

CONSERVAZIONE E RINNOVAMENTO DEI PONTI STRADALI ITALIANI IN CALCESTRUZZO



(Foto di Fabiano Parisi, anno 2018)

**LA GESTIONE DELLO STOCK DI PONTI STRADALI ITALIANI,
 LA MAGGIOR PARTE IN CALCESTRUZZO, RICHIEDERÀ NEI PROSSIMI DECENNI UN IMPEGNO
 INGEGNERISTICO E FINANZIARIO MOLTO IMPORTANTE**

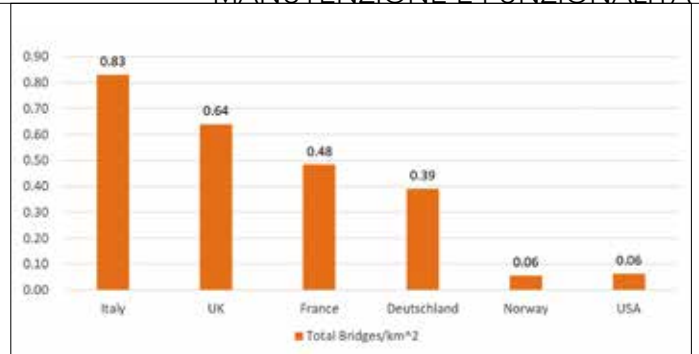
In questa memoria vengono discussi alcuni aspetti del problema, anche mediante una serie di interventi effettuati negli ultimi anni dagli scriventi.

Il dato di partenza è che lo stock di ponti italiani è molto consistente, in quanto abbiamo una rete stradale millenaria e un

territorio collinare e montagnoso con un reticolo idrografico molto fitto: assicurare la funzionalità della nostra rete stradale e quindi l'accessibilità al nostro territorio densamente antropizzato è chiaramente più oneroso rispetto a quanto non lo sia nella grande maggioranza della Europa continentale.

1. Il viadotto Molise I lungo la S.S. 647 (Campobasso)





3. La stima del numero di ponti per chilometro quadrato

per le quali la percentuale sale rispettivamente al 17% e 16%. Per contro, il nostro Paese è quello con il rapporto numero di ponti/superficie maggiore (Figura 3).

L'EVOLUZIONE DELLA DOMANDA DI MANUTENZIONE E DI SOSTITUZIONE

Se poniamo attenzione all'età dei ponti italiani - ma i discorsi che seguono si applicano in buona sostanza anche per le principali Nazioni europee - si vede che oltre l'80% è stato realizzato nel Secondo Dopoguerra.

Per arrivare a una stima dell'impegno richiesto nei prossimi anni per la riabilitazione/sostituzione dello stock dei ponti esistenti, possiamo allora ipotizzare in prima istanza che tale stock abbia avuto una crescita lineare, anche se sappiamo vi sono stati almeno due periodi di rallentamento, il primo a seguito della crisi petrolifera degli anni Settanta e il secondo durante la recessione degli anni Novanta, fino ad arrivare a un tasso di crescita vicino allo 0 con la grande depressione del 2008.

Fissando pari a 100 il valore dello stock di ponti al 2010, nell'ipotesi di crescita lineare otterremo un incremento annuo a partire dal Secondo Dopoguerra dell'1,6%.

Per stimare la domanda di riabilitazione nei prossimi decenni abbiamo bisogno di ipotizzare l'andamento delle nuove costruzioni future. Si sono studiati tre scenari (Figura 4):

- crescita lineare fino al 2010, dopodiché situazione di stallo ("crescita zero");
- crescita lineare ad un tasso pari alla metà di quello avuto fino al 2010, quindi 0,8% annuo;
- crescita lineare, con lo stesso tasso medio di crescita del Secondo Dopoguerra pari quindi al 1,6% annuo.

LO STOCK DEI PONTI ITALIANI ED EUROPEI

Attualmente non esistono documenti ufficiali che indichino l'esatto numero di ponti e viadotti nei principali Paesi europei, né tantomeno del territorio italiano.

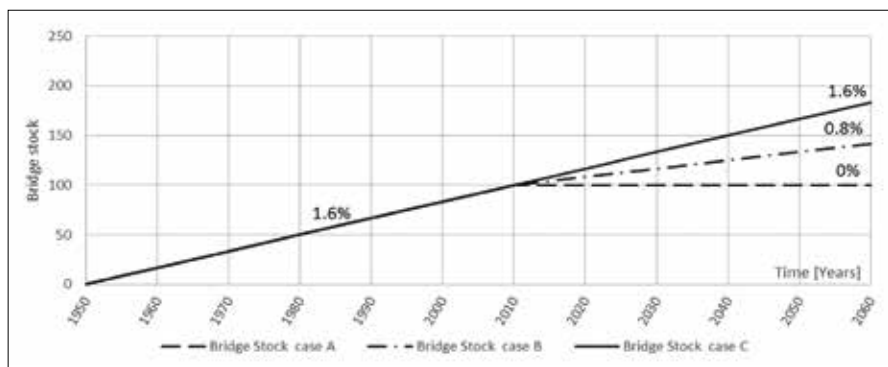
Nonostante questo, a seguito di analisi incrociate da parte degli scriventi, è stata estrapolata una serie di dati che, seppur indicativi, riescono a dare un ordine di grandezza della consistenza dello stock di ponti nei principali Paesi europei [1 e 2].

In Figura 2 sono stati divisi i ponti della rete ordinaria da quelli della rete autostradale. Per questi ultimi, in numero molto inferiore, si dispone di dati più aggiornati.

