

ROBERTO GORI *

THE EARLIER HENNEBIQUE R/C BRIDGES BUILT IN ITALY

* Dipartimento di Costruzioni e Trasporti, Università degli Studi di Padova
Via Marzolo, 9 35131 Padova Italy roberto.gori@unipd.it

Abstract

Hennebique system was largely spread in Europe for reinforced concrete constructions such as frames, beams and slabs, silos, bridges and footbridges, starting from 1892.

In Italy the system was adopted by Ing. Porcheddu Society, of Torino, which held the agency for Italy of Hennebique copyright, starting from 1896.

The structural typologies for r/c bridges were mainly girder bridges and arch bridges.

Many are the bridges built in Italy. From the others must be remembered the Carlo Emanuele I bridge, over Dora river in Torino (1902), the bridge over Bormida river near Millesimo (Savona) (1902), the bridge over Astico near Calvene (Vicenza) (1907) and Risorgimento bridge over Tevere river in Rome (1911) with a span of 100 m.

It must be underlined the high degree of innovation introduced by the system and its applications in the technology of reinforced concrete constructions as well as in the analysis and design of such structures.

Introduzione

La seconda metà dell'Ottocento, come è noto, fu un periodo storico eccezionalmente intenso dal punto di vista politico e particolarmente tormentato dal punto di vista economico. Con il crollo della Borsa Valori di Vienna, nel 1873, ebbe inizio un periodo di crisi politica e di depressione economica che si sarebbe esteso a tutto il mondo industrializzato e si sarebbe prolungato per più di venti anni. Questa crisi ebbe effetti gravissimi anche nell'economia italiana.

L'industria dell'edilizia in Italia, tuttavia, stava conoscendo in quel periodo una vera e propria espansione e solo a partire dal 1890 cominciò anch'essa a risentire della crisi. L'attività edilizia fu praticamente paralizzata per più di dieci anni. Contemporaneamente si manifestò una grande crisi politica, segnata da profondi sconvolgimenti sociali e culminata con la sconfitta di Adua, la conseguente caduta del governo Crispi (1896) e la rivolta milanese del 1898, soffocata dalle truppe del generale Bava Beccaris.

Con le riforme del governo Giolitti (1903) fu stimolato un grande sviluppo industriale. Fu un periodo di profonde trasformazioni economiche e dello stesso modo di vivere quotidiano della popolazione, grazie allo sviluppo e alla diffusione di importanti invenzioni tecnologiche come il motore a scoppio e il motore elettrico, il trasporto a distanza dell'energia

elettrica, la telegrafia, l'automobile. E' in questo contesto che si inseriscono i primi tentativi di utilizzare, in Italia, il calcestruzzo armato.

Nei paesi più industrializzati, in Europa e in America, la nuova tecnica costruttiva era già in una fase avanzata di sviluppo. Essa aveva trovato dapprima applicazioni in via sperimentale e ben presto impieghi su larga scala, in problemi strutturali sempre più complessi.

Nel volgere di pochi anni, si passò dalle prime sperimentazioni - l'imbarcazione di Lambot (del 1849) e i grandi contenitori per fiori di Monier armati con rete metallica (del 1867) - ai primi brevetti per ponti. Decisamente importante, per gli sviluppi che ebbe negli anni immediatamente successivi, è il brevetto di Monier, seguito da altri suoi brevetti per scale, travi e coperture. Secondo Foester (Foester 1908) esso risale al 1873, mentre altri autori (Simonnet 1992, Fougerolle 1949) lo fanno risalire a pochi anni dopo, al 1877. Ben presto, nonostante lo scarso interesse incontrato nell'ambiente, Monier riuscì a cedere questi brevetti ad alcune imprese in Europa: la Picha & Frères in Belgio e in Olanda, la Schüster in Austria e la Martenstein & Josseaux in Germania. A questa società si associò poi l'imprenditore C. Freytag (1884). E' di quegli anni l'incontro dell'ingegnere tedesco G.A.Wayss con Monier. Nel 1887, per iniziativa di Wayss, venne costituita la società per azioni *Aktien Gesellschaft für Beton und Monierbau*, che si proponeva di utilizzare il sistema Monier e che realizzò numerosi ponti in Germania. Nel 1893 le due società tedesche concorrenti trovarono un accordo e si costituì l'impresa Wayss & Freytag, anche per fronteggiare l'ascesa di François Hennebique, che aveva depositato il suo brevetto proprio un anno prima.

