

Federico II di Svevia Bridge: Work by Riccardo Morandi

Il Ponte Federico II di Svevia: Un'opera del Morandi

E. Lo Giudice¹, G. L. Di Marco², G. Navarra¹, R. Mantione²

¹ *Laboratorio DISMAT srl, Canicattì (Ag)*

² *Studio Tecnico – Lo Giudice & Di Marco*

ABSTRACT: Federico II di Svevia bridge was built in 1969-70, to a design by Morandi, for crossing the Salso river in Licata (AG). It is a bridge with three spans by Gerber scheme and Niagara type; the deck consists of eight concrete beams for spans of the shore and eight beams in prestressed concrete for the suspended span. This notes describes the diagnostic process and the subsequent numerical analyses in order to formulate an opinion about the service capacity of the infrastructure.

Il ponte Federico II di Svevia fu realizzato tra il 1969 e 1970 su progetto del Morandi per l'attraversamento del fiume Salso nella città di Licata. Si tratta di un ponte a tre campate con sistema Gerber tipo Niagara, l'impalcato è composto da otto travi in c.a. per le campate di riva e le mensole e da altrettante travi in c.a.p. per l'impalcato tampone. Si descrivono il processo diagnostico e le successive analisi numeriche finalizzate alla formulazione di un giudizio sulla capacità di servizio della infrastruttura.

KEYWORDS: suspended span, spectral density matrix / trave tampone, matrice di densità spettrale

1 INTRODUZIONE

Il Ponte Federico II di Svevia si trova all'interno del Comune di Licata. Il presente lavoro descrive le fasi della verifica di sicurezza del manufatto svolte al fine di indagarne le capacità prestazionali e quindi formulare un giudizio sulla capacità di servizio.

2 DESCRIZIONE DEL MANUFATTO

L'opera oggetto di studio è stata progettata e diretta dal Prof. Ing. Riccardo Morandi tra il 1969 e il '72, essa è stata realizzata dall'impresa Molinari. Il famoso progettista con questa opera riprese una soluzione già studiata anni prima per un ponte sull'Adda, sviluppando una variante del tema della trave ap-



Figure 2. Intrados of the deck view/ Vista intradossale dell'impalcato

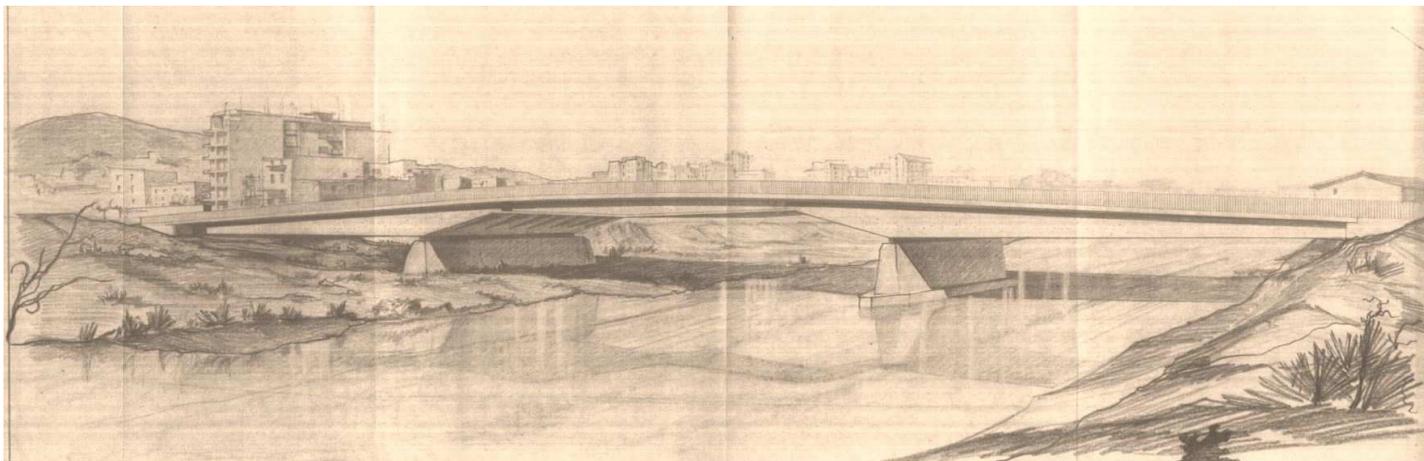


Figure 1. Perspective view (Table 3- by Morandi Project Executive)/Vista d'assieme prospettica (Tav.3-da Progetto Esecutivo)

poggiata abbinata al cantilever, in funzione dell'esigenza, del tutto particolare, di scavalcare luci notevoli pur adottando delle sezioni relativamente contenute per consentire il transito di piccoli battelli e natanti (Boaga, 1988), e al contempo di rispettare le livellette stradali esistenti e l'interferenza con la strada ferrata.

