scuola, durante l'autarchia, abbiamo sottolineato la sua appartenenza alla grande famiglia internazionale dell'ingegneria moderna. Nello sviluppo successivo, questo è rimasto un punto fermo: quella italiana è un'ingegneria perfettamente ortodossa.

Allo stesso tempo questo racconto evidenzia come la Scuola italiana venga via via assumendo una propria inconfondibile identità. Le strutture realizzate parlano in modo sempre più chiaro un linguaggio preciso: l'italiano.

Come nasce la diversità dell'ingegneria italiana?

La lunga narrazione ci indica alcune concrete circostanze storiche che sono alla base delle singolari prerogative della Scuola (e ci aiuta ad evitare di rispondere con il luogo comune dell'italica creatività).

Intanto, l'ingegnere italiano cresce in un clima culturale molto diverso da quello in cui opera, per esempio, l'ingegnere anglosassone. In quel contesto, la scienza e la tecnica assumono un posto centrale. L'ingegnere è l'eroe della modernizzazione. Il costruttore di ponti, un modello per tutti.

In Italia, per tutto il Novecento, il vento spira nella direzione contraria: è l'ingegneria (e la scienza applicata in genere) ad essere sottoposta ad un processo di «umanizzazione».

Il neoidealismo e il cattolicismo dominano lungo tutto il secolo la cultura italiana. E l'ingegnere, non solo non si sottrae, ma è il più fervente so-

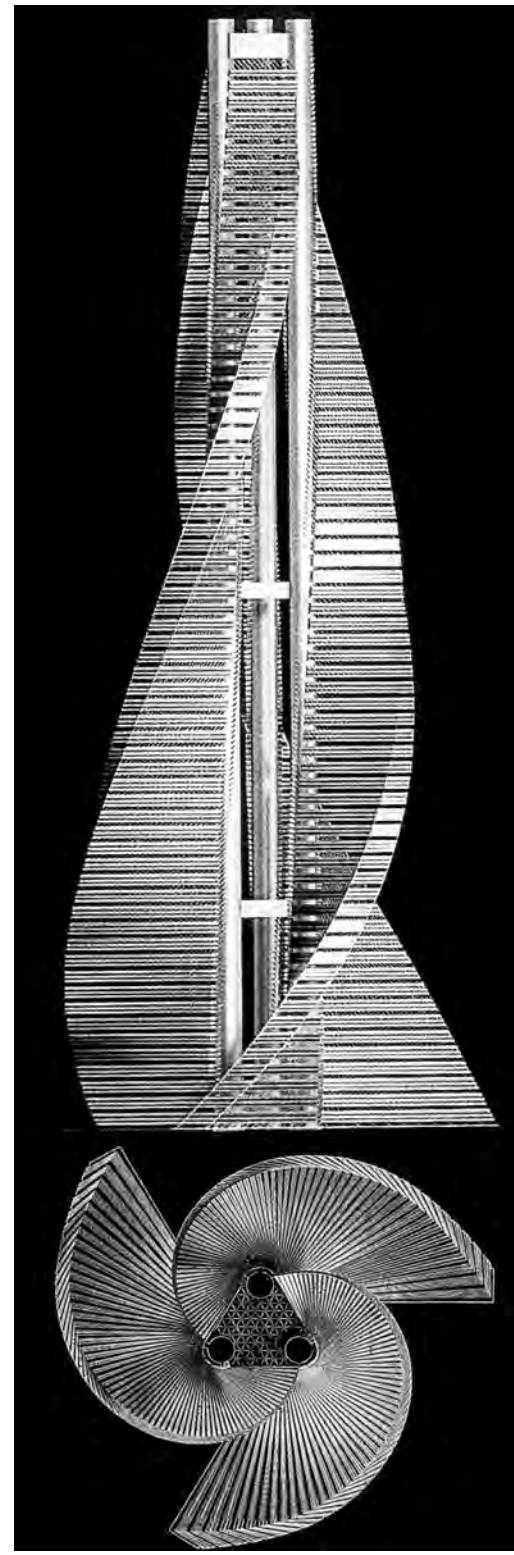
stenitore della superiorità della visione spirituale e umanistica. Più religiosi gli scienziati, con Danusso che indica suggestive analogie tra i principi della meccanica e i principi morali e Colonnetti che vede l'ingegnere come «aiutante di Dio». Più laici i progettisti, che non hanno mai dismesso del tutto la divisa di ufficiali dello Stato, e mettono in primo piano l'etica, la correttezza.

Così, il positivismo dell'ingegnere italiano va assumendo una gamma variata di intonazioni umanistiche. Quali sono le ripercussioni nell'approccio e nelle pratiche del progetto strutturale?

