

PONTI IN MURATURA

**RIPARAZIONE E RICOSTRUZIONE PROSTETICA
DI DUE OPERE STORICHE ALGERINE
A COSTANTINE LA "VILLE DES PONTS"**

La città di Constantine, Capitale mondiale della Cultura araba nel 2015, con un milione circa di abitanti è la più grande dell'Est Algerino e seconda in termini di popolazione solo ad Algeri ed Orano.

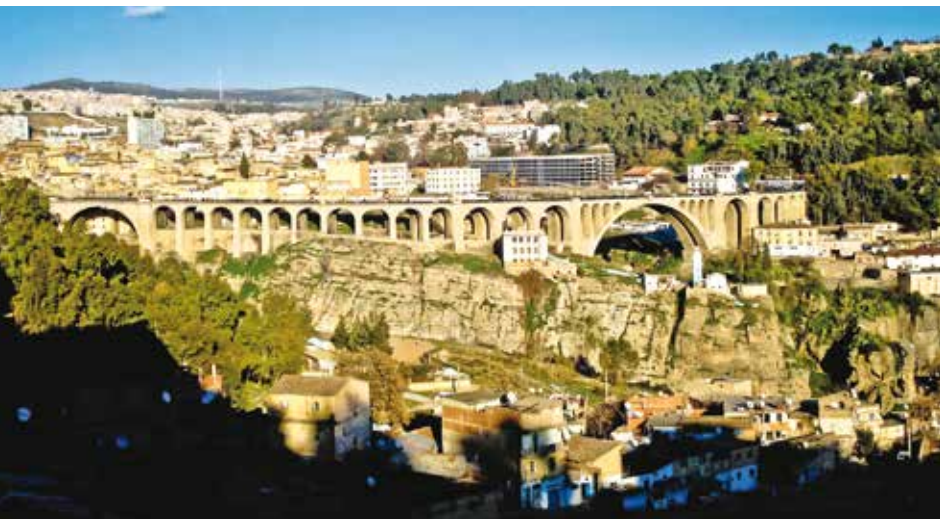
Constantine, anche conosciuta come la Ville des Ponts, sorge a circa 700 m di quota su di un massiccio calcareo inciso da una gola profonda dove scorre il torrente Rhumel. Proprio la necessità di un attraversamento di questa incisione che taglia in due il centro cittadino ha richiesto la costruzione di alcuni ponti grandi e scenografici che le hanno appunto conferito tale appellativo.

Tra questi ponti ci sono grandi archi in muratura ma anche opere pionieristiche in calcestruzzo armato, oltre a due ponti sospesi e ad un ponte strallato. Tutti queste opere sono state realizzate tra la fine dell'Ottocento e i primi anni del Novecento durante il periodo coloniale francese.

Fanno eccezione l'ingombrante ponte strallato realizzato recentemente dai Brasiliani, un bel dywidag realizzato dalla Pizzarotti per la metropolitana di superficie, e quelli standard a travata necessari alla viabilità ordinaria delle zone periferiche dove, peraltro, l'incisione è molto meno profonda e suggestiva.

Negli anni Novanta, gli Scriventi si sono occupati della riabilitazione del ponte sospeso di Sidi M'Cid, forse il più affascinante e pionieristico tra tutti [1] e, a partire dal 2010, dei due ponti in muratura illustrati in questo articolo.

Se gli interventi sul ponte sospeso di Sidi M'Cid erano dovuti alla naturale corrosione delle componenti metalliche, quelli sui ponti in muratura sono molto più delicati, in quanto causati da un problema cronico di Constantine, cioè l'instabilità di molti suoi versanti dove coltri abbastanza spesse di marne scivolano sul substrato calcareo sottostante. Per contro Sidi M'Cid, arroccato proprio su tale massiccio nel punto più alto della città, non ha mai avuto problemi di questa natura; il ponte storico di Sidi Rached (Figura 1), anch'esso monumento nazionale in quanto forse il più grande viadotto ad arco in muratura al mondo con le sue 27 campate di



1. Il ponte di Sidi Rached ripreso da valle

cui la principale sul Rhumel di 70 m di luce, ne soffre fin dalla sua realizzazione (1907-1912), sebbene sia sempre rimasto in esercizio anche grazie a una serie di interventi di riparazione effettuati a più riprese durante lo scorso secolo [2].

