

IL NUOVO PONTE SUL FIUME TORRE

IL VIADOTTO, UBICATO IN COMUNE DI CHIOPRIS - VISCONE (UD), È LUNGO OLTRE 660 M E CONSENTE DI SUPERARE IL FIUME TORRE RISOLVENDO LE CRITICITÀ IDRAULICHE DI UN PONTE PREESISTENTE, ORA DEMOLITO, CON UNA SOLUZIONE A TRAVATA CONTINUA A STRUTTURA MISTA ACCIAIO - CALCESTRUZZO A CASSONE CON PARETI RETICOLARI, CARATTERIZZATA DA UN PARTICOLARE PREGIO ESTETICO

Il nuovo viadotto sul fiume Torre fa parte del primo stralcio funzionale del progetto di collegamento veloce fra l'autostrada A4 (casello di Palmanova) e l'area del "triangolo della sedia" in comune di Manzano (UD). Sostituisce, con un tracciato ad asse rettilineo che corre parallelo ma traslato a nord di circa 17 m, un ponte preesistente costituito da una sequenza di campate in calcestruzzo armato in semplice appoggio di luce 15,75 m, che presentava evidenti criticità di tipo idraulico (ridotto interasse delle pile, forte sensibilità allo scalzamento delle fondazioni in alveo, presenza di un rilevato che limitava localmente la larghezza dell'alveo...) e funzionale (larghezza insufficiente ai fini della nuova classificazione stradale).

LE CARATTERISTICHE GENERALI

Il viadotto si sviluppa per una lunghezza complessiva di 665 m con schema di travata continua su 15 campate con luci generalmente di 47,5 m, salvo quelle terminali, che presentano luce di 32,5 m da un lato e due campate da 32,5 m + 30 m dall'altro; la dissimmetria di luci alle estremità del viadotto è stata introdotta in sede di progetto esecutivo allo scopo di salvaguardare l'integrità di un rilevato arginale. La sezione trasversale, larga complessivamente 15,80 m (figura 1), ospita la carreggiata stradale larga 10,50 m (categoria C1 extraurbana secondaria), protetta da due barriere tipo new-jersey metallico H4 bordo ponte; ai lati della carreggiata sono previsti, da una parte, un marciapiede largo 1,45 m e, dall'altra, una pista ciclabile larga 2,85 m. L'arredo stradale è completato da due velette laterali che fungono sia da parapetto esterno a marciapiede e pista ciclabile sia, scendendo con andamento curvilineo al di sotto della soletta, da mascheratura delle tubazioni impiantistiche appese all'intradosso della soletta.

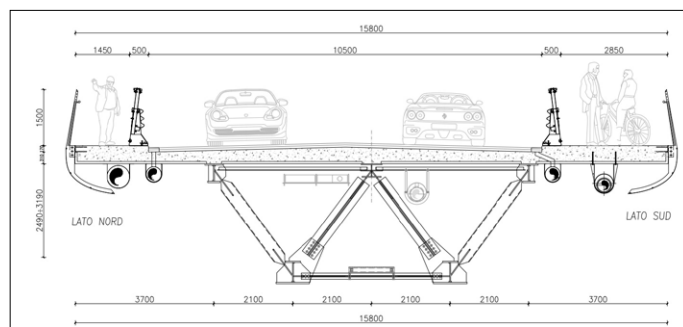
LA SOLUZIONE STRUTTURALE DELL'IMPALCATO

Dal punto di vista strutturale, si tratta di un impalcato a travata continua con sezione mista acciaio - calcestruzzo a via superiore, con la parte metallica a "cassone" torsio-rigido trapezio caratterizzato da pareti a struttura reticolare spaziale e altezza variabile da 2,50 m in campata a 3,20 m in pila.

La soletta di impalcato ha spessore minimo 31 cm, di cui 6 cm di predalle autoportante e 25 cm di getto di completamento in opera, crescente fino a 38 cm in mezzzeria per effetto della pendenza trasversale conferita col getto. Lo schema statico è quello di lastra appoggiata longitudinalmente sulle travi reticolari e su una trave rompitratta, con luci 4,20 m, e sbalzante per 3,70 m da entrambi i lati.

