

"Il Modo di Costruire" è una proposta editoriale volta a favorire la conoscenza della storia del processo edilizio. Ne "Il Modo di Costruire" vengono pubblicati studi, monografie e atti di convegni sulle più diverse tematiche attinenti la realizzazione di un manufatto edilizio. Ogni argomento viene affrontato sia dal punto di vista storico sia da quello tecnico, così da offrire contemporaneamente contributi culturali e strumenti operativi. Obiettivo principale è non disperdere un vasto patrimonio di conoscenze. "Il Modo di Costruire" si rivolge ad un ampio pubblico di studiosi e in particolare agli operatori del settore delle costruzioni.

Il cemento armato in Italia dalle origini alla seconda guerra mondiale

Del processo di sviluppo del cemento armato in Italia, a parte alcuni episodi, si ignorano ancora le linee generali. Come è incominciata alla fine del secolo scorso la diffusione della nuova tecnica? In quale misura è stato un fenomeno d'importazione e quanto invece i sistemi inventati all'estero hanno innescato uno sviluppo autocentro? Quale influenza ha avuto la ricostruzione dopo il terremoto di Messina e Reggio? E inoltre, nel dibattito internazionale sull'adattamento della teoria classica ad un materiale non omogeneo, quale ruolo hanno svolto gli studiosi italiani? E successivamente, durante l'autarchia, come si è evitato che le limitazioni nell'uso dell'acciaio interrompessero lo sviluppo del cemento armato? E infine, mentre la tecnica si diffondeva nell'edilizia corrente, come si è sviluppata la sperimentazione nelle grandi strutture?

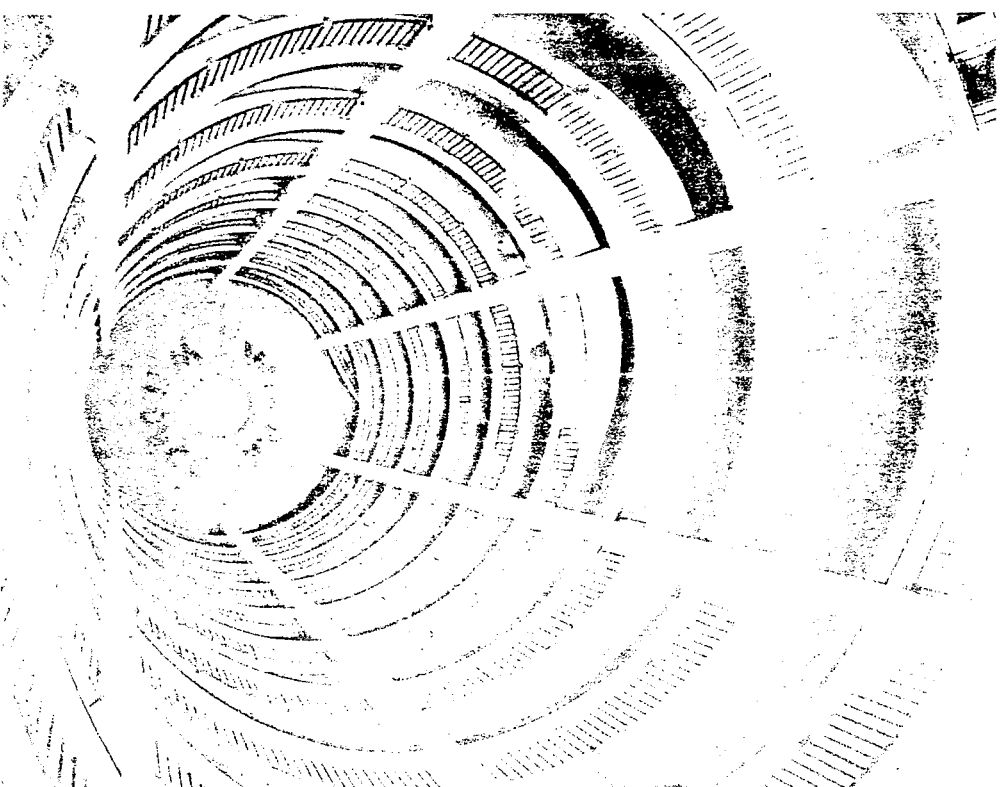
A tali domande risponde questo studio. Attingendo alle fonti quasi completamente inesplorate dell'archivio dell'Ufficio Brevetti e delle riviste specializzate dell'ingegneria, l'autrice ricostruisce, dagli inizi alla seconda guerra, il tortuoso percorso attraverso il quale si afferma in Italia il nuovo modo di costruire in cemento armato. Riesamina la sequenza delle oltre mille invenzioni, brevetti stranieri e italiani, che determinano le prime formulazioni e i successivi, ininterrotti perfezionamenti; riordina l'ampio dibattito sulle teorie strutturali e sulle modalità di calcolo che, anche in Italia, accompagna costantemente lo sviluppo del cemento armato.

Ne risulta una vicenda in larga parte inedita, che ha per protagonisti, oltre ai progettisti più famosi, uno stuolo di ingegneri, teorici e imprenditori, pressoché sconosciuti. Una storia specialistica del cemento armato, che da un lato offre nuovi, circostanziati elementi per l'interpretazione dell'architettura degli anni trenta, ma soprattutto costituisce uno dei capitoli principali della storia, molto meno studiata, dell'ingegneria italiana del Novecento.

Tullia Iori, ingegnere, è dottore di ricerca in Ingegneria edile e collabora all'attività di ricerca, coordinata da Sergio Poretti, relativa alla storia delle tecniche costruttive e al restauro dell'architettura moderna.

Tullia Iori

IL CEMENTO ARMATO IN ITALIA DALLE ORIGINI ALLA SECONDA GUERRA MONDIALE



Tullia Iori

IL CEMENTO ARMATO IN ITALIA
DALLE ORIGINI ALLA SECONDA GUERRA MONDIALE

EDILSTAMPA s.r.l. - Via Guattani, 24 - 00161 Roma
tel. 068488341 - fax 0644232981
Roma, marzo 2001
Stampa: CSR-Roma

Introduzione, <i>Sergio Poretti</i>	pag. 7
Capitolo I	
L'avvento di una nuova tecnica costruttiva (1850-1900)	
<i>I pionieri in Europa e negli Stati Uniti</i>	
<i>L'importazione in Italia dei primi brevetti</i>	
<i>La svolta impressa alla sperimentazione dal sistema Hennebique</i>	
<i>Il dibattito sulle teorie di calcolo: l'apporto di Coignet e de Tedesco</i>	
<i>L'ampiammento della sperimentazione e la moltiplicazione dei brevetti italiani</i>	
<i>La specializzazione delle imprese</i>	pag. 11

Capitolo II	
La diffusione del cemento armato (1900-1915)	
<i>Il cemento armato nella formazione dell'ingegnere civile</i>	
<i>L'introduzione della normativa</i>	
<i>Lo sviluppo delle applicazioni</i>	
<i>La fine dei monopoli e le sperimentazioni sul solaio laterocentritizio</i>	
<i>Il decisivo impulso della sperimentazione antisismica</i>	
<i>Le persistenti incertezze della teoria e la sperimentazione sulle grandi strutture</i>	pag. 59

Capitolo III	
La normalizzazione del cemento armato (1915-1935)	
<i>Lo sviluppo del cemento armato nell'edilizia residenziale pubblica</i>	
<i>La diffusione degli strumenti e dei manuali di calcolo</i>	
<i>Sviluppi della normativa</i>	
<i>Perfezionamenti della tecnologia: cementi artificiali, cementi speciali</i>	
<i>Alla fine degli anni venti: crisi economica, corporativismo, modernizzazione</i>	
<i>Il cemento armato nel dibattito sull'architettura moderna</i>	pag. 107

Capitolo IV	
La sperimentazione autarchica (1935-1943)	
<i>L'autarchia e le limitazioni all'impiego del cemento armato</i>	
<i>La difesa del cemento armato</i>	
<i>I tentativi di sostituire il ferro d'armatura</i>	
<i>Ridurre i pesi morti</i>	
<i>Il solaio poco armato</i>	pag. 157

Capitolo V	
Le grandi strutture (1920-1943)	
<i>Sviluppi delle grandi strutture negli anni venti</i>	
<i>L'autarchia e lo sviluppo delle grandi strutture</i>	
<i>Le sperimentazioni di Pier Luigi Nervi</i>	
<i>La precompressione</i>	pag. 191

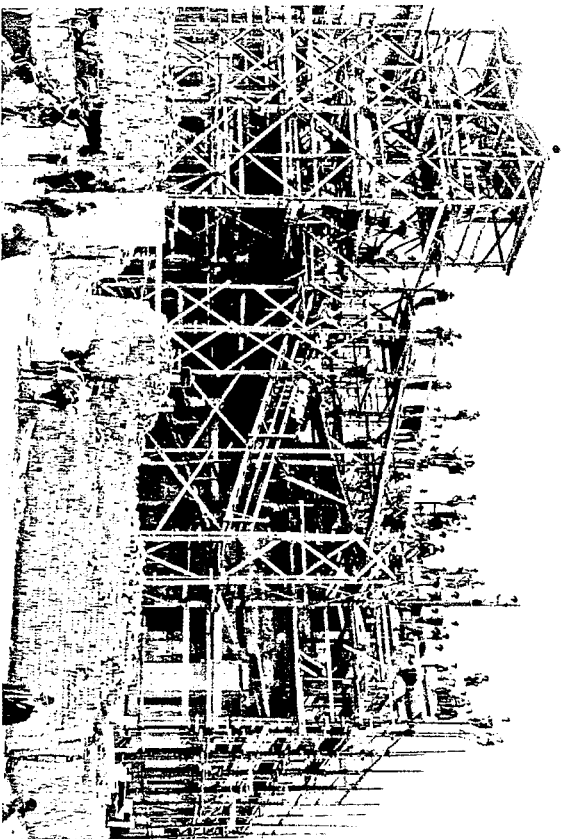
Biografie	pag. 229
Bibliografia	pag. 237
Fonti delle illustrazioni	pag. 265

Il lavoro è il risultato di uno studio svolto nell'ambito del dottorato di ricerca in "Ingegneria edile: architettura e costruzione" presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Roma Tor Vergata.

Un ringraziamento particolare a Sergio Poretti, che ha impostato e guidato la ricerca e i cui preziosi consigli sono stati decisivi per l'esito del lavoro, un grazie sentito a Rinaldo Capomolla per i suggerimenti sulla stesura del testo.

La documentazione grafica relativa alle privative industriali è stata acquisita presso l'Archivio Centrale dello Stato (in seguito ACS), fondo Ministero dell'Agricoltura, Industria e Commercio - Ufficio Centrale Brevetti. Si tratta di privative appartenenti alla categoria XII (Costruzioni civili, stradali ed opere idrauliche) e alla categoria XIV (Materiali, laterizi, cementi, calcei ed altri materiali da costruzione), depositate nel periodo compreso fra il 1855 ed il 1943. Nel testo le privative sono citate con: numero progressivo del registro generale; nome, cognome e domicilio del richiedente; titolo del brevetto; data di presentazione della domanda. Quando il brevetto citato non è stato depositato in Italia ne viene riportata anche la nazionalità.

In copertina:
rampa elicoidale della Casa dell'Automobile a Roma in piazza Verdi (E. Bacchetti, 1928-29)



Un cantiere per la realizzazione di un'opera in cemento armato alla fine degli anni dieci

Introduzione

Del cemento armato si possono considerare due storie: una è incentrata sull'influenza che ha esercitato nel processo di rinnovamento dell'architettura del Novecento; l'altra riguarda le modalità del suo sviluppo reale nei vari Paesi. La prima è nota al punto che il cemento armato è divenuto un simbolo, tra i più abusati, della modernità. La seconda è pressoché sconosciuta.

Da tale paradosso storiografico muoveva, qualche anno fa, lo studio di cui questo libro comprende gli esiti.

Nel caso dell'Italia infatti, già in precedenti ricerche erano emersi indizi di un modo di costruire in cemento armato che non corrispondeva al modello accreditato dalla storiografia ufficiale sul moderno. Evidentemente lo sviluppo della nuova tecnica aveva seguito in Italia un percorso singolare. L'ipotesi sollevava una serie di più precisi e puntuali interrogativi. Come era iniziata alla fine del secolo scorso la diffusione del cemento armato? In quale misura era stato un fenomeno d'importazione e quanto invece i sistemi inventati all'estero avevano innescato uno sviluppo autocentro? Quale influenza aveva avuto la ricostruzione dopo il terremoto di Messina e Reggio? E inoltre, mentre il problema dell'adattamento della teoria classica ad un materiale non omogeneo impegnava la comunità internazionale in un lungo e appassionante dibattito, quali ripercussioni se ne avevano in Italia? E successivamente, durante l'autarchia, come si era evitato che le limitazioni nell'uso dell'acciaio interrompessero lo sviluppo del cemento armato? E infine, mentre la tecnica subiva un processo di normalizzazione nell'ambito dell'edilizia corrente, come si sviluppava la sperimentazione nelle grandi strutture?

Lo stato dell'arte era troppo esiguo per fornire risposte esaurienti a tali curiosità: dopo le cronache di Giuseppe Albenga, e la pionieristica sintesi di Roberto Gabetti del 1955, peraltro riferita al quadro internazionale, la bibliografia comprendeva pochi, seppure preziosi, contributi recenti: la ricostruzione completa dell'attività della società dell'ingegnere Giovanni Antonio Porcheddu, concessionario del sistema Hennebique; alcune microstorie locali; le sperimentazioni condotte durante l'autarchia.

Volevo dunque rispondere a quelle domande non bastava procedere a completamenti e integrazioni, ma bisognava por mano ad una ricostruzione completa: una indagine che, rimanendo strettamente aderente agli aspetti più specifici della nuova tecnica di costruzione, ripercorresse l'iter del suo sviluppo dagli inizi alla seconda guerra mondiale.

Ma quali tracce seguire per raggiungere tale obiettivo? E soprattutto, a quali fonti attingere, essendo la bibliografia recente così scarsa e parziale?

Ad indicare il filone principale della ricerca era la particolarità dell'origine del cemento armato. Caso raro nell'edilizia, la nuova tecnica era il prodotto, non di gradualità sperimentazioni, ma di vere e proprie invenzioni. Di-

versamente dalla costruzione muraria e dalla struttura metallica, infatti, non solo le prime formulazioni ma anche i successivi, mai interrotti perfezionamenti e sviluppi erano stati sistematicamente protetti da privative industriali. Quale migliore fonte dell'archivio dell'Ufficio Brevetti, dunque, per ricostruire le complicate peripezie di un modo di costruire ben determinato, ma intrinsecamente suscettibile di innumerevoli variazioni?

E infatti la lettura comparata degli oltre mille brevetti depositati in Italia nel periodo considerato consentiva di scandire chiaramente le tappe del toruoso percorso che lo sviluppo del cemento armato aveva seguito in Italia: l'importazione quasi immediata dei primi grandi sistemi stranieri, il più diffuso Hennebique, ma anche il sistema Monier, poi acquisito dalla Wagnon & Freytag, il sistema Bordenave, il sistema Cottancin; la proliferazione altrettanto pronta nei decenni a cavallo tra i due secoli di centinaia di brevetti nazionali, non sempre applicati, ovviamente, ma nel complesso indicativi di ben determinate strategie sperimentali; la concentrazione delle invenzioni, nella prima, pionieristica fase, sulla configurazione delle armature; il successivo spostamento dell'attenzione sul solaio laterocementizio, vero e proprio elemento nevralgico della costruzione moderna italiana; l'invenzione, dopo il terremoto di Messina e Reggio, di decine di strutture per case antisismiche; il ritorno, durante l'autarchia, ad una seconda fase pionieristica, con la messa a punto di strutture debolmente armate, o prive di armatura, o armate con materiali sostitutivi. Le prime sperimentazioni, negli stessi anni e durante la guerra, sulle strutture sottili e sulla precompressione che sarebbero state applicate in seguito, nel corso della ricostruzione.

Alla sequenza delle invenzioni tecniche si affiancava un'altra linea di indagine: quella delle dispute sulle teorie strutturali e sulle modalità di calcolo, che pure aveva accompagnato l'intero sviluppo del cemento armato. Occorreva dunque, parallelamente alle indagini sull'evoluzione tecnica, recuperare le voci di un vasto, mai interrotto dibattito, che aveva impegnato l'ingegneria strutturale di tutti i Paesi e nel quale gli aspetti squisitamente teorici si collegavano da un lato alle incertezze sulla sicurezza statica delle strutture e dall'altro alla discussione sulla necessità di una specificanormativa in una prima fase il grande problema da risolvere era stato, infatti, l'adeguamento della teoria dell'elasticità ad una struttura eterogenea come il cemento armato. Poi era seguita l'opera di formulazione e divulgazione di un metodo di calcolo che, sebbene ritenuto privo di validità scientifica, aveva superato il collaudo della prassi. Nel frattempo, il dibattito teorico si era spostato sui più sofisticati problemi che ponevano le grandi strutture, per le quali, con la considerazione della fase plastica e degli stati di coazione, da un lato si erano spiegate a posteriori comportamenti ritenuti anomali alla luce della teoria classica, come il mancato crollo del Ponte Risorgimento, e dall'altro si erano approntati strumenti teorici che ben presto avrebbero trovato applicazione nelle strutture precompresse.

La vicenda che l'autrice ha ricostruito, risalendo passo dopo passo la dop-

pia traccia delle invenzioni e degli incerti sviluppi delle teorie strutturali, si rivela in larga parte inedita. Pressoché inesplorate sono infatti le fonti dell'archivio dei brevetti e delle riviste specialistiche dell'ingegneria. Quasi sconosciuti sono molti dei suoi protagonisti. Ingegneri, soprattutto, ma con competenze molto diverse: oltre ai progettisti famosi, come Mattè-Trucco, Nervi, Morandi, gli esponenti delle varie scuole della scienza delle costruzioni, da Cesare Ceradini a Camillo Gaudi, da Gustavo Colonnetti ad Arturo Danusso, e sul fronte delle realizzazioni, gli ingegneri imprenditori, come lo stesso Poretti, Attilio Muggia, Giovanni Narici, Rodolfo Stoecker.

La prevalenza del ruolo degli ingegneri suggerisce una motivazione di fondo per la sostanziale ignoranza di una storia così specialistica del cemento armato. Le evoluzioni interne alla tecnologia infatti, sebbene da un lato offrano nuovi, circostanziati elementi per interpretare l'architettura moderna italiana, principalmente costituiscono un filone centrale nello sviluppo dell'ingegneria italiana del Novecento. E la storia di quest'ultima attende ancora di essere scritta. Credo che non sia l'ultimo motivo di interesse di questo libro costituire uno dei primi, più importanti capitoli.

Roma, marzo 2001

I pionieri in Europa e negli Stati Uniti

Quando nel 1950 veniva celebrato in Francia il centenario della nascita del cemento armato, si intendeva ricordare la quasi contemporanea realizzazione della barca di Joseph-Louis Lambot (1848), dei vasi del giardiniere Joseph Monier (1849) e del solaro di copertura di una casa a Saint-Denis di François Coignet (1852)¹. Queste opere non erano certo state le prime in cui il ferro veniva associato al cemento allo scopo di ottenere un materiale più resistente e facilmente modellabile. I molteplici precedenti risalivano all'epoca romana, com'è puntualmente riportato nei testi sul cemento armato, cui si rimanda per un quadro generale, come quelli di Roberto Gabetti², Peter Colins³, Cecil D. Elliott⁴.

L'importanza dei manufatti della metà dell'Ottocento risiedeva però nella presunta consapevolezza da parte degli autori della potenzialità di sviluppo di una nuova tecnologia, anche se le qualità specifiche del nuovo materiale erano ancora del tutto sconosciute.

Se Lambot presentava un brevetto nel 1855⁵ e poi scompariva dalla scena, se Coignet legava il suo nome piuttosto al perfezionamento del suo *béton aggloméré*⁶, Monier sarebbe rimasto nella storia delle tecniche costruttive come una sorta di 'martire' del cemento armato: colui che dopo aver dedicato la sua vita alla conversione della Francia e poi più in generale dell'Europa all'uso del nuovo materiale ed essere riuscito nel suo intento, moriva povero, senza che la sua patria gli dedicasse neppure un necrologio⁷.

Monier. Il suo primo brevetto del (1867) che aveva come oggetto semplici vasi da giardino, realizzati con reti metalliche irrigidite ai bordi con profili di ferro e spalmate con un impasto di pochi centimetri di cemento e sabbia, veniva perfezionato già l'anno successivo. Infatti, in sostituzione delle reti, veniva preferito un intreccio di ferri, quadrati o tondi, legati ai nodi da filo di ferro. E soprattutto si arricchiva il campionario delle possibili applicazioni: tubi e cisterne, anche di notevoli dimensioni, oltre a scale e solette. Nel 1872 Monier realizzava a Sèvres-aux-Bruyères la prima documentata applicazione del suo sistema: due serbatoi per la Société Générale des Eaux di 16 metri di diametro. Nel 1875, dopo aver esteso il suo brevetto alle volte e ai ponti, realizzava nel parco del castello di Chazelet, per il marchese Tilière, una passerella pedonale di 16,5 metri di luce⁸.

Il brevetto più importante di Monier veniva però depositato nell'1878, come perfezionamento di una privativa presentata l'anno precedente e riguardante traversine ferroviarie⁹: dopo aver sperimentato con successo le strutture sottili curve, l'attenzione dell'inventore si volgeva ora agli elementi rettilinei ed in particolare alle travi e alle solette per la realizzazione di solai piani. Monier aveva finalmente trovato un enorme campo di applicazione per il suo sistema e si riprometteva così di conquistare il mercato delle costruzioni civili.

L'invenzione di Monier non aveva molto a che vedere con il cemento armato cui siamo abituati oggi: si trattava piuttosto di "ferro cementato". La re-



Fig. 1 - La barca di J.-L. Lambot (1848 ca.)

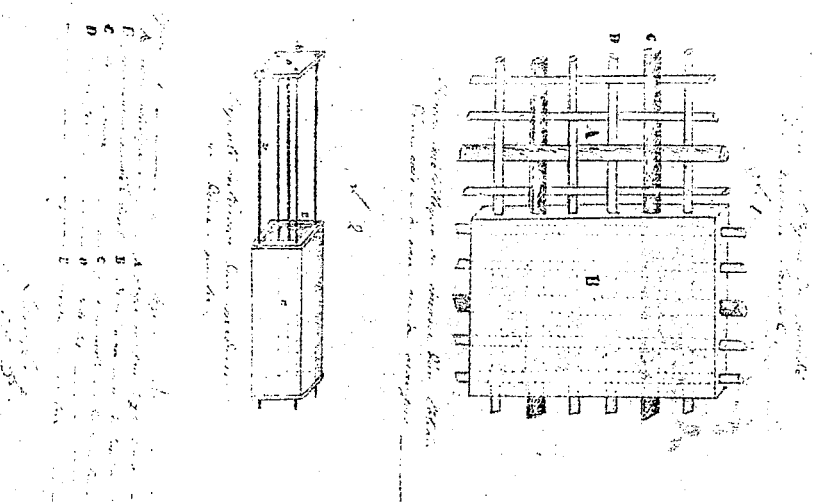


Fig. 2 - Brevetto francese n. 22120, J.-L. Lambot, *Combinaison de fer et ciment destiné à remplacer le bois dit fer ciment succédané du bois de construction*, 30 gennaio 1855

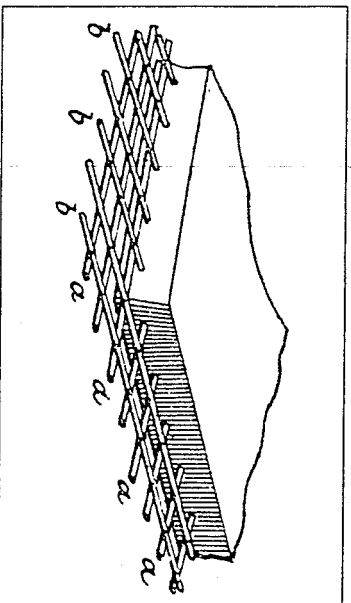


Fig. 3 - La soletta Monier nella sua versione originaria

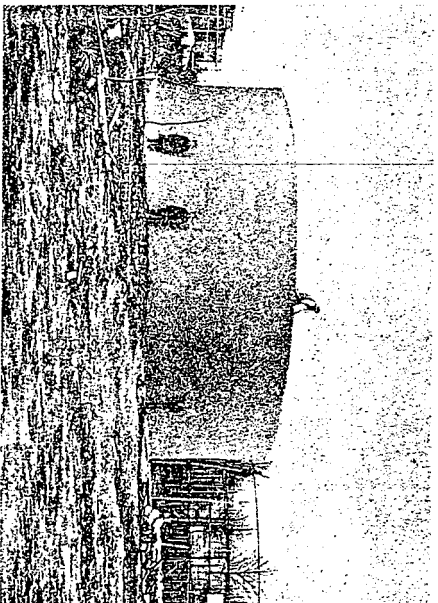


Fig. 4 - Prime opere di J. Monier: serbatoio per la Société Générale des Eaux a Sevrès aux Bruyères (1872), passerella pedonale nel parco del castello di Chazelet, Indre (1875)

sistenza era assicurata da una carcassa metallica praticamente autoportante: lo strato di cemento non offriva vantaggi statici ma era piuttosto un rivestimento protettivo contro le ossidazioni. Il ferro, materiale ormai accreditato nel campo delle costruzioni, utilizzato non già in barre rigide ma in tondini o comunque in ferri di piccole dimensioni, diveniva capace di assumere qualunque forma. Il cemento, modellabile, spalmabile, ma anche capace di indurire in poco tempo e di acquisire resistenza e tenuta come nessun materiale fino ad allora conosciuto, era il compagno ideale per la creazione di forme anche complesse.

Intanto l'americano Thaddeus Hyatt nel 1877 diffondeva tra una stretta cerchia di amici un opuscolo con i risultati delle sue ricerche sperimentali sul cemento Portland combinato con il ferro, attraverso le quali aveva messo in luce le qualità del nuovo materiale e la sua competitività economica rispetto alle tecniche costruttive tradizionali. L'applicazione a solai, tetti e in genere a superfici praticabili diveniva subito dopo oggetto di un brevetto¹¹, adottato già nel 1878 in una casa a Farrington Road a Londra. L'armatura consisteva in una trama di tondini che si inflavano, ortogonalmente, attraverso appositi fori, entro ferri piatti. Questa maglia veniva rivestita da uno spesso strato di calcestruzzo, tra i cui ingredienti compariva però anche la ghiaia, a differenza del conglomerato impiegato in piccoli spessori da Monier e Lambot che prevedeva solo sabbia. Hyatt nel suo scritto illustrava, per la prima volta in modo scientifico, le caratteristiche di resistenza del nuovo materiale, descrivendo le prove di carico da lui condotte in un laboratorio londinese. Esaltava inoltre la capacità del cemento armato di resistere al fuoco assai più a lungo dell'acciaio, materiale molto diffuso in America ma che aveva già manifestato i suoi limiti proprio relativamente al comportamento in caso di incendio. Nei suoi esperimenti atti a provare questa resistenza al fuoco, Hyatt trovava che i coefficienti di dilatazione termica del ferro e del cemento erano praticamente identici, il che favoriva la loro collaborazione anche quando fossero stati sottoposti a forti aumenti di temperatura. Al fine di accrescere l'aderenza fra l'ottimo ferro e il cemento piuttosto scadente che aveva a disposizione, l'americano suggeriva di impiegare ferri piatti - di maggiore superficie specifica rispetto ai tondini - resi scabri in superficie¹². Affrontare il problema dell'aderenza rivelava la consapevolezza che le notevoli caratteristiche del *reinforced concrete* dipendessero sostanzialmente dall'intima unione del cemento e del ferro e che il primo non fosse solo irrigidito dal secondo ma che il composto avesse le caratteristiche di un nuovo materiale, con un comportamento meccanico tutto da chiarire. La storia americana del cemento armato aveva dunque origine contemporaneamente a quella europea, e molti legami continueranno ad esserci anche nei decenni successivi, sebbene l'evoluzione del materiale avvenisse poi in modo del tutto indipendente nei due continenti.

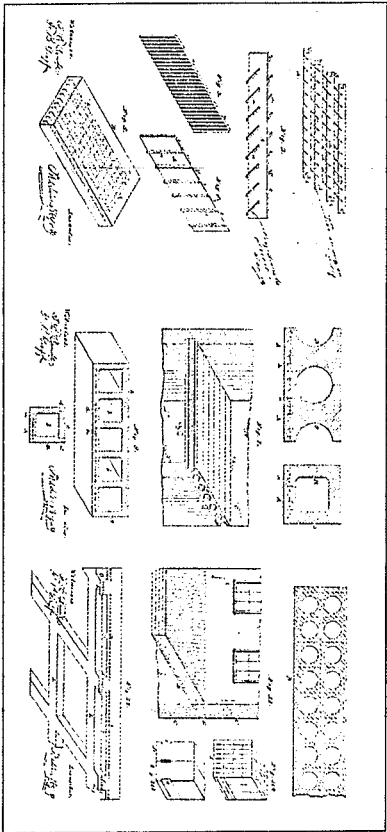


Fig. 5 - Brevetto americano n. 206112, T. Hyatt, *Composition Floors, Roofs, Pavements & C.* 16 luglio 1878

RESULTS OF EXPERIMENTS TO ASCERTAIN THE RESISTANCE TO A GRADUALLY INCREASED BENDING STRAIN OF COMPOSITE BEAMS, REINFORCED FROM THUNDERBOLT HYATT LOAD APPLIED AT CENTRE.

E. 5514		K. 5523	
E. 5516		K. 5519	
E. 5541		K. 5526	
E. 5539		K. 5532	
E. 5538		K. 5534	
E. 5541		K. 5537	
E. 5540		K. 5514	
E. 5549		K. 5519	
E. 5539		K. 5539	
E. 5517		K. 5523	
E. 5541		K. 5534	
E. 5539		K. 5537	
E. 5544		K. 5514	

DESIGNED BY DAVID KIRKALDY.

10, NOTTINGHAM SQUARE, LONDON
FEB. 20th. 1877.

DAVID KIRKALDY.

19, SOUTHVIEW STREET, LONDON E.W. 50th, 1877.

Fig. 6 - Risultati delle sperimentazioni eseguite da T. Hyatt per verificare la resistenza di travi in cemento armato a carichi flettenti progressivamente crescenti (1877)

Un progresso importante nella storia del cemento armato in Europa si verificava intorno al 1880, quando Monier depositava un brevetto, sintesi dei suoi precedenti, in Austria, nei Paesi Bassi e in Germania. Il sistema infatti avrebbe costituito nei decenni successivi una delle linee preferenziali del perfezionamento del cemento armato nei suoi aspetti teorici e tecnologici.

La storia dei successivi passaggi di mano del monopolio del brevetto è piuttosto controversa e si fatica a trovare, sui testi dell'epoca e sulle ricostruzioni successive, due versioni almeno compatibili. Una delle più accreditate sostiene che nel 1884 il brevetto venne acquistato da una società di materiali da costruzione, con sede a Neustadt-an-der-Hardt, di proprietà di Conrad Freytag e di tal Heidschuch, che esercitavano diritti di esclusiva nel Sud della Germania, tranne che nella regione di Francoforte sul Meno concessa invece all'impresa A. Martenstein e Jossaux di Offenbach-am-Main, e diritti di prelazione per il Nord della Germania. Nel 1885 questi diritti venivano ceduti a Gustaf Adolf Wayss, che si stabiliva a Berlino creando la Aktien-Gesellschaft für Beton und Monierbau. Nel 1888 diveniva direttore tecnico della ditta Mathias Koenen. Solo a partire dal 1893 il brevetto veniva gestito in Germania da un'unica ditta, la Wayss & Freytag, che dal 1900 diveniva società anonima³.

Il contributo di Mathias Koenen risultava determinante per il successo del sistema Monier. Koenen, funzionario di un'amministrazione pubblica, guidava scientificamente le sperimentazioni cui Wayss e gli altri concessionari avevano deciso di sottoporre il cemento armato del sistema Monier. Fondamentali prove di carico, prove di resistenza al fuoco, di aderenza fra cemento e ferro, di durabilità del ferro nel cemento⁴, venivano condotte a Berlino, Breslau e Colonia nel novembre del 1886. In seguito, prove comparative, in termini di resistenza ed economicità, con altri sistemi costruttivi, tenute a Vienna alla presenza di autorità e di professori universitari, portavano a risultati molto convincenti.

Koenen, a partire dallo stesso mese di novembre, pubblicava sulla rivista tedesca «Centralblatt der Bauverwaltung» una serie di articoli dedicati alle prove eseguite. Le sue conclusioni venivano riprodotte nel 1887 da Wayss nella cosiddetta *Monier-Brochure*⁵ che, concepita per fare pubblicità al sistema, doveva divenire il primo vero manuale di calcolo del cemento armato.

Koenen partiva dalla considerazione che il cemento avesse pochissima resistenza a trazione e che, se si fosse voluta realizzare una trave soggetta a flessione confezionata solo con questo materiale, l'area sottoposta a trazione sarebbe dovuta essere enormemente più grande di quella sottoposta a compressione. Se invece nella zona tesa si fosse disposto del ferro, avente una resistenza a trazione maggiore, la sezione della parte inferiore della trave si sarebbe potuta mantenere di dimensioni più che ragionevoli.

Per questo motivo Koenen suggeriva a Monier una serie di importantissime varianti al suo brevetto, non sempre ben accolte dall'inventore: in primo

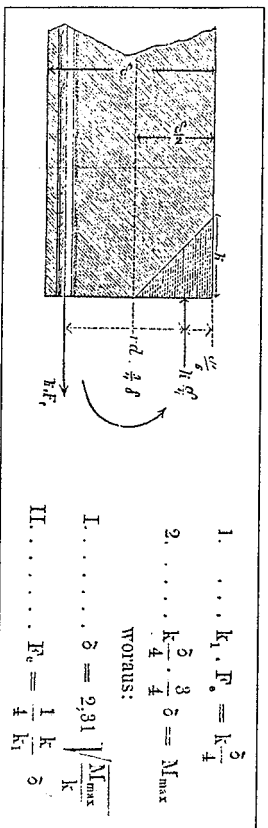


Fig. 7 - Schema di calcolo per una soletta Monier proposto da Koenen nel 1886: d è lo spessore della soletta; F_o l'area di ferro; k la massima resistenza a compressione del cemento, k_1 la massima resistenza a trazione del ferro

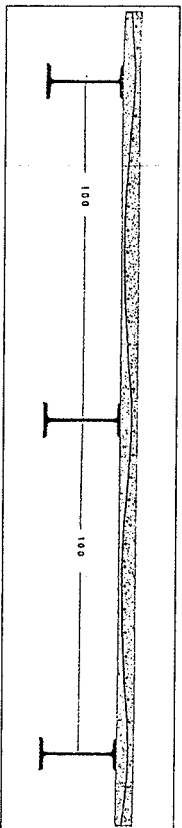


Fig. 8 - Schema di armatura per una soletta Monier continua su più appoggi, secondo Koenen (1886): la sagomatura dei ferri segue l'andamento del momento flettente

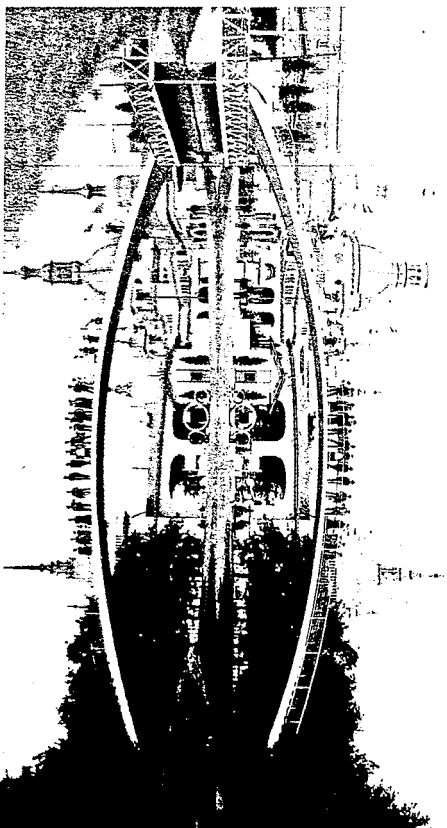


Fig. 9 - Passerella pedonale per l'Esposizione Industriale di Brema, realizzata da Koenen nel 1890 col sistema Monier

luogo consigliava di spostare l'armatura dall'asse medio al bordo teso della soletta e poi di aumentare gli spessori del conglomerato. Come conseguenza diretta, la tecnica costruttiva si arricchiva di un elemento che nel brevetto originale non figurava: la cassaforma. Preparata l'armatura, questa doveva essere posta entro un contenitore di legno dove veniva eseguito un getto di calcestruzzo, non più quasi asciutto e spalmabile, come nei primi brevetti, ma sufficientemente fluido da poter essere colato facilmente, da poter impugnone l'armatura metallica e riempire tutti i vuoti della cassaforma: il ferro cementato di Monier si stava inesorabilmente trasformando in cemento armato. Koenen affrontava inoltre, per la prima volta, il problema di come calcolare la resistenza e dimensionare una soletta realizzata con questo nuovo materiale.

I principi di Hooke, Navier e Saint-Venant e più in generale l'intero corso della teoria matematica dell'elasticità, faticosamente messa a punto nel corso dell'Ottocento per un materiale omogeneo ed isotropo a comportamento elastico lineare, come il ferro, non erano infatti immediatamente applicabili ad un materiale non omogeneo, anisotropo ed elastico in modo anomalo come era il composto ferro-cemento. Koenen risolveva il problema con alcune ipotesi semplificative: facendo riferimento ad una soletta piana di sezione rettangolare sottoposta a flessione, immaginava che l'asse neutro, che separa la zona tesa dalla zona compressa, passasse per il baricentro e quindi dividesse a metà la sezione, proprio come succedeva per un materiale omogeneo. Il calcestruzzo al di sopra di questo asse, compresso, continuava a comportarsi come un materiale ideale omogeneo ed elastico e per esso valeva la legge di Hooke, il principio di conservazione delle sezioni piane e, conseguentemente, la distribuzione lineare delle tensioni¹⁶. Nell'area inferiore, a resistenza era solo il ferro, facendo Koenen la semplificazione di trascurare completamente la resistenza a trazione del cemento, pur riconoscendola non nulla nella realtà. La sezione sarebbe stata in grado di sopportare aumenti di carico fino a quando il ferro e il cemento non avessero raggiunto separatamente la loro massima capacità di resistenza. Koenen riteneva erroneamente che i due materiali toccassero questo limite contemporaneamente. Il valore della sollecitazione ammissibile per il cemento veniva fissato pari a 60 kg/cmq (poi ridotto a 30 kg/cmq per maggiore sicurezza) e per il ferro pari a 1000 kg/cmq (poi ridotto a 750 kg/cmq). Con le due semplici equazioni di equilibrio, a traslazione e a rotazione, si potevano ricavare i parametri geometrici incogniti, altezza della sezione e area del ferro. La semplicità di questo metodo e la parvenza di scientificità ne assicurarono l'applicazione per molti anni: il passaggio dell'asse neutro per la mezzzeria, l'ipotesi che i due materiali lavorassero sempre e contemporaneamente alla loro massima tensione e l'incongruenza fra le deformazioni del ferro e quelle del cemento saranno comunque negli anni seguenti oggetto di numerose contestazioni. Nella brochure, oltre ai metodi di calcolo, venivano proposte soluzioni principalmente per archi da ponte, ma anche per muri, volte, tubi e per solette continue, nel-

le quali l'armatura veniva modellata sinusoidalmente in modo da trovarsi presso la faccia superiore in corrispondenza dei vincoli, dove il momento si invertiva rispetto alla mezzeluna¹⁷.

Le ditte che controllavano il brevetto Monier spianavano intanto la strada al nuovo materiale, realizzando opere interessanti ed ardite e pubblicizzando le adeguatamente sulle riviste tecniche dei vari Paesi europei. Tra le altre opere, giungeva notizia della realizzazione nel 1886 del solaio di una biblioteca ad Amsterdam, di una officina con coperture a shed e di un grandioso circo a Lipsia, dei solai di una fabbrica della ditta Holbing a Wandsbeck, duramente collaudati da un incendio, di una serie di passaggi a volta sulla linea ferroviaria da Vienna a Felixburg, di una passerella all'Esposizione Industriale di Brema del 1890 e di un ponte a Wildagg, in Svizzera, di 37 metri di luce: solo una piccola selezione di opere realizzate con un sistema che, in quel momento, non conosceva concorrenti e che, opportunamente riadattato dai tedeschi, trovava successi che erano sfuggiti a Monier, probabilmente per le sue modeste capacità imprenditoriali, per le ridotte disponibilità finanziarie e forse anche per una insufficiente fiducia sulle potenzialità del sistema.

Contemporaneamente il mondo dei teorici era entrato in fermento e si seguivano gli studi sulle caratteristiche del nuovo materiale. Bauschinger calcolava la forza di adesione fra il calcestruzzo e il ferro e ricavava dalle prove di Koenen dati certi per dimostrare la resistenza al fuoco. Durand-Claye stabiliva in maniera definitiva l'uguaglianza fra i coefficienti di dilatazione termica lineare dei due materiali¹⁸. Così altri scienziati, principalmente tedeschi, austriaci e francesi, davano il loro contributo, rispondendo alla necessità di conoscere, almeno in prima approssimazione, le caratteristiche dei materiali, prima di formulare un'ipotesi di calcolo. Nel 1890, intanto, Paul Neumann affermava l'impossibilità che l'asse neutro di una sezione di cemento armato passasse per il baricentro della sezione, come se fosse non armata¹⁹.

Nel frattempo il sistema Monier cominciava a perdere il monopolio. Nel 1886 Jean Bordenave presentava un brevetto²⁰ per la realizzazione di manufatti confezionati con conglomerato spalmato su intrecci di ferro: la principale applicazione si aveva nelle costruzioni idrauliche, in particolare nelle canalizzazioni chiuse. I suoi tubi di "sidero-cemento" avevano un'armatura costituita da profilati a T di diverse dimensioni, intrecciati e poi ricoperti di calcestruzzo. Bordenave preferiva, ai tondini, ferri di notevole momento d'inerzia che garantissero rigidezza anche durante il getto²¹.

Nel 1889 era la volta di Paul Cottancin che depositava il suo brevetto²² e presentava il suo sistema ai colleghi dell'Associazione degli Ingegneri Civili di Francia, lamentando che tecnicamente del cemento armato si sapesse ancora troppo poco²³. Il sistema era così complesso che stupiscono le sue importanti applicazioni: l'armatura era composta da un intreccio di tondini di

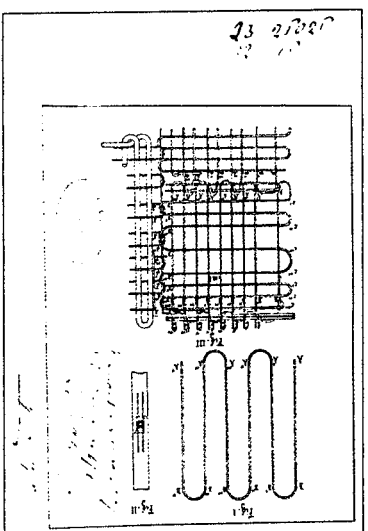


Fig. 10 - Brevetto n. 26026, P. Cottancin, Parigi, *Un système d'ossature métallique sans attaches et à réseau continu*, 12 agosto 1889

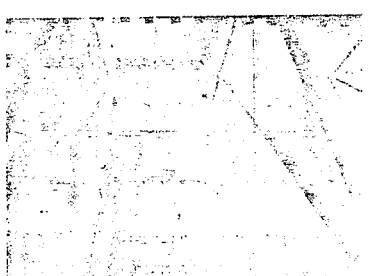


Fig. 11 - Solaio del Liceo Victor Hugo realizzato col sistema Cottancin a Parigi tra il 1894 e il 1896

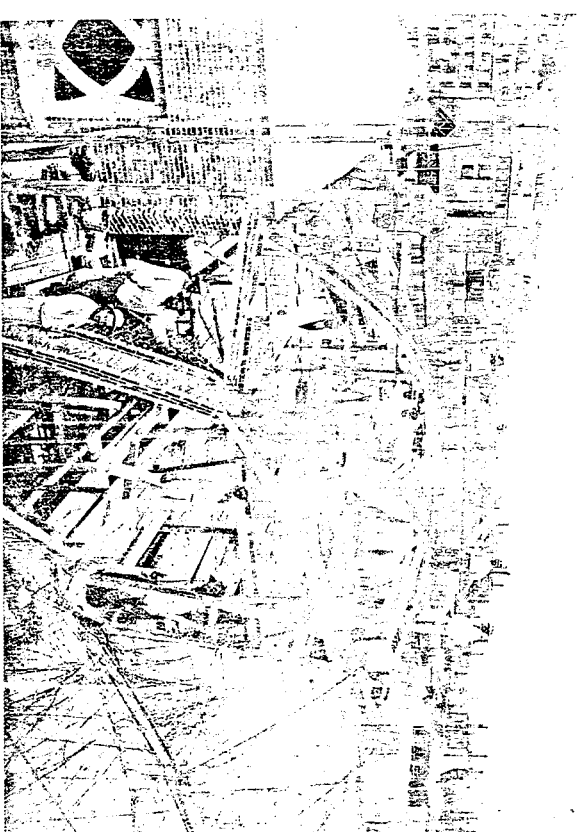


Fig. 12 - Chiesa di Saint-Jean de Montmartre realizzata col sistema Cottancin tra il 1896 e il 1904: foto di cantiere

circa 5 millimetri di diametro, tessuti come fili a comporre una maglia fitissima, il cui effetto finale somigliava molto a quello di un lavoro all'uncinetto. Spesso la rete veniva confezionata in pezzature di piccole dimensioni con un unico filo continuo, che, intrecciato, costituiva sia la trama che l'ordito: i vari pezzi venivano poi giuntati con 'cuciture' sui bordi. Il calcestruzzo, spalmato su questo intreccio, risultava così intimamente connesso al ferro da poter considerare il tutto come un materiale omogeneo.

Queste armature, applicate ai solai nel successivo brevetto del 1892, venivano vincolate a travi di cemento a scheletro metallico, dette *épines contreferres* - una sorta di travi reticolari dove i puntoni erano sostituiti dalla massa di calcestruzzo - fornite di un'ala inferiore sagomata che rimaneva in vista e fungeva da supporto per un controsoffitto di legno, che durante il getto svolgeva anche il ruolo di cassaforma. Il nome di Cottancin, alla fine dell'Ottocento, era strettamente legato a quello dell'architetto Anatole de Baudot che con questo sistema realizzava molte delle sue opere più importanti, fra le quali la chiesa di Saint-Jean de Montmartre a Parigi nella quale cominciavano ad emergere le potenzialità del cemento armato nell'architettura.

L'Esposizione Universale di Parigi del 1889 doveva avere infine un ruolo determinante per tutti questi nuovi brevetti, che trovavano in essa uno spazio autorevole per farsi conoscere da ingegneri ed architetti.

L'importazione in Italia dei primi brevetti

Ma in Italia intanto cosa succedeva? Quali ripercussioni aveva il fermento sperimentale che investiva i Paesi d'oltralpe? Nonostante l'interesse per le sperimentazioni, l'Italia non partecipava alla fase pionieristica delle prime 'invenzioni', forse anche per il ritardo nello sviluppo dell'industria del cemento.

Se in Francia la produzione di cemento naturale aveva origine già nel 1830 e quella di cemento artificiale intorno alla metà del secolo, in Italia l'impianto e lo sviluppo dell'industria del cemento avveniva con molto ritardo, forse anche a causa della ricchezza di ottime pietre da costruzione e della fiorente industria dei laterizi. I primi studi sui leganti idraulici cominciavano intorno al 1846 nella zona di Casale Monferrato, in Piemonte, ricca di giacimenti marnosi, la cui composizione offriva la possibilità di ottenere direttamente ottimi cementi a lenta e a rapida presa. La prima produzione industriale iniziava nel 1858 ad opera della Società delle Ferrovie per l'Alta Italia presso Palazzo in Lombardia. Gli impianti passavano nel 1865 alla Società Bergamasca, che si trasformava nel 1872 in Società Generale dei cementi e calci idrauliche ed estendeva l'attività in Piemonte, in Veneto e nell'Italia Centrale. Nel 1873 si costituiva anche la Società dei Cementi di Casale: già nel 1877 arrivava a produrre 500 tonnellate annue di cemento naturale. Intorno al 1890 però la produzione nazionale aumentava notevolmente e poteva ritenersi pari a 90.000 tonnellate, delle quali circa metà prodotte nel Ca-

salese, un terzo nel Bergamasco e il resto nelle altre regioni italiane. Nel 1897 erano in costruzione le officine di Civravecchia, impiantate dalla Società di Casale; queste sarebbero state fra le prime a produrre cemento artificiale, che sarebbe divenuto però competitivo intorno al 1930 col progressivo esaurirsi degli ottimi giacimenti marnosi²⁴.

Pur non partecipando - come detto - ai primi esperimenti, l'ambiente edilizio si mostrava però particolarmente ricettivo nei confronti delle innovazioni. La prima serie di brevetti depositati riguardava il *béton Coignet*, sebbene nulla conosciamo delle eventuali applicazioni. François Coignet già nel 1856 aveva cominciato a presentare in Italia i brevetti per i suoi cementi: il primo riguardava un nuovo conglomerato economico²⁵, composto di sabbia, ghiaia, pezzetti di pietre, eventualmente additivato con cenere, scone di carbon fossile o pozzolane ridotte a polvere, il tutto mescolato con "calce grassa o idraulica". Il composto, in pasta molto consistente, doveva essere versato in forme predisposte e pigiato con un "corpo duro e pesante". Con questo sistema si potevano realizzare mattoni, tubi, muri, solette. Nel brevetto successivo²⁶ Coignet dimostrava di aver approfondito gli studi sull'influenza dell'acqua e del tenore di cemento in rapporto alla durata, alla densità, alla resistenza e all'impermeabilità. Nel 1863, Louis Coignet, a nome della Società Coignet, richiedeva i diritti su un apparecchio per il confezionamento di questo impasto, detto ornai *béton Coignet* e, sorprendentemente, anche su un tipo di cemento mescolato con "matières textiles, avec des clous, des crochets, des fils et tissus métalliques", quindi un prototipo del moderno cemento fibrinforzato²⁷. L'ultimo brevetto, depositato in Italia nel 1886, è a nome del figlio di François, Edmond Coignet, che prendeva in mano l'azienda già degli ultimi anni di vita del padre: l'invenzione riguardava piccoli perfezionamenti nella composizione del *mélange*, nell'apparecchio di triturazione e nel sistema di battitura del getto²⁸.

Praticamente in contemporanea con l'Austria e la Germania, Monier depositava nel 1863 i suoi brevetti anche in Italia: il primo²⁹ inglobava tutte le varianti e le applicazioni studiate fino ad allora, e quindi coinvolgeva i vasi da giardino, i tubi, le cisterne, le traversine ferroviarie, ma anche le travi e le solette da solai e da ponte. In particolare le travi da ponte adottavano una carcassa metallica ben complicata: si trattava di una vera e propria sagoma realizzata con ferri piatti e tondini longitudinali, legati con filo di ferro e avvolti fitamente da altri ferri tondi. Anche l'armatura della soletta era ottenuta mediante un complicato intreccio di ferri: il tutto veniva poi ovviamente rivestito di cemento. I solai invece facevano affidamento su una più semplice carcassa metallica costituita da profilati tradizionali ai quali era vincolata la solita rete metallica.

Nel 1886, quando Monier presentava in Italia un completivo al suo brevetto³⁰, molti esperimenti, prove e studi erano ormai stati condotti. Il sistema,

perfezionato dai tedeschi, si era molto semplificato: l'introduzione della cassaforma lignea imponeva sagome più regolari ed armature meno intrecciate e contorte, per consentire al getto di fluire con facilità negli interstizi e saturare i vuoti. Per i tubi, Monier presentava anche un'apparecchiatura per il confezionamento che anticipava il meccanismo della centrifugazione: una maniglia collegata alla cassaforma permetteva di darle dei movimenti rotatori alternati in modo da favorire la diffusione del cemento e renderne liscia la superficie.

Anche il sidereo-cemento di Bordenave veniva depositato in Italia, nel 1887²¹, mentre il brevetto di Cottancin²² arrivava solo con qualche mese di ritardo rispetto alla sua presentazione in Francia. Il brevetto del 1889 riguardava la sola rete metallica tessuta in un solo filo e legata ai pannelli vicini senza giunzioni; successivamente, nel 1892, venivano introdotte le "spine contrafforti".

Se dunque l'Italia veniva considerata, al pari degli altri Paesi europei, un terreno fertile dove estendere le principali invenzioni, la pubblicità del nuovo sistema costruttivo sulle riviste tecniche specializzate era molto limitata. Le prime notizie sulla straordinaria aderenza tra il ferro e il cemento e sull'azione preservatrice di quest'ultimo sugli elementi metallici venivano diffuse nel 1885 sulla rivista «L'ingegneria civile e le arti industriali» dal direttore, l'ingegnere Giovanni Saccheri. Nell'articolo, pur solo a livello di notizia, si citavano alcuni esempi di "costruzioni monolitiche fatte di conglomerati e nelle quali la combinazione del ferro col calcestruzzo a malta di cemento diede eccellenti risultati: tini per gazometri, bacini e serbatoi, abbeveratoi e altri simili recipienti"²³. Ancora, si riferiva di mangiatoie, di vasi da fiori, di vasche monumentali per fontane fino ad affermare che "si prevede che l'impiego combinato del ferro e del cemento possa prestarsi in seguito molto utilmente sia per grandi lavori industriali, sia per la fabbricazione di minute parti di effetto decorativo, ad assumere maggiore importanza nelle costruzioni architettoniche". Per avere informazioni più dettagliate, bisognava però aspettare il mese di novembre del 1887, quando sulla «Rivista di Artiglieria e Genio» veniva presentato "un nuovo sistema di ferro e cemento chiamato con il nome del suo inventore, Monier", riportando sostanzialmente una sintesi della *Monier-Brochure*²⁴. Nell'articolo veniva anche abbozzato il procedimento di calcolo proposto da Koenen per le solette. L'anno successivo un ulteriore articolo dedicato al sistema veniva pubblicato su «L'Industria»²⁵; si riferiva che in Francia erano già stati eseguiti in cemento armato più di 1000 serbatoi per gas e per acqua, alcuni anche di 20 metri di diametro e 5 metri di altezza, e che non mancavano le applicazioni ai solai con "dalle" irrigidite da filo metallico, che si riallacciavano ai tradizionali controsoffitti in gesso francesi. Venivano inoltre sfatati i consueti dubbi su aderenza, dilatabilità e preservazione dalla ruggine. In quel periodo sembra che esistesse anche una rappresentanza in Italia del brevetto Monier presso l'ingegnere Emilio Bennati di

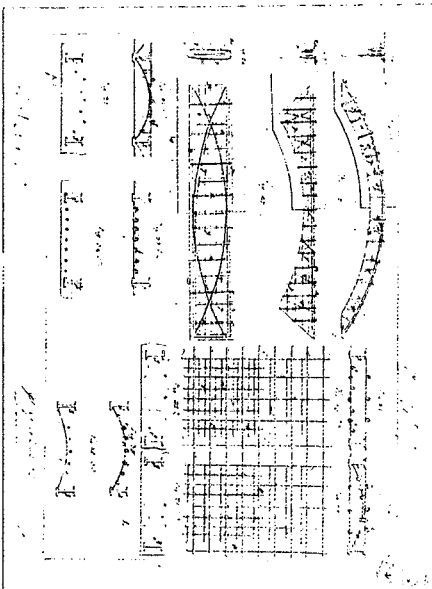
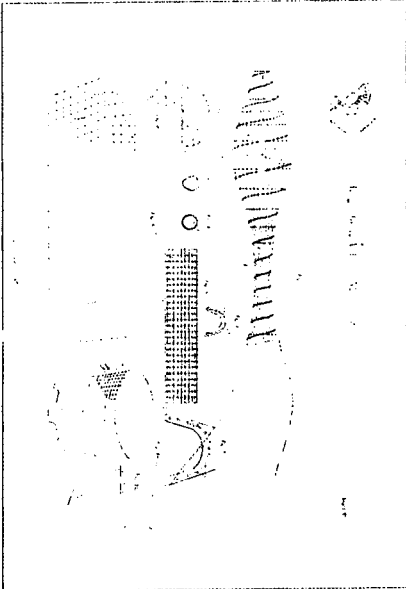
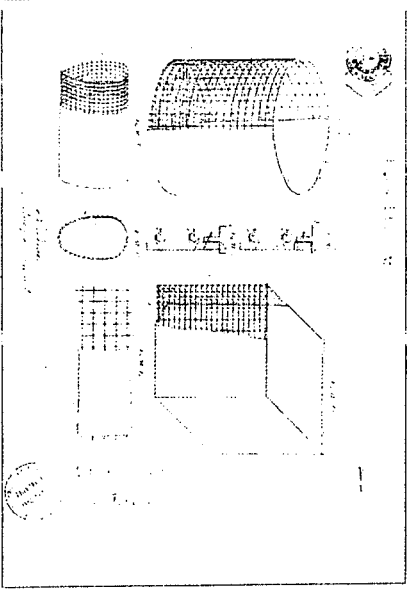


Fig. 13 - Brevetto n. 15697, I. Monier, Parigi, Système perfectionné de ferrées, récipients de toutes sortes, construits en général en fer et en ciment, 16 luglio 1883

Milano³⁶. Nel 1890, finalmente, le notizie diventavano più documentate e arrivavano i primi disegni di opere realizzate, tratti sempre dalla brochure di Mayss che veniva a questo punto pubblicata quasi integralmente³⁷.

Quanto alle prime realizzazioni in territorio italiano, la documentazione è molto frammentaria: sicuramente prima del 1891 con voltine Monier veniva no eseguiti 260.000 metri quadrati di solai in alcuni magazzini a Trieste³⁸ e, fra il 1889 e il 1890, alcuni seatoi in locali comunali a Brescia³⁹. Con il sistema Bordenave invece la Société Générale des Eaux realizzava, per l'acquedotto di Venezia, 7000 metri di tubi, spessi da 1,2 a 2,4 centimetri, armati con profili di acciaio a T alti da 10 a 22 millimetri⁴⁰. Certa è anche la realizzazione nel 1889 di una scala presso l'ex ospedale di S. Luca a Brescia, realizzata non seguendo un particolare brevetto ma con una struttura mista di putrelle di ferro e getto di cemento. Il progettista, Cosimo Canovetti, molto attento alle potenzialità del cemento armato, si vedeva dichiarare inagibile per presunte "insufficienti garanzie statiche" la sua avveniristica scala, della quale solo nel 1898, dopo la presentazione di un calcolo semplificato, seguì da alcune prove sui materiali, veniva consentito l'uso⁴¹.

La svolta impressa alla sperimentazione dal sistema Hennebique

Una vera rivoluzione nell'arte del costruire aveva luogo però in Francia nel 1892, quando, dopo anni di sperimentazioni condotte a partire dal 1879, François Hennebique depositava il suo primo brevetto sulla combinazione di ferro e di cemento per la creazione di travi⁴².

Sotto due aspetti questo avvenimento rappresentava una tappa decisiva nell'evoluzione del cemento armato: da un punto di vista tecnico, poiché mentre i brevetti precedenti erano concentrati sulle solette rinforzate, magari nervate, Hennebique focalizzava la sua sperimentazione su elementi costruttivi lineari - la trave e il pilastro - ponendo le basi per l'affermazione della struttura intelaiata in cemento armato indipendente dalla muratura. Dal punto di vista della diffusione, poiché le eccezionali capacità imprenditoriali di Hennebique permettevano alla sua ditta di esportare il sistema su scala internazionale e di conquistare il mercato, sbaragliando la concorrenza.

L'ondata innovativa investiva immediatamente tutta l'Europa e subito anche l'Italia. Il brevetto, presentato in Italia solo dieci giorni dopo essere stato depositato in Francia, proponeva travi da solaio molto leggere e resistenti, più economiche di quelle di ferro comunemente usate. L'invenzione si basava ancora sul "matrimonio razionale" dei due materiali: il cemento, resistente a compressione ma non a trazione; il ferro, molto resistente a trazione e meno a compressione per via degli effetti dell'instabilità al carico di punta. Hennebique per la prima volta si preoccupava anche di un'altra sollecitazione, trascurata dagli altri inventori: il taglio. Per contrastare i suoi effetti,

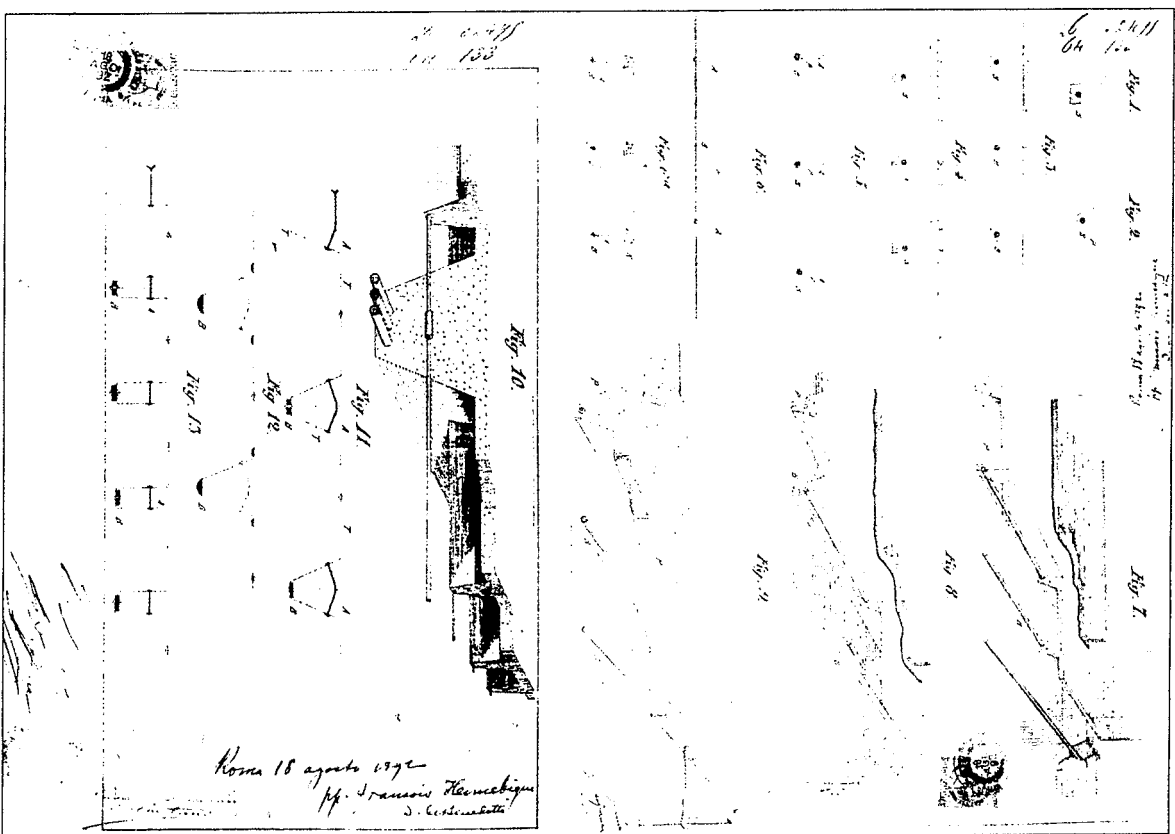


Fig. 14 - Brevetto n. 32495, F. Hennebique, Bruxelles, Combinaison particulière du métal et du ciment en vue de la création de poutres très légères et de haute résistance, 18 agosto 1892

adottava ancoraggi che collegavano le barre tese, collocate presso la faccia inferiore della sezione, con il calcestruzzo superiore compresso: questi elementi di ferro piatto, gli *enfers*, divenivano il simbolo del nuovo sistema costruttivo. Al materiale veniva rivendicata una totale immunità al fuoco, tanto che il motto della ditta diveniva in quegli anni "Plus d'incendies désastreux".

Con il brevetto completo del 18 dicembre 1897, presentato in Francia e poi anche in Italia, venivano portati alcuni perfezionamenti alla trave, soprattutto in corrispondenza degli incastri, dove i ferri venivano sagomati e portati presso la faccia superiore, accorgimento, come abbiamo visto, già suggerito da Koenen, ma di cui l'imprenditore francese continuerà a lungo a rivendicare la paternità³.

Con Hennebique comunque iniziava la vera storia moderna del cemento armato, non solo per la diversa concezione della tecnologia costruttiva, ma anche, come detto, per l'impostazione data al problema dal punto di vista imprenditoriale. Dalla originaria sede di Bruxelles e poi da quella parigina, aperta intorno al 1897, Hennebique iniziava una vivace propaganda del suo brevetto, che di lì a qualche anno lo avrebbe reso incontrastato protagonista del nuovo sistema costruttivo. Inviava brochure e lettere personali ai più importanti tecnici ed architetti del periodo, invitandoli a visitare i cantieri delle sue opere; coinvolgeva le autorità statali ad assistere alle prove di carico, che divenivano così importanti momenti di confronto e discussione; scriveva e faceva scrivere ai suoi ingegneri, reclutati nelle più importanti scuole di ingegneria di Francia, articoli sulle più diffuse riviste del settore; dotava la sua ditta di un rete di agenti e concessionari che si incaricavano di procurargli nuovi lavori in tutte le parti d'Europa: prima in Svizzera, dove, tra l'altro, dal 1897 veniva allestita un'esposizione campionaria permanentemente presso il concessionario Linder di Basilea, poi in Italia e così a seguire. Unica eccezione la Germania dove, per una precisa disposizione statale, per lungo tempo il sistema Monier manteneva l'esclusiva e dove, intorno al 1895, figurava un solo concessionario, la ditta Martenstein e Josseaux di Offenbach, la stessa che aveva ceduto il brevetto Monier a Wayss, ditta che faceva comunque riferimento all'agente svizzero Favre. Nel 1897 Hennebique organizzava il primo congresso sul cemento armato, invitando i suoi concessionari ma anche personalità del mondo scientifico: il congresso verrà riproposto per lungo tempo con cadenza annuale. Nel giugno del 1898 pubblicava il primo numero della rivista «Le Béton Armé», che, inviata ai tecnici, contribuiva in modo determinante a far conoscere il sistema, le sue applicazioni ed i suoi progressivi perfezionamenti. La campagna pubblicitaria aveva il suo effetto se, stando ai numeri da lui stesso diffusi, la sua impresa eseguiva 6 lavori nel 1892, poi 11 nel 1893, 62 nel 1894, 127 nel 1895, 290 nel 1896, 473 nel 1897, 827 nel 1898, 1129 nel 1899, 1229 nel 1900 e molti più progetti visto che nel 1898 veniva festeggiato il numero 5000⁴.

Nella gerarchica struttura organizzata da Hennebique, gli agenti generali "sondevano il mercato e si proponevano, alle amministrazioni e agli indu-

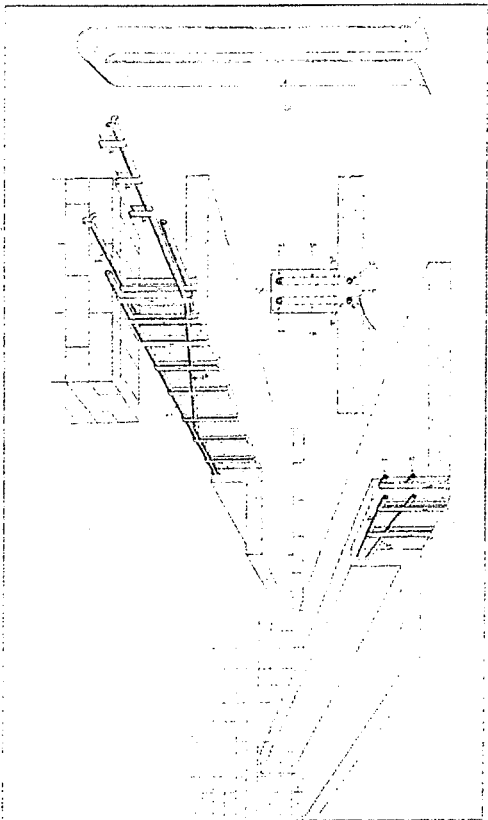


Fig. 15 - Disegno esplicativo annesso all'additivo del brevetto depositato da Hennebique in Francia il 18 dicembre 1897

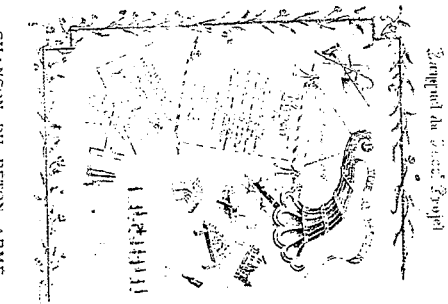


Fig. 16 - Logo della Maison Hennebique

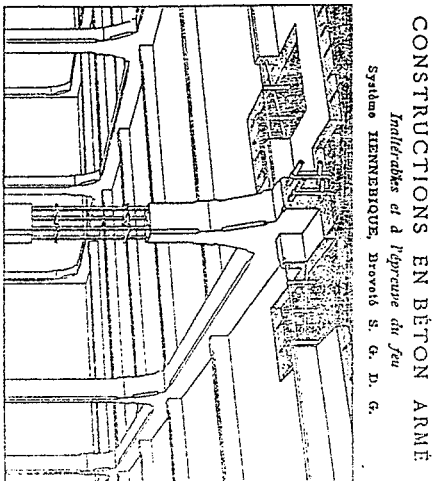


Fig. 17 - "Vive le Béton Armé". menu del banchetto offerto il 12 novembre 1898 in occasione del progetto numero 5000 sistema Hennebique. Per l'occasione viene pubblicata la "Chanson du béton armé"

striali". Inoltre selezionavano e contattavano i concessionari, distribuendo accuratamente sul territorio le licenze del brevetto. Percepivano quindi una percentuale sui diritti di privata e sugli affari trattati dai concessionari, che erano in genere degli imprenditori locali, con un proprio autonomo giro di attività, che, nelle occasioni in cui riuscivano a proporre il nuovo sistema, godevano dell'appoggio tecnico della casa madre ma rischiavano in proprio nella realizzazione del lavoro. Certamente la buona riuscita del progetto, e quindi la buona pubblicità al sistema, dipendevano molto dalle effettive capacità tecniche dei concessionari locali⁴⁵. Per molti anni comunque il calcolo rimaneva esclusiva della Maison, che manteneva il segreto sul metodo di dimensionamento delle sezioni e delle armature.

Il sistema Hennebique si imponeva sul territorio italiano come nel resto dell'Europa⁴⁶.

Il primo agente italiano, citato già nel 1894 in una pubblicità della Maison francese pubblicata su «La Construction Moderne», era l'ingegnere Giovanni Narici, con sede a Napoli, che aveva conosciuto il sistema in Svizzera. Albenza riferisce che sarebbe stato proprio lui a suggerire ad Hennebique l'introduzione dei ferri sagomati agli incastri e che Hennebique stesso "gliene fu sempre grato"⁴⁷. Nel giugno di quello stesso anno compariva come concessionario Giovanni Antonio Porcheddu⁴⁸, con sede a Torino. L'anno successivo, Porcheddu riceveva da Narici i disegni relativi ad alcuni lavori da lui procurati. Intanto venivano aperti anche uffici a Bologna, dell'ingegnere Attilio Muggia⁴⁹, e a Roma, dell'ingegnere Italo Chiera, stimolato nel 1895 dallo stesso Narici a divenire concessionario⁵⁰. Alla morte di Narici, nel 1896, perdeva rilevanza la pionieristica agenzia napoletana, presa in mano dal socio P. Isidoro Martorelli affiancato da Eduard Zühlh, che avrà poi un ruolo chiave nell'affermazione del sistema Hennebique in Germania. Nel 1896 Porcheddu diveniva agente generale per l'Alta Italia - Piemonte, Liguria, Lombardia e Veneto. Nel 1901 sia Porcheddu che Muggia gestivano un ufficio di progettazione indipendente dalla Maison francese e varie sedi distaccate⁵¹.

Il dibattito sulle teorie di calcolo: l'apporto di Coignet e de Tédesco

Il successo di Hennebique si fondava anche sulla semplicità del metodo di calcolo da lui proposto, banale nelle ipotesi e nelle operazioni matematiche, che continuava comunque ad essere applicato anche quando venivano perfezionate le ipotesi di Koenen e, attraverso vari contributi, si procedeva, nell'ultimo decennio del secolo, alla graduale messa a punto della cosiddetta teoria 'classica'.

Qual era dunque questo metodo di calcolo mantenuto religiosamente nascosto dalla Maison? Il metodo era semplice almeno quanto il sistema. Hennebique sosteneva che il cemento e il ferro, alleati nel contrastare il momen-

to flettente, si spartissero equamente i compiti. In una trave a sezione rettangolare, tagliata dall'asse neutro non più a metà - come per Koenen - ma in una posizione incognita, il cemento compresso, sopra l'asse, assorbiva metà del momento flettente, il ferro, al di sotto, l'altra metà. Questa arbitraria impostazione ben si sposava con due successive semplificazioni: la distribuzione delle tensioni di compressione nel cemento doveva essere uniforme ed entrambi i materiali dovevano raggiungere contemporaneamente la massima tensione ammissibile. Con queste ipotesi però era garantito solo l'equilibrio alla rotazione e non quello alla traslazione: l'uguaglianza dei due semimomenti rispetto all'asse neutro e invece la diversità dei bracci non consentiva infatti alle due risultanti di avere valori uguali⁵². A chi gli faceva notare le incongruenze teoriche del suo metodo, Hennebique rispondeva: "enfin, je pense comme ça!"⁵³ e presentava i suoi eccezionali successi realizzativi.

Contemporaneamente l'elaborazione di una teoria strutturale del cemento armato veniva affrontata dal mondo scientifico con risultati ben più rigorosi. Nel 1894 Edmond Coignet assieme a Napoléon de Tédesco, ingegnere della Société pour la construction en ciment armé dello stesso Coignet che nel frattempo aveva depositato una numerosa serie di brevetti⁵⁴, presentavano alla Société degli Ingegneri Civili di Parigi una lunga memoria nella quale introducevano per la prima volta il concetto di "sezione ideale omogenea"⁵⁵. I due, citando le esperienze americane di Hyatt, Jackson e Ransome, quelle europee di De Mazas, Monier, Chassing, Bordenave, Cottancin, Dumenil, Bonna, Borron, Hennebique, Wassy e Durand-Claye e ricordando tutti i vantaggi noti del materiale - leggerezza, elasticità, impermeabilità, durabilità e, non meno importante, modellabilità in forme qualsiasi - mettevano in evidenza quanto fossero scarsi invece i documenti teorici: chiunque avesse formulato un'ipotesi, più o meno valida, se la teneva stretta per approfittare dei vantaggi economici dei brevetti. Costituiva dunque per loro motivo di vanto diffondere i risultati raggiunti.

Poiché a mettere in dubbio l'applicabilità al cemento armato della teoria dell'elasticità era la non omogeneità del nuovo materiale, i due francesi sostenevano che se si aveva cura di amplificare l'area del ferro, per un opportuno coefficiente, si sarebbe potuto operare senza esitazioni come se tutta la sezione fosse stata di cemento. Il problema diveniva allora quantitativo: quale valore dare a questo coefficiente, in seguito diffusamente chiamato "m" o "n"? Sfruttando il principio di conservazione delle sezioni piane anche per la area tesa della sezione e riconoscendo, per la prima volta, la necessità della congruenza fra la deformazione del ferro e quella del cemento, arrivavano a dimostrare che questo coefficiente amplificativo dovesse essere pari al rapporto fra i moduli di elasticità dei due materiali. Quanto poi al valore numerico, c'erano ancora molte incertezze: mentre il modulo di elasticità del ferro infatti era più o meno determinabile, quello del calcestruzzo si ostinava a cambiare valore in funzione della qualità del cemento, della quantità di acqua

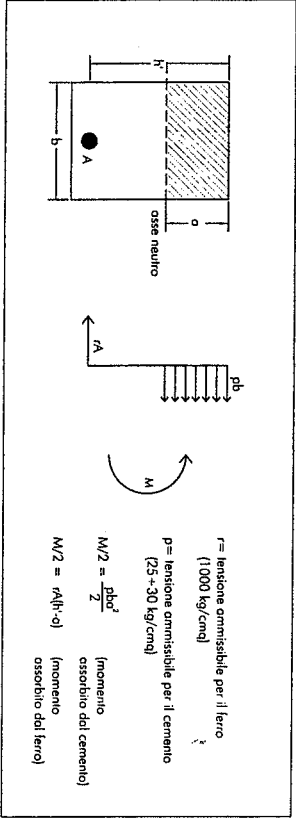


Fig. 18 - Ipotesi di calcolo di Hennebique per il dimensionamento di una trave sollecitata a flessione (1892)

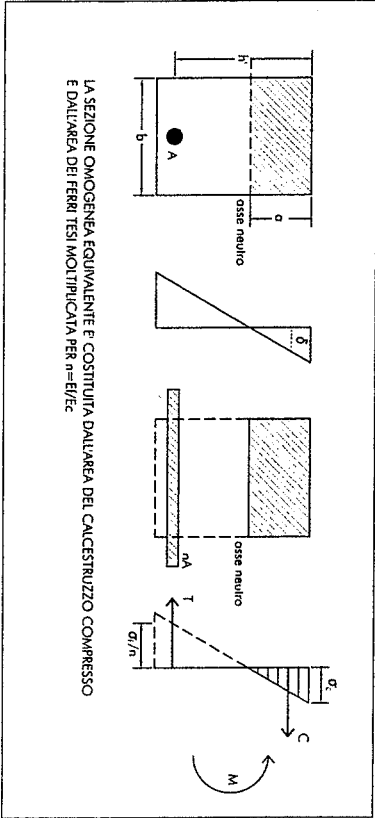


Fig. 19 - Ipotesi della sezione omogenea equivalente formulata da E. Coignet e N. de Tédesco (1894)

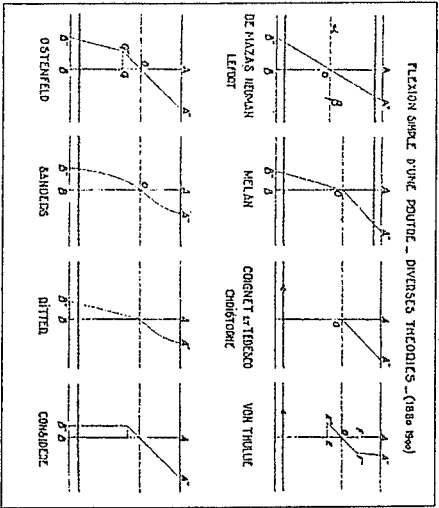


Fig. 20 - Confronto fra diverse ipotesi di distribuzione delle tensioni in una trave soggetta a flessione semplice, proposte da vari autori prima della fine del 1800

di impasto, delle condizioni di maturazione del provino e di una lunga serie di altri fattori. Il valore del coefficiente oscillava così fra 10 e 20. I francesi suggerivano allora di adottare 10, numero che "almeno semplificava i conti".

Gli autori erano ben consapevoli che il loro metodo valesse solo in prima approssimazione, visto che nessuna delle ipotesi cui loro avevano fatto ricorso era inconfutabile per un materiale anomalo come il cemento armato e soprattutto vista la corrispondenza molto approssimativa fra i calcoli proposti e le prove sperimentali effettuate sulle travi. Il metodo risultava molto a favore di sicurezza e occorrevano ben altri carichi per portare alle deformazioni previste dai calcoli. Molte altre sorprese si celavano probabilmente in questo strano mattonio fra cemento e ferro, ma la fretta di fornire uno strumento di calcolo approssimato ma sicuro, facile da utilizzare e nel contempo apparentemente corretto, ad un mondo di costruttori non disposto ad aspettare teorie più sofisticate, portava alla diffusione incontrollata del metodo che, pur definito anche in quegli anni "privo di qualunque valore scientifico", tuttora mantiene saldo il suo posto d'onore nei corsi universitari e soprattutto è diffusamente adottato nella pratica corrente, almeno in alcuni Paesi come l'Italia.

Molti degli scienziati dell'epoca, stimolati dalle incongruenze sperimentali, continuavano comunque ad indagare sulle teorie di calcolo applicabili al cemento armato, dando vita ad una quantità straordinaria di ipotesi. Seguendo Bach, che nel 1895 determinava la legge di deformazione del solo calcestruzzo, riconducendola ad una funzione esponenziale della pressione applicata, alcuni teorici come Sanders e Spitzer abbandonavano la facile ipotesi lineare per accettare una distribuzione di tensioni ben più complessa, nel migliore dei casi parabolica. Altri invece, come De Mazas, Neumann, Resart, Mandl, arrivavano a sostenere, pur contraddetti da tutte le sperimentazioni, che la resistenza del calcestruzzo a trazione fosse dello stesso ordine di grandezza di quella a compressione e tenevano conto del suo contributo. Lefort, fiero sostenitore della sezione ad armatura simmetrica, che avrebbe dovuto garantire maggiore sicurezza in caso di inversione dei momenti, soprattutto in corrispondenza degli incastri⁵⁶, considerava il contributo a trazione del calcestruzzo fino al valore di 56 kg/cmq: a parte questa evidente esagerazione, la sua armatura simmetrica trovava molti estimatori. Melan, pur vicino a queste posizioni, riconosceva che il valore del modulo di elasticità a trazione era inferiore di quello a compressione, ma comunque non di molto, e in ogni caso riteneva che il conglomerato sotto l'asse neutro offrisse un significativo contributo. Armand Considère esponeva nel 1899 una sua teoria⁵⁷, basata anche sullo studio di alcuni lavori condotti dall'ingegnere Louis Harel de la Noë, nella quale sosteneva che il calcestruzzo, dopo aver raggiunto la massima tensione possibile a trazione, entrava in una fase in cui il ferro lo sosteneva ad ulteriori deformazioni, pur senza farlo fessurare: lo sforzo di trazione assorbito dal calcestruzzo, ritenuto uniforme al di sotto dell'asse neutro, veniva portato in conto nei suoi calcoli per valutare la resistenza a rottura del-

la trave. Solo molti anni più tardi, nelle giustificazioni teoriche dei suoi risultati, venivano riconosciute le basi della teoria della plasticità e del calcolo agli stati limite. Anche le teorie di Ritter von Thullie e di Ostenfeldt erano molto rigorose e preludevano alle moderne ipotesi sul comportamento del materiale. Entrambi gli scienziati riconoscevano che il modulo di elasticità variava, in modo non trascurabile, con il carico e che nella risposta della sezione si potevano riconoscere varie fasi: una prima a calcestruzzo tutto reagente e, con l'aumentare della sollecitazione flettente, una seconda in cui si poteva invece trascurare la resistenza a trazione. La difficoltà di riprodurre gli esperimenti, che fornivano valori sempre diversi, faceva intuire che le caratteristiche del materiale erano fortemente legate alle dosi di cemento, inerte e ovviamente acqua con cui venivano confezionati i provini, ma anche alle condizioni dell'ambiente in cui avveniva la presa e al tempo di maturazione: in sintesi, il problema si presentava di una complessità inaspettata⁸⁸.

L'ampliamento della sperimentazione e la moltiplicazione dei brevetti italiani

Mentre il mondo scientifico sempre più si inoltrava nello studio dei fenomeni relativi al cemento armato e si perdeva in un nebuloso orizzonte fatto di calcoli con integrali doppi e derivate seconde, tutta l'Europa vedeva sorgere opere sempre più ardite, dimensionate sfruttando ipotesi errate, che stavano in piedi solo grazie all'istinto statico e alla perizia costruttiva di uomini come Wayss e Hennebique.

L'ultimo decennio del secolo si può a buon diritto considerare uno dei periodi più fertili della storia del cemento armato: i brevetti si moltiplicavano - solo in Francia all'inizio del Novecento se ne contano un centinaio -; le applicazioni si susseguivano, sempre più convincenti; sulle riviste i sistemi venivano analizzati nel dettaglio; si rendevano noti i metodi di calcolo; si confrontavano le soluzioni⁸⁹. Nel 1896, Charles Rabut, professore aggiunto del corso di meccanica applicata presso l'École des Ponts et Chaussées, inaugurava il primo corso sul cemento armato, rimasto comunque ancora il solo per molti anni.

Tutti i sistemi costruttivi indistintamente, anche quelli destinati a sparire nel giro di pochi anni, avevano un valore nel panorama frenetico di quel periodo perché contribuivano a diffondere le informazioni, a richiamare l'attenzione anche dei più scettici, a convertire il mondo delle costruzioni al nuovo materiale e, non da ultimo, come sostiene Gabetti, contribuivano "alla formazione di uno standard di progettazione". Maturava in quegli anni "una tecnica costruttiva completa e perfetta quanto quella delle strutture murarie, sviluppatasi attraverso millenni"⁹⁰.

In Italia, oltre ai due principali brevetti, Hennebique e Monier, arrivava anche una selezione dei numerosi altri. In questo processo il cemento armato raggiungeva la meritata fama e le imprese e i professionisti facevano a ga-

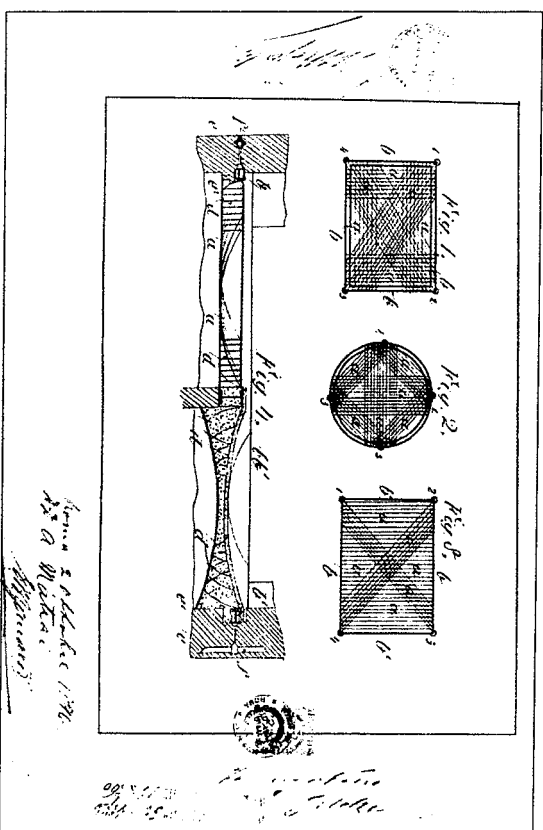


Fig. 21 - Brevetto n. 42720, A. Matri, Budapest, Perfectionnement à la fabrication de pignons ou de murs, etc. resistant, 2 ottobre 1896

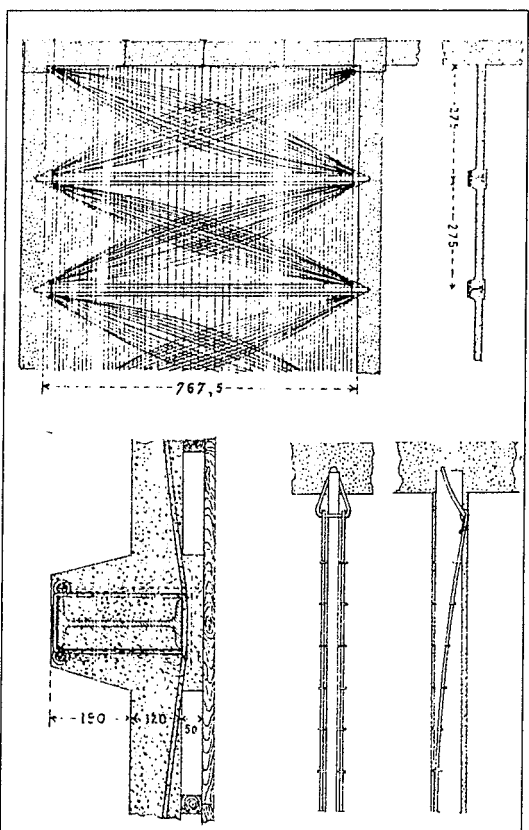


Fig. 22 - Dettagli esecutivi di un solaio realizzato intorno al 1898 col sistema Matri in uno stabilimento di tessitura della seta a Caccivio, Como

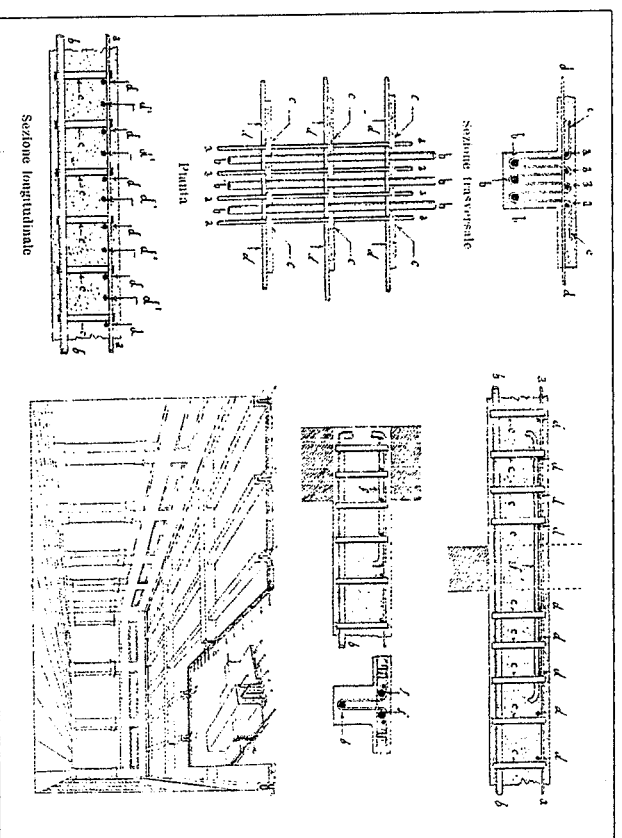


Fig. 23 - Disegni esplicativi del sistema Walsler-Gerard, protetto dal brevetto n. 50984, E. Walsler-Gerard, Basilea, *Poutre avec carcasse en fer, noyée dans du ciment*, 10 marzo 1899

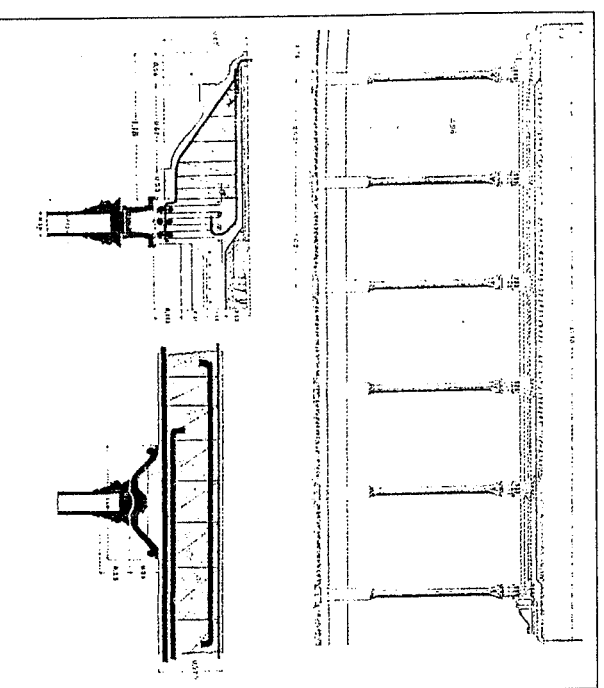


Fig. 24 - Detagli esecutivi di un cavalcavia presso Porta S. Francesco eseguito a Modena col sistema Walsler-Gerard nel 1900

ra per assicurarsi l'esclusiva di questo o quel sistema e lo sperimentavano sul campo. Successivamente, acquisita la necessaria conoscenza, si sviluppava un corposo catalogo di brevetti nazionali, per lo più derivati da quelli stranieri, ma liberi dagli onerosi diritti di privativa.

Della selezione di brevetti stranieri diffusi in altre parti d'Europa segnaliamo il brevetto Melan che adottava un metodo particolare: esso consisteva nel predisporre una struttura autoportante di ferro dimensionata in funzione dei soli carichi permanenti alla quale sovrapporre un rivestimento di cemento armato in grado di assorbire autonomamente i sovraccarichi. Il sistema, particolarmente adatto per i ponti perché rendeva inutili le costose centine, aveva molto successo in Europa e veniva esportato anche in America da Fritz von Emperger. Trovava diffusione anche in Italia, soprattutto per opera della ditta Odorico, che per lungo tempo vi realizzava strutture di notevole rilevanza statica⁶¹.

La stessa ditta deteneva l'esclusiva anche del brevetto Maitraie⁶², depositato in Italia nel 1896 da Alexander Maitrai, professore del Politecnico di Budapest. Questi disponeva i ferri dei suoi solai con un andamento a catenaria in fasci diretti secondo le diagonali congiungenti gli assi dei pilastri: l'obiettivo era quello di riportare i carichi ai pilastri piuttosto che alle travi, che altrimenti avrebbero dovuto sopportare sforzi flettenti molto elevati in mezzetria. La sua armatura aveva una configurazione simile a quella di un "tenzulo tenuto agli angoli".

Risultava un discreto successo anche il brevetto Walsler-Gerard⁶³, depositato nel 1899 in Italia e nel resto d'Europa, perché sintetizzava quanto di meglio era stato già messo a punto nei dibattiti degli anni precedenti: trave a doppia armatura, staffe a più braccia di collegamento dei ferri tesi con quelli compressi, monconi di rinforzo in prossimità degli incastri. L'ingegnere Augusto Maciachini, che presentava il sistema in un articolo su «Il Montatore Tecnico», era l'agente generale per l'Italia⁶⁴ e con esso realizzava nel Nord Italia una significativa serie di opere⁶⁵. Giuseppe Marchello di Bologna, concessionario del brevetto per le province dell'Emilia, delle Marche, della Toscana e dell'Umbria, con il sistema eseguiva verso la fine del 1900 a Modena presso Porta S. Francesco un cavalcavia a tre luci di cui la massima di circa 8 metri⁶⁶. Giungeva in Italia anche il brevetto Luipold⁶⁷, la cui rappresentanza era della ditta del professor G. Chini e più tardi dell'ingegnere Carlo Castiglioni, entrambi di Milano.

Infine veniva depositato anche il brevetto di John French Golding⁶⁸, pubblicizzato sulle riviste ma di cui non conosciamo ancora rappresentanti ed applicazioni. Le lamiere stirate di Golding erano ottenute praticando tagli discontinui e sfalsati su una lamiera di acciaio di pochi decimi di millimetro e sottoponendola ad una forte trazione: si otteneva un graticcio continuo impiegato come armatura per travi, solai e pareti.

I brevetti debuttavano in Italia accompagnati da commenti sulle riviste. Numerosi erano anche gli articoli che miravano a riepiologare i vari sistemi in

commercio, redatti dai tecnici più attenti al nuovo materiale, non più semplici traduzioni di analoghi lavori stranieri, ma arricchiti da esperienze personali⁶⁹. Nel 1897 veniva pubblicata la relazione di una commissione, nominata in seno alla Società degli Ingegneri ed Architetti Italiani di Roma⁷⁰, che raccoglieva preziose informazioni "sulle costruzioni in calcestruzzo di getto ed in cemento armato": era forse il primo atto ufficiale di riconoscimento del nuovo materiale in Italia. Il relatore, l'ingegnere Giuseppe Vacchelli⁷¹, aveva potuto assistere personalmente ad alcune prove eseguite su volte Monier a Vienna nel 1892 e aveva raccolto un ricco materiale in Europa e presso le società italiane operanti nel settore. Nel 1900 lo stesso Vacchelli pubblicava il primo vero manuale italiano sul cemento armato⁷².

A cavallo del secolo in Italia il dibattito sul cemento armato era ormai al centro dell'attenzione: di cemento armato si parlava diffusamente sulle riviste, i sistemi erano descritti nel dettaglio, i metodi di calcolo, anche se approssimati e spesso scorretti, erano argomento di discussione⁷³. Ma, visto che i nuovi brevetti stranieri non introducevano modifiche sostanziali a quelli già noti, perché continuare a pagare diritti che rendevano meno competitivo sul mercato il materiale? Perché dipendere da un ingegnere di Budapest o di Londra, quando l'Italia era sempre stata protagonista del ben costruire?

La rivista «Il Monitore Tecnico» lanciava la sfida, sostenendo che "se in Italia fanno difetto la perseveranza nello studio, e più ancora i laboratori sperimentali, lo slancio e i capitali necessari allo sfruttamento dei nuovi trovati, non mancano forti ingegni, desiderosi del nuovo"⁷⁴. E, con un fiero nazionalismo, ricordava che il primo brevetto rilasciato in Italia per costruzioni di cemento accoppiato al ferro era di un inventore italiano, l'ingegnere Angelo Lanzoni, datato 3 marzo 1883, quindi precedente a quello di Monier. Lanzoni descriveva i suoi "solai dilatabili" solo nel 1902, avvertendo che il suo sistema, pur razionale e conveniente da un punto di vista costruttivo, era di costo rilevante⁷⁵. Ma intanto la riscossa era cominciata e la fine del secolo vedeva tutto un fiorire di brevetti italiani.

Per onor di cronaca, già nel (1893) Carlo Poma aveva proposto un suo trovato⁷⁶, ma si trattava di un perfezionamento del brevetto Monier: al posto della malta di cemento, il mantovano adottava calcestruzzo, ovvero ghiaia mescolata a cemento e sabbia. Le proporzioni tra gli inerti derivavano dal calcolo dei vuoti in un metro cubo di ghiaia che la malta di cemento doveva andare a riempire: il sistema era indubbiamente più economico perché risparmiava cemento in favore della ghiaia. Il ben poco fluido composto consentiva a Poma di modellare forme anche ad "imitazione di tronchi d'albero".

Nel 1899 Antonio Agnese depositava un brevetto nel quale modificava la soletta Monier integrandola con alcuni accorgimenti derivati dagli insegnamenti di Hennebique. L'armatura, infatti, invece che da una rete piana, era costituita da tondini separati, intrecciati fra di loro con andamento sinusoidale, resi capaci in questo modo di contrastare anche gli scorrimenti dovuti al ta-

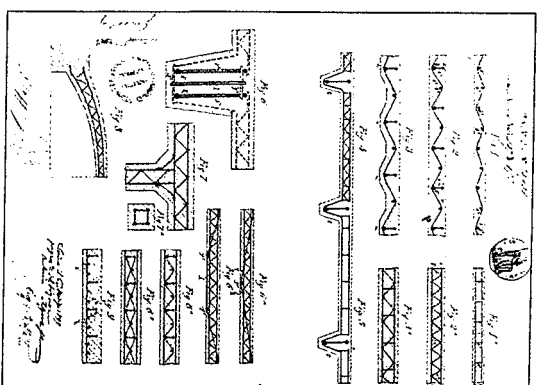


Fig. 25 - Brevetto n. 50901, A. Agnese, Torino, Perfezionamenti delle armature metalliche delle costruzioni monolitiche in cemento, 6 marzo 1899

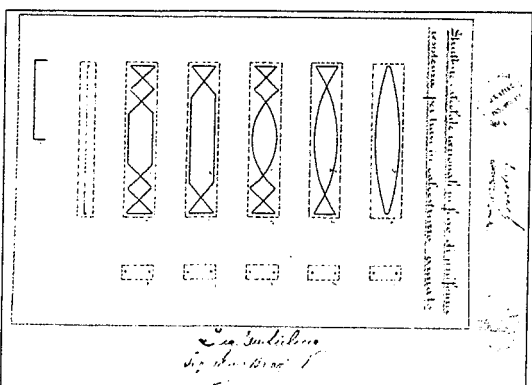


Fig. 26 - Brevetto n. 50911, M. Baroni, E. Lüling, Milano, Strutture calcolate razionali in ferro di uniforme resistenza, per travi in calcestruzzo armato, 6 marzo 1899

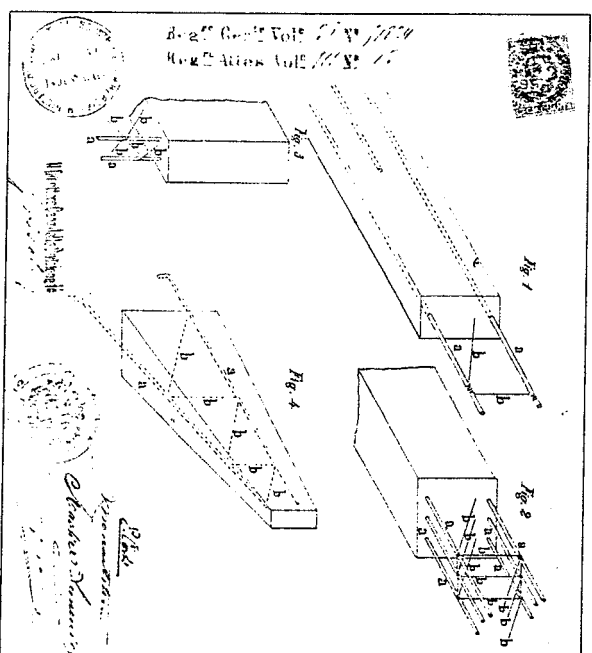


Fig. 27 - Brevetto n. 51824, E. Corti, A. Mona, D. Radice, Milano, Travi in cemento con armature simmetriche in ferro a traliccio, 25 maggio 1899

glio. Il reticolato mistilineo, invece di trovarsi in prossimità della faccia inferiore, occupava tutto lo spessore della soletta⁷.

Più interessante il brevetto di Mario Baroni ed Emilio Lüling, presentato nello stesso 1899 e sfruttato in esclusiva dalla ditta ing. H. Böllinger di Milano⁸. Se oggi fa sorridere il complesso disegno delle armature, il principio del trovato anticipava l'impiego dei ferri piegati: "mano a mano che il ferro diventa esuberante per resistere al momento flettente, si disponga così da resistere agli scorrimenti prodotti dallo sforzo di taglio". Le sezioni delle barre metalliche venivano calcolate in modo da resistere "con lavoro unitario uniforme", sia al momento flettente che allo sforzo tagliante⁹.

Le armature distribuite simmetricamente rispetto all'asse neutro, propagate in Francia da Lefort, riportavano anche in Italia un discreto successo, principalmente perché, pur richiedendo maggiore dispendio di ferro, semplificavano i calcoli, nei quali era spesso trascurato completamente il contributo del cemento a compressione. Nel brevetto di Corti, Mona e Radice del 1899¹⁰ si rivendicavano dritti proprio sull'invenzione di un'armatura simmetrica, collegata con staffe continue di filo di ferro aventi andamento a traliccio.

Quale fosse il disegno più efficace per le staffe rappresentava ancora un problema irrisolto: le staffe a più bracci del brevetto Walser-Gerard sembravano favorire la separazione del materiale in tanti parallelepipedi all'interno dei quali si potevano verificare facilmente lesioni. Maciachini proponeva all'inizio del 1900 un perfezionamento del sistema, in cui alcuni bracci delle staffe, invece di mantenersi verticali, venivano inclinati di 45°, in modo da comporre un "vero traliccio, formato da triangoli indeformabili di barre di ferro". L'intuizione era buona ma il sofisticato disegno proposto lasciava molti dubbi sull'effettiva applicabilità¹¹.

Citiamo infine il brevetto di Ferdinando Leonardi e Rocco Leale¹² i quali si proponevano di rendere più efficace l'incastro fra le travi e le solette dei solai per mezzo di speciali ferri sagomati: il taglio veniva tenuto a bada mediante armature di diametro più piccolo, disposte a traliccio e più fitte presso gli appoggi. I due ingegneri rivendicavano i dritti anche sull'invenzione di un solaio alleggerito, realizzato con corpi cavi annegati nel getto: forse il primo in Italia. Per lo sfruttamento del brevetto nasceva la ditta Fratelli Vendering, Leonardi e C¹³.

I primi brevetti italiani erano dunque dedicati esclusivamente a nuovi disegni di armature: la grande incertezza sul metodo di calcolo, i dubbi sull'efficacia delle staffe o dei ferri in zona compressa, l'empiria con cui venivano condotte le prove spingevano a ricercare nuove soluzioni che però, giudicate più accurate, si rivelavano spesso troppo sofisticate o incompatibili con la pratica di cantiere. Degli elaborati disegni allegati alle privative solo le intuizioni migliori, in genere le più semplici in fase esecutiva, sarebbero sopravvissute.

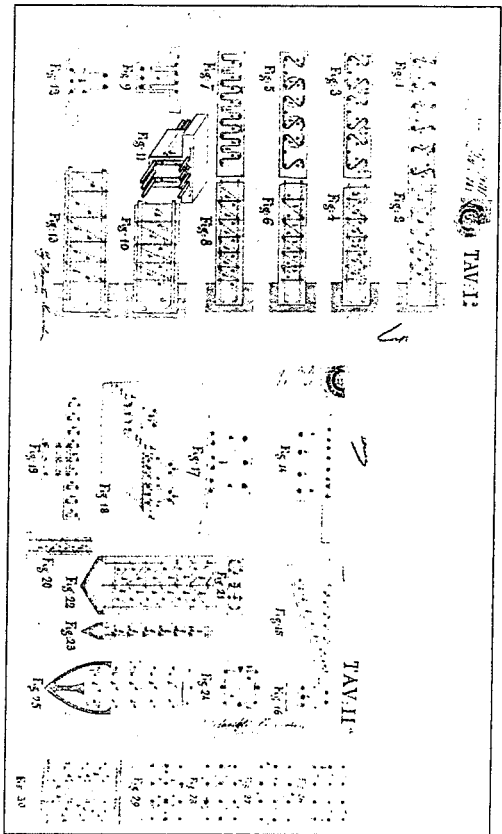


Fig. 28 - Brevetto n. 54575, A. Maciachini, Milano, Nuovo sistema di collegamento interno per costruzioni di ogni genere in cemento armato, 7 febbraio 1900

ING. A. MACIACHINI
Via Principe Umberto, 7 - MILANO - 2, Via Principe Umberto

Impresa generale per lavori d'ogni genere in cemento armato e beton fiele - Brevetti Walser e Ing. Maciachini

Nuovo sistema di solai economici a doppia soletta - senza travi - resistentissimi, non soggetti - per abitazioni e stabilimenti industriali e per ogni portata e spessore.

Applicazioni del rinomato sistema Maciachini Ing. A. Maciachini di Portici - Lavori in cemento con grana continuo di fili di ferro, nuova grana ad altissima resistenza

PIÙ DI 1000 CERTIFICATI DI LAVORI ESEGUITI

Fig. 29 - Pubblicità della ditta Ing. A. Maciachini di Milano (1904)

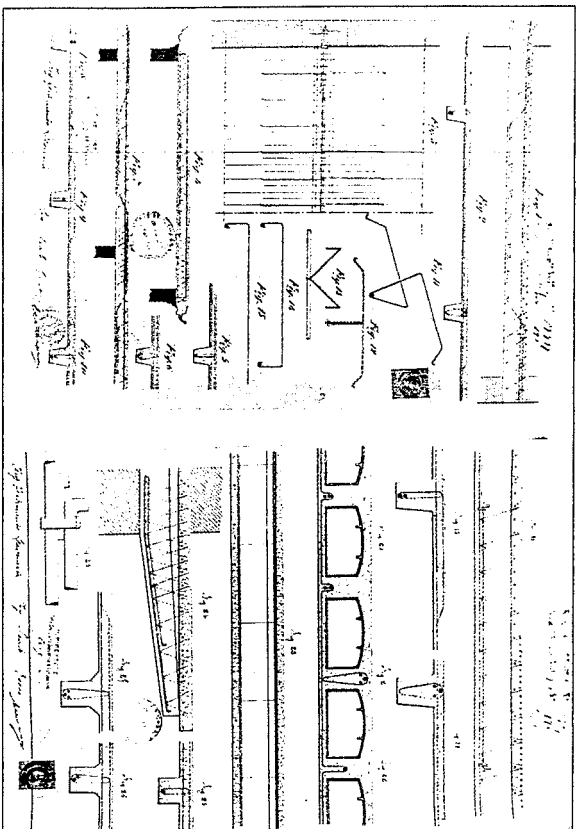


Fig. 30 - Brevetto n. 57727, F. Leonardi, R. Leale, Milano, Nuovo sistema di collegamento interno e nuove disposizioni di ferri per costruzioni di ogni genere in cemento armato, 21 novembre 1900

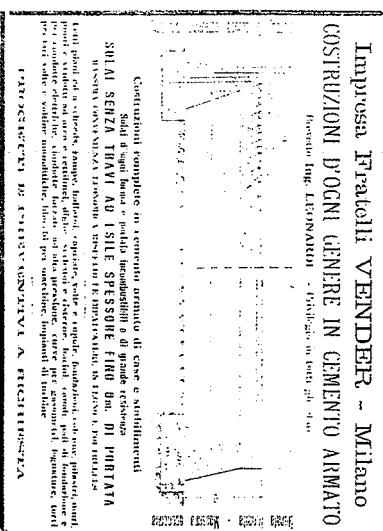


Fig. 31 - Pubblicità dell'Impresa Fratelli Vender di Milano, concessionaria del brevetto Leonardi-Leale (1901): è riprodotto il disegno esecutivo del solaio sperimentale eseguito nel palazzo Vanoni di Milano

Comunque l'interesse per sagomature originali si esauriva non appena testi autorevoli chiarivano definitivamente il ruolo specifico dei singoli ferri, fissando inequivocabili metodi di dimensionamento e di verifica e riconoscendo sostanzialmente al sistema Hennebique il merito della soluzione più efficace. A questo punto le private si spostavano prevalentemente su sistemi nuovi per la realizzazione dei solai - casseforme riutilizzabili, pignone di alleggerimento, pezzi speciali. Il cemento armato, dopo aver dimostrato sul campo le proprie qualità, si apprestava a battere rapidamente la concorrenza dei solai di legno e a putrelle, molto prima di affermarsi come scheletro portante autonomo.

