

“STRATEGIE PER LA GESTIONE DEI PONTI STORICI ITALIANI - Seconda parte”

Petrangeli M., Mecozzi A. (2016)

“Questo articolo è stato pubblicato per la prima volta sulla rivista *Strade & Autostrade*, casa editrice EDI-CEM, <http://www.stradeeautostrade.it/>”

“This article was first published in *Strade & Autostrade*, publisher: EDI-CEM, <http://www.stradeeautostrade.it/>”

“Cet article a été publié pour la première fois sur *Strade & Autostrade*, éditions : EDI-CEM, <http://www.stradeeautostrade.it/>”

“Este artículo se publicó por primera vez en la revista *Strade & Autostrade*, casa editorial : EDI-CEM, <http://www.stradeeautostrade.it/>”

STRATEGIE PER LA GESTIONE DEI PONTI STORICI ITALIANI

- SECONDA PARTE -

**RISORSE SCARSE E PRECIPITAZIONI ABBONDANTI:
IL CASO DELLA PROVINCIA DI MACERATA**

Dopo aver introdotto il problema dello scalcamento ed aver parlato del ponte sul Chienti a Montecosaro nella prima parte del lavoro, proseguiamo in questa seconda approfondendo il tema dei guadi anche con riferimento alla gestione emergenziale del crollo del ponte sul Fiastra a Corridonia e concludiamo quindi con una proposta di rafforzamento per le fondazioni superficiali dei ponti storici.

IL PONTE SUL FIASTRA A CORRIDONIA

Il ponte sul Fiastra è molto simile a quello a Montecosaro sul Chienti, di cui il Fiastra è un affluente. Anche questo ponte era stato sottoposto a interventi di rafforzamento delle fondazioni nel 1987. In questo caso però, le fondazioni non erano state approfondite, ma solo consolidate mediante il getto di una camicia in calcestruzzo intorno al plinto in muratura originario (Figure 1A e 1B). In occasione dell'alluvione delle Marche del Marzo 2011, una delle pile in alveo è sprofondata di circa un metro. L'impalcato,

costituito da una trave tipo Gerber, ha assecondato il cinematisimo ed è rimasto in piedi seppur in condizioni di equilibrio molto precario.

Il fatto che l'impalcato non sia crollato è senz'altro molto positivo in quanto non è stato ostacolato il deflusso della piena evitando di dover intervenire in condizioni di emergenza come invece accade per altri tipi di opere, come ad esempio i ponti in muratura, che tipicamente crollano ostruendo l'alveo [1].

A seguito dell'inagibilità del ponte la Provincia di Macerata è dovuta intervenire per ripristinare la viabilità. Da segnalare come una delle utenze più sensibili per quest'opera ma in generale per molti dei ponti della fascia subappenninica italiana che sorgono in valli particolarmente fertili ed intensamente sfruttate, sia quella agricola. I mezzi agricoli difficilmente trovano economicamente sostenibile una deviazione di una decina di chilometri necessari per utilizzare l'attraversamento più vicino a quello crollato. E per altro non è raro che queste deviazioni siano ben più lunghe in



1A e 1B. Il rafforzamento delle fondazioni del ponte sul Fiastra del 1987



2. Il guado sul Potenza a Villa Potenza

quanto è facile che l'attraversamento successivo possa distare più di 10 km e che quindi il percorso si allunghi di almeno il doppio. Nel caso del Fiastra era comunque necessario ripristinare il collegamento e considerato che la riparazione del ponte esistente ovvero la sua demolizione e ricostruzione avrebbe richiesto ragionevolmente, per motivi anzitutto procedurali, un tempo non inferiore a due anni, si è deciso di realizzare un guado provvisorio.

IL RIPRISTINO PROVVISORIO DELLA VIABILITÀ: II GUADO

Nella gestione di una rete stradale provinciale di circa 1.500 km come quella di Macerata le situazioni emergenziali non sono infrequenti. Già nel Giugno del 2005, l'Ufficio Tecnico della Provincia di Macerata - in conseguenza di un monitoraggio strutturale - ebbe la necessità di chiudere al transito il ponte della ex S.S. 77 sul fiume Potenza in località Villa Potenza. L'interruzione di un'arteria su cui transitavano mediamente 23.000 veicoli al giorno, di primaria importanza per il Capoluogo e senza valide alternative, richiese il tempestivo ripristino dell'attraversamento.