Il cassone metallico a pareti reticolari (figure 2 e 3) è composto dai seguenti elementi:

- i correnti superiori e inferiori a doppio T fortemente dissimmetrici composti per saldatura; l'interasse costante dei correnti superiori è 8,40 m, mentre quello dei correnti inferiori



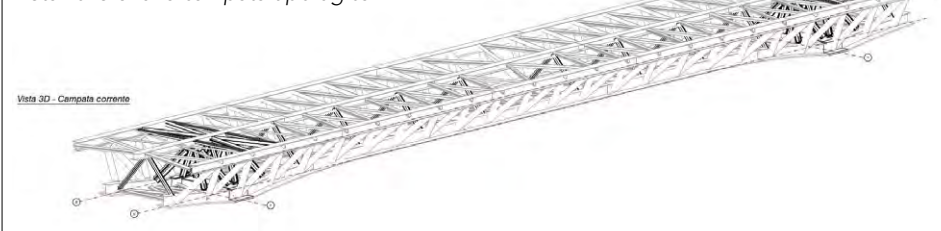
1. Sezione trasversale tipologica del viadotto

Il nuovo viadotto sul fiume Torre, lungo 665 m, è un'opera chiave per il collegamento veloce A4-Manzano, in provincia di Udine. Sostituisce un ponte preesistente con significative criticità idrauliche (rischio di scalzamento fondazioni) e funzionali (larghezza insufficiente). Il viadotto, una travata continua su 15 campate (luci fino a 47,5 m), include una carreggiata di 10,50 m, un marciapiede e una pista ciclabile, migliorando la sicurezza e l'efficienza. La struttura è un impalcato misto acciaio-calcestruzzo con un cassone metallico torsio-rigido a pareti reticolari spaziali e altezza variabile. L'opera è isolata sismicamente tramite appoggi elastomerici. Il varo di punta progressivo è stato scelto per le complesse fasi costruttive, gestendo sfide legate al fiume e alla geometria variabile. Dettagliate modellazioni agli elementi finiti hanno permesso analisi di fatica e comportamento. Le successive prove di collaudo hanno pienamente confermato le previsioni teoriche, validando l'ingegneria avanzata del progetto.

è 4,20 m. Attraverso la piolatura dei correnti superiori alla soletta si realizza la collaborazione fra la travatura reticolare metallica e la soletta stessa; la collaborazione si esplica anche nell'assorbimento degli effetti locali generati dai carichi concentrati localizzati fra i nodi superiori della reticolare;

- le aste di parete in elementi tubolari di diametro esterno variabile fra 368 mm e 323,9 mm e spessore variabile fra 25 mm e 16 mm per le campate tipiche, rastremati alle estremità per confluire sui nodi attraverso dei piatti così da generare una connessione schematizzabile come una cerniera sul piano trasversale. L'inclinazione delle pareti non è costante a causa della variazione di altezza; l'angolo sulla verticale sul piano trasversale varia da circa 45° nelle zone interne di campata a circa 38° nella sezione di pila. L'interasse dei nodi è di 2,50 m su entrambi i correnti;
- la controventatura inferiore costituita da una trama a croce di S. Andrea di

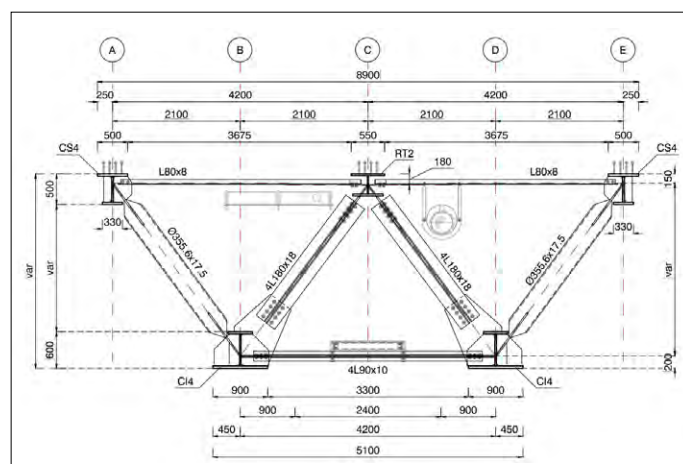
2. Visualizzazione tridimensionale delle strutture metalliche di una campata tipologica



