



La ricostruzione del ponte sul fiume Sangro: un intervento urgente di protezione civile, diretto a fronteggiare la situazione di emergenza conseguente al parziale crollo del viadotto esistente a seguito degli eccezionali eventi alluvionali dell'Ottobre 2004, realizzato in tempi record

SULLA S.S. 16 "ADRIATICA", LA RICOSTRUZIONE DEL PONTE SUL SANGRO

Ponti & Viadotti

Marco Petrangeli *
Camillo Andreocci **
Marco Sciarra ***

Il crollo del ponte sul Fiume Sangro, avvenuto nel 2004, ha provocato l'interruzione dell'importante arteria stradale SS16 Adriatica che costituisce, in affiancamento alla A14, il principale collegamento inter-regionale Nord-Sud sul versante adriatico.

La nuova opera d'attraversamento ha assunto quindi una importanza strategica per la rete stradale regionale e nazionale e ha richiesto un pronto impegno tecnico ed amministrativo per eliminare, in tempi rapidi e con soluzioni progettuali affidabili, il disagio ed il danno economico arrecato all'utenza e al comparto industriale dell'Abruzzo meridionale.



Il nuovo Ponte sul Sangro

Il crollo del ponte esistente e i vincoli progettuali

Il crollo del ponte, un manufatto in muratura e cemento debolmente armato del 1945 con arcate di 28 m di luce, è avvenuto in due fasi: il 24 Ottobre 2004 per le prime tre campate lato Sud e il 3 Gennaio 2005 per ulteriori tre campate verso Nord. Entrambe sono avvenute in maniera rapida e spettacolare, per il meccanismo cinematico che si è sviluppato e per la splendida cornice ambientale in cui è collocato l'attraversamento.

Lo studio del crollo ha permesso di individuare le varie cause che lo hanno generato, verosimilmente con un effetto concomitante, anche se quello scatenante è sicuramente da ascrivere alla prima del seguente elenco:

- ◆ scalzamento delle fondazioni delle ultime due pile lato Sud, i rilievi batimetrici hanno dimostrato fenomeni di erosione dell'ordine dei 2-3 m con approfondimenti locali nell'intorno dei plinti;
- ◆ spinta asimmetrica delle arcate concorrenti sull'ultima pila Sud dovuti ad effetti di bordo (reazioni della spalla);



Il ponte esistente al termine del crollo



- ◆ aumento dei carichi permanenti dovuto alle ricariche di bitumato accumulate nel corso degli anni. A ponte crollato sono stati misurati spessori di oltre 40 cm, pari in pratica al sopralzo dell'elemento di arredo laterale del ponte originale.

Se a queste cause esterne si associa una situazione del manufatto caratterizzata da una serie di deficienze e peculiarità strutturali evidenti quali:

- ◆ cattiva qualità dei calcestruzzi con inerti a granulometria molto variabile sino ad incorporare ciottoli lapidei arrotondati di diametro vicino ai 10 cm e scadenti caratteristiche meccaniche della malta, sottoposta del resto alla continua esposizione ad acqua salmastra, portata dal vento e dalla stessa marea;
- ◆ sottodimensionamento delle fondazioni, realizzate su pali poco o debolmente armati (un palo armato ogni quattro) e posizionamento stesso dei plinti a quote relativamente superficiali;
- ◆ luci delle campate insolitamente ampie per l'epoca (28 m) legate alla volontà di tenere gli appoggi in ombra a quello del vicino ponte ferroviario ma con modulo doppio;
- ◆ struttura mista degli archi stessi in muratura e calcestruzzo, sebbene lo stesso di qualità scadente e debolmente armato solo alle imposte con ferri lisci longitudinali.

Si comprende facilmente come il ponte sia crollato mentre 35 m a valle, quello ferroviario, più anziano e con fondazioni ancora più arcaiche (pali in legno) ma con arcate di luce pari alla metà dello stradale e con una briglia realizzata 15 m a valle dalle ferrovie negli anni Ottanta sia uscito indenne dagli stessi fenomeni di piena dell'autunno 2004.