Un altro ponte che ha patito l'instabilità delle coltri di suolo più superficiali è il poco distante ponte degli Etudiants, anch'esso un viadotto in muratura con cinque arcate di luce massima pari a 30 m, originariamente a servizio della ferrovia e in seguito utilizzato come ponte pedonale per gli studenti della vicina Università, da cui appunto il nome. Nei primi anni del 2000, il ponte ha subito il crollo delle ultime due campate in sinistra idrografica, lasciando peraltro intatte e in buono stato le restanti tre.

IL PONTE DI SIDI RACHED

Il ponte di Sidi Rached venne costruito tra il 1907 e il 1912, negli stessi anni in cui veniva realizzato anche il ponte sospeso di Sidi M'CID.

Sidi Rached ha una lunghezza complessiva di 447 m ed è composto da 21 coppie di archi di 10 m di luce netta, quattro da 16 m, uno da 30 m e dall'arco centrale che con una campata da 70 m oltrepassa, a 105 m di altezza, l'incisione del Rhumel. La carreggiata, larga 12 m, è sostenuta appunto da questa doppia fila di arcate affiancate larghe 4 m ciascuna, collegate trasversalmente da un impalcato sostenuto da traversi in calcestruzzo armato. La muratura è di tipo a sacco con paramenti realizzati nella bella e resistente pietra calcarea locale di colore giallastro (Figura 2).



2. Una foto d'epoca con l'imponente centina dell'arcata principale

I primi problemi causati dall'instabilità del versante in destra idrografica del ponte di Sidi Rached si manifestarono molto presto; già durante la sua realizzazione nel 1910 si palesarono dei disordini sulla spalla destra; si ha poi notizia che il ponte sia stato oggetto di interventi di rafforzamento fondazionale a partire dagli anni Quaranta del secolo scorso.

Successivamente, negli anni Cinquanta si comprese che il problema dell'instabilità era dovuto allo scivolamento a valle delle spesse coltri marnose di tale versante. Si misero in atto, pertanto, degli interventi di drenaggio in prossimità della spalla e si realizzarono dei tiranti ancorati nel substrato roccioso per tentare di fermare la stessa. Tentativo riuscito solo in parte, dato che complessivamente fino ad oggi la spalla è scivolata poco meno di un

metro, misura ovviamente non compatibile con la scarsa flessibilità di un'opera in muratura, sebbene di altezza considerevole. Le fondazioni delle prime quattro paia di pile, che non raggiungono il substrato roccioso, furono invece consolidate con un reticolo di travi in calcestruzzo armato che, nell'intenzione dei progettisti dell'epoca, avrebbero dovuto riportare le spinte a valle sul substrato roccioso che dalla quinta campata affiora in superficie. A metà degli anni Cinquanta, constatata l'impossibilità di arrestare il cinematismo, si isolò la spalla dal resto del ponte demolendo la prima coppia di arcate in muratura e sostituendovi dapprima un arco a tre cerniere in calcestruzzo armato, che già alla fine degli anni Settanta fu necessario rimpiazzare con una trave tampone a struttura mista. Per chiudere le spinte delle restanti campate fu contestualmente murata la seconda coppia di arcate che, di fatto, sono divenute la nuova spalla in sponda destra del ponte. Tra il 2007 e il 2010, il cinematismo del ponte conobbe un'improvvisa accelerazione, causando fessure molto ampie alla base delle prime sei paia di pile (Figura 3).