Grazie anche al periodo climatico favorevole, fu realizzato rapidamente un guado veicolare con una platea in calcestruzzo armato protetta a valle da una paratia di pali. Questa struttura è stata mantenuta in esercizio per i tre mesi circa occorsi per ripristinare il collegamento principale con un risultato complessivamente molto soddisfacente che ha permesso di assicurare la piena agibilità del collegamento stradale.

Quando si è verificata l'interruzione della S.P. 28 "Corridonia-Colbuccaro" per il cedimento del ponte sul Fiastra, l'Amministrazione Comunale di Corridonia ha chiesto la realizzazione di un guado temporaneo, in analogia a quanto fatto nel 2005 sul fiume Potenza.

I lavori per la realizzazione del guado sono iniziati nell'Aprile 2011 e l'apertura al traffico dello stesso è avvenuta nel Maggio del 2011.

La progettazione del guado, per il quale era stata ipotizzata una vita utile di due anni, è stata condizionata dalla necessità di dover contenere i costi nonostante la notevole larghezza dell'alveo nel punto di attraversamento. Si è optato pertanto per una platea in calcestruzzo approfondita su i due lati (monte e valle) con setti antisifonamento approfonditi di circa 1 m ed una protezione a valle con una scogliera con massi di grande pezzatura.



3. Il primo guado sul Fiastra

La parte in calcestruzzo del guado aveva una lunghezza di circa 70 m più due solette di transizione alle due estremità per ulteriori 10 m circa. Il guado è stato dimensionato per una portata di 20 m³/sec inserendo tubi in calcestruzzo da 80 cm di diametro al centro e 4+4 tubi da 100 cm di diametro lateralmente.

Il guado così dimensionato ha resistito, anche grazie a una costante attività di monitoraggio e manutenzione, circa tre anni. In questo periodo cinque sono state le piene rilevanti (15 Aprile 2012, 14 Settembre 2012, 11 Novembre 2013, 2 Dicembre 2013 e 27 Marzo 2014). Le prime quattro hanno causato dei danni ma si è riusciti sempre a ripristinare il guado con degli interventi di manutenzione quali la riprofilatura dell'alveo, la pulizia degli imbocchi delle tubazioni, la riparazione di erosioni delle rampe d'accesso, il ripascimento della scogliera e la sistemazione delle barriere di protezione. L'ultima piena del 27 Marzo 2014 ha invece portato al collasso la struttura che sebbene mantenuta e ripristinata dopo ogni piena, soffriva comunque dei fenomeni erosivi accumulatisi nei tre anni di esercizio.

I guadi tendono infatti ad essere scalzati lato valle dai vortici delle piene che li sormontano. Tale scalzamento tende a propagarsi al di sotto della fondazione e dei setti terminali antisifonamento dove risulta per altro difficile il monitoraggio. Nel caso di specie, quando durante le piene i tubi da 80 cm si ostruivano, il salto dell'acqua era minimo di 110 cm ma arrivava a 180 cm quando piante e arbusti trattenuti dai guard-rail formavano un ulteriore sbarramento. In circa tre anni l'alveo a valle dei tubi si è inoltre abbassato di circa un metro e mezzo portando il salto dell'acqua in caso di piena dai 110-180 cm iniziali ai 260-330 cm.

Per ridurre l'innalzamento del livello in caso di piena sono prima stati messi in opera dei guard-rail sfilabili e poi, per ridurre i tempi d'intervento e riposizionamento, altri ribaltabili incernierati al piede che però tendono comunque a fornire un ostacolo al deflusso della vegetazione con conseguente danneggiamento degli stessi.

Il collasso della struttura, avvenuto in occasione della piena del 27 Marzo 2014, è stato innescato dalla rottura della soletta di transizione in sponda sinistra e quindi dal successivo sifonamento e collasso della struttura in calcestruzzo. I guadi in calcestruzzo armato si comportano infatti come una piastra e quindi sono molto più sensibile ad azioni sui bordi che al centro dove dispongono di buona resistenza e duttilità.