Il crollo del ponte persistente e la presenza di questo ponte ferroviario - ormai dimesso ma che ci si augura di trasformare presto in un elemento saliente del percorso turistico integrato di questo bellissimo tratto di costa abruzzese - sono stati quindi, insieme alla notevole valenza paesaggistica dell'estuario del Sangro, i principali elementi di riferimento per le scelte progettuali adottate.

Per la tipologia strutturale è stata preferita una soluzione semplice e affidabile, quale quella di una trave continua a struttura mista acciaio/calcestruzzo. Questa soluzione è stata preferita ad altre di maggiore valenza architettonica, studiate come alternative in fase preliminare (ponte ad arco o strallato), per garantire tempi di realizzazione molto ristretti, il contenimento dei costi e dell'impatto visivo anche rispetto all'adiacente ponte ferroviario che è posto ad una quota di qualche metro inferiore. Le soluzioni fondazionali sono state condizionate dalle strutture preesistenti e, anche in questo caso, sono state dettate dalla necessità di accelerare i tempi di esecuzione, con tipologie affidabili e prive di incertezze, anche in condizioni di difficile operatività.

La criticità idraulica costituita dalla tendenza del fiume a incidere la sponda Sud, storicamente dimostrata dagli interventi di protezione rinvenuti in vari documenti (cartografie dei progetti FS anni Trenta e ANAS fine anni Quaranta, CTR 1979, CTR 1983, IGM 1:25000 anni Ottanta-Novanta, ortofoto 1999, CTR 2003), ha motivato la scelta delle luci, delle posizioni degli appoggi e consigliato la progettazione di un intervento integrato di protezione di questo tratto di alveo.

La ragionevolezza delle scelte progettuali di cui sopra è senz'altro uno degli elementi fondamentali della riuscita dell'intervento, che è stato portato a termine con una forte riduzione dei tempi contrattuali, in soli nove mesi di lavori, avvantaggiati per altro da un clima molto favorevole e da livelli idrici sempre sotto i livelli medi storici.

Le sottostrutture e le protezioni in alveo

La costituzione geologica generale della fascia collinare periadriatica abruzzese è caratterizzata da un basamento plio-pleistocenico, formato da terreni argillosi di ambiente marino (formazione nota anche con il termine di "argille grigio-azzurre"), ricoperto, in concordanza stratigrafica, da depositi sabbioso-conglomeratici, di ambiente da marino a continentale.



La camicia per la realizzazione dei pali nel primo strato in giaia)



L'isola per la realizzazione della pila 9 in alveo)



La protezione della sponda sud)



La fondazione in alveo con il tappo di fondo in jet-grouting

Durante le diverse fasi erosive che si sono alternate nel Quaternario, la suddetta successione di terreni è stata profondamente incisa dal fiume Sangro il cui corso, in epoche passate, ha divagato nella piana. Poiché nel Quaternario il livello del mare ha subito notevoli oscillazioni, il fondo dell'antica incisione valliva ha raggiunto quote anche molto inferiori a quella dell'attuale livello del mare incidendo le argille del substrato plio-pleistocenico e quindi colmando successivamente tali incisioni con depositi alluvionali a granulometria prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa.

Il ponte sul Fiume Sangro attraversa il corso d'acqua a poca distanza dalla foce. Nel tratto terminale della valle l'alveo del Sangro scorre sul margine destro dell'ampia piana di fondovalle, a ridosso dei rilievi collinari che si protraggono fino al mare costituiti da terreni sabbioso-conglomeratici del ciclo pleistocenico.

Le numerose indagini eseguite per la progettazione del ponte hanno accertato la presenza di depositi alluvionali sabbioso-ghiaiosi di spessore gradualmente crescente procedendo dal piede della sponda destra verso l'area centrale di fondovalle.

