

CARLO GUASTINI, SALVATORE GIACOMO MORANO, PAOLO SPINELLI

Storia dei metodi e delle tecniche costruttive dei ponti a cassone in c.a.p.: l'inizio

Premessa

Analizzando i caratteri evolutivi dei ponti a cassone in c.a.p.: lo schema statico, la forma strutturale, la geometria e le proporzioni definite, le caratteristiche dei materiali impiegati, risulta naturale occuparsi delle tecniche costruttive utilizzate. Infatti, bisogna considerare che tali tecniche, strettamente connesse e determinanti per l'affermazione della tipologia di ponti a cassone, sono state spesso ideate e sviluppate proprio per casi specifici e situazioni progettuali contingenti. Alcune di queste sono state superate o cadute in disuso, altre hanno rappresentato punti di svolta storici per l'ingegneria dei ponti e sono tuttora utilizzate.

Dal punto di vista storico, per poter comprendere a pieno il valore scientifico dei metodi e delle tecniche costruttive, è interessante e di primaria importanza descriverne lo sviluppo e l'evoluzione partendo dalla loro nascita nei primi anni 1950, approfondendone in modo specifico i primi 10-15 anni di vita.

Ponti a cassone e prime tecniche di costruzione

I ponti a cassone in c.a.p, evoluzione diretta di quelli in c.a., sviluppati a partire dai primi anni del secolo scorso, riescono ad affermarsi nel mondo della costruzione solamente nella seconda metà degli anni 1950. Infatti, pur avendo a disposizione tecnologie di precompressione di buon livello fin dai primi anni 1940¹, avendo consolidato la teoria ed il calcolo del c.a.p.² e dovendo affrontare la malorosa ricostruzione post-bellica, la competitività economica e realizzativa rispetto ad impalcato in acciaio risultava ancora insufficiente. In particolare, restava irrisolta la problematica relativa allo sviluppo ed alla definizione di metodi e tecniche costruttive che permettessero di sfruttare in maniera ottimale le prestazioni del c.a.p..

Al fine di comprendere meglio le origini storiche di tali metodi e tecniche, che hanno portato poi alla consacrazione della tipologia di ponti in esame, è però necessario fare un piccolo passo indietro, più precisamente al 1931. Proprio in quell'anno l'ingegnere brasiliano, di origine tedesca, Emilio Baumgart (1889-1943), iniziò la costruzione di un ponte a tre campate, con impalcato a cassone bicellulare in cemento armato di luce principale 68.5 m (Figura 1), sul Rio Peixe, a Herval do Oeste, al confine tra Paraguay e Brasile. Viste le difficoltà nell'utilizzare centine per le forti correnti del fiume, Baumgart fece costruire le due campate di

¹ Al 1950 si contano numerosi brevetti di sistemi di ancoraggio (Freyssinet, Morandi, Leoba, Magnel-Blason, BBRV, etc.) ed acciai con caratteristiche meccaniche discrete (f_{pt} fino a 1000 MPa).

² Ad esempio, il testo sul c.a.p. di C. Cestelli Guidi risale al 1947, quello di G. Magnel al 1948, quelli di J. Baretts e di P. W. Abeles al 1949.

estremità fino alle pile su centina e a sbalzo la campata centrale, avanzando per “piccoli segmenti” di impalcato, di circa 1.5 m, gettati in opera. Oltre alla armatura ordinaria, tali segmenti venivano progressivamente resi solidali tra loro per mezzo di barre acciaio collegate da manicotti filettati. (Wittfoht, 1984)

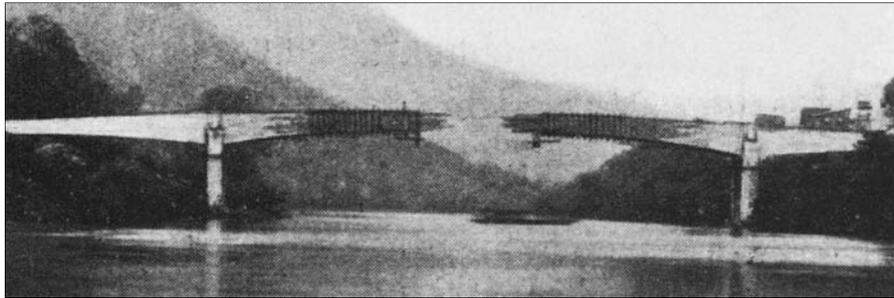


Fig. 1 - Baumgart scelse di non utilizzare centine e impalcature per le forti correnti che caratterizzavano il Rio Peixe. Nella foto, del 1931, si può osservare l'avanzamento della costruzione a sbalzo da entrambe le pile, tramite cassature in legno (Wittfoht, 1984).

