



# Lo strallato di Ostellato



Leggi i contenuti  
multimediali su  
[www.stradeeautostrade.it](http://www.stradeeautostrade.it)  
Segui le istruzioni di pag. 4.

*LA COSTRUZIONE DEL NUOVO PONTE STRADALE IN LOCALITÀ OSTELLATO (FE) FA PARTE DI UNA SERIE D'INTERVENTI FINALIZZATI ALL'ADEGUAMENTO ALLA CLASSE V EUROPEA DI NAVIGABILITÀ DEL CORSO D'ACQUA "PO DI VOLANO" CHE COLLEGA IL FIUME PO CON IL MARE ADRIATICO, DALLA CITTÀ DI FERRARA AL PORTO GARIBALDI NEL COMUNE DI COMACCHIO*

Marco Petrangeli\*

Massimo Pietrantonii\*\*

Gaetano Usai\*\*\*

L'intervento richiede una generale risagomatura del canale navigabile ed una sostituzione dei ponti esistenti perché possano transitare natanti per i quali è richiesto un franco netto pari a 6,80 m sopra il pelo libero dell'acqua. La strada interessata dal nuovo ponte è classificata come extraurbana secondaria di categoria C1 con due corsie da 3,75 m più banchine laterali da 1,50 m per una larghezza complessiva di piattaforma stradale di 10,50 m.

Sono previsti anche due marciapiedi di cui uno, lato Nord, di tipo ciclopedonale.

Il nuovo ponte viene realizzato a fianco all'esistente che deve restare in esercizio fino al completamento e messa in funzione della nuova opera.

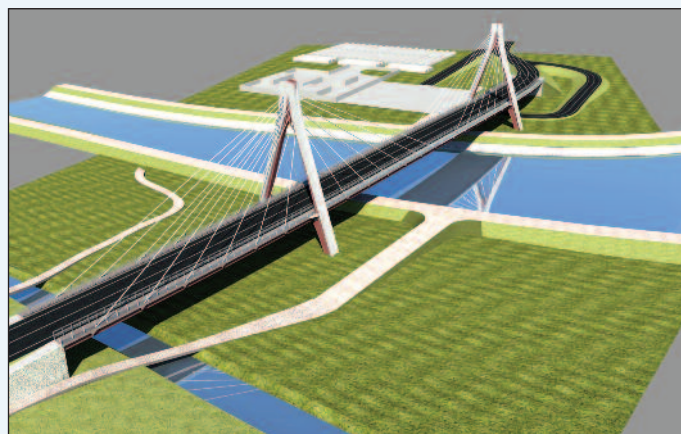
Il progetto posto a base di gara dall'Amministrazione provinciale di Ferrara prevedeva un ponte strallato sul canale navigabile, con campata centrale da 95 m e due campate di riva da 26 m ciascuna, più due viadotti laterali d'accesso da 50 m ciascuno. In entrambi i casi erano previsti impalcati in soluzione mista acciaio-clc.

## L'impostazione del progetto di variante

L'analisi critica del progetto a base di gara ha condotto il Progettista, in fase di impostazione della soluzione costruttiva, ad una revisione sostanziale dell'opera.

Pur mantenendo la scelta di tipologia strallata del ponte, si è optato per una sola struttura a tre campate, staticamente più efficace e visivamente meno impattante della precedente.

Una particolare peculiarità dell'opera è costituita dalla curvatura planimetrica dell'impalcato ( $R = 1.000$  m) richiesta da esigenze di tracciato. Questo introduce una asimmetria nella statica del sistema ed una leggera componente centripeta del tiro degli stralli.



1. Un rendering 3D della soluzione per il nuovo ponte di Ostellato





2. L'impalcato

### L'impalcato

Per l'impalcato si è adottata la soluzione a struttura mista, con due travi di bordo a parete piena di 120 cm di altezza e trasversi, anch'essi a parete piena posti a 4,5 m di interasse. Questa soluzione è oggi molto diffusa in quanto permette ampia flessibilità nella scelta del sistema costruttivo, velocità di realizzazione e ottimo comportamento strutturale, soprattutto rispetto a momenti positivi che sono quelli prevalentemente indotti dal traffico veicolare su questo tipo di strutture.

Considerato che l'ancoraggio degli stralli avviene in adiacenza alle travi metalliche, queste hanno la stessa inclinazione degli stralli in modo da ottimizzare tali ancoraggi riducendo le sollecitazioni parassite dovute al disassamento tra anime delle travi e piano degli stralli. Per ottimizzare il comportamento sismico della struttura, l'impalcato è vincolato con dei ritegni elastici in gomma alle due antenne, riducendone quindi la risposta e distribuendo le forze tra le due.

Questa soluzione permette inoltre di assorbire le dilatazioni termiche senza introdurre asimmetrie nella risposta. Gli elementi di ritegno sono ispezionabili e sostituibili dal piano stradale.



