

COLLAUDO ERGO SUM



LA SICUREZZA DELLE NOSTRE OPERE INFRASTRUTTURALI È DA MESI AL CENTRO DELL'ATTENZIONE MEDIATICA E CON IL TEMPO SI È PASSATI DALLA CRONACA DEI CROLLI ALLA SEGNALEZIONE DI SPECIFICHE SITUAZIONI DI PERICOLOSITÀ, FACENDO DA AMPLIFICATORE DI OPINIONI E CONVINZIONI PIÙ O MENO DIFFUSE MA SPESSO INFONDATE

Negli ultimi anni vi sono stati alcuni crolli di ponti, ma al netto di quelli in fase di “movimentazione” ovvero varo, sollevamento, ecc., le cui cause sono appunto da ricercarsi nelle movimentazioni stesse, quelli di opere in esercizio che hanno ceduto per vetustà o sovraccarico sono fortunatamente molto pochi.

Tra questi vanno sicuramente ricordati i tre seguenti:

- il crollo della campata post-tesa sulla S.S. 231 a Fossano dove, stando a quanto si è letto, la precompressione mancava quasi del tutto;
- il crollo del viadotto Polcevera, un ponte strallato con schema strutturale e tecnologie uniche nel loro genere, entrambi per altro abbandonati nelle realizzazioni successive;
- il recente crollo del ponte ad arco sul Magra.

Il crollo della campata post-tesa a Fossano è sicuramente il caso più preoccupante e rispetto al quale è necessario prendere dei provvedimenti in quanto vi sono in Italia numerose opere di questo tipo. I problemi di resistenza e durabilità delle travate in pre-compresso dovuti agli errori commessi in fase di messa in opera della post-tensione sono cosa nota. Imprevisti di vario tipo che impediscono di mettere in opera il numero di trefoli di progetto ovvero di tirarli come richiesto e una cattiva iniezione dei cavi dopo la tesatura sono gli errori più comuni.

Oggi sappiamo come intervenire per porvi rimedio - sostanzialmente aggiungendo precompressione esterna - ma certamente è necessario verificare lo stato di conservazione e salute di queste opere che, quando ben realizzate, hanno una buona durabilità ed un'ottima riserva di resistenza.

Sul crollo del Polcevera si è scritto tanto: certo non era un'opera

standard e il suo crollo prova in maniera inequivocabile quanto poco avessimo capito della sua resistenza effettiva.

Lo stesso si può dire del ponte ad archi sul Magra, un'opera sui generis che è crollata in pochi secondi senza dare preavviso, qualcosa di simile a quanto successo per il ponte della S.S. 16 sul Sangro [1] 15 anni fa. Archi in calcestruzzo armato prima maniera con luci da una trentina di metri, poca armatura e poca duttilità con conseguente vulnerabilità ai cedimenti fondazionali. Un ponte di tipologia non standard ma soggetto a cedimenti fondazionali tipici dei ponti storici che attraversano gli alvei divaganti dei torrenti italiani [2 e 3].

I PONTI A TRAVATA

I crolli di cui sopra non ci insegnano però molto rispetto alle opere standard a travata, quelle in c.a. o c.a.p., che costituiscono il 98% dello stock di ponti italiano.

Come già discusso recentemente dagli scriventi su questa testata, i ponti a travata hanno una ottima riserva di resistenza [4]. Certo, molti di essi sono in cattivo stato di conservazione e sicuramente hanno oggi una resistenza inferiore rispetto a quando furono realizzati, se non altro per la corrosione dell'armatura. In definitiva, è necessario ricollaudare anche i ponti a travata, prima o dopo eventuali lavori di riabilitazione, o proprio per non farli e portare alcune di queste strutture a fine vita utile in sicurezza senza spenderci altri soldi; insomma, è necessario verificare la loro sicurezza residua. Per valutare la sicurezza di un'opera esistente è necessario definire un modello di calcolo e per fare ciò c'è bisogno di acquisire una conoscenza adeguata dell'opera integrandola dove necessario con indagini non distruttive.