L'idea di realizzare l'impalcato suddividendolo trasversalmente in “piccoli segmenti” non era certamente nuova; lo stesso sistema veniva già utilizzato per la realizzazione dei primi ponti in pietra, non è un caso infatti, che tali “segmenti” abbiano preso il nome di “conci” (segments, voussoirs), proprio come gli elementi in pietra componenti il profilo strutturale resistente di un arco. Allo stesso modo, l'idea di disporre delle piccole barre di ferro a cavallo di due conci adiacenti era già nota ai Romani e ad altri popoli, ma tali archi erano in pietra e venivano quasi sempre realizzati su centine in legno. (Dooley, 2004) Così come le altre, anche l'idea di realizzare una costruzione a sbalzo fonda le sue radici nelle prime grandi Civiltà della Storia (SETRA, 2003), in Oriente, esistono infatti testimonianze di ponti in legno realizzati a sbalzo, senza alcuna centina, del IV secolo d.C.. (Muller & Podolny, 1982) Inoltre, alla fine del XIX secolo, la tecnica di costruzione a sbalzi successivi (cantilever construction method, construction par encorbellements successifs) era stata ripresa e messa a punto, tramite un sistema di strallatura, per la costruzione di importanti ponti metallici ad arco e non, come il ponte di St. Luis sul Mississippi (USA) di J.B. Eads, il viadotto Garabit sulla Truyère (F) e il ponte Maria Pia sul Duoro (P) di G. Eiffel, e il ponte Firth of Forth, in Scozia (UK), di J. Fowler e B. Baker. (Troyano Fernández, 2006) Probabilmente, il primo ad applicare la concezione della costruzione a sbalzo con il cemento armato fu proprio Eugène Freyssinet (1879-1962), nel 1928, per la costruzione delle imposte degli archi del famoso ponte di Plougastel. (Bernard Gély & Calgaro, 1994)

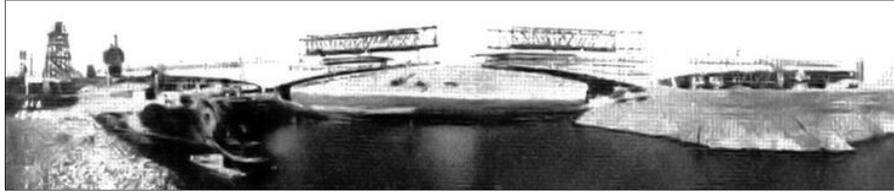


Fig. 2 - Ponte sul canale di Donzère-Mondragon (L_{tot} 259.0 m, 79.5 + 100.0 + 79.5 m)³ realizzato dall'ingegnere francese A. Caquot mettendo in opera una sorta di trave reticolare di varo a sostegno del cassero in avanzamento (Troyano Fernández, 2006).

Al pari di queste doverose considerazioni, l'idea di Baumgart di realizzare un impalcato in cemento armato a sbalzi successivi per conci gettati in opera, con un sistema di armatura passiva tale da permetterne l'allungamento e il prolungamento in relazione all'avanzamento della costruzione, risulta senza alcun dubbio, unica e geniale, destinata ad aprire nuovi fronti di sviluppo nella costruzione dei ponti a cassero. Relativamente a tale tecnica, si trovano notizie certe⁴ di due sole altre applicazioni molto simili, una in Inghilterra nel 1937 e l'altra in Francia (Figura. 2), intorno al il 1950 di Albert Caquot (1881-1976). (Wittfoht, 1984) (Troyano Fernández, 2006)

Nascita del metodo di costruzione ad avanzamento bilanciato

Il punto di svolta, che di fatto apre la prima fase storica di questo tipo di impalcato, vien raggiunto per merito del binomio formato dall'ingegnere Ulrich Finsterwalder (1897-1988), allievo di Dischinger che per primo comprese l'immensa potenzialità di questa tecnica e ne ricavò un vero e proprio metodo costruttivo, e dalla Dywidag (Dyckerhoff & Widmann AG), una fra le più prestigiose e antiche imprese di costruzione in Germania, fondata nel 1865. Insieme, nel 1950, realizzarono, prima, lo storico ponte di Balduinstein (Figura 3) sul fiume Lahn (D), il primo in c.a.p. costruito a sbalzo per conci successivi gettati in opera nella storia delle Costruzioni, e subito dopo, con la stessa tecnica, quello di Neckar (D). (Muller & Podolny, 1982) (SETRA, 2003) (Troyano Fernández, 2006)

In termini pratici, Finsterwalder era la mente, la Dywidag il braccio; insieme, appositamente per la costruzione a sbalzo, svilupparono le famose barre di precompressione filettate Ø26 mm, ancora oggi utilizzate, e realizzarono numerose opere rilevanti: nel 1952 venne completato il ponte dei Nibelunghi (L_{tot} 319.0 m, 101.0 + 114.0 + 104.0 m) sul fiume Reno a Worms (D), nel 1953 il ponte sul fiume Moselle (L_{tot} 338.0 m, 101.0 + 114.0 + 123.0 m) a Coblenza (D) e nel 1959 il ponte

³ Notazione per la descrizione geometrica dell'impalcato: luce totale (L_{tot}), luce massima (L_{max}), larghezza (l_{imp}), quota estradosso rispetto a fondo valle (H_{imp}), altezza sezione su pila (h_p), altezza sezione in chiave (h_c), pendenza longitudinale (i_L).