La specializzazione delle imprese

La nuova tecnica costruttiva favoriva la costituzione di nuove imprese che nascevano dall'incontro di inventori e finanziatori desiderosi di sfruttare le ormai evidenti potenzialità commerciali del materiale. Anche le ditte già specializzate nel settore, comunque, non tardavano ad affiancare il nuovo sistema a quelli tradizionali, mettendo in campo la loro esperienza costruttiva e una manodopera capace. Nella maggior parte dei casi comunque, secondo una procedura fortemente influenzata da Hennebique, l'appalto delle opere in cemento armato era indipendente dalle opere murarie: la ditta affidataria dei lavori lasciava ad imprese specializzate l'esecuzione di casseforme, armature e getti per le strutture in cemento armato, spesso limitate ai solai.

Tra le imprese che potevano fare affidamento su un prestigioso curriculum antecedente alla nascita del cemento armato, è significativo segnalare due fra le più pronte a sperimentare il nuovo sistema con atteggiamento però molto diverso.

Da una parte la già citata Odorico milanese, nata nel 1827, che monopolizzava i diritti di sfruttamento dei più prestigiosi brevetti stranieri: Melan e Matra⁸⁶, ma anche l'ormai perfezionato Monier⁸⁵.

Dall'altra la ditta Carlo Gabellini & C., romana, che vantava di essere la più antica azienda italiana nel settore delle costruzioni e che, senza mai dipendere da alcun brevetto straniero, già nel settembre del 1896 proponeva un suo originale sistema. Il "cemento reinato Gabellini" veniva realizzato disponendo su una controforma l'armatura, avvolta a spirale nel caso di tubi, altrimenti costituita da reti di piccolo diametro, e applicandovi sopra a mano la malta di cemento⁸⁶. Le pareti di spessore sottile, se pure realizzate su una controforma, ricordavano molto da vicino quelle della barca di Lambot e dei vasi di Monier. La tecnica veniva adottata soprattutto per la realizzazione di tubi ma arrivavano anche in Francia le notizie circa la realizzazione, da parte della ditta, di barche con pareti sottili di cemento reinato⁸⁷.

Nel panorama piuttosto variegato di imprese, un posto autonomo però spettava agli agenti e concessionari Hennebique. Le prime opere in cemento

armato sistema Hemblique erano realizzate a Napoli e a Roma. Nel 1895 un solaio di 7,5 metri di luce e 13,5 metri di lunghezza veniva eseguito nel nuovo palazzo della Borsa di Napoli dagli agenti generali Narici e Martorelli⁸⁸. Sempre a Napoli, nel 1896, il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici suggeriva di impiegare diffusamente il cemento armato secondo il sistema Hemblique nei lavori di sistemazione ed ampliamento degli edifici dell'Università. Tutto si risolveva probabilmente nell'esecuzione di un solaio, destinato a dividere in due l'ambiente principale dell'antica chiesa di Santa Patrizia. Il grande lastrone, di 12 metri di luce, rinforzato inferiormente da più sistemi di nervature, veniva eseguito nel novembre del 1898. Il direttore dei lavori, l'ingegnere del Genio Civile Diego Blesio, descriveva nel dettaglio l'esecuzione delle opere sul «Giornale del Genio Civile» e soprattutto i segretissimi calcoli⁸⁹. Blesio era fiero sostenitore della teoria del "mezzo momento a testa" ed anche, più ragionevolmente, della sagomatura dei ferri agli estremi, per contrastare le inversioni di momento ed il taglio. Invece non approvava che gli *étriers* venissero disposti più ravvicinati proprio alle estremità: anzi, si lanciava in una complessa dimostrazione matematica a sostegno della tesi che, se proprio dovevano infrattarsi, allora meglio in mezzzeria. A parte questa "differenza di vedute senza importanza nella questione della stabilità del sistema", il solaio si rivelava tra il 25 e il 50% più economico di altri costruiti, per scopi simili, con putrelle di ferro.

Dopo qualche mese un altro ingegnere del Genio, A. Biglieri, direttore dei lavori di costruzione del policlínico Umberto I di Roma, pubblicava la descrizione dei calcoli da lui svolti seguendo il metodo messo a punto nel frattempo da Wilhelm Ritter⁹⁰, professore del Politecnico di Zurigo, per la verifica di alcune travi in cemento armato secondo il sistema Hennebique⁹¹. Al policlínico il sistema infatti era stato largamente impiegato sia per realizzare i solai di ambienti comuni sia per realizzare otto passerelle coperte di comunicazione fra i diversi padiglioni. I lavori erano stati eseguiti dall'impresa Vitali & C. su progetto e con la direzione del concessionario Ilalo Chienzi. Le passerelle, ultimata nel 1897, lunghe complessivamente da 18 a 30 metri, con pareti di muratura comune e tetto di tegole alla marsigliese, erano sostenute da colonne di ghisa. Su di esse correvano travi continue di cemento armato, generalmente a tre campate: la campata centrale più piccola, di 4 o 5 metri, e le due laterali più lunghe, da 7 a 13 metri. La descrizione delle modalità costruttive segnalava, tra l'altro, che anche le modanature laterali delle travi erano realizzate con lo stesso getto di conglomerato, essendo stati predisposti, come fiancate delle casseforme, degli stampi apposti. Il getto era molto povero d'acqua e veniva pilonato accuratamente con piccole "mazzeranghe", con notevole fatica e dispendio di tempo. Biglieri lamentava che i prezzi risultassero ancora piuttosto elevati, concorrendovi, oltre al costo delle casseforme, anche il premio che i costruttori dovevano pagare al proprietario del brevetto⁹².

Questi però erano riconosciuti come gli unici inconvenienti di un sistema che continuava a raccogliere consensi dalle pubbliche amministrazioni e dai

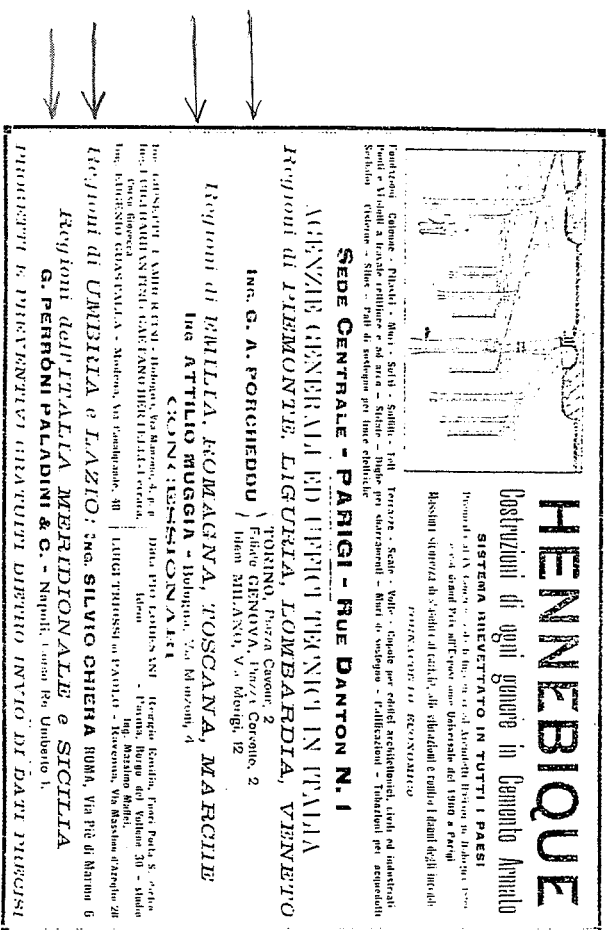


Fig. 36 - Pubblicità della rete italiana di agenti e concessionari Hennebique (1901)

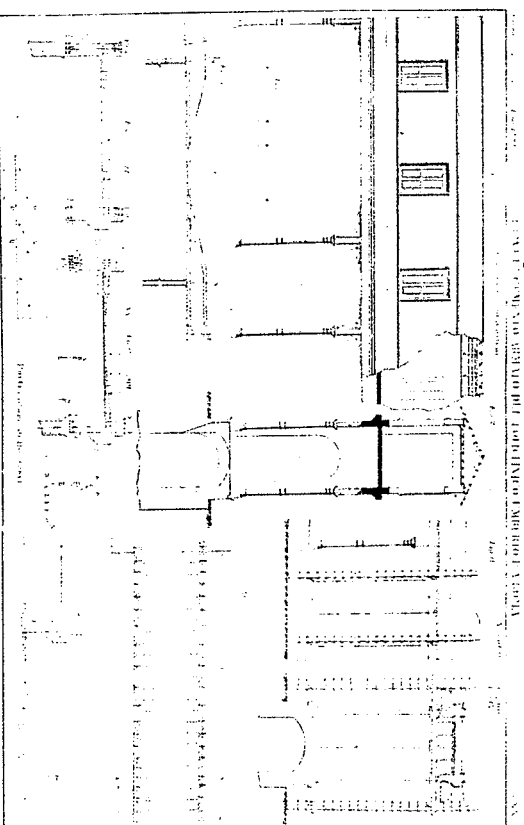


Fig. 37 - Disegni esecutivi delle passerelle di collegamento fra i padiglioni del policlinico Umberto I a Roma (1899)

privati. Da notare che Chiera, per convincere l'amministrazione del pollicinico ad adottare un sistema che a Roma non aveva ancora avuto applicazioni significative, seguendo l'esempio di Hennebique, nel luglio del 1896 invitava il progettista Giulio Podesti ed alcuni tecnici comunali ad assistere alle prove di carico su un solaio realizzato nel villino Zuccala a Frascati²⁹.

A Torino Porcheddu guadagnava la stima di Hennebique acquisendo una trentina di progetti fra il 1895 ed il 1900: si trattava per lo più di solai per case private ed uffici ma anche per scuole, ospedali e carceri³⁰, si segnalano inoltre lavori completi, a struttura tutta in cemento armato, esclusivamente però per stabilimenti industriali. Tra le opere più conosciute e citate negli articoli erano, entrambe a Genova, la Semoleria Italiana Ravano, Bozano & C. (1899), con solai e pilastri di cemento armato, ed il mercato orientale, inaugurato nel maggio del 1899, in cui la luce del corpo centrale raggiungeva i 15 metri. Tra il 1900 ed il 1901 venivano realizzati anche i silos granari del porto di Genova, struttura ardita che per qualche tempo avrebbe mantenuto il primato dell'opera più grande nel mondo costruita con la nuova tecnica. Progettati direttamente dalla casa madre, i silos esercitavano una propaganda rilevantisissima per il brevetto³¹.

A Modena, intorno al 1900, anche la Manifattura Tabacchi veniva ampliata con solai Hennebique, sotto la direzione dell'ingegnere Eugenio Guastalla, concessionario per quella provincia³². Per rimanere nell'area emiliano-romagnola, i primi lavori in cemento armato secondo il sistema Hennebique risalivano al 1897, ad opera di Attilio Muggia, che realizzava coperture e anche alcune stilate di pilastri a Bologna, nel palazzo Maccaferri³³. Del 1897 era anche il serbatoio costruito da Züblin³⁴ per un'industria tessile a Scafati, in Campania.

Arrivava intanto il nuovo secolo, la grande Esposizione Universale di Parigi del 1900 decretava il riconoscimento ufficiale del cemento armato. Buona parte dei padiglioni espositivi erano costruiti col nuovo materiale. Hennebique realizzava le strutture del Grand Palais e del Petit Palais oltre a numerose altre opere; Coignet altrettanti padiglioni, compreso lo Château d'Eau, di cui si aggiudicava la realizzazione battendo la concorrenza dello stesso Hennebique. Cottancin era tra l'altro l'artefice del padiglione della Repubblica di San Marino, incredibile castello in miniatura eseguito in getto. Mafrai invece si faceva una pessima reputazione per via del crollo, avvenuto durante la costruzione, di una passerella pedonale che conduceva al Globe Céleste, progettata con il suo sistema. Il crollo impensieriva tutti, anche i concorrenti di Mafrai, ma fortunatamente non alterava il clima di fiducia che si era ormai instaurato intorno al materiale. Per un altro motivo l'Esposizione diveniva una tappa fondamentale della storia del cemento armato: il Ministro dei Lavori Pubblici francese istituiva, nel dicembre del 1900, una commissione speciale che avrebbe dovuto eseguire tutte le prove possibili sulle strutture dell'Esposizione in corso di demolizione. La grande quantità di o-

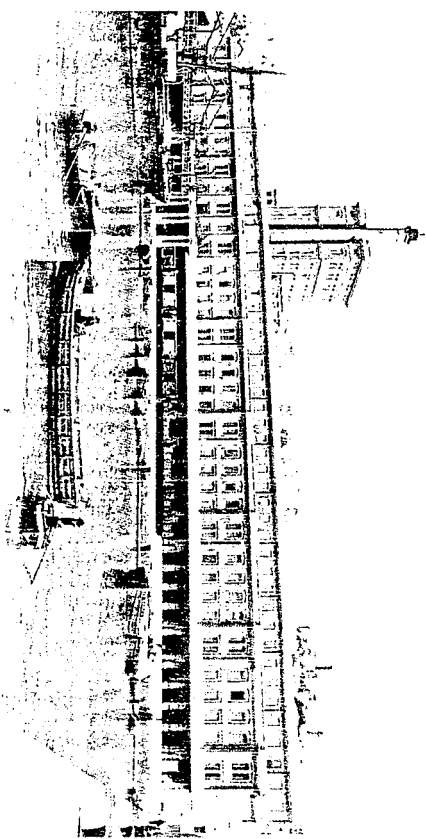
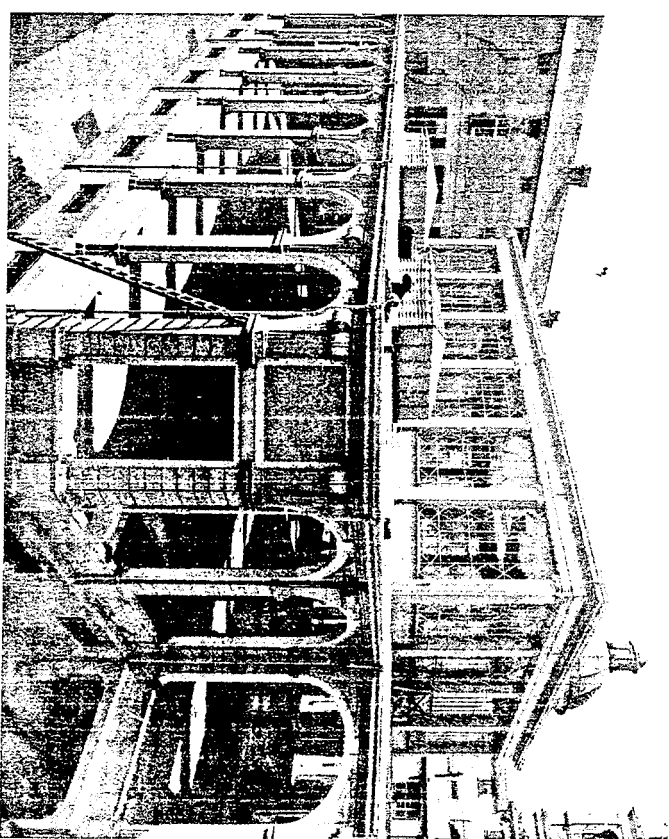


Fig. 38 - Primi lavori eseguiti dalla ditta G.A. Porcheddu, concessionario del sistema Hennebique per il Nord Italia: mercato orientale (1897) e silos granari (1899-1901) a Genova

pere a disposizione, di cui si conoscevano nel dettaglio i progetti esecutivi, permetteva di fare un numero di sperimentazioni tale da superare i limiti dell'iniziativa individuale⁹.

Da questi studi partiva una nuova era del materiale, che avrebbe avuto come punto cruciale la definizione di una normativa.

¹ La barca di Lambot, realizzata intorno al 1849, veniva presentata ufficialmente all'Esposizione di Parigi del 1855, contemporaneamente alla domanda del brevetto del *fer ciment* (brevetto francese n. 22120, J.-L. Lambot, *Combinaison de fer et ciment destiné à remplir les bois dit fer ciment succédant du bois de construction*, 30 gennaio 1855). Le prime notizie ufficiali dei vasi di Monier, realizzati con reti spalmate di malta di cemento, risalgono al 1867, quando veniva depositato il brevetto francese n. 77165, J. Monier, Parigi, *Système de Caisse-Bassins Mobles en fer et Ciment, applicables à l'horticulture*, 16 luglio 1867. Circa il solario della sede dell'impresa Coignet a rue des Poissonniers a Saint-Denis, realizzato inglobando delle travi di ferro ad un getto di cemento, la data di esecuzione oscilla fra il 1852 ed il 1861.

² R. Gabetti, *Origini del calcestruzzo armato*, parte I e II, Torino 1955.

³ P. Collins, *Concrete, The Vision of a New Architecture*, Londra 1959 (trad. it. *La visione di una nuova architettura*, Milano 1965).

⁴ C.D. Elliott, *Technics and architecture: the development of materials and systems for buildings*, Cambridge - Londra 1992, pp. 164-197.

⁵ Brevetto francese n. 22120, cit.

⁶ Coignet, ingegnere, operando nella zona di Lione, era legato alle tecniche costruttive del *pisé*, che aveva rielaborato sostituendo la terra con un cemento di loppa, costituito da cenere di carbon fossile, scorie sminuzzate e calce idraulica. Dopo aver modificato a più riprese la composizione del legante, il 29 marzo 1855 brevettava in Francia il *béton aggloméré*, nel quale alle scorie preferiva la sabbia. Nel 1861 pubblicava un importante volume, *Bétons agglomérés appliqués à l'art de construire*, in cui sosteneva l'opportunità di irrigidire i manufatti in cemento con reti metalliche, ma questo procedimento non veniva da lui effettivamente mai applicato. Vedi C. Symonnet, *Le béton Coignet. Stratégie commerciale et déconvenue architecturale*, «Le cahiers de la recherche architecturale», 29, 1992, pp. 15-32.

⁷ Monier, nato a Saint-Quentin-la-Poterie l'8 ottobre 1823 muore a Parigi il 13 marzo 1906, almeno così riporta Albenga nella *Enciclopedia Italiana*, sub voce, vol. XXIII, Roma 1934, p. 677, mentre anche sulle più recenti pubblicazioni francesi la data e il luogo di morte rimangono incerti. Vedi *L'art de l'ingénieur constructeur, entrepreneur, inventeur*, Parigi 1997, sub voce, p. 311.

⁸ R. Gabetti, *Origini ...* cit. Tra le prime applicazioni, Gabetti ricorda anche un serbatoio d'acqua di 25.000 litri costruito nel 1868 e uno di 200.000 litri a Fontenay-sur-Bois. Dopo il 1890, la ditta Monier realizzava un serbatoio per l'Hospice Ferrari a Clarmant Seine dell'architetto Bobin e uno per l'Atelier Lavoit a Boulogne-sur-Seine.

⁹ Brevetto francese n. 120989, J. Monier, *Système de traverses et de supports en ciment et fer, applicables aux voies, chemins ferrés et non ferrés*, 3 novembre 1877.

¹⁰ Hyatt (1817?-1901), avvocato, dopo essersi messo in luce nel Kansas per la sua attività di antischiavista, veniva in Europa e nel 1864 diveniva console nel porto francese di La Rochelle e in seguito si trasferiva a Londra dove diveniva imprenditore edile.

¹¹ T. Hyatt, *An Account of some experiments with Portland-cement-concrete combined with iron, as a building material*, Londra 1877, preceduto dal brevetto francese n. 111171, T. Hyatt, *Perfectionnement dans les bâtiments, dans leur construction et les matériaux qui y sont*

employés, 22 gennaio 1876. Il brevetto americano n. 206112, T. Hyatt, *Composition Floors, Roofs, Pavements & C* è del 16 luglio 1878. Vedi C.D. Elliott, *Technics and architecture ...* cit.

¹² La distanza fra l'ottima industria metallurgica e l'iniziale modesta industria cementiera avrebbe favorito inizialmente in America i procedimenti per migliorare l'aderenza del ferro. Ernest Ransome, per esempio, adottava un processo di torsione delle barre di sezione quadrata che determinava dei benefici risulti sulla loro superficie.

¹³ Questa versione è basata su E. Mörsch, *Teoria e pratica del cemento armato, con ricerche ed esempi costruttivi della Weyss & Freytag A.G. e della Soc. An. Ital. Ferrobeton*, Milano 1910. La versione è comunque analoga a quella proposta da C. Symonnet, *Alle origini del cemento armato*, «Rassegna», 49, 1992, pp. 6-14. Vedi anche R. Gabetti, *Origini ...* cit., p. 24. In un'altra versione autorevole, quella di Collins, si sostiene invece che nel 1879 Weyss, dopo aver visto alcune travi Monier alla mostra di Anwerp, acquistasse per la Germania i diritti del brevetto direttamente dall'inventore; nel 1880 R. Schuster avrebbe fatto lo stesso per l'Austria, costituendo poi con Weyss la Società Austro-ungarica Monierbau. Nel 1893 Weyss avrebbe asorbito tutto nella Weyss & C. Nel 1884, nel frattempo, Freytag e Heidechuch di Neustadt-and-Haardt e Martenstein e Jossaux di Offenbach-am-Main avrebbero acquistato nuovi diritti sul brevetto, trasferiti nel 1895 a Weyss, che fondava infine la Weyss & Freytag. Vedi P. Collins, *La visione ...* cit., p. 44. La versione è respinta da Symonnet, perché Collins l'avrebbe basata su un'informazione sbagliata tratta da un articolo d'epoca.

¹⁴ In particolare, per tacitare le voci che immaginavano il ferro completamente arrugginito dopo qualche anno passato nel cemento, si demoliva una soletta che Monier aveva realizzato 12 anni prima e si trovava il ferro intatto, lucido come fosse stato appena posato.

¹⁵ G.A. Weyss, *Das System Monier (Eisengerippe mit Cementumhüllung) in seiner Anwendung auf das gestammte und Bauwesen*, Berlino 1887.

¹⁶ In realtà Koenen non si dilunga su tutte queste ipotesi, almeno non nella *Monier-Broschüre*, ma dato l'andamento proposto per le tensioni e le conoscenze dell'epoca, si può ammettere un tale tipo di ragionamento.

¹⁷ G.A. Weyss, *Das System ...* cit., p. 73.

¹⁸ A. Durand-Claye, *Procédés d'essai des matériaux*, «Annales des Ponts et Chaussées», 1888.

¹⁹ P. Neumann, *Calcul des constructions Monier*, «Wochenschrift des Oesterreichischen Ingenieur- und Architekten - Vereines», 1890.

²⁰ Brevetto francese n. 178671, J. Bordenave, *Emploi dans les constructions des ciments, chaux ou autres matières appliqués sur des grillages de fer*, 22 settembre 1886. Vedi anche P. Platan, *Constructions en Sidero-ciment, Système J. Bordenave*, «La Construction Moderne», 7 1894.

²¹ R. Gabetti, *Origini ...* cit., parte II, pp. 38-39.

²² Brevetto francese n. 69773, P. Cottancin, *Procédé de fabrication d'ossature métallique sans attache et à réseau continu*, 18 marzo 1889. Seguiva poi il brevetto francese n. 222074, P. Cottancin, *Fabrication des ossatures continues à trame simple*, 2 giugno 1892.

²³ P. Cottancin, *Les travaux en ciment avec ossature métallique*, «Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France», 1889.

²⁴ G. Vascelli, *Sulle applicazioni delle costruzioni in calcestruzzo di getto ed in cemento armato. Relazione della speciale commissione nominata dalla Società degli Ingegneri ed Architetti Italiani in Roma*, «Il Monitore Tecnico», 15, 1897, p. 116.

²⁵ Brevetto n. 334, F. Coignet, Parigi, *Per un nuovo cemento economico*, 30 settembre 1856. Per i brevetti di Coignet la numerazione è relativa all'anno della richiesta e non progressiva come per i successivi, da Monier in poi.

²⁶ Brevetto n. 814, F. Coignet, Parigi, *Pour un béton dit béton plastique*, 31 dicembre 1859.

²⁷ Brevetto n. 1598, J. Coignet, responsabile della Société F. Coignet, ses frères et Comp., Parigi, *Pour fabrication des pierres factices, polies, moulées et sculptées, appareils et moyens propres à la préparation et à l'emploi des bétons Coignet*, 30 settembre 1863.

²⁸ F. Coignet muore nel 1888. Brevetto n. 1626, E. Coignet, *Perfectionnements apportés dans la fabrication des bétons agglomérés Coignet*, 31 dicembre 1886.

²⁹ Brevetto n. 15697, J. Monier, Parigi, *Système perfectionné de traverses pour voies*

ferres, récipients de toutes sortes, constructions en général en fer et en ciment, 16 luglio 1883.

³⁰ Brevetto n. 20293, J. Monier, Parigi, *Système perfectionné de traverses pour voies ferrées, récipients de toutes sortes, constructions en général en fer et en ciment*, 29 luglio 1886.

³¹ Brevetto n. 21405, J. Bordenave, Parigi, *Système de construction de tuyaux egouts et autres ouvrages à assuure métallique avec remplissage de ciment, béton, mortier et autres matières analogues*, 25 marzo 1887 e il successivo brevetto n. 31901, J. Bordenave, Parigi, *Système de construction de tuyaux, réservoirs et autres ouvrages en fer ou aciers à double T et remplissage de ciment, béton, mortier et autres matériaux analogues*, 17 maggio 1892.

³² Brevetto n. 26026, P. Cottancin, Parigi, *Un système d'ossature métallique sans attaches et à résénu continu*, 12 agosto 1889.

³³ G. Sachet, *Aldesione straordinaria ed azione preservatrice della maglia di cemento sul ferro*, «L'ingegneria civile e le arti industriali», ottobre 1885, pp. 157-158.

³⁴ *Costruzioni di cemento e ferro (Sistema Monier)*, «Rivista di Artiglieria e Genio», novembre 1887, pp. 321-325.

³⁵ L. Kick, *Sistema Monier di costruzioni in ferro e cemento*, «L'Industria», 46, 1888, pp. 734-735.

³⁶ E. Bennati, *Le costruzioni in cemento e ferro secondo il sistema Monier*, Milano 1888. Vedi anche O. Selvafolta, *Ingegneri, cemento e imprese a Milano tra Ottocento e Novecento*, «Rassegna», 49, 1992, p. 27.

³⁷ *Le costruzioni in ferro e cemento del sistema Monier*, «Rivista di Artiglieria e Genio», ottobre 1890, pp. 75-104, tratto dalla *Monier-Brochure; Sistema Monier di costruzioni in ferro e cemento*, «L'Industria», 45, 1890, pp. 115-116.

³⁸ R. Gabetti, *Origini ...*, cit., parte II, p. 40.

³⁹ C. Canovetti, *Sul cemento armato*, «Il Monitore Tecnico», 20, 1898, p. 457. Si tratta della prima sezione di un contributo pubblicato sulla rivista tra gli anni 1898 e 1899: 20, 1898, pp. 457-460; 5, 1899, pp. 68-71; 6, 1899, pp. 84-87; 18, 1899, pp. 279-281; 19, 1899, pp. 296-298.

⁴⁰ La prima prova completa del condotto, che comprendeva anche parecchi metri di tubi realizzati con il sistema Monier, veniva eseguita nel settembre del 1890 e, dopo alcune riparazioni dovute a perdite molto importanti, la condotta veniva messa in attività. Vedi *Del tubi in cemento e in cemento armato*, «Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani», 36, 1904, pp. 1041-1045; 37, 1904, pp. 1073-1082. Dell'acquadotto si parla, anche se con discordanza di date, in C. Canovetti, *Sul cemento ...*, cit., p. 457, in G. Vacchielli, *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*, I ed., Milano 1900, p. 274 e in F. Pasetti, *Costruzioni di cemento armato*, «Rivista di Artiglieria e Genio», 1899, p. 261.

⁴¹ C. Canovetti, *Sul cemento armato. La scala di S. Luca a Brescia*, «Il Monitore Tecnico», 6, 1899, pp. 84-87.

⁴² Brevetto francese n. 223546, F. Hennebique, Bruxelles, *Combinaison particulière du metal et du ciment en vue de la création de pourtraisons très légères et de haute résistance*, 8 agosto 1892. Il brevetto italiano, con lo stesso titolo, è il n. 32495, presentato il 18 agosto 1892.

⁴³ In risposta alle obiezioni tedesche circa la paternità di questa segomatura, Hennebique rispondeva inviando la Mayss & Freytag a pagare i diritti sul brevetto a Monier, che versava in gravi condizioni finanziarie, e promuovendo una sottoscrizione in suo favore.

⁴⁴ J. Gubler, *Prolegomeni a Hennebique*, «Casabella», 485, 1982, p. 40.

⁴⁵ Ivi, p. 43 e G. Delhumeau, *L'invention du béton armé. Hennebique 1890-1914*, Parigi 1999, pp. 134-140.

⁴⁶ Per notizie di prima mano sulla Maison Hennebique, consultare, oltre all'articolo di Gubler sopra citato, A.M. Zorgno Triscuoglio, *Le prime formulazioni di uno 'standard' progettuale e costruttivo delle strutture in cemento armato: l'opera di François Hennebique*, contributo al seminario "Storia dell'edilizia" tenuto nel corso di Dottorato di ricerca in Storia dell'architettura e urbanistica, Facoltà di Architettura di Torino, 15 aprile 1985; G. Delhumeau, *Hennebique e la costruzione in calcestruzzo armato intorno al 1900*, «Rassegna», 49, 1992,

L'avvento di una nuova tecnica costruttiva (1850-1900)

53

pp. 15-25; *Le béton en représentation. La mémoire photographique de l'entreprise Hennebique 1890-1930*, Parigi 1993; G. Delhumeau, *Hennebique, les architectes et la concurrence*, «Le cahiers de la recherche architecturale», 29, 1992, pp. 33-52; *L'art de l'ingénieur ...*, cit., sub voce, pp. 223-224; G. Delhumeau, *L'invention du béton ...*, cit.

⁴⁷ G. Albenga, *Sguardo sintetico all'evoluzione del cemento armato dall'origine ai nostri giorni*, in G. Albenga, G. Colometti, A. Danusso, A. Giannelli, G. Krall, A. Martinelli, *Tecnica del cemento armato*, Roma 1946, p. 8. Albenga cita erroneamente l'ingegnere napoletano con il nome Nerici. Fonti orali riferiscono che dopo la prematura morte di Nardici, avvenuta nel 1896, Hennebique abbia concesso un vitalizio alla vedova per consentirle di far proseguire gli studi di ingegneria ai figli.

⁴⁸ Un profilo biografico di G.A. Porcheddu (1860-1937) è riportato a fine testo. Per tutti i dettagli sul contributo di Porcheddu all'introduzione del cemento armato in Italia, vedi R. Nelva, B. Signorelli, *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia. Il sistema Hennebique*, Milano 1990.

⁴⁹ Un profilo biografico di Attilio Muggia (1861-1936) è riportato a fine testo. Muggia ha avuto un ruolo determinante nella diffusione del sistema Hennebique nell'Italia centrale, dove invece Porcheddu non eseguì che sporadici lavori. Tra le sue pubblicazioni ricordiamo *Sulle costruzioni in cemento armato*, conferenza tenuta al Collegio Toscano degli ingegneri, («Nuova rassegna tecnica internazionale»), 7, 1904.

⁵⁰ Vedi il carteggio fra Giovanni Nardici e Italo Chiera presso ACS, Fondo Ministero dei Lavori Pubblici, busta 109, fasc. 261.

⁵¹ In occasione del IX congresso degli ingegneri ed architetti italiani tenutosi a Bologna tra il 1° e l'8 ottobre 1899, Porcheddu, Muggia e Martorelli venivano insigniti del diploma di benemerita per l'introduzione delle costruzioni in cemento armato sistema Hennebique. Vedi «L'Edilizia Moderna», 10, 1899, p. 70.

⁵² Il copri ferro doveva essere minimo, quindi l'armatura non veniva disposta al centro della parte inferiore della trave, bensì in prossimità della zona tesa. Il braccio della risultante a trazione risultava quindi maggiore di quello della risultante a compressione.

⁵³ A. Danusso, *Intuito e scienza nel cemento armato*, «Rendiconti e Pubblicazioni del corso di perfezionamento per le costruzioni in cemento armato del Politecnico di Milano», fasc. I, Milano 1952, pp. 3-12. Molto più tardi, quando la teoria del cemento armato verrà sottoposta ad una severa rivisitazione e verranno compresi i fenomeni di plasticizzazione, si arrivava a sostenere che Hennebique avesse intuito l'ultimo stadio prima della rottura della sezione, quando appunto il cemento ridistribuirà le tensioni al suo interno con un andamento uniforme.

⁵⁴ Il primo e principale brevetto, arricchito negli anni successivi da additivi e perfezionamenti, è il brevetto francese n. 226634, E. Coignet, *Nouveau système de construction avec pourtrales droites ou courbes et plate-bandes en maçonnerie et fer combinés*, 24 dicembre 1892. La Société du ciment armé esercitava i diritti anche sul brevetto di Aimé Bonna per tubi sotto pressione armati con ferri speciali profilati a croce.

⁵⁵ E. Coignet, N. de Tedesco, *Du calcul des ouvrages en ciment avec ossature métallique*, «Mémoires et Compte Rendus des Travaux de la Société des Ingénieurs Civils», 1, 1894, pp. 284-363.

⁵⁶ L. Lefort, *Calcul des poutres droites et planchers en béton de ciment armé*, «Nouvelles Annales de la Construction», 1898.

⁵⁷ A. Considère, *Influence des armatures métalliques sur les propriétés des mortiers et bétons*, «Le Génie Civil», 14, 1899, pp. 213-216; 15, 1899, pp. 229-233; 16, 1899, pp. 244-247; 17, 1899, pp. 260-263.

⁵⁸ Vedi anche R. Gori, E. Siviero, B. Simoncelli, *I primi studi sul calcestruzzo armato*, in *Calcestruzzi antichi e moderni. Storia, Cultura e Tecnologia*, Padova 1993, pp. 103-111.

⁵⁹ Tra gli articoli più importanti ricordiamo quelli teorici di P. Planat tra il 1894 e il 1895 sulla rivista da lui diretta, «La Construction Moderne», raccolti poi in P. Planat, *Recherches sur la théorie des ciments armés: principes et applications*, Parigi 1895, un documentato confronto fra i vari sistemi si trova in G. Laveigne, *Constructions en ciment armé*, «Le Génie Ci-

vili», 2, 1899, pp. 22-24; 3, 1899, pp. 40-42; 4, 1899, pp. 57-58; 5, 1899, pp. 71-72; 6, 1899, pp. 86-88; 7, 1899, pp. 103-105, articoli poi raccolti in G. Laverge, *Étude des divers systèmes de construction en ciment armé*, Parigi 1899. Vedi anche C. Boitel, *Les constructions en béton armé. Calculs de résistance, détails d'exécution*, «Revue du Génie Militaire», agosto-settembre, 1899.

60 R. Gabetti, *Origini ...*, cit., parte II, p. 35.

61 Con un sistema derivato dal Melan e brevettato dall'ingegnere G. G. Ferria nel 1899 veniva realizzato il ponte Nus-Fenis sulla Dora ad opera della ditta Granero e Catto di Torino. Vedi G. Sacheti, *Nuovo sistema di ponte in cemento armato. Il ponte Nus-Fenis attraverso la Dora*, «L'Ingegneria civile e le arti industriali», 14, 1899, pp. 123-124. G. G. Ferria, *Progetto di un ponte in calcestruzzo di cemento proposto in sostituzione del ponte Maria Teresa sul Po a Torino*, «L'Edilizia Moderna», 6, 1897, pp. 39-40.

62 Brevetto n. 42720, A. Matri, Budapest, *Perfectionnement à la fabrication de plâfonds ou de murs, etc. résistants*, 2 ottobre 1896. In Francia la prima versione del brevetto era del 1893. Vedi anche la pubblicazione *Fer-béton système Matri*, *Notice descriptive*, Parigi 1900. Con il sistema Matri la ditta Odorico realizzava, tra gli altri, alcuni solai di uno stabilimento di tessitura della seta a Cacciavo, in provincia di Como, intorno al 1898 (vedi G. Vacchelli, *Strutture in cemento armato del sistema Matri*, «Il Monitor Tecnico», 8, 1899, pp. 113-115; g.v. [G. Vacchelli], *Cemento Armato Matri*, «L'Edilizia Moderna», 5, 1899, pp. 35-36) e due ponticelli, uno di 4 metri e l'altro di 7 metri di luce, che l'amministrazione provinciale di Roma faceva eseguire sul tronco di strada ordinaria di accesso al ponte del Grillo (G. Vacchelli, *Le costruzioni ...*, cit., II ed., Milano 1903, p. 325).

63 Brevetto n. 50984, E. Walsér-Gerard, Basilea, *Poutre avec carcasse en fer, noyée dans du ciment*, 10 marzo 1899.

64 A. Maciachini, *Strutture in cemento armato. Il sistema costruttivo E. Walsér-Gerard*, «Il Monitor Tecnico», 1899, pp. 210-213; A. Maciachini, *Le strutture in cemento armato (Nuovo sistema E. Walsér-Gerard)*, «L'Edilizia Moderna», 3, 1899, pp. 21-24.

65 Nell'elenco dei lavori eseguiti in Italia con il brevetto prima della fine del secolo ricordiamo: a Milano, tutti i solai, i pilastri e qualche trave del "primo albergo popolare" (*Primo albergo popolare in Milano*, Arch. F. Maggiani e M. Rondoni, IV, 2-3, 1902, pp. 14-16), opere varie a Palazzo Gonzaga, cascina Melghera, casa dell'ingegnere Imperatori, palazzo Isotta, casa Braghini e Gervasini, stabilimento Cammonei e C.; a Brescia, osservatorio del Seminario, cimitero di Calcinatello, collegio delle suore canossiane, filande di Pietro Fortunato, magazzino della ditta Cerioli, a Torino, stabilimento di Giov. Gillardini, ponte sul Rivo Sassi di 10,40 metri di luce, a Genova, Palazzo Carpinetti. Vedi A. Maciachini, *Cemento armato. Descrizione del sistema "Walsér"*, Bologna 1899.

66 N. Sacerdoti, *Cavalcavia in cemento armato a Modena*, «Il Monitor Tecnico», 3, 1901, pp. 50-52.

67 Brevetto n. 54747, E. Luipold, Basilea, *Carcasse métallique pour poutres en béton armé*, 25 maggio 1900, già depositato anche in Francia il 2 marzo dello stesso anno.

68 Brevetto n. 37506, Expanded Metal Company Limited, Londra, *Innovazioni nella costruzione dei pavimenti, dei soffitti e dei tetti per fabbricati*, 24 ottobre 1894. Vedi anche *Le applicazioni del Métal Déployé (expanded metal) nelle costruzioni moderne*, «L'Edilizia Moderna», 9-10, 1898, pp. 64-65.

69 Tra i più significativi: C. Canovetti, *Sul cemento ...*, cit. Nel lungo articolo Canovetti ricordava di aver partecipato a molti concorsi in Europa per ponti e tubi in cemento armato già dal 1887; F. Pasetti, *Costruzioni di ...*, cit., pp. 241-277, con una buona bibliografia.

70 G. Vacchelli, *Sulle applicazioni ...*, cit., «Il Monitor Tecnico», 15, 1897, pp. 115-117; 16, 1897, pp. 124-126; 17, 1897, pp. 131-133; 18, 1897, pp. 144-146; 19, 1897, pp. 151-152.

71 Un profilo biografico di Giuseppe Vacchelli (1864-1918) è riportato a fine testo.

72 G. Vacchelli, *Le costruzioni ...*, cit., I ed., Milano 1900. Una parte del testo è dedicata alle calce idrauliche, un'altra ai calcestruzzi e alle costruzioni in getto, l'ultima parte alle costruzioni in cemento armato. Nel 1903 veniva pubblicata una seconda edizione che prendeva

in considerazione tutti i più importanti testi nel frattempo pubblicati in Europa. L'edizione veniva aggiornata con le nuove realizzazioni italiane, con particolare attenzione a quelle della Odorico, della Gabelini e della Società Ferrovie Meridionali con le quali l'autore aveva avuto rapporti professionali. Varie edizioni si susseguirono dopo la morte di Vacchelli: il testo veniva aggiornato da T. Vacchelli.

73 Il dibattito segnalato in Francia sugli aspetti teorici e di calcolo in effetti non vedeva, in questa fase, l'Italia fra le protagoniste. Gli unici contributi accertati sono lo studio di G. Figari della metà del 1898, nel quale il colonnello del Genio, dopo aver sintetizzato la scienza delle costruzioni utile per le sue dimostrazioni, proponeva il calcolo di una trave a doppia armatura nel quale trascurava completamente il contributo del calcestruzzo, riducendo l'equilibrio a quello fra le due armature, tesa e compressa. Vedi G. Figari, *Studio sulla resistenza elastica delle costruzioni a base di cemento con ossatura metallica*, «Rivista di Artiglieria e Genio», 1898, pp. 5-47. Più interessante il contributo di B. B. Ferria che presentava direttamente a Parigi una memoria sulla ripartizione degli sforzi interni tra il cemento ed il ferro con il principio del minimo del lavoro di deformazione. Vedi B. B. Ferria, *Théorie de l'équilibre des systèmes en fer et ciment tirée du principe du moindre travail*, «Mémoires et Comptes Rendus des Travaux de la Société des Ingénieurs Civils», 1, 1898.

74 «Il Monitor Tecnico», 1899, p. 213. La citazione si trova in calce all'articolo di Maciachini sul brevetto Walsér-Gerard.

75 Lanzoni temeva fortemente le dilatazioni delle sue coperture cementizie, che realizzava intercalandovi giunti e non vincolandole rigidamente agli appoggi così da permettere movimenti orizzontali. Sosteneva infatti che il cemento armato andasse trattato come un metallo. Il confezionamento dei giunti, che dovevano comunque essere a tenuta, faceva salire il prezzo della costruzione. A. Lanzoni, *Dei solai in cemento armato*, «Il Monitor Tecnico», 7, 1902, pp. 97-99.

76 Brevetto n. 33369, C. Poma, Mantova, *Costruzioni di béton e ferro (Miglioramento del sistema Monier)*, 11 gennaio 1893.

77 Brevetto n. 50901, A. Agnèse, Torino, *Perfectionnement delle armature metalliche delle costruzioni monolitiche in cemento*, 6 marzo 1899.

78 Brevetto n. 50315, M. Baroni, E. Lüthig, Milano, *Strutture calcolate razionali in ferro di uniforme resistenza, per mensole o pali in calcestruzzo armato*, 4 gennaio 1899, ma soprattutto brevetto n. 50911, M. Baroni, E. Lüthig, Milano, *Strutture calcolate razionali in ferro di uniforme resistenza, per travi in calcestruzzo armato*, 6 marzo 1899, e anche brevetto n. 59778, M. Baroni, E. Lüthig, Milano, *Sogome in ferro razionali calcolate per armare con uniforme resistenza la travatura in cemento*, 30 giugno 1901.

79 La ditta Bollinger nel 1901 accompagnava il brevetto con una brochure pubblicitaria, contenente disegni illustrativi e fotografie di lavori eseguiti. E. Lüthig, *Cemento armato breveto Baroni Lüthig*, Milano 1901.

80 Brevetto n. 51824, E. Corti, A. Mona, D. Radice, Milano, *Travi in cemento con armature sinimetriche in ferro a traliccio*, 25 maggio 1899. La ditta Mona-Radice, che cessava l'attività nel 1904, realizzerà i solai a doppia soletta per la casa privata dello stesso Radice a Milano: vedi *Casa di civile abitazione in via Canova, 13. Milano*, Arch. G. Boni, «L'Edilizia Moderna», 7, 1904, pp. 27-28.

81 Brevetto n. 54575, A. Maciachini, Milano, *Nuovo sistema di collegamento interno per costruzioni di ogni genere in cemento armato*, 7 febbraio 1900.

82 Brevetto n. 57727, F. Leonardi, R. Leale, Milano, *Nuovo sistema di collegamento interno e nuove disposizioni di ferri per costruzioni di ogni genere in cemento armato*, 21 novembre 1900. Un perfezionamento del trovato veniva presentato neanche un mese più tardi dal solo R. Leale, nel quale si introducevano notevoli complicazioni nella sagomatura dei ferri. Vedi brevetto n. 57880, R. Leale, Milano, *Nuovo sistema di disposizione dell'ossatura metallica nelle costruzioni in cemento armato*, 16 dicembre 1900.

83 La ditta fratelli Vender già esisteva ma, almeno a giudicare da una sua pubblicità del 1898, eseguiva griglie di ferro per cancelli. Il brevetto veniva sperimentato in un solaio di prova eseguito al piano terreno di palazzo Vanoni, in via Leopardi a Milano, alla presenza di "mol-

te spiccate personalità del mondo tecnico". Vedi *Nuovo sistema di strutture in cemento armato*, «Il Monitor Tecnico», 1, 1901, pp. 7-8.

⁸⁴ Solo allo scadere del brevetto originale Odorico presentava un suo brevetto, sostanzialmente identico a quello Matri: brevetto n. 63661, O. Odorico, Milano, *Sistema di costruzioni in cemento armato*, 7 maggio 1902.

⁸⁵ Nel 1898 la ditta realizzava con questo sistema un ponte canale ad Origo di Piave, ad una sola campata, destinato a sostituire quello in muratura a tre campate distrutto da una piena nel giugno dello stesso anno. Il ponte, di 19 metri di luce, veniva gettato in tempi record in novembre e veniva collaudato prima della fine dell'anno. Vedi *gy* [G. Vacchelli], *Ponte in cemento armato*, «L'Edilizia Moderna», 4, 1900, p. 26. Nello stesso anno la ditta eseguiva anche i solai in volte Mönier della "Reinigungs" birreria-teatro di Milano. Vedi *Casa Reinigungs. Corso di Porta Genova, 29, Milano. Arch. S.G. Locati*, «L'Edilizia Moderna», 11-12, 1898, p. 79.

⁸⁶ Brevetto n. 42075, C. Gabellini, Roma, *Speciale costruzione di tubature in cemento con ossatura interna di acciaio dolce e tela metallica costruite ad anelle da congiungersi in opera mediante legature di tela metallica da servire per fogne e per condutture di qualunque forma e dimensione, capaci di resistere a tutte le pressioni e carichi*, 9 luglio 1896. Brevetto n. 48951, C. Gabellini, Roma, *Speciale costruzione di tubature in cemento con ossatura interna di acciaio dolce e tela metallica costruite ad anelle da congiungersi in opera mediante legature di tela metallica da servire per fogne e per condutture di qualunque forma e dimensione, capaci di resistere a tutte le pressioni e carichi e da servire altresì per serbatoi, vasche, pozzeri, vasi vinarii, orci da olio, ecc. ed in generale per recipienti di qualunque genere e forma destinati a ricevere liquidi od altre sostanze di ogni specie*, 8 agosto 1898. Vedi anche brevetto n. 55221, Stabilitimento Gabellini di C. Gabellini e C., Roma, *Costruzioni idrauliche a tenuta, eseguite in cemento armato*, 11 aprile 1900 e brevetto n. 56958, C. Gabellini e C., Roma, *Pareti sottili cementizie atte per resistere a notevoli sforzi di tensione e loro uso per costruirne recipienti, condutture o simili in cemento armato*, 18 settembre 1900.

⁸⁷ Tra le prime opere della ditta segnaliamo il condotto per lo Iufficio Centurini a Terni, con tubi di 1,8 metri di diametro, eseguito nel 1897 sotto la direzione di Silvio Chiera. Vedi *Costruzioni di tubi in cemento armato*, «Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani», 14, 1897, pp. 219-221 e *Costruzioni in cemento armato*, ivi, 17, 1897, p. 267. Vedi anche G. Vacchelli, *Le costruzioni* ..., cit., p. 274. Ancora da chiarire i ruoli di Italo e Silvio Chiera, alternativamente concessionari Hennebique e collaboratori di Gabellini. Per le barche di cemento retinato, vedi G. Laveigne, *Constructions en ...*, cit., p. 105. *Barche di cemento con ossatura in ferro*, «Rivista di Artiglieria e Genio», maggio 1897, pp. 342-343 e *Barche in ferro-cemento*, «Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani», 9, 1897, pp. 136-138. Una di queste barche, capace di portare venti persone, varata sul Tevere, aveva dato buona prova di galleggiamento.

⁸⁸ *Sistema Hennebique per solai*, «Polytechnicus», 16 novembre 1896, p. 166; A. Guerra, L. Ferrara, *Il nuovo palazzo della borsa in Napoli*, «L'Edilizia Moderna», 1, 1900, p. 5.

⁸⁹ B. Diego, *Costruzione d'un solaio di cemento armato*, «Giornale del Genio Civile», 11, 1899, pp. 99-112.

⁹⁰ W. Ritter, *Il sistema costruttivo Hennebique*, trad. it. di A. Maciachini, «Il Monitor Tecnico», 10, 1899, pp. 145-148, 11, 1899, pp. 163-167, 12, 1899, pp. 182-185. Ritter, dopo aver contestato al brevetto il primato sui ferri sagomati in prossimità degli appoggi, averne riconosciuto comunque gli indubbi successi ed averne descritto i dettagli esecutivi, bollava il "singolare modo di calcolazione" come "comodo ma inesatto", anche se molto in sicurezza. Proponeva in sostituzione i calcoli equilibrati e congruenti, ma comunque semplici, che nel frattempo erano maturati come perfezionamento di quelli di Coignet e de Tédesco. Non si sbilanciava troppo invece nel calcolo delle staffe, ritenendo "curiose" le ipotesi dell'inventore e troppo empirico il modo in cui se ne diminuiva l'interasse alle estremità della trave, ma rimandava ad ulteriori "esperienze di confronto" l'ultima parola.

⁹¹ A. Biglieri, *Travi in cemento armato (sistema Hennebique) del Polcinico "Umberto I" in Roma*, «Giornale del Genio Civile», 28, 1899, pp. 581-589. Vedi anche *Costruzioni in ce-*

L'avvento di una nuova tecnica costruttiva (1850-1900)

57

mento armato al Polcinico, «Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani», 9, 1897, p. 135; G. Vacchelli, *Le costruzioni* ..., cit., pp. 265-266.

⁹² A. Biglieri, *Travi in cemento* ..., cit.

⁹³ Tra gli ingegneri romani presenti alla prova segnaliamo Filippo e Francesco Galassi, dell'ufficio tecnico degli Ospedali di Roma, che poi utilizzeranno il cemento armato in alcuni solai dell'Ospedale S. Giovanni, e Francesco Serafini Amici, che lo adatterà nel 1909 per la realizzazione del teatro Kursaal Mauri, oggi Eliseo. Vedi ACS, Fondo Ministero dei Lavori Pubblici, busta 109, fasc. 261.

⁹⁴ Tra i primi articoli che presentavano opere realizzate da Porcheddu con il sistema Hennebique citiamo: *La casa delle imprese Bellia in Torino. Arch. Carlo Ceppi*, «L'Edilizia Moderna», 3-4, 1898, pp. 24-25 (solai del portico e delle terrazze); D. Donghi, *Prove statiche e dinamiche di solai di calcestruzzo cementizio armato del sistema Hennebique*, ivi, 1, 1899, pp. 6-7 (solai del nuovo edificio scolastico comunale a Padova); L. Beltrami, *Il Palazzo "Venezia" sede delle Assicurazioni Generali in Milano*, ivi, 5, 1900, pp. 33-40 (primi solai di questo tipo realizzati a Milano); D. Donghi, *Asilo Notturno Umberto I in Torino. Arch. D. Donghi e N. Cerri*, ivi, 6, 1900, pp. 44-45 (solai della grande sala del dormitorio); *Il nuovo grande salone di Brera e la sua copertura in calcestruzzo armato. Sistema Hennebique*, ivi, 9, 1900, pp. 67-68; T. Prinetti, *Nuova fabbrica per pensionanti e per incurabili nell'Ospedale Maggiore di S. Giovanni Battista della città di Torino*, ivi, 10, 1900, pp. 73-76 (tutti i solai).

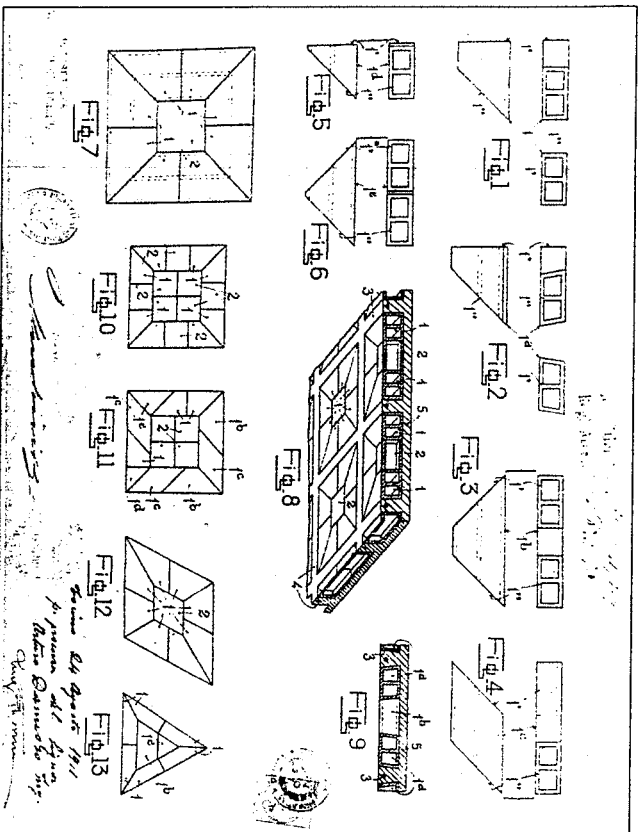
⁹⁵ Per tutti i dettagli sull'opera di Porcheddu nell'Italia del Nord vedi R. Nelva, B. Signorelli, *Avvento ed evoluzione* ..., cit.

⁹⁶ *Lavori in cemento armato*, «Il Monitor Tecnico», 1901, p. 290. Più tardi, nel 1903, anche la copertura ad archi della manifattura di Bologna avrebbe portato la firma di Muggia e quindi ancora del sistema della Maison francese. La copertura - "bellissima" - aveva archi sottili da travi sostenute in mezz'aria da tiranti vincolati ai vertici degli archi stessi. Vedi C. Guidi, *Lezioni di Scienza delle Costruzioni. Appendice: Le costruzioni in cemento armato*, III ed., Torino 1910, p. 37.

⁹⁷ A. Muggia, *Palazzo Maccacferri. Teatro-caffè-ristorante "Eden" in Bologna*, «L'Edilizia Moderna», 3, 1900, pp. 17-18.

⁹⁸ Vedi *L'art de l'ingénieur* ..., cit., sub voce, p. 553.

⁹⁹ G. Delhumeau, *Hennebique, les architectes* ..., cit., pp. 42-43.



Brevetto n. 119964, A. Danusso, Torino, *Perfezionamenti nei solai in cemento armato a doppia serie di travi ad angolo tra di loro*, 24 agosto 1911

La diffusione del cemento armato (1900-1915)

Con il passaggio di secolo terminava in Italia e in Europa il periodo pionieristico del cemento armato. I primi anni del Novecento vedevano infatti il riconoscimento ufficiale del materiale e la sua diffusione graduale nell'edilizia corrente.

In primo luogo la nuova tecnica costruttiva entrava nella formazione professionale dell'ingegnere: venivano pubblicati i primi manuali, completi e rigorosi, che affrontavano le principali problematiche del cemento armato e sistematizzavano la materia; nelle università, nei corsi di scienza e meccanica delle costruzioni, la tecnica trovava un suo spazio ed i nuovi laureati potevano finalmente contare su un bagaglio di nozioni necessarie per applicare con sicurezza i vari sistemi.

Contemporaneamente - a causa delle tante incertezze nel calcolo, del proliferare di sistemi costruttivi difficilmente controllabili, della serie di crolli di edifici in costruzione - molti Paesi europei adottavano provvedimenti cautelativi, non senza polemiche. Anche in Italia veniva approvato dal Ministero dei Lavori Pubblici un regolamento per le costruzioni in cemento armato mirato a garantire la sicurezza almeno delle opere pubbliche.

La necessità di una normativa nazionale era sintomatica della diffusione del materiale, ormai impiegato in molti tipi edilizi e nelle infrastrutture. Alle mille realizzazioni dei concessionari Hemblique facevano eco, sulle nuove riviste tecniche dedicate esclusivamente al cemento armato, le applicazioni delle sempre più numerose imprese specializzate che operavano ormai in un clima di vivace concorrenza.

Intanto, codificato il marchingegno armatura - calcestruzzo, la sperimentazione brevettuale si spostava sui singoli elementi costruttivi, in particolare sul solaio, per la realizzazione del quale il cemento armato aveva ormai sostituito nella pratica corrente le tecniche costruttive tradizionali. Le nuove invenzioni proponevano le prime travi prefabbricate ma soprattutto le prime pignate laterizie, per il confezionamento di quei solai misti che avranno d'ora in poi uno straordinario sviluppo.

Un decisivo impulso alla definitiva affermazione della tecnologia del cemento armato veniva dalla vicenda del terremoto di Messina e Reggio Calabria del 1908: il telaio antisismico, messo a punto in questi anni, si sarebbe affermato negli anni venti diffondendosi su tutto il territorio nazionale e condizionando profondamente il modo di utilizzare il cemento armato in Italia.

Intanto nelle grandi opere si mettevano nuovamente alla prova le teorie di calcolo classiche, faticosamente perfezionate negli anni precedenti ed ormai diffuse nella pratica: destinato ad influenzare molti dei dibattiti teorici italiani degli anni successivi, il ponte Risorgimento, realizzato a Roma nel 1911,

aveva un ruolo chiave nella comprensione dei limiti dell'ipotesi di comportamento elastico del materiale.

Il cemento armato nella formazione dell'ingegnere civile

Agli inizi del secolo il cemento armato si dimostrava pronto ad assumere il ruolo di protagonista nelle costruzioni. Le buone prove offerte nell'ultimo quarto dell'Ottocento, la pubblicità dell'Esposizione Universale di Parigi, l'attenzione che le autorità pubbliche di tutti i Paesi avevano mostrato nei confronti di quello strano miscuglio di cemento e ferro non potevano che dare forza ai suoi sostenitori e spingerli ad affrontare lo scontro diretto con i materiali tradizionali. Per riuscire in questa impresa bisognava diffondere i risultati raggiunti, fare chiarezza sulle ipotesi teoriche e sui sistemi di calcolo e offrire ai tecnici ancora scelti uno strumento di lavoro completo e privo di contraddizioni: occorreva dunque un manuale, che riempiasse anche le diverse soluzioni offerte dai brevetti e fornisse dettagli esecutivi.

Era Paul Christophe a recepire per primo in Europa questa nuova esigenza: dopo aver pubblicato nel 1899, negli *Annali dei Lavori Pubblici del Belgio*, una successione di articoli, li raccoglieva in un testo che per lunghi anni sarebbe stato il punto di riferimento per i tecnici del cemento armato: *Le béton armé et ses applications*, edito a Parigi nel 1902, nelle sue 755 pagine, passava in rassegna tutti i sistemi brevettati diffusi in Europa ed in America e, con imparzialità, pur essendo l'autore un ingegnere della corte di Hennebique, offriva esempi di opere realizzate e relativi metodi di calcolo, non risparmiando critiche negative ma anche illustrando vantaggi e contributi di ogni sistema. Il testo inoltre era arricchito da un'ampia bibliografia, che non si limitava a segnalare i libri, ancora di numero relativamente modesto, ma elencava tutti gli articoli che dal 1885 in poi erano stati proposti dai periodici francesi, tedeschi, austriaci, inglesi, belgi, olandesi e italiani.

Christophe tratteggiava sinteticamente il percorso teorico compiuto fino ad allora: le formule empiriche di Wayss e Koenen, gli studi sulle caratteristiche del cemento, le nuove ipotesi di calcolo ancora in disaccordo con le prove sperimentali. Era consapevole che il suo lavoro sarebbe dovuto servire da spartiacque fra la fase pionieristica delle sperimentazioni disorganiche e la nuova epoca nella quale teoria e pratica avrebbero trovato finalmente un compromesso per offrire al cemento armato un futuro luminoso. Nel testo veniva ampiamente descritto un metodo di calcolo derivato da quello di Coignet e de Tédesco, perfezionato con il contributo di molti teorici europei. Il metodo consisteva in un punto conclusivo definitivamente i dibattiti sul calcolo della trave soggetta a flessione semplice e stabiliva le basi per la soluzione anche dei casi di sollecitazione più complessi. Dal punto di vista pratico Christophe non si limitava a descrivere i sistemi in uso ma commentava dettagliatamente le singole soluzioni, consapevole che il segreto del brevetto potesse ormai

solo compromettere il successo del materiale. Il suo lavoro dunque metteva a disposizione dei tecnici europei il resoconto di quindici anni di polemiche e di brillanti risultati. Il libro però, pur di vasto successo, non veniva aggiornato con nuove edizioni, tanto da divenire ben presto irripetibile.

Grande consenso riscuoteva contemporaneamente un altro manuale: nel 1902 infatti, la Wayss & Freytag sostituisce l'ormai datata *Monier-Brochure* con un più consistente volume dal titolo *Der Betoneisenbau: seine Anwendung und Theorie*, opera di Emil Mörsch², dal 1901 direttore tecnico della ditta. L'opera di Mörsch, divenuto in seguito professore e direttore del Politecnico di Stoccarda, rappresentava una pietra miliare nella letteratura tecnica sul cemento armato, rivisitata e ampliata in numerose edizioni, delle quali già la terza tradotta in diverse lingue³.

In particolare Mörsch faceva chiarezza su un aspetto rimasto fino ad allora oscuro: la resistenza a taglio della trave di cemento armato. L'autore sosteneva infatti che una trave, per quanto sufficientemente armata per resistere al momento flettente, poteva fessurarsi in corrispondenza degli appoggi a causa dello sforzo tagliante, che proprio qui aveva i suoi massimi. Mentre in Europa si diffondevano sempre più le armature simmetriche, Mörsch metteva invece in evidenza il ruolo chiave dei ferri piegati per contrastare le inversioni del momento ma, contemporaneamente anche il taglio. Sugeriva dunque di piegare tutti i ferri non più utili nella zona inferiore e di ancorarli nella zona superiore, conformando le estremità ad uncino. Inoltre tacciava definitivamente quanti ancora sostenevano che le staffe fossero non solo poco utili ma addirittura dannose. Riportava infatti molteplici esperienze, condotte dalla Wayss & Freytag, dalle quali risultava che le staffe erano così efficaci da consigliarne l'adozione anche qualora non fossero direttamente necessarie per la resistenza al taglio, in quanto assicuravano un buon collegamento fra le diverse parti della sezione e specialmente fra i ferri tesi ed il calcestruzzo compresso. Mörsch infine proponeva un metodo di dimensionamento e spaziatura delle staffe, basato su una schematizzazione della trave detta "teoria del traliccio ideale resistente". Il tedesco infatti ipotizzava che le staffe si comportassero come i montanti tesi di una trave reticolare le cui diagonali, compresse, fossero costituite da porzioni ideali di calcestruzzo.

Mörsch si dichiarava assai contrariato dal fatto che il progetto e la verifica delle strutture in cemento armato non potessero seguire regole esatte come quelle messe a punto per le costruzioni metalliche. Il suo testo comunque per chiarezza, eleganza e precisione si segnalava come il più autorevole del secolo.

Contemporaneamente alla pubblicazione di questi testi completi e dettagliati, in Europa ed in America si assisteva alla nascita di un considerevole numero di riviste specializzate. Le testate che alla fine dell'Ottocento si erano occupate degli esordi del nuovo materiale erano riviste tecniche generali, annali dei lavori pubblici, bollettini del genio civile e militare, annali delle associazioni di ingegneri e architetti e, solo in qualche caso, riviste dedicate in

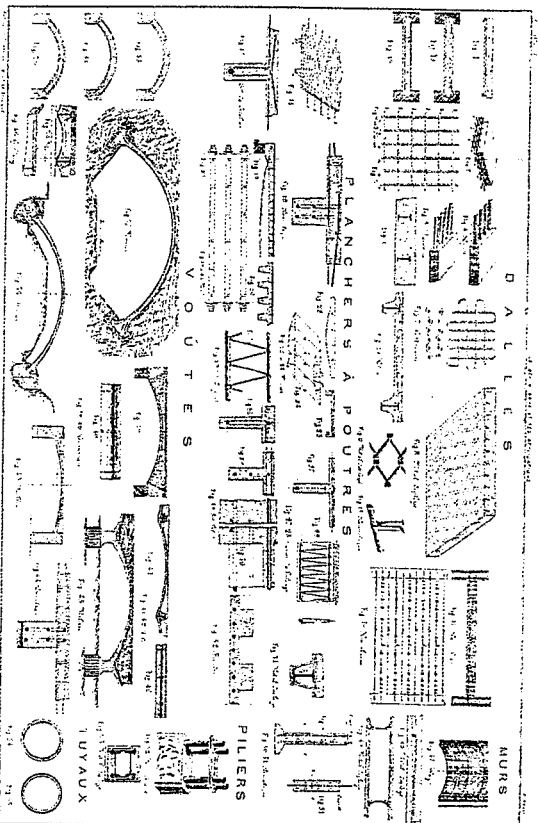


Fig. 39 - Quadro riepilogativo dei brevetti in commercio pubblicato da P. Christophe (1899)

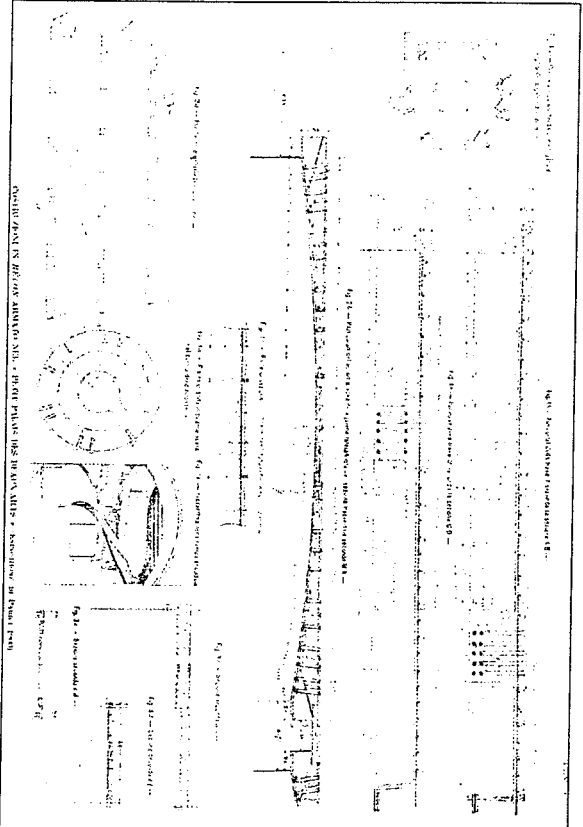


Fig. 40 - Una delle cinque tavole presentate da Camillo Guidi durante le conferenze del 1900: si tratta di lavori eseguiti da Hennebique

esclusiva al mondo delle costruzioni. Mano a mano che il materiale si diffondeva, i resoconti dei suoi successi risultavano troppo invadenti per pubblicazioni periodiche che dovevano affrontare anche altri temi. Così già nel 1896 in Francia, dove il dibattito era più vivo, nasceva ad opera dell'organizzazione delle industrie di cemento Portland la rivista «Le Ciment», che diveniva rapidamente la più attiva nel diffondere le informazioni. Qualche anno più tardi, come abbiamo visto, veniva dato alle stampe anche «Le Béton Armé», organo della Maison Hennebique. A Berlino nel 1902, Fritz von Empeget⁴ fondava «Beton und Eisen»; in America ben quattro riviste vedevano la luce nei primi anni del Novecento: «Cement» (1900), «Cement Era» (1903), «Cement Age» (1904), «Concrete» (1904)⁵. In Inghilterra bisognava aspettare il 1906 per vedere la pubblicazione della rivista «Concrete and Constructional Engineering» mentre in Italia, a Milano, nel 1904 nasceva «Il Cemento», filiazione del pur giovane «Il Monitor Tecnico» (1894)⁶. Il direttore, Giovanni Morbelli, era un chimico legato all'industria della calce⁷ mentre il primo redattore capo, Giulio Revere, ingegnere e poi professore al Politecnico di Milano, rimaneva nella storia del cemento armato come uno dei più seri sperimentatori italiani⁸. Nel 1908 veniva affiancato in redazione da Arturo Dagnusso, giovane ingegnere piemontese che, di lì a poco, sarebbe diventato uno dei personaggi più autorevoli nella storia delle costruzioni italiane⁹.

Ma anche in Italia l'evento fondamentale che consacrava il cemento armato come materiale da costruzione era l'introduzione del suo insegnamento nelle scuole di Ingegneria. Queste avevano alle spalle una tradizione che se non uguagliava quella dell'Ecole des Ponts et Chaussées di Parigi (1747), risaliva comunque ai primi anni dell'Ottocento: i primi diplomi di libero esercizio della professione di ingegnere venivano dati dalla scuola di Pavia nel 1803, dalla scuola di Napoli¹⁰ nel 1810 e dalla scuola di Roma¹¹ nel 1817. Intorno alla metà del secolo venivano fondate la Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Torino (1860) e l'Istituto Tecnico Superiore di Milano (1863)¹² e a seguire le scuole di Palermo (1866)¹³ e di Padova (1876)¹⁴. Nel 1877 veniva regolamentata la Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri di Bologna¹⁵, molto più tardi quella di Pisa (1913).

Il primo accademico a tenere lezioni sul nuovo materiale era, nel maggio del 1900, Camillo Guidi¹⁶, ordinario di Scienza delle costruzioni nella scuola di Torino. Le lezioni di Guidi in realtà, non potendo rientrare nel ridotto numero di ore del corso, avevano assunto il carattere di conferenze straordinarie aperte al pubblico¹⁷. In seguito il professore avrebbe confessato di aver più volte visitato i cantieri di Porcheddu¹⁸, suo "antico allievo", e che "sul principio osservavo quelle costruzioni con occhio scettico, e per quella ritrosia che ho sempre avuto di trattare dalla cattedra delle novità *troppo recenti*, passò qualche tempo prima che mi decidessi a parlarne per disteso ai miei allievi, limitandomi sul principio a darne soltanto qualche cenno"¹⁹. L'arte del costruire aveva subito d'altro canto un'evoluzione rapidissima, "non sempre liberandosi completa-

mente dai facili entusiasmi delle masse, ed anche dai capricci della moda". Era "appena trascorso qualche decennio da che tutto il favore era accordato alle costruzioni metalliche"²⁰, che però dovevano combattere continuamente con la ruggine e gli attacchi del fuoco. Nelle conferenze Guidi si rifaceva al testo di Christophe e, per i metodi di calcolo, al già citato articolo di Ritter: "narrai la genesi di queste costruzioni, parrai della natura e delle proprietà elastiche e resistenti dei materiali che le compongono, tratterai del modo di eseguirle i calcoli statici, ed illustrai con disegni [...] i vari metodi di costruzione ed una serie delle migliori opere eseguite in questo sistema"²¹. Mentre i brevetti illustrati coprivano il campionario già descritto da Christophe, le opere erano tratte esclusivamente dal repertorio di Hennebique.

Già in queste prime conferenze Guidi apportava il suo contributo originale allo studio sul materiale, visto che proprio in quegli stessi anni, assistito da Modesto Panetti²², eseguiva personalmente numerose prove di laboratorio prevalentemente su provini forniti da Porcheddu.

Nel 1906 Guidi allegava ai volumi delle sue *lezioni sulla Scienza delle Costruzioni* un'appendice dedicata esclusivamente al cemento armato²³ nella quale compariva una breve sintesi dei principali sistemi costruttivi e delle relative applicazioni, seguita da un'ampia trattazione degli aspetti statici e di calcolo. L'opera si sviluppava con una chiarezza ineguagliata: le edizioni si susseguivano e il testo diventava un punto di riferimento per i tecnici italiani²⁴. Già dal 1902 Guidi richiama l'attenzione delle autorità comunali, ed in particolare di quelle di Torino, sull'opportunità di formulare un regolamento per le costruzioni in cemento armato, alla stregua di quelli già in preparazione per alcune città europee, alla luce della particolare diffusione del materiale nella città²⁵. L'ufficio tecnico municipale formulava così un regolamento provvisorio per le costruzioni pubbliche e dava avvio ad una serie di prove sperimentali a larga scala su modelli di dimensioni paragonabili al vero, prove condotte dallo stesso Guidi²⁶.

Nel marzo del 1901 un altro professore, Silvio Canevazzi²⁷, ordinario di Meccanica delle costruzioni alla scuola di Bologna, teneva una conferenza pubblica sul cemento armato²⁸. Nel presentare scientificamente il nuovo materiale Canevazzi sosteneva che "per ora ogni teoria svolta intorno a questo argomento deve essere considerata piuttosto come un tentativo a titolo di prova che come l'esposizione di un metodo acquisito". Soprattutto auspicava la fine del segreto delle private poiché rendeva più difficile il confronto fra i vari sistemi e limitava fortemente i progressi teorici e pratici del nuovo materiale. Tanto che nella conferenza non passava in rassegna, come ormai d'abitudine, tutti i sistemi brevettati, ma li catalogava semplicemente tra quelli che prevedevano un'armatura solo inferiore e quelli che invece prevedevano un'armatura doppia. Nel 1904 Canevazzi destinava agli allievi del suo corso un testo sul "siderocemento" che proponeva una lunga trattazione teorica sui solidi eterogenei, le cui conclusioni venivano poi estese al nuovo materiale²⁹.

L'introduzione della normativa

La progressiva diffusione del cemento armato, non accompagnata da principi fisici inoppugnabili, creava preoccupazioni comprensibili alle amministrazioni pubbliche ed al mondo accademico. L'incertezza del calcolo, ma soprattutto l'imprudenza di imprenditori poco esperti e senza scrupoli che, mirando a liberarsi dai vincoli delle private, modificavano la disposizione e la quantità delle armature e speculavano sul confezionamento del calcestruzzo, spingevano i responsabili della sicurezza pubblica a misure cautelative. I numerosi crolli di manufatti di cemento armato in costruzione contribuivano non poco al rafforzarsi della convinzione della necessità di un regolamento.

Nelle riviste tecniche in realtà i disastri edilizi non trovavano molto spazio: ufficialmente per non influenzare le istruttorie giudiziarie, ma in realtà per la difficoltà di giustificarsi senza compromettere la fiducia degli operatori nel nuovo materiale. Nelle riviste di più larga diffusione invece le notizie erano ben documentate, da immagini drammatiche e da dettagliati resoconti sul numero delle vittime, incidendo profondamente sull'opinione pubblica.

Il già citato crollo della passerella pedonale costruita col sistema Mাত্রai all'Esposizione Universale di Parigi segnava anche il crollo commerciale di questo brevetto, sebbene lo stesso Mাত্রai firmasse numerosi articoli sulla stampa tecnica tentando di ripristinare la fiducia nel suo metodo e attribuendo il crollo alla cattiva esecuzione. Il 28 agosto del 1901 crollava a Basilea un albergo di cinque piani in costruzione: a prima vista per un problema di inadeguatezza delle impalcature ma, come poi dimostravano gli accertamenti giudiziari condotti con l'autorevole consulenza di Ritter, anche a causa di un sottodimensionamento dei pilastri del primo piano, dell'impiego di cemento di pessima qualità e di un disarmo irrazionale³⁰. Nel gennaio del 1903 crollava in Italia un ponte in costruzione a Luino: le perizie ufficiali sulle cause del crollo attribuivano l'incidente al cedimento della centina lignea che aveva provocato la fessurazione dell'intradosso dell'arcata. L'assistente di cantiere aveva preferito rinziare le lesioni piuttosto che demolire cautelativamente l'opera, senza rendersi conto che la stabilità del ponte era ormai compromessa. Inoltre le armature della soletta di impalcato non erano sufficientemente lunghe da raggiungere gli appoggi e non erano state adottate staffe³¹. Le contropertizie invece sostenevano che il crollo del ponte, ben calcolato ed eseguito con materiali di qualità, poteva ricondursi ad un affrettato disarmo³². Anche nel caso di un edificio crollato a Santiago del Cile nell'ottobre del 1904, in costruzione con il sistema Cottancin, la ragione dell'incidente era da ricercarsi nella cattiva esecuzione, determinata in questo caso non da finalità speculative ma dall'ignoranza dei principi statici su cui era basato il sistema³³. A successive definitive prese di posizione in favore di prescrizioni normative sopraggiungeva nell'aprile del 1905 il crollo - durante l'innalzamento - della copertura di un sebaio a Madrid, che determinava 30 morti e 28 feriti gravi tra gli operai³⁴. La causa della tragedia si individuava nell'eccessiva snellezza dei 4000 pilastri che sostenevano la copertura: alti 8 metri, avevano una sezione ridotta e

nessun collegamento fra di loro. A questa si aggiungevano le forti variazioni termiche subite dall'opera, che avevano indotto deformazioni considerevoli non previste. Sulle riviste tecniche cominciavano a comparire le prime immagini dei disastri, usate come strumento per promuovere l'azione regolamentatrice, visto che, tra l'altro, nessuno dei responsabili delle tragedie era mai ritenuto colpevole, sia per la difficoltà di dimostrare le cause dei crolli, sia per la mancanza di una legge cui fare riferimento.

Le prime proposte italiane di regolamentazione alle costruzioni in cemento armato venivano sostenute, come abbiamo visto, dall'amministrazione comunale di Torino e portavano la firma di Guidi. Anche Canevazzi si faceva promotore nel 1904 di un regolamento per le province di Ferrara e Ravenna, a testimonianza che il problema era ormai fortemente sentito in Italia come all'estero.

Nelle prescrizioni adottate dalla città di Torino³⁵, valide solo per le opere pubbliche, uno degli aspetti più interessanti riguardava l'obbligo da parte dell'ingegnere progettista di consegnare, firmato, il progetto esecutivo delle opere da realizzarsi dal quale risultassero dimensioni e disposizioni delle armature, qualità dei materiali, dosaggi, tempi di disarmo ecc. La responsabilità della costruzione veniva però condivisa dal progettista e dall'esecutore, che doveva presentare un certificato di idoneità attestante, indipendentemente da qualunque brevetto di privativa, la perizia e la pratica nell'esecuzione di lavori in cemento armato. Il regolamento proseguiva con prescrizioni sui materiali (cemento, sabbia, ghiaia, ferro e relative prove di carico su campioni) e sulle modalità esecutive (riprese del getto, tempi di disarmo, anche in condizioni di gelo, giunti di dilatazione) mentre molto più vago rimaneva il campo dei calcoli di stabilità, che l'ingegnere responsabile doveva solo dichiarare di aver eseguito. I calcoli si sarebbero dovuti eseguire con le non meglio specificate "formule adottate dal Municipio". Si imponeva comunque di non tenere conto della resistenza alla trazione e al taglio del calcestruzzo e si fissava pari a 5 il coefficiente di sicurezza in rapporto alla tensione di rottura per schiacciamento; per il ferro veniva imposto il valore massimo di 1000 kg/cmq per la trazione.

Le prescrizioni adottate dalle province di Ferrara e Ravenna, analoghe o identiche a quelle di Torino, approfondivano il problema dei calcoli di stabilità: si fissava pari a 10 il valore di m , rapporto fra i moduli di elasticità del ferro e del calcestruzzo, e si imponeva quella che Canevazzi chiamava la "teoria limite superiore" ovvero un metodo di calcolo analogo a quello pubblicato sul manuale di Christophe³⁶. Veniva inoltre fissato pari a 30 kg/cmq il valore di riferimento per la tensione ammissibile di compressione del calcestruzzo³⁷.

Un ruolo fondamentale nell'elaborazione di una normativa nazionale veniva assunto dall'Associazione italiana per gli studi sui materiali da costruzione³⁸, fondata nel 1903 da Jacopo Benetti, direttore della Scuola di Appli-

cazione per gli Ingegneri di Bologna³⁹. Nella riunione tenutasi a Pisa nel 1905 si decideva di affidare ad una commissione, composta fra gli altri da Canevazzi, Guidi e Muggia, lo studio di prescrizioni per l'esecuzione delle opere in cemento armato⁴⁰, le cui proposte venivano approvate durante la riunione di Perugia del 1906, sollevando negli ambienti tecnici più di una contestazione. Le polemiche, scatenate da Achille Manfredini⁴¹, direttore del «Monitore Tecnico», nascevano dalla considerazione che gli altri sistemi costruttivi non erano mai stati oggetto di speciali normative. Sembrava incredibile che si volesse ancora considerare la combinazione intima del ferro e del cemento come "un qualche cosa di misterioso o di soprannaturale, che richieda l'intervento di una codificazione speciale [...] quando nessuno ha mai pensato a far determinare da un regolamento o da una legge speciale i termini ammissibili del lavoro unitario dei ferri trafilati nelle costruzioni di volte e poutrelles, o dei ferri in genere nelle costruzioni metalliche; quando nessuno ha mai pensato di stabilire per regolamento sino a quali limiti si possa spingere il lavoro di compressione dei mattoni nelle opere di muratura o quali debbano essere le modalità costruttive o i termini di disarmo per le volte in laterizio"⁴². Il rischio inoltre era che l'adozione di un regolamento annullasse tutte le responsabilità personali inerenti la pratica professionale: "l'ingegnere sarebbe sempre irresponsabile: unico responsabile sarebbe il regolamento". Giulio Revere era invece contrario al regolamento proprio perché riconosceva una differenza importante fra il cemento armato e gli altri sistemi costruttivi: "Noi essendo per la scienza delle costruzioni i limiti ammissibili per lavoro unitario dei due materiali ferro e cemento, allo stato attuale delle nostre nozioni teoriche, non è esatto che i sistemi di calcolo sieno basati su leggi note della statica, su principi scientifici inoppugnabili [...]. Per le opere in cemento armato, anche avendo fissati i carichi di sicurezza del metallo e del cemento, parecchie sono le vie che sono state escogitate per giungere alla determinazione delle dimensioni della struttura, e non è da credere che esse conducano a risultati leggermente diversi; vi possono essere notevoli differenze, né un sistema di calcolo deve ritenersi più o meno scientifico, più o meno empirico dell'altro. Sono tutti a nostro parere empirici, e se qualche metodo ha avuto la sanzione di studiosi eminenti ed è stato dichiarato il preferibile da qualche associazione italiana ed estera, gli è forse per la sua semplicità, per la sua chiarezza didattica, per l'uniformità che ha coi calcoli comuni della Scienza delle costruzioni come è avvenuto del calcolo indicato dal Christophe [...]. Ma non è da crederci che esso abbia una veste scientifica speciale, tanto che l'Hennebique usa forme e calcoli differenti, e così pure altri non meno valenti costruttori [...]. Siamo del parere che anche nelle opere delle amministrazioni pubbliche si potrà disciplinare tutto quello che si vuole, ma non il sistema di calcolo delle strutture in cemento armato"⁴³. Lo stesso Revere avrà occasione di sostenere più tardi di non essersi mai trovato di fronte a casi di crollo per colpa di calcoli mal fatti⁴⁴.

Nel clima di incertezza e discordanza ci si domandava soprattutto quali

fossero i tipi di calcolo da ritenere validi ed eventualmente da allegare ai progetti. E soprattutto se si potesse "respingere un calcolo fatto sul tipo Hennebique": infatti il modo in cui "fa i calcoli Hennebique è logico e razionale, almeno nei limiti delle costruzioni ordinarie, perché ci dà costantemente tanti lavori ardit ed importanti"⁴⁵. Il dibattito fra le due correnti, quella che auspicava l'avvento della codificazione al fine di controllare gli imprenditori senza scrupoli e l'altra che paventava l'invasione di ingegneri improvvisati che, senza comprendere i fenomeni statici alla base delle norme, avrebbero potuto calcolare e realizzare nel pieno rispetto della legge, veniva taciato nel gennaio del 1907 dall'adozione delle prescrizioni suggerite dall'Associazione per gli studi sui materiali da parte del Ministero dei Lavori Pubblici⁴⁶.

La normativa adottata consisteva in una sintesi dei regolamenti torinesi e emiliano-romagnolo e riguardava solamente l'esecuzione delle opere pubbliche. Imponeva che ogni opera in cemento armato dovesse essere costruita in base ad un progetto esecutivo, completo dei calcoli statici, firmato da un ingegnere. In merito al tipo di calcoli, essi dovevano seguire la teoria ordinaria della scienza delle costruzioni per quanto riguardava la determinazione delle sollecitazioni. Nel caso di sistemi iperstatici, allo scopo di calcolare le reazioni vincolari, gli enti geometrici delle sezioni trasversali venivano stabiliti supponendo che il modulo di elasticità del ferro fosse pari a 10 volte quello del conglomerato. Per le tensioni interne dovute alla flessione, prescindendo dalla resistenza a trazione del conglomerato, l'asse neutro e la distribuzione delle tensioni erano determinate in base al principio di conservazione delle sezioni piane. Non era obbligatorio - il che evidentemente diminuiva l'efficacia della norma - che questi calcoli venissero consegnati e controllati dall'amministrazione pubblica.

Le prescrizioni riguardavano invece con più dettaglio la qualità dei materiali e le modalità esecutive: venivano per esempio imposte norme rigide sul confezionamento degli impasti, sui casseri per il getto, sui tempi del disarmo. In particolare l'art. 12 quando prescriveva che "il conglomerato verrà messo in opera, subito dopo eseguito l'impasto, a strati di piccola altezza, ben battuti con pestelli di appropriata forma e peso, fino a che l'acqua affiori in superficie", fa capire che il getto veniva confezionato con la consistenza di "terra bagnata". Per le armature si doveva impiegare ferro colato od omogeneo, ma era ammesso anche ferro agglomerato o saldato.

Nessuna opera di cemento armato poteva entrare in servizio prima del collaudo, regolamentato relativamente ai tempi e ai modi di esecuzione, ai carichi da applicare e alle deformazioni ammissibili.

Aspetto rilevante era infine l'assenza di ogni riferimento ai brevetti: alle ditte costruttrici veniva richiesta una specifica idoneità, dimostrabile con realizzazioni condotte a buon termine, ma non era loro richiesto di operare secondo i criteri di una specifica privata, bensì di attenersi alle norme costruttive proposte e alle regole del "buon costruire". Il cemento armato perdeva ufficialmente il carattere di "invenzione" per divenire un materiale da costruzione ordinario, così come la muratura, il ferro o il legno.



Fig. 41 - Le rovine dell'edificio dell'Unione Cooperativa di Milano, progettato da Ulisse Stacchini e realizzato dalla Società Italiana Costruzioni e Cementi Armati, ex Fratelli Vendering, Leonardi e C. (1908)

Il problema di una normativa specifica per i cementi armati era già stato affrontato ampiamente anche dagli altri Paesi europei⁴⁷. Si notavano però due opposte tendenze: una che mirava a disciplinare rigidamente, anche con misure di polizia, l'opera dei progettisti e dei costruttori e l'altra, più tollerante, che concedeva ampia libertà di sperimentazione, limitando la supervisione dell'autorità.

Interprete del primo orientamento si faceva la Germania che, nel 1907, dopo una prima versione provvisoria del 1904, emanava un regolamento molto severo. Il controllo attento delle autorità riguardava sia la fase progettuale che il cantiere. I calcoli statici dovevano seguire il metodo incluso nella normativa stessa⁴⁸. Di tutt'altro genere le *instructions* emanate dalla Francia nell'ottobre del 1906⁴⁹. In queste si fissavano solo principi fondamentali, lasciando però totale libertà su molti punti e in particolare sulla scelta del metodo di calcolo. L'obiettivo era quello di non ostacolare il progresso tecnico del cemento armato specialmente riguardo le problematiche non ancora chiarite teoricamente. Anche la Svizzera, nel 1903, aveva proposto un regolamento provvisorio, sostituito nel 1909, che prevedeva tensioni ammissibili per i materiali fra le più alte d'Europa⁵⁰. Se ne gioverà, con eccellenti risultati, Robert Maillart.

La normativa italiana si inseriva in questo panorama con un atteggiamento intermedio. Viste le polemiche, non si osavano imporre regole di calcolo che rischiavano di rivelarsi inadeguate di lì a poco, ma contemporaneamente non si azzardavano riduzioni degli alti coefficienti di sicurezza, dati i pochi controlli sulla produzione del ferro e del cemento. Rigide erano inoltre le prescrizioni esecutive, al fine di cautelarsi almeno dalla speculazione e dall'ignoranza dei costruttori.

Le norme sull'esecuzione delle opere in cemento armato del 1907 rimanevano in vigore per più di quindici anni e solo nell'aprile del 1922 ne verranno proposte di nuove, convertite in legge nel 1925.

Nonostante la normativa, nuovi crolli rimettevano in dubbio la sicurezza delle strutture in cemento armato e mostravano l'intrinseca immaturità della nuova tecnica. Nell'aprile del 1908, dopo alcuni dissasti in Germania e in Francia⁵¹, crollava l'edificio dell'Unione Cooperativa in via Meravigli a Milano, progettato dall'architetto Ulisse Stacchini e realizzato secondo il brevetto Leonard dalla Società Italiana Costruzioni e Cementi Armati, ex Fratelli Vender, ing. Leonard e C. Il crollo avveniva nel corso di una prova di carico sul solaio dell'ultimo piano, fatta eseguire durante la costruzione da Stacchini, preoccupato per alcune fessure manifestatesi sullo stesso solaio. Il cedimento improvviso dell'impalcato trascinava con sé i piani sottostanti, causando la morte di una dozzina di operai e dello stesso proprietario della società, Carlo Vender⁵². L'impatto sull'opinione pubblica era forte: "molti progetti in istudio per nuovi edifici in cemento vennero sospesi e trasformati in costruzioni secondo il vecchio sistema, costruzioni in corso

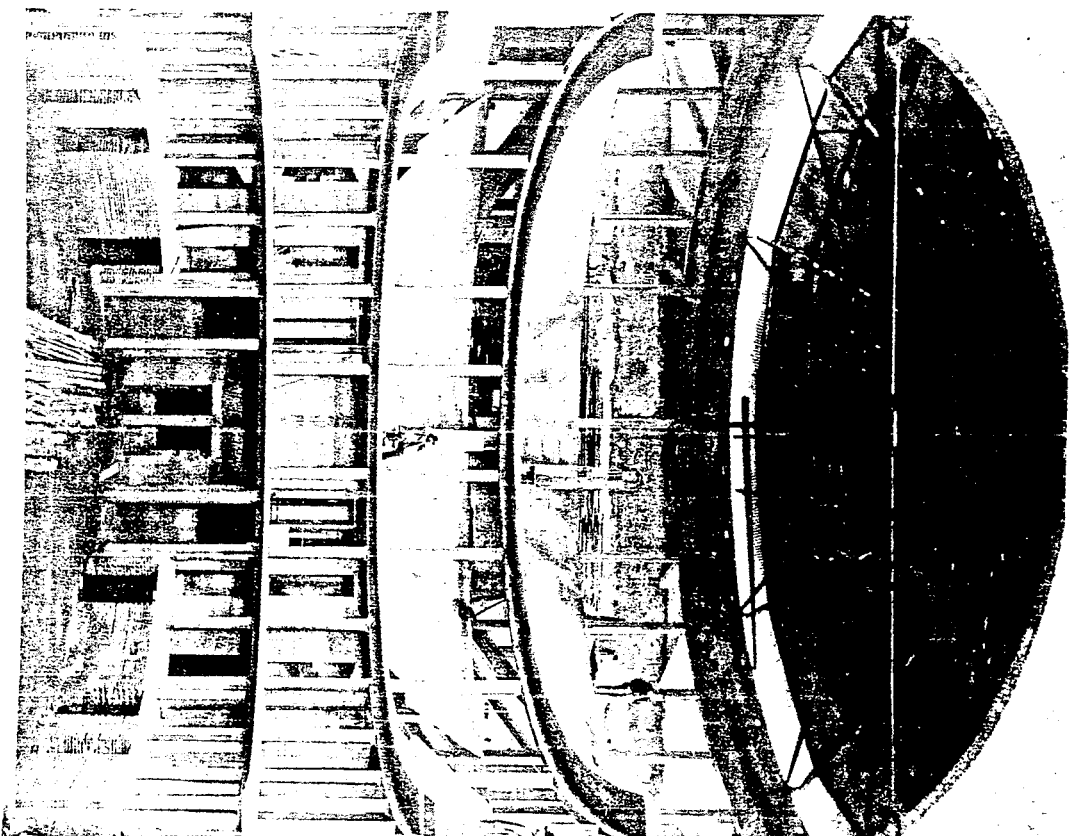


Fig. 42 - La struttura in cemento armato del Teatro Sociale di Rovigo eseguita dall'impresa Porcheddu su progetto di Daniele Donghi (1902-1904)

sospese, costruzioni appena ultimate sottoposte ad un supplemento di collaudo⁵³.

Ma il clima di sfiducia durava poco e le cause delle catastrofi venivano rapidamente ricondotte all'uso di materiali scadenti e all'inesperienza delle ditte esecutrici. L'interesse nei confronti di questi incidenti era ormai cambiato: si moltiplicavano infatti gli articoli delle riviste tecniche⁵⁴ che, descrivendo l'accaduto, mettevano in luce come si sarebbe dovuto operare per evitare il crollo. L'occasione di un imprevisto comportamento della struttura diventava dunque un momento di studio, di approfondimento delle caratteristiche del materiale e di messa a punto delle tecniche esecutive. Non si temeva più che un crollo potesse compromettere la diffusione del cemento armato.

Lo sviluppo delle applicazioni

Mentre imperversava il dibattito sull'opportunità di una normativa e sui suoi limiti, il mondo delle costruzioni non era certo rimasto in attesa. I primi anni del secolo costituivano al contrario gli anni 'eroici' del cemento armato: i brevetti si moltiplicavano e le imprese ne sperimentavano sul campo le qualità. Dalla documentazione bibliografica emerge un quadro eccezionalmente dinamico, che coinvolge l'intera penisola in una gara avvincente di giovani ditte, di imprese riconvertite e di fantasiosi brevetti.

In questo variegato panorama emerge prepotentemente la Soc. G.A. Porcheddu di Torino, agente generale Hennebique per l'Alta Italia dal 1896. Porcheddu realizzava - in particolare a Torino e a Genova, ma diffusamente anche nel resto del Piemonte e della Liguria, in Lombardia, in Veneto - innumerevoli edifici a struttura in cemento armato: stabilimenti industriali, scuole, ospedali, mercati, uffici e case⁵⁵.

Ma soprattutto, intraprendente e sicura del proprio brevetto, la società segnava sul territorio italiano una ricca serie di primati: la casa di Genova detta "dei Giganti" del 1896 era riconosciuta come la prima casa di abitazione avente tutti i solai in cemento armato, compresa la copertura; la semoleiera genovese del 1899 il primo edificio industriale a molti piani ad ossatura interamente in cemento armato; il mercato orientale di Genova, sempre del 1899, la prima opera pubblica ad ossatura completa nel nuovo materiale. Ed ancora: nel 1902 il primo ponte ad arco interamente in cemento armato, quello sulla Borinida a Millesimo; nel 1903 il primo teatro, quello sociale di Rovigo; nel 1906 la prima copertura a capriate di grande luce, nella centrale elettrica del Martinetto a Torino; nel 1911 il primo stadio, a Torino, ed anche le prime case d'abitazione con ossatura completa in cemento armato, a Genova⁵⁶.

Se è certo che l'impresa Porcheddu rispecchiava per organizzazione ed efficienza la casa madre francese e che il brevetto Hennebique superava per semplicità esecutiva e per economia qualunque avversario, è altrettanto vero che, all'inizio del secolo, operavano in Italia molte altre ditte. Purtroppo sul-

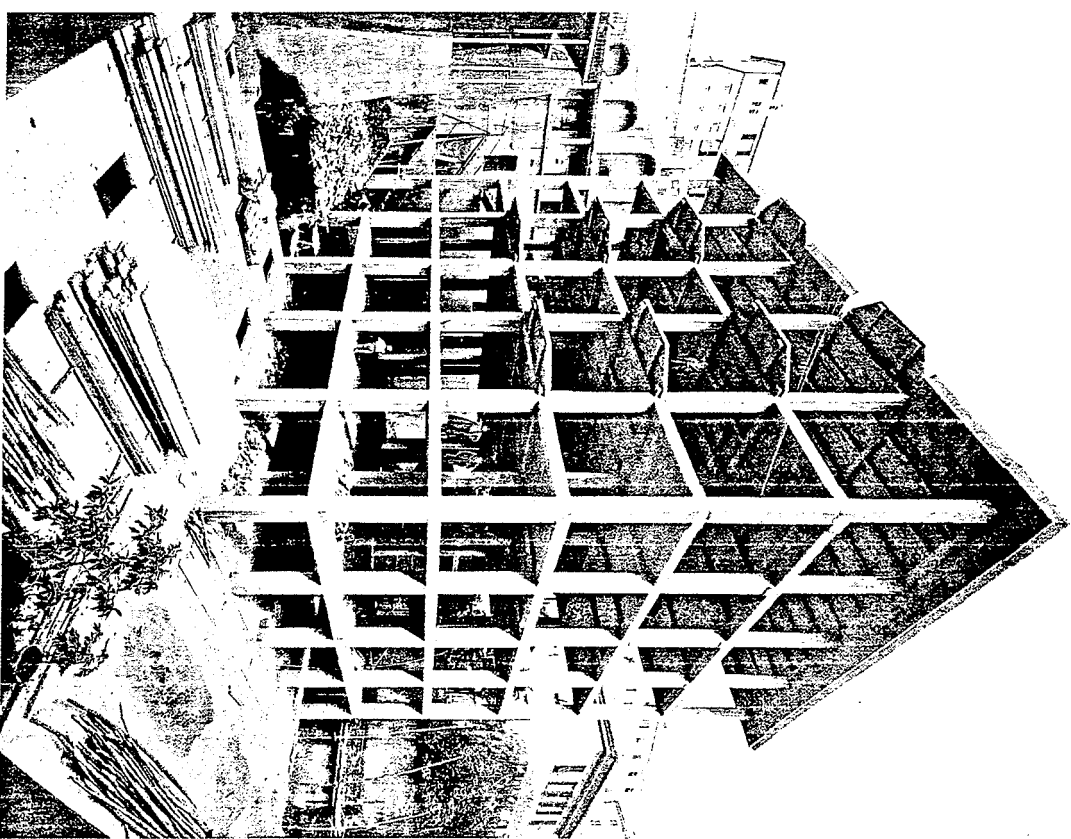


Fig. 43 - La prima casa d'abitazione con ossatura completa in cemento armato, eseguita dall'impresa Porcheddu a Genova nel 1906

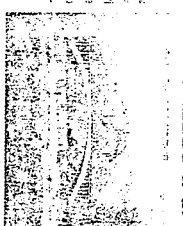
la loro produzione si può avere per il momento solo un quadro frammentario. Se infatti della Porcheddu esiste un archivio ben conservato e approfonditamente analizzato, molto poco si conosce di altre imprese che pure padroneggiavano la tecnica e accumulavano esperienza eseguendo numerose applicazioni.

Tutti i concessionari Hennebique distribuiti sul territorio italiano lavoravano in regime di forte concorrenza, soprattutto nel settore delle opere pubbliche. Per citare qualche esempio, un'altra impresa torinese, la V. Visetti & figli, costruiva a Genova e Milano case popolari "con struttura completa o parziale di smalto cementizio armato" negli stessi anni in cui Porcheddu realizzava nelle stesse città edifici analoghi. La Visetti eseguiva a Roma il nuovo Stadio Nazionale⁵⁷, inaugurato poche settimane dopo quello torinese realizzato da Porcheddu. E ancora: nel 1906 l'incarico di un ponte in cemento armato sul Polcevera, a Cornigliano, veniva affidato alla Soc. An. Cementi Armati di Genova che, proponendo il sistema Melan, batteva in gara il concorrente Porcheddu⁵⁸. Il concessionario Hennebique della zona di Bologna, Attilio Muggia, pur con importanti realizzazioni all'attivo⁵⁹, si vedeva battuto in una gara di appalto per la realizzazione di alcuni ponti in provincia di Ravenna dalla ditta G. Marchello, che proponeva il sistema Walsér-Gerard, preferito anche al sistema Melan proposto dalla ditta Odorico⁶⁰.

È opportuno dunque delineare una panoramica sulle imprese specializzate in cemento armato che operavano in Italia nei primi anni del secolo, basandosi su episcodici dati bibliografici. E questa non può che cominciare da Milano, la città più ricca di opere, ma anche di riviste tecniche pronte a pubblicizzare le costruzioni realizzate con la nuova tecnica⁶¹. La rassegna, evidentemente incompleta, annovera: la già citata società Fratelli Vender, ing. Leonardi e C., proprietaria del brevetto Leonardi-Leale, che già dal 1908, subito prima del crollo di via Metavigli, cambiava denominazione prendendo quella di Società Italiana Costruzioni e Cementi Armati⁶²; la ditta Bianchi, Steiner & C., detentrici di una lunga serie di brevetti originali⁶³; la già citata ditta dell'ingegnere Castiglioni, concessionaria del brevetto Luipold e di brevetti propri⁶⁴; la ditta Böllinger, che deteneva i diritti sul brevetto Baroni-Lüling⁶⁵; infine la ditta Bonomi⁶⁶ e la Soc. It. Chini⁶⁷. A Milano risiedeva anche la già citata ditta Odorico che nel 1904 realizzava, fra l'altro, un importante ponte ad arco che verrà considerato a lungo come una delle più ardite opere del periodo: il ponte sul Tagliamento allo stretto di Pinzano presso Udine, progettato da Giuseppe Vaccchelli⁶⁸. Sempre la Odorico costruiva a Tunisi intorno al 1906, alcuni fabbricati per silos da grano interamente in cemento armato. La vicenda di questi edifici è singolare: Vaccchelli racconta che il terreno sul quale erano stati fondati, essendo di riporto e su strati fangosi, non presentava una resistenza sufficiente a sostenere il peso delle costruzioni, tanto da innescare per due di esse, poco dopo la realizzazione, un cedimento differenziale che dava origine ad un fuori piombo di circa $1/4$ dell'altezza. Poiché però la platea di fondazione e

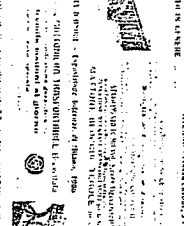
Costruzioni in Beton e Cemento Armato
Rappresentato da **MARCHESINELLO & C. - Bologna**

Progetti per:
Ponti, case, fabbricati industriali, ecc.
Offerta in ogni
Città e in Italia
e per l'estero
V. S. S. S. S.



ITALI VENDER
ING. LEONARDI & C.
MILANO - CORNICIANO 10

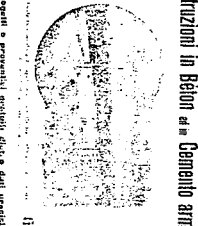
Progetti per:
Ponti, case, fabbricati industriali, ecc.
Offerta in ogni
Città e in Italia
e per l'estero
V. S. S. S. S.



ODORICO & C.
MILANO

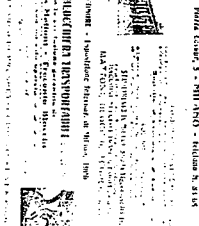
Impresa Costruzioni in Beton e Cemento armato (presso)

Progetti per:
Ponti, case, fabbricati industriali, ecc.
Offerta in ogni
Città e in Italia
e per l'estero
V. S. S. S. S.



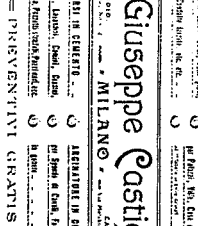
SOCIETÀ ITALIANA COSTRUZIONI E CEMENTI ARMATI
MILANO - CORNICIANO 10

Progetti per:
Ponti, case, fabbricati industriali, ecc.
Offerta in ogni
Città e in Italia
e per l'estero
V. S. S. S. S.



Ing. Giuseppe Castiglioni
MILANO

Progetti per:
Ponti, case, fabbricati industriali, ecc.
Offerta in ogni
Città e in Italia
e per l'estero
V. S. S. S. S.



PROF. G. CHINI
GENOVA

Progetti per:
Ponti, case, fabbricati industriali, ecc.
Offerta in ogni
Città e in Italia
e per l'estero
V. S. S. S. S.

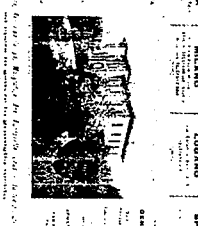


Fig. 44 - Pubblicità di ditte specializzate in costruzioni di cemento armato apparse su riviste tecniche nei primi anni del secolo



Fig. 45 - Il ponte sul Tagliamento allo stretto di Pinzano (Udine), realizzato dalla ditta Odorico su progetto di G. Vacchetti (1904)

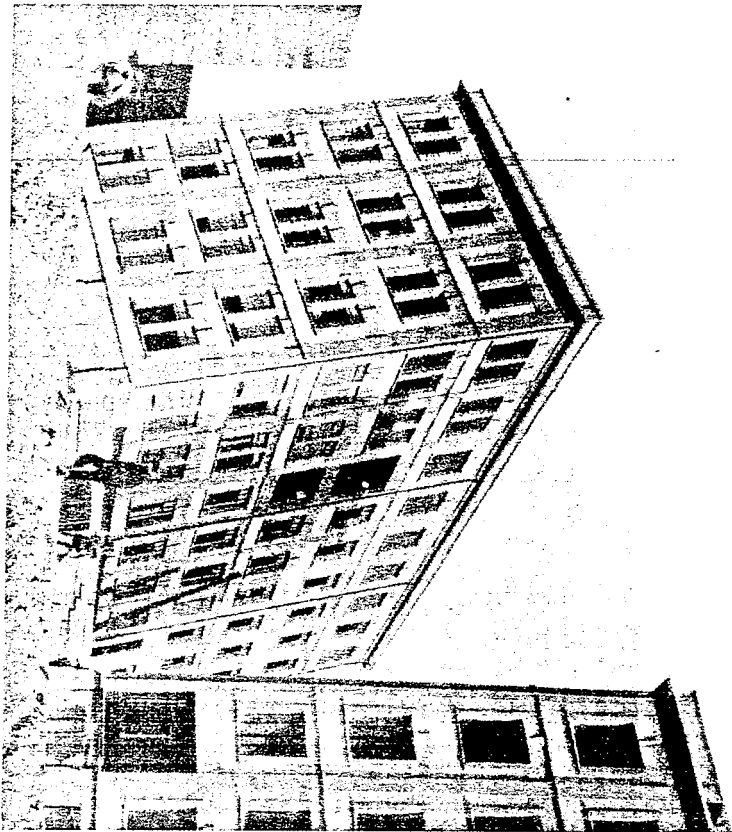


Fig. 46 - Silos granai a Tunisi, realizzati dalla ditta Odorico, inclinati per un cedimento delle fondazioni (1906)

la struttura in elevazione costituivano un insieme perfettamente rigido, non si determinava nessuna lesione. Lo scavo di pozzi dalla parte opposta a quella verso la quale i silos si erano inclinati, consentiva di raddrizzare gli edifici che, anche se risultavano più affondati nel terreno, potevano continuare a svolgere regolarmente il loro compito⁶⁹. Hennebique sfruttava per scopi commerciali le traversie degli edifici: ne diffonderà infatti l'immagine, esaltando però il comportamento monolitico dei due fabbricati.

A Bologna lavorava intensamente l'impresa Marchello che, tra le altre opere, realizzava intorno al 1904 il ponte sul fiume Reno all'Alberino, le cui prove di carico venivano condotte da Canevazzi⁷⁰.

