

# SISTEMI DI MONITORAGGIO INTEGRATO TOPOGRAFICO E GEOTECNICO

**SPEKTRA - A TRIMBLE COMPANY PER GARANTIRE LA SICUREZZA DI PONTI E VIADOTTI:  
IL MONITORAGGIO DEL PONTE STORICO DI PADERNO D'ADDA**

## SICUREZZA E FRAGILITÀ: LA CONSERVAZIONE DI UN BENE CULTURALE

Il ponte San Michele, noto anche come ponte di Paderno, è un ponte ad arco in ferro, a traffico misto ferroviario-stradale, che collega i paesi di Paderno d'Adda (LC) e Calusco d'Adda (BG) attraversando una gola del fiume Adda. Realizzato nel 1889, oltre a costituire una tappa fondamentale nell'evoluzione storica delle infrastrutture in Italia è inserito tra i Beni tutelati dalla Soprintendenza per i Beni Ambientali e Architettonici della Regione Lombardia sin dal 1980. Capolavoro riconosciuto come uno dei simboli dell'archeologia industriale italiana, nel 2017 il ponte è stato candidato anche per essere inserito nella lista UNESCO dei patrimoni dell'umanità. Il ponte di Paderno si sviluppa su due livelli: quello superiore è carrabile, mentre quello inferiore è destinato al traffico ferroviario. La struttura è sostenuta da sette piloni in ferro, con due archi parabolici simmetrici che formano la campata.

Nel 2021 sono stati avviati lavori di manutenzione straordinaria volti al ripristino degli standard di sicurezza prescritti da Normativa. Gli interventi eseguiti hanno portato al rinforzo strutturale del ponte ed al rifacimento completo della carreggiata stradale. Per tale motivo esso è stato chiuso al traffico sia stradale che ferroviario per oltre un anno (si vedano fascicoli

n° 80 Marzo/Aprile 2010 a pag. 84 e n° 139 Gennaio/Febrero 2020 a pag. 90).

L'Impresa appaltatrice si è avvalsa della collaborazione dello Studio di ingegneria Tecno In Geosolutions SpA per il necessario supporto topografico e per il monitoraggio della struttura durante tutte le fasi di riqualificazione.

## IL MONITORAGGIO CON SOLUZIONI TRIMBLE PER GARANTIRE LA SICUREZZA DELL'INFRASTRUTTURA

Con il termine monitoraggio strutturale si vuole intendere il complesso di operazioni volte ad acquisire in modo manuale o automatico dati relativi a determinati parametri strutturali, al fine di avere informazioni, anche in tempo reale, sul comportamento di una struttura o di una infrastruttura. Il monitoraggio integrato di tipo statico e dinamico rappresenta quindi uno strumento fondamentale per la verifica del comportamento reale rispetto all'ipotesi di progetto, l'aggiornamento di modelli numerici, la valutazione delle prestazioni in fase di esercizio e all'analisi dello stato di salute dell'opera analizzata.

Nel caso specifico, il monitoraggio ha avuto lo scopo di verificare il comportamento generale dell'infrastruttura, misurare e analizzare gli spostamenti degli elementi strutturali del ponte ai fini di garantire la totale di sicurezza



1. La stazione totale automatica Trimble S9



2. Maestranze al lavoro per la manutenzione del ponte San Michele



3. La riproduzione hardware e software del sistema di monitoraggio utilizzato sul ponte San Michele

delle maestranze operanti sul ponte nella fase di manutenzione straordinaria e assicurare la solidità e l'integrità dell'infrastruttura storica sottoposta a sollecitazioni derivanti dai lavori. Per garantire un'osservazione ampia del ponte è stato scelto di installare un sistema di monitoraggio integrato che prevedesse l'impiego di strumentazione topografica, geotecnica e dinamica. Al fine di garantire continuità di misurazione e qualità delle osservazioni, particolare attenzione è stata posta nella scelta di sensori di misura con elevate prestazioni in termini di precisione e di accuratezza adatti ad un utilizzo intensivo e in ambiente aperto.

È stata installata e georeferenziata una stazione totale automatica modello Trimble S9 0,5" ad una distanza di circa 200 m dalla struttura in una posizione di ampia visibilità del ponte. Essa misura nel complesso 78 prismi di cui quattro di riferimento installati su strutture considerate stabili posizionate in prossimità del ponte e 74 di monitoraggio installati in corrispondenza degli elementi strutturali il cui comportamento è considerato significativo ai fini del controllo.