A seguito del collasso del guado, una importante Azienda di trasformazione di prodotti agricoli della zona si è offerta di contribuire alla realizzazione di un nuovo attraversamento in tempo utile per i raccolti estivi del 2014. Nel Giugno del 2014 è stato quindi realizzato un nuovo guado al posto di quello crollato con un piccolo manufatto in calcestruzzo (quattro soli tubi) posizionato in adiacenza della sponda sinistra. Ciò è stato possibile, data la ridotta portata del torrente nel periodo estivo, canalizzando il corso d'acqua in regime di magra nei tubi e realizzando, con il materiale in loco, un percorso carrabile nel letto del torrente. Una piena, verificatasi nella settimana immediatamente successiva alla sua realizzazione, ha provocato una rotazione rigida del manufatto in calcestruzzo armato che non ne ha però compromesso la funzionalità.

Questo guado è durato, oltre ogni ottimistica aspettativa, per tutto il periodo di costruzione del nuovo ponte (aperto al traffico nel Novembre 2015) ma ha richiesto ovviamente un numero maggiore di chiusure rispetto al precedente.

Di controparte, gli interventi di ripristino della viabilità nel letto del fiume sono stati veloci e poco costosi.

L'esperienza fatta sembrerebbe suggerire che per corsi d'acqua a carattere torrentizio è più efficace realizzare guadi che abbiano una capacità di deflusso commisurata alla portata di magra, quindi guadi piccoli ed economici che dovranno essere chiusi abbastanza frequentemente nei brevi eventi di piena piuttosto che guadi più grandi il cui maggior costo non è giustificato dalla riduzione percentualmente modesta di chiusure. A fronte infatti di questo marginale incremento del tempo di esercizio, si potrebbe avere un aumento della vulnerabilità per i fenomeni maggiori in quanto più un guado è grande, maggiore è la resistenza che offre al deflusso delle piene.

Tale conclusione si potrebbe dimostrare matematicamente disponendo dell'an-

damento temporale delle portate ovvero di una curva di distribuzione cumulata. Nel caso ad esempio del Fiastra, è ragionevole stimare che accettando una chiusura del guado inferiore al 5% del tempo, diciamo due giorni al mese in media, ci si possa attestare su portate che sono estremamente contenute e quindi realizzare un guado molto economico con un livello stradale poco più alto del letto del fiume. Questo guado viene sormontato dall'acqua negli eventi di piena e quindi ripristinato con interventi minori di sistemazione e pulizia una volta passata la piena.

Qualora si optasse comunque per un'opera "importante" i rischi maggiori, oltre al sifonamento, sono costituiti dallo scalzamento di valle e da possibili aggiramenti laterali per l'innalzamento del livello in conseguenza dell'intasamento di tubi e guard-rail. I rimedi per evitare lo scalzamento sono la realizzazione di una paratia (pali o palancole) a valle e il prolungamento della struttura in calcestruzzo sino alle sponde. La sostituzione della paratia di pali o palancole con una meno onerosa scogliera può essere presa in considerazione solo per interventi con estensione temporale limitata.



4. Il secondo guado



5A e 5B.

I due guadi in occasione di piene sormontanti



LA PROGETTAZIONE E LA REALIZZAZIONE DEL NUOVO PONTE

Per decidere il tipo di intervento da effettuare sull'attraversamento si è sviluppato il progetto preliminare di due soluzioni; quella di riabilitazione dell'opera danneggiata e quella di un nuovo ponte da realizzarsi in asse all'esistente previo sua demolizione. Per poter progettare le due soluzioni è stato necessario anche in questo caso approfondire gli aspetti di sicurezza idraulica.

La portata duecentennale del Fiastra in corrispondenza dell'attraversamento è stata calcolata applicando i principali metodi di regionalizzazione reperibili in letteratura. Si sono ottenuti valori in buon accordo tra loro e con quelli già indicati dall'Autorità di Bacino ovvero 300 m³/s.

