

# INDAGINI NON DISTRUTTIVE SUL PONTE AD ARCO IN C.A. SUL FIUME CASSIBILE

E. Lo Giudice<sup>1</sup>, G.L. Di Marco<sup>2</sup>, M. Gallo<sup>1</sup>, R. Mantione<sup>2</sup>, V. Carlisi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio Dismat srl, C.da Andolina, S.S. 122 – km 28 – 92024 Canicattì (AG)  
tel. 0922 859406, fax 0922 853877, [eliolog giudice@dismat.it](mailto:eliolog giudice@dismat.it); [michelegallo@dismat.it](mailto:michelegallo@dismat.it);  
[valecarlisi@libero.it](mailto:valecarlisi@libero.it)

<sup>2</sup>Studio Tecnico Lo Giudice – Di Marco, Via Garibaldi, 225 - 92020 Racalmuto (AG)  
tel. 0922 942603, [dimarco.gia@libero.it](mailto:dimarco.gia@libero.it); [robertamantione.rm@gmail.com](mailto:robertamantione.rm@gmail.com)

## SOMMARIO

I ponti in c.a. di tipo bow-string, largamente impiegati negli anni 20 e 30 del secolo scorso in Italia e all'estero, sono pregevoli strutture che assolvono egregiamente alle funzioni loro assegnate. Un notevole esempio di tale tipo di opera è rappresentato dal Ponte sul Fiume Cassibile; nella presente memoria si descrivono le indagini e lo studio teorico-sperimentale che hanno permesso di valutarne le condizioni statiche e la capacità di servizio.

### 1. PREMESSA

Il Ponte sul Fiume Cassibile è un'opera in calcestruzzo armato, realizzata nei primi anni '30, in prossimità dell'omonima cittadina della Sicilia orientale, che consente il superamento del corso d'acqua in un'unica luce. Lo schema statico è di "Ponte a spinta eliminata" (Bow-string) in cui le travi dell'impalcato svolgono la funzione di reggispinta, mentre i pendini quella di ricondurre all'arco i carichi agenti sull'impalcato.



**Figura 1** – Immagine del ponte.

L'arco ha una luce di 30,0 m e presenta una monta pari a 6.0 m; la sovrastuttura poggia su spalle in c.a.

La struttura è stata chiusa al traffico in attesa che venissero valutate le prestazioni nei riguardi delle condizioni di esercizio.

## 2. SCOPI DEL LAVORO

Il manufatto ricopre un notevole valore sia dal punto di vista storico, poiché esso consentì il transito delle colonne corazzate inglesi durante l'invasione della Sicilia orientale nel Luglio 1943 [4] sia dal punto di vista funzionale in quanto esso si trova a servizio della SS115, che costituisce un'arteria fondamentale della rete viaria siciliana.

L'Ente Gestore, in considerazione dello stato di degrado cui la struttura è soggetta e della sua possibile evoluzione a causa dell'ambiente particolarmente aggressivo, ha ritenuto di avviare uno studio relativo alle condizioni statiche dell'opera, propedeutico all'apertura al transito veicolare.

A tal fine è stato predisposto un piano d'indagine, preliminare alle valutazioni sperimentali e numeriche, capace di interpretare il comportamento reale della struttura.

## 3. INDAGINI EFFETTUATE

Le fasi preliminari dello studio hanno riguardato il rilievo geometrico-strutturale, quello del quadro fessurativo e dello stato di degrado. È emerso che l'opera era interessata da uno stato di degrado rilevante che aveva colpito le parti corticali degli elementi in calcestruzzo armato con conseguente espulsione del copriferro ed aggressione delle armature, tuttavia il degrado non aveva indotto particolari



**Figura 2** – Monta. Distacco del copriferro

deterioramenti della armature longitudinali. Diversamente per le armature trasversali che risultano completamente esfoliate a causa del fenomeno corrosivo.



**Figura 3** – Trave di bordo. Degrado delle armature e distacco del copriferro.



**Figura 4** – Traverso di bordo e soletta. Espulsione del copriferro e corrosione delle armature.



Ad integrazione delle indagini oggetto di un precedente studio [5], si è effettuata una ricognizione della soletta dell'impalcato tramite tecnica GeoRadar. Di seguito si riporta la sezione orizzontale dal piano stradale, in cui si individuano oltre all'armatura i traversi e la trave rompitratta.

