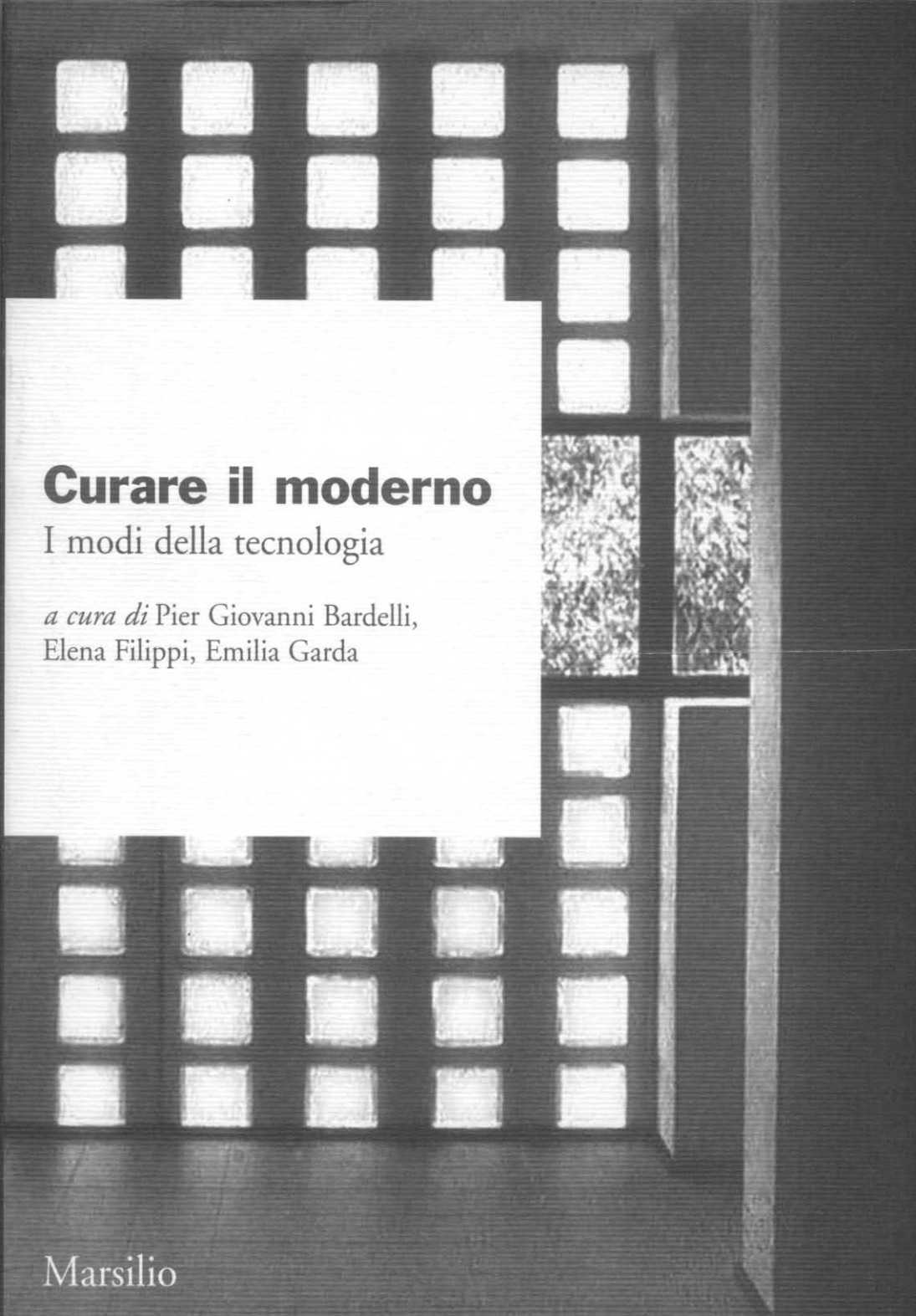


Curare il moderno

I modi della tecnologia

a cura di Pier Giovanni Bardelli,
Elena Filippi, Emilia Garda

Marsilio

Il convegno che costituisce la premessa al presente volume è stato patrocinato dal Politecnico di Torino e dalla Regione Piemonte.
La stampa del presente volume è stata finanziata dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Torino, a cui va un particolare ringraziamento, e dai Dipartimenti di Ingegneria dei Sistemi Edilizi e Territoriali e di Progettazione Architettonica del Politecnico di Torino.
Si ringraziano inoltre quanti hanno contribuito all'esito positivo di questa iniziativa.