⁴ Dal confronto della letteratura tecnica reperita.

Hoechst (L_{\max} 130.0 m) sul fiume Meno a Francoforte (D). (Wittfoht, 1984) (Menn & Gauverau, 1991) (Troyano Fernández, 2006)



Fig. 3 - Ponte di Balduinstein (L_{tot} 62.0 m) Fase di costruzione dei conci tramite casseri mobili. Trattandosi di un impalcato a campata unica le estremità laterali sono dotate di contrappeso per sostenere la costruzione a sbalzo (Troyano Fernández, 2006).

Dal punto di vista strutturale, una volta appurata la possibilità di superare le problematiche relative all'incapacità delle armature passive di riprendere le forti sollecitazioni flessionali negative che insorgevano sull'impalcato durante le fasi di costruzione, fino al completamento della sovrastruttura, tramite l'impiego delle barre di precompressione, il passaggio tra costruzione a sbalzo e definizione del metodo ad avanzamento bilanciato seguì tre rapide tappe. La prima, la più elementare ma fondamentale, risponde all'intuizione di procedere a sbalzo nel getto dell'impalcato mono-campata utilizzando le spalle come contrappesi opportunamente dimensionati (Figura 3). La seconda tappa, che si basa sempre sul principio di contrappeso, ma che probabilmente deriva dall'economia delle lavorazioni e/o dalla gestione di cantiere, riguarda gli impalcati a 3 campate e consiste nella realizzazione delle campate di riva su centina e della campata centrale a sbalzo procedendo dalle pile (Figura 1 e 2). La definizione del metodo ad avanzamento bilanciato arriva con l'esperienza, dopo aver intuito la possibilità e le modalità di cominciare la costruzione procedendo a sbalzo direttamente dalla pila rispettando l'equilibrio, così come il giogo di una bilancia. Lo schema a "stampella", vale a dire l'insieme di una pila e delle parti di impalcato realizzata a sbalzo (cantilever, fléau), con la sua tipica forma a "T", diventa rapidamente l'elemento caratterizzante a cui si associa la costruzione di impalcati a cassone in c.a.p. (Figure 4 e 5).

La tecnica ad avanzamento bilanciato prende così rapidamente campo in tutta Europa. In Francia, l'impresa SGT⁵, che nel 1957⁶ aveva realizzato il ponte di

⁵ Société de Grands Travaux de Marseille, nata nel 1891, successivamente più nota come GTM Construction.

Chasey sur Ain, primo ponte realizzato a sbalzo nel territorio francese⁷ (HA-SETRA, 1999) (SETRA, 2003), nel 1954, nominò come direttore tecnico l'illustre Professore Jean Courbon (1913-1986), con l'obiettivo di sviluppare il sistema di costruzione a sbalzo e di precompressione brevettato da Finsterwalder. (Casado Fernández, 1968)



Figg. 4 e 5 - Il ponte di Savines, progettato da J. Courbon e realizzato dalla GTM in soli 20 mesi tra il 1958 e il 1960, è una delle prime e più importanti opere costruite in Francia ad avanzamento bilanciato. Le stampelle risultano tra loro incernierate. (Combault, 2007) (www.savineslelac.com).

I risultati di questo sodalizio, che durò meno di un decennio, furono numerosi e molto interessanti, su tutti, sempre per quello che riguarda gli impalcati a cassone in c.a.p.: il ponte di Savines (L_{tot} 924.0 m, $38.5 + 11 \times 77.0 + 38.5$ m, l_{imp} 9.0 m, h_c 1.15 m, h_p 4.0 m) (Figure 4 e 5) ed il ponte della Grande Côte nel 1960, che con 101 m di luce unica conquistò il primato nazionale, entrambi realizzati sul bacino artificiale di Serre-Ponçon, in Provenza (F). (Grattasat, 1982) (Casado Fernández, 1968) In Italia, pur riscontrando un grande fervore scientifico nei riguardi del c.a.p.^{8,9} e avendo progettisti di grandissimo calibro, il metodo ad avanzamento bilanciato

⁶ Intanto nel 1952, un comitato tecnico internazionale si riunì a Cambridge (UK), istituendo la FIP (Fédération Internationale de la Précontrainte), di cui Freyssinet, nel primo congresso del 1953 a Londra, fu nominato presidente onorario. (<http://www.fib-international.org>) Sempre nel 1953, venne redatta e pubblicata in Francia la prima normativa nazionale che oltre che prevedere la compressione totale della sezione resistente, nel "Cahier des Prescriptions Spéciales", prescriveva alcuni requisiti minimi per calcestruzzo e armature.

