

IL PONTE AD ARCHI SUL TICINO, FINALMENTE

LE FASI SALIENTI DELLA PROGETTAZIONE E DELLA COSTRUZIONE DI UN'OPERA MOLTO BELLA E DI NOTEVOLE CONTENUTO TECNICO MA NON SCEVRA DI INGENUITÀ E SCELTE DISCUTIBILI CHE HANNO CONTRIBUITO A RALLENTARNE LA REALIZZAZIONE IN COMBUTTA CON LE FARRAGINOSITÀ AMMINISTRATIVE E GIUDIZIARIE DEL SISTEMA DI APPALTI ITALIANO E ALLA CRISI DELL'ULTIMO DECENNIO

Il ponte sul Ticino

A questo primo lavoro ne seguiranno altri dove saranno esaminati con maggiore dettaglio gli aspetti di cantierizzazione e di sistemazione dell'alveo. L'opera infatti, al momento di andare in stampa, non è ancora completamente terminata nelle finiture e nelle sistemazioni spondali.

Il ponte sul Ticino a Vigevano è una storia che parte tanti anni fa. Vi fu un concorso di idee, o preliminare che dir si voglia, bandito nei primi anni 2000: Integra partecipò proponendo un classico bow string in acciaio da circa 200 m di luce. All'epoca non restò aggiudicataria dell'appalto ma in compenso, molti anni dopo - nel 2019 esattamente - è stata incaricata della progettazione dei lavori necessari a completare l'opera. Nel seguito verrà quindi trattata la storia della costruzione e le soluzioni adottate per portare a compimento quest'opera, che è indubbiamente grande e complessa.

La costruzione del ponte sul Ticino inizia negli anni 2010; la soluzione scelta è molto bella ma non priva di debolezze. In pratica, il ponte è una lunga trave continua a cassone in c.a.p. (500 m circa) sostenuta per due campate centrali da due archi, anch'essi in c.a.p., di luce pari a 150 m ciascuno. La sezione dell'impalcato sulle campate di accesso è un doppio cassone di luce pari a 50 m circa. Sulle campate sospese ai due cassoni sono aggiunti due nasi laterali in calcestruzzo, solidarizzati mediante post tensione trasversale, che servono per attaccare i pendini.

Nell'implementare il progetto, ci si rese subito conto che per gettare gli archi molto belli ma anche molto alti sopra il fiume e con sezione variabile la cosa più ragionevole sarebbe stato realizzare una carpenteria metallica che conveniva anche rendere compartecipante. Si trattava di una variante consistente al progetto originale, peraltro tornata molto utile perché senza il

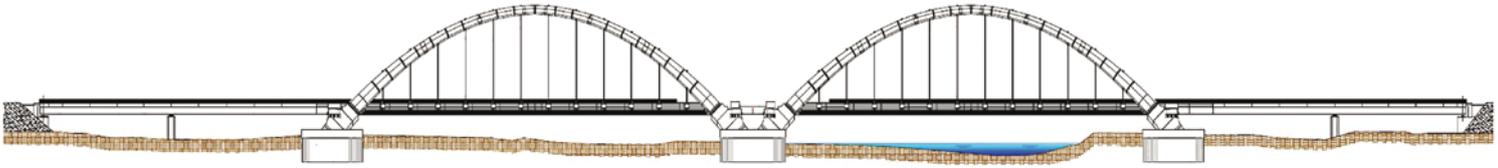
prezioso contributo di questo involucro esterno in acciaio da 20 mm circa di spessore le verifiche di sicurezza in fase costruttiva (condizioni effettive di cantiere come trovato dagli scriventi) non sarebbero state soddisfatte.

Difatti, tra le indagini realizzate alla ripresa del cantiere, la più importante è stata senz'altro la verifica che gli archi fossero stati ben gettati e che non vi fossero dei vuoti tra carpenteria metallica e calcestruzzo. Le indagini sono state condotte dall'equipe del Prof. Roberto Felicetti del Politecnico di Milano e hanno confermato la buona fattura dei getti, cosa che era stata anticipata dalla D.L. nella persona dell'Ing. Funari di Pegaso Ingegneria.