A Roma il Genio poteva contare sui brevetti e sulle ricerche teoriche del generale Crescentino Caviglia⁷¹, figura determinante per l'affermazione del cemento armato nelle costruzioni militari. Un ruolo di primo piano nel panorama romano era quello della ditta Gabellini che metteva a punto in questi anni il suo sistema di cemento armato retinato, estendendone l'uso dalle opere idrauliche⁷² alle costruzioni civili. Intorno al 1902 realizzava a Roma, in piazza Alessandria, due grandi tettoie ed una veranda per le società Fabbrica del Ghiaccio e ditta F. Peroni. Le tettoie, una della portata di 8 metri e l'altra di 13 metri, progettate da Italo Chiera, erano di una leggerezza tale che "si sarebbero dette di ferro": le capriate, con poca monta, erano composte di esili membrature di cemento retinato. Anche i pilastri e le travi reticolari della veranda erano di cemento armato retinato ma prefabbricati nello stabilimento della Gabellini: solo i solai erano gettati in opera⁷³. Nel 1904 la ditta aggiungeva ai suoi già importanti brevetti una nuova invenzione per la formazione di solai alleggeriti a camera d'aria, realizzati accostando una serie di tavelloni a sezione trapezoidale con pareti di cemento retinato, confezionati a piè d'opera e collegati in opera da un getto. Nello stesso anno i tavelloni venivano adottati per realizzare i solai dell'albergo Excelsior a Roma⁷⁴.

La normativa del 1907, imponendo alle imprese costruttrici di documentare i lavori portati a termine con successo, favoriva le imprese già consolidate e portava alla nascita di associazioni di ditte che potevano in questo modo cumulare i loro curricula. Nello stesso anno, ad esempio, la Società Odorico e C. di Milano, l'impresa Domenico Vitali di Roma e la Società Generale Immobiliare contribuivano alla fondazione della Società Anonima Romana Cemento Armato che ambiva ad acquisire il primato delle costruzioni nel nuovo materiale sul territorio romano. Vacchetti, che con la Odorico aveva lungamente collaborato e che della Immobiliare era divenuto direttore generale nel 1905, aveva fortemente voluto questa nuova impresa e ne rimaneva presidente fino alla morte. Fra le molte opere eseguite a Roma ricordiamo, nel 1908, i solai per il Palazzo delle Esposizioni di Belle Arti e, nel 1913, il silos costruito per la società Pantanello⁷⁵.

Nell'aprile del 1908 veniva fondata a Genova, come filiale italiana della Wayss & Freytag, la Società Anonima Italiana Ferrobeton (sistema Ways &

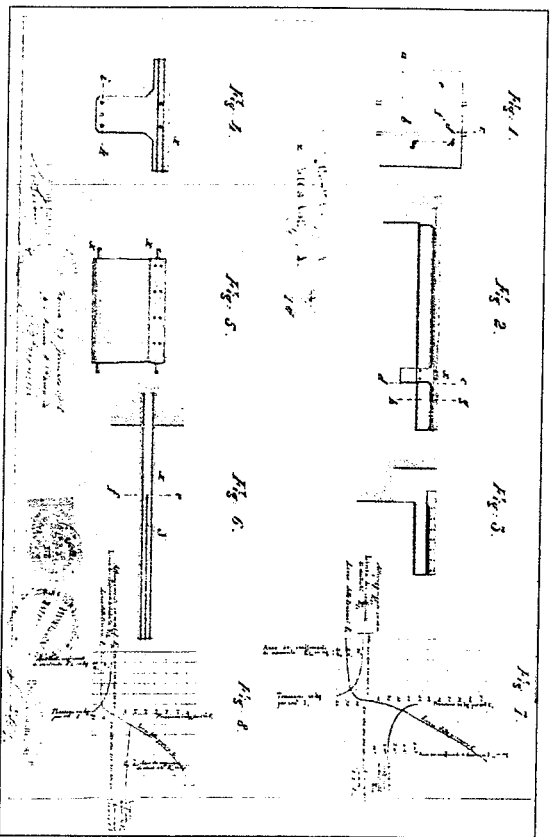


Fig. 47 - Brevetto n. 62457, C. Caviglia, Roma, Nuovo sistema di composizione di cemento armato per solai e per travi, 31 marzo 1902

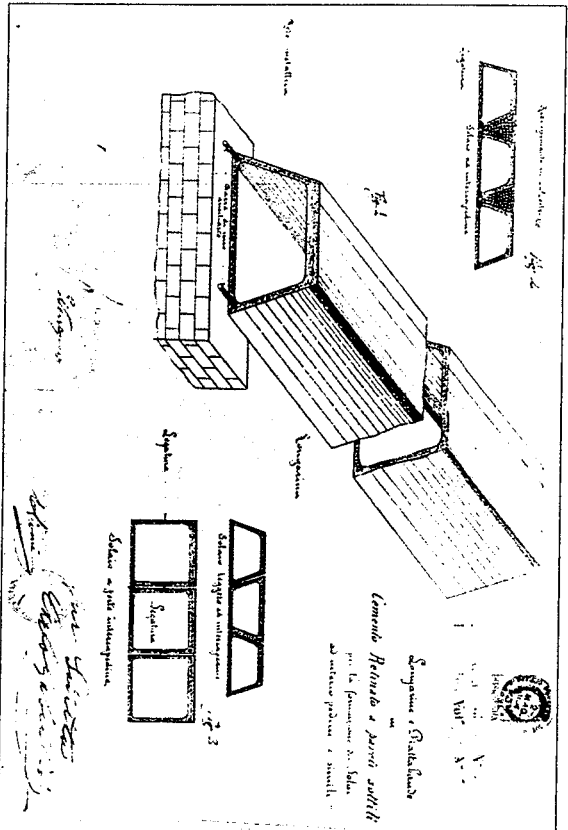


Fig. 48 - Brevetto n. 71987, Stabimento Gabbellini di C. Gabbellini & C., Roma, Longarine e piattabande in c. a. a pareti sottili per la formazione di solai ad intercapedine e simili, 2 maggio 1904

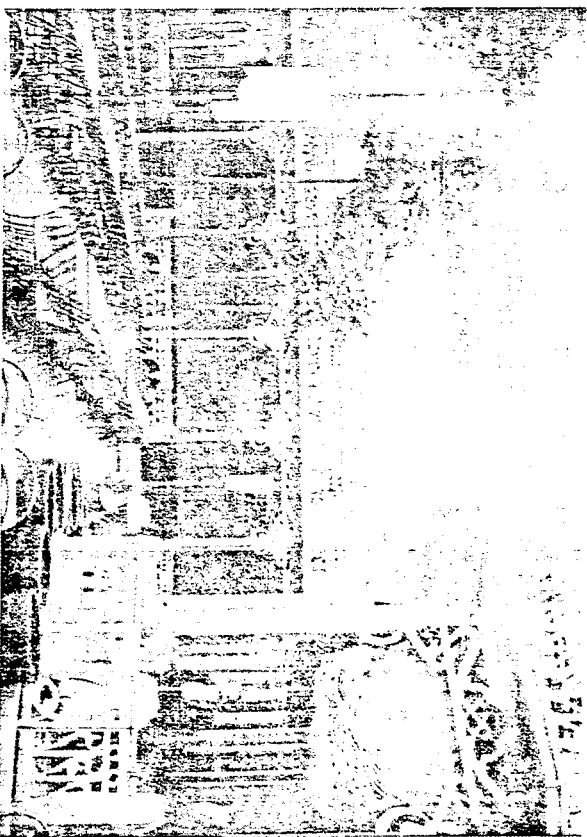
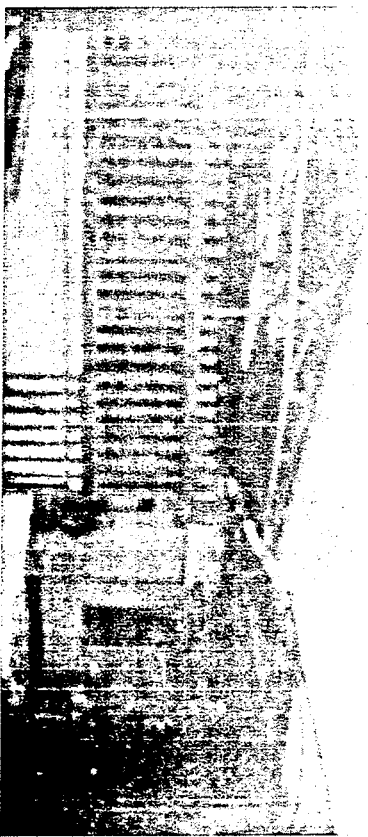


Fig. 49 - Una delle tettoie e la veranda in cemento armato retinato realizzate dalla ditta C. Gabbellini per le Società Fabbrica del Ghiaccio e ditta F. Peroni a Roma (1901-1903)

Freytag), che nel giro di qualche anno si imponeva sul mercato nazionale, forte del bagaglio di esperienze della ditta tedesca e di un brevetto Monier ormai perfezionato. La Ferrobeton, prima per opere di fondazione ed idrauliche, poi per tutti i tipi di costruzione, diveniva il più ostico avversario della Porcheddu, soprattutto nel campo dei grandi appalti pubblici⁷⁶. La ditta, seguendo la politica della casa madre, oltre a presentare una ricca serie di primitive per il perfezionamento dei suoi sistemi, acquisiva i diritti anche di altri brevetti, in particolare quello dei pali Simplex⁷⁷. Ma il brevetto più rilevante su cui la ditta metteva le mani, dopo che la Weyss & Freytag ne aveva acquistato i diritti in Germania, era quello di Armand Considère relativo al *béton fretté*, tradotto in italiano "beton fasciato"⁷⁸. Il sistema prevedeva l'adozione di staffe avvolte a spirale; il cemento, dopo la presa, risultava fasciato dalle armature e vedeva notevolmente migliorata le sue caratteristiche di resistenza⁷⁹. La Ferrobeton negli anni saprà trarre notevole vantaggio dal brevetto, soprattutto impiegato in pilastri fortemente sollecitati o nei pali di fondazione. La cerchiatura trovava una felice applicazione nell'edilizia antisismica, per la grande elasticità manifestata dai pilastri cerchiati rispetto a quelli di cemento armato ordinario⁸⁰. L'elenco completo delle opere della Ferrobeton è smisurato: sarebbe sufficiente una rassegna delle riviste dell'epoca, in particolare del primo dopoguerra, per comprendere come la società sia stata determinante nell'affermazione del cemento armato nel panorama costruttivo italiano.

La fine dei monopoli e le sperimentazioni sul solco laterocementizio

Con la sistematizzazione della materia, con la normativa che non attribuiva più alcun ruolo ai brevetti, con il dilagare delle realizzazioni e della loro pubblicazione sulle riviste cambiava il contenuto delle private: nella fase pionieristica le invenzioni avevano riguardato il marchingegno armatura-calcestruzzo, di cui non si conosceva ancora precisamente il funzionamento; adesso, codificati i tipi "normali" di cemento armato, la sperimentazione si spostava da una parte sulle grandi strutture e dall'altra sul singolo elemento costruttivo, ed in particolare sul solco, che diveniva oggetto di importanti perfezionamenti, ovviamente brevettati. Due le linee sperimentali per semplificare e rendere più economica la realizzazione dei solai, conquista ormai consolidata del cemento armato: da un lato le soluzioni che prevedevano un ordito di travi da realizzare in officina ed affiancare in sito, prime vere tecniche di prefabbricazione nell'edilizia; dall'altro le solette miste, alleggerite, in particolare laterocementizie, da questo periodo oggetto in Italia di continue ricerche e che avrebbero assunto negli anni un dominio incontrastato.

Le solette nervate, per quanto più leggere ed economiche delle iniziali piastre massicce, non costituivano ancora una soluzione ottimale: le sagome in-

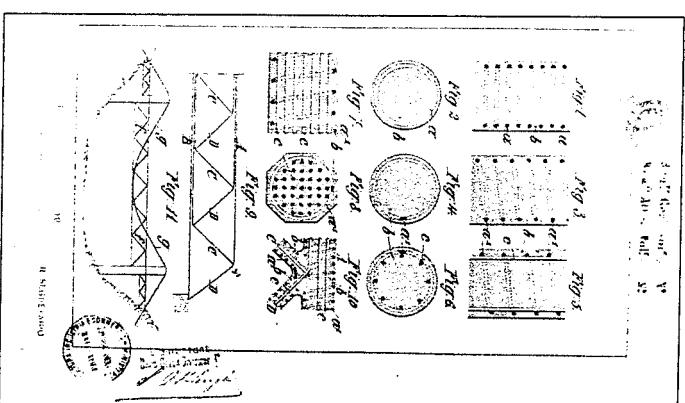


Fig. 50 - Brevetto n. 63915, A.G. Considère, Parigi, *Perfectionnements dans les constructions en béton armé*, 6 giugno 1902

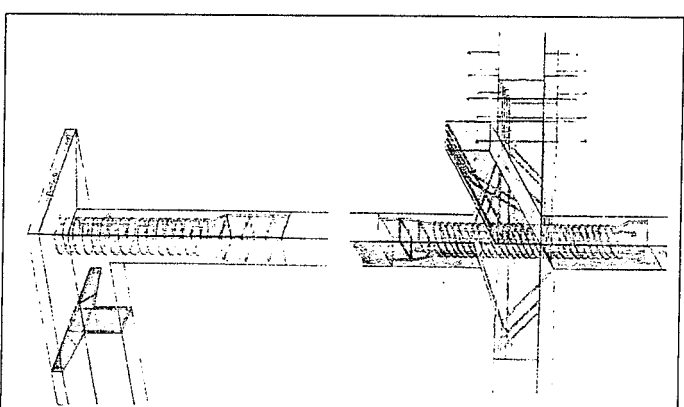


Fig. 51 - Dettagli esecutivi per l'applicazione del *béton fretté*, studiati dalla Weyss & Freytag

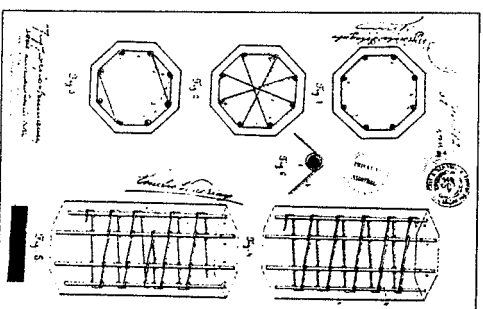


Fig. 52 - Versione italiana di *béton fretté*: brevetto n. 144312, Soc. It. Costruzioni edilizie ing. G. Neumann, Rasini & C., Firenze, *Calcestruzzo armato con ferri longitudinali, avvolti da ferri trasversali accerchiati a spirale*, 4 luglio 1914

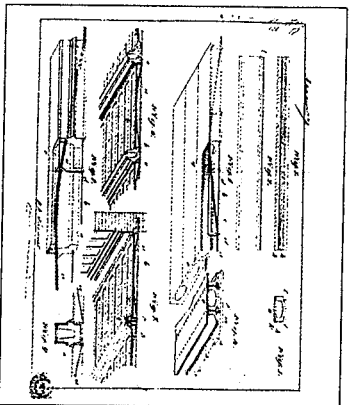


Fig. 53 - Brevetto n. 55624, Soc. Internazionale Travi Siegwart, Lucerna (Svizzera), *Poutres et solives pour la constructions des pignons*, 30 giugno 1900

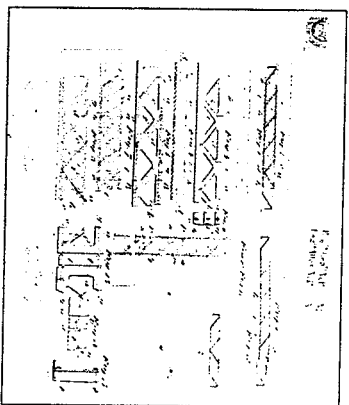


Fig. 54 - Brevetto n. 66761, F. Visintini, Zurigo (Svizzera), *Trave a traliccio*, 20 novembre 1902

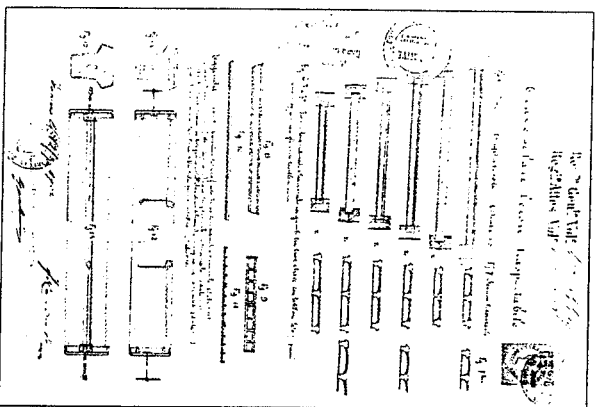


Fig. 55 - Brevetto n. 64469, F. Corradini, Torino, *Trave solido beton trasportabile*, 17 luglio 1902

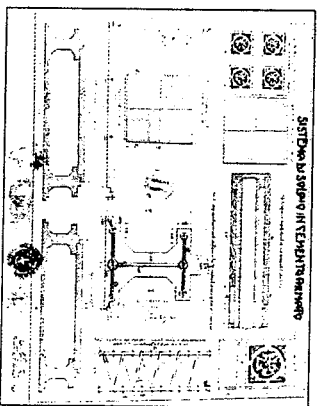


Fig. 56 - Brevetto n. 98780, L. Dorella, Padova, *Sistema di solido in cemento armato*, 7 novembre 1908

gnee necessarie per il getto erano difficili da realizzare, costose e di rado precise. Le nervature sporgenti imponevano inoltre la realizzazione di un controsoffitto per ottenere un intradosso piano. Infine gli orizzontamenti così confezionati manifestavano pessime caratteristiche acustiche e termiche. I solai a doppia soletta, realizzati già dall'inizio del secolo da Porcheddu, eliminavano la necessità di un controsoffitto, ma rendevano ancora più costosa la cassaforma, che il più delle volte era a perdere, e amplificavano, non poco i rumori.

Nel tentativo di risolvere almeno parzialmente questi inconvenienti, venivano proposte, già dal 1900, travi fabbricate fuori opera. Tra gli esempi più noti ricordiamo le travi Siegwart⁸¹, costituite da tubi cavi di cemento⁸², e le travi a traliccio sistema Visintini⁸³.

Tra i sistemi italiani, oltre alle già citate longarine Gabellini, simili come concezione alle travi Siegwart, troviamo le "travi solido béton" dell'ingegnere Corradini⁸⁴ e le travi del sistema Dorella⁸⁵ simili a putrelle a doppio T, anche negli spessori⁸⁶.

Queste pionieristiche travi prefabbricate avevano tempi di esecuzione e di stagionatura molto rapidi e le casseforme per il confezionamento erano semipre recuperabili; essendo autoportanti, permettevano inoltre di fare a meno di costose impalcature in opera. Certo, il solaio così assemblato perdeva di mobilità e non aveva l'adattabilità tipica delle solette gettate.

In alternativa a queste tecniche di prefabbricazione, promosse e sviluppate soprattutto nel resto d'Europa, prendevano il via in Italia le prime sperimentazioni sui solai laterocementizi. I laterizi forati, di cui il nostro Paese era grande produttore, già dimostratisi versatili in abbinamento alle travi metalliche, venivano ora adattati al solaio nervato in cemento armato. Il nuovo solaio laterocementizio sembrava risolvere vari inconvenienti: leggero, capace di attutire i rumori e di garantire un discreto isolamento termico, monolitico poiché gettato in opera, necessitava di un impalcato ligneo piano che poteva essere integralmente recuperato; l'intradosso del solaio risultava anch'esso piano e poteva essere intornacciato direttamente senza *plafond* aggiuntivo. In sintesi un buon compromesso fra semplicità esecutiva ed economia di materiale. Gli inventori italiani, esaurite le varianti sulle sagomature dei ferri d'armatura, scoprivano il nuovo, infinito mondo delle possibili sagome del laterizio, impiegato come cassaforma a perdere del solaio piano.

Erano del maggio del 1902 i lastroni tubolari dell'ingegnere Sigismondo Ghilardi, già specialista a Milano di lavori in cemento decorativo: il suo brevetto⁸⁶, a dispetto del nome, era un vero e proprio solaio laterocementizio, simile ad alcuni tipi ancora oggi in uso. Le pignate laterizie impiegate erano di forma molto semplice, rettangolari, a quattro fori, ma si lasciava aperto il campo anche a perfezionamenti più fantasiosi. Qualche mese dopo, anche la ditta Böllinger proponeva un solaio⁸⁷, questa volta a doppia orditura, pensato come un graticcio di travi le cui maglie venivano riempite, prima del getto, con materiale leggero - mattoni di laterizio o forme a scatola aperta, rove-

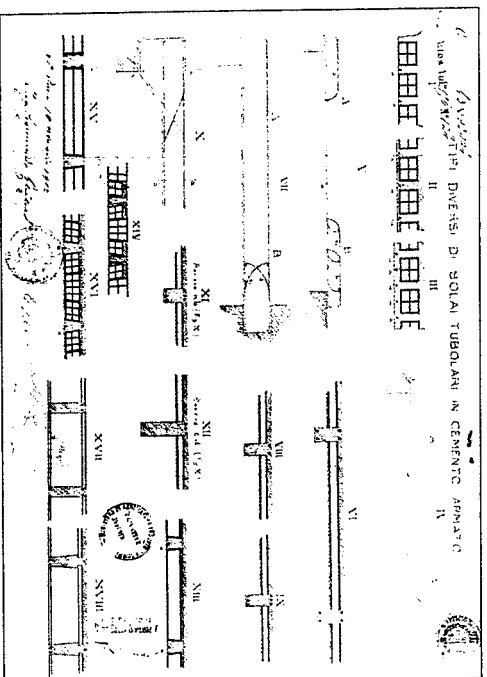


Fig. 57 -
Brevetto n.
63694, S.
Ghilardi,
Milano, *Solai
tubolari in
cemento
armato di
costituzione
mista*, 10
maggio 1902

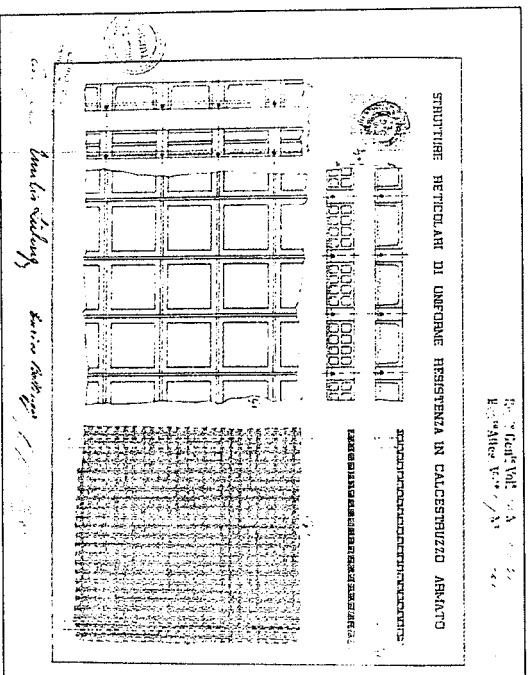
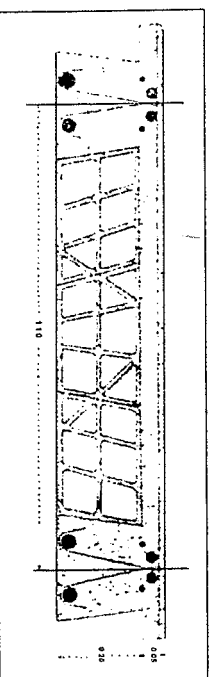


Fig. 58 -
Brevetto n.
65913, E.
Lüling, E.
Böllinger,
Milano,
*Strutture
reticolari di
uniforme
resistenza in
cemento
armato*, 3
dicembre 1902



**Fig. 59 - Il
solaio della
casa Lancia a
Milano,
realizzata nel
1906 su
progetto di
Achille
Manfredini**

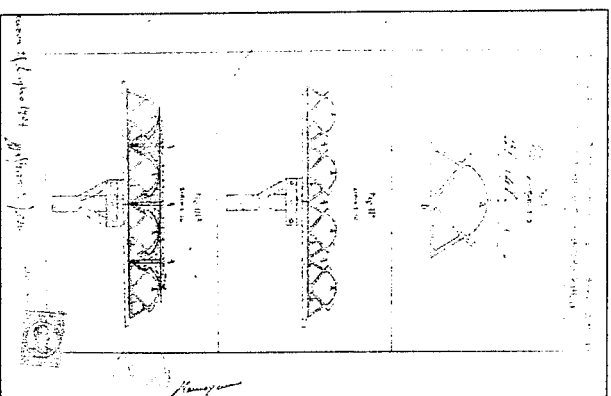


Fig. 60 - Brevetto n. 90414, G. Frascardi-Cavino, Genova, Tavellone forato speciale per la costruzione di solettoni in cemento armato a camera d'aria, 27 luglio 1907

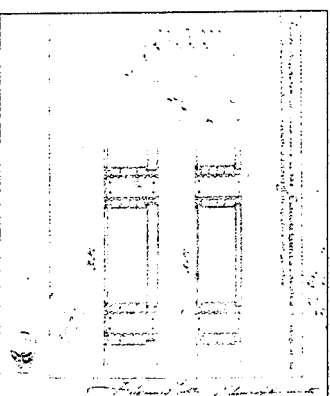


Fig. 62 - Brevetto n. 98562, F. Frazzi, Cremona. *Orellatura laterizia o ad altra sostanza per la formazione di camere d'aria nei tetti o solai-soffitti in cemento armato*, 19 ottobre 1908

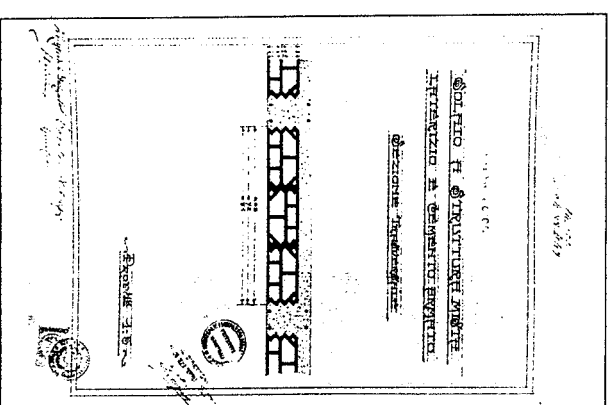


Fig. 61 - Brevetto n. 149310, G. Palagi, G. Cioni, Firenze, *Solaio a struttura mista di laticio e cemento armato*, 15 giugno 1915

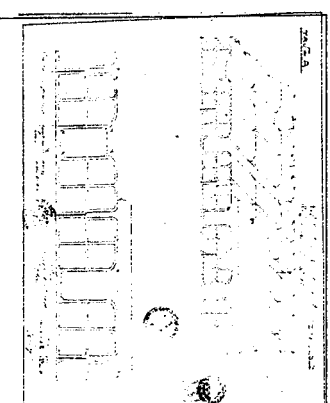


Fig. 63 - Brevetto n. 128069, G. Salerni, A.F. Miozzo, Venezia, Padova. Sistema di costruzione di solai economici in cemento armato e volteante di cotto, 16 settembre 1912

sciate, di calcestruzzo. Nell'invenzione non era previsto un getto superiore di collegamento tra i vari travetti. Si valutava che una struttura resistente bidirezionale fosse certamente più efficace, e quindi anche più economica, di un sistema a tessitura semplice. Il brevetto teneva conto anche del problema che il blocco laterizio, aperto su due lati, come i normali mattoni prodotti dalle mattoniere a trafilata, durante il getto si sarebbe riempito di cemento annullando in parte i vantaggi del sistema. Si ricorreva allora ad alcuni artifici, come chiudere a mano i fori con la malta o impiegare mattoni speciali chiusi già alla produzione. A risolvere questi inconvenienti interveniva, alcuni anni dopo, nel 1911, Arturo Danusso col suo solaio Duplex a doppia ordinata⁸⁸. L'idea consisteva nel realizzare le pignate assemblando opportunamente pezzi trapezoidali, triangolari, parallelepipedi in una sorta di tangram dalle mille possibilità. I pezzi, prodotti da una normale mattoniera, avevano il pregio di potersi combinare offrendo poi al getto sempre un lato chiuso. Danusso inoltre sviluppava scientificamente le riflessioni economiche di Böllinger, proponendo un metodo di calcolo per le piastre appoggiate sul contorno che metteva chiaramente in luce i vantaggi di una tale sistema sia in termini di deformazioni che di tensioni⁸⁹. Questo tipo di solaio conoscerà una notevole diffusione solo intorno alla metà degli anni venti.

Invece già nel 1906 sulle riviste comparivano le prime applicazioni dei più semplici solai a singola ordinata, a dispetto dell'ingegnere Giorgio Neumann che anni dopo avrebbe sostenuto di essere stato, nel 1911, il primo progettista ed esecutore al mondo di un solaio laterocementizio⁹⁰. Infatti i solai della casa Lancia a Milano, opera di Achille Manfredini⁹¹, erano eseguiti intorno al 1906 con il brevetto dell'ingegnere Volpi⁹² mediante travetti di cemento armato con interposte volterrane di tipo speciale, sagomate a formare una pignabanda.

Le forme delle pignate venivano via via perfezionate per adeguarsi al nuovo materiale: quelle del brevetto Frascardi-Calvino⁹³, tra le più originali, permettevano di limitare al minimo il cemento in zona tesa.

La società Eredi Frazzi, già famosa per le sue volterrane per travi metalliche, si convertiva rapidamente alle pignate da cemento armato e brevettava proprio in quegli anni il prototipo di quello che avrà poi fortuna come solaio Bidelta⁹⁴. E poi molti altri - il solaio Cannovale⁹⁴, il Salerni Miozzo⁹⁵, il Palagi Cioni⁹⁶, il Chini⁹⁷ - che avrebbero avuto più o meno successo ma che certamente avrebbero contribuito alla diffusione capillare, soprattutto dal primo dopoguerra, del solaio laterocementizio.

Il decisivo impulso della sperimentazione antisismica

Nei primi dieci anni del secolo l'impiego del cemento armato nell'edilizia civile era ancora riservato ad alcuni tipi edilizi specifici (fabbriche, coperture di grande luce ecc.) e ad alcuni elementi costruttivi isolati all'interno dell'

la costruzione muraria, in particolare ai solai. La costruzione tradizionale muraria restava prevalente e competitiva in molti casi e soprattutto in molte realtà locali. Il problema sismico dava una forte accelerazione al processo di diffusione sistematica sul territorio della nuova tecnica ma nello stesso tempo condizionava profondamente le modalità del suo sviluppo in Italia.

Il terremoto che colpiva Messina e Reggio Calabria il 28 dicembre 1908 era destinato a dare una svolta definitiva alla storia dell'edilizia antisismica in Italia, non era né il primo, né sarebbe stato l'ultimo, ma aveva distrutto, con una violenza fino ad allora mai registrata, non piccoli paesi di provincia bensì due grandi città. Gli edifici si erano sbriciolati senza opporre resistenza, dimostrando l'inadeguatezza delle misure antisismiche fino ad allora adottate. Non avevano retto infatti neppure le più specifiche costruzioni antisismiche: le "case baraccate", realizzate in muratura ma con una intelaiatura di legno che avrebbe dovuto garantire connessione ed elasticità alla struttura, quando non avevano ceduto perché il legno era ormai marcio, questo stesso era bruciato durante gli incendi scatenatisi a seguito dei crolli.

Per la ricostruzione delle due città dello stretto bisognava cambiare strategia e, agli occhi dei tecnici e dei teorici, l'osservazione dei danni segnalava un'importante novità: il cemento armato sembrava avere tutte le caratteristiche atte ad evitare il ripetersi di tragedie simili. Leggero ma resistente, elastico ma monolitico, inattaccabile dal fuoco e non putrescibile, il nuovo materiale manifestava enormi potenzialità antisismiche divenendo rapidamente protagonista del dibattito sulla ricostruzione.

Gli esiti di un concorso internazionale, bandito nel 1909 dalla Società Cooperativa Lombarda di Opere Pubbliche e volto ad individuare il sistema costruttivo più adatto per la ricostruzione, sanciva ufficialmente il primato del cemento armato rispetto alle altre tecniche costruttive nella battaglia contro i terremoti⁹⁸. La consacrazione avveniva per opera di Arturo Danusso, cui veniva assegnato il premio più alto del concorso. Danusso, che la scuola di Guidi e la pratica presso Porcheddu avevano reso "fortunato possessore dei mezzi più potenti di calcolo e degli artifici più efficaci dell'arte costruttiva", aveva presentato una memoria sulla dinamica delle strutture nella quale, tra l'altro, stabiliva fisicamente il rapporto fra la resistenza di un fabbricato, la sua massa e la sua flessibilità⁹⁹. Più in particolare, la sua memoria metteva in luce che la soluzione del problema sismico non fosse da cercarsi in una struttura massiccia ed eccessivamente rigida, ma piuttosto in una leggera e docile all'azione della sassa, capace di oscillare senza disconnettersi, quindi monolitica: solo l'ossatura in cemento armato poteva garantire tutte queste proprietà.

Il concorso, con 214 concorrenti di cui ben 43 avevano suggerito il cemento armato, non avrebbe avuto probabilmente grande esito se non fosse intervenuto lo Stato ad indicare norme precise per la ricostruzione. Subito dopo la tragedia era stata infatti nominata una commissione, composta tra gli altri da Silvio Canevazzi e Modesto Panetti, per studiare e proporre delle norme edilizie

da rendere obbligatorie nei comuni a rischio sismico¹⁰⁰. La commissione svolgeva assai rapidamente i suoi compiti e già nell'aprile del 1909 veniva emanato il nuovo regolamento, che sostituiva quello del 1906, proposto a seguito di un precedente terremoto, meno intenso, avvenuto nella stessa Calabria¹⁰¹. Il regolamento, tra le tante interessanti prescrizioni, limitava l'altezza degli edifici in muratura ad un solo piano. La tradizionale tecnica muraria perdeva così ogni competitività rispetto ai sistemi con "ossatura di membrature di legno, di ferro, di cemento armato o di muratura armata", ai quali era riservata la realizzazione degli edifici a due piani o ad uso pubblico, quali le chiese, i teatri, le scuole ecc. La legge veniva sottoposta però a severe critiche, non di ordine teorico, ma sociale ed economico: i costi per l'approvvigionamento di materiali come il ferro ed il cemento nelle regioni dello Stretto erano elevati e la manodopera locale non era in grado di eseguire strutture così complesse. Soprattutto queste erano troppo difficili da calcolare da parte di tecnici inesperti, cui già la trave continua creava non pochi problemi.

Nel 1911, quando ancora il difficile processo di ricostruzione di Messina e Reggio Calabria non era neppure cominciato, si affidava alla stessa commissione di rivedere parametri e limiti del regolamento alla luce delle tante contestazioni¹⁰². Il nuovo regolamento, approvato nel 1912, concedeva di costruire edifici di due piani anche con la muratura semplice, a patto però che fossero predisposti opportuni collegamenti sia orizzontali che verticali. Nelle relazioni allegate al regolamento, a firma di Panetti e Canevazzi, veniva però per l'ennesima volta illustrato "il vantaggio di concentrare la funzione statica degli edifici in una ossatura le cui parti siano costruite di materiale resistente per natura propria alle sollecitazioni a trazione e a taglio, o reso tale con l'uso di una armatura opportunamente disposta". In particolare si metteva in luce che la capacità dei solai di ripartire le forze orizzontali era garantita solo dalla presenza di "solidi muri trasversali facenti da controvento", ovvero di portali "incornicianti muri saldi di congruo spessore"¹⁰³. Canevazzi proponeva inoltre un sistema semplificato di calcolo del telaio iperstatico soggetto a forze orizzontali che molta fortuna avrebbe avuto negli anni a venire, almeno fino alla diffusione del metodo di Hardy Cross.

Non solo il dibattito teorico ma la pratica della ricostruzione rappresentava un'occasione di sviluppo e di sperimentazione per le ditte specializzate. Che il cemento armato giocasse un ruolo chiave lo prova l'elenco delle ditte che venivano invitate alle licitazioni private per i lavori di costruzione dei principali edifici pubblici¹⁰⁴. Vi comparivano diciassette ditte, in un ordine che evidentemente non era alfabetico: la Ferrobeton, la Società Anonima Romana Cemento Armato, la Gabbellini, la Porcheddu, la Böllinger, la Vitali, la Visetti e la Chini; ma anche la Cannovale Delle Piane, la Vianini, la Sander ed altre ancora, tutte specializzate in costruzioni cementizie armate. I progetti erano redatti da nomi importanti del mondo architettonico italiano, convocati appositamente per ridare alle due città l'antico splendore. Per citare qual-

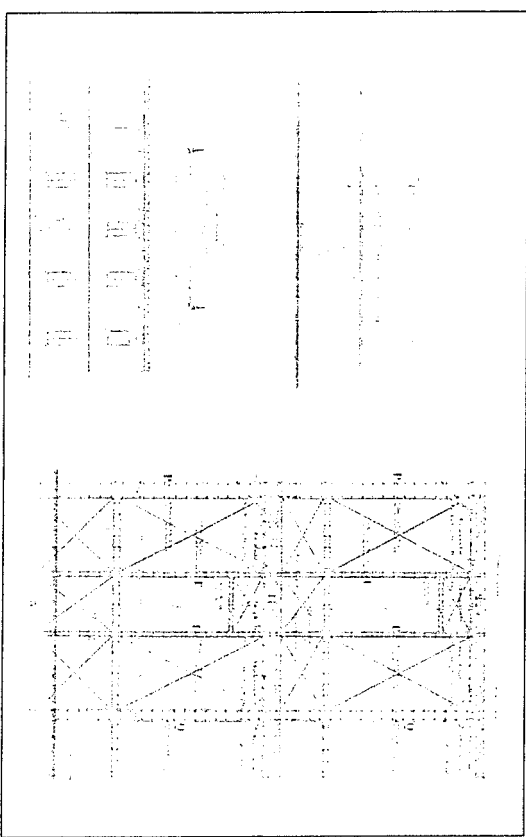
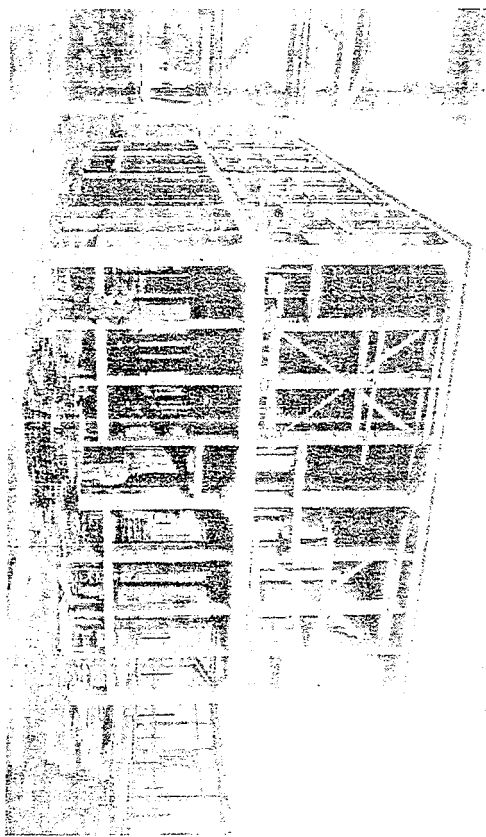


Fig. 64 - Edificio di abitazione antisismico realizzato nel quartiere Lombardo a Messina col sistema Hemebique

che esempio, la Ferrobeton realizzava il Palazzo per l'Intendenza di Finanza di Messina, progettato da Mariano Cannizzaro, la Porcheddu il Palazzo di Giustizia, sempre a Messina, su progetto di Marcello Piacentini e l'Istituto Postelegrafonico di Reggio, di Osvaldo Armani, mentre l'analogo edificio di Messina, progettato da Vittorio Mariani, veniva eseguito dalla Chini. Le stesse ditte erano impegnate anche nella realizzazione delle abitazioni per gli impiegati dello Stato ed in interventi promossi da privati e da comitati di soccorso: nell'ampio Quartiere Lombardo di Messina, così chiamato perché della sua realizzazione era promotore il Comitato Milanese pro Calabria e Sicilia, erano impegnate principalmente la Porcheddu, con l'interessamento diretto della casa madre francese, e la Ferrobeton.

La discussione sulle strutture antisismiche, seppure faticosamente, dava una forte spinta all'adozione dell'ossatura a telaio di cemento armato. Ma quali caratteri veniva assumendo la costruzione intelaiata? Aboliti i pericolosi aggetti ed i tetti spingenti, l'orditura di travi e pilastri doveva avere piccole luci, passo regolare, per facilitare il calcolo, e soprattutto una tamponatura di muratura piena, di "giusto" spessore. Mentre, dunque, nel resto dell'Europa il cemento armato sempre più diveniva sinonimo di grandi luci, di archi spalti, di grandi aperture vetrate, in Italia veniva impiegato in strutture regolari e rigide, nelle quali la tamponatura in muratura piena doveva giocare un ruolo fondamentale nella complessiva rigidità volumetrica del sistema.

In che modo veniva adottato il cemento armato nelle prime realizzazioni di Messina e Reggio?

I fabbricati avevano generalmente una struttura intelaiata di cemento armato che non si limitava però alle sole travi e ai pilastri ma includeva anche architravi e stipiti delle finestre, riprendendo così il disegno del telaio ligneo delle case baraccate. La tamponatura era eseguita in mattoni pieni alla quota delle fondazioni e al piano terreno, mentre in alcuni casi al primo piano venivano adottati mattoni forati. I solai erano in cemento armato, generalmente a camera d'aria e a doppia orditura, a costituire un piastone elastico resistente nelle due direzioni.

Sulla struttura intelaiata venivano condotte sperimentazioni sofisticate che coinvolgevano anche il tipo di armatura adottata. In particolare si diffondeva una soluzione, per la verità molto costosa e quindi abbandonata nel primo dopoguerra: un'ingabbiatura metallica a traliccio, autoportante, realizzata mediante chiodatura di profilati a L e di piatti veniva messa in opera a de-
finire l'intera gabbia dell'edificio; quindi veniva annegata in un getto costi-
tuendo un'ossatura di cemento fortemente armato¹⁰⁵. Questa struttura veniva adottata in opere particolari, che eccedevano i limiti dimensionali imposti dalla normativa, ma anche nell'edilizia privata, in particolare per le case di maggiore pregio, perché sembrava indurre negli abitanti e negli acquirenti un senso di maggiore sicurezza rispetto alle azioni sismiche. Si sperimentava anche un'altra armatura speciale, ideata dalla Porcheddu: veniva realizzata con

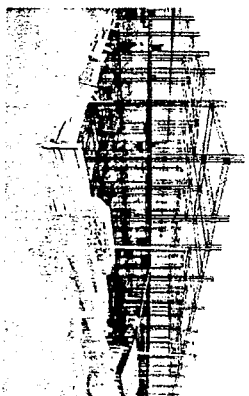


Fig. 65 - Edifici di abitazione antisismici a Messina: le ingabbiature a tralicci metallici autoportanti e le case completate

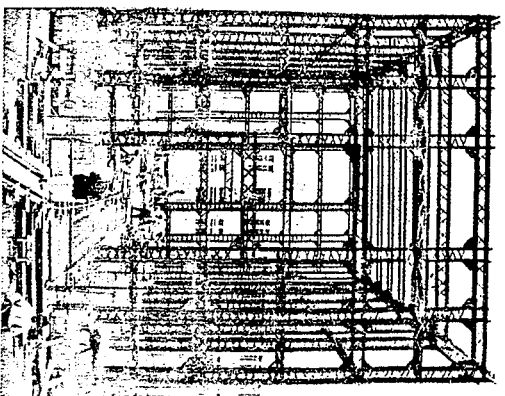
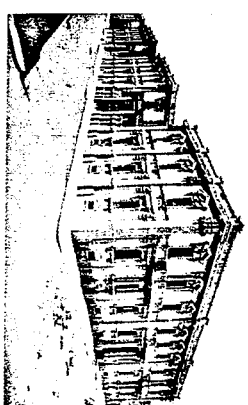


Fig. 66 - Palazzo di Giustizia di Messina: l'ossatura metallica autoportante dell'aula della Corte d'Assise

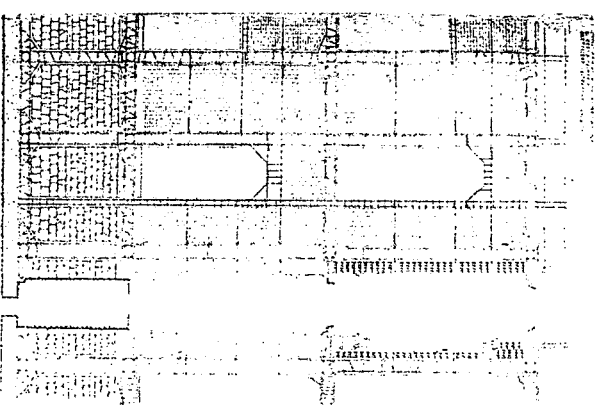


Fig. 67 - Particolare costruttivo del Teatro Comunale di Reggio Calabria

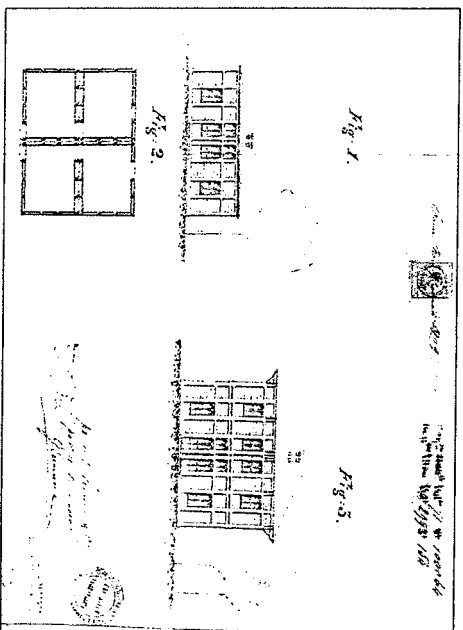


Fig. 68 - Brevetto n. 100064, G. Vianini & C., Roma, Costruzione ad elementi cellulari per paesi soggetti a movimenti sismici, 9 gennaio 1909

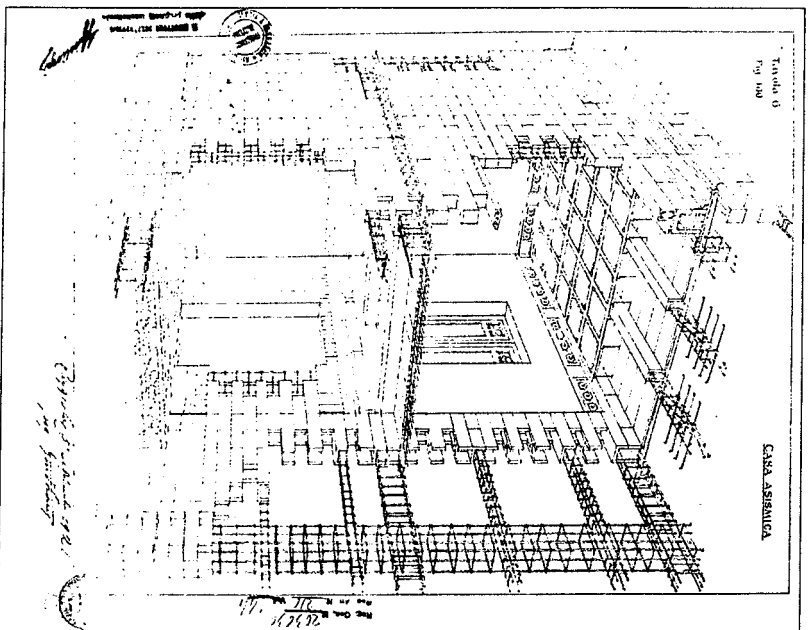


Fig. 69 - Brevetto n. 203030, G. Zany, Reggio Calabria, Elementi e strutture di conglomerato per costruzioni rapide con speciale applicazione al ferrocemento senza uso di casseforme provvisorie ed alla edilizia assimica di forte resistenza, 5 settembre 1921

ferri speciali, brevettati, caratterizzati da piccoli risalti della superficie disposti ad intervalli regolari, studiati in origine per garantire una migliore aderenza fra cemento e ferro. Qui invece lo scopo principale era di mantenere vincolato un ferro tondo, ripiegato a zig zag intorno a due di essi, così da realizzare un traliccio a maglie triangolari¹⁰⁶.

Non mancavano poi proposte di sistemi molto più particolari, che pur basati sulla tecnica del cemento armato, non adottavano la struttura a telaio. Per esempio il sistema brevettato dalla società Vianini¹⁰⁷ che prevedeva di realizzare il fabbricato mediante l'aggregazione di blocchi autonomi, comprendenti ciascuno uno o due stanze, collegati fra loro solo per garantire esternamente la continuità dei prospetti ed internamente la comunicazione fra le stanze: in questa struttura cellulare ogni blocco, realizzato in opera e sostanzialmente monolitico, aveva una sua indipendente platea di fondazione e poteva oscillare senza coinvolgere gli elementi attigui¹⁰⁸.

Ma il sistema non riusciva a diffondersi, così come le decine e decine di invenzioni brevettate in questi anni, che avrebbero dovuto garantire l'assoluta sicurezza anche contro i più forti terremoti¹⁰⁹. Il telaio di cemento armato invece guadagnava sempre maggiori spazi e, semplificato nelle armature, si diffondeva anche in territori non interessati dal rischio sismico.

Mentre nello Stretto l'opera di ricostruzione era appena cominciata, un nuovo sisma devastava nel 1915 il territorio marsicano: negli anni immediatamente seguenti numerosi altri fenomeni tellurici sconvolgevano più o meno drammaticamente diverse regioni italiane, dal Friuli alla Campania, dalla Romagna alla Toscana. A seguito di tutti questi accadimenti, si diffondevano voci che segnalavano come solo alcune case in cemento armato, pur non realizzate secondo le norme antisismiche, avessero resistito alle scosse. Se poi le notizie corrispondessero a verità, non era di grande interesse: l'importante era piuttosto che la fiducia nei riguardi del telaio in cemento armato si consolidasse nelle aree del Paese che via via venivano colpite dal sisma, ma anche in quelle limitrofe. Le città più grandi, più pronte all'aggiornamento delle tecniche, si comportavano come centri di irradiazione per la 'inevitabile' diffusione del cemento armato in veste antisismica. Progressivamente dunque, a partire già dagli anni venti, lo speciale telaio in cemento armato, tamponato con muratura piena, resistente al terremoto, ma comunque ormai riconosciuto come sistema più rapido, più conveniente, oltre che più sicuro, vedeva una diffusione completamente sconosciuta agli altri Paesi europei.

Le persistenti incertezze della teoria e la sperimentazione sulle grandi strutture

Mentre il telaio in cemento armato si diffondeva nell'edilizia corrente e si consolidava come standard di progettazione, nel settore delle grandi strutture emergeva l'ancora insufficiente conoscenza del comportamento statico del

composto calcestruzzo-ferro e continuava l'avventura sperimentale. La teoria elastica, faticosamente messa a punto dagli studiosi, subiva un duro colpo con la realizzazione di un'opera fondamentale nella storia del cemento armato in Italia: il ponte Risorgimento a Roma.

I tanti ponti in cemento armato realizzati in questo periodo da varie ditte su tutto il territorio italiano avevano già raggiunto le ragguardevoli luci di 50-60 metri. Anche gli archi ribassati, vera specialità della Maison Hennebique, che in Italia avevano trovato, grazie a Porcheddu, celebrata applicazione, ad esempio, nel ponte sulla Borinida presso Millesimo (1902) e in quello sull'Asisco presso Calvene (1907)¹¹⁰ su progetto di Danusso, avevano luci rispettivamente di 51 e 34 metri circa, con freccia dell'ordine di 1/10 della luce.

A raddoppiare improvvisamente la massima luce, arrivava nel 1911 il ponte Risorgimento, destinato ad incidere su tutti i dibattiti e le discussioni teoriche e tecniche fino alla seconda guerra mondiale. Con la sua struttura ad arco fortemente ribassato di 100 metri di luce e 10 metri di freccia, per dieci anni manteneva il primato di ponte in cemento armato più lungo del mondo¹¹¹. Concepito direttamente da Hennebique, il ponte è la prova di come l'imprenditore avesse guadagnato la sua fama non solo per il modo più o meno efficiente di disporre le armature, ma soprattutto per la profonda intuizione del comportamento del materiale che non poteva permettergli di accettare i limiti della teoria elastica imposti dai teorici suoi contemporanei¹¹².

Realizzato in occasione dell'esposizione celebrativa del cinquantenario dell'Unità d'Italia, il ponte Risorgimento doveva mettere in comunicazione l'Esposizione Regionale Etnografica, sulla sponda destra del Tevere, e quella di Belle Arti, sulla sponda opposta. Poiché il piano regolatore prevedeva in quel punto una struttura stabile, si decideva di non realizzare un ponte provvisorio in legno. Un ponte in muratura avrebbe però avuto tempi troppo lunghi di costruzione, così si adottava la soluzione in un ponte in cemento armato. Vinceva la gara la Porcheddu che, su progetto della stessa casa madre, proponeva un ponte di una sola arcata, invece di un ponte a tre archi, come gli altri sul Tevere, impegnandosi a realizzarlo per la cifra a corpo di 1.250.000 lire¹¹³. L'amministrazione comunale si cautelava richiedendo centine stabili su cui il ponte potesse adattarsi in caso di cedimento, per non precludere il transito durante l'Esposizione. La centina, dunque, veniva realizzata essa stessa in cemento armato, il che risolveva le non poche difficoltà legate alla variabilità del regime del fiume, poiché l'impalcatura, leggera e robusta, offriva la minima superficie alla spinta dell'acqua¹¹⁴. Sulla centina, sorreggente una cassera di lignea, veniva gettata la grande volta spessa 50 centimetri all'imposta e 20 alla chiave, rinforzata da costoloni elevati fino al piano della soletta. Questa "struttura cellulare", costituita da nervature longitudinali e da diaframmi trasversali di collegamento, era rigida ma contemporaneamente molto leggera, così da non gravare troppo sulle fondazioni. Queste non erano a platea generale bensì a pozzi realizzati col sistema brevettato

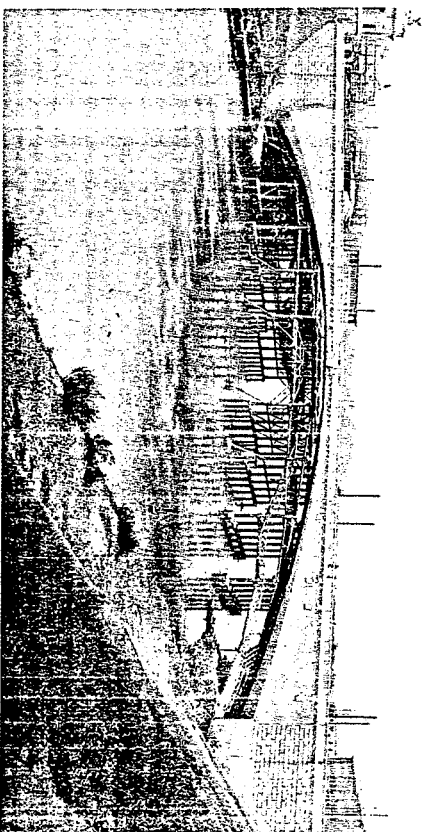


Fig. 70 - Il Ponte Risorgimento prima dello smantellamento della centina in cemento armato

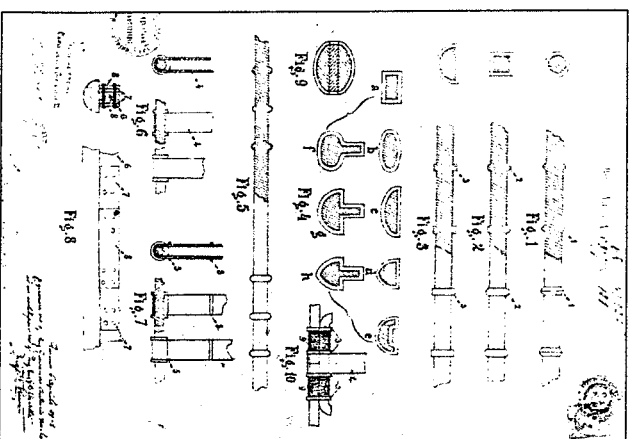


Fig. 71 - Brevetto n. 95235, G.A. Porcheddu, Torino, *Speciale tipo perforonato di ferri*, e sua applicazione nelle costruzioni in calcestruzzo di cemento armato, 6 aprile 1908

Compressori: i 72 pozzi, la cui esecuzione permetteva un'azione di costipamento del terreno, venivano successivamente riempiti di cemento e fungevano da vere e proprie 'radici' per le spalle, formate da cassoni rigidi a più scomparti. Nel cantiere, che si chiudeva dopo appena 16 mesi, venivano usati per la prima volta sistemi esecutivi moderni, tra i quali un trasportatore aereo per la distribuzione del getto. In luogo dei ferri tondi ordinari, venivano impiegati i ferri semitondi di tipo speciale ad aderenza migliorata brevettati da Porcheddu.

I ricordi di Danusso, che all'epoca lavorava con Porcheddu, sono assai significativi per comprendere il valore e l'arditezza dell'opera: "Il Comune di Roma [...] accolse in via fiduciarla (non esistevano allora prescrizioni di legge sui calcoli) la proposta di Hennebique per un'arcata unica [...]. Il nostro gruppo di giovani ingegneri, che godeva ormai la simpatia del maestro, fu posto al cimento con l'arduo problema per cui egli si era impegnato. Ma l'estrapolazione rispetto agli ardimenti precedenti metteva paura, e la paura induceva ad aggrapparsi ancora alla teoria classica; di tentativo in tentativo il manufatto continuava ad appesantirsi. Comparimmo mortificati di fronte al maestro: egli sorrise, poi si trasse in disparte ad elucubrare da solo. In un paio di giorni venne fuori lo schizzo dell'opera colle principali dimensioni, l'arcata ridotta ad una volta da 20 a 50 cm di spessore, sormontata da sette sottili pareti di timpano, da qualche legamento trasversale e da una soletta di impalcato. Sezione in chiave ridotta a due solette di 20 cm, legate da nervature; altezza totale 80 cm; spalle immerse nella sabbia, cellulari senza platea di base, cogli incroci fra le pareti poggianti su piloni ottenuti perforando e costipando fortemente il suolo con mazze cadenti e imprimitura di ciottolame. Alla nostra prima meraviglia per l'assenza della platea di appoggio, Hennebique rispose citando l'esempio delle radici degli alberi, rivelando l'opportunità che il passaggio dei carichi dalla costruzione al terreno avvenga gradualmente e aggiungendo che, per questo, egli pensava di costipare analogamente il terreno rimesso a riempimento delle celle costituenti il corpo delle spalle. Alla nostra seconda meraviglia per aver osato ripetere in grande gli stessi ardimenti che finora aveva sperimentato per luchi molto minori, rispose che non per questo la natura si sarebbe smentita; e che per facilitare il compito egli pensava da un lato di interrompere con alcuni giunti verticali la continuità del getto (non dei ferri) nei setti longitudinali; e dall'altro di armare con ricchezza di ferro tanto questi setti quanto la volta, anche se compressa; e questo perché il facile "respiro" (così egli diceva) concesso all'arcata dalla leggerezza della chiave incontrasse un sistema bronchiare diffusore atto ad evitare pericolose concentrazioni locali degli sforzi. Al collaudando il ponte subì prove di rigore col passaggio, non solo dei veicoli più pesanti, ma anche di soldati, a ritmo variamente cadenzato fino ad incontrare la risonanza. Di fronte all'ottimo risultato, in contrasto con le apparenze emergenti dalla classica verifica di stabilità, venne concesso - in via provvisoria - il traffico sul ponte, ma non il collaudo definitivo che fu rimandato al giudizio del tempo"¹¹⁵.

Pier Luigi Nervi amava ricordare che Canevazzi, suo professore di Scienza delle costruzioni, leggeva in aula lettere di ingegneri tedeschi che predicavano, sulla base di calcoli matematici impostati secondo la teoria elastica classica, l'inevitabile crollo del ponte¹¹⁶. La struttura dunque, per il fatto stesso di non volersi arrendere all'"evidenza" della sua instabilità, sanciva definitivamente la superficialità e l'approssimazione del sistema di calcolo ufficiale. Non si metteva più in discussione il sistema di calcolo di Hennebique, ancora adottato dalla Maison nonostante tutto il mondo scientifico lo avesse denigrato e irriso: si mettevano in dubbio piuttosto i sacri dogmi di Navier e di Hooke e le teorie fisiche prontamente adattate, che purtroppo trascuravano anisotropia e anelasticità del cemento armato. In un colpo solo proprio il nemico più acerrimo dei teorici mandava all'aria tutti i risultati raggiunti, tutte le oziose formule, sempre più complesse e sempre più astratte, che più e più affollavano le riviste, tutti quei calcoli che pretendevano la precisione della seconda cifra decimale. Finalmente, mentre i professionisti, ignari e soddisfatti, continuavano ad avere fiducia nella linearità del legame tensioni-deformazioni e ad applicare le relative formule alle loro travi appoggiate, il mondo scientifico si rimboccava le maniche e cominciava a studiare il comportamento delle strutture oltre il campo elastico.

¹ P. Christophe, *Le béton armé et ses applications*, Parigi - Liegi 1902.

² Weyss & Freytag - E. Mörsch, *Der Betonisenbau: seine Anwendung und Theorie*, 1 ed., Stoccarda 1902; *Der Eisenbetonbau, seine Theorie und Anwendung*, II ed., Stoccarda 1906; III ed., Stoccarda 1908.

³ E. Mörsch, *Le béton armé, étude théorique et pratique*, Parigi 1909 (trad. fr. di M. Dubois); E. Mörsch, *Teoria e pratica del cemento armato, con ricerche ed esempi costruttivi della Weyss & Freytag A.G. e della Soc. An. Ital. Ferrobeton*, Milano 1910. La versione italiana veniva integrata dal curatore ingegnere Viscardi con le applicazioni condotte dalla filiale italiana della ditta tedesca, la Ferrobeton, e con tabelle che tenevano conto della normativa italiana, differente per coefficienti e valori ammissibili da quella tedesca.

⁴ Fritz Edler von Empegeier, nato nel 1862, dopo essersi laureato al Politecnico di Praga e dopo aver lavorato alcuni anni in Europa, si trasferiva nel 1890 a New York dove realizzava i primi ponti americani in cemento armato sistema Melan (il primo, del 1893, sull'Housenatic River). Era l'ideatore delle "Empeger columns", pilastri cerchati con anima in ghisa, che ebbero in America ampia diffusione. Nel 1897 tornava in Europa, fondava la rivista in origine chiamata «Neure Bauweisen in Eisenbeton», poi «Beton und Eisen» (dopo la seconda guerra mondiale diveniva «Beton und Stahlbeton»), e pubblicava il famoso manuale sul cemento armato *Handbuch für Eisenbeton*. Moriva a novant'anni nel 1942.

⁵ C.D. Elliott, *Technics and architecture: the development of materials and systems for buildings*, Cambridge - Londra 1992, p. 180.

⁶ Anche in Italia fino alla nascita de «Il Cemento», ad occuparsi del cemento armato erano state riviste come «L'Ingegneria civile e le arti industriali», la «Rivista di Artiglieria e Genio», il «Giornale del Genio Civile», il «Bollettino della Società degli Ingegneri ed Architetti Italiani», «L'Industria» e «L'Edilizia Moderna», che amoverava nella sua redazione D. Donghi, A. Muggia e G. Vacchelli.

⁷ Vedi O. Selvafolta, *Ingegneri, cemento e imprese a Milano tra Ottocento e Novecento*, «Rassegna», 49, 1992, p. 27.

- 8 Un profilo biografico di Giulio Revere (1875-1933) è riportato a fine testo.
- 9 Un profilo biografico di Arturo Danusso (1880-1968) è riportato a fine testo.
- 10 La scuola, denominata in origine Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri di Acque e Strade, nel luglio del 1863 si adeguava nei programmi alla normativa nazionale del 17 ottobre 1860, cambiando nome in Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri. All'inizio del Novecento il direttore era G. Grassi, mentre E. Isè era professore straordinario di Statica grafica e professore incaricato del corso di Meccanica applicata alle costruzioni, nonché direttore dell'annesso laboratorio di Resistenza dei materiali.
- 11 Fra i direttori della scuola nel periodo esaminato ricordiamo V. Cernuti fino al 1909 e C. Ceradini (un profilo biografico di C. Ceradini (1844-1935) è riportato a fine testo). A. Ciappi, ordinario di Meccanica applicata alle costruzioni ed incaricato di Statica grafica, era direttore della scuola dal 1922 al 1927. Nel 1939 veniva sostituito da A. Giannelli (un profilo biografico di A. Giannelli (1888-1970) è riportato a fine testo).
- 12 Fra i direttori, troviamo importanti personaggi della storia dell'ingegneria italiana: F. Brioneschi, che resta in carica fino al 1911, e G. Colombo.
- 13 Fondata sul modello di quelle di Napoli, e di Torino già nel 1860, iniziava la sua attività nel 1866. Nell'ultimo decennio del secolo troviamo come direttore e professore di Architettura tecnica G.B.F. Basile, mentre G. Pace Salemi era professore straordinario di Meccanica applicata alle costruzioni.
- 14 Tra i direttori della scuola vi era C. Parvopassu (un profilo biografico di C. Parvopassu (1881-?) è riportato a fine testo).
- 15 Il primo direttore della scuola era C. Razzaboni; alla sua morte, nel 1893, gli succedeva J. Benetti; quindi, dal 1910 al 1918, subentrava S. Canevazzi; poi, dal 1918 al 1923, L. Donati e poi, fino al 1927, A. Muglia. Tra gli altri professori di ruolo incontriamo G. Stablini, G. Albenga e più tardi O. Belluzzi (un profilo biografico di G. Stablini (1853-1913), di G. Albenga (1882-1957) e di O. Belluzzi (1892-1956) è riportato a fine testo).
- 16 Un profilo biografico di Camillo Guidi (1853-1941) è riportato a fine testo.
- 17 C. Guidi, *Le costruzioni in 'béton' armato*, conferenze tenute nel maggio 1900, Torino 1901. Vedi anche *Le costruzioni in 'béton' armato. Conferenze tenute nel maggio 1900 dell'ing. Camillo Guidi*, «L'ingegneria civile e le arti industriali», 18, 1900, pp. 273-279, 19, 1900, pp. 289-295; 20, 1900, pp. 305-311; 21, 1900, pp. 321-328; 22, 1900, pp. 337-343.
- 18 Nel marzo del 1901 Guidi portava anche i suoi studenti in visita alle già citate opere realizzate a Genova da Porcheddu, che glielo illustrava personalmente, conquistando così la nuova generazione di ingegneri torinesi. Vedi M. Panetti, *R. Scuola di Applicazione degli ingegneri in Torino. Relazione di una visita alle nuove costruzioni di Genova fatta dagli allievi ingegneri del 2° anno*, ivi, 20, 1901, pp. 305-311.
- 19 C. Guidi, *Sulle costruzioni in 'béton' armato*, «Annali della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani», 2, 1903, p. 34.
- 20 *Le costruzioni in 'béton' armato. Conferenze tenute* ..., cit., p. 273.
- 21 C. Guidi, *Sulle costruzioni* ..., cit., p. 35.
- 22 Un profilo biografico di Modesto Panetti (1875-1957) è riportato a fine testo.
- 23 C. Guidi, *Le costruzioni in 'béton' armato*, appendice a *Lezioni sulla scienza delle costruzioni*, Torino 1906.
- 24 Tra l'altro nel testo era presentato un metodo ideato da Guidi, e citato anche da Mörsch nelle edizioni successive del suo libro, che permetteva di determinare graficamente la posizione dell'asse neutro di una sezione armata. Ricordiamo che il maestro aveva iniziato la sua carriera universitaria proprio come docente di Statica grafica. Vedi C. Guidi, *Sul calcolo delle sezioni in 'béton' armato*, «Il Cemento», 1, 1906.
- 25 C. Guidi, *Sulla opportunità di una vigilanza del Municipio sulle costruzioni in 'béton' armato e modo di esercitarla*, «Atti della Società degli Ingegneri e degli Architetti di Torino», Torino 1903. La memoria veniva letta anche in occasione della prima riunione dell'Associazione Italiana per gli studi sui materiali da costruzione (Bologna, 5-6 aprile 1903).
- 26 I mezzi ed i materiali per le prove venivano forniti da Porcheddu, per quanto riguardava fer-

- ri e casseri, mentre i cementi dalla Soc. An. Calci e Cementi di Casale. Le prove erano volte a determinare sia le caratteristiche di resistenza del cemento armato che il rapporto fra i moduli di elasticità del calcestruzzo e del ferro e a dimostrare l'influenza negativa sul getto delle temperature al di sotto dello zero. Venivano effettuate inoltre prove a fatica, per controllare le variazioni delle proprietà elastiche, ed anche prove per valutare l'influenza sulla resistenza dell'interruzione dei ferri e del loro eventuale collegamento. Infine prove di schiacciamento su pilastri cerchiati e in generale sul *béton fretté*. Vedi C. Guidi, *Esperienze sull'elasticità e resistenza di conglomerati di cemento semplici ed armati. Nota I*, «Atti della R. Accademia delle Scienze di Torino», Torino 1900; *Esperienze sull'elasticità e resistenza di conglomerati di cemento semplici ed armati. Nota II*, ivi, Torino 1901. Vedi anche G. Secheri, *Esperienze sull'elasticità e resistenza di conglomerati di cemento semplici ed armati eseguite dall'ing. prof. Camillo Guidi*, «L'ingegneria civile e le arti industriali», 8, 1901, pp. 113-118; C. Guidi, *Sulla azione dei ferri nelle costruzioni in 'béton' armato*, «Il Cemento», 6, 1906, pp. 138-144. I risultati di questa intensa attività sperimentale venivano raccolti in C. Guidi, *Risultati sperimentali sui conglomerati di cemento semplici ed armati*, I ed., Torino 1905.
- 27 Un profilo biografico di Silvio Canevazzi (1852-1918) è riportato a fine testo.
- 28 S. Canevazzi, *Siderocemento, formule di resistenza ed elasticità*, Bologna 1901.
- 29 S. Canevazzi, *Ferrocemento (cemento armato, smalto cementizio armato). Formule di elasticità e resistenza*, Torino 1904. Anche lui proponeva un metodo di calcolo grafico che consentiva di determinare le tensioni massime del cemento e del ferro.
- 30 C.D. Elliott, *Technics and* ..., cit., p. 182. Vedi anche C. Guidi, *Sulle costruzioni* ..., cit., p. 37.
- 31 F. Leonardi, *Considerazioni sulla caduta del ponte in cemento armato a Luino*, «Il Cemento», 12, 1904, pp. 457-459; E. Adam, *Intorno al ponte di Luino*, ivi, 1, 1905, p. 24.
- 32 E. Funagalli, *Relazione tecnica sulla caduta del ponte in cemento armato presso Luino*, ivi, 2, 1905, pp. 55-56.
- 33 G. Delhumeau, *Incidente*, «Rassegna», 49, 1992, pp. 51-52.
- 34 Circa la caduta della copertura di cemento armato del grande serbatoio d'acqua di Madrid, «Rivista di Artiglieria e Genio», III, 1907, pp. 329-333. Vedi anche *La catastrofe di Madrid*, «Il Cemento», 12, 1904, pp. 477-478; *Sulla stabilità delle costruzioni in cemento armato*, ivi, 3, 1905, pp. 81-83.
- (35) *Prescrizioni speciali per le opere di smalto cementizio armato da eseguirsi per conto della città di Torino proposte dalla Commissione del 'béton' armato nominata dalla Società degli ingegneri e degli architetti di Torino, ed approvate dalla Società stessa*, in C. Guidi, *Sulle costruzioni* ..., cit.
- 36 Le tesi della "teoria limite superiore" e della "teoria limite inferiore" per una sezione in flessa di cemento armato erano argomento principe del testo di Canevazzi: la inferiore si poteva adottare nel caso di sollecitazioni molto modeste, quando tutto il conglomerato poteva considerarsi reagente; la superiore, concernendo casi di carichi normali, non teneva più in conto la modesta resistenza a trazione e a taglio del conglomerato. Canevazzi in realtà auspicava lo sviluppo di una teoria intermedia. S. Canevazzi, *Ferrocemento* ..., cit.
- 37 *Prescrizioni generali per le opere in ferrocemento (cemento armato, smalto cementizio armato) proposte dagli ingegneri S. Canevazzi e G.B. Marro per uso delle Onorevoli amministrazioni provinciali di Ferrara e Ravenna*, 1904, pp. 1-14. G.B. Marro era un tecnico responsabile della Società italiana Ferrovie Meridionali che da tempo sperimentava il nuovo materiale nelle sue opere: vedi *Tipi di strutture in cemento armato presentati al congresso internazionale di Washington dalla Società italiana Ferrovie Meridionali*, Firenze 1903.
- 38 Nel 1870 il prof. Bauschinger del Politecnico di Monaco proclamava la necessità dell'unificazione dei metodi di prova, affinché i risultati dei vari laboratori risultassero paragonabili fra di loro. Bauschinger riusciva a sviluppare la sua idea con una serie di conferenze internazionali (Monaco 1884; Dresda 1886; Berlino 1890; Vienna 1893) e, dopo la sua morte, il suo lavoro veniva proseguito da L. von Tetmajer, che dava vita ad alcuni fondamentali congressi (Zurigo 1895; Stoccolma 1897; Budapest 1901). L'attività dei soci continuava e intanto in Italia J. Benetti, membro del comitato permanente dell'Associazione internazionale, raccoglieva scienziati, tecnici e specialisti per fondare anche in Italia l'Associazione per lo studio dei ma-

teriali. Vedi C. Guidi, *L'associazione italiana per gli studi sui materiali da costruzione 1903-1937. Ricordi*, Roma 1940.

³⁹ Benetti fu presidente dell'Associazione fino al 1910; nel 1911 gli succedette e rimase in carica per più di venticinque anni Camillo Guidi.

⁴⁰ Nella commissione erano presenti anche i professori L. V. Rossi, A. Seyno e gli ingegneri M. Perilli e C. Segre. In seguito subentrarono G. Bellotti, E. Isé e G. Revere. La commissione si affiancava a quella ufficiale governativa, che aveva maggiori poteri istituzionali.

⁴¹ Un profilo biografico di Achille Manfredini (1869-1920) è riportato a fine testo.

⁴² A. Manfredini, *Devonosi disciplinare con regolamenti le costruzioni in cemento armato?*, «Il Montatore Tecnico», 27, 1906. Il problema di regolamentare le resistenze ammissibili e le modalità di calcolo si era posto negli anni ottanta e novanta anche per le costruzioni metalliche, ma aveva portato all'adozione di norme e capitolati riferiti alle sole costruzioni ferroviarie.

⁴³ G. Revere, *Devonosi regolamentare le opere in cemento armato?*, «Il Cemento», 10, 1906, pp. 249-250.

⁴⁴ G. Revere, *A proposito di disastri edilizi*, «Il Montatore Tecnico», 26-27, 1920, p. 231.

⁴⁵ *IB. Devboni allegare le calcolazioni ai progetti di opere in cemento armato*, «Il Cemento», 5, 1906, pp. 110-111.

⁴⁶ *Prescrizioni normali per l'esecuzione delle opere di cemento armato*, Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici, 10 gennaio 1907, bollettino n. 5, pubblicata sulla G.U. del Regno del 2 febbraio 1907.

⁴⁷ Il primato spetta all'Austria, che nel 1897 aveva emanato la prima prescrizione governativa.

⁴⁸ *Regolamento del Ministero Prussiano dei Lavori Pubblici per l'esecuzione di strutture in cemento armato in data 24 maggio 1907*, in E. Mörsch, *Teoria ...*, cit., pp. 354-385.

⁴⁹ *Istruzioni relative ai l'emploi du béton armé*, «Annales des Ponts et Chaussées», 1906, pp. 271-307. Ministère des Travaux Publics, des Postes et des Télégraphes, Commission du ciment armé. *Expériences, rapports et propositions. Instructions ministérielles relatives à l'emploi du béton armé*, Parigi 1907. Già dal 1900, dopo l'Esposizione di Parigi, il Ministero dei Lavori Pubblici francese aveva nominato una commissione speciale per studiare le questioni relative al cemento armato. Nel 1903 era stata pubblicata una circolare ufficiale che imponeva un metodo di calcolo, messo a punto da C. Rabut, per i lavori da eseguirsi per conto del Genio Militare. Vedi *Disposizioni in vigore e metodi in uso nel genio militare francese per il calcolo delle costruzioni in cemento armato*, «Rivista di Artiglieria e Genio», 1904, p. 413. Vedi anche I. Fougère, *L'évolution du béton armé*, in *Cent ans de béton armé*, supplemento alla rivista «Travaux», 194bis, Parigi 1949, p. 75.

⁵⁰ Per il ferro 1500 kg/cmq e per il conglomerato 70 kg/cmq. Vedi *Nuove norme per le costruzioni in cemento armato compilate dalla Commissione Svizzera del Cemento Armato*, «Il Cemento», 20, 1909, p. 309; 22, 1909, p. 337. Le norme inglesi definitive, anche in questo caso dopo una prima versione provvisoria, venivano emanate nel 1911. Vedi *Le nuove norme inglesi sulle costruzioni in cemento armato*, ivi, 1911, p. 349.

⁵¹ Rispettivamente il crollo di un solaio di un edificio in costruzione ad Amburgo, dovuto al disarmo affrettato, e del garage di un albergo a Evian, sempre durante la costruzione. Vedi *Rovina di un solaio nell'Atlantic Hotel di Amburgo*, ivi, 2, 1908, p. 35; *Disastri edilizi*, ivi, 4, 1908, pp. 89-90; G. Delhumeau, *Incidente*, cit., pp. 51-52.

⁵² R. Gori, E. Munerati, *Les leçons de la catastrophe. Un exemple italien du début du siècle*, «Les cahiers de la recherche architecturale», 40, 1997, pp. 79-84.

⁵³ G. Radici, *Il cemento armato e la sua storia*, «La cultura moderna. Natura ed arte», 11, 1932, pp. 649-661.

⁵⁴ L. Novelli, *Importanza del cemento armato nella esecuzione. Difetti possibili di questa e cause relative*, «Il Cemento», 23, 1910, pp. 11-14; 24, 1910, pp. 11-14; F. von Emperger, *I crolli nelle costruzioni in cemento armato*, ivi, 18, 1909, pp. 280-282.

⁵⁵ Per maggiori dettagli sulle realizzazioni di questo periodo della Società Porcheddu si rimanda sempre a R. Nelva, B. Signorelli, *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia. Il sistema Heimebique*, Milano 1990.

⁵⁶ *Il cemento armato in Italia - Suo sviluppo e sue applicazioni*, «Il Cemento Armato», 5, 1928, pp. 51-86; *Case d'abblazione in cemento armato*, «Il Cemento», 3, 1909, pp. 33-34; *Case di abblazione in cemento armato*, ivi, 8, 1909, pp. 113-115; *Ossature in cemento armato per case di abblazione*, ivi, 11, 1909, pp. 161-163.

⁵⁷ *Case operate in cemento armato*, ivi, 11, 1909, p. 167; *Il nuovo Stadio Nazionale in Roma*, «Il Montatore Tecnico», 36, 1911, pp. 731-732. Il progetto dello stadio romano era di Marcello Piacentini con l'ingegnere Guazzaroni e lo scultore V. Pardo. Le prove di collaudo venivano seguite da C. Ceradini.

⁵⁸ *Ponte in cemento armato di Cortigliano*, «Il Cemento», 7, 1904, p. 222.

⁵⁹ Ricordiamo soprattutto i molti ponti, tra cui quello sul Magra, del 1905, che guadagnava il primato di ponte di maggiore lunghezza complessiva (circa 300 metri) eseguito in cemento armato. Vedi anche *Casa Backdugo. Via dell'Indipendenza. Bologna. Arch. Attilio Muggia*, «L'Edilizia Moderna» 1, 1904, pp. 3-4; *Villa Gina a Borgo Panigale presso Bologna. Arch. Attilio Muggia*, ivi, 11, 1905, pp. 57-58.

⁶⁰ P. Rimondini, *Costruzioni in cemento armato. I nuovi ponti in cemento armato sui fiumi Santerno e Senio in provincia di Ravenna*, «Il Cemento», 3, 1906, pp. 55-61. I ponti, poi, saranno realizzati dalla Bianchi, Steiner & C. di Milano. Vedi A. Tajani, *I nuovi ponti in cemento armato della ditta Bianchi, Steiner & C. di Milano*, Napoli 1907.

⁶¹ Milano era un ambiente difficile per Porcheddu, che trovava qui troppa concorrenza di imprese e brevetti. Vedi O. Selvafoia, *Ingegnieri, cemento ...*, cit., pp. 26-35. Per le opere realizzate da Porcheddu a Milano nei primi anni del Novecento vedi R. Nelva, B. Signorelli, *Avvento ...*, cit. A dirigere la sede milanese dell'impresa era, dal 1900, Daniele Doughti (1861-1938); un profilo biografico del personaggio è riportato a fine testo.

⁶² Al suo debutto nel mondo delle costruzioni la società realizzava un considerevole numero di ponti ferroviari in cemento armato della linea Bergamo - S. Pellegrino Terme in Val Brembana, tra i primi in Italia (L. Santarella, *Il comportamento elastico dei più vecchi ponti ferroviari italiani in cemento armato, dopo 25 anni dalla loro costruzione. I ponti della Val Brembana a volta incastata costruiti nel 1904*, Milano 1931) e una lunga serie di altri ponti (*Ponte in cemento armato sul torrente Quisa*, «Il Cemento», 6, 1904, pp. 194-198; F. Leonardi, *Ponte in cemento armato sul torrente Rino*, ivi, 9, 1904, pp. 257-262; 10, 1904, pp. 295-299; 5, 1905, pp. 125-126; F. Leonardi, *Passarella in cemento armato sul Naviglio Grande a Milano*, ivi, 8, 1906, pp. 199-201; *Il nuovo ponte in cemento armato a Carate Brianza sul Fiume Lambro*, «L'Edilizia Moderna» 11, 1908, pp. 74-75). La ditta si segnalava anche per la realizzazione di alcuni stabilimenti industriali (*Stabilimento per la distillazione e fabbricazione dei liquori della ditta Fratelli Campari di Milano in comune di Sesto S. Giovanni. Arch. Luigi Perone*, ivi, 12, 1904, pp. 57-58).

⁶³ Uno è il brevetto n. 102741, Bianchi, Steiner & C., Milano, *Trave a struttura composta in cemento armato e ferro*, 26 maggio 1909. Fra le prime opere la ditta realizzava il serbatoio di acqua potabile di 600 metri cubi a Brunate e il serbatoio di Nami (*Il nuovo serbatoio ad acqua potabile di Brunate*, «Il Cemento», 1, 1907, p. 13; *Serbatoio di Nami*, ivi, 2, 1908, pp. 33-35).

⁶⁴ Nel 1903 la ditta eseguiva, con il brevetto Luipold, i solai e le coperture a shed della sede del «Corriere della Sera», progettata da Luca Beltrami e, con il suo originale brevetto a casseforme, lignee facilmente smontabili, solai vari in edifici per uffici e in case private. Brevetto n. 67167, C. Castiglioni, Milano, *Nuovo sistema di solai in cemento armato a cassa d'aria da eseguirsi con speciale armatura di legname*, 16 marzo 1903. Vedi *Nuova sede del Giornale "Corriere della Sera"*, Milano, via Solferino 28. Arch. Luca Beltrami, Ing. Luigi Repossi, «L'Edilizia Moderna» 2, 1905, pp. 5-10; *Palazzo della Soc. Bancaria Milanese in Milano. Arch. G. Giachi*, ivi, 1, 1905, pp. 1-2; *Casa Bellorini-Castavetti-Malgarini. Corso Concordia, 1. Milano. Arch. Augusto Brusconi*, ivi, 7, 1906, pp. 41-42.

⁶⁵ I magazzini della società editrice G. Ricordi & C. Milano, *Viale Vittoria 21. Arch. Diego Brioschi*, ivi, 6, 1902, pp. 34-35; *Il Monte di Pietà di Milano*, ivi, 7, 1907, pp. 45-47.

⁶⁶ *Il grande magazzino Contratti dell'Arch. Luigi Broggi*, ivi, 6, 1903, p. 34.

⁶⁷ Brevetto n. 67743, Chini Giovanni di Giuseppe, Milano, *Armature in ferro o acciaio ad u-*

norme resistenza, per travi e solette in cemento armato semplicemente appoggiate, semi-incastrate, incastrate e continue, 2 maggio 1903. La società, pur detentrica di numerosi brevetti in cemento armato, era ricercata soprattutto per i lavori in cemento artistico.

⁶⁸ Le tre campate, di 48 metri di corda e 24 metri di freccia, erano costituite da quattro arcate metalliche a tre centriere per ogni campata, realizzate con profilati di ferro chiodati, autoportanti ma annegate poi nel cemento, seguendo i suggerimenti del sistema Melan; le arcate sostenevano un viadotto con luci di 10,5 metri, eseguito in volture Montier. Vedi *Il grandioso ponte in cemento armato sul Tagliamento a Pinzano*, «Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani», 5, 1904, pp. 145-149; G. Vacchelli, *Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato*, III ed., Milano 1906, pp. 373-376. Tra le altre opere della Odorico, ricordiamo il ponte sul fiume Nera presso Papigno del 1901 per la Società delle tranvie di Terni, di 29 metri di luce e 7,5 metri di freccia, formato da 5 centine metalliche reticolari e realizzato sempre secondo il sistema Melan. G. Vacchelli, *Ponte in cemento armato sul fiume Nera a Papigno (Umbria)*, «Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani», 6, 1904, pp. 153-161; 7, 1904, pp. 177-186; G. Vacchelli, *Le costruzioni ...*, cit., II ed., Milano 1903, p. 315 e pp. 339-343.

⁶⁹ G. Vacchelli, *Le costruzioni ...*, cit., III ed., Milano 1906, p. 315. Per le vicende successive vedi *Una bella prova delle costruzioni in cemento armato*, «Il Cemento», 1, 1907, p. 25 e G. Vacchelli, *Le costruzioni ...*, cit., VI ed., Milano 1921, p. 324.

⁷⁰ *Il ponte sul fiume Reno all'Albertino*, «Il Cemento», 11, 1904, pp. 450-451.

⁷¹ Vedi C. Caviglia, *Di un muro di cinta di cemento armato costruito in Castel S. Angelo di Roma*, «Rivista di Artiglieria e Genio», IV, 1905, pp. 31-43; C. Gini, *Grande serbatoio in cemento armato per l'ospedale militare di Roma*, ivi, I, 1906, pp. 294-309; C. Gini, *Alcune applicazioni del cemento armato in nuovi fabbricati militari*, ivi, IV, 1907, pp. 45-66. Notizie di queste opere, tratte dalla rivista citata, venivano presentate anche su «Il Cemento»: *Muro di cinta in cemento armato costruito in Castel S. Angelo in Roma*, 7, 1905, pp. 211-212; *Nuovo serbatoio in cemento armato nell'ospedale militare di Roma*, 2, 1906, pp. 50-51; *Il cemento armato nei nuovi fabbricati militari di Roma*, 2, 1908, pp. 31-33. Un profilo biografico di Cescellino Caviglia (1844-1922) è riportato a fine testo. Qui si ricorda il suo brevetto n. 62457, C. Caviglia, Roma, *Nuovo sistema di composizione di cemento armato per solai e per travi*, 31 marzo 1902. Per le applicazioni vedi C. Marzocchi, *Le applicazioni del cemento armato fatte dal genio militare. Sistema di solai del gen. Caviglia*, «Giornale del Genio Civile», XLII, 1904, pp. 22-45; XLII, 1904, pp. 157-180. Il brevetto veniva in seguito acquistato dall'ingegnere F.S. Rossi ed utilizzato con perfezionamenti dalla sua ditta: brevetto n. 74005, F.S. Rossi, Roma, *Modificazioni nella costruzione di solai di cemento armato del sistema "Caviglia"*, 18 ottobre 1904 e succ. completivi.

⁷² *Dei tubi in cemento e in cemento armato*, «Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani», 38, 1904, pp. 1097-1100; G. Vacchelli, *Le costruzioni ...*, cit., II ed., Milano 1903, p. 297.

⁷³ *Una visita alle fabbriche delle Società Riunite "Fabbrica del Ghiaccio e ditta F. Peroni"*, «Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani», 27, 1904, pp. 801-808; 29, 1904, pp. 857-862.

⁷⁴ Brevetto n. 71987, Stabilimento Gabelini di C. Gabelini & C., Roma, *Longarine e piattaforme in c.a. a pareti sottili per la formazione di solai ad intercapedine e simili*, 2 maggio 1904. Prove di resistenza al fuoco di solai a longarine in cemento retinato, sistema "Gabelini & C.", «Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani», 48, 1904, pp. 1419-1420 e *Ancora sulle prove di resistenza al fuoco di solai a longarine in cemento retinato*, ivi, 49, 1904, p. 1459. Intorno al 1907 la ditta, in alcune strutture ospedaliere romane, metteva in opera solai con nervature eseguite in opera e lastroni prefabbricati di cemento retinato. Vedi F. Galassi, *Due costruzioni ospaliere in cemento armato*, «Rivista di Ingegneria Sanitaria», 8, 1910, pp. 93-97. Per altre realizzazioni vedi anche G. Vacchelli, *Le costruzioni ...*, cit., II ed., Milano 1903, pp. 337-338.

⁷⁵ *Cantieri romani del Novecento*, a cura di G. Muratore, Roma 1995, pp. 283-285; *Società*

Anonima Romana Cemento Armato, Firenze s.d. (ma 1913); G. Vacchelli, *Le costruzioni ...*, cit., VI ed., Milano 1921, p. 324.

⁷⁶ La ditta genovese, poi trasferitasi a Roma, sopravviverà a lungo a quella torinese che, nel 1933, verrà messa in liquidazione. La Ferrobeton invece avrà vita fino agli anni sessanta quando, priva della possibilità di realizzare opere pubbliche, si trasferiva in Libia, fallendo a seguito degli assenti politici di questa Nazione.

⁷⁷ Brevetto n. 74728, Simplex Concrete Piling Company, Washington (USA), *Perfectionnement à la construction des piliers de fondation en béton ou matières similaires*, 22 dicembre 1904. Vedi anche E. Mörsch, *Teoria ...*, cit., pp. 347-352.

⁷⁸ Brevetto n. 63915, A.G. Considère, Parigi, *Perfectionnement dans les constructions en béton armé*, 6 giugno 1902.

⁷⁹ Nei primi anni del secolo il sistema era stato sottoposto ad un "esorbitante" numero di prove da parte della Commissione del cemento armato francese, che nella normativa del 1906 ne incoraggerà l'impiego; anche Bach presso il Politecnico di Stuttgart, per incarico della Weyss & Freytag stessa, e Guidi a Torino condussero prove di resistenza sul sistema. I risultati delle prove, per quanto difficili da confrontare perché effettuate su campioni di forma diversa e diversamente armati, mettevano comunque in luce un miglioramento considerevole delle proprietà del materiale. Mörsch riferiva nel suo testo che l'efficacia del ferro in forma di fasciatura spiraleforme fosse 2,4 volte quella delle barre longitudinali e che la resistenza propria del cemento del nocciolo lasciasse risultasse 1,5 volte maggiore di quella dello stesso cemento provato in cubi ordinari. I grandi vantaggi del *beton frette* comunque si scontravano con un notevole aumento dei costi e con la difficoltà di formare una manodopera capace di confezionare e posizionare le spirali. In Italia si diffondevano numerosi brevetti derivati da quello di Considère, ma con notevoli complicazioni in termini esecutivi: brevetto n. 144312, Soc. It. Costruzioni edilizie Ing. G. Neumann, Rasini & C., Firenze, *Calcestruzzo armato con ferri longitudinali, avvolto da ferri trasversali accerchiati a spirale*, 4 luglio 1914.

⁸⁰ Con questo sistema veniva realizzato a Messina, dopo il terremoto del 1908, l'orfanotrofio Regina Elena per conto del Comitato Milanese Pro Calabria e Sicilia. Vedi E. Mörsch, *Teoria ...*, cit., pp. 243-247.

⁸¹ Brevetto n. 55624, Soc. Internazionale Travi Siegwart, Lucerna (Svizzera), *Poutres et solives pour la construction des planchers*, 30 giugno 1900. Seguivano poi altri cinque brevetti, sempre basati sulla stessa invenzione. Vedi Société Internationale des potites Siegwart, *La poutre Siegwart*, Lucerna 1905; *Le travi in cemento armato. Travi sistema Siegwart*, «Il Cemento», 5, 1904, pp. 145-148.

⁸² Le nervature verticali erano armate con ferri dritti o piegati agli estremi, collegati da staffe; le solette, dotate di sola armatura di ripartizione, formavano il soffitto ed il pavimento. Le travi cave venivano accostate in opera e giuntate con un getto di conglomerato. Per le applicazioni delle travi da parte della Porcheddu, vedi R. Nélva, B. Signorelli, *Avvento ...*, cit., nota 5, p. 73; *Le nuove abitudini popolari in Torino*, Arch. Stefano Mollì, «L'Edilizia Moderna», 7, 1907, pp. 47-48.

⁸³ Le travi Visintini erano composte da una soletta superiore e da una inferiore collegate da una serie di diagonali. Messe in opera analogamente alle travi Siegwart, avevano una valida applicazione soprattutto per le grandi luci. Vedi brevetto n. 66761, F. Visintini, Zurigo (Svizzera), *Trave a traliccio*, 20 novembre 1902. *Le travi in cemento armato. Le travi a traliccio sistema Visintini*, «Il Cemento», 1, 1904, pp. 25-28.

⁸⁴ Brevetto n. 64469, F. Corradini, Torino, *Trave solaio beton trasportabile*, 17 luglio 1902. *Solaio componibile monolitico in beton-ferro-laterizi*, «Il Monitor Tecnico», 10, 1915, pp. 185-186. Le travi, sagomate superiormente in modo da presentare un bordo inclinato per l'appoggio di tavelloni laterizi, vennero adottate, ad esempio, per i solai di una scuola a Torino, nel 1902. *Il nuovo edificio delle scuole comunali di Torino del borgo Crimea*, «L'Edilizia Moderna», 9, 1904, pp. 42-43. Corradini era autore di almeno altri sei brevetti su solai a travi prefabbricate.

⁸⁵ Brevetto n. 98780, L. Dorella, Padova, *Sistema di solai in cemento armato*, 7 novembre 1908.

⁸⁶ Brevetto n. 63694, S. Ghiardi, Milano, *Solai tubolari in cemento armato di costituzione mi-*

- sta, 10 maggio 1902. Vedi anche *Solai tubolari in cemento armato*, «Il Cemento», 2, 1904, pp. 54-55.
- 87 Brevetto n. 65913, E. Liling, E. Böllinger, Milano, *Strutture reticolari di uniforme resistenza in cemento armato*, 3 dicembre 1902.
- 88 Brevetto n. 119964, A. Danusso, Torino, *Perfezionamenti nei solai in cemento armato a doppia serie di travi ad angolo tra di loro*, 24 agosto 1911.
- 89 A. Danusso, *Contributo al calcolo pratico delle piastre appoggiate sul contorno*, «Il Cemento», 1911. La memoria veniva tradotta in tedesco e pubblicata a Berlino nel 1913. Vedi la recensione di G. Rerere su «Il Monitor Tecnico», 8, 1913.
- 90 G. Neumann, *I cinquantenni del solai misto in c.a. e laterizio e del primo ponte leggero in c.a.*, «Il Cemento», 2, 1961, pp. 14-15. I primi solai laterocementizi mai realizzati, secondo Neumann, sarebbero stati quelli da lui eseguiti al Kursaal di Viareggio, nel 1911, e nell'albergo sanatorio Bellevue a Sanremo. Vedi anche V. Bacco, L. Ciancabilla, *Il manuale dei solai in laterizio*, Roma 1994.
- 91 *Casa Lancia al Bocchetto di Milano*. Arch. Achille Manfredini, «L'Edilizia Moderna», 12, 1906, pp. 69-70; emp. *Casa Lancia al Bocchetto di Milano*, «Il Cemento», 4, 1907, pp. 104-106.
- 92 Brevetto n. 90414, G. Fasciardi-Calvino, Genova, *Tavellone forato speciale per la costruzione di solerioni in cemento armato a camera d'aria*, 27 luglio 1907.
- 93 Brevetto n. 98562, F. Frazzi, Cremona, *Orditura laterizia o ad altra sostanza per la formazione di camere d'aria nei tetti o solai-soffitti in cemento armato*, 19 ottobre 1908.
- 94 Brevetto n. 84447, G. Cannovale, Genova, *Nuovo tipo di tavelloni per costruzione di solai in cemento armato a camera d'aria*, 4 ottobre 1906. I tavelloni venivano impiegati, per esempio, nella realizzazione della sede del Touring Club Italiano a Milano. Vedi *La nuova sede del Touring Club Italiano a Milano*, «Il Monitor Tecnico», 28, 1915, pp. 422-430.
- 95 Brevetto n. 128069, G. Salerni, A.P. Miozzo, Venezia e Padova, *Sistema di costruzione di solai economici in cemento armato e volteerane di colto*, 16 settembre 1912.
- 96 Brevetto n. 149310, G. Palagi, G. Cioni, Firenze, *Solai a struttura mista di laterizio e cemento armato*, 15 giugno 1915.
- 97 Brevetto n. 139895, G. Chini, Milano, *Solai in cemento armato con camera d'aria in colto a travetti resistenti con sezione trasversale variabile*, 16 gennaio 1914.
- 98 Sul concorso vedi A. Manfredini, *I danni del terremoto e le nuove costruzioni nelle zone colpite. Una lodevolissima iniziativa della Cooperativa Lombarda delle Opere Pubbliche*, «Il Monitor Tecnico», 1, 1909, pp. 1-2; *Programma del concorso per costruzioni edilizie nelle Regioni Italiane soggette a movimenti sismici*, «Il Monitor Tecnico», 2, 1909, p. 36; *Il Concorso e l'Esposizione per le costruzioni antisismiche di Milano*, «L'Architettura Italiana», 8, 1909, p. 90; *Relazione della Giuria del Concorso per costruzioni edilizie nelle regioni italiane soggette a movimenti sismici*, «Il Monitor Tecnico», 26, 1909, pp. 501-504; 27, 1909, pp. 522-526; 28, 1909, pp. 543-546.
- 99 Vedi A. Danusso, *La statica delle costruzioni antisismiche*, «Il Monitor Tecnico», 33, 1909, pp. 641-645.
- 100 *Relazione della Commissione incaricata di studiare e proporre norme edilizie obbligatorie per i comuni colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 ed altri anteriori*, Roma 1909.
- 101 R.D. n. 193 del 18 aprile 1909, *Norme tecniche ed igieniche obbligatorie per le riparazioni, ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei comuni colpiti dal terremoto del 1908 o da altri precedenti, elencati nel R.D. del 18 aprile 1909*. Il regolamento precedente era stato emanato col R.D. n. 511 del 16 settembre 1906, *Norme per le costruzioni, riparazioni e riparazioni degli edifici privati, pubblici e di uso pubblico nella regione calabrese e nei comuni della provincia di Messina danneggiati dal terremoto*. Vedi anche Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici, Direzione Generale dei servizi speciali - Sezione Terremoto, Div. 18, n. 2664 del 23 aprile 1909.
- 102 *Relazione della Commissione incaricata di rivedere le norme edilizie obbligatorie per i comuni colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 e da altri anteriori*, Roma 1912 e R.D. n. 1104 del 6 settembre 1912.

La diffusione del cemento armato (1900-1915)

105

- 103 Istruzioni ed esempi di calcolo delle costruzioni stabili alle azioni sismiche. *Seconda Relazione della Commissione istituita con R.D. del 17 dicembre 1911*, «Giornale del Genio Civile», 31 ottobre 1913, p. 546.
- 104 Ministero dei Lavori Pubblici, *Gli edifici pubblici e le case degli impiegati dello Stato nei Presi colpiti dal terremoto*, Roma 1913, pp. 51-52.
- 105 Vedi Unione Edilizia Messinese, *L'opera dell'Unione Edilizia Messinese per la ricostruzione di Messina (febbraio 1914 - giugno 1917)*, Bergamo 1917; Unione Edilizia Nazionale, *L'opera dell'Unione Edilizia Nazionale nel quadriennio 1917-1920*, Roma 1921; Ministero dei Lavori Pubblici, *L'azione del Governo Fascista per la ricostruzione delle zone danneggiate dalla calamità*, Terni 1933; L. Morelli, *L'applicazione del cemento armato alle costruzioni antisismiche*, relazione al 1° Congresso Nazionale del Cemento tenutosi a Casale Monferrato nel maggio 1937, Casale Monferrato 1937.
- 106 Brevetto n. 95235, G.A. Porcheddu, Torino, *Speciale tipo perfezionato di ferri, e sua applicazione nelle costruzioni in calcestruzzo di cemento armato*, 6 aprile 1908.
- 107 Brevetto n. 100064, G. Vianini & C., Roma, *Costruzione ad elementi cellulari per paesi soggetti a movimenti sismici*, 9 gennaio 1909.
- 108 Tale sistema veniva usato per realizzare, nel 1910, uno dei primi fabbricati antisismici della Calabria: la stazione ferroviaria di Sbarre.
- 109 Tra il 1909 ed il 1910, ma poi anche nelle varie tappe della ricostruzione e a seguito dei terremoti successivi, venivano proposti numerosi brevetti per strutture resistenti ai movimenti sismici. Segnaliamo qui solo due tra i più interessanti, riguardanti strutture intelaiate: brevetto n. 100480, G. Marucchi, G. Brutini, Roma, *Costruzioni asismatiche in cemento armato resistenti ai più forti terremoti*, 10 febbraio 1909, brevetto n. 203030, G. Zany, Reggio Calabria, *Elementi e strutture di conglomerato per costruzioni rapide con speciale applicazione al ferrocemento senza uso di casseforme provvisorie ed alla edilizia asismica di forte resistenza*, 5 settembre 1921. Per un quadro più completo vedi C. Baruccci, *La casa antisismica. Prototipi e brevetti*, Reggio Calabria 1990.
- 110 *Ponte ad arco in cemento armato*, «Il Cemento», 6, 1908, pp. 147-148.
- 111 Il primato veniva perduto alla realizzazione, tra il 1919 e il 1921, di un grande ponte in cemento armato a cinque arcate sul Mississippi. E. Gray, *Un'arcata di cemento armato di metri 121,50 di corda*, «Il Monitor Tecnico», 18, 1920, p. 171.
- 112 Per l'analisi dettagliata delle vicende della costruzione e delle polemiche suscitate vedi di R. Nelva, B. Signorelli, *Avvento ... cit. e Il ponte Risorgimento: significati di un'opera innovativa*, in *Roma 1911*, Roma 1980, pp. 291-303.
- 113 A. Porcheddu si doveva l'idea della costruzione di una sola campata, nonché della centina provvisoria in cemento armato. Vedi *A proposito del nuovo ponte sul Tevere a Roma*, «Il Monitor Tecnico», 16, 1911, p. 335.
- 114 «Questo sistema si mostrò molto valido: un vaporetto che in un giorno di piena si era venuto a battere contro una sfilata spezzando alcuni pali in cemento armato, in ragione del collegamento specialissimo di tutta la struttura non danneggiò affatto l'opera in corso di esecuzione». Il nuovo ponte sul Tevere a Roma, ivi, 14, 1911, pp. 287-289.
- 115 A. Danusso, *Intuito e scienza nel cemento armato*, «Rendiconti e Pubblicazioni del corso di perfezionamento per le costruzioni in cemento armato del Politecnico di Milano», fasc. 1, Milano 1952, pp. 3-12.
- 116 Vedi R. Nelva, B. Signorelli, *Avvento ... cit.*, p. 101 e conferenza tenuta da Nervi a Zurigo nel 1970.



FIG. 1

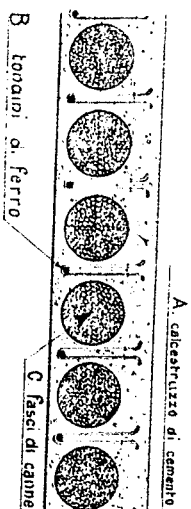


FIG. 2

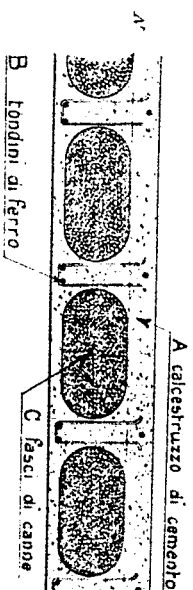
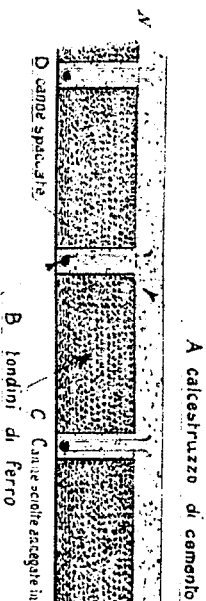


FIG. 3



*Disegnato 10 aprile 1919
Ing. Guido Biondi*

Brevetto n. 177385, G. Monti, Roma, Nuovo sistema di solai leggeri in calcestruzzo, armato con ferro e canne vegetali, 11 agosto 1919

La normalizzazione del cemento armato (1915-1935)

A partire dalla ricostruzione postbellica e poi nel corso degli anni venti, la costruzione in cemento armato si consolidava come tecnica di edificazione ordinaria.

In questa fase, caratterizzata dallo sviluppo dell'edilizia residenziale pubblica, il sistema costruttivo, più rapido e più economico dei tradizionali, si adattava egregiamente alla realizzazione dei nuovi tipi abitativi, spesso convivendo con la muratura portante nell'ambito dell'apparecchio murario misto.

In quegli anni la tecnica del cemento armato, sempre meno soggetta al regime dei brevetti, sempre meno esclusiva di imprese specializzate, entrava definitivamente nel corredo di base dell'ingegnere professionista e della piccola e media impresa. Per agevolare i neofiti e per velocizzare la progettazione anche dei più esperti, si rendevano disponibili sul mercato prontuari, albi e tabelle, non sempre rigorosi, e nuovi preziosi strumenti meccanici, come i regoli e le prime calcolatrici.

L'accessibilità della tecnica a sempre più nutrite schiere di imprese e progettisti, non necessariamente qualificati, richiedeva più rigore nella normativa, in particolare per l'aspetto esecutivo: l'ormai superata legge del (1907) veniva a più riprese aggiornata e nel (1927) estesa a tutte le costruzioni, sia pubbliche che private.

Intanto il mondo scientifico continuava ad approfondire gli studi sul materiale, affinando la conoscenza di parametri fino ad allora trascurati. L'industria migliorava e trasformava le tecniche produttive, privilegiando il cemento artificiale rispetto al cemento naturale, in via di esaurimento: dal processo di perfezionamento del materiale rapidamente derivavano cementi dalle prestazioni speciali.

Nella seconda metà degli anni venti una serie di circostanze concomitanti determinava un drastico cambiamento di direzione nell'evoluzione della tecnica edilizia in Italia. Corrispondentemente mutava il ruolo che in essa svolgeva il cemento armato. Nel giro di qualche anno, infatti, il regime fascista riconduceva il settore edilizio all'interno del corporativismo contemporaneamente, come reazione alla grande crisi del 1929 che aveva interrotto lo sviluppo edilizio, si svolgeva il processo di modernizzazione delle tecniche costruttive; tutto ciò avveniva negli stessi anni in cui si accendeva il dibattito sull'affermazione dell'architettura moderna.

Che ruolo assumeva la tecnica del cemento armato in questo processo di trasformazione? E, reciprocamente, come evolveva la tecnica del cemento armato per effetto di questi rivolgimenti?

Mentre la sperimentazione tecnologica si spostava sulle opere di grande impegno strutturale, oggetto di studio diveniva la conformazione dell'ossatura di cemento armato in rapporto alla ricerca di nuove forme e alla definizione

ne di un nuovo linguaggio architettonico. Il modo di costruire subiva una forte evoluzione e questo processo vedeva coinvolta non più solo l'ingegneria ma anche la cultura architettonica. Gli esiti di questa fase sono riscontrabili nelle opere realizzate nella prima metà degli anni trenta, prima che l'autarchia cambiasse nuovamente le condizioni.

Lo sviluppo del cemento armato nell'edilizia residenziale pubblica

Nel maggio del 1915 l'entrata in guerra dell'Italia interrompeva la fase di crescita economica del Paese, crescita che aveva coinvolto ampiamente anche l'industria edilizia ed aveva contribuito in maniera significativa alla progressiva diffusione del cemento armato.

Lo stato di guerra comportava, tra le altre conseguenze, il sostanziale blocco delle costruzioni tanto che fino al novembre del 1918 ben poche opere venivano portate a termine, tra enormi difficoltà di approvvigionamento e carenza di manodopera.

Il conflitto coinvolgeva profondamente gli italiani e richiama alle armi ingegneri e studiosi fisicamente abili, giovani e meno giovani, spesso volontari. L'organizzazione delle riviste tecniche era stravolta a causa della partenza per il fronte della maggior parte dei collaboratori, oltre che per le limitazioni imposte alla stampa, specialmente periodica.