⁷ Demolito nel 1973

⁸ Nel 1948, in occasione del Congrès des Associations de Ponts et Chaussées a Parigi, finalizzato a promuovere la nascita di associazioni nazionali, venne fondata l'ANICAP (Associazione Nazionale

arriva con qualche anno di ritardo. Difatti i primi ponti a cassone in c.a.p. furono realizzati con centina fissa a terra fino ai primi anni 1960, è stato così per il ponte di servizio con piano inclinato per l'impianto idroelettrico del Mucone (Figura 6), opera di Silvano Zorzi (1921-1994), il primo con trave a cassone in c.a.p. costruito nel 1950, (Zorzi, 1981) (Siviero & Zampini, 2006) e per l'importante opera sul fiume Bradano, nei pressi di Matera, progettata da V. Franciosi (1925-1989) ed E. Bruzese, esponenti della scuola di Ingegneria napoletana di Adriano Galli (1904-1956) (Figura 7). (Bologna & Maddalena, 1962)



Figg. 6 e 7 - Ponte per l'impianto del Mucone (L_{tot} 54.5 m, 8.5 + 37.5 + 8.5, l_{imp} 2.7, h_c 1.8 m, h_p 1.0 m, i_L 38.6%) in Calabria (I,1950) realizzato con sistema di precompressione Freyssinet (Zorzi, 1981) - Ponte sul fiume Bradano (L_{tot} 357.0 m, 29.5 + 5 x 59.6 + 29.5, l_{imp} 8.8, h_c 1.0 m, h_p 3.0 m) (I,1957-58) con impalcato, realizzato con sistema di precompressione Morandi, caratterizzato da cerniere in mezzzeria ed incastrato su pile a doppia lama di bassa altezza. (Bologna & Maddalena, 1962)

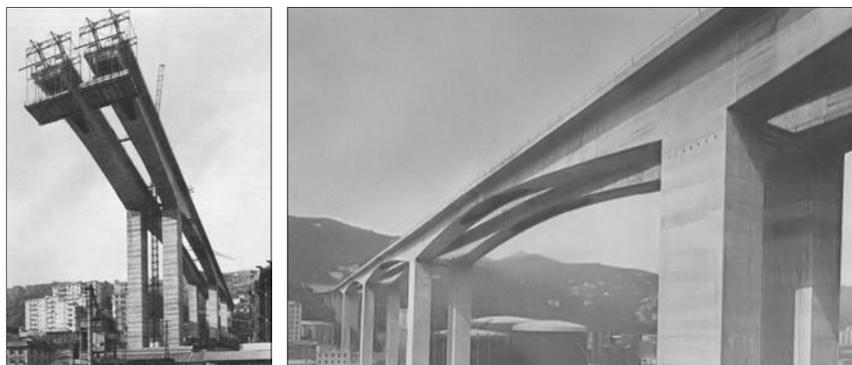
Per quanto concerne la prima applicazione sul territorio nazionale del metodo ad avanzamento bilanciato, non risulta possibile stabilire¹⁰ quale effettivamente sia stata la prima fra il viadotto della superstrada Paola - Cosenza, in Calabria, sul torrente Cubia (L_{tot} 228.6 m, 15.65 + 47.65 + 94.0 + 47.65 + 15.65, l_{imp} 9.5 m, h_c 1.8 m, h_p 5.0 m, e_s 0.22 m, e_a 0.6 m, i_L 5.25%) ed il ponte sul torrente Nervi (L_{max} 100.0 m, H_{imp} 91.5 m). (Cestelli Guidi, 1947) (Bologna & Maddalena, 1962) (AICAP, 1997) Le stesse considerazioni fatte per l'Italia valgono per la Gran Bretagna, nazione di spicco nell'ambito europeo, che, forse perché coinvolta solo marginalmente dai bombardamenti bellici e dunque distaccata dal fervente clima di ricostruzione che coinvolgeva l'Europa continentale, mantenne però un atteggiamento di ge-

Italiana del Cemento Armato e Precompresso, poi divenuta AICAP, di cui Cestelli Guidi fu nominato presidente. (Cestelli Guidi, 1947) (Bologna & Maddalena, 1962), (Siviero & Zampini, 2004)

⁹ Il primo testo di legge completo in Italia in materia di c.a.p. redatto da una speciale Commissione del Consiglio superiore dei LL.PP. di cui facevano parte Cestelli Guidi, Levi e Rinaldi, fu emanato nel 1955, "Norme tecniche per l'impiego delle strutture in cemento armato e precompresso"; quindi nel 1960, venne emanata la Circolare n. 494 (7 Marzo 1960), aggiornamento di tale norma. (Bologna & Maddalena, 1962)