L'Impresa Hennebique

Nato il 25 aprile 1842 a Neuville Saint Vaast, in Francia, da una famiglia di agricoltori, nel 1860 François Hennebique decise di cercare lavoro nella vicina città di Arras, dove iniziò una carriera folgorante: partito dal gradino più basso di scalpellino, già dopo cinque anni dirigeva un cantiere, quello per la ricostruzione della chiesa di Saint Martin De Coutrai, danneggiata da un incendio. Nel 1867, a soli 25 anni, fondò una propria impresa di costruzioni a Courtrai e successivamente un'altra a Bruxelles. In quegli anni diresse il restauro di chiese gotiche nel Nord della Francia, e in questa attività sviluppò una grande abilità nella progettazione di carpenterie in legno, basata prevalentemente su considerazioni statiche intuitive. A testimonianza di questo non si può non ricordare il progetto per una torre in legno dell'altezza di ben 300 m, da realizzarsi per l'Esposizione di Bruxelles del 1888 (Collins 1965).

Ma fu il calcestruzzo armato il materiale strutturale che condizionò in modo determinante la sua vita di progettista e di imprenditore. Hennebique sperimentò per la prima volta questo materiale innovativo nel 1879, in una villa a Lombarzeide presso Wenstende per il Sig. Madoux, con l'idea di realizzare strutture incombustibili, con travi in calcestruzzo armate con barre di ferro a sezione circolare (Collins 1965). Per lo stesso cliente realizzò l'anno successivo un edificio in cui introdusse per la prima volta elementi metallici di staffatura nelle travi (Nelva, Signorelli 1989). Quest'idea fu successivamente rielaborata in varie forme e caratterizzò i suoi brevetti successivi. E' proprio merito di Hennebique avere ideato l'armatura con staffe e intuito una razionale disposizione delle armature.

Seguirono numerosi altri interventi, e dopo aver messo a punto svariate soluzioni per le armature, le staffe, le casseforme, le modalità di getto e di disarmo, nel 1892 Hennebique depositò un suo brevetto per costruzioni in calcestruzzo armato, e fondò una organizzazione specializzata nella progettazione e nella realizzazione di strutture in calcestruzzo armato, una impresa che ebbe uno sviluppo frenetico e rapidamente divenne molto diffusa in tutto il mondo (Fig.1).

Nel 1898 venne fondata da Hennebique la rivista *Le Béton Armé*, organo ufficiale della sua società. Essa costituiva un potente strumento di propaganda che permetteva di diffondere informazioni tecniche, corrispondenze, consigli circa l'uso del calcestruzzo armato secondo il brevetto omonimo, e anche di coordinare l'estesa organizzazione, assicurandone la coesione (Nelva, Signorelli 1989). Allo scopo di promuovere l'impiego del calcestruzzo armato secondo il "béton armé Système Hennebique" nei più svariati campi delle costruzioni civili o industriali, venivano frequentemente pubblicate su questa rivista, specializzata nel sistema Hennebique, notizie e fotografie di insuccessi e crolli di strutture eseguite con materiali e tecniche tradizionali, e spesso anche di quelle realizzate in calcestruzzo armato ma con i brevetti delle società concorrenti.

Come si è detto, l'organizzazione Hennebique era formata da una catena di agenti e concessionari. Gli agenti dirigevano le succursali dell'impresa, svolgevano attività promozionali ed erano incaricati di preparare e concludere contratti, per conto di Hennebique, nelle loro zone di competenza. A loro spettava una percentuale sugli affari dai concessionari. Questi avevano la concessione di usare i brevetti Hennebique, calcolavano e realizzavano le costruzioni sotto la propria responsabilità.

Nel 1908 operavano già 42 agenzie, nei vari paesi dell'Europa, nel Nord Africa, nelle Americhe, in Indocina e in Cina. L'organizzazione Hennebique portò a compimento nell'arco del primo decennio (1892-1902) più di 7000 progetti, stabilendo il record mondiale di realizzazioni in c.a. (Guidi 1903). Nel 1909 il numero totale dei lavori arrivava a oltre 20800, di cui 1300 ponti.

Molti imprenditori si ispirarono ai brevetti di Hennebique. Da qui presero le mosse una serie di esperienze giudiziarie che coinvolsero l'organizzazione con esiti contrastanti. Nel 1900 Cottancin, altro celebre pioniere delle costruzioni in calcestruzzo armato, fu citato in giudizio da Hennebique per violazione del diritto di brevetto (Collins 1965, Nelva, Signorelli 1989).