Tutto il Paese focalizzava le proprie energie sul nemico e su "quel lembo di patria calpestato". Una straordinaria quantità di invenzioni, per nuovi mezzi di offesa e di difesa, invadeva l'ufficio della proprietà intellettuale, tanto da rendere necessaria la costituzione di una speciale commissione per individuare, nella miriade di brevetti la maggior parte dei quali inutilizzabili, qualcosa di buono ed utile "per debellare definitivamente l'odiatto nemico"². In compenso, nel campo dell'edilizia, e più in particolare del cemento armato, il numero di private scendeva sensibilmente per gli effetti della sospensione delle attività costruttive³.

Con la ricostruzione postbellica, l'industria edilizia conosceva un'intensa ripresa: da una parte la riparazione dei danni e la rimessa in funzione dei ponti, delle strade, delle opere idrauliche, dall'altra la necessità di fornire un alloggio ai reduci e a tutti coloro che si trasferivano nelle grandi città alla ricerca di un lavoro, favorivano il settore edilizio che, per la mancanza di manodopera e per il fortissimo rincaro dei materiali, era rimasto bloccato anche durante la smobilizzazione.

La guerra aveva alterato tutti i rapporti economici nel settore dell'edilizia residenziale, annullando sostanzialmente l'elasticità nell'offerta di case. Per ragioni di ordine pubblico entrava in vigore una complessa legislazione vincolativa che in pratica impediva l'aumento degli affitti, bloccava gli sfratti e prolungava i contratti. Questo regime che, pur progressivamente attenuato,

perdurava ancora nelle linee generali a distanza di dieci anni dalla fine della guerra, diminuiva l'attività di edificazione di nuove case da affitto in favore della costruzione di case ad appartamenti da venderli singolarmente. Il regime della proprietà immobiliare in condominio assumeva quindi uno sviluppo prima di allora sconosciuto.

L'insieme di contributi e di esenzioni fiscali concessi per realizzare case popolari ed economiche contribuiva inoltre a stimolare questo tipo edilizio, i cui costi di costruzione dovevano però mantenersi entro limiti rigidi proprio per le caratteristiche non speculative degli enti che ne prendevano in carico la realizzazione: l'Istituto per le Case Popolari e le Società Cooperative⁴.

In questa nuova fetta di mercato si inseriva prepotentemente il cemento armato, favorito anche dai mutati rapporti di costo fra i materiali.

Nell'immediato dopoguerra infatti i prezzi di tutti i materiali salivano repentinamente: il ferro omogeneo ed il legno decuplicavano il loro prezzo, il cemento lo maggiorava di sei o sette volte, i laterizi lo quintuplicavano. Ad appesantire la situazione, la manodopera raggiungeva un costo orario maggiorato di cinque o sei volte rispetto all'anteguerra. Questo fenomeno dipendeva dal fatto che la produzione, praticamente sospesa durante la guerra, non riusciva a tornare a regime. Il cambio sfavorevole incideva inoltre pesantemente sull'importazione del ferro, del combustibile per i forni e del carburante per i trasporti⁵. La produzione laterizia subiva un'ulteriore crisi a causa di uno sciopero dei fornaciati durato due mesi, che paralizzò molti cantieri.

L'industria cementiera, che aveva visto passare la sua produzione da 250.000 tonnellate nel 1900 a 1.250.000 tonnellate nel 1914, dopo aver subito la chiusura degli impianti nel periodo bellico e aver poi utilizzato per lungo tempo combustibile di bassa qualità, con conseguente scarso rendimento degli impianti, tornava ai valori di produzione dell'anteguerra solo nel 1921⁶.

Quali allora le cause della diffusione del cemento armato nell'edilizia residenziale? L'aumento generalizzato dei prezzi incideva anche sulle costruzioni in cemento armato, ma queste avevano la caratteristica di tempi di esecuzione molto ridotti rispetto alle tecniche tradizionali e necessitavano di minore manodopera. In un momento in cui la rapidità di esecuzione diveniva uno dei pochi strumenti per abbattere i costi, il cemento armato si offriva dunque come materiale ideale per fabbricati che non dovessero rispondere a specifici standard di qualità, tipici invece delle costruzioni realizzate per l'alta borghesia. Sicché, soprattutto nell'edilizia residenziale pubblica nelle sue varie forme, si sviluppava l'impiego del cemento armato.

Per citare solo qualche esempio, a Milano veniva adottato il cemento armato in modo più o meno innovativo nelle case alte della Cooperativa "Case e Alloggi" e della Cooperativa "Case per i Combattenti"⁷, ma anche nei contemporanei villini della Cooperativa Edile Posteografonica⁸ o nel borgo Pirelli⁹, nato a seguito di una convenzione fra la ditta Pirelli e l'Istituto per le Case Popolari e destinato agli impiegati e agli operai dello stabilimento del-

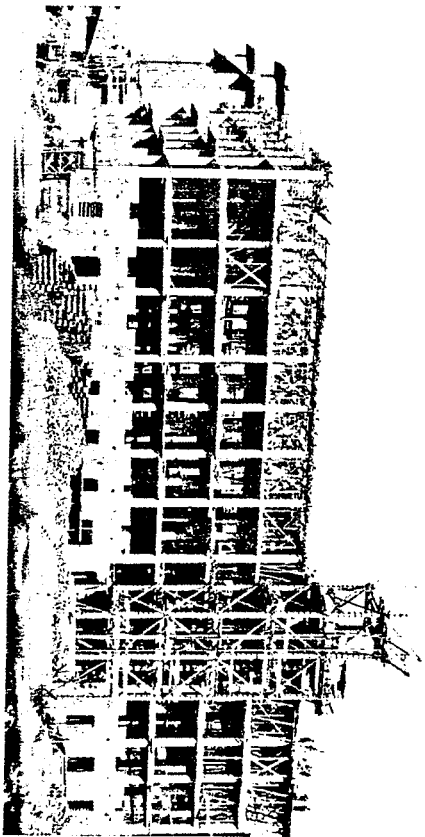


Fig. 72 - Alloggi per impiegati in costruzione a Roma a Viale delle Milizie ad opera dell'Unione Edilizia Nazionale (1920)

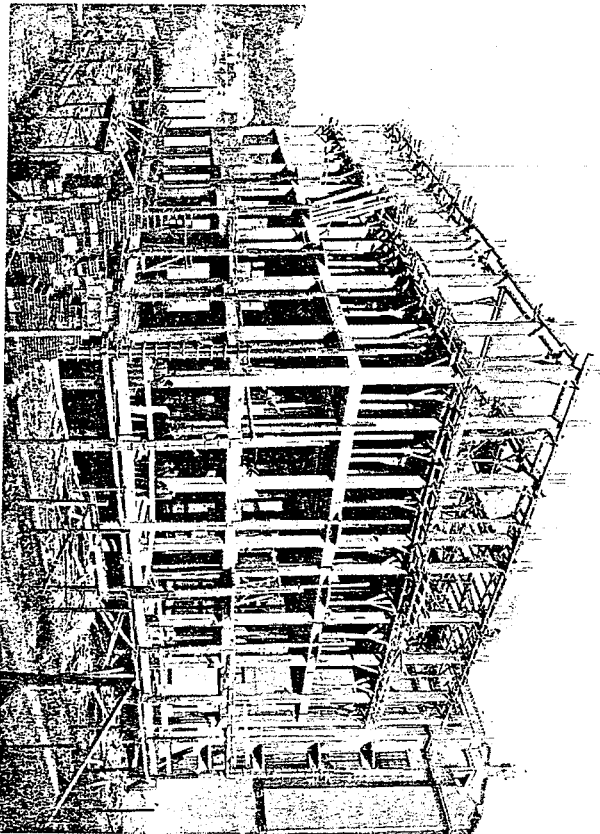


Fig. 73 - Palazzina per la cooperativa Urbs Nova in costruzione a Roma ad opera dell'Impresa Flli Gra (1924)

la Bicocca. Il materiale veniva impiegato anche nella costruzione delle case di condominio¹⁰ che, per le loro caratteristiche non di lusso, godevano ancora delle agevolazioni fiscali e finanziarie.

Anche a Roma case popolari, case per i dipendenti del Governatorato o dei Ministeri, case in cooperativa saturavano i quartieri Prati, Trionfale, Trieste e San Giovanni. La sola Unione Edilizia Nazionale - nata come Unione Edilizia Messinese e incaricata di provvedere alla ricostruzione nelle zone terremotate ma poi autorizzata anche a costruire per conto di cooperative e privati su tutto il territorio nazionale - metteva in cantiere 1604 alloggi fra la fine della guerra ed il 1920: edifici di tipo intensivo in via Trionfale, viale delle Milizie, via Po, via Nizza, ma anche villini nella città giardino Aniene e a Monteverde, nei quali il cemento armato aveva un ruolo privilegiato.

In quale modo era impiegato il nuovo materiale in questa edilizia corrente? Se gli orizzontamenti erano quasi esclusivamente in cemento armato misto a laterizi, la sperimentazione sulle strutture verticali si concentrava su una apparecchiatura costruttiva mista. Nei casi più diffusi, la costruzione adottava le forme e le fasi esecutive della muratura portante, in mattoni o in pietra, ma, al fine di un miglior concatenamento dei muri, venivano adottati cordoli, montanti e correnti di rinforzo in cemento armato, eseguiti col procedere della costruzione muraria. Non mancavano però applicazioni dello scheletro portante in cemento armato, completato indipendentemente dalle altre lavorazioni e poi tamponato con muratura piena di spessore considerevole per garantire solidità e coibenza. Veniva sperimentata in questi anni anche una tipologia costruttiva destinata a notevole diffusione: i muri perimetrali dell'edificio conservavano il loro tradizionale ruolo portante mentre all'interno si adottavano pilastri e travi in cemento armato. Questa soluzione consentiva una migliore utilizzazione degli spazi e la possibilità di variare la distribuzione planimetrica ai vari piani, ottenendo appartamenti di diverso taglio, ma nel contempo rispettava l'immagine tradizionale delle facciate e ne salvaguardava il linguaggio architettonico.

Intanto, per tentare di ridurre i costi di costruzione, cominciava l'applicazione di pannelli leggeri per tramezzi e tamponature di facciata, in sostituzione delle consuete murature piene. I pannelli caricavano in misura minore le strutture in cemento armato e quindi producevano sensibili economie nelle armature. Inoltre risultavano meno ingombranti, facilmente trasportabili, con una posa più rapida e con un miglior comportamento termico ed acustico. Si diffondevano inoltre le murature a blocchi cementizi cavi, la cui sperimentazione era cominciata già prima della guerra ma che, a causa del mutato rapporto fra i prezzi dei materiali e degli scioperi nell'industria laterizia, erano diventati ora assai più competitivi. Si provavano anche muri ad intercapedine con pareti sottili di materiale cementizio variamente armato, prefabbricati o eseguiti in opera¹¹.

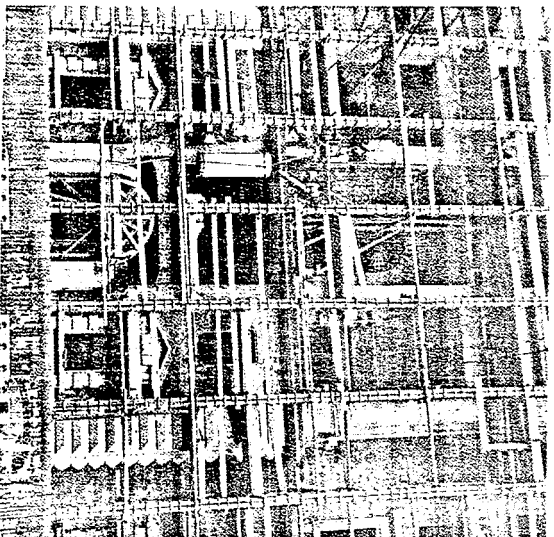
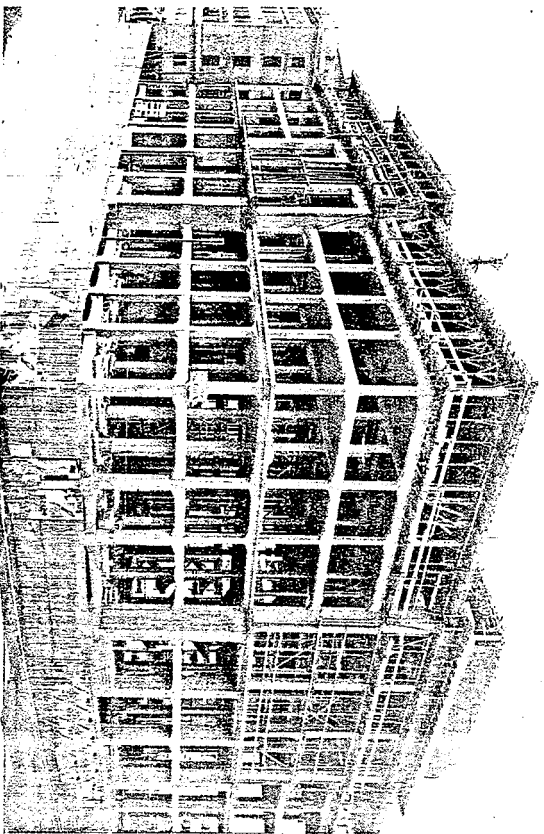


Fig. 74 - Edificio di abitazione della Soc. An. Coop. La Casa Famigliare in costruzione a Roma ad opera dell'Impresa F.lli Gra (1929-1932): l'ossatura in cemento armato e il cantiere durante le fasi di completamento

Ma dove maggiormente si esprimeva la fantasia degli inventori era, ancora una volta, nei solai, con centinaia di soluzioni a struttura mista, generalmente laterocementizia. Questi solai, preferiti a quelli a soletta piena o nervata e diffusi già prima della guerra, avevano trovato ormai vastissima applicazione, soprattutto nelle case di abitazione, per alcune specifiche prestazioni: buon isolamento termoaustico, intradosso piano, facile realizzazione. Le nuove soluzioni miravano ora a ridurre al minimo l'impiego del legno per le casseforme, a velocizzare l'esecuzione ricorrendo ad elementi prefabbricati e autoportanti, a ridurre i pesi morti introducendo materiali più leggeri, a diminuire l'incidenza del costo delle finiture¹².

Il largo favore conquistato da questo tipo di soletta "ha fatto sbizzarrire la fantasia degli inventori, che molte volte nelle loro invenzioni per differenziarsi si sono abbandonati a giochetti di disegno piuttosto che a necessità sentite o a miglioramenti veramente tali, ed ogni fornace ha desiderato avere il proprio tipo magari senza pensare se valeva la pena complicare i tipi usati e se per caso anziché raggiungere un qualche miglioramento con i nuovi tipi ne potesse venire fuori un peggioramento. Blocchi laterizi d'ogni spessore e larghezza con profili leggermente variati. L'uno dall'altro - ci sono offerti ogni giorno [...] Le varianti fra i profili dei vari tipi di blocchi laterizi cavi non sono in molti casi giustificate altro che per scavalcare brevetti, per ottenerne di nuovi. Alcune volte le varianti sono suggerite allo scopo di ricavare un maggior prezzo senza dare nulla di più."¹³ Per la difficoltà del calcolo dovuto alla bizzarria delle forme adottate, questi tipi di soletta erano accompagnati da tabelle che suggerivano, in funzione della luce e per diverse categorie di sovraccarico, lo spessore della soletta di completamento e l'armatura delle nervature, tabelle evidentemente difficili da verificare. Spesso i solai brevettati non prevedevano alcuna soletta estradossale, il che avrebbe scatenato di lì a poco vivaci polemiche tra i teorici, in particolare tra Camillo Guidi e Luigi Santarella¹⁴.

Non mancavano comunque brevetti interessanti, che trovavano larga applicazione e che, testati da autorevoli accademici, davano ottimi risultati: il soletto Berra, per esempio, con laterizi forati triangolari, che sottoposto ad impegnative prove da parte di Guidi nel 1922, di Revere nel 1924 ed infine di Santarella nel 1925¹⁵, manifestava un ottimo comportamento. Da queste sperimentazioni partivano le ricerche sulla possibilità di considerare la collaborazione tra il laterizio e il cemento armato nel fronteggiare gli sforzi esterni: condotte prevalentemente da Santarella, sarebbero sfociate qualche anno più tardi nell'avventura autarchica dei solai senza ferro con laterizi ad incastro.

Molto successo riscuotevano inoltre i solai a nervatura incrociata¹⁶, simili al già citato Duplex di Danusso¹⁷. Per questi tipi veniva adottato il calcolo a piastra interamente appoggiata, introdotto dallo stesso Danusso e poi perfezionato da altri autori, che risultava assai più vantaggioso di quello tradizionale¹⁸.

L'Unione Edilizia Nazionale affermava di aver adottato, nei già citati quartieri romani¹⁹, solai in cemento armato a nervatura semplice o incrociata, al-

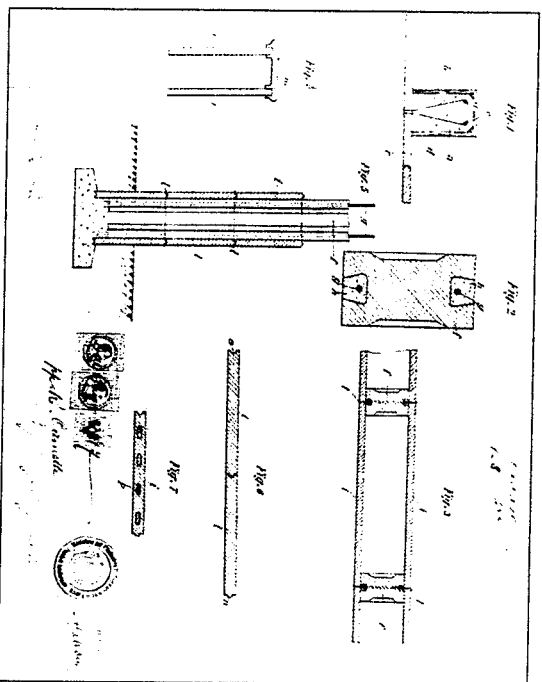


Fig. 75 - Brevetto n. 160010, R. Canetti, Roma, Muri resistenti costituiti da ossatura in cemento armato e tavole di conglomerato di cemento, 2 giugno 1917

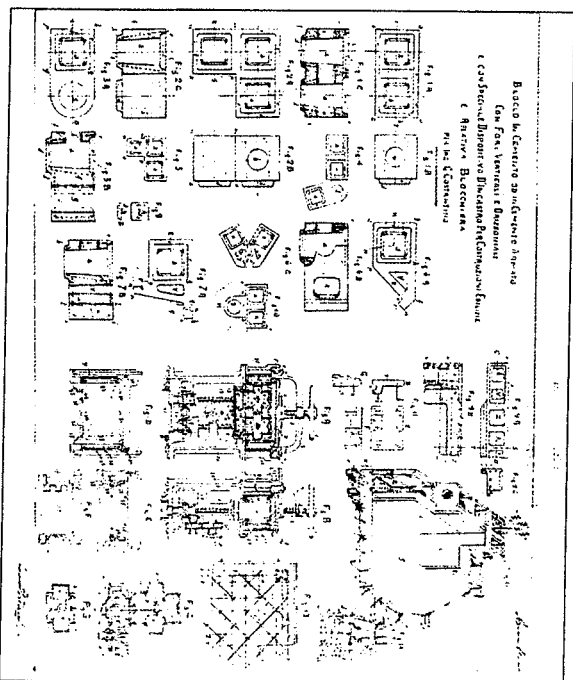


Fig. 76 - Brevetto n. 261305, G. Costantino, Roma, Blocco in cemento od in cemento armato a fori verticali ed orizzontali e con speciale dispositivo d'incastro per costruzioni edilizie e relativa blocchiera, 20 novembre 1926

leggeriti mediante blocchi cavi di semplice cartone bitumato²⁰ o di rete metallica irrigidita con malta cementizia²¹. Sempre in sostituzione delle pignate laterizie, troppo costose, impiegava cestini di vimini rovesciati o semplicemente imbottiture di cannicci²². Fortunatamente queste soluzioni erano riservate a situazioni particolari, mentre nella maggior parte dei casi venivano messi in opera più affidabili solai laterocementizi, quali il già citato Miozzo-Salerni.

Oltre che sui muri e sui solai, la ricerca per ridurre gli sprechi di materiale e per rendere più spedita la costruzione si concentrava su soluzioni che modificavano sostanzialmente i sistemi ed i ritmi del tradizionale cantiere del cemento armato. Da un lato si mirava a sostituire le casseforme usuali con sagome riutilizzabili oppure con casseforme a perdere ma collaboranti con la struttura finita, dall'altro si tendeva a ridurre i tempi morti del cantiere, quelli di stagionatura dei getti, adottando la prefabbricazione a piè d'opera o in officina dei pezzi principali da assemblare poi in opera e "saldare" con piccoliti getti di malta a presa rapida.

Di casseforme smontabili e riutilizzabili ne venivano proposti molti tipi, prevalentemente di legno ma anche di lamiera, spesso adatte per conformare in getto anche le pareti di tamponamento e di partizione: adattabili a qualunque planimetria e numero di piani, consentivano di venire incontro alle esigenze più varie²³. Nei casi più estremi si proponevano veri e propri stampi recuperabili, all'interno dei quali colare il calcestruzzo senza effettuare riprese di getto²⁴. Meno versatili i casseri a perdere, che per il fatto di essere realizzati fuori opera e prevalentemente in cemento, venivano studiati per tipi edilizi prefissati, anche se poi erano pubblicizzati come adattabili a tutte le soluzioni²⁵.

Anche la prefabbricazione aveva molti estimatori, per via dei vantaggi economici e di tempo: casseri ad uso multiplo, facilità nella posa in opera dei ferri e nel loro mantenimento in sito durante la gettata, ottimizzazione del rapporto acqua - cemento, condizioni indisturbate di presa del conglomerato, contemporanea esecuzione di tutte le strutture principali, collaudo preventivo degli elementi così da poterli scartare in caso di difetti ed infine grande economia di manodopera²⁶. Tutto questo si pagava però con la difficoltà di adattamento dei pezzi a strutture sempre diverse, imprecise, dalle forme complesse e inoltre con la difficoltà di calcolo, dovuta alla non facile schematizzazione dei vincoli e alla dubbia conoscenza del grado di collaborazione tra i pezzi realizzati fuori opera ed i getti di completamento.

I brevetti più diffusi, basati sul confezionamento fuori opera di elementi isolati - travi, pareti e solette - si distinguevano per le modalità di assemblaggio in opera²⁷. Originale il brevetto dell'ingegnere Gaetano Ciocca che, decisamente ispirato dai modelli americani, prevedeva la realizzazione a piè d'opera di pannelli cellulari, da montare verticalmente od orizzontalmente, le cui maglie venivano riempite con muratura o con tavelloni. La movimentazione

SEMPRE PIÙ SOSTA DI COTON E DI COTONE ARMALE NEL SISTEMA BERRA

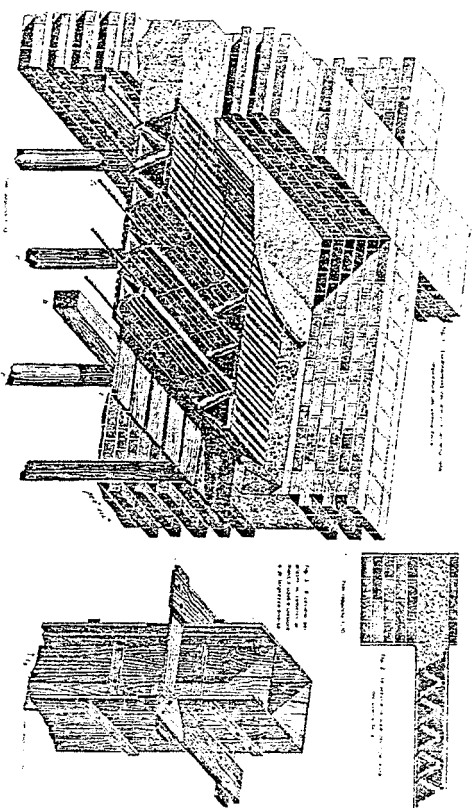


Fig. 77 - Il solai Berri

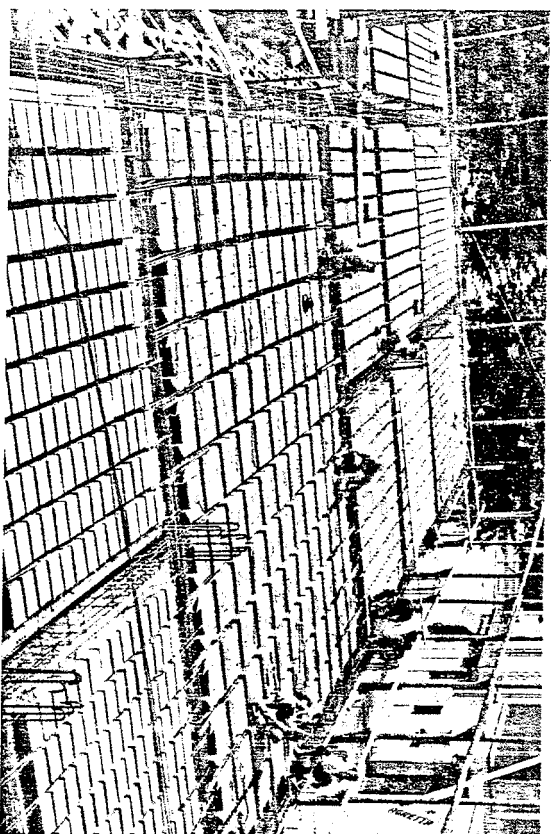


Fig. 78 - Il solai Duplex di Danusso posto in opera nella Casa del fascio di Como (1933)

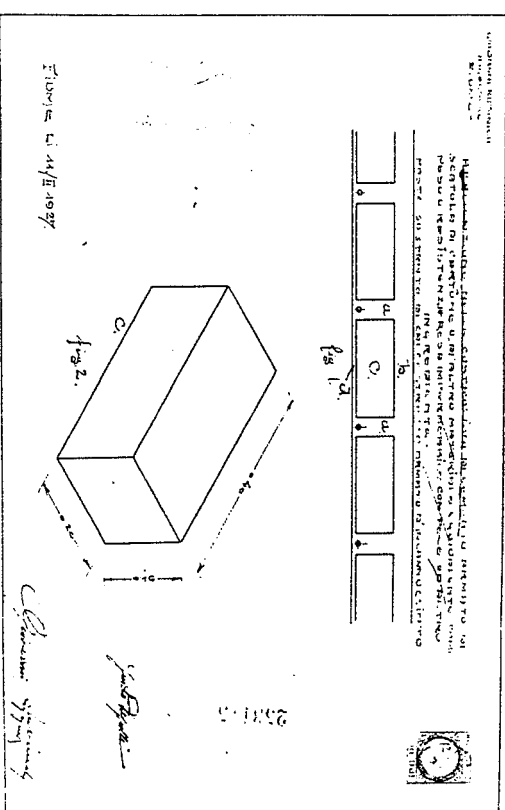


Fig. 79 - Brevetto n. 253115, G. Rubinch, Fiume, Applicazione nelle costruzioni di cemento armato di scatole di cartone o di altro materiale equivalente come peso e resistenza reso impermeabile con pece ad altro ingrediente poste su strato di calcestruzzo armato di incamiciato, 17 febbraio 1927

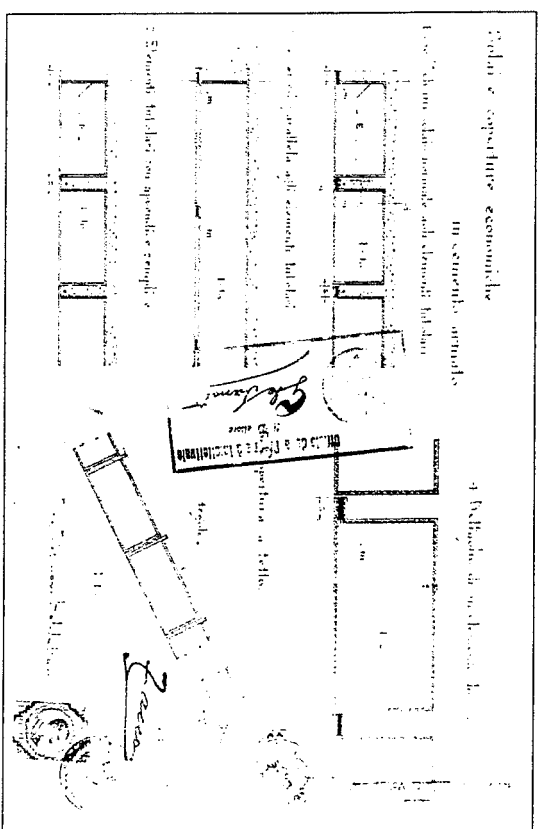


Fig. 80 - Brevetto n. 205187, V. Baldassarre, Milano, Solai e coperture economiche in cemento armato, 23 novembre 1921

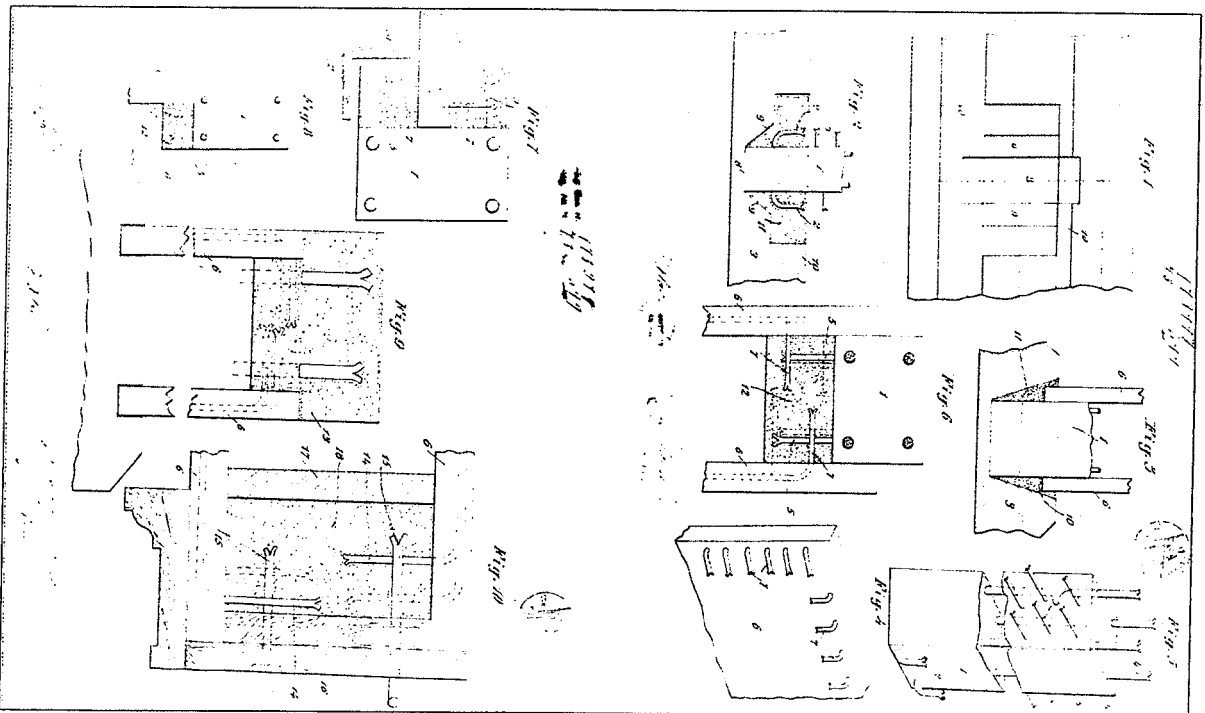


Fig. 83 - Brevetto n. 173997, V. Sinigaglia, Roma, Costruzione di case in serie con elementi staccati in cemento armato e sistema di congiunzione di tali elementi, 30 maggio 1915

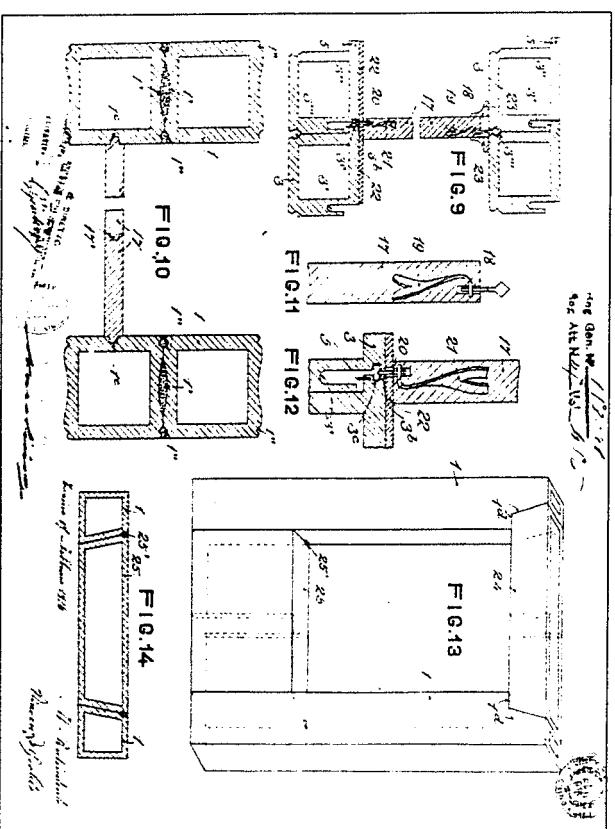


Fig. 84 - Brevetto n. 153041, V. Giolito, Torino, Sistema di costruzione smontabile in cemento armato, 17 febbraio 1916

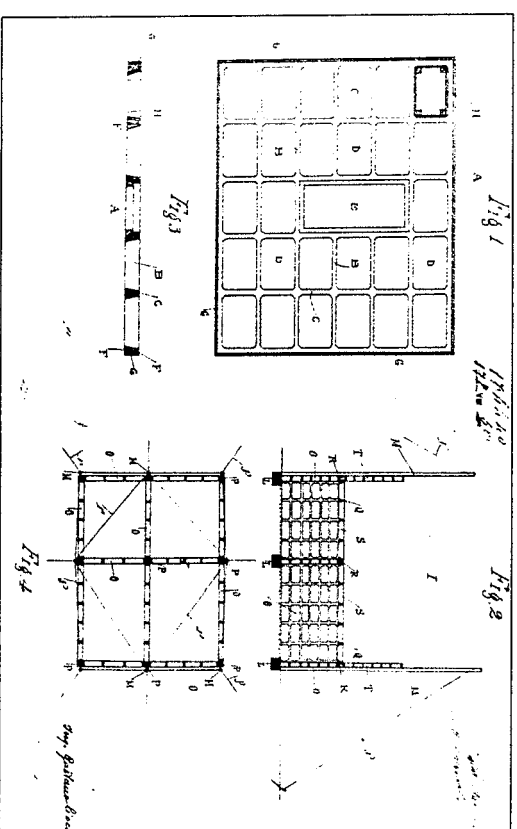


Fig. 85 - Brevetto n. 174440, G. Ciocca, Milano, *Costruzione in cemento armato ad ossatura cellulare*, 21 maggio 1919

evidenziato gli spropositi contenuti nel libro³⁶. Temendo che la diffusione di sistemi semplificati e di soluzioni pronte favorisse un progressivo peggioramento della progettazione e determinasse un pericoloso disinteresse nei confronti del comportamento statico delle strutture, si invocava, già dal 1919, una riforma delle scuole di Ingegneria, al fine di garantire ai futuri professionisti una valida formazione specialistica. Nel 1922, allo stesso scopo, veniva promosso presso la scuola di Roma un corso di specializzazione intensivo sulle costruzioni in cemento armato curato da Aristide Giannelli³⁷. Nel 1928, per la "generosità" dei cementieri più potenti d'Italia nasceva a Milano la scuola di specializzazione per costruzioni in cemento armato "Fondazione Fratelli Pesenti"³⁷.

Sviluppi della normativa

La progressiva perdita d'importanza dei brevetti - che conservavano il loro ruolo solo per particolari soluzioni tecniche e di cantiere -, la banalizzazione della teoria di calcolo semplificata, la divulgazione di manuali e prontuari di facile consultazione, la pubblicazione sulle riviste di sempre più numerosi dettagli esecutivi rendevano il cemento armato alla portata di tutte le imprese. Il modesto capomaestro, l'ingegnere imprenditore di provincia, l'impresa locale, che prima della guerra realizzavano le murature ma lasciavano l'esecuzione del cemento armato ad imprese specializzate, erano ormai in grado di mettere in opera solai laterocementizi, travi a doppia armatura, pilastri cerchiati. Le imprese diventavano così numerose da sollecitare la formazione di un albo dei costruttori, segnale chiaro del completamento di quel processo di trasformazione del cemento armato da tecnica specialistica e protetta a tecnica ordinaria e diffusa, avviato con le norme del 1907.

L'accessibilità della tecnica a fasce sempre crescenti di costruttori favoriva anche la diffusione capillare sul territorio³⁸.

Certamente però un panorama così vasto di imprese e di esecuzioni rendeva meno facile il controllo da parte delle amministrazioni pubbliche e faceva paventare il rischio di speculazioni sui materiali³⁹. In un periodo di così intensa attività costruttiva, che verrà ricordato anni dopo come una vera "febbre edilizia", era più che mai necessaria una revisione delle prescrizioni esecutive delle opere in cemento armato, in vigore senza modifiche dal 1907.

Nell'aprile del 1922, alla nona riunione dell'Associazione per gli studi sui materiali, tenutasi a Torino, veniva proposta una revisione delle norme, seguendo anche l'esempio di molte altre Nazioni in Europa ed in America che avevano aggiornato i loro regolamenti per metterli al passo con i progressi nella produzione dei materiali e nelle tecniche costruttive⁴⁰. Le principali innovazioni proposte dall'Associazione riguardavano l'innalzamento dei valori delle tensioni ammissibili, coerentemente con le esigenze di contenere i costi delle costruzioni e quindi di sfruttare pienamente l'effettiva resistenza dei

materiali. Per il conglomerato si suggeriva di ridurre il coefficiente di sicurezza rispetto al carico di rottura da 5 a 4⁴¹; per il ferro omogeneo si elevava il limite massimo di trazione a 1200 kg/cm², mentre per il ferro saldato il valore si manteneva a 800 kg/cm².

Le indicazioni dell'Associazione venivano recepite dal Ministero dei Lavori Pubblici nel marzo del 1925 e pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale nel giugno dello stesso anno⁴². Le prescrizioni conservavano l'impostazione generale di quelle del 1907, ma raddoppiava il numero degli articoli. Tra le altre novità si imponeva di tenere conto di alcuni fenomeni già ampiamente studiati in ambito scientifico: cedimenti elastici dei vincoli, effetti termici, ritiro del conglomerato. Coerentemente con le ancora molte incertezze teoriche, le norme insistevano però soprattutto sull'aspetto esecutivo. Anche la circolare ministeriale rivolta ai responsabili dei controlli sulle opere in cemento armato, sottolineando che "per la complessità e la natura stessa delle strutture, queste non consentono talvolta una esatta valutazione delle sollecitazioni cui verranno sottoposte", richiamava l'attenzione sulla sorveglianza "attiva ed intelligente" dell'esecuzione piuttosto che del calcolo⁴⁴.

L'innovazione veramente importante arrivava però nel 1927, su suggerimento dell'Associazione, "nell'interesse della pubblica incolumità" - il regolamento, in precedenza riservato alle sole opere pubbliche, si estendeva a tutte le opere in cemento semplice ed armato, anche private, da chiunque eseguite⁴⁵.

Per di più le originarie prescrizioni divenivano ora legge dello Stato e si attenuava il tono di benevolo consiglio che aveva da sempre caratterizzato alcuni passaggi, per conferire alle espressioni un carattere perentorio. Si istituivano controlli su progetti e cantieri, coordinati dalle Prefetture; il progetto, firmato da un ingegnere, doveva essere consegnato in doppio esemplare e una delle copie, vidimata, doveva essere conservata in cantiere a disposizione delle autorità. Anche rispetto ai contenuti tecnici, la legge modificava le precedenti: per i carichi di sicurezza si introduceva per la prima volta la distinzione fra cemento di prima e seconda qualità, differenziando i rispettivi valori limite per la tensione normale (30 kg/cm² e 40 kg/cm²). Per il ferro i valori rimanevano invece invariati⁴⁶.

Il decreto legge innescava una polemica importante per comprendere il ruolo raggiunto dal nuovo sistema costruttivo nel Paese. Secondo il parere di tecnici autorevoli, le norme, interpretate in senso troppo restrittivo, avrebbero pregiudicato, sia tecnicamente che economicamente, l'applicazione del cemento armato, a vantaggio di altre modalità costruttive più antiche e più costose, ma libere da pastoie burocratiche. Così si leggeva sulle colonne del «Cemento Armato»: "Indiscutibilmente il cemento armato si è introdotto e diffuso nella pratica ed ha acquistato le non sempre facili simpatie del costruttore [...] soprattutto per la speditezza nell'esecuzione, per la maggiore sicurezza nella resistenza e solidità del manufatto e per l'economia che ne de-

riva in confronto dei precedenti sistemi costruttivi, specie per quanto riguarda orizzontamenti piani, abbandonati con soddisfazione e senza tribuane, fin dall'inizio e gradatamente superati e trapassati nel decorso di pochi lustri. Ma quale differenza fra ardite strutture, dominate dal calcolo superiore e teorie di statica [...] quali le strutture generali di un edificio, le incavallature maestose di una officina, i ponti ad arco od a travate [...], e le modeste opere entrate nella pratica giornaliera, le solette di 3.00/4.00 ml di luce, con o senza travi in vista, [...] le fondazioni in conglomerato semplice, [...] le piattabande di rassamento [...].! Debbono avere lo stesso rigoroso trattamento, le stesse esigenze tecniche, le stesse prescrizioni governative così precise e meticolose?⁴⁷ Le proteste portavano alla ribalta un intero mondo di capomastri che avevano fatto del cemento armato un prezioso supporto alla costruzione e che, con una cognizione statica del suo comportamento tutta particolare, lo applicavano nella realizzazione di piccole abitazioni: "le casette del borghese, le casette dell'artigiano e dell'agricoltore, l'edificio rustico nelle campagne, l'edificio popolare nelle barriere cittadine"⁴⁸. Un mondo che difficilmente trovava spazio nelle riviste tecniche ma che contribuiva all'affermazione del cemento armato quale sistema costruttivo principale della Nazione.

Perfezionamenti della tecnologia: cementi artificiali, cementi speciali

Definiti già da prima della guerra i criteri teorici di massima per le strutture in cemento armato e raggiunto un livello accettabile di qualità dei prodotti, i tecnici e l'industria si erano potuti finalmente dedicare a ricerche metodiche e razionali sul materiale, senza più la pressione dell'urgenza che aveva caratterizzato gli anni precedenti.

Molti erano ancora gli aspetti da approfondire, soprattutto in merito al confezionamento del calcestruzzo. In quegli anni si studiava analiticamente l'influenza della natura delle ghiaie e delle sabbie sulla resistenza del conglomerato: veniva ricercata la distribuzione granulometrica ottimale degli inerti, al fine di raggiungere il miglior compromesso fra la massima densità e la non segregabilità dell'inerte⁴⁹.

Le prime tecniche di vibrazione per compattare l'impasto, che permettevano di eliminare l'aria inclusa nei getti e l'acqua in eccesso, con notevole vantaggio in termini di compattezza e quindi di resistenza, davano i primi importanti risultati, anche se avevano il difetto di favorire il fenomeno della segregazione⁵⁰. Anche il quantitativo ottimale di acqua di impasto, ancora lasciato nella maggior parte dei casi alla discrezione dell'assistente di cantiere, veniva sottoposto ad un più rigoroso processo conoscitivo: gli studi mettevano in relazione il dosaggio d'acqua con la porosità e quindi con la resistenza⁵¹ e con la durabilità, mentre in cantiere comparivano i primi semplici apparecchi per saggiare la consistenza dell'impasto⁵².

Molto sentito era proprio il problema della durabilità del conglomerato e

della corrosione dei ferri di armatura, fenomeno quest'ultimo ritenuto praticamente impossibile all'inizio del secolo e che invece si manifestava sempre più diffusamente, soprattutto nei ponti⁵³. Quanto alle cause di questo processo, le ricerche di laboratorio mettevano in evidenza i fenomeni di carbonatazione e riconoscevano che un'elevata porosità della massa alla lunga favoriva la penetrazione dell'aria e dell'acqua e quindi l'ammaloramento dei ferri⁵⁴. Tra i rimedi si suggeriva, oltre ad un adeguato copriferro, anche l'artificio della cromatura delle armature, che però alterava l'aderenza fra ferro e cemento⁵⁵.

Le ricerche si concentravano comunque in massima parte sul cemento, che tra tutti i componenti del calcestruzzo era sicuramente quello maggiormente passibile di perfezionamenti. Venivano riviste in primo luogo le modalità di macinazione: si era riconosciuto infatti che se i grani di cemento erano superiori a determinati diametri, durante la presa non venivano completamente idratati o lo erano in un arco di tempo troppo lungo per essere considerati attivi. I metodi di funzionamento dei mulini, dunque, avevano un'elevata importanza tecnica oltre che economica, dipendendo dai cicli e dai corpi macinanti l'omogeneità e la finezza del prodotto. Anche le modalità di cottura si erano rivelate un elemento determinante, soprattutto durante la guerra: a causa della difficoltà di importazione del carbone, venivano sperimentati combustibili nazionali - ligniti mescolate ai carboni da gas - ma il loro impiego risultava accettabile solo con i forni verticali, mentre nei forni rotativi l'esito era del tutto insoddisfacente. Dopo la fine del conflitto la cottura tornava ad essere eseguita con il forno rotativo, che dava molte più garanzie di omogeneità del prodotto, ma gli studi sui combustibili nazionali venivano ripresi, in particolare in occasione di uno sciopero dei minatori inglesi del 1926, avviando quelle ricerche destinate ad avere durante l'autarchia, se non maggiore successo, almeno maggiore propaggine⁵⁶.

La più importante novità nel campo dell'industria del cemento era però la trasformazione della produzione da cemento naturale a cemento artificiale, ottenuto mescolando prima della cottura calcare e argilla estratti separatamente.

In Italia, a differenza delle altre Nazioni, aveva sempre avuto preponderanza il cemento naturale: all'inizio del secolo su una produzione di 250.000 tonnellate di cemento solo 50.000 erano prodotte artificialmente dai due cementifici di Civitavecchia e Pontechiasso⁵⁷.

Nel 1932, invece, più della metà della produzione complessiva era di cemento artificiale⁵⁸. Anche a Bergamo e a Casale, ricche di cave di marna da cemento di ottima qualità, i banchi superficiali andavano esaurendosi, e le difficoltà per estrarre il materiale più in profondità rallentavano la produzione e aumentavano i costi; questo cominciava a rendere meno competitivo il cemento naturale rispetto a quello artificiale. L'importazione del prodotto naturale proveniente dalla Dalmazia, particolarmente conveniente⁵⁹, alimentava le cementerie della Sicilia e delle regioni adriatiche, prive di giacimenti, ma

andava progressivamente diminuendo per raggiungere un minimo nel periodo autarchico⁶⁰. D'altro canto la crescente domanda interna di cemento negli anni della "febre edilizia" non poteva essere soddisfatta con le sole cave di materiale naturale. Partivano dunque gli investimenti per la produzione di cemento artificiale e nasceva una serie di stabilimenti in prossimità di giacimenti calcarei ed argillosi, mentre molte fabbriche di cemento naturale si riconvertivano⁶¹.

Il prodotto naturale non poteva essere corretto o perfezionato mentre il cemento artificiale poteva migliorare continuamente, potendosi variare i componenti della miscela generatrice per ottenere cementi speciali, adatti ai vari usi.

Le scorie d'altoforno provenienti dall'industria siderurgica, mescolate con una percentuale variabile di clinker di cemento Portland, davano un cemento, noto come cemento d'altoforno, che si riconosceva avere un utile impiego nelle costruzioni marine o in presenza di acque solforose. Dopo un primo stabilimento a Piombino, nel 1927 sorgevano a Bagnoli e a Portoferraio, in prossimità degli stabilimenti siderurgici, industrie per la produzione di questo cemento decisamente economico⁶². Sempre per ridurre i costi, si sviluppavano gli esperimenti, peraltro già avviati prima della guerra, sulle miscele di Portland e materiali ad attività pozzolanica, che presentavano una buona resistenza all'azione delle acque aggressive e solfatiche e potevano trovare quindi applicazione nelle opere idrauliche⁶³. Il primo, e per lungo tempo unico, stabilimento di cemento pozzolanico era stato impiantato a Segni nel 1920,

Se da una parte si individuavano miscele che, pur non possedendo le resistenze elevate del Portland, riducevano di molto i costi di produzione, dall'altra si mirava a produrre cementi più costosi ma con prestazioni molto elevate, sia in termini di resistenza che di tempi di presa. In particolare il cemento fuso, o alluminoso, brevettato dal francese J. Bied nel 1908, entrava in produzione anche in Italia, a partire dal 1926, in esclusiva nello stabilimento di Pola della Società Istitiana dei cementi. Questo tipo di cemento permetteva di ridurre al minimo i tempi di cassetatura, avendo come caratteristica il rapidissimo indurimento, e si dimostrava particolarmente adatto per i getti a basse temperature⁶⁴.

In questi anni veniva lanciato sul mercato un ricco campionario di cementi speciali, ad alta resistenza e a rapido indurimento, che tra l'altro illudevano molti progettisti di poter rivoluzionare radicalmente i metodi costruttivi del cemento armato e di poter raggiungere luci e sbalzi prima inconcepibili. L'introduzione di norme sui vari tipi di cemento, con diverse resistenze a compressione, faceva chiarezza in un mercato altrimenti ben poco controllabile. Nel giugno del 1928 venivano emanate nuove norme che modificavano sostanzialmente le precedenti, entrate in vigore solo pochi mesi prima⁶⁵.

Intanto, preso atto delle proteste dei capimastri, si restringeva il campo di applicazione delle norme a quelle strutture di conglomerato cementizio semplice o armato con funzioni essenzialmente statiche e che interessavano l'incolumità delle persone. Il progetto esecutivo delle opere da realizzare in ce-

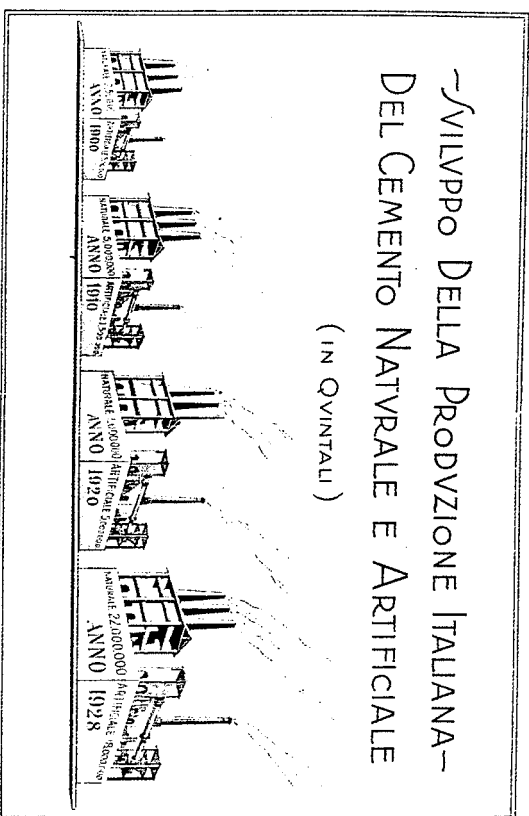
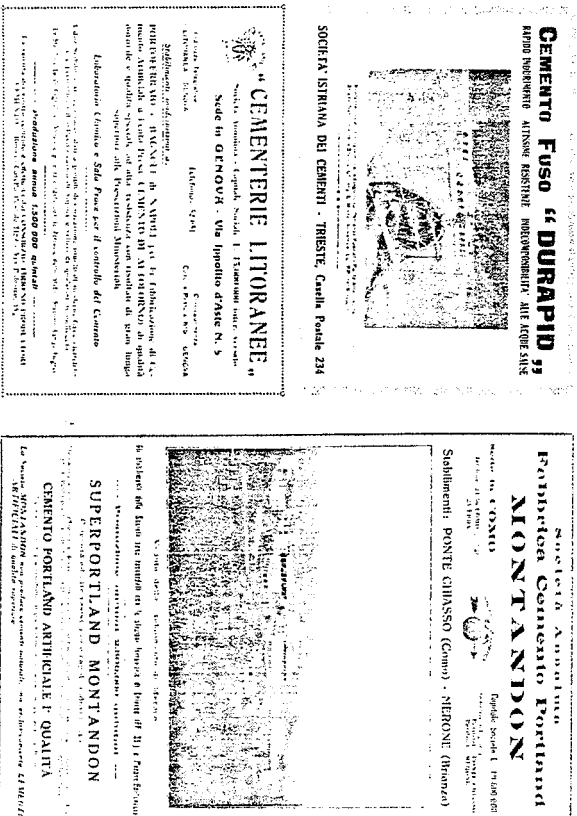


Fig. 88 - Sviluppo della produzione italiana del cemento naturale e artificiale dal 1900 al 1928



mento armato, che doveva essere consegnato alle Autorità⁶⁶, poteva essere firmato anche da un architetto, disposizione questa che suscitava moltissime opposizioni⁶⁷.

Venivano apportate quindi le auspiccate modifiche ai carichi di sicurezza. Abolita la distinzione fra cemento di prima e seconda qualità, che aveva suscitato molte polemiche fra i cementieri, si distinguevano ora tre fasce di resistenza ammissibile per il conglomerato in funzione della resistenza a rottura della malta con cui veniva confezionato: fermo restando il coefficiente di sicurezza rispetto al carico di rottura per schiacciamento a 28 giorni, pari a 4, per un calcestruzzo normale non si potevano superare i valori di 30 kg/cmq per compressione semplice e 40 kg/cmq per flessione; se si impiegavano malte con resistenza a rottura non inferiore a 400 kg/cmq, i carichi potevano elevarsi rispettivamente a 40 e 50 kg/cmq; per malte con prestazioni superiori, previa approvazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, si poteva superare il valore di 50 kg/cmq.

Le norme suscitavano ancora molte critiche, soprattutto perché per utilizzare cementi ad alta resistenza o per eseguire i getti con il gelo si doveva ricorrere preventivamente al parere di burocrati, spesso meno competenti e con meno esperienza dei progettisti, sopportando i tempi estenuanti dell'amministrazione pubblica⁶⁸. Il "povero" ingegnere si sentiva sorvegliato ma al contempo caricato di tutti gli oneri, "costretto a pensare più coll' altrui che colla propria testa", in forza di un pericolo per la salute pubblica insita nelle opere in cemento armato che secondo alcuni non aveva più ragione di esistere⁶⁹.

Nel 1929 veniva infine emanata una legge specifica⁷⁰ per regolamentare l'accettazione dei cementi speciali e l'esecuzione delle opere in conglomerato composto con tali cementi: quelli alluminosi, ad alta resistenza, d'altfortino e pozzolanici venivano finalmente immessi sul mercato e sottoposti ai relativi controlli, abolendo la preventiva approvazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e spostando le responsabilità sul direttore dei lavori. Per i cementi ad alta resistenza il carico di sicurezza in strutture sollecitate a pressione semplice veniva fissato pari a 50 kg/cmq. L'impiego dei cementi speciali era comunque limitato ad opere e a circostanze appropriate.

Nel 1930 il regolamento veniva ulteriormente riformato⁷¹, adeguandolo ancora una volta alle proteste dei cementieri e dei tecnici. Si stabiliva che alla Prefettura andasse consegnato un semplice progetto sommario e non più l'esecutivo; venivano modificate le formule per i pilastri armati a spirale e corrette le armature minime per i pilastri normali, che nel regolamento precedente venivano ritenute eccedenti le esigenze della statica; veniva proibito l'uso del ferro saldato per tutte le opere, anche per quelle di minore importanza. Venivano vietati i getti durante i periodi di gelo, tranne che per i cementi alluminosi. I carichi di sicurezza si adeguavano all'introduzione dei cementi speciali.

In realtà il nuovo regolamento non soddisfaceva del tutto i cementieri. Né il regolamento del 1932⁷² né quello del 1933⁷³ fermavano le polemiche: i sug-

gerimenti delle commissioni di studio, promosse dai colleghi e dai sindacati degli ingegneri, non trovavano spazio e l'auspicata adozione di norme meno restrittive, ritenute più adatte alle esigenze di una moderna tecnica costruttiva, sempre in aggiornamento, veniva ulteriormente rimandata⁷⁴.

Alla fine degli anni venti: crisi economica, corporativismo, modernizzazione

Intanto, mentre negli altri settori il ritorno ai valori di produzione prebellici segnava nei primi anni venti una crisi determinata dalla sovrapproduzione rispetto alla domanda, per l'industria edilizia il periodo di sviluppo, anche frenetico, perdurava fino alla fine degli anni venti. La "febbre edilizia" si placava però in concomitanza con la grande crisi del 1929, col blocco del processo di sviluppo edilizio, in particolare del cemento armato.

L'esigenza di reagire alla grande crisi coincideva con la svolta che il regime fascista, in fase ormai stabile di Italia, imprimeva alla politica economica: dopo una breve fase liberista, veniva adottata una politica protezionistica, all'interno della più generale ideologia del corporativismo. In questo ambito si istituivano diverse Federazioni, corrispondenti ai vari settori produttivi dell'industria, che dopo lunghe vicissitudini burocratiche avrebbero portato nel 1932 alle Corporazioni. Come cambiava la politica edilizia in questo nuovo contesto? La strategia del diradamento urbano e della ruralizzazione, annunciata da Mussolini già nel 1928, comportava lo spostamento degli investimenti dall'edilizia residenziale pubblica alle opere pubbliche, con un occhio di riguardo per l'edilizia residenziale privata.

Nello stesso tempo, all'interno del nuovo quadro burocratico in formazione, si sviluppava, in netto ritardo rispetto all'Europa, la modernizzazione delle tecnologie edilizie. Fra il 1928 ed il 1932 il repertorio dei prodotti edilizi interni si rinnovava e si ampliava, in conseguenza del processo di industrializzazione del settore. Venivano introdotti materiali nuovi, leggeri, colabili ma anche materiali già presenti da anni sul mercato - come il linoleum o la ceramica - si rinnovavano nell'aspetto e nella qualità grazie a perfezionamenti tecnici di produzione e conquistavano nuovi spazi applicativi. I procedimenti americani e belgi per tirare il vetro direttamente dalla massa fusa, già largamente diffusi in Europa, venivano finalmente adottati anche in Italia nel 1928: la meccanizzazione sostituiva radicalmente la soffiatura a bocca e consentiva, oltre al miglioramento della qualità e all'aumento delle dimensioni delle lastre, il rinnovo e l'ampliamento del catalogo, con l'introduzione di vetri di sicurezza, di vetri termici, di vetri opalini, impiegati per piastrelle e rivestimenti, e, non ultimi, di diffusori per vetrocemento, ottenuti ora per stampaggio, destinati ad enorme diffusione. Il rinnovamento dell'industria siderurgica e la migliore qualità dei prodotti consentiva da un lato un nuovo tentativo di rilancio della struttura portante metallica e dall'altro la diffusione di profilati speciali, sagonati e rettificati, impiegati nella realizzazione di serramenti.

La costituzione delle federazioni coincideva dunque con un forte ampliamento della produzione edilizia e con l'innescio di un processo di competizione tra i diversi settori⁷⁵.

Come si colloca in questa fase di trasformazione la ormai matura tecnologia del cemento armato? Da un punto di vista tecnologico, abbiamo già visto i notevoli processi di sviluppo e perfezionamento che portavano dai cementi naturali ai cementi artificiali e speciali: vedremo in seguito come la meccanizzazione del cantiere - che si dotava di betoniere, torri di distribuzione del getto, decauville - portasse ad un miglioramento sostanziale delle tecniche esecutive, soprattutto nelle grandi opere. Da un punto di vista organizzativo, la federazione dei cementieri giocava un ruolo centrale nel corporativismo e contribuiva in maniera significativa alla propaganda sul materiale, pubblicizzato tramite mostre, riviste, conferenze, filmati.

Come conseguenza diretta della crisi, i consumi di cemento, che in Italia avevano toccato la punta massima proprio nel 1929 con 3.500.000 tonnellate, scendevano nel 1931 a 2.700.000 tonnellate. La potenzialità di produzione, rispetto ai valori dell'anteguerra, si era quadruplicata, raggiungendo i 6.000.000 di tonnellate. I prezzi, per effetto dell'eccesso di offerta, erano scesi, sempre dal 1928 alla fine del 1931, di più del 40%, e, pur con il rincaro avuto nel periodo della smobilitazione, nel 1932 i prezzi medi del cemento si erano ridotti a circa un terzo di quelli dell'anteguerra contro una qualità del prodotto decisamente migliore.

Si diffondeva la convinzione che la crisi, "fatta di denaro, di sovrapproduzione, di ondata al ribasso [...]" ma anche di lotta intestina", potesse essere superata solo da consorzi e associazioni che, controllando la produzione, proteggessero l'industria dall'interno e dall'esterno⁷⁶.

Le società più efficienti e meglio organizzate, d'altro canto, non vedevano di buon occhio il consorzio obbligatorio o il contingentamento totale della produzione, che avrebbe potuto solo creare uno stato di generale scompenso, prolungando, a spese delle industrie più forti, la vita delle meno attive⁷⁷.

In realtà la nascita della Federazione Nazionale Produttori Cemento risale al 2 marzo 1919 quando 41 ditte si riunivano in un consorzio avente la finalità di "curare la tutela degli interessi collettivi dei suoi associati in armonia all'interesse generale del Paese"⁷⁸. Nel 1927 la federazione veniva riconosciuta giuridicamente⁷⁹ ed assumeva la rappresentanza anche dei produttori di calce e di gesso; nel 1934 venivano associati per legge anche i produttori di manufatti in cemento e la denominazione diveniva dunque Federazione Nazionale Fascista degli Industriali del Cemento, Calce, Gesso e Manufatti in cemento. Nel 1936 le "forze federali" ammontavano a 3448 ditte. Il presidente, in carica dalla fondazione, era Antonio Pesenti⁸⁰, la cui impresa di famiglia, la Italcementi, produceva nel 1928 la metà del cemento italiano. Vicepresidente era Ottavio Marchino, proprietario della seconda impresa nazionale, la S.A. Unione Cementi Marchino & C. di Casale. La forza politica di

questa federazione, in collaborazione con la Federazione Costruttori Edili e Imprenditori Opere Pubbliche e Private ed Industriali Affini, contribuiva in modo decisivo a far approvare importanti modifiche normative, oltre che determinare evidentemente il controllo dei prezzi e della produzione⁸¹. Poiché l'aumento della produzione e la riduzione dei costi erano strettamente interdipendenti e collegati alla crescita dei consumi, nel luglio del 1929, alle prime avvisaglie della crisi veniva fondata a Milano la Società Incremento Applicazioni Cemento, allo scopo di promuovere gli studi per la migliore utilizzazione dei materiali cementizi e di incrementare con ogni mezzo utile la propaganda sul materiale. La società, con un capitale sociale estremamente ridotto, era un'organizzazione "più di nome che di fatto, con una sede senza impiegati, con uno stanziamento, di cui è meglio non parlare, destinato in minimissima parte alla consulenza, e con un'attività così limitata che può dirsi quasi nulla"⁸². Comunque, con il contributo dei membri della federazione, iniziava un'incisiva attività di propaganda: con una rivista tecnica mensile, «L'Industria Italiana del Cemento», che iniziava le pubblicazioni nel dicembre del 1929; con lezioni presso i corsi di perfezionamento tenuti in collaborazione con la Federazione Costruttori; con una lunga serie di conferenze divulgative ed anche con un filmato, prodotto in collaborazione con l'Istituto LUCE, illustrante le fasi della produzione del cemento e le sue più importanti applicazioni. La pellicola veniva proiettata per la prima volta l'8 giugno 1931 nell'aula magna dell'Università di Roma, in occasione di una conferenza di Pesenti, e poi in numerosi cinematografi, insieme al *Giornale LUCE*, facendone conoscere a "tutto il popolo italiano" l'industria, il suo prodotto e le sue applicazioni⁸³.

Il cemento armato nel dibattito sull'architettura moderna

Negli stessi anni in cui lo sviluppo dell'edilizia affrontava la sfida della modernizzazione all'interno della nuova strategia del corporativismo, si discusse anche il lungo e vivace dibattito sull'architettura moderna. E il cemento armato, da vari decenni ormai al centro dello sviluppo dell'ingegneria civile, si collocava anche nel cuore della discussione sul rinnovamento dell'architettura.

L'annosa vicenda delle scuole di architettura era stata avviata a conclusione dopo la fine della prima guerra mondiale. Fin dalla metà dell'Ottocento, come abbiamo visto, venivano istituite in Italia le Scuole di Applicazione per Ingegneri, che licenziavano sia ingegneri civili e industriali, sia ingegneri architetti, che rappresentavano i principali concorrenti professionali dei licenziati dai corsi speciali superiori di architettura istituiti presso le Accademie di Belle Arti. La preparazione fornita dalle due istituzioni scolastiche era praticamente complementare: la scuola di applicazione era impostata su un indirizzo tecnico - scientifico in cui si dava largo spazio alla meccanica delle co-

struzioni, mentre l'accademia forniva piuttosto insegnamenti di disegno, di ornato delle facciate e di scenografia. Le lunghe discussioni che l'ambigua condivisione del titolo sollecitava, portavano - dopo una serie di tentativi già a partire dal 1885 e soprattutto dopo una sorta di autogestione da parte dell'Accademia romana - ad istituire con Regio Decreto nel 1919⁸⁴ le Scuole Superiori di Architettura. Alla scuola di Roma, che si inaugurava nel 1920, seguivano quelle di Venezia, Torino, Napoli, Firenze, e Milano⁸⁵. Nel 1923 veniva istituito un albo degli ingegneri e architetti, cui si poteva accedere solo dopo aver sostenuto un esame di Stato che abilitava alla professione.

In precedenza, almeno fino alla prima guerra mondiale, ad occuparsi della stabilità degli edifici era l'ingegnere, magari un tecnico dell'impresa costruttrice, al quale subentrava poi l'architetto "scenografo di facciata", con l'istituzione della Scuola di Architettura ci si auspicava di fornire all'architetto una maggiore consapevolezza dei problemi statici. Però se le tecniche costruttive del legno, del ferro e del mattone trovavano un loro spazio, la tecnica del cemento armato, che da poco si era guadagnata un posto fisso presso le scuole degli ingegneri, proprio non era prevista. D'altro canto, fino al 1928, solo l'ingegnere era autorizzato a firmare un progetto di cemento armato e a seguire i lavori, quindi poteva sembrare di nessun interesse per l'architetto approfondire le conoscenze sul materiale.

Erano però proprio alcuni laureandi e neolaureati di una scuola di architettura, quella di Milano, che forse seguivano di loro iniziativa alcuni corsi per gli studenti di ingegneria, ad introdurre il cemento armato nel dibattito sull'architettura.

Nel dicembre del 1926 infatti, nel primo dei quattro noti articoli pubblicati su «Rassegna Italiana», il Gruppo 7, auspicando che anche in Italia cominciassero ad aleggiare lo "spirito nuovo" già manifestatosi nell'architettura degli altri Paesi europei, sosteneva che: "la nuova architettura, la vera architettura, deve risultare da una stretta aderenza alla logica, alla razionalità. Un rigido costruttivismo deve dettare le regole. Le nuove forme dell'architettura dovranno ricevere il valore estetico dal solo carattere di necessità [...] dall'uso costante della razionalità, dalla perfetta rispondenza della struttura dell'edificio agli scopi che si propone, risulterà per selezione lo stile"⁸⁶. Negli articoli successivi i concetti si chiarivano: nel panorama europeo i risultati veramente "assoluti", che nascevano da "uno spirito di necessità tale, da attribuire loro una portata internazionale, come *elementi-base* della nuova architettura in tutti i paesi", andavano ricercati in tutti quegli "elementi nuovi, creati dalle possibilità del cemento armato": finestre a fascia orizzontali, balconi continui a sbalzo, immense vetrate verticali aperte da cima a fondo, finestre angolari, tutti elementi possibilmente innestati in uno "scheletro strutturale visibile" e in un dispositivo di piani sporgenti da un corpo centrale che portava alla "*stratificazione orizzontale*". "La verità è che il cemento armato, presentando la possibilità di una nuova estetica, e capovolgendo nella sua stessa base la ricerca architettonica, ha già potuto stabilire alcune di quelle

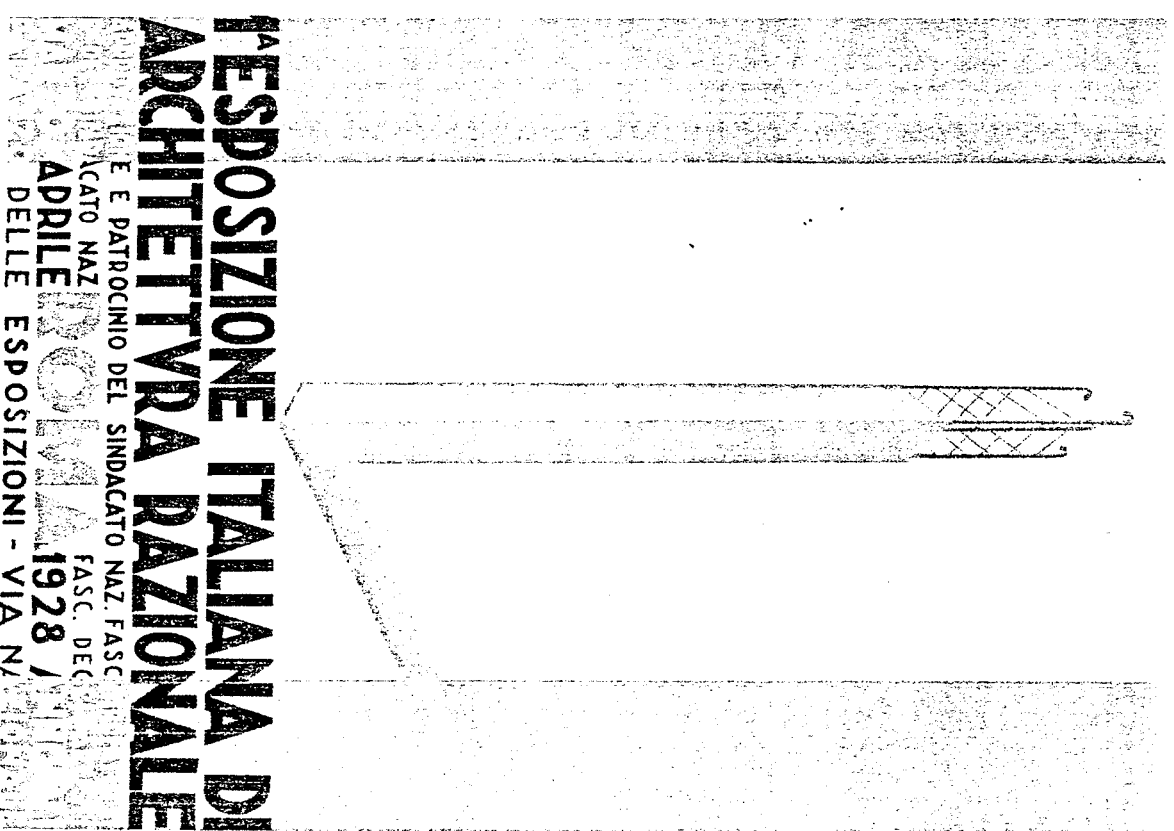


Fig. 90 - Manifesto per la Iª Esposizione Italiana di Architettura Razionale, Roma, 1928

forme assolute che in tutti i paesi abbiamo potuto rilevare, e che ne sono il fondamento"⁸⁷. Per il Gruppo 7 le ragioni che in Italia avevano impedito un analogo processo andavano ricercate in primo luogo nella scuola, nella quale "la separazione dei due insegnamenti *inscindibili*, l'artistico ed il pratico-scientifico, che quasi dovunque divergono, se non addirittura si contrastano, si oppongono", provocava un "deplorabile disorientamento". "Si continua così a nascondere metodicamente lo scheletro in cemento armato degli edifici, con applicazioni più o meno disordinate degli stili antichi"⁸⁸. "Invece l'architettura, trovandosi da poco in possesso di un mezzo meraviglioso, il cemento armato, che veramente si può considerare nuovo, poiché l'uso che se ne è fatto sinora, credendo necessario nascondere le sincerità del materiale sotto rivestimenti fittizi, e forzandolo entro schemi tipicamente stilistici, ha fatto sì che se ne ignorino ancora le straordinarie possibilità estetiche [...] ha in esso la ragione e la necessità sicura del suo rinnovamento"⁸⁹.

La Prima Esposizione Italiana di Architettura Razionale, organizzata nel marzo del 1928 da Libera e Minnucci, veniva pubblicizzata con un manifesto su cui "spiccava in campo bianco, tra due bande marrone, una colonna quadrata di cemento, color rosso vivo, da cui sporgeva l'armatura"⁹⁰, a testimonianza che il cemento armato era il protagonista della nuova architettura, che dava "l'ardire, la grande portata orizzontale, la possibilità di invertire l'ordine statico"⁹¹. Fra i progetti esposti dal 42 architetti e ingegneri, pochissime le opere realizzate: fra queste le nuove officine del Lingotto della FIAT a Torino, su progetto di Giacomo Matte-Trucco, personaggio sostanzialmente estraneo alla compagnia. "L'o si era pregato di partecipare alla mostra allo scopo di rendere persuasi i 'maestri' che uno stabilimento industriale si sarebbe potuto costruire anche a prescindere dalle stile egizio-assiro"⁹². Il Lingotto, eseguito nelle fasi iniziali della Porcheddu, che lasciava però il cantiere alla fine del 1917, era stato completato, sempre su progetto di Matte-Trucco, con una pista di collaudo posta in copertura (1919-1921) e successivamente ampliato alle estremità nord e sud con due corpi di fabbrica (1923-1928) nei quali venivano collocate due rampe elicoidali a servizio dei vari piani del corpo principale. Le strutture in cemento armato della pista e delle rampe erano elegantissime e di eccezionale arditezza: l'estrema pulizia delle facciate, dove la maglia strutturale in vista era tamponata da grandi pareti vetrate, l'aderenza fra l'immagine e la funzione facevano del complesso un insieme particolarmente affine al verbo dei razionalisti⁹³. Le altre poche opere realizzate, anche se più aderenti ai principi ispiratori dell'esposizione, non avevano lo stesso valore.

Nel giugno del 1928, intanto, anche la normativa si schierava dalla parte dei giovani architetti, estendendo, come già detto, a loro la possibilità di firmare i progetti di edifici in cemento armato.

La spinta innovativa per lo sfruttamento delle potenzialità del cemento armato era notevole. Quale era però il rapporto tra il cemento armato e la sperimentazione architettonica prima degli articoli del Gruppo 7?

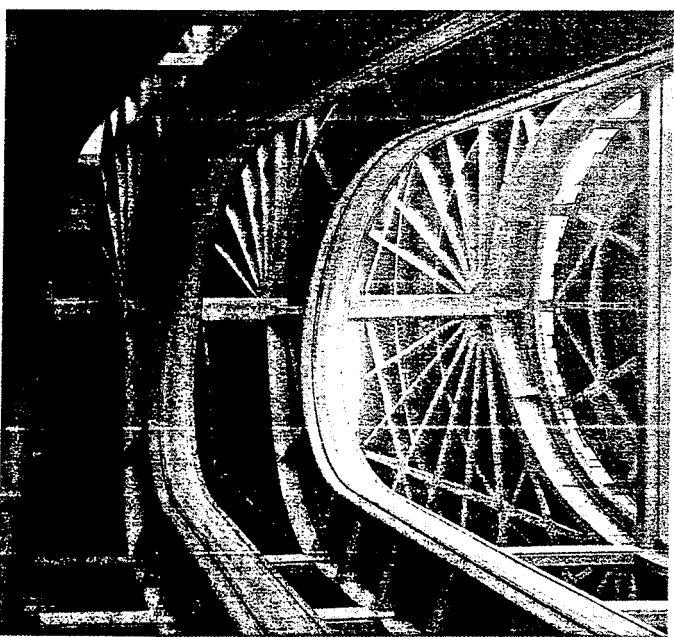
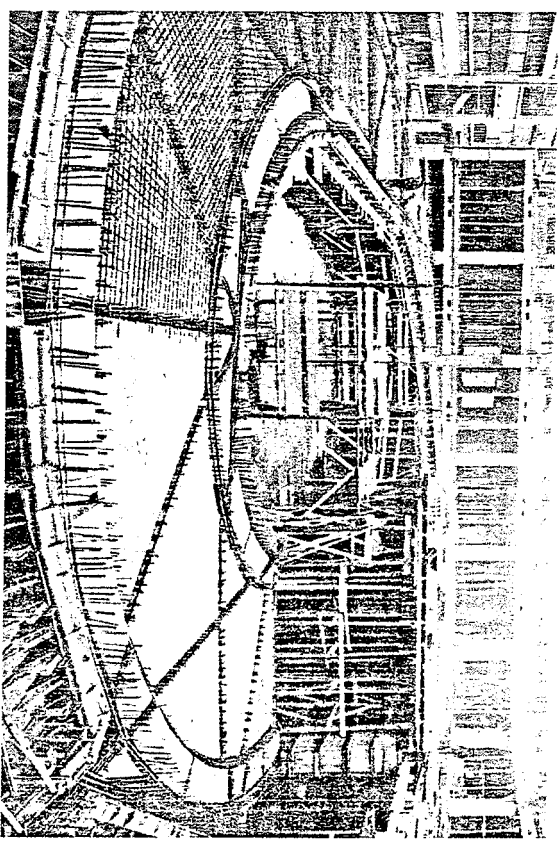


Fig. 91 - Una delle rampe elicoidali delle officine del Lingotto della FIAT a Torino (G. Matte-Trucco, 1923-1928): in costruzione e ad opera finita

Fino alla prima guerra mondiale, il nuovo materiale aveva progressivamente sostituito il legno ed il ferro nella realizzazione dei solai, sicché il solaio la-tiocementizio veniva ormai dato per scontato nella presentazione delle opere sulle riviste, e sottolineato solo in presenza di particolari soluzioni tecniche. I suoi vantaggi avevano permesso di soverire la tradizionale tecnica costruttiva ma nessuno aveva trovato troppo da ridire sul suo valore estetico, visto che non si riscontravano sensibili differenze tra un soffitto in legno ed uno in cemento armato opportunamente stuccato e decorato. Anche l'intelaiatura di pilastri e trav, quando utilizzata, non alterava l'aspetto esterno dell'edificio potendo essere mascherata senza difficoltà nel corpo murario.

Nei magazzini e nelle fabbriche, invece, per i quali i parametri di qualità vertevano sulla possibilità di realizzare grandi luci senza appoggi, sulla luminosità e sull'igiene, il cemento armato si era dimostrato fin da subito prezioso strumento, e la struttura in vista, coperta solo da una mano di latte di calce, si integrava perfettamente con le macchine e con l'ambiente lavorativo.

Fino alla guerra, comunque, il cemento armato, almeno nell'edilizia civile, si faceva spazio in Italia proprio per la sua capacità di mimetizzarsi all'interno di una compagine costruttiva tradizionale. Solo nell'ambito dell'edilizia antisismica si ammetteva una certa visibilità del telaio, che veniva però segnalato all'esterno al solo fine di evidenziare la presenza di una struttura solida e ben legata, quasi un messaggio rassicurante sulle garanzie di in-crollabilità dell'edificio.

Danusso, intanto, in un articolo del 1906 sulla rivista «Il Cemento» denunciava come mancasse ancora "la preparazione necessaria a sviluppare progetti in modo essenzialmente adatto al calcestruzzo armato [...] è ancora pratica generale progettare in mattoni, pietrame, ferro ed obbligare poi un ingegnere specialista a riprodurre una struttura in cemento armato. Questo modo è imperfetto, irrazionale, nocivo allo sviluppo reale dell'opera. La media degli ingegneri ed architetti è ancora troppo lontana dalla familiarità colle caratteristiche del nuovo sistema e non può progettare una struttura avendo di mira esclusivamente queste; chi ha progettato per tutta la vita in mattoni e ferro continua a pensare a base di mattoni e ferro e non può pensare in rapporto al béton come dovrebbe chi si occupasse razionalmente di questo. Conseguenza di ciò è che noi vediamo il calcestruzzo applicato in opere che della struttura in calcestruzzo non hanno nessuna peculiare caratteristica"⁹⁴. Alcuni anni dopo, nel 1914, Antonio Sant'Elia, nel suo Manifesto dell'architettura futurista, metteva di nuovo in luce come "nella vita moderna" fosse necessario un rinnovamento dei materiali, l'uso del cemento armato e del ferro esclusuono l'"architettura" intesa nel senso classico e tradizionale. I materiali moderni da costruzione e le mostre nozioni scientifiche, non si prestano assolutamente alla disciplina degli stili storici, e sono la causa principale dell'aspetto grottesco delle costruzioni 'alla moda' nelle quali si vorrebbe ottenere dalla leggerezza, dalla snellezza superba della *pourelle* e dalla fragilità

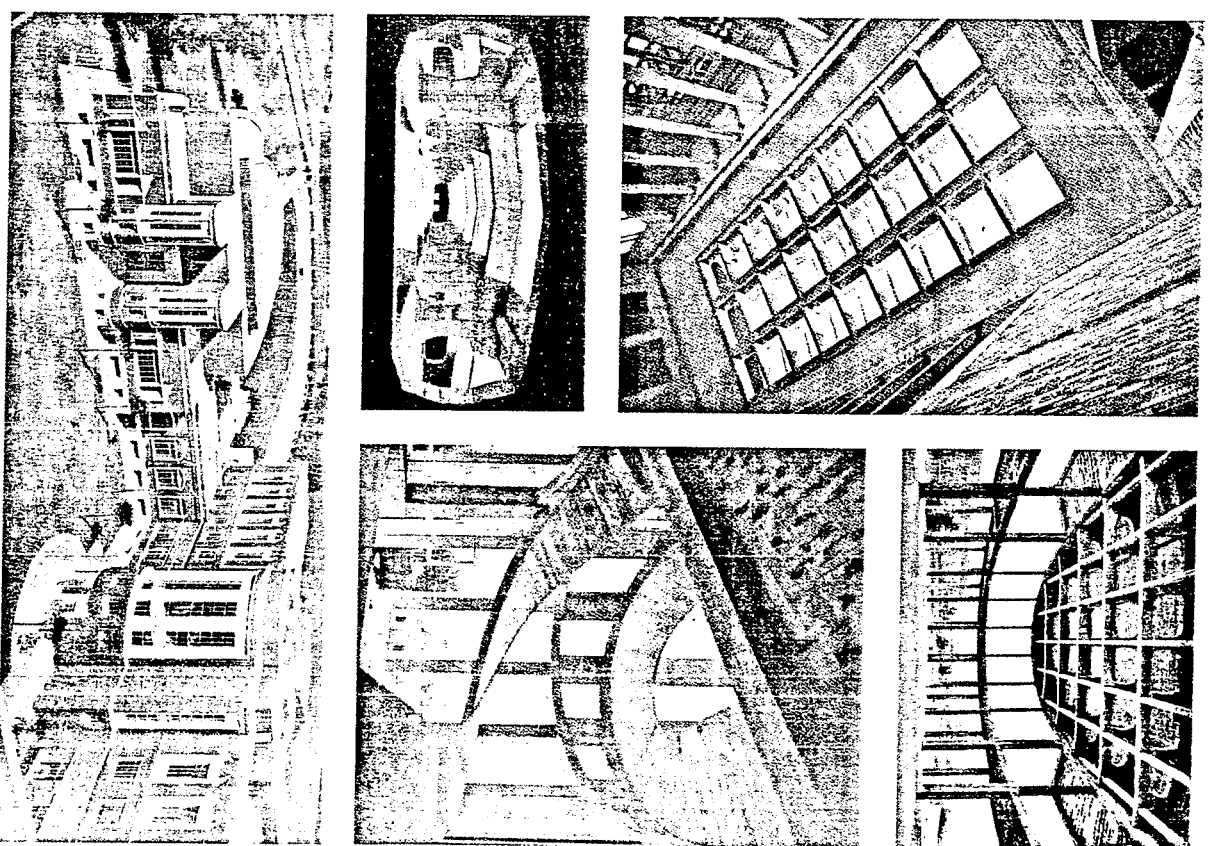


Fig. 92 - L'Accademia di Educazione Fisica al Foro Mussolini di Roma (E. Del Debbio, 1928-1932): immagini dell'ossatura in cemento armato e veduta parziale dell'edificio completato

del cemento armato, la curva pesante dell'arco e l'aspetto massiccio del marmo [...] l'architettura futurista è l'architettura del calcolo, dell'audacia temeraria e della semplicità; l'architettura del cemento armato, del ferro, del vetro, del cartone, della fibra tessile e di tutti quei surrogati al legno, alla pietra e al matrone che permettono di ottenere il massimo della elasticità e della leggerezza⁹⁵. Ma bisognava pazientare ancora lunghi anni prima che i rivoluzionari proclami di Sant'Elia trovassero orecchie pronte a riceverli. Molto più pacata la posizione di Gustavo Giovannoni che vedeva piuttosto una trasformazione progressiva della costruzione: "accanto ai vecchi sistemi che lentamente si trasformano, ecco avanzarsi rapidi nuovi materiali e nuovi procedimenti. Sono per l'ossatura dei fabbricati il ferro, l'acciaio, il cemento armato [...] che] rispondono all'affannosa ricerca dell'utilizzazione dello spazio e della massima apertura dei fabbricati verso l'esterno, [che] permettono razionali schemi statici in cui ogni elemento ha la precisa sezione che corrisponde alle azioni che verranno a sollecitarlo"⁹⁶.

Dopo la guerra, quando i massicci interventi di edilizia residenziale pubblica acceleravano la diffusione della struttura in cemento armato, la maggior parte degli architetti non si faceva remore nel sostenere ed impiegare il nuovo materiale ed anzi nel tentare timide sperimentazioni sulle sue potenzialità formali. Piacentini, già nel 1921, sosteneva che "il cemento armato è pratico, è sollecito, abbastanza economico"⁹⁷. Questi, oltre che nel Cinema Corso, impiegava negli stessi anni il telaio in cemento armato in alcuni edifici di abitazione costruiti a Roma: in via Germanico e in viale Partoli, tanto per citare due esempi, nei quali solo piccoli dettagli - la finestra troppo vicina all'angolo o magari il graticcio sul coronamento - rivelavano all'occhio esperto la nuova statica del fabbricato. E sempre un occhio esperto occorreva per capire se la palazzina sul lungotevere Arnaldo da Brescia di Giuseppe Capponi e Pier Luigi Nervi o la vicina palazzina in piazza della Libertà di Pietro Ascheni avessero una struttura portante in cemento armato: la modernità della distribuzione interna, resa possibile proprio dalla flessibilità dello scheletro, coesisteva infatti con più tradizionali criteri compositivi: pianta quadrata o mistilinea con scala elicoidale al centro, facciate rigorosamente simmetriche, richiami alle geometrie barocche anche se con un linguaggio completamente rinnovato. Palazzine moderne, dunque, salutate da Bardi come esemplari, ma ancora profondamente legate alla tradizione architettonica romana e che certo non definivano, per dirla con i razionalisti, "forme assolute, di valore internazionale". Analogo discorso per le opere di Muzio come la *Cabritella* a Milano del 1921, e di Del Debbio, come l'Accademia di Educazione Fisica a Roma del 1927. Per entrambe era appropriata la definizione di facciata come "album di ricordi di architettura"⁹⁸, dove si ritrovavano accostati, con ironia, "i frammenti di una tradizione classica [...] secondo un ordine e una logica nuovi"⁹⁹. Per entrambe la struttura portante veniva studiata come un problema tecnico influente sul risultato finale: Muzio la affidava all'ingegnere Zanoncelli e all'impresa costruttrice, concentrandosi piuttosto

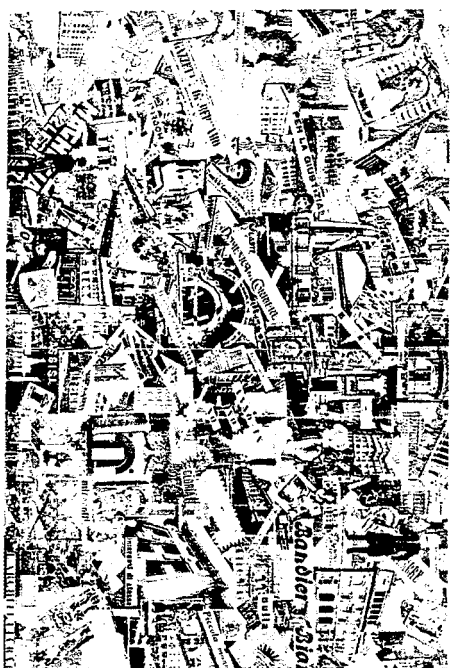


Fig. 93 - Il Tavolo degli orrori, presentato alla Seconda Mostra Italiana di Architettura Razionale (1931)

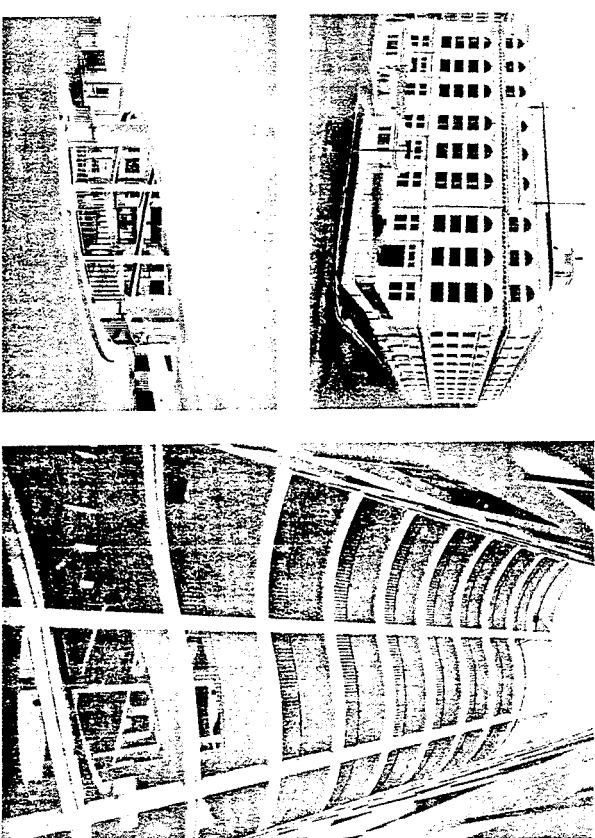


Fig. 94 - La casa dell'Automobile in piazza Verdi a Roma (E. Bacchetti, 1928-1929): veduta dell'esterno e della doppia rampa elicoidale

sull'effetto scenografico della facciata: Del Debbio lasciava ad Aristide Gianelli il difficile compito di coprire, con una complessa struttura estradossata in cemento armato, le grandi luci della palestra e dell'aula magna, la cui artezza risultava evidente solo dall'interno degli ambienti.

La crociata razionalista del Gruppo 7 era combattuta non contro "culturalisti" che avevano evitato il cemento armato nelle loro opere, ma contro professionisti che, avendo a disposizione questo materiale così nuovo, non avevano saputo e voluto rinnovare radicalmente i loro modi espressivi.

Si comprende così perché, quando nel 1931 Pier Maria Bardi organizzava a Roma la Seconda mostra italiana d'architettura razionale, inseriva nel celebre Tavolo degli orrori la Casa dell'Automobile di Roma, realizzata nel 1928 e presentata con orgoglio alla I mostra italiana di ingegneria di Roma e al I congresso internazionale sul cemento armato di Liegi¹⁰⁰. L'inserimento fra i peggiori esempi di architettura passatista nasceva dal contrasto fra un tipo edilizio nuovissimo come il garage, risolto con soluzioni strutturali ardite, come la doppia rampa elicoidale di cemento ad alta resistenza, e l'aspetto ottocentesco, monumentale, assolutamente tradizionale delle facciate. Neppure la nuova stazione ferroviaria di Milano, dove pure si faceva largo uso di cementi speciali e si adottavano tecniche di razionalizzazione delle installazioni di cantiere, evitava il Tavolo e le successive aspre critiche alla sua monumentalità¹⁰¹.

Nello stesso 1931, mentre lo scontro tra tradizionalisti e moderni si avviava ad una prima provvisoria conclusione a favore dei secondi, cominciava anche il breve periodo in cui i programmi del Gruppo 7 avrebbero avuto la possibilità di essere messi alla prova. Da un lato veniva avviato, in funzione anticristi e insieme propagandistico, un ampio programma di opere pubbliche (stazioni, palazzi postali, scuole, prefetture, municipi, ma anche intere città di fondazione nelle zone di bonifica); dall'altro si varava un vasto e capillare piano di costruzione delle sedi del partito fascista - le case del fascio - e delle organizzazioni ad esso collegate. Nella realizzazione di questa imponente serie di opere, in una strategia di spartizione degli incarichi fra tradizionalisti e moderni abilmente gestita da Piacentini, prendeva corpo la sperimentazione della via italiana alla modernità: Ascheri, Capponi, Ponti, Minnucci e Pagano realizzavano gli edifici più moderni della Città Universitaria di Roma; Ridolfi, Samonà, Libera e De Renzi vincevano il concorso dei palazzi delle Poste di Roma; Moretti subentrava a Del Debbio nell'ufficio di revisione dei progetti per le sedi dell'ONB; Terragni progettava la Casa del fascio di Como.

In quale modo veniva impiegato il cemento armato in queste opere che rappresentavano i primi prodotti dell'architettura moderna italiana? Si concretizzava l'obiettivo posto dal Gruppo 7 e dal Miar di un allineamento dell'architettura italiana ai modelli del razionalismo europeo?

Da studi dettagliati svolti recentemente su alcuni di questi edifici¹⁰² è risultato un modo particolare di impiegare la struttura in cemento armato che,

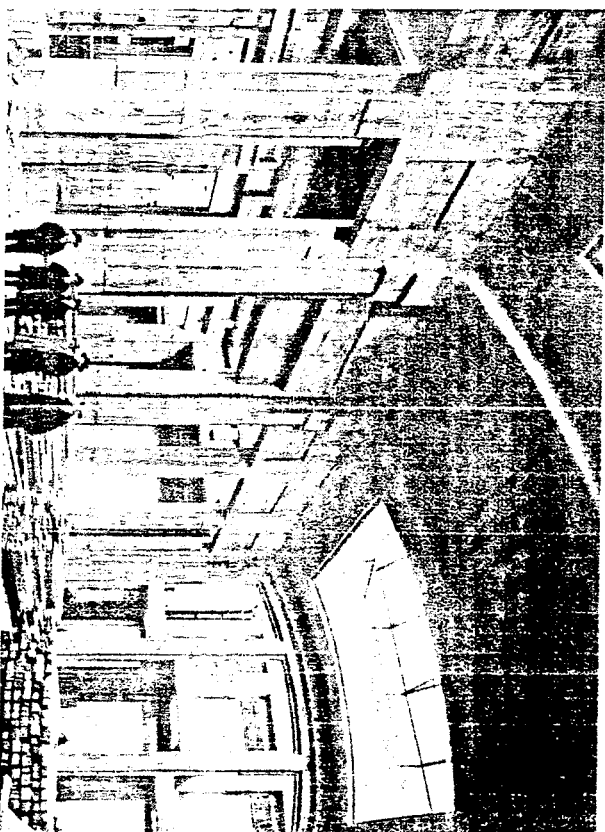
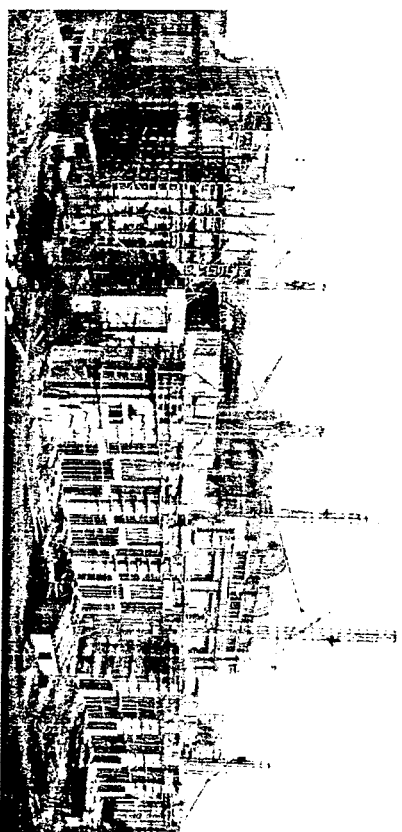


Fig. 95 - La stazione ferroviaria di Milano (U. Stacchini, 1912-1931): le ossature di cemento armato durante la costruzione (1930)

se da una parte appare innovativo rispetto alle opere italiane degli anni venti, dall'altra si distingue, anche nettamente, dagli esempi internazionali.

"Un tratto accomuna le opere, peraltro molto diverse, di Terragni, di Libera, di Ponti, di Moretti, di Ridolfi: le strutture in cemento armato, spesso particolarmente ardite e ricercate, non si traducono tuttavia in quelli che sono già divenuti caratteri dogmatici della modernità - levità, smaterializzazione, libertà di pianta -, ma ispirano, più indirettamente e sommessamente, originali versioni dei tradizionali partiti di facciata: nella plastrata alla base della compatta parete di marmo del Palazzo delle Poste di Napoli, nelle traforate superficiali in 'pietraccemento' del Palazzo delle Poste di Libera a Roma, nell'esile loggiato della Casa del Fascio di Terragni. Espressioni inedite di un linguaggio che, sebbene definitivamente liberato dai canoni degli storicismi, continua a fondare la propria diversità sulla persistente natura muraria."¹⁰³.

La costruzione moderna italiana si pone dunque in continuità con lo sviluppo delle tecniche costruttive in muratura e considera il cemento armato come fase evolutiva interna allo sviluppo dell'apparecchiatura muraria, ben diversamente dai modelli del movimento moderno europeo che pongono il cemento armato, analogamente alla struttura metallica, in alternativa alla costruzione muraria.

In questa ottica si inquadrano e si comprendono alcune singolarità nell'impiego del cemento armato in opere di questi anni: l'espressione architettonica, pur rinnovata, non è determinata direttamente dalle potenzialità della struttura intelaiata, ma la rispecchia solo in modo indiretto e mediato. Esempiare la facciata principale della Casa del fascio di Como: "il loggiato si mostra come 'plastrata' (per usare la terminologia dell'epoca ancora riferita all'impianto costruttivo murario): la maglia perimetrale del telaio portante in cemento armato, svincolata dalla parete di tamponamento, evidenzia la conformazione lineare della struttura portante. Ma pur assumendo la forma di griglia, la parete conserva la consistenza di piano e la funzione di facciata. Una serie di accorgimenti compositivi impediscono che il telaio conferisca all'immagine una connotazione spaziale e volumetrica. Innanzitutto la parte piena laterale, che suggerisce l'operazione di piano ritagliato da cui nasce il loggiato; poi il basamento in cui la parete mantiene un appoggio continuo a terra (e non per punti in corrispondenza dei pilastri); infine, il rivestimento in marmo che copre indifferentemente elementi piani e lineari"¹⁰⁴.

Quanto questa modernità che mantiene un filo di continuità col passato sia tratto distintivo della cultura architettonica italiana e quanto invece conseguenza dell'esigenza di mediare continuamente con il radicato tradizionalismo degli apparati burocratici (che gestiscono la realizzazione delle opere pubbliche) e delle imprese, è difficile dire. Certo è che le parti più ardite sono relegate sul retro o comunque nelle parti meno in vista degli edifici: così è nel Palazzo delle Poste di Ridolfi, dove grandi luci, sbalzi di 10 metri, pilastri in falso non sono neppure sospettabili guardando la facciata muraria su piazza Bologna; così

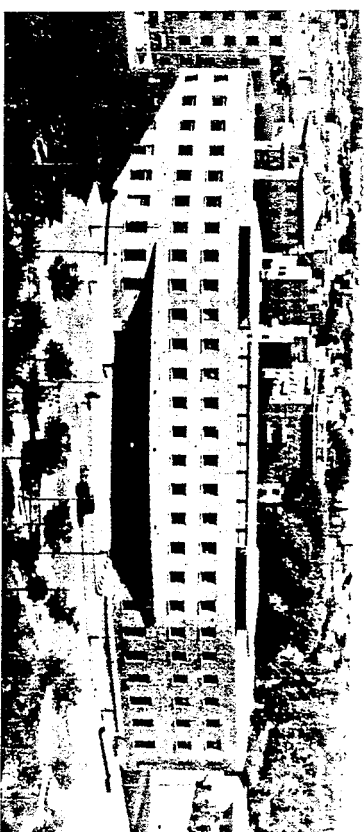
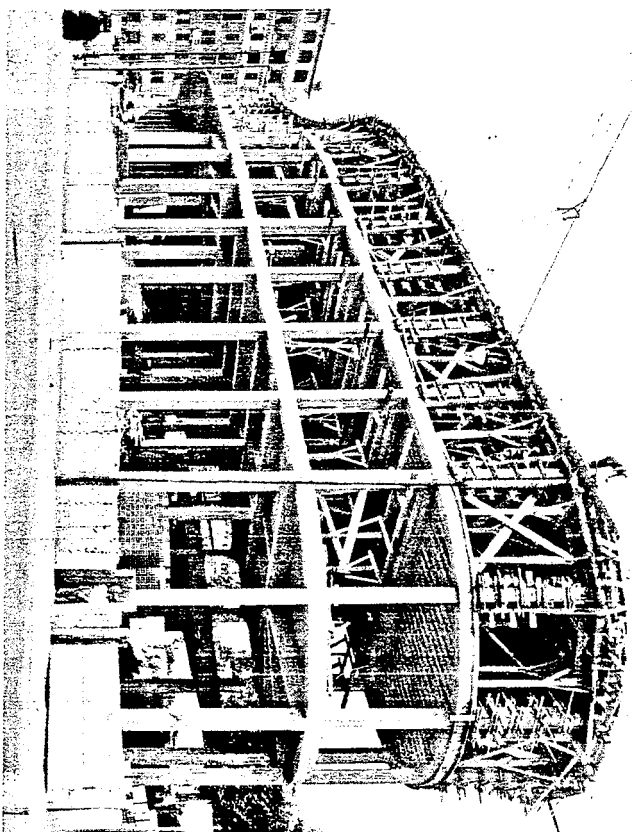


Fig. 96 - Il Palazzo delle Poste in piazza Bologna a Roma (M. Ridolfi, 1933-1935). L'ossatura di cemento armato e l'edificio completato

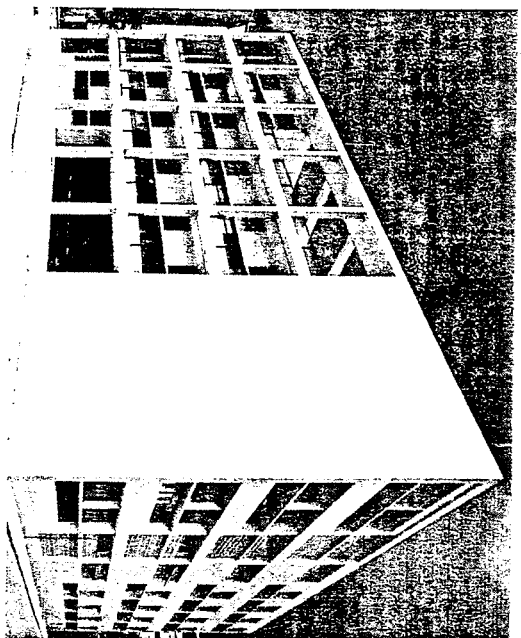
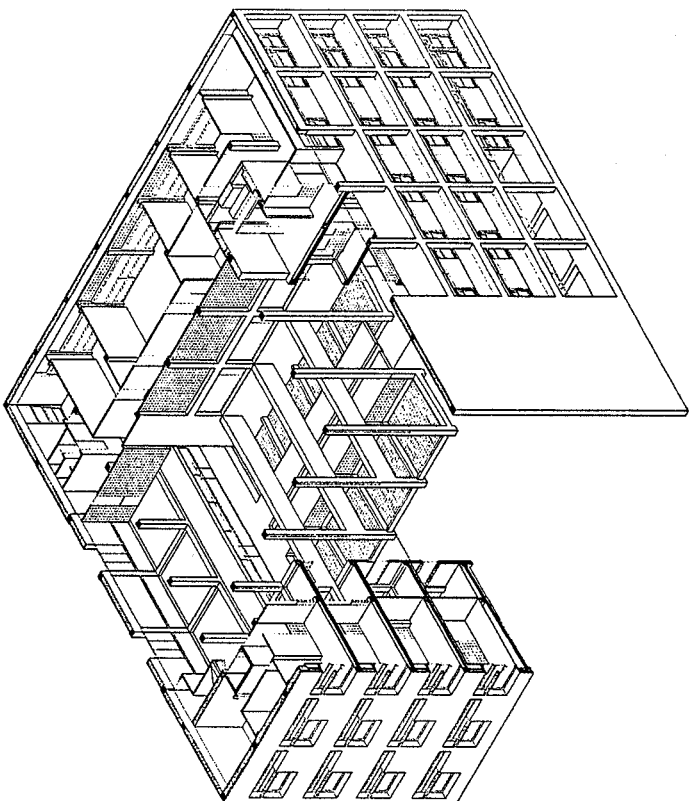


Fig. 97 - La Casa
del fascio di
Como (G.
Terragni, 1928-
1936): spaccato
assonometrico e
veduta
dell'edificio
completato

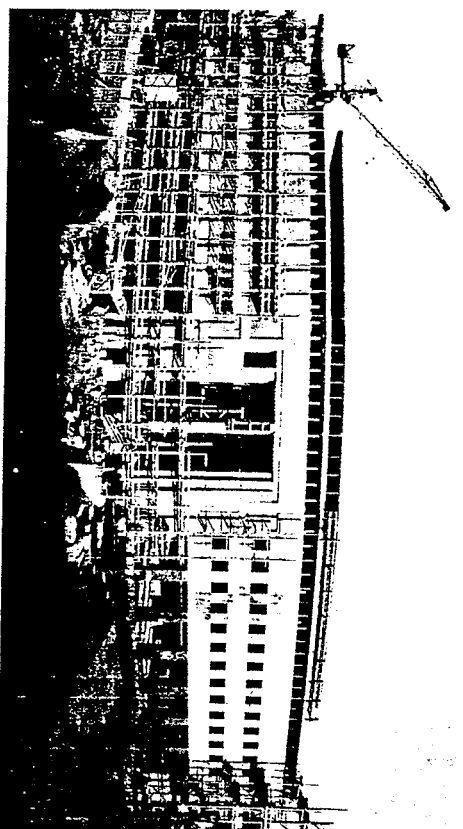


Fig. 98 - Il Palazzo delle Poste di Napoli (G. Vaccaro, 1928-1936): l'edificio in costruzione

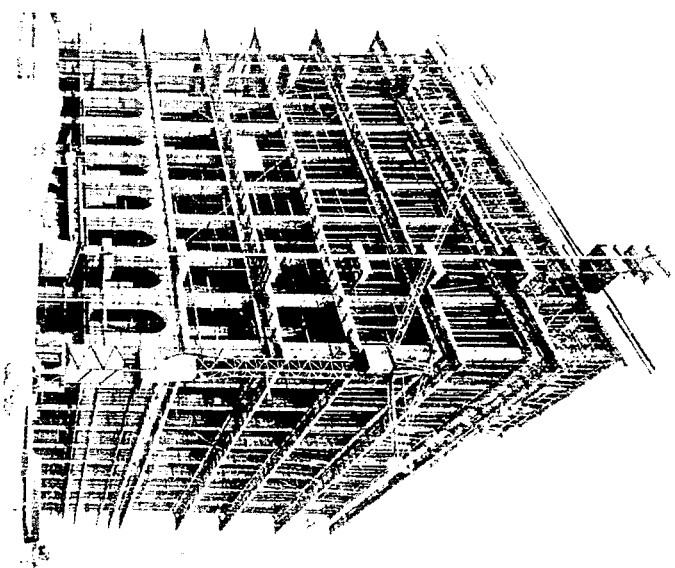


Fig. 99 - Il Palazzo della
Civiltà Italiana a Roma
(G. Guerrini, E. La
Padula, M. Romano,
1937-1943): l'edificio in
costruzione

è nella Scuola di Matematica di Ponti, dove i complessi ed arditi portali del blocco delle aule sono percepibili solo da una vista posteriore; così è nella Casa della Gil di Trastevere di Moretti, dove, se per le facciate secondarie "è tollerata una inflessione più moderna, per la torre, simbolo delle istituzioni, [...] la struttura di calcestruzzo non solo viene accuratamente nascosta, ma si fa ricorso ai materiali lapidei come simboli convenzionali della stabilità e della permanenza"¹⁰⁵; così è, ancora, per la Casa delle Armi dello stesso Moretti, che si trovava quasi a dover giustificare l'arditezza strutturale del doppio sbalzo della copertura, ancora una volta assolutamente imprevedibile dall'esterno, con la presenza di un collettore che impediva la realizzazione di una platea di fondazione, e quindi di un più usuale telaio.