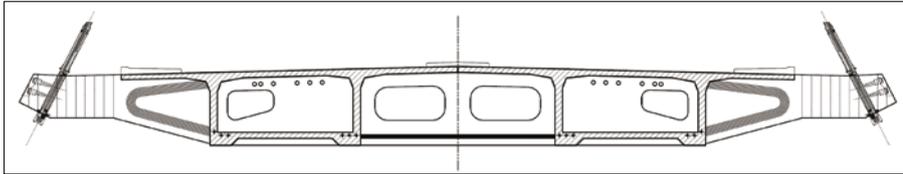
Un'altra modifica piuttosto significativa apportata al ponte durante la costruzione è stata quella di eliminare, o comunque ridurre, la spinta dei due archi introducendo delle catene, ovvero dei cavi esterni di precompressione sia in direzione longi-



1. L'impalcato del ponte sul Ticino



2. Prospetto del ponte sul Ticino



3. La sezione del bi-cassone in c/o delle campate ad arco

IL TICINO E LE SUE TENDENZE EVOLUTIVE

La principale difficoltà nella realizzazione del ponte è stata quella di costruire l'impalcato sospeso sul fiume. Un impalcato di quel tipo si costruisce o poggiandosi a terra, ovvero in avanzamento con dei derrick.

Per la campata lato Vigevano si è optato per la prima alternativa, dato che il fiume tendeva naturalmente ad occupare la campata lato Milano. Dato che il cassone pesa oltre le 45 t/m sotto ogni pendino, posto ognuno a interasse di 9 m circa, si è di fatto realizzato un pilastro e la relativa fondazione; la costruzione è così andata relativamente spedita.

Finita la costruzione di questa campata non si è però rimosso il materiale e le fondazioni dei pilastri provvisori per cui anche nel caso di morbide il Ticino non è più riuscito a tirare dritto sotto l'arco lato Vigevano appropriandosi dell'ampio alveo in destra e della relativa zona umida. Si è pertanto rafforzata una tendenza forse già in atto che vede il Ticino erodere la sponda sinistra lato Milano.

Come rilevato dagli scriventi nella loro prima visita nel Gennaio 2020, il fenomeno era veramente grave. Si pensi che, nonostante la realizzazione di due archi da 150 m, il Ticino batteva in condizioni di deflusso normale sui 30 m prospicienti la fondazione dell'arco lato Milano dove aveva scavato oltre 4 m.

Una componente fondamentale del progetto per il completamento del ponte è stata allora quella di studiare il deflusso del Ticino in questo tratto che, ricordiamo, risente dell'ex ponte ferroviario a monte e relativa briglia, quello su cui oggi passa la S.S. 494 in attesa di essere spostata sulla nuova opera.

Lo studio è stato condotto dalla ArtAmbiente di Parma e ha simulato le condizioni attuali, quelle in fase di cantiere e quelle nella configurazione finale dove è prevista la realizzazione di un'importante protezione spondale lato Milano per circa 350 m e il ripristino delle condizioni di deflusso lato Vigevano per provare a ridurre la tendenza erosiva in sponda sinistra.



4. La costruzione degli archi

tudinale che trasversale, questi ultimi resi necessari dal fatto che gli archi sono molto inclinati rispetto al piano verticale.

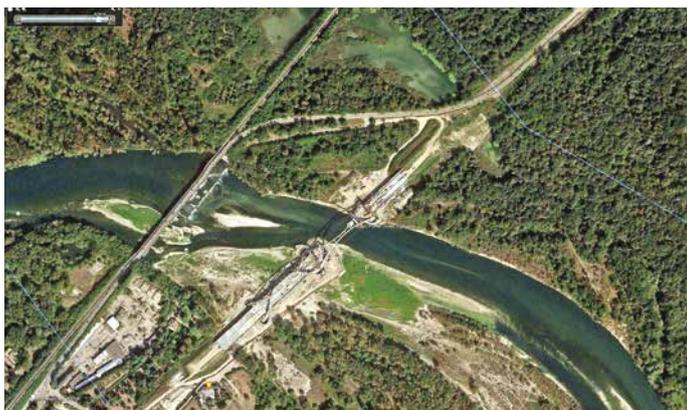
L'impalcato in c.a.p. non era infatti previsto che fungesse da catena: gli archi spingevano e ovviamente questo non sembra essere una scelta condivisibile in materiali sciolti sebbene di buone caratteristiche meccaniche (ghiaie). L'eleganza teorica della trave continua in c.a.p., supportata dagli archi ma libera di fluttare su isolatori, non può essere competitiva rispetto a un impalcato a struttura mista che faccia da catena annullando le spinte in fondazione: non è un caso che tutti i bow-string recenti siano fatti in questo modo.