Dalla Figura 2 si deduce che la rete autostradale (motorway) italiana è pari a circa il 10% di quella europea, rispetto a Paesi che hanno una estensione più ampia, come Germania e Francia,

	SURFACE [KM²]	PIL 2010 BILLION EUROS	LENGTH [KM]		BRIDGE NUMBER			TOTAL BRIDGES KM²	TOTAL BRIDGES KM
			ROAD NETWORK	MOTORWAY NETWORK	ROAD NETWORK	MOTORWAY NETWORK	TOTAL		
European Union	4.326.000	17.000		72.400					
Deutschland	357.000	3.677	660.000	12.000	100.000	39.500	139.500	0,39	0,21
France	644.000	2.583	1.000.000	11.250	245.000	21.000	266.000	0,48	0,26
UK	242.000	2.622	400.000	3.700			155.000	0,64	0,38
Norway	385.200	324	94.000	500			21.500	0,06	0,23
USA	9.834.000	19.390	6.850.000	110.000			615.000	0,06	0,09
Italy	301.000	1.935	500.000	7.000			250.000	0,83	0,49

2. Lo stock di ponti dei principali Paesi

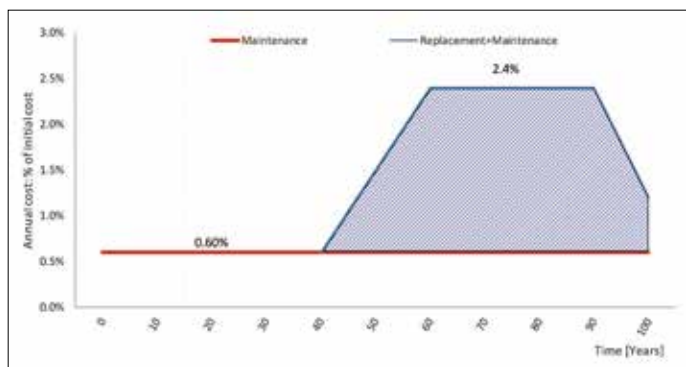


4. L'andamento dello stock di ponti italiani

Dobbiamo infine ipotizzare una distribuzione temporale media degli investimenti per manutenzione e riabilitazione/sostituzione di tali opere. Una curva temporale ragionevole è quella rappresentata in Figura 5, dove nei primi 35 anni circa di vita delle opere si hanno solo i costi di manutenzione, che possono essere stimati all'incirca nello 0,6% annuo [1, 2 e 3]. Successivamente iniziano i costi di sostituzione, che includono sia la ricostruzione integrale che gli eventuali interventi di riabilitazione straordinaria necessari a prolungare la vita utile delle opere, che poniamo quindi pari a 100 anni. Tali costi avranno un valore complessivo che possiamo stimare essere pari a circa il 120% del valore originale dello stock, in quanto è probabile che i costi di riabilitazione e sostituzione saranno maggiori del valore di costruzione a causa di inefficienze (gestione del traffico, demolizioni, ecc.). Il costo totale di riabilitazione e sostituzione di un'opera è allora l'area sotto la curva di Figura 5.

Se calcoliamo quindi i costi complessivi di manutenzione e sostituzione per i tre scenari descritti precedentemente, otteniamo le curve riportate in Figura 6.

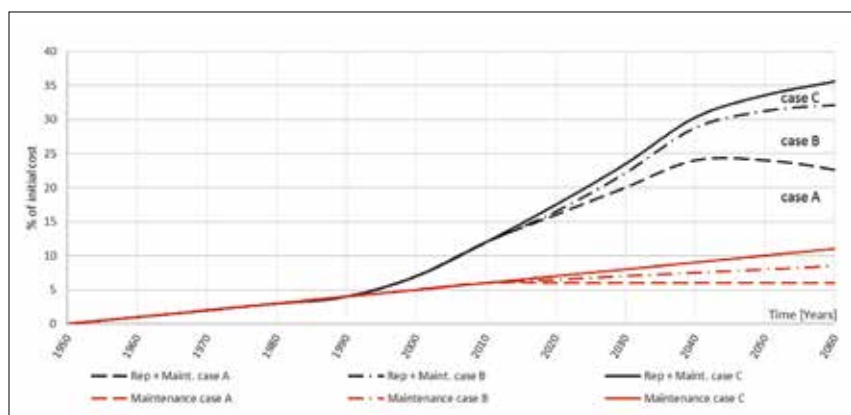
Si vede che, per quanto le ipotesi ed il modello utilizzato per tale stima siano piuttosto semplici, vi è chiaramente una necessità di risorse per conservazione e rinnovamento del nostro parco ponti che crescerà ancora sensibilmente nei prossimi decenni e si ridurrà solo se andremo a regime con una crescita zero della nostra rete infrastrutturale.



5. Il ciclo di vita dello stock di ponti

In effetti, quello che sta succedendo è che i lavori di manutenzione e sostituzione che vengono realizzati in questi anni di crisi sono inferiori a quanto sarebbe necessario; il risultato di questo processo è un deterioramento precoce e più veloce delle strutture, con la conseguente riduzione dello stock di ponti. Anche se un ponte rimane - per così dire - in vita, questo degrado comporta chiusure temporanee o permanenti, limitazione della piattaforma, limite di carico e velocità, che statisticamente equivalgono a una perdita - media percentuale - dell'opera stessa.

Il divario tra l'investimento annuale richiesto per la manutenzione o la sostituzione e ciò che viene effettivamente speso per le due attività rappresenta la perdita equivalente del valore totale del ponte.



6. I costi totali di manutenzione e di sostituzione dello stock di ponti italiani

Sulla base delle attuali considerazioni e previsioni, in futuro potremo riscontrare in alcune aree - e in parte si sta già verificando - una significativa contrazione della rete stradale.

Da un lato, quindi, abbiamo uno degli stock di ponti più vasto tra quelli dei Paesi sviluppati, dall'altro un problema ormai trentennale di scarsità di risorse dovuto alla nostra incapacità di risolvere il problema del debito pubblico. Investimenti a debito? Regionalizzazione del debito con esazione anche nelle sue forme più edulcorate di creazione e captazione di valore [4 e 5]? La situazione è ovviamente critica, tanto che lo è anche in molti altri Paesi sviluppati: si pensi agli Stati Uniti, che abbiamo visto avere uno stock di ponti proporzionalmente inferiore al nostro, ma che hanno capacità finanziarie e prodotti interni lordi largamente superiori.

Le scarse risorse disponibili sono per altro state utilizzate in maniera non ottimale nell'ultimo decennio. Molto discutibile è stata tutta la campagna di valutazione della vulnerabilità sismica condotta negli ultimi anni [7 e 8]. Queste analisi, condotte da soggetti disparati, hanno dato risultati non sempre comparabili e attendibili e comunque non particolarmente utili; se è vero che la vulnerabilità sismica della rete stradale italiana non è un problema pressante, molto più pressante è semmai la vulnerabilità sismica degli edifici italiani, strategici e residenziali, come del

resto dimostrato inequivocabilmente dai numerosi terremoti degli ultimi anni. L'unica cosa su cui tutte le analisi di vulnerabilità sismica hanno convenuto è il pessimo stato di conservazione di molti dei nostri ponti e il fatto che le valutazioni di vulnerabilità sismica non avrebbero potuto essere considerate delle stime di sicurezza rispetto all'esercizio corrente, indipendentemente dal loro esito.

