

Monitoraggio altimetrico di elevata precisione di ponte in acciaio

Bianca Federici (*), Ilaria Ferrando (*), Domenico Sguerso (*),
Stefano Belfiore (**), Pietro Bellina (**)

(*) DICCA - Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale, Università degli Studi di Genova
Via Montallegro 1 - 16145 Genova, 010-3532421, domenico.sguerso@unige.it
(**) Direzione Territorio e Mobilità, Città Metropolitana di Genova

Riassunto

Il presente lavoro tratta il monitoraggio altimetrico di elevata precisione a supporto del collaudo statico di un ponte in acciaio sottoposto a differenti condizioni di carico. I criteri adottati per il disegno della rete altimetrica, la relativa campagna di misure e la fase di elaborazione vengono qui analizzate per la stima degli spostamenti verticali dei punti oggetto di rilevamento, con particolare attenzione agli effetti termici agenti sulla struttura.

Abstract

The present work analyzes the high-accuracy altimetric monitoring to support the static loading test of a steel bridge subjected to different loading conditions. The criteria adopted to design the altimetric network, its campaign and the measures being developed are here analyzed to estimate the vertical displacements of the control points, with particular attention to thermal effects acting on the structure.

Nel presente lavoro sono descritte le diverse fasi del rilievo altimetrico eseguito sul ponte a campata unica con struttura in acciaio sito sulla S.P. 26 della Val Fontanabuona in prossimità dell'abitato di Carasco, in provincia di Genova, denominata "Variante Settembrin", durante la prova di carico del 24 marzo 2015.

Per la campagna di misure è stata scelta la livellazione geometrica di elevata precisione, che permette di ottenere precisioni nettamente superiori ad altre tecniche di rilievo puntuali, quali ad esempio la collimazione mediante stazione totale, o areali, mediante fotogrammetria e laser scanner; queste ultime avrebbero il vantaggio di necessitare di un limitato tempo di rilevamento per le singole prove di carico. Indipendentemente dalla tecnica di rilievo adottata, la valutazione degli effetti termici agenti sulla struttura deve essere oggetto di particolare attenzione.

Il rilievo altimetrico di precisione è stato eseguito pertanto mediante livellazione geometrica dal mezzo con livello automatico Wild/Leica NA2 con micrometro ottico e lamina a facce piane e parallele GPM3 ($\sigma^2 = 10^{-2} \text{ mm}^2$), corredato da stadie in invar di altezza 2 m.

La rete oggetto del rilievo è stata disegnata mediante simulazioni per ottenere precisioni omogenee nella stima delle quote dei punti, con un buon controllo sulle misure. La rete è costituita da tre punti sulla trave di monte e tre su quella di valle, posti su entrambe a 1/4, 1/2 e 3/4 della lunghezza della trave, due punti sull'asse longitudinale a inizio e fine del ponte, quattro punti trasversali all'asse longitudinale posti in mezzeria ed infine due caposaldi esterni ritenuti stabili.

Le condizioni di carico (in seguito denominate "letture") cui è stato sottoposto il ponte con differenti entità del carico e varie configurazioni geometriche, sono state tre (L1: 3 camion lato valle, L2: 6 camion disposti in due file lato valle, L4: 6 camion disposti in due file lato monte), intervallate da letture a ponte scarico (L0, L3, L5).

La sequenza scelta per le misure è stata tale da permetterne la verifica mediante percorsi chiusi

piuttosto brevi, che hanno mostrato delle ottime “chiusure” in tolleranza, a conferma della qualità delle misurazioni effettuate; si è scelto inoltre di ripetere una tratta di livellazione lungo la trave di valle nella fase iniziale e in quella terminale di ciascuna prova di carico, al fine di ottenere informazioni sul comportamento del ponte al variare degli effetti termici durante ciascuna prova.