Nella seconda metà degli anni trenta, la fase rigida dell'autarchia dava spazio all'azione di rivalsa dei conservatori all'interno del dibattito architettonico e la produzione architettonica reca evidenti, nel suo complesso, i segni di un artificioso e ideologico ripiegamento verso le forme tradizionali, non senza però numerose eccezioni¹⁰⁶.

¹ Alcuni numeri del «Montitore Tecnico», ad esempio, venivano sospesi per gli effetti della censura e molti altri, andati comunque alle stampe, riportavano parti di articoli coperte.

² Nel gennaio del 1915, prima quindi dell'intervento dell'Italia nel conflitto, un decreto consentiva allo Stato, nell'interesse della difesa nazionale e per il solo uso militare, l'espropriazione totale o parziale dei diritti di proprietà, anche senza il consenso del titolare, previo però un equo compenso. A Milano, nell'ottobre del 1915, si costituiva spontaneamente, per iniziativa di tecnici e studiosi, un comitato per esaminare i trovati che gli inventori andavano proponendo a scopi bellici. Vedi A. Manfredini, *Comitato nazionale per le nuove invenzioni di guerra*, «Il Montitore Tecnico», 29, 1915, pp. 437-438.

³ Si passava dalle consuete 30-40 richieste l'anno a sole 10-15, che peraltro venivano approvate con molto ritardo, evidentemente per la scarsa attinenza con gli scopi militari che le faceva passare in secondo ordine.

⁴ Il Testo Unico sull'edilizia popolare del 1919, più volte ritoccato, portava a 15 anni l'esenzione dalle imposte per le case popolari ed economiche ed introduceva l'esenzione per le case "d'abitazione", sia pure per un periodo più limitato. Erano "case popolari" quelle costruite da enti che rispettavano i criteri della legge sull'edilizia popolare (legge n. 2136 del 26 gennaio 1865); erano invece "case economiche" quelle costruite dalle società cooperative con lo scopo di assegnare case ed alloggi in locazione o in vendita ai propri soci. Entrambe dovevano rispondere a speciali requisiti - quali la disponibilità di taluni servizi, il massimo numero dei vani e la corrispondenza a specifici parametri - tali da non poter essere classificate come case di lusso. Vedi L. Borrototti, *Storia della politica edilizia in Italia*, Roma 1978, pp. 85-105.

⁵ La difficoltà di procurarsi i materiali portava le imprese a tentare di usufruire dei residui della guerra. Oltre alle riserve di ferro, cemento, legnami, mezzi di trasporto che le amministrazioni militari avevano disponibili e che venivano messe sul mercato, qualcuno pensava di rivendicare il diritto di impiego del filo spinato per armare travi e pilastri: facilmente recuperabile perché dissinso dalle postazioni belliche, garantiva la massima aderenza per via delle spine. Vedi brevetto n. 170235, S. Leoncini, Milano, *Costruzioni in cemento armato con filo spinato*, 14 novembre 1918.

⁶ C. Vigliani, *L'industria del cemento nel dopoguerra*, «L'Industria Italiana del Cemento», 8, 1932, pp. 233-234; G. Reverè, *Il controllo dei cementi ed i consorzi fra i consumatori*, «Il Montitore Tecnico», 5, 1921, pp. 52-53.

⁷ Entrambe le case possedevano ossatura portante formata da pilastri e solai nervati in cemento armato. Vedi *Le nuove costruzioni della Soc. An. Coop. "Case e Alloggi" a Milano*, «Il Montitore Tecnico», 20, 1921, pp. 229-234; *Edilizia milanese nel dopo-guerra. Cooperativa Case per i Combattenti*, ivi, 28, 1921, pp. 333-335.

⁸ I villini, realizzati dall'impresa Capomastro Gambino Giovanni, presentavano pilastri e piattabande in cemento armato formanti un'incastellatura a gabbia, "costruita simultaneamente per tutto il lotto", solai realizzati con travi tubolari, gettate e stagionate fuori opera, accostate l'una all'altra e giuntate in opera con malta di cemento (ennesima variante delle travi Siegart); muri perimetrali in doppio strato, con interposta camera d'aria; i mattoni dello strato esterno di cemento e ghiaia, quelli interni di cemento e scorie di carbone, "leggeri, afori, coibenti". Vedi *Edilizia milanese nel dopo-guerra. Cooperativa Edile postelegrafonica*, ivi, 3, 1922, pp. 29-34.

⁹ Il quartiere prevedeva vari tipi di villette a più appartamenti, con solai in cemento armato. Vedi *Edilizia milanese nel dopo-guerra. Le nuove costruzioni per gli impiegati e le maestranze industriali*, ivi, 34, 1921, pp. 406-409.

¹⁰ Tali erano, per esempio, gli edifici realizzati a Milano dalla Soc. An. Industrie dell'Edilizia Moderna, nel 1920, con solai a camera d'aria secondo i brevetti originali della stessa società. Vedi *Edilizia milanese nel dopo-guerra. Case-albergo*, ivi, 24, 1921, pp. 283-284. Realizzate dalla stessa società le villette in piazza Vesuvio con una particolare muratura brevettata, costituita da blocchi di cemento a T ed a L, da comporre per creare pareti a camera d'aria. Vedi *Nuovo tipo di costruzioni in calcestruzzo. La muratura I.D.E.M.*, ivi, 26-27, 1920, pp. 233-235. Anche la casa ad appartamenti in via Settembrini, realizzata dall'Impresa Oreste Raggio, era formata da una struttura portante a pilastri che reggevano le piattabande ed i solai, il tutto in cemento armato come la struttura del tetto. Vedi *Edilizia milanese nel dopo-guerra. La casa Raggio in Milano al N. 7 di via Settembrini*, ivi, 8, 1922, pp. 89-92.

¹¹ Brevetto n. 160010, R. Cametti, Roma, *Muri resistenti costituiti da ossatura in cemento armato e tavole di conglomerato di cemento*, 2 giugno 1917.

¹² Fra le tante soluzioni, originale quella proposta dalla I.D.E.M., per un solaio a cassettoni realizzato con casseforme a perdere che rifinivano il soffitto senza ulteriori lavorazioni. Brevetto n. 186206, I.D.E.M. Soc. An. Industrie dell'Edilizia Moderna, Milano, *Soffitto I.D.E.M. a cassettoni ed elementi componibili di cemento con travatura in cemento armato*, 2 agosto 1920; O. Caldera, *Solai a cassettoni I.D.E.M.*, «Il Cemento», 1, 1923, pp. 9-11.

¹³ A. Goffi, *Dei solai a struttura mista e di alcune malinconie del cemento armato*, «Il Costruttore Edile», 3, 1926, pp. 17-19.

¹⁴ Un profilo biografico di Luigi Santarella (1886-1935) è riportato a fine testo.

¹⁵ L. Santarella, *Il Solai Berra in cemento armato e laerzi forati triangolari*, «Il Cemento Armato», 1, 1925, pp. 7-12; 2, 1925, pp. 15-20; L. Santarella, *Alcune esperienze sul solai Berra*, «Il Montitore Tecnico», 3, 1926.

¹⁶ Tra i tanti il Diagonal e il Semidiagonal Cavallazzi; il Castori della ditta Ingg. Magnani, Rondoni e Castori di Milano e lo Zuccarelli. Brevetto n. 206804, C.M. Zuccarelli, Torino, *Matteone-armatura per solai in cemento armato e solai relativo (a camera d'aria)*, «Il Cemento Armato», 12, 1925, pp. 138-139.

¹⁷ Per una selezione di opere nelle quali veniva impiegato il solai Duplex, vedi P. Vacchelli, *I solai incrociati nelle costruzioni civili e industriali*, «Il Costruttore Edile», 6, 1926, pp. 45-51.

¹⁸ "Per avere un'idea di questi vantaggi, basta ricordare che mentre per la soletta ad una sola resistenza, facendo l'ipotesi del semi-incastro, il momento in mezz'aria risulta uguale a $p l^2 / 12$, in quella a doppia resistenza si può assumere un momento uguale a $p l^2 / 30$ ". A. Cannomero, *Solai in cemento armato con nervature di altezza ridotta*, «Il Cemento Armato», 6, 1924, pp. 49-52. Per dettagli sulle tipologie ed il metodo di calcolo, vedi L. Santarella, *Solai in cemento armato e mattoni forati a nervature incrociate ortogonali*, «Ingegneria», 2, 1926, pp. 57-64.

¹⁹ Unione Edilizia Nazionale, *L'opera dell'Unione Edilizia Nazionale nel quadriennio 1917-1920*, Roma 1921, p. 51.

²⁰ Brevetto n. 253115, G. Rubinič, Fiume, *Applicazione nelle costruzioni di cemento armato di scatole di cartone o di altro materiale equivalente come peso e resistenza verso impennicelle con pece od altro ingrediente poste su strato di calcestruzzo armato di incannicciaio*, 17 febbraio 1927.

²¹ Brevetto n. 205187, V. Baldassarre, Milano, *Solai e coperture economiche in cemento armato*, 23 novembre 1921.

²² Brevetto n. 177385, G. Monti, Roma, *Nuovo sistema di solai leggeri in calcestruzzo, armato con ferro e carne vegetali*, 11 agosto 1919 e brevetto n. 180062, A. Garboli, G. Tomiolo, Roma, *Strutture cave in cemento armato ottenute con l'interposizione di forme di carne, vimini ed altri materiali simili che ne costituiscono la sagoma interna*, 10 dicembre 1919.

²³ Brevetto n. 176182, A. Marotta, ingg. A. De' Lieto Voliano e R. Stienzi, Roma, *Sistema per la costruzione di case popolari, casette e case economiche, villini in getto di calcestruzzo in casseri smontabili per il getto in serie*, 10 luglio 1919.

²⁴ Brevetto n. 181895, V. Vicentini, Cremona, *Costruzioni monolitiche a getto progressivo in cemento e pietra pomice o lapillo armato in ferro, legno, carne giunchi steli di canapa o simili*, 10 febbraio 1920; *Caso in getto di calcestruzzo*, «Il Cemento», 11, 1922, pp. 116-118. l'articolo si riferisce al brevetto Pollastri-Lavini.

²⁵ Brevetto n. 181231, G. Levi, Roma, *Sistema per la costruzione rapida di fabbricati e opere d'arte in cemento armato con esclusione di armature in legno sostituite invece da forme in cemento preparate in cantiere e facenti parte della costruzione stessa*, 16 gennaio 1920.

²⁶ Santarella, ad esempio, progettava ed eseguiva nei primi anni venti delle coperture a shed per grandi fabbricati industriali in cui le capriate di cemento armato, di notevole luce e spese 8 centimetri, venivano prefabbricate a terra con semplicissimi casseri, riutilizzabili per più getti, e poi montate in opera dando vita a strutture leggerissime, veloci da realizzare ed estremamente economiche. L. Santarella, *Strutture industriali moderne in cemento armato*, «Il Cemento», 7, 1922, pp. 69-73; 8, 1922, pp. 77-85. Vedi anche *Il cemento armato in Italia - Sivo sviluppo e applicazioni*, «Il Cemento Armato», 5, 1928, pp. 51-86.

²⁷ Brevetto n. 173997, V. Sinigaglia, Roma, *Costruzione di case in serie con elementi staccati in cemento armato e sistema di congiunzione di tali elementi*, 30 maggio 1915; brevetto n. 178957, A. Gazzaniga, G. Zuhaleg, Milano, *Casa in cemento armato ad elementi in serie*, 6 ottobre 1919; brevetto n. 153041, V. Gioiolo, Torino, *Sistema di costruzione smontabile in cemento armato*, 17 febbraio 1916.

²⁸ Brevetto n. 174440, G. Ciocca, Milano, *Costruzione in cemento armato ad ossatura cellulare*, 21 maggio 1919. Un profilo biografico di Gaetano Ciocca (1882-1966) è riportato a fianco.

²⁹ Unione Edilizia Nazionale, *L'opera ...*, cit., p. 49.

³⁰ Vedi C. Chioldi, *L'altezza più economica delle travi maestre di un solaio in cemento armato*, «Il Monitor Tecnico», 15, 1914, pp. 287-291; A. Pugnali, *Note sul calcolo di alcune membrature inflesse in cemento armato con speciale riguardo al problema del minimo costo*, ivi, 21, 1920, pp. 189-192.

³¹ Vedi E. Lo Cigno, *Tabelle e grafici per il rapido dimensionamento delle travi in cemento armato più economiche sollecitate a flessione od a pressoflessione*, «Il Cemento Armato», 6, 1929, pp. 53-61; A. Bruschi, *Nomogrammi per il calcolo e la verifica di sezioni circolari in cemento armato*, ivi, 11, 1931, pp. 119-124; L. Narducci, *Proiettario per il calcolo e l'esecuzione del cemento armato nelle costruzioni civili*, Torino 1920 e tanti altri.

³² *Notizie sul regolamento logaritmico calcolatore per costruzioni in cemento armato sistema Rieger*, «Il Cemento Armato», 5, 1925, pp. 49-52.

³³ L. Grosso, *Il contributo della calcolatrice "Washington" nello sviluppo dei progetti delle costruzioni in conglomerato cementizio armato*, ivi, 12, 1929, pp. 129-130.

³⁴ G. Baluffi, *Costruzioni in cemento armato*, Milano 1916; A. Fanti, *Manuale sulle costruzioni rurali in cemento armato*, Milano 1917; A. Arcangeli, *Manuale pratico per l'impie-*

go del cemento armato, Milano 1919; A. Bagnasco, *Cemento Armato. Guida teorico pratica per l'impiego e l'esecuzione del cemento armato*, Brescia 1923 e tanti altri.

³⁵ L. Santarella, *Il cemento armato nelle costruzioni civili ed industriali. Teso e Alleanze*, I ed., Milano 1926; la II edizione, in tre volumi, comparirà nel 1927; le edizioni si susseguiranno a distanza molto ravvicinata, anche molto dopo la morte dell'autore, con il titolo *Il Cemento Armato*.

³⁶ A. Danusso, *A proposito di una recensione*, «Il Cemento», 4, 1923, p. 38: viene qui attaccata la recensione di E. Marullier pubblicata nel numero precedente.

³⁷ La scuola, tuttora esistente, veniva fondata da Cesare Pesenti e vedeva la collaborazione dei più importanti docenti del settore. (Un profilo biografico di Cesare Pesenti (1860-1933) è riportato a fine testo). Nei primi anni di attività era diretta da Federico Antonio Jorini che impartiva anche il corso di Ponti (un profilo biografico di F.A. Jorini (1853-1931) è riportato a fine testo). Arturo Danusso impartiva il corso di Complementi di Scienza delle Costruzioni, Giulio Revere quello di Cementi e Calcestruzzi, Luigi Santarella quello di Costruzioni civili e industriali, Mario Baroni teneva lezioni sulle strutture speciali per tettoie, cupole, serbatoi, silos, Cesare Chioldi sull'organizzazione dei cantieri e sulle opere idrauliche, Italo Vandone sulle applicazioni del cemento nelle pavimentazioni stradali. In seguito le lezioni verranno integrate da conferenze su argomenti specifici.

³⁸ A titolo di esempio, nel realizzare il nuovo ospedale di Fano, inaugurato nel 1920, si faceva larga applicazione di cemento armato, "perché gli operai fanesi hanno preso mano anche a questo sistema costruttivo". C. Selvelli, *Il vecchio e il nuovo ospedale di Fano*, «Il Monitor Tecnico», 16, 1922, pp. 185-190.

³⁹ Revere denunciava il fatto che la scarsa produzione di cemento rispetto alla enorme richiesta incidere sulla qualità delle forniture, in particolare estive. Lo squilibrio del mercato infatti, se da una parte contribuiva a mantenere alti i prezzi e quindi i costi di costruzione, dall'altro favoriva "l'invasione di prodotti scadenti, insufficientemente stagionati, spediti da fabbriche senza idonei mezzi di produzione e senza magazzini". G. Revere, *In tema di "cemento"*, «Le Industrie del Cemento», 2, 1925, pp. 13-15.

⁴⁰ Il più recente era quello tedesco, adottato nel 1916, che veniva pubblicato in Italia ancora durante la guerra, perché "non bisogna perdere di vista i progressi del nemico per poter da essi apprendere quanto vi è di buono e mantenerci conto di lui più validamente agguerriti". A. Danusso, *I progressi delle norme per l'esecuzione delle opere in cemento armato*, «Il Monitor Tecnico», 24, 1916, pp. 309-313.

⁴¹ Contemporaneamente si richiedeva di aumentare da 28 a 45 giorni la stagionatura dei provini da sottoporre a rottura. Con i cementi normali impiegati in Italia era molto poco probabile ottenere dalle prove di compressione una resistenza superiore a 100 kg/cmq dopo 28 giorni di stagionatura, mentre dopo 45 giorni si poteva arrivare a 120 kg/cmq e più. Inoltre la riduzione del coefficiente consentiva di poter arrivare a tensioni normali di circa 40 kg/cmq contro i 30 kg/cmq ammessi dalla normativa in vigore. Al miglior sfruttamento del materiale dovevano corrispondere però maggiori garanzie sulla sua qualità, pertanto venivano aggiornati i metodi di prova.

⁴² Il valore stabilito dalle norme del 1907 era di 1000 kg/cmq.

⁴³ Bollettino Ufficiale del Ministero dei Lavori Pubblici 1-11 marzo 1925, *Prescrizioni per l'accettazione degli agglomeranti idraulici e l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato* (G.U. n.135 del 12 giugno 1925).

⁴⁴ *Circolare ministeriale dei Lavori Pubblici relativa alle opere in cemento armato*, «Il Cemento Armato», 8, 1926, p. 102.

⁴⁵ R.D.L. n. 1981 del 4 settembre 1927, *Nuove norme per l'accettazione degli agglomeranti idraulici e l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato* (G.U. n. 261 dell'11 novembre 1927).

⁴⁶ Per inciso si ricorda che nel luglio del 1927 a Vienna si teneva un'importante conferenza internazionale, sotto la presidenza di von Emperger, che radunava per la prima volta dopo la guerra studiosi del cemento armato da tutta Europa. Il tema della conferenza era proprio la

definizione di un regolamento internazionale per il materiale. Facendo il punto sulle principali differenze fra le normative dei vari Paesi e sui problemi ancora irrisolti teoricamente, pur complicati da alcuni regolamenti, si definivano "puri pettegolezzi" i valori relativi ai limiti ammissibili per le tensioni, in quanto scientificamente non esistevano metodi sicuri per determinare la qualità del calcestruzzo né per valutare il grado di sicurezza di una costruzione. *Prescrizioni internazionali per il cemento armato*, «Il Cemento Armato», 8, 1927, pp. 86-87.

⁴⁷ C.M. Zuccarelli, *Sostentiamo ... il Cemento Armato*, ivi, 3, 1928, pp. 34-35.

⁴⁸ Ivi, p. 35.

⁴⁹ Le curve granulometriche di Fuller e Bolomey erano molto dibattute nel congresso di Liegi del 1930, così come il rapporto acqua - cemento, anche in relazione alle caratteristiche di resistenza dei nuovi cementi. L. Santarella, *Le applicazioni del cemento armato in Italia (sviluppo ed orientamento della tecnica)*, «L'Industria Italiana del Cemento», 8, 1931, pp. 233-241.

⁵⁰ Già nel 1917 Freyssinet applicava la vibrazione, accompagnata da elevate pressioni, alla realizzazione di pezzi preconfezionati in casseforme speciali che, oltre a resistere alle pressioni esercitate sulle pareti, permettevano l'evacuazione dell'acqua.

⁵¹ *L'azione dell'acqua sulla resistenza del calcestruzzo*, «Il Monitor Tecnico», 7, 1922, p. 85; A. Landini, *Influenza del quantitativo d'acqua di impasto sulla resistenza alla compressione dei conglomerati cementizi*, «Le Industrie Costruttive», 7, 1923, pp. 57-62.

⁵² Ad esempio l'apparecchio di Davis, che consisteva in un cilindro verticale, di dimensioni prefissate, riempito di calcestruzzo e posato su una lastra di vetro: sollevando verticalmente il cilindro con un semplice meccanismo a carrucole che impediva spostamenti e scosse in senso laterale, il calcestruzzo sfuggiva dal cilindro e rimaneva sulla lastra di vetro in forma di tronco di cono. Quanto più il calcestruzzo era ricco di acqua, tanto meno era consistente e tanto minore era l'altezza del tronco di cono. Nel caso di un cilindro tipo, alto 30,5 centimetri e di 12,5 centimetri di diametro, una perdita di altezza fra 1,25 e 2,5 centimetri indicava, per Abrams, la «consistenza normale». *Misura speditiva del grado di consistenza del calcestruzzo*, «Il Monitor Tecnico», 24, 1919, pp. 279-280.

⁵³ Sopra l'ossidazione del ferro nel cemento armato, ivi, 9, 1920, pp. 99-100.

⁵⁴ *Sull'arrugginimento del ferro nelle opere in cemento armato*, ivi, 27, 1916, pp. 352-353; *Fessurazioni del beton ed arrugginimento dei ferri d'armatura nelle strutture in cemento armato*, «Il Cemento», 5, 1923, p. 43; *Degradazione del cemento armato in causa di insufficiente protezione dei ferri dalla ruggine*, ivi, 7, 1923, pp. 65-66.

⁵⁵ Studi ulteriori proprio sull'aderenza dimostravano invece che essa era aumentata dallo strato di ruggine che si formava naturalmente sui ferri in cantiere in attesa del getto. *Esperienze sull'aderenza del cemento col ferro*, «Il Monitor Tecnico», 35, 1917, pp. 31-32. Altro argomento in discussione era la possibilità di eseguire getti durante il gelo: il problema, molto sentito nelle regioni alpine, stimolava ricerche che dimostravano l'azione favorevole della soda comune o dell'acqua di impasto quasi bollente; più seri gli studi di Guidi sul «letargo» della reattività della malta durante il gelo. *Per l'esecuzione di lavori in calcestruzzo di cemento durante il gelo*, ivi, 35, 1920, pp. 301-303.

⁵⁶ P. Larsen, *Innovazioni introdotte nell'industria del cemento durante i dieci ultimi anni*, «Le Industrie del Cemento», 1, 1926, pp. 1-5; P. Foggaccia, *Il Cemento e la sua Organizzazione Sindacale. Storia della federazione del Cemento dalla sua origine ai nostri giorni*, relazione al 1° Congresso Nazionale del Cemento tenutosi a Casale Monferrato nel maggio 1937, Casale Monferrato 1937.

⁵⁷ Il cementificio di Pontechiasso era stato impiantato alla fine dell'Ottocento dalla Società Anonima calci e cementi in una zona priva di marne naturali ma strategica per il trasporto via mare. Nel 1902 la stessa società installava un nuovo stabilimento a Venezia.

⁵⁸ I dati statistici relativi alla produzione di cemento naturale e artificiale sono spesso contraddittori.

⁵⁹ Mentre l'importazione di cementi in Italia era soggetta a dazio, le marne dalmate entravano in franchigia.

⁶⁰ A. Pesenti, *L'industria del cemento*, in L. Lojaco, *L'indipendenza economica italiana*,

Milano 1937, pp. 560-566. La messa in valore delle marne delle colline intorno a Spalato risaliva al 1904 ad opera della Soc. Zamboni e Stock.

⁶¹ L'estrazione di marma da cemento continuava comunque, pur in modo sempre più ridotto, fino agli anni cinquanta. C. Goria, L. Cussino, V. Borasi, *Cemento. Storia, tecnologia, applicazioni*, Milano 1976, pp. 59-80.

⁶² C.F., *Cementi di scorie di alti forni*, «Il Monitor Tecnico», 29, 1919, pp. 338-339; F. Mecacci, *Nuovi cementi italiani*, «Le Industrie del Cemento», 11, 1926, pp. 113-114. I cementi d'altoforno si dimostravano interessanti per il fatto di avere un basso calore di idratazione, proprietà che cominciava ad essere studiata proprio in quegli anni, valutando le temperature raggiunte nelle parti più interne delle dighe. *Variazioni di temperatura nel calcestruzzo*, «Il Monitor Tecnico», 32, 1915, p. 493.

⁶³ E.G., *Malte e calcestruzzi di cemento con materie pozzolaniche*, ivi, 34, 1919, pp. 374-375; F. Ferrari, *I cementi d'Italia*, «Le Industrie del Cemento», 10, 1926, pp. 103-105.

⁶⁴ Infatti per questo cemento il calore di idratazione si sviluppa molto rapidamente e la temperatura del getto può arrivare a 40-50°C.

⁶⁵ R.D.L. n. 1431 del 7 giugno 1928, *Prescrizioni per l'accettazione degli agglomerati idraulici e per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio* (G.U. n. 156 del 6 luglio 1928), convertito in legge n. 58 del 3 gennaio 1929.

⁶⁶ La circolare esplicativa chiariva che i progetti consegnati alla Prefettura o agli uffici comunali delegati non dovevano subire un preventivo esame di merito, rimanendo ai progettisti la completa responsabilità dell'opera.

⁶⁷ La polemica, innescata dal fatto che il titolo di architetto era conferito non solo ai laureati delle Scuole di Architettura, ma anche ai licenziati dall'Accademia di Belle Arti, si sovrapponeva a quella che qualunque ingegnere, anche elettrotecnico o meccanico, potesse firmare un progetto, senza avere mai seguito un corso di cemento armato.

⁶⁸ A. Oberziner, *Sulle "Prescrizioni per l'accettazione degli agglomerati idraulici e per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio"*, «Il Cemento Armato», 3, 1929, pp. 29-32; 4, 1929, pp. 38-40; 5, 1929, pp. 45-48.

⁶⁹ G. Morbelli, *Ancora sulle "Prescrizioni per l'accettazione degli agglomerati idraulici e per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio" e sulla loro invocata riforma*, ivi, 3, 1930, pp. 25-26. Intanto però i crolli di edifici in costruzione si succedevano con una certa frequenza, soprattutto all'estero, e commuovevano l'opinione pubblica facendo sorgere nuovi allarmismi. A. Oberziner, *Di alcuni errori costruttivi e del modo di evitarli*, ivi, 4, 1927, pp. 43-46; A.T., *La rottura di un arco di ponte in cemento armato*, ivi, 11, 1931, pp. 129-130; R. Bertolani, *Il ponte di Gartz sull'Oder (Germania) e il suo crollo*, ivi, 6, 1927, pp. 65-67; L. Santarella, *Crolli nelle costruzioni in cemento armato*, ivi, 8, 1929, pp. 77-80; *Deliberazioni del Sindacato Ingegneri di Genova per prevenire i dissastri edilizi*, ivi, 7, 1932, p. 84.

⁷⁰ R.D. n. 592 del 4 aprile 1929, *Norme per l'accettazione dei cementi speciali* (G.U. n. 101 del 30 aprile 1929).

⁷¹ R.D.L. n. 1133 del 18 luglio 1930, *Norme per le prove d'accettazione degli agglomerati idraulici e per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio* (G.U. n. 203 del 30 agosto 1930).

⁷² R.D.L. n. 832 del 23 maggio 1932, *Norme per l'accettazione degli agglomerati idraulici e per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio* (G.U. n. 169 del 23 luglio 1932).

⁷³ R.D.L. n. 1213 del 29 luglio 1933, *Norme per l'accettazione dei leganti idraulici e per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio* (G.U. n. 224 del 26 settembre 1933).

⁷⁴ Le richieste erano più o meno sempre le stesse: che il conglomerato semplice non fosse regolamentato al pari di quello armato e che per i cementi ad alta resistenza fossero aumentati i carichi di sicurezza e ridotti i tempi di disarmo. Altre critiche riguardavano gli aspetti statici: il carico di sicurezza al taglio per il cemento che, invece di essere aumentato, in linea con le ricerche teoriche del periodo, veniva ulteriormente ridotto; le travi continue per le quali venivano imposti valori approssimati del momento in mezz'ora e agli appoggi e che non potevano invece es-

scere calcolate con metodi più precisi e quindi più economici. G. Angiella, *Appunti sul vigente regolamento del cemento armato*, «L'Industria Italiana del Cemento», 5, 1933, pp. 122-125.

⁷⁵ S. Poretti, R. Vittorini, *The Debate on "Autarchy" and the Heterogeneity of Italian Architecture*, in *Conference Proceedings of Fourth International DOCOMOMO Conference, September 18th-20th 1996*, Bratislava - Sliač, Slovakia, Bratislava 1997, pp. 172-176.

⁷⁶ R. Dina, *Per superare la crisi del cemento in Italia*, «Le Industrie del Cemento», 3, 1931, pp. 18-20.

⁷⁷ C. Vigliani, *L'industria ...*, cit.

⁷⁸ P. Fogaccia, *Il Cemento ...*, cit.

⁷⁹ D.L. n. 845 dell'8 maggio 1927.

⁸⁰ Un profilo biografico di Antonio Pesenti (1880-?) è riportato a fine testo.

⁸¹ *I lavori e i risultati del I Congresso Nazionale del cemento*, «L'Industria Italiana del Cemento», 5-6, 1937, pp. 142-143.

⁸² R. Dina, *Per superare ...*, cit.

⁸³ Il film, della durata di circa 22 minuti, propone immagini sull'estrazione delle materie prime dalla cava, sul trasporto del materiale, su tutto il processo di lavorazione fino al confezionamento dei sacchi di cemento. Quindi passa in rassegna alcune opere di pavimentazione eseguite in cemento, alcune strutture in cemento armato di edifici in costruzione e termina sulle immagini delle macerie del terremoto del Vulture, soffermandosi a lungo su edifici in cemento armato rimasti illesi.

⁸⁴ La proposta di legge era stata presentata dall'onorevole Cesare Nava (1861-1933: un profilo biografico del personaggio è riportato a fine testo).

⁸⁵ Rispettivamente nel 1926 (Venezia), nel 1929 (Torino), nel 1930 (Napoli e Firenze), nel 1933 (Milano). Le date si riferiscono però alla firma della Convenzione fra lo Stato, gli enti locali e le istituzioni private, mentre i corsi spesso avevano già avuto inizio qualche anno prima. In particolare a Milano presso il Politecnico, la Scuola Superiore di Architettura licenziava già nel 1926 personaggi come Giuseppe Terragni e Luigi Figini. Per maggiori dettagli sulle scuole e la loro storia, vedi *La nascita delle Scuole Superiori di Architettura in Italia*, cronologia a cura di L. Compagnin, M.L. Mazzola, in *Il razionalismo e l'architettura in Italia durante il fascismo*, a cura di S. Danesi, L. Paretta, Venezia 1976, pp. 194-196.

⁸⁶ Il Gruppo 7, *Architettura*, «Rassegna Italiana», 103, 1926, pp. 849-854. Il corsivo è originale.

⁸⁷ Il Gruppo 7, *Architettura (II)*, *Gli Stranieri*, ivi, 105, 1927, pp. 129-137.

⁸⁸ Il Gruppo 7, *Architettura (III)*, *Impreparazione - Incomprensione - Pregiudizi*, ivi, 106, 1927, pp. 247-252.

⁸⁹ Il Gruppo 7, *Architettura (IV)*, *Una nuova epoca arcaica*, ivi, 108, 1927, pp. 467-472. In una nota al testo gli autori precisano: "Per brevità, sotto la denominazione «cemento armato» intendiamo alludere anche al ferro, in tutti i nuovi modi costruttivi introdotti oggi dalla evoluzione della tecnica".

⁹⁰ Testimonianza di Carlo Belli, in *Materiali per l'analisi dell'architettura moderna. I^a Esposizione italiana di architettura razionale*, a cura di M. Cennamo, Napoli 1977, p. 95.

⁹¹ A. Libera, G. Minnucci, *Introduzione alla esposizione*, ora in *Materiali ...*, cit., p. 104.

⁹² "Occorre dire che il Trucco non c'entrava per nulla con noi. Non faceva parte della nostra compagnia [...] Martè Trucco era un "ingegnere": poco si occupava o preoccupava dei nostri problemi. Anzi, credo che fosse lontanissimo da noi, per indottrino e per mentalità. Gli era venuta fuori la fabbrica della Fiat. Aveva avuto l'idea di collocare il collaudo sul tetto. Un'opera egregia d'ingegneria, insomma; e noi la si teneva in gran rispetto. Ma con tutta l'ammirazione a lui dovuta, i nostri impulsi avevano altre origini e diversa appariva la natura dei nostri propositi". Testimonianza di Carlo Belli, in *Materiali ...*, cit., p. 98. Un profilo biografico di Giacomo Matè-Trucco (1869-1934) è riportato a fine testo.

⁹³ M. Pozzetto, *La Fiat Lingotto, un'architettura torinese d'avanguardia*, Torino 1975; *Il Lingotto 1915-1939. L'architettura, l'immagine, il lavoro*, a cura di C. Olmo, Torino 1994.

⁹⁴ A. Danusso, *La logica e l'estetica nelle costruzioni in calcestruzzo armato*, «Il Cemen-

to», 10, 1906, pp. 250-251. L'articolo veniva tradotto e pubblicato in Francia su «Le Ciment Armé», 3, 1908.

⁹⁵ A. Sant'Elia, *Manifesto dell'architettura futurista*, 1914, ora in G. Ciucci, F. Dal Co, *Architettura italiana del Novecento*, Milano 1990, pp. 82-85.

⁹⁶ G. Giovannoni, *Gli architetti e gli studi dell'architettura*, «Rivista d'Italia», 2, 1916 ora in G. Ciucci, F. Dal Co, *Architettura ...*, cit., pp. 85-87.

⁹⁷ M. Piacentini, *Nuovi orizzonti dell'edilizia cittadina*, discorso di inaugurazione del secondo anno accademico della Scuola Superiore di Architettura di Roma, novembre 1921, ora ivi, pp. 91-93.

⁹⁸ G. Rosso, *Alcune osservazioni del Gruppo "7" di Milano (Arch. tit. L. Figini, S. Larco, G. Pollini, C.E. Rayo)*, «L'Architettura Italiana», 9, 1927, pp. 99-102.

⁹⁹ G. Ciucci, *Gli architetti e il fascismo. Architettura e città 1922-1944*, Torino 1989, p. 63.

¹⁰⁰ Il progetto architettonico era di Enrico Bacchetti ma si rifaceva ad un brevetto di E. Gay: brevetto n. 248808, Emilio Gay, Torino, *Autorimesse a più piani*, 8 agosto 1925. Era realizzata in piazza Verdi dall'impresa dell'ing. Rodolfo Stoelcker, che aveva vinto lo speciale concorso per l'aggiudicazione dell'esecuzione, la commissione giudicatrice del concorso era presieduta da Aristide Giannelli, che si occupava anche del controllo dei calcoli e del collaudo. La costruzione iniziava il 1° febbraio 1928 e terminava il 30 maggio 1929. G. De Cupis, *La casa dell'automobile in Roma*, Roma 1929; R. Stoelcker, *Recenti edifici in cemento armato a Roma*, in *La partecipazione italiana al primo congresso internazionale del beton semplice ed armato*, Liegi, settembre 1930, Roma 1931, pp. 131-146; A. Ferrario, *Le opere in cemento alla prima Mostra Nazionale della Ingegneria*, «L'Industria Italiana del Cemento», 7, 1931, pp. 196-210.

¹⁰¹ L'attacco alla stazione di Milano non piaceva proprio alla rivista «Il Cemento Armato», che la difendeva in diversi articoli. Anzi, si vendicava accusando i razionalisti di sorpassare "ogni misura nella loro sfrenata ambizione di cambiare radicalmente il nostro modo di ragionare" ed attaccava in particolare il Novocomun di Terragni, rappresentante di un sistema architettonico "estraneo alla legge delle proporzioni che è troppo fissata in noi per poterla disdire". A. Goldstein-Bolocan, *Architettura razionalista e Architettura del cemento armato (saggio)*, «Il Cemento Armato», 8, 1931, pp. 88-90.

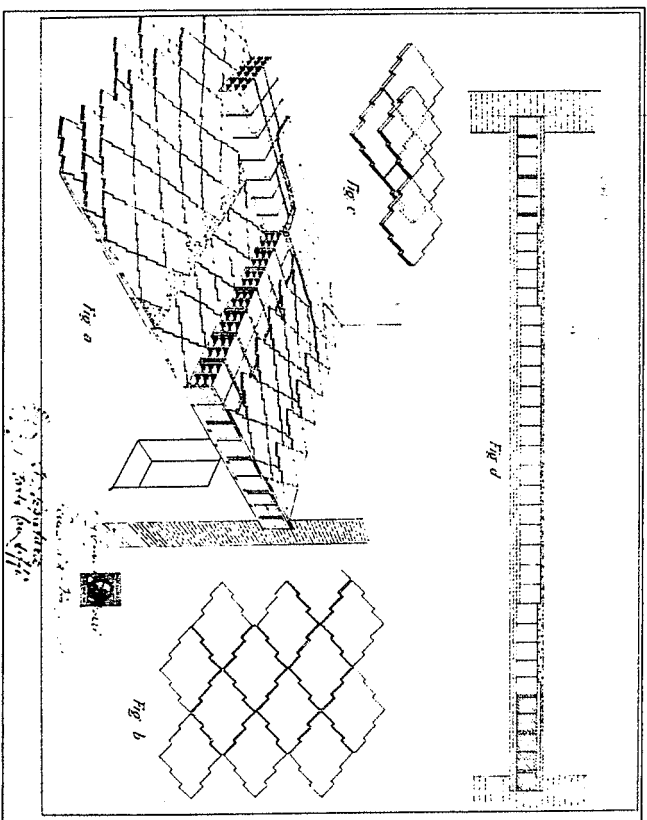
¹⁰² Già da qualche anno sono in corso presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Roma Tor Vergata ricerche sull'evoluzione delle tecniche costruttive negli anni trenta basate sull'analisi delle opere. Per gli edifici della Città Universitaria di Roma, vedi S. Mornati, *La sperimentazione nella costruzione della Città Universitaria (1932-1935)*, «Rassegna di Architettura e Urbanistica», 84-85, 1994-95, pp. 109-117, in particolare per la scuola di Matematica di Ponti, vedi S. Mornati, *La Città Universitaria di Roma. Note sulla Scuola di Matematica di Gio Ponti*, in *150 anni di costruzione edile in Italia*, a cura di M. Casciato, S. Mornati, C.P. Scavizzi, atti del II seminario internazionale «Il Modo di costruire», Roma 1992, pp. 345-360; sui palazzi postali di Roma, vedi S. Poretti, *Progetti e costruzione dei palazzi delle Poste a Roma 1933-1935*, Roma 1990; sulle case della GIL, vedi R. Capomolla, R. Vittorini, *La costruzione negli anni trenta. Note sulle case del baillia*, in *Studi sull'edilizia in Italia tra Ottocento e Novecento*, a cura di R. Capomolla e R. Vittorini, Roma 1999, pp. 177-192; R. Capomolla, *Alcune osservazioni sulla casa della GIL a Trastevere di Luigi Moretti*, in *150 anni ...*, cit., pp. 321-332; R. Vittorini, *La casa della GIL di Gaetano Minnucci*, ivi, pp. 333-344; per la Casa del fascio di Como, vedi S. Poretti, *La Casa del fascio di Como*, Roma 1998; S. Poretti, *Le tecniche costruttive degli anni trenta fra modernismo e autarchia. Una nota sulla Casa del Fascio*, in *150 anni ...*, cit., pp. 307-320.

¹⁰³ S. Poretti, *Per una storia della costruzione moderna in Italia*, in *Studi sull'edilizia ...*, cit., pp. 7-10.

¹⁰⁴ S. Poretti, *Le tecniche ...*, cit., p. 307.

¹⁰⁵ R. Capomolla, *Alcune osservazioni ...*, cit., p. 329

¹⁰⁶ Vedi S. Poretti, R. Vittorini, *The Debate ...*, cit.



Brevetto n. 364671, E. Miozzi, Venezia, Nuovo tipo di solaio in laterizio fornito senza impiego di ferro, 8 novembre 1937

La sperimentazione autarchica (1935-1943)¹

Con l'aggressione dell'Etiopia e le conseguenti sanzioni economiche imposte all'Italia dalla Società delle Nazioni nel novembre del 1935, iniziava una fase critica della politica economica del regime fascista. L'orientamento protezionistico finalizzato all'autosufficienza, già intrinseco al corporativismo, si inaspriva dando origine alla fase più intensa dell'autarchia, ancor più motivata negli anni seguenti da ragioni belliche. Come in tutti i settori produttivi, anche nel mondo delle costruzioni l'obiettivo dell'indipendenza dai materiali d'importazione diveniva determinante: si accendeva così un vivace dibattito, ma soprattutto si allargava il campo di sperimentazione, in cerca di nuove soluzioni a più alto valore nazionale. Il cemento armato, che dipendeva dall'estero per il legno delle casseforme e il ferro dell'armatura, veniva accusato di essere materiale poco autarchico e, se pure i confronti in termini di "costo-oro" ne dimostravano la convenienza rispetto alle altre costruzioni (quelle in acciaio ma anche quelle in muratura portante), la necessità di destinare tutto il ferro all'industria bellica portava comunque alla condanna del materiale: dal 1937 progressivamente se ne limitava l'impiego, fino ad arrivare al divieto d'uso nel settembre del 1939.

Indipendentemente dai provvedimenti presi, i tecnici e gli studiosi non si davano per vinti e continuavano gli studi per migliorare il "grado autarchico" del cemento armato. Due le principali linee di ricerca. Una linea di continuità che si basava su una prospettiva a più lungo termine e ipotizzava, una volta concluso il periodo bellico, la ripresa del cemento armato grazie all'utilizzo del ferro nazionale, mirando perciò ad economizzare le armature mediante metodi di calcolo più corretti, progettazione più attenta, impiego di materiali a migliorate prestazioni (cementi ed acciai ad alta resistenza). Una linea basata su un nuovo pionierismo che auspicava risultati immediatamente disponibili e che riprendeva e sviluppava le esperienze iniziate nel primo dopoguerra, quando le difficoltà di rifornimento ed il costo proibitivo dei materiali tradizionali avevano promosso ricerche su materiali nazionali alternativi. Al posto del ferro, si ipotizzavano, come già nel periodo della "febbre edilizia", armature in legno, ma ora anche in bambù, in cemento-amianto o in alluminio. Per ridurre i pesi morti degli edifici, si incrementava l'impiego di blocchetti di cemento, di laterizi forati, ma anche di elementi a base di pomice e di materiali composti di residui di altre lavorazioni. Per gli orizzontamenti, infine, autorizzati per legge i solai misti senza soletta, si studiavano dispositivi con armature ridotte. E quando le difficoltà di fornitura del tondino di armatura aumentavano, si avviava la sperimentazione del solaio senza ferro: dal brevetto Miozzi al brevetto Neumann, erano decise i sistemi che, contando sulla resistenza a trazione del laterizio e del cemento, rivendicavano garanzie di stabilità per solai con esclusione assoluta di ferro. Queste ultime ricerche,

abbandonate nel dopoguerra, fornivano prestazioni spesso inaspettate, non trovando giustificazione nel calcolo e nelle caratteristiche dei materiali.

L'autarchia e le limitazioni all'impiego del cemento armato

Il 3 ottobre 1935 le truppe italiane invadevano l'Etiopia: il "posto al sole" che, secondo Mussolini, ma anche secondo gli italiani, avrebbe dovuto risolvere gran parte dei problemi occupazionali ed economici del Paese, si rivelava ben presto la prima mossa di una politica estera che inesorabilmente avrebbe condotto alla guerra.

La conseguenza più immediata dell'attacco erano le sanzioni che la Società delle Nazioni applicava all'Italia. Pur se è ormai chiaro che le sanzioni hanno avuto effetti circoscritti per la durata limitata e per le molte eccezioni da parte dei Paesi che le sottoscrissero, il regime ne faceva uno strumento propagandistico assai potente per lanciare l'autarchia nazionale?

Per limitare l'esodo di oro, rimasto l'unica "moneta" internazionale con cui avere scambi commerciali con l'estero, andava stravolto il consueto approccio agli investimenti: non si doveva più mirare a ridurre al minimo la spesa ma piuttosto si doveva minimizzare il costo in oro.

L'orientamento protezionistico peraltro non nasceva certo con le sanzioni ma era un elemento interno all'economia del corporativismo e affondava le sue radici già nel piano economico del 1926³. L'autarchia trovava però nelle sanzioni ginevrine uno strumento quasi inaspettato di presa sulle masse.

Il settore edilizio, sul quale il regime aveva molto investito, prima con le case economiche e popolari poi con l'incentivo alle opere pubbliche, non poteva non essere protagonista nel nuovo panorama politico-economico. I "consigli" autarchici per porre limiti all'esodo di oro derivante dall'impiego nelle costruzioni di materiali non nazionali stimolavano dunque un acceso dibattito e una intensa ricerca nel settore delle tecniche edilizie.

Le maggiori limitazioni di approvvigionamento riguardavano il ferro, ma, fra i materiali d'importazione di cui l'Italia risultava particolarmente povera, figuravano soprattutto i combustibili ed il legno d'opera. Questo influenzava evidentemente tutto il settore edilizio, in particolare quello delle opere in cemento armato. Se infatti il Paese era un ottimo produttore di cemento, per via dei giacimenti naturali di marna, argilla e calcare, non poteva vantare alcuna autonomia nella produzione né di tondino per le armature, né di legno per le casseforme. Sicché il cemento armato, dopo aver conquistato il primato in termini di economicità e di tempi di esecuzione, si trovava improvvisamente minacciato dall'accusa di antiautarchia e in breve tempo condannato.

Il processo nei suoi confronti durava lunghi mesi ed appariva da subito chiaro che le prove dell'accusa erano destituite di ogni fondamento: molti esperti chiamati in causa valutavano che il suo costo in oro era inferiore non solo, ed evidentemente, alle strutture metalliche, ma anche alla muratura portante.

Il tentativo di concorrenza dell'acciaio si era già consumato nel periodo di modernizzazione della produzione - e cioè nelle prime fasi dell'economia corporativa -, quando i sostenitori delle strutture metalliche, spalleggiati dall'industria siderurgica, avevano invano cercato di promuovere una più larga adozione dell'acciaio nell'edilizia. Nel 1932, in occasione del Concorso Falck indetto dall'Associazione fra i Metallurgici Italiani, gli ingegneri invitati a presentare progetti di edifici a struttura metallica, ne avevano vantato i presunti vantaggi rispetto allo scheletro in cemento armato e alla muratura. Le argomentazioni proposte apparivano palesemente sospette ed i confronti con le diverse soluzioni costruttive presentati dai concorrenti erano subito giudicati esagerati. Non avevano retto alle analisi più approfondite le affermazioni di maggiore rapidità di costruzione⁴, dove poi non c'era stato neppure da discutere era sul costo delle strutture metalliche, valutato mediamente superiore del 20%, sulla minore sicurezza agli incendi e infine anche sul "fattore nazionale", essendo il ferro materiale antiautarchico per eccellenza⁵.

Debellata già prima della fase autarchica vera e propria la presunta concorrenza delle ossature in ferro, rimaneva adesso quella ben più insidiosa della muratura portante. In pieno regime sanzionistico, quando le accuse al cemento armato si facevano più insistenti, un'apposita Commissione per l'impiego dei materiali italiani, nominata dal Sindacato Fascista Ingegneri della provincia di Milano, pubblicava una documentata relazione sull'incidenza delle importazioni nelle costruzioni in cemento armato. In questa si evidenziava che l'esborso in valuta necessario per l'acquisto di materiali esteri rispetto al costo totale di costruzione di un fabbricato a struttura portante in cemento armato e tamponatura laterizia corrispondeva ad appena il 10%. A questa prima analisi seguiva, ad opera di uno dei membri della commissione, un confronto più dettagliato fra le più diffuse soluzioni strutturali che metteva in luce chiaramente come, in edifici realizzati a Milano prima delle sanzioni e quindi senza particolari attenzioni autarchiche, la struttura in cemento armato risultasse di più modesto costo in oro rispetto a qualunque altra per edifici superiori ai quattro piani, anche alla muratura portante, a causa del forte consumo di carbone per la cottura dei mattoni⁶. La guerra a colpi di percentuali e di stime - che valutavano con la precisione della seconda cifra decimale anche i litri di carburante necessari per il trasporto dei materiali - andava avanti per anni: appariva però sempre più chiaro che il problema del rifornimento del tondino per armature non era un problema valutario, bensì politico, visto che il metallo doveva essere dirottato verso l'industria bellica.

A convincere definitivamente i tecnici che nessuna prova avrebbe potuto capovolgere il giudizio ed evitare la condanna del cemento armato, arrivava, a dibattito ancora in corso, la sentenza senza appello della normativa. Le prime disposizioni restrittive erano emanate nel novembre del 1937⁷. Si trattava di norme tecniche di edilizia che riguardavano tutti i comuni, con speciali indicazioni per le località colpite dai terremoti. Le norme rendevano obbligatoria la muratura ordinaria per i fabbricati di abitazione fino a cinque piani. In

zona sismica l'ossatura in cemento armato era consentita solo per edifici più alti di 3 o 4 piani - a seconda del rischio sismico della zona - mentre negli altri casi si doveva ricorrere alla muratura di pietrame o di mattoni⁸. Tali disposizioni, in pratica, limitavano fortemente l'impiego del cemento armato. Il materiale era però ancora tollerato, così come il ferro, nei solai ed era addirittura obbligatorio nei cordoli. Contemporaneamente si favoriva la riduzione delle armature, elevando i limiti di sollecitazione per il ferro. Raccogliendo le precise richieste dei produttori, secondo i quali l'affinamento dei cicli di lavorazione aveva di molto migliorato la qualità del ferro omogeneo, detto anche acciaio dolce, veniva elevato a 1400 kg/cmq il valore del carico di sicurezza. Inoltre veniva consentito, adeguandosi in questo caso a tutti gli altri Paesi europei, l'uso dell'acciaio semiduro - ad alta resistenza - con carico di sicurezza pari a 2000 kg/cmq. Si adottava in pratica un coefficiente di sicurezza pari a 2 rispetto al carico di snervamento, contro il precedente valore 3, differenziando ora però i diversi tipi di acciaio: precedentemente infatti per tutti gli acciai - dai 38 ai 50 kg/mm² di resistenza a rottura - era fissato indistintamente un carico di sicurezza di 1200 kg/cm².

Nel febbraio del 1938, rendendosi necessaria una maggiore economia di ferro, una circolare del Ministero dei Lavori Pubblici stabiliva ulteriori restrizioni. Veniva intanto escluso l'impiego di cemento armato per tutti i fabbricati di abitazione, compresi quelli superiori a 5 piani. Per i solai, ove non fosse stato possibile adottare sistemi senza impiego di ferro, si autorizzava l'uso di solai laterocementizi di alto spessore: la maggiore altezza infatti consentiva armature più ridotte. Anche nelle zone sismiche si proibiva indirettamente l'uso del cemento armato, limitando drasticamente l'altezza degli edifici.

Dopo tali preavvisi, il divieto assoluto dell'impiego di ossature di cemento armato giungeva nel settembre del 1939⁹, con un decreto che vietava l'uso del materiale in tutti gli edifici, sia pubblici che privati, e nelle opere pubbliche in genere. Al Ministro dei Lavori Pubblici veniva però riservata la possibilità di concedere deroghe per opere in corso o di speciale interesse pubblico¹¹.

La difesa del cemento armato

Gli enormi progressi raggiunti in poco più di un trentennio con il cemento armato erano troppo evidenti a tutti i tecnici perché questi accettassero con rassegnazione la condanna: troppo lo sforzo sperimentale per accettare le caratteristiche di resistenza, troppo l'approfondimento teorico per determinare metodi di calcolo sempre più efficaci, troppo diffuso e apprezzato il telaio antistatico, troppo vantaggioso economicamente il solaio laterocementizio, troppo potenti le categorie delle imprese di costruzioni specializzate e ancor di più la federazione dei produttori di cemento. Già molto prima del verdetto, quando l'impiego del cemento armato era messo a rischio dalle difficoltà di approvvigionamento delle armature, studiosi, costruttori e produttori ini-

ziavano una difesa strenua quanto per alcuni versi disperata: in un primo tempo tentando di ottenere, se non l'assoluzione, almeno la libertà condizionata, ed in un secondo tempo implorando la grazia per il condannato a morte.

Due le linee principali di ricerca per migliorare il grado di autarchia del materiale.

Da una parte quella sostenuta dalla rivista «Il Cemento Armato» e dai suoi collaboratori - tra i più autorevoli esperti italiani del settore -, che mirava a raggiungere considerevoli economie di ferro attraverso un più razionale sfruttamento del materiale. Compatibilmente con le esigenze della stabilità, il ferro poteva essere spinto al massimo delle sue potenzialità - e quindi notevolmente economizzato - mediante un rigoroso dimensionamento degli elementi strutturali, un controllo più accurato dei carichi di calcolo e, in generale, una riduzione dei sovraccarichi. Ma soprattutto si pensava di ottenere economie sostanziali con una revisione globale del calcolo delle strutture. In questa officina la ricerca teorica e sperimentale doveva essere intensificata al fine di chiarire le tante incertezze sulla reale distribuzione degli sforzi nelle strutture, in particolare in quelle iperstatiche. Era inoltre divenuto urgente accertare con precisione le caratteristiche di resistenza dei singoli materiali, ed in particolare valutare definitivamente la capacità del conglomerato di collaborare nella resistenza a trazione, anche a seguito delle migliori introdotte negli impasti e nei getti conseguenti alle indagini sulle granulometrie, sul rapporto acqua-cemento e sulla vibrazione. Doveva essere infine approfondito lo studio dei fenomeni di fessurazione e di plasticizzazione del calcestruzzo, dimostrando la compatibilità del conglomerato con gli acciai ad alta resistenza.

Gli studiosi non ritenevano superfluo che le ricerche sul cemento armato proseguissero, anche dopo che le costruzioni con questo materiale erano state proibite per legge. Erano convinti infatti che, non appena fossero ritornate le condizioni di normalità politica ed economica, le costruzioni in muratura portante - meno economiche, meno igieniche, più pesanti e più ingombranti - avrebbero di nuovo lasciato il primato a quelle a scheletro in cemento armato¹². Le ricerche impostate su questa linea si sarebbero rivelate preziose soprattutto per il loro contributo agli sviluppi della tecnica del calcestruzzo precompresso, come vedremo nel prossimo capitolo.

La seconda linea di ricerca, portata avanti dalla rivista «L'Industria Italiana del Cemento», e quindi dagli industriali del cemento, puntava a risultati tangibili in tempi più rapidi. Riprendevano così alcuni studi iniziati nel primo dopoguerra, quando i costi proibitivi dei materiali avevano indotto alla sperimentazione di tecniche e materiali alternativi: si ricorda che si erano usati anche solai alleggeriti con scatole di cartone o cestini di vimini.

Tutte le soluzioni avanzate ben prima delle sanzioni ginevrine e delle successive restrizioni legislative trovavano negli anni trenta un singolare e forse eccessivo successo: la sostituzione del ferro di armatura con surrogati resistenti a trazione quali il legno, il bambù, il cemento amianto, l'alluminio, la

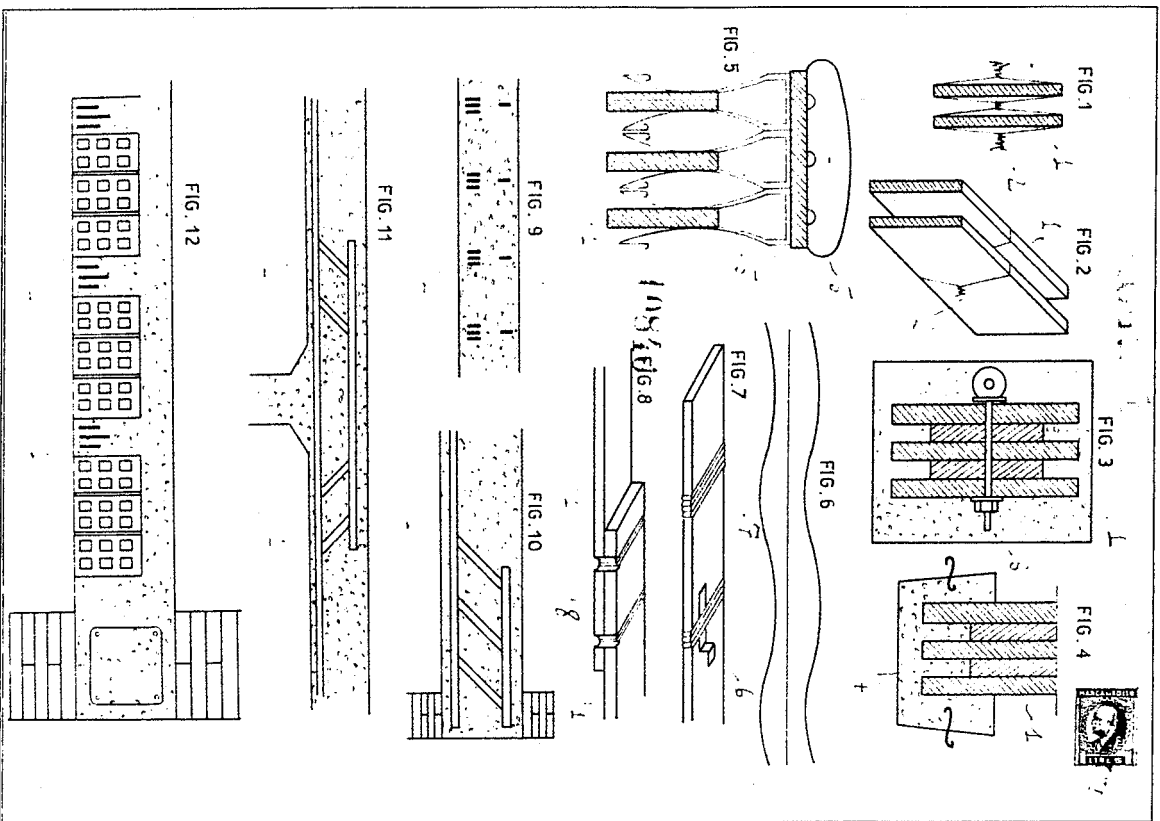


Fig. 101 - Brevetto n. 404291, M. Del Chiappa, Roma, Procedimento per sostituire armature di legno scientificamente ricostituito alle armature metalliche nei getti di calcestruzzo, 28 dicembre 1942

ligno-concrete¹⁶. Nei mesi successivi Viscardini rivendicando il suo primato, riferiva dei suoi esperimenti che mettevano in luce soprattutto problemi dovuti al rigonfiamento del legno che, se non preventivamente impegnato d'acqua, assorbiva durante la presa quella rilasciata dal cemento. Inoltre a causa del suo basso modulo di elasticità, il legno già per carichi modesti subiva forti allungamenti che il cemento in zona tesa non poteva assecondare. Il sistema - concludeva Viscardini - era però di conveniente applicazione per piccoli luci e in quelle strutture rurali dove il legno usato da solo si sarebbe deteriorato precocemente con l'umidità¹⁷. Nel 1918, per le ricordate difficoltà del mercato, Viscardini rispolverava i suoi studi e riferiva sugli aggiornamenti delle sue ricerche¹⁸, presentando anche un brevetto che rivendicava i diritti sull'impiego del legnoccemento nelle travi¹⁹.

In seguito gli studi proseguivano ma senza grande ottimismo. In primo luogo per il modesto valore autarchico del legno: l'Italia infatti, data la scarsità di coltivazione delle conifere, era obbligata a importare dall'estero la maggior parte del legname d'opera. Inoltre la garanzia di aderenza tra il conglomerato e il legno era ottenuta a prezzo di artificiose connessioni metalliche; la protezione del legno dalla putrefazione non era ancora dimostrata, se non per brevi periodi; infine l'armatura lignea equivalente a quella metallica risultava geometricamente troppo voluminosa già per luci modeste. Le contindicazioni note non impedivano però il proliferare di brevetti che, con accorgimenti più o meno complessi, cercavano di ottimizzare l'uso: questo accadeva in particolare dopo la scoppio della guerra, quando il ferro diveniva irripetibile²⁰.

Anche la canna di bambù, materiale simile al legno ma autarchicamente più valido, poiché cresceva rigoglioso nelle colonie africane, forniva risultati incoraggianti in alternativa al ferro. In Abissinia, per esempio, erano disponibili canne che raggiungevano altezze di circa 10 metri e diametri intorno ai 7 centimetri. Già nel primo dopoguerra la canna, il vimine e il giunco, materiali economici di cui alcune regioni italiane erano relativamente ricche, venivano impiegati per alleggerire i solai: le canne - in fasci compatti ma leggeri - in sostituzione delle piattate; il giunco e il vimine lavorati ad intreccio in forma di ceste per fungere da casseforme a perdere²¹. Già nel 1924 erano state segnalate le potenzialità del bambù, ma le ricerche non avevano avuto seguito²². Successivamente, al Congresso internazionale della Strada, tenutosi a Monaco nel 1934, alcuni ingegneri cinesi relazionavano sulle ottime caratteristiche di un tronco di strada sperimentale, realizzato a Nankino, in cemento armato con bambù. Da questa applicazione e da altre realizzate in India e Giappone, ma soprattutto da esperienze di laboratorio eseguite dal professor Graf del Politecnico di Stoccarda e dal professor Alfredo De Nora dell'Università di Napoli, emergeva che il materiale poteva costituire una valida alternativa al ferro, nel caso di solai di copertura di modesta portata. Dopo il 1936, ricerche nel laboratorio di Addis Abeba, sponsorizzate dal governo centrale dell'Africa Orientale Italiana, e prove compiute soprattutto dall'ing-

genere Alessandro Paoloni e dall'architetto Athos Albertoni confermavano i risultati positivi²³.

Il bambù, la cui tensione di rottura a trazione poteva raggiungere i 2000 kg/cmq, aveva però un modulo di elasticità pari circa ad un decimo di quello del ferro. Per assorbire gli sforzi di taglio inoltre era necessario impiegare stiffe di ferro, o di filo di ferro, avvolto strettamente intorno alle fibre legnose. Infine, aspetto assai più preoccupante, il bambù, al pari del legno, appena entrato in contatto con il getto, assorbiva l'acqua di impasto gonfiandosi, in un secondo tempo, con il progredire della presa, cedeva l'acqua e di conseguenza diminuiva di volume, non garantendo più l'aderenza e anzi lasciando molto gioco tra sé e il conglomerato. Un artificio per limitare gli scorrimenti consisteva nell'utilizzare canne particolarmente nodose e, ancor meglio, tagliate a metà longitudinalmente, per sfruttare il contributo dei naturali diaframmi interni. Un accorgimento relativamente semplice per stabilizzare il volume era quello di imbibire d'acqua le canne e poi pitturarle, ma l'unica sostanza che sembrava non innescare pericolose reazioni con il cemento era la biacca di piombo. Tra gli altri processi tentati, la bachelizzazione dava risultati abbastanza incoraggianti, ma ovviamente di costo elevato. Ad ogni modo le possibili applicazioni non potevano che riguardare piccole luci e quindi costruzioni rurali e coloniali²⁴.

Ad alto fattore nazionale era anche un altro surrogato del ferro: il cemento-amiante. Ottenuto dall'impasto di cemento Portland con fibre di amianto, era stato brevettato, per la prima volta in Italia nel 1914 dalla Società Anonima Eternit²⁵ e già dal 1919 veniva usato per la realizzazione di casseforme²⁶, più tardi di tavelloni per solaie²⁷, ma soprattutto per la fabbricazione di tubi²⁸. Sebbene per la produzione del materiale, soprattutto della versione più resistente, occorresse una percentuale di amianto estero a fibra corta, l'elevato valore autarchico ne faceva un prezioso sostituto della ghisa e del ferro normalmente impiegati per la fabbricazione delle condotte²⁹. Nella fase più aspra della battaglia contro il cemento armato, la possibilità di sostituire l'armatura metallica con analoga armatura di cemento-amiante veniva prospettata da più fronti, viste le buone caratteristiche di resistenza a trazione del materiale³⁰. Anche in questo caso erano molte le controindicazioni: a parità di resistenza il rapporto geometrico tra l'armatura metallica e quella equivalente di cemento-amiante risultava pari a 1/10, quindi la trave armata con le fibre risultava più pesante. Ma soprattutto una struttura di cemento armato con barre di cemento-amiante, sollecitata a rottura, cedeva all'improvviso, senza deformazioni o lesioni apprezzabili: unico segnale di allarme era il forte scricchiolio che si avvertiva quando la struttura era sollecitata con un carico prossimo a quello limite³¹.

Anche l'alluminio era tra i materiali con caratteristiche di resistenza a trazione tali da poter figure tra i sostituti del ferro. Il metallo aveva un elevato fattore nazionale, essendo l'allumina ricavata prevalentemente da due minerali, la bauxite e la leucite, dei quali l'Italia in quel periodo era uno dei maggiori pro-

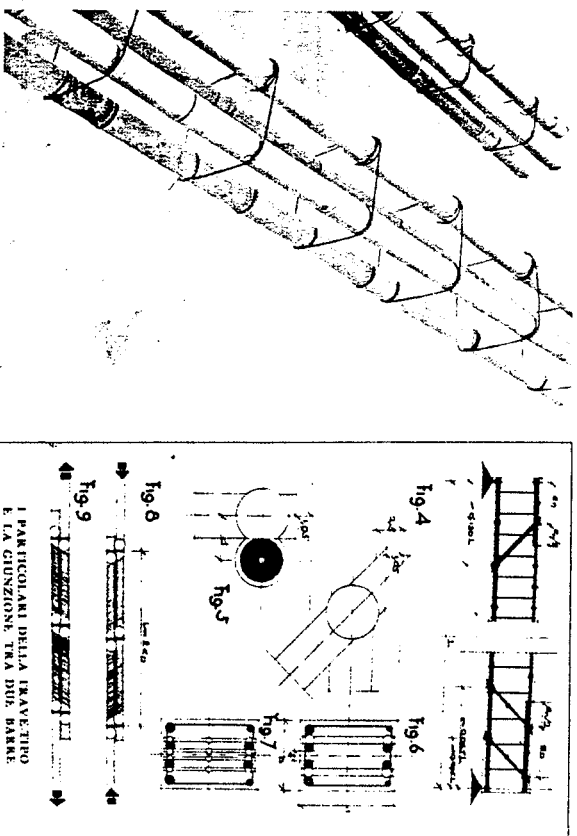
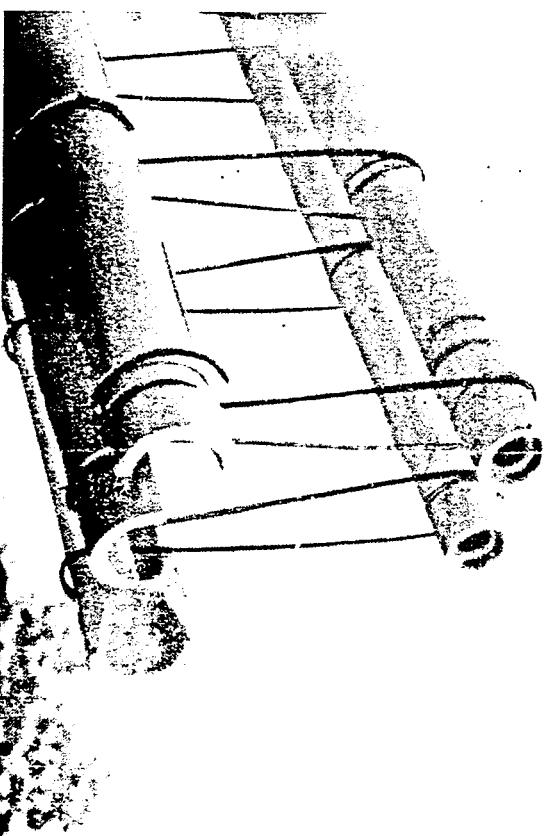


Fig. 102 - Armatura di canne di bambù per travi e pilastri di cemento armato e relativi dettagli esecutivi (1938)

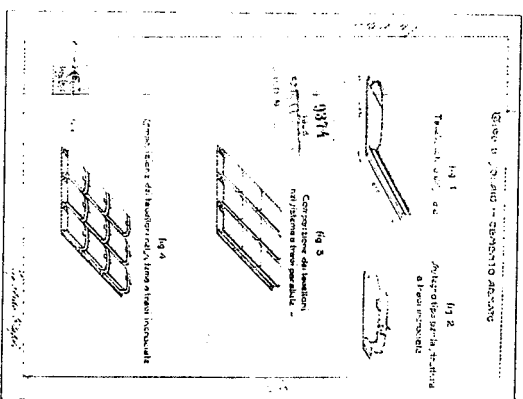


Fig. 103 - Solai con tavelloni di cemento amianto: brevetto n. 259743, A. Di Napoli, Roma. *Solai in cemento armato a travi parallele ed a travi incrociate, eseguiti con tavelloni di Eternit, ossia con tavelloni formati con cemento e amianto*, 15 dicembre 1926; una applicazione del 1929

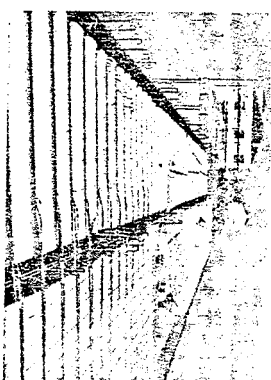


Fig. 104 - Brevetto n. 358631, F. Garufi, Catania, *Impiego di verghe di cementoamianto in sostituzione del ferro nella tecnica del cemento armato e nelle costruzioni in genere*, 14 dicembre 1937

duttori al mondo³². Per disposizione del Ministero dei Lavori Pubblici, il Servizio Tecnico Centrale avviava una serie di studi sul materiale. I risultati, soddisfacenti per quello che riguardava l'impiego delle leghe di alluminio nei serramenti e nelle finiture, erano invece deludenti per l'utilizzazione nel cemento armato. Il metallo infatti presentava un basso valore del modulo di elasticità - un terzo di quello dell'acciaio -, un elevato coefficiente di dilatazione termica, una tendenza a corrodersi a contatto col cemento e un elevato costo di produzione che avrebbe fatto salire a cifre proibitive il costo di costruzione³³. Per ovviare a questi inconvenienti si sperimentavano più economiche leghe speciali a base di alluminio dai nomi singolari quali il Chitonal, il Supravional, il Perumal.

Ridurre i pesi morti

Se i potenziali surrogati del ferro si rivelavano ben presto inapplicabili, più concreti si dimostravano i tentativi di economizzare ferro riducendo i carichi sulle strutture portanti, ossia diminuendo tutti quei pesi definiti "morti", perché privi di funzioni strutturali.

Le ricerche si concentravano in particolare sulle tamponature. Le maglie del telaio in cemento armato, anche quando questo costituiva l'ossatura portante dell'edificio, venivano ancora comunemente chiuse con una spessa e pesante muratura di mattoni pieni. La tamponatura leggera era invece un elemento già acquisito nel modello internazionale di tecnologia moderna cui, paradossalmente, l'autarchia, promuovendo i materiali nuovi, leggeri, con notevole coibenza termica e acustica, creava le condizioni per l'affermazione anche in Italia.

Le più originali tra tali sperimentazioni riguardavano la pietra pomice, vetro vulcanico molto leggero, con una resistenza a compressione di circa 80 kg/cmq, un coefficiente di conducibilità termica pari ad un terzo di quello della muratura di mattoni comuni, un peso di circa la metà della stessa muratura e una buona coibenza acustica dovuta alla sua struttura porosa. L'Italia era ricca di pomice soprattutto grazie al considerevole giacimento dell'isola di Lipari ma anche ad alcune cave presenti nel Lazio, a nord di Roma. Il materiale era stato oggetto di alcuni brevetti a partire dal 1920 relativi alla sua potenziale applicazione nella produzione di conglomerati leggeri e ad alto potere isolante³⁴. Esperienze eseguite presso il Politecnico di Milano dimostravano la buona coesione della pomice con il cemento, accettavano che, contrariamente a quanto si potesse credere, la pomice non assorbiva l'acqua del getto, se non in modesta misura, ed infine che il cemento di pomice manteneva stabili le proprie caratteristiche nel tempo³⁵. Anche il Regio Istituto Sperimentale delle Comunicazioni eseguiva una serie di esperienze per determinare la resistenza di questo cemento alleggerito³⁶. Dal 1934, per iniziativa del direttore generale dell'Istituto Fascista Autonomo per le Case Popolari della Provincia di Roma, Innocenzo Costantini³⁷ - intestatario di brevetti specifici³⁸ -, venivano realizzate alcune applicazioni del cemento di pomice come materiale da costruzione: modellato in

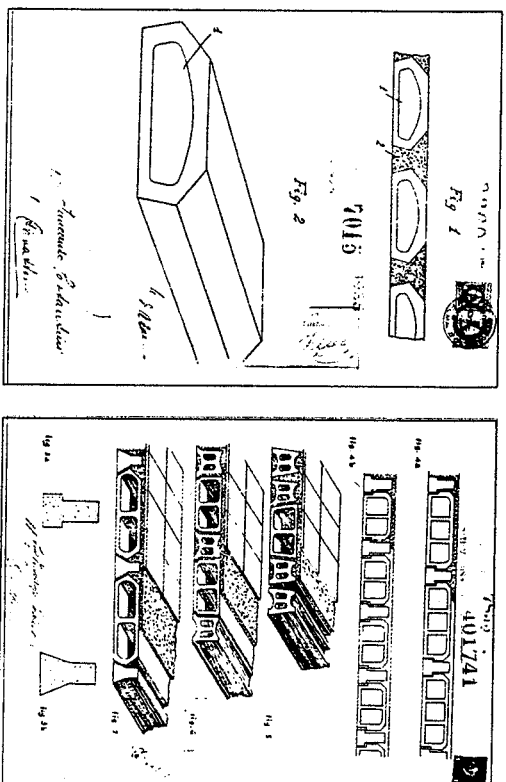


Fig. 105 - Solaio con pignate di pomice: brevetto n. 336917, I. Costantini, Roma, Solaio composto di pignate in materiali pomice e cemento e di travetti in cemento armato, 8 ottobre 1935; brevetto n. 401741, I. Costantini, Roma, Solai leggeri in conglomerato di pomice, 3 settembre 1942; una applicazione del 1939



blocchi con funzione di muratura portante e di tamponatura delle ossature di cemento armato o sagomato in forme cave utilizzabili nei solai in sostituzione delle pignate³⁸. I solai alleggeriti con blocchi di pomice si diffondevano anche nella zona di Messina e di Reggio Calabria, relativamente vicine a Lipari, per le loro presunte qualità antisismiche. Nel 1940 il Ministero dei Lavori Pubblici obbligava i suoi uffici a favorire, nell'elaborazione dei progetti, la larga applicazione di sistemi costruttivi basati su questo materiale³⁹.

Ricerche analoghe a quelle sulla pomice venivano condotte anche sul cemento cellulare⁴⁰ e sui conglomerati confezionati impastando il cemento con prodotti di scarto di altre lavorazioni⁴¹. Questi materiali, molto porosi, se da una parte assicuravano bassi coefficienti di conducibilità termica, dall'altro non garantivano valori di resistenza sufficienti: anche quando erano impiegati per la fabbricazione di blocchi non portanti dovevano essere necessariamente rinforzati da un'incelaiatura rigida, realizzata con altri materiali⁴².

Le esperienze sulle pareti leggere stimolavano anche un incremento nell'impiego di calcestruzzo semplice. I produttori di cemento infatti, che a seguito del divieto di impiegare il cemento armato avevano perso le speranze di tornare ai consumi antecedenti la crisi del 1929, tentavano in alternativa di potenziare il settore dei blocchi in conglomerato. Già abbastanza diffusi per la realizzazione di edifici di piccole dimensioni o in zona sismica, i blocchi, cavi e con pareti sottili, tentavano di occupare ora più ampie fasce di mercato. I nuovi blocchi, realizzati con presse che compatavano più efficacemente l'impasto, potevano essere facilmente adottati anche per muri portanti in edifici a più piani, pur se necessitavano di legature metalliche per garantire la collaborazione fra i pezzi.

Ad ottenere i maggiori vantaggi dal clima autarchico erano le più di 3000 ditte produttrici di laterizi che si impegnavano nella sperimentazione di blocchi leggeri per tamponature e tramezzi. Anche questo materiale "italianissimo" aveva un costo in oro non trascurabile, perché la cottura dei mattoni necessitava di carbone, prevalentemente di importazione; inoltre, essendo le fornaci concentrate al Nord - Lombardia, Emilia, Piemonte, Veneto - incidereva fortemente anche il consumo del carburante per i trasporti. Il laterizio però non aveva bisogno di campagne promozionali o di verifiche sperimentali, essendo stato testato da secoli di applicazioni e di successi. L'industria, peraltro, si adegnavano alle nuove esigenze della costruzione e proponeva pezzi speciali, più leggeri, più resistenti, variamente combinabili che offrivano soluzioni innovative sia per i solai che per le pareti.

Il solai poco armato

Le principali difficoltà a ridurre il costo in oro delle costruzioni riguardavano però prevalentemente i solai: l'azione flettente dei carichi difficilmente poteva essere fronteggiata senza l'ausilio del ferro. Poco efficaci, come ab-

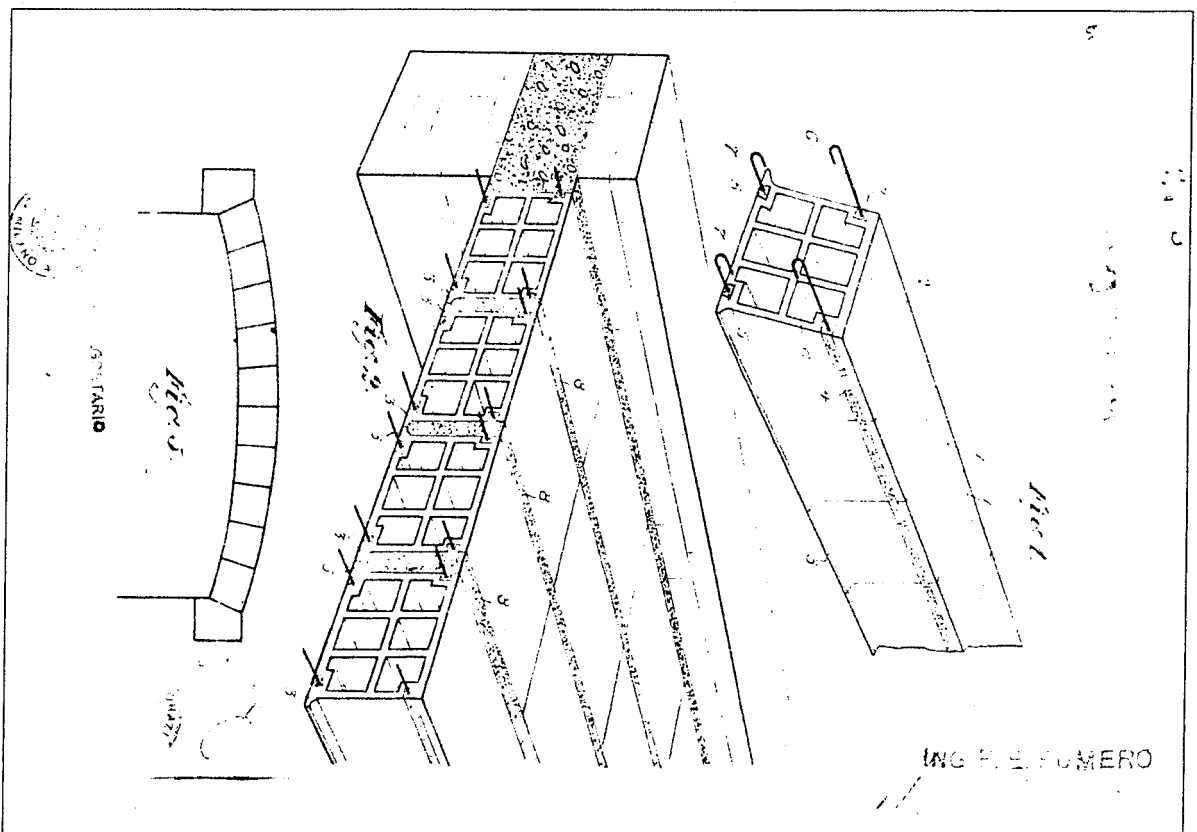


Fig. 106 - Brevetto n. 309368, Ditta Rizzi, Donelli e Breviglieri, Piacenza, *Struttura portante a travi armate costituite da blocchi laterizi forati*, 26 settembre 1932

biamo visto, i surrogati. L'unica alternativa possibile consisteva nel perfezionare il solaio laterocementizio, ottimizzando l'impiego delle armature e riducendo al minimo i costi di esecuzione.

Dato l'elevato costo in oro del legno per le casseforme, il solaio con soletta e nervature di calcestruzzo, il cui impiego già nel dopoguerra era stato drasticamente ridotto, veniva ora definitivamente abbandonato. Il solaio misto laterocementizio, che richiedeva solo un semplice ed economico impalcato piano di legno, era così entrato da tempo nella pratica corrente. Per questo tipo di solaio si era sviluppato un dibattito mai interrotto sulla possibilità di ridurre o addirittura eliminare la soletta superiore. Le norme del 1927 per la prima volta erano entrate in merito, stabilendo che "lo spessore delle solette dei solai speciali con laterizi" non dovesse essere minore di 5 centimetri. Le nuove norme del 1932, preso atto della sostanziosa economia di peso, e quindi anche di armatura, che si poteva ottenere con i solai senza soletta, lasciava maggiore libertà ai progettisti ed ai costruttori, consentendo "l'impiego di laterizi speciali aventi funzione statica, anche senza soletta, il cui tipo sia stato riconosciuto tecnicamente meritevole di approvazione". La disposizione teneva conto delle ricerche condotte negli anni precedenti da Luigi Santarella e diffuse in una importante memoria proprio nel 1932⁴³. Santarella evidenziava che "il laterizio è perfettamente elastico e resiste bene a sforzi di compressione; inoltre se nella pratica è prudente non fare assegnamento sulla sua resistenza a trazione, si deve ammettere che una efficace collaborazione il laterizio la esercita anche a trazione". Nella prima parte dello scritto riportava gli ottimi risultati di alcune esperienze condotte presso il laboratorio della Scuola di Ingegneria di Milano su un solaio a travetti prefabbricati, ottenuti armando blocchi di laterizio allineati. Il solaio - brevettato con il nome SAP (Solaio ad Alta Portata) dalla ditta Rizzi, Donelli, Breviglieri & C⁴⁴ - non prevedeva soletta di ripartizione. Da un confronto fra due solai, uno di cemento armato a nervature e l'altro misto ma con soletta superiore di laterizio - il solaio Stimup della stessa ditta -, Santarella giungeva alla conclusione che quest'ultimo, se costituito con ottimi materiali, poteva assimilarsi perfettamente all'altro. Nel 1933 arrivava, vivace, la reazione di Camillo Guidi, l'anziano professore, dopo aver ricostruito la storia dei solai in ferro ed in cemento armato, condannava l'adozione di "sistemi e tipi di costruzione che rappresentano la temerarietà [...] L'arditezza ha raggiunto il culmine nei più recenti tipi di solai misti, nei quali viene soppressa la soletta in beton armato affidando il suo ufficio ai laterizi i quali, [...] del tipo *forati*, presentano una zona superiore più densa di costoline chiamate a trasmettere gli sforzi di compressione colli intermediari di minuscoli cordoni di malta. Ora, se si riflette alle inevitabili imperfezioni di forma dei forati, alle frequenti inclinatorie o rotture delle sottili costole, sia originarie sia prodotte in cantiere dallo scarico e trasporto del materiale, alla difficoltà di esecuzione in posto di minuscoli cordoni di malta che dovrebbero assicurare la continuità fra forato e forato, non è esagerato qualificare questi tipi di costruzione come *temerarii*. Ai fo-

raci in laterizio è prudente affidare soltanto il compito di semplificare la costruzione del solaio e di contrastare la trasmissione dei suoni e delle variabili termiche. La soletta deve essere conservata⁴⁵. La polemica proseguiva per qualche tempo ma gli studi di Santarella avevano infine il sopravvento⁴⁶. Nel gennaio del 1936 il Ministero dei Lavori Pubblici segnalava materiali e sistemi costruttivi meritevoli di essere tenuti presenti nella progettazione⁴⁷; i primi della lista erano proprio i solai SAP e Stimip⁴⁸.

Una volta accettato il principio della partecipazione del laterizio alla funzione statica, si diffondevano decine di brevetti per solai a travetti di laterizio armato⁴⁹. Realizzati a piè d'opera, i travetti venivano accostati e completati in opera con sottili nervature di cemento armato. L'armatura spesso si riduceva, in perfetto spirito autarchico, a quattro tondini di ferro ad alta resistenza, rivestiti da un esiguo strato di malta e disposti in apposite scanalature correnti a legare le pignate allineate. La stabilità dei sistemi, il cui comportamento statico non aveva una sufficiente giustificazione teorica, si basava sulla qualità dei materiali e sulla perizia degli operai specializzati adibiti al confezionamento e alla posa in opera.

Un altro indirizzo di ricerca, meno 'temerario' dei solai senza soletta, era quello dei solai a nervature prefabbricate di cemento armato, completate da tavole laterizie e da una soletta di spianamento. Questi, sul prototipo del solaio Varese⁵⁰, vedevano in parte compromessa la monoliticità tipica dei solai in getto, ma la leggerezza e l'economia di ferro, nonché il buon comportamento manifestato durante le prove sperimentali condotte dal laboratorio di Ponti e Grandi Strutture Speciali del Politecnico di Milano ne facevano una delle tipologie preferite dalla stampa tecnica e dal mondo accademico di allora⁵¹.

Ma la sperimentazione più singolare del periodo autarchico era senza dubbio quella sui solai realizzati senza impiego di ferro.

Stimolate dalla totale assenza sul mercato di tondino di armatura e dalle limitate assegnazioni da parte degli organi di controllo, molte ricerche si concentravano su solai il cui potere portante fosse affidato esclusivamente al laterizio e al conglomerato. Si sperimentavano soprattutto soluzioni nelle quali i laterizi di speciale sagoma venivano assemblati ad incastro e saldati in opera con malta di cemento. Tutta la capacità di resistere a trazione era affidata proprio all'efficienza dell'incastro fra i diversi pezzi. I brevetti relativi si moltiplicavano, ma non trovavano in verità alcuna applicazione se non in piccole costruzioni sperimentali, oggetto, in alcuni casi, di serissime prove di carico da parte dei laboratori universitari e degli istituti di ricerca statali.

Il principale difetto di questi solai risiedeva nel loro comportamento fragile. Infatti, pur manifestando sorprendentemente un comportamento egregio sotto i carichi previsti dalle norme, quando venivano portati a rottura cedevano improvvisamente.

Riscuotevano in particolare un vivo interesse le ricerche condotte dall'ingegnere Eugenio Miozzi⁵² sul suo solaio SIF. (Senza Impiego di Ferro). Bre-

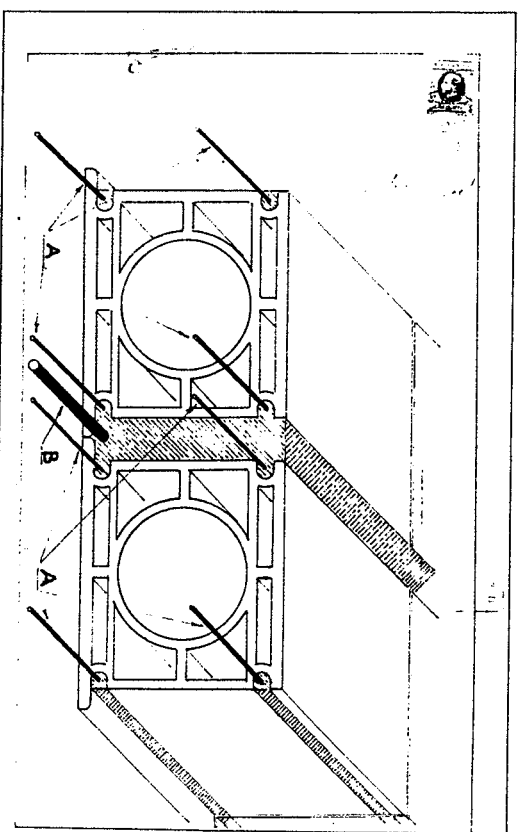


Fig. 107 - Brevetto n. 355241, G. Verrocchio, Ancona, Solai in laterizio e c.a. eseguito fuori opera, 28 giugno 1937

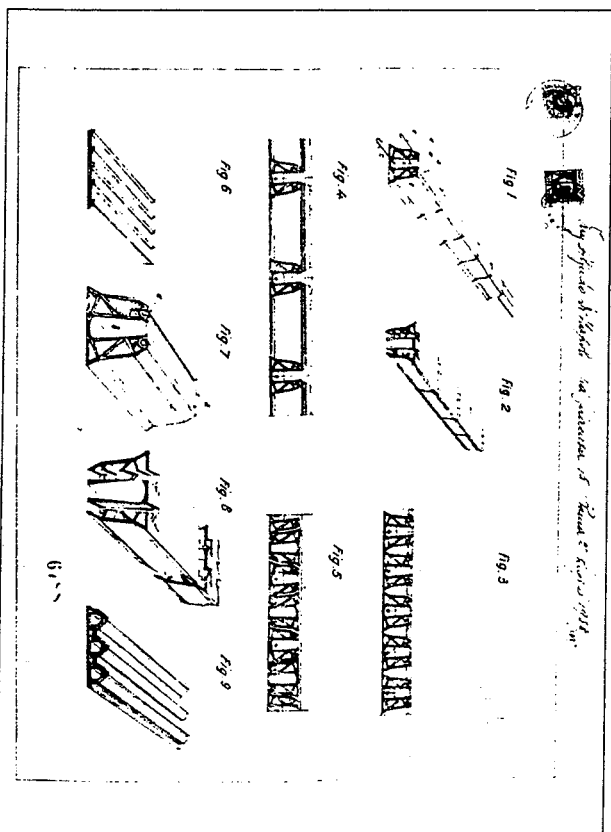


Fig. 108 - Brevetto n. 365963, A. Di Napoli, Roma, Solai in cemento armato e laterizi a travetti, senza impiego di impalcatura e procedimento di fabbricazione, 25 luglio 1938

vettato nel 1937³³, il solaio impiegava speciali piastrelle laterizie romboidali a bordi dentellati che, assemblate come in puzzle e saldate con boiacca di cemento ad alta resistenza, costituivano un tappeto in grado di sopportare considerevoli sforzi di trazione. Il solaio completo era composto da uno o più strati di piastrelle disposti sia all'intradosso che all'estradosso di uno strato formato da pignate ordinarie intervallate da nervature di cemento non armato. Poiché lo sforzo di trazione doveva essere assorbito dalle sole piastrelle, il numero degli strati era in funzione dell'andamento del momento: più tappeti sovrapposti all'intradosso, in mezzzeria, che si riducevano ai bordi dove invece aumentavano gli strati estradossali. Un getto di cemento non armato riportava in piano la superficie superiore.

Il solaio era considerato adatto per luci inferiori ai 4,5 metri e per sovraccarichi non superiori ai 350 kg/mq, quindi poteva soddisfare pienamente le esigenze dell'edilizia abitativa, in particolare di quella popolare. Miozzi proponeva inoltre un metodo di calcolo che utilizzava le stesse formule già diffuse per il solaio tradizionale armato, solo che il coefficiente di omogeneizzazione tra laterizio e calcestruzzo era posto pari a 1.

Il solaio veniva sottoposto a severe prove di carico statiche e dinamiche: i primi esperimenti erano condotti nel 1937 a Venezia, al casinò municipale del Lido progettato e realizzato da Miozzi stesso. Qui un solaio SIF, pur caricato a 2500 kg/mq, non arrivava a rottura. Con lo stesso sistema venivano successivamente costruiti alcuni solai di un edificio scolastico a Mestre e di alcune case popolari a Venezia. Su questi venivano eseguite anche prove dinamiche e verifiche delle deformazioni sotto carico: esse rivelavano un comportamento perfettamente elastico delle strutture, almeno fino a carichi dell'ordine di 800 kg/mq. Le prove più complete erano però condotte a Roma, per incarico del Ministero dei Lavori Pubblici, alla presenza dell'ingegnere Domenico De Simone³⁴, presidente della prima sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e del professor Aristide Giannelli, per il Consiglio Nazionale delle Ricerche: tra dicembre 1939 e gennaio 1940, nei cantieri delle case INCIS a Porta Metronia, veniva collaudato un solaio di 5,5 metri di luce. Già le prove statiche davano risultati molto incoraggianti: le deformazioni risultavano molto modeste e scomparivano alla rimozione dei carichi. Ma la fase più interessante della verifica riguardava le prove a rottura: con un sovraccarico di mattoni di circa 2700 kg/mq il solaio resisteva ancora. Le abbondanti piogge dei giorni successivi, bagnando i mattoni, aumentavano ulteriormente il sovraccarico ma il solaio non crollava. Rimosso il carico, si eseguivano prove d'urto: un blocco di calcestruzzo del peso di 2 quintali veniva fatto cadere da un'altezza di 5 metri ma rimbalzava senza rompere il solaio. Lo stesso blocco, lasciato cadere da 20 metri si spezzava incastrandosi nel solaio, il quale incredibilmente riusciva a sopportare ulteriori incrementi di carico³⁵.

I sorprendenti risultati delle prove non permettevano comunque al brevetto la diffusione sperata: il solaio aveva mostrato buone proprietà elastiche e un'ottima riserva di sicurezza, ma i costi di esecuzione erano troppo elevati.

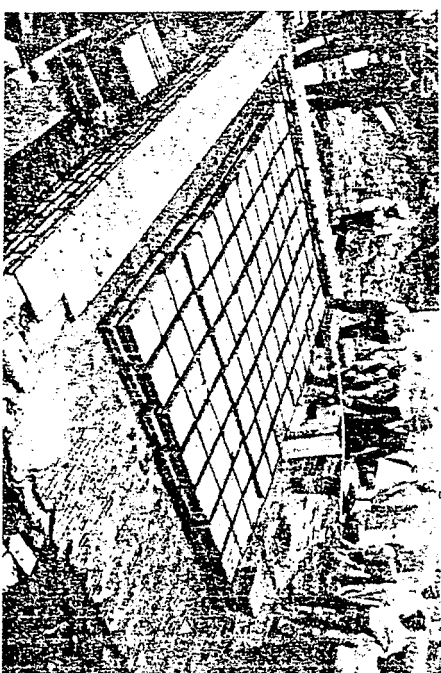
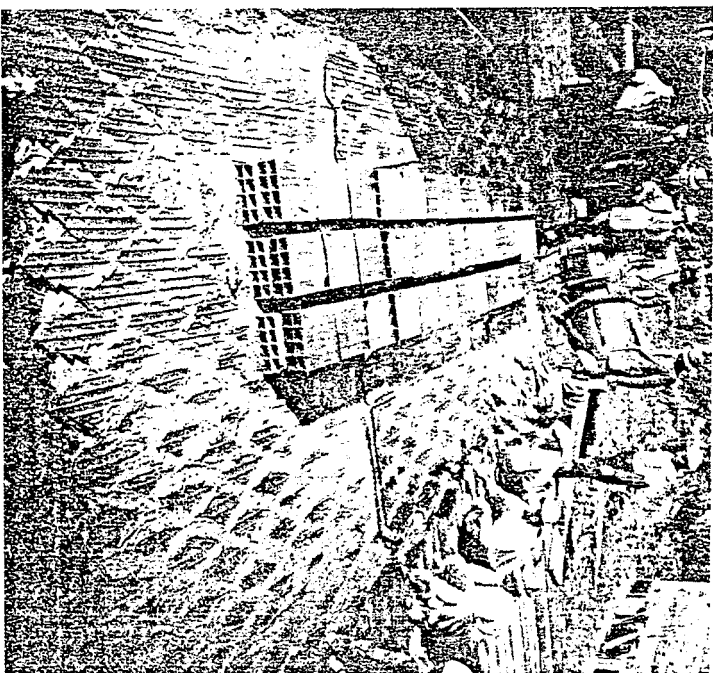


Fig. 109 - Un solaio SIF in costruzione a Roma secondo il brevetto Miozzi (1939-1940)

bisognava curare attentamente la costruzione, con tempi lunghi e con impiego di manodopera specializzata e scrupolosa. Il blocco delle costruzioni, conseguente alla dichiarazione di stato di guerra nel giugno del 1940⁵⁶, non consentiva ulteriori verifiche e nel dopoguerra, tornato disponibile il fondino di ferro, il costoso solaio Miozzi verrà rapidamente dimenticato.

Ma tra il 1939 ed il 1940 i solai senza ferro erano al centro del dibattito: mentre gli studiosi si occupavano sempre più di precompressione - di cui lo stesso Miozzi era stato uno dei pionieri - e di plasticità, fra i costruttori ed i tecnici il solaio SIF infondeva la speranza di poter rinunciare completamente alle armature. Come già detto, erano decine i brevetti per solai "con esclusione assoluta di ferro"⁵⁷: molti di questi non avevano nessuna potenziale applicabilità, né venivano mai sottoposti a prove ufficiali, ma conservano comunque interesse come testimonianza di una sperimentazione vivace e dai risultati imprevedibili.

Tra i più interessanti, il solaio LARES⁵⁸, che si basava sulla tecnica dei solai a nervature incrociate ortogonali, in particolare quelli a disposizione diagonale, già diffusi negli anni venti. I blocchi di alleggerimento erano costituiti da elementi cavi di calcestruzzo di pomice, del tipo di quelli brevettati alcuni anni prima da Costantini e da lui stesso ora perfezionati. L'altezza dei blocchi consentiva di proporre nervature non armate, realizzate con cemento a alta resistenza, così come la sottile soletta estradosale di ripartizione. Anche questo solaio, molto leggero, si comportava egregiamente - per piccole luci - alle severe prove di carico, statiche e dinamiche, cui veniva sottoposto nel laboratorio dell'Istituto di Scienza delle Costruzioni della Scuola di Ingegneria di Roma⁵⁹.

I tentativi di prefabbricare travi senza ferro sulle quali appoggiare le pignate di completamento, pur brevettati, risultavano più discutibili, a causa della perdita monoliticità e quindi dell'impossibilità di ipotizzare un comportamento a piastra del solaio⁶⁰. Fra questi comunque suscitava un discreto interesse il solaio proposto dall'ingegnere Alberto Bevilacqua Lazise le cui travi prefabbricate presentavano speciali profili per accogliere due solette, una inferiore ed una superiore, realizzate in calcestruzzo alleggerito. Il collegamento fra le parti non era affidato solo all'incastro geometrico, bensì anche ad armature ad uncino che avrebbero dovuto garantire una migliore collaborazione⁶¹.

Un altro solaio, senza ferro che suscitava un discreto interesse era quello brevettato dall'ingegnere fiorentino Giorgio Neumann, messo in opera in esclusiva dalla ditta dell'ingegnere Galliano Boldrini⁶². Si trattava di un solaio nel quale tutti gli sforzi venivano assorbiti solamente dal conglomerato. Visto però il modesto valore della resistenza a trazione del calcestruzzo, occorreva aumentare la sua area: si realizzava in pratica un solaio "rovescio", con le pignatte dislocate all'estradosso. Ma anche su luci ridotte il solaio manifestava un comportamento fragile: alcune prove di carico eseguite, ancora una volta in cantieri dell'INCIS di Roma, su un solaio di circa 3,5 metri di luce

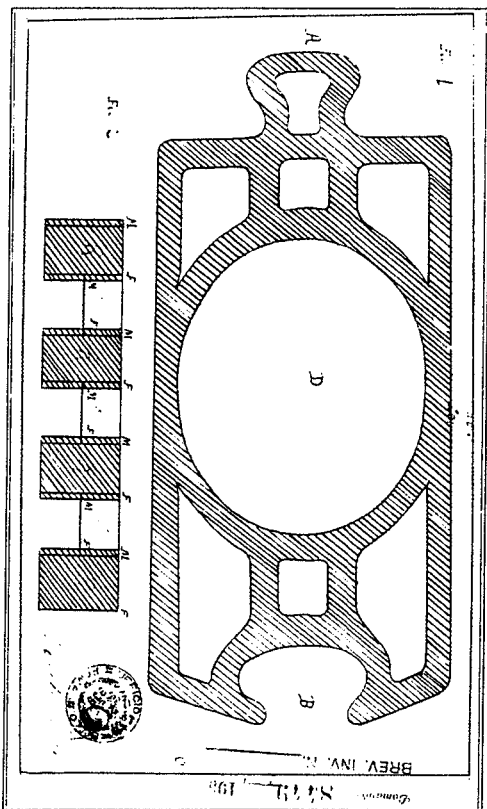
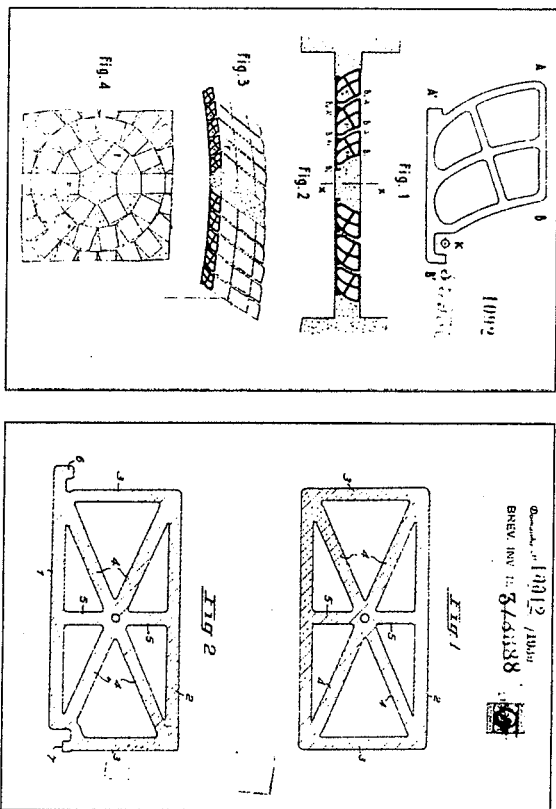


Fig. 110 - Brevetti di blocchi laterizi speciali per solai senza ferro: brevetto n. 359302, E. Zonato, Verona, *Blocco forato per la formazione di solai in colto cemento, piani od ad arco, senza o con minimo impiego di ferro*, 3 febbraio 1938, brevetto n. 378888, G. Antonelli, Macerata, *Laterizio speciale per la realizzazione di volte piane e di solai senza impiego di ferro*, 27 novembre 1939; brevetto n. 377295, E. Morelli, Terni, *Sistema ad elementi concettuali in colto cemento e simili per costruzioni edilizie senza ferro e senza armatura*, 22 settembre 1939

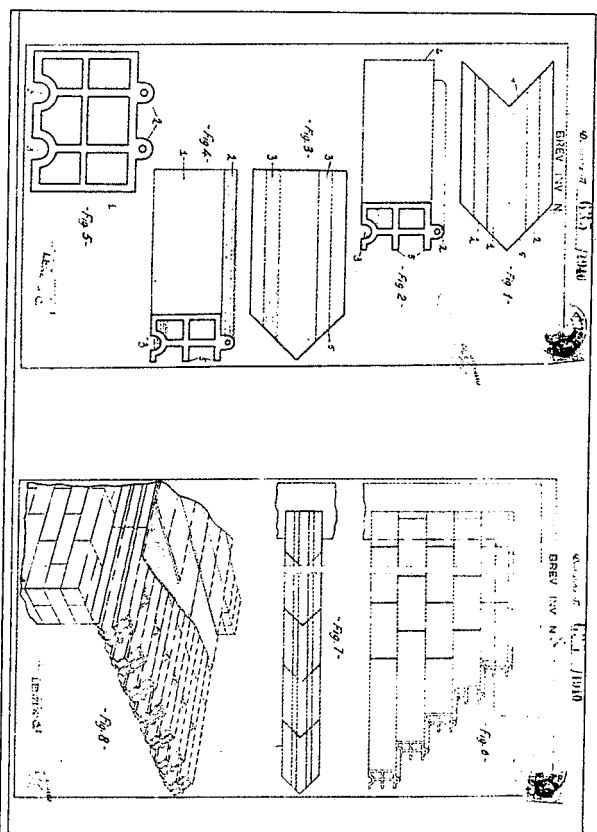


Fig. 111 - Brevetti di blocchi laterizi speciali per solai senza ferro: brevetto n. 381005, A. Ceccotti, Macerata, *Blocchi forati in laterizio per la costruzione di solai con esclusione assoluta di ferro*, 1 febbraio 1940; brevetto n. 372624, V. Pierantoni, Bologna, *Laterizio forato per solai con o senza armatura di ferro*, 8 aprile 1939

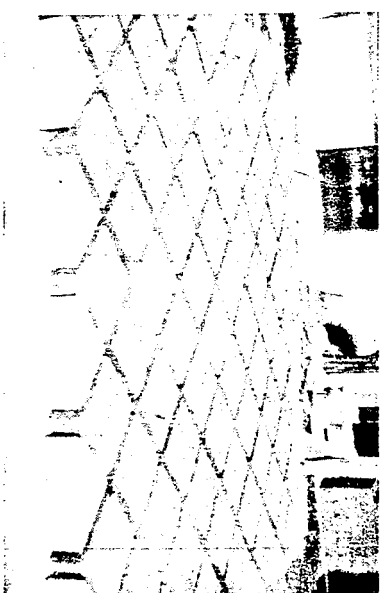
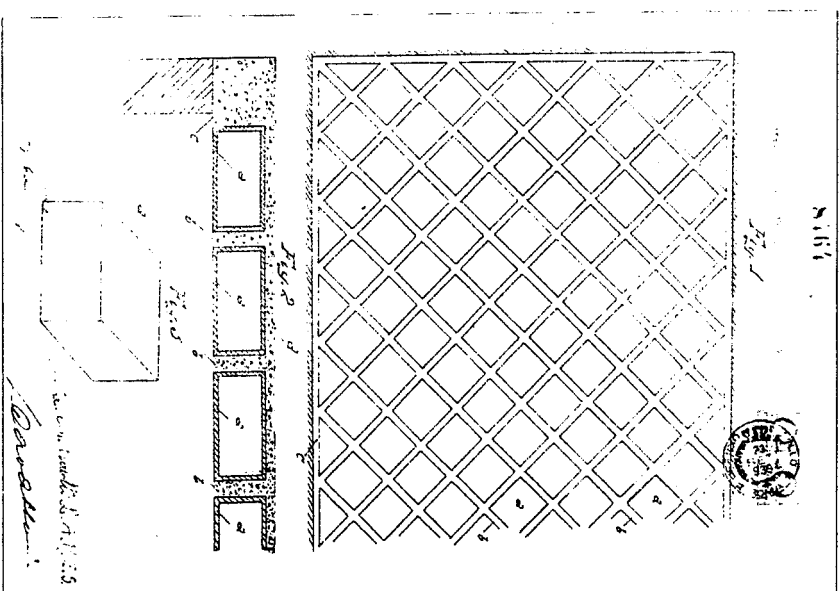
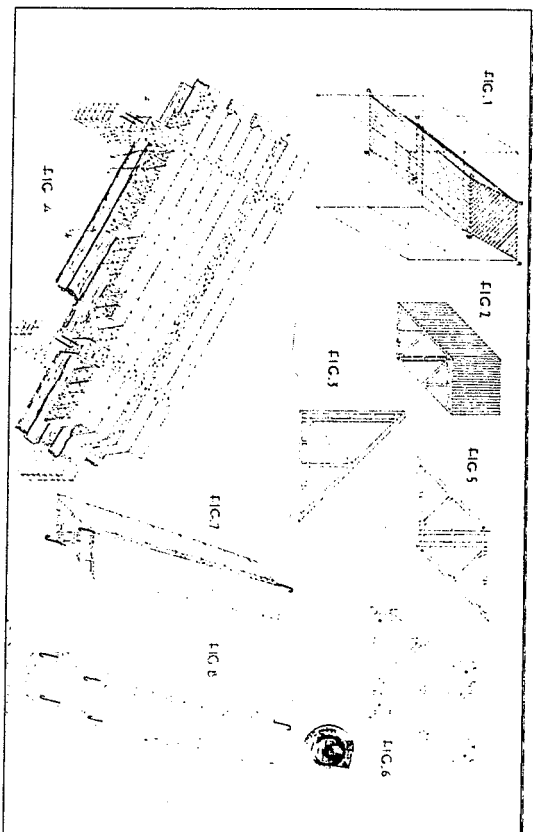


Fig. 112 - Brevetto n. 377158, Soc. An. L.A.R.E.S., Roma, *Solai con travetti di agglomerato cementizio senza ferro disposti a reticolo diagonale*, 23 settembre 1939; un solai L.A.R.E.S. in costruzione

sottoposto ad un sovraccarico di 500 kg/mq, fornivano cedimenti di valore modesto, ma il solaio crollava improvvisamente subito dopo la misurazione. Le prove davano risultati più incoraggianti, anche su luci maggiori, se nella soletta tesa veniva disposto un sia pur minimo quantitativo di armatura che aveva l'effetto di modificare la resistenza a trazione del conglomerato, producendo un'efficace distribuzione degli sforzi ed evitando la formazione di soluzioni di continuità⁶³. L'importanza di questa "armatura di sicurezza" che, garantendo una riserva di resistenza, impediva il brusco crollo del solaio, veniva evidenziata soprattutto dai tecnici più scettici sul comportamento a lungo termine del cemento non armato⁶⁴.