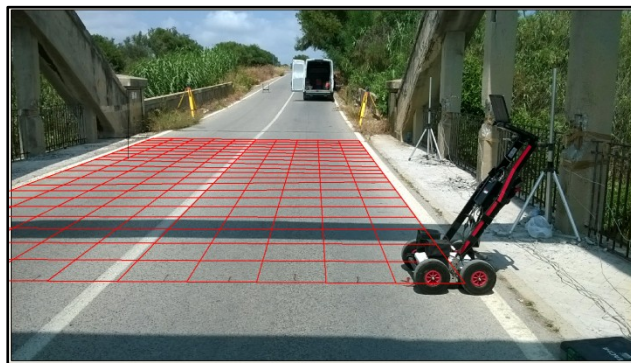


Figura 5 – Schema indagine GPR.

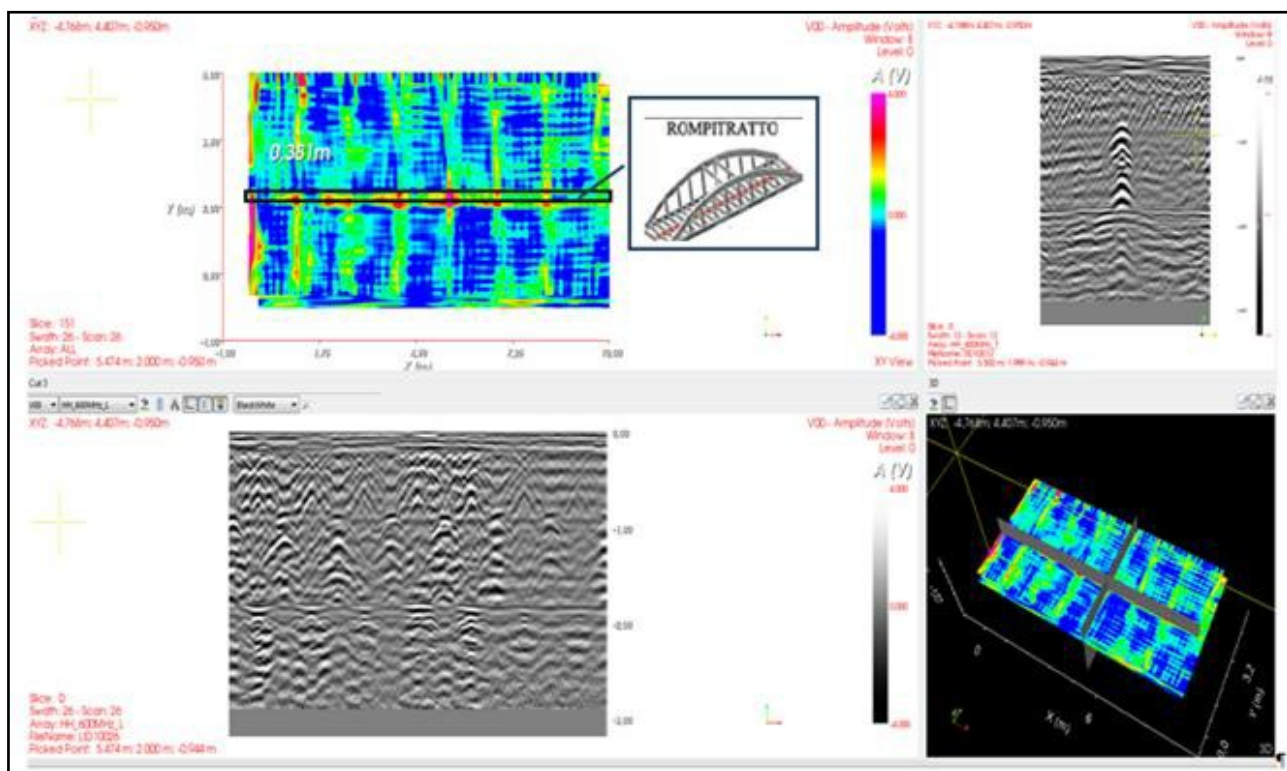


Figura 6 – Indagine GPR sezione -95 cm.

L'ultima fase ha riguardato la redazione del programma delle prove di carico statiche. Esso è stato attuato mediante l'utilizzo di due tipologie di autocarri: a 2 assi con massa pari a 10 t. e a 4 assi con massa pari a 20 t.

In totale sono state previste 21 configurazioni di carico suddivise in 3 gruppi: A) autocarri posizionati su singola corsia (carico eccentrico); B) autocarri affiancati su due corsie; C) autocarri in posizione centrale.



Figura 7 – Configurazione A.