Il Ponte Federico II di Svevia presenta una lunghezza totale di 114.80 m e una larghezza complessiva di 19 m.

L'opera con schema statico Gerber tipo Niagara è con campate laterali in c.a. normale aventi luce di 33,10 m e un Cantilever di 8.80 m. La trave tampone è stata realizzata mediante l'accoppiamento di otto travi a sezione variabile in c.a.p. aventi lunghezza teorica di 49,60 m. In tabella si riportano le dimensioni degli elementi strutturali che compongono l'opera:

Table 1. Structural Elements dimensions/ Dimensioni degli elementi strutturali

Elemento strutturale	°N°	Base[cm]	Altezza[cm]
Travi in c.a.	8	60	140-250
Controsoletta			12-30
Traversi	3-4	20	140
Travi c.a.p.	8	60	150-190
Pile in c.a.	2		450

In corrispondenza dell'appoggio in campata la trave in c.a. è provvista di controsoletta a sezione variabile per la porzione centrale e a sezione costante per le travi di bordo (vedi fig.1).

Ulteriore peculiarità del ponte è quella di essere stato pensato e progettato, come scrive il Prof. Morandi, applicando "un particolare metodo di esecuzione" che prevedeva la possibilità di "seguitare ad utilizzare la vecchia opera durante la costruzione di una parte della nuova".

Il metodo consisteva nel costruire lateralmente al vecchio ponte con arconi a spinta eliminata due impalcati parziali costituiti da tre nervature ed una sede stradale di 4,50 m, così da permettere il transito dei veicoli nei due sensi di marcia. Completate ed aperte al transito le due nuove carreggiate laterali, si procedette alla demolizione del vecchio ponte.

3 PIANO DELLE INDAGINI SPERIMENTALI

Il protocollo di indagine, ha permesso di acquisire informazioni di fondamentale importanza, da utilizzare nel processo di verifica e di analisi della struttura, così da pervenire a un giudizio sullo stato di sicurezza dell'opera. Le indagini sono state suddivise in quattro grandi capitoli:

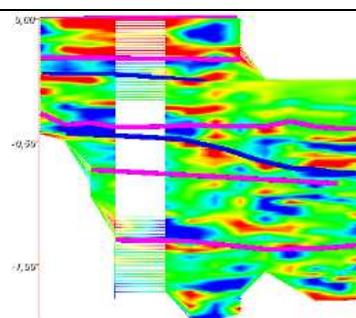
- Caratterizzazione dei materiali: resistenza del calcestruzzo, numero e posizione di barre e trefoli.
- Studio del degrado: stato di degrado del calcestruzzo, delle armature lente e del sistema di precompressione; individuazione di lesioni o altri segni di dissesto e/o degrado.
- Determinazione della risposta deformativa dell'impalcato, sia in senso trasversale che longitudinale, sotto varie configurazioni di carico.
- Caratterizzazione dinamica del manufatto, con determinazione dei principali parametri dinamici della struttura in esame.

4 RISULTATI DELLE INDAGINI SPERIMENTALI

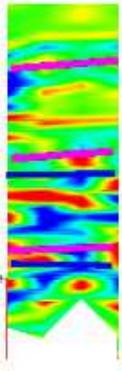
Le indagini, per quanto riguarda la caratterizzazione dei materiali e la posizione di barre e trefoli, hanno rilevato la corrispondenza tra quanto indicato nel progetto esecutivo e la situazione reale. La posizione e la quantità delle armature è stata determinata attraverso indagini pacometriche e per mezzo di GeoRadar

Di seguito vengono riportate le sovrapposizioni tra le interpretazioni dei radargrammi rispetto al progetto originario.

