

**SPERIMENTAZIONE STATICA E DINAMICA DI UN
VIADOTTO IN SISTEMA MISTO DELLA SSV LICODIA-EUBEA**

**STATIC AND DYNAMIC EXPERIMENTAL TEST ON A COM-
POSIT SYSTEM RC-STEEL VIADUCT AT LICODIA-EUBEA
SSV**

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 improvement of access to the city of Caltagirone has been possible thanks to the modernization of the SSV Licodia-Eubea through the realization of an important road system which foresees, that provided the construction of numerous viaducts in mixed concrete steel system, among them is the Molona viaduct. The importance of the work has led the Testing Commission to commission an accurate experimental study that has provided static load tests, with continuous monitoring of inflections and tensions, and dynamic characterization tests. Thanks to the latter, it was possible to calibrate the FEM model of the structure which was subsequently used to interpret the results of the static tests.

PREMESSA

L'intervento di miglioramento dell'accesso alla città di Caltagirone è stato possibile grazie all'ammodernamento della SSV Licodia-Eubea mediante la realizzazione di un importante sistema viario che ha previsto tra l'altro la costruzione di numerosi viadotti in sistema misto acciaio calcestruzzo, tra questi ricade il viadotto Molona. L'importanza dell'opera ha indotto la Commissione di collaudo a disporre un accurato studio sperimentale che ha previsto l'esecuzione di prove di carico statiche, con monitoraggio in continuo delle inflessioni e delle tensioni, e prove di caratterizzazione dinamica. Grazie a queste ultime è stato possibile tarare il modello FEM della struttura che successivamente è stato impiegato per interpretare le risultanze delle prove statiche.

1 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

L'impalcato, con schema statico di trave continua su cinque campate per una lunghezza complessiva pari a 265 m di luci rispettivamente 45+55+75+55+35, è formato da due travi a doppio T in acciaio in composizione saldata, con altezza costante pari a 2960 mm. Tanto le piattabande superiori ed inferiori quanto l'anima hanno dimensioni variabili in funzione dello stato di sollecitazione, queste ultime inoltre presentano irrigidimenti verticali e orizzontali, i primi disposti con lo stesso passo dei diaframmi i secondi seguono il diagramma dei momenti. Le due travi, che sono collegate da diaframmi e dai controventi di torsione e di montaggio tutti a tipologia reticolare, sorreggono la soletta in calcestruzzo di spessore 28 cm gettata in opera su predalles.

Completano l'opera le spalle e le pile in c.a. ad altezza variabile con fusto cavo, tutte dotate di fondazioni di tipo indiretto costituite da plinti su pali.

Particolarmente complessa è la tipologia dei vincoli che prevedono l'impiego combinato di dissipatori, di shock transmitter e di un vincolo fisso.



Fig. 1. Veduta d'insieme del Viadotto Molona



Fig. 2. Pianta dell'impalcato

2 PROVE DI CARATTERIZZAZIONE STATICA

Al fine di poter valutare il comportamento statico del viadotto la Commissione di Collaudo di concerto con la Direzione dei Lavori ha disposto l'esecuzione di prove di carico secondo un programma che ha previsto il monitoraggio delle campate n° 1, 2, 3 e 4, che allo scopo sono state

strumentate mediante utilizzo di inclinometri biassiali e registratori di temperatura. La scelta di tale metodologia è stata dettata sia dalla posizione piano altimetrica del manufatto sia dalla possibilità di potere studiare l'evolversi del comportamento flessionale in tempo reale. Il numero e la posizione degli strumenti di misura sono stati determinati preventivamente in relazione alle esigenze della procedura numerica di ricostruzione della deformata elastica mediante integrazione dei dati di inclinazione. Gli inclinometri sono stati collocati mediante adesivo, su apposite piastrelle opportunamente livellate, e collegati in wireless ad un Gateway che a sua volta trasmette il segnale ad un pc per l'elaborazione dei dati.

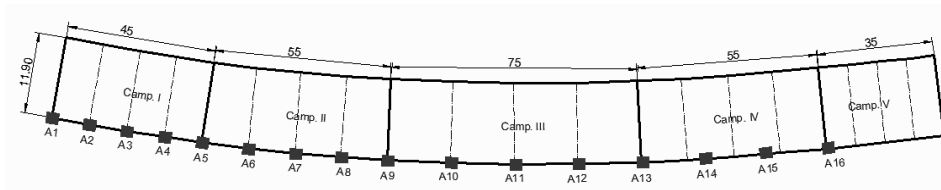


Fig. 3. Disposizione inclinometri

Sono state previste 4 configurazioni di carico posizionando opportunamente automezzi dal peso di circa 40 t su due e tre file allo scopo di massimizzare le sollecitazioni flettenti e taglianti secondo i canonici schemi distributivi. A titolo esemplificativo viene riportato il grafico delle deformate per la configurazione di carico n. 1 e n. 3.