Tuttavia, nel 1903, i tribunali francesi non riconobbero l'originalità del sistema, considerandolo troppo simile al brevetto Monier (fig.2), e successivamente, in occasione dell'emanazione dei Regolamenti ufficiali francesi per il calcolo e le verifiche di sicurezza delle strutture in c.a., nel 1906, venne invalidato il suo diritto di monopolio. Nonostante questo, l'organizzazione Hennebique continuò la propria attività, anche se non più in regime di monopolio, realizzando opere molto importanti, anche per quanto riguarda l'introduzione di soluzioni strutturali innovative e i metodi di dimensionamento e di analisi, come il Ponte Risorgimento a Roma, record mondiale di lunghezza nel 1911.

Le formule per le calcolazioni di progetto e di verifica che venivano proposte erano dettate più da esigenze economiche che da giustificazioni teoriche rigorose (Gori 1999a). Va ricordato a questo proposito che l'atteggiamento di Hennebique nei riguardi del mondo della scienza era di sospetto e di scetticismo pragmatico, come se temesse di vedere minacciato il suo monopolio.

Le prime realizzazioni di Hennebique

Fra le costruzioni più significative di Hennebique, nel primo periodo di attività, vanno senz'altro segnalate le seguenti:

- *Il Ponte ferroviario a Viggen* (Fig.3), in calcestruzzo armato, realizzato nel 1894, è la prima opera infrastrutturale realizzata da Hennebique ed ha una luce di 2.4 m

- *La Filanda a Tourcoing* presso Lilla, realizzata nel 1895, concepita per essere costruita in calcestruzzo armato in tutti i suoi elementi strutturali.

- *La Passerella pedonale a Yverdon* (luce 13 m, larghezza 2 m). Questa passerella, realizzata nel 1896, così come il ponte sul torrente Flor nei pressi di Losanna (Svizzera) del 1897, con una luce di 15 m, e il ponte di Viggen, già citato, sono ponti a travata con luce modesta e soletta di impalcato di 10-20 cm di spessore.

- *Il Ponte ad arco multiplo di Tarbes* (Alti Pirenei), realizzato nel 1898, è composto da tre luci di circa 13 m ciascuna, con rapporto freccia/luce di 1/10.

- *Il Ponte ad archi multipli di Châtellerault* (Francia), realizzato nel 1898, è composto da tre arcate rispettivamente di 40 m, 50 m e 40 m di luce. Le volte nervate, su cui si appoggia l'impalcato (larghezza 8 m e spessore 15 cm) hanno una larghezza di 6 m. Ogni volta è costituita da una soletta di spessore variabile rinforzata da quattro nervature. La armature degli archi alla base si prolungano nelle pile e nelle spalle per garantire la continuità strutturale.

Le tipologie strutturali dei ponti Hennebique

Nella produzione di Hennebique, il Guidi, il Christophe e il Merciot riconoscono principalmente due tipologie strutturali per i ponti in calcestruzzo armato: quella a travata e quella ad arco.

In particolare, per quanto riguarda i ponti ad arco che l'impresa Hennebique realizzò in Italia, i tipi più ricorrenti sono tre: a) a soletta piana rinforzata da nervature con estradosso arcuato e con timpani pieni sino al piano della soletta; b) a volta semplice, o rinforzata da nervature, ma distinta dal piano stradale, che veniva collegato ad essa con una serie di pilastri; c) a sezione cellulare.

Questa ultima tipologia strutturale, nata dall'accoppiamento del ponte tipo Tarbes (a timpani arcuati ma liberi inferiormente) con il ponte Châtellerault con la volta armata, troverà la sua massima espressione nel ponte Risorgimento a Roma.

Secondo il Cavallari Murat (Cavallari Murat 1950) l'idea del ponte cellulare trovò il suo compimento oltre che prendendo spunto dall'accoppiamento dei ponti citati, anche grazie all'osservazione di alcune passerelle pedonali a schiena d'asino costruite a Venezia. Queste erano ottenute fondendo la volta con i timpani-costole e collegando questi con traversi oppure con una seconda volta portante gli scalini e il piano pedonale.

L'attività di Hennebique in Italia e la Società Porcheddu

Le prime notizie sul Sistema Hennebique in Italia si hanno nel giugno 1894, quando gli ingegneri Ferrero e Porcheddu, titolari dell'omonimo Studio Tecnico in Torino, pubblicizzano in un loro stampato di essere titolari della rappresentanza dei "solai incombustibili Hennebique".