1. Il crollo del ponte sul Sangro lungo la S.S. 16: un dettaglio della pavimentazione

Una volta messo a punto il modello ed ottenuta una stima numerica della resistenza strutturale è necessario garantire tale risultato al Cliente. Si può garantire la sicurezza senza collaudo fisico? Il Cliente lo può accettare? La prova di collaudo può essere sostituita da una polizza assicurativa di un professionista che si assume l'onere di un collaudo solamente numerico dell'opera completa? Noi riteniamo che il collaudo fisico sia sempre consigliabile perché ha un costo molto contenuto e una affidabilità elevatissima. Certo, se una struttura ha evidenti ed abbondanti riserve di resistenza non c'è bisogno di fare prove di carico ma purtroppo questo non è sempre il caso.

I ponti a travata in c.a. e c.a.p. in Italia avevano un coefficiente di sicurezza generalmente superiore a 3, in svariati casi vicino a 4, ma non mancano situazioni più tirate. Il coefficiente di sicurezza originario si è però ridotto principalmente a causa di due fattori:

- un appesantimento dell'impalcato nel corso dei decenni (cordoli nuovi, barriere in calcestruzzo, ricariche di pavimentazione). Si tenga conto che l'appesantimento può valere da un minimo di 1 t/m fino a raggiungere facilmente le 5 t/m, bastano 15 cm di pavimentazione in più su 10 m di carreggiata ($10 \times 0,15 \times 2 = 3$ t/m) a cui aggiungere cordoli e barriere. Un appesantimento di 5 t/m sono 150 t su di una campata di 30 m, quattro grandi camion carichi. Nell'esperienza degli scriventi, circa il 20% dei ponti Italiani si è trovato o si trova ancora in una situazione di appesantimento consistente e pericolosa;
- un ammaloramento che in alcune strutture è molto elevato, con riduzioni di resistenza probabilmente pari o superiori al 30%.

Ecco allora che si può avere un problema di sicurezza per tutte le strutture che nuove avevano un coefficiente di sicurezza inferiore a 3 e sono state ricaricate e/o sono seriamente ammalorate. Per queste strutture, organizzare dei collaudi rapidi e in sicurezza è ineludibile.

IL CARICO DI COLLAUDO

Qual è il carico di collaudo da utilizzare? Tale carico dovrebbe essere pari a quello che il ponte dovrà sostenere nel suo esercizio restante, quindi gli accidentali più una provvigione per gli ulteriori incrementi di peso proprio portato.

Per questi ultimi sarebbe auspicabile una indicazione specifica, opera per opera, dell'Ente Gestore. Si potrebbe sapere in anticipo, per esempio, se andranno rifatti i cordoli o se si dovrà rifare impermeabilizzazione e pavimentazione, ovvero aggiungere barriere o cose del genere. Si potrebbe pertanto stabilire questo valore in anticipo cercando di contenerlo perché può essere molto gravoso e quindi impegnarsi a rispettarlo negli anni di esercizio successivo. Questo valore può anche essere negativo:

su molti ponti si possono infatti far togliere subito più di 10 cm di pavimentazioni accumulate negli anni o altri elementi accessori ormai inutilizzati.

Per quanto riguarda la definizione dei carichi accidentali c'è la Normativa vigente e la possibilità di imporre dei limiti specifici. In entrambi i casi bisogna prendere un coefficiente di sicurezza rispetto a tali carichi, non necessariamente quello utilizzato per la definizione degli Stati Limite in fase di progettazione. Sicuramente tale coefficiente di sicurezza sarà più elevato nel caso di limitazioni con segnaletica, che sono notoriamente soggette ad essere trasgredite.

In definitiva, si vuole essere sicuri che il ponte abbia una resistenza R superiore alle sollecitazioni dovute ai pesi propri attuali P che possono essere stimati con ottima approssimazione, alla loro variazione prevista ΔP durante la vita utile residua dell'opera e agli accidentali massimi Q moltiplicati per un coefficiente di sicurezza γ :

$$R > S(P, \Delta P, \gamma Q) \quad (1)$$

Per essere certi di ciò è necessario mettere sul ponte un carico di collaudo (Q_{COL}) che dia delle sollecitazioni pari a:

$$S_{COL} = S(Q_{COL}) = S(\Delta P, \gamma Q) \quad (2)$$

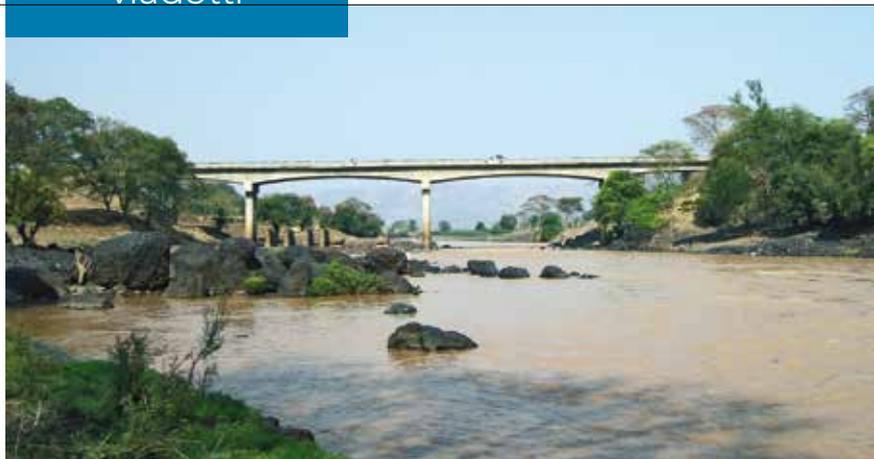
Come è facile immaginare, questo carico può essere molto elevato e scoraggiare il ricorso al collaudo perché viene percepito come rischioso.

Una interpretazione utilizzata in molti Paesi sviluppati sul carico massimo da mettere sul ponte è quella che se si vuole verificare una struttura per un certo carico (target) di collaudo allora è sufficiente applicare una percentuale di questo carico, diciamo tra il 70 e il 90%, e verificare che la risposta dell'opera segua quanto previsto dal modello strutturale. Questa interpretazione permette una flessibilità che è senz'altro ragionevole introdurre ma non risolve il problema di definire il carico da mettere sul ponte.

Dato che il carico target di collaudo dipende dal coefficiente di sicurezza γ da applicare agli accidentali, si potrebbe restringere la discussione a questo fattore di sicurezza decidendo che il carico di collaudo che ne scaturisce andrebbe quindi verificato nella sua interezza (carico al 100% del target), con la prova di collaudo. Un cauto ritorno alle tensioni ammissibili se vogliamo, dato che sono solo le tensioni ammissibili che possiamo collaudare, non gli Stati Limite Ultimi.

In altre parole, dato che γQ non deve portare la struttura al collasso o al danno irreparabile ma si suppone che essa vi resista con un danneggiamento reversibile, tanto vale mettercelo per intero questo carico, una volta ogni 20 anni, per esempio. I valori proposti anche nell'ultimo testo ministeriale [5] sono di circa 1,5. In definitiva, una volta definito il carico di collaudo si possono avere tre scenari:

- questo carico è molto inferiore alla resistenza residua della mia struttura: il collaudo può essere omesso, non è una allocazione efficace delle risorse;
- il carico è superiore alla resistenza residua della struttura: è necessario decidere tra una riduzione del carico di esercizio e quindi di collaudo ovvero intervenire sulla struttura mediante rafforzamento/sostituzione;
- il carico di collaudo è minore della resistenza strutturale ela-



2A e 2B. I due ponti sull'Omo a tutto Febbraio 2007

stica stimata ma il rapporto tra i due è relativamente vicino, diciamo inferiore a 1,3 dove ricordiamo si sta confrontando un carico di collaudo deterministico con una resistenza allo stato limite di danno (reversibile) e non ultima, quindi il coefficiente di sicurezza ultimo sarà più alto, superiore a 1,5.

Nel terzo scenario, il collaudo è ovviamente risolutivo perché può ridurre l'alea che si ha nel valutare la resistenza residua di strutture ammalorate. Molte strutture che si ritengono insicure hanno la possibilità di dimostrare che sono ancora dotate di sufficiente resistenza e si risparmiano un sacco di soldi. Certo è necessario ridurre i rischi associati alle prove di collaudo come discusso nel seguito ma non si può sempre ridurre il carico di collaudo e quindi di esercizio perché vale sempre il detto di un grande viaggiatore dell'epoca antecedente all'epidemia di Covid-19: "se non hai mai perso un aereo allora passi troppo tempo in aeroporto".

