

# MONITORAGGIO STATICO E VIBRAZIONALE DI UN VIADOTTO FERROVIARIO AD ARCO MULTIPLO SULLA LINEA CALTAGIRONE-GELA

E. LO GIUDICE<sup>1</sup>, G. NAVARRA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Direttore del Laboratorio DISMAT s.r.l., Canicattì (AG)

<sup>2</sup>Laboratorio DISMAT s.r.l., Canicattì (AG)

## 1. INTRODUZIONE

Un recente crollo riguardante un viadotto ferroviario della tratta Caltagirone-Niscemi avvenuto l'otto maggio 2011 in condizioni di assenza di carico ha indotto il Gestore a predisporre un piano di ispezioni e di messa in sicurezza delle opere d'arte analoghe a quella crollate in interferenza con altre infrastrutture viarie. In questo ambito si è ritenuto di presidiare il cantiere di messa in sicurezza del viadotto, sito in corrispondenza della SP 11 al Km 347+990 fra le stazioni di Niscemi e Priolo, mediante un sistema di monitoraggio combinato statico e vibrazionale.

Nel lavoro vengono descritte: le particolari caratteristiche del sistema di monitoraggio, il sistema di gestione in rete e la scelta dei parametri di controllo.

## 2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La tratta da Caltagirone a Gela, lunga 45,566 km, che si inquadra in quel complesso di opere infrastrutturali predisposte ed attuate subito dopo l'unificazione dell'Italia, vide l'approvazione solo nel 1911 ma venne inserita tra quelle di 4 categoria e quindi autorizzata a scartamento ridotto insieme ad altre ferrovie secondarie. Lo scoppio della prima guerra mondiale bloccò tutto. Il 24 novembre 1921 il Regio decreto n. 1696 ne ripropose la costruzione ma a scartamento ordinario ed a carico dello Stato. Ma i lavori languirono, venne realizzata solo qualche opera d'arte, e lo scoppio della seconda guerra mondiale li bloccò del tutto. Nei primi anni cinquanta venne approntato uno studio per riprendere i lavori aggiornando ancora una volta il progetto con le seguenti caratteristiche: curve con raggio minimo di 500 m, pendenza massima del 18 per mille e velocità di 95 km/h. I lavori iniziarono nell'aprile 1952 e vennero portati avanti con lentezza estrema tanto che l'apertura avvenne solo nel novembre 1979. Dall'8 maggio 2011 la linea è interrotta, nella tratta Caltagirone-Gela, per il crollo al km 326+600 della nona e decima arcata e di un pilone del viadotto di Piano Carbone, al momento del crollo non vi erano convogli in transito.

L'opera oggetto dello studio è un viadotto ad archi multipli a dieci campate (foto 1), avente sottostrutture in muratura ed arcata in calcestruzzo non armato. Una delle arcate supera la SP11 (foto 2), essa in passato era stata oggetto di un monitoraggio statico così come testimoniato dalla presenza di numerose biffe presenti soprattutto sull'arcata (foto 3).





Figura 1: Volta sottoposta a monitoraggio



Figura 2- Vista d'insieme del Viadotto oggetto del monitoraggio



Figura 3-Biffe installante durante un precedente monitoraggio

### 3. SISTEMA DI MONITORAGGIO STATICO

Il sistema di monitoraggio utilizzato ha previsto l'impiego di sensori che, fissati in punti prestabiliti della struttura, sono in grado di rivelare variazioni locali di spostamento relativo, di temperatura e di inclinazione; una centralina di acquisizione provvede a inviare sul web i dati raccolti che vengono resi disponibili tanto alla Committenza quanto alla centrale di controllo del laboratorio DISMAT.

In dettaglio il sistema è composto da:

1) N° 6 Trasmettitori tipo Wireless Datalogger con 3 canali ciascuno: temperatura aria + 2 sensori potenziometri (50mm di corsa) Batteria interna al litio tipo AA per un'autonomia tipica di 5 anni. Ogni trasmettitore provvede ad effettuare le misurazioni con cadenza tra 1 e 10 minuti con risoluzione di 0.12 mm e ed inviarle attraverso la rete Wireless alla centralina di raccolta.



Figura 4: Sistemi di acquisizione dati; a) Centralina di acquisizione degli spostamenti, b) Centralina di acquisizione delle inclinazioni, c) Centralina di raccolta e trasmissione dei dati.

2) N°1 Trasmettitore tipo Wireless Logger con 3 canali ciascuna per esterno: temperatura aria ambiente + Inclinometro Batteria interna al litio tipo AA per un'autonomia tipica di 5 anni, questo provvede a effettuare le misurazioni con cadenza tra 1 e 10 minuti con risoluzione di 0,01° e ad inviarle attraverso la rete Wireless alla centralina di raccolta.