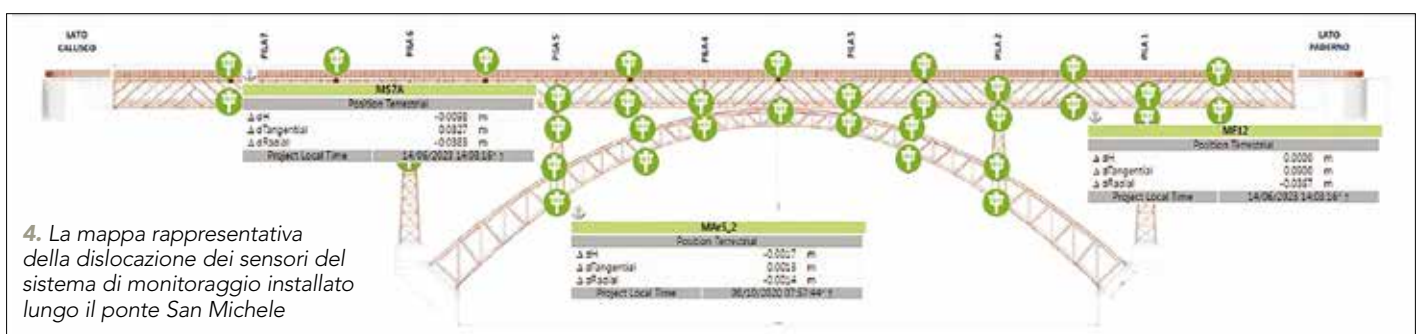
La postazione di misura è stata dotata di un quadro elettrico con grado di protezione IP65. Al suo interno sono stati alloggiati tutti i componenti accessori necessari al funzionamento della postazione, quali il sistema di comunicazione e alimentazione.

vengono quindi resi disponibili sulla piattaforma in formato grafico e tabellare in coordinate 3D. Essi possono inoltre essere visualizzati in mappa completi di indicazione circa i vettori di spostamento plano-altimetrici e velocità di spostamento.

Il monitoraggio geomatico del ponte è stato integrato con l'installazione di 100 micro-estensimetri e 15 accelerometri triassiali per l'analisi di vibrazioni, carichi, frequenze, range e tolleranza. Il sistema acquisisce inoltre i dati provenienti da una centralina che registra i dati meteo ambientali, dati funzionali all'applicazione delle correzioni delle misure acquisite dalle altre tecnologie in campo.

#### IL SOFTWARE VANTAGGI GARANTITI DAL MONITORAGGIO TRIMBLE

A fronte della necessità di disporre di misure atte a controllare gli effetti delle lavorazioni e della risposta termica del ponte, il sistema è stato impostato ad acquisire cicli di misura a cadenza oraria. Il sistema è stato installato prima dell'avvio dei lavori per acquisire dati che rappresentassero il reale comportamento del ponte prima dell'inizio delle attività manutentive; tale periodo di acquisizione è stato funzionale alla definizione dello zero del sistema, alla definizione delle soglie di allarme ed alla scelta delle migliori impostazioni di elaborazione del dato acquisito.



4. La mappa rappresentativa della dislocazione dei sensori del sistema di monitoraggio installato lungo il ponte San Michele

L'interfaccia web di Trimble 4D ha permesso quindi di fornire alle maestranze coinvolte nel progetto di consultare i dati acquisiti in tempo reale, ognuno con il proprio livello di accesso definito in funzione del ruolo (amministratore, analista o semplice visualizzatore). Per agevolare la consultazione dei dati è stata impostata inoltre la possibilità di generare in modalità automatica della reportistica sullo stato funzionale del sistema e sugli spostamenti registrati, report che venivano automaticamente inviati alle persone preposte secondo le impostazioni definite dall'amministratore.

Il monitoraggio è rimasto attivo per un periodo successivo alla chiusura dei lavori ed alla riapertura del traffico stradale e ferroviario per verificare il comportamento del ponte successivamente alle attività manutentive.

### CONCLUSIONI

I sistemi e i software Trimble sono stati sviluppati per rispondere alle esigenze specifiche di monitoraggio e nello specifico ai fini della garanzia delle maestranze in cantiere e l'analisi del comportamento del ponte rispetto alle ipotesi di progetto.

Il software rappresenta il cuore di un progetto di monitoraggio: attivare gli allarmi in base alle soglie definite dall'utente, controllare le misure, gestire i dati, compilare e analizzare i risultati in tempo reale, sono aspetti fondamentali per poter riconoscere con un adeguato preavviso situazioni di rischio e intraprendere eventuali azioni di mitigazione.



5. La postazione per il controllo del monitoraggio con dashboard, soglie e allarmistica

Il sistema di monitoraggio Trimble fornisce la possibilità di raccogliere e analizzare misure provenienti da diversi sensori per poterli sfruttare all'interno di un'unica piattaforma web in cloud, avere a disposizione una reportistica giornaliera, personalizzabile e condivisibile in maniera distinta a tutti i Professionisti coinvolti.

Tali caratteristiche, unite alle avanzate funzioni di allarmistica, permettono di monitorare e valutare la risposta del ponte rispetto alle sollecitazioni che i lavori possono provocare e quindi fornisce ai decisori le informazioni necessarie per valutare eventuali situazioni di pericolo che potrebbero richiedere la chiusura del traffico e il fermo lavori. ■