LA SICUREZZA DEI COLLAUDI

Affinché il collaudo diventi uno strumento a cui ricorrere sistematicamente, è necessario trovare il modo per minimizzare i rischi a cui si va incontro durante tali prove. Tale necessità è ancor più pressante se si vuole utilizzare il collaudo per verificare le opere esistenti per le quali ripetiamo vi è un'alea maggiore nella stima della resistenza e quindi un rischio più elevato di sinistro in fase di collaudo.

Un forte contenimento del rischio in fase di collaudo si ottiene innanzitutto mediante una modalità di prova che prevede una messa in carico graduale della struttura ed un monitoraggio contestuale della sua risposta.

Così facendo, di fatto, si riescono ad azzerare i rischi di sinistro per tutti i meccanismi duttili, sostanzialmente flessione, soprattutto nel caso di travate iperstatiche.

Per i meccanismi quasi fragili, si pensi ad esempio al taglio, resta il rischio di danneggiamento elevato ma si riesce a ridurre comunque il rischio di crollo.

Per i meccanismi fragili, si pensi ad esempio a verifiche a compressione o trazione, pile o funi, il collaudo è un sistema inefficace a meno che non sia totalmente indolore. Posso collaudare delle barre di grande diametro prima di utilizzarle in una macchina di cantiere, se si rompono non ho perso nulla, ma se ho dei dubbi sulla resistenza a compressione di una pila o a trazione di uno strallo provarli a scala reale sul ponte è inefficace a meno che si riesca a farlo a rischio zero.

Oggi la maggioranza delle prove di collaudo viene condotta con

camion pieni di materiale sciolto; un eventuale crollo può provocare i seguenti tipi di perdite:

- la perdita della infrastruttura rispetto a un utilizzo con limitazioni di carico (nettamente) inferiori a quelle che si stanno provando;
- il danneggiamento o l'interruzione di eventuali sottoservizi ospitati dalla struttura;
- il danneggiamento o l'interruzione di infrastrutture e beni sottostanti;
- la perdita dei mezzi utilizzati nella prova;
- la vita del conducente dell'ultimo dei camion in manovra che ha causato il crollo.

Il primo tipo di perdita è tutto sommato ripagato dal fatto di aver svelato una previsione errata e pericolosa circa la resistenza dell'opera stessa quindi in molti casi sarebbe da considerarsi un fatto positivo, al pari di sminare un campo facendo brillare le mine. Nel caso il ponte sia utilizzato per trasportare utenze e servizi un eventuale incidente imprevisto può ovviamente avere delle ripercussioni molto gravi. È pertanto necessario prendere dei provvedimenti per evitare che il danneggiamento od il crollo dell'opera provata possano causare disservizi gravi ovvero rischio per l'incolumità dei presenti (gas, media tensione, ecc.). Lo spostamento o l'interruzione dei sottoservizi in Italia è sempre faticoso ma in effetti al netto dei passaggi burocratici si può risolvere, soprattutto se la soluzione deve essere di brevissima durata, il tempo delle prove.

Più difficile è spostare i beni che eventualmente sorgono sotto l'impronta del ponte ma a maggior ragione è necessario collaudare i ponti che passano sopra beni di valore, siano essi materiali o vite umane e quindi una soluzione si deve comunque trovare. Rispetto alle ultime due tipologie di perdita, le più gravi ed onerose, dovrebbe invece oggi essere abbastanza facile trovare un sistema di collaudo telecomandato con una motrice che sposta pesi. In effetti, a tutt'oggi, questo tipo di sistemi non sono diffusi e si deve sempre ricorrere a camion ed autisti che rendono un eventuale crollo inutilmente catastrofico.

ALCUNI CASI DI STUDIO

Vediamo ora alcuni esempi di collaudi effettuati dagli scriventi ai fini di verificare ogni oltre ragionevole dubbio la resistenza strutturale di alcuni ponti esistenti e di nuova realizzazione. Con l'occasione si potranno comparare i carichi di Normativa, quelli di esercizio e quelli di prova.



3A e 3B. Il collaudo e l'attraversamento dei trasformatori del Gibe sull'Omo

Il ponte sul Gibe è una travata continua in c.a. costruita nei primi anni Ottanta sul fiume Omo in Etiopia lungo la direttrice che da Addis va a Jima. Una campata laterale fu fatta crollare (sabotaggio) subito dopo la costruzione durante la guerra civile. Riparato in economia, il ponte era rimasto in esercizio con limitazione di carico per oltre 20 anni. I camion pesanti passavano sul vicino ponte metallico lungo il tracciato dell'epoca coloniale Italiana, ponte che a sua volta rimpiazzava l'originale fascista fatto crollare dagli Inglesi durante la Seconda Guerra Mondiale.