Per questo attraversamento si è voluto però approfondire il calcolo delle portate per i periodi di ritorno più brevi.

Per esempio, per l'evento del Marzo 2011, quello che ha danneggiato il ponte, si dispone della portata al colmo in corrispondenza della stazione di Abbadia di Fiastra, situata 6 km a monte del ponte.

Una prima stima di tale portata è stata di 101 m³/s, in seguito tale portata è stata rivista al rialzo constatando che la sezione di deflusso era stata modificata dall'evento di piena.

Considerata l'estensione del bacino a valle della stazione di misura, si può stimare in definitiva che in corrispondenza del ponte sulla S.P. 28 sia transitata una portata superiore a 150 m³/s. Con i metodi di regionalizzazione anzidetti a questa portata corrisponderebbe un tempo di ritorno di pochi anni, valore che non sembra essere affidabile considerato che il ponte è rimasto in piedi per oltre 50 anni con le fondazioni superficiali attuali (rivestite nel 1987 come mostrato in Figura 1).

Si è pertanto cercato di ricostruire la serie storica delle portate per ottenere una stima più attendibile dell'andamento Portate-Tempo di Ritorno.

A tal scopo, sono stati utilizzati due metodi: il primo basato su una regionalizzazione dei dati dei livelli idrici nell'area d'interesse; il secondo basato sulla ricostruzione di una scala di deflusso attraverso simulazioni con il software HEC-RAS [2].

Con i due metodi descritti si ottengono valori in buon accordo [3].

EVENTO	Q (M ³ /S)	H (M)	NOTE
01/03/11	101	3.00	Q, h noti
-	90	2.91	-
-	42	2.40	-
-	37	2.36	-
07/03/08	42	2.40	Q, h noti
-	32	2.30	-
2005	80	2.8	h noto
2004	50	2.5	h noto
2003	4	1.5	h noto
2002	80	2.8	h noto

6A e 6B. La serie delle portate ricostruite e scala di deflusso adottata

La scala di deflusso ottenuta considerando una media tra i due metodi di cui sopra è riportata nelle Figure 6A e 6B. I valori in rosso sono quelli noti, quelli in nero invece sono quelli ricostruiti.

La serie così ricostruita, ipotizzando una distribuzione alla Gumbel, fornisce un tempo di ritorno per l'evento del 2011 (150 m³/s) pari a 20/30 anni.

Il collasso del ponte sul Fiastra conferma quindi che questi ponti storici vanno in crisi per eventi che hanno tempi di ritorno di qualche anno o al massimo decennali.

Di conseguenza è importante stimare l'andamento dello scalzamento al crescere delle portate, soprattutto nella parte bassa della curva, quella associata a tempi di ritorno relativamente contenuti (piene stagionali e piene annuali).

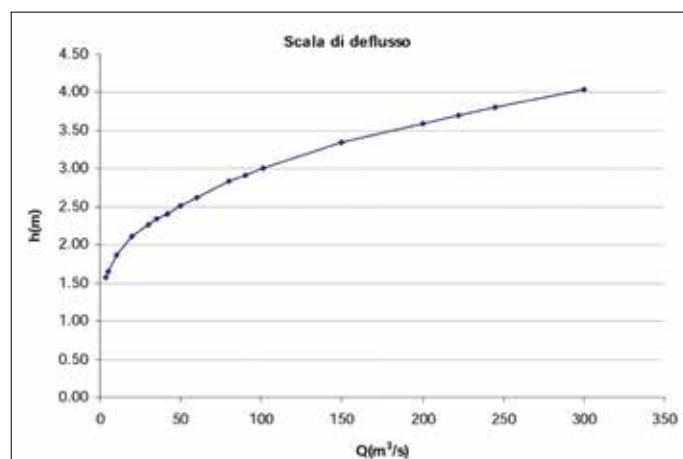
Si è quindi proceduto a calcolare velocità media e tirante idrico nella sezione del ponte per tutti i valori di portata mediante una modellazione con il codice HEC-RAS.