Lo spessore delle alluvioni è risultato di pochi metri al piede della sponda destra, in corrispondenza della spalla Sud del ponte; lo spessore di tali alluvioni si mantiene su valori contenuti (circa 6-7 m) fino al ciglio sinistro dell'alveo, quindi aumenta progressivamente fino a raggiungere il valore massimo di circa 25 m in corrispondenza della spalla sinistra (Nord) del ponte.

Al di sotto delle alluvioni sono state incontrate, fino alla massima profondità investigata (circa 60 m), le argille plio-pleistoceniche. Per le sottostrutture sono state scelte delle pile con due antenne leggermente inclinate.

La carpenteria di queste antenne è relativamente semplice essendo composta di pochi piani inclinati e di solo due superfici rigate a bassa curvatura.

L'ingombro idraulico delle pile è molto ridotto, da 1 metro ad 1.5 m. Il risultato complessivo è di grande leggerezza tenuto conto che la parte effettivamente visibile è sostanzialmente quella delle antenne che sporge da un basamento prismatico di altezza variabile a seconda delle pile, che arriva sino al plinto e si sviluppa in maggioranza al di sotto del piano campagna, ovvero della quota di invaso del Sangro in generale molto prossima a quella del livello del mare.

La carpenteria delle antenne è stata studiata per permettere il sollevamento degli impalcati con dei martinetti posti sotto i traversi di testa pila.

Per quanto riguarda le fondazioni si è optato per una soluzione che prevede il posizionamento delle pile sempre in "ombra" con quelle ferroviarie, ma abbandonando la posizione delle precedenti e posizionandosi esattamente al centro delle campate del ponte crollato.

Tale scelta è stata suggerita dalle seguenti considerazioni:

- ◆ dai disegni di consistenza del ponte crollato risulta che le fondazioni sono costituite da plinti in calcestruzzo, solo in parte armati, di notevole spessore (da 3 a 3,5 m) fondati su pali trivellati in cls di diametro 350 mm. Tale circostanza avrebbe imposto la realizzazione di fondazioni su micropali in quanto i pali di grande diametro avrebbero interessato una porzione di terreno già attraversata da pali (alcuni armati) con le conseguenti ben note difficoltà di esecuzione e di affidabilità di rendimento degli stessi;
- ◆ è stato inoltre osservato che i plinti di fondazione delle pile crollate hanno subito sottoescavazioni e rotazioni; è presumibile quindi che il disturbo del terreno nell'intorno dei pali sia in questi casi ancora più accentuato. Dall'insieme di queste considerazioni è stato deciso di adottare una tipologia di fondazione tradizionale, su pali di grande diametro, diffusamente utilizzati per questo tipo di struttura e per simili condizioni geotecniche.

Le pile (da P1 a P5) lontane dall'alveo attivo sono fondate su quattro pali \varnothing 1.000, disposti su plinti rettangolari stondati (ad angoli tagliati) di dimensioni contenute in modo da ridurre l'interferenza con il corso d'acqua, potenzialmente esondabile su tutta la piana. Per le pile "fisse" (P6-P7) e per la pila (P8) di transizione tra le campate di accesso e di scavalco, sono state adottate fondazioni su sei pali \varnothing 1.200 su plinti simili ma di dimensioni leggermente maggiori. Per la pila P9, fondata in un ramo scarsamente attivo dell'estuario del fiume e portante le due grandi campate di attraversamento sono stati adottati pali \varnothing 1.200 raccordati da un plinto di forma romboidale (a "saponetta" o "magnesia"). Per la realizzazione dei plinti, approfonditi a varie quote ben al di sotto del livello di falda, è stato realizzato un palancolato metallico per il sostegno degli scavi e con funzione di tenuta idraulica. Per l'impermeabilizzazione del fondo è stato realizzato un tappo con colonne di jet-grouting.

La soluzione con palancolato è stata preferita rispetto ad altre tipologie (ad es. colonne di jet-grouting armate, pali secanti) per evitare le pesanti lavorazioni di rimozione delle opere di consolidamento all'intorno dei plinti da eseguire ad opera ultimata.

