Seminario Internazionale
International Seminar

Teoria e pratica del costruire: saperi, strumenti, modelli

Esperienze didattiche e di ricerca a confronto

Theory and practice of construction: knowledge, means, models

Didactic and research experiences

Ravenna 27-29 ottobre 2005

Volume 2

DAPT - Dipartimento di Architettura e Pianificazione Territoriale
Università di Bologna

Fondazione Flaminia
Ravenna

Edizioni Moderna

Seminario Internazionale
International Seminar

Teoria e pratica del costruire: saperi, strumenti, modelli

Esperienze didattiche e di ricerca a confronto

Theory and practice of construction: knowledge, means, models

Didactic and research experiences

Ravenna 27-29 ottobre 2005

Volume 2

DAPT - Dipartimento di Architettura
e Pianificazione Territoriale
Università di Bologna

Fondazione Flaminia
Ravenna

Edizioni Moderna

Seminario Internazionale
International Seminar

Teoria e pratica del costruire: saperi, strumenti, modelli

Esperienze didattiche e di ricerca a confronto

Theory and practice of construction: knowledge, means, models

Didactic and research experiences

Ravenna 27-29 ottobre 2005

a cura di / *edited by*
Giovanni Mochi

Volume 2

DAPT - Dipartimento di Architettura
e Pianificazione Territoriale
Università di Bologna

Fondazione Flaminia
Ravenna

L'ingegneria italiana del dopoguerra: appunti per una storia

Tullia Iori

Nell'estate del 1964, al Museum of Modern Art di New York, si svolge la mostra "Twentieth Century Engineering": le opere di Pier Luigi Nervi, di Riccardo Morandi ma anche di Silvano Zorzi, di Franco Levi, di Carlo Cestelli Guidi, di Arrigo Carè e Giorgio Giannelli, oltre ad alcuni dei più bei viadotti dell'Autostrada del Sole sono esposti in un selezionato campionario internazionale di capolavori di ingegneria strutturale, precedenti e successivi alla seconda guerra mondiale. Un paese uscito malamente da quella guerra, tecnologicamente arretrato come l'Italia, vanta in quel momento un patrimonio di opere, e soprattutto di ponti, spettacolare e all'avanguardia come nessuna altra nazione al mondo: come è potuto succedere?

Il testo che qui si propone si inquadra in un lavoro di ricerca sullo sviluppo dell'ingegneria strutturale italiana nel secondo dopoguerra. Lo studio, che si innesta sulle ricerche precedentemente condotte sull'evoluzione del cemento armato in Italia prima della seconda guerra mondiale (Iori 2001) e su alcune ricerche avviate da Poretti (1997) sulla storia della costruzione del dopoguerra, vuole provare a comprendere le motivazioni tecniche, scientifiche e culturali che hanno portato l'Italia, alla metà degli anni sessanta, ai vertici dell'ingegneria nel panorama internazionale.

Si privilegiano, in questa prima breve nota, alcune vicende che hanno indirizzato, incoraggiato, determinato lo sviluppo tecnico e costruttivo.

Si ricostruisce, in particolare, il ruolo di Gustavo Colonnetti e della sua scuola, arricchita da allievi conosciuti durante l'esilio svizzero, nella promozione degli studi e delle applicazioni sulla nuova tecnica del cemento armato precompresso. Si analizza il modo in cui la pionieristica sperimentazione del precompresso abbia potuto giovarsi della massiccia opera di ricostruzione della rete stradale, quasi completamente distrutta durante la guerra, come un tempestivo e intenso cantiere di prova e verifica. Si comprende, infine, come l'affermazione della tecnica sia maturata con il piano di sviluppo delle autostrade, la cui costruzione assume per tutta l'economia nazionale quello stesso ruolo di volano e di incentivo che avevano svolto le ferrovie nel corso dell'Ottocento. Durante il miracoloso cantiere dell'Autostrada del Sole, in particolare, si compie l'evoluzione definitiva del cemento armato precompresso, che conquista sempre maggiori spazi e innesca una vivace competizione con il cemento armato ordinario, spinto per l'occasione fino al limite delle sue potenzialità. In questo scontro generazionale, senza sconfitti, ma che vede rinnovarsi il ruolo egemone del calcestruzzo nel panorama costruttivo italiano, si raggiunge un livello di maturità formale e costruttiva impareggiabile che, inevitabilmente, favorisce i successi dei nostri ingegneri nelle rassegne internazionali di strutture.

La "scuola italiana" in Svizzera

Il 20 settembre 1943 Gustavo Colonnetti passa, da

Caprino, il confine della Svizzera, dove trascorrerà 14 mesi di esilio volontario, fino all'inizio di dicembre del 1944 (Broggini 1993).

Sarà un periodo difficile ma intenso, che lascerà tracce permanenti non solo nella vita dello scienziato ma in una piccola comunità di ingegneri e architetti che condividono con lui questa avventura. Sono personaggi che rivestiranno ruoli di primo piano nel mondo delle costruzioni nell'Italia del dopoguerra: tra gli ingegneri Franco Levi, Silvano Zorzi, Aldo Favini, e tra gli architetti, Ernesto Nathan Rogers, Angelo Mangiarotti, Vico Magistretti, Alberto Rosselli, Maurizio Mazzocchi, Vito Latis, Luigi Zuccoli, che trascorrono questi lunghi mesi insieme a Einaudi, Fanfani, Olivetti ...e altri 45000 italiani. Tutti fuggiti in Svizzera dopo l'evasione di Mussolini dalla prigione del Gran Sasso e i suoi comunicati diffusi da radio Monaco, che da una parte ordinavano il ritorno al combattimento delle truppe italiane a fianco della Germania e dall'altra annunciavano la costituzione del Partito fascista repubblicano.

Per evitare le ritorsioni dopo i festeggiamenti dei giorni badogliani fugge Colonnetti, antifascista da sempre, nominato rettore del Politecnico di Torino prima dell'armistizio. Per sottrarsi al reclutamento dei neofascisti o scampare alla deportazione nazista, fuggono i giovani sotto le armi, come Zorzi, Mangiarotti, Magistretti, Favini; fugge chi, prevalentemente dal nord Italia, può raggiungere la frontiera svizzera e chiedere asilo all'unica terra neutrale capace di dare rifugio anche ai perseguitati 'razziali', come Levi.