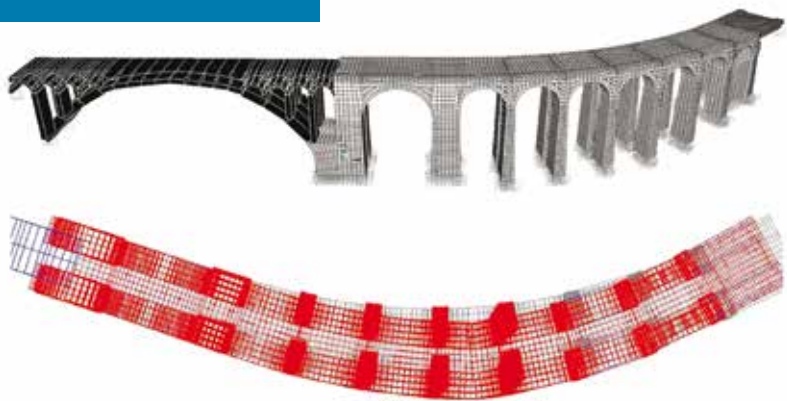


3. La fessurazione alla base delle pile

Gli Scrittori vengono quindi chiamati d'urgenza per trovare una soluzione ad un problema che era, e resta, di enorme importanza per la città di Constantine: il ponte è un collegamento indispensabile tra l'area urbana adiacente la ferrovia e il centro cittadino oltre ad essere monumento nazionale richiamato e raffigurato in tutta l'iconografia algerina. In effetti, la città è dotata di molti altri ponti, ma la viabilità di accesso obbliga a lunghi giri in un contesto urbano tanto popoloso quanto congestionato che, come molte altre realtà algerine, ha subito uno sviluppo tumultuoso e caotico con un parco vetture circolante pressoché decuplicato negli ultimi dieci anni.

Sin dal primo sopralluogo si constatò che la trave tampone esistente era ormai incastrata e trasferiva, di fatto, la spinta dalla spalla al resto del ponte e pertanto con l'ulteriore slittamento della spalla si era persa l'efficacia dell'intervento di disconnessione sopra descritto.

Le prime sei campate del ponte, essendo in curva e ricevendo questa spinta enorme (si stimano 1.000 t circa), avevano sbandato verso l'esterno, parzializzato tutte le sezioni di base delle pile che si sono sollevate assecondando il cinematismo imposto dalla spinta (Figura 4).



4. Il modello agli elementi finiti ed il cinematicismo risultante dalla spinta

Le fessure alla base delle pile erano dell'ordine dei centimetri; gli spostamenti ricostruiti mediante rilievo topografico indicavano, appunto, una componente di spostamento radiale di circa 20 cm al livello dell'impalcato. La spinta aveva iniziato a schiacciare la quarta arcata (Figura 5) che è stata, pertanto, puntellata per il rischio di crollo imminente. Il tutto, chiaramente, senza poter chiudere al traffico il ponte, se non per brevi periodi.



5. L'arcata crollata per schiacciamento, vista interno curva

Nell'estate 2011 si è quindi immediatamente provveduto a rimuovere la trave tampona ed a sostituirla con una nuova struttura più snella e leggera (Figura 6), ma soprattutto dotata di varchi



6. La nuova trave tampona

sufficienti ad assorbire cinematicismi dell'ordine dei decimetri. Contestualmente, si è iniziato a studiare un sistema di rinforzo e consolidamento di quella parte di versante che interessa il ponte.

Un consolidamento di tutto il versante non era nelle disponibilità di budget, sebbene diversi interventi poco coordinati erano in via di studio e realizzazione da parte di altri soggetti. Il più eclatante è quello messo in atto dai Brasiliani a protezione del nuovo ponte strallato appena realizzato che, contrariamente a ogni aspettativa, si è iniziato a muovere appena terminata la costruzione (Figura 7).

