

INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA PER IL PONTE SUL PO

IL PROGETTO DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA E DI MIGLIORAMENTO STRUTTURALE DEL PONTE SUL FIUME PO, TRA I COMUNI DI DOSOLO (MN) E GUASTALLA (RE)

Il ponte sul fiume Po, tra i comuni di Dosolo (MN) e Guastalla (RE), svolge un ruolo significativo per il collegamento tra le provincie di Reggio Emilia e Mantova e si inserisce tra quello di Boretto (RE) - Viadana (MN), circa 10 km a monte, e di Borgoforte (MN), 20 km a valle.

Gli interventi previsti per il ponte (suddivisi in due lotti) consistono nel risanamento corticale delle superfici in calcestruzzo, e nella messa in sicurezza e miglioramento statico dell'opera, al fine di aumentarne le prestazioni rispetto alle attuali esigenze funzionali del traffico.



2. Un tratto di ponte in territorio reggiano, golena destra



1. Un tratto di ponte in territorio mantovano, alveo di magra e golena sinistra

DESCRIZIONE SINTETICA DEL PONTE

Il ponte è costituito da un tratto in alveo (tratto mantovano), della lunghezza di circa 680 m, e da un tratto in golena in destra del fiume (tratto reggiano), di 420 m. La larghezza complessiva dell'impalcato è di circa 10 m, mentre quella della carreggiata è pari a 7,50 m. Il tratto in alveo di morbida ricade esclusivamente nel territorio mantovano. Il ponte ha lunghezza complessiva di circa 1.100 m. Entrambi i tratti sono caratterizzati da uno schema statico tipo Gerber, con impalcato a mensola su pila e impalcato tampone. Le strutture in alveo (tratto mantovano) sono formate da dieci campate di 62 m tra gli assi, ad eccezione della prima di 61 m e della decima di circa 51 m. Le travi a mensola sopra le pile hanno lunghezza di circa 30 m, mentre quelle tampone, interposte, sono di 40 m (la prima a cassone di 50 m) (Figura 1).



3. La fase costruttiva in una foto d'epoca

Le travi sono realizzate in c.a.p. post teso. La soletta è invece realizzata in c.a.o. sopra casseri a perdere prefabbricati.

Le pile intermedie sono a telaio, costituite da una doppia stilata di fusti del diametro di 120 cm, che sorreggono il traverso di collegamento con funzioni di pulvino. La distanza tra gli assi delle stilate è di 8 metri. Le fondazioni principali in alveo sono costituite da tre pali del diametro di 150 cm, in continuità con i fusti delle pile, aventi lunghezza di circa 50 m.

Le strutture in golena destra (tratto reggiano) sono costituite da 17 campate di 25 m (tra gli assi delle pile) ad eccezione della prima, di circa 22 m. L'impalcato è composto da travi in c.a.o. poste ad interasse di 2,5 m che presentano ringrossi in corrispondenza dei traversi. Il sistema di collegamento delle travi è quello Gerber. Le 16 pile di sostegno sono costituite da due setti collegati superiormente dal pulvino e inferiormente da una trave di collegamento (Figura 2).

Il manufatto è stato realizzato dalla Società Appalti Lavori Carpenterie (S.A.L.C.) nella seconda metà degli anni Sessanta del secolo scorso (Figura 3), la progettazione originaria dell'opera è stata condotta secondo la Circolare Ministeriale n° 1547 del 17 Maggio 1965. Il ponte è stato sottoposto ad una serie di interventi di manutenzione locale tra il 1995 e i primi anni 2000. Attualmente sono in corso gli interventi di messa in sicurezza attualmente in corso (1° Lotto d'intervento).

INDAGINI E PROVE ESEGUITE

Nel corso degli anni sono state eseguite diverse campagne di indagine: da quelle geognostiche e geofisiche per la caratterizzazione del sito, alla verifica del sistema fondazionale mediante carotaggi in asse ai pali e prove soniche.