In definitiva, non disponiamo di un quadro aggiornato dello stato di conservazione complessivo del nostro stock di ponti e per la grande maggioranza di essi non disponiamo di un collaudo statico valido, ovvero non disponiamo di un soggetto che si è assunto la responsabilità piena sulla sicurezza e agibilità attuale di queste opere, a meno di non considerare il Gestore pubblico Concessionario (Comuni, Province, Regioni, ANAS) automaticamente responsabile per queste strutture, o ancora di considerare responsabile il collaudatore originario in fase di costruzione.

Vi è quindi un drammatico problema di assunzione di responsabilità. Dobbiamo controllare e ricollaudare migliaia di opere e quindi decidere della loro agibilità: mancando questo passaggio, investiamo i Dirigenti e i Politici degli Enti Concessionari della responsabilità di dover decidere tra mantenimento in esercizio e chiusura al traffico di queste opere. C'è quindi un lavoro ingegneristico e assicurativo enorme da fare: dobbiamo mantenere in esercizio molti dei ponti esistenti sulla base di verifiche di sicurezza semplici e chiare, senza che necessariamente si dia luogo a interventi straordinari di riabilitazione e rafforzamento degli stessi, in quanto non disporremo dei fondi necessari per tutti.

Vi è però un grande numero di interventi di riabilitazione e rafforzamento improcrastinabili e relativamente urgenti, in quanto abbiamo opere per le quali la mancanza di una manutenzione straordinaria nel breve periodo comporterà un onere molto maggiore nei prossimi anni e quindi, di fatto, una diseconomia certa, che è indispensabile evitare.

La quantificazione numerico-finanziaria dei costi-benefici delle manutenzioni straordinarie è sempre molto opinabile: vi sono troppe incognite e parametri manipolabili; in effetti il non intervento è sovente l'opzione più competitiva, sempre a patto che qualcuno si assuma l'onere pieno della agibilità. Per cui, fermo restando che la manutenzione ordinaria è indispensabile, spesso è più conveniente non fare manutenzione straordinaria, ma tirare a campare quanto più possibile per poi demolire e ricostruire.

Resta il fatto che un numero notevolissimo di interventi è oggi pressante e che corriamo il rischio di una riduzione marcata del parco ponti stradali agibili, ovvero una riduzione della rete stradale in esercizio. Questo è un fenomeno tristemente noto in diversi Paesi, si pensi ad esempio al periodo post-coloniale di molti Stati Africani dove tale riduzione ha raggiunto anche il 30%. Del resto una riorganizzazione ed ottimizzazione della rete stradale, con eliminazione di alcuni itinerari, potrebbe essere necessaria e chissà che la diffusione sempre crescente di Suv e fuoristrada non sia una anticipazione verso questo panorama apocalittico!

Vediamo quindi di entrare nel dettaglio di alcune situazioni rappresentative - che riguardano quote consistenti del nostro parco ponti - con degli esempi degli ultimi anni.

I GRANDI VIADOTTI A TRAVI PRECOMPRESSE IN SEMPLICE APPOGGIO

La tipologia di ponte in calcestruzzo più diffusa sul territorio italiano è quello dei viadotti a travi poggiate. Inizialmente queste travi venivano realizzate e precomprese a piè d'opera; in seguito sono state realizzate anche in stabilimento e quindi trasportate su gomma in cantiere.

Si tratta di viadotti generalmente molto robusti. Gli impalcati avevano coefficienti di sicurezza elevatissimi: le travi precomprese, una volta solidarizzate alla soletta, assicuravano una resistenza ultima, sia per momenti positivi che a taglio, piuttosto elevata. Si vede che nella maggioranza dei casi il momento ultimo di questi impalcati era pari originariamente a non meno di quattro volte il valore di esercizio. Le pile lavorano normalmente a tensioni medie molto basse, quasi mai superiori ai 2 MPa, spesso prossime a 1 MPa.

Questa situazione di notevole sovradimensionamento è dovuta da una parte alla ancora incerta conoscenza tecnico-scientifica del precompresso dell'epoca e dall'altra al cattivo costume di realizzare lavori a misura con prezzi unitari spesso bassi, che invogliavano al sovradimensionamento di alcuni elementi per ottenere un po' di utile sulle lavorazioni correnti, come ad esempio i calcestruzzi. Il risultato è che i ponti con queste travi prefabbricate in semplice appoggio difficilmente crollano ed infatti non vi sono esempi degni di nota in tal senso.

Questi ponti sono però spesso in uno stato di ammaloramento piuttosto avanzato, soprattutto a causa di una cattiva impermeabilizzazione delle solette e di un inefficace smaltimento delle acque di piattaforma. Questa situazione e i sali antigelo che si usano in molte regioni italiane hanno portato ad abbondante percolazione sulle travi sottostanti e su appoggi e pulvini attraverso i giunti che non sono a tenuta.

Anche le pile possono trovarsi in cattivo stato di conservazione, sia per percolazione delle acque di piattaforma, sia per un fisiologico processo di carbonatazione e quindi corrosione delle armature che erano state messe in opera con copriferro insufficienti.

Lungo tutte le infrastrutture dell'Italia centro-meridionale ci sono numerosi viadotti che appartengono alla tipologia appena descritta, in quanto si attraversano i rilievi appenninici con una suc-



7. Il distacco del copriferro bulbo travi in cap

cessione di trincee e gallerie, ma soprattutto con grandi viadotti, spesso piuttosto brutti e impattanti per la loro altezza elevata e le luci modeste che si potevano ottenere con lo schema a trave poggiate - 45 m al massimo circa (Figura 1).

