

Diagnostica, monitoraggio dinamico e progettazione antisismica:

il progetto di riabilitazione strutturale del Ponte in ferro del Ciadel dalle verifiche in corso d'opera ai test di collaudo finali

Structural diagnosis, dynamic monitoring and earthquake design:

assessment and retrofitting of the existing Ciadel Iron Bridge

Ing. Alessio Pierdicca^{1*}, Ing. Andrea Alberto², Ing. Geol. Alberto Bethaz³, Ing. Fabio Mattiauda⁴, Ing. Matteo Buschini², Ing. Pier Paolo Cairo², Ing. Tommaso Romanazzi²

¹CapStudio stp srl – Ancona Italia; ²L.G.A. Engineering S.R.L. – Savigliano (CN)

³InGeoLab S.r.l. – Saint-Christophe (AO); ⁴DRC Italia s.r.l – Ancona Italia

Il presente articolo riporta il caso di un ponte in acciaio dei primi del '900, sito in provincia di Cuneo. Questa opera è stata oggetto di indagine distruttive e non distruttive atte a completare le informazioni disponibili ai progettisti ai quali è spettato l'onere progettuale dell'intervento di recupero e adeguamento del manufatto. In particolare, dal punto di vista delle prove, sono state eseguite indagini di identificazione dinamica svolte al fine di validare il modello FEM del ponte. L'articolo riporta inoltre un sunto delle fasi di progettazione dell'intervento di recupero con riferimento anche alle parti di progettazione più squisitamente progettuali e architettonico-paesaggistiche.

This paper reports the case study of an existing iron bridge from the early 1900s, located in the province of Cuneo–Italy. This work was subjected to destructive and non–destructive investigations done to complete the information available to the designers who were responsible for the design, the recover and adaptation of the manufact. In particular, from the point of view of the tests, dynamic identification was carried out in order to validate the FEM model of the bridge. The article also reports a summary of the design phases of the recovery intervention with reference also to the most exquisitely design and architectural–landscape design parts.



*Corresponding author. Email: a.pierdicca@capstudio.eu

1. Introduzione

Il rischio sismico dei ponti è sicuramente un tema più che mai attuale: gran parte della rete infrastrutturale è stata realizzata negli anni '60-'70, il che rende inevitabilmente gran parte di queste strutture inadeguata alle attuali normative antisismiche. Un trattamento a parte meritano ponti in acciaio tipici delle costruzioni dei primi del '900, come il manufatto considerato in questo articolo. In questi casi, oltre agli aspetti tecnici, occorre confrontarsi anche con le limitazioni legate al vincolo artistico dell'opera d'arte. Il ponte in ferro del Ciadel sul torrente Gesso è stato dichiarato di interesse culturale ai sensi degli artt. 10 e 12 del D.lgs. 42/2004 con decreto n°164/2016 del 6 Giugno 2016, "Il ponte, costruito nell'anno 1895, come indicato anche sulla targa posta sul traliccio, è stato realizzato dalla Società Nazionale delle Officine di Savigliano, una delle principali aziende italiane che, tra gli anni Ottanta dell'Ottocento e gli anni Trenta del secolo scorso, ha progettato, prodotto e realizzato grandi strutture metalliche, principalmente per le Ferrovie dello Stato..."

Non sono presenti ulteriori notizie riguardanti il ponte del Ciadel, se non alcune indiscrezioni sulla base delle quali in ponte sarebbe stato parzialmente distrutto dai tedeschi in fuga negli ultimi giorni della seconda guerra mondiale e successivamente riparato e ricostruito all'inizio degli anni '50, di ciò non si hanno però evidenze storiche documentate (figura 1).



Fig. 1| Ponte del Ciadel – Foto storica di repertorio

Alla luce di ciò diventa quindi fondamentale un'approfondita conoscenza di queste opere infrastrutturali, in modo da gestire in maniera adeguata gli interventi di manutenzione e ottenere informazioni, utili non solo al progettista che dovrà effettuare le valutazioni strutturali, ma anche e soprattutto alle pubbliche amministrazioni che dovranno eseguire e programmare operazioni di censimento e verifica della sicurezza sismica.

La procedura per affrontare tali problematiche, proposta in questo

articolo, consiste quindi in 3 fasi distinte e complementari: la conoscenza del manufatto, la modellazione numerica a elementi finiti e la valutazione e mitigazione del rischio sismico attraverso interventi di riabilitazione strutturale.

Nell'ottica di fornire un esempio pratico, questo lavoro propone un approccio metodologico nella valutazione di sicurezza e nel progetto di adeguamento sismico del ponte in ferro del Ciadel sul torrente Gesso nel comune di Borgo San Dalmazzo (CN), partendo dalla caratterizzazione dinamica del manufatto per poi calibrare il modello numerico F.E.M. alla base delle analisi strutturali con cui sono stati progettati gli interventi di miglioramento sismico.

2. Inquadramento normativo

I recenti sviluppi normativi tendono, finalmente, ad utilizzare il monitoraggio dinamico suggerendo o esigendo di dotare la struttura di un sistema di monitoraggio permanente. Già le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 dichiarano esplicitamente che al completamento delle opere civili "il collaudatore può altresì disporre specifiche prove dinamiche atte a verificare il comportamento dinamico della costruzione". La Circolare applicativa n.7/2019 aggiunge inoltre che "...le prove di carico dinamiche possono essere anche sostitutive di quelle di tipo statico, in forza della specialità dell'opera e delle condizioni al contorno in cui la prova può essere eseguita".

La "Linea Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza e il monitoraggio dei ponti esistenti" (allegato al parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n.88/2019) riporta in primo piano la necessità di effettuare valutazioni di vulnerabilità sismica sui manufatti esistenti allo scopo di adeguarli ai nuovi standard di sicurezza introdotti dalle attuali NTC. Il testo stabilisce inoltre le linee guida sulla realizzazione di sistemi di sorveglianza e monitoraggio dei ponti, soffermandosi in particolare sulla necessità di eseguire rilievi della risposta dinamica. Viene infine approfondito il tema del monitoraggio strutturale (Structural Health Monitoring - SHM) indicando le procedure per l'installazione, nei casi in cui la classe di attenzione lo richieda, di sistemi "intelligenti" e sensori in

grado di identificare stati di danno strutturale e attivare sistemi di allerta al superamento di determinati valori soglia.

Per l'esecuzione materiale delle prove descritte in questo articolo è stato inoltre fatto utile riferimento alle norme ISO/FDIS 4866 - "Mechanical vibration and shock, Vibration of fixed structures, Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on structures" e UNI 9916:2004 - Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici.

