

Dalle verifiche profonde al recupero strutturale

CORNICE NORMATIVA, STRATEGIE DI GESTIONE, KNOW-HOW PROGETTUALE: L'ATTENZIONE SULLA "SALUTE" DELLE OPERE ESISTENTI È SEMPRE PIÙ AL CENTRO DELL'IMPEGNO DEL SETTORE. CON GLI SPECIALISTI DI COOPROGETTI ABBIAMO APPROFONDITO, QUALE ESEMPLIFICAZIONE DI UN APPROCCIO CORRETTO E COMPLETO, IL CASO DI UN VIADOTTO SOTTOPOSTO A VERIFICHE DI LIVELLO 4, RINFORZO DELLE SELLE GERBER E ALTRE INIZIATIVE DI MESSA IN SICUREZZA.

Elena Filicori

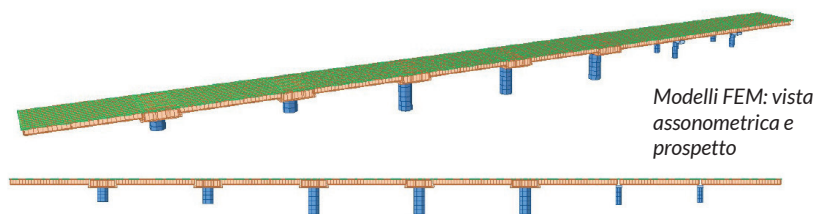
R Negli ultimi anni la sicurezza delle infrastrutture esistenti è diventata una priorità strategica, in particolare per ponti e viadotti realizzati tra gli anni Sessanta e Settanta. Opere concepite in un contesto normativo, tecnologico e di carico profondamente diverso da quello attuale si trovano oggi a dover rispondere a livelli di traffico più elevati, a requisiti di durabilità più stringenti e a criteri di sicurezza aggiornati. In questo scenario, le verifiche strutturali avanzate rappresentano uno strumento essenziale per comprendere il comportamento reale delle opere e pianificare interventi mirati. Un esempio che potremmo definire "tipologico" di un approccio corretto ed evoluto a una materia così complessa e sensibile ci arriva da una ve-

rifica di Livello 4, con relativo intervento di adeguamento, condotta da Coopprogetti su un viadotto in calcestruzzo armato precompresso. Il Livello 4, per inciso, è il massimo grado di approfondimento previsto dalle Linee Guida per la gestione dei ponti esistenti. Il progetto, in particolare, è stato curato e coordinato da Riccardo Cecchetti, ingegnere di Coopprogetti, che sottolinea come oggi non sia più sufficiente una valutazione basata su semplici ispezioni visive: *"Dal 2020, con le nuove Linee Guida, la valutazione è diventata molto più strutturata. Viene delineato un percorso chiaro, che passa dal censimento iniziale fino alle verifiche accurate di Livello 4"*, per esempio nei casi in cui emergono criticità come fessurazioni, distacchi di copriferro o degradi diffusi.

INDAGINI ESTESE

A differenza delle verifiche preliminari, quelle di Livello 4 si fondano su una campagna di indagini estesa, sia distruttive sia non distruttive, e modellazione avanzata. Cecchetti spiega che *"le indagini strutturali comprendono carotaggi sul calcestruzzo, prelievi di barre di armatura e prove di laboratorio per verificarne le resistenze meccaniche"*.

Le carote di calcestruzzo vengono sottoposte a prove di compressione, mentre le barre d'armatura vengono testate a trazione per valutare la loro capacità residua. *"Sono indagini invasive, ma fondamentali per ottenere informazioni affidabili sullo stato reale dei materiali"*. Accanto a queste, vengono eseguite indagini non distruttive come pacometrie, ferroskan e videoendoscopie, utili per ricostruire la disposizione delle armature e valutare lo stato interno degli elementi strutturali senza demolizioni estese. *"Con strumenti dotati di sensori riusciamo a capire quante armature ci sono,*





Approfondire lo stato di salute delle opere d'arte, in funzione dei più opportuni interventi di rinforzo di sicurezza e recupero di efficienza, è una buona pratica intensificata dal lavoro di squadra tra normatori tecnici, gestori e progettisti

dove sono posizionate e come sono distribuite all'interno degli elementi", spiega lo specialista. A ciò si aggiungono prove per valutare il potenziale di corrosione e indagini geologiche e geotecniche per caratterizzare il comportamento del terreno e la risposta sismica del sito. Tutti i dati confluiscono in un modello strutturale avanzato basato su analisi agli elementi finiti: "Costruiamo un modello FEM in cui vengono rappresentati tutti gli elementi dell'opera: travi, traversi, pile, pulvini, appoggi, giunti, soletta, barriere e cordoli. Ogni componente viene verificato singolarmente per individuare eventuali criticità".