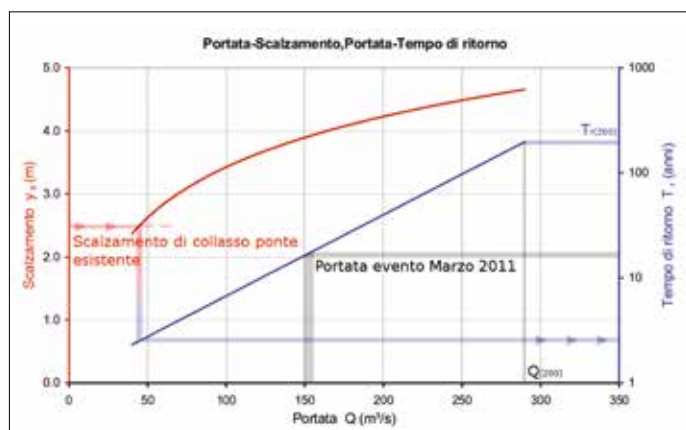
Le analisi confermano che non vi è un problema di franco idraulico, neanche per la portata duecentennale. I forti scalzamenti misurati in coincidenza delle piene del Fiastra sono invece dovuti alla velocità elevata della corrente.

Nella sezione del ponte il fenomeno prevalente è quindi ancora una volta il fenomeno di erosione localizzata mentre risulta essere trascurabile quello di erosione generalizzata per restringimento della sezione trasversale.

Si ripropone quindi, anche per la sezione del ponte sul Fiastra, il grafico (Figura 7) contenente le curve Portata-Scalzamento, Portata-Tempo di Ritorno già presentato per la sezione di attraversamento del Chienti a Montecosaro (si veda "S&A" n° 116). Anche in questo caso, il grafico mostra valori elevati di scalzamento pure per eventi tutt'altro che eccezionali sebbene la curva cresca meno velocemente di quella ottenuta per il Chienti a Montecosaro, in cui tali curve non sono state ottenute partendo da misure storiche di deflusso che forniscono informazioni sicuramente più precise sulle portate con tempi di ritorno medio-bassi.

Sulla base dei risultati ottenuti si è provveduto a comparare le due soluzioni di intervento. Da una parte una riabilitazione dell'opera esistente con rafforzamento di tutte le fondazioni; dall'altra la demolizione e la ricostruzione del ponte.





7. Curve Portata-Scalzamento e Portata-Tempo di Ritorno per il ponte sul Fiastra a Corridonia

Tra le due soluzioni, si è preferita la seconda in quanto a fronte di un maggior onere di circa 1 milione si sarebbe ottenuto un manufatto nuovo con una vita utile superiore ed una piattaforma più ampia (10 m contro i 7 dell'esistente).

Il nuovo ponte è stato quindi realizzato con una trave continua a struttura mista in acciaio autopatinante con luci da 55 m per una lunghezza complessiva di 163 m. Questa tecnologia permette oggi di realizzare opere strutturalmente molto efficienti, di costo contenuto e soprattutto di pregevolissimo aspetto architettonico e quindi di ottimo inserimento paesaggistico.

La costruzione del ponte, appaltata su progetto esecutivo redatto dagli scriventi, è stata completata in circa un anno. Questa volta si è bandita una gara con esclusione automatica delle offerte anomale aggiudicando quindi il lavoro con un ragionevole ribasso del 28,8%. L'opera e tutta la viabilità di collegamento sono costati in definitiva 2,5 milioni di Euro.

NUOVE SOLUZIONI PER IL RAFFORZAMENTO DELLE FONDAZIONI

Negli ultimi dieci anni, solo nell'area del medio versante adriatico, si sono avuti molteplici esempi di danneggiamento a ponti storici causati da piene; oltre ai due esempi discussi nell'articolo il secondo autore ha avuto modi di studiare il ponte sul Sangro della S.S. 16 a Fossacesia (CH), il ponte sul torrente Barricelle in provincia di Pescara, il ponte sul Vomano a Castelnuovo Vo-

mano (TE) e quello sull'Aso al confine tra le provincie di Ascoli Piceno e Fermo.