3. Descrizione della struttura e progetto di riabilitazione strutturale

L'aspetto fondamentale sulla quale sono state basate le principali scelte progettuali è quello della durabilità della struttura che, trattandosi di una costruzione realizzata nell'anno 1895, ha già raggiunto un'età ben superiore alla normale vita nominale con la quale vengono progettate le medesime strutture secondo le normative attuali.

Gli altri criteri fondamentali di cui si è tenuto conto nella determinazione degli interventi da eseguire sul ponte, oltre al tema centrale della durabilità, sono i seguenti:

- Portata dei mezzi transitabili sul ponte: allo stato attuale è imposta una limitazione di portata pari a 20 t, sono stati verificati i requisiti di sicurezza della struttura relativamente a tale portata sulla base delle indicazioni contenute nelle Linee Guida Ponti 2020 per le infrastrutture esistenti;
- Comportamento strutturale dal punto di vista statico: è stato indagato il comportamento della struttura nei confronti delle azioni gravitative statiche, l'andamento dello stato tensionale negli elementi ed il relativo tasso di lavoro con riferimento ai risultati delle prove eseguite per la caratterizzazione meccanica e fisico-chimica del materiale;
- Comportamento strutturale dal punto di vista dinamico: è stato indagato il comportamento della struttura ad azioni di tipo dinamico; tali verifiche, fondamentali per comprendere la risposta del ponte all'eccitazione sismica, sono state suffragate dai risultati delle analisi dinamiche eseguite sul campo;
- Verifica del comportamento dell'infrastruttura dal punto di vista idraulico nei confronti del deflusso della portata di piena di progetto e determinazione delle possibili criticità idrauliche nel tratto di alveo interessato dalle opere;
- Conservazione e tutela dei caratteri estetici e paesaggistici del

bene, data soprattutto l'esistenza del decreto che ne certifica l'interesse culturale e per garantire il più armonioso inserimento degli interventi in progetto nell'ambiente naturalistico fluviale.

Dall'analisi dei vari aspetti esplicitati in precedenza si è sviluppato il processo progettuale che ha dapprima individuato diverse ipotesi di intervento che sono state successivamente confrontate tra di loro in modo critico, esaminandone i punti di forza e di debolezza relativamente al soddisfacimento delle varie esigenze.

Le analisi dal punto di vista strutturale, sia in ambito statico che in ambito dinamico, hanno quindi permesso di determinare l'entità dei rinforzi da eseguire sulla struttura metallica del ponte sia a scala globale che a scala locale. Gli interventi più impattanti a scala globale riguardano l'inserimento dei diagonali nei campi laterali delle due travi reticolari costituenti la struttura portante principale del ponte e sono stati dettati dalla duplice esigenza di miglioramento del comportamento sismico della struttura e di abbassamento dello stato tensionale negli elementi in acciaio, soprattutto in corrispondenza dei campi di estremità. Gli interventi locali, invece, sono sostanzialmente costituiti da opere di rinforzo, riparazione e restauro degli elementi ammalorati le cui caratteristiche dimensionali (spessore, sezione, etc.) siano state compromesse dallo stato di degrado in atto.

Altri interventi dal punto di vista strutturale consistono nella sostituzione degli appoggi strutturali, nel rifacimento dei baggioli di appoggio e nella realizzazione, in sommità del corpo della spalla, di una serie di micropali collegati da una trave in cemento armato. Lo scopo di queste opere è quello di migliorare le condizioni di vincolo della struttura ed assicurare una più corretta trasmissione degli sforzi (soprattutto in direzione orizzontale) in fondazione scaricando il più possibile le esistenti strutture delle spalle (figura 2).