Le esperienze dirette acquisite con lavori analoghi hanno dimostrato che molto spesso tale operazione di demolizione viene in parte o del tutto omessa, con evidenti pesanti ripercussioni sui fenomeni di interazione tra plinto e corrente fluviale.

Il sistema di opere provvisorie realizzato ha avuto un'ottima riuscita in termini di rapidità di esecuzione e di efficienza comportando solo minime difficoltà in fase di rimozione.



Per la spalla Nord (lato Pescara), in sinistra idrografica, le difficoltà nel realizzarne una nuova tradizionale, di tipo scatolare, nella posizione dell'esistente (che presenta le medesime caratteristiche fondazionali delle pile prima ricordate), hanno suggerito di arretrare l'asse d'appoggio dell'impalcato rispetto al limite del ponte crollato realizzando quindi una spalla di tipo "passante" intestata nel rilevato di accesso. Trattandosi di un appoggio "mobile", che trasmette carichi in fondazione modesti ed essenzialmente verticali e onde evitare interferenze con i pali presistenti dei muri andatori del ponte crollato, si è deciso di fonderlo su micropali di diametro 240 mm profondi 15 m circa.

Per la spalla Sud la situazione è più complessa. La presistente è infatti crollata, verosimilmente si è ribaltata a causa della spinta del terreno da tergo non più contrastata dalla struttura ad arco del ponte, ed in parte è stata portata a discarica nelle prime operazioni di rimozione dei detriti in alveo dopo il crollo delle prime tre campate. Poiché la spalla Sud è soggetta a carichi in fondazione, verticali e orizzontali, di una certa entità (porta infatti in semplice appoggio unidirezionale la luce di attraversamento dell'alveo del fiume, 70 m circa), è stato necessario realizzare una struttura di tipo scatolare. Il posizionamento di tale struttura, fondata su pali di grande diametro, in asse alla spalla crollata avrebbe comportato diversi problemi realizzativi.

E' stato quindi deciso di avanzarla di qualche metro realizzando, lato fiume, una paratia di pali accostati su una fila che risvolta perimetralmente alla struttura presistente (la carreggiata è stata notevolmente allargata) con funzione anche di protezione nei riguardi di eventuali fenomeni di erosione spondale. La stessa paratia è stata inoltre proseguita verso monte, al piede della scarpata attuale, in modo da realizzare una efficace protezione su un tratto di sponda adeguatamente ampio.

Il progetto del nuovo attraversamento ha previsto anche la sistemazione dell'alveo attivo e delle sue sponde in corrispondenza del ponte da realizzare. Tale intervento ha portato alla regolarizzazione del fondo che è stato successivamente protetto con massi di cava fino a quota ?2,50 m s.l.m., costante su tutta la sezione. La fascia di alveo interessata dall'intervento si estende da 10 m a monte del nuovo ponte fino a 10 m a valle dello stesso in modo da non interferire con le strutture esistenti del ponte ferroviario per tutta la larghezza dell'estuario (140 m circa) potenzialmente esondabile con periodi di ritorno inferiori ai dieci anni. Le sponde dell'alveo e l'area golenale incluse in questa fascia sono state rivestite anch'esse con lo stesso materiale. Al fine di proteggere la spalla sud del nuovo ponte ed il rilevato stradale della S.P. 154 dall'azione erosiva della corrente, che come scaturito dagli studi idraulici effettuati tende a battere proprio su tale sponda, la sistemazione ha previsto, da questo lato, il rivestimento dell'intera sponda destra per tutto il tratto interessato dalla palificata sopra descritta (40 m). Tale rivestimento si estende dal cordolo in testa alla palificata fino a scendere in alveo, alla quota già menzionata di -2.50 m s.l.m..