In tutti questi casi, l'aspetto dirimente è quello di individuare interventi di rafforzamento fondazionale dei ponti storici che permettano di prolungare la vita di queste opere ad un costo ragionevole rendendo contestualmente possibile l'eventuale allargamento della piattaforma stradale. Ad oggi, in mancanza di soluzioni economiche e affidabili, per tutte le opere non soggette a vincolo dei beni culturali conviene purtroppo procedere con la demolizione e ricostruzione.

Nel caso di attraversamenti in retto e pile a setto in muratura o in conglomerato cementizio con fondazioni di impronta rettangolare allungata in prosecuzione dei fusti pila, gli studi e l'esperienza mostrano che lo scalzamento si concentra nelle sezioni di monte e in minor misura di valle.

Queste buche hanno estensione longitudinale pari circa a quella trasversale ovvero alla dimensione trasversale del plinto di fondazione. Lungo i lati lunghi del plinto, lo scalzamento è minore perché non vi sono le condizioni idrodinamiche per un ugual asporto di materiale. Anche in uscita, nelle sezioni a valle del plinto si creano dei vortici, ma questi sono comunque di intensità inferiore di quelli in entrata, anche per l'aumento della sezione idraulica di deflusso dovuta al venir meno dell'ingombro del plinto, che provoca un rallentamento generalizzato della velocità della corrente.

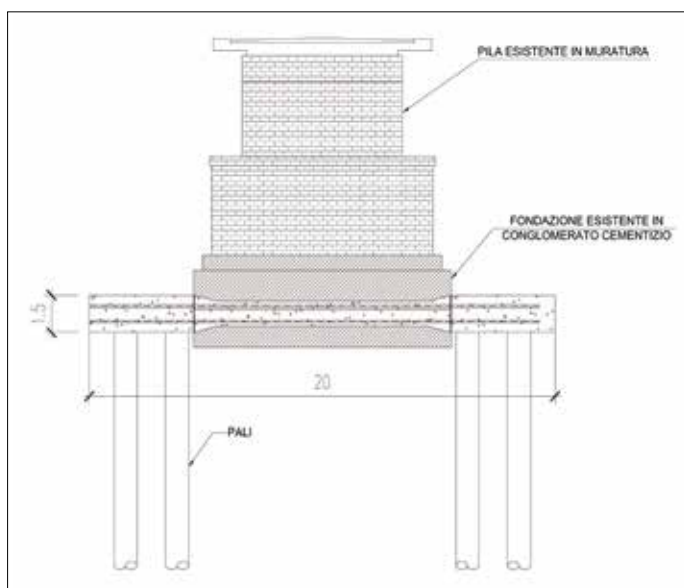
Queste considerazioni non sono necessariamente vere nel caso di piene eccezionali, dove lo scalzamento generalizzato in corrispondenza dell'opera di attraversamento può avere un ruolo altrettanto importante rispetto allo scalzamento locale, ovvero nel caso di erosione generalizzata dell'alveo.

In definitiva, la soluzione che sembrerebbe più adeguata dal punto di vista tecnico-economico è quella di rinforzare con fondazioni profonde solo le due estremità dei plinti esistenti prolungando gli stessi in modo da allontanare il punto di massimo scalzamento fuori dell'impronta del plinto originale e portarlo in corrispondenza delle nuove fondazioni profonde.

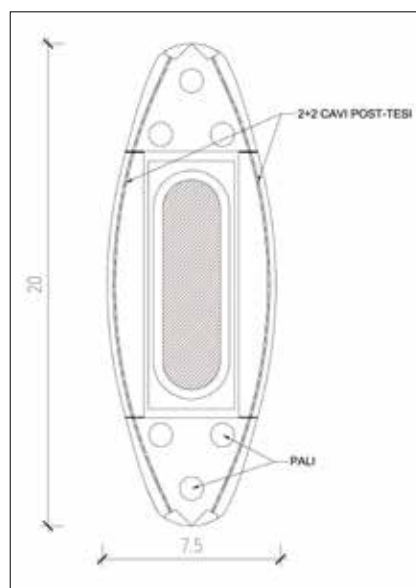
Queste nuove appendici non devono necessariamente essere dimensionate per portare tutto il carico del ponte non tanto perché non possano avere la necessaria capacità portante, quanto perché non sempre è possibile trasferirvi in maniera economica e tecnicamente semplice tutto il carico. Detto que-