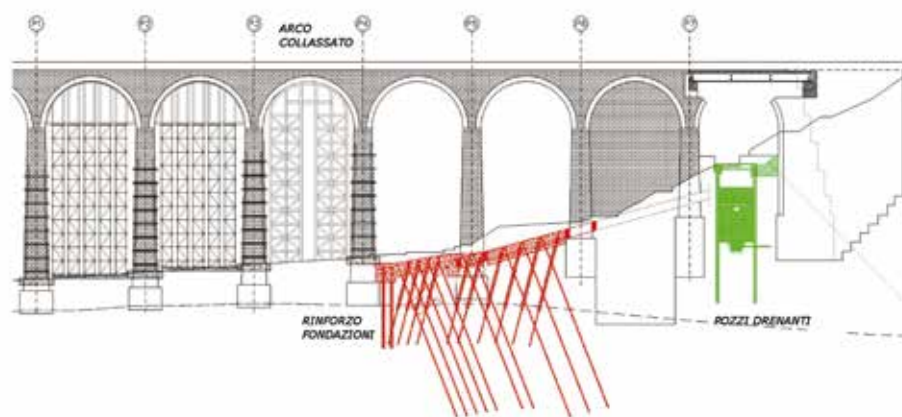


7. Interventi di consolidamento effettuati a salvaguardia del ponte Trans-Rhumel

Per l'area su cui insiste il ponte di Sidi Rached si è optato per un sistema di consolidamento e drenaggio mediante pozzi realizzati ai due lati della vecchia spalla. I due pozzi sono collegati da una struttura rigida che dovrebbe riuscire ad assorbire parte della spinta del terreno di monte e, quindi, rallentare o fermare lo scorrimento della vecchia spalla che ha ora la sola funzione di appoggio della trave tampona e di contenimento del terrapieno su cui insiste lo svincolo di accesso al ponte. A valle di questa struttura rigida è stata inserita una trincea drenante che scollega le coltri instabili di monte da quelle di valle, le quali si vanno rapidamente assottigliando fino a scoprire il substrato una cinquantina di metri più in basso [3].

Anche se il cinematicismo riguarda principalmente la spalla e sembrerebbe andare rapidamente affievolendosi man mano che si scende verso valle e le coltri marnose perdono di spessore, si è voluto consolidare comunque le fondazioni delle tre paia di pile seguenti mediante la realizzazione di piastre in c.a., ancorate al substrato roccioso con oltre 100 micropali inclinati che collegano e bloccano le fondazioni di queste pile (Figura 8).

In attesa che gli interventi di consolidamento sortissero qualche effetto e constatato che il versante continuava a muoversi piuttosto celermente, si è provveduto a rinforzare le pile ed a puntellare le tre arcate in curva maggiormente a rischio di crollo. Le pile sono state rinforzate mediante l'incamiciatura con quattro grossi angolari in acciaio realizzati con piatti saldati e collegate median-



8. Lo schema degli interventi di consolidamento delle fondazioni del ponte

te barre post-tese. Le arcate sono state, invece, puntellate; una di queste si è poi appoggiata a tale sostegno, in quanto di fatto crollata mentre gli altri due sostegni fortunatamente non sono mai andati in carico.

Terminati i lavori di rinforzo fondazionale, si è dovuto rimuovere l'arcata crollata, eliminando al contempo la spinta impressa dal movimento della spalla che ancora insisteva sul ponte. Tale spinta, infatti, non era stata eliminata con la sostituzione della trave tampone in quanto il nuovo blocco spalla, costituito dalla seconda campata e dai muri di chiusura, non ha permesso di liberare l'energia immagazzinata; pertanto, il ponte è rimasto sollevato e sbandato verso l'esterno fintanto che non è stata demolita l'arcata maggiormente danneggiata, che tuttavia riusciva ancora a trasferire un ingente sforzo assiale (Figura 9).



