

**PONTE FERROVIARIO SUL FIUME SALSO
VERIFICHE PROPEDEUTICHE ALLA VELOCIZZAZIONE
DELLA LINEA**

RAILWAY BRIDGE ON SALSO RIVER IMPROVEMENT SERVICE SPEED

Elio Lo Giudice,
Valentina Carlisi
Laboratorio DISMAT Srl
92024 Canicattì (AG), Italia
eliologuidice@dismat.it
valecarlisi@libero.it

Gian Luigi Di Marco,
Roberta Mantione
Studio Tecnico Lo Giudice – Di Marco
92020 Racalmuto (AG), Italia
dimarco.gia@libero.it
robertamantione.rm@gmail.com

ABSTRACT

The need to intervene on the railway networks tracks in order to increase the service speed of the lines has led the RFI to set up an experimental test program to verify the static capacity of some manufactures on the line including the steel bridge described in following.

The railway crossing of the river Salso near the mouth of the town of Licata, starts by means of a steel bridge. The memory describes the experimental and numerical methodologies used to evaluate the safety of the construction due to the increase of the service speed of the railway line. In particular we described the test carried out to dynamic characterization of the structure bridge.

SOMMARIO

La necessità di intervenire sulle tratte ferroviarie al fine di incrementare la velocità di percorrenza delle linee ha indotto l'Ente Gestore a predisporre una campagna di indagini atte a verificare la capacità statica di alcuni manufatti presenti sulla linea tra cui ricade il ponte in acciaio descritto nel seguito. Lo scavalco ferroviario del fiume Salso in prossimità della foce presso la città di Licata, avviene per mezzo di un ponte a travate reticolari in acciaio. Nella memoria vengono descritte le metodologie sperimentali e numeriche impiegate per la valutazione della sicurezza del manufatto resesi necessarie in considerazione della riqualificazione della linea.

1 INTRODUZIONE

Per la conoscenza dell'opera è stato necessario condurre accurate indagini per la caratterizzazione degli elementi costituenti la struttura portante con successiva analisi dello stato di degrado. La geometria, le proprietà dei materiali e la risposta globale del ponte sono state analizzate mediante

indagini in situ e prove svolte in laboratorio i cui risultati sperimentali sono stati in seguito elaborati ed impiegati per la realizzazione del modello FEM. Modello che ha consentito la valutazione degli effetti indotti dal transito dei convogli e di effettuare le verifiche statiche prescritte.



Fig. 1. Veduta d'insieme del ponte sul fiume Salso

2 DESCRIZIONE DEL MANUFATTO ED ANALISI DEL DEGRADO

Il ponte ferroviario della linea Licata-Falconara attraversa il fiume Salso in corrispondenza della città di Licata con un manufatto in acciaio a travate reticolari. L'attraversamento, in obliquo di 19° , viene staticamente risolto con tre campate isostatiche di cui le due di riva hanno lunghezza pari a 36 m mentre quella centrale ha lunghezza pari a 40 m e con larghezza dell'impalcato pari a 4.80 m.