**Figura 8** – Configurazione B.

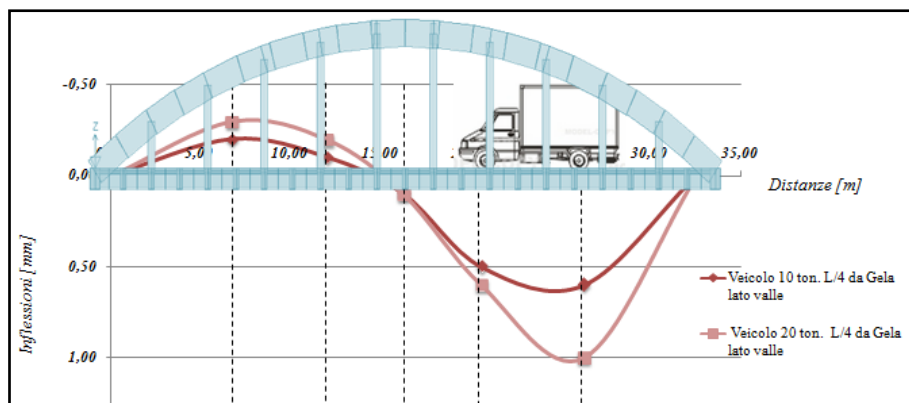


**Figura 9** – Configurazione C.

Le prove di carico statiche hanno consentito:

- la determinazione delle inflessioni dell'impalcato;
- la misura dello stato tensionale cui sono sottoposte le armature dei pendini e delle travi di bordo;
- valutazione dello stato tensionale della struttura in condizione di ponte scarico.

Per il rilievo delle inflessioni dell'impalcato sono stati utilizzati due autolivelli digitali in grado di fornire dati con una risoluzione del decimo di millimetro. Le inflessioni sono state determinate per tutte le configurazioni di carico e di seguito si riporta il confronto, a titolo esemplificativo, per le due tipologie di autocarri.



**Figura 10** – Confronto inflessioni configurazione di carico A.

Particolare cura è stata posta nella valutazione dello stato tensionale delle armature, allo scopo sono state strumentate due barre per ogni elemento strutturale principale, mediante il posizionamento di estensimetri elettrici, secondo il seguente schema di monitoraggio: 8 pendini per ogni arcata, per un totale di 16 (A1-A32) e due travi di bordo (A33-A36); per un totale di 36 ER.



**Figura 11** – Barra prima della prova.

Per tenere conto della variazione di temperatura durante l'arco temporale della prova è stato prescritto l'impiego di un estensimetro compensatore (A37). Gli ER sono stati applicati secondo quanto prescritto dalla UNI 10478: la prima fase ha previsto la pulizia della superficie (fig. 11), tramite l'asportazione dello strato di vernice affinché risultasse



pulita e priva di sostanze estranee; successivamente questa è stata portata ad un grado di irruvidimento tale da consentire il corretto incollaggio e la perfetta aderenza tra estensimetro e supporto (fig.12); la terza fase ha previsto l'ulteriore pulizia mediante attacco chimico con sostanza acida (fig.13); infine, si è provveduto all'incollaggio dello strumento, applicando in totale tre strati di film protettivo e alla saldatura dei cavi (fig.14).