Ma è solo nell'anno successivo che si ritrovano tracce di lavori sviluppati dal "Concessionario Giovanni Antonio Porcheddu", ed è nel 1896 che nei documenti compare per la prima volta l'intestazione "ing. G.A. Porcheddu studio tecnico Hennebique ed Agenzia Generale per l'Alta Italia - Piemonte, Liguria, Lombardia, Veneto" (Nelva, Signorelli 1989).

L'ing. Porcheddu operò fino al 1933 e realizzò diverse opere in calcestruzzo armato in Italia come i silos granari (1899-1901) e il mercato orientale di Genova (1899), ma è nelle opere d'arte quali ponti, passerelle, viadotti, che dette luogo a costruzioni di particolare pregio.

L'impiego di queste nuove tipologie strutturali per realizzare passerelle e ponti in calcestruzzo armato fu accolto con entusiasmo dalle società ferroviarie, per le loro caratteristiche di economicità e per le ridotte spese di manutenzione.

Attraverso Porcheddu, il calcestruzzo armato entrò come oggetto di studio nelle Università ed in particolare nel Politecnico di Torino.

In un primo momento, come era avvenuto all'estero nei primi anni di applicazione del calcestruzzo armato (Albenga 1945), il mondo accademico guardò a questo nuovo materiale con sospetto. Camillo Guidi, all'epoca professore a Torino, in una conferenza tenuta a Roma nel maggio del 1903, ammise la sua "ritrosia" nei confronti del calcestruzzo armato.

Le principali realizzazioni in Italia

Dati gli stretti rapporti che intercorsero tra la G.A. Porcheddu e lo studio parigino Hennebique, è facile riconoscere, per le prime realizzazioni, una produzione di opere aventi prevalentemente caratteristiche tipologiche simili.

Nel seguito sono riportate notizie sulle opere più significative, che possono essere decisamente utili, per le loro caratteristiche costruttive, per la comprensione dell'evoluzione tipologica dei ponti Hennebique in Italia. Si è preferito elencare i ponti secondo un ordine cronologico, in base alla data di ultimazione dei manufatti stessi.

- Il Ponte Carlo Emanuele I, detto del Colombaro, sulla Dora, a Torino (1902).

Il ponte, costruito in corrispondenza di corso Novara e di Corso Tortona, è il primo ponte realizzato in Italia con il metodo Hennebique. Progettista dell'opera fu lo stesso Hennebique e la società Porcheddu curò la realizzazione dell'opera. La struttura è composta da due arcate di 20.15 m con freccia di 2 m. Le arcate sono costituite da otto setti paralleli, ad intradosso arcuato, con altezza massima in chiave di 40 cm; sopra i setti è impostata la soletta piana d'impalcato, irrigidita da nervature trasversali.

- Il Ponte sulla Bormida presso Millesimo (Savona), del 1902.

È un ponte con una unica arcata di 51 m ed è ribassato a 1/10 (Fig.4). Fu costruito in sostituzione di un ponte in muratura del 1894 che fu reso inagibile in seguito ad una grande piena, nel 1900. Per il nuovo ponte si utilizzarono le vecchie spalle in muratura, opportunamente rinforzate.

L'arcata, a volta continua, è nervata da quattro arconi paralleli di 0.50 m di larghezza, distanti 1.50 m uno dall'altro. Lo spessore della soletta che unisce gli arconi è di 25 cm in corrispondenza della chiave dell'arcata e aumenta di 10 cm all'imposta.

Sopra i quattro arconi poggiano quattro file di pilastri che sorreggono l'impalcato. I pilastri hanno una sezione trasversale di 0.25 m x 0.30 m e sono posti ad un interasse di 2.45 m. Si può notare che la disposizione dell'armatura utilizzata per l'impalcato è distribuita come nel solaio Hennebique, con barre dritte e barre piegate rialzate verso le estremità (Fig.5). Le barre inferiori e quelle superiori sono collegate tra loro mediante le staffe.

Anche l'armatura nei pilastri è distribuita come negli usuali pilastri realizzati con tale sistema; i ferri longitudinali che si collegano con l'armatura dell'arcone sottostante sono uniti tra loro mediante elementi metallici orizzontali posti a intervalli regolari.

Il collaudo fu effettuato dopo 50 giorni dal disarmo sotto un carico di 1500 Kg/mq. L'abbassamento riscontrato fu di circa 1/4600 della corda, contro l'abbassamento massimo in chiave prescritto dal capitolato (1/1000).