Questa trave metallica a via inferiore crolla una mattina del Febbraio 2007 a causa di un escavatore che, trasportato fuori sagoma, ne impatta i controventi superiori. Si decide quindi con il Direttore Tecnico di Salini, Ing. Eugenio Zoppis, di precomprimere il ponte esistente in c.a. in modo da rafforzarlo e renderlo adatto al traffico pesante. Al ponte vengono applicate oltre 1.000 t mediante cavi esterni deviati su carpenteria metallica: la prima applicazione della precompressione in Etiopia, un regalo della Salini al Governo Etiope perfettamente riuscito [6].

L'opera cambiò totalmente risposta: le grandi fessure - svariati millimetri - non riparate durante la ricostruzione post-sabotaggio, una volta iniettate e precomprese si sono egregiamente rinsaldate. Il ponte venne collaudato a fine lavori sulla base delle ASSHTO, la Normativa vigente nel Paese.

La primavera seguente ricevemmo una telefonata da una ditta spagnola che doveva trasportare i trasformatori della centrale Idroelettrica del Gibe II che Salini stava completando in quei mesi. Dovevano passare sul ponte con un convoglio che comprendeva due mezzi da 240 t e altri da 185 t. Il carico era nettamente superiore a quello ASSHTO e quindi a quanto collaudato e le principali formule per la valutazione della resistenza dell'impalcato davano dei coefficienti di sicurezza inferiori a 1.

Situazione molto difficile, non vi erano alternative. Un convoglio che aveva provato un altro percorso si era rovesciato ed il carico era irrecuperabile dato che non era disponibile una gru di caratteristiche adeguate in tutto il Paese. Si decise quindi per

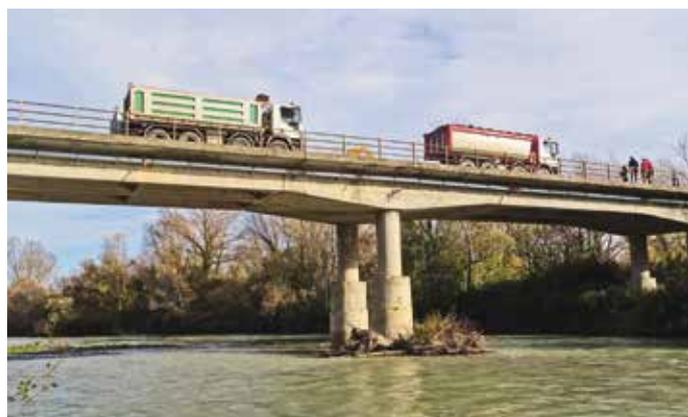
un nuovo collaudo più severo che sottoponesse la struttura alle stesse sollecitazioni che avrebbe sopportato con il passaggio dei trasformatori. Facendo scendere gli autisti ed entrando sul ponte con molta cautela e con un po' di fortuna, stimammo che si sarebbero potuti limitare i danni anche nel caso la struttura avesse ceduto. Gli scriventi stimano che il coefficiente di sicurezza di quella prova sia stato inferiore a 1,2. I trasformatori passarono il ponte durante la Pasqua del 2008 senza incidenti.

Il ponte Nuovo sul Sangro tra Atesa e Lanciano è una bella travata Gerber costruita con cura negli anni Sessanta con i soldi della cassa del Mezzogiorno. I bellissimi pali-pila che lo rendono snello e con una buona resistenza sismica soffrono però del trasporto solido del Sangro che tende a eroderne le sezioni in c.a.

Per ovviare a questo problema, successivamente alla costruzione si sono realizzati dei getti anulari di calcestruzzo a protezione dei pali-pila che ricadevano in alveo. Dato che in questa zona le ghiaie del Sangro sono state cavate avidamente per decenni, il letto del fiume si è abbassato e si è dovuto approfondire tali protezioni anulari con un secondo intervento successivo. Per una stupida semplificazione costruttiva, questi secondi anelli non sono stati realizzati in asse ai precedenti bensì disassati per permettere un getto a gravità nel varco tra i nuovi casseri e gli anelli esistenti sovrastanti.