5. I cavi che chiudono la spinta degli archi



6. La costruzione dell'impalcato lato Vigevano con pile provvisorie



7A e 7B. Foto satellitari del Ticino ante (2010) e post (2018) operam

Da questa storia può sicuramente essere tratta una conclusione: se devi attraversare un alveo divagante come nel caso di specie e di molti altri fiumi italiani e non hai la possibilità di fissare (arginare) la sezione di deflusso è inutile fare luci importanti e luci secondarie, poiché potresti trovarti con il fiume che passa dove non ti aspettavi. In questi casi, una trave continua con luci ampie è generalmente la soluzione più semplice e sicura, altrimenti devi indovinare dove passerà il fiume nei decenni successivi ovvero si dovrebbe poter intervenire con più incisività nella regimentazione spondale: a volte sembra esserci un eccesso di prudenza misto a un pizzico di ipocrisia, dato che il nostro territorio è de facto totalmente antropizzato.



8. Il cantiere prima della ripresa dei lavori con la strallatura provvisoria in primo piano

LA COSTRUZIONE DELL'ARCO LATO MILANO PRIMA DELL'INTERRUZIONE LAVORI

Quando si è arrivati a dover realizzare la campata lato Milano si è dovuto optare per una costruzione a sbalzo con derrick, in quanto era ovviamente improponibile spostare l'alveo attivo di 150 m in destra.

La costruzione a sbalzo di questo cassone che pesa, ricordiamo, circa 45 t/m è stata decisamente impegnativa: avanzando con la costruzione dell'impalcato dalle imposte nascono dei momenti molto elevati sugli archi e sull'impalcato stesso.

I momenti sugli archi sono dovuti al fatto che il carico è fuori funicolare. Ricordiamo, infatti, che gli archi hanno una linea d'asse fatta per portare carichi uniformemente ripartiti ovvero il peso dell'impalcato finito e delle finiture. I momenti generati dal peso del cassone che insisteva solo su una parte della luce erano molto elevati, tanto da richiedere una fase di puntellamento provvisorio.

Ma anche i momenti sull'impalcato erano molto elevati, in quanto i 9 m a sbalzo del cassone tra un pendino e il successivo e il derrick in punta - del peso di circa 150 t - inducevano momenti molto elevati sull'impalcato retrostante. Le sollecitazioni sull'impalcato erano esacerbate dal fatto che questo non fosse precompresso durante la costruzione. La precompressione definitiva che conferisce resistenza e tenacità all'impalcato in c.a.p. è stata applicata a fine costruzione. Ovviamente, avanzare tirando la precompressione ogni volta che si getta un concio e quindi accoppiando i cavi con coupler è molto più costoso e farraginoso rispetto a infilare e tirare tutto alla fine.

Un'altra componente che ha contribuito a complicare le cose è stato il varo dei nasi dove si attaccano i pendini che sorreggono l'impalcato. Questi nasi sono in calcestruzzo, molto eleganti ma del peso di circa 27 t ciascuno. Per semplificare i derrick, questi nasi sono stati prefabbricati a terra lato Vigevano, poi montati una volta gettato il concio.

Fino all'ultima interruzione del cantiere ad Aprile 2019, i nasi venivano varati da una grossa autogrù gommata che saliva sull'impalcato del ponte in costruzione (impalcato non precompresso)

e arrivava alle spalle dei derrick posizionandosi fuori dagli ingombri del fronte di avanzamento (i derrick hanno ovviamente un sistema retrostante di ancoraggio). Da questa posizione si doveva quindi realizzare un tiro piuttosto impegnativo sia per il peso dei nasi che per lo sbraccio molto elevato (20 m circa).

Tutto questo sistema era ulteriormente complicato dalla soluzione adottata per mitigare le sollecitazioni sull'impalcato in fase di varo in avanzamento: un sistema di strallatura provvisoria sostenuto da due torri metalliche posizionate sull'impalcato stesso in asse ai due appoggi dell'arco. Peraltro, questa strallatura veniva spostata in avanzamento ovvero si avevano solo due file di stralli (due coppie ciascuno sbalzo) con quella dietro che veniva detensionata e spostata in avanti sul nuovo concio appena gettato.