9. La demolizione della campata crollata

Per mitigare gli effetti della demolizione degli archi, gli Scriventi hanno previsto un sistema di puntellamento orizzontale atto ad assecondare la caduta di spinta che si sarebbe verificata al momento del taglio della campata. Questi puntelli sono stati dotati di elementi sacrificali ad instabilità controllata che, all'atto della demolizione dell'arco, hanno subito uno sbandamento che ha permesso di scaricare dolcemente la spinta presente, determinando il contestuale e parziale recupero di deformata del ponte. Infatti, tale ritorno è stato possibile non per l'elasticità della muratura, quanto grazie all'energia potenziale immagazzinata nel sol-

levamento del ponte che è stata rilasciata al momento del taglio degli archi. Subito dopo, sono state ricostruite le due arcate con una struttura in calcestruzzo armato rivestita con la medesima pietra locale. Restano ad oggi ancora da realizzare gli interventi di rafforzamento delle pile mediante iniezione con malte cementizie additate. Data l'enorme volumetria del ponte (oltre 5.000 m³ di muratura), tali iniezioni cominceranno dai fusti pile danneggiati (circa il 10% della volumetria totale) e si valuterà successivamente se estenderle al resto del ponte.

IL PONTE DEGLI ETUDIANTS

Il ponte degli Etudians è un viadotto in muratura molto bello perché di estrema snellezza e ottima fattura tanto che, a vederlo oggi, mai si direbbe che fosse un ponte ferroviario (Figura 10).



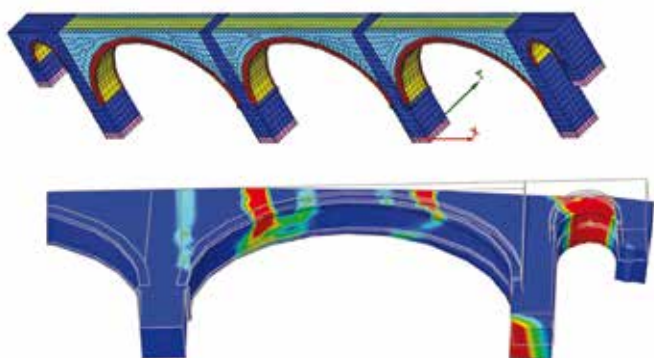
10. Il ponte degli Etudians con la protesi strallata

Il ponte è ubicato in posizione strategica appena fuori il centro storico, sulla strada per l'aeroporto a 200 m dal nuovo Hotel Marriott. Data la consuetudine degli Scriventi con l'Amministrazione cittadina, si è proposto alla stessa di intervenire ripristinando la funzionalità dell'attraversamento e migliorando sensibilmente il decoro urbano di questa parte di città che risentiva dell'opera parzialmente crollata e abbandonata. Con l'occasione di Constantine 2015 Capitale della Cultura araba, si sono quindi trovati i fondi per la sua riabilitazione.

Il ponte degli Studenti era costituito originariamente da cinque archi in muratura, di cui i tre centrali di luce pari a 30 m e i due più esterni di luce 6 m; la lunghezza complessiva del ponte è pari a 130 m, mentre la larghezza dell'impalcato è poco più di 4 m.

Il ponte nel 2004, a causa dell'instabilità del pendio su cui risiedevano la spalla e una pila, aveva subito il crollo del primo arco da 6 m e di quello adiacente da 30 m. Le analisi numeriche condotte dagli Scriventi hanno ricostruito con precisione l'evoluzione degli eventi (Figura 11).

Il progetto di riabilitazione studiato risulta abbastanza audace in quanto non prevede la stabilizzazione del versante, operazio-



11. La simulazione agli elementi finiti del meccanismo del crollo

ne considerata troppo costosa e dai risultati incerti. Si è invece proposto di rimpiazzare le due campate crollate con una travata strallata a struttura mista.