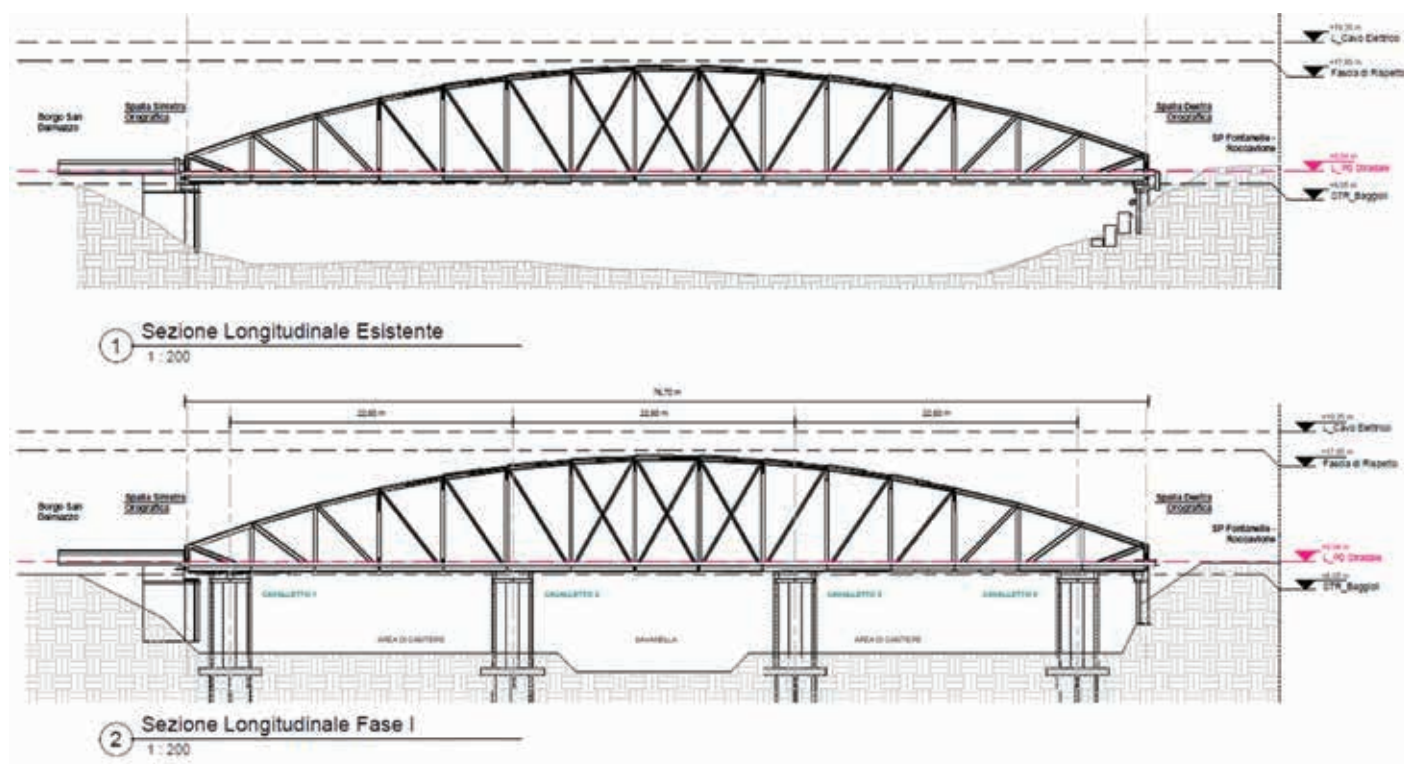


Fig. 2 | Sezioni longitudinali del ponte

Dal punto di vista paesaggistico, gli interventi maggiormente rilevanti sono l'esecuzione dei rinforzi a scala globale costituiti dall'aggiunta dei diagonali nei campi laterali delle travi reticolari e la verniciatura del manufatto. Per quanto riguarda il primo intervento verranno realizzati, compatibilmente con l'adattabilità delle tecniche di produzione di officina odierne a quelle dell'epoca della costruzione del ponte, degli elementi di rinforzo il più possibili somiglianti alle aste originali (prossopiegati, sezioni accoppiate, calastrelli, etc.). Per quanto riguarda la pigmentazione della struttura sono state esaminate tre ipotesi (colore effetto Cor-Ten, verde, bianco) e, a seguito di un'attenta analisi dal punto di vista storico volta alla determinazione del più probabile colore originale del manufatto, si è scelta la coloritura bianca.

4. Caratterizzazione meccanica dei materiali

Prima di procedere con la caratterizzazione dinamica del ponte sono state eseguite una serie di indagini sugli elementi costituenti il ponte in oggetto. Le caratteristiche dei materiali sono state determinate da indagini distruttive e non distruttive come previsto dalle NTC 2018. Al fine di indagare lo stato di conservazione del ponte, l'eventuale presenza e l'entità dei fenomeni di degrado descritti, si è programmato un piano di indagini volto alla valutazione delle caratteristiche chimico-fisiche del materiale costituente la struttura sulle quali basare le future valutazioni di carattere strutturale nei diversi livelli di progettazione. I campioni prelevati sono poi stati lavorati in officina per ottenere una provetta secondo la norma UNI EN ISO 377.

In laboratorio si è proceduto con la prova di trazione e resilienza rispettivamente secondo le norme UNI EN ISO 6892-1 e ISO 148-1. Essa consiste nel sottoporre ad uno sforzo continuo di trazione il provino con una predefinita forma geometrica e nel registrare la variazione del carico in funzione del progressivo allungamento. Il risultato della prova viene schematizzato nel diagramma di carico-allungamento dove, nel primo tratto rettilineo del diagramma (tratto elastico) vengono rappresentati i valori di carico corrispondenti alla deformazione elastica. In questo tratto rilasciando il carico la deformazione si annulla. Tale prova di riferimento è stata utile nel determinare i valori effettivi di snervamento e rottura, utili da inserirli nel modello di calcolo e valutare anche localmente gli interventi (figura 3).

Oltre tali prove sono state eseguite le indagini durometriche mediante durometro portatile che, sfruttando il metodo di misura a rimbalzo tramite uno strumento di battuta (sonda), è in grado di rilevare la durezza su svariati tipi di materiale e di convertire i valori nelle principali scale di misura (Rockwell B, Rockwell C, Brinell, Vickers). Sono inoltre state eseguite prove di verifica dell'integrità della chiodatura mediante il controllo ultrasonico e infine analisi chimiche al fine di verificare la composizione della lega metallica in laboratorio.

5. Indagini dinamiche

In questo paragrafo vengono mostrati i risultati ottenuti mediante la campagna di indagini dinamiche eseguite. In particolare, al fine di estrarre i parametri dinamici della struttura (frequenze proprie, smorzamenti e forme modali) sono state eseguite prove di identificazione mediante la tecnica chiamata Operational Modal Analysis (OMA) che consente di descrivere il comportamento dinamico della struttura semplicemente registrando i bassissimi livelli di vibrazione a cui è sottoposta la struttura utilizzando l'eccitazione ambientale come input.

L'OMA è una tecnica molto interessante ed offre una serie di vantaggi: la prova è del tutto non invasiva ed economica, non sono necessarie attrezzature esterne per mettere in vibrazione forzata la struttura e soprattutto il test non interferisce con l'utilizzo della struttura che può rimanere in esercizio durante il monitoraggio.

Al fine poi di valutare l'ampiezza della risposta dinamica dell'impalcato alle varie frequenze proprie, la struttura è stata eccitata dinamicamente mediante un'innovativa vibrodina lineare, che ha consentito di mettere in risonanza strutturale il ponte in acciaio introducendo nella struttura un input noto. Questo tipo di analisi, nota come Experimental Modal Analysis (EMA), ha consentito di valutare la risposta strutturale del ponte sotto l'azione di forzanti note e controllate, nonché di confermare la determinazione delle frequenze proprie ottenute con le tecniche OMA.

5.1. Operational Modal Analysis - OMA: pianificazione della prova

Le acquisizioni sono state eseguite mediante la registrazione in continuo di accelerazioni di tipo ambientale derivati dall'eccitazione naturale della struttura causata da fenomeni esterni, quali vento,

DATI DICHIARATI			RISULTATI DELLE PROVE			
Identif. provino	Data prelievo	Tipologia profilo	Sezione effettiva [mm ²]	Prova di trazione		
				Snervamento f_y [N/mm ²]	Rottura f_t [N/mm ²]	Allungamento [%]
01	20.04.2021	--	164,0	339*	446**	35,6
02	20.04.2021	--	202,0	277*	423	38,1
03	20.04.2021	--	195,0	303*	364	38,6
04	20.04.2021	--	140,0	328*	427	42,8
05	20.04.2021	--	187,1	333*	426	49,1
06	20.04.2021	--	186,0	310*	396	38,7

Prove effettuate con macchina di prova METRO COM ENGINEERING matr. n. 9260 di classe 1 secondo UNI EN ISO 7500/1
* $f_{0,2}$ tensione di scostamento dalla proporzionalità allo 0,2%
** rilevata frattura in corrispondenza del piano di simmetria orizzontale del provino nella direzione di laminazione (delaminazione)
Preparazione e sagomatura dei provini eseguita dal Laboratorio



Fig. 3 | Risultati delle prove di caratterizzazione meccanica dei materiali (provini in ferro)

microsismi e rumori derivanti dall'attività antropica (es. traffico veicolare). Le prove sono state effettuate con l'ausilio della seguente strumentazione:

- Accelerometri sismici (Integrated Electronic Piezoelectric - IEPE) KS48C voltage sensitivity 1V/g e range di misura $\pm 6g$;
- Centralina di Acquisizione Dynamic Data System 8 canali, DaTa 500 (DRC srl), 24-bit Digital Signal Processor (DSP), con analog anti-aliasing filter e high-frequency acquisition range (da 0,2 Hz a 200 kHz).