Comitato scientifico del convegno da cui ha origine il presente volume:
Pier Giovanni Bardelli, Liliana Bazzanella, Gianfranco Cavaglià, Riccardo Nelva, Carlo Olmo, Giovanni Picco, Sergio Poretti, Paolo Scarsella, Elena Tamagno

Segreteria del comitato scientifico del convegno:
Guido Callegari, Elena Filippi, Riccardo Franzero, Emilia Garda, Tecla Livi, Marika Mangosio, Caterina Mele

Segreteria del convegno:
Enrica Barzotto

Hanno collaborato al coordinamento dei contributi:
Carlo Caldera, Guido Callegari, Elena Filippi, Riccardo Franzero, Emilia Garda, Tecla Livi, Marika Mangosio, Caterina Mele, Carlo Ostorero

Cura redazionale e impaginazione
in.pagina srl, Mestre-Venezia

© 2002 by Marsilio Editori® s.p.a. in Venezia

Prima edizione: dicembre 2002

ISBN 88-317-8054-9

www.marsilioeditori.it

Senza regolare autorizzazione è vietata la riproduzione, anche parziale o a uso interno didattico, con qualsiasi mezzo effettuata, compresa la fotocopia

TULLIA IORI

PRIME SPERIMENTAZIONI SUL CEMENTO ARMATO PRECOMPRESSO IN ITALIA

Nel febbraio del 1939, mentre in Italia vige la fase più rigida della politica autarchica, Gustavo Colonnetti dalle pagine della rivista «Il Cemento Armato» tenta 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»[1]. Si legge, nelle parole dell'allora più noto – e più scomodo – scienziato italiano nel campo delle costruzioni, la condanna per le reazionarie imposizioni del regime che favoriscono un ritorno alle tradizionali murature portanti e alle autarchiche coperture voltate. Analoga condanna è contemporaneamente rivolta alle parallele visionarie sperimentazioni che mirano a sostituire l'armatura di ferro acciaioso nel cemento armato con tondini di legno o di bambù, trascurando colpevolmente l'esiguità del modulo elastico di questi surrogati; sperimentazioni – queste ultime – incoraggiate dagli industriali del cemento, alla ricerca di soluzioni rapide per fronteggiare la crisi determinata dal divieto di impiego del cemento armato nelle costruzioni civili.

La tecnica più progredita cui fa riferimento Colonnetti è invece già in sperimentazione da qualche anno in Europa – a opera di Eugène Freyssinet in Francia e della Wayss & Freytag e della Dywidag in Germania: si tratta del cosiddetto «cemento armato precompresso».

[1] Cfr. G. Colonnetti, *Problemi nuovi e nuovi orientamenti*, in «Il Cemento Armato», 2, 1939, p. 22.

Perché Colonnetti è 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 è che lo scienziato italiano, d'accordo rispettivamente con Eugène Freyssinet, Eduardo Torroja e Ove Arup, ha sempre considerato il cemento armato un materiale «assurdo», «strano» e «difficile». I due elementi che lo compongono hanno caratteristiche di resistenza praticamente opposte e la forza del loro connubio dimora proprio in questa totale diversità: l'uno assorbe le sollecitazioni che l'altro non è in grado di sopportare. Ma il paradosso consiste nel fatto che l'affidabilità statica del cemento armato ha come base di partenza la garanzia di aderenza tra ferro e cemento: aderenza invece 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 fornisce una soluzione al problema, perché le prestazioni dei conglomerati migliorano solo in termini di resistenza a compressione, mentre non cresce di pari passo la resistenza a trazione. Anche la possibilità di impiego degli acciai ad alta resistenza, che pur consentirebbe una notevole economia di materiale, è messa in discussione proprio per la debole resistenza a trazione dei calcestruzzi e per la tendenza a fessurarsi non appena siano loro imposte dilatazioni oltre un certo limite.

Con la tecnica della presollecitazione invece – appare chiaro a Colonnetti, così come ai suoi colleghi europei – le relazioni reciproche fra cemento e ferro vengono completamente rivoluzionate: l'armatura non è più utilizzata per sopportare una quota parte degli sforzi dovuti alle sollecitazioni esterne ma bensì per creare nel calcestruzzo degli stati di tensione preventivi di segno contrario a quelli che saranno determinati da tali sollecitazioni. La collaborazione fra i due materiali si è trasformata in una coazione: l'acciaio precomprime il cemento, il quale diviene capace di resistere anche agli sforzi di trazione grazie al benefico meccanismo della sovrapposizione degli effetti. Questo gioco dei ruoli risolve il paradosso delle fessurazioni in zona tesa e riammette senza esitazione l'impiego di acciai ad alta resistenza, destinati a essere sollecitati a elevatissimi sforzi di trazione, e di cementi speciali, chiamati a resistere solo a sollecitazioni di compressione. Nel cemento precompresso dall'armatura pretesa, il cemento e il ferro sono sollecitati in modo con-

forme alle loro caratteristiche di resistenza e sono sfruttati al meglio: la tecnica dunque consente una concreta economia di materiale.

Il secondo motivo per cui Colonnetti spinge a favore della precompressione è che la nuova tecnica giunge a sanare una ferita aperta nel fianco dello scienza delle costruzioni.