Questa stupidissima pigrizia dell'epoca ha innescato a distanza di decenni un polverone sulla stabilità del ponte, anche a seguito di una leggera scossa di terremoto che si è avuta nell'estate del 2018. Gli anelli di protezione non strutturali sono infatti chiaramente disassati e quindi bersaglio facile di un immaginario catastrofista di collasso incipiente e di una stampa eccessivamente sensazionalista. L'Ingegnere Capo della Provincia di Chieti, Carlo Cristini, per decenni al timone di questo splendido e vasto territorio, giustamente esasperato dalla situazione grottesca, ci chiese nell'Agosto 2018 un intervento chiarificatore.

Dopo aver sostituito totalmente il pacchetto della pavimentazione, rifatto l'impermeabilizzazione con guaina liquida e ripristinato tutto il sistema drenante il ponte si è alleggerito di circa 2 t/m ed è stato quindi ricollaudato senza grandi problemi. Tutte le verifiche numeriche indicavano che il ponte aveva degli ottimi coefficienti di sicurezza rispetto ai carichi di collaudo. Quindi una operazione senza grandi patemi ma senz'altro risolutiva rispetto al proliferare di voci ed opinioni incontrollate. Quando fai girare



4. Le prove di carico sul ponte Nuovo sul Sangro

Le foto del ponte con quattro bestioni sopra a pieno carico le polemiche tendono a stemperarsi.

Appena la Provincia reperirà i fondi si dovrà intervenire in intradesso per bonificare alcuni fenomeni di degrado in atto tipico di calcestruzzi che hanno 60 anni. Anche le seggiole Gerber dovranno essere in qualche modo bonificate anche se non presentano oggi un problema di sicurezza. Intanto abbiamo provveduto a chiudere un po' di giunti - divenuti inutili una volta che si sono esauriti i fenomeni lenti, in questo caso il solo ritiro - da cui l'acqua di piattaforma percolava sulle seggiole e sugli appoggi.

Arriviamo quindi ai giorni d'oggi con il ponte della Scafa a Fiumicino. Sono anni che si parla di questo ponte senza combinare niente: il nuovo ponte previsto dal Comune di Roma, una grande luce in variante al tracciato attuale stenta a materializzarsi. È un'opera onerosa che molti ritengono sarebbe più adatta come collegamento per viabilità industriale in un corridoio a monte piuttosto che come ricucitura del tessuto urbano tra Fiumicino e Isola Sacra. Il ponte esistente lo davano tutti per morto da decenni ma ancora reggeva fintanto che il clamore di stampa ha portato alla sua chiusura nell'Agosto 2018. L'Astral, la Società di viabilità regionale del Lazio, nella figura del suo Direttore, Ing. Mallamo, ci chiama per mettere in atto degli interventi per riaprire nel più breve tempo possibile dato che l'opera è di importanza vitale.

Il Tevere non ha attraversamenti fino al GRA (oltre 20 km), il ponte serve tutta la mobilità della fascia costiera tra Ostia e Fiumicino e tutto l'indotto dell'Aeroporto, un fiume ininterrotto di vetture e mezzi commerciali. Mentre studiamo gli interventi, il ponte viene alleggerito di oltre 600 t (oltre 6 t/m). Togliamo oltre 20 cm di pavimentazione in eccesso, balaustre in c.a. molto pesanti e altri elementi non strutturali di arredo.

Si procede quindi puntellando la trave di riva lato Ostia che è molto corrosa in uno specifico punto dovuto allo scolo delle acque di piattaforma. Questo puntello e la relativa fondazione potranno se non altro tornare utili nel proseguo della vita del ponte. Si riapre dopo quattro settimane, in tempo per l'anno scolastico, senza collaudo; abbiamo tolto 600 t con una scarificatrice da 50 t, inutile rifare le prove anche in considerazione che si decide comunque di porre una limitazione di carico a 75 q.