Gli accelerometri sono stati installati nei punti più significativi dell'impalcato e sono state eseguite acquisizioni per la misura della risposta strutturale alle vibrazioni ambientali (figure 4-5).



Fig. 4 | Catena di misura

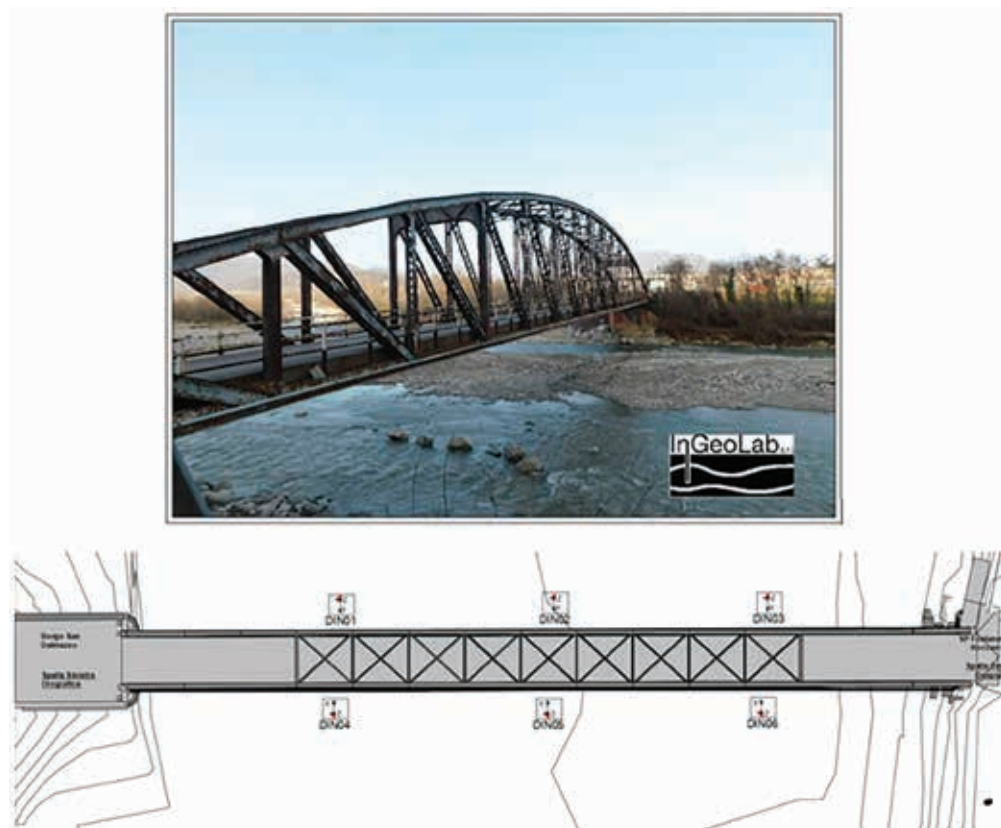


Fig. 5 | Vista del ponte monitorato e layout dei sensori – InGeoLab srl

Una volta acquisiti i dati accelerometrici, le storie temporali sono state elaborate dall'algoritmo di identificazione dinamica. In questo caso è stato utilizzato l'algoritmo di identificazione Stochastic Subspace Identification (SSI) che opera nel dominio del tempo.

5.2. Experimental Modal Analysis - EMA: attivazione dei modi mediante oscillazioni forzate

Al fine di convalidare i risultati ottenuti (in termini di frequenze) con tecnica OMA ed enfatizzare la risposta della struttura, è stata utilizzata una vibrodina lineare in grado di applicare una forzante artificiale esterna sull'impalcato.

Una vibrodina è un dispositivo in grado di erogare forzanti dinamiche sinusoidali ad una struttura una volta solidarizzata alla

struttura stessa. Le vibrodine comunemente reperibili in commercio svolgono questo compito grazie a masse eccentriche che, poste in rotazione, generano una forzante lungo la loro risultante. La pulsazione della forzante viene modificata variando la velocità di rotazione delle masse.

Operativamente si effettua quello che viene chiamato uno "sweep in frequenza" sollecitando la struttura a frequenze via via crescenti e acquisendo al contempo la risposta della struttura stessa mediante accelerometri posizionati in punti significativi del manufatto. Quando la vibrodina attraversa una frequenza coincidente con una frequenza naturale della struttura, si assiste ad una amplificazione delle ampiezze misurate a tale frequenza (fenomeno della risonanza). Il principio di funzionamento delle vibrodine a masse rotanti produce tuttavia l'inconveniente di avere forzanti con basso modulo alle basse frequenze (tipiche delle strutture civili) ed alto modulo alle alte frequenze (tipicamente fuori dal range di interesse per le strutture civili). Le masse in gioco rendono inoltre difficilmente movimentabili tali tipologie di attrezzature. Tali limitazioni vengono superate dalla vibrodina utilizzata in questo caso studio, VIBRA 9001-LiTeM che ha un funzionamento lineare anziché rotante (figura 6).

Una slitta sulla quale può essere applicata una massa fino a 40 kg, viene movimentata su una guida lineare con una accelerazione massima pari a 1 g (regolabile). Il controllore elettronico che ne gestisce il funzionamento è in grado di modificare (ridurre) la corsa della slitta all'aumentare della frequenza della pulsante (nota). Il software di gestione realizza lo sweep in frequenza mantenendo perciò costante il



Fig. 6 | Vibrodina lineare VIBRA 9001, controller e software – Litem - life testing machine