Colonnetti si esprime con molta chiarezza relativamente al valore della teoria del cemento armato formulata da Edmond Coignet e Napoléon de Tédesco più di quarant'anni prima, nel 1894, e ancora in uso nel 1939: semplicemente ritiene quei metodi di calcolo «privi, assolutamente privi di ogni qualsiasi valore scientifico. E ciò non solo nel senso che, fondati su ipotesi ingiustificate e ingiustificabili, 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»[2]. Coloro che avevano introdotto quei calcoli nella normativa e nell'uso non si erano fatti illusioni circa il loro valore; solo in seguito il procedimento aveva assunto un carattere definitivo, autorizzando ad applicare a occhi chiusi i metodi semplici e noti della teoria dell'elasticità.

Colonnetti è 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 stava occupando di riordinare il corpus della teoria matematica del solido elastico adattandolo a un solido non perfettamente elastico, ma piuttosto elasto-plastico, ipotesi più vicina al comportamento del cemento armato.

Senza entrare nel dettaglio delle sue intuizioni, certamente nel 1939 Colonnetti è ben consapevole di quanto gli stati di coazione artificiale possano migliorare il comportamento statico delle costruzioni e parallelamente di quanto i metodi di calcolo «classici» del cemento armato vadano urgentemente sostituiti con una teoria rigorosa e scientifica.

La tecnica della precompressione del cemento gli consente da una parte di promuovere la messa al bando definitiva di quell'arbitrario metodo di calcolo e dall'altra di dare riscontro e applicazione diretta ai suoi preziosi studi giovanili.

[2] Cfr. G. Colonnetti, *Calcolare meglio*, in «Il Cemento Armato», 4, 1938, p. 61.

Nel settembre del 1939 Colonnetti mette a punto e pubblica un metodo di calcolo per le travi con armature preventivamente tese, diretta applicazione della sua elegante teoria delle coazioni elastiche[3]. In questa nuova configurazione le ipotesi della teoria elastica sono scientificamente applicabili: l'azione di compressione del ferro sul cemento infatti catapulta l'asse neutro fuori della sezione di cemento, che risulta quindi tutta reagente, interamente compressa, oltre che omogenea, non essendo più l'armatura chiamata a resistere ai carichi esterni. Il comportamento del materiale può dunque perfettamente essere descritto senza far ricorso a improbabili procedimenti di omogeneizzazione dell'acciaio al cemento o all'impiego di coefficienti dai valori fittizi e senza alcun significato fisico.

I PRECEDENTI DELLA PRESOLLECITAZIONE

A parte i contributi teorici, riconosciuti internazionalmente, Colonnetti non ha un ruolo determinante nelle fasi pionieristiche della sperimentazione sulla presollecitazione, che vede 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.

Nel campo specifico delle costruzioni – solo per citare alcuni esempi – nei ponti in conci di pietra veniva diffusamente utilizzata la tecnica della borratura dei giunti, che consisteva nell'intasare con malta i giunti alle reni, operazione paragonabile a quella di inserire a forza un cuneo fra i conci, creando delle reazioni normali al letto di posa e spostando di conseguenza la curva delle pressioni. Nella trave reticolare Howe i montanti verticali, costituiti da tiranti di ferro filettati, venivano presollecitati a trazione serrando i dadi di estremità, in modo da indurre nei due sistemi di diagonali di legno una compressione capace di elidere qualsiasi sollecitazione di trazione dovuta ai carichi propri o accidentali[4].

Intorno alla metà dell'Ottocento, era ormai messa a punto la tipologia della trave di ghisa armata presollecitata, nella quale cioè i conci venivano precompressi mediante un'armatura di barre di ferro

[3] Cfr. G. Colonnetti, *Teoria e calcolo delle travi con armature preventivamente tese*, in «Pontificia Academia Scientiarum. Acta», IV, 2, 15 settembre 1939.

[4] Lo scopo era quello di semplificare il montaggio: si rivelava infatti inutile realizzare un collegamento fra le diagonali e i correnti, essendo sufficiente il solo appoggio a contrasto. C. Guidi, *Lezioni sulla scienza delle costruzioni, Parte IV. Teoria dei ponti*, Torino 1928, p. 190.

pretese a percorso orizzontale, completamente indipendenti dalla sezione di ghisa[5].

Ed è proprio la sperimentazione sulla precompressione della ghisa, materiale straordinariamente simile al cemento almeno come attitudini alla resistenza, ad avere maggiori analogie con i primi tentativi di precomprimere il cemento mediante tiranti di ferro.

Se sono spesso citati i brevetti di Doering del 1888, è meno conosciuta la sperimentazione di François Chaudy, che già nel 1894 prefigura in maniera chiara le potenzialità della post-tensione delle armature passanti in conci di conglomerato. Chaudy, che imposta i suoi ragionamenti sulle considerazioni note in merito all'inevitabile fessurazione del cemento in zona tesa, suggerisce di conformare la trave di solo conglomerato con un incasso intradossale per disporre un tirante di ferro, da tendere, una volta ultimata la presa del cemento, con il serraggio dei bulloni, a contrasto con la trave stessa[6].