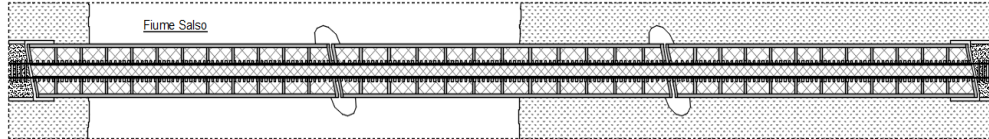


Fig. 2. Pianta del manufatto

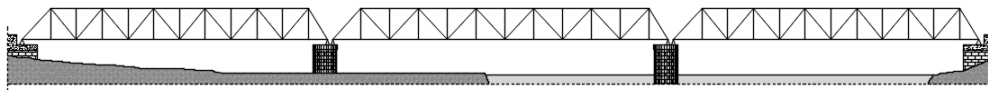


Fig. 3. Prospetto del manufatto

Ogni singola campata, dal punto di vista costruttivo, è risolta mediante lo schema classico in cui l'impalcato è formato da due travi maestre reticolari di tipo Pratt con corrente superiore a sezione aperta composta da elementi ad U collegati da una piattabanda superiore ed opportunamente diaframmata (Figura 7); il corrente inferiore è formato da sezione composta da due profili a T rovescia le cui dimensioni delle ali variano nella direzione longitudinale (Figure 5 e 6); le aste diagonali di parete formate da profili laminati ad U calastrellati ad eccezione dei diagonal di accesso che hanno sezione composta scatolare; i montanti hanno sezione a doppio T. L'impalcato è costituito da traversoni e longheroni in profilo a doppio T composto (Figura 8) e controvento orizzontale con profili accoppiati a farfalla. Circostanza singolare è, nell'assetto strutturale, la mancanza

della trave di frenamento generalmente richiesta in considerazione della luce della travata [9]. L'impianto poggia su apparecchi di appoggio in acciaio di cui uno del tipo *fisso a bilanciere* [9] (figura 9) e l'altro *scorrevole a rulli a settore* [9] (figura 10). Le sottostrutture sono realizzate in muratura con blocchi lapidei squadrate aventi in sommità una piastra di ripartizione in c.a.



Fig. 4. Vista travi di bordo

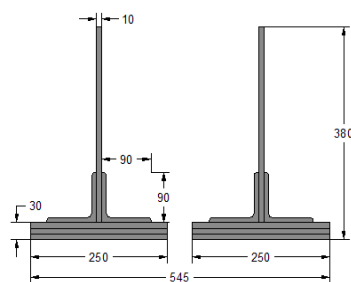


Fig. 5. Profili corrente inferiore campi centrali

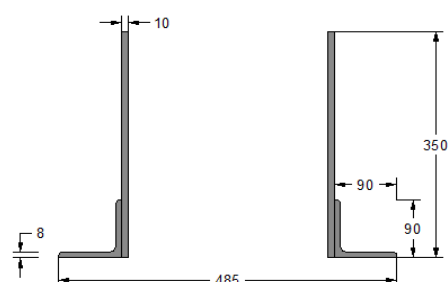


Fig. 6. Profili corrente inferiore campi all'appoggio

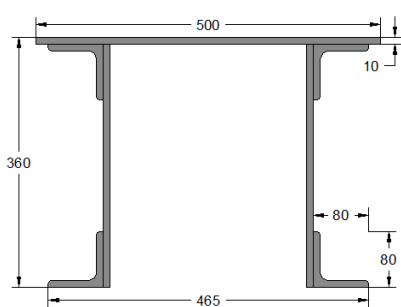


Fig. 7. Profilo corrente superiore

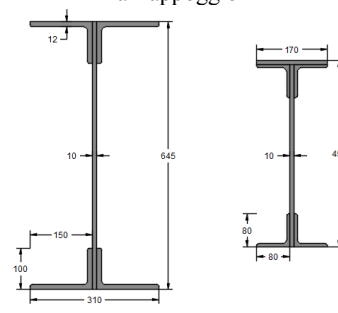


Fig. 8. Profilo traversti (a sinistra), profilo travi longitudinali (a destra)



Fig. 9. Particolare appoggio cerniera



Fig. 10. Particolare appoggio carrello

Dall'esame visivo si evince che globalmente l'intera struttura è interessata da corrosione superficiale la quale, tuttavia, non ha intaccato la funzionalità statica degli elementi strutturali. Esempi di maggiore concentrazione di manifestazioni corrosive sono le sezioni costituenti la briglia superiore e gli elementi strutturali caratterizzanti la parte sottostante dell'impalcato. Per quanto concerne le spalle e le pile la parte in muratura presenta in alcune parti disgregazione dei giunti di malta, mentre sulla piastra in c.a. di sommità vi sono lesioni e distacco del copriferro.

3 PIANO D'INDAGINE

Uno speciale protocollo d'indagine, finalizzato alla conoscenza delle caratteristiche fisiche, chimiche, meccaniche dei materiali costituenti gli elementi del manufatto unitamente ad indagini riguardanti il comportamento globale della struttura, è stato concordato con l'Ente Gestore. Esso ha previsto:

- Caratterizzazione dei materiali mediante indagini georadar, endoscopiche, prove penetrometriche sulla malta, prove spessimetriche¹ e di microdurezza sulle sezioni in acciaio, prove pacometriche per l'individuazione delle barre d'armature con conseguente spessore del copriferro;
- Analisi del degrado;
- Prove dinamiche per l'individuazione dei parametri fondamentali che ne descrivono il comportamento, propedeutico alla costruzione del modello FEM.