Una verifica del tiro del sistema di strallatura condotta insieme alle attività propedeutiche per la



9. Il getto in avanzamento dell'impalcato e la precompressione provvisoria

ripresa dei lavori ha mostrato che il tiro effettivamente presente in questi stralli provvisori si discostava molto da quello ipotizzato nelle verifiche di sicurezza per le fasi costruttive.

In definitiva, gli scriventi si sono trovati di fronte ad una bella opera incompiuta a cui mancava il getto di 25 m circa di impalcato, in mezzeria della campata lato Milano. Si consideri che, per quanto 25 m possano sembrare poca cosa, in effetti si trattava di aggiungere 40.000 tonnellametri equivalenti di momento sulla struttura, ovvero 1.000 t di peso concentrate in mezzeria di una luce di 150 m.

Il sistema previsto per il varo non solo funzionava male perché farraginoso e rischioso, ma aveva un'efficacia che andava riducendosi con l'avanzamento, in quanto si allungavano gli stralli provvisori e si riduceva il loro angolo sulla verticale (efficienza). Quando poi si dovevano varare i nasi, sul ponte saliva una gru gommata grande e armata (200 t totali circa), il cui posizionamento era alquanto delicato.

IL COMPIMENTO DELL'OPERA

Quando la Provincia di Pavia ha pubblicato il Bando per la progettazione dei lavori di completamento del ponte, gli scriventi vi hanno partecipato senza grande convinzione, sicuri che avrebbero presentato offerta anche i vari Professionisti che si erano occupati del ponte nel decennio precedente e che ovviamente partivano da una conoscenza molto più approfondita dell'opera. Con sorpresa di tutti, siamo rimasti aggiudicatari tra pochissimi partecipanti, con i precedenti attori probabilmente esasperati da una storia che si protraveva da troppo tempo e grande danno economico per tutti. Certo la situazione statica precaria del sistema di varo poteva aver contribuito a scoraggiare più di qualcuno.

Dopo aver lungamente ponderato la questione anche con l'ausilio di modelli di calcolo di buon livello, si è deciso di perseguire la seguente soluzione: considerato anche lo stato di corrosione dei trefoli, gli stralli sono stati lasciati al loro posto e sostituiti da altro sistema.

La necessità di lavorare in alveo per sistemare l'erosione in sponda sinistra e riaprire al deflusso in destra idrografica ha suggerito di varare i nasi dal basso approfittando dei periodi di magra e di isole temporanee funzionali comunque ai lavori anzidetti.

Dato che l'impalcato non era in grado di portarsi in avanzamento tra un pendino e il successivo, si è optato per un sostentamento intermedio di quest'ultimo mediante pendini provvisori ancorati sugli archi sovrastanti, semplici da installare ma soprattutto molto efficaci perché in verticale.

Approfittando della predisposizione per i cavi di precompressione definitiva nel cassone, si è applicata della precompressione a barre all'intradosso della soletta superiore. Non un gran quantitativo in quanto le predisposizioni esistenti non lo permettevano, ma comunque molto salutare per contrastare la prima onda di momenti negativi che si forma quando si vara a sbalzo una trave sostenuta da funi.

Con questo sistema sono stati varati i 25 m mancanti di impalcato. Le operazioni sono iniziate a primavera inoltrata e terminate ad Agosto con il getto del concio di chiusura. Ciascuno dei cinque conci da gettare è stato realizzato in tre fasi, controsolette, anime e soletta superiore. Ricordiamo che ciascun concio pesa più di 200 t. I conci di strallo - ne mancavano due da realizzare - hanno un diaframma interno e la posa in opera dei nasi dove si attaccano i pendini che sono solidarizzati mediante quattro cavi di precompressione trasversali. In definitiva, i lavori sono proceduti speditamente e senza intoppi una volta messe a pun-

to le diverse forniture, soprattutto il calcestruzzo dell'impalcato, che aveva specifiche molto stringenti tra cui una resistenza di classe C60/75 MPa.