Inizialmente raccolti in generici campi di internamento, ai militari che in Italia erano stati studenti universitari viene offerta l'opportunità di trasferirsi in campi speciali, dislocati in prossimità delle università di lingua francese: sotto la direzione di docenti italiani, potranno seguire i corsi regolari delle facoltà svizzere, integrati da seminari in lingua italiana. Colonnetti, già 'chargé des cours' presso l'Università di Losanna, contribuisce all'organizzazione dei campi universitari e alla selezione degli studenti: viene quindi nominato rettore del campo di Losanna, che raccoglie la maggior parte degli studenti delle facoltà di architettura e ingegneria e i cui alloggi sono raccolti nella cittadina di Vevey. All'apertura, il 26 gennaio 1944, si contano 142 studenti, tra cui Zorzi, e 22 docenti, fra cui Levi; tra gli assistenti, i già laureati Favini, Mazzocchi e Rogers. L'attività dei docenti e degli assistenti consiste anche nella redazione di dispense che raccolgono gli appunti delle lezioni, destinati in parte a coloro che, per mancanza di posti, sono rimasti nei campi di internamento militare ma che potranno sostenere gli esami da 'privatisti' nelle sessioni previste[1]. Con l'arrivo dell'estate il campo di Losanna viene chiuso ma l'immobilità dei fronti di guerra in Italia spinge alla riapertura, il 2 novembre, con più o meno lo stesso corpo studentesco e docente (Colonnetti 1944).

Quando il 30 novembre Colonnetti tiene la lezione inaugurale del corso di Scienza delle costruzioni, ben sa che non lo svolgerà più lui: c'è un aereo militare pronto a riportarlo a Roma, liberata a giugno dalle forze alleate, per volere del nuovo Governo che intende incaricarlo del ruolo di presidente del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

In un paese che cerca personaggi integerrimi cui affidare la ricostruzione, Colonnetti vanta la doppia consacrazione dell'antifascista e del profugo, che non si è però limitato a portare al sicuro la sua famiglia ma ha 'salvato' una intera generazione di studenti, costruendo un vero e proprio focolare di cultura. È quindi il candidato ideale cui delegare la rinascita della ricerca italiana, minata nel periodo prebellico dalle limitazioni autarchiche. Priorità assoluta nei suoi programmi, specialmente quelli non dichiarati, sarà lo sviluppo della tecnica costruttiva cui ha dedicato l'ultima parte della sua vita di scienziato, prima dell'esilio: il cemento armato precompresso.

Dal 1939, infatti, Colonnetti si adoperava per favorire lo sviluppo di questa 'manipolazione genetica' del cemento armato anche in Italia. Manipolazione che, rivoluzionando i rapporti fra conglomerato ed armatura, rendeva il materiale più autarchico, consentiva un più scientifico procedimento di calcolo e apriva nuovi inesplorati spazi di sperimentazione, che sembravano particolarmente adatti al mondo delle costruzioni italiano. Colonnetti stesso aveva depositato addirittura un brevetto per una "trave armata ad armatura preventivamente tesa", già nel 1939, ma era soprattutto stato autore di numerose pubblicazioni divulgative, quasi promozionali, sull'argomento (Iori 2003).

Non deve stupire allora che i giovani raccolti intorno a Vevey, come Levi, Zorzi o Favini, divengano i pionieri della precompressione in Italia, visto che Colonnetti, oltre al suo entusiasmo per la nuova tecnica, deve aver trasmesso loro tutto quello che sapeva - e in quel momento non era poco - sia delle esperienze di Freyssinet che dei tedeschi Dischinger,

Finsterwalder e Hoyer, sia delle sue personali sperimentazioni pratiche e teoriche.

Non che il virus della precompressione avesse colpito solo sul lago Lemano. Colonnetti aveva fatto in tempo ad inocularlo anche tra gli ingegneri che sarebbero rimasti in Italia, soprattutto a Roma, durante la lunga risalita degli americani dalla Sicilia. Anzi, il periodo di inattività, che si concretizza con il blocco delle costruzioni del giugno 1940 ma che si consolida drammaticamente durante l'occupazione tedesca, favorisce sperimentazioni, spesso casalinghe, che saranno verificate scientificamente solo a guerra finita. Non solo quelle conosciute di Pier Luigi Nervi sul ferrocemento, ma anche quelle di Riccardo Morandi che deposita già il 17 febbraio 1944, poco dopo lo sbarco di Anzio, il primo dei suoi brevetti, a rivendicare i diritti su un processo di pretensione delle armature per dilatazione termica con impiego di corrente elettrica a basso voltaggio (Morandi 1944).

E anche quelle teoriche di Carlo Cestelli Guidi che aveva prelevato 7 travi da solaio, tipo Hoyer, prodotte dalla SCAC, nel 1942, quali prototipi per una innovativa linea di produzione e, giocando con queste, aveva perfezionato, durante l'occupazione tedesca, le prime ipotesi per un modello di calcolo delle sezioni precompresse (Cestelli Guidi 1947).

Il nuovo CNR e il centro di studio sugli stati di coazione elastica

Colonnetti arriva a Roma il 7 dicembre: il decreto che lo nomina Presidente del CNR è datato 28 dicembre 1944. Il primo atto nella nuova carica è un messaggio di saluto, trasmesso da Radio Londra il 30 dicembre, per i campi universitari italiani: con i toni della speranza, incoraggia i professori e gli studenti promettendo un riconoscimento ufficiale dell'attività svolta. Promessa che riuscirà in pieno a mantenere, sia perché agli studenti saranno convalidati gli esami sostenuti in territorio elvetico, sia perché i docenti e gli assistenti troveranno spazio nelle nascenti istituzioni di ricerca (Colonnetti 1973).

In attesa di recuperare l'unità nazionale, comincia a riformare il CNR e a marzo è pronto il decreto per il riordino: al Consiglio è affidato per legge il compito di curare "nel campo scientifico-tecnico, lo studio, la documentazione e la sperimentazione per i problemi attinenti la ricostruzione", funzionando come organo permanente di consulenza del Governo. Viene anche nominato un primo Comitato nazionale per la Ricostruzione edilizia, ma con la precisazione che andrà integrato con studiosi e scienziati del nord Italia, a quella data ancora sotto il controllo nazifascista.

A partire dall'aprile del 1945, liberata Milano e finita la guerra, almeno in Europa, in seno al CNR Colonnetti organizza una serie di centri studi per coordinare e promuovere le attività su privilegiate direttrici di ricerca. L'idea non è nuova: lo stesso Colonnetti era stato direttore del 'Centro per gli studi sui materiali da costruzione', secondo una convenzione stipulata nel 1938 fra il CNR e il Politecnico di Torino. Durante l'esilio in Svizzera, poi, aveva fondato ben due centri studi, entrambi nel giugno del 1944: con Einaudi, il Centro studi per la ricostruzione italiana, e nel campo di Vevey, il Centro studi per l'edilizia, curato da Favini, Latis, Magistretti, Mazzocchi e soprattutto Rogers spostato, dopo la partenza di Colonnetti, nel campo di studenti polacchi di Winterthur, vicino Zurigo[2].