Utilizzare forme strutturali nelle quali i materiali lavorassero solo a compressione era considerata infine la più saggia e valida alternativa per risparmiare ferro senza compromettere la sicurezza. Oltre alle tradizionali strutture a volta in mattoni o pietra, che pure tornavano a destare interesse, erano gli archi ribassati in conglomerato cementizio non armato a suscitare qualche entusiasmo. Tra i tanti che ne auspicavano l'applicazione anche per strutture di grande luce⁶⁵, merita menzione l'ingegnere Pietro Marchino, che presentava un suo originale solaio già nel 1936, in occasione del concorso Santarella⁶⁶. Le volte a piccola monta proposte da Marchino, senza ferro o con minima armatura di sicurezza, andavano sagomate in modo da far combaciare l'asse geometrico dell'arco con la curva funicolare del carico, soluzione relativamente semplice nel caso di carichi statici simmetrici come quelli che si presentavano nelle costruzioni civili. I principali difetti consistevano nella necessità di contrastare l'azione spingente aumentando le dimensioni delle strutture verticali o adottando tiranti orizzontali che, nel solaio in questione, venivano situati in apposite nervature di estradosso⁶⁷. Inoltre la monta dell'arco, sebbene minima, toglieva altezza agli ambienti e si riscontrava un discreto aumento di peso dovuto al materiale di riempimento necessario a riportare in piano l'estradosso.

Numerosi comunque erano gli orizzontamenti volati effettivamente costruiti con sistemi originali o rifacendosi a tecniche costruttive tradizionali⁶⁸. Tutte le ricerche per ridurre il ferro d'armatura da una parte implicavano un'involuzione delle tecniche costruttive, riportando alla ribalta metodi tradizionali, dall'altra invece contribuivano a stimolare una revisione della prassi di calcolo del cemento armato, mettendo in evidenza quanto la teoria elastica, notoriamente approssimata ma tradizionalmente accettata per semplicità, non fosse sufficiente a giustificare le temerarie sperimentazioni soprattutto sui solai senza ferro. La revisione della teoria classica del cemento armato, stimolata parallelamente da studi approfonditi sulle caratteristiche del cemento e del ferro, era in effetti già stata avviata dal mondo accademico e, anche grazie ai contributi di Colonnetti e di Danusso, si arrivava, già prima della guerra, alla definizione sistematica della teoria della plasticità.

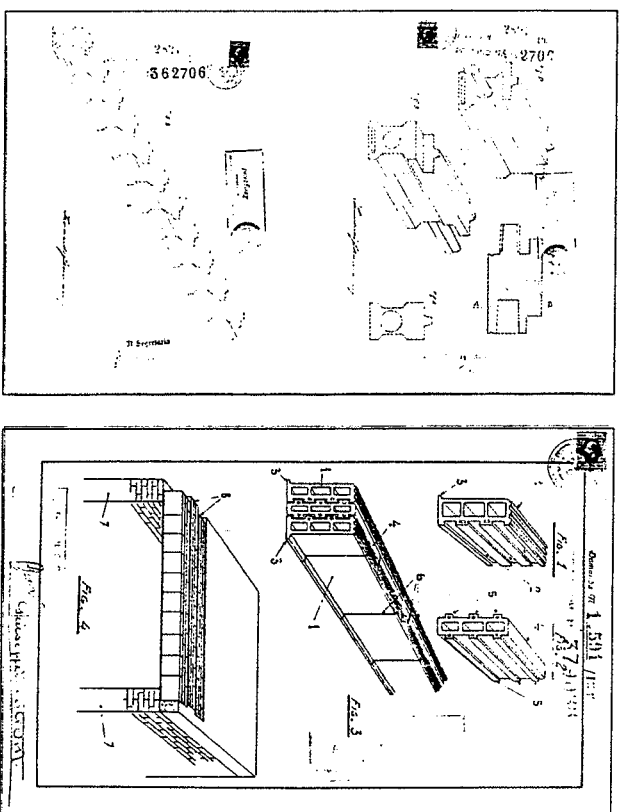


Fig. 113 - Breve n. 362706, F. Adometti, Milano, Trave per solai, in cemento misto, senza armatura metallica, 25 marzo 1938; breveto n. 379088, G. Dagli Orti, Vicenza, Solaio piano senza ferro, composto da laterizi sfalsati, costituenti travi, collegati fra loro fuori opera, 13 dicembre 1939

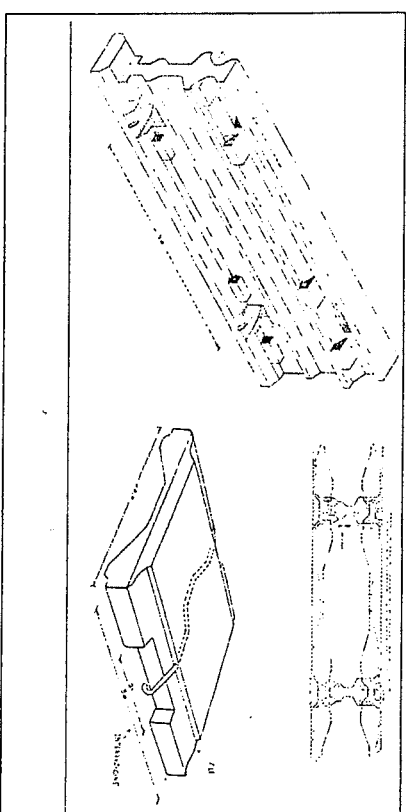


Fig. 114 - Schema del solaio Lazise (1938)

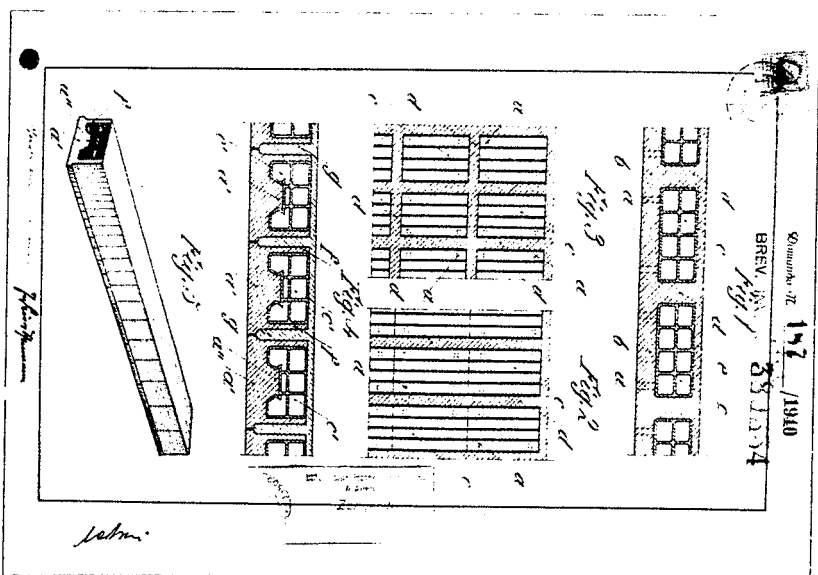


Fig. 115 - Brevetto n. 380334, G. Neumann, G. Boldrini, Firenze, *Solaiu od altro in calcestruzzo cementizio privo di armature metalliche*, 3 gennaio 1940; elemento di solaiu Neumann durante una prova di carico

La sperimentazione antiaerea (1935-1943)

185

¹ L'importanza della sperimentazione durante l'autarchia è stata sottolineata in alcuni studi recenti. Per un'interpretazione più generale dell'influenza di questa fase sullo sviluppo delle tecniche costruttive e sull'architettura italiana vedi S. Portetti, *Tecniche di costruzione tra modernismo e autarchia*, «Roma moderna e contemporanea», 3, 1994, pp. 775-796 e S. Portetti, *Il modo di costruire: un filo di continuità nell'architettura italiana del Novecento*, in *Architettura moderna in Italia. Documentazione e conservazione*, a cura di M. Casciato, S. Moratti, S. Portetti, Roma 1999, pp. 121-126. Per un'analisi più circostanziata vedi R. Capomolla, *Il calcestruzzo debolmente armato tra autarchia e ricostruzione in Italia*, «Rassegna di Architettura e Urbanistica», 84-85, 1994-95, pp. 98-108 e R. Capomolla, *Il solaiu senza ferro*, «Il Nuovo Corriere dei Costruttori», 20, 1993, pp. 22-23.

² La durata delle sanzioni era relativamente breve - dal 18 novembre 1935 al 4 luglio 1936 - e Paesi come la Germania e gli Stati Uniti non le avevano sottoscritte. Le risoluzioni di Ginevra sostanzialmente miravano ad impedire la fornitura delle materie prime indispensabili per le industrie di guerra e quindi vietavano l'esportazione verso l'Italia di materiali quali il cromo, il ferro, l'alluminio, lo stagno, la gomma ecc. Inoltre, nella consapevolezza che molti Paesi non avrebbero rispettato l'embargo, venivano presi provvedimenti finanziari che riducesse la possibilità per l'Italia di procurarsi divise straniere con cui acquistare le merci dagli Stati non sanzionisti.

³ Nel 1926 il regime aveva obbligato le amministrazioni statali e tutte le ditte che lavoravano per gli enti pubblici a dare preferenza ai prodotti delle industrie nazionali (R.D.L. n. 216 del 7 gennaio 1926, convertito in legge n. 1379 del 15 luglio 1926, *Preferenza ai prodotti delle industrie nazionali negli acquisti da effettuarsi da parte delle Amministrazioni dello Stato, degli enti autarchici o sottoposti alla tutela o vigilanza dello Stato*, successivamente modificato dal R.D.L. n. 527 del 20 marzo 1927). Queste norme, già fortemente protezionistiche, venivano rafforzate dalla legge n. 189 del 9 gennaio 1939, *Nuove disposizioni per la preferenza dei prodotti nazionali e dalle successive note esplicative contenute nella Circolare n. 8025/1.3.8 del 11 ottobre 1939*.

⁴ I tempi di realizzazione di una struttura in acciaio infatti non potevano essere compiuti per il solo montaggio in cantiere, ma si doveva tenere conto anche del lavoro in officina, della redazione dettagliata del progetto, dell'esecuzione delle opere di completamento.

⁵ G. Ceruti, *Le strutture in acciaio in Italia*, «L'Industria Italiana del Cemento», 11, 1932, pp. 353-359; A. Goffi, *Ossature in ferro o in cemento armato?*, ivi, 1, 1934, pp. 26-27; R. Vittorini, *La struttura metallica nella costruzione moderna in Italia*, «Rassegna di Architettura e Urbanistica», 84-85, 1994-95, pp. 132-142.

⁶ L. Gussoni, *Strutture edilizie ed importazione di materie prime*, «L'Ingegnere», 6, 1936, pp. 299-312.

⁷ R.D.L. n. 2105 del 22 novembre 1937, *Norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dal terremoto* (convertito in legge n. 710 del 25 aprile 1938).

⁸ Le nuove norme intervenivano sulle precedenti disposizioni in materia di edilizia antisismica, dividendo le località colpite in due categorie, in funzione del rischio sismico. Nelle zone più pericolose, di prima categoria, era obbligatoria la muratura di pietrame listata, per edifici fino a due piani, e la muratura di mattoni, per edifici fino a tre piani, mentre l'altezza massima consentita era normalmente di quattro piani. Nelle zone di seconda categoria invece le stesse tecniche costruttive venivano adottate rispettivamente fino a tre e quattro piani, mentre l'altezza massima era fissata in cinque piani.

⁹ G. Chesi, *Alimentare le sollecitazioni*, «L'Industria Italiana del Cemento», 12, 1936, pp. 323-325.

¹⁰ R.D.L. n. 1326 del 7 settembre 1939, *Nuove disposizioni che vietano l'impiego del cemento armato e del ferro nelle costruzioni ed in alcuni altri usi*.

¹¹ La deroga veniva applicata spesso e volentieri negli edifici pubblici. Basti pensare che tutti i fabbricati realizzati a Roma per l'Esposizione Universale del 1942 erano ad ossatura di cemento armato, magari dissimulata da un rivestimento lapideo.

¹² Molti inventori che avevano presentato i loro brevetti sul cemento armato in periodo au-

tarchico chiesero dopo la guerra, e prevalentemente ottennero, un'estensione della durata dei loro diritti poiché, a causa delle restrizioni, non avevano potuto sfruttare a pieno i vantaggi economici. Si ricorda che, a partire dal 1923, le norme italiane fissavano in 15 anni la validità dei diritti di proprietà.

¹³ *Un concorso in memoria di Luigi Santarella*, «L'Industria Italiana del Cemento», 12, 1935. *Il concorso per l'economia del ferro nel conglomerato cementizio*, ivi, 1, 1936, p. 7; *I risultati del concorso Santarella*, ivi, 5, 1936; E. Galassini, *A proposito di un concorso*, ivi, 12, 1936, pp. 317-323.

¹⁴ G. Albenga, *Autarchia e cemento armato. La sostituzione del ferro d'armatura*, «Annali dei Lavori Pubblici», 2, 1941, pp. 91-93.

¹⁵ M. Viscardini, *Il legno come armatura resa nei solidi di calcestruzzo*, «Il Cemento», 3, 1911.

¹⁶ *Un nuovo tipo di cemento armato, il legno-cemento*, «Il Monitor Tecnico», 14, 1911.

¹⁷ *Il legno come armatura nei solidi di calcestruzzo*, «Il Monitor Tecnico», 17, 1911.

¹⁸ M. Viscardini, *Contributo allo studio del legno beton*, «Giornale del Genio Civile», 2, 1918, pp. 61-74.

¹⁹ Breve n. 164591, M. Viscardini, Roma, *Solcio in legno beton per adoperarsi nella industria edilizia sostituendo nelle piattabande di cemento armato, armature di legno alle usuali armature di ferro*, 13 febbraio 1918.

²⁰ Breve n. 397808, S. Nicoli, Roma, *Tondini e staffe in legno per cemento armato*, 27 febbraio 1942, breve n. 404291, M. Del Chiappa, Roma, *Procedimento per sostituire armature di legno scientificamente ricostituito alle armature metalliche nei getti di calcestruzzo*, 28 dicembre 1942. Vedi anche G. Ascione, *Travi di calcestruzzo con armatura di legno*, «L'Industria Italiana del Cemento», 3, 1939, pp. 88-95.

²¹ Tra i brevetti che prevedevano l'utilizzazione di canne per casseforme a perdere per so-lai, oltre a quelli già citati, ricordiamo il brevetto n. 364777, A. Agradi, Pavia, *Metodo per eseguire solai, coperture e simili a base di conglomerato cementizio e arenelle o cannicci ed elementi per l'attuazione di tale metodo*, 13 agosto 1938.

²² V. Maranghini, *La sostituzione del legno al ferro nei cementi armati*, «Ingegneria», 2, 1924.

²³ Il problema delle costruzioni in cemento armato nei climi tropicali, dove le escursioni termiche erano notevolissime e la manodopera tutt'altro che specializzata, era stato già oggetto di diversi studi. A. Arcangeli, *Sul comportamento delle costruzioni in cemento armato nei climi coloniali*, «L'Industria Italiana del Cemento», 5, 1936; A. Arcangeli, *Le costruzioni in cemento armato nell'Africa Orientale Italiana*, Roma 1937; A. Pesenti, *L'industria italiana del cemento nell'Africa Orientale Italiana*, Roma 1937.

²⁴ A. Paoloni, *Il cemento armato con canne di bambù. Bambù-beton. Contributo ai problemi autarchici dell'impero. Ingegneria risparmio di FERRO nei cementi armati, sintesi di ricerche, esperienze e proposte*, Gonda 1938; D. De Simone, *Possibilità di impiego del conglomerato armato con canne di bambù*, «Annali dei Lavori Pubblici», 6, 1939, pp. 579-583; A. Paoloni, A. Albertoni, *Sui cementi armati con barre di bambù*, «L'Industria Italiana del Cemento», 7, 1939, pp. 199-207.

²⁵ Breve n. 144490, Soc. An. «Eternit» Pietre artificiali, Genova, *Elemento per copertura, soffiatura o rivestimento, detto alla romana*, 6 luglio 1914.

²⁶ Breve n. 178177, G. Salerni, A.P. Miozzo, Venezia, *Solcio in cemento armato su casseforme composte di lastre sogonate di Eternit*, 25 settembre 1919.

²⁷ Breve n. 259743, A. Di Napoli, Roma, *Solcio in cemento armato a travi parallele ed a travi incrociate, eseguito con tavelloni di Eternit, ossia con tavelloni forniti con cemento e amianto*, 15 dicembre 1926; *Nuovo solcio in cemento armato con tavelloni di Eternit*, «Il Cemento Armato», 6, 1928, pp. 88-90.

²⁸ Breve n. 229327, G. Vianini, Roma, *Processo e dispositivo per la fabbricazione di corpi cavi, quali tubi, pali e simili, principalmente di materia fibrosa mescolata a materiali cementizi comunque leganti e con o senza armatura metallica*, 5 aprile 1924. Per le ricerche sperimentali, vedi G. Colomnetti, *Prove di elasticità sui tubi Magnani in cementoamianto*, «Ri-

cerche di Ingegneria», 2, 1934, pp. 37-40; G. Colomnetti, *Recenti ricerche sperimentali sulla elasticità e resistenza dei tubi in cementoamianto*, relazione al 1° Congresso Nazionale del Cemento tenutosi a Casale Monferrato nel maggio 1937, Casale Monferrato 1937.

²⁹ La circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 5203 del 14 dicembre 1923, *A riguardo dell'assoluta preferenza da dare ai materiali di produzione nazionale nella costruzione di opere di pubblico interesse*, disponeva per gli acquedotti di impiegare i tubi di cemento armato o di cemento amianto al limite massimo di pressione sopportabile, riducendo al minimo l'uso di tubi in ghisa o in acciaio.

³⁰ Breve n. 358447, P. Periani, Roma, *Impiego in sostituzione del ferro, di ardesia artificiale (cementoamianto), in tubi, in barre, in lamiere lisce od ondulate ed in altre diverse sogomature nella formazione di armature, da collocare nell'interno di opere in getto di calcestruzzo cementizio per formare delle strutture miste resistenti a sollecitazioni di compressione, tensione e flessione*, 14 dicembre 1937; P. Periani, *Sulla possibilità di costruire strutture murarie di conglomerato cementizio con armatura interna di ardesia artificiale resistenti a sollecitazioni di compressione, di trazione e di flessione*, «Annali dei Lavori Pubblici», 8, 1939, pp. 836-854; Breve n. 358631, F. Garufi, Catania, *Impiego di verghe di cementoamianto in sostituzione del ferro nella tecnica del cemento armato e nelle costruzioni in genere*, 14 dicembre 1937.

³¹ P. Periani, *Su di un solcio misto armato con cemento amianto esposto nella Mostra dell'Edilizia alla XXI Fiera di Milano*, «Annali dei Lavori Pubblici», 9, 1940, pp. 675-678.

³² I giacimenti di bauxite si concentravano nella Campania, in Abruzzo e nell'Istria allora italiana. La leucite si trovava come uno dei costituenti principali delle lave vulcaniche. Un mineralogista americano, prima del 1929, valutava che i giacimenti italiani presentavano una riserva di alluminio sufficiente al fabbisogno mondiale per parecchi secoli.

³³ Vedi R. Pari di Montiva, *Sostituzione del ferro con leghe d'alluminio*, «L'Industria Italiana del Cemento», 9, 1936, pp. 236-239. Un impiego possibile dell'alluminio come sostituto del ferro si prospettava anche nella realizzazione di ponti, soprattutto di grandi luci, dove l'assemblaggio in strutture reticolari avrebbero reso il materiale particolarmente efficiente. Vedi D. De Simone, *Possibilità di impiego delle leghe leggere nelle costruzioni civili - Applicazione ad un ponte sul Tevere*, «Annali dei Lavori Pubblici», 7, 1939, pp. 685-693. L'alluminio era protagonista anche della vicenda dell'arco monumentale che avrebbe dovuto essere il simbolo dell'Esposizione stessa. A. La Torre, *Arco monumentale*, in *E42. Utopia e Scenario del Regime*, a cura di M. Calvesi, E. Guidoni, S. Lux, Venezia 1981, pp. 467-470.

³⁴ Breve n. 181895, V. Vicentini, Cremona, *Costruzioni monolitiche a getto progressivo in cemento e pietra pomice o lapillo armato in ferro, legno, canne giunchi steli di canapa o simili*, 10 febbraio 1920.

³⁵ G. Natta, C.G. Fontana, *La retrogradazione dei calcestruzzi porosi*, in *La partecipazione italiana al primo congresso internazionale del beton semplice ed armato*. Liegi, settembre 1930, Roma 1931, pp. 167-180.

³⁶ A. Perfetti, *La pomice per la fabbricazione dei calcestruzzi leggeri*, «Il Cemento Armato», 6, 1939, pp. 109-110.

³⁷ Breve n. 320726, I. Costantini, Roma, *Materiale da costruzione composto di pomici e di cementi impastati e gettati in strati sottili, con armatura di rete metallica*, 15 maggio 1934, brevetto n. 336917, I. Costantini, Roma, *Solcio composto di pignate in materiali pomicei e cemento e di travetti in cemento armato*, 8 ottobre 1935, brevetto n. 401741, I. Costantini, Roma, *Solai leggeri in conglomerato di pomice*, 3 settembre 1942.

³⁸ Esempi di applicazione si hanno in alcune case popolari di Latina, a Roma nel quartiere della Garbatella, in via di Donna Olimpia, in alcune palazzine di via Lima e nelle casette popolari di Fiumicino e di Pietralata. I. Costantini, *I conglomerati di pomice nell'edilizia*, «L'Industria Italiana del Cemento», 3, 1936, pp. 71-77; R. Capomolla, *Il calcestruzzo ...*, cit. Sull'argomento vedi anche G. Currelli, *L'importanza della pomice nell'autarchia delle costruzioni edili*, «L'Industria Italiana del Cemento», 4, 1938, pp. 107-109.

³⁹ Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 1574 del 10 aprile 1940, *Impiego della pomice nell'edilizia*.

⁴⁰ M. Fabbini, *Nuovo sistema di costruzioni con getto di cemento cellulare*, «L'Industria Italiana del Cemento», 1, 1942, pp. 16-19.

⁴¹ Brevetto n. 359944, D. Patet, Milano, *Sistema di costruzioni edili in genere con strutture in cemento armato o non e con apparecchi in conglomerato di cemento e trucioli di legno*, 10 febbraio 1938.

⁴² G. Lasti, *20 nuovi materiali a base di cemento autarchici - economici*, Bologna 1940.

⁴³ L. Santarella, *La collaborazione del laterizio nei solai di cemento armato*, «Atti Ricerche Studi. Scuola di Specializzazione per le costruzioni in cemento armato "Fondazione Fratelli Pesenti"», Milano 1932, pp. 3-59.

⁴⁴ Brevetto n. 309368, Ditta Rizzzi, Donelli e Breviglieri, Piacenza, *Strutture portante a travi armate costituite da blocchi laterizi forati*, 26 settembre 1932.

⁴⁵ *L'audacia di certe costruzioni moderne*, «Il Cemento Armato», 11, 1933, pp. 130-131.

⁴⁶ Oltre alle prove condotte da Santarella, seguivano nel 1938 prove statiche e dinamiche presso l'Istituto di Scienza delle Costruzioni dell'Università di Roma. D. De Simone, *Norme, materiali e strutture per la limitazione dell'impiego del ferro nelle costruzioni*, «Annali dei Lavori Pubblici», 1939, 12, pp. 1189-1223.

⁴⁷ Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 22 del 21 gennaio 1936, *Segnalazione di materiali e sistemi costruttivi*, «Bollettino Ufficiale», 4, 1936. Facendo seguito alla circolare verranno segnalati, tra gli altri, il solai Excelsior («Bollettino Ufficiale», 21, 1936) e la copertura a volta SAP («Bollettino Ufficiale», 27, 1937).

⁴⁸ Le norme del 1939 riducevano a 4 centimetri lo spessore minimo della soletta e consentivano l'adozione di solai misti "senza soletta di collegamento, purché i laterizi, di provata resistenza, presentino rinforzi di conveniente spessore atti a sostituire la soletta di conglomerato". Vedi R.D. n. 2229 del 16 novembre 1939, *Norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato* (G.U. n. 92 del 18 aprile 1940).

⁴⁹ Vi è una ricca serie di solai con piccole variazioni rispetto al SAP, tra questi segnaliamo il brevetto n. 355241, G. Verrocchio, Ancona, *Solai in laterizio e c.a. eseguiti fuori opera*, 28 giugno 1937 e il brevetto n. 365963, A. Di Napoli, Roma, *Solai in cemento armato e laterizi a travi, senza impiego di impalcatura e procedimento di fabbricazione*, 25 luglio 1938.

⁵⁰ Brevetto n. 295501, C. Gritti, Varese, *Solai e relativi travi in cemento armato*, 3 settembre 1930 e brevetto n. 363625, C. Gritti, Varese, *Perfezionamento nella costruzione di travi in cemento armato gittate fuori opera e relativi solai soffici e coperture a camera d'aria semplici o speciali con elementi a telaio*, 7 luglio 1938.

⁵¹ A. Apreda, *Un solai con travi di cemento armato eseguite fuori opera*, «L'Industria Italiana del Cemento», 6, 1936, pp. 164-167, A. Apreda, *Solai con minimo impiego di ferro*, ivi, 3, 1938 pp. 82-86.

⁵² Un profilo biografico di Eugenio Miozzi (1889-1979) è riportato a fine testo.

⁵³ Brevetto n. 364671, E. Miozzi, Venezia, *Nuovo tipo di solai in laterizio forato senza impiego di ferro*, 8 novembre 1937. Vedi anche M. Palombi, *Il solai piano laterizio senza ferro*, Roma 1940; M. Pistolesi-Fusi, *Solai senza armatura*, «L'Industria Italiana del Cemento», 6, 1940, pp. 194-199; R. Capomolla, *Il solai ... cit.* e R. Capomolla, *Il calcestruzzo ... cit.*

⁵⁴ Un profilo biografico di Domenico De Simone (1876-?) è riportato a fine testo.

⁵⁵ *Solai senza impiego di ferro*, «L'Ingegnere», 6, 1940, pp. 509-510; *Solai senza impiego di ferro*, «Il Cemento Armato», 9, 1940, pp. 123-124.

⁵⁶ R.D.L. n. 953 del 19 giugno 1940, *Blocco dei prezzi delle merci e dei servizi delle costruzioni edilizie degli impianti industriali e delle pigioni* (G.U. n. 177 del 30 luglio 1940). Si faceva divieto di dare inizio alla costruzione di edifici privati. La costruzione era tollerata nei centri non capoluoghi di provincia con popolazione inferiore ai cinquantamila abitanti, purché gli edifici non richiedessero l'impiego di ferro, di cemento e di altri metalli non autarchici. Si potevano concedere deroghe per le case economiche e popolari e per i casi di carattere eccezionale ed urgente.

⁵⁷ Brevetto n. 359302, E. Zonato, Verona, *Blocco forato per la formazione di solai in cemento, piani od ad arco, senza o con minimo impiego di ferro*, 3 febbraio 1938; brevetto

n. 370876, M. Belli, Varese, *Solai atto ad inflettersi ed a resistere a sforzi di compressione e tensione, costituito di materiali laterizi e leganti*, 14 febbraio 1939; brevetto n. 372624, V. Pierantoni, Bologna, *Laterizio forato per solai con o senza armatura di ferro*, 8 aprile 1939; brevetto n. 377295, E. Morelli, Terni, *Sistema ad elementi concatenati in colto cemento e simili per costruzioni edilizie senza ferro e senza armatura*, 22 settembre 1939; brevetto n. 378888, G. Antonelli, Macerata, *Laterizio speciale per la realizzazione di volte piane e di solai senza impiego di ferro*, 27 novembre 1939; brevetto n. 381005, A. Ceccotti, Macerata, *Blocchi forati in laterizio per la costruzione di solai con esclusione assoluta di ferro*, 1 febbraio 1940.

⁵⁸ Brevetto n. 377158, Soc. An. L.A.R.E.S., Roma, *Solai con travetti di agglomerato cementizio senza ferro disposti a traliccio diagonale*, 23 settembre 1939.

⁵⁹ *Solai monolitici senza ferro*, «L'Industria Italiana del Cemento», 6, 1940, pp. 164-168; R. Capomolla, *Il calcestruzzo ... cit.*, p. 102.

⁶⁰ Brevetto n. 362706, F. Adomeit, Milano, *Trave per solai, in cemento misto, senza armatura metallica*, 25 marzo 1938; brevetto n. 379088, G. Dagli Orti, Vicenza, *Solai piano senza ferro, composto da laterizi sfalsati, costituenti travi, collegati fra loro fuori opera*, 13 dicembre 1939.

⁶¹ *Autarchia e solai in cemento armato nelle costruzioni edili*, «Il Cemento Armato», 10, 1938, pp. 176-177. Vedi anche A. Bevilacqua Lazise, *Autarchia e solai in cemento armato nelle costruzioni edili*, Bari 1938; A. Bevilacqua Lazise, *Costruzioni in calcestruzzo con impiego minimo di metallo*, «L'Industria Italiana del Cemento», 11, 1939, pp. 299-305; 12, 1939, pp. 320-325; A. Bevilacqua Lazise, *Costruzioni cementizie con ferro di sicurezza*, ivi, 4, 1940, pp. 86-92.

⁶² Brevetto n. 380334, G. Neumann, G. Boldini, Firenze, *Solai od altro in calcestruzzo cementizio privo di armature metalliche*, 3 gennaio 1940. Vedi anche G. Neumann, *Solai cementizi piani senza ferro*, «L'Industria Italiana del Cemento», 11, 1939, pp. 306-309; M. Pistolesi-Fusi, *Solai ... cit.*

⁶³ D. De Simone, *Contributo al problema dell'autarchia nel campo delle costruzioni civili*, «Annali dei Lavori Pubblici», 7, 1940, pp. 549-552, pubblicato anche in «Il Cemento Armato», 2, 1941, pp. 20-21.

⁶⁴ D. De Simone, *Contributo al problema dell'autarchia nel campo delle costruzioni civili*, Seconda conferenza su un solai semiamato, «Annali dei Lavori Pubblici», 9, 1940, pp. 762-767.

⁶⁵ Brevetto n. 362649, G. Del Vecchio, G. Nunziante, Napoli, *Copertura in calcestruzzo cementizio non armato, in particolare copertura per aviorimesse*, 1 giugno 1938; brevetto n. 372888, A.E. Strassera, Bologna, *Solai autarchici in beton e laterizi a volta per costruzioni di qualunque genere*, 15 aprile 1939.

⁶⁶ P. Marchino, *Solai a volte sottili in conglomerato cementizio nell'economia delle costruzioni edili*, «L'Industria Italiana del Cemento», 8, 1936, pp. 200-208, memoria premiata al concorso Santarella; P. Marchino, *Economia del metallo nelle costruzioni in calcestruzzo cementizio*, relazione al 1° Congresso Nazionale del Cemento tenutosi a Casale Monferrato nel maggio 1937; Casale Monferrato 1937; P. Marchino, *Calcestruzzo cementizio senza ferro (o con pochissimo ferro) nelle costruzioni edilizie*, «L'Industria Italiana del Cemento», 4, 1938, pp. 104-105; P. Marchino, *Strutture in calcestruzzo con minima armatura*, ivi, 6, 1938, pp. 171-174; P. Marchino, *Solai a volte sottili ribassate in calcestruzzo cementizio*, ivi, 11, 1938, pp. 348-349; P. Marchino, *Strutture orizzontali con minima armatura*, ivi, 2, 1940, pp. 34-39.

⁶⁷ In un analogo tipo di solai, i tiranti venivano posti dall'ingegnere G. Passalacqua lungo le congiungenti i banchenti delle sezioni estreme. G. Passalacqua, *Travi curve in calcestruzzo senza armatura*, ivi, 1, 1939, pp. 5-10.

⁶⁸ R. Capomolla, *Il calcestruzzo ... cit.*, p. 104.

vata tecnologia - nuovi cementi, acciai speciali - e l'approfondimento delle conoscenze sui materiali - ritiro del cemento, rilassamento dell'armatura, fenomeni viscosi - consentivano di sviluppare compiutamente.

Due le strade principali di questa sperimentazione, a suo modo autarchica: due le strade che miravano ad una trasformazione radicale del rapporto ferro-cemento al fine di superare gli intrinseci limiti del cemento armato.

Da una parte la strada delle strutture sottili che, ripartendo dal ferro cementato di Lambot e Monier e dalle ricerche europee sulle volte e sui gusci, conduceva Pier Luigi Nervi ad approfondire le sperimentazioni su strutture di spessore ridotto, ma molto armate, fino ad "inventare" il "ferrocemento", materiale nuovo - omogeneo, isotropo ed elastico - che avrebbe caratterizzato quasi tutta la sua produzione del secondo dopoguerra.

Dall'altra la strada che conduceva alla nascita di un altro materiale nuovo, che in Italia assumeva l'improprio nome di "cemento armato precompreso". Ripartendo da ricerche tenute già all'inizio del secolo, si stravolgeva il ruolo dei due materiali base del cemento armato: il ferro non doveva più assorbire gli sforzi di trazione che il cemento non era in grado di sopportare, ma diveniva il tramite per imprimere al conglomerato coazioni tali da rendere quest'ultimo capace di assorbire da solo tutta la sollecitazione. Sulla scia della ben più concreta sperimentazione che in Europa venivano realizzando Eugène Freyssinet, Franz Dischinger e Ulrich Finsterwalder, in Italia si avviava un vivace dibattito all'interno del quale non mancavano contributi teorici di rilievo, come quelli di Gustavo Colonnetti. Negli anni immediatamente precedenti la guerra si ponevano dunque le premesse per gli importanti sviluppi che la nuova tecnica avrebbe conosciuto durante la ricostruzione e che avrebbero decretato la fama internazionale di un altro ingegnere italiano: Riccardo Morandi.

Sviluppi delle grandi strutture negli anni venti

La progressiva diffusione del cemento armato nell'edilizia residenziale e la miriade di neonate ditte locali che si avvicinavano alla nuova tecnica costruttiva avevano determinato, nella seconda metà degli anni venti, l'allontanamento delle grandi ditte specializzate, le pioniere del materiale, dal settore poco redditizio dell'edilizia corrente. I loro interessi si spostavano su opere di rilevante impegno strutturale: grandi coperture, opere infrastrutturali e idrauliche. In questi settori convergeva anche la ricerca tecnologica e teorica: cementi speciali, industrializzazione della tecnica esecutiva, sofisticati sistemi di armature che, sperimentati sui grandi cantieri, non coinvolgevano affatto le economiche costruzioni ordinarie.

Già nel primo dopoguerra il ripristino della rete stradale italiana, che alla fine del conflitto si trovava in condizioni disastrose - per via del forte traffico dovuto alle operazioni belliche, della carente manutenzione e dei nuovi

veicoli pesanti che vi transitavano, per i quali non era stata dimensionata -, assorbiva buona parte dell'attività di imprese quali la Ferrobeton, la Bianchi & Steiner, la Domenico Vitali, la Provera-Carrassi & C., la ditta Aurelio Aureli e numerose altre. La Porcheddu giocava ancora un ruolo privilegiato, anche se progressivamente abbandonava la scena².

Finita la fase di ricostruzione, approfittando dell'impulso alle opere pubbliche promosso dal regime fascista alla fine degli anni venti, le ditte più forti finanziariamente spostavano ancor più decisamente la loro azione sulle grandi strutture³. Nascevano così le strade riservate al traffico automobilistico, per le cui opere d'arte ci si affidava quasi esclusivamente al cemento armato⁴. E proprio nella realizzazione dei ponti e dei viadotti delle prime tratte autostradali cominciavano a trovare applicazione i primi cementi a prestazioni speciali, che venivano adottati prima ancora dell'approvazione normativa⁵. Era il caso, per esempio, di una miscela speciale, chiamata evocativamente cemento "Granito", prodotta dallo stabilimento di cementi artificiali di Civitavecchia, che garantiva grande leggerezza, buona elasticità, rapido indurimento e ovviamente alta resistenza. Il "Granito" trovava applicazione, oltre che in alcuni ponti già dal 1928⁶, anche in opere di grande impegno strutturale come la copertura del palazzo postale annesso alla nuova stazione ferroviaria di Milano⁷, del 1929, e la già citata Casa dell'Automobile, realizzata negli stessi anni a Roma.

Godendo della collaborazione professionale di personalità in campo scientifico, quali Danusso, Albenga, Santarella, Giannelli, le grandi imprese portavano avanti inoltre sperimentazioni più organiche su prefabbricazione, organizzazione del cantiere, economie su larga scala. Alla fine degli anni venti infatti, parallelamente al processo di meccanizzazione della produzione degli elementi edilizi, si riscontravano importanti innovazioni anche nei procedimenti esecutivi che comportavano la progressiva meccanizzazione del cantiere.

Per citare solo qualche esempio, la Ferrobeton si dotava di un'officina che costruiva macchine da cantiere, comprese le torri elevatrici per la distribuzione del calcestruzzo a gravità, le betoniere e i derrick. Il palazzo dell'Automobile e dello Sport a Milano, che presentava una struttura di cemento armato coperta dalla più grande cupola di ferro in Italia, veniva eseguito nel 1922 dalla ditta Pasqualin e Vienna nel tempo record di cinque mesi e mezzo, grazie all'installazione di due segherie per la preparazione delle casseforme, di un reparto per la piegatura dei ferri, di sei betoniere, di due impastatrici, di una torre di distribuzione Ransome e di argani vari, tutti azionati da motori elettrici⁸. Per il fabbricato viaggiatori della nuova stazione di Milano, realizzato a cavallo degli anni trenta dalla società Chini, veniva predisposta un'installazione eccezionale: il rifornimento dei materiali per il confezionamento dei cementi veniva assicurato da una decauville che permetteva di far giungere in cantiere 14 treni al giorno. I vagoncini, sfruttando un provvisorio dislivello presente tra l'arrivo dei binari e la betoniera di cantiere, scaricavano i materiali direttamente nei silos di alimentazione. La distribu-

zione del calcestruzzo avveniva tramite sei impianti dotati di torri Ransome con canali di distribuzione girevoli sospesi alle torri⁹. Ovviamente l'uso di impianti di elevazione e di distribuzione per gravità comportava un radicale mutamento anche delle caratteristiche del getto: non più calcestruzzo dalla consistenza di terra bagnata, da pilonare dentro i casseri, bensì calcestruzzo celato, dotato di conveniente fluidità e quindi con una sostanziale variazione del rapporto acqua-cemento.

L'intento di perseguire l'industrializzazione dell'attività costruttiva e di applicare all'edilizia i principi scientifici di organizzazione del lavoro, promossi in America da Taylor, trovavano forse in questi esempi le prime vere esperienze italiane.

Si diffondevano intanto speciali tipologie strutturali e sofisticati sistemi costruttivi che garantivano migliori prestazioni e ulteriori economie di materiale. Dagli Stati Uniti giungevano notizie che il solai a fungo, introdotto da Turner nel 1903 e perfezionato in Europa da Maillart¹⁰, aveva trovato eccezionale diffusione¹¹. La Ferrobeton manifestava un discreto interesse nei confronti del sistema, che impiegava per la prima volta in Italia a Genova nel 1925 in un magazzino frigorifero e successivamente in numerose altre opere¹².

Una nuova giovinezza conosceva anche il ben noto procedimento costruttivo del *béton freité*, ideato da Considère all'inizio del secolo e commercializzato in Italia proprio dalla Ferrobeton. Il sistema non aveva trovato ancora larga applicazione, se non nella ricostruzione post-sismica, ma con la maggiore diffusione delle ossature portanti in cemento armato, i crescenti carichi cui venivano sottoposti i pilastri favorivano la diffusione delle armature a spirale¹³.

Strutture speciali erano anche quelle messe in opera dalla ditta Böllinger che impiegava un proprio originale brevetto¹⁴ per la realizzazione di armature 'rigide' - in grado di sostenere il peso proprio, quello delle casseforme e quello del getto - che, combinate con cemento ad alta resistenza, consentivano luci eccezionali senza ponteggi e centine¹⁵.

La verifica statica di queste grandi strutture si basava sulle teorie che si andavano perfezionando nel dibattito teorico europeo, cui partecipavano molti dei nostri più valenti studiosi: "Le teorie dei portali semplici e multipli e delle ossature dei fabbricati con molte indeterminazioni, quelle dei sistemi continui con momenti di inerzia molto variabili, quella della lastra isotropa o ortotropa, della larghezza di soletta solidale con le nervature, dei solai a fungo, la teoria delle travi a parete, degli archi solidali con i piedritti e con l'impalcatura, dei serbatoi con pareti di spessore variabile e dei loro fondi e [...] quelle delle strutture in foglio e delle volte sottili o gusci"¹⁶. Spesso queste sofisticate elaborazioni matematiche non raggiungevano il tranquillo ambito delle imprese locali, che avevano imparato a costruire dai prontuari.

In questo quadro le grandi strutture si separavano in modo via via più evidente dai metodi e dalle tecniche dell'edilizia civile abitativa, pubblica e privata, e la separazione si faceva ancora più forte nel periodo autarchico.

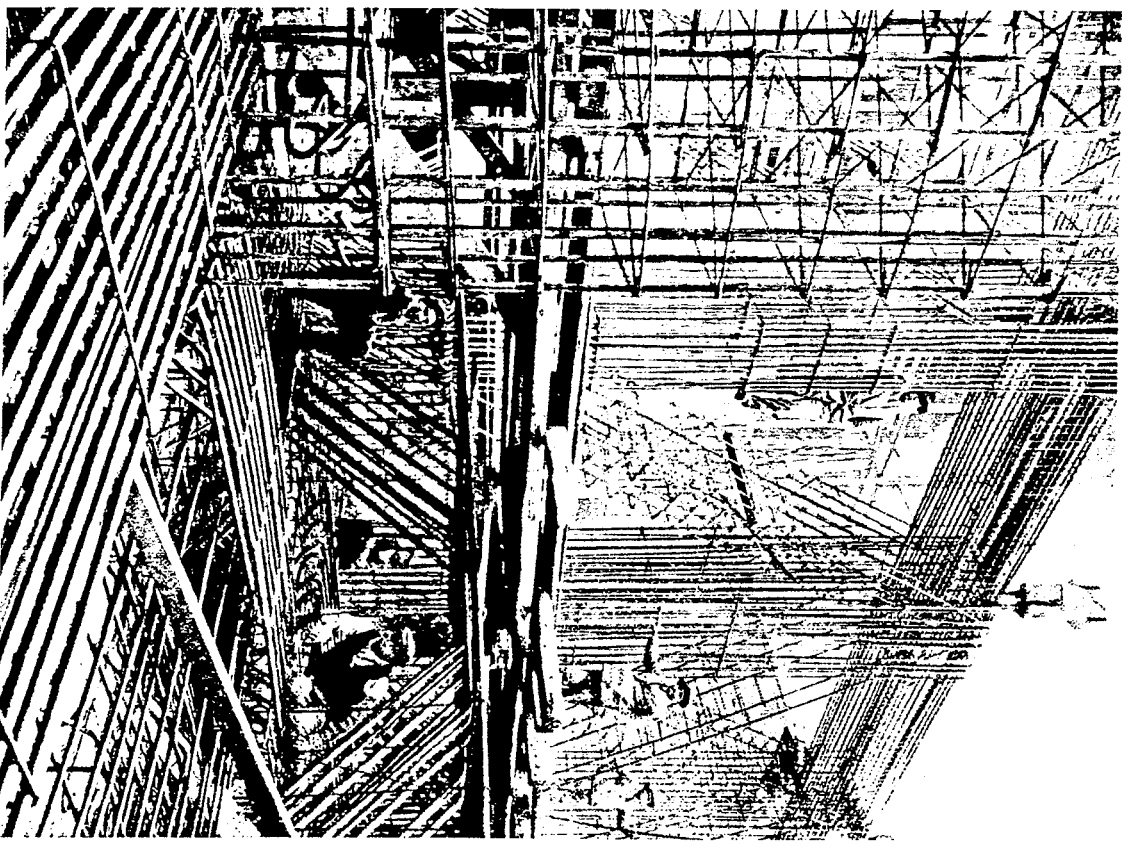


Fig. 116 - Il palazzo dell'Istituto Nazionale delle Assicurazioni a Brescia in costruzione (1931)

L'autarchia e lo sviluppo delle grandi strutture

Come incidere l'autarchia nella concezione delle grandi strutture? Ovviamente il problema era affrontato con tutt'altra mentalità rispetto alle velleitarie sperimentazioni che nell'edilizia corrente alla fine degli anni trenta erano rivolte ai solai senza ferro: le problematiche specifiche di queste grandi opere infatti erano tutt'altro che semplici e lo spettro di soluzioni assai diverso da quello relativo ad un solaio di luce ridotta.

Per comprendere appieno il diverso atteggiamento, oltre che dei tecnici anche delle amministrazioni pubbliche, si segnala che nell'aprile 1940, proprio mentre vigeva il divieto delle costruzioni in cemento armato, veniva emesso un nuovo regolamento¹⁷. Questo era destinato proprio all'esecuzione delle opere a carattere industriale, dei ponti, delle costruzioni marittime ecc., per le quali la struttura in cemento armato non poteva essere abolita senza gravi limitazioni. Elaborato già dal novembre dell'anno precedente con la consulenza di esperti del settore, tra i quali l'ormai onnipotente Aristide Giannelli, conteneva importanti variazioni rispetto a quello in vigore. Con la nuova legge venivano confermate le tensioni ammissibili per l'acciaio dolce, semiduro e duro e l'impiego di un coefficiente di sicurezza pari a 2, già stabilito dalla normativa del 1933. L'uso dell'acciaio semiduro veniva però limitato al conglomerato confezionato con cemento ad alta resistenza, per evitare la formazione di pericolose lesioni nelle zone fortemente tese. Per il conglomerato, anche se venivano apparentemente ridotti i valori delle tensioni ammissibili del cemento Portland e del cemento alluminoso, si dava la possibilità di valutare direttamente in cantiere il carico di sicurezza, dividendo per 3 il carico di rottura a 28 giorni. Grazie alla riduzione del coefficiente, fino ad allora pari a 4, si potevano toccare valori di circa 60 kg/cmq per pressione semplice e anche superiori nel caso di conglomerati ad alta resistenza: ovviamente tensioni ammissibili più elevate implicavano la riduzione del peso proprio delle strutture e quindi un sensibile risparmio di armature. Il coefficiente di omogeneizzazione del ferro al calcestruzzo, fonte di continue discussioni scientifiche, veniva assunto di regola ancora pari a 10, ma con possibili riduzioni, a 8 e 6 rispettivamente, per cementi ad alta resistenza e alluminosi.

Le norme mettevano però in evidenza che i valori più elevati delle tensioni ammissibili potevano essere considerati solo se si teneva conto di tutte le cause di sollecitazione, quindi anche delle variazioni termiche e del ritiro del conglomerato. La complessità del calcolo di una struttura iperstatica, per la quale gli effetti termici e del ritiro potevano avere influenze anche maggiori del peso proprio e del sovraccarico, spingeva così molte imprese ad orientarsi verso sistemi isostatici. Questi infatti, a differenza delle strutture iperstatiche, non modificano il loro stato tensionale né per effetti termici né per ritiro e il loro dimensionamento poteva essere assai più semplice e preciso. È naturale che una mentalità che poneva in risalto le deficienze delle strutture staticamente indeterminate, mentre ne ignorava i possibili pregi, dovesse fa-

vorire il dilagare dei sistemi isostatici [...] che] si moltiplicarono anche quando mancavano le condizioni richieste per il loro razionale impiego"¹⁸.

Strutture isostatiche erano già state adottate in passato, soprattutto durante la ricostruzione postbellica¹⁹, ma nel periodo più rigido della fase autarchica, i tipi preferiti per i ponti diventavano proprio le travate Gerber e gli archi a tre cerniere: staticamente determinate, consentivano il calcolo rigoroso delle membrature e quindi la riduzione del ferro allo stretto indispensabile, senza rischi conseguenti ad eventuali cedimenti di fondazione e ad altri assentiamenti costruttivi²⁰. Trovava rinnovato successo anche il sistema Melan, anch'esso staticamente determinato, che la Ferrobeton, per esempio, avrebbe continuato ad impiegare diffusamente anche nel dopoguerra²¹.

Anche per i ponti non tardava comunque la ricerca di soluzioni volte ad eliminare l'impiego di ferro o a ridurlo ad una minima armatura di ripartizione. Una prova significativa della progressiva involuzione che la costruzione di opere strutturali subiva nella fase autarchica è offerta dalla sequenza dei ponti sul Tevere realizzati a Roma a partire dalla metà degli anni trenta.

Nel 1935 si realizzava il ponte Duca d'Aosta²², una grande arcata monolitica che ricalcava nelle dimensioni e nelle caratteristiche statiche l'ormai storico ponte Risorgimento. Ma già nel 1938 i ponti progettati nel quadro delle sistemazioni urbane previste per l'Esposizione Universale del 1942 - il ponte d'Africa²³, il ponte S. Paolo²⁴ e il ponte alla Magliana²⁵ - adottavano soluzioni isostatiche: un arco a tre cerniere il primo e travate Gerber gli altri due. Nel febbraio del 1939 iniziava la costruzione del ponte XXVIII Ottobre, che sfruttava una soluzione autarchica a cinque archi di cemento debolmente armato²⁶. Infine il ponte Principe Amedeo D'Aosta, dell'anno successivo, sanciva la definitiva involuzione delle grandi opere strutturali riproponendo, tra mille polemiche, la soluzione dell'arco a tutto sesto in muratura²⁷.

In Italia in questi anni la progettazione dei ponti (e delle grandi strutture in genere) era affidata alle due ben distinte figure dell'architetto, che ne concepiva la sagoma, la decorazione e l'immagine complessiva, e dell'ingegnere, cui erano riservati i calcoli. Proprio nei concorsi dei ponti romani si vedono architetti di fama - Vincenzo Fasolo, Cesare Pascoletti, Giuseppe Samonà, Ignazio Guidi, Armando Brasini, Mario Ridolfi, Giuseppe Vaccaro, Vittorio Morpurgo, Pietro Aschieri, Cesare Bazzani, Enrico Del Debbio, Giorgio Calza Bini - affiancati da strutturisti puri - ingegneri calcolatori come Antonio Martinelli, Attilio Arcangeli, Carlo Cestelli Guidi, Aristide Giannelli. Nel resto dell'Europa invece la figura del progettista di grandi opere strutturali, capace di concepire forme armoniose e strutture razionali in un unico processo creativo, era già ben delineata. Nel 1940 moriva Robert Maillart e la fama dei suoi audaci e bellissimi ponti era già internazionale. Eduardo Torroja, al momento dello scoppio della guerra civile in Spagna, aveva già realizzato le sue opere più note; Franz Dischinger e Ulrich Finsterwalder avevano già brillantemente superato la prova di coperture di luce ardita



Fig. 117 - Il ponte Duca d'Aosta di Roma (V. Fasolo, A. Martinelli, 1935-1939): modello in scala 1:10 eseguito nel Laboratorio Costruzioni e Modelli del Politecnico di Milano e veduta del ponte ultimato

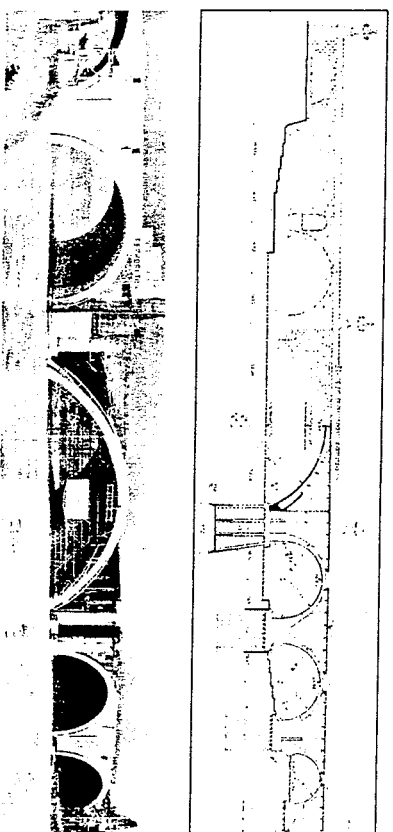


Fig. 118 - Il ponte XXVIII Ottobre, oggi Flaminio, di Roma (A. Brasini, A. Giannelli, 1939-1951): disegno di progetto e veduta del ponte durante la costruzione

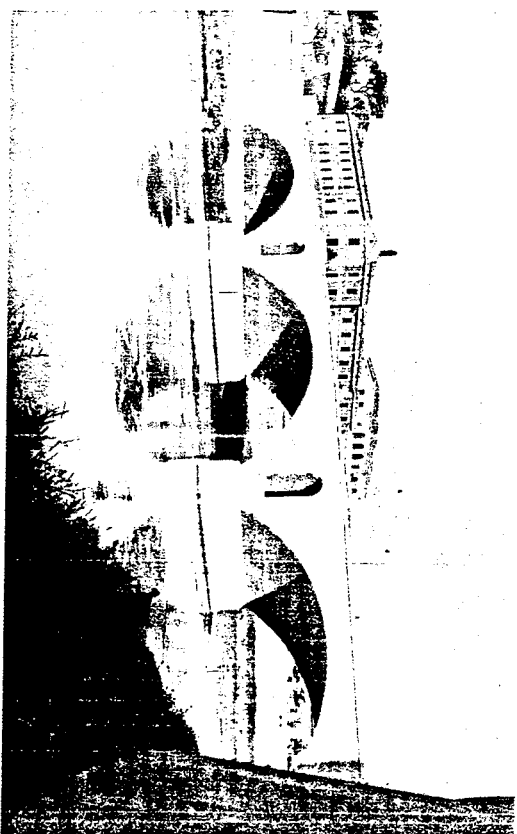


Fig. 119 - Il ponte Principe Amedeo D'Aosta di Roma (R. Stoecker, 1940)

con eleganti volte sottili; le opere di Eugène Freyssinet, dai primi ponti ai grandi hangar di Orly, risaltavano su tutte le riviste specializzate europee.

La figura unitaria del progettista di grandi strutture si sarebbe affermata in Italia solo nel dopoguerra, soprattutto ad opera di Pier Luigi Nervi e Riccardo Morandi. Ma nel frattempo non mancavano in Italia figure isolate di ingegneri capaci di mettere a frutto il loro intuito statico nella progettazione di grandi opere la cui matrice strutturale si fondeva brillantemente con l'armonia delle forme architettoniche. Personaggi poco noti, come Gino Covre o Giorgio Baroni²⁸, non riuscivano ad imporsi in un ambiente che privilegiava la progettazione strettamente architettonica, ma davano ugualmente vita, anche in Italia, alla figura dell'ingegnere ideatore delle proprie opere. Proprio Giorgio Baroni²⁸, nella seconda metà degli anni trenta, sperimentava in Italia le superfici sottili a doppia curvatura in cemento armato, sviluppando una linea di ricerca che stava appassionando l'Europa da quasi due decenni²⁹.

La sperimentazione sistematica sulle volte sottili in cemento armato aveva infatti preso il via in Germania già all'inizio degli anni venti con i celebri planetari della Zeiss, realizzati dalla Dyckerhoff & Widmann, che avevano rappresentato un'esperienza fondamentale per la messa a punto delle tecniche esecutive e del metodo di calcolo delle cupole di spessore molto ridotto. L'eccezionale capacità progettuale di Dischinger e di Finsterwalder aveva consentito di estendere rapidamente gli eccellenti risultati conseguiti per le cupole anche alle volte cilindriche³⁰. La grandiosa copertura del mercato di Lipsia del 1928-29 rappresentava in Germania il culmine di questa sperimentazione che trovava consensi nel resto d'Europa grazie anche alle belle opere di Torroja, in particolare al singolare profilo ad ala di gabbiano del perduto Fronton Recoletos del 1935. Il sistema Zeiss-Dywidag, introdotto in Italia dalla ditta Stoeckler, che già prima del 1932 realizzava con esso la copertura dell'autorimessa ATAG a Trastevere³¹, veniva poi monopolizzato dalla Ferrobeton.

Ma parallelamente alla sperimentazione sulle volte cilindriche, erano le superfici a sella a divenire oggetto di accurati studi. Se già nel 1909 Antoni Gaudí aveva sfruttato le potenzialità delle superfici a doppia curvatura inversa nella copertura conoidale della scuola della Sagrada Família, nel 1935 era ancora Torroja a dimostrare, con le sveltanti sottili pensiline dell'ippodromo di Madrid, quanto le superfici rigate – in questo caso iperboliche ad una falda – fossero di semplice ed economica esecuzione impiegando il cemento armato. In Francia la ricerca si concentrava sulle coperture sottili a paraboloidi iperbolici, soprattutto ad opera di Bernard Laffaille e Fernand Aimond.

Baroni, sicuramente al corrente delle ricerche condotte nel resto d'Europa, riconosceva nelle coperture sottili a doppia curvatura inversa in cemento armato la soluzione ai problemi di economia imposti dal regime autarchico e sperimentava alcune soluzioni strutturali decisamente singolari. Nel 1936 presentava il suo primo brevetto in cui rivendicava i diritti su una copertura



Fig. 120 - Magazzino realizzato a Tresigallo secondo il sistema brevettato da G. Baroni (1940): veduta durante la costruzione e dettaglio della copertura ad ombrello

le cui falde erano in forma di superfici rigate, preferibilmente di paraboloidi iperbolici³². Nella relazione allegata alla domanda di brevetto inseriva anche un esempio concreto delle potenzialità del suo sistema costruttivo: si trattava di un teatro per il dopolavoro della Fonderia Acciaio Vanzetti di Milano la cui copertura era costituita da una vela di cemento armato dello spessore costante di 3 centimetri, poggiante su quattro pilastri d'angolo. Baroni realizzava però alla fine del 1940 il suo vero capolavoro strutturale: un magazzino a Tressigallo la cui copertura era costituita da una successione di "ombrelli" di cemento armato, sostenuti da un pilastro centrale e formati da quattro falde di paraboloidi iperbolici dello spessore di 3 centimetri che, coprivano, ciascuno, una superficie quadrata di 10 metri di lato. Le sorprendenti coperture di Tressigallo, assolutamente originali e paragonabili oggi solo alle ben più tarde strutture di Felix Candela, non avranno sviluppi ulteriori, anche se l'autore rivendicava loro un altissimo valore autarchico.

Nel dopoguerra sarà Nervi a concentrare la sperimentazione sulle strutture sottili in cemento armato resistenti per forma. Le sue personalissime ricerche, che lo avrebbero portato a concepire il ferrocemento, venivano impostate però proprio in questi anni, nel periodo più sperimentale della sua attività, coincidente con la forzata chiusura della sua impresa a causa della guerra³³.

Le sperimentazioni di Pier Luigi Nervi

Già nel 1934, Danusso, in occasione del concorso per il Palazzo Littorio a Roma, cui partecipava insieme ad un gruppo di giovani architetti razionalisti, descrivendo sulle pagine di «*Quadrante*» la struttura progettata aveva a dire: «Il calcestruzzo armato ha le sue inderogabili caratteristiche, alle quali deve già un posto d'onore nella storia della costruzione, e più lo dovrà in avvenire, se si pensa che due di quelle caratteristiche sono particolarmente atte ad affermarlo vigorosamente in campi più vasti, basate: la prima sul binomio leggerezza-plasticità, la seconda sulla mutabilità del rapporto ferro-calcestruzzo». Esponendo la prima delle due caratteristiche, presentava le sue ricerche sulle autotensioni, e cioè su quei fenomeni naturali che davano «alle varie parti della costruzione una facoltà di adattamento e di reciproco aiuto, tale da migliorare di molto i nostri accorgimenti, o qualche volta anche da sanare i nostri errori». Danusso consigliava ai tecnici di «andare incontro alla natura e favorirne l'azione, sia adoperando materiali che per la loro costituzione intima consentano un largo margine di plasticità, sia assegnando alla costruzione forme abbastanza snelle, perché quella plasticità possa funzionare senza l'impaccio di eccessive rigidità». Ricordava inoltre che «nel comportamento statico della costruzione, la scienza non ci dà che una pallida interpretazione schematica, racchiusa nella cerchia di ipotesi limitate, tecnicamente semplificative, e tale da lasciare disconoscere molta parte del fenome-

no stesso». Quanto alla seconda caratteristica, «si osservi che l'uomo, nel suo compito di elaborare ed utilizzare gli elementi naturali, ha tratto i migliori risultati non tanto dagli elementi presi a sé quanto dalle loro sapienti combinazioni, e che spesso è stato indotto a constatare come, variando in una gamma continua i rapporti dei componenti, si ottenessero composti dotati di pregi peculiari variamente utili. È molto probabile la previsione che l'unione ferro-calcestruzzo non debba fermarsi ai rapporti di poche unità o frazioni di unità per cento, finora adottati, ma che, fra gli estremi calcestruzzo solo e ferro solo, si venga ad inserire tutta una continuità di combinazioni dei due materiali da cui, caso per caso, possano trarsi le migliori soluzioni³⁴.

A quella data Pier Luigi Nervi³⁵ aveva già ampiamente contribuito, nella sua ormai decennale esperienza di costruttore, a dare al cemento armato un posto d'onore nella storia delle tecniche edilizie.

Laureatosi a Bologna nel 1913 alla scuola di Silvio Canevazzi e Attilio Muggia, Nervi si dedicava da subito alla progettazione ed all'esecuzione di strutture in cemento armato: prima come dipendente della Società per Costruzioni cementizie a Bologna e a Firenze e poi, trasferitosi a Roma, in proprio con le sue ditte: dal 1924 la Nervi & Nebbiosi e poi, dal 1932, la Nervi & Bartoli. Le molte strutture da lui concepite in questa prima fase conoscitiva della sua carriera coprivano le più varie tipologie: dai ponti, ai teatri, alle case di civile abitazione. Proprio nel progettare e nel costruire queste prime opere, Nervi aveva verificato quanto Danusso affermava circa la prima delle caratteristiche del cemento armato. Per Nervi «il cemento armato è il più bel sistema costruttivo che la umanità abbia saputo trovare fino ad oggi», ma dopo tanti anni «di continuo progettare e costruire nei diversi campi del cemento armato», si era sempre più convinto che il reale ed effettivo funzionamento di una struttura iperstatica dipendesse da tante e così mutevoli condizioni e circostanze esecutive da essere a priori assolutamente indeterminato. I criteri seguiti nella progettazione delle sue molte opere erano basati, più che su «[i]llusori» metodi di calcolo, sul proposito di conferire alla costruzione «completa armonia [...] tanto nelle sue forme esterne che nella distribuzione delle armature metalliche»: la stessa armatura metallica «deve essere sempre estetica, deve dare l'impressione di un fascio di nervi destinato a dar vita alla più inerte massa del conglomerato³⁶». Strutture snelle che potessero adattarsi con docilità ai carichi raggiungendo più favorevoli condizioni di equilibrio, armonia fra forma e struttura basata su una sincerità costruttiva che non disturbasse questo processo di adattamento, progettazione «secondo natura»: questi erano stati i principi guida di molte sue opere, che trovavano in quel periodo la massima espressione nello stadio *Berta*, realizzato a Firenze fra il 1929 e il 1932. In particolare l'aerea pensilina, di 17 metri di spazio, risolta con una struttura semplice e snella, di grande efficacia sia strutturale che formale, richiamava l'attenzione dei giovani architetti razionalisti che riconoscevano nel lavoro di Nervi la concretizzazione di molte loro teorie.

L'immagine elegante, quanto ardita della copertura delle tribune ben si lega-
va con quella del tutto inedita delle scale elicoidali il cui disegno, di grande
forza architettonica, costituiva in verità una brillante soluzione del problema
della torsione sulla trave rampante. E proprio quelle geniali scale Nervi an-
metteva di non aver calcolato ma sostanzialmente solo intuito. Questa peri-
colosa affermazione, che gli valeva l'ostilità dell'intero mondo degli inge-
gnieri calcolatori, lo rendeva ancora più apprezzato dagli architetti, che in più
di un'occasione lo avevano invitato ad esporre le proprie opinioni su riviste
come «Casabella» e «Quadrante».

La lunga esperienza nel campo delle costruzioni in cemento armato tradi-
zionali lo aveva reso consapevole dei limiti della teoria di calcolo classica,
tanto da assumere un atteggiamento 'alla Hennebique' nell'impostazione del-
le sue soluzioni strutturali. Nel 1935, dovendo realizzare ad Orvieto per l'Ae-
ronautica Militare due aviorimesse di circa 45 metri di luce, Nervi adottava
una struttura geodetica. Il dimensionamento e la verifica, invece che con a-
stratti calcoli, venivano messi a punto mediante elaborate prove di carico con-
dotte su un modello di cellulioide appositamente costruito da Danusso nel suo
laboratorio di Costruzioni e Modelli del Politecnico di Milano. L'uso del mo-
dello gli consentiva di controllare il comportamento della struttura in modo
molto più attendibile di quanto avrebbe permesso un rigoroso calcolo mate-
matico.

Nervi, costruttore delle opere da lui stesso progettate, in occasione di que-
sta prima serie di aviorimesse, comprendeva che per sfruttare al meglio le po-
tenzialità del cemento armato, bisognava risolvere il principale problema del-
le strutture in getto: l'elevato onere delle casseforme. Forme "naturali" e "ar-
moniose" erano difficilmente proponibili se a controllare la geometria dove-
vano essere sagome di legno, costose ed elaborate. Così, nel 1939, dovendo
eseguire una seconda serie di aviorimesse ad Orvieto e ad Orbetello] adotta-
va uno schema identico alle prime, ma realizzava le grandi volte di copertu-
ra con elementi prefabbricati. I pezzi, confezionati a piè d'opera con cas-
seforme riutilizzabili, venivano assemblati e giuntati in opera con piccoli get-
ti di conglomerato ad alta resistenza. Il confronto fra le due soluzioni - quel-
la con getto in opera e quella con la prefabbricazione - decretava inequivoca-
bilmente il primato della seconda. Ma Nervi non era ancora soddisfatto: in-
gegnera a tutto campo, inventore di soluzioni originali dal settore dei motori
ad idrogeno a quello dei serbatoi e delle costruzioni navali, inarrestabile spe-
rimentatore, cercava ancora la soluzione ottimale per il cemento armato.

Il sostanziale blocco delle costruzioni negli anni a ridosso della guerra gli
dava tempo e modo, già cinquantenne, di comprendere e approfondire il va-
lore della seconda delle caratteristiche del cemento armato individuate da Da-
nusso nel 1934: la mutabilità del rapporto ferro-calcestruzzo. In piena autar-
chia, mentre buona parte dei tecnici si sforzava di concepire strutture a mas-
simo risparmio di ferro, fino ad ipotizzare asintoticamente un calcestruzzo
non armato, Nervi lavorava nella direzione opposta e cominciava a speri-

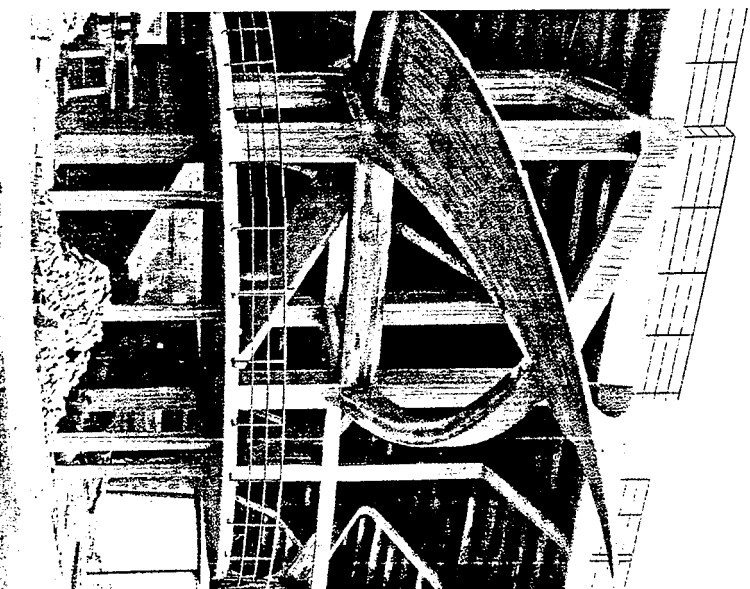


Fig. 121 - Stadio G.
Berta di Firenze (P.L.
Nervi, 1930-1932): una
delle scale elicoidali in
costruzione e relativa
armatura

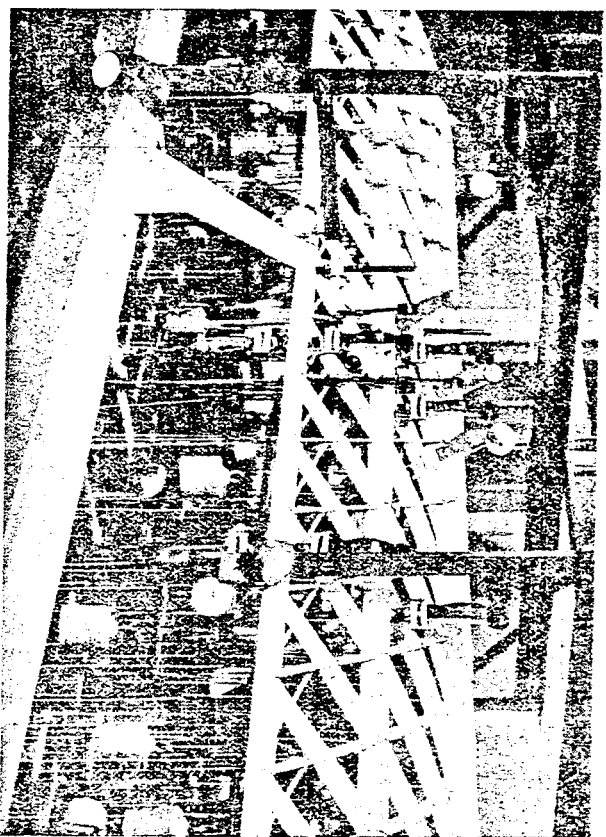


Fig. 122 - Modello in celluloide in scala 1:30 di una delle aviorimesse realizzate ad Orvieto (PL. Nervi, 1933): il modello e le prove di carico sono state eseguite nel Laboratorio Costruzioni e Modelli del Politecnico di Milano



Fig. 123 - Aviorimesse ad elementi prefabbricati realizzate ad Orbetello, Orvieto e Torre del Lago Puccini (PL. Nervi, 1939-1942): prova di montaggio degli elementi; i ferri d'armatura erano saldati elettricamente ed il nodo veniva completato in opera con un getto di conglomerato ad alta resistenza

mentare un materiale basato invece sulla combinazione di molto ferro e poco cemento, che rivelava eccezionali capacità di resistenza e grande flessibilità: un nuovo materiale, il ferrocemento.

In verità, come è stato messo in evidenza in studi recenti³⁷, Nervi, seppure inconsapevolmente, proseguiva ricerche iniziate già da Lambot e da Monier: in particolare quelle sul “ferro cementato”, basato sull'idea di una carcassa metallica resistente di per sé, solo irrigidita da un sottile strato di cemento. Idea che in particolare il giardiniere francese aveva visto compromettere dalle sperimentazioni di Ways e Koenen, i quali, semplificando l'armatura e disponendola in una cassaforma, avevano soverito alla base la sua invenzione. “L'armatura metallica di strutture complicate deve essere progettata come un insieme che, qualitativamente deve essere capace di un suo equilibrio stabile nei riguardi delle sollecitazioni esterne, salvo ad affidare al conglomerato la funzione di completare quantitativamente tale equilibrio con l'apporto della sua specifica capacità di collegamento degli elementi metallici e di resistenza alla compressione”³⁸. Parole di Nervi, che potrebbero essere attribuite senza difficoltà a Monier.

Il materiale inventato da Monier veniva però migliorato fino alla perfezione da Nervi, che ne intuiva nuove potenzialità teoriche e pratiche. Anche l'ingegnere italiano definiva all'inizio il nuovo materiale come “ferro cementato” e così lo presentava: “moltiplici strati di rete sovrapposti gli uni agli altri fino a costituire uno spessore praticamente uguale a quello della costruenda soletta”, il tutto cementato “con ottima malta di cemento e rena”. Le solette da lui sperimentate erano capaci di resistere “tanto a sollecitazioni di compressione che di tensione”; il materiale dunque si dimostrava omogeneo, isotropo ed elastico come il cemento armato non era mai stato, un “ferro ferro-cementizio nel quale la estrema suddivisione delle armature, la sottigliezza dei suoi fili e la uniformità della distribuzione” influivano sulle caratteristiche del conglomerato “in misura ben maggiore di quanto possano farlo le rade armature in tondini delle costruzioni in cemento armato”. Le ipotesi di Considere di inizio secolo sulla capacità dell'armatura di modificare le caratteristiche di deformabilità anche del conglomerato suscitavano dopo tanti anni nuovo interesse. Il ferrocemento era capace di deformazioni inimmaginabili per il cemento armato, era assai più resistente a fessurarsi e nel contempo era dotato di ottime caratteristiche di resistenza meccanica e di un'eccellente riserva plastica. E soprattutto era svincolato, proprio come il materiale del primo brevetto Monier, dal limite imposto dalle casseforme: il pacchetto metallico costituito dalle reti era leggero e autoportante e poteva essere sagomato nelle forme volute e poi spalmato di malta cementizia “premunita con il fratazzo o la mestola su l'una faccia fino ad affiorare dall'altra”.

L'aspetto che Nervi più approfondiva erano le enormi potenzialità della nuova tecnica costruttiva di dare vita a strutture resistenti per forma: ipotizzava così “solette opportunamente ondulate e sgommate onde raggiungere, nelle spontanee risorse statiche derivanti dalla forma, quella indeformabilità

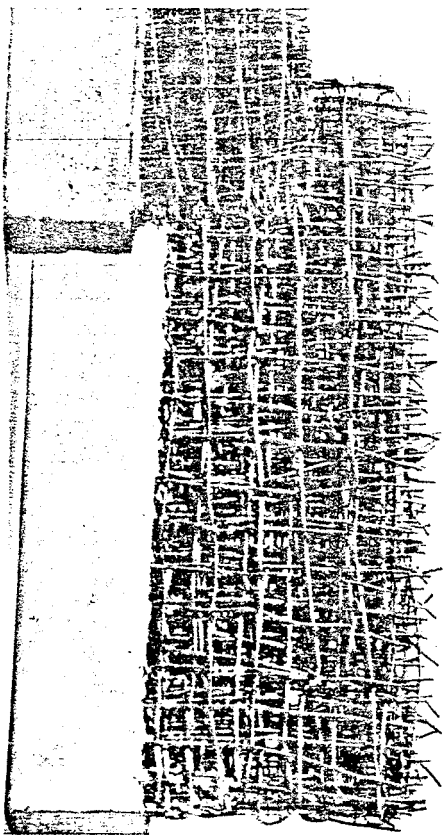


Fig. 124 - Campioni di solette ad armatura equidiffusa (P.L. Nervi, 1943)

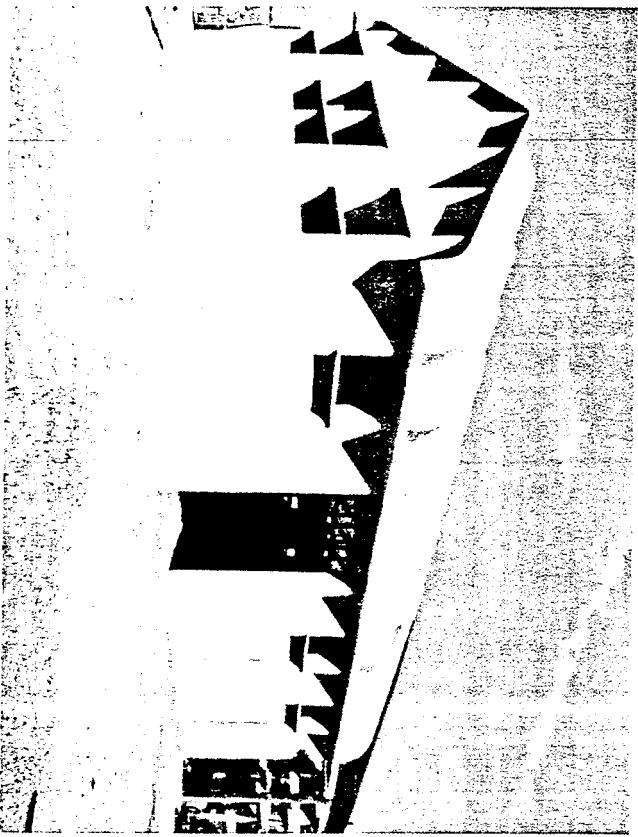


Fig. 125 - Magazzino realizzato in ferroemento a Roma, alla Magliana (P.L. Nervi, 1945)

e capacità resistente che comunemente resta affidata alle pesanti nervature principali". Il sistema, così, garantiva indiscutibili economie: le solette, concepite molto sottili e sagomate ottimizzando il materiale per assecondare i flussi naturali delle tensioni, consentivano un risparmio notevole sia di cemento che di ferro, senza contare che la leggerezza incideva sensibilmente sul dimensionamento degli elementi portanti; l'eliminazione delle casseforme determinava economie di legname, forse più rilevanti di quelle di ferro e di cemento. Insomma il sistema lasciava prevedere "una vera e propria rivoluzione nel campo delle coperture tanto dal punto di vista costruttivo che da quello estetico".

Nel 1943 Nervi depositava il primo brevetto sul ferroemento⁹ ma per la prima applicazione nell'edilizia bisognava aspettare qualche anno: solo nel 1945 realizzava alla Magliana, a Roma, nei terreni dove aveva sede la sua impresa, un piccolo magazzino sperimentale interamente realizzato col ferroemento⁴⁰. Le pareti ondulate, il tetto, la stessa gronda erano costituiti da un pacchetto di appena 3 centimetri di reti d'acciaio spalmate di cemento. L'armatura, piegata fuori opera su sagome di muratura, era posta in opera con l'ausilio di pochi sostegni di legno e solo a questo punto 'rivestita' di cemento. L'edificio diveniva il prototipo di soluzioni tecniche che, affinate nel tempo, avrebbero consentito a Nervi di realizzare nel dopoguerra i suoi capolavori.

La precompressione

Nel febbraio 1939, mentre in Italia vigeva la fase più severa della politica autarchica, Gustavo Colonnetti⁴¹ dalle pagine della rivista «Il Cemento Armato» tentava di persuadere tecnici, scienziati e politici italiani che "l'economia di ferro non si deve ricercare in assurdi ritorni a forme costruttive decisamente e definitivamente superate - né nell'adozione di non meno assurdi surrogati - bensì perseguendo serenamente, con tutti i mezzi e i sussidi della scienza e dell'esperienza, il disegno di una tecnica più progredita"⁴². Si leggeva, nelle parole dell'allora più noto studioso italiano nel campo delle costruzioni, la condanna delle reazionarie imposizioni del regime e delle visionarie sperimentazioni che miravano a sostituire l'armatura di ferro nel calcestruzzo.

La "tecnica più progredita" cui faceva riferimento Colonnetti era invece una tecnica già in sperimentazione da qualche anno in Europa, ad opera di Eugène Freyssinet in Francia, della Ways & Freytag e della Dywidag in Germania: si trattava del "cemento armato precompresso".

Perché Colonnetti era così affascinato dalla precompressione, al punto da considerarla la soluzione ai problemi economici del mondo delle costruzioni? Si possono individuare almeno due ragioni.

La prima era che lo scienziato italiano, d'accordo con Freyssinet, Torroja e Arup, aveva sempre considerato il cemento armato un materiale "assurdo",

“strano” e “difficile”. I due elementi che lo componevano avevano caratteristiche di resistenza praticamente opposte e la forza del loro connubio dimostrarono proprio in questa totale diversità: l'uno assorbiva le sollecitazioni che l'altro non era in grado di sopportare. Ma il paradosso consisteva nel fatto che l'affidabilità statica del cemento armato aveva come base di partenza la garanzia di aderenza fra ferro e cemento: aderenza pesantemente compromessa dall'incapacità del cemento di resistere a trazione e quindi di assecondare le deformazioni del ferro. Le inevitabili fessurazioni del cemento in zona tesa avevano sollevato dubbi già all'inizio del secolo, durante la fase pionieristica della sperimentazione sul cemento armato. Né la diffusione, alla fine degli anni trenta, di cementi speciali ad alta resistenza forniva una soluzione al problema perché le prestazioni dei conglomerati miglioravano solo in termini di resistenza a compressione, mentre non cresceva di pari passo la resistenza a trazione. Anche la possibilità di impiegare acciai ad alta resistenza, che pure avrebbe consentito una notevole economia di materiale, era messa in discussione proprio dalla debole resistenza a trazione dei calcestruzzi e dalla tendenza a fessurarsi non appena fossero state loro imposte dilatazioni oltre un certo limite.

Con la tecnica della presollecitazione invece - appariva chiaro a Colonnelli, così come ai suoi colleghi europei - le relazioni reciproche fra cemento e ferro venivano completamente rivoluzionate: l'armatura non era più utilizzata per sopportare una quota parte delle tensioni dovute alle sollecitazioni esterne, bensì per creare nel calcestruzzo stati di tensione, preventivi contrapposti a quelli generati da tali sollecitazioni. La ‘collaborazione’ fra i due materiali si trasformava in una ‘coazione’: l'acciaio comprimeva il cemento, il quale diventava capace di resistere anche alle tensioni di trazione grazie al benficio meccanismo della sovrapposizione degli effetti. Questo gioco dei ruoli risolveva il paradosso delle fessurazioni in zona tesa e riannetteva senza esitazione l'impiego di acciai ad alta resistenza, destinati ad essere sollecitati da elevatissimi sforzi di trazione, e di cementi speciali, chiamati a resistere solo a sforzi di compressione. Nel calcestruzzo precompresso dall'armatura pretesa, il calcestruzzo e il ferro erano sollecitati in modo conforme alle loro caratteristiche di resistenza e quindi sfruttati al meglio: la tecnica dunque consentiva una concreta economia di materiale.

Il secondo motivo per cui Colonnelli spingeva a favore della precompressione era racchiuso nella consapevolezza che la nuova tecnica giungeva a sanare una ferita aperta nel fianco della scienza delle costruzioni.

Colonnelli si esprimeva con molta chiarezza relativamente al valore della teoria di calcolo del cemento armato formulata da Coignet e de Tédesco più di quarant'anni prima ed ancora in uso alla fine degli anni trenta: semplicemente riteneva quei metodi di calcolo “privi, assolutamente privi di ogni qualsiasi valore scientifico. E ciò non solo nel senso che, fondati su ipotesi ingiustificate e ingustificabili, essi conducono a conclusioni che l'esperienza notoriamente smentisce, ma anche nel senso che per essere quelle ipotesi

fra loro incompatibili e contraddittorie, alla teoria che ne discende non si può neppure riconoscere il carattere di una costruzione logica capace di reggersi alla luce della critica più elementare”⁴³. Peraltro coloro che avevano introdotto quei calcoli nelle norme e nell'uso non si erano fatti illusioni circa il loro valore, in seguito, invece, il procedimento aveva assunto un carattere definitivo e i tecnici ormai da tempo applicavano ad occhi chiusi i metodi semplici e noti della teoria dell'elasticità.

Colonnelli era un valente teorico: a partire dal 1917, giovanissimo cattedratico a Pisa, si era occupato della definizione dello stato di equilibrio di un corpo in presenza di deformazioni non compatibili - da lui definito “stato di coazione”. Nel 1924 aveva formulato un teorema di minimo del lavoro di deformazione, che porta ancora il suo nome: una generalizzazione del teorema di Menabrea in presenza di coazioni elastiche. Dal 1937 si occupava di riordinare la teoria matematica del corpo elastico adattandola ad un corpo non perfettamente elastico, ma piuttosto elasto-plastico, ipotesi più vicina al comportamento del cemento armato.

Senza entrare nel dettaglio delle sue intuizioni, certamente alla fine degli anni trenta Colonnelli era ben consapevole di quanto gli stati artificiali di coazione potessero migliorare il comportamento statico delle costruzioni e parallelamente di quanto i metodi di calcolo ‘classici’ andassero urgentemente sostituiti con una teoria rigorosa e scientifica.

La tecnica della precompressione gli consentiva da una parte di promuovere la messa al bando definitiva di quegli arbitrari metodi di calcolo e dall'altra di dare riscontro e applicazione ai suoi preziosi studi giovanili.

Nel settembre 1939 Colonnelli metteva a punto e pubblicava un metodo di calcolo per le travi con armature preventivamente tese, diretta applicazione della sua elegante teoria delle coazioni elastiche⁴⁴. In questa nuova configurazione le ipotesi della teoria elastica erano correttamente applicabili: l'azione di compressione del ferro sul cemento infatti capillava l'asse neutro fuori della sezione della trave, che risultava quindi tutta reagente, interamente compressa, oltre che omogenea, non essendo più l'armatura chiamata a resistere direttamente ai carichi esterni. Il comportamento del materiale poteva dunque perfettamente essere descritto senza far ricorso a dubbi procedimenti di omogeneizzazione dell'acciaio al cemento o all'impiego di coefficienti dai valori fittizi e dall'incerto significato fisico.

A parte i contributi teorici, riconosciuti internazionalmente, Colonnelli non aveva un ruolo determinante nelle fasi pionieristiche della sperimentazione sulla presollecitazione, che vedeva ancora protagonisti - come era stato molti anni prima per il cemento armato ordinario - tecnici francesi e tedeschi.

A dire il vero, la presollecitazione era una tecnica già adottata per diversi scopi. Nei ponti a corci di pietra veniva diffusamente utilizzata la tecnica della borratura dei giunti: consisteva nell'intasare con malta i giunti alle reni, o-

perazione paragonabile a quella di inserire a forza un cuneo fra i conci, creando reazioni normali al letto di posa e spostando di conseguenza la curva delle pressioni. Nella trave reticolare di Howe, invece, i montanti verticali, costituiti da tiranti di ferro filettati, venivano pretesi serrando i dadi alle estremità, in modo da indurre nelle diagonali di legno una compressione capace di elidere la trazione dovuta ai carichi propri o accidentali⁴⁵. Intorno alla metà dell'Ottocento, era stata messa a punto la trave di ghisa armata presolleciata, nella quale cioè i conci che la costituivano venivano precompresi mediante un'armatura di barre di ferro orizzontali, completamente indipendenti dalla sezione della trave⁴⁶.

Ed era proprio la sperimentazione sulla precompressione della ghisa, materiale simile al cemento, almeno come attitudine alla resistenza, ad avere maggiori analogie con i primi tentativi di precomprimere il calcestruzzo mediante tiranti di ferro.

Nel 1888 Doering che depositava anche un brevetto) suggeriva di tirare, e quindi allungare, con qualche marchingegno le armature predisposte nel cassero e poi eseguire il getto, a maturazione ultimata, il ferro, lasciato libero, avrebbe tentato di riprendere la propria posizione di equilibrio ma avrebbe trovato il cemento ad impedirglielo⁴⁷. Il nuovo rapporto fra i due materiali, divenuto a questo punto conflittuale, si sarebbe dovuto teoricamente rivelare più solido.

Nel 1894 François Chaudy già prefigurava in maniera chiara le potenzialità della post-tensione delle armature passanti in conci di conglomerato. Chaudy, che impostava i suoi ragionamenti sulle considerazioni note in merito all'inevitabile fessurazione del cemento in zona tesa, suggeriva di conformare la trave con un incasso intradosale per poter disporre un tirante di ferro, da tendere, una volta ultimata la presa del cemento, con il serraggio di bulloni posti a contrasto con le testate della trave⁴⁸.

Le due soluzioni, teoricamente geniali e rispetto alle quali, in proporzione, poco di più sarebbe stato aggiunto nel corso degli anni, dovevano scontrarsi con l'inadeguatezza dei materiali a disposizione alla fine del secolo. I sistemi proposti infatti non trovavano reali possibilità di applicazione perché le tensioni ammissibili per le armature allora sul mercato consentivano allungamenti elastici così modesti da annullarsi rapidamente per il solo effetto del ritiro del cemento e delle deformazioni viscose.

Ma l'idea della pretensione delle barre non veniva accantonata, pur negli insuccessi legati ai limiti della tecnologia. Preoccupato della durabilità dell'armatura a seguito delle fessurazioni del conglomerato in zona tesa, nel 1907 Matthias Koenen inventava un rudimentale apparecchio per tesare le barre di armatura prima dell'esecuzione del getto: il procedimento di 'stiratura' doveva garantire al ferro una maggiore 'tonicità' e quindi, a parità di carico, una minore deformazione, riducendo così i rischi di fessurazione del cemento che le avvolgeva⁴⁹. Con il medesimo obiettivo, anche un italiano, Ernesto Mezzetti, brevettava nel 1918 un sistema di facilissima applicazione per

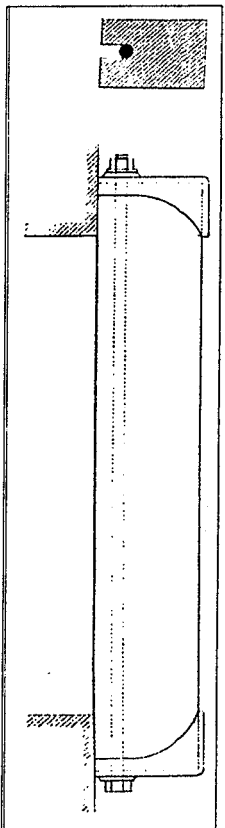


Fig. 126 - La trave di cemento precompressa da un tirante (F. Chaudy, 1894)

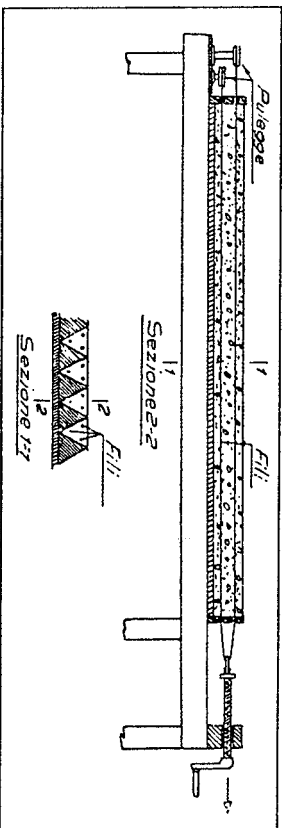


Fig. 127 - Apparecchio per tesare le barre di armatura prima del getto (M. Koenen, 1907)

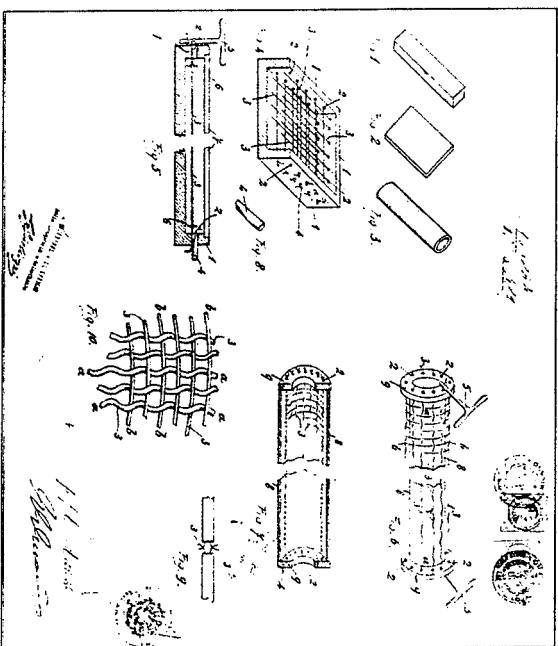


Fig. 128 - Brevetto n. 166844, E. Mezzetti, Milano, Innovazione nei sistemi di armatura del cemento, 20 maggio 1918

la tesatura dei ferri di armatura, mediante cunei e chiavi, citando come illustrere precedente la tradizionale accortezza di tendere le catene degli archi e delle volte⁵⁰.

Come è noto, il protagonista nella tecnica della moderna presollecitazione è Eugène Freyssinet. Già a partire dalla celebre serie dei suoi primi ponti ad arco - Veurede, Bouiron, Châtel-de-Neuvre -, intorno al 1910, sperimentava una originale tecnica di disarmo basata sull'allontanamento dei due semiarchi simmetrici attraverso martinetti idraulici posizionati in chiave e agenti orizzontalmente: la tecnica costituiva il fulcro del suo primo sistema di presollecitazione, conosciuto come "metodo delle deformazioni sistematiche".

"L'idea che informa il metodo - scriveva Freyssinet - consiste nel non accettare come necessario lo stato elastico di una costruzione, quale risulta dalle sue condizioni abituali di esecuzione, ma, al contrario, nel ricercare se non sia possibile, con una deformazione iniziale, imposta artificialmente a certi elementi, di modificarlo, favorevolmente"⁵¹. Nel caso dei ponti ad arco, era noto che dopo la rimozione della centina la deformazione elastica, l'inevitabile allontanamento delle spalle, il ritiro del cemento, le variazioni di temperatura inducevano un cambiamento di forma della fibra media che, non coincidendo più con la linea delle pressioni, determinava ulteriori sollecitazioni. Il metodo di Freyssinet consisteva nel correggere tramite i martinetti la linea d'asse dell'arco, in modo da farla coincidere con la curva delle pressioni e annullare così le tensioni parassite. Si trattava a tutti gli effetti di indurre artificialmente sollecitazioni contrarie nel segno a quelle di esercizio, al fine di sfruttare al meglio le potenzialità del materiale. Il sistema era indubbiamente geniale, ma - aggiungeva Freyssinet - "l'uso dei metodi indiretti per la creazione a priori di deformazioni eguali e contrarie alle prevedibili è particolarmente delicato e deve essere effettuato soltanto da tecnici provetti".

Erano in pochi in Europa a raccogliere la sfida di Freyssinet. Tra questi figurava Torroja che, nella realizzazione dell'acquedotto di Tempul, nel 1925, adottava con disinvoltura i martinetti idraulici per correggere la configurazione della struttura deformata dai carichi di esercizio.

In Italia, solo Eugenio Miozzi aveva il coraggio di seguire le orme dei due celebri colleghi. Dopo aver studiato con passione le realizzazioni di Freyssinet, Miozzi, come ingegnere capo del Genio Civile, aveva l'occasione di sperimentare nel 1930 una personale variante della tecnica delle deformazioni sistematiche nel ponte di calcestruzzo non armato sul torrente Soja, qui usava i martinetti per ricentrare la curva delle pressioni, ma, invece che sollevare l'arco agendo in chiave, lo spingeva altrettanto efficacemente dall'imposta⁵².

Il 2 ottobre 1928 Freyssinet depositava in Francia - e un anno dopo anche in Italia - un brevetto nel quale rivendicava l'esclusiva di un "Processo di fabbricazione di pezzi in cemento armato". Dietro questo insospettabile titolo si nascondeva una vera "rivoluzione nell'arte di costruire". I pezzi prefabbrica-

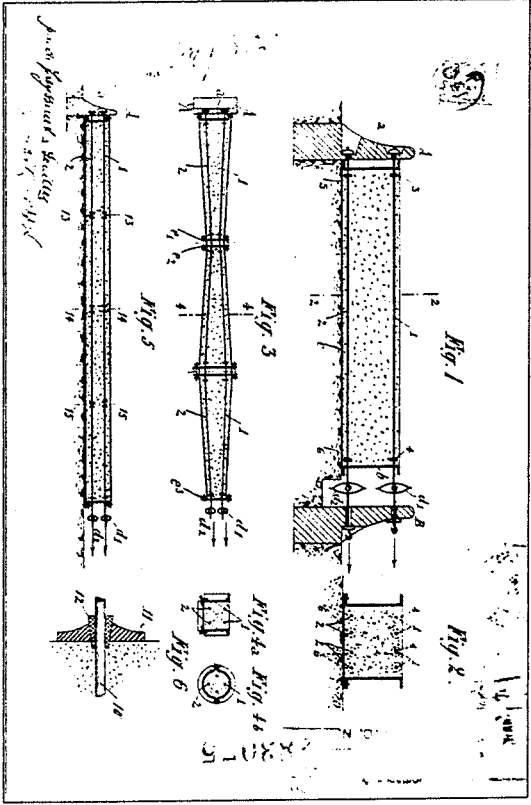


Fig. 129 - Brevetto n. 283075, E. Freyssinet, J. Seailles, Neuilly, Parigi, Procédé de fabrication de pièces en béton armé, 1 octobre 1929

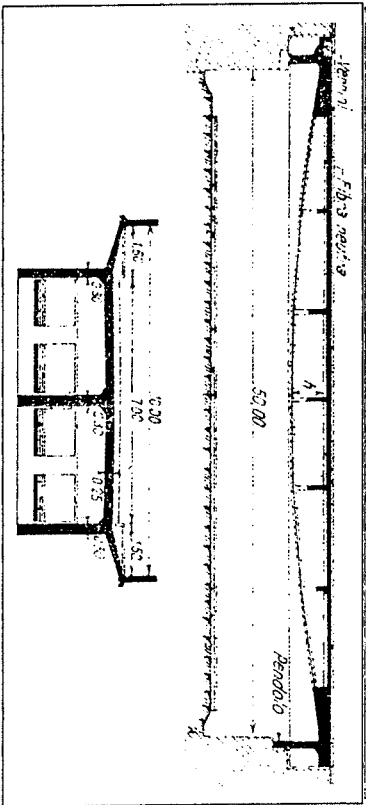


Fig. 130 - Sistema di presollecitazione ideato da F. Dischinger (1934)

ti di Freyssinet erano dotati di armature rettilinee, pretese prima del getto, ma non semplicemente stirate, come nelle tante sperimentazioni precedenti, bensì sottoposte ad una sollecitazione tale da indurre un allungamento elastico importante. Le armature erano provviste di dispositivi di ancoraggio destinati a trasmettere al cemento, ormai maturo, gli sforzi di trazione iniziali ai quali erano state sottoposte⁵³.

Nel 1935 Freyssinet dava il suo brevetto in concessione per la Germania alla ditta Wayss & Freytag. Come era già successo cinquant'anni prima per il brevetto Monier, anche in questa occasione la lungimirante ditta conduceva un'accurata e sapiente verifica delle potenzialità del sistema⁵⁴. La lunga fase sperimentale si concludeva nel 1939 e si avviava la fase esecutiva che vedeva già nello stesso anno la realizzazione del primo ponte europeo in calcestruzzo precompresso, un sovrappasso sull'autostrada tra Hannover e Oelde di circa 33 metri di luce.

Contemporaneamente anche Franz Dischinger, l'ideatore delle volte sottili del sistema Zeiss-Dywidag, rivendicava la paternità del calcestruzzo precompresso, avendo depositato nel 1928 un brevetto al riguardo. Dischinger nel 1934 depositava un'altra privativa riguardante travi da ponte precomprese da cavi a treccia di notevole diametro, ad andamento parabolico, passanti lateralmente alle travi stesse. La disposizione esterna dei cavi consentiva di regolarne nel tempo la tensione mentre l'andamento parabolico permetteva di riportare sull'asse della trave la risultante delle azioni esterne, realizzando una trave uniformemente compressa.

Tra le sperimentazioni della Germania - che apprestandosi alla guerra, incoraggiava al pari dell'Italia le ricerche che miravano al risparmio di ferro - la più facilmente applicabile era quella di Ewald Hoyer. I suoi travetti prefabbricati da solajo, presollecitati da fili di acciaio armonico di piccolissimo diametro senza bisogno di dispositivi di ancoraggio sulle testate⁵⁵, suscitavano subito grande curiosità, anche sulle riviste italiane, dove venivano presentati già nell'aprile del 1939.

In Italia le prime vere applicazioni dell'armatura pretesa riguardavano prevalentemente i tubi. I tubi Vianini erano già stati il cavallo di battaglia della delegazione italiana al congresso di Liegi nel 1930. La ditta nel 1933 presentava un nuovo brevetto per rivendicare i diritti su un macchinario in grado di armare i tubi con filo in tensione: la tecnica consisteva nell'avvolgere elasticamente un filo di acciaio intorno al tubo già maturato per poi proteggerlo con uno strato di cemento⁵⁶. Nel 1939 era la SCAC, Società Cementi Armati Centrifugati, a perfezionare i suoi già noti pali centrifugati armando li ora longitudinalmente con fili sottili di acciaio ad altissima resistenza, in tensione⁵⁷.

Ma, a parte queste prime sperimentazioni, il fermento nazionale era soprattutto incentrato sull'aspetto teorico. Nel 1934 Danusso pubblicava una memoria destinata, come molte delle sue, a costituire una pietra miliare del-

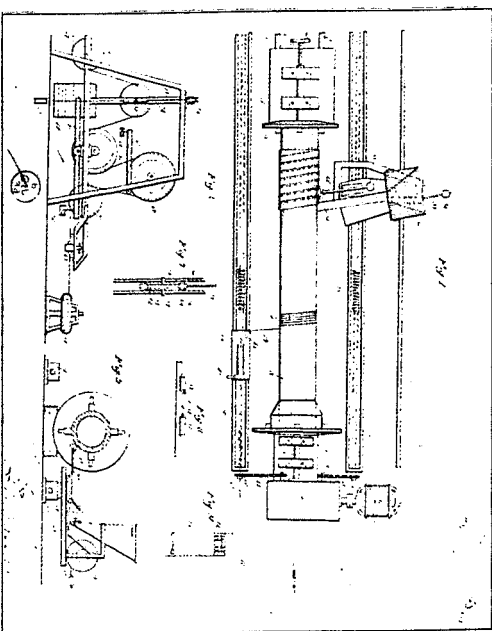


Fig. 131 - Brevetto n. 314685, Soc. An. Guido Vianini & C., Roma, Macchina per fabbricare corpi cavi di materiale cementizio, fibroso o no, per rivestire tubi metallici con materiali plastici e per armare corpi cavi con armature metalliche in tensione, 6 giugno 1933

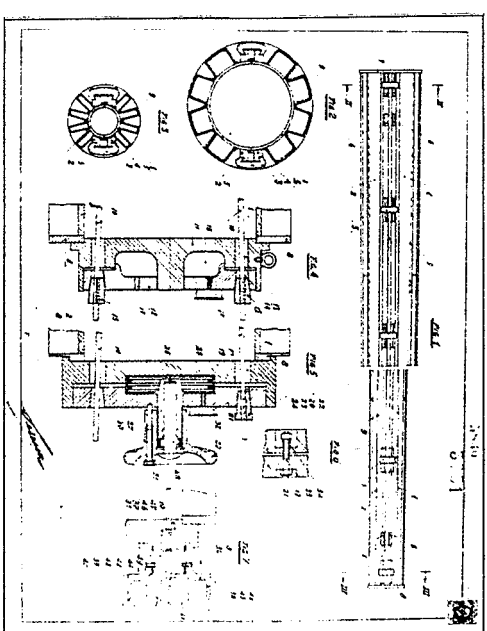


Fig. 132 - Brevetto n. 375161, Società Cementi Armati Centrifugati SCAC, Trento, Perfezionamenti nella costruzione di manufatti in cemento armato centrifugato con armatura sottoposta a tensione preventiva, 19 giugno 1939

la scuola teorica italiana³⁸. In questa Danusso, dopo le ricerche di Colonnetti, affrontava il problema degli stati di coazione elastica in assenza di forze esterne esplicite, da lui denominati "autotensioni". Per ridurre gli effetti delle autotensioni, spesso notevoli, erano state intraprese due vie: da una parte si erano preferite le strutture isostatiche che, libere di assecondare le deformazioni impresse, non venivano da queste sollecitate con ulteriori azioni; dall'altra, si erano introdotte autotensioni artificiali capaci di eliminare gli effetti di quelle naturali, come aveva fatto Freyssinet e pochi altri dopo di lui. Entrambi i sistemi non erano esenti da limiti: il primo perché rinunciava alla sovrabbondanza dei vincoli, "ricchezza e presidio naturale della costruzione contro l'attacco dei carichi"; il secondo perché era così delicato da non poterlo applicare senza rischi. Danusso suggeriva allora un'altra strada: quella di sfruttare la capacità naturale delle strutture iperstatiche di adattarsi ai carichi entrando in regime plastico e quindi ridistribuendo le tensioni tra le membrane. L'adattabilità del calcestruzzo, mostrata dalle prove dinamiche di compressione e l'ampiezza della deformabilità plastica nell'acciaio, evidenziata dai diagrammi di deformazione sotto sforzo crescente, confermava le sue affermazioni. Lungi dal voler istituire una teoria completa dell'equilibrio elastoplastico, Danusso proponeva due metodi di calcolo dell'autotensione correttiva naturalmente manifestata dalla struttura.

Era compito adesso del costruttore di preparare bene il terreno a questa "terapia naturale", assegnando alla costruzione forma e vincoli adatti a riceverla, "accertando che non sia richiesto alla natura più di quanto essa può dare, e che la deformazione non conduca verso configurazioni instabili". Danusso, in questa occasione, riabilitava integralmente la "singolare genialità intuitiva del più valido pioniere del cemento armato, Francesco Hennebique", alla cui corrente di pensiero egli si era formato. Danusso sosteneva che Hennebique avesse sempre progettato tenendo ben presenti le capacità di adattamento delle strutture e che il suo ostinato rifiuto verso la teoria di calcolo elastica fosse frutto della consapevolezza dell'esistenza di un possibile regime plastico.

Per confermare la sua tesi, non poteva che ricordare il ponte Risorgimento³⁹, ma anche rispolverare una sua opera giovanile, il ponte sull'Asico a Calvente, costruito nel 1909, che, se più modesto nelle dimensioni e nei carichi ammessi, non era meno audace nell'impostazione del calcolo. E proprio di questi due ponti rifaceva ora i calcoli, dimostrando come, se i metodi ufficiali conducevano a tensioni che ne inficiavano la validità perché superavano di molto il limite elastico, l'aggiunta di coefficienti correttivi che simulavano gli effetti della plasticizzazione della struttura riportava i valori entro intervalli assolutamente compatibili. Le basi della teoria della plasticità erano così gettate.

Spettava piuttosto a Colonnetti il compito di razionalizzare le intuizioni di Danusso e di mettere a punto una teoria rigorosa sul solido elastoplastico. Anzi, proprio la consapevolezza dei limiti della teoria di calcolo classica e la necessità di superare l'ipotesi elastica lo spingevano ad approfondire la tecnica

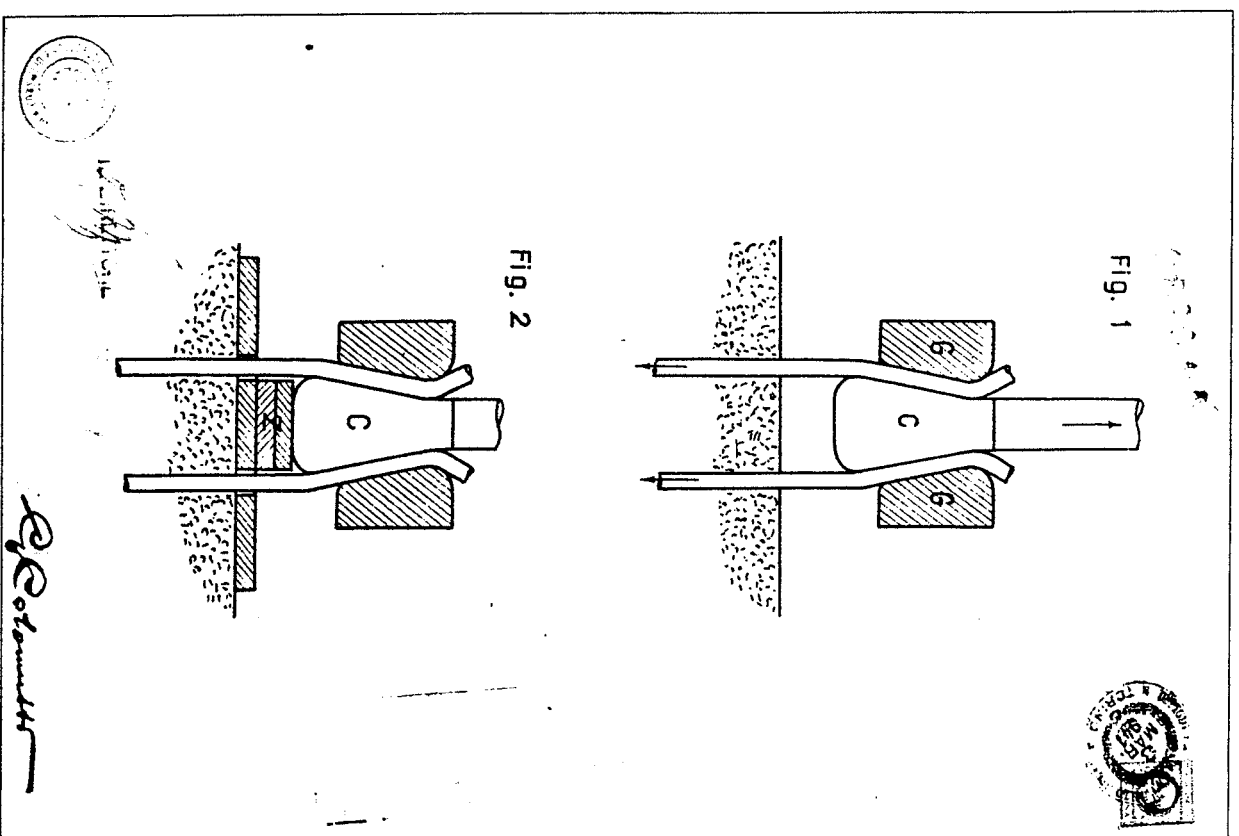


Fig. 133 - Brevetto n. 389946, G. Colonnetti, Torino, Dispositivo per la messa in tensione e l'ancoraggio delle armature nelle strutture in conglomerato cementizio, 3 marzo 1941

della precompressione. Nel corso del 1939, Colonnetti pubblicava una serie di articoli sulle potenzialità e sullo sviluppo in Europa della precompressione; nel giugno dello stesso anno teneva alcune conferenze alla Sorbona di Parigi sugli stati di coazione e il viaggio gli consentiva probabilmente di approfondire le conoscenze sui sistemi di Freyssinet, Dischinger e Hoyer; a settembre pubblicava il già citato articolo sul calcolo delle travi precomprese; il 12 dicembre depositava il primo brevetto italiano per travi in cemento armato con armatura pretesa⁶⁰ che, pur partendo da spunti già presenti nei brevetti europei, mostrava soluzioni di grande originalità.