La soluzione dei pendini provvisori si è rivelata tutto sommato semplice ed efficace. Il carico affidato a questi pendini era molto elevato: ciascuna coppia (15+15 trefoli) portava infatti circa 500 t. Avere questo supporto semplice e rigido, che ha peraltro ridotto da subito i momenti flettenti sugli archi, è stato fondamentale per varare queste 1.000 t sul fiume.

Al buon andamento del cantiere ha infine giovato la grande siccità della scorsa estate.

Varare i nasi dal basso e poi smontare i derrick una volta terminati i lavori è stato piuttosto indolore dato che il Ticino, regolato peraltro da una diga in territorio elvetico, ha avuto portate modeste per tutto il periodo esti-



10. Le due coppie di pendini provvisori

vo. C'è da dire che le operazioni di varo dal basso dei nasi su gru gommate richiedevano poche ore, per cui si sarebbe comunque trovato il momento per effettuarle anche in presenza di portate medie più consistenti.

Con la messa in tiro delle ultime due coppie di pendini definitivi si è smontato il sistema di strallatura provvisorio non tanto perché inutile - di fatto lo era diventato già con la messa in opera dei pendini provvisori -, ma perché introduceva una componente orizzontale di spinta nell'impalcato che andava eliminata prima di gettare il concio di chiusura.

Un'ultima lavorazione interessante che si è resa infatti necessaria è stato il ricentraggio degli appoggi dell'impalcato. Il ponte presentava molti appoggi deformati (spostamento relativo impalcato sottostrutture). Si ricorda che gli appoggi erano già stati tutti installati, sia quelli sulle campate di riva che quelli dei due archi, posizionati sulla parte in calcestruzzo di spiccato degli archi stessi. Questi spostamenti relativi erano dovuti a una somma di effetti, in parte anche contrastanti, che ne rendeva peraltro difficile l'interpretazione.

Questi i principali:

- l'impalcato aveva sviluppato parte del ritiro e anche parte della viscosità nelle campate di accesso già precomprese e quindi si era accorciato;
- la componente orizzontale del tiro degli stralli provvisori, per quanto in parte contrastata da alcuni ritegni e attriti dell'impalcato, si ritiene abbia contribuito allo spostamento di quest'ultimo;
- un contributo allo spostamento relativo è infine venuto dal tiro dei cavi di precompressione esterna che chiudono la spinta degli archi. Questi cavi sono stati inseriti su degli archi che non li prevedevano e pertanto parte di questo tiro finiva in fondazione. In altre parole, gli archi avrebbero dovuto presentare un punto di deviazione della linea d'asse dove questi cavi chiudevano la spinta e quindi proseguire più o meno verticali in fondazione. Non essendo questo il caso, parte del tiro - dato peraltro in due macrofasi - è finito sullo spiccato degli archi spostandoli di una quantità modesta ma apprezzabile.



11. Il varo degli ultimi nasi dal basso

La somma di queste componenti ha dato delle letture di spostamento sugli appoggi (in effetti isolatori in gomma) che non era di immediata interpretazione. I valori massimi assoluti, pari a circa 50 mm, non erano eccessivamente preoccupanti ma comunque non trascurabili ai fini del corretto funzionamento degli isolatori stessi pensati per lavorare su circa ± 100 mm.

Dato che tra i contributi anzidetti quelli più significativi erano senz'altro il ritiro e la viscosità, ovvero l'accorciamento subito dall'impalcato nel corso dei suoi quasi dieci anni di vita e la traslazione dovuta alla componente orizzontale del tiro degli stralli provvisori, si è visto che era possibile ridurre l'eccentricità degli appoggi, ovvero ottimizzarla anche in funzione delle condizioni climatiche al momento del getto del concio di chiusura (piena estate - massimo allungamento termico) imponendo una traslazione ai due tronchi di impalcato.

Tale traslazione è stata ottenuta piuttosto facilmente spingendo poche decine di tonnellate con dei martinetti a contrasto sulle spalle. Si calcoli che il peso complessivo dell'impalcato è superiore alle 20.000 t, anche se qui in effetti si spingevano due metà separatamente, e in questi casi ci si può aspettare di tutto (diciamo che nei vari a spinta si prende cautelativamente come forza orizzontale il 10% del peso).