I motivi che hanno portato alla scelta di questo intervento proiettivo sono sostanzialmente due:

- la necessità di ripristinare una spinta che bilanci quella delle arcate ancora in piedi;
- l'opportunità che l'appoggio in sponda sinistra, quello soggetto a cinematiso, non fosse determinante ai fini statici.

L'intervento progettato ha previsto la realizzazione di un nuovo impalcato strallato di lunghezza pari a circa 45 m, che da un lato è solidale con il moncone dell'arco in muratura crollato e dall'altra si poggia su di una nuova spalla fondata su pali di grande diametro. Su tale spalla sono previsti degli appoggi scorrevoli multidirezionali che permettono eventuali cinematisi dovuti all'instabilità del versante. Tali appoggi sono dotati di ritegni viscosi che permettono di assorbire le azioni impulsive di vento e sisma. Gli stralli sono sostenuti da due antenne metalliche poste in asse alla pila esistente, consolidata con una struttura in affiancamento in calcestruzzo armato fondata su micropali del 300.

L'impalcato è realizzato da due travi in acciaio di altezza pari a 110 cm con soletta gettata su lamiera grecata di spessore complessivo 12,5 cm.

Le antenne sono costituite da un profilo saldato a doppio T di ingombro 600x350 mm che, in relazione all'altezza raggiunta dal piano dell'impalcato (circa 19 m), conferiscono leggerezze e snellezza a tutto l'intervento realizzato. Le antenne sono collegate in sommità attraverso due trasversi la cui geometria è stata ispirata alla forma dell'arco arabo.

I 2+2 stralli, che sostengono l'impalcato, composti da sette trefoli 06" super, sono ancorati alla sommità delle antenne e vengono bilanciati da altrettanti stralli di riva ancorati sui blocchi di ancoraggio in prossimità dell'ultimo arco da 30 m.

La connessione tra il nuovo impalcato metallico e la muratura è stata realizzata mediante una contro-piastra metallica inghisata alla muratura esistente, previa regolarizzazione della superficie di contatto. Tale contro-piastra è servita anche alla messa in sicurezza della pila e del moncone di muratura aggettante. Durante i lavori si è infatti provveduto a imporre una precompressione provvisoria alla parte di ponte in muratura che soffriva della spinta asimmetrica causata dal crollo. Terminati i lavori, tale spinta è fornita dall'impalcato strallato e pertanto è stato possibile rimuovere la precompressione provvisoria.



12. Il ponte des Etudiants allo stato attuale

L'intervento è attualmente in fase di ultimazione: restano da completare alcuni dettagli relativi alle finiture, ma già da alcuni mesi è praticamente in esercizio suscitando il positivo apprezzamento dei passanti (Figura 12).

⁽¹⁾ Professore di Tecnica delle Costruzioni presso il Dipartimento InGeo dell'Università "G. D'Annunzio" di Pescara

⁽²⁾ Ingegnere, Socio e Direttore Tecnico di Integra Srl

⁽³⁾ PhD, Ingegnere Strutturista di Integra Srl

Bibliografia

- [1]. M. Petrangeli e M. Petrangeli, M - "Rehabilitation of the Sidi M'Cid Suspension Bridge", SEI, 4/2000.
- [2]. R. Mayer - "Algérie: mémoire déracinée", Editions L'Harmattan (1999).
- [3]. M. Petrangeli, P.R. Marcantonio, P. Tortolini - "Soil-structure interaction in Sidi Rached Masonry Bridge" SEI, 4/2013.

Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare l'Impresa SAPTA, esecutrice dei lavori, e gli interlocutori nella figura del Direttore Generale Rachid Bayasli, del Coordinatore Tecnico Omar Sebah e del Direttore Regionale Djamel Hammadi.

DATI TECNICI

Stazione Appaltante: Direction Travaux Publics Wilaya De Constantine

Contraente Generale: Epe Sapta

Progetto ed assistenza Lavori: Integra Srl

Esecutori dei Lavori: Epe Sapta

Data di ultimazione: 2016