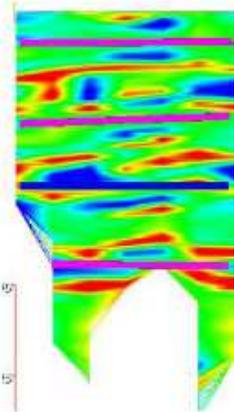
Table 2. GPR inspection/ Ispezione GPR



Appoggio: presenza di 5 barre d'armatura longitudinale e 2 armature metalliche inclinate presumibilmente armature post tese;



A m. 4
dall'appoggio: presenza di 3 barre d'armatura longitudinale e 2 armature metalliche inclinate presumibilmente armature post tese;



A m. 6
dall'appoggio: presenza di 3 barre d'armatura longitudinale e le armature metalliche inclinate presumibilmente armature post tese;

un puntuale riscontro sperimentale dei modelli numerici utilizzati per le verifiche strutturali; queste sono state eseguite in armonia con quanto previsto dal cap. 8 del DM 14/01/2008 e dalla relativa Circolare esplicativa del 02/02/2009 N° 617.

La procedura d'identificazione strutturale consiste nel far coincidere con sufficiente accuratezza alcuni parametri di controllo misurati sperimentalmente, come ad esempio frequenze, forme modali e deformazioni del manufatto, con i risultati del modello fem.

Per la campagna di indagini dinamiche, cui il viadotto è stato sottoposto, è stata utilizzata una forzante ambientale. La struttura è stata monitorata tramite due *set up* di prova ognuno dei quali ha previsto dodici punti di acquisizione tramite accelerometri.

L'identificazione dinamica passa attraverso lo studio dei valori singolari della matrice di densità spettrale. Il diagramma in fig. 6, ottenuto mediante FDD, riporta in maniera sintetica i risultati della prova dinamica.

Il modello così individuato è stato utilizzato per il confronto tra le deformate statiche e quelle teoriche.

Per quanto riguarda le prove di carico statiche la struttura ha risposto alle sollecitazioni imposte con un andamento pressoché lineare della curva carico – spostamento e assenza di deformazioni residue. Lo studio ha permesso di verificarla rispondenza della deformata teorica con quella sperimentale. Mentre per la deformata trasversale si è osservato un comportamento “soffice”, in contrasto con il modello di calcolo utilizzato dal Morandi.

5 ANALISI NUMERICHE E MODELLO FEM

La valutazione della sicurezza e della capacità di servizio della struttura è stata eseguita, adottando un approccio teorico – sperimentale, cioè basandosi su

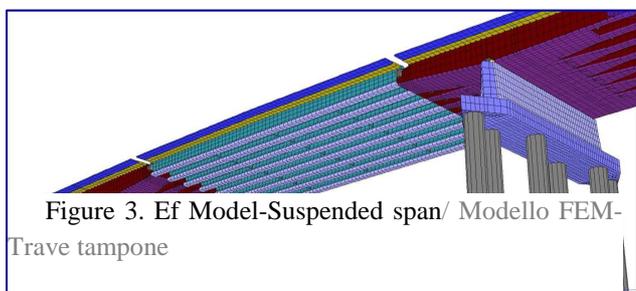


Figure 3. Ef Model-Suspended span/ Modello FEM-Trave tampone

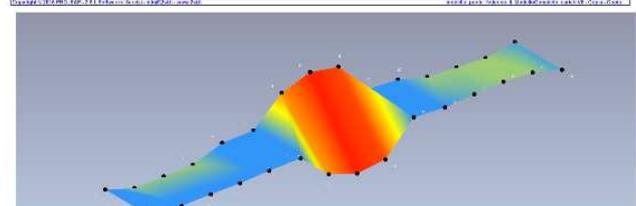
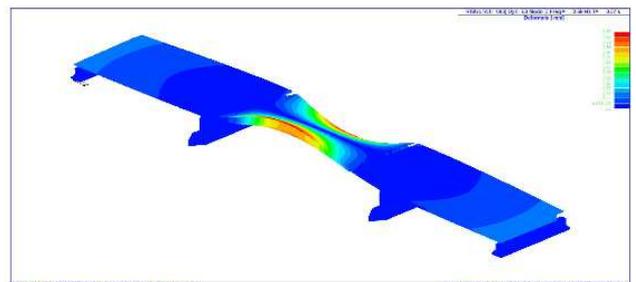


Figure 5. Theoretical and experimental modal deformed/ Confronto tra deformate modali teoriche e sperimentali

Il manufatto è stato assoggettato ad una prova di carico statica che ha previsto 13 configurazioni di carico. La metodologia utilizzata per l'individuazione della deformata longitudinale dell'impalcato è stata quella inclinometrica.