- *Il Cavalcaferrovia Borgomagno, a Padova (1903).*

L'opera, realizzata in prossimità della stazione ferroviaria, doveva attraversare numerosi binari. Fu costruito in meno di quattro mesi utilizzando la tipologia dei ponti a travata. L'opera si compone di tre campate oblique, di cui le due maggiori hanno una luce di 18.35 m.

- *Il Ponte sull'Astico presso Calvene (Vicenza), del 1907.*

Il ponte - progettisti G.A. Porcheddu e Ing. A. Danusso, impresa costruttrice Soc. G.A. Porcheddu - riesce a superare una luce di 34.50 m con una unica arcata e con una freccia di soli 2 m. Fino a quella data non si era mai realizzato un ponte ad arco così ribassato (Fig.6). Generalmente per i ponti Hennebique si utilizzava un rapporto tra freccia e luce dell'ordine di 1/10. Anche per il ponte sull'Astico, come per il ponte sulla Dora di via Cigna a Torino (1908) si utilizzò una sezione cellulare.

- *Il Ponte sulla Bormida a Isoletta (Savona), del 1907.*

Il ponte, costruito dalla società Porcheddu, è costituito da un'unica volta nervata di 50 m di luce, freccia 5 m. La soletta d'impalcato, irrigidita da nervature trasversali e longitudinali, poggia sulla volta tramite una serie di pilastri. È un'opera molto simile al ponte sulla Bormida presso Millesimo, del 1902.

La società Porcheddu utilizzò spesso questa tipologia costruttiva, anche per i ponti ad archi multipli; un esempio è il ponte sulla Stura a Salmur, presso Fossano (1910) o il ponte sulla Stura a Cherasco (1911), entrambi in provincia di Torino.

- *Il Ponte Duca degli Abruzzi, a Torino (1908).*

Il ponte - progettista ancora Hennebique, impresa costruttrice la Società G.A. Porcheddu - era simile a quello del Colombaro (1902), ma con sezione cellulare.

Quest'opera ha una notevole importanza dal punto di vista dell'evoluzione tipologica dei ponti Hennebique in quanto è proprio nel ponte Duca degli Abruzzi che fu applicata per la prima volta l'idea che successivamente ispirò la progettazione del ponte sull'Astico presso Calvene e del celebre ponte del Risorgimento a Roma. Il ponte è obliquo ed è costituito da due arcate di 21 m e 1.80 m di saetta. La pila centrale ha lo spessore variabile da 2.60 m alla base a 1.30 m in sommità. La larghezza del ponte è di 14 m di cui 10 m sono riservati al piano stradale.

Il capitolato d'appalto per il collaudo del ponte Duca degli Abruzzi prevedeva un sovraccarico di 700 Kg/mq e il transito di due file di carri a quattro ruote da 12 t ciascuna. Sempre secondo il capitolato, la deformazione permanente sotto carico non doveva essere più del 30% della deformazione massima temporanea: la freccia massima consentita doveva essere 1/1000 della luce.

- *Il Viadotto ferroviario presso Ceres (Torino), del 1915.*

Questo viadotto ferroviario aveva la funzione di collegare Ceres alla linea Torino-Ciriè-Valli di Lanzo. È un'opera altamente spettacolare per la tipologia utilizzata: un arco centrale parabolico, a volta nervata, collega i due accessi laterali, realizzati con travate rettilinee impostate su due telai a maglie rettangolari (Fig.7).

- Ponte viadotto sul Chiusella, nei pressi di Ivrea (1921).

E' uno degli ultimi esempi di manufatti realizzati in Italia con il sistema Hennebique ed è perfettamente conservato (Fig.8)

Il ponte attraversa una stretta valle con una arcata parabolica di 48.40 m di luce e 16.25 m di freccia, per poi prolungarsi nei due viadotti a travate rettilinee, sorrette da pilastri. L'arcata centrale è delimitata da due grandi pile che hanno la funzione di collegamento tra l'arco principale e i viadotti.

Confrontando questo viadotto con quello di Ceres, si può osservare come l'arco a volta nervata di quest'ultimo si sia trasformato in tre distinti archi paralleli, collegati da traversi, per il primo. Questa soluzione, insieme con la serie dei pilastri che sorreggono l'impalcato fornisce all'opera una particolare sensazione di leggerezza.