Ora, con effetto dal 1° luglio 1945 viene istituto, presso il Politecnico di Torino, il "Centro di studio sugli stati di coazione elastica". Non è il primo ma certo il più importante per Colonnetti, che sceglie questo nome sibillino in onore proprio dei suoi studi giovanili: in particolare di quel teorema, formulato nel 1924, di minimo del lavoro in presenza di deformazioni non compatibili, cioè di uno "stato di coazione elastica". Ricordiamo che, per Colonnetti, la definizione della precompressione è proprio "la tecnica degli stati di coazione impressi".

Si nomina direttore del Centro ma poi affida l'incarico di facente funzioni a Levi, appena rientrato in Italia: dovrà compiere ricerche sistematiche nel campo dell'applicazione delle coazioni elastiche alle costruzioni, raccogliere e conservare documentazione scientifica relativa e contribuire alla formazione di personale scientifico. Il finanziamento concesso al Centro è di due tipi: per spese di impianto e di arredo sono messi a disposizione 5 milioni di lire da investire nei primi tre anni, per il funzionamento un contributo annuo di un milione. Con questi fondi può chiamare a collaborare Zorzi, che aveva scelto di rimanere, insieme ad un'altra decina di studenti, all'Ecole des Ingenieurs di Losanna fino a conseguire il titolo di ingegnere nel novembre del 1945[3]. Rientrato e conseguita la laurea anche all'Università di Padova, Levi lo metterà a lavorare sui cementi espansivi, che in Francia erano da tempo oggetto di studi da parte di

Lossier e che sembravano avere grandi potenzialità nella presollecitazione delle strutture (Zorzi 1946).

Il Centro si occupa direttamente anche di promuovere alcune iniziative produttive legate alla precompressione, principalmente alle travi da solaio, che avrebbero potuto avere una applicazione immediata nella ricostruzione edilizia. Pochi giorni prima del 25 aprile 1945, Colonnetti riesce a far derequisire lo stabilimento di Monterotondo della SCAC, che rapidamente ripara l'impianto di pretensione installato prima della guerra – quello da cui Cestelli Guidi aveva preso le sue 7 travi. La SCAC, ottenendo dalla "Allied Commission" la fornitura di cemento Ultracem dalla fornace di Civitavecchia, riprende così la produzione in serie su piste continue di travi a T rovesciata, con precompressione a fili aderenti. Parallelamente il Centro affianca gli studi della ditta Biarmato di Milano, che fabbrica, secondo i brevetti degli ingegneri Noli e Marioni, fondelli in laterizio precompresso in collaborazione con la RDB di Piacenza.

Saranno proprio queste due piccole iniziative a trovare spazio nelle prime esposizioni nazionali del dopoguerra: alla Mostra permanente della Costruzione, che si apre a Milano il 15 luglio 1946, è presente la SCAC con due travi armoniche; alla Fiera campionaria di Milano, che apre il 12 settembre successivo, nel padiglione della RDB di Piacenza sono esposte alcune travi Biarmato. Entrambe le iniziative vengono registrate dalla rivista «Cantieri», fondata da Mazzocchi nel giugno del 1946, sulla falsa riga di un «Bollettino» bilingue pubblicato, a Vevey e poi a Winterthur, durante la vita del Centro studi per l'Edilizia, con 6 numeri da giugno del 1944 a maggio del 1945[4].

È naturalmente il CNR a favorire anche il primo convegno sul cemento armato del dopoguerra, svoltosi a Torino dal 30 settembre al 4 ottobre 1946 (Cavallari-Murat 1947).

Trecento partecipanti, alla presenza del Ministro del Lavori Pubblici, l'ingegnere Giuseppe Romita, si riuniscono per ascoltare le molte comunicazioni sulle ricerche in atto e per assistere a prove di carico, tra cui una a rottura su un solaio Biarmato. Nei tre punti del programma, infatti, spicca al primo posto "La precompressione, teoria e tecnica", argomento lungamente trattato da Levi. Anche Zorzi ha l'occasione di presentare alcuni provini sperimentali realizzati con una piccola fornitura di cemento espansivo, inviatogli dalla Francia ma che evidentemente non era stato ben conservato perché i getti, pur confezionati già da una settimana, si presentavano nel cortile ancora "vivi", contrariamente a tutte le previsioni. Il convegno, comunque, è anche dedicato alle grandi strutture, vecchie e nuove, realizzate con il cemento armato: diviene anzi la prima occasione per Nervi per presentare alcune delle ultime realizzazioni, le prime in ferrocemento, seguito da Guido Oberti, stretto collaboratore di Arturo Danusso, moderatore di sessione, che ribadisce il ruolo chiave della ricerca sperimentale su modelli.

Il 1946 è, dunque, per l'Italia l'anno della ripartenza: mostre, convegni, riviste segnalano l'entusiasmo dei tecnici e degli scienziati, stanchi di lunghi anni di inattività e pronti a riconquistare il tempo perduto. Grazie a Colonnetti e a Levi, il cemento armato precompresso è collocato visibilmente al centro del dibattito nazionale.

Così, durante il 1947, sono fissate le principali "regole" per il suo impiego. Intanto vengono pubblicati i primi manuali, quello di Cestelli Guidi che dà alle stampe le dispense di un corso tenuto nel 1946, e quello di Levi con Giulio Pizzetti, collaboratore del Centro studi, che sarà poi tradotto anche in francese (Cestelli Guidi 1947; Levi e Pizzetti 1947).

Ma soprattutto vengono emanate le prime norme italiane per l'esecuzione e l'impiego delle strutture di cemento armato precompresse: si tratta di 4 brevissimi articoli contenuti nel decreto legge n. 1516 del 20 dicembre 1947, frutto di una lunga trattativa tra il Consiglio superiore dei Lavori Pubblici e l'apposita Commissione nominata in seno al CNR, cui lavoreranno soprattutto Giuseppe Albenga, Danusso e Levi[5].