8. Il nuovo ponte sul Fiastra a Corridonia





9A e 9B. L'intervento di rafforzamento con appendici fondate su pali



sto, un collegamento tra i vecchi plinti e queste nuove fondazioni si rende necessario in modo da poter assorbire le perdite di portanza del plinto originale nel caso di forti scalzamenti. Su queste appendici è quindi possibile appoggiare nuovi fusti pila per portare l'eventuale allargamento della carreggiata. Dove il terreno di fondazione e il regime di filtrazione lo permettono, si dovrebbe inoltre investigare la possibilità di interventi con jet, in sostituzione o a integrazione di quelli con pali.

CONCLUSIONI

La sicurezza idraulica di molti dei ponti italiani costruiti fino a tutto il secondo dopoguerra è spesso inadeguata e la stessa è andata peggiorando per via della riduzione del trasporto solido dei nostri corsi d'acqua, del prelievo incontrollato nei decenni passati di materiale da costruzione ma forse anche a causa dei cambiamenti climatici che sembrerebbero aver aumentato gli episodi pluviometrici intensi. Questi ponti hanno infatti dei margini di sicurezza idraulica abbastanza modesti che vengono facilmente azzerati dai soli fenomeni di scalzamento localizzato che si hanno in occasione di queste alluvioni.

L'attuale Normativa prevede invece dei criteri di progettazione estremamente più severi che assicurano una più che sufficiente sicurezza idraulica alle opere di nuova costruzione. La differenza tra gli scalzamenti che mettono in crisi i ponti storici e quelli con i quali si calcolano le opere di nuova costruzione è così forte che viene spontaneo domandarsi se non vi sia bisogno di ripensare l'approccio alla sicurezza idraulica della rete infrastrutturale italiana cercando di ottimizzare l'allocazione delle risorse in modo da ridurre questa forbice.

La situazione è per alcuni versi simile a quanto verificatosi nel campo della vulnerabilità sismica degli edifici strategici. La maggior parte di questi edifici ha una resistenza sismica del tutto insufficiente rispetto a quanto richiesto dalla attuale Normativa. Tale insufficienza è molto pronunciata e ha ridotto notevolmente l'efficacia delle verifiche di sicurezza sismica in quanto l'appiattimento verso il basso dei valori trovati ha reso i risultati scarsa-

mente significativi. Lo stesso accadrebbe se si facesse la verifica idraulica dei ponti storici della rete stradale italiana.

Nonostante ciò, la rete infrastrutturale regge, con ovviamente qualche collasso localizzato come quelli raccontati in questo articolo. Si rende necessario solo trovare il sistema più efficiente per intervenire, preventivamente ma anche a posteriori, dove questo non comporti un eccessivo aggravio dei costi diretti ed indiretti. Il

vantaggio dei crolli per scalzamento idraulico, contrariamente a quelli per sisma, è che i primi danno un preavviso e quindi permettono il più delle volte di evitare perdite di vite umane. ■

⁽¹⁾ *Ingegnere Dirigente Viabilità e Patrimonio, Provincia di Macerata*

⁽²⁾ *Professore Presidente di Integra SpA*

DATI TECNICI

Stazione Appaltante: Provincia di Macerata

Progettazione: Ufficio Tecnico della Provincia di Macerata e Integra SpA

Progetto definitivo: Ufficio Tecnico della Provincia di Macerata e Integra SpA

Progetto esecutivo: Ufficio Tecnico della Provincia di Macerata e Integra SpA

Collaudo: Ufficio Tecnico della Provincia di Macerata

Direzione dei Lavori: Ufficio Tecnico della Provincia di Macerata e Integra SpA

Importo dei lavori: 5 milioni di Euro

Data di ultimazione: Settembre 2015

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.
- [2]. "Hec-Ras River Analysis System - User Manual - Charter 12 Stable Channel Design Functions".
- [3]. M. Petrangeli, M. Pietrantonio, L. Calvani - "Il caso dei ponti storici del Medio Versante Adriatico", "Quarry & Construction", n° 3 Marzo 2014, pp. 52-64.