3) N°1 centralina di raccolta (Wireless Datalogger Gateway) con il compito di raccogliere il segnali Wireless provenienti dai trasmettitori e di inviarli, tramite un modulo gprs integrato, verso il centro servizi rendendoli disponibili per la committenza che in qualsiasi momento può accedervi attraverso il sito [www.winecap.it](http://www.winecap.it) digitando le apposite credenziali. La centralina viene alimentata da un sistema di pannelli fotovoltaici connessi a una serie di batterie tampone che ne garantiscono il funzionamento nelle ore notturne e/o in caso di scarso soleggiamento.



Figura 5: Installazione del sistema di alimentazione elettrica autonomo

Una serie di ingressi RS232/485/USB con protocollo MOD BUS, GSM per connessioni punto/punto, GPRS garantisce il controllo e verifica dei parametri immessi nella centralina e la diagnosi della rete radio.

Un sistema di allarme integrato permette avvisare localmente l'utenza attraverso il suono di una sirena e l'accensione di una luce ad intermittenza quando le misurazioni, effettuate con la cadenza di un minuto superano una soglia minima o massima preimpostate. Quando ciò accade il sistema provvede all'aggiornamento istantaneo dei dati presso il centro servizi e ad all'invio di una e-mail con l'indicazione del trasduttore ed il valore del superamento.

Complessivamente i canali impegnati per il monitoraggio sono 21 così suddivisi:

- ✓ N°12 trasduttori di spostamento (uno per canale) fissati per mezzo di golfari a cavallo delle lesioni e/o delle discontinuità.
- ✓ In accordo con la Committenza è stato scelto di distribuire i trasduttori su entrambe le facciate dell'arco (lato monte e lato valle) cercando di seguire il comportamento statico dell'arco (in corrispondenza del lembo teso) per effetto di un carico uniformante distribuito sull'estradosso dell'arco.
- ✓ N°7 rilevatori di temperatura collocati sui singoli trasmettitori con cadenza oraria.
- ✓ N° 1 rilevatore inclinometrico biassiale posto nel punto indicato in fig.1

Prima dell'istallazione tutti i sensori di spostamento sono stati verificati e tarati (fig.6). Di seguito si riporta lo schema di posizionamento dei trasduttori su uno dei prospetti (fig.7):