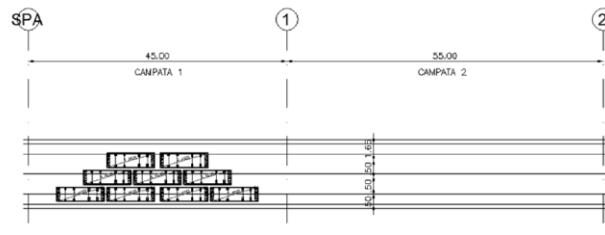


Fig. 4. Configurazione di carico n. 1

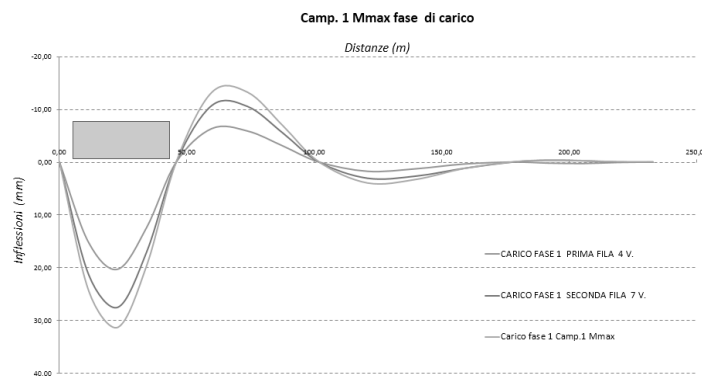


Fig. 5. Deformata per la configurazione di carico n. 1

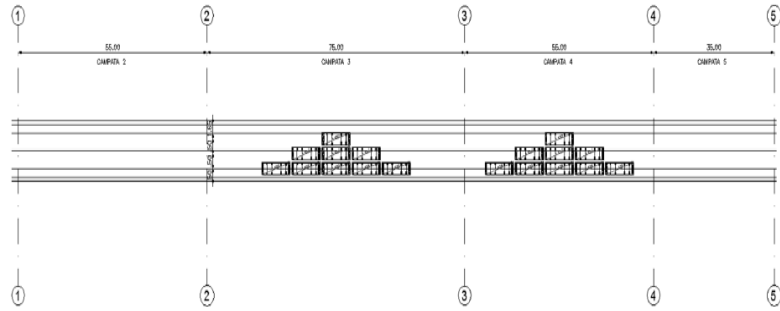


Fig. 6. Configurazione di carico n. 3

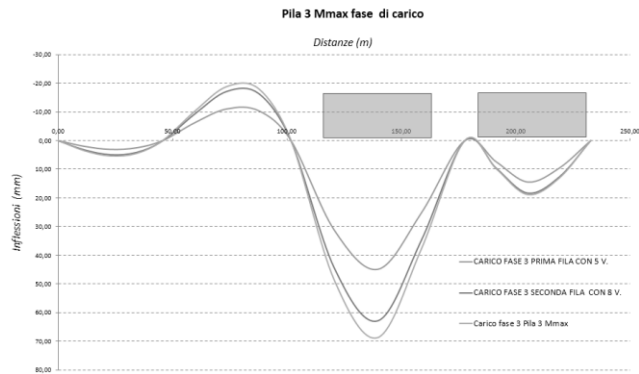


Fig. 7. Deformata per la configurazione di carico n. 3

A completamento della determinazione della deformata elastica dell'opera sono state eseguite misure di tensione strumentando opportunamente le sezioni di mezzaria delle campate n. 2 e n. 3 con estensimetri elettrici. In particolare per ogni sezione sono stati collocati 10 estensimetri, 8 sulle componenti in acciaio e 2 posizionati sulla soletta in c.a. Per l'applicazione della strumentazione sono state eseguite le procedure della norma UNI 10478.



Fig. 8. Applicazione strati di protettivo sugli ER installati su acciaio

3 PROVE DI CARATTERIZZAZIONE DINAMICA

La campagna di indagini mirate alla caratterizzazione dinamica della struttura in termini di frequenze proprie di vibrazione, deformate modali e smorzamenti è stata condotta mediante eccitazione ambientale, i segnali di risposta sono stati acquisiti con l'ausilio di 12 sensori accelerometrici collegati ad una centralina di acquisizione con convertitore Analogico/Digitale a 24 bit. Le acquisizioni, visto l'elevato numero di DOFs, sono state registrate eseguendo sei set up di prova, che opportunamente combinati hanno consentito di cogliere il comportamento dinamico globale del viadotto (Figura 9).