¹⁰ Dal confronto della letteratura tecnica reperita.

nerale perplessità nei confronti dello stesso c.a.p.. Ciò nonostante la prima applicazione del metodo ad avanzamento bilanciato per conci gettati in opera si ebbe nel 1963, per la realizzazione del ponte dell'autostrada M2 (L_{tot} 997 m, 95.25 + 152.40 + 95.25 m, l_{imp} 17.90 m) sul fiume Medway, nel Kent (ENG-UK).¹¹ (HA-SETRA, 1999) (Hewson, 2003)



Figg. 8 e 9 - Tra il 1962 e il 1964, in occasione della costruzione del tratto autostradale Genova - Sestri Levante, furono realizzati ad avanzamento bilanciato 4 importanti viadotti, con sistema di pre-compressione Dywidag: sul torrente Nervi, sul torrente Sori (L_{tot} 380.0 m, L_{max} 100.0 m, l_{imp} 17.7 m, H_{imp} 120.0 m), sul torrente Vellino (L_{max} 100.0 m, H_{imp} 105.0 m) e sul torrente Bisagno (L_{max} 116.0 m). (Casado Fernández, 1965) (Casado Fernández, 1966) (Zorzi, 1981);

Gettando poi, un rapido sguardo sullo stato dell'arte degli impalcati a cassone in c.a.p. al di fuori dell'Europa, si constata come di fatto il metodo costruttivo ad avanzamento bilanciato si sia affermato concretamente in tutto il mondo, anche se in maniera non del tutto omogenea. Spesso si rileva che le opere più importanti vennero realizzate per mano delle imprese e dei progettisti europei¹², soprattutto in Africa (Figure 14) (Prade, 1992). Non è un caso infatti che, tra il 1950 e il 1965, solo in Europa, dove erano in costruzione le prime grandi reti autostradali, vennero realizzate più di 300 opere di questo tipo, con luce principale superiore a 76 m. Risultando rapidamente la tipologia predominante per i ponti in calcestruzzo di media e grande luce. (Muller & Podolny, 1982) (Petrangeli, 2000).

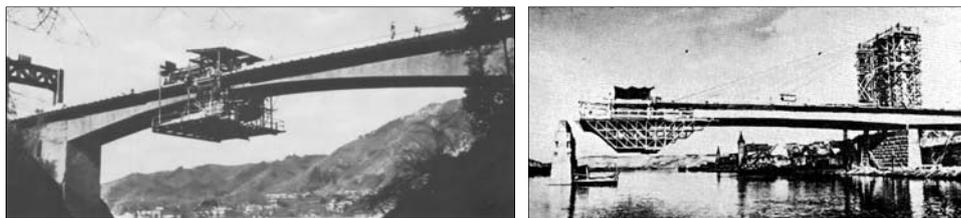
¹¹ Nel 1936 i lavori di Freyssinet furono tradotti e pubblicati per la prima volta nel Regno Unito da Alfred T. J. Gueritte, della British Section della Société des Ingénieurs civils de France, mentre nel 1951 venne pubblicato dall'Institution of Structural Engineers il primo bollettino nazionale riguardante il c.a.p. (HA-SETRA, 1999) (Sutherland, Humm, & Chrimes, 2001). A distanza di ben 6 anni rispetto a quanto fatto in Francia, nel 1959, la British Standard Institution pubblicò il primo regolamento normativo per la progettazione delle strutture in c.a.p., CP115 (Code of Practice).

¹² Ad esempio: la STUP di Campenon e Freyssinet o la S.E.E.E. di cui Courbon diverrà amministratore e direttore tecnico nel 1962.



Figg. 10 e 11 - Ponti sul torrente Nervi (I,1964) (Zorzi, 1981) e sul torrente Cubia (I) (AICAP, 1997), rispettivamente opera di Zorzi e di Cestelli Guidi;

Comunque esistevano fiorenti realtà, basti pensare, ad esempio, che le prime realizzazioni ad avanzamento bilanciato si ebbero: in Giappone nel 1958 con il ponte Ranzan (Figura 13) (L_{tot} 75.0 m, L_{max} 51.2, l_{imp} 8.2 m) (Böhme, Jungwirth, & Neunert, 1973) nel distretto di Kanagawa; in Brasile nel 1961 con il ponte sul fiume Tocantins (L_{tot} 264.0 m, 53.0 m + 140.0 m + 53.0 m, l_{imp} 9.8 m) (Casado Fernández, 1963); in Canada nel 1962 con il ponte di Sainte-Adèle (L_{tot} 178.4, 40.4 + 80.8 + 40.4 + 16.8 m, l_{imp} 12.5 m) (Muller & Podolny, 1982) e in Cina¹³ nel 1964 con il ponte di Nanning (L_{tot} 394.6 m, 45.0 m + 5 × 55.0 m + 45.0 m, l_{imp} 24.0 m) nella provincia di Guangxi.