4 CARATTERIZZAZIONE DINAMICA

Il comportamento globale dell'opera è stato valutato stimando le frequenze naturali, i coefficienti di smorzamento e le deformate modali mediante le prove di caratterizzazione dinamica. Esse sono state condotte eccitando la struttura con forzante di tipo ambientale e monitorandola secondo due set up di prova mediante l'ausilio di dodici sensori accelerometrici opportunamente disposti al fine distinguere le diverse forme modali.

¹ Non è stato possibile il prelievo di provette in quanto tale intervento, per sua natura, risulta di tipo distruttivo e può essere utilizzato solo in quei casi in cui il collasso locale non pregiudica la stabilità complessiva della struttura.

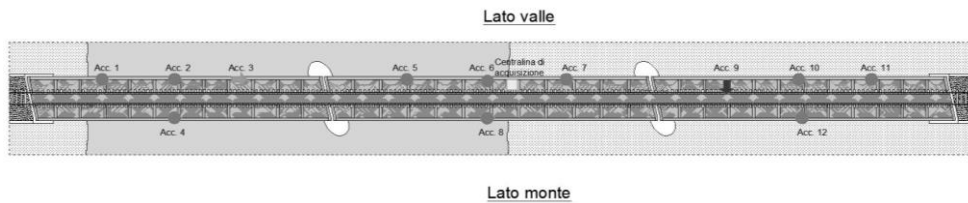


Fig. 11. Posizione strumentazione di prova set up 1

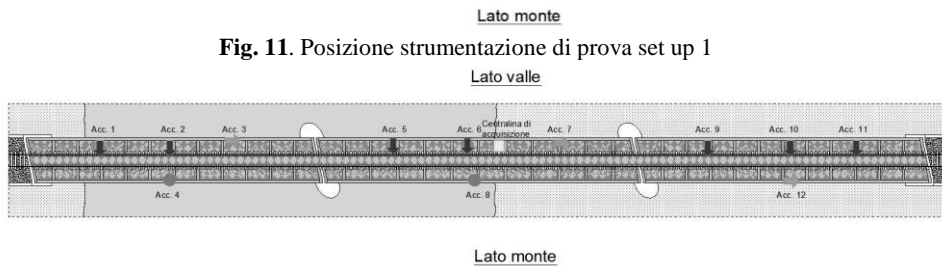


Fig. 12. Posizione strumentazione di prova set up 2

La prova ha permesso la determinazione dei parametri dinamici identificati attraverso l'Analisi Modale Operazionale (OMA) secondo la tecnica FDD (*Frequency Domain Decomposition*). I dati acquisiti nel dominio del tempo sono stati trasformati nel dominio della frequenza grazie all'algoritmo della *Fast Fourier Transform* (FFT) e sono stati elaborati dal software dedicato il quale ha consentito la lettura delle frequenze sullo spettro dei valori singolari della matrice di densità spettrale.

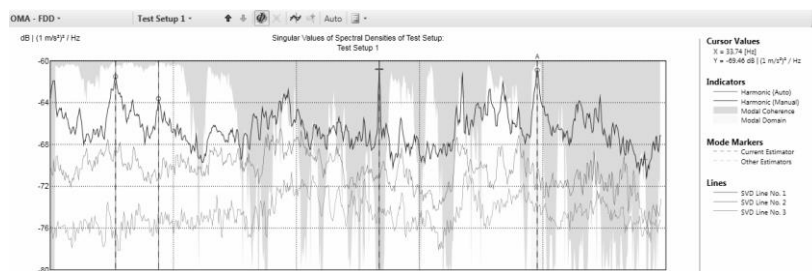


Fig. 13. FDD, valori singolari della matrice di densità spettrale

I parametri dinamici così determinati hanno permesso di calibrare il modello FEM del ponte.