4. Lo stato fessurativo delle selle Gerber

È stata inoltre eseguita un'estesa campagna di indagine per verificare le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo e dell'acciaio. Non ultime, le prove dinamiche e di carico, al fine di verificare il comportamento globale dell'opera e per calibrare i modelli FEM strutturali. Non essendo disponibili le relazioni di calcolo e i disegni costruttivi delle travi precomprese post-tese (tratto mantovano), si è resa neces-

saria l'esecuzione di:

- verifica del tracciato dei cavi di precompressione mediante sistema georadar;
- ispezione dello stato di conservazione dei cavi mediante video endoscopie;
- scarifiche superficiali per la verifica della dimensione e del numero dei cavi;
- prove di detensionamento dei fili;
- prove di rilascio tensionale del calcestruzzo.

L'insieme delle prove eseguite ha permesso di raggiungere un livello di conoscenza pari a LC2, secondo quanto definito in [1]. Per quanto riguarda i risultati delle ispezioni si segnala, preliminarmente all'esecuzione del 1° Lotto d'intervento, l'esistenza di fessure a 45° a partire dalla sommità della sella portante (Figura 4), causate da non adeguata armatura lenta e da assenza di cavi di precompressione all'interno dell'elemento.

IL 1° LOTTO D'INTERVENTO: UNA SINTESI DEGLI INTERVENTI DI RISANAMENTO E MESSA IN SICUREZZA

Il primo lotto di intervento, del valore di circa 2.650.000 Euro, è finanziato con Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n° 27 del 01/02/2018, registrato in data 14 Marzo 2018. Nello specifico, l'art. 15-quater del D.L. 148 del 16/10/2017 è stato convertito dalla Legge n° 172 del 04/12/2017 concernente "Interventi di emergenza per infrastrutture stradali insistenti sul fiume Po".



5. Una foto post-operam del risanamento corticale della campata 1, spalla sinistra (1° Lotto di intervento)



6. L'intervento di messa in sicurezza delle selle Gerber (1° Lotto di intervento)

A seguire, è avvenuta l'ispezione visiva primaria con un'analisi dello stato di conservazione dell'opera e del suo effettivo stato di deterioramento.

Il progetto del 1° Lotto d'intervento è stato sviluppato con l'obiettivo di individuare un'azione di messa in sicurezza del manufatto, immediatamente cantierabile, in particolare finalizzato a:

- risanamento corticale degli elementi in calcestruzzo armato (Figura 5);
- rinforzo e messa in sicurezza delle selle Gerber, nel tratto mantovano, sopra l'alveo di magra (Figura 6);
- ripristino dei giunti di dilatazione deteriorati e del sistema di raccolta delle acque piovane;
- analisi dello stato di consistenza degli appoggi, con identificazione e sostituzione di quelli maggiormente ammalorati.

L'intervento di rinforzo della sella portante (Figura 6) è avvenuto mediante l'applicazione di una trave in acciaio all'intradosso della stessa.

La soluzione individuata ha portato principalmente due vantaggi:

- 1) il rinforzo va a sgravare completamente la sella esistente;
- 2) la posa della carpenteria della nuova sella in acciaio può avvenire dal basso senza necessità di sollevare l'impalcato, garantendo sempre l'apertura al traffico (a senso unico alternato) per tutta la durata dei lavori.

Le verifiche di sicurezza

La progettazione definitiva e quella esecutiva sono state eseguite nel 2019, prima dell'uscita e dell'entrata in vigore delle LLGG MIT 2020 [2]; pertanto, le verifiche di sicurezza sono state eseguite considerando quanto previsto dalle NTC 2018 [1] nonché dalle [3].

I carichi da traffico sono stati combinati allo SLU, con peso proprio e carichi permanenti, secondo quattro modalità rappresentative di quattro possibili configurazioni reali, definite a partire dai veicoli definiti da [1] al paragrafo 5.1.4.3 - tab. 5.1.VII.

È stato determinato che il carico circolante liberamente sull'impalcato debba essere limitato a camion a tre assi di massa non superiore a 36 t. Il transito di carichi di entità maggiore, e comunque non superiore a 63 t, è ammesso solo in condizioni limitative di velocità e corsia di marcia.