Di seguito si riporta il grafico di confronto per una delle configurazioni studiate:

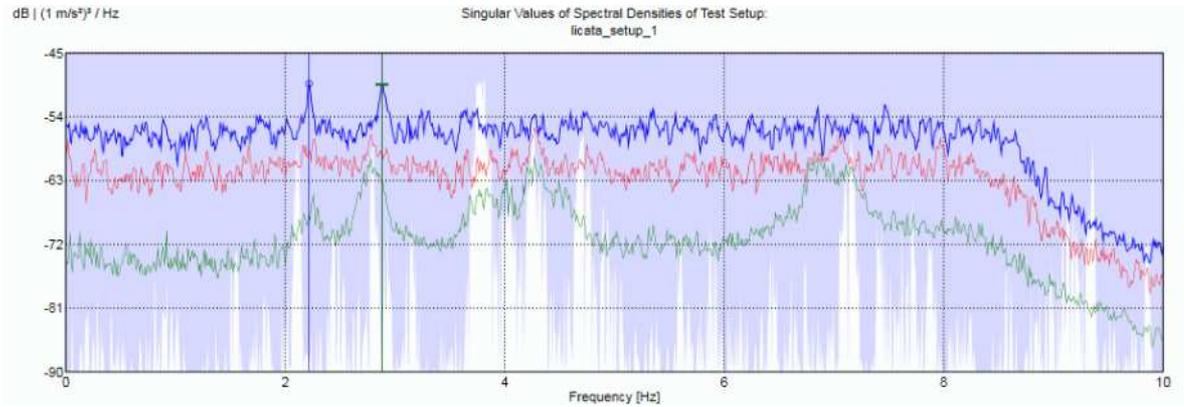


Figure 6. FDD: Singular values of the spectral density matrix/ FDD-Valori Singolari della matrice di densità spettrale

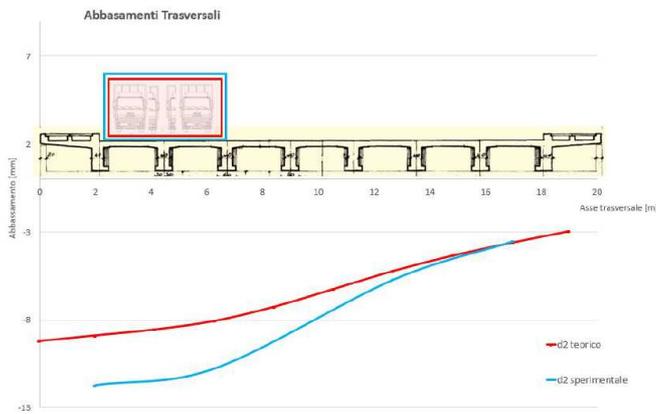
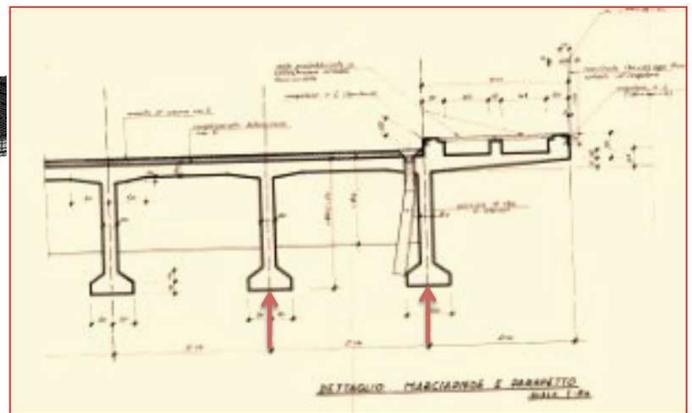
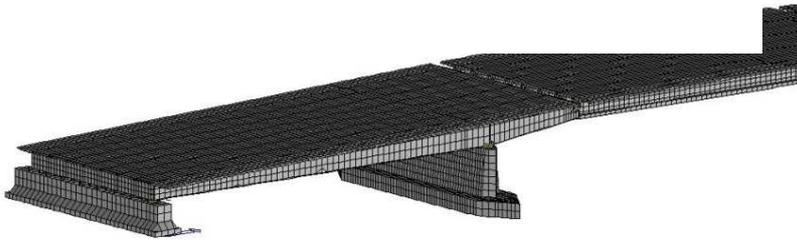


Figure 7 – Longitudinal section - Experimental and theoretical deformed/Sezione longitudinale - Confronto tra deformate sperimentali e teoriche