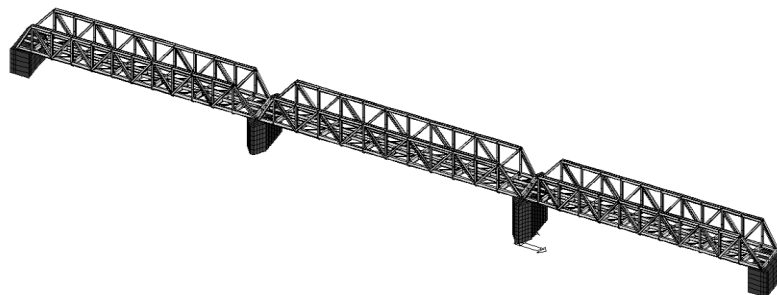


Fig. 14. Modello FEM

Le figure che seguono comparano le deformate modali sperimentali e quelle teoriche e nella Tabella 1 vengono raccolti i dati di frequenze proprie di vibrazione sperimentale e numerica.

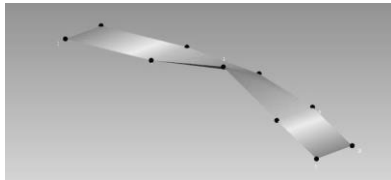


Fig. 15. Prima forma modale sperimentale Campata 1 – Rotazionale-Traslazionale
 $f_1 = 3.75$ Hz

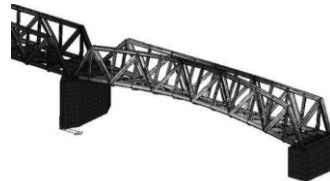


Fig. 16. Prima forma modale FEM Campata 1 – Rotazionale-Traslazionale
 $f_1 = 4.05$ Hz

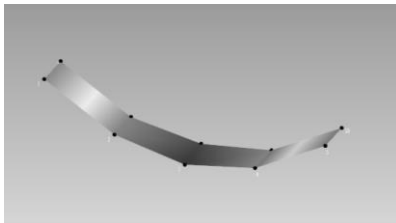


Fig. 17. Seconda forma modale sperimentale Campata 1 – Flessionale
 $f_2 = 5.80$ Hz



Fig. 18. Seconda forma modale FEM Campata 1 – Flessionale
 $f_2 = 6.07$ Hz

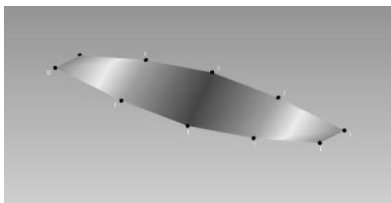


Fig. 19. Terza forma modale sperimentale Campata 1 – Rotazionale
 $f_3 = 8.52$ Hz

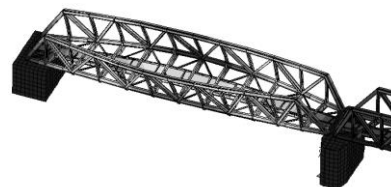


Fig. 20. Terza forma modale FEM Campata 1 - Rotazionale
 $f_3 = 7.76$ Hz

Nella Tabella 1 vengono riassunti le risultanze delle analisi sperimentali e delle simulazioni numeriche. Dal confronto delle frequenze di osserva il buon accordo numerico con differenze contenute entro il 10%.

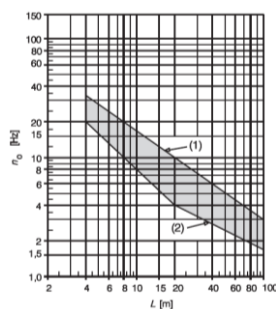
Tabella 1. Confronto delle frequenze

Frequenze sperimentali (Hz)	Frequenze FEM (Hz)	Differenza (%)	
f_1	3.75	4.05	-8.00
f_2	5.80	6.07	-4.60
f_3	8.52	7.76	8.90

Lo smorzamento è stato stimato seguendo due approcci: il primo valutandolo per ogni fondamentale nel dominio della frequenza; il secondo nel dominio del tempo operando sul decremento logaritmico. Il valore medio per l'indice di smorzamento ξ è risultato essere pari al 2.1 %, in linea con i dati in letteratura tecnica [13].