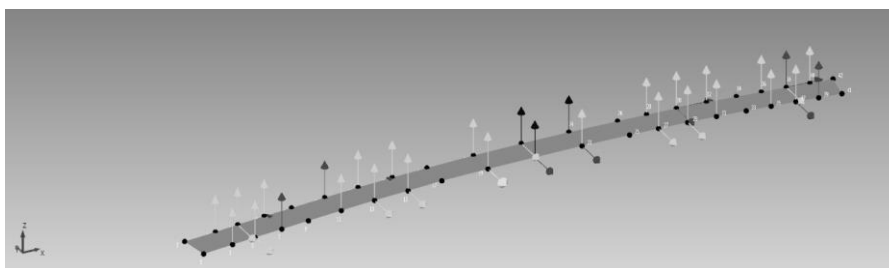


Fig. 9. Schema disposizione strumentazione

La stima dei parametri dinamici è stata eseguita attraverso Analisi Modale Operazionale (OMA) secondo la tecnica FDD (*Frequency Domain Decomposition*). I dati acquisiti nel dominio del tempo e trasformati nel dominio della frequenza mediante l'algoritmo della *Fast Fourier Transform* (FFT), sono stati preliminarmente ed opportunamente trattati [2,5] e successivamente elaborati con software dedicato consentendo la lettura delle frequenze sullo spettro dei valori singolari della matrice di densità spettrale. La tecnica FDD consiste in [3]:

- Determinazione delle matrici di potenza di densità spettrale di output (PSD), dei corrispondenti autospettri ed i cross-spettri per ogni test;
- Decomposizione delle matrici di densità spettrale in autovettori per ogni valore di frequenza;
- Interpretazione di ogni autovalore come autofunzione di un sistema ad un solo grado di libertà;
- Interpretazione dei primi autovettori del sistema, associati ai primi picchi dell'autospettro, come forma modale.

Di seguito si riporta lo spettro delle prime frequenze sperimentali del sistema rilevate attraverso le prove effettuate, (in Tabella 1 si riportano i dati numerici):

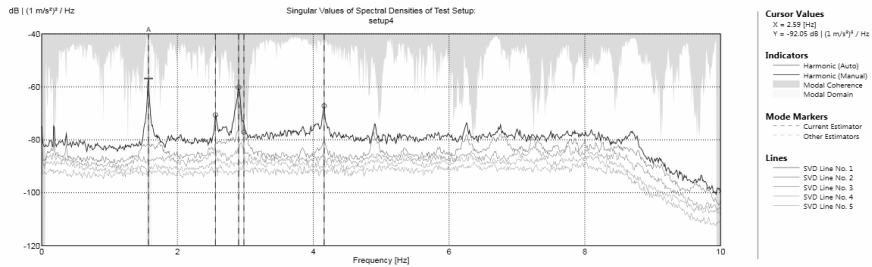


Fig. 10. FDD, valori singolari della matrice di densità spettrale

Sulla base delle risultanze delle indagini di caratterizzazione dinamica è stato costruito, tarato e validato un modello agli elementi finiti che ha permesso di effettuare il confronto dei dati teorici con quelli sperimentali (si veda Tabella 1).

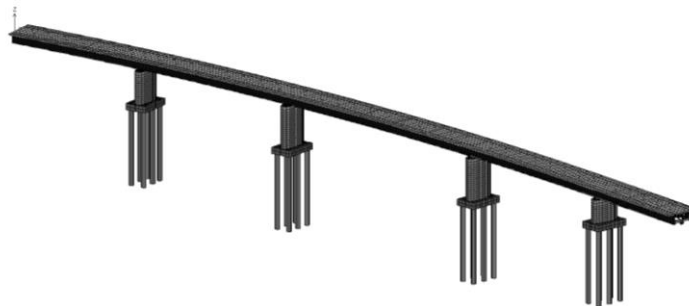


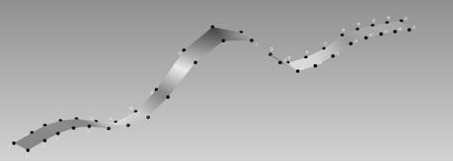

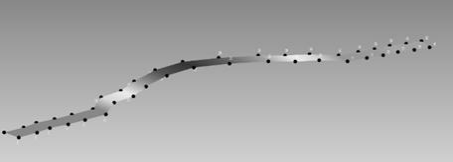



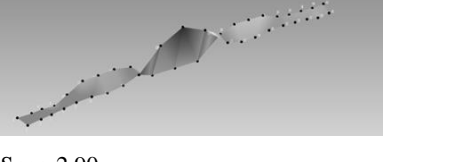
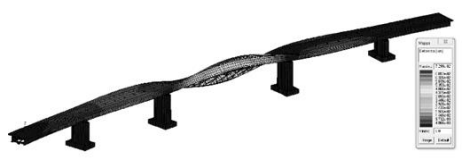
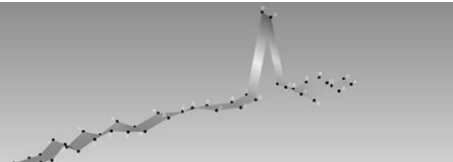