Il testo di compromesso approvato prescrive che tutti coloro che intendano eseguire strutture precompresse sono tenuti ad un esame preventivo di calcoli e procedimenti costruttivi da parte del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici: quest'ultimo fornirà una copia della documentazione alla Commissione del cemento armato precompresso del CNR. Per le opere speciali, la Commissione può proporre, caso per caso, norme di indagine e modalità di controllo, oltre a prove successive all'ultimazione per verificare il mantenimento nel tempo delle condizioni statiche create dalla precompressione[6]. Lo scopo è chiaro: disporre di un gran numero di cantieri da trasformare in laboratori sperimentali a scala reale, sui quali verificare e mettere a punto le modalità di calcolo ed esecutive. Sebbene tra molte critiche, la normativa così

formulata consente rapidamente alla tecnica del cemento armato precompresso di fare enormi progressi e di divenire subito patrimonio collettivo degli ingegneri.

La ricostruzione: un campo di prova per la precompressione

Tanta fretta nella messa a punto di norme e di modalità di calcolo nasce dal desiderio di applicare il precompresso nell'opera di ricostruzione, che in Italia è soprattutto legata alle strade e ai ponti. Mentre, infatti, l'apparato produttivo non è stato danneggiato in modo drammatico dalla guerra, c'è da ripristinare integralmente la rete viaria: si stima che occorra riparare circa 15000 km di strade e ricostruire 2600 ponti. I guasti peggiori sono avvenuti lungo i due fronti principali di combattimento: la linea Gustav, nei pressi di Cassino, che aveva impegnato gli alleati tra l'ottobre del 1943 e il maggio del 1944 e la linea Gotica, dove si era fermata l'avanzata durante l'inverno del 1944. Sono andati perduti tutti i ponti sul fiume Liri, ma anche quelli sull'Arno, sull'Adige, sul Po: certo, al loro posto sono ben saldi i ponti metallici di Donald C. Bailey, che montati sulla riva e varati a sbalzo su luci superiori ai 70 m, avevano consentito alle truppe di proseguire, con i loro pesanti mezzi, dopo le demolizioni dei tedeschi. Si trattava però di strutture provvisorie, che cominciavano ad avere bisogno di manutenzione e che andavano rapidamente sostituite con nuove opere stabili.

Nella fase iniziale dell'opera di ricostruzione è il ponte ad arco in cemento armato ordinario ad avere il sopravvento. Lo stesso Morandi, che pure sta lavorando ad un nuovo brevetto di precompressione, ricostruisce, tra il 1946 e il 1949, il ponte S. Niccolò a Firenze, fatto saltare nel giugno 1944, con un arco ribassato in cemento armato: Morandi rinuncia polemicamente al tradizionale "tipo Risorgimento" ma cerca una soluzione "a flessibilità confrontabile" per tutto lo sviluppo dell'arco. (Morandi 1949a)

C'è anche una soluzione svizzera che prende corpo, ma non ha niente a che fare con la precompressione: sono i ponti "tipo Maillart" importati in Italia da Giulio Ceradini, che ha trascorso, anche lui in fuga, gli anni fra il 1943 e il 1946 a Zurigo, nel Laboratorio federale di prova dei materiali, sotto la direzione di Mirko Ro?, con il compito di monitorare proprio i ponti realizzati da Robert Maillart.

Al rientro Ceradini lavora a Roma, al Centro studi dei ponti del CNR, diretto da Aristide Giannelli, e coinvolge i giovani ingegneri Arrigo Carè e il figlio di Giannelli, Giorgio, in alcune sperimentazioni sull'arco in cemento armato ad imitazione di soluzioni 'maillartiane': sia la versione a tre cerniere, adottata nella ricostruzione del ponte sul fiume Magra (1949) i cui precedenti archi, costruiti nel 1906 da uno dei primi concessionari Hennebique, Attilio Muggia, erano stati minati e distrutti durante la guerra; sia la versione ad arco sottile ed impalcato irrigidente, scelta per ricostruire, nel 1947, i ponti sul fiume Nera e sul fiume Frigido. L'eleganza dei ponti a "volta sottile irrigidita" rimarrà nell'immaginario degli ingegneri italiani a lungo, tanto che in più occasioni altri ingegneri della scuola napoletana, ma in particolare Adriano Galli e Vincenzo Franciosi, ne proporranno ulteriori versioni.

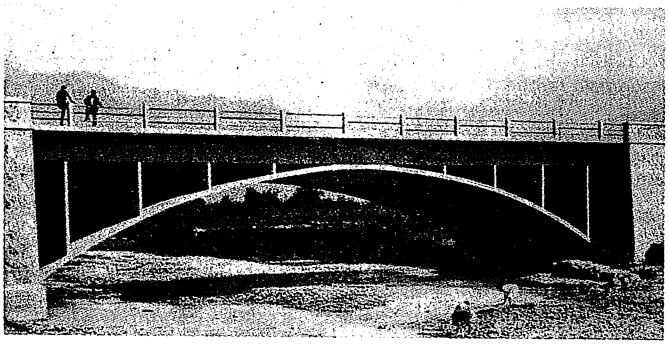


Figura 1
Ponte sul fiume Frigido in località S. Leonardo (Massa). A. Caré, G. Giannelli, 1947 (Ceradini 1951)

Proprio mentre sembra trovare spazio un rinnovamento statico del ponte ad arco in cemento armato ordinario, cominciano le prime applicazioni del cemento armato precompresso, che si rivela, per le altezze contenute delle travi e per le deformazioni limitate, una valida alternativa alle costruzioni in acciaio. Lo schema statico è inizialmente quello più semplice, la trave appoggiata-appoggiata e la tecnica di precompressione è quella a cavi scorrevoli post-tesi, messa in opera però con brevetti diversi, prima stranieri ma poi anche nazionali.

Il primo ponte completato in cemento armato precompresso sostituisce un preesistente ponte metallico sul torrente Samoggia, distrutto dai bombardamenti nel 1944. Collaudata nel marzo del 1950, la nuova travata, di 26 metri di luce è composta da 10

travi, ciascuna costituita da 10 pezzi prefabbricati con sezione a doppio T, e presollecitata con cavi esterni adottando per gli ancoraggi il brevetto Magnel.