Figg. 12 e 13 - Ponte di Ranzan (J,1958) (Böhme, Jungwirth, & Neunert, 1973)- Ponte sul fiume Main a Karlstadt (D,1952) (Dobell, 1956)

¹³ Sulla base di alcuni documenti in lingua inglese resi disponibili dall'Università di Tongji di Shanghai, guidata per molto tempo dal Professor Zhou Nian-Xian, formatosi all'E.N.P.C. negli anni '40, è stato possibile infatti ricostruire la lenta diffusione del c.a.p. nelle strutture da ponte in questo paese. (<http://bridge.tongji.edu.cn/chinabridge>)

Primi passi verso l'affermazione di nuove tecniche costruttive

Oltre al metodo ad avanzamento bilanciato, il periodo storico in esame, anni 1950 e primi anni 1960, è contraddistinto da una costante ricerca per lo sviluppo dei metodi e delle tecniche costruttive. Si fanno strada, tra i tanti tentativi (Figura 14), alcune brillanti idee, che costituiranno le basi per lo sviluppo di nuove tecniche e per l'affermazione di quasi tutti i metodi costruttivi impiegati attualmente per la realizzazione degli impalcati a cassone in c.a.p., e su cui vale la pena soffermarsi. Una di queste è la tecnica costruttiva ideata dalla DYWIDAG per la costruzione del ponte sul fiume Maine a Karlstadt (D) nel 1952, che consiste nell'impiego di un sistema di strallatura temporanea della campata precedente lo sbalzo e dello sbalzo stesso, in modo da ridurre l'entità del momento flettente negativo verso l'asse pila e la quantità di precompressione di stampella (Figura 13) (Dobell, 1956)(Böhme, Jungwirth, & Neunert, 1973). Tale tecnica, da cui deriva il metodo ad avanzamento bilanciato tuttora di utilizzato per la costruzione di ponti strallati con impalcato gettato in opera ed il metodo di avanzamento progressivo per conci prefabbricati messo a punto dall'ingegnere francese Jean Muller (1925-2005) per la Campenon Bernard nella seconda metà degli anni 1960 (Muller, 1975) (Muller & Podolny, Construction and Design of Prestressed Concrete Segmental Bridges, 1982), negli anni successivi conobbe un discreto successo nella costruzione di opere in aree congestionate o particolarmente impervie, frenato da costi elevati di installazione e gestione. (Dobell, 1956)



Fig. 14 e 15 - Ponte sul fiume Main a Bettingen (D,1958) prima occasione in cui è stata abbandonata in Germania la tecnica costruttiva ad avanzamento bilanciato con cassero a sbalzo per l'impiego di centina mobile a terra su rotaia. (Wittfoht, 1984) - Ponte Houphouët Boigny (CI,1952-53) con sistema di precompressione B.B.R.. (L_{tot} 372.0 m, 8×46.5 , l_{imp} 24.85 m, h_c 5.76 m). (Wittfoht, 1984)

Un'altra brillante applicazione costruttiva riguarda la realizzazione del ponte Houphouët Boigny (Figura 15), nella laguna di Ebrié ad Abidjan (CI), una delle prime opere con impalcato a cassone in c.a.p. nel continente africano, terminata nel 1953, ad opera dell'impresa francese Boussiron, di cui, Nicolas Esquillan (1902-1989) era allora direttore tecnico, e Jean Kérisel (1908-2005), consulente geotecnico.

co. Si tratta di un impalcato bicassone, a travate prefabbricate a piè d'opera, che ospita la sede stradale all'estradosso e quella ferroviaria all'interno dei cassoni stessi. (Prade, 1992) Oltre alle rilevanti difficoltà geotecniche per le scarse qualità del terreno di fondazione, quest'opera risulta molto importante nella storia delle tecniche costruttive, in quanto premonitrice di future applicazioni, quali il metodo di costruzione "campata per campata" a conci prefabbricati, che sarà sviluppato da Jean Muller alla fine degli anni 1970, e il metodo di prefabbricazione su larga scala che prenderà campo dalla fine degli anni 1980. Infatti, in quella occasione, le campate furono realizzate come conci unici gettati in opera a terra, per un peso complessivo di 800 t^{14} , quindi trasportati tramite chiatta galleggiante e messi in opera tramite sollevamento idraulico. (Wittfoht, 1984) Sempre l'impresa Boussiron, tra il 1952 e il 1955, in Francia, realizzò il viadotto di La Voulte ($L_{\text{tot}} 300.0 \text{ m}$, $L_{\text{max}} 56.0 \text{ m}$) sulla Rhône (F) (Figura 16), il primo grande ponte ferroviario francese a cassone in c.a.p., all'epoca, il più lungo al mondo nella categoria. Per quella occasione, scelta una luce medio-piccola e la ripetitività delle campate, Esquillan sviluppò l'idea di realizzare l'impalcato procedendo, sia per avanzamento bilanciato con conci gettati in opera, ma appendendo il cassero ad una travatura reticolare in acciaio di luce poco superiore a due campate, del tutto simile a quelle utilizzate in quegli anni il getto delle travi isostatiche in c.a.p.. In questo modo i casseri diventavano mobili in direzione longitudinale, velocizzando sensibilmente le operazioni di caseratura e disarmo. (Grattesat, 1982) (Wittfoht, 1984) (SETRA, 2003)