- Il Ponte Risorgimento a Roma (1911)

Questa celebre opera merita un discorso a parte, per le imponenti dimensioni e per le innovazioni tecnologiche che introdusse. Il Ponte Risorgimento (Figg.9, 10, 11) fu costruito in occasione dell'Esposizione di Roma del 1911, organizzata per celebrare il Cinquantenario dell'Unità d'Italia. Il ponte doveva avere la funzione di mettere in comunicazione i padiglioni dedicati dell'esposizione artistica e a quella etnografica, che stavano per sorgere rispettivamente sulla sponda destra del Tevere, in prossimità di Piazza d'Armi e sulla sponda opposta, nella valletta di Vigna Cantoni.

L'opera che fu realizzata può essere considerata una delle più interessanti costruzioni in calcestruzzo armato nella storia della tecnica delle costruzioni, per le dimensioni da primato (il ponte per molti anni detenne il record di lunghezza per i ponti in c.a.), per le soluzioni tecniche innovative che furono adottate per superare le difficoltà incontrate durante l'esecuzione, e anche per le intuizioni strutturali che ne caratterizzarono le scelte progettuali.

Il ponte, come è noto, è costituito da un arco a sezione cellulare molto ribassato (luce 100 m e freccia 10 m) e particolarmente snello, con uno spessore in chiave di soli 85 cm. La larghezza è di 20 m.

Il progetto fu redatto dallo studio Hennebique di Parigi, in collaborazione con i progettisti della Soc. Porcheddu, e in particolare con l'Ing. Giay, che dettero un determinante contributo nello sviluppo delle varianti in corso d'opera, rese necessarie dalle caratteristiche del terreno, risultate più scadenti di quanto previsto (Albenga 1949).

Per soddisfare queste esigenze, per l'impalcato si adottò la soluzione a cassone cellulare ad arco, e per le fondazioni si scelsero pali in calcestruzzo realizzati secondo il Compressol (Nelva, Signorelli 1989)

Per ogni spalla si realizzarono 72 pozzi, su una superficie di 600 mq ciascuna. Sopra questi pozzi, riempiti prima con materiale sciolto, poi costipato, e successivamente riempiti con conglomerato cementizio a formare veri e propri pali, si impostarono le spalle. Queste erano dei cassoni rigidi a più scomparti, costituiti da pareti e nervature organizzate nei due sensi.

Per proteggere le fondazioni dall'erosione delle acque durante le piene del Tevere, si progettò una barriera di protezione costituita da pali affiancati e incastrati, secondo un brevetto Hennebique. Questi pali, che erano dotati di un foro longitudinale, venivano infissi più agevolmente grazie a un flusso di acqua in pressione che attraversava il palo stesso e usciva dalla punta trasportando con sé sabbia e ghiaia.

Contro le spalle di fondazione si impostò l'arcata. Questa, costituita da una volta continua d'intradosso (spessore variabile da 50 cm all'imposta fino a 20 cm in chiave), era collegata ai due timpani laterali e a cinque nervature longitudinali, che si impostavano sulle nervature delle spalle, elevati fino alla soletta piana continua dell'impalcato (spessore 20 cm), a

costituire la struttura cellulare. I setti longitudinali di irrigidimento erano raddoppiati in prossimità della chiave dell'arco. Inoltre era disposta una serie di diaframmi trasversali (spessore 11 cm) che garantivano una migliore ripartizione dei carichi. Ne risultava una struttura molto rigida, ma leggera.

Per la costruzione della volta d'intradosso di utilizzò una cassaforma in legno appoggiata su una centinatura in calcestruzzo armato, fondata su pile provvisorie.

Va ricordato che in questa opera si fusero anche precedenti esperienze, sviluppate dalla Soc. Porcheddu nell'ambito del sistema Hennebique, come i due ponti sulla Dora a Torino, già citati in precedenza, il ponte del Colombaro (corso Tortona), del 1902, e soprattutto il ponte Duca degli Abruzzi (via Cigna), del 1908. Quest'ultimo presenta un impalcato con una vera struttura cellulare come il ponte Risorgimento, mentre il primo presenta soletta piana e nervature longitudinali ad intradosso arcuato, ma è privo della volta d'intradosso.

Quando fu costruito il Ponte Risorgimento si può ritenere che i fenomeni del ritiro, del fluage e della plasticità del calcestruzzo fossero poco noti. E' importante sottolineare la sensibilità strutturale del progettista Hennebique di intuirne la presenza, basandosi anche sulla sua esperienza di costruttore.