4. Concio di parete reticolare saldato in officina



5. Nodo tipico fra corrente inferiore, aste di parete e diaframmi della travatura reticolare di parete



3. Sezione trasversale tipologica del cassone metallico a pareti reticolari

angolari a lati uguali disposti in numero di quattro per ciascuna asta. La controventatura inferiore "chiude" il cassone, conferendo alla struttura un comportamento torsio-rigido;

- i traversi verticali posti a interasse di 5 m (o 7,5 m) che hanno la funzione sia di stabilizzare la sezione contro la perdita di forma per carichi globalmente eccentrici sia di fornire sostegno alla trave rompitratta. Si tratta di elementi costituiti da coppie di angolari;
- una trave rompitratta intermedia fra i due correnti superiori principali che fornisce un appoggio alla soletta interrompendone la luce. Si tratta di un profilo a doppio T ottenuto per composizione saldata, che ha schema continuo sulla luce generalmente di 5 m.

I nodi delle pareti reticolari, che sono state realizzate per conci in officina, sono tutti saldati (figure 4 e 5); sono invece bullonate le giunzioni dei controventi orizzontali e dei diaframmi, per facilitare l'assieme in cantiere. È stato comunque effettuato un pre-assemblaggio in officina dei conci principali (figura 6).



6. Premontaggio di un concio completo in officina

IL VINCOLAMENTO, LE PILE E LE FONDAZIONI

Il viadotto è isolato sismicamente mediante appoggi isolatori elastomerici, che permettono di assorbire i carichi orizzontali e verticali. In condizioni sismiche consentono di isolare la sovrastruttura dal moto del terreno e, grazie alla loro capacità di smorzamento, riducono le azioni inerziali a cui le pile (e le relative fondazioni) sono chiamate a rispondere. Per ottimizzare il comportamento di insieme della struttura, gli appoggi di estremità sono accoppiati a un classico appoggio in acciaio-PTFE a comportamento unidirezionale: in questo modo non risentono degli elevati spostamenti indotti dalla variazione termica uniforme, contenendo l'azione sulle sottostanti strutture e limitando le dimensioni dell'appoggio stesso. Le pile hanno un fusto a sezione circolare di dia-



7. Pila tipologica



8A e 8B. Fasi di varo di punta con ausilio di rulliere e avambecco. Si nota la presenza del ponte pre-esistente, lasciato in esercizio durante la costruzione

metro 3,25 m, sormontato in sommità da un massiccio pulvino di testa che si sviluppa in verticale per 4,3 m e si allarga progressivamente fino a 7 m a ospitare gli appoggi dell'impalcato (figura 7).

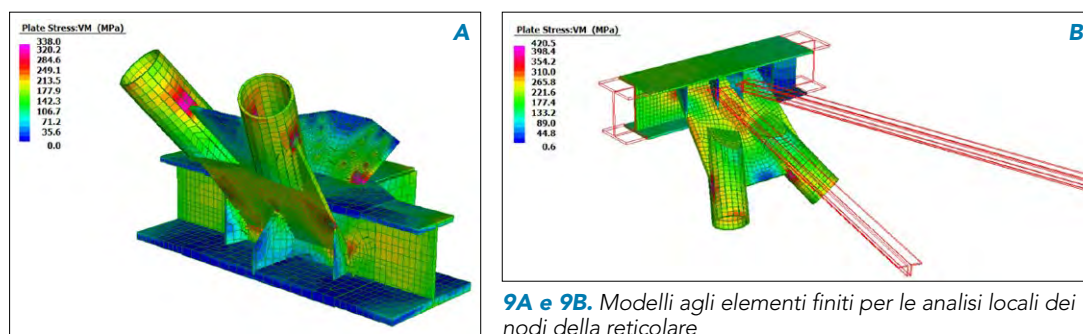
La fondazione è costituita da un palo a sezione sostanzialmente anulare di diametro esterno pari a 2,64 m e interno di 1,26 m, realizzato con 12 pali secanti di diametro 750 mm disposti in modo regolare lungo la circonferenza. Il tratto superiore della fondazione, potenzialmente esposto ai fenomeni erosivi (scalzamento), è protetto mediante l'uso di una serie di elementi anulari in c.a. prefabbricati, ciascuno alto fino a 2,35 m, collegati tra loro mediante barre di precompressione. La lunghezza complessiva dei pali arriva a 29 m.