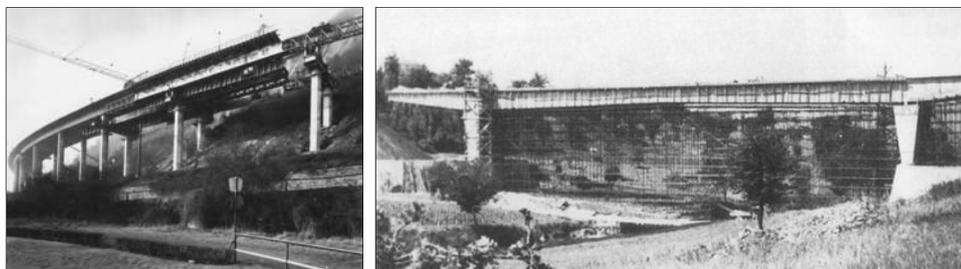


Fig. 16 - ($L_{\text{tot}} 300.0 \text{ m}$, $L_{\text{max}} 56.0 \text{ m}$) (F,1955). L'impalcato, realizzato con carro di varo superiore conquista il record di lunghezza complessiva per viadotti ferroviari. (Wittfoht, 1984)

Questa prima applicazione della travatura reticolare a sostegno dei casseri per il getto, chiamata "trave o carro di varo", sta alla base del metodo di costruzione ad avanzamento "campata per campata" tramite getto in opera che sarà definito e sviluppato nel 1961, nella forma di centina autoportante, da Wittfoht (1924-2011), allora direttore tecnico dell'impresa Polenski & Zollner, per la realizzazione del

¹⁴ Primato di peso detenuto fino alla fine degli anni 1970

grande viadotto di Krahenberg vicino Anderach (D) nel 1961 (Figura 17). Inoltre, dal connubio con la tecnologia della prefabbricazione, tale metodo porterà allo sviluppo di diverse tecniche di costruzione a conci prefabbricati, soprattutto ad opera della scuola francese del *béton précontraint*. (Muller & Podolny, 1982) (Wittfoht, 1984) (Hewson, 2003)



Figg. 17 e 18 - Viadotto di Krahenberg (L_{tot} 1088.0 m, 34×32.0 m, h_c 2.0 m, l_{imp} 18.5 m) (D, 1961-64) (Wittfoht, 1984) - Ponte San Nicola (I, 1954) (Imbesi, Morandi, & Moschini, 1991);

A proposito di conci prefabbricati, seppur annoverando le precedenti applicazioni di Freyssinet¹⁵ e del suo allievo Muller¹⁶, risulta interessante citare due applicazioni di metodi costruttivi innovativi. La prima ad opera di Riccardo Morandi (1902-1989), nei primi anni 1950, per la costruzione di due fra le sue prime opere in c.a.p.: i ponti di Giunture sul Liri (L_{tot} 61.5 m) (I, 1952) e di San Nicola a Benevento (L_{tot} 120.0 m, $20.0 + 80.0 + 20.0$) (Figura 18), i cui impalcati furono realizzati con conci prefabbricati posizionati inizialmente su centina e poi solidarizzati e precompressi in opera. (Petrangeli, 2000) (Bologna & Maddalena, 1962) La seconda applicazione riguarda la costruzione del ponte di Ager (A, 1959-26), per il quale i conci (8.5 m, 180 t) vennero realizzati nel cantiere installato a fianco di una delle spalle, fatti scivolare in posizione su delle guide, preventivamente fissate in sommità alla centina fissa, e quindi solidarizzati tramite getti di cucitura di 0.5 m e precompressione. (Wittfoht, 1984) (Muller & Podolny, 1982) (Mondorf, 2006) In forma preliminare, le soluzioni costruttive adottate per la realizzazione di queste opere rappresentano intuizioni pionieristiche delle tecniche costruttive, riguardanti i conci prefabbricati, che verranno sviluppate di lì a breve.

Questi primi passi, uniti al continuo sviluppo tecnologico ed allo slancio progettuale verso il raggiungimento di nuovi traguardi, determineranno l'apertura di una nuova stagione per i ponti a cassone, che vedrà la consacrazione del metodo ad avanzamento bilanciato e, soprattutto, la definizione e l'affermazione di nuovi metodi costruttivi con tecniche sempre più raffinate.