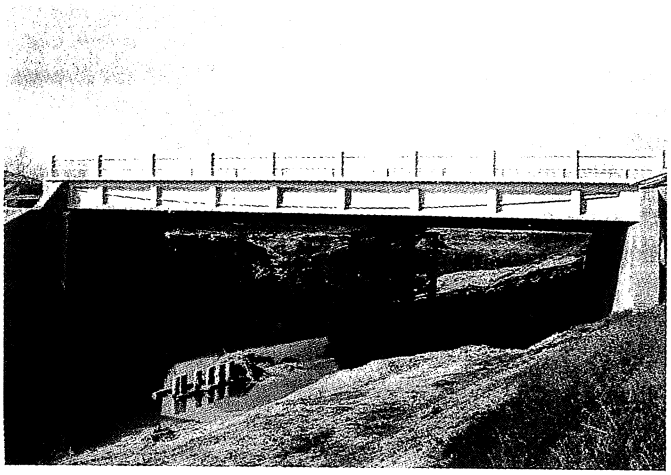


Figura 2
Ponte sul torrente Samoggia della strada provinciale Bologna – S. Giovanni per Verona. G. Rinaldi, 1950 (Rinaldi 1950)

Il progettista, Giuseppe Rinaldi, ingegnere del corpo del Genio Civile, anche grazie a questa esperienza, deposita un suo sistema, il brevetto "R", per tesatura e bloccaggio di strutture precompresse, con cui realizzerà tutte le sue opere successive[8].

Rinaldi è anche il segretario dell'AICAP, Associazione italiana cemento armato precompresso (di cui presidente è Cestelli Guidi), che rappresenta la risposta italiana alla analoga Associazione scientifica francese, istituita nel giugno del 1949, durante le "Journées Internationales de la "Precontrainte" organizzate a Parigi.

Proprio in quelle giornate di convegno erano state molto apprezzate le relazioni di Colonnetti e di Levi, che facevano conoscere alla comunità internazionale il contributo italiano alla nuova tecnica, contributo ancora esclusivamente teorico, basato sulla definizione degli stati di coazione e sull'applicazione del calcolo a rottura per la corretta interpretazione del comportamento di una trave precompressa. Ma già nell'ottobre 1950, alle nuove giornate di studio indette dall'Associazione francese, i partecipanti italiani diventano una cinquantina e a relazionare saranno lo stesso Rinaldi, ancora Levi, e poi Morandi che espone, con alcune proiezioni, quanto ha realizzato insieme alla S.A. Fratelli Giovannetti: alcune coperture industriali[9] ed un ponte, presollecitati con il brevetto Morandi-Jafrate del 1949 (Morandi 1949b).

Il ponte è quello sull'Elsa, a travata unica di 40 metri di luce, con nervature confezionate mediante conci prefabbricati. Poiché il sistema costruttivo consentiva di ritarare i cavi di pretensione, Levi ne aveva approfittato per rendersi conto *in situ* della esatta misura delle cadute di tensione nel tempo dei cavi, sfruttando il decreto del 1947 che consentiva al Ministero di prescrivere prove speciali. Così, sotto il suo controllo e quello di altri tecnici del Centro studi, dopo un primo collaudo nel settembre 1950, a novembre venivano effettuate le operazioni di taratura che consentivano un recupero della caduta di tensione dovute al fluage. Proprio le difficoltose operazioni servivano però a dimostrare che alcune presunte caratteristiche del brevetto Morandi (in particolare quelle relative alla misura delle tensioni) erano invece inefficaci, tanto che il brevetto sarà profondamente modificato dall'autore nel 1952 (Morandi 1952).

Tra i primissimi successi italiani della precompressione, è anche il ponte per il piano inclinato dell'impianto del Mucone (1950), progettato da Zorzi che, lasciato il Centro studi, lavora ora nello studio dell'ingegner Vecelio. La trave inclinata, di 38 m reali di lunghezza libera, sfrutta il brevetto di precompressione di Eugene Freyssinet (Zorzi 1951).

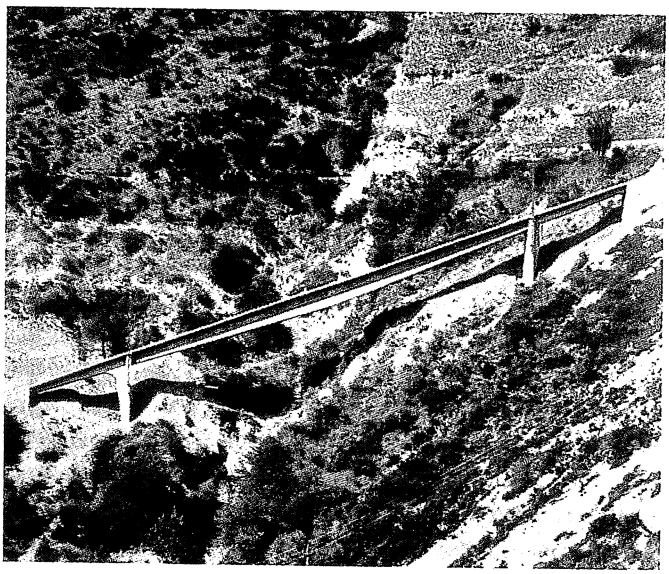


Figura 3
Ponte per il piano inclinato dell'impianto del Mucone (Cosenza). S. Zorzi, 1950 (Zorzi 1951)

Zorzi, a differenza dei suoi colleghi, non brevet-

terà un suo sistema di tesatura e ancoraggio dei cavi, scegliendo invece di volta in volta il più adatto alle caratteristiche sempre diverse delle sue strutture. (Solo per il Canale di Pontecorvo, del 1959, brevetterà un sistema di rivestimento con lastre flessibili precompresse, applicato però in esclusiva nella singolare soluzione di quell'opera, poi esposta alla famosa mostra di New York.)

Anche Favini, proprio nel 1951, deposita un suo brevetto di precompressione che utilizzerà in seguito per le sue opere, progettate insieme a Mangiarotti e a Carlo Rusconi Clerici, compagni di vita nell'esilio svizzero (Barazzetta 2004). Le verifiche sull'attrezzatura brevettata saranno condotte al Centro studi di Torino da Cesare Castiglia (Castiglia 1954).

Naturalmente l'applicazione del cemento armato precompresso non si limita ai ponti ma coinvolge altre grandi strutture civili. Per saggiarne il dirompente sviluppo bastano i numeri diffusi dal Consiglio superiore dei Lavori Pubblici, che dovendo autorizzare ogni singola realizzazione dispone dei dati certi delle opere avviate anno per anno: 26 fino a tutto il 1951, poi 30 nel 1952, 60 nel 1955, 98 nel 1958, 128 nel 1960, con un totale, alla fine del 1961, di 700 opere ultimate o in corso di esecuzione.

Il piano Romita

Terminata la fase di ricostruzione, a contribuire in modo decisivo all'affermazione del precompresso, e più in generale dell'ingegneria strutturale italiana, è il più grande programma pubblico di costruzione del dopoguerra: il piano Romita, che finanzia la creazione di una rete autostradale capace di collegare l'intera penisola.