LE FASI COSTRUTTIVE

Per il montaggio del ponte si è optato per un varo di punta, caratterizzato dall'assemblaggio progressivo delle campate a tergo di una spalla, e dalla spinta longitudinale, anch'essa per step successivi, dell'impalcato che avanza verso la sua posizione definitiva scorrendo su apposite rulliere poste in pila, spinto da un argano ancorato in campo travi. Il superamento dello sbalzo massimo senza eccessive frecce o sollecitazioni è reso possibile dall'adozione di un avambecco provvisorio reticolare.

Tale procedura ha consentito di superare tutte le incognite e le criticità legate all'opzione di montaggio del progetto di gara, che prevedeva il sollevamento mediante gru di macro-conci, pre-assemblati a tergo di una spalla e trasferiti nella posizione finale mediante carrelloni gommati. Le incognite e le possibili criticità erano ovviamente legate al regime idraulico del fiume Torre e delle possibili piene, che avrebbero messo a rischio sia le attrezzature sia le tempistiche operative (figure 8A e 8B).

La maggiore complicazione del varo di punta - altrimenti agevole in considerazione del tracciato piano-altimetrico sostanzialmente piano e rettilineo e delle luci non eccessive - era costituita in questo caso dalla altezza variabile della sezione e quindi dall'intradosso, che costituisce il piano di scorrimento, che non è piano. Nel caso in esame, il ritmo costante delle variazioni di altezza e l'interasse costante delle pile ha evitato l'insorgere di possibili "distorsioni imposte"; in campo di montaggio, inve-



ce, la variabilità di altezza è stata gestita con una carrelliera di traslazione che consentiva anche la gestione della variazione del piano di intradosso. Rimane tuttavia l'incremento di tiro che risulta necessario per superare, oltre agli attriti, anche la pendenza locale dell'intradosso.

Data la lunghezza del ponte, è stato effettuato il varo da entrambe le estremità, dimezzando così l'entità della spinta e il numero di rulliere necessarie.

LE PRINCIPALI TEMATICHE DI PROGETTAZIONE

Il calcolo delle sollecitazioni e delle deformazioni avviene implementando un modello tridimensionale a elementi finiti dell'impalcato. La schematizzazione prevede l'utilizzo di elementi mono e bi-dimensionali accoppiati: i primi sono utilizzati per modellare le aste in acciaio sotto forma di truss o beam, a seconda che essi trasmettano solo azioni assiali o tutte le sollecitazioni, mentre i secondi schematizzano la soletta in calcestruzzo e sono dotati di un opportuno off-set che ne colloca il baricentro nella posizione corretta rispetto ai correnti superiori della trave reticolare. I correnti superiori e la soletta sono di-

per quanto riguarda la formazione della sezione resistente e gli effetti del comportamento reologico a lungo termine del calcestruzzo. Vista la complessità esecutiva dei nodi delle pareti reticolari, nei quali confluiscono profili a doppio T ed elementi tubolari oltre ai traversi e ai controventi, sono stati messi a punto alcuni modelli locali agli elementi finiti che hanno consentito di indagare con adeguato dettaglio la distribuzione delle tensioni (figure 9A e 9B).