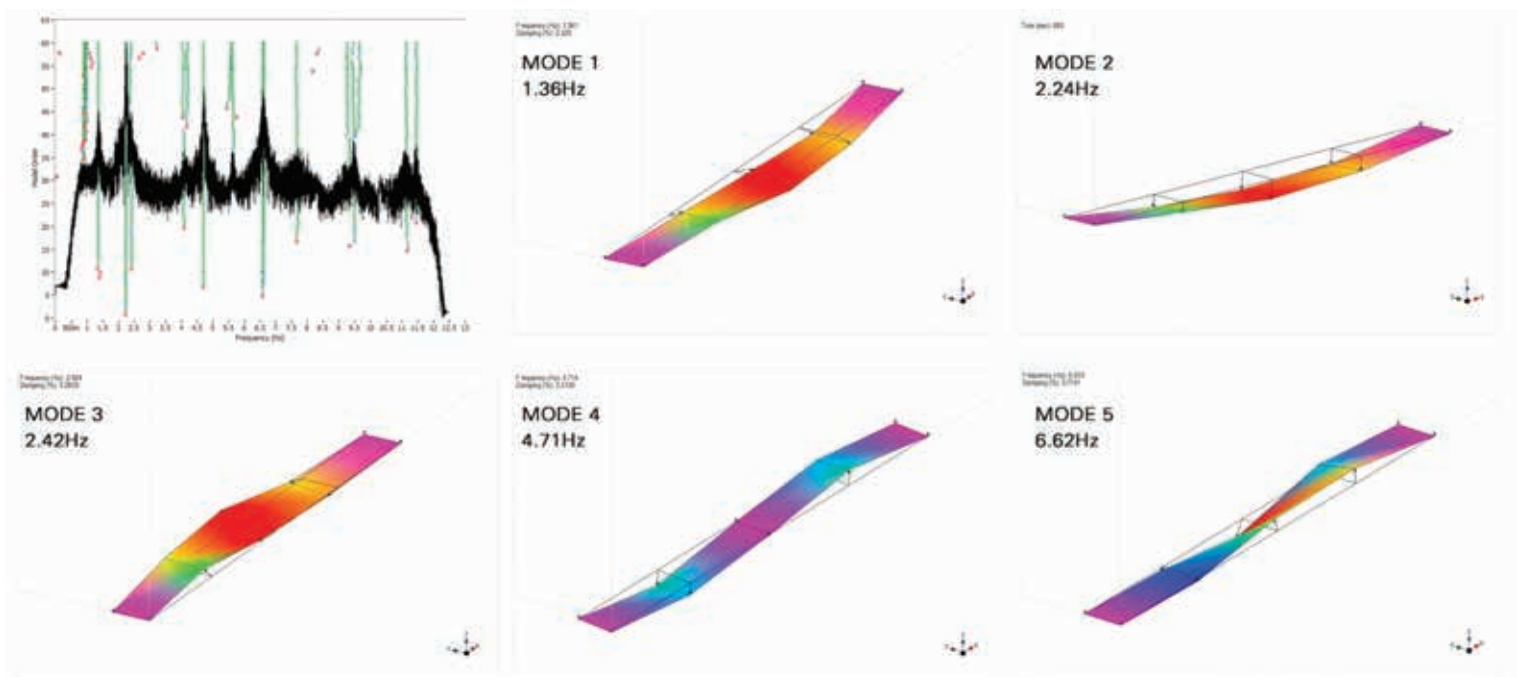


Fig. 7 | Identificazione dinamica del ponte in ferro, diagramma di stabilizzazione e forme modali

valore della forzante al variare della sua frequenza tra 0,7 e 30 Hz circa.

Nel caso in esame la vibrodina lineare è stata ancorata all'impalcato del ponte mediante solidarizzazione meccanica con la parte strutturale. Le acquisizioni sono poi state effettuate orientando la vibrodina lungo la direzione Y dell'impalcato. In direzione X, la vibrodina è stata solidarizzata alla struttura a circa 2 m dalla mezzeria. Si è voluto cioè evitare di posizionare la vibrodina in corrispondenza di un nodo strutturale.

Dall'analisi delle acquisizioni eseguite ed in particolare dall'elaborazione delle time historie mediante la loro trasformata di Fourier è stata riscontrata l'ottima correlazione tra le frequenze ricavate mediante l'identificazione OMA e le frequenze corrispondenti alla massima ampiezza dei segnali ottenuti durante la prova EMA (con vibrodina).

Si è potuto riscontrare come la possibilità di avere una forzante costante e di entità opportuna anche alle basse frequenze costituisca un vantaggio nella conduzione dello sweep in frequenza. Inoltre, la vibrodina si è dimostrata efficace anche nell'identificazione di modi superiori al terzo, dove il software di identificazione risulta invece meno affidabile. In figura 7 si riportano le forme modali ottenute.

Modo N°	Frequenza (Hz)	Smorzamento (%)	Tipo di modo rilevato
1	1.36	2.30	Flessionale Y
2	2.24	0.12	1° Flessionale Z
3	2.42	0.28	1° Torsionale
4	4.71	0.31	2° Flessionale Z
5	6.62	0.42	2° Torsionale

Tab. 1 | Frequenze e forme modali identificate mediante indagine dinamica

In tabella 1 vengono infine riportati i primi 5 modi di vibrare identificati.

6. Modellazione e calibrazione del modello FEM

Per l'identificazione del comportamento statico e dinamico del ponte stradale si è seguito un approccio teorico-sperimentale che ha previsto la predisposizione di un modello FEM e la sua taratura con processo iterativo sulla base delle risposte dinamiche

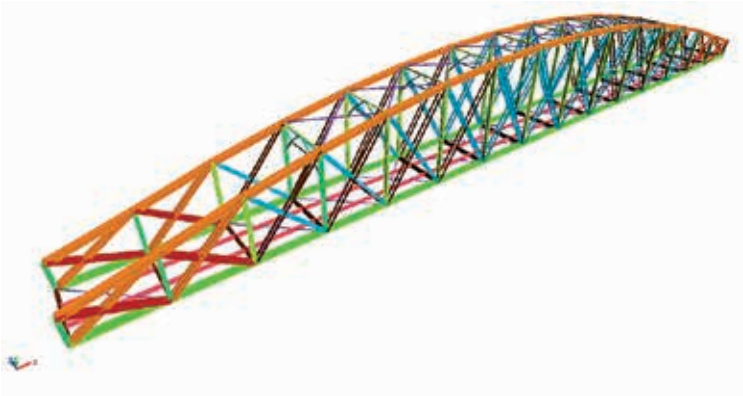


Fig. 8 | Vista 3D del modello FEM utilizzato e calibrato

Valori modali						
Modo N°	Pulsazione (Rad/s)	Periodo (s)	Frequenza modello FEM (Hz)	Energia (J)	Frequenza indagine dinamica (Hz)	Δ
1	9.64	0.65	1.53	46.46	1.36	11%
2	14.52	0.43	2.31	105.35	2.24	3%
3	17.36	0.36	2.76	150.72	2.42	12%
4	33.71	0.19	5.37	568.29	4.71	
5	55.14	0.11	8.78	1520.22	6.62	
Totale				2391.05		

Tab. 2 | Parametri modali ottenuti mediante modello FEM e confronto con I dati sperimentali

sperimentali, come precedentemente descritto. Il modello finale validato sulle indagini dinamiche svolte è diventato lo strumento di valutazione della risposta statica e dinamica della struttura in campo elastico lineare.