Demolire questi viadotti e sostituirli con strutture nuove non è generalmente un'opzione percorribile. Sarebbero operazioni onerose e di grande impatto ambientale, anche solo in termini di produzione di CO₂. Siamo perciò costretti a ripararli e tenerceli per ancora alcuni decenni, soprattutto se il sistema di mobilità su gomma resterà simile a quanto abbiamo oggi, che, tra l'altro, è molto simile a quanto avevamo un secolo fa. Nella riabilitazione di queste strutture, il grosso dell'impegno è il ripristino corticale dei calcestruzzi, campo in cui si dispone oggi di prodotti piuttosto validi. La protezione superficiale dei calcestruzzi stenta invece ancora a prendere piede, mentre dovrebbe essere più diffusa, anche come occasione per dare a queste strutture un colore differente da quello di alcuni calcestruzzi che può risultare non particolarmente gradevole. Approfittando dei lavori di manutenzione straordinaria è spesso possibile eliminare molti dei giunti presenti tra le campate in semplice appoggio, in quanto a questo punto della vita del ponte sono terminati i fenomeni lenti (ritiro e viscosità) e quindi si hanno solo escursioni termiche modeste - tipicamente 1 mm ogni 10 m. L'eliminazione tout court dei giunti mediante solidarizzazione delle solette, ovvero la loro sostituzione con tamponi elastici di sottopavimentazione, semplifica enormemente la manutenzione e la gestione di queste opere. È necessario, in ogni caso, porre un po' di attenzione nella stima dell'entità di questi spostamenti termici per capire come gli stessi si distribuiscano in funzione della rigidità delle sottostrutture e del tipo di appoggi impiegati.

L'eliminazione, ovvero la forte riduzione dei giunti di impalcato, è facilitata da un contestuale intervento di sostituzione degli appoggi, i quali peraltro sono in molti casi ancora quelli originali, oppure sono stati già sostituiti ma arriveranno nuovamente a fine vita utile nei prossimi anni.

Tale intervento di sostituzione degli appoggi può peraltro servire a un miglioramento del comportamento e della sicurezza sismica di queste opere anche se, come già detto, questo è un problema meno pressante di quanto si potrebbe pensare. I viadotti esistenti a travi poggiate utilizzavano degli appoggi in gomma, tipicamente di piccolo spessore (28 mm) [6] ovvero, per le campate più importanti, degli appoggi in acciaio con

ciascuna campata vincolata con un fisso da un lato e un mobile dall'altro. In teoria, ciascuna pila prendeva le sollecitazioni di una campata, sia quelle di origine termica che sismica.

Questa corrispondenza è in effetti teorica perché, in pratica, l'altezza differente delle pile, ovvero la loro differente rigidità, innesca in queste strutture delle asimmetrie che poi si consolidano nel tempo. Quindi le escursioni termiche sono assorbite solo da alcuni giunti, mentre gli altri di fatto non si muovono, anche perché con il tempo si sono bloccati gli appoggi mobili sottostanti. D'altronde, si ricorda che la rigidità delle pile, a parità di sezione, è proporzionale al cubo della loro altezza, per cui in un tipico viadotto che attraversa una incisione orografica avremo pile di rigidità molto diversa le une dalle altre.

Rendendo la soletta continua, si introducono ovviamente dei cambiamenti. In prima istanza tali cambiamenti possono spaventare, in quanto si immagina che così facendo le pile che erano state dimensionate per le sollecitazioni di una campata possano non essere più adeguate alle sollecitazioni derivanti dallo schema continuo. In effetti è una preoccupazione largamente infondata ed è possibile eliminare i giunti realizzando una soletta continua lunga anche alcune centinaia di metri senza dover intervenire sulle sottostrutture, ma solo su gli appoggi.

Fermo restando che i fenomeni di ritiro e viscosità sono totalmente esauriti, non restano che le escursioni termiche, che abbiamo detto in Italia valgono circa ± 1 mm ogni 10 m. Solidarizzando quindi 200 m di soletta ed ipotizzando un comportamento simmetrico, ovvero assumendo che il fisso termico cada più o meno al centro di tale lunghezza, avremo delle escursioni massime alle estremità del tratto di impalcato reso continuo di appena 1 cm. Questi spostamenti possono essere assorbiti facilmente anche da appoggi in gomma dove sarà opportuno avere un'altezza che sia pari a quattro-cinque volte tale spostamento termico.

L'unica accortezza è quella di evitare che il cinematicismo termico dia luogo a sollecitazioni cicliche ripetute su di una particolare pila, con possibili effetti di degrado accelerato. In effetti la semplice sostituzione degli appoggi esistenti dovrebbe portare ad uno scarico delle sollecitazioni accumulate e in definitiva ad un miglioramento delle condizioni di esercizio. Un minimo di attenzione è però necessaria nel caso di sottostrutture tozze/rigide e quindi, in generale, dei tratti di viadotto in

prossimità delle spalle, dove si hanno necessariamente pile più basse e configurazioni non simmetriche.

Per quanto riguarda il comportamento sismico, se utilizzassimo appoggi in acciaio teflon con un solo allineamento fisso e dei mobili longitudinali su tutti gli altri appoggi del tratto di impalcato reso continuo, si potrebbe obiettare che la pila con il fisso sarebbe soggetta a delle sollecitazioni molto superiori a quelle di progetto. Tale timore è spesso immotivato o comunque trascurabile.



8A e 8B. Dettagli del deterioramento degli appoggi

Il terremoto non è una forza ma uno spostamento imposto, e la pila con il fisso sarebbe soggetta a spostamenti di poco superiori a quelli originari di progetto, anche perché si dimostra che le pile adiacenti compartecipano alla risposta, in quanto gli appoggi mobili non si muovono, oppure questi ultimi scorrono e con il loro piccolo attrito abbattano drasticamente la risposta [7 e 8].

La verità è che per queste strutture conviene utilizzare appoggi in gomma che ridistribuiscono le sollecitazioni sismiche su tutti gli appoggi, anche nel caso in cui gli appoggi originali siano in acciaio.

Esistono in commercio appoggi in gomma che possono permettere gli spostamenti termici richiesti dalla solidarizzazione delle solette ed avere un ottimo effetto di isolamento/smorzamento in caso di evento sismico. Per la stragrande maggioranza del territorio italiano questa è la soluzione più vantaggiosa: economica, semplice, durevole e migliorativa sia in esercizio che in caso di sisma.

Nel caso di viadotti che ricadessero in zone ad elevata sismicità con sottostrutture particolarmente fragili, si possono utilizzare soluzioni più sofisticate di isolamento/dissipazione. Escludendo gli accoppiatori oleodinamici - che sono adatti solo alle grandi luci dove si rende necessario accoppiare/simmetrizzare il comportamento dell'opera in uno o due punti specifici, si pensi ad esempio al collegamento impalcato-torri in un ponte portato da funi - non restano che due soluzioni.