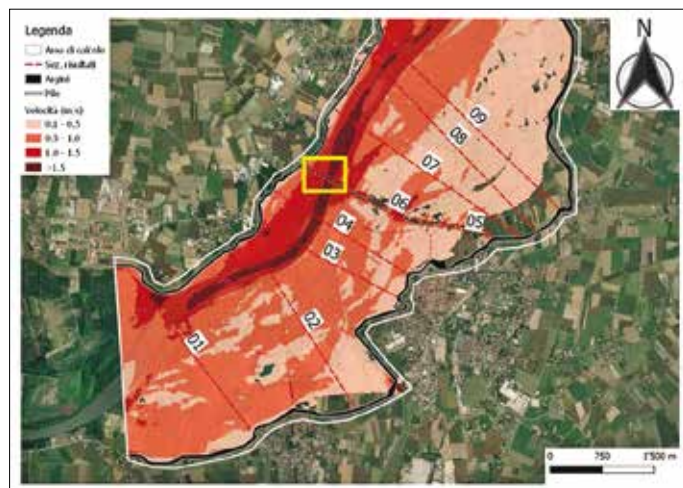
IL 2° LOTTO D'INTERVENTO: IL MIGLIORAMENTO STATICO MEDIANTE PRECOMPRESSIONE ESTERNA

Il secondo lotto d'intervento si pone in continuità e a completamento del primo lotto. L'intervento è finanziato nell'ambito del Piano delle assegnazioni del Decreto n° 1 del 3 Gennaio 2020 del MIT di concerto con il MEF. In questo lotto, la cui progettazione è stata avviata e conclusa nel 2021, le verifiche di sicurezza sono state eseguite considerando quanto previsto dalle LLGG MIT 2020 [2].

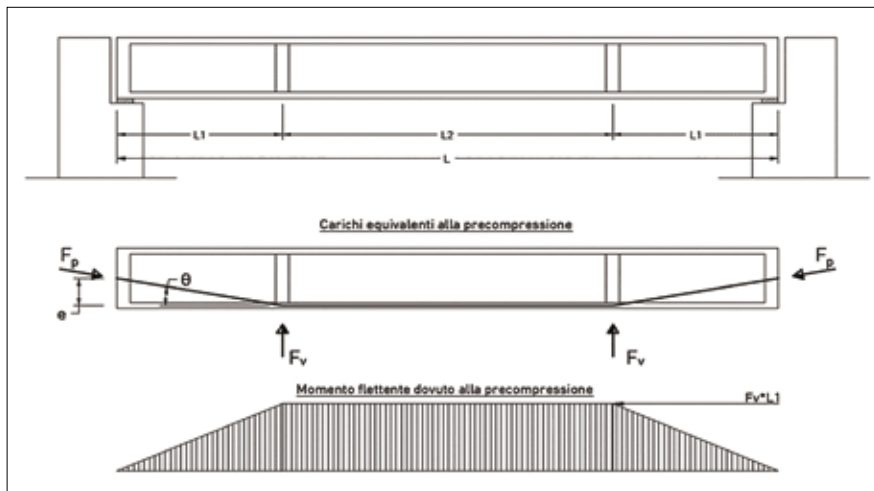
Nell'ambito dell'incarico sono state eseguite le Verifiche di Vulnerabilità Sismica e Compatibilità Idraulica del manufatto. Per la prima, oltre all'analisi dinamica lineare, sono state eseguite verifiche più approfondite mediante statica non lineare, push-over (Figura 7), considerando l'interazione terreno-struttura per i pali di fondazione. La verifica di compatibilità idraulica è stata



7. L'analisi statica non lineare delle pile in alveo



8. La mappatura delle velocità della modellazione idraulica bidimensionale



9. Un esempio di applicazione di precompressione a cavi esterni, due punti di deviazione

eseguita mediante modello bidimensionale (full 2D) di un tratto di 15 km di alveo (Figura 8), con portata bicentenaria pari a 13.700 m³/s.

A seguire le predette verifiche, di concerto con la Stazione Appaltante, si è deciso di procedere con il miglioramento della resistenza dell'impalcato in condizioni di esercizio, in considerazione del livello di messa in sicurezza raggiunto nell'ambito del primo lotto d'intervento. Allo scopo, è stata considerata la combinazione di carico prescritta dalle NTC18 per schema di carico 1, amplificata da coefficienti di sicurezza definiti per lo Stato Limite di Operatività - SLO, con tempo di riferimento delle azioni pari a 30 anni secondo quanto stabilito al 6.3.2.2. Azioni variabili da traffico - LLGG2020 [2]. Al fine di raggiungere tale obiettivo, considerato lo schema statico dell'impalcato e la tecnica costruttiva, si è deciso di procedere con un intervento di precompressione esterna mediante cavi esterni non aderenti.