Le variazioni osservate nella tratta ripetuta evidenziano lievi effetti tempo-varianti, da ricondursi alla presenza di effetti secondari quali, come ipotizzato, quelli termici, sotto l'ipotesi che le misure relative alla singole letture siano state interamente eseguite con struttura in condizioni di carico stazionarie. Si è quindi proceduto ad una prima compensazione di ciascuna singola lettura mediante criterio di stima dei minimi quadrati, corredato da test statistico del χ^2 con livello di significatività del 5%, per verificare la correttezza del modello. Le variazioni di quota dei punti nelle diverse letture sono state ottenute in riferimento alla lettura iniziale L0 con ponte scarico.

L'analisi delle inflessioni evidenzia una sostanziale linearità del comportamento della trave di valle nel confronto tra 3 e 6 camion lato valle (rispettivamente L1-L0 e L2-L0); è evidente inoltre una corretta simmetria nel comportamento tra la trave di valle e quella di monte nelle condizioni a pieno carico (L2 e L4). Stessa specularità è mostrata dai punti sul traverso, con maggiori inflessioni verso valle nella lettura L2 e verso monte nella lettura L4.

La non perfetta coincidenza delle quote dei punti nel confronto tra le letture a ponte scarico L3 e L5 rispetto alla lettura iniziale L0 suggerisce la presenza di effetti tempo-varianti, dipendenti dalle variazioni termiche cui la struttura è soggetta. Tali effetti termici possono quindi essere scomposti in due contributi: uno “interno” alla lettura, dovuto alle variazioni di temperatura durante la singola prova di carico, ed uno denominato “giornaliero”, dovuto alle variazioni di temperatura nell'arco della giornata tra le diverse prove di carico.

Considerando le oggettive difficoltà nel misurare gli effettivi valori di temperatura della struttura nelle sue differenti parti, esposte o meno a irraggiamento solare, non possono che essere le stesse misure dei dislivelli ripetuti a pari condizioni di carico a fornire informazioni sugli effetti tempo-varianti agenti sulla struttura. Pertanto una valutazione degli effetti termici agenti sulla struttura durante la generica lettura è fornita dal confronto dei dislivelli ottenuti nell'unica battuta ripetuta ad inizio e fine di ogni lettura, mentre una valutazione dell'effetto dovuto alle variazioni di temperatura tra le diverse prove di carico si può ottenere in funzione delle variazioni termiche della struttura stessa tra due letture con pari condizioni di carico.

Relativamente agli effetti interni alla singola lettura, occorre tenere presente che l'informazione fornita dalla ripetizione della battuta si riferisce, ovviamente, a quella singola tratta; l'estensione alle altre tratte è stata effettuata parametrizzando l'inflessione termica mediante un modello parabolico per le travi di valle e di monte, mentre con un modello lineare per i punti posti sul traverso.

Per quanto riguarda invece gli effetti termici “giornalieri”, essi sono stati valutati mediante confronto tra la prova iniziale L0 e la prima prova a ponte scarico L3, in relazione alla variazione di temperatura del ponte per le diverse letture, ottenendo in tal modo un fattore di correzione da applicare ai dislivelli già depurati dell'effetto termico “interno” alle singole letture. Significativo è il confronto risultante, a valle di tale procedura, tra le letture a ponte scarico L0-L5 per il quale le entità massime non superano i 0.5 mm.

Purtroppo tutto ciò è strettamente dipendente dalla scelta della temperatura rappresentativa della struttura durante le singole prove di carico, con effetti che possono raggiungere i 0,4 mm per variazioni estreme della temperatura di 0.5°C; nel caso in studio tali variazioni sono da considerarsi estreme vista la sostanziale stazionarietà delle condizioni meteorologiche, rimaste uggiore per l'intera giornata, che non hanno sostanzialmente dato luogo a differenze nell'esposizione all'irraggiamento solare delle diverse zone della struttura.

Ulteriori approfondimenti e analisi sono comunque sviluppati da parte del gruppo di ricerca per una valutazione degli effetti termici il più possibile slegata dalla conoscenza della temperatura della struttura.