Dal punto di vista sismico, il viadotto analizzato non risulta pienamente adeguato secondo i criteri attuali, ma presenta margini di sicurezza che non rendono obbligatorio un intervento immediato. "Dal punto di vista sismico l'opera non è adeguata, ma i coefficienti di sicurezza consentono comunque di dire che non si tratta di una struttura particolarmente vulnerabile". Più rilevanti, invece, sono risultate le carenze dal punto di vista statico, soprattutto in relazione all'incremento dei carichi di traffico nel corso dei decenni.

PUNTI VULNERABILI

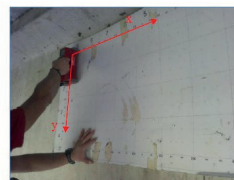
L'elemento più critico emerso dalle verifiche è rappresentato dalle selle

Gerber, dispositivi strutturali tipici delle opere degli anni Sessanta e Settanta. "Le Gerber erano molto utilizzate perché rendevano il sistema staticamente determinato e meno sensibile a cedimenti delle pile o a variazioni termiche", spiega Cecchetti. Questa configurazione consentiva alla struttura di adattarsi a microcedimenti e dilatazioni senza generare coazioni interne significative. Tuttavia, le selle Gerber concentrano elevate sollecitazioni di taglio e risultano particolarmente vulnerabili in presenza di degrado: "Sono punti in cui si concentrano forti sforzi di taglio e dove spesso si infila l'acqua. Qui il degrado avanza più velocemente, anche per effetto dei sali disgelanti". In condizioni di clima rigido, l'uso di sali per prevenire la formazione di ghiaccio favorisce la penetrazione di agenti aggressivi, accelerando la corrosione delle armature. Dal punto di vista strutturale, il rischio principale è legato alla natura fragile del meccanismo di collasso: "La rottura delle Gerber avviene generalmente per taglio ed è una rottura fragile, che non dà segnali premonitori evidenti riguardo a un eventuale collasso". Inoltre, trattandosi di uno schema sostanzialmente isostatico, la perdita di una Gerber può comportare il collasso della campata senza possibilità di redistribuzione delle sollecitazioni, non essendoci "ridondanza strutturale". Le verifiche hanno evidenziato fessurazioni, distacchi

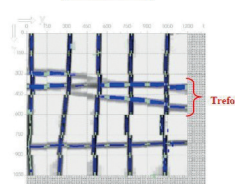
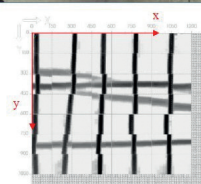
del copriferro e ossidazione delle armature in corrispondenza di queste zone, aggravate dalla percolazione delle acque e da un sistema di smaltimento non più efficiente. Il degrado del calcestruzzo, sottolinea Cecchetti, "non è solo un problema estetico, ma incide direttamente sulla capacità resistente degli elementi, riducendo la sezione efficace e alterando il comportamento delle armature".

STRATEGIE DI RINFORZO

L'intervento di adeguamento è stato progettato per affrontare in modo integrato sia le carenze strutturali sia le cause del degrado: "Potevamo limitarci a un semplice risanamento corticale, rimuovendo il calcestruzzo ammalorato e trattando le armature, ma in questo caso non era sufficiente. Avevamo vere e proprie carenze strutturali, quindi abbiamo scelto un intervento di rinforzo più incisivo". La soluzione adottata prevede l'introduzione di barre post-tese in acciaio inserite all'interno delle selle Gerber: "Le barre vengono inserite e parzialmente iniettate con resina per il primo ancoraggio, lasciando libera la testa per il tensionamento; quindi vengono tese e infine definitivamente bloccate con una seconda iniezione di resina epossidica".