Approvato nel 1955, di durata decennale, il piano Romita si avvia in parallelo con il secondo settennio del piano Fanfani, che sta distribuendo in Italia centinaia di quartieri INA Casa: così come quello consente di occupare manodopera non specializzata e a tutti gli architetti di lavorare sul tema dell'abitazione, questo coinvolge una intera generazione di ingegneri chiamati a collaborare con centinaia di grandi imprese.

Il programma parte dalla pionieristica rete autostradale preesistente la guerra, quella progettata dall'ingegnere Piero Puricelli (anche lui in esilio in Svizzera nel 1943), che primo in Europa aveva costruito una strada esclusiva per le automobili, la Milano-Laghi, poi affiancata da altre brevi tratte.

L'obiettivo iniziale del piano Romita è l'Autostrada del Sole, che collegherà Milano a Bologna, Firenze, Roma, Napoli. Il progetto è già stato elaborato, dal 1953 al 1955, da Aimone Jelmoni, per conto della SISI, una "società di studio" di cui facevano parte l'ENI, la Fiat, l'Italcementi e la Pirelli: si tratta ancora di un tracciato di larga massima, disegnato a scala 1:25000 sulla carta e non verificato sul terreno. Romita però si batte affinché la realizzazione sia affidata allo Stato e così la SISI regala il progetto all'IRI: dopo l'approvazione della legge, l'IRI costituisce la Società Concessioni Costruzioni Autostrade, che a sua volta incarica l'Italstrade, azienda dello stesso gruppo, di elaborare il progetto definitivo, ancora sotto il coordinamento di Jelmoni. Il 19 maggio 1956, con un "atto di fede" come ricorda Fedele Cova, che di Autostrade sarà l'Amministratore delegato e il Direttore tecnico, si pone la prima pietra a S. Donato Milanese. Il 4 ottobre 1964 l'Autostrada viene inaugurata: otto anni di lavoro per realizzare più di 755 km di strada, e soprattutto 400 ponti e viadotti, indispensabili per regolarizzare il percorso e garantire gli ampi raggi di curvatura. Visto il coinvolgimento nell'operazione della famiglia Pesenti, i ponti saranno prevalentemente in cemento armato: ordinario, se configurati ad arco; precompresso, se sagomati a travata, la cui luce massima sfiora i 100 m.

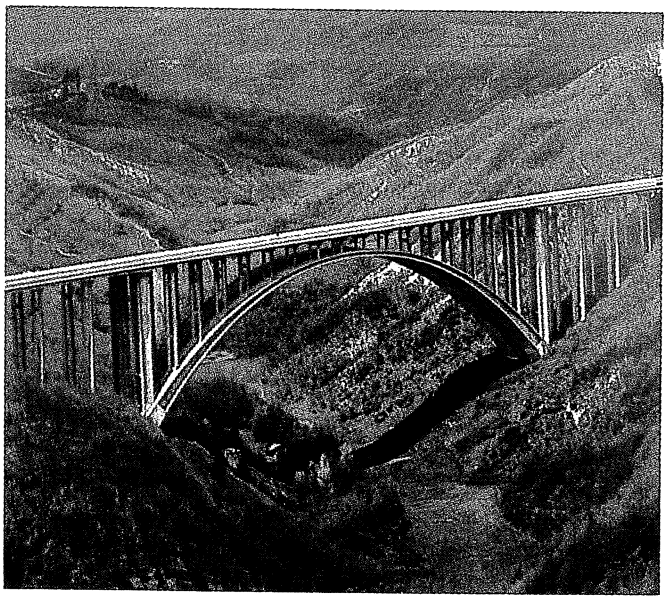


Figura 4
Viadotto sul torrente Aglio per l'Autostrada del Sole. G. Oberti, B. Gentilini, A. Romagnoli, 1959 (Oberti, Gentilini, Romagnoli 1959)

Proprio "gli increduli ed i restii alle novità del precompresso" favoriscono uno sviluppo sorprendente dei ponti ad arco, ben oltre quella luce limite: Guido Oberti, per esempio, che progetta gli archi gemelli di 164 metri di luce del viadotto sull'Aglio (1959), la cui costruzione è resa economica dalla traslazione della centina - una incastellatura tubolare di tipo Dalmine Innocenti – da un arco al gemello (operazione così spettacolare da giustificare il montaggio di un documentario, che vince diversi concorsi di cinematografia); Giulio Krall, che con la stessa "primadonna", la centina Innocenti, realizza i ponti sul Gambellato (124 m di luce) e sul Merizzano, a due arcate, collaudati nel 1960; Arrigo Carè e Giorgio Giannelli che, invece, adottano la centina brevetto "Cruciani", tutta in legno ma altrettanto spostabile, per gli archi gemelli incastrati del ponte sul Fosso della Valle, per l'arco a tre cerniere tipo Maillart del ponte sul Borro Caprenne e per i viadotti Poggettone e Pecora Vecchia, esposti alla mostra di New York proprio vicino all'arco-portale di 100 m di luce del viadotto di San Giuliano, progettato da Cestelli Guidi.

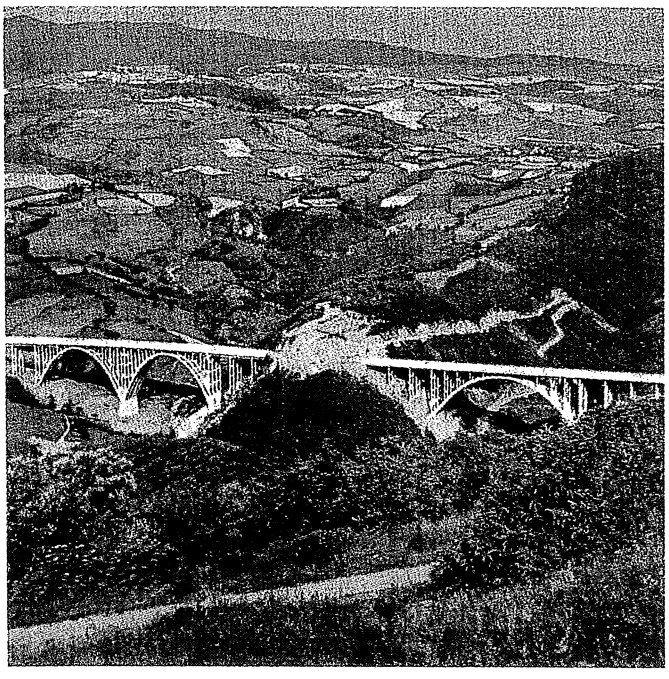


Figura 5
Viadotti sui torrenti Merizzano e Gambellato per l'Autostrada del Sole. G. Krall, 1960 (Krall 1961)

Anche il ponte sull'Arno a Levane, dedicato al "padre" dell'Autostrada del Sole, Giuseppe Romita, è un grande arco poligonale di cemento armato ordinario, sebbene sia a progettarlo sia Zorzi, certo non scettico delle potenzialità del precompresso: tanto che il sistema diventa subito misto, con le travate dell'impalcato presollecitate. Realizza anche un altro ponte, sempre sull'Arno, vicino ad Incisa, e questa volta si tratta di due archi portali gemelli, di 104 m di luce, precompressi con il brevetto svizzero BBRV[10]: con Zorzi collabora qui Giorgio Macchi, un altro allievo di Levi al Centro studi (Macchi 1954).