La soluzione proposta non trovava reali possibilità di applicazione perché, come è noto, le tensioni ammissibili per le armature disponibili sul mercato in quel momento consentivano allungamenti elastici così modesti da annullarsi rapidamente per il solo effetto del ritiro del cemento e delle deformazioni lente.

Ma l'idea della pretesatura 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 – il primo ad aver eseguito una sperimentazione sistematica e ad aver proposto un metodo di calcolo per il cemento armato – 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 avvolgeva. Con il medesimo obiettivo, anche un italiano, Ernesto Mezzetti, brevettava nel 1918 un sistema di facilissima applicazione, dotato di cunei e di chiavi, per la tesatura dei ferri di armatura, citando come illustre antecedente del suo sistema la tradizionale accortezza di stendere forzatamente le catene degli archi e delle volte[7].

[5] Cfr. A.M. Zorgno, *La materia e il costruito*, Firenze 1988, pp. 139-161.

[6] Chaudy suggeriva anche un'interessante serie di calcoli per calibrare la tensione iniziale del tirante, al fine di annullare la sollecitazione di trazione nel cemento indotta dai carichi di esercizio. Cfr. F. Chaudy, *Sur le calcul des plaques élastiques minces et le rôle de tirants dans les poutres en ciment armées*, in «Mémoires et Compte Rendus des travaux de la Société des Ingénieurs Civils», 2, 1894, pp. 545-550.

[7] Brevetto n. 166844, E. Mezzetti, Milano, *Innovazione nei sistemi di armatura del cemento*, 20 maggio 1918.

LA PRESOLLECITAZIONE MODERNA: LE DEFORMAZIONI SISTEMATICHE

Come è noto, il protagonista nella tecnica della presollecitazione moderna è Eugène Freyssinet. Già a partire dalla celebre serie dei suoi primi ponti ad arco – Veurdre, Boutiron, Châtel-de-Neuvre – intorno al 1910, il francese sperimentava un'originale tecnica di disarmo mediante l'allontanamento dei due semi-archi 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 – scrive 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». Nel caso dei ponti ad arco, è noto che al momento della rimozione della centina la deformazione elastica, l'inevitabile allontanamento delle spalle, il ritiro del cemento, le variazioni di temperatura inducono un cambiamento di forma della fibra media, che non coincidendo più con la linea delle pressioni, determina ulteriori sollecitazioni. Il metodo di Freyssinet consiste nel correggere tramite i martinetti la curva dei baricentri, in modo da riportarla a coincidere con la curva delle pressioni, annullando queste sollecitazioni parassite. Si tratta a tutti gli effetti di indurre artificialmente delle sollecitazioni nella struttura, contrarie nel segno a quelle di esercizio, al fine di sfruttare al meglio le potenzialità del materiale.

La tecnica è 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»[8].

Sono in pochi in Europa a raccogliere la sfida di Freyssinet. Tra questi figura Eduardo Torroja che nella realizzazione dell'acquedotto di Tempul, nel 1925, adotta con disinvoltura i martinetti idraulici per correggere la configurazione della struttura deformata dai carichi di esercizio.

In Italia, solo Eugenio Miozzi ha il coraggio di seguire le orme dei due celebri colleghi. Dopo aver studiato con passione le realizzazio-

[8] *Sull'introduzione di deformazioni elastiche sistematiche nelle costruzioni di conglomerato cementizio armato*, in «Annali dei Lavori Pubblici», 11, 1928, p. 1033.

ni di Freyssinet, Miozzi, ingegnere del Genio Civile a Bolzano, ha l'occasione di sperimentare una personale variante alla tecnica delle deformazioni sistematiche nel ponte di calcestruzzo non armato sul torrente Sojal, nel 1930: qui usa i martinetti per ricentrare la curva delle pressioni ma invece che sollevare l'arco agendo in chiave, lo spinge altrettanto efficacemente dall'imposta[9].

LA SPERIMENTAZIONE SUL CEMENTO ARMATO PRECOMPRESSO IN EUROPA

Il 2 ottobre del 1928 Freyssinet deposita in Francia – e un anno dopo anche in Italia – un brevetto nel quale rivendica l'esclusiva per un «Processo di fabbricazione di pezzi in cemento armato». Dietro questo insospettabile titolo si nasconde una vera «rivoluzione nell'arte di costruire».

I pezzi prefabbricati di Freyssinet sono realizzati con armature rettilinee, pretese prima del getto, ma non semplicemente stirate come nelle tante sperimentazioni precedenti, bensì sottoposte a una sollecitazione tale da indurre un allungamento elastico importante. Le armature così tese sono provviste di dispositivi di ancoraggio destinati a trasmettere al cemento ormai maturo le sollecitazioni alle quali sono sottoposte[10].