Due gli aspetti più interessanti di questo brevetto. Il primo era la forma della trave: Colonnetti disegnava una trave arcuata di sezione variabile con continuità. L'idea era di allineare tra loro il punto inferiore del nocciolo centrale d'inerzia della sezione di massimo momento positivo, i punti superiori di nocciolo delle sezioni di massimo momento negativo e i baricentri delle sezioni di momento nullo. Le armature rettilinee erano disposte su questo allineamento ed assoggettate preventivamente a sforzi di trazione tali da determinare nel calcestruzzo tensioni unitarie - negative - almeno uguali a quelle - positive - determinate dall'azione dei carichi. "In queste condizioni la trave si comporta, sotto l'azione dei carichi, come un vero e proprio arco (con curva delle pressioni tutta contenuta entro le linee di nocciolo), ed ha dell'arco tutte le caratteristiche statiche interne, pur senza esercitare spinta alcuna sui vincoli". L'obiettivo evidentemente era di far lavorare i materiali ognuno secondo le proprie peculiarità e al massimo delle possibilità in ciascuna sezione: il risultato era una trave ad uniforme resistenza che lavorava come un arco a spinta eliminata.

Il secondo aspetto originale del brevetto risiedeva nella rinuncia all'aderenza fra armatura e conglomerato. Colonnetti non seguiva la strategia di Dischinger, che collocava l'armatura fuori dal profilo della trave, ma inglobava l'armatura nel getto proteggendola però con una specie di involucro isolante che impedisse al conglomerato di venire a contatto con l'armatura stessa: in questo modo, a presa avvenuta, l'armatura poteva scorrere liberamente all'interno del conglomerato e la sua messa in tensione poteva essere ritardata a quando il cemento avesse già subito buona parte del ritiro. Quanto alle caratteristiche dell'involucro, Colonnetti proponeva di impiegare fogli sottili di "metalli plastici", come il piombo, lo stagno ecc. o più economicamente di spalmare l'armatura stessa con catrame, bitume o cementi plastici, a base di gomme, oli e fibre di amianto⁶¹.

Nel dopoguerra sarà proprio quella traccia da Colonnetti una delle linee di sviluppo del calcestruzzo precompresso, anche se ad assumere la configurazione non rettilinea non sarà la trave ma il cavo, che potrà scorrere liberamente all'interno di apposite guaine sagomate.

Neanche il grande entusiasmo di Colonnetti poteva però superare il vero limite della sperimentazione italiana: l'indisponibilità di acciaio ad alta resistenza. La carenza di materie prime e l'impossibilità di acquistare il prodot-

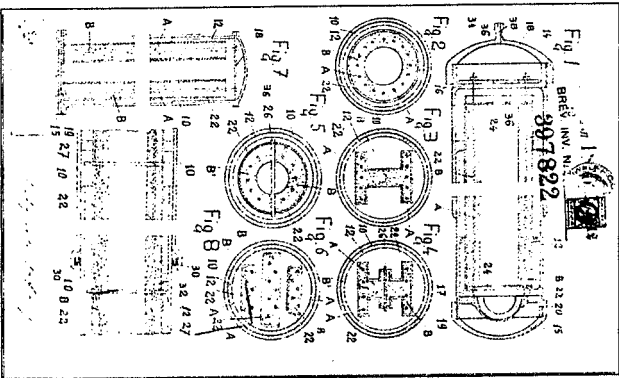


Fig. 134 - Brevetto n. 397822, A. De Fant, Milano, Procedimento ed apparecchiatura per mettere in pretesione l'armatura e per comprimere e costringere il conglomerato negli elementi cementizi e simili durante il loro indurimento e prodotti ottenuti con tale procedimento, 3 marzo 1942

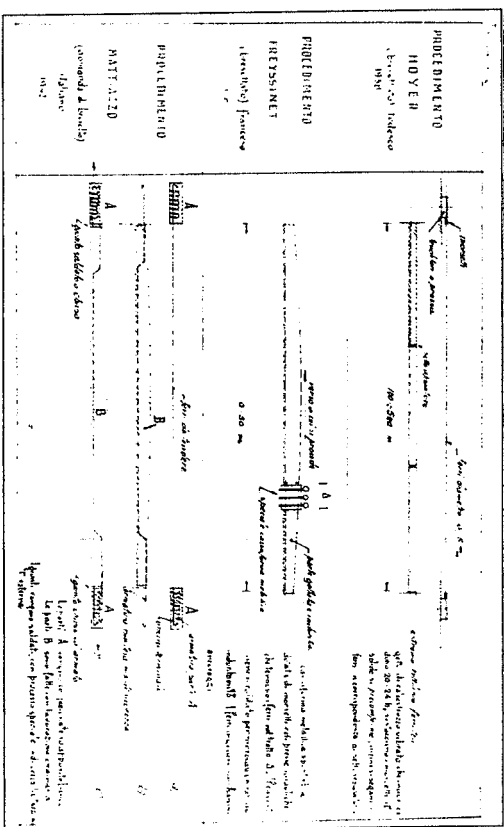


Fig. 135 - Confronto fra il procedimento Hoyer, quello Freyssinet e quello proposto nel brevetto n. 402837, F. Mattazzo, Milano, Struttura in calcestruzzo di cemento armato provvista di armatura metallica preventivamente tesa, 2 aprile 1942

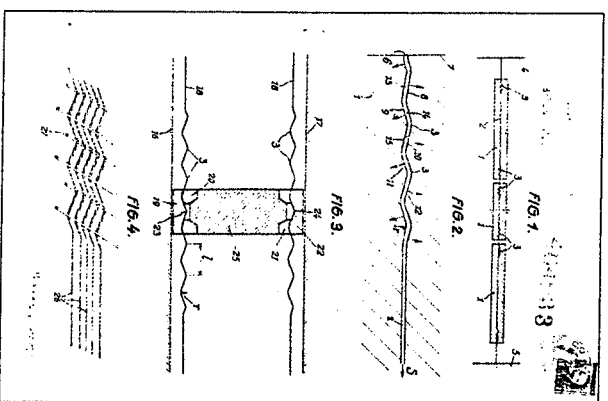
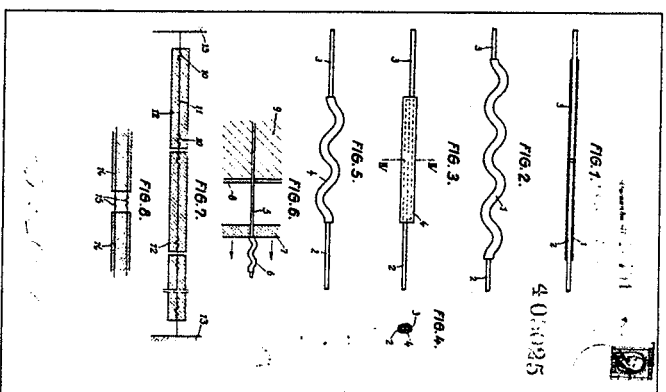
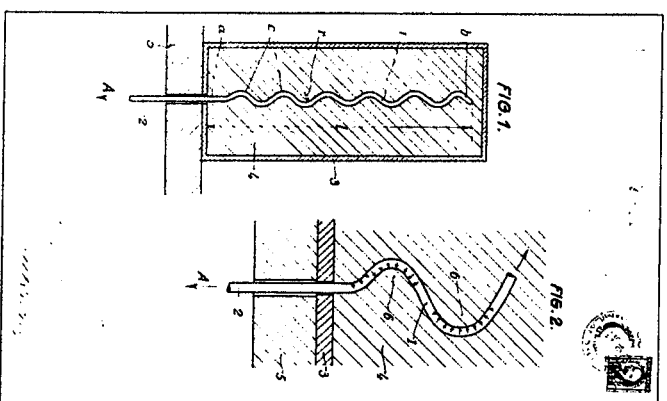


Fig. 136 - Brevetto n. 403479, E. Hoyer, Berlino, *Procedimento per l'ancoraggio di fili d'armatura preventivamente tesi per la fabbricazione di strutture di cemento armato*, 12 settembre 1942; brevetto n. 405025, E. Hoyer, Berlino, *Procedimento per l'ancoramento ed il collegamento di fili d'acciaio con tensione preventiva elevata per la fabbricazione di cemento armato cosiddetto pre-teso*, 19 dicembre 1942; brevetto n. 404233, E. Hoyer, Berlino, *Procedimento per l'aumento della resistenza adesiva di fili d'acciaio nella fabbricazione di corpi di cemento armato con tensione preventiva*, 22 dicembre 1942.

to finito dall'estero per problemi economici, ma anche di approvvigionamento - altre Nazioni in tempi più propizi avevano monopolizzato il mercato stipulando concessioni di lungo periodo - rendevano inattuabile una seria sperimentazione. I tentativi compiuti dall'industria siderurgica italiana - in particolare dall'Ilva e dalla Società Acciaierie e Ferriere Lombarde - di ottenere acciai ad alta resistenza partendo da materie prime nazionali conducevano purtroppo a risultati fallimentari⁶².

Stimolati però dalle sperimentazioni di Colonnetti, non si facevano attendere nuovi brevetti italiani, come quello di Luigi Magistretti⁶³, di Augusto De Fantis⁶⁴, di Franco Mattiazzo⁶⁵, che perfezionavano in modo più o meno originale le tecniche di tesatura e di ancoraggio dei cavi. Né tardavano le sperimentazioni nei laboratori accademici: nel 1941, nel laboratorio dell'Istituto di Costruzioni e Ponti del Politecnico di Milano, Luigi Stabellini conduceva prove di carico su travi di solaio tipo Varese dotate di un'armatura parziale preventivamente tesa.

Anche le imprese si appassionavano al sistema⁶⁶. La SCAC, dopo aver sperimentato il sistema dei fili aderenti per i pali, acquisiva i diritti sui brevetti di Hoyer per le travi, depositati per l'occasione anche in Italia⁶⁷, e nello stabilimento di Monterotondo realizzava un primo impianto industriale di pretensione, sfruttando il cemento Ultracem fornito dalla filiale della Italcementi di Civitavecchia: alla fine del 1942 iniziava una produzione sperimentale in serie di travi per solai con sezione a T rovescia di calcestruzzo precompresso da fili aderenti. Non si hanno però notizie di impiego di queste travi⁶⁸, né di nessun altro elemento in calcestruzzo precompresso, almeno fino alla fine della guerra⁶⁹.

Ed era proprio la guerra a ripristinare gli equilibri: la pausa coatta nella realizzazione delle grandi strutture e dell'edilizia in generale, la completa sospensione di congressi e di seminari, la salutarità ed irregolare pubblicazione di libri e riviste, favoriva la decantazione della nuova tecnica. Gli ingegneri più attenti e capaci approfittavano dell'interruzione delle attività di progettazione per sperimentare nei loro laboratori "casalinghi". Nel febbraio 1944 sulla scena della precompressione italiana appariva Riccardo Morandi⁷⁰ che depositava il suo primo brevetto⁷¹, rivendicando i diritti su un processo di pretensione delle armature per dilatazione termica con impiego di corrente elettrica a basso voltaggio. Sarebbe stato proprio il giovane ingegnere romano ad ottenere negli anni a seguire risultati eccezionali ed a riscattare le fatiche di Colonnetti e di quanti insieme a lui avevano potuto solo ipotizzare l'irrealizzabile.

¹ Vedi S. Poretti, *La costruzione, in Storia dell'architettura italiana. Il secondo Novecento*, a cura di F. Dal Co, Milano 1997, pp. 268-293.

² Per citare un'altra delle tante opere con cui la Porcheddu tenne alta la sua fama, il viadotto della Chiussella, del 1921, che attraversava un profondo burrone con una grande arcata parabolica di 48,5 metri di luce e 16,25 di freccia.

³ Lo sviluppo delle strade nel Mezzogiorno vedeva soprattutto la Ferrobeton impegnata in prima linea. Nel 1930, per esempio, la ditta ultimava, nella provincia di Cosenza, il ponte sul fiume Lao ad arcioni a spinta eliminata - 7 luci da 41 metri -, il viadotto sul torrente Sarceno ad arcioni gemelli incastriati - 50 metri di luce e 12,5 metri di freccia -, il ponte sul Fuzzo a trave continua - 6 luci da 14 a 17 metri -, tipi di ponte completamente differenti: gli uni dagli altri a testimoniare la padronanza della tecnica costruttiva.

⁴ Tra le primissime opere realizzate ricordiamo, sull'autostrada Bergamo-Milano, il ponte sul Brembo ad arcioni gemelli parabolici, realizzato nel 1927 dalla Bianchi & Steiner, di 50 metri di corda e 14,5 metri di freccia, e, sull'autostrada Bergamo-Brescia, il ponte sull'Inghio a Palazzolo, con 3 luci ad arcioni gemelli di 61 metri, eseguito negli stessi anni dalla S.A. Ing. Fratelli Damoli. A. Tarantini, *L'applicazione del cemento ai ponti ed alle costruzioni civili con particolare riguardo alle opere costruite dal Ministero dei Lavori Pubblici*, relazione al 1° Congresso Nazionale del Cemento tenutosi a Casale Monferrato nel maggio 1937, Casale Monferrato 1937.

⁵ Tra i primi impieghi in Italia segnalati sulle riviste troviamo il ponte sulla Stura a Torino, costruito dalla Soc. An. Ing. Luigi Bertelè nel 1926-27, in cui veniva fatto uso di un cemento ad alta resistenza proveniente da Borgotaro. *Il cemento armato in Italia - Suo sviluppo e applicazioni*, «Il Cemento Armato», 5, 1928, p. 85. In un altro ponte, quello sul fiume Olivo in Calabria, l'impresa A. Greco per realizzare gli appoggi dell'arcione sulle pile impiegava cemento fuso ad alta resistenza frettato. F. Perri, *Ponte sul fiume Olivo (Calabria)*, ivi, 11, 1929, pp. 112-113.

⁶ Per esempio nel ponte sul fiume Pesipe, presso Catanzaro, ultimato nel 1928 dall'impresa Aurelio Aureli e nel ponte Cobianchi sul S. Bernardino ad Intra, a spinta eliminata, progettato da Santarelli. *Ponte in cemento armato sul fiume Pesipe*, ivi, 2, 1932, pp. 16-17 e *Il ponte "Cobianchi" ad Intra*, ivi, 6, 1929, pp. 61-63.

⁷ *Il palazzo delle Poste annesso alla Nuova Stazione di Milano. Dettagli delle coperture in cemento armato*, ivi, 9, 1931, pp. 95-99.

⁸ La cupola, di 55,5 metri di larghezza e 89 metri di lunghezza veniva realizzata dalla ditta Fratelli Lancini. P. Vietti Violi, *Il Palazzo dello Sport alla fiera Campionaria di Milano*, «Ingegneria», 4, 1923, pp. 89-95; G. Guerrieri, *Il Palazzo dell'Automobile e dello Sport in Milano*, «Il Cemento», 9, 1923, pp. 80-85.

⁹ A. Goldstein-Bolocan, *L'edifico della nuova stazione di Milano. Il cantiere dei cementi armati. Un'architettura personale ispirata dallo studio delle masse e dalla volontà grandiosità delle linee*, «Il Cemento Armato», 7, 1931, pp. 73-75.

¹⁰ Nel 1910 era stato depositato anche in Italia il celebre brevetto di Maillart per coperture a lastra piana: brevetto n. 110081, Maillart & C., Zurigo, *Struttura per copertura di locali*, 30 maggio 1910.

¹¹ *Tipi di fabbricati con solai a lastra piana*, «Il Cemento», 7, 1921, pp. 64-66.

¹² Per esempio, sempre a Genova, nei Dockes per cotone della Soc. An. Estrizio Magazzini Moio Vecchio e nella Manifattura Tabacchi di Pola, realizzata dalla Soc. Adriatica di Costruzioni, filiale della Ferrobeton con sede in Trieste. *Il cemento armato in Italia ...* cit., p. 57; *Ferrobeton, Impresa generale di Costruzioni*, Roma 1908-1933, Roma 1933, pp. 71-77. Vedi anche E. Kalman, *Alcune nuove applicazioni dei solai a fungo nelle costruzioni di serbatoi*, «Il Cemento Armato», 12, 1926, pp. 123-129.

¹³ La ditta Pasqualin e Vienna, per esempio, adottava pilastri cerchiati nella ristrutturazione del teatro Malbran a Venezia e nel già citato palazzo dell'Automobile e dello Sport a Milano.

¹⁴ Brevetto n. 153971, E. Luling, M. Baroni, Milano, *Innovazioni nelle strutture delle travi*, 26 aprile 1916.

¹⁵ Il sistema veniva adottato, per esempio, nelle coperture del teatro Odeon e del teatro alla Scala di Milano e nella sede dell'Istituto Nazionale delle Assicurazioni a Brescia. Vedi *Il teatro Odeon in Milano. La balconata ed il solaio reticolare di travi a traliccio*, sopra il teatro, ivi, 1, 1931, pp. 7-12; A. Ferrario, *Le opere in cemento alla prima Mostra Nazionale della Ingegneria*, «L'Industria Italiana del Cemento», 7, 1931, pp. 203-204.

¹⁶ G. Albenga, *Sguardo sintetico all'evoluzione del cemento armato dall'origine ai nostri giorni*, in G. Albenga, G. Colometti, A. Danusso, A. Giannelli, G. Krall, A. Martinelli, *Tecnica del cemento armato*, Roma 1946, p. 12. Per una completa bibliografia degli studi teorici di questo periodo, vedi G. Colometti, E. Giachero, *Ingegneria, Scienza delle Costruzioni*, in *Enciclopedia Scientifica Monografica Italiana del XX Secolo*, serie I, n. 3, Verona 1939.

¹⁷ R.D.L. n. 2229 del 16 novembre 1939, *Norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato* (G.U. n. 92 del 18 aprile 1940).

¹⁸ G. Albenga, *Sguardo sintetico ...* cit., p. 13.

¹⁹ Numerosi erano gli esempi di ponti a travate semplicemente appoggiate o, per luci maggiori, a travate appoggiate equilibrate da sbalzi, come quelle del ponte sul Lambro a Melegnano, realizzato nel 1928 dalla ditta Fratelli Ragazzi. *Un nuovo tipo di ponte in cemento armato*, «Il Monitor Tecnico», 4, 1922, pp. 49-50.

²⁰ Tra i ponti a trave Gerber ricordiamo quello sul fiume Aleuto presso Salerno, realizzato nel 1937 dalla Soc. Costruzioni e Fondazioni di Milano, a cinque campate di cui la centrale, fra gli appoggi, aveva 25 metri di luce (A. Azzi, *Ponte sul fiume Aleuto*, «L'Industria Italiana del Cemento», 1, 1939, pp. 19-26); il ponte sull'Arno a Pisa, realizzato nel 1936 dalla Ferrobeton, a tre campate, di cui la centrale di 52 metri di luce. Per quest'ultimo il rivestimento in pietra da taglio e tutto l'apparato decorativo veniva progettato da Cesare Bazzani, che legava il suo nome alla Ferrobeton in molti progetti architettonici di ponti (*Un nuovo ponte sull'Arno a Pisa*, ivi, 4, 1937, pp. 112-119). Tra i ponti a tre cerniere ricordiamo quelli realizzati nelle colonie dell'Africa Orientale, dove le forti escursioni termiche, che influenzavano anche il ritiro, e la manodopera "raccoltiglia" avrebbero creato non pochi inconvenienti alle strutture iperstatiche. Sulla camionabile Massana-Nefasi-Decamerè, realizzata nel 1935 per favorire lo spostamento delle truppe italiane verso il confine abissino, ben otto ponti di luce superiore ai 25 metri venivano eseguiti secondo lo schema a tre cerniere in soli cinque mesi dalla S.I. Costruzioni e Lavori Pubblici. Le cerniere, progettate e brevettate dall'ingegnere Guido Sassi (brevetto n. 376351, G. Sassi, Asmara, *Cerniere a ferri inflessi per strutture in cemento armato*, 16 marzo 1935) erano denominate "a lunghezza di flessione prestabilita". Formate da ferri incrociati lungo l'asse della cerniera, presentavano la particolarità che un loro tratto era ricoperto da uno spesso strato di vernice bituminosa plastica che permetteva la flessione dei ferri lungo quel tratto e quindi rendeva ben definito il grado di rigidità della cerniera (A. Arcangeli, *I nuovi ponti in cemento armato nella Colonia Eritrea*, ivi, 11, 1935, pp. 334-339). Vista la loro ottima riuscita, le cerniere venivano applicate anche nei quattro ponti realizzati fra il 1936 ed il 1937 sul tratto Axum-Gondar (G. Sassi, *Ponti ad arco nel Semien sulla strada Axum-Gondar*, ivi, 10, 1938, pp. 311-318). La complessa realizzazione di un nodo a cerniera favoriva l'invenzione: il brevetto n. 266568, G. Pasquali, Venezia, *Appoggi a cerniere collegate per travature*, 10 marzo 1928, era particolarmente adatto per ponti a travate indipendenti fondati su terreni cattivi, suscettibili di cedimenti differenziali.

²¹ Soc. An. It. Ferrobeton, *Opere eseguite*, Roma 1954.

²² Il ponte fu eseguito dall'impresa Aurelio Aureli, con la collaborazione architettonica di Vincenzo Fissolo e quella strutturale dell'ingegnere Antonio Martinelli.

²³ La costruzione del ponte, attualmente detto ponte Testaccio, veniva affidata per concorso alla S.A. Finanziaria per Costruzioni di Genova sulla base di progetto di Cesare Pascoletti che prevedeva un arco di 92 metri di luce libera e 7,5 metri di freccia. L'esecuzione avveniva poi in collaborazione con la Ferrobeton, seguendo il progetto strutturale di Giulio Krall (un profilo collaborativo di G. Krall (1901-1971) è riportato a fine testo). L'ipotesi delle tre cerniere veniva quindi abbandonata e il ponte diveniva piuttosto un arco irrigidito da costole e timpani, simile come concezione al ponte Risorgimento. *Opere pubbliche del Regime. I nuovi pon-*

ti "D'Africa" e "S. Paolo" sul Tevere a Roma. *Esito dei recenti concorsi banditi dal Ministero dei Lavori Pubblici*, «Annali dei Lavori Pubblici», 8, 1938, pp. 686-702; G. Krall, *Di un nuovo modo di costruire un arco «tipo Risorgimento» e di una sua applicazione concreta sul Tevere a Roma*, in G. Albenga, G. Colonnetti, A. Danusso, A. Giannelli, G. Krall, A. Martinielli, *Tecnica del ...*, cit., pp. 52-58.

²⁴ Oggi ponte Marconi, veniva affidato all'impresa Domenico Vitali, su progetto firmato da Giuseppe Samonà e dagli ingegneri Otto Carniz e Attilio Arcangelì. Il ponte era lungo 219 metri con travate Gerber a cinque luci, di cui la maggiore di 48 metri. Il ponte del ponte veniva poi molto modificato prima dell'esecuzione, tanto che le campate divenivano sei. Il nuovo ponte di S. Paolo a Roma, «L'Industria Italiana del Cemento», 10, 1940, pp. 257-261; *Quattro concorsi appalto per ponti sul Tevere a Roma*, «Architettura», 2, 1940, pp. 61-94.

²⁵ Il ponte proposto dall'impresa Allegrì era a cinque luci su progetto di Ignazio Guidi e Cesare Valle e la collaborazione dell'ingegnere Carlo Cestelli Guidi. Vedi C. Cestelli Guidi, *Il nuovo ponte sul Tevere alla Magliana*, «L'Industria Italiana del Cemento», 9, 1938, pp. 271-276.

²⁶ Oggi detto ponte Flaminio, non nasceva da un concorso bensì da una proposta di Armando Brasini, che si era offerto di progettare gratuitamente. Era arricchito da un monumentale apparato decorativo che doveva eternare la marcia su Roma e veniva completato solo nel 1951. I calcoli della struttura venivano affidati ad Aristide Giannelli. *Il nuovo ponte XXVIII Ottobre sul Tevere*, ivi, 2, 1941, pp. 33-36.

²⁷ Il progetto era di Rodolfo Stoecker, vincitore del concorso nel quale venivano presentate soluzioni ben più moderne e ardite da Morpurgo, per l'impresa Daniole, e da Riccardo Morandi, per la S.A. Fratelli Giovannetti.

²⁸ Un profilo biografico di Giorgio Baroni (1907-?) è riportato a fine testo.

²⁹ C. Greco, T. Iori, *Le sperimentazioni autarchiche in Italia per le coperture di grande luce. I casi di Eugenio Miozzi e Giorgio Baroni*, relazione presentata al I Convegno Docomomo Italia - Sezione Piemonte "Curare il moderno - I modi della tecnologia", Torino 13-15 luglio 2000 (in corso di pubblicazione).

³⁰ Per approfondimenti sull'argomento vedi C. Greco, *Le prime cupole in cemento armato sottile, in Lo specchio del cielo. Forme significati tecniche e funzioni della cupola dal Pantheon al Novecento*, a cura di C. Conforti, Milano 1997, pp. 293-301.

³¹ G. Albenga, *Seguendo sintetico ...*, cit., p. 12.

³² Brevetto n. 346696, G. Baroni, Milano, *Copertura in cemento armato e relativo procedimento di fabbricazione*, 23 novembre 1936.

³³ Vedi S. Poretti, *Il modo di costruire: un filo di continuità nell'architettura italiana del Novecento*, in *Architettura moderna in Italia. Documentazione e conservazione*, a cura di M. Casciato, S. Mornati, S. Poretti, Roma 1999, pp. 121-126.

³⁴ Un concorso per il palazzo del Littorio, «Quadrante», 16-17, 1934, pp. 18-22. Danusso partecipa al concorso insieme a G.L. Banfi, L. Belgiojoso, L. Figini, E. Peressutti, G. Pollini, E.N. Rogers.

³⁵ Un profilo biografico di Pier Luigi Nervi (1891-1979) è riportato a fine testo.

³⁶ P.L. Nervi, *Scienza o arte del costruire? Caratteristiche e possibilità del cemento armato*, Roma 1945.

³⁷ C. Greco, *Pier Luigi Nervi nella tradizione delle strutture sottili in cemento armato*, «Rassegna di Architettura e Urbanistica», 84-85, 1994-95, pp. 85-97.

³⁸ P.L. Nervi, *Scienza o arte ...*, cit., p. 91. Le citazioni che seguono sono tratte da questo stesso testo.

³⁹ Brevetto n. 406296, P.L. Nervi, Roma, *Perfezionamento nella costruzione di solerte, lastre e altre strutture cementizie armate*, 15 aprile 1943.

⁴⁰ C. Greco, *The ferrocement experimental storehouse by P.L. Nervi, Rome 1945*, in *Conference Proceedings of Third International DOCOMO Conference, September 16th-19th, 1994*, Barcellona 1994; C. Greco, *Pier Luigi Nervi e il ferro-cemento*, «Domus», 766, 1994, pp. 80-83.

⁴¹ Un profilo biografico di Gustavo Colonnetti (1886-1968) è riportato a fine testo.

⁴² G. Colonnetti, *Problemi nuovi e nuovi orientamenti*, «Il Cemento Armato», 2, 1939, p. 22.

⁴³ G. Colonnetti, *Calcolare meglio*, ivi, 4, 1938, p. 61.

⁴⁴ G. Colonnetti, *Teoria e calcolo delle travi con armature preventivamente tese*, «Pontificia Accademia Scientiarum. Acta», IV, 2, 1939.

⁴⁵ La finalità costruttiva era quella di semplificare il montaggio: si rivelava infatti inutile realizzare un collegamento fra le diagonali e i montanti, essendo sufficiente il solo appoggio a contrasto. C. Guidi, *Lezioni sulla scienza delle costruzioni. Parte IV Teoria dei ponti*, Torino 1928, p. 190.

⁴⁶ A.M. Zorngo, *La materia e il costruito*, Firenze 1988, pp. 139-161.

⁴⁷ C. Cestelli Guidi, *Il conglomerato precompresso. Teoria - esperienze - applicazioni*, Roma 1947, p. 11.

⁴⁸ Chaudy suggeriva anche un'interessante serie di calcoli per calibrare la tensione iniziale del tirante, al fine di annullare le trazioni indotte nel calcestruzzo dai carichi di esercizio. F. Chaudy, *Sur le calcul des plaques élastiques minces et le rôle des tirants dans les poutres en ciment armées*, «Mémoires et Comptes Rendus des Travaux de la Société des Ingénieurs Civils», 2, 1894, pp. 545-550.

⁴⁹ C. Cestelli Guidi, *Il conglomerato ...*, cit., p. 11.

⁵⁰ Brevetto n. 166844, E. Mezzetti, Milano, *Innovazione nei sistemi di armatura del cemento*, 20 maggio 1918.

⁵¹ *Sull'introduzione di deformazioni elastiche sistematiche nelle costruzioni di conglomerato cementizio armato*, «Annali dei Lavori Pubblici», 11, 1928, p. 1033.

⁵² E. Miozzi, *Novi metodi nella esecuzione delle volte. Le deformazioni sistematiche*, ivi, 9, 1930, pp. 781-804. In seguito Miozzi proporrà un proprio metodo, detto delle "lesioni sistematiche".

⁵³ Brevetto francese n. 680547, E. Freyssinet, J. Séailles, *Procédé de fabrication de pièces en béton armé*, 2 ottobre 1928, brevetto italiano n. 283075, E. Freyssinet, J. Séailles, Neuilly, Parigi, *Processo di fabbricazione di pezzi in cemento armato*, 1 ottobre 1929.

⁵⁴ Il progetto del ponte era di Emil Mörsch che, in qualità di direttore tecnico della Ways & Freytag, curava anche tutte le fasi sperimentali.

⁵⁵ Il calcestruzzo veniva gettato in casseforme lunghe anche 100 metri, semplicemente disassemblate da doppie pareti riempite di sabbia: a maturazione avvenuta la sabbia veniva rimossa e i fili già tesi entro la cassaforma prima del getto, venivano tagliati. Lo scorrimento fra file e calcestruzzo era impedito dall'aderenza. E. Hoyer, *Der Stahlbetonbau*, Berlino 1939.

⁵⁶ Brevetto n. 314685, Soc. An. Guido Vianini & C., Roma, *Macchina per fabbricare corpi cavi di materiale cementizio, fibroso o no, per rivestire tubi metallici con materiali plastici e per armare corpi cavi con armature metalliche in tensione*, 6 giugno 1933.

⁵⁷ Brevetto n. 375161, Società Cementi Armati Centrifugati SCAC, Trento, *Perfezionamenti nella costruzione di manufatti in cemento armato centrifugato con armatura sottoposta a tensione preventiva*, 19 giugno 1939.

⁵⁸ A. Danusso, *Le autotensioni. Spunti teorici ed applicazioni pratiche*, «Rendiconti del seminario matematico e fisico di Milano», VIII, Milano 1934, pp. 217-246.

⁵⁹ Hémébius "insegna a disegnare le arcate sottili in chiave e presidiare alle reni e alle imposte da strutture cellulari sovrapposte alla volta, e consigliava di ammettere da una parte che la sottigliezza della chiave, dando respiro e facilità di adattamento alla struttura, tendesse a centrarvi lo sforzo; e dall'altra che la soprastruttura d'imposta, tesa dal momento flettente d'incastro, riducesse il proprio compito alla reazione dei ferri, capaci anch'essi di adattarsi a questo nuovo ruolo utile alla stabilità. Così il progettista procedeva per tentativi alla ricerca di quella fra le curve funcolari dei carichi che meglio si conciliasse colla stabilità, e l'accettabilità, badando però che il ferro abbondasse là dove si prevedeva più notevole l'adattamento plastico; e che l'occhio avesse la sua parte nel disegno finale tanto delle forme esteriori quanto delle armature metalliche. Scegliere fra le infinite curve funcolari quella che si ritenesse accettabile, voleva dire inserirsi nella classe delle configurazioni equilibrate e scegliere fra esse la configurazione risolvibile, ossia, nella pratica del calcolo, ritenersi autorizzati a fis-

sare, col proprio buon criterio, i valori delle reazioni iperstatiche, pensando che a rendere la soluzione possibile provveda la natura mediante l'adattabilità plastica". Ivi, pp. 242-243.

⁶⁰ Brevetto n. 383586, G. Colonnetti, Torino, *Trave armata ad armatura preventivamente tesa*, 12 dicembre 1939. Subito dopo presentava il brevetto n. 380692, G. Colonnetti, Torino, *Procedimento per la messa in tensione delle armature nelle strutture in conglomerato cementizio*, 5 gennaio 1940. Vedi anche G. Colonnetti, *Di un nuovo procedimento per la messa in tensione delle armature nelle strutture in cemento armato*, «Rivista Accademia Scientiarum. Acta», IV, 8, 1940, pp. 61-67.

⁶¹ Un anno dopo Colonnetti presentava un sistema per realizzare in modo semplice la messa in tensione e l'ancoraggio in testata dei cavi: brevetto n. 389946, G. Colonnetti, Torino, *Dispositivo per la messa in tensione e l'ancoraggio delle armature nelle strutture in conglomerato cementizio*, 3 marzo 1941.

⁶² G. Guzzoni, *Acciai autarchici*, «L'Ingegnere», 8, 1942, pp. 793-799.

⁶³ Brevetto n. 384672, L. Magistretti, Milano, *Struttura di calcestruzzo di cemento, armata e precompressa mediante barre di acciaio non ancorate*, 7 marzo 1940.

⁶⁴ Brevetto n. 397822, A. De Fanti, Milano, *Procedimento ed apparecchiatura per mettere in tensione l'armatura e per comprimere e costipare il conglomerato negli elementi cementizi e simili durante il loro indurimento e prodotti ottenuti con tale procedimento*, 3 marzo 1942.

⁶⁵ Brevetto n. 402837, F. Mattiazzo, Milano, *Struttura in calcestruzzo di cemento armato provvista di armatura metallica preventivamente tesa*, 2 aprile 1942. Mattiazzo allegnerà come referenza per la sua invenzione un certificato di prova statica eseguita su un elemento di solaio costruito secondo il suo sistema, rilasciato dall'Istituto di Costruzioni e Ponti del Politecnico di Milano il 20 aprile 1942. Nel laboratorio - dove Mattiazzo era assistente - era stato realizzato un apposito impianto per valutare l'applicabilità dell'invenzione.

⁶⁶ Nel 1941 veniva fondata a Torino la SACAP, Società Anonima Cemento Armato Precompresso, voluta dall'ingegnere Giovanni Agnelli per favorire lo sviluppo del sistema. Prima della guerra realizzava però solo una succinta pubblicazione, con lo scopo di far conoscere ai tecnici la nascente società, *Cemento armato precompresso*, Torino 1941.

⁶⁷ Brevetto n. 403479, E. Hoyer, Berlino, *Procedimento per l'ancoraggio di fili d'armatura preventivamente tesi per la fabbricazione di strutture di cemento armato*, 12 settembre 1942. Questo sarà seguito dal brevetto n. 405025 del 19 dicembre 1942 e dal brevetto n. 404233 del 22 dicembre 1942.

⁶⁸ Alcune di queste travi venivano prese già nel 1943 da Cestelli Guidi per prove di carico che avranno inizio in realtà solo nel novembre 1945 e si protrarranno per alcuni anni. Vedi C. Cestelli Guidi, *Il conglomerato ...*, cit., pp. 102-117. Lo stabilimento di Montereale veniva requisito durante la guerra e dereguito per interessamento di Colonnetti il 15 aprile 1945; le difficoltà burocratiche nel farsi assegnare dalla Commissione Alleata il cemento speciale prodotto a Civitavecchia faranno slittare di molti mesi la produzione delle travi precomprese. ACS, fondo PCM - CNR, b. 232.

⁶⁹ Solo nel 1947 sarebbe entrato in vigore il decreto legge che regolava l'impiego delle strutture in calcestruzzo precompresso (D.L. n. 1516 del 20 ottobre 1947).

⁷⁰ Un profilo biografico di Riccardo Morandi (1902-1989) è riportato a fine testo.

⁷¹ Brevetto n. 411311, R. Morandi, Roma, *Procedimento e dispositivo per la realizzazione di travi di cemento armato precompresso*, 17 febbraio 1944.

Biografie

Vengono riportate brevi note biografiche di alcuni tra gli ingegneri italiani che hanno avuto un ruolo significativo nell'affermazione del cemento armato nel periodo considerato.

Giuseppe Albenga (1882-1957)

Nasce ad Incisa Scapaccino (Alessandria) il 9 giugno 1882. Si laurea in ingegneria civile e dal 1914 insegna Costruzioni Stradali e Ferroviarie a Bologna e dal 1915 al 1918 a Pisa. Dal 1919 al 1928 insegna Scienza delle Costruzioni a Bologna; nel 1929 Ponti e Tecnica delle Costruzioni a Torino, dove fino al 1932 è anche direttore della Scuola di Ingegneria. Partecipamente importanti i suoi scritti sulla storia e sull'evoluzione del cemento armato, oltre alle sue trattazioni sui ponti. Tra i suoi allievi Luigi Stabellini e Odone Belluzzi. Muore a Torino il 19 gennaio 1957.

Giorgio Baroni (1907-?)

Nasce il 16 aprile 1907 a Milano. Si laurea in ingegneria all'Istituto Superiore di Ingegneria di Torino e nel 1930 si abilita alla professione. Lavora come libero professionista a Milano ma, finita la guerra, dopo un breve periodo di permanenza a Roma, si trasferisce negli Stati Uniti, dove insegna alla New York University e collabora, nel campo delle strutture sottili, con la Roberts & Schaefer diretta da Anton Tedesco.

Odone Belluzzi (1892-1956)

Nasce il 1° febbraio 1892 a Bologna, dove si laurea in ingegneria civile nel 1921. Nel 1927 consegue la libera docenza in Scienza delle Costruzioni e viene incaricato del corso a Bologna, succedendo ad Albenga. Importanti i suoi studi sulle linee di influenza, sui telai e sugli archi elastici molto ribassati ma ancor più quelli sulle volte, sulle cupole e sulle membrane. Nel 1931 vince la cattedra continuando ad insegnare a Bologna fino alla morte, avvenuta il 24 agosto 1956.

Silvio Canevazzi (1852-1918)

Nasce a Saliceto San Giuliano (Modena) il 16 marzo 1852 e si laurea a Milano in ingegneria civile nel 1873. Tra il 1873 ed il 1875 è assistente alla cattedra di Meccanica Applicata alle Costruzioni, tenuta a Roma da Cesare Ceradini. Diventa ingegnere del Corpo Reale delle miniere e inviato a Liegi a conseguire il diploma di ingegneria mineraria; nel 1877, su invito di Cesare Razzaboni, ottiene l'incarico di Meccanica Applicata alle Costruzioni presso la Scuola di Applicazione per Ingegneri di Bologna, corso che tiene fino alla morte. Dal 1880 è ordinario di Ponti e Costruzioni Idrauliche e nel 1911 diviene direttore della scuola, presso cui aveva istituito un laboratorio sperimentale sulla resistenza dei materiali. Fra i primi in Italia ad introdurre lo studio del cemento armato nei corsi universitari, ha dato un importante contributo alle ricerche sul materiale. Socio dell'Associazione italiana per gli studi sui materiali da costruzione fin dalle prime riunioni, è membro della commissione incaricata di redigere il primo regolamento sulle costruzioni in cemento armato del 1906 e membro della commissione nominata per lo studio delle costruzioni antisismiche a seguito del terremoto di Messina del 1908. Importanti le sue ricerche sul comportamento statico dello scheletro umano, condotte in collaborazione con l'Istituto Ortopedico Rizzoli di Bologna. Muore a Bologna il 13 marzo 1918.

Crescentino Caveglia (1844-1922)

Nasce a Torino il 1° giugno 1844 ed entra a diciassette anni nell'Accademia Militare. Nel 1867 si laurea in ingegneria presso la Scuola di Applicazione di Torino. Dedicatosi a molteplici attività nel campo delle costruzioni militari, corona la sua carriera nel 1906 divenendo ispettore

generale del Genio. Svolge una fondamentale attività per introdurre l'impiego del cemento armato nelle costruzioni militari. Di lui si conoscono importanti pubblicazioni teoriche a partire dal 1899 ed alcuni brevetti per costruzioni in cemento armato. Nel 1908 si ritira dal servizio per problemi di salute. Muore a Castigandolfo (Roma) il 1° settembre 1922.

Cesare Ceradini (1844-1935)

Nasce il 17 marzo 1844 a Milano, dove si laurea in ingegneria civile nel 1867. Dallo stesso anno è professore straordinario di Costruzioni Civili, Stradali e Idrauliche a Padova. Nel 1873 Luigi Cremona lo chiama a Roma come professore straordinario di Statica delle Costruzioni e come incaricato di Costruzioni Stradali. Nel 1875 diviene professore ordinario di Meccanica Applicata alle Costruzioni presso la cui cattedra nel 1882 realizza un laboratorio di prove. Nel 1909 diviene direttore della Scuola, carica che mantiene fino al 1922, quando abbandona per limiti d'età. Tra i suoi allievi Camillo Guidi, Silvio Canevazzi e Aristide Giannelli. Muore a Roma il 22 novembre 1935.

Gaetano Cioeca (1882-1966)

Nasce a Garlasco (Pavia) il 27 giugno 1882. Si laurea a Torino nel 1904 in ingegneria industriale. Lavora come professionista nel settore dell'edilizia economica, sperimentando soluzioni originali nel campo della prefabbricazione. Dopo un periodo in Russia, dove si reca per dirigere l'impianto di uno stabilimento meccanico per conto della FIAT, pubblica nel 1933 il libro *Giudizio sul Bolscevismo* e, nel 1936, *Economia di Massa*. Sviluppa l'idea di teatro di massa promossa da Mussolini. Molto apprezzato da Pier Maria Bardi, collabora con i BBPR in alcuni concorsi di architettura. Tra i suoi progetti più interessanti, la "strada guidata", prototipo della moderna monorotaia. Muore a Garlasco il 31 ottobre 1966.

Gustavo Colonnetti (1886-1968)

Nasce l'8 novembre 1886 a Torino, dove si laurea in ingegneria nel 1908. Nel 1910 consegue la libera docenza in Scienza delle Costruzioni. Laureatosi anche in matematica, nel 1911 è professore straordinario di Meccanica Applicata alle Costruzioni e alle Macchine alla Scuola Superiore Navale di Genova, succedendo a Modesto Panetti. Nel 1915 ottiene la cattedra di Pisa, della cui Scuola di Applicazione diviene direttore nel 1918. Nel 1920 è professore ordinario di Meccanica Razionale e Superiore a Torino, del cui Politecnico è direttore dal 1922 al 1925. Nella stessa università, dal 1928, è ordinario di Scienza delle Costruzioni, succedendo a Camillo Guidi. Dal 1936 è Accademico Pontificio e direttore del centro studi sui materiali da costruzioni, organo del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Si devono a lui la scoperta del secondo principio di reciprocità e la messa a punto di una teoria generale delle coazioni elastiche, sulla quale ha fondato una nuova teoria dell'equilibrio elasto-plastico. Da sempre avversò al fascismo, nel 1943 si trasferisce clandestinamente in Svizzera dove organizza corsi speciali per gli studenti italiani rifugiati. Rientrato in Italia, viene nominato presidente del CNR, carica che mantiene fino al 1956. Sono di lui note ben 525 pubblicazioni. Muore a Torino il 20 marzo 1968.

Arturo Danusso (1880-1968)

Nasce a Priocca (Cuneo) il 9 settembre 1880. Si laurea in ingegneria civile nel 1902 a Torino. Dopo un breve soggiorno in Germania e due anni di lavoro presso le Ferrovie Meridionali, ritorna a Torino per lavorare nella società Porcheddu. Nel 1907 progetta il ponte di Calvens sul l'Asicò, ad arco ribassato, che, per arditezza, anticipa il ponte Risorgimento di François Hennebique. Nel 1908 ottiene il premio più alto al concorso internazionale per le costruzioni antisismiche con un importante lavoro sulla dinamica delle strutture. Nel 1912 breveta il telaio laterocentrico Duplex a doppia ordinata. Nel 1915 ottiene la cattedra di Meccanica delle Costruzioni presso l'Istituto Superiore di Ingegneria di Milano. Collabora professionalmente con le più importanti imprese di costruzioni italiane ed è contemporaneamente sempre in prima linea nei dibattiti scientifici. Partecipa anche a diversi concorsi di architettura collaborando con

architetti razionalisti. Nel 1936, con una sua teoria delle autotensioni, stimola le ricerche teoriche sull'equilibrio elasto-plastico. Convinto sostenitore della difficoltà di elaborare una teoria di calcolo esatta sul cemento armato, si fa promotore di un laboratorio per lo studio della statica e dinamica delle strutture complesse su modelli, prima all'interno del Politecnico di Milano, quindi a Bergamo, presso l'Istituto Sperimentale Modelli e Strutture da lui fondato nel 1951. Tra il 1955 e il 1959 collabora con Pier Luigi Nervi nello studio statico e dinamico del modello in scala del grattacielo Pirelli, una fra le molte opere italiane che si sono avvalse delle sue ricerche sperimentali. Muore a Milano il 5 dicembre 1968.

Domenico De Simone (1876-?)

Nasce a Napoli il 12 febbraio 1876. Laureatosi in ingegneria nel 1899, nominato ingegnere del Genio Civile nel 1900, viene inviato in Sardegna dove redige numerosi progetti di bonifica. Lavora nel 1906 in Campania dopo l'eruzione del Vesuvio, nel 1910 dopo il nubifragio all'isola d'Ischia, a Reggio Calabria, per 12 anni, dopo il terremoto del 1908. Ingegnere capo del Genio Civile dal 1917, diviene Provveditore alle Opere Pubbliche in Sardegna nel 1925 e in Puglia nel 1930. Dal 1931 è presidente di sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Nel gennaio 1941 diviene presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ma nel giugno dello stesso anno lascia l'incarico per limiti di età.

Daniele Donghi (1861-1938)

Nasce a Milano nel 1861. Si laurea in ingegneria a Torino nel 1883 e lavora presso l'ufficio comunale dei Lavori Pubblici di Torino fino al 1896, quando vince il concorso di ingegnere capo del comune di Padova. Nel 1900 torna a Milano dove dirige la sede milanese dell'impresta Porcheddu. Nel 1904 vince il concorso di ingegnere capo del comune di Venezia e si occupa, come primo incarico, della ricostruzione del campanile di piazza San Marco, crollato il 14 luglio 1902 e realizzato con struttura in cemento armato. Si occupa di costruzioni asismiche in seguito al terremoto di Messina del 1906. Nel 1907 consegue la libera docenza in Architettura Tecnica al Politecnico di Milano. Nel 1908 è incaricato della stessa materia a Padova dove, nel 1910, vince la cattedra, che mantiene fino al 1935. La sua principale opera è il *Manuale dell'architetto*, la cui prima edizione risale al 1905. Muore a Padova il 28 settembre 1938.

Aristide Giannelli (1888-1970)

Nasce a La Spezia l'8 aprile 1888. Si laurea a Roma e diviene subito assistente di Cesare Ceradini. Nel 1921 ottiene la cattedra di Ponti a Roma e nel 1936 quella di Scienza delle Costruzioni. Dal 1939 al 1947 è preside della facoltà di Ingegneria. Come professionista collabora con molte imprese nel calcolo delle strutture di edifici pubblici e di ponti. Muore a Roma il 1° ottobre 1970.

Camillo Guidi (1853-1941)

Nasce il 24 luglio 1853 a Roma, dove si laurea in ingegneria nel 1877 e diventa assistente presso la cattedra di Statica Grafica, tenuta da Cesare Ceradini, fino al 1881, anno in cui viene nominato professore della stessa materia nella Scuola di Ingegneria di Torino. Dal 1887 al 1928 è ordinario di Statica Grafica e di Scienza delle Costruzioni e direttore dell'annesso laboratorio sperimentale dei materiali da costruzione. I suoi testi *Lezioni di Statica grafica*, Torino 1885, e *Lezioni sulla Scienza delle Costruzioni*, Torino 1891, hanno formato più generazioni di studenti. Le sue conferenze sul cemento armato del maggio 1900 sono considerate il primo riconoscimento del materiale da parte del mondo accademico italiano. Alla sua scuola si formano Modesto Panetti, Arturo Danusso e Gustavo Colonnetti, solo per citare i più autorevoli. Membro della commissione nazionale per il regolamento sulle costruzioni in cemento armato, che formula la normativa del 1906, per più di venticinque anni è presidente dell'Associazione italiana per gli studi sui materiali da costruzione (SIM). È socio dell'Accademia delle Scienze di Torino, socio corrispondente dell'Accademia dei Lincei, membro della Società dei XL. Dal 1929 è Accademico d'Italia. Muore a Roma il 30 ottobre 1941.

Federico Antonio Jorini (1853-1931)

Nasce il 2 novembre 1853 a Milano, dove si laurea in ingegneria civile nel 1876. Qui insegna per molti anni Costruzione di Ponti e Opere Marittime. Dedicata ai ponti è anche la sua più importante pubblicazione: *Teoria e pratica delle costruzioni dei ponti*, Milano 1905. È direttore, per il primo anno di attività, della Scuola di Specializzazione per le costruzioni in cemento armato "Fondazione Fratelli Pesenti". Muore a Milano il 27 maggio 1931.

Giulio Krall (1901-1971)

Nasce a Trieste il 26 luglio 1901. Si laurea in matematica e insegna Analisi Matematica e Scienza delle Costruzioni, insegnamento di cui diviene titolare nel 1932 a Napoli presso l'Istituto Superiore di Architettura. Nel 1940 è professore di Alta Analisi a Roma, presso l'Istituto di Alta Matematica. Fin dagli anni trenta è legato professionalmente alla Ferrobeton, di cui diviene direttore tecnico fino agli anni sessanta. La sua vasta attività professionale - molti di gli importanti ponti ma anche le strutture sottili che, fra i primi, introduce in Italia - si combina con le sue ricerche teoriche sulle vibrazioni, sulla statica delle strutture sottili e sulle volte autoportanti. Socio dell'Accademia delle Scienze di Torino dal 1937 e membro della Società dei XL per le scienze matematiche, muore il 29 agosto 1971.

Achille Manfredini (1869-1920)

Nasce a Catanzaro da famiglia milanese il 13 maggio 1869. Si laurea in ingegneria civile a Milano nel 1891 e ivi lavora come professionista e come collaboratore di imprese di costruzioni. Nel 1894 fonda la rivista «Il Monitor Tecnico» che dirige fino alla morte, avvenuta ai primi di marzo del 1920.

Giacomo Matte-Trucco (1869-1934)

Nasce a Treviso in Francia il 15 maggio 1869, si laurea in ingegneria meccanica a Torino nel 1893. Appena laureato entra nelle Officine Meccaniche Michele Ansaldo che, nel 1906, vengono assorbiti dalla FIAT. Viene assunto dalla FIAT come direttore del reparto officine meccaniche e fonderie, incarico che ricopre fino al 1913 dedicandosi soprattutto allo studio dei motori Diesel. Lasciata la direzione, abbandona l'ingegneria meccanica per rivolgere la sua attività alle costruzioni industriali. Progetta numerosi stabilimenti (di lui si ricordano le officine del Lingotto a Torino) e alcune autorimesse. La sua ultima opera è la centrale idroelettrica delle Officine di Villar Perosa sul torrente Chisone, conclusa nel 1928. Muore dopo lunga malattia il 15 maggio 1934.

Eugenio Miozzi (1889-1979)

Nasce a Brescia il 16 settembre 1889 e si laurea in ingegneria civile nel 1912 presso la Scuola di Applicazione di Bologna. Entra nello stesso anno nel Genio Civile. Inviato per un breve periodo in Libia, dopo la guerra prende servizio a Belluno dove progetta e ricostruisce molti dei ponti distrutti durante il conflitto. Alla fine del 1926, promosso ingegnere capo, passa a dirigere l'ufficio di Bolzano. Durante questo periodo elabora le sue teorie sulla revisione dei metodi di tracciamento dell'asse dei ponti e quelle sulle deformazioni e sulle lesioni sistematiche. Nel 1931 lascia il Genio Civile e diviene ingegnere capo presso la Direzione Lavori e Servizi Pubblici di Venezia. A partire dal 1937 sperimenta volte e solai antiradicali laterocementizi senza ferro da lui stesso brevettati. Dopo la guerra continua la sua attività nell'amministrazione pubblica dando importanti contributi allo sviluppo urbanistico della città. Muore a Venezia il 10 aprile 1979.

Riccardo Morandi (1902-1989)

Nasce il 1° settembre 1902 a Roma, dove si laurea in ingegneria nel 1927. Lavora in collaborazione con imprese di costruzioni come progettista di strutture, soprattutto per abitazioni, chiese e sale cinematografiche, nelle quali sperimenta soluzioni ardite ed originali. A ridosso della guerra si avvicina alle ricerche sulla precompressione e deposita il suo primo brevetto nel 1944. Il perfezionamento e l'applicazione dei suoi sistemi di precompressione lo portano nel dopoguerra alla fama

internazionale. È professore di Ponti alla facoltà di Architettura di Firenze (1959-69) e poi alla facoltà di Ingegneria di Roma (1969-72). Muore a Roma il 25 dicembre 1989.

Artilio Muggia (1861-1936)

Nasce a Venezia il 2 aprile 1861. Si laurea nel 1885 presso la Scuola di Applicazione per Ingegneri di Bologna e nel 1895 è già concessionario del brevetto Hennebique, di cui ben presto diviene agente generale per l'Emilia, la Romagna, le Marche e la Toscana, con un proprio ufficio di progettazione. Attivo professionista, realizza in particolare alcuni importanti ponti già all'inizio del secolo. Concilia la sua intensa attività professionale con la parallela carriera universitaria. Dal 1891 insegna Architettura Tecnica presso la Scuola di Bologna, ottiene la cattedra nel 1912 e dal 1923 al 1927 è direttore della scuola. Socio attivo dell'Associazione italiana per gli studi sui materiali da costruzione, fa parte della commissione nazionale per il regolamento sulle costruzioni in cemento armato che formula la normativa del 1906 e diviene presidente della commissione che affronta le revisioni delle prescrizioni, da quelle del 1925 a quelle del 1933. È vicepresidente della Federazione Ingegneri Italiani dal 1922 al 1926. Muore a Bologna nel 1936.

Cesare Nava (1861-1933)

Nasce a Milano, dove si laurea in ingegneria civile nel 1884. Lavora come professionista e, insieme a Luigi Broggi, progetta, tra l'altro, il quartiere Lombardo per la città di Messina devastata dal terremoto. Diventato deputato, con un suo progetto di legge vengono istituite nel 1919 le Scuole Superiori di Architettura. Nel 1921 è senatore. Muore nel 1933.

Pier Luigi Nervi (1891-1979)

Nasce a Sondrio il 21 giugno 1891. Si laurea nel 1913 in ingegneria civile alla Scuola di Applicazione per Ingegneri di Bologna. Lavora per la Società Anonima Costruzioni Cementizie a Bologna e a Firenze. Nel 1923 fonda a Roma la Società Ing. Nervi e Nebbiosi, poi, nel 1932, la Società Ingg. Nervi e Bartoli. Figura di spicco nella storia dell'ingegneria civile, realizza prima della guerra numerose strutture fra le quali spiccano lo stadio Berta di Firenze (1929-32) e due serie di aviorimesse ad Orvieto (1935) e ad Orbetello (1939-42). Durante la guerra avvia la sperimentazione sul ferrocemento, depositando nel 1944 il primo di una lunga serie di brevetti. Nel dopoguerra raggiunge fama internazionale grazie alle costruzioni progettate ed eseguite proprio sviluppando la tecnica del ferrocemento. Muore a Roma il 9 gennaio 1979.

Modesto Panetti (1875-1957)

Nasce ad Acquaviva delle Fonti (Bari) il 9 febbraio 1875. Si laurea in ingegneria civile a Torino nel 1896, dove rimane come assistente di Camillo Guidi. Dopo essersi laureato in matematica, si trasferisce al Politecnico di Zurigo. Nel 1902 diviene professore di Meccanica Applicata alle Costruzioni ed alle Macchine nella Scuola d'Ingegneria Navale di Genova, dove crea il laboratorio di resistenza dei materiali. È membro della commissione nominata per lo studio delle costruzioni asismiche a seguito del terremoto di Messina. Nel 1909 è professore di Meccanica Applicata alle Macchine a Torino, dove fonda anche la scuola di perfezionamento nelle costruzioni aeronautiche. Socio attivo dell'Associazione italiana per gli studi sui materiali da costruzione, socio dell'Accademia delle Scienze di Torino, socio corrispondente dell'Accademia dei Lincei, socio dell'Accademia Pontificia, muore a Torino il 4 febbraio 1957.

Carlo Parvopassu (1881-?)

Nasce a Napoli il 13 gennaio 1881. Si laurea in ingegneria civile. Nel 1914 è professore di Meccanica Applicata alle Costruzioni ed alle Macchine a Padova e, dal 1925 al 1929, è direttore della Scuola di Applicazione per Ingegneri. Dal 1943 al 1945 è preside della facoltà di Ingegneria. Studia il comportamento delle strutture in cemento armato e le proprietà dei materiali, pubblicando alcune monografie di carattere didattico. È socio attivo dell'Associazione italiana per gli studi sui materiali da costruzione.

Antonio Pesenti (1880-?)

Figlio di Luigi (1857-1911) e nipote di Cesare, nasce ad Alzano Lombardo il 16 giugno 1880. Nel marzo del 1933 diviene presidente della Italcementi. Deputato al Parlamento per la XX-VII e XXIX legislatura, presidente della Federazione Nazionale Fascista dei Produttori di Cemento, Calce e Gesso, è membro del Consiglio delle Corporazioni e presidente del Banco di Roma dal 1935 al 1940.

Cesare Pesenti (1860-1933)

Nasce il 9 marzo 1860 e si laurea in ingegneria meccanica ad Aquisgrana nel 1883. Individua nel bergamasco le marne adatte alla produzione del cemento Portland e ne inizia lo sfruttamento. Estende così l'attività della ditta di famiglia, la Fratelli Pesenti fu Antonio, che già dal 1877 produceva agglomeranti idraulici. Nel 1906 la ditta si associa alla Società Italiana dei Cementi, dando via alla Italcementi. Nel 1928 fonda la Scuola di specializzazione per le costruzioni in cemento armato "Fondazione Fratelli Pesenti". Muore il 24 novembre 1933.

Giovanni Antonio Porcheddu (1860-1937)

Nasce a Ittiri (Sassari) il 26 giugno 1860. Nel 1890 si laurea in ingegneria civile alla Scuola di Applicazione di Torino e nel 1892 ottiene il diploma di ingegnere industriale. Nel 1894 è già concessionario del brevetto Hennélique. Due anni dopo diviene agente generale per l'Alta Italia e nel 1898 ottiene autonomia di calcolo e di progetto, rispetto alla casa madre, per la maggior parte delle opere. La sua impresa, la Soc. Porcheddu ing. G.A., la più rilevante in Italia per le costruzioni in cemento armato nei primi decenni del Novecento, rimane in attività fino al 1933, allorché viene messa in liquidazione. Muore a Torino il 17 ottobre 1937.

Giulio Revere (1875-1933)

Nasce a Mantova il 28 giugno 1875. Laureatosi in ingegneria civile, è prima assistente alla cattedra di Scienza delle Costruzioni a Milano, poi docente di Costruzioni Civili, quindi incaricato di Materiali da Costruzione e del corso di Cementi e Calcestruzzi alla Scuola di specializzazione per le costruzioni in cemento armato "Fondazione Fratelli Pesenti". Dal 1915 alla morte è vicedirettore del laboratorio per le prove sui materiali del Politecnico di Milano. È socio attivo dell'Associazione italiana per gli studi sui materiali da costruzione, membro della commissione per il regolamento sulle costruzioni in cemento armato, redattore della rivista «Il Cemento». Muore il 18 marzo 1933.

Luigi Santarella (1886-1935)

Nasce a Corato (Bari) il 12 settembre 1886. Insegna Analisi e Costruzione di Ponti al Politecnico di Milano. Noto nel campo della divulgazione del cemento armato, pubblica il più diffuso manuale italiano sul materiale: Il cemento armato nelle costruzioni civili e industriali; il testo, la cui prima edizione risale al 1926, conosce numerose riedizioni, anche molto dopo la sua morte. È il principale promotore della Scuola di specializzazione per le costruzioni in cemento armato "Fondazione Fratelli Pesenti". Muore a Milano l'8 settembre 1935.

Giulio Stabellini (1853-1913)

Nasce a Lodi nel 1853 e si laurea in ingegneria civile a Milano nel 1875. Nello stesso anno è professore straordinario di Costruzioni Stradali e Ferroviarie a Bologna e due anni dopo professore ordinario a Torino. Richiamato nello stesso anno a Bologna, insegnerà Costruzioni Stradali e Ferroviarie fino alla morte, ivi avvenuta il 7 aprile 1913.

Luigi Stabellini (1896-?)

Figlio di Giulio, nasce a Bologna il 25 gennaio 1896. Laureato in ingegneria civile, già prima del 1936 è professore ordinario di Costruzioni in legno, ferro, cemento armato a Padova e professore incaricato di Costruzione di Ponti. Quindi diviene ordinario di Costruzioni in legno, ferro e cemento armato a Milano e incaricato di Costruzioni Stradali e Ferroviarie a Padova.

Negli anni sessanta diventa direttore della Scuola di specializzazione per le costruzioni in cemento armato "Fondazione Fratelli Pesenti".

Giuseppe Vacchelli (1864-1918)

Nasce a Cremona il 22 aprile 1864. Laureatosi nel 1885 in ingegneria civile alla Scuola di Applicazione per Ingegneri di Roma, diviene assistente di Cesare Ceradini alla cattedra di Meccanica Applicata alle Costruzioni. Lasciata la scuola, lavora professionalmente presso varie ditte costruttrici, fra le quali la Odorico con la quale realizza importanti ponti. Con il bagaglio di esperienza così acquisito, scrive nel 1899 il primo manuale italiano sul cemento armato: Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato, Milano 1900. Nel 1905 viene chiamato a ricoprire la carica di direttore generale della Società Generale Immobiliare. Diviene il promotore della costituzione della Società Anonima Romana Cemento Armato, della quale è presidente fino alla morte, avvenuta a Roma nell'agosto del 1918.

Bibliografia

La seguente bibliografia è stata ordinata per argomenti. Per ciascun argomento, l'elenco è stato compilato in ordine cronologico.

STUDI GENERALI SULLEVOLUZIONE DEL CEMENTO ARMATO

- *Il cemento armato in Italia - Suo sviluppo e sue applicazioni*, "Il Cemento Armato", 5, 1928, pp. 51-86; numero speciale della rivista con un saggio introduttivo di Arturo Danusso
- G. Colomnetti, E. Giachero, *Ingegneria, Scienza delle Costruzioni*, in *Enciclopedia Scientifica Monografica Italiana del XX Secolo*, serie I, n. 3, Verona 1939
- S. Giedion, *Space, time and architecture*, Cambridge 1941 (trad. it. *Spazio, tempo e architettura*, Milano 1954)
- G. Albenga, *Sguardo sinottico all'evoluzione del cemento armato dall'origine ai nostri giorni*, in G. Albenga, G. Colomnetti, A. Danusso, A. Giannelli, G. Krall, A. Martinelli, *Tecnica del cemento armato*, Roma 1946, pp. 5-21
- G. Albenga, *Il contributo italiano alla teoria ed alla tecnica del cemento armato*, "Rendiconti e pubblicazioni del corso di perfezionamento per le costruzioni in cemento armato", fasc. I, Milano 1949
- *Cent ans de béton armé*, supplemento alla rivista "Travaux", 194bis, Parigi 1949
- R. Gabetti, *Origini del calcestruzzo armato*, parte I e II, Torino 1955
- G. Albenga, *La nuova tecnica del cemento armato. Evoluzione del cemento armato e criteri generali*, "Atti e rassegna tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino", agosto 1956, pp. 289-296
- P. Collins, *Concrete. The Vision of a New Architecture*, Londra 1959 (trad. it. *La visione di una nuova architettura*, Milano 1965)
- C. Goria, L. Cussino, V. Bonasi, *Cemento. Storia, tecnologia, applicazioni*, Milano 1976
- L. Bortolotti, *Storia della politica edilizia in Italia*, Roma 1978
- R. Nelva, B. Signorelli, *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia. il sistema Hennebique*, Milano 1990
- C.D. Elliott, *Technics and architecture: the development of materials and systems for buildings*, Cambridge - Londra 1992
- *L'art de l'ingénieur constructeur, entrepreneur, inventeur*, Parigi 1997
- G. Delhumeau, *L'invention du béton armé. Hennebique 1890-1914*, Parigi 1999

RIVISTE ITALIANE CHE SI SONO OCCUPATE DEL CEMENTO ARMATO NEL PERIODO STUDIATO

- "Rivista di Artiglieria e Genio" (Roma 1884-1943, nasce come Il parte del "Giornale di Artiglieria e Genio")
- "L'Industria" (Milano 1887-1977, rivista tecnica ed economica, poi di economia politica)
- "L'Edilizia Moderna" (Milano aprile 1892 - dicembre 1916, mensile, con scritti, tra gli altri, di D. Donghì, A. F. Jorini, A. Muggia, G. Vacchelli; direttori A. Demarchi, poi C. Formenti e F. Magnoni)
- "L'Ingegneria civile e le arti industriali" (Torino gennaio 1875 - n. 10 del 1906, mensile, poi quindicinale, con scritti, fra gli altri, di C. Guidi e M. Panetti; direttore G. Saccheri; dal 1906 prende il titolo "L'Ingegneria civile e industriale: rivista tecnica")
- "Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani" (Roma 1893 - 1908?)
- "Il Monitore Tecnico" (Milano 15 dicembre 1894 - ?, bimensile, poi trimesile, fondatore e direttore fino al 1920 A. Manfredini)
- "Giornale del Genio Civile" (Torino, poi Firenze, poi Roma 1863-1924, tra il 1924 e il 1944 diventa "Annali dei Lavori Pubblici", pubblicato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici)
- "Annali della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani" (Roma 1886-1920, poi diventa "Ingegneria", rivista tecnica mensile degli ingegneri e degli architetti italiani, Milano 1922-1927, dal luglio 1927 diventa "L'Ingegnere", rivista tecnica del Sindacato Nazionale Fascista Ingegneri, Roma, dopo la guerra continua le pubblicazioni come organo dell'Associazione Nazionale Ingegneri e Architetti Italiani)
- "Il Cemento" (Milano 1904-1945, mensile; da gennaio 1924 diviene "Il Cemento Armato"; vi sono allegati "Le industrie costruttive, metallurgiche e minerarie" e "Il costruttore edile", poi diviene "Il Cemento Armato - Le industrie del cemento", direttore G. Morbelli)
- "L'Ingegneria Sanitaria" (Torino gennaio 1890 - dicembre 1904, mensile, direttore F. Corradini, nel 1905

- si fonde con "L'ingegnere igienista: rivista quindicinale di ingegneria sanitaria", assumendo il titolo di "Rivista di Ingegneria Sanitaria" (1905-1910), poi diventa "Rivista di Ingegneria Sanitaria e di edilizia moderna" (1911-19217)
- "Il Politecnico" (Milano 1869-1937, giornale dell'ingegnere architetto civile ed industriale; nasce dall'unificazione de "Il Politecnico", fondato a Milano nel 1839, e "Il giornale dell'ingegnere architetto agronomo", nato a Milano nel 1852, con scritti, tra gli altri, di C. Ceradini, F.A. Jorini, A. Sayno, direttore G. Colombo)
 - "Il Corriere dei costruttori" (Roma 1922-?)
 - "Costruzioni civili e industriali illustrate" (Roma 1932-1936?, mensile)
 - "L'Industria Italiana del Cemento" (Roma dicembre 1929 - dicembre 1943, mensile edito dalla SIAC - Società Incremento Applicazioni Cemento, sospeso per la guerra, riprende nel settembre 1946, con scritti, tra gli altri, di A. Presenti, A. Danusso, A. Giannelli, G. Reverè, L. Santarella, direttore P. Fogaccia)

LE ORIGINI E LA PRIMA FASE DI SVILUPPO DEL CEMENTO ARMATO FINO AI PRIMI ANNI DEL NOVECENTO

- F. Coignet, *Bétons agglomérés appliqués à l'art de construire*, Parigi 1861
- T. Hyatt, *An account of some experiments with Portland-cement-concrete combined with iron, as a building material*, Londra 1877
- G. Sacheri, *Adesione straordinaria ed azione preservatrice della malta di cemento sul ferro*, "L'ingegneria civile e le arti industriali", ottobre 1885, pp. 157-158
- G.A. Weyss, *Das System Monier (Eisengerippe mit Cementumhüllung) in seiner Anwendung auf das Gessamte und Bauwesen*, Berlino 1887
- *Costruzioni di cemento e ferro (Sistema Monier)*, "Rivista di Artiglieria e Genio", novembre 1887, pp. 321-325
- L. Kick, *Sistema Monier di costruzioni in ferro e cemento*, "L'Industria", 46, 1888, pp. 734-735
- E. Benatti, *Le costruzioni in cemento e ferro secondo il sistema Monier*, Milano 1888
- P. Cottanchi, *Les travaux en ciment avec ossature métallique*, "Bulletin de la Société des Ingénieurs civils de France", 1889
- P. Neumann, *Calcul des construction Monier*, "Wochenschrift des Österreichischen Ingenieur- und Architekten - Vereins", 1890
- *Le costruzioni in ferro e cemento del sistema Monier*, "Rivista di Artiglieria e Genio", ottobre 1890, pp. 75-104
- *Sistema Monier di costruzioni in ferro e cemento*, "L'Industria", 45, 1890, pp. 115-116
- A. Altorio, *Cementi italiani*, Milano 1893
- A.F. Jorini, *Impiego del ferro nelle strutture murarie*, "L'Edilizia Moderna", 5, 1893, p. 40
- *Le costruzioni del sistema Monier*, "L'Edilizia Moderna", 6, 1893, p. 48; 7, 1893, p. 56
- E. Coignet, N. de Tédesco, *Di calcul des ouvrages en ciment avec ossature métallique*, "Mémoires et Compte Rendus des Travaux de la Société des Ingénieurs Civils", 1, 1894, pp. 284-363
- P. Planat, *Constructions en Sidero-ciment, Système J. Bordenave*, "La Construction Moderne", 7, 1894
- P. Planat, *Recherches sur la théorie des ciments armés: principes et applications*, Parigi 1895
- L.C. Boileau, *Le ciment armé, nouvelle méthode d'application*, "L'Architecture", 47, 1895
- *L'esperienza sulla resistenza delle volte eseguita per cura della Società degli Ingegneri di Vienna, a cura dell'Ing. Vacchelli*, "L'ingegneria civile e le arti industriali", 1896, p. 118
- *Sistema Hennebique per solai*, "Polytechnicus", 16 novembre 1896, p. 166
- *Costruzioni in cemento armato al Politecnico*, "Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani", 9, 1897, p. 135
- *Barche di cemento con ossatura in ferro*, "Rivista di Artiglieria e Genio", maggio 1897, pp. 342-343
- *Barche in ferro-cemento*, "Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani", 9, 1897, pp. 136-138
- G.G. Ferria, *Progetto di un ponte in calcestruzzo di cemento proposto in sostituzione del ponte Maria Teresa sul Po a Torino*, "L'Edilizia Moderna", 6, 1897, pp. 39-40
- *Costruzioni di nubi in cemento armato*, "Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani", 14, 1897, pp. 219-221
- *Muri di sponda in calcestruzzo armato*, "L'ingegneria civile e le arti industriali", 8, 1897, p. 128
- G. Vacchelli, *Sulle applicazioni delle costruzioni in calcestruzzo di getto ed in cemento armato. Relazione della speciale commissione nominata dalla Società degli Ingegneri ed Architetti Italiani in Roma, "Il Monitore Tecnico"*, 15, 1897, pp. 115-117; 16, 1897, pp. 124-126; 17, 1897, pp. 131-133; 18, 1897, pp. 144-146; 19, 1897, pp. 151-152

- *Costruzioni in cemento armato*, "Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani", 17, 1897, p. 267
- *Coperture monolitiche in cemento armato sistema Möller*, "L'Edilizia Moderna", 9-10, 1897, pp. 65-66
- N. de Tédesco, *Stato attuale della questione del cemento armato in Francia*, "Il Monitore Tecnico", 25, 1897, pp. 213-215
- R. Lindert, *Beton-Eisen-Konstruktion system Hennebique*, Basilea 1897
- L. Lefort, *Calcul des poutres droites et planchers en béton de ciment armé*, "Nouvelles Annales de la Construction", gennaio 1898
- B.B. Ferria, *Théorie de l'équilibre des systèmes en fer et ciment tirée du principe du moindre travail*, "Mémoires et Compte Rendus des Travaux de la Société des Ingénieurs Civils", 1, 1898
- *Di una costruzione in oggetto in cemento armato*, "Il Monitore Tecnico", 1898, p. 37
- G. Figini, *Studio sulla resistenza elastica delle costruzioni a base di cemento con ossatura metallica*, "Rivista di Artiglieria e Genio", 1898, pp. 5-47
- *La casa delle imprese Bellia in Torino*, Arch. Carlo Ceppi, "L'Edilizia Moderna", 3-4, 1898, pp. 24-25
- *Esperienze sui cementi armati col sistema Möller*, "L'Edilizia Moderna", 3-4, 1898, p. 28
- *Le applicazioni del Métal Déployé (expanded metal) nelle costruzioni moderne*, "L'Edilizia Moderna", 9-10, 1898, pp. 64-65
- *Casa Reinighaus. Corso di Porta Genova, 29*, Milano, Arch. S.G. Locati, "L'Edilizia Moderna", 11-12, 1898, p. 79
- C. Canovetti, *Sul cemento armato*, "Il Monitore Tecnico", 20, 1898, pp. 457-460; 5, 1899, pp. 68-71; 6, 1899, pp. 84-87; 18, 1899, pp. 279-281; 19, 1899, pp. 296-298
- C. Boitel, *Les constructions en béton armé. Calculs de résistance, détails d'exécution*, "Revue du Génie Militaire", agosto-settembre, 1899
- A. Considère, *Influence des armatures métalliques sur les propriétés des mortiers et bétons*, "Le Génie Civil", 14, 1899, pp. 213-216; 15, 1899, pp. 229-233; 16, 1899, pp. 244-247; 17, 1899, pp. 260-263
- G. Lavergne, *Construction en ciment armé*, "Le Génie Civil", 2, 1899, pp. 22-24; 3, 1899, pp. 40-42; 4, 1899, pp. 57-58; 5, 1899, pp. 71-72; 6, 1899, pp. 86-88; 7, 1899, pp. 103-105
- G. Lavergne, *Étude des divers systèmes de construction en ciment armé*, Parigi 1899
- D. Donghi, *Prove statiche e dinamiche di solai di calcestruzzo cementizio armato del sistema Hennebique*, "L'Edilizia Moderna", 1, 1899, pp. 6-7
- G. Vacchelli, *Strutture in cemento armato del sistema Marini*, "Il Monitore Tecnico", 8, 1899, pp. 113-115.
- A. Maciachini, *Strutture in cemento armato (Nuovo sistema E. Möller-Gerrndt)*, "L'Edilizia Moderna", 3, 1899, pp. 21-24
- B. Diego, *Costruzione d'un solai di cemento armato*, "Giornale del Genio Civile", 11, 1899, pp. 99-112
- W. Ritter, *Il sistema costruttivo Hennebique*, trad. di A. Maciachini, "Il Monitore Tecnico", 10, 1899, pp. 145-148; 11, 1899, pp. 163-167; 12, 1899, pp. 182-185
- G. Vacchelli, *Cemento Armato Marini*, "L'Edilizia Moderna", 5, 1899, pp. 35-36
- A. Maciachini, *Strutture in cemento armato. Il sistema costruttivo E. Möller-Gerrndt*, "Il Monitore Tecnico", 1899, pp. 210-213
- G. Sacheri, *Nuovo sistema di ponte in cemento armato. Il ponte Nus-Fenis attraverso la Dora*, "L'ingegneria civile e le arti industriali", 14, 1899, pp. 123-124
- D. Donghi, *Il nuovo cavalcavia presso la stazione ferroviaria di Padova*, "L'Edilizia Moderna", 8, 1899, pp. 57-58
- F. Pasetti, *Costruzioni di cemento armato*, "Rivista di Artiglieria e Genio", 1899, pp. 241-277
- A. Maciachini, *Cemento armato. Descrizione del sistema «Möller»*, Bologna 1899
- F. Accatino, *Calcolo della stabilità d'un solai in cemento armato*, "L'ingegneria civile e le arti industriali", 1899, pp. 185-187
- A. Biglietti, *Travi in cemento armato (sistema Hennebique) del Politecnico "Umberto I" in Roma*, "Giornale del Genio Civile", 28, 1899, pp. 581-589
- *Fer-beton système Marini. Notice descriptive*, Parigi 1900
- A. Guerra, L. Ferrara, *Il nuovo palazzo della borsa in Napoli*, "L'Edilizia Moderna", 1, 1900, p. 5
- A. Muggia, *Palazzo Maccacferri. Teatro-café-risortione «Eden» in Bologna*, "L'Edilizia Moderna", 3, 1900, pp. 17-18
- G. Vacchelli, *Ponte in cemento armato*, "L'Edilizia Moderna", 4, 1900, p. 26
- L. Bellami, *Il Palazzo «Venezia» sede delle Assicurazioni Generali in Milano*, "L'Edilizia Moderna", 5, 1900, pp. 33-40
- D. Donghi, *Asilo Notturno Umberto I in Torino*, Arch. D. Donghi e N. Cerri, "L'Edilizia Moderna", 6, 1900, pp. 44-45
- *Palazzo Duino Djelal Pascià al Cairo*, "L'Edilizia Moderna", 7, 1900, pp. 49-50

- Il nuovo grande salone di Breva e la sua copertura in calcestruzzo armato. *Sistema Hennebique*, "L'Edilizia Moderna", 9, 1900, pp. 67-68
- T. Piretti, Nuova fabbrica per pensionanti e per incurabili nell'Ospedale Maggiore di S. Giovanni Battista della città di Torino, "L'Edilizia Moderna", 10, 1900, pp. 73-76
- G. Vecchelli, Le costruzioni in calcestruzzo ed in cemento armato, 1 ed., Milano 1900. II ed. 1903; III ed. 1906; IV ed. 1909; V ed. 1913; VI ed. 1921 a cura di T. Vecchelli
- Nuovo sistema di strutture in cemento armato, "Il Monitor Tecnico", 1, 1901, pp. 7-8
- N. Saccardi, Cavalcavia in cemento armato a Modena, "Il Monitor Tecnico", 3, 1901, pp. 50-52
- M. Baroni, Il lavoro del calcestruzzo nelle costruzioni in cemento armato, "Il Monitor Tecnico", 10, 1901, pp. 143-149
- Il villino della Daina Djeldi Pascià al Cairo, "L'Edilizia Moderna", 7, 1901, pp. 29-30
- C. Canovetti, Nuova applicazione del cemento armato, "Il Monitor Tecnico", 22, 1901, pp. 337-338
- Palazzo Gonzaga in via San Gerolamo a Milano dell'arch. C. Arpesani, "L'Edilizia Moderna", 10, 1901, pp. 41-42
- Lavori in cemento armato, "Il Monitor Tecnico", 1901, p. 290
- E. Lilling, Cemento armato brevetto Baroni Lilling, Milano 1901
- Primo albergo popolare in Milano. Arch. F. Magagnoli e M. Rondani, "L'Edilizia Moderna", 2-3, 1902, pp. 14-16
- A. Lanzoni, Dei solai in cemento armato, "Il Monitor Tecnico", 7, 1902, pp. 97-99
- Casa di civile abitazione in via Canova, 13. Milano. Arch. G. Boni, "L'Edilizia Moderna", 7, 1904, pp. 27-28
- Dei tetti in cemento e in cemento armato, "Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani", 36, 1904, pp. 1041-1045; 37, 1904, pp. 1073-1082; 38, 1904, pp. 1097-1100
- A. A. Raafat, Reinforced concrete in architecture, New York 1938
- R. Nelva, B. Signorini, Caratterizzazioni del cemento armato sistema Hennebique in Lombardia agli inizi del XX secolo, "Nuova Edilizia Lombarda", 12, 1977, pp. 26-28
- J. Gubler, Privilegiamenti a Hennebique, "Casabella", 485, 1982, pp. 40-47
- A. M. Zorngo Triscuoglio, Le prime formulazioni di uno "standard" progettale e costruttivo delle strutture in cemento armato. L'opera di François Hennebique, contribuì al seminario «Storia dell'edilizia» tenuto nel corso di Dottorato di ricerca in Storia dell'architettura e urbanistica, Facoltà di Architettura di Torino, 15 aprile 1985
- M. Dotto Rosso, Sistema Hennebique nei primi trenta anni del Novecento a Torino, in *Il Modo di costruire*, a cura di M. Casciato, S. Mornati, C.P. Scavizzi, atti del I seminario internazionale, Roma 1990, pp. 399-420
- C. Colombo, L'introduzione del cemento armato a Milano tra Otto e Novecento, in *Il Modo di costruire*, a cura di M. Casciato, S. Mornati, C.P. Scavizzi, atti del I seminario internazionale, Roma 1990, pp. 421-432
- G. Pizzetti, M. Zorngo Triscuoglio, Principi statici e forme strutturali, Torino 1990
- C. Symonet, Le béton Coignet. Stratégie commerciale et déconvenue architecturale, "Les cahiers de la recherche architecturale", 29, 1992, pp. 15-32
- G. Delhumeau, Hennebique, les architectes et la concurrence, "Les cahiers de la recherche architecturale", 29, 1992, pp. 33-52
- C. Symonet, Alle origini del cemento armato, "Rassegna", 49, 1992, pp. 6-14
- G. Delhumeau, Hennebique e la costruzione in calcestruzzo armato intorno al 1900, "Rassegna", 49, 1992, pp. 15-25
- O. Selvafolta, Ingegneri, cemento e imprese a Milano tra Ottocento e Novecento, "Rassegna", 49, 1992, pp. 26-35
- M. Dotto Rosso, Calcestruzzo armato ed innovazione tecnologica, in 150 anni di costruzione edile in Italia, a cura di M. Casciato, S. Mornati, C.P. Scavizzi, atti del II seminario internazionale "Il Modo di costruire", Roma 1992, pp. 155-170
- R. Nelva, Impiego del calcestruzzo armato nell'edilizia industriale in Alta Italia nei primi anni di applicazione, esempi di applicazione in Sistema Hennebique, in 150 anni di costruzione edile in Italia, a cura di M. Casciato, S. Mornati, C.P. Scavizzi, atti del II seminario internazionale "Il Modo di costruire", Roma 1992, pp. 281-293
- Le béton en représentation. La mémoire photographique de l'entreprise Hennebique 1890-1930, Parigi 1993
- R. Gori, E. Siviero, B. Simoncelli, I primi studi sul calcestruzzo armato, in *Calcestruzzi antichi e moderni. Storia, Cultura e Tecnologia*, Padova 1993, pp. 103-111
- R. Nelva, Impiego del calcestruzzo armato e di pietre artificiali nei primi anni di applicazione del beton armé in Italia, in *Calcestruzzi antichi e moderni. Storia, Cultura e Tecnologia*, Padova 1993, pp. 157-170
- Cantieri romani del Novecento, a cura di G. Muratore, Roma 1995

- B. Burkhardt, A Modern Movement in Engineering, Technology and architecture, in *The Fair Face of Concrete. Conservation and Repair of Exposed Concrete*, Proceedings International DOCOMOMO Seminar, April 8, 1997, Eindhoven 1998, pp. 24-30
- E. Pieri, *Aiutate di Baudou, pioniere della muratura in laterizio armata*, "Costruire in laterizio", 71, 1999, pp. 30-35

LA DIFFUSIONE DEL CEMENTO ARMATO DAL 1900 ALLA PRIMA GUERRA MONDIALE

- C. Guidi, Esperienze sull'elasticità e resistenza di conglomerati di cemento semplici ed armati. Nota I, "Atti della R. Accademia delle Scienze di Torino", Torino 1900
- Le costruzioni in beton armato. Conferenze tenute nel maggio 1900 dall'ing. Camillo Guidi, "L'ingegneria civile e le arti industriali", 18, 1900, pp. 273-279; 19, 1900, pp. 289-295; 20, 1900, pp. 305-311; 21, 1900, pp. 321-328; 22, 1900, pp. 337-343
- C. Guidi, Le costruzioni in beton armato, conferenze tenute nel maggio 1900, Torino 1901
- C. Caviglia, Sulla teoria delle travi e dei lastroni in cemento armato caricati di pesi, Roma 1900 (con due appendici del 1901)
- C. Guidi, Esperienze sull'elasticità e resistenza di conglomerati di cemento semplici ed armati. Nota II, "Atti della R. Accademia delle Scienze di Torino", Torino 1901
- S. Canavazzi, Siderocemento, formule di resistenza ed elasticità, Bologna 1901
- G. Saccheri, Esperienze sull'elasticità e resistenza di conglomerati di cemento semplici ed armati eseguite dall'ing. prof. Camillo Guidi, "L'ingegneria civile e le arti industriali", 8, 1901, pp. 113-118
- M. Panetti, R. Schola d'Applicazione degli ingegneri in Torino. Relazione di una visita alle nuove costruzioni di Genova fatta dagli allievi ingegneri del 2° anno, "L'ingegneria civile e le arti industriali", 20, 1901, pp. 305-311
- P. Christophe, Le béton armé et ses applications, Parigi - Liegi 1902
- Weyss & Freytag - E. Mösch, Der Betonisenbau: seine Anwendung und Theorie, 1 ed., Stoccarda 1902; Der Eisenbetonbau, seine Theorie und Anwendung, II ed., Stoccarda 1906; III ed., Stoccarda 1908; E. Mösch, Le béton armé, étude théorique et pratique, trad. fr. di M. Dubois, Parigi 1909
- M. Panetti, Esperienze comparative sulle travi in beton armato, Torino 1902
- M. Baroni, Sulla ricerca di norme che determinano la stabilità delle costruzioni in calcestruzzo armato, "Atti del Collegio degli Ingegneri di Milano", I e II fasc, 1902
- I magazzini della società editrice G. Ricordi & C. Milano, Viale Vittoria 21. Arch. Diego Brioschi, "L'Edilizia Moderna", 6, 1902, pp. 34-35
- Il cemento armato nell'armamento ferroviario, "Il Monitor Tecnico", 11, 1902, p. 163
- F. Accattino, Costruzioni idrauliche e marittime in cemento armato, "Il Monitor Tecnico", 19, 1902, p. 297
- Il cemento armato nei ponti ferroviari di piccola luce, "Il Monitor Tecnico", 30, 1902, p. 436
- C. Guidi, Sulla opportunità di una vigilanza del Municipio sulle costruzioni in beton armato e modo di esercitarla, "Atti della Società degli Ingegneri e degli Architetti di Torino", Torino 1903
- C. Guidi, Sulle costruzioni in beton armato, "Annali della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani", 2, 1903, pp. 33-46; contiene le Prescrizioni speciali per le opere di smalto cementizio armato da eseguirsi per conto della città di Torino proposte dalla Commissione del beton armato nominata dalla Società degli ingegneri e degli architetti di Torino, ed approvate dalla Società stessa
- C. Caviglia, Solai in cemento armato. Ricerca della composizione più economica, Roma 1903
- C. Caviglia, Carichi di prova da adottarsi e tabelle di inflessioni ammissibili per i solai in cemento armato, Roma 1903
- R.R., Un metodo moderno di costruzione: le applicazioni del cemento armato, "Emporium", 1903, pp. 204-219
- A. Macielchini, Resistenza alla compressione del cemento armato e del beton freitè, "Il Monitor Tecnico", 7, 1903, p. 106; 8, 1903, p. 124; 9, 1903, p. 143; 10, 1903, p. 160; 14, 1903, p. 220
- A. Albertini, Studi sperimentali sui cementi armati, "Il Monitor Tecnico", 11, 1903, p. 170
- Il grande magazzino Contratti dell'Arch. Luigi Broggi, "L'Edilizia Moderna", 6, 1903, p. 34
- Casa Dario-Biandra in Piazza Cardusio a Milano. Arch. Luca Beltrami e Ing. L. Repossi, "L'Edilizia Moderna", 9, 1903, pp. 54-56
- Il grandioso ponte in cemento armato a Pinzano, "Il Monitor Tecnico", 36, 1903, p. 568
- Compagnie Italiane Des Chemins de Fer Méridionaux, Exploitation du réseau adhésive relatione presentata al Congresso internazionale delle Ferrovie tenutosi a Washington, Firenze 1903
- S. Canavazzi, Ferrocemento (cemento armato, smalto cementizio armato). Formule di elasticità e resistenza, Torino 1904

- *Prescrizioni generali per le opere in ferro-cemento (cemento armato, smalto cementizio armato) proposte dagli ingegneri S. Canavezzi e G.B. Marro per uso delle Onorevoli amministrazioni provinciali di Ferrara e Ravenna*, 1904
- *Disposizioni in vigore e metodi in uso nel genio militare francese pel calcolo delle costruzioni in cemento armato*, "Rivista di Artiglieria e Genio", 1904, p. 413
- *Casa Bacigalupo, Via dell'Indipendenza*, Bologna, Arch. Attilio Mingia, "L'Edilizia Moderna", 1, 1904, pp. 3-4
- *Le travi in cemento armato. Le travi a traliccio sistema Visintini*, "Il Cemento", 1, 1904, pp. 23-28
- *AM, 4° proposito del ponte di Pinzano*, "Il Monitor Tecnico", 1, 1904, p. 9
- *Il grandioso ponte in cemento armato sul Tagliamento a Pinzano*, "Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani", 5, 1904, pp. 145-149
- *G. Vacchetti, Ponte in cemento armato sul fiume Nera a Papigno (Umbria)*, "Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani", 6, 1904, pp. 153-161; 7, 1904, pp. 177-186
- *Le travi in cemento armato. Solai tubolari in cemento armato*, "Il Cemento", 2, 1904, pp. 54-55
- *Proposte di prescrizioni generali per le opere di ferro-cemento*, "Il Monitor Tecnico", 1904, p. 105
- *Il nuovo ospedale civile di Legnano*, Arch. L. Broggi, "L'Edilizia Moderna", 5, 1904, pp. 17-19; 6, 1904, pp. 21-23
- *Le travi in cemento armato. Travi solate* «Ing. F. Corradini», "Il Cemento", 4, 1904, pp. 84-88
- *Le travi in cemento armato. Travi sistema Siegrart*, "Il Cemento", 5, 1904, pp. 145-148
- *Ponte in cemento armato sul torrente Quisa*, "Il Cemento", 6, 1904, pp. 194-198
- *Ponte in cemento armato di Cornigliano*, "Il Cemento", 7, 1904, p. 222
- *Una visita alle fabbriche delle Società Riunite "Fabbrica del Ghiaccio e ditta F. Peroni"*, "Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani", 27, 1904, pp. 801-808; 29, 1904, pp. 857-862
- *F. Leonardi, Ponte in cemento armato sul torrente Rino*, "Il Cemento", 9, 1904, pp. 257-262; 10, 1904, pp. 295-299; 5, 1905, pp. 125-126
- *Il nuovo edificio delle scuole comunali di Torino del borgo Grina*, "L'Edilizia Moderna", 9, 1904, pp. 42-43
- *Il ponte sul fiume Reno di Alberino*, "Il Cemento", 11, 1904, pp. 450-451
- *C. Cavaglia, Teoria dei ritiri di cemento armato caricati eccentricamente*, "Rivista di Artiglieria e Genio", IV, 1904, pp. 159-177
- *C. Marzocchi, Le applicazioni del cemento armato fatte dal genio militare. Sistema di solai del gen. Cavaglia*, "Giornale del Genio Civile", XLII, 1904, pp. 22-45, pp. 157-180
- *Prove di resistenza al fuoco di solai a longarine in cemento retinato, sistema "Gabbellini & C."*, "Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani", 48, 1904, pp. 1419-1420
- *Ancora sulle prove di resistenza al fuoco di solai a longarine in cemento retinato*, "Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani", 49, 1904, p. 1459
- *Stabilimento per la distillazione e gabbirazione dei liquori della ditta Fratelli Campari di Milano in comune di Sesto S. Giovanni*, Arch. Luigi Perrone, "L'Edilizia Moderna", 12, 1904, pp. 57-58
- *MT, Nuovo sistema di travi-solai in cemento armato*, "Il Monitor Tecnico", 1904, p. 624
- *F. Leonardi, Considerazioni sulla caduta del ponte in cemento armato a Luino*, "Il Cemento", 12, 1904, pp. 457-459
- *La catastrofe di Madrid*, "Il Cemento", 12, 1904, pp. 477-478
- *Société Internationale des pontes Siegrart, La poutre Siegrart*, Lucerna 1905
- *A.F. Jorini, Teoria e pratica delle costruzioni dei ponti*, Milano 1905
- *Palazzo della Soc. Bancaria Milanese in Milano*, Arch. G. Giachi, "L'Edilizia Moderna", 1, 1905, pp. 1-2
- *E. Adam, Incontro al ponte di Luino*, "Il Cemento", 1, 1905, p. 24
- *Nuova sede del Giornale "Corriere della Sera"*, Milano, via Solferino 28, Arch. Luca Beltrami, Ing. Luigi Repossi, "L'Edilizia Moderna", 2, 1905, pp. 5-10
- *E. Fumagalli, Relazione tecnica sulla caduta del ponte in cemento armato presso Luino*, "Il Cemento", 2, 1905, pp. 55-56
- *Sulla stabilità delle costruzioni in cemento armato*, "Il Cemento", 3, 1905, pp. 81-83
- *P. Interdonato, Acquedotto di Messina. Il serbatoio in cemento armato Torre Vittoria*, "Il Cemento", 4, 1905, pp. 101-107
- *A. Manfredini, Le costruzioni in cemento armato e la loro stabilità*, "Il Cemento", 4, 1905, pp. 107-109
- *Passerella in cemento armato presso la stazione ferroviaria di Bari*, "Il Cemento", 4, 1905, pp. 157-158
- *Il cemento armato nelle nuove opere del porto di Genova*, "Il Cemento", 7, 1905, pp. 203-204
- *C. Cavaglia, Di un muro di città di cemento armato costruito in Castel S. Angelo di Roma*, "Rivista di Artiglieria e Genio", IV, 1905, pp. 31-43
- *Muro di città in cemento armato costruito in Castel S. Angelo in Roma*, "Il Cemento", 7, 1905, pp. 211-212
- *Villa Ghia a Borgo Panigale presso Bologna*, Arch. Attilio Mingia, "L'Edilizia Moderna", 11, 1905, pp. 57-58

- *C. Guidi, Risultati sperimentali sui conglomerati di cemento semplici ed armati*, 1 ed., Torino 1905
- *D. Donghi, Manuale dell'architetto*, Torino 1905
- *E. Paniconi, Il cemento armato nelle costruzioni architettoniche*, Orvieto 1905
- *C. Cavaglia, Solai in cemento armato composti di elementi tubolari*, Roma 1905
- *C. Cavaglia, Esempi di calcolo di sezioni di solai di cemento armato nelle quali si abbiano deformazioni complesse*, Roma 1906
- *C. Cavaglia, Piastriforme in cemento armato per fondazioni*, Roma 1906
- *C. Cavaglia, Esempi di calcolo di sezioni di solai di cemento armato nelle quali si abbiano deformazioni complesse dovute a sforzi longitudinali semplici e ad inflessione*, Roma 1906
- *C. Cavaglia, Baracche in cemento armato, con un appendice sulle verifiche di stabilità di un arco in cemento armato*, compilate da P. Baglione, Roma 1906
- *C. Guidi, Le costruzioni in beton armato, Appendice a Lezioni sulla scienza delle costruzioni*, 1 ed., Torino 1906; IX ed., Torino 1935
- *C. Guidi, Sul calcolo delle sezioni in beton armato*, "Il Cemento", 1, 1906
- *Costruzioni in cemento armato e speciali. Serbatoio in cemento armato per l'acquedotto di Messina*, "Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani", 1, 1906, pp. 29-31
- *S. Baccarini, Costruzioni in cemento armato. Il cemento armato nel torrione per l'acqua potabile di Forlì*, "Il Cemento", 1, 1906, pp. 8-11; anche in "Il Monitor Tecnico", 1, 1906, p. 9
- *C. Gimì, Grande serbatoio in cemento armato per l'ospedale militare di Roma*, "Rivista di Artiglieria e Genio", 1, 1906, pp. 294-309
- *Novo serbatoio in cemento armato nell'ospedale militare di Roma*, "Il Cemento", 2, 1906, pp. 50-51
- *P. Rimondini, Costruzioni in cemento armato. I nuovi ponti in cemento armato sui fiumi Santerno e Senio in provincia di Ravenna*, "Il Cemento", 3, 1906, pp. 55-61; anche in "Il Monitor Tecnico", 1906, p. 306
- *Tipi speciali di armature in cemento armato*, "Il Cemento", 4, 1906, pp. 97-98.
- *IB, Debonisi allegare le calcolazioni ai progetti di opere in cemento armato*, "Il Cemento", 5, 1906, pp. 110-111
- *Costruzioni in cemento armato. Nuovo padiglione di Chirurgia in Piacenza*, "Il Cemento", 5, 1906, p. 122
- *Costruzioni in cemento armato e speciali. Sul calcolo delle travi in cemento armato*, "Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani", 19-20, 1906, pp. 311-312
- *F.S. Rossi, Ponticello a piattabanda in cemento armato per la strada provinciale Orvieto - Percile*, "Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani", 21, 1906, pp. 321-327
- *C. Guidi, Sulla unione dei ferri nelle costruzioni in beton armato*, "Il Cemento", 6, 1906, pp. 138-144
- *A. Manfredini, Devonsi disciplinare con regolamenti le costruzioni in cemento armato?*, "Il Monitor Tecnico", 27, 1906
- *Costruzioni in cemento armato. Cavalcavia della stazione ferroviaria di Padova*, "Il Cemento", 7, 1906, pp. 166-167
- *Casa Beltrami-Caldarini-Malgarini. Corso Concordia, 1. Milano*, Arch. Augusto Brusconi, "L'Edilizia Moderna", 7, 1906, pp. 41-42
- *C. Marzocchi, Esperimento di un tipo economico di solai di cemento armato*, "Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani", 28, 1906, pp. 429-435
- *F. Leonardi, Passerella in cemento armato sul Naviglio Grande a Milano*, "Il Cemento", 8, 1906, pp. 199-201
- *A. Danusso, Costruzioni in cemento armato. Grandi molini industriali in calcestruzzo armato*, "Il Cemento", 9, 1906, pp. 222-227
- *G. Revenc, Devonsi regolamentare le opere in cemento armato?*, "Il Cemento", 10, 1906, pp. 249-250
- *A. Danusso, La logica e l'estetica nelle costruzioni in calcestruzzo armato*, "Il Cemento", 10, 1906, pp. 250-251
- *Sull'influenza della temperatura nelle costruzioni in muratura, cemento e cemento armato*, "Il Cemento", 11, 1906, pp. 283-286
- *Soprapassaggio in cemento armato per la strada provinciale presso la stazione di Civitavecchia*, "Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani", 45-46, 1906, pp. 678-680
- *Casa Lancia al Bocchetto di Milano*, Arch. Achille Manfredini, "L'Edilizia Moderna", 12, 1906, pp. 69-70
- *A. Danusso, L'economia nelle costruzioni in calcestruzzo armato*, "Il Cemento", 12, 1906, pp. 311-315
- *Edilizia per la centrale dell'impianto idro-termico-elettrico municipale di Torino*, "Il Cemento", 12, 1906, pp. 312-313
- *Eg. Ponte sulla Sura a Rossiglione (Ovada)*, "Il Cemento", 12, 1906, pp. 327-328
- *Instructions relatives à l'emploi du béton armé. Circulaire ministérielle 20 octobre 1906*, "Annales des Ponts et Chaussées", 1906, pp. 271-307
- *Ministère des Travaux Publics, des Postes et des Télégraphes, Commission du ciment armé. Expérien-*

- ces, *rapports et propositions. Instructions ministérielles relatives à l'emploi du béton armé*, Parigi 1907
- *Prescrizioni normali per l'esecuzione delle opere di cemento armato*, circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 10 gennaio 1907, bollettino n. 5, pubblicato sulla G.U. del Regno del 2 febbraio 1907.
 - F. Pasetti, *I regolamenti francesi ed italiani circa le costruzioni di cemento armato*, "Rivista di Artiglieria e Genio", marzo 1907, pp. 380-410
 - F.E. von Emperger, *Handbuch für Eisenbetonbau*, I ed., Berlino 1907
 - A. Tajani, *I nuovi ponti in cemento armato della ditta Bianchi, Setzer & C. di Milano*, Napoli 1907
 - A. Danusso, *Sulle funzioni delle staffe nelle travi in calcestruzzo armato*, "Il Cemento", 1, 1907, pp. 1-7
 - *Il nuovo serbatoio ad acqua potabile di Brunate*, "Il Cemento", 1, 1907, p. 13
 - *Una bella prova delle costruzioni in cemento armato*, "Il Cemento", 1, 1907, p. 25
 - Ad [A. Danusso], *Sul calcolo diretto delle travi di cemento armato con doppia armatura metallica*, "Il Cemento", 3, 1907, pp. 60-62
 - A. Danusso, *Le forme architettoniche nel cemento armato*, "Il Cemento", 4, 1907, pp. 88-90
 - *Il ponte Umberto I sul Po a Torino*, "Il Cemento", 4, 1907, pp. 96-103
 - emp, *Casa Lancini al Boccetto di Milano*, "Il Cemento", 4, 1907, pp. 104-106
 - ad [A. Danusso], *Nuovo stabilimento per la Soc. An. Carrozzeria Automobili Alessio in Torino*, "Il Cemento", 7, 1907, p. 1
 - *Il Monte di Pietà di Milano*, "L'Edilizia Moderna", 7, 1907, pp. 45-47
 - *Le nuove abitazioni popolari in Torino*, Arch. Stefano Molli, "L'Edilizia Moderna", 7, 1907, pp. 47-48
 - *Circa la caduta della copertura di cemento armato del grande serbatoio d'acqua di Madrid*, "Rivista di Artiglieria e Genio", III, 1907, pp. 329-333
 - C. Gini, *Alcune applicazioni del cemento armato in nuovi fabbricati militari*, "Rivista di Artiglieria e Genio", IV, 1907, pp. 45-66
 - A. Danusso, *Il cemento armato nella costruzione moderna*, "Il Cemento", 2, 1908, pp. 29-31
 - *Il cemento armato nei nuovi fabbricati militari di Roma*, "Il Cemento", 2, 1908, pp. 31-33
 - *Serbatoio di Narni*, "Il Cemento", 2, 1908, pp. 33-35
 - *Rovina di un solaio nell'«Atlantic Hotel» di Amburgo*, "Il Cemento", 2, 1908, p. 35
 - *Disastri edilizi*, "Il Cemento", 4, 1908, pp. 89-90
 - A. Manfredini, *A proposito del crollo dell'edificio dell'Unione Cooperativa in Milano*, "Il Monitor Tecnico", 1908, p. 245; anche in "Il Cemento", 5, 1908, pp. 114-116
 - *Ponte ad arco in cemento armato*, "Il Cemento", 6, 1908, pp. 147-148
 - *Il teatro civico di Schio*, "Il Cemento", 7, 1908, pp. 171-172
 - *Il nuovo ponte in cemento armato a Corate Brianza sul Fiume Lambro*, "L'Edilizia Moderna", 11, 1908, pp. 74-75
 - *Cupola in calcestruzzo armato*, "Il Cemento", 12, 1908, p. 320
 - *Lanificio Conte a Schio*, "Il Cemento", 1, 1909, pp. 9-10
 - Ad [A. Danusso], *Nuovi magazzini ed uffici della Soc. Anon. Schiapparelli in Torino*, "Il Cemento", 2, 1909, p. 20
 - *Casa d'abitazione con assatura in cemento armato*, "Il Cemento", 3, 1909, pp. 33-34
 - eg, *Grande vasca gassometrica per la Soc. Consumatori Gas-Luce di Torino*, "Il Cemento", 5, 1909, pp. 65-68
 - *Casa d'abitazione in cemento armato*, "Il Cemento", 8, 1909, pp. 113-115
 - *Rimesa per locomotive a Bussalla*, "Il Cemento", 10, 1909, pp. 147-148
 - *Ossatura in cemento armato per case di abitazione*, "Il Cemento", 11, 1909, pp. 161-163
 - *Casa operate in cemento armato*, "Il Cemento", 11, 1909, p. 167
 - *Commissione internazionale per cemento armato*, "Il Cemento", 11, 1909, p. 172
 - *Grande vasca gassometrica in cemento armato*, "Il Cemento", 14, 1909, pp. 212-213
 - *Le demolizioni delle costruzioni in cemento armato*, "Il Cemento", 15, 1909, pp. 227-228
 - F. von Emperger, *I crolli nelle costruzioni in cemento armato*, "Il Cemento", 18, 1909, pp. 280-282
 - *Nuove norme per le costruzioni in cemento armato compilate dalla Commissione Svizzera del Cemento Armato*, "Il Cemento", 20, 1909, p. 309; 22, 1909, p. 337
 - eg, *Nuovo ponte sulla Dora in Via Cigna a Torino*, "Il Cemento", 21, 1909, pp. 321-323
 - *Nuovo ponte sul Tevere*, Roma, "Il Cemento", 23, 1909, p. 353
 - F. Galassi, *Due costruzioni ospedaliere in cemento armato*, "Rivista di Ingegneria Sanitaria", 8, 1910, pp. 93-97
 - L. Novelli, *Importanza del cemento armato nella esecuzione. Difetti possibili di questa e cause relative*, "Il Cemento", 23, 1910, pp. 11-14; 24, 1910, pp. 11-14
 - G. Revere, *Le prove dei materiali da costruzione e le costruzioni in cemento armato*, Milano 1910
 - G. Revere, *Problemi attuali del cemento armato*, "Il Monitor Tecnico", 3, 1910, p. 42
 - G. Revere, *Sul calcolo delle travi inflesse in cemento armato*, "Il Monitor Tecnico", 1910, p. 349