A questo proposito va ricordato innanzitutto il metodo innovativo del disarmo anticipato, messo in atto, nel Ponte Risorgimento, allentando la pressione dei cunei della centina, metodo ideato da Hennebique per ridurre gli effetti del fluage e del ritiro del calcestruzzo (Albenga 1956).

Altra intuizione di Hennebique fu quella del taglio dei timpani "alla Hennebique". L'operazione consisteva nel tagliare i timpani all'imposta per tutta la lunghezza fino al bordo superiore della volta d'intradosso, lasciando la continuità delle armature metalliche.

In seguito, dato il successo che ebbe con il ponte Risorgimento, il sistema di taglio ai timpani venne ulteriormente perfezionato dal Krall, che sviluppò un metodo in cui si isolavano per un certo tratto i ferri superiori nel conglomerato, per ottenere una maggiore elasticità del giunto (Krall 1946) Krall inoltre estese il taglio anche alla sezione in chiave aumentando notevolmente l'effetto arco

Nel 1936 il ponte Risorgimento fu sottoposto a prove di collaudo statico e anche dinamico. Il Prof. Aristide Giannelli, all'epoca direttore del Centro Studi del Consiglio Nazionale delle ricerche, incaricato di osservare il comportamento dell'opera, non riscontrò cedimenti significativi.

Dopo due anni, nel 1938, si riscontrarono, nei diaframmi longitudinali in prossimità delle spalle, varie lesioni con andamento obliquo, dovute, secondo il Giannelli, al movimento del terreno (registrato in particolare modo sulla riva sinistra del Tevere) e alla debolezza dell'armatura dei timpani e dei diaframmi longitudinali.

Dal 1944, anno in cui il ponte fu soggetto ad interventi di restauro per risanare e ricucire le lesioni che erano comparse, rimase sotto l'osservazione del Giannelli, che ne studiò in particolare le variazioni termiche stagionali (Giannelli 1949-1950). Lo stesso professore fu incaricato nel 1961 di studiare lo stato di conservazione del ponte e rilevò, pur non considerandole pericolose, nuove lesioni prossime al terrapieno e con il medesimo andamento di quelle già riparate nel 1944.

Lo stato di conservazione dei ponti Hennebique

Negli anni '50, quando le strutture in calcestruzzo armato erano ormai diffuse su larga scala in Italia e in tutta Europa, e quando alcune di queste opere avevano raggiunto o stavano per raggiungere il mezzo secolo di vita, si cominciò a parlare con preoccupazione di degrado dei manufatti (Cavallari Murat 1949). Il problema della durabilità era un concetto nuovo, visto che il calcestruzzo armato era stato considerato fino ad allora un materiale immutabile nel

tempo. Le opere realizzate con questa tecnica parevano offrire la garanzia di non perdere la loro efficienza strutturale col passare degli anni.

Nonostante che i ponti in calcestruzzo armato realizzati col sistema Hennebique si siano diffusi negli anni del pionierismo del calcestruzzo armato, quindi probabilmente senza una rigorosa metodologia progettuale e senza un corretto uso dei materiali in termini di durabilità, si può affermare che questi manufatti si sono comportati in modo soddisfacente nel corso degli anni, soprattutto in considerazione del fatto che sono radicalmente mutate le condizioni di fatica a cui sono soggetti, soprattutto per i ponti stradali.