Prima di tutto, c'è una vena storicista. Il dogma della modernità che impone la «rottura con il passato» non attecchisce in Italia. Qui gli ingegneri guardano alle opere antiche con sincera ammirazione. La passione per la cattedrale gotica o per la cupola di Santa Maria del Fiore, che Nervi professa pubblicamente, è condivisa da tutti. Certo, non si tratta di una vera e propria visione storica (con la storia, l'ingegneria mantiene una rispettosa estraneità e quella italiana non fa eccezione), quanto piuttosto di una mitologia: una devozione metafisica per i capolavori di un passato prescientifico in cui l'architettura e l'ingegneria non erano ancora distinte. Ma anche in questa forma sentimentale, la conoscenza del passato contribuisce a dare alla struttura italiana quella valenza architettonica che è riconosciuta da tutti come un marchio di italianità della Scuola.

C'è poi la speciale sensibilità per l'aspetto figurativo. Questa qualità (anch'essa rara nell'ingegneria) è dovuta certamente alla vicinanza con il futurismo. Si attiva uno scambio. L'iconografia futurista prende dall'ingegneria gli accenti duri: positivismo, scientismo, tecnologismo. L'ingegneria assorbe dal futurismo un certo gusto visionario. Gli esiti dell'idillio si leggono in alcuni progetti non realizzati, che non hanno trovato spazio in questo racconto, dal grattacielo in tensistruttura di Fiorini, all'arco monumentale per l'E42, al grattacielo elicoidale di Musmeci e Manfredi Nicoletti, ma anche in opere costruite, come le ardite figure strallate di Morandi, per esempio, e poi in un'intonazione di fondo comune all'intera produzione della Scuola.

Ancora, c'è il senso del design. È questo il settore della cultura architettonica con cui l'ingegneria intrattiene un rapporto privilegiato. Un'affinità elettiva dovuta, oltre che alla convivenza di ingegneri e designer nella scuola di Losanna, ad una somiglianza «antropologica» che avvicina la struttura più all'oggetto di design che



76. S. Musmeci, M. Nicoletti, *Grattacielo elicoidale*, 1968-1974 (MAXXI, Musmeci).

all'edificio. In fondo il ponte è un oggetto d'uso, come la caffettiera, il tavolo, la bicicletta.

Storicismo (sui generis), sensibilità figurativa, senso del design: diversi tratti vanno ad arricchire l'approccio umanistico dell'ingegnere italiano.

Un umanesimo che però non potrebbe essere così operativo se, oltre alla storia culturale, non rispecchiasse anche la condizione economica e produttiva del Paese.

L'ingegneria infatti si trova in Italia a partecipare ad un processo di modernizzazione del tutto anomalo: un percorso graduale, senza rivoluzioni industriali e senza concentrazioni imprenditoriali. Nel periodo dell'intero sviluppo della Scuola, dall'inizio del secolo agli anni Sessanta, il Paese resta congelato in una condizione che si potrebbe definire di proto-industrializzazione. Dove l'idea del progresso convive tranquillamente con le tradizioni artigianali, e si conservano: l'abilità delle maestranze, il basso costo della mano d'opera, la bassa meccanizzazione.

Così, all'umanesimo dovuto al clima culturale che lo stesso ingegnere italiano si trova a respirare, si somma l'umanesimo delle pratiche, in cui l'ingegnere è completamente coinvolto.

Nasce da qui l'iper-italianità della Scuola: una pregnanza storica (rara nelle ingegnerie) che si consolida sul campo, negli studi, nei cantieri, dove l'ingegnere resta sempre intimamente legato alle vicissitudini del Paese. Ecco perché alla fine riconosciamo nelle architetture strutturali di Nervi, Morandi, Zorzi, Musmeci, i tratti del più tipico prodotto made in Italy.

E non ci meraviglia affatto che, nel 1966, lo scenografo Piero Gherardi (che ha già vinto l'Oscar con 8½ *e con* La dolce vita*) cercando una location per esaltare in un carosello l'italianità della pasta Barilla, collochi una splendida Mina che canta* Mai così *tra gli stralli della copertura dell'aviorimessa dell'Alitalia a Fiumicino di Morandi.*

Questo testo deriva dalle conferenze sulla storia dell'ingegneria italiana che, dall'inizio della ricerca, gli autori stanno tenendo in varie sedi. Per non appesantire la narrazione, si è evitato di inserire note nel testo. Note che sarebbero state numerosissime perché il racconto, in ogni passaggio, è basato sulla documentazione acquisita nel corso della ricerca SIXXI: la bibliografia d'epoca, ma soprattutto i documenti inediti reperiti in moltissimi archivi. In pratica, il testo è costruito navigando attraverso i documenti del SIXXIdata. Sono stati anche omessi i numerosi riferimenti alle elaborazioni già svolte dal gruppo di ricerca SIXXI, in gran parte pubblicate nella serie dei volumi Storia dell'ingegneria strutturale in Italia: SIXXI 1 *(2014);* SIXXI 2 *(2015);* SIXXI 3 *(2015), ai quali comunque si rimanda per gli approfondimenti.*

77. Fotogramma del carosello Barilla con Mina sulla copertura dell'aviorimessa Alitalia a Fiumicino, regia P. Gherardi, 1966 (ASBarilla).