- E. Mörsch, *Teoria e pratica del cemento armato*, con ricerche ed esempi costruttivi della Wyss & Freytag A.G. e della Soc. An. Ital. Ferrobeton Genova-Milano-Napoli. Edizione italiana con note ed aggiunte per cura di M. Viscardini, ingegnere della Società Ferrobeton, Milano 1910
- A. Danusso, *Contributo al calcolo pratico delle piastre appoggiate sul contorno*, "Il Cemento", 1911
- Società Porcheddu ing. G.A., *Il ponte del Risorgimento attraverso il Tevere a Roma*, Roma 1911
- *Il nuovo ponte sul Tevere a Roma*, "Il Monitor Tecnico", 14, 1911, pp. 287-289
- *A proposito del nuovo ponte sul Tevere a Roma*, "Il Monitor Tecnico", giugno 1911, p. 335
- *Il Ponte Risorgimento*, "Ingegneria ferroviaria", 19, 1911
- *Allargamento della strada provinciale Como-Bellano, a Cadenabbia e Tremezzo*, "Il Monitor Tecnico", 19, 1911, pp. 388-390
- *Il nuovo Stadio Nazionale in Roma*, "Il Monitor Tecnico", 36, 1911, pp. 731-732
- *Le nuove norme inglesi sulle costruzioni in cemento armato*, "Il Cemento", 1911, p. 349.
- G. Revere, *Il VII Congresso dell'Associazione Italiana per gli studi sui materiali da costruzione (Torino 1911)*, "Il Monitor Tecnico", 25, 1911, pp. 510-512
- Ferrobeton, *Carlo generalista*, s.l. 1911
- Società Porcheddu ing. G.A., *Elenco dei lavori eseguiti in calcestruzzo armato sistema Hennebique dal 1895 a tutto il 1912*, s.l. s.d.
- E. Balazza, *Ponti in cemento armato per strade ordinarie. Teorie ed applicazioni pratiche*, Milano-Napoli-Palermo-Roma 1912
- A. Danusso, *Il cemento armato nel Campanile di S. Marco*, "Il Cemento", 9, 1912
- D. Donghi, *Il campanile di S. Marco e la sua ricostruzione*, Torino 1912
- *Il Ponte del Risorgimento sul Tevere in Roma*, "Il Politecnico", 4, 1912, pp. 121-128; 5, 1912, pp. 138-144
- *Le finiture per l'inspersione del carbone da Savona a S. Giuseppe*, "Il Monitor Tecnico", 10 settembre 1912, pp. 483-491
- Società Anonima Romana Cemento Armato, Firenze s.d. (ma 1913)
- *Sulla ricostruzione del campanile di San Marco a Venezia*, "Il Monitor Tecnico", 29, 1913, pp. 563-570
- *Nuovi tipi di solai. Solai in cemento armato ed armatura di ferro sistema Ghira*, "Il Cemento", 10, 1913, pp. 148-150
- C. Paropassu, *Il Ponte del Risorgimento sul Tevere in Roma*, Padova 1914
- *La nuova sede del Touring Club Italiano a Milano*, "Il Monitor Tecnico", 28, 1915, pp. 422-430
- *Necrologio di Achille Manfredini*, "Il Monitor Tecnico", 7, 1920, pp. 73-77
- E. Gay, *Un arco di cemento armato di metri 121,50 di corda*, "Il Monitor Tecnico", 18, 1920, p. 171
- L. Santarella, *Il comportamento elastico dei più vecchi ponti ferroviari italiani in cemento armato, dopo 25 anni dalla loro costruzione. I ponti della Val Brembana a volta incassata costruiti nel 1904*, Milano 1931
- G. Radici, *Il cemento armato e la sua storia*, "La cultura moderna. Natura ed arte", 11, 1932, pp. 649-661
- G. Oberti, *Sul comportamento statico di archi incassati notevolmente ribassati tipo Ponte Risorgimento, in Memoria dell'Istituto di Scienza della Costruzioni del R. Politecnico di Milano*, Milano 1937 (anche in "Il Cemento Armato", 5, 1939, pp. 73-81; 7, 1939, pp. 113-117)
- C. Guidi, *L'associazione italiana per gli studi sui materiali da costruzione 1903-1937. Ricordi*, Roma 1940
- A. Goffi, *Notizie inedite sulla costruzione del Ponte del Risorgimento a Roma*, "Il Cemento Armato", 3, 1942, pp. 29-31
- G. Krall, *Di un nuovo modo di costruire un arco tipo Risorgimento e di una sua applicazione concreta sul Tevere a Roma*, in G. Albenga, G. Colomnetti, A. Danusso, A. Gianneli, G. Krall, A. Martinielli, Tecnica del cemento armato, Roma 1946, pp. 52-58
- A. Gianneli, *Il comportamento nelle variazioni termiche stagionali del Ponte Risorgimento in Roma*, "Atti e rassegna tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino", aprile-maggio 1950, pp. 47-49
- A. Cavallari Murari, *Contributo litorale alla storia dell'evoluzione dei ponti tipo Risorgimento*, "Atti e rassegna tecnica della Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino", aprile-maggio 1950, pp. 56-60
- A. Danusso, *Inizio e scienza nel cemento armato*, "Rendiconti e Pubblicazioni del corso di perfezionamento per le costruzioni in cemento armato del Politecnico di Milano", fase I, Milano 1952, pp. 3-12
- G. Neumann, *I cinquecentenni del solaio misto in c.a. e laterizio e del primo ponte leggero in c.a.*, "Il Cemento", 2, 1961, pp. 14-15
- R. Nerva, B. Signorelli, *Il ponte Risorgimento: significati di un'opera innovativa*, in Roma 1911, Roma 1980, pp. 291-303
- G. Delhumeau, *Incidente "Rassegna"*, 49, 1992, pp. 51-52
- V. Bacco, L. Ciancabilla, *Il manuale dei solai in laterizio*, Roma 1994
- R. Gori, E. Munerati, *Les leçons de la catastrophe. Un exemple italien du début du siècle*, "Les cahiers de la recherche architecturale", 40, 1997, pp. 79-84

LA PROBLEMATICA ANTISISMICA NELL'EVOLUZIONE DEL CEMENTO ARMATO

- M. Baratta, *I terremoti d'Italia*, Torino 1901
- P.G. Alfani, *I terremoti e le case. Appunti popolari di sismologia*, Firenze 1905
- R.D. n. 511 del 16 settembre 1906, *Norme per le costruzioni, ricostruzioni e riparazioni degli edifici privati, pubblici e di uso pubblico nella regione calabrese e nei comuni della provincia di Messina danneggiati dal terremoto*
- Messina e Reggio 28.XI.1908-23.XII.1908, prima e dopo il terremoto del 28 dicembre 1908, Firenze 1909
- A. Manfredini, *I danni del terremoto e le nuove costruzioni nelle zone colpite. Una lodovisiana iniziativa della Cooperativa Lombarda delle opere pubbliche*, "Il Monitor Tecnico", 1, 1909, pp. 1-2
- A. Manfredini, *Ancora per la ricostruzione delle città distrutte. Le iniziative per la costituzione di una Società nazionale intesa allo scopo*, "Il Monitor Tecnico", 2, 1909, pp. 21-23
- *Programma del concorso per costruzioni edilizie nelle Regioni Italiane soggette a movimenti sismici*, "Il Monitor Tecnico", 2, 1909, p. 36
- G. Searpanti, *Edilizia antisismica*, "Il Monitor Tecnico", 3, 1909, pp. 43-45
- *La stabilità sismica nelle costruzioni e la sua realizzazione col calcestruzzo armato*, "Il Monitor Tecnico", 4, 1909, p. 74
- *I danni economici del recente terremoto della Sicilia e della Calabria*, "Il Monitor Tecnico", 4, 1909, p. 71
- T. Bianchi, *Edilizia antisismica*, "Il Monitor Tecnico", 6, 1909, pp. 109-110
- D. Donighi, *Organi di difesa e sistemi di costruzione nei paesi colpiti frequentemente da terremoti*, "Rivista di Ingegneria Sanitaria", 6, 1909, pp. 81-83
- M. Viscardi, *Le fondazioni antisismiche*, "Il Monitor Tecnico", 9, 1909, pp. 172-174
- *Relazione della Commissione incaricata di studiare e proporre norme edilizie obbligatorie per i comuni colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 ed altri anteriori*, Roma 1909
- R.D. n. 193 del 18 aprile 1909, *Norme tecniche ed igieniche obbligatorie per le riparazioni, ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei comuni colpiti dal terremoto del 1908 o da altri precedenti*
- *Circolare esplicativa delle norme inviate ai prefetti, ai sindaci, ai presidenti delle deputazioni provinciali, agli ingegneri del genio civile e agli uffici tecnici della finanza, circolare del Ministero dei Lavori Pubblici*, Direzione Generale dei servizi speciali - Sezione Terremoto, Div. 18, n. 2664 del 23 aprile 1909
- *Per le costruzioni nei paesi soggetti a terremoto*, "Il Monitor Tecnico", 11, 1909, p. 207
- *Norme tecniche ufficiali per la ricostruzione e riparazione degli edifici pubblici e privati in Sicilia e Calabria*, "Il Monitor Tecnico", 14, 1909, pp. 270-272
- *Le deliberazioni della Giunta del Concorso per le costruzioni antisismiche bandito dalla Cooperativa Lombarda dei Lavori Pubblici*, "Il Monitor Tecnico", 18, 1909, p. 348
- L. Novelli, *Concetti informativi di un progetto di casa d'abitazione civile da elevarsi in città compresa in zone sismiche*, "Rivista di Ingegneria Sanitaria", 11, 1909, pp. 161-166; 13, 1909, pp. 193-197; 14, 1909, pp. 217-221; 15, 1909, pp. 233-236; 16, 1909, pp. 251-255
- *I progetti premiati al Concorso per costruzioni edilizie nelle regioni italiane soggette a movimenti sismici*, *Le costruzioni antisismiche* (Ing. A. Danusso), "Il Monitor Tecnico", 22, 1909, pp. 423-428
- *I progetti premiati al Concorso per costruzioni edilizie nelle regioni italiane soggette a movimenti sismici. «Pro Calabria e Sicilia»* (Ing. Vittorio Gianfranceschi e Ing. Giulio Revere), "Il Monitor Tecnico", 23, 1909, pp. 442-445
- *Il Concorso e l'Esposizione per le costruzioni antisismiche di Milano*, "L'Architettura Italiana", 8, 1909, pp. 90-91
- *I progetti premiati al Concorso per costruzioni edilizie nelle regioni italiane soggette a movimenti sismici. Progetto del dott. ing. Fritz von Emperger - Vienna*, "Il Monitor Tecnico", 25, 1909, pp. 483-486
- *Relazione della Giunta del Concorso per costruzioni edilizie nelle regioni italiane soggette a movimenti sismici indetto dalla Società Cooperativa Lombarda dei Lavori Pubblici sotto gli auspici del Collegio degli ingegneri ed architetti di Milano*, "Il Monitor Tecnico", 26, 1909, pp. 501-504; 27, 1909, pp. 522-526; 28, 1909, pp. 543-546
- L. Novelli, *Considerazioni sulle norme tecniche ed igieniche obbligatorie per riparazioni, ricostruzioni e ricostruzioni nei Comuni colpiti dal Terremoto*, "Rivista di Ingegneria Sanitaria", 10, 1909, pp. 145-152
- A. Danusso, *La statica delle costruzioni antisismiche*, "Il Monitor Tecnico", 33, 1909, pp. 641-645
- *XII Congresso degli Ingegneri e Architetti Italiani*, Firenze 1909, *Concorso per costruzioni antisismiche*, "Il Monitor Tecnico", 36, 1909, pp. 709-711
- C. Caveglia, *Fenomeni sull'impiego del cemento armato in località soggette a terremoti*, "Annali della So-

- cietà degli Ingegneri e degli Architetti Italiani", 24, 1909, p. 149
- *A proposito dell'opera del Comitato Milanese per la ricostruzione di Messina*, "Il Monitor Tecnico", 21, 1909, pp. 407-408
- A. Manfredini, *Per la costituzione della società nazionale di lavori pubblici per la ricostruzione delle città devastate dal terremoto*, "Il Monitor Tecnico", 27, 1909, pp. 521-522
- P.G. Alfani, *Le vibrazioni e le oscillazioni nei fabbricati. Studi e ricerche*, "Il Monitor Tecnico", 35, 1909, pp. 683-686; 36, 1909, pp. 704-707
- G. Torres, *La casa antisismica*, Roma 1909
- *I progetti premiati al Concorso per costruzioni edilizie nelle regioni italiane soggette a movimenti sismici. Progetto dell'ing. Edmondo Cognigni di Parigi*, "Il Monitor Tecnico", 1, 1910, pp. 723-725
- M.A. Boldi, *Le case popolari*, Milano 1910
- A. Pedrini, *La casa dell'avvenire*, II ed., Milano 1910
- M. Baratta, *La catastrofe sismica calabro-messinese (28 dicembre 1908). Relazione alla Società Geografica Italiana*, Roma 1910
- A. Montel, *Le case nelle regioni sismiche e la scienza delle Costruzioni*, Torino 1910
- *Catalogo degli oggetti, disegni, fotografie, pubblicazioni e modelli inviati all'esposizione internazionale di Torino del 1911 dal Ministero dei Lavori Pubblici*, Bergamo 1911, pp. 115-128
- *Concorsi. Palazzo municipale di Messina*, "L'Architettura Italiana", 8, 1911, p. 96
- *Onofrience accordevole all'Esposizione di Torino*, "Il Monitor Tecnico", 33, 1911
- A. Danusso, *La revisione delle norme antisismiche ministeriali*, "Il Monitor Tecnico", 10, 1912, pp. 183-184
- *Ministero dei Lavori Pubblici. L'opera del Ministero dei Lavori Pubblici nei comuni colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908*, Roma 1912
- G. Pizzamiglio, *L'opera del Ministero dei Lavori Pubblici nei comuni colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908*, Roma 1912
- F. Ruffolo, *Stabilità sismica dei fabbricati*, Roma 1912
- *Istruzioni ed esempi di calcolo delle costruzioni stabili alle azioni sismiche. Seconda Relazione della Commissione Istituita con R.D. del 17 dicembre 1911*, "Giornale del Genio Civile", 10, 1913
- S. Canevazzi, *Note di edilizia antisismica*, Bologna 1913
- S. Canevazzi, *Metodo abbreviato di calcolo*, Roma 1913
- *Per l'edilizia antisismica*, "Il Monitor Tecnico", 1913, pp. 253-254
- *Ministero dei Lavori Pubblici. Gli Edifici Pubblici e le Case degli impiegati dello Stato nei Paesi colpiti dal Terremoto*, Roma 1913
- *Poi calcoli delle costruzioni stabili alle azioni sismiche*, "Il Monitor Tecnico", 35, 1913, p. 698
- *Terremoto e fondazioni antisismiche*, "Ingegneria", 1, 1914
- F. Masciari-Genoese, *Trattato di costruzioni antisismiche preceduto da un corso di sismologia*, Milano 1915
- P.G. Alfani, F. Masciari-Genoese, *Trattato di costruzioni antisismiche preceduto da un corso di sismologia*, Milano 1915
- U. Puppin, *Contributo allo studio delle azioni sismiche sugli edifici*, "Il Monitor Tecnico", 3, 1916, pp. 40-43; 4, 1916, pp. 54-58; 5, 1916, pp. 70-73; 6, 1916, pp. 88-92
- *Unione Edilizia Messinese. L'opera dell'Unione Edilizia Messinese per la ricostruzione di Messina (febbraio 1914 - giugno 1917)*, Bergamo 1917
- *La ricostruzione di Messina nell'opera dell'Unione Edilizia Messinese*, "Il Monitor Tecnico", 10, 1918, pp. 73-76; 11-12, 1918, pp. 87-91
- *Unione Edilizia Nazionale. L'opera dell'Unione Edilizia Nazionale nel quadriennio 1917-1920*, Roma 1921
- *Concorso dell'Associazione Cultori per tipi di case antisismiche*, "Architettura e Arti Decorative", 3, 1923, pp. 136-140
- *Nuove ponti in cemento armato sul fiume Salso presso Licata (Prov. di Girgenti)*, "L'Ingegneria", 4, 1923, p. 111
- R. Bertolami, *Effetti del terremoto sui vari tipi di costruzione nel recente cataclisma giapponese*, "Il Cemento Armato", 3, 1924, pp. 24-27
- C. Guidi, *Costruzioni antisismiche*, "Annali dei Lavori Pubblici", marzo 1925
- C. Guidi, *Costruzioni antisismiche*, "Il Cemento Armato", 3, 1926, pp. 32-33
- C. Guidi, *Studi sperimentali su costruzioni in cemento armato*, "Il Cemento Armato", 2, 1927, pp. 9-14; 3, 1927, pp. 23-30
- G. Valentino, *La ricostruzione di Reggio*, Reggio Calabria 1928
- C. Guidi, *Telai antisismici*, Roma 1930

- D.A. Priolo, *Le costruzioni antisismiche. Manuale pratico*, Messina 1930
- A. Goldstein-Bolcan, *Generalità attorno al progetto di fondamenta in terreni minacciati da scosse sismiche o da assestamenti bruschi*, "Il Cemento Armato", 10, 1930, pp. 126-130
- P. Marconi, *Il Concorso nazionale per il progetto della nuova Palazzina di Messina, "Architettura e Arti Decorative"*, 12, 1931, pp. 583-614
- G. Faccenda, *Le costruzioni antisismiche in Italia, in La partecipazione italiana al primo Congresso Internazionale del beton semplice ed armato*, Liegi, settembre 1930, Roma 1931, pp. 19-36
- A. Danusso, *Sulla statica delle costruzioni antisismiche, in La partecipazione italiana al primo Congresso Internazionale del beton semplice ed armato*, Liegi, settembre 1930, Roma 1931, pp. 55-78
- G. Stellingwerf, *Le costruzioni antisismiche. Note di legislazione tecnica e rifronti economici*, Roma 1931
- A. Giannelli, *Lezioni sui telai elastici piani*, Roma 1932
- P. Rizzatti di Messina, "Rassegna di Architettura", 3, 1932
- G. Valentini, *Nel venticesimo, 28 dicembre 1933. La ricostruzione di Reggio Calabria 1933*
- Ministero dei Lavori Pubblici, *L'azione del Governo Fascista per la ricostruzione delle zone danneggiate da calamità*, Terni 1933
- *Edifici antisismici a struttura di acciaio. Concorso bandito dall'Associazione Nazionale Fascista fra Industriali Metallurgici Italiani*, s.l. 1935
- L. Morelli, *L'applicazione del cemento armato alle costruzioni antisismiche*, relazione al 1° Congresso Nazionale del Cemento tenutosi a Casale Monferrato nel maggio 1937, Casale Monferrato 1937
- G. Colomnetti, *Il contributo della Scienza Italiana alla impostazione del problema fondamentale della dinamica delle costruzioni*, in *Enciclopedia Scientifica Monografica Italiana del XX Secolo*, serie I, n. 3, Verona 1939
- S. Di Pasquale, *Architettura e terremoti. Il caso di Parma: 9 novembre 1983*, Parma 1986
- A. Giuffrè, *Cento anni di norme sismiche, "Ingegneria Sismica"*, 2, 1987, pp. 13-18
- *La catastrofe celebrata. Architettura e città a Reggio dopo il 1908*, a cura di A. Martino, O. Micella, Reggio Calabria 1988
- L. Menozzi, *Architettura e "Regime". Reggio Calabria negli anni venti*, Roma - Reggio Calabria 1988
- C. Barucci, *Il cantiere antisismico tra XVIII e XX secolo: case «abbraccate» e case «rinchiavate», in Il Modo di costruire*, a cura di M. Casciato, S. Mornati, C.P. Scavizzi, atti del I seminario internazionale, Roma 1990, pp. 267-280
- C. Barucci, *La casa antisismica. Prototipi e brevetti. Materiali per una storia delle tecniche e del cantiere*, Reggio Calabria 1990
- R. Legnati, *Catastrofe e nuovi materiali. Parigi-Messina, un laboratorio per la casa in cemento armato, in 150 anni di costruzione edile in Italia*, a cura di M. Casciato, S. Mornati, C.P. Scavizzi, atti del II seminario internazionale "Il Modo di costruire", Roma 1992, pp. 293-306

LA FASE DELLA NORMALIZZAZIONE DALLA PRIMA GUERRA MONDIALE AL 1935

- C. Chiodi, *L'altezza più economica delle travi maestre di un solaio in cemento armato*, "Il Monitor Tecnico", 15, 1914, pp. 287-291
- *Espropriazione dei brevetti per uso militare*, "Il Monitor Tecnico", 7, 1915, p. 140
- A. Manfredini, *Comitato nazionale per le nuove invenzioni di guerra*, "Il Monitor Tecnico", 29, 1915, pp. 437-438
- *Variazioni di temperatura nel calcestruzzo*, "Il Monitor Tecnico", 32, 1915, p. 493
- A. Danusso, *Noti e i tedeschi*, "Il Monitor Tecnico", 9, 1916, pp. 125-127
- A. Danusso, *I progressi delle norme per l'esecuzione delle opere in cemento armato*, "Il Monitor Tecnico", 24, 1916, pp. 309-313
- *Sull'arricchimento del ferro nelle opere in cemento armato*, "Il Monitor Tecnico", 27, 1916, pp. 352-353
- G. Balotti, *Costruzioni in cemento armato*, Milano 1916
- A. Fanti, *Manuale sulle costruzioni rurali in cemento armato*, Milano 1917
- *Nuovo ponte di cemento armato sull'Adda*, "Il Monitor Tecnico", 28, 1917, pp. 266-267
- *Esperienze sull'aderenza del cemento col ferro*, "Il Monitor Tecnico", 35, 1917, pp. 31-32
- A. Manfredini, *Guerra ed arte - Piccola edilizia romana*, "Il Monitor Tecnico", 7, 1918, pp. 49-50
- A. Manfredini, *Per la utilizzazione degli ingegneri nei servizi tecnici di guerra*, "Il Monitor Tecnico", 28, 1918, pp. 217-218
- *La protezione delle armature del cemento armato contro la ruggine*, "Il Monitor Tecnico", 30, 1918, p. 239
- A. Arcangeletti, *Manuale pratico per l'impiego del cemento armato*, Milano 1919

- C.F. Cementi di scorie di alti forni, "Il Monitor Tecnico", 29, 1919, pp. 338-339
- *Misura speditiva del grado di consistenza del calcestruzzo*, "Il Monitor Tecnico", 24, 1919, pp. 279-280
- EG, *Una eccezionale prova di resistenza di un serbatoio in cemento armato*, "Il Monitor Tecnico", 33, 1919, pp. 385-386
- EG, *Malte e calcestruzzi di cemento con materie pozzolaniche*, "Il Monitor Tecnico", 34, 1919, pp. 374-375
- M. Foerster, *Manuale del costruttore*, traduzione della seconda versione originale *Die Grunndzüge des Eisenbetonbau* con note ed aggiunte dell'ing. Cesare Albertini, Milano 1919
- *Sopra l'ossidazione del ferro nel cemento armato*, "Il Monitor Tecnico", 9, 1920, pp. 99-100
- A. Pugnali, *Note sul calcolo di alcune membrature inflesse in cemento armato con speciale riguardo al problema del minimo costo*, "Il Monitor Tecnico", 21, 1920, pp. 189-192
- EG, *Sulla misura del grado di consistenza del calcestruzzo*, "Il Monitor Tecnico", 25, 1920, p. 227
- G. Reverse, *A proposito di disastri edilizi*, "Il Monitor Tecnico", 26-27, 1920, p. 231
- *Nuovo tipo di costruzioni in calcestruzzo. La muratura I.D.E.M.*, "Il Monitor Tecnico", 26-27, 1920, pp. 233-235
- *Per l'esecuzione di lavori in calcestruzzo di cemento durante il gelo*, "Il Monitor Tecnico", 35, 1920, pp. 301-303
- L. Narducci, *Provvantario per il calcolo e l'esecuzione del cemento armato nelle costruzioni civili*, Torino 1920
- G. Reverse, *Risultati di prove meccaniche su cementi eseguite nel quinquennio 1916-1920*, "Il Monitor Tecnico", 31, 1920, pp. 261-264
- G. Reverse, *Il controllo dei cementi ed i consorzi fra i consumatori*, "Il Monitor Tecnico", 5, 1921, pp. 52-53
- G. Reverse, *Max Foerster, Manuale del costruttore*, "Il Monitor Tecnico", 12, 1921, p. 143
- G. Reverse, *A proposito di certe riduzioni*, "Il Monitor Tecnico", 13, 1921, p. 154
- *Le nuove costruzioni della Soc. An. Coop. «Case e Alloggi» a Milano*, "Il Monitor Tecnico", 20, 1921, pp. 229-234
- *Edilizia milanese nel dopo-guerra. Case-albergo*, "Il Monitor Tecnico", 24, 1921, pp. 283-284
- *Edilizia milanese nel dopo-guerra. Cooperativa Case per i Combattenti*, "Il Monitor Tecnico", 28, 1921, pp. 333-335
- M. Calvini, *Edilizia milanese nel dopo-guerra. Le nuove costruzioni per gli impiegati e le maestranze industriali*, "Il Borgo Pirelli", "Il Monitor Tecnico", 34, 1921, pp. 406-409
- *Una mostra Campionaria dell'Edilizia Moderna in Torino*, "L'Architettura Italiana", 2, 1922, p. 9
- *Edilizia milanese nel dopo-guerra. Cooperativa Edile postelegrafonica*, "Il Monitor Tecnico", 3, 1922, pp. 29-34
- *L'azione dell'acqua sulla resistenza del calcestruzzo*, "Il Monitor Tecnico", 7, 1922, p. 85
- *Edilizia milanese nel dopo-guerra. La casa Reggio in Milano al N.7 di via Settembrini*, "Il Monitor Tecnico", 8, 1922, pp. 89-92
- *IX Riunione dell'Associazione Italiana per lo studio dei materiali da costruzione (S.I.M.)*, Torino 12-14 Aprile 1922, "Il Monitor Tecnico", 12, 1922, pp. 141-144
- C. Selvelli, *Il vecchio e il nuovo ospedale di Fano*, "Il Monitor Tecnico", 16, 1922, pp. 185-190
- G. Lavini, *Un'Esposizione e due Congressi a Torino*, "L'Architettura Italiana", 6, 1922, pp. 47-48
- *La IX Riunione della S.I.M. e le nuove norme per gli agglomeranti idraulici e per le costruzioni in cemento armato*, "Le industrie costruttive, metallurgiche e minerarie", 6, 1922, pp. 45-48
- EGI, *La mostra d'Edilizia Moderna di Torino*, "Il Monitor Tecnico", 18, 1922, pp. 212-214; 19, 1922, pp. 227-229
- L. Santarella, *Sviture industriali moderne in cemento armato*, "Il Cemento", 7, 1922, pp. 69-73; 8, 1922, pp. 77-85
- *Norme pratiche circa l'esecuzione delle opere di cemento armato*, "Il Cemento", 8, 1922, pp. 87-88
- *Dati statistici sulla produzione del cemento in Italia*, "Le industrie costruttive, metallurgiche e minerarie", 9, 1922, pp. 72-74; 10, 1922, pp. 80-81
- *I pali di cemento armato centrifugato*, "Il Monitor Tecnico", 29, 1922, pp. 348-349
- *Caso in getto di calcestruzzo*, "Il Cemento", 11, 1922, pp. 116-118
- *Corso di specializzazione nelle opere di bonifica e nelle costruzioni in cemento armato per giovani ingegneri*, "Il Monitor Tecnico", 36, 1922, p. 434
- C. Russo, *L'ingegnere costruttore. Guida teorico-pratica per le costruzioni in cemento armato*, Milano 1922
- A. Bagnasco, *Cemento Armato. Guida teorica pratica per l'impiego e l'esecuzione del cemento armato*, Brescia 1923
- O. Caldera, *Solaio a cassette I.D.E.M.*, "Il Cemento", 1, 1923, pp. 9-11
- E. Martullier, C. Russo, *L'ingegnere costruttore. Guida teorico-pratica per le costruzioni in cemento armato*, "Il Cemento", 3, 1923

- A. Danusso, *A proposito di una recensione*, "Il Cemento", 4, 1923, p. 38
- *Fessurazioni del beton ed arrugginimento dei ferri d'armatura nelle strutture in cemento armato*, "Il Cemento", 5, 1923, p. 43
- A. Landini, *Influenza del quantitativo di acqua di impasto sulla resistenza alla compressione dei conglomerati cementizi*, "Le Industrie costruttive, metallurgiche e minerarie", 7, 1923, pp. 57-62
- *Degradazione del cemento armato in causa di insufficiente protezione dei ferri dalla ruggine*, "Il Cemento", 7, 1923, pp. 65-66
- *Alcuni difetti nelle costruzioni in calcestruzzo. Cause e modo di evitarli*, "Il Cemento", 7, 1923, pp. 67-68
- E. Thovez, *Un nuovo tipo di travi composte in cemento armato e laterizi forati*, "Il Cemento", 9, 1923, p. 86
- G. Bianchi, *Un tipo semplice ed economico di solaio a camera d'aria*, "Il Cemento Armato", 2, 1924, pp. 17-19
- A. Cannonero, *Solaio in cemento armato con nervature di altezza ridotta*, "Il Cemento Armato", 6, 1924, pp. 49-52
- G. Niccolosi, *Osservazioni al nuovo regolamento per la costruzione delle opere in cemento armato proposto dall'Associazione per gli studi sui materiali da costruzione (S.I.M.)*, "Il Cemento Armato", 7, 1924, pp. 59-61
- L. Santarella, *Il Solaio Berra in cemento armato e laterizi forati triangolari*, "Il Cemento Armato", 1, 1925, pp. 7-12; 2, 1925, pp. 15-20
- *Boletino Ufficiale del Ministero dei Lavori Pubblici*, 1-11 marzo 1925, *Prescrizioni per l'accettazione degli agglomeranti idraulici e l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato* (G.U. n. 135 del 12 giugno 1925)
- *Notizie sul regolamento logaritmico calcolatore per costruzioni in cemento armato sistema Rieger*, "Il Cemento Armato", 5, 1925, pp. 49-52
- G. Reveret, *Disastri edilizi*, "Il Monitor Tecnico", 21, 1925, pp. 311-312
- G. Reveret, *In tema di «cemento»*, "Le Industrie del Cemento", 2, 1925, pp. 13-15
- Kalman, *Le nuove norme germaniche per costruzioni in cemento armato*, "Il Cemento Armato", 11, 1925, pp. 128-132
- *Marione-armatura per solai in cemento armato e solaio relativo (a camera d'aria)*, "Il Cemento Armato", 12, 1925, pp. 138-139
- E. Kueich, *Le cause dei crolli edilizi considerate dalla tecnica moderna*, "Il costruttore edile", 7, dicembre 1925, pp. 53-57
- L. Santarella, *Il cemento armato nelle costruzioni civili ed industriali. Testo e atlante*, 1 ed., Milano 1926, II ed., in tre volumi, 1927 e successive edizioni
- P. Larsen, *Innovazioni introdotte nell'industria del cemento durante i dieci ultimi anni*, "Le Industrie del Cemento", 1, 1926, pp. 1-5
- L. Santarella, *Alcune esperienze sul solaio Berra*, "Il Monitor Tecnico", 3, 1926
- L. Santarella, *Solai in cemento armato e mattoni forati a nervature incrociate ortogonali*, "Ingegneria", 2, 1926, pp. 57-64
- A. Goffi, *Dei solai a struttura mista e di alcune malinconie del cemento armato*, "Il costruttore edile", 3, 1926, pp. 17-19
- *Impianti idro-termo-elettrici e condotte forzate*, "Il Cemento Armato", 5, 1926, pp. 50-62
- *I cementi speciali ed i cementi armati*, "Il Cemento Armato", 6, 1926, p. 82
- S.R. Levi, *Disastri edilizi*, "Il costruttore edile", 7, 1926, pp. 67-68
- *Circolare ministeriale dei Lavori Pubblici relativa alle opere in cemento armato*, "Il Cemento Armato", 8, 1926, p. 102
- *I danni nelle opere di cemento armato*, "Il Cemento Armato", 9, 1926, pp. 113-117
- *A proposito di disastri edilizi*, "Il Cemento Armato", 10, 1926, pp. 130-135
- F. Ferrari, *I cementi d'Italia*, "Le Industrie del Cemento", 10, 1926, pp. 103-105
- P. Vacchelli, *Solai incrociati nelle costruzioni civili e industriali*, "Il costruttore edile", 6, 1926, pp. 45-51
- A. Arcangelì, *Sulle ossature a gobbia per fabbricati*, "Il Cemento Armato", 11, 1926, pp. 138-142
- R. La rotura e la distruzione di costruzioni in beton semplice ed armato mediante esplosivi, "Il Cemento Armato", 11, 1926, pp. 144-146
- E. Mecacchi, *Minori cementi italiani*, "Le Industrie del Cemento", 11, 1926, pp. 113-114
- *Cemento fuso processo Lafarge*, "Il Monitor Tecnico", 1, 1927
- *Sulla durata del cemento armato. Un esempio pratico*, "Il Monitor Tecnico", 3-4, 1927, pp. 606-607
- A. Oberziner, *Di alcuni errori costruttivi e del modo di evitarli*, "Il Cemento Armato", 4, 1927, pp. 43-46
- *Una malattia del cemento fuso*, "Il Monitor Tecnico", 9-10, 1927, pp. 697-698
- R. Bertolini, *Il ponte di Gartz sull'Order (Germania) e il suo crollo*, "Il Cemento Armato", 6, 1927, pp. 65-67
- *Nuove esperienze su pilastri in cemento armato*, "Il Monitor Tecnico", 13-14, 1927, pp. 756-757

- G. Neumann, *Prescrizioni internazionali per il cemento armato*, "Il Cemento Armato", 8, 1927, pp. 86-87
- R.D.L. n. 1981 del 4 settembre 1927, *Nuove norme per l'accettazione degli agglomeranti idraulici e l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice ed armato* (G.U. n. 261 dell'11 novembre 1927)
- *Edificio in cemento armato*, "Il costruttore edile", 2, 1928, pp. 9-11
- C.M. Zuccherelli, *Sosteniamo... il cemento Armato*, "Il Cemento Armato", 3, 1928, pp. 34-35
- R.D.L. n. 1431 del 7 giugno 1928, *Prescrizioni per l'accettazione degli agglomeranti idraulici e per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio* (G.U. n. 156 del 6 luglio 1928), convertito in legge n. 58 del 3 gennaio 1929
- P. Montanari, *Un nuovo soffitto misto. Travetti in cemento fuso armato e tavellone di laterizio*, "Il Cemento Armato", 10, 1928, pp. 130-131
- L. Santarella, *Analisi di costo e preventivo di spesa per le costruzioni in cemento armato*, 1 ed., Milano 1929, II ed., 1935
- A. Oberziner, *Sulle «Prescrizioni per l'accettazione degli agglomeranti idraulici e per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio»*, "Il Cemento Armato", 3, 1929, pp. 29-32; 4, 1929, pp. 38-40; 5, 1929, pp. 45-48
- R.D. n. 592 del 4 aprile 1929, *Norme per l'accettazione dei cementi speciali* (G.U. n. 101 del 30 aprile 1929)
- E. Lo Cigno, *Tabelle e grafici per il rapido dimensionamento delle travi in cemento armato più economiche sollecitate a flessione ed a pressoflessione*, "Il Cemento Armato", 6, 1929, pp. 53-61
- L. Santarella, *Crolli nelle costruzioni in cemento armato*, "Il Cemento Armato", 8, 1929, pp. 77-80
- L. Grosso, *Il contributo della calcolatrice «Washington» nello sviluppo dei progetti delle costruzioni in conglomerato cementizio armato*, "Il Cemento Armato", 12, 1929, pp. 129-130
- L. Santarella, *Prodotto del cemento armato*, 1 ed., Milano 1930, XXXII ed., 1984
- G. Marbelli, *Ancora sulle «Prescrizioni per l'accettazione degli agglomeranti idraulici e per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio» e sulla loro invocata riforma*, "Il Cemento Armato", 3, 1930, pp. 25-26
- *Crollo di una costruzione a due piani causa il mancato indurimento del calcestruzzo per la temperatura eccessivamente rigida*, "Il Cemento Armato", 5, 1930, pp. 58-59
- R.D.L. n. 1133 del 18 luglio 1930, *Norme per le prove d'accettazione degli agglomeranti idraulici e per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio* (G.U. n. 203 del 30 agosto 1930)
- *Crollo d'un edificio a tre piani*, "Il Cemento Armato", 12, 1930, pp. 159-160
- R. Dima, *Per superare la crisi del cemento in Italia*, "Le Industrie del Cemento", 3, 1931, pp. 18-20
- C. Vannoni, *Il cemento nell'architettura*, "L'Industria Italiana del Cemento", 3, 1931, pp. 76-84
- *Il nuovo Seminario di Penegono Superiore*, "Il Cemento Armato", 3, 1931, pp. 33-40
- *I cementi armati e le industrie del cemento al 2° congresso Nazionale degli Ingegneri Italiani*, "Il Cemento Armato", 7, 1931, pp. 80-82
- A. Ferrario, *Le opere in cemento alla prima Mostra Nazionale della Ingegneria*, "L'Industria Italiana del Cemento", 7, 1931, pp. 198-210
- V. Musso, *Le prescrizioni sui cementi e sulle opere in cemento armato nel parere dei Sindacati Ingegneri d'Italia*, "Le Industrie del Cemento", 8, 1931, pp. 64-67
- A. Goldstein-Bolocan, *Architettura razionalista e Architettura del cemento armato* (saggio), "Il Cemento Armato", 8, 1931, pp. 88-90
- L. Santarella, *Le applicazioni del cemento armato in Italia (sviluppo ed orientamento della tecnica)*, "L'Industria Italiana del Cemento", 8, 1931, pp. 233-241
- *Un cenno di studi sui cementi e calcestruzzi presso la Scuola di specializzazione «Fondazione Fr.lli Resentini (R. Politecnico di Milano)*, "Le Industrie del Cemento", 9, 1931, p. 76
- A. Brusch, *Nomogrammi per il calcolo e la verifica di sezioni circolari in cemento armato*, "Il Cemento Armato", 11, 1931, pp. 119-124
- A.T., *La rottura di un arco di ponte in cemento armato*, "Il Cemento Armato", 11, 1931, pp. 129-130
- AGB, *Riordino dei Servizi Ferroviari di Milano. Il cavalcavia in cemento armato presso Segrate*, "Il Cemento Armato", 12, 1931, pp. 131-139
- *La partecipazione italiana al primo congresso internazionale del beton semplice ed armato. Leggi, settembre 1930*, Roma 1931
- GM, *La nuova sede della «Canottieri Lario» a Como*, "Il Cemento Armato", 2, 1932, pp. 18-19
- R.D.L. n. 832 del 23 maggio 1932, *Norme per l'accettazione degli agglomeranti idraulici e per l'esecuzione delle opere in conglomerato cementizio* (G.U. n. 169 del 23 luglio 1932), convertito in legge n. 1830 del 22 dicembre 1932
- P. Vacchelli, *Edilizia standardizzata, calcoli fatti, soluzioni pronte e ingegneri*, "Il Cemento Armato", 6, 1932, pp. 65-66
- *Deliberazioni del Sindacato Ingegneri di Genova per prevenire i disastri edilizi*, "Il Cemento Armato", 7, 1932, p. 84

- C. Vighiani, *L'industria del cemento nel dopoguerra*, "L'Industria Italiana del Cemento", 8, 1932, pp. 233-234
- G. Segalla, *Nuovo bagno Comunale di Merano*, "Il Cemento Armato", 11, 1932, pp. 125-131
- C. Formenti, R. Cortelletti, *La pratica del fabbricare*, III ed., Milano 1933
- GS, *Il cemento armato nella moderna architettura*, "L'Industria Italiana del Cemento", 2, 1933, pp. 42-44
- G. Angiella, *Appunti sul vigente regolamento del cemento armato*, "L'Industria Italiana del Cemento", 5, 1933, pp. 122-125.
- R.D.L. n. 1213 del 29 luglio 1933, *Norme per l'accelerazione dei leganti idraulici e per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio* (G.U. n. 224 del 26 settembre 1933), convertito in legge n. 313 del 5 febbraio 1934
- E. Peretti, *La legge 1932 sui cementi e il commento del prof. Gilardoni*, "Costruzioni civili e industriali illustrate", agosto 1933, pp. 395-404
- D. De Francesco, *Considerazioni e proposte sulle norme per gli agglomeranti e conglomerati cementizi*, "Costruzioni civili e industriali illustrate", novembre - dicembre 1933, pp. 599-607
- R.D.L. n. 1306 del 1° luglio 1934, *Norme per l'accelerazione dei leganti idraulici e per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio nelle Colonie*
- *La Scuola di specializzazione per il cemento armato nel Politecnico di Milano*, "Costruzioni civili e industriali illustrate", 8, 1934, pp. 447-450

- S. Porretti, *Progetti e costruzione dei palazzi delle Poste a Roma 1933-1935*, Roma 1990
- S. Porretti, *Le tecniche costruttive degli anni trenta fra modernismo e autarchia. Una nota sulla Casa del Fascio, in 150 anni di costruzione edile in Italia*, a cura di M. Casciato, S. Moratti, C.P. Scavizzi, atti del II Seminario Internazionale "Il Modo di costruire", Roma 1992, pp. 307-320
- R. Capomolla, *Alcune osservazioni sulla casa della GIL a Trieste di Luigi Moretti, in 150 anni di costruzione edile in Italia*, a cura di M. Casciato, S. Moratti, C.P. Scavizzi, atti del II Seminario Internazionale "Il Modo di costruire", Roma 1992, pp. 321-332
- R. Vittorini, *La casa della GIL di Gaetano Minneci, in 150 anni di costruzione edile in Italia*, a cura di M. Casciato, S. Moratti, C.P. Scavizzi, atti del II Seminario Internazionale "Il Modo di costruire", Roma 1992, pp. 333-344
- S. Moratti, *La Città Universitaria di Roma. Note sulla Scuola di Matematica di Gino Ponzi, in 150 anni di costruzione edile in Italia*, a cura di M. Casciato, S. Moratti, C.P. Scavizzi, atti del II Seminario Internazionale "Il Modo di costruire", Roma 1992, pp. 345-360
- S. Moratti, *La sperimentazione nella costruzione della Città Universitaria (1932-1935)*, "Rassegna di Architettura e Urbanistica", 84-85, 1994-95, pp. 109-117
- S. Porretti, R. Vittorini, *The Debate on "Autarchy" and the Heterogeneity of Italian Architecture*, in *Conference Proceedings of Fourth International DOCCOMO Conference, September 18th-20th 1996, Bratislava - Sládk, Slovakia, Bratislava 1997*, pp. 172-176
- M. Diringoli, A. Mattioli, F. Nuti, *I mestieri del costruire, l'edilizia storica a Pisa*, Pisa 1997
- S. Porretti, *La Casa del fascio di Como*, Roma 1998
- S. Porretti, *Per una storia della costruzione moderna in Italia, in Studi sull'edilizia in Italia tra Ottocento e Novecento*, a cura di R. Capomolla, R. Vittorini, Roma 1999, pp. 7-10
- R. Capomolla, R. Vittorini, *La costruzione negli anni trenta. Note sulle case del bulglio, in Studi sull'edilizia in Italia tra Ottocento e Novecento*, a cura di R. Capomolla, R. Vittorini, Roma 1999, pp. 177-192

LA SPERIMENTAZIONE AUTARCHICA

- C. Pesenti, *Il cemento armato ed il cemento semiamato: ricerche teoriche e loro pratiche applicazioni*, I ed., Milano 1906
- M. Viscardi, *Il legno come armatura tesa nei solidi di calcestruzzo*, "Il Cemento", 3, 1911
- *Un nuovo tipo di cemento armato, il legnocemento*, "Il Monitor Tecnico", 14, 1911
- *Il legno come armatura nei solidi di calcestruzzo*, "Il Monitor Tecnico", 17, 1911
- M. Viscardi, *Contributo allo studio del legno beton*, "Giornale del Genio Civile", 2, 1918, pp. 61-74
- Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 5203 del 14 dicembre 1923, *A riguardo dell'assoluta preferenza da dare ai materiali di produzione nazionale nella costruzione di opere di pubblico interesse*
- V. Maranghini, *La sostituzione del legno al ferro nei cementi armati*, "Ingegneria", 2, 1924
- Legge n. 1379 del 15 luglio 1926, *Preferenza ai prodotti delle industrie nazionali negli acquisti da effettuarsi da parte delle Amministrazioni dello Stato, degli enti autarchici o sottoposti alla tutela o vigilanza dello Stato*

- Legge n. 519 dell'8 marzo 1928, *Norme integrative della legge 15 luglio 1926 n. 1379 per la preferenza ai prodotti dell'industria nazionale*
- *Nuovo solai in cemento armato con tavelloni di Eternit*, "Il Cemento Armato", 6, 1928, pp. 88-90
- G. Ceruti, *Le strutture in acciaio in Italia*, "L'Industria Italiana del Cemento", 11, 1932, pp. 353-359
- L. Santarelli, *La collaborazione del laterizio nei solidi di cemento armato (Ridotti sperimentali)*, "Atti e Ricerche Studi. Scuola di Specializzazione per le costruzioni in cemento armato (Fondazione Fratelli Pesenti)", Milano 1932
- G. Radici, *Sulla convenienza delle assature di cemento armato nelle case di abitazione*, "L'Industria Italiana del Cemento", 3, 1933, pp. 70-74
- A. Bizzaguti, *Convenienza delle travi e pilastri in cemento armato rispetto all'acciaio*, "L'Industria Italiana del Cemento", 5, 1933, pp. 114-121
- G. Nusiner, *Ossature per edifici a molti piani*, "L'Industria Italiana del Cemento", 7, 1933, pp. 179-181
- *L'industria di certe costruzioni moderne*, "Il Cemento Armato", 11, 1933, pp. 130-131
- G. Pegano Pogatschnig, *Repertorio 1934 dei materiali per l'edilizia e l'arredamento*, Milano 1934
- E. Protti, *Solai - soffitti - coperti nella moderna edilizia*, Bologna 1934
- A. Goffi, *Ossature in ferro o in cemento armato? - Esame e confronti*, "Il Cemento Armato", 1, 1934, pp. 5-7
- A. Goffi, *Ossature in ferro o in cemento armato?*, "L'Industria Italiana del Cemento", 1, 1934, pp. 26-27
- G. Colonnetti, *Prove di elasticità su tubi Magnani in cementitanario*, "Ricerche di Ingegneria", 2, 1934, pp. 37-40
- *I risultati del concorso per monografie su opere in cemento armato*, "L'Industria Italiana del Cemento", 2, 1935, pp. 55-56
- *Un concorso in memoria di Luigi Santarelli*, "L'Industria Italiana del Cemento", 12, 1935
- *Il concorso per l'economia del ferro nel conglomerato cementizio*, "L'Industria Italiana del Cemento", 1, 1936, p. 7
- Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 22 - Serv. I del 21 gennaio 1936, *Segnalazione di materiali e sistemi costruttivi*
- G. Nusiner, *Edilizia e sanzioni*, "L'Industria Italiana del Cemento", 2, 1936, p. 37
- A. Arcangel, *Per un uso più razionale del cemento armato nelle costruzioni edilizie*, "L'Industria Italiana del Cemento", 2, 1936, pp. 39-42
- *Murature economiche con mattoni in conglomerato cementizio*, "L'Industria Italiana del Cemento", 2, 1936, pp. 51-52
- I. Costantini, *I conglomerati di pozzine nell'edilizia*, "L'Industria Italiana del Cemento", 1936, 3, pp. 71-77
- *L'economia italiana al quarto mese delle sanzioni*, "L'Ingegnere", 4, 1936, p. 235
- *In tema di sanzioni - Cifre e considerazioni di attualità*, "L'Ingegnere", 4, 1936, pp. 211-215
- *I risultati del concorso Santarelli*, "L'Industria Italiana del Cemento", 5, 1936
- C. Gussoni, *Strutture edilizie ed importazione di materie prime*, "L'Ingegnere", 6, 1936, pp. 299-312
- C. Mangiacchi, *Sulla possibilità di diminuzione del ferro nel cemento armato*, "L'Ingegnere", 1936, 6, pp. 312-313
- A. Apreda, *Un solai con travi di cemento armato eseguite fuori opera*, "L'Industria Italiana del Cemento", 6, 1936, pp. 164-167
- P. Giroto, *Dimensionamento delle travi in cemento armato e l'impiego dei materiali leggeri*, "L'Industria Italiana del Cemento", 7, 1936, pp. 172-183
- P. Marchino, *Solai a volte sovrati in conglomerato cementizio nell'economia delle costruzioni edili*, "L'Industria Italiana del Cemento", 8, 1936, pp. 200-208
- A. Goldstein-Bolcan, *Il cemento alla mostra edilizia della VI Triennale di Milano*, "L'Industria Italiana del Cemento", 8, 1936, pp. 209-214
- R. Pari di Montiva, *Sostituzione del ferro con leghe d'alluminio*, "L'Industria Italiana del Cemento", 9, 1936, pp. 236-239
- F. von Emperger, *L'unificazione del fattore α_m nel calcolo del cemento armato*, "L'Industria Italiana del Cemento", 10, 1936, pp. 256-261
- *Je' Congresso Nazionale del Cemento*, "L'Industria Italiana del Cemento", 11, 1936, p. 284; 12, 1936, p. 316; 3, 1937, p. 66; 4, 1937, pp. 100-101
- E. Galassini, *A proposito di un concorso*, "L'Industria Italiana del Cemento", 12, 1936, pp. 317-323
- G. Chiesi, *Alimentare le sollecitazioni*, "L'Industria Italiana del Cemento", 12, 1936, pp. 323-325
- G. Angiella, *L'elemento «Cupola 1936» per solai, volte e tramezzi armati*, "L'Industria Italiana del Cemento", 1, 1937, pp. 20-23
- G. Guici, *Solai in cemento armato con soletta in laterizio ed autarchia economica*, "L'Architettura Italiana", febbraio 1937, pp. 61-66
- P. Montanari, *Solai misti. Utilizzazione del laterizio staticamente inerte*, "Il Cemento Armato", 4, 1937, pp. 63-65

- A. Pesenti, *L'industria del cemento*, in L. Lojaceo, *L'indipendenza economica italiana*, Milano 1937, pp. 560-566
- A. Pesenti, *L'industria italiana del cemento nell'Africa Orientale Italiana*, Roma 1937
- P. Fogaccia, *Il cemento e la sua Organizzazione Sindacale. Storia della gestione del Cemento dalla sua origine ai nostri giorni*, relazione al 1° Congresso Nazionale del Cemento tenutosi a Casale Monferrato nel maggio 1937, Casale Monferrato 1937
- P.C. Bosco Lucarelli, *L'impiego del cemento nelle opere di recente esecuzione a cura del Servizio Lavori delle Ferrovie dello Stato*, relazione al 1° Congresso Nazionale del Cemento tenutosi a Casale Monferrato nel maggio 1937, Casale Monferrato 1937
- G. Colomnetti, *Recenti ricerche sperimentali sulla elasticità e resistenza dei tubi in cementomortaro*, relazione al 1° Congresso Nazionale del Cemento tenutosi a Casale Monferrato nel maggio 1937, Casale Monferrato 1937
- P. Marchino, *Economia del metallo nelle costruzioni in calcestruzzo cementizio*, relazione al 1° Congresso Nazionale del Cemento tenutosi a Casale Monferrato nel maggio 1937, Casale Monferrato 1937
- A. Martirelli, *Confronto economico tra le strutture in ferro ed in calcestruzzo semplice o armato per ponti ferroviari*, relazione al 1° Congresso Nazionale del Cemento tenutosi a Casale Monferrato nel maggio 1937, Casale Monferrato 1937
- *I lavori e i risultati del 1° Congresso Nazionale del cemento*, "L'Industria Italiana del Cemento", 5-6, 1937, pp. 138-143
- N. Di Giorgio, *Per l'autarchia nell'edilizia. Strutture in calcestruzzo senza armatura*, "L'Industria Italiana del Cemento", 8, 1937, pp. 224-225
- *In tema di Autarchia*, "Il Politecnico", 9, 1937, pp. 289-290
- G. Neumann, *Risparmio del ferro nelle costruzioni in cemento armato*, "Il Cemento Armato", 9, 1937, pp. 157-159
- *Economia del ferro nel cemento armato*, "Il Cemento Armato", 10, 1937
- U. Conti, *L'economia del ferro nelle costruzioni di cemento armato*, "L'Industria Italiana del Cemento", 10, 1937, pp. 293-294
- G. Neumann, *Iniziativa dell'economia del ferro nelle costruzioni in cemento armato*, "L'Ingegnere", 10, 1937, pp. 478-479
- R.D.L. n. 2105 del 22 novembre 1937, *Norme tecniche di edilizia con speciali prescrizioni per le località colpite dal terremoto*, convertito in legge n. 710 del 25 aprile 1938
- I. Bartoli, *Orientamenti autarchici per l'edilizia*, "La Metallurgia Italiana", novembre 1937, pp. 607-609
- *Aspetti del problema dell'autarchia nel campo edile*, "Rassegna di Architettura", dicembre 1937, pp. 476-477
- G. Neumann, *L'autarchia ed il cemento armato*, "Il Cemento Armato", 12, 1937, pp. 202-205
- G. Goria, *Autarchia nelle costruzioni edili*, "Rassegna di Architettura", 1, 1938, pp. 2-3
- A. Paoloni, *Il cemento armato con carne di bomba. Bomba-beton. Contributo ai problemi autarchici dell'impero: ingente risparmio di FERRO nei cementi armati, sintesi di ricerche, esperienze e proposte*, Gondar 1938
- GN, *Cemento e autarchia nelle costruzioni*, "L'Industria Italiana del Cemento", 3, 1938, pp. 62-64
- N. Di Giorgio, *Perché i solai debbono essere in cemento armato*, "L'Industria Italiana del Cemento", 3, 1938, pp. 80-81
- A. Apreda, *Solai con minimo impiego di ferro*, "L'Industria Italiana del Cemento", 3, 1938, pp. 82-86
- M. Palombi, *Autarchia: il ferro nell'edilizia*, "L'Industria Italiana del Cemento", 4, 1938, pp. 100-103
- P. Marchino, *Calcestruzzo cementizio senza ferro (o con pochissimo ferro) nelle costruzioni edilizie*, "L'Industria Italiana del Cemento", 4, 1938, pp. 104-105
- G.C. Astrua, *Il cemento e i suoi avversari*, "L'Industria Italiana del Cemento", 4, 1938, pp. 106-107
- G. Currelli, *L'importanza della pomicina nell'autarchia delle costruzioni edili*, "L'Industria Italiana del Cemento", 4, 1938, pp. 107-109
- V. Siveri, *Il cemento e l'autarchia*, "Il Cemento Armato", 4, 1938, pp. 70-72
- G. Vinaccia, *La trave Vierendeel nell'edilizia*, "L'Industria Italiana del Cemento", 5, 1938, pp. 151-156
- N. Di Giorgio, *Necessità dei solai in cemento armato contro incendi, terremoti e offese d'ere*, "L'Industria Italiana del Cemento", 5, 1938, pp. 157-159
- P. Marchino, *Strutture in calcestruzzo con minima armatura*, "L'Industria Italiana del Cemento", 6, 1938, pp. 171-174
- E. Viola, *Il problema del ferro nel cemento armato*, "Il Cemento Armato", 7, 1938, pp. 126-129
- A. Giuffrida, *Esame generale della limitazione d'impiego dei materiali d'importazione nelle costruzioni civili*, "Annali dei Lavori Pubblici", 8, 1938, pp. 633-648, 10, 1938, pp. 842-855
- P. Vaccelli, *Casseroi e blocchi di "Isocarver" per solai e strutture in cemento armato*, "Il Cemento Armato", 8, 1938, pp. 143-147

- Q. Sestini, *A proposito di supercementi*, "L'Ingegnere", 9, 1938, pp. 577-581
- *Cemento e autarchia*, "L'Industria Italiana del Cemento", 9, 1938, pp. 256-257
- *Convegno per lo sviluppo della sperimentazione ai fini dell'autarchia industriale*, "L'Industria Italiana del Cemento", 9, 1938, pp. 293-294
- *Impiego del ferro nell'edilizia e nell'autarchia*, "Il Cemento Armato", 9, 1938, pp. 164-167
- *Autarchia e solai in cemento armato nelle costruzioni edili*, "Il Cemento Armato", 10, 1938, pp. 176-177
- *Situazione autarchica dell'occlio nelle costruzioni edilizie*, "La Metallurgia Italiana", 10, 1938, pp. 571-572
- P. Biagini, *Orizzonti in calcestruzzo non armato*, "L'Industria Italiana del Cemento", 10, 1938, pp. 319-321
- A. Pica, *Indipendenza economica dell'edilizia*, "Rassegna di Architettura", 10, 1938, pp. 433-436
- P. Marchino, *Solai a volte sottili ribassati in calcestruzzo cementizio*, "L'Industria Italiana del Cemento", 11, 1938, pp. 348-349
- A. Arcangelì, *L'autarchia nelle costruzioni in cemento armato e i mezzi per la posa in opera dei calcestruzzi*, "Annali dei Lavori Pubblici", dicembre 1938, pp. 1031-1035
- *Indagini sui materiali da costruzione ai fini autarchici*, "Il Cemento Armato", 12, 1938, pp. 221-222
- A. Bevilacqua Lazise, *Autarchia e solai in cemento armato nelle costruzioni edili*, Bari 1938
- Legge n. 189 del 9 gennaio 1939, *Nuove disposizioni per la preferenza dei prodotti nazionali*
- G. Passalacqua, *Travi curve in calcestruzzo senza armatura*, "L'Industria Italiana del Cemento", 1939, 1, pp. 5-10
- G. Ciocca, P. Marchino, C. Vigliani, *Per la economia del ferro nell'edilizia*, "L'Industria Italiana del Cemento", 2, 1939, pp. 38-43; anche in "Il Cemento Armato", 5, 1939, pp. 81-84
- G. Ascone, *Travi di calcestruzzo con armatura di legno*, "L'Industria Italiana del Cemento", 3, 1939, pp. 88-95
- M. Giorgetti, *Dimensionamento economico delle sezioni rettangolari inflesse*, "L'Industria Italiana del Cemento", 4, 1939, pp. 109-116
- G. Rabbi, *Elementi di cemento armato costruiti in serie*, "L'Industria Italiana del Cemento", 5, 1939, pp. 150-157
- A. Perfetti, *La pomicina per la fabbricazione dei calcestruzzi leggeri*, "Il Cemento Armato", 6, 1939, pp. 109-110
- C. Vittori, *Il cemento e l'autarchia*, "L'Industria Italiana del Cemento", 6, 1939, pp. 182-186
- D. De Simone, *Possibilità di impiego del conglomerato armato con carne di bomba*, "Annali dei Lavori Pubblici", 6, 1939, pp. 579-583
- A. Paoloni, A. Albertoni, *Sui cementi armati con barre di bambù*, "L'Industria Italiana del Cemento", 7, 1939, pp. 199-207
- D. De Simone, *Possibilità di impiego delle leghe leggere nelle costruzioni civili - Applicazione ad un ponte sul Tevere*, "Annali dei Lavori Pubblici", 7, 1939, pp. 683-693
- P. Periani, *Sulla possibilità di costruire strutture murarie di conglomerato cementizio con armatura in tema di autarchia artificiale resistenti a sollecitazioni di compressione, di trazione e di flessione*, "Annali dei Lavori Pubblici", 8, 1939, pp. 836-854
- *Edilizia ed autarchia*, "Il Cemento Armato", 8, 1939, pp. 143-144
- R.D.L. n. 1326 del 7 settembre 1939, *Nuove disposizioni che vietano l'impiego del cemento armato e del ferro nelle costruzioni ed in alcuni altri usi*
- G. Ascone, *Travi di fibrocemento e travi di calcestruzzo con armatura di fibrocemento*, "L'Industria Italiana del Cemento", 9, 1939, pp. 240-243
- G. Neumann, *Il calcestruzzo cerchiato e l'autarchia*, "L'Industria Italiana del Cemento", 9, 1939, pp. 244-246
- R.D.L. n. 2229 del 16 novembre 1939, *Norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato* (G.U. n. 92 del 18 aprile 1940)
- A. Bevilacqua Lazise, *Costruzioni in calcestruzzo con impiego minimo di metallo*, "L'Industria Italiana del Cemento", 11, 1939, pp. 299-305; 12, 1939, pp. 320-325
- G. Neumann, *Solai cementizi piani senza ferro*, "L'Industria Italiana del Cemento", 11, 1939, pp. 306-309
- P. Periani, *Conglomerato cementizio armato con fibrocemento*, "L'Industria Italiana del Cemento", 12, 1939, pp. 344-348
- G. Passalacqua, *La vigilanza sulle opere in cemento armato*, "Il Cemento Armato", 12, 1939, pp. 199-200
- D. De Simone, *Norme, materiali e strutture per la limitazione dell'impiego del ferro nelle costruzioni*, "Annali dei Lavori Pubblici", 12, 1939, pp. 1189-1223
- P. Montanari, *Strutture autarchiche. Lavorio armato con legno*, "Il Cemento Armato", 1, 1940, pp. 12-14
- P. Vaccelli, *In tema di vigilanza sulle opere in cemento armato*, "Il Cemento Armato", 1, 1940, pp. 14-15
- P. Marchino, *Strutture orizzontali con minima armatura*, "L'Industria Italiana del Cemento", 2, 1940, pp. 34-39
- G. Neumann, *Economia di ferro nelle costruzioni cementizie*, "Il Cemento Armato", 3, 1940, pp. 42-44
- Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici, Div. 1, n. 7191 del 12 aprile 1940, *Materiali di provenienza*

estere acquistati da Enti e Amministrazioni pubbliche

- Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici n. 1574 del 10 aprile 1940, *Impiego della pozzina nell'edilizia*
- Legge n. 408 dell'8 maggio 1940, *Denuncia e raccolta delle cancellate di ferro o di altro metallo* (G.U. n. 119 del 22 maggio 1940)
- G. Rizzi, *In tema di vigilanza sulle opere in cemento armato*, "Il Cemento Armato", 4, 1940
- A. Bevilacqua Lazise, *Costruzioni cementizie con ferro di sicurezza*, "L'Industria Italiana del Cemento", 4, 1940, pp. 86-92
- A. Perignani, *Materiali autarchici per l'edilizia*, "Architettura", V, 1940, pp. 249-264
- C. Ceselli, *Le nuove norme per la esecuzione delle opere in conglomerato cementizio semplice od armato*, "L'Industria Italiana del Cemento", 5, 1940, pp. 117-122
- G. Rabbi, *Criteri e possibilità di economia nell'impiego dell'armatura metallica*, "L'Industria Italiana del Cemento", 6, 1940, pp. 148-157
- *Indici valori dei materiali e delle strutture cementizie*, "L'Industria Italiana del Cemento", 6, 1940, pp. 145-147
- *Solito monolitico senza ferro*, "L'Industria Italiana del Cemento", 6, 1940, pp. 164-168
- *Invenzioni italiane. Solito senza impiego di ferro*, "L'Ingegnere", 6, 1940, pp. 509-511
- R.D.L. n. 953 del 19 giugno 1940, *Blocco dei prezzi delle merci e dei servizi, delle costruzioni edilizie, degli impianti industriali e delle pigioni* (G.U. n. 177 del 30 luglio 1940)
- M. Pistolesi-Fusi, *Solai senza armatura*, "L'Industria Italiana del Cemento", 6, 1940, pp. 194-199
- D. De Simone, *Contributo al problema dell'autarchia nel campo delle costruzioni civili*, "Annali dei Lavori Pubblici", 7, 1940, pp. 549-552; anche in "Il Cemento Armato", 2, 1941, pp. 20-21
- L. Gussoni, *Autarchia e materiali nelle costruzioni edilizie*, "L'Ingegnere", 7, 1940, pp. 517-518
- *Solito senza impiego di ferro*, "Il Cemento Armato", 9, 1940, pp. 123-124
- P. Perini, *Si di un solito misto armato con cemento unitario esposto nella Mostra dell'Edilizia alla XXI Fiera di Milano*, "Annali dei Lavori Pubblici", 9, 1940, pp. 675-678
- D. De Simone, *Contributo al problema dell'autarchia nel campo delle costruzioni civili. Seconda esperienza su un solito semiamato*, "Annali dei Lavori Pubblici", 9, 1940, pp. 762-767
- *Autarchia nel settore edile*, "L'Industria Italiana del Cemento", 10, 1940, pp. 241-243
- *Solai semiamati*, "L'Industria Italiana del Cemento", 10, 1940, pp. 243-248
- *Il piano autarchico per l'edilizia al Comitato consultivo della Corporazione*, "L'Industria Italiana del Cemento", 11, 1940, pp. 289-290
- *Cancellate autarchiche cementizie*, "L'Industria Italiana del Cemento", 11, 1940, pp. 284-288
- M. Palombi, *Il solito pieno laterizio senza ferro: storia, calcolo, costo, esperienze, comprazione statica ed economica coi solai armati, modalità costruttive*, Roma 1940
- G. Lasì, *20 nuovi materiali a base di cemento autarchici - economici*, Bologna 1940
- *Per la sostituzione delle cancellate*, "L'Industria Italiana del Cemento", 1, 1941, pp. 16-17
- L. Stabellini, *Le costruzioni civili e l'autarchia*, "L'Ingegnere", 1, 1941, pp. 20-23; anche in "L'Industria Italiana del Cemento", 3, 1941, pp. 72-74
- U. Conti, *La disciplina del consumo del ferro nelle costruzioni*, "L'Industria Italiana del Cemento", 1, 1941, pp. 18-20
- *Ancora sulle cancellate*, "L'Industria Italiana del Cemento", 2, 1941, p. 48
- G. Albenga, *Autarchia e cemento armato. La sostituzione del ferro d'armatura*, "Annali dei Lavori Pubblici", 2, 1941, pp. 91-93
- G. Albenga, *Economia del ferro nelle costruzioni*, "L'Ingegnere", 3, 1941, pp. 227-228; anche in "Il Cemento Armato", 8-9, 1941, pp. 117-118
- *L'impiego degli agglomeranti leggeri nella moderna edilizia*, "L'Industria Italiana del Cemento", 4, 1941, pp. 100-107
- G. Cicca, *Cassette di serie in cemento*, "L'Industria Italiana del Cemento", 6, 1941, pp. 142-152
- *Cemento armato con vetro*, "L'Industria Italiana del Cemento", 9, 1941, p. 238
- L. Gussoni, *Cancellate autarchiche*, "L'Ingegnere", 10, 1941, pp. 919-924
- M. Fabbrini, *Nuovo sistema di costruzioni con getto di cemento cellulare*, "L'Industria Italiana del Cemento", 1, 1942, pp. 16-19
- G. Neumann, *Nuovi sistemi di solai leggeri in Germania ed in Francia*, "Il Cemento Armato", 3, 1942, pp. 31-33
- *Contributo del cemento all'autarchia*, "L'Industria Italiana del Cemento", 4-5, 1942, pp. 46-49
- *La resistenza dei calcestruzzi in relazione alle sollecitazioni cui sono sottoposti nelle costruzioni*, "L'Industria Italiana del Cemento", 6-7, 1942, pp. 103-104
- A. Bevilacqua Lazise, *Strutture lapidee non armate*, "Il Cemento Armato", 10, 1942, pp. 113-115
- G. Neumann, *L'autarchia e le costruzioni*, "Il Cemento Armato", 11, 1942, pp. 129-131

- G. Neumann, *Il calcestruzzo armato con legno*, "Il Cemento Armato", 5-6, 1943, pp. 46-48
- G. Neumann, *Ancora sull'autarchia*, "Il Cemento Armato", 9-10, 1943, pp. 86-87
- D.J. Cook, R.P. Pama, R.V. Singh, *The behaviour of bamboo-reinforced columns subjected to eccentric loads*, "Magazine of Concrete Research", settembre 1978, pp. 145-151
- *E42 Utopia e Scenario del Regime*, a cura di M. Calvesi, E. Guidoni, S. Lux, Venezia 1987
- R. Capomolla, *Il solito senza ferro*, "Il Nuovo Corriere dei Costruttori", 20, 1993, pp. 22-23
- S. Poretti, *Tecnica di costruzione tra modernismo e autarchia*, "Roma moderna e contemporanea", 3, 1994, pp. 775-796
- R. Capomolla, *Il calcestruzzo debolmente armato tra autarchia e ricostruzione in Italia*, "Rassegna di Architettura e Urbanistica", 84-85, 1994-95, pp. 98-108
- R. Vittorini, *La struttura metallica nella costruzione moderna in Italia*, "Rassegna di Architettura e Urbanistica", 84-85, 1994-95, pp. 132-142
- S. Poretti, *Il modo di costruire: un filo di continuità nell'architettura italiana del Novecento*, in *Architettura moderna in Italia. Documentazione e conservazione*, a cura di M. Casati, S. Moratti, S. Poretti, Roma 1999, pp. 121-126.

LE GRANDI STRUTTURE IN CEMENTO ARMATO

- *Di alcune opere in cemento armato sulla nuova ferrovia Lanzo-Ceres*, "Il Monitor Tecnico", 35, 1916, pp. 448-449
- A. Goffi, *Ponte sul Rivo Carmine per la strada provinciale Serravalle Servia e Albera*, "Il Cemento", 6, 1921, pp. 56-59
- *Tipi di fabbricati con solai a lastra piana*, "Il Cemento", 7, 1921, pp. 64-66
- *Il nuovo ponte sull'Adda a Pizzighetone*, "Il Monitor Tecnico", 21, 1921, pp. 241-247
- R. Bertolani, *Sostituzione dell'impalcatura in legname del ponte sul Panaro in Finale Emilia con impalcatura in cemento armato*, "Il Cemento", 10, 1921, pp. 89-91
- *Il viadotto di cemento armato sul Valone Serra della linea Lagonegro-Castrovillari*, "Il Monitor Tecnico", 36, 1921, pp. 433-436
- *Un nuovo tipo di ponte in cemento armato*, "Il Monitor Tecnico", 4, 1922, pp. 49-50
- R. Bertolani, *Costruzione di un anfiteatro in cemento armato per l'aula della Clinica chirurgica della Regia Università di Modena*, "Il Cemento", 3, 1922, pp. 25-28
- *Un ponte-viadotto in cemento armato attraverso il Cervo a Miogliano-Riviera*, "Il Cemento", 5, 1922, pp. 50-52
- C. Chiodi, *L'impiego del cemento armato nella composizione dell'impalcato stradale dei ponti metallici*, "Il Monitor Tecnico", 19, 1922, pp. 221-226
- *Nuovo ponte sul fiume Montone a Forlì*, "Il Cemento", 11, 1922, pp. 115-116
- *Fabbricato per il montaggio delle locomotive*, "Il Cemento", 12, 1922, pp. 125-126
- P. Vietti Violi, *Il Palazzo dello Sport alla fiera Campionaria di Milano*, "Ingegneria", 4, 1923, pp. 89-95
- *Ponte viadotto sulla Chiusella presso Baldissero Canavese*, "Il Cemento", 8, 1923, pp. 69-72
- E. Mastrogiacomo, *Nuovo ponte ferroviario di beton armato sul fiume Dora in territorio di Chiavrie (Torino)*, "Il Cemento", 9, 1923, pp. 77-79
- *Tribune di cemento armato per lo Stadio di Busto Arsizio*, "Il Cemento", 9, 1923, pp. 79-80
- G. Guerrini, *Il Palazzo dell'Automobile e dello Sport in Milano*, "Il Cemento", 9, 1923, pp. 80-85
- R. Locchi, *Torre a traliccio in cemento armato per ascensore a Grimaldi di Ventimiglia*, "Il Cemento Armato", 1, 1924, pp. 1-5
- *Un nuovo ponte in Sicilia con cassoni di cemento armato*, "Il Cemento Armato", 3, 1924, pp. 21-24
- *Il ponte-viadotto della Valdassa (Alipiano di Asigoglio)*, "Il Cemento Armato", 5, 1924, pp. 40-43
- A. Oberziner, *Il nuovo ponte sull'Asico a Cairano*, "Il Cemento Armato", 9, 1924, pp. 81-86
- R. Bertolani, *Il ponte sul fiume Secchia al Passo della Pioppa (Prov. di Modena)*, "Il Cemento Armato", 10, 1924, pp. 89-97; 11, 1924, pp. 101-107
- L. Samarella, E. Miozzi, *Ponti italiani in cemento armato*, I ed., Milano 1924; II ed. 1932; III ed. 1948
- *Ponte sul fiume Alesse, sulla strada provinciale n. 86 tra Catanzaro Marina e Soverato*, "Il Cemento Armato", 5, 1925, pp. 45-49
- *Servizi in cemento armato*, "Il Cemento Armato", 8, 1925, pp. 88-99
- *Calcolo e costruzione del ponte in cemento armato sul Sorca presso Darè. Due travate paraboliche a maglie quadrangolari sistema Vierendeel*, "Il Cemento Armato", 8, 1925, pp. 99-100
- *Il nuovo ponte sul Piave a Casana (Belluno)*, "Il Cemento Armato", 11, 1925, pp. 123-126; 12, 1925, pp. 133-135

- AD, *Copertura della nuova Chiesa di Agrate*, "Il Cemento Armato", 12, 1925, pp. 139-140
- *Ponte in cemento armato per strada ordinaria sul torrente Rossenna a Talbignano (Modena)*, "Il Cemento Armato", 10, 1926, pp. 125-129
- E. Kaiman, *Alcune nuove applicazioni dei solai a fungo nelle costruzioni di serbatoi*, "Il Cemento Armato", 12, 1926, pp. 123-129
- *Ponti sul torrente Cogorno per la strada Pavullo Polinago (Prov. di Modena)*, "Il Cemento Armato", 1927, pp. 55-57
- *La galleria del Corso di Milano*, "Il Cemento Armato", 9, 1927, pp. 91-93; 10, 1927, pp. 105-107; 11, 1927, pp. 118-120; 12, 1927, pp. 131-138
- G. Segalla, *Costruzione e calcolo d'un ponte-canale in Fondo (Venezia Tridentina)*, "Il Cemento Armato", 1, 1928, pp. 1-7
- EB, *La Centrale termoelettrica di Turbigo*, "Il Cemento Armato", 3, 1928, pp. 25-34
- E. Berti, *Un esempio di solai a fungo*, "Il Cemento Armato", 4, 1928, pp. 37-41
- G. Cemenini, *Studio di tritbone in cemento armato per il Campo sportivo della società ginnastica «Vissio di Pesaro»*, "Il Cemento Armato", 6, 1928, pp. 87-88
- *Il nuovo Ponte Vittorio Emanuele III a Torino*, "Il Cemento Armato", 7, 1928, pp. 98-102
- A. Villa, *Ponte sul Tanaro a Bastia-Mondovì*, "Il Cemento Armato", 9, 1928, pp. 115-118
- A. Agostini, *Il ponte attraverso il porto di Zara*, "Il Cemento Armato", 1, 1929, pp. 1-3
- IAV, *Scalo del cantiere Ansaldo, Genova-Sestri*, "Il Cemento Armato", 1, 1929, pp. 3-5
- A. Villa, *Officina Gas della STIGE a Torino*, "Il Cemento Armato", 3, 1929, pp. 19-23
- *Il ponte «Cobianchi» ad Ivrea*, "Il Cemento Armato", 6, 1929, pp. 61-63
- AO, *Il cemento armato nella costruzione di piscine da nuoto*, "Il Cemento Armato", 7, 1929, pp. 69-72; 8, 1929, pp. 74-77; 9, 1929, pp. 83-86
- L. Serra, *Nuovo ponte in cemento armato sul fiume Romano*, "Il Cemento Armato", 8, 1929, pp. 73-74
- F. Perri, *Ponte sul fiume Olivo (Calabria)*, "Il Cemento Armato", 11, 1929, pp. 112-113
- G. De Cupis, *La «Casa dell'automobile» in Roma*, Roma 1929
- L. Santarelli, *L'architettura nei ponti italiani in cemento armato*, "Annali dei Lavori Pubblici", 4, 1930, pp. 309-318
- R. Stoelcker, *Recenti edifici in cemento armato a Roma*, in *La partecipazione italiana al primo congresso internazionale del beton semplice ed armato*, Liegi, settembre 1930, Roma 1931, pp. 131-146
- *Il teatro Odéon in Milano. La balconata ed il solai reticolato di travi a traliccio, sopra il teatro*, "Il Cemento Armato", 1, 1931, pp. 7-12
- AGB, *Applicazioni ferroviarie del cemento armato. Il nuovo cavalcavia in curva della stazione di Novara*, "Il Cemento Armato", 2, 1931, pp. 17-22
- A. Goldstein-Bolocan, *L'edificio della nuova stazione di Milano. Il cantiere dei cementi armati. Un'architettura personale ispirata dallo studio delle masse e dalla volta grandiosa delle linee*, "Il Cemento Armato", 7, 1931, pp. 73-75
- A. Goldstein-Bolocan, *Un giro attraverso la nuova stazione di Milano*, "L'Industria Italiana del Cemento", 8, 1931, pp. 242-247
- *Il palazzo delle Poste annesso alla Nuova Stazione di Milano. Dettagli delle coperture in cemento armato*, "Il Cemento Armato", 9, 1931, pp. 95-99
- *Ponte in cemento armato sul fiume Pesce*, "Il Cemento Armato", 2, 1932, pp. 16-17
- AM, *La piscina dell'Isola di Santa Margherita a Budapest*, "Il Cemento Armato", 7, 1932, pp. 78-80
- A. Bizzaguti, *Palato in cemento armato per il sostegno della balconata di un cinema-teatro in Milano*, "Il Cemento Armato", 10, 1932, pp. 109-112
- AM, *Opere in cemento armato nella Provincia di Rieti*, "Il Cemento Armato", 12, 1932, pp. 141-145
- *Ferrobeton. Impresa Generale di Costruzioni*, Roma 1908-1933, Roma 1933
- L. Santarelli, *Arte e tecnica nella evoluzione dei ponti*, in "Atti Ricerche Studi. Scuola di Specializzazione per le costruzioni in cemento armato «Fondazione Fratelli Pesenti»", Milano 1933
- *pp. Lo stadio Giovanni Berta a Firenze*, "Il Cemento Armato", 9, 1933, pp. 101-107
- *Ponti in cemento armato*, "L'Industria Italiana del Cemento", 1, 1935, pp. 15-16
- *Il nuovo stadio di Livorno*, "Il Cemento Armato", 3, 1935, pp. 32-36
- *Il nuovo stadio di Merano*, "Il Cemento Armato", 5, 1935, pp. 49-56
- BB, *L'autoconionale Genova-Valle del Po*, "L'Industria Italiana del Cemento", 7, 1935, pp. 234-238
- A. Arcangeli, *I nuovi ponti in cemento armato nella Colonia Eritrea*, "L'Industria Italiana del Cemento", 11, 1935, pp. 334-339
- G. Sabatini, *Copertura di un'autorinassa a volte sottili*, "L'Industria Italiana del Cemento", 11, 1935, pp. 357-361
- *L'esito del concorso per il ponte sul Tevere al Foro Mussolini*, "Annali dei Lavori Pubblici", 2, 1936, pp. 126-134

- A. Martinielli, *Il nuovo ponte sul Tevere*, "L'Industria Italiana del Cemento", 3, 1936, pp. 58-61
- A. Arcangeli, *Sul comportamento delle costruzioni in cemento armato nei climi coloniali*, "L'Industria Italiana del Cemento", 5, 1936
- E. Neri, *Il ponte di Mostizzolo sul Noce*, "L'Industria Italiana del Cemento", 6, 1936, pp. 151-152
- A. Arcangeli, *Le costruzioni in cemento armato nell'Africa Orientale Italiana*, Roma 1937
- *Un nuovo ponte sull'Arno a Pisa*, "L'Industria Italiana del Cemento", 4, 1937, pp. 112-119
- G. Polsoni, *Ponti in calcestruzzo di cemento semplice ed armato nelle applicazioni dell'Amministrazione ferroviaria italiana*, relazione al 1° Congresso Nazionale del Cemento tenutosi a Casale Monferrato nel maggio 1937, Casale Monferrato 1937
- A. Taramini, *L'applicazione del cemento ai ponti ed alle costruzioni civili con particolare riguardo alle opere costruite dal Ministero dei Lavori Pubblici*, relazione al 1° Congresso Nazionale del Cemento tenutosi a Casale Monferrato nel maggio 1937, Casale Monferrato 1937
- R. Bertoliani, *Ponte sul Rio Suburano in provincia di Modena*, "L'Industria Italiana del Cemento", 5-6, 1937, pp. 161-167
- P. Bianchi, *Il ponte di Urbe sulla interprovinciale fra il Tanaro e la Trebbia*, "L'Industria Italiana del Cemento", 7, 1937, pp. 201-203
- A. Marinelli, *Il nuovo viadotto del Littorio a Ragusa*, "L'Industria Italiana del Cemento", 9, 1937, pp. 250-257
- G. Sagella, *Il podiglione dei concerti a Merano*, "L'Industria Italiana del Cemento", 10, 1937, pp. 295-301
- G. Gianfranceschi, *Lo Stadio di Livorno*, "L'Industria Italiana del Cemento", 10, 1937, pp. 302-307
- D. Fornasie, *Le nuove officine aeronautiche a Monfalcone*, "L'Industria Italiana del Cemento", 4, 1938, pp. 119-127
- *Opere pubbliche del Regime. I nuovi ponti «D'Africa» e «S. Paolo» sul Tevere a Roma. Esito dei recenti concorsi banditi dal Ministero dei Lavori Pubblici*, "Annali dei Lavori Pubblici", 8, 1938, pp. 686-702
- C. Cestelli Guidi, *Il nuovo ponte sul Tevere alla Magliana*, "L'Industria Italiana del Cemento", 9, 1938, pp. 271-276
- D. Fornasie, *Capannoni in cemento armato per l'officina navale di Monfalcone*, "L'Industria Italiana del Cemento", 9, 1938, pp. 277-284
- G. Sassi, *Ponti ad arco nel Sentien sulla strada Axum-Gondar*, "L'Industria Italiana del Cemento", 10, 1938, pp. 311-318
- G. Borelli, *Capannoni in cemento armato*, "L'Industria Italiana del Cemento", 11, 1938, pp. 362-367
- L. Stabellini, *L'architettura nei riguardi dei ponti e delle grandi strutture*, "Rassegna di Architettura", 12, 1938, p. 521
- A. Azzini, *Ponte sul fiume Aleno*, "L'Industria Italiana del Cemento", 1, 1939, pp. 19-26
- *Il ponte Duca di Aosta a Roma*, "L'Industria Italiana del Cemento", 3, 1939, pp. 86-87
- *Quattro concorsi appalto per ponti sul Tevere a Roma*, "Architettura", 2, 1940, pp. 61-94
- *Il nuovo ponte di S. Paolo a Roma*, "L'Industria Italiana del Cemento", 10, 1940, pp. 257-261
- *Il nuovo ponte XXVIII Ottobre sul Tevere*, "L'Industria Italiana del Cemento", 2, 1941, pp. 33-36
- *Copertura autarchica di una sala cinematografica*, "L'Industria Italiana del Cemento", 5, 1941, pp. 133-134
- PL Nervi, *Scienza o arte del costruire? Caratteristiche e possibilità del cemento armato*, Roma 1945
- C. Greco, *The ferrocement experimental storehouse by P.L. Nervi*, Roma 1945, in *Conference Proceedings of Third International DOCCOMO Conference, September 16th-19th 1944*, Barcellona 1944
- C. Greco, *Pier Luigi Nervi e il ferro-cemento*, "Donus", 766, 1994, pp. 80-83
- C. Greco, *Pier Luigi Nervi nella tradizione delle strutture sottili in cemento armato*, "Rassegna di Architettura e Urbanistica", 84-85, 1994-95, pp. 85-97
- S. Poratti, *La costruzione, in Storia dell'architettura italiana. Il secondo Novecento*, a cura di F. Dal Co, Milano 1997, p. 268-293

LA PRECOMPRESSIONE

- F. Chaudy, *Sur le calcul des plaques élastiques minces et le rôle des tirants dans les poutres en ciment armées*, "Mémoires et Comptes Rendus des travaux de la Société des Ingénieurs Civils", 2, 1894, pp. 545-550
- G. Colomenniti, *Sul principio di reciprocità*, "Rendiconti della R. Accademia dei Lincei", marzo 1912, anche in "Giornale del Genio Civile", luglio 1913, pp. 393-400
- *Sull'impiego dell'acciaio nelle costruzioni in luogo del ferro omogeneo*, "Il Monitor Tecnico", 11, 1917, pp. 122-123

- G. Colometti, *Su certi stati di coazione elastica che non dipendono da azioni esterne*, "Rendiconti della R. Accademia dei Lincei", giugno 1917, pp. 43-47
- G. Colometti, *Per una teoria generale delle coazioni elastiche*, "Atti della R. Accademia delle Scienze di Torino", LVI, 1920-21, pp. 188-198
- E. Miozzi, *Il nuovo ponte sul Piave in località «Ponte nelle Alpi»*, "Giornale del Genio Civile", novembre 1921, pp. 677-698
- *Importanti progressi in Francia nella costruzione delle grandi volte. Il ponte di Villeneuve sur Lot*, "Annali dei Lavori Pubblici", 1922, pp. 10-32
- *Ponte ad arco di 100 metri di luce a Villeneuve sur Lot*, "Il Cemento", 3, 1922, pp. 28-31
- E. Strasser, *Alcune note intorno al ponte sul Piave in località «Ponte nelle Alpi» (Belluno)*, "Il Cemento", 6, 1922, pp. 57-65
- E. Miozzi, *Ancora sul ponte sul Piave a «Ponte nelle Alpi»*, "Il Cemento", 9, 1922, pp. 89-90
- E. Strasser, *Aggiunta ad alcune note sul Ponte sul Piave (Prov. di Belluno)*, "Il Cemento", 11, 1922, pp. 109-112
- *Ponte ad arco in cemento armato sulla linea ferroviaria Parigi-Colonia nei pressi di Charleroi*, "Il Cemento Armato", 2, 1924, pp. 9-12
- *Il nuovo ponte in cemento armato sulla Senna a Saint-Pierre-du-Fauvray (Eure)*, "Il Cemento Armato", 2, 1924, pp. 12-15
- *Le costruzioni di un mercato coperto a Reims*, "Annali dei Lavori Pubblici", 3, 1928, pp. 262-264
- *Il nuovo ponte della «Tourneille» a Parigi*, "Annali dei Lavori Pubblici", 3, 1928, pp. 279-282
- E. Miozzi, *Il nuovo Ponte sulla Piave a Belluno*, "Il Cemento Armato", 10, 1928, pp. 123-130
- E. Freyssinet, *L'amélioration des constructions en béton armé par l'introduction de déformations élastiques systématiques*, "Le Génie Civil", 15 settembre 1928
- *I ponti ad arco con luce superiore a 80 metri*, "Annali dei Lavori Pubblici", 10, 1928, pp. 934-940
- *Sull'introduzione di deformazioni elastiche sistematiche nelle costruzioni di conglomerato cementizio armato*, "Annali dei Lavori Pubblici", 11, 1928, pp. 1033-1039
- *Il secondo congresso internazionale dei ponti. Vienna, settembre-ottobre 1928*, "Annali dei Lavori Pubblici", 10, 1928, pp. 941-955
- G. Neumann, *Il secondo congresso internazionale di ponti e travature in ferro ed in cemento armato (Vienna, 24-27 settembre 1928)*, "Il Cemento Armato", 11, 1928, pp. 138-141
- E. Miozzi, *Il razionale tracciamento della fibra media delle volte: relazione letta al II congresso internazionale di ponti a Vienna*, "Il Monitor Tecnico", 23-24, 1928
- *Il miglioramento delle costruzioni in cemento armato col l'introduzione di deformazioni elastiche artificiali*, "Il Cemento Armato", 12, 1928, pp. 145-147
- E. Miozzi, *Le sollecitazioni nelle piccole volte*, "Annali dei Lavori Pubblici", 4, 1929
- *La costruzione del ponte di Plougastel su l'Eclor*, "Annali dei Lavori Pubblici", 7, 1929, pp. 616-621
- A. Martinelli, *Il grande mercato di Francforte sul Meno*, "Annali dei Lavori Pubblici", 7, 1929, pp. 625-631
- C. Guidi, *Le sollecitazioni termiche nelle volte da ponte*, "Annali dei Lavori Pubblici", 9, 1929, pp. 749-753
- A. Martinelli, *La copertura del nuovo mercato di Lipsia*, "Annali dei Lavori Pubblici", 11, 1929, pp. 1004-1009
- *Gli hangars di Orly e il viadotto di Plougastel*, "Annali dei Lavori Pubblici", 12, 1929, pp. 1109-1114
- G. Colometti, *Sulle alterazioni del regime elastico di un arco incastro che si possono determinare con l'aggiunta di una catena*, "Rendiconti della R. Accademia dei Lincei", 1929
- E. Miozzi, *Nuovi metodi nella esecuzione delle volte. Le deformazioni sistematiche*, "Annali dei Lavori Pubblici", 9, 1930, pp. 781-804
- *Due grossi hangars per dirigibili, in calcestruzzo colato con apparecchi vibratorii*, "Il Cemento Armato", 10, 1930, pp. 147-148
- G. Neumann, *Il primo congresso internazionale del calcestruzzo e del cemento armato a Liegi*, "Il Cemento Armato", 10, 1930, pp. 130-131; 11, 1930, pp. 144-147; 12, 1930, pp. 155-159
- G. Vianini, *Le condotte di cemento armato in Italia. I tubi Vianini*, in *La partecipazione italiana al primo Congresso Internazionale del beton semplice ed armato*, Liegi, settembre 1930, Roma 1931, pp. 181-205
- E. Miozzi, *Applicazione delle deformazioni sistematiche nella costruzione di travi in cemento armato*, "Annali dei Lavori Pubblici", 3, 1931
- *Il 1° congresso della Associazione Internazionale per le costruzioni metalliche e in beton armato (Parigi, 19-24 maggio 1932)*, "Il Cemento Armato", 9, 1931, p. 102
- *Deformazioni plastiche del calcestruzzo armato*, "Il Cemento Armato", 4, 1932, pp. 46-47
- E. Miozzi, *Calcoli per grandi ponti ad arco. Esempi numerici di archi incastri in cemento armato, previsioni, carichi, tracciamento, frecce di deformazione, modalità esecutive e di collaudo, capitolato d'appalto*, Milano 1932

- F. Dischinger, *Beseitigung der zusätzlichen Biegemomente im Zweigelenbogen mit Zugband*, in *Association Internationale des Ponts et Charpentes, Mémoires*, 1, Zurigo 1932
- E. Miozzi, *Méthode pour améliorer l'état d'équilibre des voûtes*, in *Association Internationale des Ponts et Charpentes, Mémoires*, 1, Zurigo 1932
- G. Neumann, *Il Congresso dei Ponts e Travature a Parigi*, "Il Cemento Armato", 11, 1932, pp. 135-138
- F. von Emperger, *Il ferro di alta resistenza nelle costruzioni in cemento armato*, "L'Industria Italiana del Cemento", 11-12, 1933
- A. Danusso, *Le autotensioni. Spunti teorici ed applicazioni pratiche*, "Rendiconti del seminario matematico e fisico di Milano", VIII, Milano 1934, pp. 217-246
- G. Krall, *Il relcio nella costruzione dei ponti. Un notevole esempio: la passerella di Prato*, "L'Industria Italiana del Cemento", 12, 1935, pp. 364-390
- E. Freyssinet, *Aspects nouveaux des problèmes du ciment armé*, in *Association Internationale des Ponts et Charpentes, Mémoires*, IV, Zurigo 1936, pp. 265-304
- G. Colometti, *Zugigkeit des Betons in Eisenbetonkonstruktionen*, in *Association Internationale des Ponts et Charpentes, Deutscher Kongress, Berlin-München 1-11 oktober 1936, Publication Préliminaire*, Berlino 1936, pp. 199-204
- E. Freyssinet, *Progrès pratiques des méthodes de maillage mécanique des bétons*, in *Association Internationale des Ponts et Charpentes, Deutscher Kongress, Berlin-München 1-11 oktober 1936, Publication Préliminaire*, Berlino 1936, pp. 205-232
- F. Dischinger, *Die Flächenzugwerke des Eisenbetonbaues*, in *Association Internationale des Ponts et Charpentes, Deutscher Kongress, Berlin-München 1-11 oktober 1936, Publication Préliminaire*, Berlino 1936, pp. 705-718
- F. Dischinger, *Ausscheidung der Biegezugspannungen bei Balken- und Stabbogenbrücken*, in *Association Internationale des Ponts et Charpentes, Deutscher Kongress, Berlin-München 1-11 oktober 1936, Publication Préliminaire*, Berlino 1936, pp. 775-798
- C. Parvopassu, *Tendances actuelles dans les grands ouvrages en béton armé*, in *Association Internationale des Ponts et Charpentes, Deutscher Kongress, Berlin-München 1-11 oktober 1936, Publication Préliminaire*, Berlino 1936, pp. 859-868
- G. Krall, H. Straub, *Nouvelles cales sèches dans les ponts de Gênes et Naples*, in *Association Internationale des Ponts et Charpentes, Deutscher Kongress, Berlin-München 1-11 oktober 1936, Publication Préliminaire*, Berlino 1936, pp. 1191-1206
- G. Colometti, *Si la resistenza a trazione delle strutture in beton armato*, "L'Ingegnere", 10, 1936, pp. 491-495
- E. Freyssinet, *Une révolution dans les techniques du béton*, Parigi 1936
- F. Mattiazzi, *I versu maggiori sollecitazioni nelle armature metalliche per cemento armato*, "L'Industria Italiana del Cemento", 4, 1937, pp. 124-136
- R. Bertolini, *Il cemento armato al congresso dell'Associazione dei Ponts e delle Costruzioni*, "L'Industria Italiana del Cemento", 7, 1937, pp. 196-200
- F. von Emperger, *Fessurazione del calcestruzzo e accoppiamento ammissibile delle armature metalliche in rapporto all'impiego degli acciai ad alta resistenza*, "Atti Ricerche Studi. Scuola di Specializzazione per le costruzioni in cemento armato «Fondazione Fratelli Pesenti»", XXIV, 1937, pp. 13-160
- F. Dischinger, *Untersuchungen über die Kriechverhalten, die elastische Verformung und das Kriechen des Betons bei Bogenbrücken*, "Der bautechnische", 33-40, 1937
- G. Colometti, *Saggio di una teoria generale dell'equilibrio elasto-plastico*, "Pontificia Accademia Scientiarum. Commentationes", 11, 2, 1937, pp. 131-150
- G. Colometti, *Inveridamento ed isteresi elastica nel quadro della nuova teoria dell'equilibrio elasto-plastico*, "Pontificia Accademia Scientiarum. Commentationes", 11, 8, 1937, pp. 309-318
- G. Krall, *Le pont de Prato*, in *Association Internationale des Ponts et Charpentes, Deutscher Kongress, Berlin-München 1-11 oktober 1936, Rapport final*, Berlino 1938, pp. 470-475
- G. Krall, *Les ponts dans la nouvelle gare maritime de Naples*, in *Association Internationale des Ponts et Charpentes, Deutscher Kongress, Berlin-München 1-11 oktober 1936, Rapport final*, Berlino 1938, pp. 476-477
- G. Krall, *Le pont de la lagune de Venise*, in *Association Internationale des Ponts et Charpentes, Deutscher Kongress, Berlin-München 1-11 oktober 1936, Rapport final*, Berlino 1938, pp. 666-669
- G. Colometti, *La statica dei corpi elasto-plastici*, "Pontificia Accademia Scientiarum. Commentationes", 11, 12, 1938, pp. 439-512
- G. Colometti, *Analisi delle deformazioni elasto-plastiche e del conseguente stato di tensione nelle travi in cemento armato*, "Il Cemento Armato", 1, 1938, pp. 1-4
- G. Colometti, *I margini di sicurezza e la loro funzione*, "Il Cemento Armato", 2, 1938, pp. 21-22
- R.B. Dupuis, *Contributi all'autarchia. La produzione degli acciai speciali in Italia*, "La Metallurgia Italiana", 2, 1938, pp. 57-62

- G. Colomnetti, *Calcolare meglio*, "Il Cemento Armato", 4, 1938, pp. 61-62
- E. Gray, *Progettare meglio*, "Il Cemento Armato", 4, 1938, pp. 62-63
- G. Passalacqua, *La resistenza del calcestruzzo alla trazione nelle travi inflesse*, "L'Industria Italiana del Cemento", 6, 1938, pp. 164-170
- G. Oberli, *La collaborazione del calcestruzzo teso in una struttura in cemento armato dall'esame dei risultati di una prova in sito*, "Il Cemento Armato", 6, 1938, pp. 97-100; 7, 1938, pp. 117-121
- U. Finsterwalder, *Eisenbetonträger unter selbsttätiger Verspannung*, "Der bautechnische", 35-36, 1938
- G. Colomnetti, *Su la resistenza alla flessione in regime elasto-plastico*, "Pontificia Accademia Scientiarum Commentationes", III, 1, 1938, pp. 1-11
- G. Colomnetti, *Il centro studi sui materiali da Costruzione ed il suo programma immediato di lavoro*, relazione al primo convegno per lo sviluppo della sperimentazione ai fini dell'autarchia industriale, Venezia, settembre 1938, Torino 1938
- F. von Emperger, *Come si economizza l'acciaio nel cemento armato*, "L'Industria Italiana del Cemento", 12, 1938, pp. 370-376
- G. Colomnetti, *Risoluzione grafica generale del problema della flessione in regime elasto-plastico*, "Pontificia Accademia Scientiarum Commentationes", III, 9, 1938, pp. 233-242
- F. von Emperger, *Stahlbeton mit vorgespannten Zügen aus hölzerartigen Stäben*, Berlino 1939
- *Nuovo sistema di armatura con fili di acciaio*, "L'Industria Italiana del Cemento", 2, 1939, p. 48
- G. Colomnetti, *Problemi nuovi e nuovi orientamenti*, "Il Cemento Armato", 2, 1939, pp. 21-22
- G. Colomnetti, *Prospettive autarchiche in materia di cemento armato*, "Il Cemento Armato", 4, 1939, p. 57
- F. von Emperger, *Armature con tensione preliminare nelle strutture di cemento armato*, "L'Industria Italiana del Cemento", 4, 1939, pp. 98-103
- A. Kleinloger, *Cemento armato con corde d'acciaio*, "L'Industria Italiana del Cemento", 4, 1939, pp. 104-105
- D. De Simone, *Conglomerato armato con fili di acciaio ad altissima resistenza*, "Annali dei Lavori Pubblici", 4, 1939, pp. 364-369
- F. Dischinger, *Elastische und plastische Verformungen der Eisenbetontragwerke und insbesondere der Bogenbrücken*, "Der bautechnische", 5-6, 1939
- G. Borelli, *Per l'autarchia nel cemento armato*, "Rassegna di Architettura", 7, 1939, pp. 311-312
- G. Colomnetti, *La nuova tecnica del cemento armato (Note di Viaggio)*, "Il Cemento Armato", 8, 1939, pp. 129-131
- G. Colomnetti, *Cemento armato con acciai ad alto limite elastico*, "L'Ingegnere", 8, 1939, pp. 695-698
- G. Colomnetti, *Teoria e calcolo delle travi con armature preventivamente tese (il caso della presso-flessione)*, "Accademia Pontificia delle Scienze. Atti", IV, 2, 1939, pp. 1-13
- G. Colomnetti, *Contributo alla teoria delle travi inflesse in stato di coazione*, "Accademia Pontificia delle Scienze. Atti", IV, 2, 1939
- E. Hoyer, *Der Stahlbeton beton theorie und anwendung des neuen werkstoffes*, Berlino 1939
- G. Colomnetti, *Cemento armato con acciai isteg.*, "L'Ingegnere", 1, 1940, pp. 35-36
- G. Colomnetti, *Di un nuovo procedimento per la messa in tensione delle armature nelle strutture in cemento armato*, "Accademia Pontificia delle Scienze. Atti", IV, 8, 1940, pp. 61-67; anche in "L'Industria Italiana del Cemento", 9, 1941, pp. 218-223
- G. Colomnetti, *Stati di coazione da armature incrociate*, "Accademia Pontificia delle Scienze. Atti", IV, 9, 1940, pp. 69-72
- G. Colomnetti, *Teoria e calcolo delle travi con armature preventivamente tese (il problema della sezione parzializzata)*, "Accademia Pontificia delle Scienze. Atti", IV, 17, 1940, pp. 143-145
- C. Guidi, G. Colomnetti, *Sono ammissibili deformazioni plastiche nelle costruzioni?*, "Annali dei Lavori Pubblici", 5, 1940
- G. Colomnetti, *Elasticità e resistenza di travi con armature preventivamente tese*, "Accademia Pontificia delle Scienze. Atti", IV, 19, 1940, pp. 155-161
- G. Colomnetti, *Teoria e calcolo delle travi con armature preventivamente tese (il proporzionamento dell'armatura)*, "Accademia Pontificia delle Scienze. Atti", IV, 21, 1940
- *L'architettura del cemento armato*, "L'Industria Italiana del Cemento", 7-8, 1940, pp. 204-205
- G. Colomnetti, *Relazione del Direttore del centro per gli studi sui materiali da costruzione (Al presidente del Consiglio Nazionale delle Ricerche)*, Torino 1940
- G. Colomnetti, *Al di là dei limiti della teoria classica dell'elasticità*, "Accademia Pontificia delle Scienze. Atti", V, 18, 1941, pp. 159-166
- E. Freyssinet, *Une révolution dans l'art de bâtir: les constructions précontraintes*, "Travaux", novembre 1941; anche in "Le Génie Civil", 20-27 dicembre 1941
- *La realizzazione di calcestruzzi armati con acciai messi artificialmente in tensione*, "L'Ingegnere", 12, 1941, pp. 1077-1078

- B. Covra, *Cemento armato vibrato e precompresso*, "L'Industria Italiana del Cemento", 12, 1941, pp. 391-396
- G. Neumann, *Lo sviluppo ciclico del cemento armato*, "Il Cemento Armato", 1, 1942, pp. 2-5
- A. Arcangeli, *Novi punti di vista per il calcolo e la tecnica del cemento armato*, "L'Industria Italiana del Cemento", 2, 1942, pp. 26-30
- G. Pizzetti, *Le ultime esperienze di Emperger sul cemento armato*, "Il Cemento Armato", 3, 1942, pp. 27-29
- G. Guzzoni, *Acciai autarchici*, "L'Ingegnere", 8, 1942, pp. 793-799
- A. Arcangeli, *Sui calcestruzzi precompressi*, "L'Industria Italiana del Cemento", 10, 1946, pp. 31-32
- C. Castelli Guidi, *Cemento armato precompresso*, 1 ed., Roma 1947
- H. Lossier, *Les ciment expansifs et l'autocontrainte du béton*, in Association Internationale des Ponts et Charpentes, *Troisième Congrès, Liège 13-18 septembre 1948, Rapport Final*, pp. 335-344
- E. Freyssinet, *Quivres en béton précontraint destinés à contenir ou à retenir des liquides*, in Association Internationale des Ponts et Charpentes, *Troisième Congrès, Liège 13-18 septembre 1948, Publication Préliminaire*, pp. 343-360
- E. Freyssinet, *Ponts en béton précontraint*, in Association Internationale des Ponts et Charpentes, *Troisième Congrès, Liège 13-18 septembre 1948, Rapport Final*, pp. 405-420
- F. Levi, *Giustavo Colomnetti nella storia della scienza delle costruzioni*, in *A Ricordo di Giustavo Colomnetti*, Torino s.d.
- *Commemoration Eugène Freyssinet*, Parigi 1963
- Y. Guyon, *Eugène Freyssinet*, "L'Industria Italiana del Cemento", 1963, pp. 929-962
- F. Levi, *La precollezione: una rivoluzione nell'arte del costruire*, Venezia 1965
- J. A. Fernandez Ordóñez, *Eugène Freyssinet*, Barcellona 1978
- E. Freyssinet, *Un amour sans limite*, Parigi 1993
- *Eugenio Mozzi 1889-1979. Inventario analitico dell'archivio*, a cura di V. Farinati, Venezia 1997.

Fonti delle illustrazioni

ACS, fondo Ministero dell'Agricoltura, Industria e Commercio - Ufficio Centrale Brevetti: 10, 13, 14, 21, 25, 26, 27, 28, 30, 32, 34, 47, 48, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 68, 69, 71, 75, 76, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 100, 101, 103 (sinistra), 104, 105 (alto), 106, 107, 108, 110, 111, 112 (alto), 113, 115 (alto), 128, 129, 131, 132, 133, 134, 135, 136 e le figure senza numero che precedono l'inizio di ogni capitolo

ACS, fondo E42: 99, 120

F. Aggarbani, C. Saggiolo, *Giulio Gra. Opere e progetti 1923/1939*, Roma 1991: 73, 74

G. Ciucci, F. Dal Co, *Architettura italiana del Novecento*, Milano 1990: 93

C. Ceselli Guidi, A. Danusso, A. Martinelli, G. Oberti, E. Pisiolesi, L. Sobrero, *Nuove ricerche nelle costruzioni civili*, Roma 1946: 117 (alto), 122

C. Ceselli Guidi, *Il conglomerato precompresso*, Roma 1947: 127, 130

G. Delhumeau, *L'invention du béton armé. Hennebique 1890-1914*, Parigi 1999: 15

P. Desideri, P.L. Nervi jr, G. Postiano, *Pier Luigi Nervi*, Bologna 1979: 123

C.D. Elliott, *Technics and architecture: the development of materials and systems for buildings*, Cambridge - Londra 1992: 1, 5

C. Formenti, R. Cortelletti, *La pratica del fabbricare*, III ed., Milano 1933: 77

E. Mörsch, *Teoria e pratica del cemento armato*, Milano 1910: 51

L. Morelli, *L'applicazione del cemento armato alle costruzioni antisismiche*, relazione al 1° Congresso Nazionale del Cemento tenutosi a Casale Monferrato nel maggio 1937, Casale Monferrato 1937: 67

R. Nerva, B. Signorelli, *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia: il sistema Hennebique*, Milano 1990: 38, 70

P.L. Nervi, *Scienza o arte del costruire? Caratteristiche e possibilità del cemento armato*, Roma 1945: 124, 125

M. Palombi, *Il solaio piano laterizio senza ferro*, Roma 1940: 109

A. Paoloni, *Il cemento armato con carne di bambù. Bambini-beton. Contributo ai problemi antiaerici dell'impero: ingente risparmio di FERRO nei cementi armati; sintesi di ricerche, esperienze e proposte*, Gonda 1938: 102 (basso)

G. Pizzetti, A.M. Zorzio Triscioglio, *Principi statici e forme strutturali*, Torino 1980: 3

S. Poretti, *La Casa del fascio di Como*, Roma 1998: 78, 97 (alto)

S. Poretti, *Progetti e costruzione dei palazzi delle Poste a Roma 1933-1935*, Roma 1990: 96

S. Poretti, R. Vittorini, *The Debate on "Autarchy" and the Heterogeneity of Italian Architecture*, in *Conference Proceedings of Fourth International DOCCOMOMO Conference*, September 18th-20th 1996, Bratislava - Sliac, Slovakia, Bratislava 1997: 102 (alto)

A.A. Raafat, *Reinforced concrete in architecture*, New York 1958: 6

L. Santarella, *Il cemento armato*, III ed., Milano 1932: 87

Unione Edilizia Messinese, *L'opera dell'Unione Edilizia Messinese per la ricostruzione di Messina (febbraio 1914 - giugno 1917)*, Bergamo 1917: 65

Unione Edilizia Nazionale, *L'opera dell'Unione Edilizia Nazionale nel quadriennio 1917-1920*, Roma 1921: 72

G.A. Wayss, *Das System Monier (Eisengerippe mit Cementumhüllung) in seiner Anwendung auf das Gesamte und Baureisen*, Berlino 1887: 4, 7, 8

150 anni di costruzione edile in Italia, a cura di M. Casciato, S. Mornati, C.P. Scavizzi, atti del II Seminario Internazionale "Il Modo di costruire", Roma 1992: 64

L'art de l'ingénieur constructeur, entrepreneur, inventeur, Parigi 1997: 9, 39

Le béton en représentation. La mémoire photographique de l'entreprise Hennebique 1890-1930, Parigi 1993: 16, 41, 43, 46

Centi ans de béton armé, supplemento alla rivista "Travaux", 194bis, 1949: 20

Ferrobeton Roma 1908-1948, Roma s.d.: 118

L'immagine della regione. La Casa del fascio di Giuseppe Terragni 1932/1936, Como 1989: 97 (basso)

Materiali per l'analisi dell'architettura moderna. 1ª Esposizione italiana di architettura razionale, a cura

di M. Cennamo, Napoli 1977: 90

La partecipazione italiana al primo Congresso Internazionale del beton semplice ed armato. Liegi, settembre 1930, Roma 1931: 66

Roma nel pensiero del Duce, Roma 1943: 117 (basso), 119

temi proposti per il futuro del Lingotto, Milano 1984: 91

"Architettura", febbraio 1933: 92

"Architettura", settembre 1939: 105 (basso)

"Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani", 5, 1904: 35, 45

"Bollettino della Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani", 27, 1904: 49

"Casabella", 485, 1982: 17

"Il Cemento Armato", 5, 1928: 42

"Il Cemento Armato", 10, 1938: 114

"L'Edilizia Moderna", 1899: 33 (sinistra)

"L'Edilizia Moderna", 1901: 31, 33 (destra), 36

"L'Edilizia Moderna", 1904: 29

"L'Edilizia Moderna", 12, 1906: 59

"Emporium", marzo 1903: 11

"Giornale del Genio Civile", 28, 1899: 37

"L'Industria Italiana del Cemento", 3, 1930: 95

"L'Industria Italiana del Cemento", 8-9, 1930: 88, 89

"L'Industria Italiana del Cemento", 7, 1931: 94, 116

"L'Ingegnere", 3, 1929: 86, 103 (destra)

"L'Ingegnere", 3, 1929: 86, 103 (destra)

"Mémoires et Comptes Rendus des Travaux de la Société des Ingénieurs Civils", 2, 1894: 126

"Il Monitor Tecnico", 8, 1899: 22, 23

"Il Monitor Tecnico", 3, 1901: 24

"Rassegna", 49, 1992: 2, 12

"Rassegna di Architettura e Urbanistica", 84-85, 1994-95: 98, 112 (basso), 115 (basso)

Foto Barsotti: 121