Nel 1935 Freyssinet concede il suo brevetto in concessione per la Germania alla ditta Wayss & Freytag, già nota per aver acquisito, ormai cinquant'anni prima, i brevetti di Joseph Monier per il cemento armato e aver avviato insieme a Matthias Koenen la prima sperimentazione sistematica sul materiale. Anche in questa occasione la lungimirante ditta conduce un'accurata e sapiente verifica delle potenzialità del sistema[11]. La lunga fase sperimentale si conclude nel 1939 con la realizzazione del primo ponte europeo in cemento armato precompresso, un sovrappasso autostradale di circa 33 m di luce.

Un altro tedesco, Franz Dischinger, l'ideatore delle volte sottili sistema Zeiss-Dywidag, rivendica però la paternità del cemento precompresso, avendo anch'egli depositato nel 1928 un brevetto al riguardo. Dischinger nel 1934 deposita un'ulteriore privativa nella

[9] Cfr. E. Miozzi, *Nuovi metodi nella esecuzione delle volte. Le deformazioni sistematiche*, in «Annali dei Lavori Pubblici», 9, 1930, pp. 781-804. In seguito Miozzi propone un suo metodo, detto delle «lesioni sistematiche».

[10] Brevetto francese n. 680547, E. Freyssinet e J. Séailles, *Procédé de fabrication de pièces en béton armé*, 2 ottobre 1928; Brevetto italiano n. 283075, 1 ottobre 1929.

[11] Il progetto è di Emil Mörsch, direttore tecnico della Wayss & Freytag, che cura tutta la sperimentazione.

quale rivendica i diritti per un sistema di travi da ponte, precompresse da cavi a treccia di notevole diametro, ad andamento parabolico, passanti esternamente alle travi stesse e tenuti in posizione da pendoli vincolati ai traversi. La disposizione all'esterno dei cavi consente di regolarne nel tempo la tensione; l'andamento parabolico è studiato in modo da ricentrare nel baricentro di ogni sezione la risultante delle pressioni, dando lungo così a una trave uniformemente compressa[12].

Forse la più facilmente applicabile tra le sperimentazioni della Germania – che apprestandosi alla guerra, incoraggia le ricerche che mirano al risparmio di ferro – è quella di Ewald Hoyer. I suoi travetti prefabbricati da solaio, presollecitati da armature di fili aderenti di acciaio armonico di piccolissimo diametro, pretesi a valori vicini al carico di sicurezza e senza bisogno di dispositivi di ancoraggio suscitano subito grande curiosità anche sulle riviste italiane, dove vengono pubblicati nell'aprile del 1939[13].

LA SPERIMENTAZIONE IN ITALIA: IL BREVETTO DI GUSTAVO COLONNETTI

Le prime vere applicazioni dell'armatura pretesa in Italia riguardano prevalentemente i corpi cavi. I tubi Vianini erano già stati il cavallo di battaglia della delegazione italiana al I Congresso internazionale del betòn semplice e armato, tenutosi a Liegi nel 1930.

La ditta nel 1933 presenta un nuovo brevetto per rivendicare i diritti su un macchinario in grado di armare i tubi con armature metalliche in tensione: la tecnica consiste nell'avvolgere elicoidalmente – tesandolo – un filo di acciaio intorno al tubo già maturato per poi proteggerlo con uno strato di cemento fibroso[14]. Nel giugno del 1939 è la SCAC, Società Cementi Armati Centrifugati, a perfezionare i suoi già noti pali centrifugati armandoli ora con fili sottili di acciaio ad altissima resistenza, disposti in tensione longitudinal-

[12] Dischinger sembra ispirarsi direttamente alle travi armate di legno e di ghisa, rispetto alle quali anche i pendoli per lo scorrimento dei cavi appaiono come dei perfezionamenti di quelli adottati nei sistemi della tradizione.

[13] Le travi prefabbricate vengono gettate a fili pretesi in casseforme lunghe anche 100 m, semplicemente diaframmate da doppie paretine riempite di sabbia: a maturazione avvenuta la sabbia viene rimossa e i fili tagliati opportunamente, soluzione resa possibile proprio dall'assenza del gancio terminale. E. Hoyer, *Der Stahlsaitenbeton*, Berlin 1939.

[14] 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.

mente[15]: la tecnica messa a punto dalla SCAC ha evidenti analogie con il sistema di Hoyer, ancora non protetto in Italia da brevetto.

Ma è di Gustavo Colonnetti il primo brevetto italiano per travi in cemento armato con armatura pretes[16]. Nel corso del 1939, Colonnetti pubblica una lunga serie di articoli sulle potenzialità e lo sviluppo in Europa della precompressione; nel giugno dello stesso anno tiene delle conferenze alla Sorbona di Parigi sugli stati di coazione e il viaggio gli consente probabilmente di approfondire le conoscenze sui sistemi di Freyssinet, Dischinger e Hoyer; a settembre pubblica il già citato articolo sul calcolo delle travi precompresse; il 12 dicembre deposita il suo brevetto, che pur partendo da spunti già presenti nei brevetti europei, si mette in luce per soluzioni di grande originalità.