**Figura 12** – Preparazione della superficie.

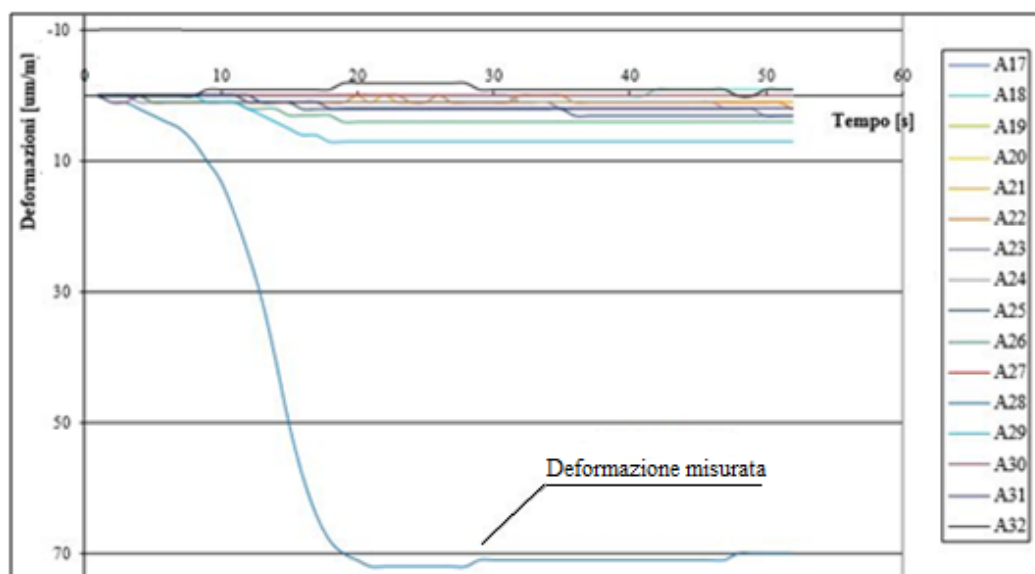


**Figura 13** – Strato di protettivo.



**Figura 14** – Barre strumentate.

La necessità di valutare l'incremento tensionale nelle barre d'armatura, allo scopo di definirne quantitativamente la variazione e di valutarne la linearità, ha portato alla determinazione dello stato tensionale presente su un pendino, a ponte scarico, mediante tecnica del "rilascio tensionale"[2]. Il metodo è consistito nel taglio di una barra del pendino n. 6 lato monte, registrando contestualmente, tramite sistema di acquisizione, le deformazioni di tutte barre strumentate. Prima del taglio della barra tutte le armature hanno una certa tensione iniziale tuttavia per apprezzare la variazione di tensione a seguito del taglio, essa viene posta pari a zero.



**Figura 15** – Grafico indagine effettuata.

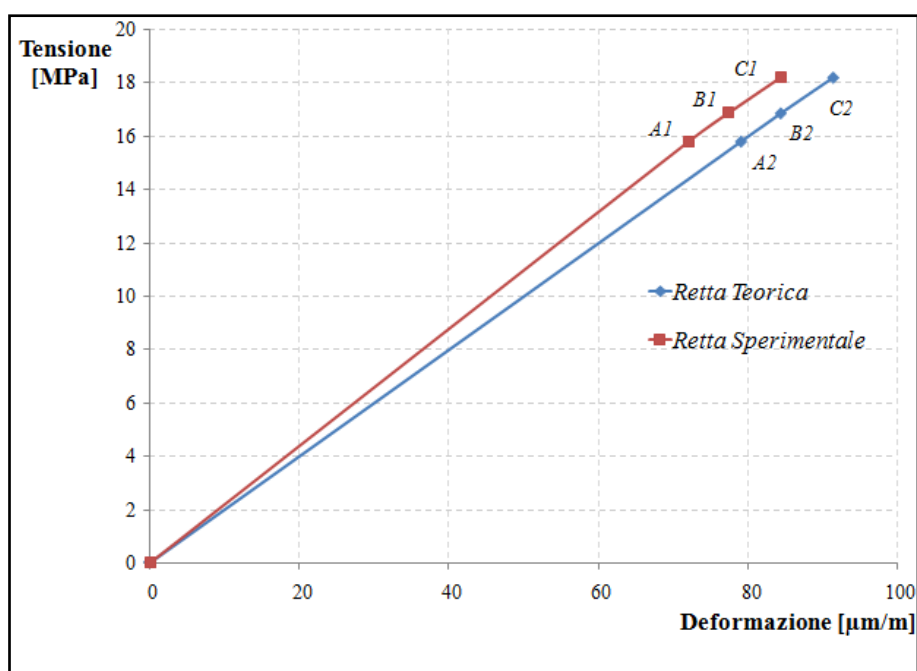
Dai risultati della prova effettuata (Figura 15) si nota che la deformazione di rientro si attesa su  $70 \mu\text{m}/\text{m}$ . Le altre barre rivelano la redistribuzione delle tensioni a seconda dalla posizione rispetto alla barra tagliata.

Il piano di indagine predisposto, come già detto, è stato integrato delle risultanze sperimentali, ottenute da un precedente studio [5], messo a disposizione dell'Ente Gestore riguardante: disposizione, quantità e caratteristiche meccaniche delle armature; caratteristiche meccaniche del calcestruzzo; prova di caratterizzazione dinamica del manufatto.

#### 4. CONSIDERAZIONI SUL COMPORTAMENTO STATICO E VERIFICHE

Il giudizio sulla capacità portante dell'infrastruttura è stato formulato sulla base delle risultanze numeriche, ottenute dalle analisi statiche, eseguite su Modello FEM opportunamente calibrato e mediante l'esecuzione delle verifiche secondo quanto riportato all'interno del disposto normativo vigente.