Dopo diverse traversie, si arriva quindi ai primi mesi del 2020: il ponte della Scafa sono ripassati in gestione all'ANAS, Compartimento del Lazio. L'ANAS decide di prendere per buono il programma temporale del Comune di Roma e di aspettarsi la



6. Il collaudo del ponte stallato di Ostellato

nuova opera nell'arco dei previsti quattro anni. Si decide quindi, con il Capo Compartimento Ing. Marco Moladori e il Dirigente e RUP Ing. Achille De vito Franceschi, di ricollaudare e monitorare l'opera per permettere alla stessa di rimanere in esercizio per questi quattro anni innalzando le limitazioni di carico.

Si pensi solo a quando si costruirà il nuovo ponte: i mezzi di cantiere non si faranno 50 km per andare a passare sul Raccordo quando gli basterà fare 500 m!

Il collaudo non è banale: si tratta di mettere 1,5 volte il carico di esercizio sul ponte quindi tre camion a pieno carico, vicini-vicini. Sulla trave tampone in semplice appoggio, al centro del Tevere, significa far lavorare le armature dell'epoca, nell'ipotesi di una loro totale integrità, a oltre 230 MPa. È armatura di ottima fattura con resistenza caratteristica 450 MPa, però è sempre ferro che sta in ambiente salmastro da 60 anni. Comunque il ponte si comporta egregiamente, molto rigido, i calcestruzzi devono aver raggiunto un modulo elevato con gli anni. Interessante il dato sulla rigidità delle sezioni inflesse in c.a.: per la trave tampone le frecce sono state pari al 150% circa di quelle calcolate al primo stadio.

Una stima della rigidità effettiva delle sezioni in c.a. o c.a.p. quando si fessurano è sempre fondamentale nei collaudi perché ci permette di monitorare l'andamento della prova man mano che si carica il ponte.

Purtroppo questa stima non è semplice perché la risposta del calcestruzzo armato durante la fase di apertura delle fessure e quella successiva di stabilizzazione del numero e incremento di ampiezza delle stesse è piuttosto complessa. Una buona trattazione efficace si trova sul Model Code [7].



5A e 5B. Il collaudo del ponte ad arco di Bondeno



7. Il collaudo del ponte sospeso di Kamoro

Un approccio estremamente semplificato suggerito dallo scrivente è il seguente. Si calcolano le rigidità al primo e al secondo stadio della nostra sezione in c.a.. Si ipotizza che la rigidità effettiva vari linearmente tra i due suddetti valori in funzione della deformazione delle armature lente (calcolate al secondo stadio). A deformazione nulla, si ha la rigidità del primo stadio, a deformazione pari al 0,3% (3‰) si ha la rigidità del secondo stadio. Si noti che la fessurazione del calcestruzzo si ha a deformazioni dell'armatura lenta molto piccole, circa lo 0,01%. Per la trave tampona della Scafa, il rapporto tra la rigidità al primo e al secondo stadio era pari a circa 3 e la deformazione equivalente delle barre in fase di collaudo pari a circa 0,11% (230 MPa).

Chiudiamo infine con tre collaudi particolari che ci danno lo spunto per alcune riflessioni di buon senso sulla sicurezza dei ponti.

È stato recentemente collaudato il ponte ad arco sul canale di Burana, di cui gli scriventi hanno seguito la progettazione e la DL. Il collaudatore ha voluto provare il ponte con il massimo del carico e dato che la piattaforma è larga e c'è pure una passerella pedonale, si sono dovuti mettere sette camion a pieno carico in una configurazione a "ingorgo" emisimmetrico francamente irrealistica. Il ponte però era nuovo e di una tipologia particolarmente resiliente. Progettato e realizzato con cura, ha resistito stoicamente a questo accanimento accidentale.

Lo stesso problema si è avuto con il collaudo del ponte strallato di Ostellato [8] dove nonostante ci sia fatti un po' di sconto, nei limiti di legge (85%), si sono comunque dovuti mettere dieci camion pieni accostati su di un lato della piattaforma in mezziera della campata centrale e otto sulle laterali.

Se queste prove devono verificare la struttura per un incremento dei portati pari a quello discusso precedentemente, allora non sono comunque sufficienti. Sullo strallato di Ostellato se si mettono 2 t a metro si aggiungono 500 t. È in definitiva irragionevole tarare le prove di collaudo su di un aumento incontrollato dei pesi propri portati. È molto più facile ed efficace intraprendere subito un controllo ed un alleggerimento delle opere esistenti facendo attenzione a non appesantirle in futuro.