Due gli aspetti più interessanti. Il primo è la forma della trave: Colonnetti disegna una trave arcuata, la cui sezione varia in altezza con continuità. L'idea è di allineare i punti inferiori di nocciolo delle sezioni di massimo momento positivo, i punti superiori di nocciolo delle sezioni di massimo momento negativo e i baricentri delle eventuali sezioni di momento nullo: tale allineamento coincide anche con la linea di azione della risultante delle tensioni preventive dell'armatura. Nella trave così conformata si configurano le condizioni statiche di un arco con la curva delle pressioni tutta contenuta nel nocciolo ma senza che il sistema risulti spingente. L'obiettivo evidentemente è di far lavorare i materiali, ognuno sollecitato secondo le sue peculiarità, al massimo delle sollecitazioni possibili in tutte le sezioni: il risultato è una trave a uniforme resistenza che lavora come un arco a spinta eliminata.

Il secondo aspetto originale del brevetto risiede nella rinuncia all'aderenza fra armatura e conglomerato. Colonnetti non segue la strategia di Dischinger, che colloca l'armatura fuori dal profilo della trave, ma ingloba l'armatura nel getto proteggendola però con una specie di involucro isolante, che impedisce al conglomerato di venire a contatto con l'armatura stessa: in questo modo a presa avvenuta, l'armatura si può muovere all'interno del conglomerato e la sua

[15] 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.

[16] Brevetto n. 383586, G. Colonnetti, Torino, *Trave armata ad armatura preventivamente tesa*, 12 dicembre 1939, seguito subito dopo dal Brevetto n. 380692, G. Colonnetti, Torino, *Procedimento per la messa in tensione delle armature nelle strutture in conglomerato cementizio*, 5 gennaio 1940. Cfr. anche G. Colonnetti, *Di un nuovo procedimento per la messa in tensione delle armature nelle strutture in cemento armato*, in «Pontificia Academia Scientiarum. Acta», IV, 8, 18 febbraio 1940, pp. 61-67.

messa in tensione può essere ritardata a quando il cemento ha già realizzato buona parte del suo ritiro; inoltre l'armatura si viene a trovare, al contrario del sistema Dischinger, nella posizione ottimale rispetto alla sezione per agire con il suo compito di presollecitazione. Quanto alle caratteristiche dell'involucro, Colonnetti propone di impiegare per avvolgere le armature fogli sottili di metalli plastici, tipo «stagnola», o più economicamente di spalmare l'armatura stessa con catrame, bitume o cementi plastici a base di gomme, oli e fibre di asbesto[17].

Nel dopoguerra sarà proprio quella tracciata da Colonnetti una delle linee di sviluppo del cemento armato precompresso, anche se ad assumere la configurazione non rettilinea non sarà la trave ma direttamente l'armatura, che potrà scorrere liberamente all'interno di apposite guaine sagomate. Ma neanche il grande entusiasmo di Colonnetti può però superare il vero limite della sperimentazione italiana: l'indisponibilità di acciaio ad alta resistenza. La carenza di materie prime, l'incompatibilità delle linee di produzione italiane, l'impossibilità di acquistare il prodotto finito dall'estero per problemi economici ma anche di approvvigionamento – altre nazioni in tempi più propizi hanno monopolizzato il mercato con concessioni di lungo periodo – rendono inattuabile una seria sperimentazione. I tentativi compiuti dall'industria metallurgica italiana – in particolare dall'Ilva e dalla Società Acciaierie e Ferriere Lombarde – di ottenere acciai ad alta resistenza partendo dalle materie prime nazionali conducono purtroppo a risultati fallimentari[18].

Stimolati però dalle sperimentazioni di Colonnetti, non si fanno attendere nuovi brevetti italiani, come quello di Luigi Magistretti[19], di Augusto De Fant[20], di Franco Mattiazzo[21], che perfezionano in

[17] Un anno dopo Colonnetti presenta un sistema per realizzare in modo semplice la messa in tensione e l'ancoraggio delle armature. 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.

[18] Cfr. G. Guzzoni, *Acciai autarchici*, in «L'Ingegnere», 8, 1942, pp. 793-799.

[19] Brevetto n. 384672, L. Magistretti, Milano, *Struttura di calcestruzzo di cemento, armata e precompressa mediante barre di acciaio non ancorate*, 7 marzo 1940.

[20] Brevetto n. 397822, A. De Fant, Milano, *Procedimento e apparecchiatura per mettere in pretensione 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.