La precompressione esterna

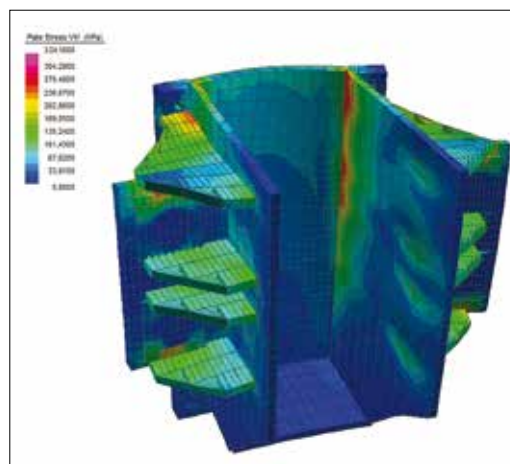
L'aggiunta di cavi di post-tensione esterna a una struttura può essere adottata al fine di perseguire uno o più dei seguenti obiettivi:

- recupero della precompressione originaria persa nel tempo;
- aumento della capacità portante dell'elemento strutturale;
- aumento dello sforzo assiale nell'elemento strutturale per la riduzione della fessurazione;
- riduzione delle deformate degli elementi strutturali dovute a effetti viscosi.

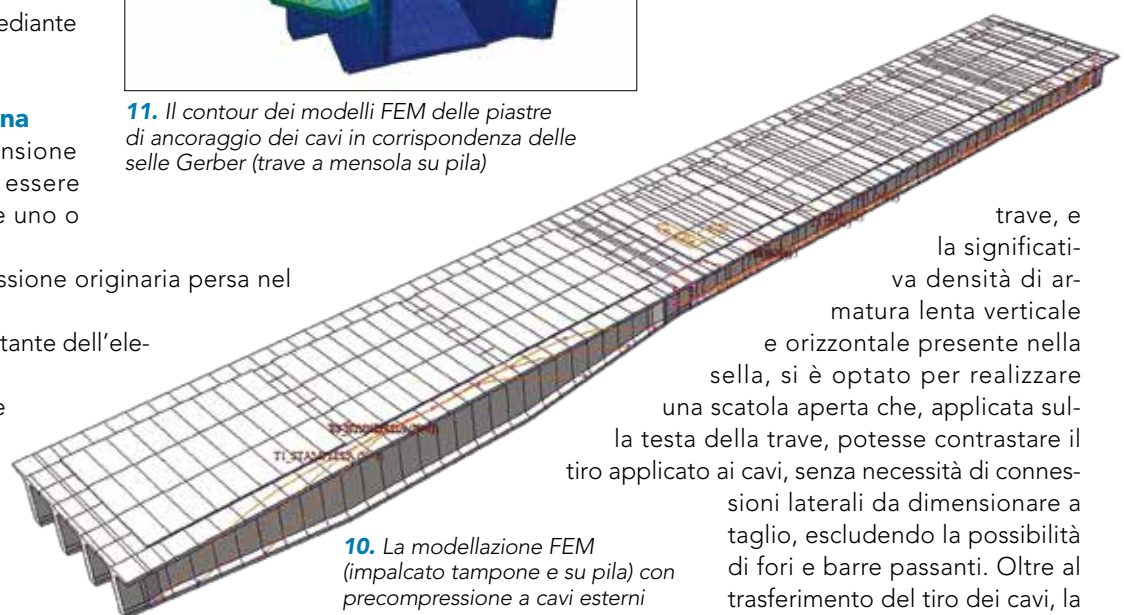
L'applicazione della post-tensione esterna è spesso da preferirsi in confronto ad altri tipo di rinforzi strutturali (fibre, ringrossi, resine, ecc.) poiché è un sistema di tipo attivo. Al contrario, i sistemi passivi, quali l'aggiunta di fibre ad alta resistenza, o placcaggi, in prossimità dei lembi tesi delle travi, portano i loro benefici solo dopo l'applicazione dei carichi, quando le deformazioni aggiuntive ne attivano la collaborazione. È quindi spesso difficile con questi sistemi garantirne l'attivazione per i soli carichi permanenti, questione fondamentale nei ponti e viadotti in c.a., nei quali i pesi strutturali sono la componente preponderante. Nel progetto in esame, il sistema utilizzato rientra nella tipologia di sistema di post-tensione esterna su carpenteria metallica. I cavi sono composti da 12 trefoli del diametro di