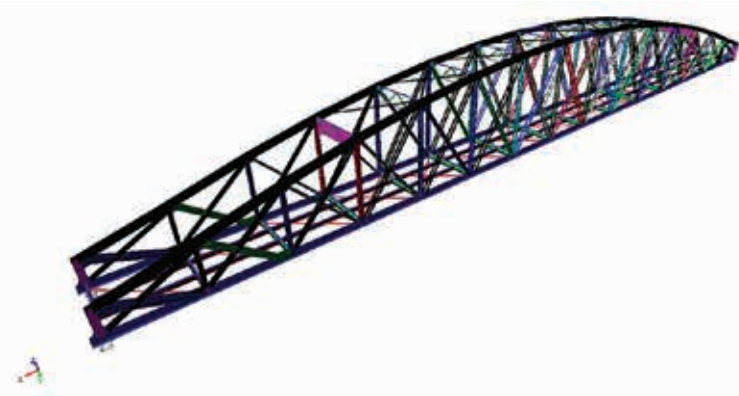
Prima di procedere con l'analisi strutturale, è opportuno procedere con la taratura del modello, confrontando le risposte in termini di frequenza e modi di vibrare propri della struttura con i risultati dinamici ottenuti dalle prove dinamiche eseguite dalla ditta Ingeolab srl. Il processo di calibrazione del modello ha previsto la modifica manuale di una serie di parametri (masse, rigidezze, proprietà meccaniche dei materiali e condizioni al contorno) al fine di minimizzare le differenze tra il modello a elementi finiti e i parametri ottenuti sperimentalmente (tabella 2).

Tali risultati, evidenziano una differenza nell'intorno del 10% per i primi 3 modi di vibrare; tali risultati si ritengono accettabili al fine di continuare l'esecuzione del calcolo strutturale e la modellazione delle ulteriori fasi di calcolo.

Il modello di calcolo è stato sviluppato e schematizzato mediante due modelli paralleli, modello costituito da elementi lineari, tale da valutarne facilmente il sestetto delle sollecitazioni, e un modello bidimensionale in modo da effettuare verifiche locali per la concentrazione delle tensioni all'interno dell'impalcato in oggetto (figura 8).

6.1. Interventi strutturali per l'adeguamento sismico

Gli interventi dal punto di vista globale sulla struttura del ponte sono costituiti dall'inserimento delle aste diagonali a completamento delle croci di S. Andrea nei campi delle due travature reticolari principali.