4. Un'antenna quasi ultimata



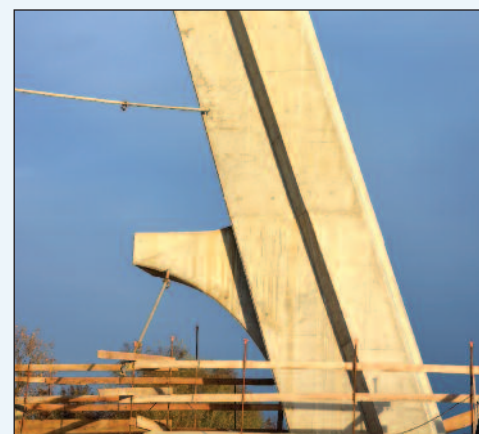
3. Un dettaglio dell'impalcato

### Le antenne

Le antenne sono in calcestruzzo con una conformazione ad Y invertita. La sezione degli steli è nervata per conferire maggiore slancio a questi elementi, ma anche per ottimizzare la distribuzione di resistenza e rigidità in funzione delle sollecitazioni prevalenti. In basso, dove sono maggiori i momenti si è aumentato il momento di inerzia e la resistenza con una nervatura più pro-

nunciata; in alto la sezione è invece praticamente rettangolare per permettere un più facile inserimento degli elementi di ancoraggio. Dopo aver valutato diverse soluzioni, per le antenne si è infine optato per una costruzione tradizionale con casseri a ripresa movimentati da gru a torre collegate alle stesse antenne. Questa soluzione è la più economica e permette comunque una buona flessibilità nella realizzazione di geometrie complesse. Le soluzioni in acciaio, anche riempite di calcestruzzo, sono senz'altro interessanti ma sono tendenzialmente più costose, salvo casi in cui condizioni locali ne rendano obbligatorio l'impiego.

Il calcestruzzo delle antenne sarà protetto con apposita verniciatura. La pigmentazione e la finitura sono attualmente oggetto di confronto con l'Amministrazione e la Sovrintendenza onde individuare la soluzione più efficace. L'orientamento è per una soluzione semilucida non coprente che richiami i colori del luogo ma che abbia nella luminosità un tratto distintivo di modernità.



5. Un dettaglio costruttivo dell'antenna



## Le fondazioni

Il sottosuolo del nuovo ponte di Ostellato è costituito da una potente e complessa successione di terreni di natura alluvionale, formata prevalentemente da fitte e ripetute alternanze di strati e lenti di limi argillosi e sabbiosi, con intercalazioni di materiali torbosi (anche con contenuto di metano) e di sabbie fini; alla profondità di 40 m è presente un potente banco di sabbie grossolane molto addensate. Per la ricostruzione del modello geotecnico sono state eseguite due campagne di indagini, consistite complessivamente in quattro sondaggi profondi da 40 a 50 m con prelievo di campioni per le prove di laboratorio e prove SPT, 5 prove penetrometriche statiche continue, con prove di dissipazione e misura delle velocità delle onde di taglio con punta sismica. A seguito dell'evento sismico del 2012 che ha colpito il territorio emiliano proprio durante le fasi di progettazione esecutiva, si è proceduto anche ad una revisione della vulnerabilità sismica della struttura e, per quanto riguarda gli aspetti geotecnici, si è proceduto ad una accurata analisi sul rischio di liquefazione dei terreni, fenomeno verificatosi in alcuni siti proprio durante l'ultimo territorio emiliano.

La completa ricostruzione del modello geotecnico di sottosuolo ha permesso di ottimizzare le fondazioni rispetto alle previsioni del progetto di gara, e si è deciso di aumentare il diametro dei pali per ottenere una maggiore resistenza a taglio e approfondirne la lunghezza in modo da intestarsi nello strato sabbioso profondo molto addensato. In definitiva, per le fondazioni delle spalle e delle antenne del ponte strallato si è deciso di impostare le fondazioni su pali del grande diametro di 1.500 mm e di lunghezza 44 m per le antenne e la spalla B lato Ostellato e 45 m per la spalla A. Le prove di carico eseguito nel corso dei lavori, spinte fino a 8.000 kN di carico, hanno dimostrato la correttezza delle assunzioni progettuali.

Ulteriori modifiche e ottimizzazioni suggerite dall'approfondimento delle conoscenze della situazione geotecnica di sottosuolo sono consistite nell'adozione di fondazioni profonde per i muri d'ala e di raccordo alla spalla A del ponte e nell'inserimento di "geodreni" alla base dei rilevati con l'obiettivo di accelerare il decorso dei cedimenti nel tempo in modo da renderli compatibili con le fasi costruttive. Le coppie di plinti posti alla base di ciascuna antenna sono collegati da un tirante in c.a. precompresso che assorbe la componente orizzontale dello sforzo normale agente alla base dei fusti. Tale tirante è costituito da un elemento a sezione rettangolare cava gettato in opera, internamente ispezionabile, precompresso con 6 cavi post-tesi ancorati direttamente sulle pareti esterne dei plinti.



6. L'armatura di un plinto di fondazione delle antenne

## Gli stralli e gli ancoraggi

Per gli stralli si è adottata una tecnologia a trefoli. Questa soluzione ha tanti vantaggi tra i quali sono senz'altro da annoverarsi l'economicità, la durabilità ed una certa flessibilità di installazione e tesatura.