¹⁵ Nella realizzazione delle travi principali a sezione scatolare del ponte di Luzancy (F, 1939-1945)

¹⁶ Nella realizzazione del ponte Shelton (L_{tot} 15.2 m, l_{imp} 7.20) ad East Koy Creek (NY-USA, 1952)

Bibliografia

- AICAP. (1997). *Carlo Cestelli Guidi*. Roma: AITEC.
- Bernard Gély, A., & Calgaro, J. A. (1994). *Conception des ponts*. Paris: Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- Böhme, G., Jungwirth, D., & Neunert, B. (1973). *Festschrift Finsterwalder 50 Jahre für DYWIDAG*. Karlsruhe: Verlag G. Braun.
- Bologna, G., & Maddalena, L. (1962). *Realizzazioni italiane in cemento armato precompresso - IV Congresso F.I.P., Roma-Napoli 1962*. Roma: AITEC (Supplemento alla rivista IIC, n. 5, 1962).
- Casado Fernández, C. (1963). Los puentes de fabrica durante el año 1962. *Revista de Obras Públicas*, Año CXI (2973), 1-11.
- Casado Fernández, C. (1965). Los puentes de fabrica durante el año 1964. *Revista de Obras Públicas*, Año CXIII (2999), 185-200.
- Casado Fernández, C. (1966). Los puentes de fabrica durante el año 1965. *Revista de Obras Públicas*, Año CXIV (3018), 821-835.
- Casado Fernández, C. (1968). Los puentes de fabrica durante el año 1967. *Revista de Obras Públicas*, Año CXVI (3044), 887-906.
- Cestelli Guidi, C. (1947). *Cemento armato precompresso*. Milano: Ulrico Hoepli (VII ed. 1987).
- Combault, J. (2007). *Séminaires: Ponts en Béton Précontraint construits par Encorbellements Successifs - A.S. 2007/2008*. Paris: Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- Dobell, C. (1956, December). Structural and economic advantages of cast-in-place prestressed concrete for large span bridges. *PCI Journal*, 17-34.
- Dooley, S. C. (2004). *The development of material-adapted structural form*. Lausanne: Doctoral Thesis EPFL - Prof. Keller T.
- Grattèsat, G. (1982). *Ponts de France*. Paris: Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- HA-SETRA, T.-L. (1999). *Post tensioned concrete bridges/Ponts en béton précontraint par post tension*. London: Thomas Telford.
- Hewson, N. R. (2003). *Prestressed concrete bridges*. London: Thomas Telford.
- Imbesi, G., Morandi, M., & Moschini, F. (1991). *Riccardo Morandi: innovazione, tecnologia, progetto*. Roma: Gangemi Editori.
- Menn, C., & Gauverau, P. (1991). *Prestressed Concrete Bridges*. Berlin: Birkhauser.
- Mondorf, P. (2006). *Concrete bridges*. London: Taylor & Francis.
- Muller, J. M. (1975, Jan./Feb.). Ten years of experience in precast segmental construction. *PCI Journal*, 28-61.
- Muller, J. M., & Podolny, W. (1982). *Construction and Design of Prestressed Concrete Segmental Bridges*. New York: John Wiley & Sons.
- Petrangeli, M. P. (2000). *L'evoluzione dei ponti in c.a. e c.a.p., Il secolo del cemento*. Roma: AITEC (Supplemento alla rivista IIC, n. 9, 2000).
- Prade, M. (1992). *Les grands ponts du monde : Hors d'Europe (Vol. Deuxième partie)*. Paris: Poitiers Librairie Ancienne Brissaud.
- SETRA. (2003). *Guide de conception: Pons en béton précontraint construits par encorbellements successifs*. Bagnaux - Paris: SETRA.
- Siviero, E., & Zampini, I. (2004). Carlo Pradella e i primi ponti italiani in c.a.p. *Atti XV Congresso C.T.E. Bari 4-6 Novembre 2004* (p. pp. 921-930). Bari 4-6 Novembre 2004: CTE.
- Siviero, E., & Zampini, I. (2006). L'ingegneria dei ponti in Italia nel XX secolo. *Atti I Convegno Nazionale Storia dell'Ingegneria Napoli, 8-9 Marzo 2006* (p. pp. 655-662). Napoli: AISI.
- Suterland, J., Humm, D., & Chrimes, M. (2001). *Historic concrete: the background to appraisal*. London: Thomas Telford.
- Troyano Fernández, L. (2006). *Terra sull'acqua: atlante storico dei ponti*. Palermo: D.Flaccovio Ed.
- Wittfoht, H. (1984). *Building bridges: history, technology, construction*. Düsseldorf: Beton-Verlag.
- Zorzi, S. (1981). *Silvano Zorzi: Ponti e viadotti*. Roma: De Luca Editore.