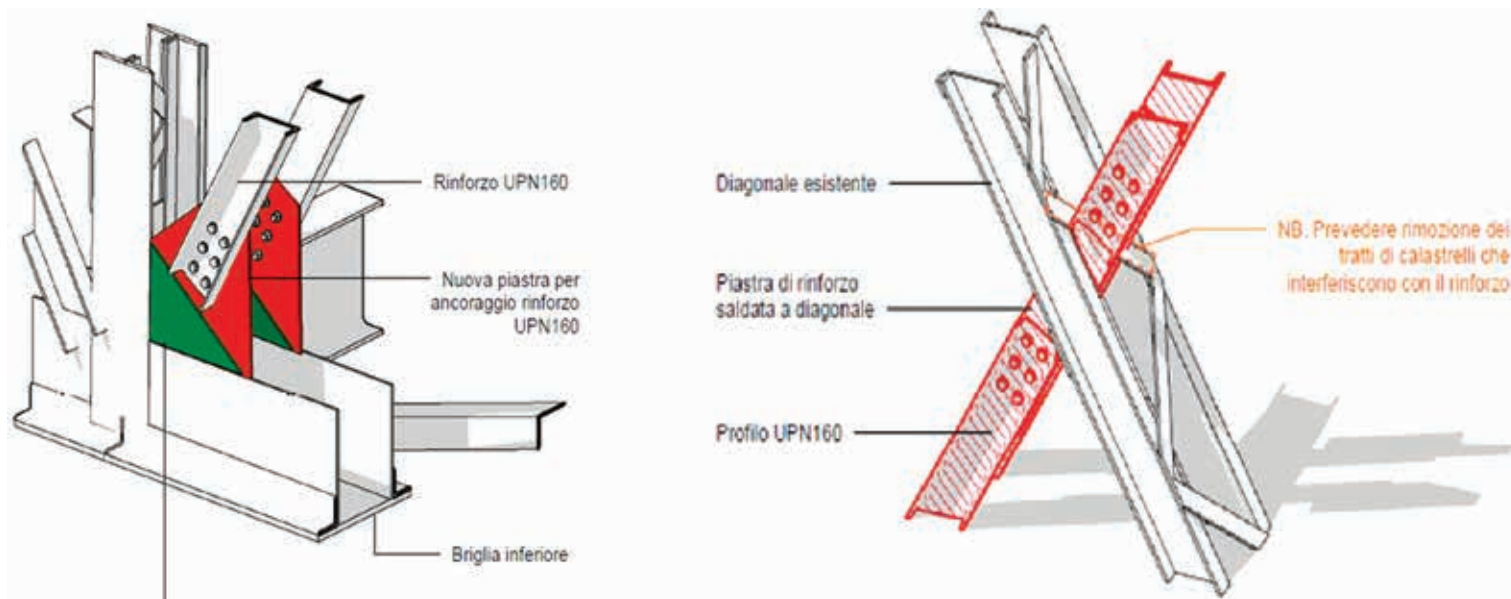


Fig. 9 | Dettagli degli interventi strutturali negli elementi in acciaio

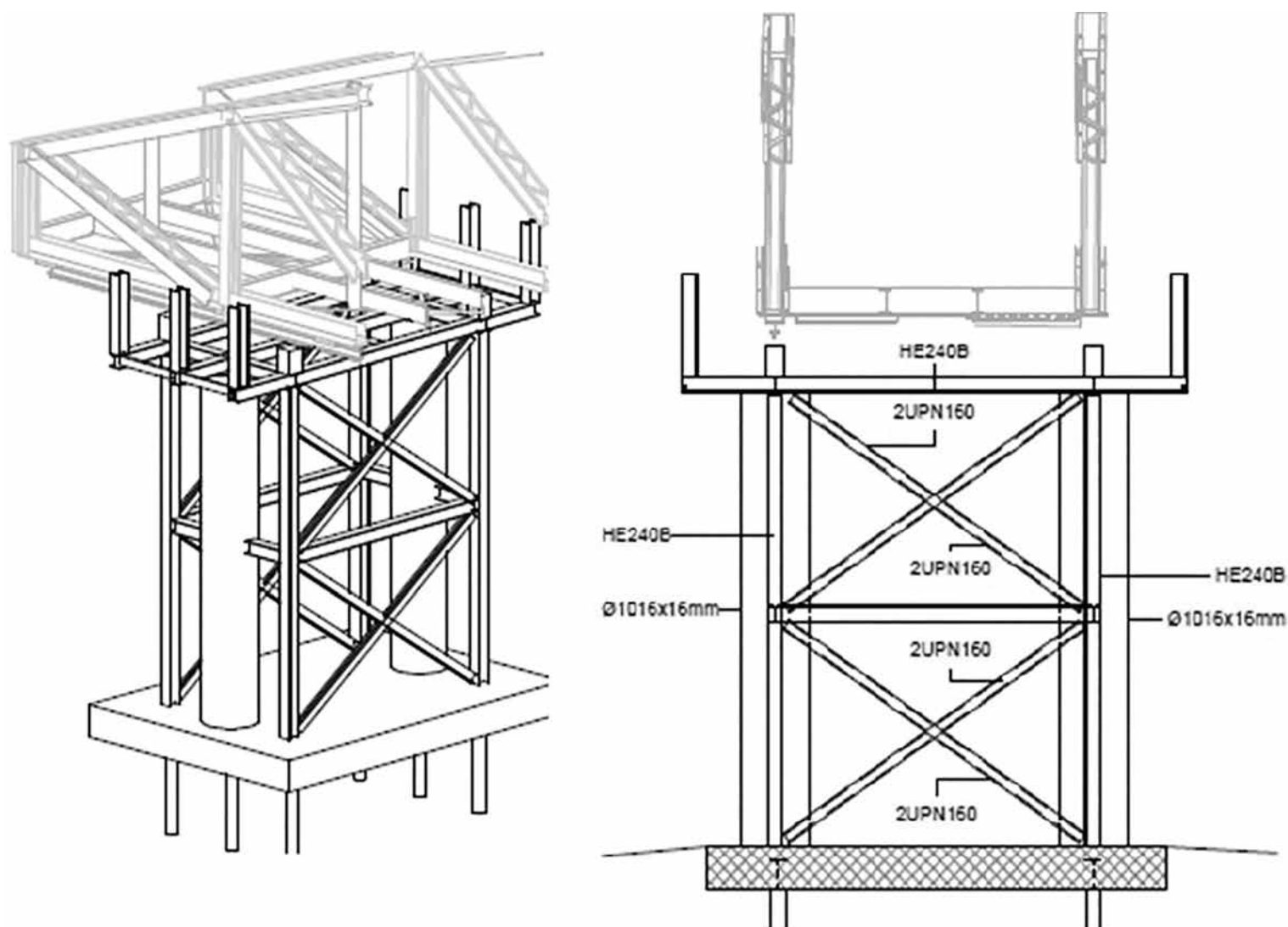


Fig. 10 | Particolari costruttivi del sistema provvisorio costituito dai cavalletti in alveo

Per mantenere al massimo la similitudine con la struttura esistente tali aste sono costituite da profili UPN 160 nei campi centrali e UPN 300 nei campi di estremità, accoppiate tra di loro e connesse mediante calastrelli costituiti da piastre di spessore 6 mm bullonate esternamente alle piattabande degli UPN stessi. Le nuove aste sono collegate alla struttura esistente in corrispondenza del nodo tra la briglia superiore/inferiore ed il montante. In entrambi i casi è previsto l'inserimento di una piastra centrale e due piastre di imbottitura laterali saldate agli elementi della struttura esistente. Le aste in UPN accoppiati sono collegate a tali piastre mediante bulloni M16 e sono sgiuntate in corrispondenza dell'intersezione delle esistenti aste diagonali al centro della campata per mezzo di piastre sciolte anch'esse fissate agli UPN con bulloni M16 (figura 9).

Gli interventi locali riguardano soprattutto l'irrigidimento della connessione tra montanti e briglia inferiore mediante l'inserimento di un profilo angolare con nervatura saldato sia alla briglia che al montante.

L'intervento locale in corrispondenza degli appoggi consiste nell'inserimento di una piastra di spessore 30 mm al di sotto della briglia equipaggiata con un foro centrale atto ad accogliere il dispositivo di centraggio dell'appoggio strutturale stesso.

6.2. Dettagli delle operazioni di svaro e varo

Un ultimo interessante aspetto del progetto riguarda le operazioni di svaro e varo del ponte, per cui sono stati necessari una serie di accorgimenti tecnici ed ingegneristici di seguito descritti. Tali operazioni consistono nella movimentazione della struttura dalla sua sede attuale ad un'area di cantiere appositamente preparata

in sponda sinistra, dove avverranno le successive lavorazioni, per mezzo dello scorrimento orizzontale del ponte equipaggiato con apposite guide su rulli posizionati sui sostegni provvisori.

Il primo passo consiste nella realizzazione dei quattro cavalletti provvisori in alveo, costituiti da una struttura tralicciata in carpenteria metallica, che daranno supporto al sistema di rulliere ed ai martinetti per il sollevamento del ponte. Allo stesso scopo saranno realizzati otto baggioli nell'area di cantiere in sponda sinistra lato Borgo San Dalmazzo preparata per accogliere la struttura (figura 10).

La seconda operazione consiste nel montaggio del sistema di binari per lo scorrimento posizionati al di sotto delle briglie inferiori che sono costituiti da travi longitudinali equipaggiate con un profilo tipo rotaia, che fornirà la superficie di contatto con il rullo per favorire lo scivolamento, e travi trasversali di collegamento.

Il terzo passaggio consiste nell'installazione del sistema di controventatura interno realizzato con profili circolari cavi fissati sia alla struttura esistente del ponte che al sistema di binari sottostante, opportunamente disposti al fine di minimizzare le eventuali sollecitazioni e deformazioni alle quali potrà essere soggetta la struttura durante le operazioni di varo/svaro.

La configurazione di tale sistema di controventatura è stata studiata in modo da lasciare libero il passaggio di un mini-elevatore sull'impalcato del ponte in modo da consentire un agevole montaggio dei controventi stessi ed allo stesso tempo la demolizione della pavimentazione esistente (figura 11).

Le operazioni preliminari si completano con il posizionamento di 16 martinetti sui cavalletti provvisori le cui caratteristiche devono essere le seguenti: portata 200 kN e corsa minima 300 mm.