5 COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE DINAMICA

Nello studio dei manufatti ferroviari si deve tenere conto della natura dinamica del transito dei convogli e per tale motivo i carichi vengono incrementati tramite un coefficiente di amplificazione dinamica φ . Nella valutazione di tale coefficiente entrano in gioco la prima frequenza flessionale sperimentale, n_0 , della struttura e la velocità del convoglio. Inoltre deve essere verificato preliminarmente che n_0 rientri all'interno del "fuso" identificato graficamente al paragrafo 5.2.2.3.3 delle NTC 2008.

**Fig. 21.** Limiti della frequenza n_0 in funzione della luce della campata

Nella valutazione del coefficiente d'incremento dinamico si è considerato il modello di treno realmente circolante sulla tratta, rappresentativo delle condizioni di carico attuali di esercizio. Il coefficiente dinamico reale è stato calcolato come descritto al § 2.5.1.4.2.5.2 del [5]

Poiché il ponte metallico è ad armamento diretto occorre considerare un ulteriore coefficiente di adattamento dell'incremento dinamico, β , variabile esclusivamente in ragione della lunghezza caratteristica dell'elemento. Considerando la lunghezza del ponte, la prima frequenza flessionale sperimentale e la velocità del convoglio che attraversa la linea è stato identificato φ_{reale} pari a 1.09.

6 CONCLUSIONI

Lo studio effettuato ha permesso di analizzare nel dettaglio la capacità di servizio del ponte soggetto al nuovo cimento indotto dall'incremento di velocità dei convogli sulla linea.

Il complesso di indagini strumentali, delle prove di laboratorio e delle successive elaborazioni su modello FEM, validato mediante prove di caratterizzazione dinamica, hanno costituito il fondamento per l'esecuzione delle verifiche statiche, le cui risultanze hanno permesso di affermare che il manufatto risulta ancora idoneo a svolgere la sua funzione.

Tuttavia in ragione dello stato di degrado in cui versa il manufatto, causato dal contesto ambientale particolarmente aggressivo, sono stati consigliati da un lato interventi manutentivi e di risanamento e dall'altro un temporaneo rallentamento della velocità di transito.

REFERENCES

- [1] Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 – D.M. 14/01/2008
- [2] D.M. Infrastrutture 14 gennaio 2008
- [3] Circolare 02 febbraio 2009 n°617/C.S.LL.PP.
- [4] *“Specifica tecnica riclassificazione delle linee e circolabilità delle locomotive sui ponti”*; Ferrovie dello Stato Divisione infrastruttura; codifica: DITC/ARMOIFS001A.(2015)
- [5] Manuale di Progettazione RFI (RFI DTC SICS PS MA IFS 001A rev A del 29/12/2015).
- [6] CNR-UNI 10011/97 – Costruzioni in acciaio – Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione.
- [7] D. J. Ewins, *Modal testing: Theory, practice and application*, Research Studies Press Ltd., England, 2000.
- [8] A. Brencich, L. Gambarotta, *Assessment procedure and rehabilitation of riveted railway girders: The Campasso Bridge*, *Engineering Structures* 31, 2009.
- [9] F. Masi, *La pratica delle costruzioni metalliche*, Hoepli, 1931.
- [10] F. De Miranda, L. Strata, *Ponti ferroviari a struttura di acciaio*, ILVA, 1989.
- [10] L.F. Donato, *Lezioni di Costruzioni – Parte seconda Costruzioni Metalliche*, Colombo Curci, 1948.
- [11] R. Brincker, C. Ventura, *“Introduction to Operational Modal Analysis”*, Wiley, 2015.
- [12] C. Costa, A. Arede, A. Costa, *“Dynamic characterization of a masonry arch bridge”*, 1st International Operational Modal Analysis Conference (IOMAC), 2005.
- [13] A. K. Chopra, *“Dynamics of Structures, Theory and Application to Earthquake Engineering”*, Pearson, 2007.
- [14] Maia, Silva, *“Theoretical and Experimental Modal Analysis”*, Research Studies Press Ltd, England, 1998.

KEYWORDS

Valutazione della sicurezza, velocizzazione della linea, coefficiente di amplificazione dinamica, caratterizzazione dinamica