Fra le tematiche di maggiore interesse e delicatezza vi è la sensibilità ai fenomeni di fatica della tipologia di attacco del tubo al nodo mediante un piatto saldato diametralmente e, in particolare, la presenza e la forma dello slot di scarico al termine del piatto. Si tratta di un tema del quale le normative si occupano in modo semplificato, spesso trascurando i parametri che

realmente influenzano il valore di resistenza a fatica. In quest'ottica, la questione è stata approfondita mediante una modellazione tridimensionale agli elementi finiti, secondo l'approccio basato sul "Notch stress method", di un giunto tipologico dell'impalcato in campo sia elastico sia elasto-plastico. Lo studio è sfociato in una tesi di laurea (E. Cunico: "Modellazione tridimensionale di connessioni saldate per elementi tubolari", a.a. 2020-2021, relatore prof. G. Mazzucco, correlatore M. Organte, Università di Padova).



10. Vista dell'interno del cassone; si notano la passerella di ispezione appoggiata sulla controventatura inferiore e le tubazioni appese



11. Ulteriore scorcio dell'orditura metallica e della veletta architettonica di bordo



12. Vista complessiva del viadotto in esercizio dall'alveo dopo la demolizione del ponte pre-esistente

LE PROVE SPERIMENTALI DI COLLAUDO DELL'OPERA

In considerazione della complessità dello schema strutturale della sezione, le operazioni di prova di carico sono state particolarmente accurate e sono consistite in:

- 1) generazione sull'impalcato di 35 configurazioni di carico, costituite da un massimo di 12 mezzi d'opera del peso complessivo medio di 460 kN (ottenuti mediante zavorramento a piè d'opera mediante blocchi di calcestruzzo). Ciascuna configurazione obbediva ai seguenti criteri:
 - a) generare momenti flettenti positivi in campata e negativi sulle pile prossimi a quelli di progetto;
 - b) su alcune campate, generare i massimi sforzi assiali sulle aste tubolari di parete, corrispondenti a condizione di massimo taglio e concomitante torsione.
 Oltre alla consueta rilevazione delle frecce verticali in mezzzeria e ai quarti delle campate, sono state strumentate mediante estensimetri alcune aste di parete sia in prossimità del nodo, per cogliere eventuali alterazioni dello stato piano di tensione dovute all'introduzione localizzata delle forze, sia a metà dell'asta, per misurare sperimentalmente lo sforzo normale e gli eventuali effetti di momenti secondari;
- 2) caratterizzazione dinamica, con individuazione dei principali modi di vibrare; essendo il ponte su appoggi isolatori a rigidità relativamente bassa, i primi due modi di vibrare sono trasversali con frequenze attorno a 1,6 Hz.

Tutte le prove hanno dato risultati corrispondenti alle valutazioni previsionali teoriche. ■

DATI TECNICI

Finanziamento: Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

Stazione appaltante: Commissario Delegato per l'emergenza della mobilità riguardante la A4 (VE-TS) e il raccordo Villesse-Gorizia

Impresa esecutrice: A.T.I. Icop SpA - Omba SpA

Progetto definitivo: A.T.I. fra Bonifica SpA - Studio Altieri SpA - SIS Srl - ICONIA S.r.l - D'Orlando E Associati Srl - Inarco Srl - Serteco SpA

Progetto esecutivo: R.T.P. fra AI Engineering - Alpe Progetti - Sist Studio Ingegneria Strutturale - AK Ingegneria Geotecnica

Progetto strutture in c.a.: ing. Francesco Alessandrini (Alpe Progetti)

Progetto strutture metalliche: ing. Mario Organte, ing. Daniele Minorello (SIST)

Collaudo: ing. Denis Padoani (Commissario Delegato)

RUP: ing. Paolo Perco (Commissario Delegato)

Direttore dei lavori: ing. Alberto Robba (Commissario Delegato)

CSE: geom. Marco Sbaiz (Commissario Delegato)

Esecutore opere in c.a.: Icop SpA

Esecutore opere metalliche: Omba SpA, Bit SpA (subcontraente).

Data apertura al traffico: giugno 2024

⁽¹⁾ SIST, Studio Ingegneria Strutturale Organte & Bortot