Se invece le prove di collaudo devono verificare una soglia di portanza rispetto ai carichi accidentali da traffico allora non possiamo prescindere dai comportamenti coscienti dell'autista del camion. Se diamo per scontato che tale soggetto non guidi contromano facendo una strage possiamo anche supporre non si incoloni con altri nove suoi simili a pieno carico al centro di un ponte di luce importante. Il camion lì non ci va da solo o per svista o per incidente come può accadere in altri sinistri. Questo è uno dei motivi per cui il carico accidentale di progetto sulle luci medio-grandi è molto elevato: questa evidenza emerge in tutta la sua chiarezza nel momento del collaudo quando si fa fatica a trovare i mezzi da mettere sul ponte.

Terminiamo quindi la carrellata con il collaudo del ponte sospeso di Kamoro in Madagascar [9]. Qui il carico da reperire per provare

la campata sospesa di 210 m di luce con il carico di progetto sarebbe stato veramente molto elevato e praticamente non disponibile sul territorio. Le Normative francesi e la pratica di questo Paese permettono però uno sconto su tale carico (si devono raggiungere valori compresi tra i 2/3 e i 3/4 delle sollecitazioni massime di progetto): quindi ci siamo fatti bastare otto camion pieni che, messi in formazione compatta, sono comunque in grado di sollecitare la travata in maniera severa.

D'altronde, sul ponte di Kamoro non corriamo il rischio di vedere accumulate tonnellate di pavimentazioni o altri arredi.

Il Paese è povero e i materiali da costruzione sempre molto scarsi ed ambiti vengono utilizzati con parsimonia. In effetti i permanenti portati nel corso degli anni tendono a diminuire perché si consumano o vengono smontati per essere riutilizzati.

Il ponte ci auguriamo avrà una vita utile di diversi decenni e vedrà quindi un Madagascar sicuramente molto diverso da quello dei nostri giorni. Il buon senso consiglierà di controllare lo stato di salute del ponte e ricollaudarlo ogni qual volta cambieranno le condizioni di traffico e di utilizzo. Basta una mattinata. ■

⁽¹⁾ Professore, Presidente di Integra Srl

Bibliografia

- [1]. M. Petrangeli, C. Andreocci, M. Sciarra - "Sulla S.S.16 Adriatica, la ricostruzione del Ponte sul Sangro", "Strade & Autostrade", n° 65 Settembre/Ottobre 2007, pp.76-82, ISSN 1723-2155, 2007.
- [2]. A. Mecozzi, M. Petrangeli - "Strategie per la gestione dei ponti storici italiani, Parte I", "Strade & Autostrade", n° 116 Marzo/Aprile 2016, pp. 62-66, ISSN 1723-2155, 2016.
- [3]. A. Mecozzi, M. Petrangeli - "Strategie per la gestione dei ponti storici italiani, Parte II", "Strade & Autostrade", n° 117 Maggio/Giugno 2016, pp. 54-59, ISSN 1723-2155, 2016.
- [4]. M. Petrangeli, I. Lardani, F. Del Drago - "Conservazione e rinnovamento dei ponti stradali italiani", "Strade & Autostrade", n° 136 Luglio/Agosto 2019, pp. 46-56, ISSN 1723-2155, 2019.
- [5]. Consiglio Superiore dei LLPP - "Linee guida per il censimento e classificazione, la valutazione e il monitoraggio dei ponti esistenti", 2020.
- [6]. M. Petrangeli, G. Usai, E. Zoppis, M. Petrangeli - "Un caso estremo di rinforzo strutturale con precompressione esterna: il ponte sul Gibe in Etiopia", "Industria Italiana del Cemento", AITEC, Gennaio 2009, 848, pp. 808-818, ISSN 0019-7637.
- [7]. CEB-FIB Model Code 2010, 2009.
- [8]. M. Petrangeli, G. Usai, M. Pietrantonio - "Lo strallato di Ostellato", "Strade & Autostrade", n° 106 Luglio/Agosto 2014, pp. 56-59, ISSN 1723-2155, 2014.
- [9]. M. Petrangeli, C. Andreocci, C. Magnani, F. Bolognesi - "Ponte sospeso di Kamoro", "Strade & Autostrade", n° 124 Luglio/Agosto 2017, pp. 64-68, ISSN 1723-2155, 2017.