15,7 mm, ingrassati e viplati singolarmente. Il fascio è posto all'interno di una guaina in HDPE di diametro esterno pari a 110 mm. I cavi presentano diversi livelli di messa in tensione: quelli dell'impalcato tampone sono tesati al 50% f_{pk} in modo da produrre una tensione di tiro, al netto delle perdite, di 800 MPa; quelli dell'impalcato a mensola su pila sono tesati invece al 60% f_{pk} in modo da produrre uno sforzo di compressione all'ancoraggio pari a circa 980 MPa. Le riserve di resistenza ulteriori sul tiro dei cavi consentono eventuali successive operazioni di ritessatura nel corso della vita residua dell'opera.

Il dimensionamento delle carpenterie di ancoraggio è stato eseguito considerando il tiro massimo applicabile per i cavi, circa 4.000 kN a coppia. Per la realizzazione delle carpenterie di ancoraggio dei cavi, considerato il livello di forze da trasmettere alla



11. Il contour dei modelli FEM delle piastre di ancoraggio dei cavi in corrispondenza delle selle Gerber (trave a mensola su pila)



10. La modellazione FEM (impalcato tampone e su pila) con precompressione a cavi esterni

trave, e la significativa densità di armatura lenta verticale e orizzontale presente nella sella, si è optato per realizzare una scatola aperta che, applicata sulla testa della trave, potesse contrastare il tiro applicato ai cavi, senza necessità di connessioni laterali da dimensionare a taglio, escludendo la possibilità di fori e barre passanti. Oltre al trasferimento del tiro dei cavi, la

realizzazione di questa tipologia di carpenteria ha prodotto un benefico effetto di confinamento dell'elemento portato e portante della sella, migliorando la resistenza di tale sezione critica,

DATI TECNICI

1° Lotto d'intervento

Stazione Appaltante: Province di Reggio Emilia e Mantova

Soggetto attuatore: Provincia di Reggio Emilia

Progetto Preliminare, Definitivo ed Esecutivo: ITS Srl

RUP: Ing. Valerio Bussei (Provincia di Reggio Emilia)

Direzione dei Lavori: Ing. Maurizio La Macchia (Provincia di Reggio Emilia)

Direzione Operativa: ITS Srl

Esecutori dei Lavori: ATI: Frantoio fondovalle Srl e Stradedil Srl

Importo dei lavori: 2.650.946,69 di Euro

Durata dei lavori: 270 giorni (lavori in corso)

2° Lotto d'intervento

Stazione Appaltante: Province di Reggio Emilia e Mantova

Soggetto attuatore: Provincia di Reggio Emilia

Progetto Preliminare, definitivo ed esecutivo: RTP: ITS Srl e Prof. Pier Giorgio Malerba

RUP: Ing. Giuseppe Tummino (Provincia di Reggio Emilia)

Importo dei lavori: 4.450.000,00 di Euro

Durata dei lavori: 480 giorni

e risolvendo la carenza strutturale relativa alle fessure a 45° a partire dalla sommità della sella portante, segnalata nell'ambito delle ispezioni visive condotte.

Al fine di studiare più nel dettaglio lo stato tensionale del sistema di piastre di partenza dei cavi di post-compressione esterna, è stata eseguita una modellazione FEM 3D di dettaglio della testata in carpenteria, ad elementi plate, simulando l'interazione di contatto non lineare tra le carpenterie metalliche e la superficie del calcestruzzo. ■

⁽¹⁾ *Ingegnere Civile Strutturista, ITS Srl*

⁽²⁾ *Ingegnere Civile, Project Manager e Partner ITS Srl*

⁽³⁾ *Ingegnere Civile, Progettista, Amministratore Unico e Partner ITS Srl*

Bibliografia

- [1]. NTC 2018 - "Norme Tecniche per le Costruzioni e Circolare esplicativa".
- [2]. MIT - "Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti", 2020.
- [3]. Reluis - "Linee guida e manuale applicativo per la valutazione della sicurezza sismica e il consolidamento dei ponti esistenti in c.a.", 2005-2009.