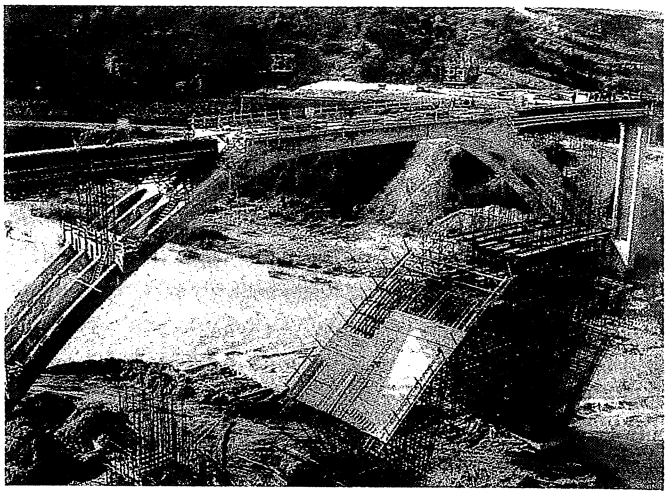


Figura 6
Ponte sul fiume Arno presso Incisa per l'Autostrada del Sole, in costruzione. S. Zorzi, G. Macchi, 1963 (D'Antona e De Sanctis, 1965)

Le strutture precompresse si rivelano sempre più adatte quando i terreni di fondazione non sono abbastanza consistenti: oltre che per la leggerezza delle opere, anche perché si possono utilizzare schemi isostatici meno sensibili ai cedimenti vincolari differenziati.

È precompresso il ponte più importante ma più delicato, quello che supera il Po, progettato da Zorzi e aperto al traffico il 15 giugno 1959, con 16 travate semplicemente appoggiate, di 75 m di luce ciascuna, con ancoraggi terminali sempre tipo BBRV, gettate su centine di tubi metallici aperte a ventaglio. Progettati da Giacinto Turazza, con il suo brevetto che prevede l'adozione di acciaio Neptun, sono i primi ponti in Europa a travi precompresse a fili aderenti di grande luce (32 m), i quattro viadotti di Ripoli nel tratto transappenninico. Morandi progetta diverse opere su questa autostrada, il ponte sul Sambro, per esempio, e quello sul Tevere presso Attigliano, ma il suo bre-

vetto è presente anche in progetti di altri, come nei viadotti Torraccia e Ragnaia, per la precompressione dei quali ci si avvale della consulenza del Ce.S.A.P., fondato a questo scopo da Morandi nel 1954.

Per i collaudi più impegnativi è sempre Levi ad essere chiamato in causa, almeno fino al 1961 quando il Centro di studio sugli stati di coazione elastica perderà il ruolo di consulente ufficiale del Ministero dei Lavori Pubblici per l'esame dei progetti. Levi stesso progetta, insieme a Castiglia, il viadotto Settefonti presso Citerna, sfruttando il cantiere per la messa a punto di una sofisticata tempistica di tesatura dei cavi, combinata con appoggi resi provvisoriamente scorrevoli.

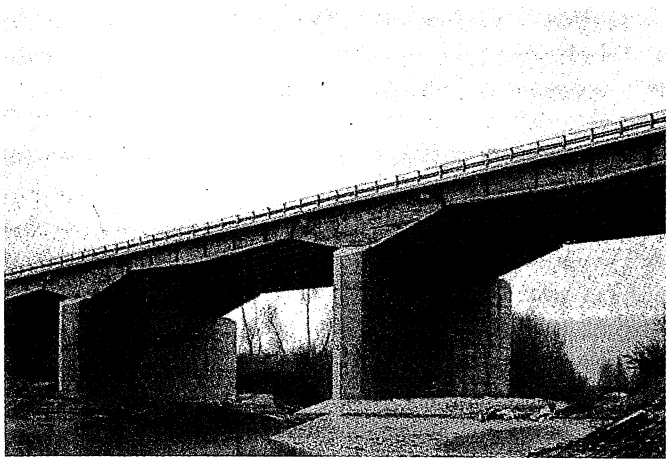


Figura 7
Ponte sul fiume Tevere presso Attigliano per l'Autostrada del Sole. R. Morandi, 1964 (D'Antona e De Sanctis, 1965)

Il giorno dell'inaugurazione dell'Autostrada del Sole, l'eco dell'impresa costruttiva raggiunge ogni angolo del mondo.

È l'apice del successo dell'ingegneria italiana: le opere per le Olimpiadi romane del 1960 di Nervi sono state pubblicate su tutte le riviste internazionali, così come gli impianti per le celebrazioni del centenario dell'unità nazionale, Torino '61; un italiano, Morandi, ha costruito il ponte più lungo del mondo, sulla laguna di Maracaibo.

Le nuove tratte autostradali già avviate, prima fra tutte la Salerno – Reggio Calabria, riservano ancora molte occasioni progettuali che saranno risolte con soluzioni innovative sia dal punto di vista statico che costruttivo.

Durerà poco, ma è un successo meritato: è il frutto di una scuola di maestri che combinavano il rigore dei matematici con l'operatività degli sperimentatori e che, soprattutto, interagivano sul campo con gli allievi, capaci, a loro volta, di far convivere ricerca scientifica, lavoro progettuale e coraggio costruttivo.