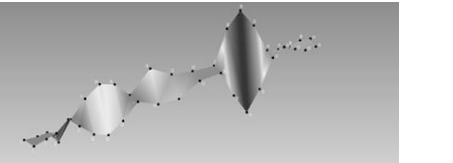

Fig. 11. Modello FEM

Tabella 1. Confronto delle frequenze

	Frequenze sperimentali (Hz)	Frequenze FEM (Hz)	Differenza (%)
f_1	1.57	1.61	-2.54
f_2	2.43	2.34	3.70
f_3	2.56	2.54	0.78
f_4	2.90	2.79	3.80
f_5	2.97	2.95	0.67
f_6	4.16	4.01	3.60

Il confronto tra risultanze sperimentali e quelle derivate dal modello numerico viene stabilito anche in termini di deformata modale, nel seguito viene riportano un quadro di comparazione, che ne fornisce una immediata lettura:

Tabella 2. Confronto deformate modali sperimentali e teoriche

 <p>Sper. 1.57 Hz</p>	 <p>FEM 1.61 Hz</p>
 <p>Sper. 2.43 Hz</p>	 <p>FEM 2.34 Hz</p>
 <p>Sper. 2.56 Hz</p>	 <p>FEM 2.54 Hz</p>
 <p>Sper. 2.90</p>	 <p>FEM 2.79 Hz</p>
 <p>Sper. 2.97 Hz</p>	 <p>FEM 2.95 Hz</p>
 <p>Sper. 4.16 Hz</p>	 <p>FEM 4.01 Hz</p>

Il calcolo dello smorzamento è stato stimato seguendo due strade: la prima nel dominio della frequenza valutandolo per ogni fondamentale, la seconda nel dominio del tempo per mezzo di una valutazione complessiva operando sul decremento logaritmico dei singoli segnali (Fig. 12). Il valore medio per l'indice di smorzamento ξ è risultato pari al 3.0 % in coerenza con quanto previsto in letteratura tecnica [6].

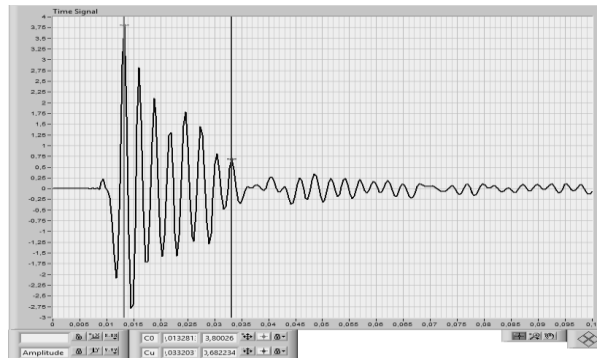


Fig. 12. Time history

4 CONCLUSIONI

Le indagini teorico-sperimentali descritte hanno supportato la Commissione di Collaudo nel suo importante ufficio fornendo tutte le informazioni utili circa il comportamento della struttura e consentendo la formulazione di un giudizio sulla collaudabilità. Particolarmente significativo, sul piano metodologico, è la sinergia stabilita tra la sperimentazione statica e quella dinamica, infatti la seconda ha consentito di tarare un modello FEM mediante il quale sono state interpretate le misure di inflessione registrate durante le prove di carico.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Maia, Silva Ed.: Theoretical and Experimental Modal Analysis RSP 1998.
- [2] M. Batel, Operational Modal Analysis – Another Way of Doing Modal Testing, Sound and Vibration, August, 2002.
- [3] R. Brincker, L. Zhang, P. Andersen, “Modal identification of output-only systems using frequency domain decomposition, Smart Materials and Structures, 10 (2001) 441-445.
- [4] R. Brincker, C. Ventura, Introduction to Operational Modal Analysis, Wiley, 2015.
- [5] A.V. Oppenheim, R.W. Schaffer, Elaborazione numerica dei segnali, Franco Angeli, 2009.
- [6] A. K. Chopra, Dynamics of Structures, Theory and Application to Earthquake Engineering, Pearson, 2007.
- [7] UNI 10985:2002, “Vibrazioni su ponti e viadotti: linee guida per l'esecuzione di prove e rilievi dinamici”.
- [8] D.J. Ewins, Modal Testing – Theory, practice and application, Research Studies Press Ltd., England, 2000.

KEYWORDS

prove di carico statiche, caratterizzazione dinamica, deformata modale, analisi modale operazionale, smorzamento.