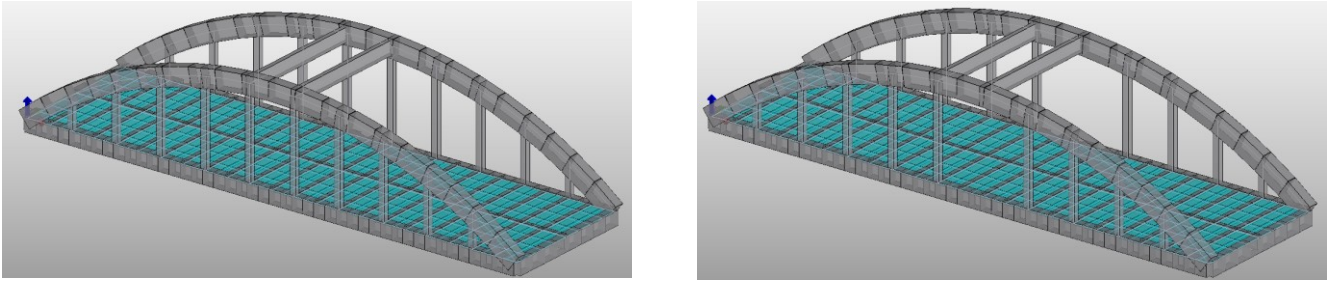
Il grafico in fig. 16 riporta il confronto all'aumentare dei carichi sull'impalcato, in termini di rapporto tensione/deformazione, tra i dati acquisiti sperimentalmente e quelli dedotti dal modello FEM. Le coppie di punti indicano gli step di incremento di carico, in particolare: ponte scarico ( $A_1$ - $A_2$ ), carico sull'impalcato pari a 10 t ( $B_1$ - $B_2$ ), carico sull'impalcato pari a 20 t ( $C_1$ - $C_2$ ). In particolare il punto  $A_1$  è rappresentativo dello stato tensionale in situ.



**Figura 16** – Diagramma tensione/deformazione con incremento di carico.

Le due rette (dati teorici e sperimentali) rivelano un comportamento della struttura perfettamente lineare, inoltre i valori ottenuti sul piano numerico risultano paragonabili.

Al fine di analizzare il comportamento della struttura al verificarsi di una condizione di plasticizzazione di un pendino, si è ritenuto opportuno studiare l'opera in esame facendo riferimento a uno schema di tipo variato, ottenuto eliminando il pendino maggiormente sollecitato per ogni arcata.



**Figura 17** – Sinistra - schema originario; Destra – Schema variato.

Ciò ha permesso di verificare come a causa della redistribuzione delle sollecitazioni, conseguente alla plasticizzazione di una coppia di elementi verticali, gli aumenti di sollecitazione ricavati tuttavia non incidono significativamente sull'assetto generale dal punto di vista delle verifiche statiche, in quanto gli elementi che non verificano le condizioni di sicurezza sullo schema statico variato coincidono con quelli che non verificano considerando lo schema originario.

## 5. CONCLUSIONI

Sulla scorta delle elaborazioni e della interpretazione dei risultati sperimentali e alla luce dei controlli e dei confronti statuiti tra queste misure e le corrispondenti dedotte per via numerica, si è determinato che il comportamento della struttura è adeguato a sopportare i carichi di prova. Per tale motivo si è autorizzata l'apertura al traffico con una limitazione del carico massimo transitabile rispetto a quello di prova e solo su corsia centrale.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Albenga G.,(1958), “*I Ponti – L’esperienza*” Parte I “*Forze ed azioni sui ponti*”, UTET, Torino
- [2] Barbarito B.,(1994), “*Verifica Sperimentale Delle Strutture*”, UTET, Torino
- [3] Franciosi V., (1958), “*Ponti ad arco con impalcato sospeso*” Cap.1§D, Ulrico Hoepli Editore, Milano
- [4] E. Lo Giudice et al, (2015), “*Il Ponte in c.a. sul Cassibile. Una struttura a spinta eliminata.*”, AISI, Napoli
- [5] Prof. Ing. I. Calì, Relazione OmiaTest, “*Identificazione dinamica del Ponte sul Cassibile attraverso l’analisi delle vibrazioni indotte dal traffico e definizione di un modello agli e.f. utile ai fini della stima di vulnerabilità.*”
- [6] E. Lo Giudice et al, (2016), “*Il ponte sul Cassibile. Una struttura ad arco in c.a. tipo Bowstring del 1930*” AICAP, Roma