Per i viadotti alti si possono utilizzare appoggi in acciaio-teflon con ritegni metallici a comportamento elasto-plastico, che tagliano la risposta in caso di sisma. Su questi viadotti alti è facile dimostrare che è possibile vincolare più di una pila, facilmente due ma anche tre: in questa maniera, si distribuisce la risposta in caso di sisma. Per i viadotti bassi si possono adottare appoggi tipo "friction pendulum" che isolano drasticamente l'impalcato e ne garantiscono il ricentraggio, caratteristica senz'altro auspicabile nel caso di eventi sismici molto frequenti.

Nella valutazione di opportunità tecnico-economica dei vari tipi di isolamento/dissipazione sismica si deve però fare attenzione a considerare un'azione sismica con periodo di ritorno adeguato [8]. Spesso si vedono dei sistemi di isolamento/dissipazione progettati e verificati solo con periodi di ritorno millenari. Questa è chiaramente una grossa ingenuità, perché di una macchina che ha vita utile di 20-30 anni dovrà essere valutata la convenienza ed efficienza anche nel caso di eventi sismici con periodi di ritorno dello stesso ordine di grandezza, altrimenti si rischia di incorrere in un forte spreco di risorse.

Un altro intervento che può essere necessario in questi viadotti è quello della aggiunta di precompressione, in quanto alcune travi, soprattutto quelle di bordo investite dalle acque di piattaforma e dagli agenti atmosferici, hanno tipicamente le armature lente e di precompressione corrose e quindi non più efficaci.

L'aggiunta di precompressione esterna di rinforzo su travi pre-comprese esistenti è ormai un intervento relativamente diffuso, ma non a tal punto da disporre di soluzioni ottimizzate e consolidate. Quando dobbiamo aggiungere precompressione esterna a una trave esistente dobbiamo infatti dotare la stes-



9. Il trefolo protetto con resine

sa di blocchi di ancoraggio e, a seconda dei casi, di selle di deviazione. La realizzazione di questi elementi è la parte più laboriosa ed onerosa, in quanto, per il resto, la precompressione esterna è ormai molto diffusa e consolidata e si dispone di tecnologia collaudata e durevole. Sul mercato sono infatti disponibili trefoli che, oltre alla zincatura ed alla vipla esterna, sono protetti con resine estruse che sono estremamente efficaci, in quanto tenaci e completamente impermeabili.

Nel disporre la precompressione esterna è necessario anzitutto scegliere tra un andamento dei cavi rettilineo e uno deviato, ovvero rialzato in testata. La scelta tra le due soluzioni dipende dal tipo di travi che devono essere rinforzate e dal degrado delle stesse. La precompressione deviata incrementa la resistenza a taglio ed è quindi auspicabile là dove vi sia una carenza di questo tipo. La carenza di resistenza a taglio può essere dovuta a uno dei seguenti fattori:

- corrosione accentuata delle staffe in testata, dato che queste sono l'armatura più superficiale;
- perdita di precompressione per effetti lenti, che non riduce il momento ultimo della trave, ma ha invece effetto sulla capacità di resistenza a taglio del calcestruzzo in testata. Ricordiamo infatti che, anche se la resistenza a taglio è stata progettata al II stadio, in effetti è consigliabile che le travi resistano a taglio senza fessurarsi e quindi, sostanzialmente, al I stadio;
- presenza di soli trefoli rettilinei, tipica delle travi pretese, con sterilizzazione di una quota parte di essi in testata. Questa situazione, associata ad una perdita di precompressione per fenomeni lenti, è una delle cause principali di fessurazione a taglio nelle travi da precompresso.

Nei casi suddetti può quindi essere fondamentale rialzare la precompressione in appoggio ed è quindi necessario predisporre delle selle di deviazione. Il modo più semplice per realizzare le selle di deviazione è con carpenteria metallica, carpenteria che imbraga il bulbo inferiore delle travi, senza bisogno di grandi collegamenti meccanici (Figure 10A e 10B). Tale soluzione è maneggevole e facile da installare. L'unica accortezza necessaria è quella di ancorare tali selle in maniera sufficiente, affinché le stesse non vengano spostate longitudi-

nalmente dall'attrito dei trefoli in fase di tiro, situazione che per altro non ha grandi controindicazioni. In effetti, più che assicurarsi un ancoraggio molto robusto, è opportuno che non si sviluppi attrito eccessivo tra trefoli e selle, ovvero che i trefoli non si impuntino al passaggio sulle selle.

L'attrito tra sella in acciaio e vipla esterna e tra quest'ultima e il trefolo è infatti relativamente contenuto e tipicamente inferiore di quello sviluppato tra sella di deviazione e trave - dove si sia aggiunta la componente coesiva delle malte/resine che si interpongono tra le due.



10A e 10B. La precompressione esterna del Gibe River Bridge, Etiopia (Salini-Impregilo)

L'onere maggiore degli interventi di precompressione esterna è però quello della realizzazione degli ancoraggi. Le forze da trasmettere sono molto elevate e si deve evitare, dove possibile, di trasferire queste forze mediante inghisaggi che lavorino a taglio. Per ogni trefolo, che tira dalle 15 alle 20 t, si deve infatti prevedere un numero cospicuo di questi connettori, con il risultato di dover eseguire numerosi fori sul manufatto esistente, operazione faticosa e anche difficile in quanto in testata le travi hanno una armatura molto fitta.

Una soluzione più efficace è pertanto quella di riuscire ad andare a battuta sul manufatto esistente, o in testata o in soletta, mediante degli scassi. In testata non si dispone sempre di spazi

e retro-trave adeguati; in soletta è sempre possibile, realizzando dei tagli e degli appositi ringrossi all'intradosso, tali da permettere la realizzazione di un ancoraggio del tutto simile a quello che si ha nelle strutture nuove.

I PONTI IN C.A. CON SEGGIOLE GERBER

Meno numerosi dei precedenti, ma comunque abbastanza diffusi, sono i ponti in calcestruzzo armato realizzati da una successione di stampelle e/o telai e travi tampone in semplice appoggio su seggiole Gerber. Questo tipo di strutture veniva utilizzato per le

opere "importanti" prima dell'avvento dell'industrializzazione dei processi costruttivi e quindi dell'introduzione delle famigerate travi precomprese in semplice appoggio. Sono quindi opere che si iniziarono a realizzare tra le due guerre e poi dopo la Seconda Guerra Mondiale, fino a tutti gli anni Settanta e che oggi hanno quindi un minimo di 50-60 anni.