Note

1. Preziose pubblicazioni, dalla copertina grigia, con l'intestazione "Campo universitario italiano – Università di Losanna", che a guerra finita Colonnetti si farà mandare in copia per diffonderle tra gli studenti italiani.
2. Con l'intestazione del Centro studi verranno pubblicate anche alcune ricerche, come quella di Favini sulle volte sottili (Barazzetta 2004).
3. Gli esami gli verranno riconosciuti *de jure* da parte delle autorità italiane, per mezzo di una tabella di equivalenza preparata proprio da Colonnetti.
4. Un articolo redazionale dedicato alla Mostra permanente della Costruzione viene pubblicato, nel 1946, sul fascicolo 2 della rivista (pp. 31-32) mentre uno analogo per la Fiera di Milano, sul fascicolo 3 (pp. 33-34).
5. I documenti relativi all'attività della Commissione sono conservati in: Archivio Centrale dello Stato, fondo CNR, b. 232, fasc. 3.
6. Le norme del 1947 saranno seguite dalle circolari del Ministero dei Lavori Pubblici n. 1571 del 18 luglio 1949, n. 2000 del 18 agosto 1952, n. 2445 del 28 novembre 1953, n. 2323 del 2 agosto 1955.
7. Ponti a volta sottile irrigidita progettati, da Galli e Franciosi, sono il ponte sul Corace (1955) per la strada Gimigliano-Tiriolo in provincia di Catanzaro e il ponte sul Vernotico (1956) per la strada Gragnano-Lettere. Successivamente saranno realizzati il ponte di S. Liberatore e il ponte di Rotolo (entrambi del 1957) per l'autostrada Pompei –Salerno, quest'ultimo progettato da Benini, Mansutti e Ernesto Schmidt.
8. Proprio in occasione della presentazione alla stampa di questo brevetto, Rinaldi avvia una piccola polemica con Morandi, che nel 1949 ha a sua volta chiesto il brevetto per il suo nuovo sistema, a martinetti e cunei metallici di ancoraggio.
9. Si tratta di un capannone sperimentale in via Aldo Manuzio di luce pari a 20 m, l'Officina Tosini a Monte Mario di 12,75 m di luce, una copertura alla Mostra Campionaria di piazzale Clodio del 1950, con telai di 30 m di luce.
10. La società BBR, fondata nel 1944, raccoglie gli ingegneri M. Birkenmaier, A. Brandestini e Mirko Robin Ro?, probabilmente figlio di Mirko Ro?, ordinario all'ETH e direttore del Laboratorio Federale. Dopo una prima sperimentazioni sui travetti laterizi precompressi, i tre avviano una collaborazione con un produttore di acciaio da precompressione, K. Vogt, e brevettano il sistema di tesatura e bloccaggio BBRV, aggiungendo la V del nuovo arrivato alla sigla della società.

Bibliografia

Barazzetta, Giulio. 2004. *Aldo Favini architettura e ingegneria in opera*. Milano: CLUP.

Broggini, Renata. 1993. *Terra d'asilo. I rifugiati italiani in Svizzera 1943-1945*. Bologna: Il Mulino.

Castiglia, Cesare. 1954. Su un nuovo tipo di attrezzature per strutture precompresse. *Giornale del Genio Civile* 1: 29-33.

Cavallari-Murat, Augusto. 1947. Convegno di studi ed esperienze sulle costruzioni in cemento armato – Torino 1-4 ottobre 1946. *L'Industria italiana del Cemento* 1: 11-12.

Ceradini, Giulio. 1951. Esperienze su recenti ponti italiani di cemento armato. *Giornale del Genio civile* 9: 571-580.

Cestelli Guidi, Carlo. 1947. *Il conglomerato precompresso. Teoria - esperienze - applicazioni*. Roma.

Colonnetti, Gustavo. 1944. *Parole pronunciate in occasione della inaugurazione dell'anno scolastico 1944-45. Vevey 2 novembre 1944*. Losanna: Campo Universitario Italiano.

Colonnetti, Gustavo. 1973. *Pensieri e fatti dall'esilio (18 settembre 1943 – 7 dicembre 1944)*. Roma: Accademia nazionale dei Lincei.

D'Antona, B. e M. De Santis. 1965. Ponti e viadotti dell'Autostrada del Sole nel tronco Roma-Firenze. *L'Industria italiana del cemento* 1: 3-56.

Franciosi, Vincenzo. 1958. I ponti a volta sottile irrigidita nell'Italia meridionale. *Le strade* 3: 99-106.

Iori, Tullia. 2001. *Il cemento armato in Italia dalle origini alla seconda guerra mondiale*. Roma: Edilstampa.

Iori, Tullia. 2003. *Prestressed concrete: First developments in Italy*. In *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, a cura di S. Huerta, Vol. 2, 1167-1176. Madrid: Instituto Juan de Herrera.

Krall, Giulio. 1961. Le grandi opere d'arte sul lotto XIII del tronco Bologna-Firenze. *Autostrade* 4:19-26.

Levi, Franco e Giulio Pizzetti. 1947. *Nuovi orientamenti di scienza delle costruzioni*. Milano: Studio editoriale Vivi.

Macchi, Giorgio. 1954. Considerazioni teoriche e sperimentali sulla pretensione nelle strutture a cavi scorrevoli. *Giornale del Genio Civile* 9: 619-637.

Morandi, Riccardo. 1944. *Procedimento e dispositivo per la realizzazione di travi di cemento armato precompresso*. Brevetto italiano n. 411311.

Morandi, Riccardo. 1949a. Il nuovo ponte di S. Niccolò in Firenze. *Giornale del Genio Civile* 12: 628-630.

Morandi, Riccardo. 1949b. *Procedimento e dispositivo per la uniforme tesatura ed il bloccaggio dei fili di acciaio costituenti armatura di strutture di cemento armato precompresso*. Brevetto italiano n. 454285.

Morandi, Riccardo. 1952. *Procedimento e dispositivo per la uniforme tesatura ed il bloccaggio dei fili di acciaio costituenti armatura di strutture di cemento armato precompresso, nonché per la misurazione diretta della tesatura di cui sopra*. Brevetto italiano n. 494187.

Oberti, Guido; B. Gentilini e A. Romagnoli. 1959. Il viadotto sul torrente Aglio. *Autostrade* 11: 9-13.

Poretti, Sergio. 1997. La costruzione. In *Storia dell'architettura italiana. Il secondo Novecento*, a cura di F. Dal Co, 268-293. Milano: Electa.

Rinaldi, Giuseppe. 1950. Ricostruzione del ponte del Samoggia in cemento armato precompresso. *Giornale del Genio Civile* 4: 210-212.

Rinaldi, Giuseppe. 1953. *Il cemento armato precompresso*. Genova: Vitali e Ghianda.

Zorzi, Silvano. 1946. Il cemento espansivo. *Il cemento* 9-10: 131-132.

Zorzi, Silvano. 1951. Ponte in cemento armato precompresso sul piano inclinato dell'impianto del Mucone. *Giornale del Genio Civile* 4: 297-301.