Il grandissimo vantaggio degli appoggi in gomma è però proprio quello di garantire che non si abbiano sorprese: non c'è uno scorrimento relativo come negli appoggi acciaio teflon ma una deformazione della gomma il cui modulo a taglio, contrariamente all'attrito di primo distacco, si può stimare con un'ottima approssimazione.

CONCLUSIONI

La storia del ponte sul Ticino a Vigevano è veramente esemplare per tutta una serie di aspetti disfunzionali del mercato delle opere pubbliche italiane che gli scriventi hanno già avuto modo di mettere in luce su alcuni lavori pubblicati su questa testata [1]. Il primo di questi aspetti disfunzionali è il sistema di assegnazione delle gare di progettazione.

Troppe volte si fanno vincere partecipanti che hanno capacità di lobby molto superiori a quelle tecniche. È chiaro che questa è una cosa che succede in tutto il mondo, ma in Italia è particolarmente ricorrente.

Iniziamo ad aggiudicare le gare di progettazione a chi può dimostrare, "con foto", che ha realizzato opere simili senza problemi: eviteremo di trovarci di fronte a opere piene di ingenuità ed errori che richiedono successivamente un aggiustamento di tiro oneroso e faticoso.

Il secondo aspetto dirimente è quello di riuscire a scoraggiare i feroci ribassi che, per lungo tempo, sono stati la norma negli appalti medio-piccoli. Questo si dovrebbe poter ottenere con delle fidejussioni bancarie facilmente escutibili non appena inizi l'ammunizione delle varianti e delle migliorie che servono solo a recuperare il ribasso eccessivo.

È necessario, infine, rivedere la Legislazione delle opere pubbliche, soprattutto per quanto riguarda i poteri e gli strumenti decisionali del Cliente, sia in fase di gara che di esecuzione, di modo che non si finisca in situazioni di stallo dovute proprio alla debolezza del Cliente e alla lentezza della Giustizia amministrativa.

Detto questo, il ponte sul Ticino a Vigevano è finalmente terminato e pronto per essere messo in servizio non appena sarà realizzata la viabilità di accesso, appalto distinto da quello del ponte e della sistemazione d'alveo. Il ponte è un'opera piuttosto spettacolare e, una volta dimenticate tutte le sofferenze per

realizzarlo, potrà senz'altro portare un valore aggiunto agli utenti e allo splendido territorio circostante.

In una memoria di prossima uscita su questa testata saranno discussi gli aspetti più prettamente costruttivi, di cantierizzazione e di sistemazione finale d'alveo. ■

Bibliografia

- [1] M. Petrangeli - "Progettazione, appalto e costruzione", "Strade & Autostrade" n° 148 Luglio/Agosto 2021, pp. 91-97, ISSN 1723-2155.

⁽¹⁾ Professore, Presidente Integra Srl

⁽²⁾ Ingegnere Strutturista del Settore Ponti & Infrastrutture di Integra Srl

DATI TECNICI

Stazione Appaltante: Provincia di Pavia
Progetto esecutivo completamento: Prof. Marco Petrangeli di Integra Srl
Collaudo: Prof. Michele Mele
RUP: Ing. Barbara Galletti
Direzione dei Lavori: Ing. Marco Funari di Pegaso Ingegneria
Responsabile Sicurezza: Ing. Marco Martelletti
Direzione di Cantiere: Geom. Carlo Bruggi
Esecutori dei Lavori: Consorzio Pangea
Importo dei lavori: 4.450.000 Euro

Ringraziamenti

Al successo di quest'ultima fase dei lavori hanno contribuito, in maniera determinante, la Provincia di Pavia nelle figure degli Ingg. Piergiuseppe Dezza e Barbara Galletti. L'operazione è stata iniziata con il Presidente Vittorio Poma, con cui ricordiamo una amabile discussione sul progetto e sulla storia di questo bellissimo territorio.

La memoria storica e il filo conduttore dei lavori è stata tenuta con grande tatto e determinazione dalla DL di Pegaso Ingegneria, nella figura dell'Ing. Marco Funari. I lavori di completamento sono in corso di conclusione da parte del Consorzio Pangea di Pescara con lo stesso Direttore di Cantiere, Geom. Carlo Bruggi, che ha seguito anche le fasi precedenti dei lavori assicurando, anche su questo fronte, quella necessaria continuità e trasmissione del sapere.