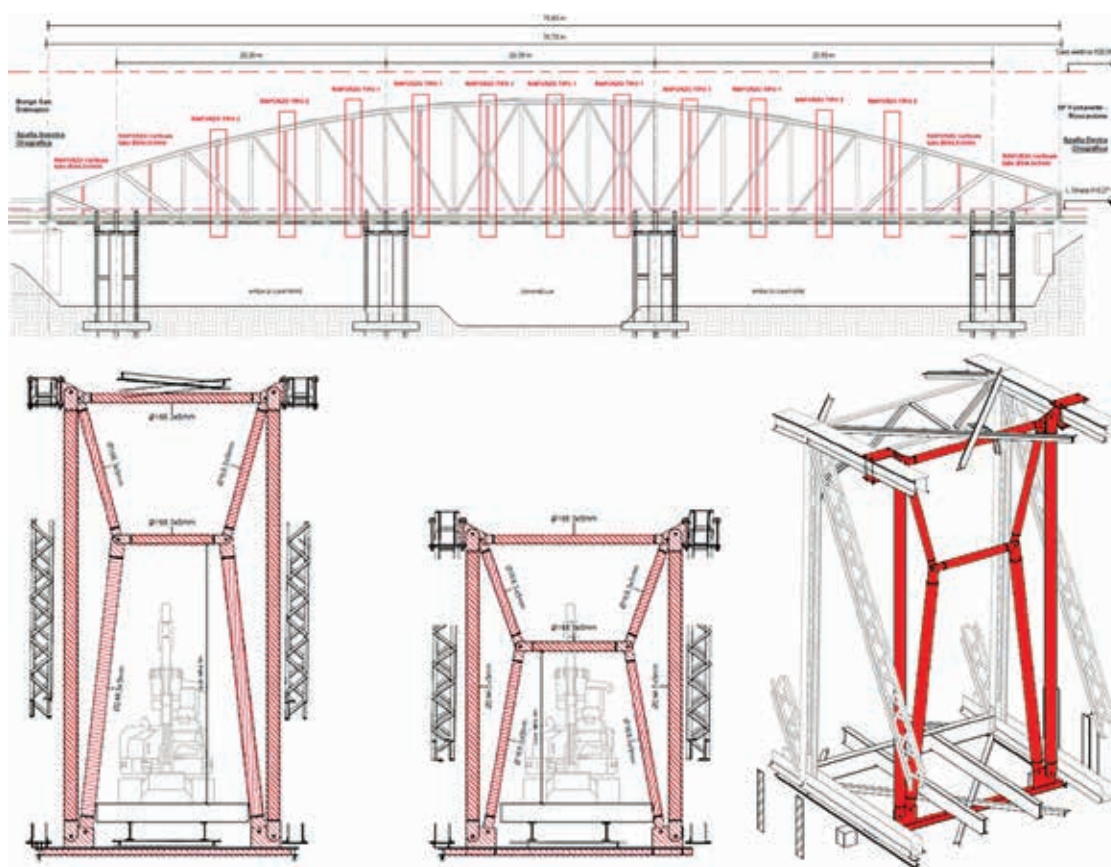


Fig. 11 | Particolari costruttivi del sistema di controventatura interno alla struttura

Note

Stazione Appaltante: Provincia di Cuneo - Settore Viabilità Cuneo Saluzzo;

I lavori sono finanziati dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti con Decreto interministeriale MIT-MEF 3 marzo 2020, n. 1.
"Messa in sicurezza dei ponti nel bacino del Po - Legge 30 dicembre 2018 n. 145, art. 1, comma 891"



Alessio Perdicca

Ingegnere libero professionista, dottorato in Ingegneria nell'ambito del monitoraggio dinamico. Co-Founder dello studio di ingegneria e architettura CapStudio di Ancona, opera nel campo della diagnostica strutturale degli edifici ed è specializzato nell'identificazione dinamica delle strutture.



Matteo Buschini

Ingegnere presso la L.G.A. Engineering Srl di Savigliano. Segue i lavori di progettazione e direzione lavori strutturale intrapresi dalla Società e dal team di progettazione di cui fa parte. Possiede competenze trasversali di ingegneria strutturale con particolare riguardo alle costruzioni in carpenteria metallica e di ingegneria idraulica in ambito fluviale ed idroelettrico.



Pier Paolo Cairo

Ingegnere presso la L.G.A. Engineering Srl di Savigliano. Segue i lavori di progettazione e direzione lavori strutturale intrapresi dalla Società e dal team di progettazione di cui fa parte, capace di lavorare e gestire situazioni lavorative con enti pubblici e privati. Appassionato della metodologia B.I.M., il quale è il fulcro della sua carriera lavorativa.



Tommaso Romanazzi

Ingegnere presso la L.G.A. Engineering Srl di Savigliano. È specializzato nella progettazione architettonica e strutturale bim svolta dalla società. Si occupa dello sviluppo di modelli tridimensionali rivolti alla progettazione parametrica, in particolare per strutture in calcestruzzo armato, in carpenteria metallica ed in legno.



Andrea Alberto

Ingegnere presso la L.G.A. Engineering Srl di Savigliano. Gestisce e segue i lavori di progettazione e direzione lavori strutturale intrapresi dalla Società e dal team di progettazione di cui è responsabile. Conosce, studia e ricerca i vari codici di calcolo internazionali ed è specializzato nell'analisi e calcolo di edifici, infrastrutture, impianti industriali e strutture complesse in c.a. e in acciaio. È docente a contratto al politecnico di Torino dove insegna agli allievi del V° anno civili ed edili "Bim and infrastructure bim". Segue tesi nel campo dell'ingegneria civile ed edile, con particolare attenzione allo sviluppo della metodologia B.I.M.



Alberto Bethaz

Ingegnere libero professionista, è fondatore nonché CEO di InGeoLab srl. È esperto in diagnostica strutturale ed è operatore qualificato di III livello secondo UNI EN ISO 9712:2012 nelle principali metodologie di controlli non distruttivi in ambito civile. È inoltre ispettore di III livello di ponti, viadotti e passerelle. Segue in qualità di direttore tecnico i lavori di progettazione e direzione lavori strutturali e ambientali intrapresi da InGeoLab e dal team di progettazione di cui è responsabile. Amante della dinamica delle strutture, sviluppa progetti di ricerca con i propri team.



Fabio Mattiauda

Ingegnere libero professionista, esperto in diagnostica strutturale. Operatore qualificato di III livello secondo UNI EN ISO 9712:2012 nelle principali metodologie di controlli non distruttivi in ambito civile. Client Account Manager presso DRC Italia srl.