[21] Brevetto n. 402837, F. Mattiazzo, Milano, *Struttura in calcestruzzo di cemento armato provvista di armatura metallica preventivamente tesa*, 2 aprile 1942. Mattiazzo allega in seguito 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 R. Politecnico di Milano il 20 aprile 1942. Nel laboratorio – dove Mattiazzo era assistente – era stato realizzato un apposito impianto industriale per il collaudo dell'applicabilità dell'invenzione.

modo più o meno originale le tecniche di tesatura e di ancoraggio dei cavi nelle travi di cemento precompresso. Né tardano le sperimentazioni nei laboratori accademici: nel 1941, nel laboratorio dell'Istituto di Costruzioni e Ponti del Politecnico di Milano, Luigi Stabilini conduce prove di carico su travi da solai tipo «Varese» dotate di parziale armatura preventivamente tesa, per realizzare le quali viene montata un'apposita macchina per la messa in tensione dei ferri da incorporare nel getto delle travi.

Anche le imprese si appassionano al sistema[22]. La SCAC,dopo aver sperimentato il sistema dei fili aderenti per i pali, acquista i diritti sui brevetti di Hoyer per le travi, depositati per l'occasione anche in Italia[23], e nello stabilimento di Monterotondo realizza un primo impianto industriale di pretensione, sfruttando il cemento tipo «Ultracem» fornito dalla filiale dell'Italcementi di Civitavecchia: alla fine del 1942 inizia una produzione sperimentale in serie di travi per solai con sezione a T rovescia di cemento precompresso da fili aderenti ma non si hanno notizie di impiego di queste travi[24], ne di nessuna altra struttura in cemento armato precompresso, almeno fino alla fine della guerra[25].

Ed è 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 saltuaria e irregolare pubblicazione di riviste e di volumi, favorisce il decantamento della nuova tecnica.

Gli ingegneri più attenti e capaci approfittano dell'interruzione delle attività di progettazione per sperimentare nei loro laboratori casalinghi. Nel febbraio del 1944 sulla scena della precompressione

[22] Nel 1941 viene fondata a Torino la SACAP, Società Anonima Cemento Armato Precompresso, voluta dall'ingegner Giovanni Agnelli per favorire lo sviluppo del sistema. Prima della guerra realizza però solo una breve pubblicazione, con lo scopo di far conoscere ai tecnici la nascente società. Cfr. *Cemento armato precompresso*, Torino 1941.

[23] 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; seguito dal Brevetto n. 405025 del 19 dicembre 1942 e dal Brevetto n. 404233 del 22 dicembre 1942.

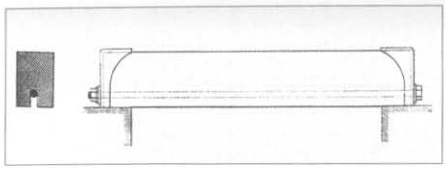
[24] Alcune di queste travi vengono prelevate nel 1943 da Carlo Cestelli Guidi per prove di carico che avranno inizio in realtà solo nel novembre del 1945 e si protrarranno per alcuni anni. C. Cestelli Guidi, *Il conglomerato precompresso. Teoria-esperienze-applicazioni*, Roma 1947. Lo stabilimento di Monterotondo viene requisito durante la guerra e derequisito per interessamento di Colonnetti il 15 aprile 1945: le difficoltà burocratiche nel farsi assegnato dalla Commissione Alleata il cemento speciale prodotto a Civitavecchia fa slittare di molti mesi la nuova messa in produzione delle travi precompresse. Cfr. ACS, fondo PCM-CNR, busta 232.

[25] Prima dell'entrata in vigore del DL 1516 del 20 ottobre 1947, che regola l'impiego delle strutture in c.a.p., non dovrebbero essere state ammesse applicazioni di strutture di questo tipo.

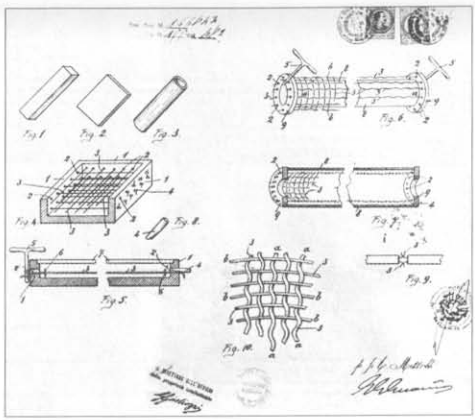
italiana appare Riccardo Morandi che deposita il suo primo brevetto[26], rivendicando i diritti su un processo di pretensione delle armature per dilatazione termica con impiego di corrente elettrica a basso voltaggio. Sarà proprio il giovane ingegnere romano a ottenere negli anni a seguire risultati eccezionali e a riscattare le fatiche di Colonnetti e di quanti insieme a lui avevano potuto solo ipotizzare l'irrealizzabile.

[26] Brevetto n. 411311, R. Morandi, Roma, *Procedimento e dispositivo per la realizzazione di travi di cemento armato precompresso*, 17 febbraio 1944.