L'impalcato

L'impalcato, che accoglie una piattaforma stradale di tipo C1 e quindi trasversalmente misura 11.80 m compresi gli ingombri delle barriere bordo ponte, è stato realizzato con una sezione mista a trave in acciaio-calcestruzzo; le due travi metalliche principali distano tra



Le caratteristiche estetiche della struttura



Le pile e le trave metalliche



Carpenteria delle campate a sezione di altezza costante trave metalliche

loro 6.80 m e così per diminuire le sollecitazioni trasversali sul campo centrale della soletta, di spessore costante pari a 26 cm comprensivi delle predalle, è stata disposta in asse ponte una piccola trave di spina rompitratta portata dai traversi.

Longitudinalmente il ponte ha uno schema continuo a 10 campate, le prime 8 lato Nord sono tutte da 28 m circa di luce, tran-



Carpenteria delle campate con travi ad altezza variabile

ne la prima da 24 m. Queste luci, allineate a quelle ferroviarie a valle su modulo doppio, risultano essere ottimali sotto tutti gli aspetti, costo, prestazioni ed impatto. Campate più lunghe non sarebbero state infatti particolarmente vantaggiose in quanto il ponte ferroviario poco più a valle è più basso con terreno e vegetazione di alto fusto che chiudono praticamente ogni visuale nonché permeabilità idraulica, soprattutto nel primo tratto Nord del viadotto in corrispondenza del quale da anni è stata realizzata una graziosa marina. Le ultime due campate a Sud, quelle di scavalco dell'estuario, sono rispettivamente da 58 e 67 m.

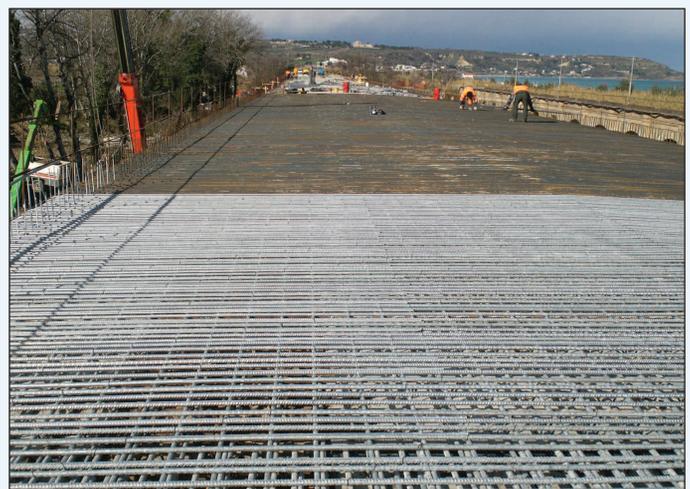
Le travi delle prime otto campate hanno altezza costante pari a 1,7 m, mentre le successive 2 luci maggiori di scavalco sono ad altezza variabile tra 1,7 m sulla pila 8 a 3,2 m sulla pila 9 a 2,2 m sulla spalla Sud. Il collegamento trasversale tra le travi è realizzato oltre che dalla soletta anche da diaframmi posti ad interasse costante di 6 m, tranne i campi in corrispondenza degli appoggi che supportano le campate di luce maggiore; tali diaframmi sono realizzati con travi a parete sulle campate di altezza minore e costante, mentre vengono sostituiti da controventi reticolari sulle due campate ad altezza variabile.

I collegamenti tra impalcato e sottostrutture sono assicurati da appoggi tutti fissi trasversalmente e longitudinalmente solo sulle pile 6 e 7, dimensionati con il Capacity Design per le forze orizzontali e quindi in grado di sopportare sollecitazioni superiori a quelle che sono in grado di sviluppare gli elementi sottostanti a comportamento duttile (le antenne delle Pile).