Figura 6 - Taratura dei trasduttori di spostamento



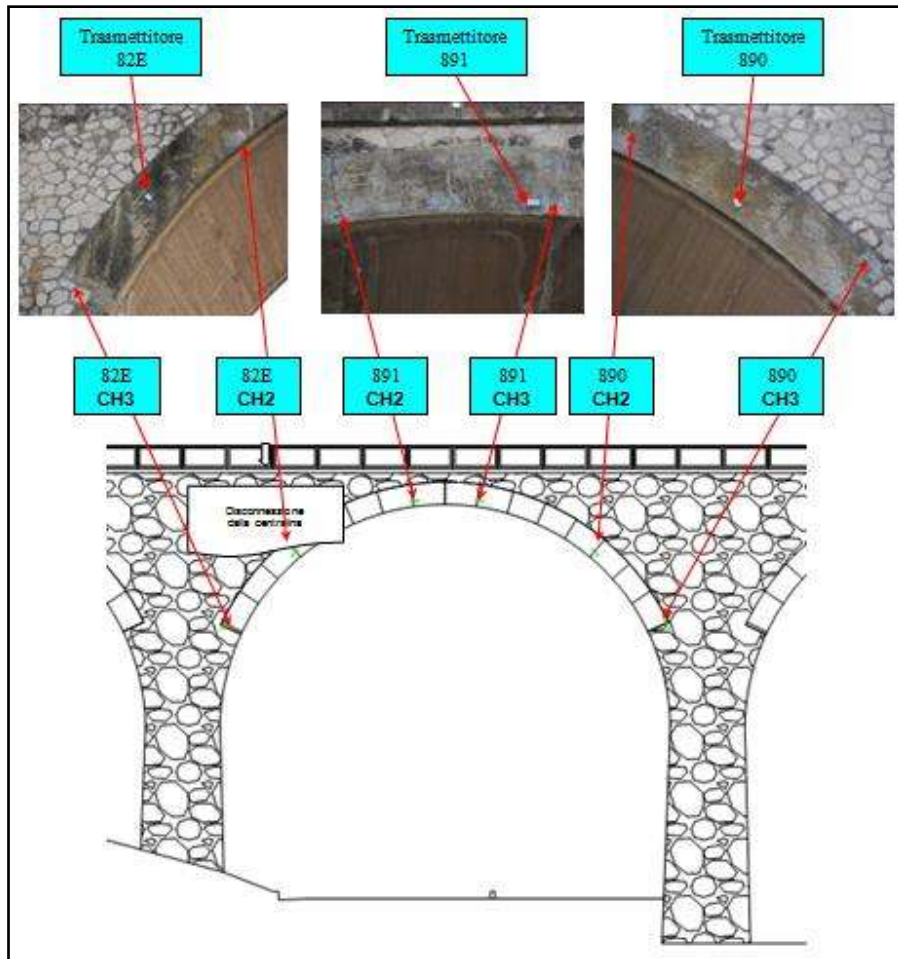


Figura 7:Disposizione dei rilevatori lato monte

#### 4. IMPOSTAZIONI DELLE SOGLIE DI ALLARME

Come anticipato, un sistema di allarme integrato, permette avvisare localmente l'utenza attraverso il suono di una sirena e l'accensione di una luce ad intermittenza quando le misurazioni, effettuate con la cadenza di un minuto, superano una soglia minima o massima preimpostate. Quando ciò accade il sistema provvede anche all'aggiornamento istantaneo dei dati presso il centro servizi e ad all'invio di una e-mail con l'indicazione del trasduttore ed il valore del superamento.

Nello specifico la soglia di allarme per ciascun trasduttore di spostamento è stata impostata con 1 mm di tolleranza rispetto al valore all'istante dell'installazione, ciò significa che per tutti i trasduttori di spostamento sono tollerate letture di  $\pm 1$  mm prima dell'attivazione dell'allarme.

Le impostazioni delle soglie possono essere comunque variate all'occorrenza in base alle esigenze della Committenza mediante ordini di servizio.

In base al comportamento deformativo registrato dai trasduttori di spostamento relativamente alla loro disposizione durante la fase di pre-monitoraggio, è stato possibile individuare due diverse tipologie di comportamento che determinano l'attivazione del sistema di allarme.



Figura 8: Posizionamento e installazione del dispositivo di allarme

### ***Allarme tipo 1 (allarme istantaneo)***

La sirena ed il lampeggiante si attivano per un periodo di tempo inferiore al minuto: uno dei trasduttori di spostamento ha superato per qualche secondo la soglia preimpostata. In tal caso dopo avere disposto la sospensione temporanea dei lavori e l'evacuazione dei lavoratori dal cantiere sarà necessario attendere il benestare via e-mail o fax da parte della Direzione Lavori sentito il responsabile del sistema di monitoraggio.

### ***Allarme tipo 2 (allarme continuo)***

La sirena si attiva per tre minuti mentre il lampeggiante continua a funzionare (fino a disattivazione): uno o più trasduttori di spostamento hanno superato costantemente le rispettive soglie di allarme. In tal caso dopo avere ordinato la sospensione lavori e l'evacuazione dei lavoratori dal cantiere, e comunicato telefonicamente l'accaduto la Committenza e al responsabile del sistema di monitoraggio, verrà disposto un sopralluogo congiunto con le imprese esecutrici dei lavori, per l'accertamento del caso.

## **5. SISTEMA DI MONITORAGGIO DINAMICO**

Il monitoraggio dinamico è finalizzato a controllare gli effetti indotti dalle macchine operatrici di cantiere e quindi di incrociare, ove si fosse presentata la necessità (allarme), i dati di vibrazione con quelli provenienti dal monitoraggio statico, e d'altra parte, ove si verificasse un dissesto, questo potrebbe essere rilevato con anticipo dal trasduttore di vibrazione.

Il rilievo vibrazionale è operato mediante un velocimetro triassiale installato in maniera solidale alla struttura e al riparo da eventuali disturbi esterni.

L'unità di controllo e registrazione è alloggiata in un robusto contenitore e dotata di memoria per la registrazione di un massimo di 341 eventi. Tutti gli eventi registrati possono essere richiamati a display per la visualizzazione dei valori massimi e delle frequenze associate. Le forme d'onda possono essere scaricate su PC direttamente

con cavo seriale o attraverso un collegamento via modem o GSM-modem, così da poter essere analizzate con il software WinNomis.



Figura 9: Centralina di monitoraggio dinamico di trasmissione dati (sx) e velocimetro triassiale (dx).

## CONCLUSIONI

Il sistema messo in atto ha permesso ad oggi di monitorare sia sotto il profilo statico che dinamico i parametri di interesse (spostamenti relativi, inclinazione, temperatura e vibrazioni) relativi ad un importante viadotto ferroviario durante i lavori di messa in sicurezza di una delle campate.

Particolarmente delicate, in relazione alle possibili conseguenze che coinvolgono aspetti etici e di responsabilità penale, risultano essere le decisioni in merito alla scelta dei cosiddetti “valori di soglia”.

In questo senso si è indicata un metodica, che è stata adottata nel caso in studio.