Un esempio molto bello di questa tipologia è il ponte "Nuovo" sul Sangro tra Atessa e Lanciano (CH), un'opera di 17 campate di circa 25 m di luce, realizzato con fondi della Cassa del Mezzogiorno nel 1963. Il ponte, chiuso nell'Agosto del 2018, per pressioni a mezzo stampa su una sua paventata insicurezza è stato riaperto nel Dicembre dello stesso anno dopo essere stato sottoposto a una prima serie di interventi e di verifiche statiche da parte degli scriventi.

Il ponte era stato attenzionato per degli strani collari in calcestruzzo gettati intorno ai pali-pila, con funzione di protezione dall'erosione del trasporto solido del fiume. Dato che il letto del Sangro si è abbassato in questo tratto di circa 3 m, a causa del prelievo di aggregati nei primi decenni del Secondo Dopoguerra, questi collari sono stati approfonditi in una seconda fase, realizzandoli con un certo disassamento per permetterne una più agevole realizzazione. L'effetto ottico è quello di una pila spezzata in incipiente crollo.



11. Un dettaglio dei collari delle pile del ponte Nuovo sul Sangro



12. L'applicazione della guaina liquida presso il ponte Nuovo sul Sangro

A parte questo curioso dettaglio, il ponte presentava delle forti ricariche in soletta, come tipico di tutti i ponti realizzati 50 e più anni fa, in quanto le pavimentazioni non venivano fresate, ma si ricaricava sopra quella esistente.

Situazione ancor peggiore, fino a 40 cm di pavimentazione, si trovò sul ponte del Sangro in muratura e calcestruzzo a servizio della S.S. 16, crollato nel 2004 e ricostruito dagli scriventi negli anni successivi [9]. Rimossa quindi completamente la pavimentazione, si sono ricostruiti i giunti in corrispondenza delle seggiole Gerber ed è stata quindi rasata la soletta con autolivellante e applicata una moderna guaina liquida (Figura 12), previa rimessa in esercizio di tutti i pluviali che erano stati completamente chiusi dalle successive pavimentazioni.

Il passo successivo dovrà riguardare le seggiole Gerber, che in questi ponti sono generalmente ammalorate, in quanto vi percolano le acque di piattaforma. Sollevare tutte le travi tampone di un ponte come questo per riabitarle è improponibile: sono elementi molto pesanti, in questo caso 200 t circa, che non possono essere sollevate con gru dal basso, ma richiederebbero l'installazione di due derrick con un sistema di sollevamento a barre.

In prima fase sono state pertanto condotte delle prove di carico severe per accertarne la resistenza; in una seconda fase si eseguiranno degli interventi di passivazione e sigillatura con materiali innovativi, che sono correntemente in fase di definizione e studio da parte degli scriventi, con la partecipazione di università e Produttori specializzati di materiali per l'edilizia. Si deve però sottolineare che le seggiole Gerber di questo viadotto, come di altri analoghi, dispongono generalmente di una buona riserva di resistenza. Un intervento pilota di rinforzo delle seggiole Gerber con

precompressione esterna è comunque previsto per il ponte Nuovo sul Sangro.

Anche in questo caso, l'aspetto ingegneristico più interessante è quello legato al funzionamento dei giunti: queste seggiole Gerber sono infatti dei giunti che ormai si muovono molto poco. Chiaramente il rafforzamento delle seggiole Gerber non può bloccare e solidarizzare tutti i suddetti elementi, soprattutto per il ponte Nuovo sul Sangro che ha una lunghezza di oltre 400 m. È quindi necessario trovare il sistema di rinforzare questi elementi, lasciando all'impalcato la possibilità di espandersi e contrarsi. Un altro ponte con schema Gerber, di luce maggiore, ma di sole tre campate, è il rinomato ponte della Scafa, realizzato nel 1950 per collegare Ostia e Fiumicino, in sostituzione dei due ponti che andarono distrutti durante la Seconda Guerra Mondiale (Figura 13). L'impalcato del ponte presenta uno stato di corrosione piuttosto forte e quindi fomenta facili

allarmismi. Anche in questo caso, a seguito della chiusura che ha creato dei problemi enormi alla circolazione - il ponte è utilizzato da circa 25.000 veicoli al giorno - si è reso necessario stabilire la resistenza residua dell'opera e quindi trovare un Professionista che si assumesse la responsabilità di una sua riapertura in previsione di fondi che potranno risolvere il problema in maniera definitiva.

Ancora una volta si è beneficiato della possibilità di alleggerire drasticamente l'opera, che presentava un pacchetto di neri di oltre 30 cm accumulato in 70 anni di onorato servizio. Tra neri e altri elementi di arredo è stato possibile alleggerire il ponte di oltre 600 t. Si è quindi deciso di non effettuare prove di carico, in quanto l'alleggerimento effettuato e la presenza di scarificatrice e back up in fase di rimozione della pavimentazione hanno di fatto fornito un carico di prova sufficiente a riaprire il ponte, dopo aver puntellato la campata lato Ostia, che presentava una delle quattro travi senza ormai alcuna armatura residua in intradosso.



13. Il ponte della Scafa

Il ponte è stato quindi riaperto dopo due settimane, a fine Settembre 2018, e garantito dagli scriventi per 18 mesi, nell'attesa di trovare i fondi per gli interventi di seconda fase.

Questi interventi dovrebbero portare alla rimozione dell'attuale impalcato, che non vale la pena recuperare, e la sua sostituzione con una trave continua in acciaio-calcestruzzo sulle stesse luci, ovvero utilizzando le pile e le spalle esistenti, che sono robuste e già rinforzate in fasi successive alla costruzione. L'impalcato in acciaio-calcestruzzo sarà molto più leggero dell'esistente e con l'occasione si potrà anche alzare il franco navigabile, aprendo il tratto a monte a imbarcazioni di dimensioni medio-grandi che oggi non hanno la possibilità di passare sotto all'attuale impalcato. Il successo dell'operazione è ovviamente legato alla rapidità di esecuzione, ovvero al contenimento del tempo di chiusura della infrastruttura, che nel frattempo è passata in gestione all'ANAS.