I materiali e le opere di finitura

La scelta dei materiali da utilizzare per la realizzazione dell'opera ha visto alcuni elementi di innovazione soprattutto per quanto riguarda gli aspetti di durabilità e qualità architettonica del manufatto:

- ◆ i pali, le fondazioni e le elevazioni della pila 9 (in alveo) e della spalla Sud, compresa la paratia di protezione spondale, sono stati realizzati utilizzando cemento pozzolanico al fine di proteggere maggiormente tali elementi strutturali dal degrado generato dal perio-



L'armatura zincata della soletta a cavallo della pila 9



dico contatto con acque salmastre, dovute alla intrusione del cuneo salino dalla foce del fiume;

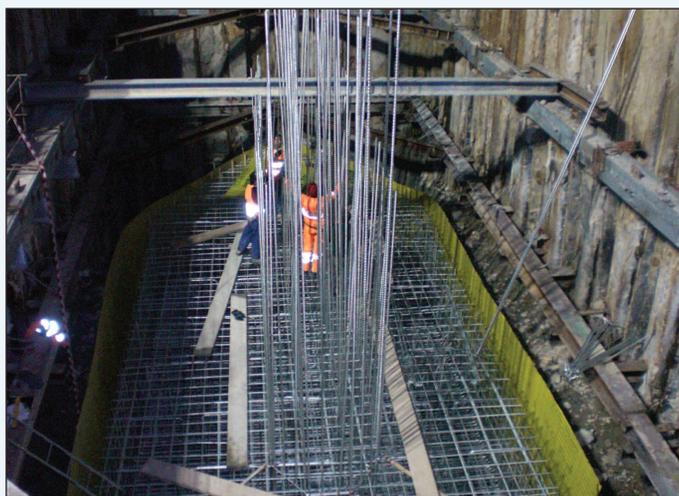
- ◆ sono state utilizzate armature zincate sulla fondazione ed elevazione della pila 9 per gli stessi motivi di cui al punto precedente, e sul tratto di soletta a cavallo di tale pila dove maggiori sono i momenti flettenti della trave continua ovvero maggiore la probabilità di fessurazione a trazione della soletta;
- ◆ si è impiegato acciaio tipo “Corten” S355J0W-J2G1W-K2G1W per le travi metalliche dell’impalcato in modo da ridurre drasticamente gli oneri manutentori. A questo proposito, dopo lunghe ricerche bibliografiche, si è ritenuta la distanza dal mare sufficiente affinché l’utilizzo di questo materiale non prestasse alcun profilo di rischio. Si ricorda che l’utilizzo di Corten in situazioni di continuo bagnasciuga o forte concentrazione salina può essere discutibile in quanto l’ossido non si stabilizza. Nel caso di specie le fondazioni possono essere a contatto con acqua salmastra ma l’impalcato è troppo in alto e lontano dal mare per essere investito direttamente da acqua salmastra potendo risentire solo di una maggiore salinità dell’atmosfera. La vicinanza del mare daltrò canto assicura che l’opera non è soggetta ad uso di sali antigelo in quanto per definizione in zona non geliva.

L’utilizzo del Corten è però affetto da un problema di percezione dell’utente generico che tende ad interpretare l’ossidazione come degrado. Per risolvere questo problema, soprattutto in presenza di calcestruzzi non perfettamente omogenei e riportanti le scolature dello stesso Corten in fase di ossidazione si è deciso di verniciare pile e velette di un colore terra chiaro che esalta il bruno del Corten, valorizzando la snellezza dell’impalcato e le forme slanciate delle antenne con un cromatismo fortemente integrato a quello dell’adiacente ponte ferroviario in muratura.

A questo proposito vale la pena di ricordare che dati i modesti quantitativi di calcestruzzo richiesto dall’opera, il cantiere non disponeva di centrale di betonaggio ma si è approvvigionato presso il migliore fornitore industriale della zona.

La pitturazione delle pile ad impalcato finito con le travi già da quattro mesi esposte agli agenti atmosferici ha permesso di ottenere un risultato particolarmente gratificante, anche per l’utilizzo di altri accorgimenti tra cui è necessario ricordare il rivestimento in pietra naturale di tutti i muri previsti nell’intervento inclusa la spalla Sud impregniata dalla mezza pila in rilievo.