Il ponte ha  $6 \times 2 \times 4 = 48$  stralli, 40 da 19 trefoli e 8 da 31 trefoli. Gli ancoraggi sono entrambi in calcestruzzo. Sulla testa antenna sono state annegate delle dime metalliche a cui sono saldati tutti gli elementi che costituiscono l'ancoraggio. Queste dime, oltre a facilitare il posizionamento degli stralli, servono anche da contro cassero per ricavare le nicchie per l'alloggiamento delle testate.



7. Dettagli degli ancoraggi dell'impalcato

Sull'impalcato l'ancoraggio è ricavato con dei ringrossi in calcestruzzo collegati sia ai martelli della soletta sia alle travi mediante connettori Nelson. Questi elementi hanno una armatura tradizionale, sostanzialmente delle staffe con effetto di confinamento e delle barre di collegamento alla armatura della soletta ma, al fine di migliorarne tenacità e resistenza alla fessurazione, sono realizzati con calcestruzzo fibrorinforzato con  $50 \text{ kg/m}^3$  di fibre di acciaio uncinato ad alta resistenza ( $>1.000 \text{ MPa}$ ) con lunghezza 50 mm e rapporto di aspetto 80. Questa soluzione permette di contenere l'armatura tradizionale ai minimi strettamente necessari facilitando realizzazione e getto.



8. Gli ancoraggi degli stralli in testa antenna





Dato il tipo di sollecitazioni presenti in questi elementi, tipicamente taglio con gradienti molto elevati, l'armatura tradizionale è poco efficace in quanto non dispone di adeguata lunghezza di ancoraggio e trasferimento per cui, nonostante se ne metta in grande quantità, si sono avuti in passato diversi casi di fessurazione in opere di questo tipo con ancoraggi in calcestruzzo. Onde evitare questi problemi, in molte realizzazioni recenti si adottano ancoraggi interamente in carpenteria metallica. Anche questa soluzione non è però scevra di controindicazioni, tra le quali si ricordano senz'altro la scarsa tolleranza, il costo elevato ma anche problemi di fatica nelle saldature.

Nello specifico dell'opera in questione, tali ancoraggi sarebbero dovuti essere uno diverso dall'altro, anche se di poco, per via della curvatura planimetrica dell'opera. Con la soluzione in calcestruzzo questa variabilità è stata assorbita con il posizionamento dei tubi di ancoraggio all'interno dei ringrossi per i quali le tipologie sono state ridotte sostanzialmente a sei.

Gli scriventi ritengono che questo impiego del fibrorinforzato nelle zone di ancoraggio ed in tutte quelle parti dove il gradiente di tensioni e deformazioni è molto elevato costituisca l'impiego ottimale di questo tipo di materiale.

### Il montaggio dell'impalcato

L'impalcato è stato montato in opera mediante sollevamento con autogru e saldatura in quota di macroconci preassemblati a piè d'opera. Questa soluzione, dove impiegabile, è facile ed economica e permette di evitare problemi di non conformità geometrica dell'opera. Data infatti la snellezza dell'impalcato e la man-

canza di punti di ancoraggio fissi se non con l'ultima coppia di stralli di riva in prossimità delle spalle, eventuali costruzioni a sbalzo richiedono molta attenzione nel rispettare la geometria di progetto con una attenzione particolare alla fasi di messa in tensione degli stralli che devono contemperare esigenze tecnologiche, tempistiche di cantiere e compatibilità statica.

Potendo invece montare l'impalcato su puntelli provvisori e quindi saldarlo tutto prima di gettare la soletta e quindi tesare gli stralli, si riesce ad avere un processo costruttivo molto più semplice e spedito.

Questi aspetti realizzativi saranno per altro oggetto di un articolo specifico su questa rivista in un prossimo numero in uscita nei mesi autunnali in quanto la messa in opera degli stralli dovrebbe essere contemporanea alla stampa di questo articolo. ■

\* *Progettista e Professore di Tecnica delle Costruzioni dell'Università "G. D'Annunzio" di Pescara*

\*\* *Responsabile Geologia e Geotecnica di Integra Srl*

\*\*\* *Responsabile Strutture di Integra Srl*

#### DATI TECNICI

**Progettazione esecutiva:** Integra Srl di Roma

**Responsabile del Procedimento:** Ing. Mauro Monti della Provincia di Ferrara

**Direttore dei Lavori:** Ing. Giuliano Mezzadri

**Collaudatore statico:** Ing. Francesco Mascellani

**Impresa:** ATI Coop. Costruzioni, Coop. Il Progresso

**Settore Commerciale Coop Costruzioni:** Geom. Gianfranco Minarelli, Ing. Ivo Baldassarri, Ing. Nicola Potenza

**Settore Produzione Coop Costruzioni:** Geom. Roberto Cappi, Geom. Tito Gamba

**Carpenteria metallica:** Taddei SpA di Poggio Picense (AQ)

**Stralli e ancoraggi:** Tensacciai Srl



9. Il varo del concio centrale