Gli scriventi si sono occupati di altre due opere simili negli anni passati. La prima è il ponte di Montecosaro sul Chienti (Figure 14A e 14B). Il ponte, già oggetto di riabilitazioni passate, era divenuto insufficiente per il traffico intensissimo che serve l'adiacente distretto calzaturificio, tra i maggiori d'Italia. Interrogati sulla possibilità di allargarlo, gli scriventi hanno proposto e quindi progettato e supervisionato la costruzione di una nuova opera posta a monte, in adiacenza all'esistente, ma strutturalmente indipendente in modo da poter un giorno demolire il vecchio, lasciando il nuovo in opera. Quest'ultimo ha campate di luce pari ad un multiplo di quelle del ponte esistente, così da avere le pile in asse a quelle del vecchio, per ovvi motivi idraulici.

La progettazione dell'opera ha dovuto analizzare e ipotizzare una soluzione al problema dell'interferenza e dello scalzamento delle fondazioni in alveo, al quale il vecchio ponte era stato già soggetto negli anni Ottanta.

Per ora, a distanza di dieci anni, va ancora tutto bene e le due opere lavorano in parallelo.

A un certo punto il vecchio attraversamento non ce la farà più e dovrà essere dismesso, o magari crollerà in concomitanza di

uno di questi eventi estremi che sembra si verifichino sempre più frequentemente, ma nel frattempo la Provincia di Macerata può continuare a tirare avanti nonostante fondi scarsissimi e, soprattutto, la totale mancanza di una qualsivoglia strategia per gli enti locali da parte del potere politico centrale.

Il vicino ponte sul Fiastra, anch'esso un bel viadotto storico con schema Gerber, crollò invece durante una piena del Marzo 2011. In questo caso è stato gioco forza demolirlo e quindi ricostruirne uno nuovo, bello e robusto, sullo stesso asse in modo da non dover spendere altri soldi sulla viabilità di accesso.

In questo caso il vero tema è stato quello della gestione dell'emergenza, perché possiamo anche aspettare che queste strutture arrivino a fine vita, ma dobbiamo almeno avere un'idea chiara su come gestire l'imprevisto. Nello specifico, l'emergenza si affronta con la realizzazione e la gestione di un guado, opera provvisoria per la quale dimensionamento e progettazione richiedono una delicata ottimizzazione delle risorse sulla base della distribuzione statistica delle portate e del danno economico arrecato dagli eventuali periodi di chiusura dello stesso. Realizzare un guado che assicuri l'operatività durante tutte le piene che si hanno anche solo durante un anno è, infatti, praticamente impossibile. Si deve accettare di chiudere il guado durante gli eventi più intensi e adottare tutti gli accorgimenti progettuali necessari affinché lo stesso non subisca danni irreparabili per poterlo riaprire una volta passata la piena [10 e 11].

LE OPERE SPECIALI

Vi sono infine le opere speciali, opere che, per importanza storico-monumentale o per dimensioni e complessità strutturale, non possono essere affrontate con criteri esclusivamente utilitaristici.

Nel primo gruppo ricade sicuramente il ponte monumentale di Ariccia. Il ponte oggi esistente è la seconda ricostruzione del ponte originale. Il primo ponte in muratura fu fatto crollare dai Tedeschi durante la Seconda Guerra Mondiale, il secondo crollò per ritiro termico in una notte gelida del Gennaio 1967. Successivamente fu ricostruito utilizzando parte delle sotto-



14A e 14B. Il ponte di Montecosaro





15A e 15B. Il crollo del vecchio ponte sul Fiastra e il nuovo ponte



strutture su cui è stato innestato il ponte attuale in calcestruzzo armato, le cui membrature hanno le dimensioni originali del manufatto storico, ma sono in effetti delle sezioni scatolari in c.a. rivestite, nei facciavista più significativi, con la stessa pietra vulcanica (peperino) di cui era fatto il ponte originale.

A distanza di 50 anni, le membrature in calcestruzzo armato presentano fenomeni di degrado e corrosione. Particolarmente rovinata è la soletta, che ha sofferto di infiltrazione di acqua meteorica per mancanza di impermeabilizzazione. Le superfici in calcestruzzo armato da bonificare sono molto estese, le solette sono in uno stato tale che non conviene recuperarle, ma è più vantaggioso demolirle e ricostruirle, anche perché, per i 2/3 del ponte, le stesse sono state realizzate poggiandosi sui vecchi archi originali in conglomerato cementizio, i quali, privi di qualunque funzione statica, impediscono l'accesso per una loro eventuale bonifica. Si approfitterà della demolizione delle solette per rimuovere anche questi archi molto pesanti, rimasti inglobati in questa banale scatola in calcestruzzo armato, che oggi costituisce di fatto il ponte.

Vale la pena di riparare questo ponte? Il solo porre la domanda potrebbe apparire a molti sacrilego, ma certamente disponendo di adeguate risorse potrebbe aver senso demolirlo e realizzarne uno nuovo, magari sulla base di un concorso internazionale di progettazione che permetta di arricchire la città di Ariccia e tutto il complesso monumentale Chigi, Parco e Palazzo, con un'opera d'arte moderna, anziché un falso che sicuramente richiama l'opera originale ma non brilla certo per eleganza e leggerezza.

Per chiudere, non possiamo esimerci dall'affrontare il tema del Polcevera. Il viadotto progettato da Riccardo Morandi era costituito da due parti, quella strallata lato Genova, di circa 600 m, e quella lato Savona, un viadotto realizzato con telai e travi tampone (Gerber) di circa 700 m.

La parte crollata, quella strallata, deve ovviamente essere demolita. L'opera presenta diverse criticità che ne hanno causato il crollo. Le stesse criticità non si hanno invece sul viadotto di accesso lato Savona.

Hanno destato stupore le incredibili qualità meccaniche dei calcestruzzi: il laboratorio prove di Zurigo, che è stato incaricato di condurre le analisi sui materiali del ponte, ha trovato resistenze dei conglomerati molto elevate, da 60 fino a 90 MPa. Potrebbe essere che non tutto il ponte abbia la stessa qualità dei calcestruzzi, ma certo decidere di demolire tutto quello che resta senza appello può non essere la decisione più efficace.