Riferimenti bibliografici

1. AA.VV., *Cent ans de béton armé*, Chambre Syndicale des Constructeurs en ciment armé de France, Science et Industrie, Paris, 1949.
2. Albenga G., Il contributo italiano alla teoria e alla tecnica del cemento armato, in *Rendiconti e Pubblicazioni*, Corso di perfezionamento per le costruzioni in cemento armato, fasc.1, Politecnico di Milano, Fondazione F.lli Pesenti, Milano 1949.
3. Albenga G., *I Ponti*, UTET, Torino, 1958.
4. Bellezza E., *Ponti in cemento armato*, UTET, Torino, 1912.
5. Benevolo L., *Storia dell'architettura moderna*, Laterza, Bari, 1987.
6. Berger C. et Guillerme V., *La construction en ciment armé, application générale - Théories et systèmes divers*, Dunod et Pinat, Paris, 1904, p. 487.
7. Calzona R., Le scelte progettuali nei ponti nei riguardi della durabilità, *L'industria italiana del cemento*, n.4, aprile 1983.
8. Cavallari Murat A., Osservazioni e considerazioni su tre vecchi ponti tipo Hennebique, *Atti e Rassegna tecnica della Società degli Ingegneri e degli architetti in Torino*, n. serie a. IV n.4-5, aprile-maggio 1950, pp. 49-56.
9. Christophe P., *Le Béton Armé et ses application*, Paris-Liege, 1902.
10. Danusso A., Intuito e scienza nel cemento armato, in *Rendiconti e Pubblicazioni*, Corso di perfezionamento per le costruzioni in cemento armato, fasc.1, Politecnico di Milano, Fondazione F.lli Pesenti, Milano 1949, pp.57-58
11. Delhumeau G., Hennebique e la costruzione in calcestruzzo armato intorno al 1900, *Rassegna*, Anno XIV, 49/1, marzo 1992.
12. Delhumeau, G., *L'invention du Béton Armé, Hennebique 1890-1914*, Institut Francais d'Architecture, Norma Editions, Paris, 1999.
13. Foester M., *Die grunduzge der geschichtlinchen Entwicklung des Eisebetons*, Ernst & Sohn, Berlin, 1908, p.18.
14. Fougerolle J., L'évolution du béton armé, 1849-1949, *Cent ans de béton armé*, supplemento della rivista *Travaux*, n.194 bis, 1949.
15. G. S., Il nuovo ponte sulla Bormida a Millesimo ad una sola arcata, *L'Ingegneria Civile e le Arti Industriali*, 1903, p.11 e segg.
16. Giannelli A., Essai sur le pont Risorgimento, *Extrait du septième volume des "Memoires"*, Zurigo, 1949.
17. Giannelli A., Il comportamento nelle variazioni termiche stagionali del ponte Risorgimento in Roma, in *Atti e Rassegna tecnica degli Ingegneri e Architetti in Torino*, n. serie a. IV, n° 4-5, 1950, pp. 47-49.
18. Goffi A., Notizie inedite sulla costruzione del ponte Risorgimento in Roma, *Il cemento Armato*, marzo 1942.
19. Gori R., "Theoretical Performances of RC Elements Built at the Turn of the Century", *Journal of Performance of Constructed Facilities*, ASCE, Vol. 13, N° 2, May 1999, 57-66.

20. Gori R., "Evaluating Performance of RC Beams Using Turn-of-the-Century Theories", *Journal of Performance of Constructed Facilities*, ASCE, Vol. 13, N° 2, May 1999, 67-75.
21. Gubler J., Prolegomeni a Hennebique, *Casabella*, n. 485, 1982.
22. Guidi C., *Lezioni sulla scienza delle costruzioni*, Appendice: Le costruzioni in Béton armato, Camilla e Bertolero, Torino, 1901.
23. Guidi C., Sullo stato attuale delle costruzioni in Béton Amato, *L'Ingegneria Civile e le Arti Industriali*, 1903.
24. Hennebique F., *Le Béton Armé*, n.10, 1899, p.4.
25. Hitchcock H.R., *L'architettura dell'Ottocento e del Novecento*, Einaudi, Torino, 1989.
26. Iori, T. (a cura di), *Il Cemen - Dalle origini alla seconda guerra mondiale*, Collana Il modo di costruire, EdilStampa, ANCE, Roma, 2001.
27. Jorini A.F., *Teoria e pratica delle costruzioni dei ponti*, Ulrico Hoepli, Milano, 1905.
28. Krall G., Di un nuovo modo di costruire un arco tipo Risorgimento e di una sua applicazione concreta sul Tevere a Roma, in *Tecnica del Cemento Armato*, Bussola, Roma, marzo 1946.
29. *Le Béton Armé*, n.13, giugno 1899.
30. Markus V., Die Risorgimento Bruke über dern Tiber in Roma, *Armierter beton*, 1912-13.
31. Nelva R., Signorelli B., *Avvento ed evoluzione del calcestruzzo armato in Italia: il sistema Hennebique*, AITEC, Torino, 1989.
32. Oberti G., *Sul comportamento statico di archi incastrati notevolmente ribassati tipo ponte Risorgimento*, Tamburini, Milano, 1937.
33. Parvopassu C., *Il ponte del Risorgimento*, Soc. Cooperativa, Padova, 1914.
34. Ponte Risorgimento, *Il Politecnico*, a. XV, 1912, p.121, tavv. I e II.
35. Santarella A., Miozzi E., *I ponti italiani in cemento armato*, Ulrico Hoepli, Milano, 1932.
36. Simonnet C., Alle origini del cemento armato, *Rassegna*, XIV, n.49, marzo 1992.