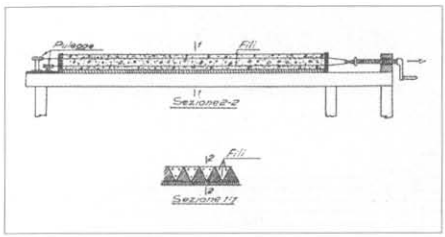
[1.]



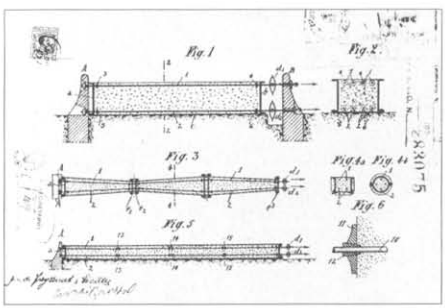
[2.]



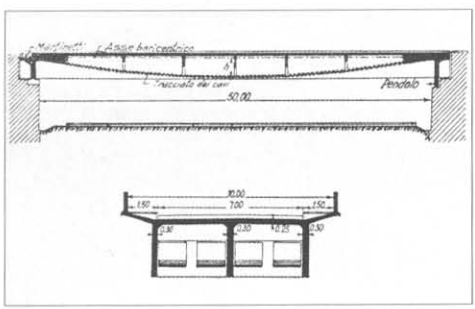
[3.]



[4.]



[5.]



PRIME SPERIMENTAZIONI SUL CEMENTO ARMATO PRECOMPRESSO IN ITALIA

1. Tipologia di trave di cemento precompressa da un tirante, secondo le ipotesi di F. Chaudy del 1894 (da «Mémoires et Compte Rendus des travaux de la Société des Ingénieurs Civils», 1894).

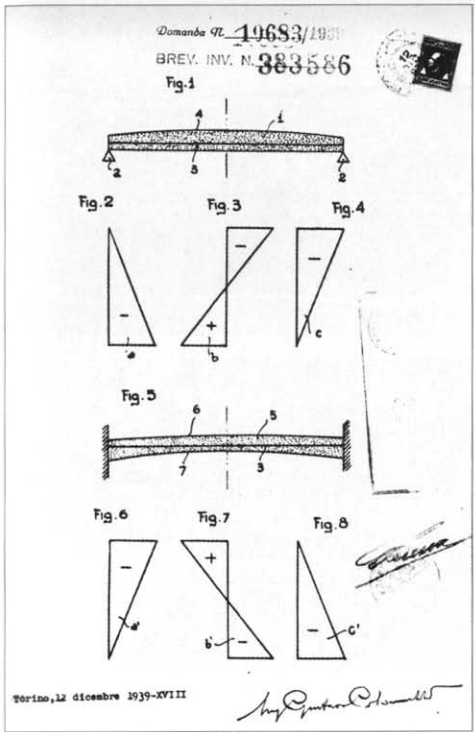
2. Brevetto N. 166844, E. Mezzetti, Milano, *Innovazione nei sistemi di armatura del cemento*, 20 maggio 1918.

3. Apparecchio di Matthias Koenen per tesare le barre di armatura prima del getto, 1907 (da C. Cestelli Guidi, *Il conglomerato precompresso*, Roma 1947).

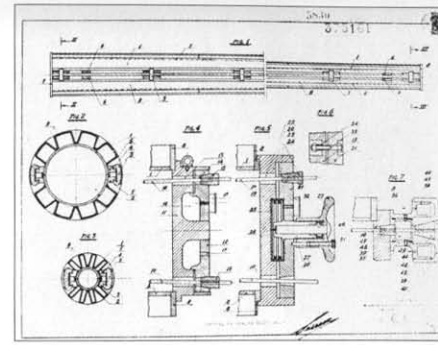
4. Brevetto italiano N. 283075, E. Freyssinet e J. Séailles, *Procédé de fabrication de pièces en béton armé*, 1 ottobre 1929.

5. Sistema di presollecitazione ideato da Franz Dischinger nel 1934 (da C. Cestelli Guidi, *Il conglomerato precompresso*, Roma 1947).

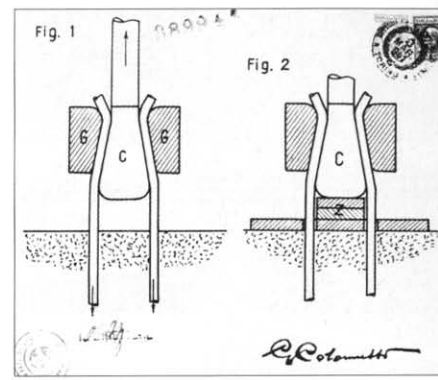
[6.]



[7.]



[8.]



6. Brevetto N. 383586, G. Colonnetti, Torino, *Trave armata ad armatura preventivamente tesa*, 12 dicembre 1939.

7. 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.

8. 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.