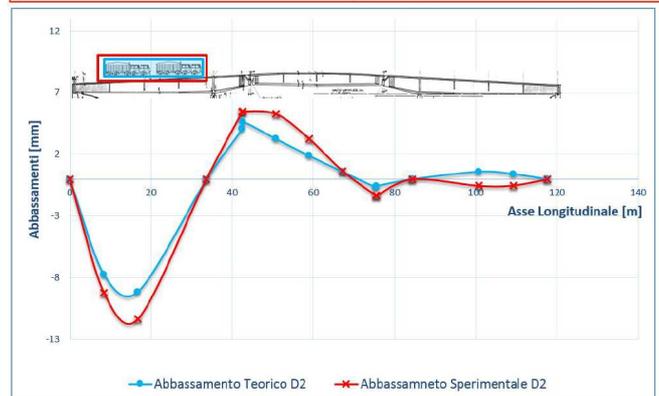


Figure 8 –Cross section - Experimental and theoretical deformed/Sezione trasversale – confronto tra deformate sperimentali e teoriche.

Una volta definiti i casi di carico e le loro combinazioni, si è proceduto con l'analisi tramite modello validato al fine di ricavare in ogni sezione dell'impalcato lo stato di sollecitazione a cui sono seguite le verifiche allo SLU.

6 CONCLUSION

This study allows to draw some conclusions on the adequacy structural and on the degradation state of the Federico II di Svevia bridge.

The ef model identified the correspondence between the theoretical model and the real one.

The relevant observed phenomenon is the high sensitivity shown by the bridge, in terms of vibrations, during the passage of vehicles.

The dynamic and static tests justify such a sensitivity to vibrations because the excessive slenderness of the beams; this phenomenon was always present as it is testified by people living there and, on the other hand, this is the result of the Morandi choice to achieve "*a crossover as thin as possible*"

As widely noted, the structure appears to be longitudinally deformable, but particularly trasversly. Underperforming is certainly the transverse distribution of loads due to excessive slenderness of members appointed to this function: the beams are too far and have relatively thin; the slab does not have ade-

Figure 9 – Cross section – Most stressed beams/Sezione trasversale Travi tampone- Indicazione travi più sollecitate

quate stiffness.

It is true that the particular slenderness of the deck and the slender system of allocating loads, to date, have no impact on the structural safety of the work; but it is also true that the detected together, represent in perspective of degradation was a possible.

Alla fine del presente studio, è possibile trarre delle conclusioni sull'adeguatezza strutturale del Ponte Federico II di Svevia, nonché sullo stato del degrado in cui versa.

In definitiva si è appurato tramite il modello fem identificato la corrispondenza del modello reale e quello teorico.

Il fenomeno rilevante osservato e che è stato oggetto di un'analisi critica approfondita, è rappresentato dall'elevata sensibilità mostrata dal ponte, in termini di vibrazioni, durante il passaggio di autoveicoli.

I risultati della prova dinamica e quelli delle prove di carico statiche, hanno consentito di giustificare una tale sensibilità alle vibrazioni nell'eccessiva snellezza della trave. D'altra parte questo fenomeno in relazione alle testimonianze acquisite è stato sempre presente.

Esso trova puntuale conferma tra l'altro, nell'obiettivo dello stesso Morandi di realizzare "*un attraversamento il più sottile possibile*".

Come ampiamente sottolineato, la struttura risulta essere di certo deformabile longitudinalmente, ma lo

è soprattutto trasversalmente. Poco efficiente è certamente la ripartizione trasversale dei carichi a causa dell'eccessiva snellezza delle componenti deputate a tale funzione: i traversi sono eccessivamente distanti e hanno spessore esiguo; la soletta non ha rigidità adeguata.

In definitiva: è vero che la particolare snellezza dell'impalcato e l'esile sistema di ripartizione dei carichi, ad oggi, non hanno ricadute sulla sicurezza strutturale dell'opera; ma è anche vero che unitamente allo stato di degrado rilevato, rappresentano in prospettiva un possibile problema da affrontare al fine di conservare e possibilmente migliorare la sicurezza strutturale dell'opera.

Si ringrazia l'Ufficio Tecnico del Comune di Licata nelle persone dell'Ing. Ortega e del Geom. Augusto.

7 BIBLIOGRAFIA

Boaga G., 1988. *Riccardo Morandi*. Zanichelli Editore