La cantierizzazione



Lavori notturni sulla fondazione in alveo, l’armatura zincata



L’organizzazione del cantiere e la realizzazione dei fusti delle pile



La realizzazione delle antenne delle pile



L’avanzamento del montaggio della carpenteria metallica

Il merito della rapidità con cui è stata portata a termine l’opera è sicuramente ascrivibile, oltre alla semplicità delle lavorazioni previste in fase progettuale con mirate scelte tecniche atte all’ottenimento di tale risultato, allo sforzo organizzativo e all’impegno di uomini e mezzi profuso dal Costruttore (durante alcune fasi cruciali, posa armature fondazioni pila 9 e spalla Sud, sono stati anche effettuati turni lavorativi notturni con illuminazione artificiale).



Il cantiere è stato organizzato in modo quasi industriale, impostando le lavorazioni delle varie parti dell'opera con un processo che potrebbe essere definito a "nastro". Le operazioni sono iniziate da Nord con la realizzazione delle fondazioni profonde (pali), quindi mentre tale lavorazione procedeva verso le pile più a Sud altre squadre in parallelo erano impegnate con i plinti. Tale contemporaneità di operazione su elementi differenti è andata aumentando con il procedere della costruzione, arrivando al suo culmine mentre si realizzava la fondazione della pila 9, infatti contemporaneamente si gettavano anche le antenne della pila 8, si varavano le travi e si posizionavano le predalles sulle campate che immediatamente la precedevano e già si stava ultimando la soletta sulle prime luci sul lato Nord del viadotto.

Naturalmente, essendo l'obiettivo principale dell'urgenza la riapertura al traffico dell'asse adriatico, tutte le lavorazioni non indispensabili a tale fine sono state procrastinate all'ottenimento di tale risultato, anche a scapito di una convenienza operativa che avrebbe richiesto di operare contemporaneamente su interventi situati in aree attigue del cantiere. ■



Il varo delle travi sul fiume



L'armatura della soletta ed il sollevamento delle travi della campata sul fiume



Il getto di prima fase della soletta

* *Ingegnere, Presidente e Direttore Tecnico della Integra Srl, Professore di "Tecnica delle Costruzioni" presso l'Università "Gabriele D'Annunzio" di Chieti e Pescara*

** *Ingegnere e Direttore Tecnico della Integra Srl*

*** *Ingegnere e Direttore Tecnico della Costruzioni Cimolai Armando SpA*

Dati tecnici

1) Nuovo Ponte sul Fiume Sangro

Sviluppo complessivo: 350 m

Superficie impalcato: 4.130 m²

Carpenteria Metallica: 1.000 t

Calcestruzzi: 2.500 m³

Pali: 2.100 ml

2) Sistemazione Alveo del Sangro

Rimozione pile del ponte crollato

Rivestimento del fondo alveo e delle sponde con massi giustapposti di grande dimensione atti a prevenire fenomeni di scalzamento ed erosione: 16.000 t

3) Adeguamento Svincolo S.S.16 - S.P. 154

Rifacimento e messa a norma dell'omonimo svincolo mediante realizzazione di opere di consolidamento del pendio lato fiume e di allargamento della S.S. 16

Concessionario finanziatore: ANAS SpA, Compartimento della viabilità per l'Abruzzo

Concedente attuatore: Commissario Delegato ex o.P.C.M. n° 3411 in data 04.03.2005, Prefetto di Chieti Dott. Aldo Vaccaro

Progettazione e Direzione Lavori: Prof. Dott. Ing. Marco Petrangeli

Assistenza per la Progettazione e Direzione Lavori: Integra Srl

Realizzazione intervento: Costruzioni Cimolai Armando SpA

Progettazione Preliminare, Definitiva, Esecutiva: Aprile-Luglio 2005

Consegna definitiva dei Lavori: 14.06.2006

Apertura al traffico del Ponte: 31.03.2007