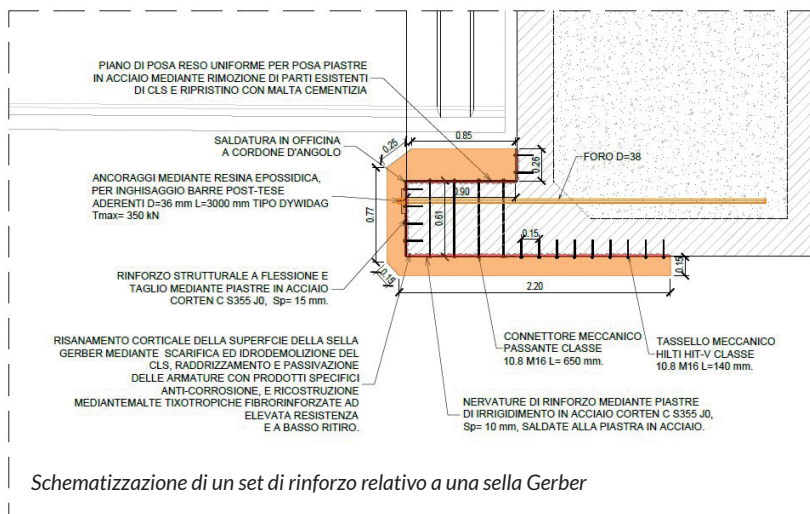
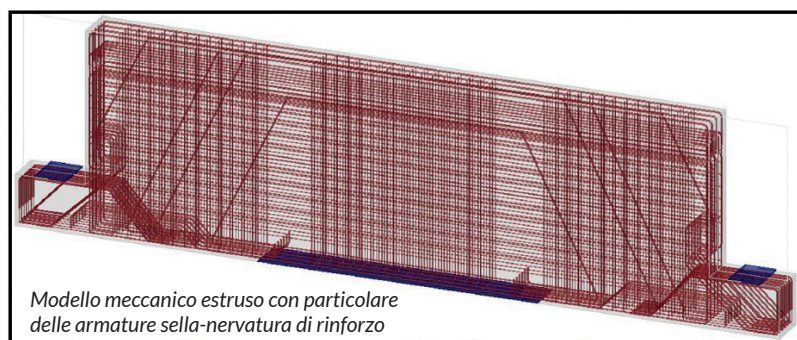
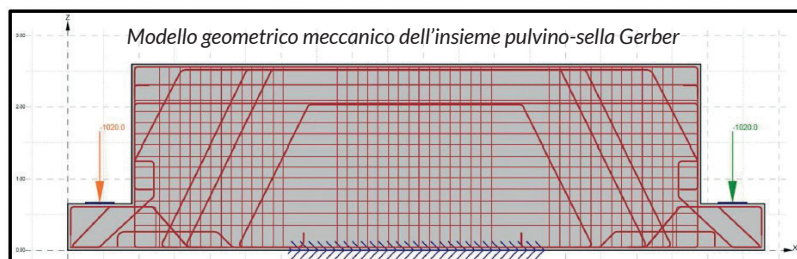
Scansione e analisi Ferroskan su una trave



Questo consente di applicare una compressione che contribuisce a chiudere le fessure e a incrementare la capacità resistente. *“La compressione aiuta a bloccare l'apertura delle fessure e aggiunge armatura nei confronti dei meccanismi di rottura per taglio e flessione”*. A integrazione del rinforzo, sono stati previsti piastroni in acciaio ancorati alla struttura per confinare il calcestruzzo e contrastare i meccanismi di fessurazione: *“Abbiamo inserito piastroni in acciaio che confinano la Gerber e aggiungono resistenza nelle zone più sollecitate, in particolare lungo le linee di fessurazione tipiche delle rotture per taglio”*. Prima del rinforzo strutturale vero e proprio è previsto un esteso intervento di risanamento del calcestruzzo: *“Andiamo a scarificare circa 4 cm di calcestruzzo degradato, trattiamo le armature per bloccare l'ossidazione e ricostruiamo il copri ferro con malte speciali proiettate, che garantiscono anche impermeabilizzazione e protezione”*. Parallelamente al consolidamento strutturale, il progetto affronta le cause che avevano favorito il degrado, intervenendo sulla gestione delle acque di piattaforma: *“Uno dei pro-*

blemi principali era l'infiltrazione d'acqua in corrispondenza delle Gerber. Per questo abbiamo previsto nuovi giunti e un sistema di regimentazione delle acque che impedisce il passaggio sopra questi elementi”.

Sono stati introdotti dispositivi di raccolta e convogliamento che allontanano l'acqua dalle zone più vulnerabili, per mantenere così gli elementi il più possibile asciutti. L'intervento non si limita alle selle Gerber, ma coinvolge l'intera struttura, con rinforzi su soletta, travi, cordoli e barriere, oltre al rifacimento della pavimentazione: *“Si tratta di un adeguamento statico completo dell'opera. Le Gerber erano l'elemento più critico, ma siamo intervenuti un po' ovunque”*.



Schematizzazione di un set di rinforzo relativo a una sella Gerber

GESTIONE OPERATIVA

Dal punto di vista operativo, uno degli aspetti più delicati riguarda la cantierizzazione, che deve garantire la continuità del traffico. *“Queste infrastrutture non si chiudono mai: i lavori vengono organizzati per fasi, con deviazioni e restringimenti, ma cercando di mantenere sempre la viabilità attiva”*. Le lavorazioni sotto l'impalcato possono essere eseguite senza interrompere il traffico, mentre gli interventi sull'estradosso richiedono una gestione più complessa delle corsie. Le sfide progettuali non sono state solo strutturali. *“Uno degli elementi più complessi è stato lavorare sulle Gerber. Inoltre, sotto il viadotto scorre un corso d'acqua, quindi abbiamo dovuto progettare ponteggi sospesi per poter operare senza interferire con l'alveo”*. In termini di durabilità, l'adeguamento è concepito per garantire un orizzonte di esercizio di lungo periodo. *“Un intervento di questo tipo dovrebbe assicurare una vita utile di circa 50 anni, a patto che venga effettuata manutenzione ordinaria costante”*. L'analisi e l'elaborazione progettuale di Cooproggetti permette quindi, in generale, il pieno recupero della sicurezza su viadotti di oltre 50 anni, con interventi puntuali e una valutazione complessiva in grado di permettere cantierizzazioni senza interruzione d'esercizio. ■