Il Bando della gara per la ricostruzione del ponte prevedeva una piattaforma molto più ampia: dai 18 m del vecchio viadotto erano richiesti almeno 28 m, per permettere l'inserimento di una terza corsia e l'adeguamento dello spartitraffico centrale. Per questo motivo il recupero del viadotto di accesso lato Savona risultava difficile, in quanto si sarebbe dovuto allargare. Ancora più difficile sarà, però, trovare i soldi per adeguare tutta l'autostrada che utilizza il ponte e che è costituita da una serie di gallerie e opere di ritegno che passano dentro Genova. Avremo allora un ponte largo e una autostrada stretta, un esempio di allocazione ottimale delle ampie risorse disponibili. Ma è proprio sull'allargamento delle piattaforme in corso di ricostruzione dei ponti esistenti che vale la pena soffermarci. In mancanza di indicazioni chiare, ovvero di esempi coraggiosi da seguire, gli Enti e i Progettisti che si trovano a dover ricostruire un ponte crollato si autoimpongono di utilizzare una delle piattaforme previste dalla Normativa vigente.

Questo fa sì che, quando si ricostruiscono i ponti troppo mandati per essere riparati, se ne realizzano spesso di nuovi con piattaforme più ampie di quelle delle strade che servono. Ciò si giustifica argomentando che quando le stesse strade saranno messe a norma ci troveremo con il ponte già pronto senza dover intervenire. Tale ragionamento non è però così scontato, come potrebbe sembrare, per i seguenti motivi.

Il trend di incremento di traffico su gomma in Italia e nei Paesi sviluppati dell'Europa Occidentale pare proprio sia definitivamente cambiato. È abbastanza ovvio, ormai, che non si avranno i tassi di crescita che si sono avuti negli ultimi decenni del secolo scorso, anche per la concorrenza del trasporto aereo e su ferro. Il territorio italiano ha raggiunto un livello di



16. Il ponte di Ariccia

antropizzazione molto elevata e probabilmente prossimo alla saturazione a meno di non voler far sparire completamente l'ambiente naturale.

È in atto un deciso miglioramento dei sistemi di controllo attivo e passivo della guida e di sicurezza ed affidabilità delle autovetture, per cui una stessa piattaforma è oggi in grado di ospitare e far defluire un numero maggiore di veicoli di quanto non accadesse alcuni decenni fa. Si pensi ad esempio alle corsie di emergenza - che oggi si preferisce ribattezzare corsie dinamiche, perché l'emergenza oggi ha poco senso - le macchine non si rompono ed è molto raro vedere autovetture in panne occupare questa corsia. Con l'elettrificazione del parco circolante, i casi di veicoli in panne si ridurranno ulteriormente - il grande vantaggio dei motori elettrici è che sono totalmente scevri da malfunzionamenti e rotture, in quanto estremamente semplici. I sistemi radar e di guida semiautonomia permetteranno inoltre di aumentare il deflusso a parità di sezione.

Dare quindi per scontato che sia necessario ampliare costantemente le carreggiate, non sembra essere giustificato. Le stesse piattaforme definite nella richiamata Normativa sono probabilmente eccessive. Tra tutte, la famigerata C1, una carreggiata singola a doppio senso di marcia che è troppo larga e può creare situazioni di grande pericolo, perché invoglia ad una eccessiva velocità e al sorpasso indiscriminato, con la sua larghezza di bitumato di ben 10,5 m. Alcune sezioni autostradali, di recente realizzazione, con tre corsie più ampia banchina, sono terribilmente vuote e sproporzionate; si è consumato territorio per avere queste piste larghissime, impegnate da pochi mezzi e qualche simpatico fuorilegge che ne approfitta per viaggiare a velocità supersoniche.

Più in generale, mentre si fa un gran parlare di effetto serra e necessità di riduzione delle emissioni di CO₂, di fatto si rimane ancorati, e non solo nella progettazione delle infrastrutture, a un modello espansivo/inflattivo di crescita industriale carbon intensive. Non che si debba diventare tutti carmelitani scalzi, ma è forse ragionevole rivedere alcune scelte che derivano da

modelli di sviluppo oggi obsoleti, semplicemente perché l'efficiamento, che è il vero portato della digitalizzazione, le ha rese, di fatto, inattuali e superate.

Mantenendo la piattaforma attuale sia sui ponti che sulla nostra rete stradale, è allora possibile mantenere in esercizio molte opere esistenti, mediante interventi intelligenti ed efficaci di riabilitazione e rafforzamento, evitando di dover demolire e ricostruire manufatti che tanto hanno la stessa identica funzione di 100 anni fa, con l'unica differenza che chi li attraversa potrebbe essere maldestramente impegnato, mentre è alla guida, a consultare uno dei tanti social. ■

⁽¹⁾ Professore, Presidente di Integra Srl

⁽²⁾ Ingegnere di Integra Srl

Bibliografia

- [1]. R.J. Woodward - "Deliverable D14, Final Report", BRIME - Bridge Management in Europe, March 2001.
- [2]. H.E. Klatter, J.M. Van Noortwijk - "Life-Cycle Cost Approach to Bridge Management in the Netherlands", IBMC03-017.
- [3]. D. Everett Thomas, P. Weykamp, H.A. Capers, R.W. Cox, T.S. Drda, L. Hummel, P. Jensen, D.A. Juntunen, T. Kimball, G.A. Washer - "Bridge Evaluation Quality Assurance in Europe", FHWA-PL-08-016, March 2008.
- [4]. House of Commons, Housing, Communities and Local Government Committee - "Land Value Capture", Tenth Report of Session 2017-2019.
- [5]. A. Milotti, N. Patumi - "La cattura del valore come metodo di finanziamento per le infrastrutture di trasporto: tre casi a confronto", CERTeT, Centro di Economia Regionale, dei Trasporti e del Turismo.
- [6]. P. Tortolini, P.R. Marcantonio, M. Petrangeli, A. Lupoi - "Criteri per la verifica e la sostituzione degli appoggi in neoprene di viadotti esistenti in zona sismica" XIV Convegno ANIDIS 2011, Bari 18-22 Settembre 2011.
- [7]. M. Petrangeli, P.R. Marcantonio, P. Tortolini - "L'isolamento sismico dei ponti a travata: simulazione del comportamento longitudinale con modelli non lineari", XV Convegno ANIDIS 2013, Padova 30 Giugno-4 Luglio 2013.
- [8]. M. Petrangeli, P.R. Marcantonio, P. Tortolini - "L'isolamento sismico longitudinale dei ponti a travata: criteri di ottimizzazione tecnico-economica", XV Convegno ANIDIS 2013, Padova 30 Giugno-4 Luglio 2013.
- [9]. 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.
- [10]. 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.
- [11]. 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.