

# IL PONTE DEGLI ACQUEDOTTI A TIVOLI

## TRA RESTI ARCHEOLOGICI E OROGRAFIA COMPLESSA

**CON LA NUOVA OPERA SARÀ FINALMENTE RISOLTO IL PROBLEMA DELLA FLUIDITÀ  
E DELLA SICUREZZA STRADALE DELLA S.P. 33 "EMPOLITANA" NEL TRATTO DI COLLEGAMENTO  
TRA L'ABITATO DI TIVOLI E LO SVINCOLO AUTOSTRADALE DI CASTEL MADAMA**

Il tratto in oggetto è quello subito a valle dell'abitato di Montola (RM), dove si verificano tre restringimenti di carreggiata successivi che costringono i veicoli a un senso unico di marcia alternato, dovuti sia a preesistenze archeologiche di epoca romana (acquedotti), sia alla ridotta sezione stradale disponibile sul ponte esistente di attraversamento del fosso dell'Empiglione, realizzato nella seconda metà del Settecento.

La nuova infrastruttura consentirà di risolvere tali problematiche evitando quindi la formazione di lunghe code di veicoli nelle ore di punta e raggiungendo un adeguato livello di sicurezza stradale.

In dettaglio le opere in corso di realizzazione sono costituite da:

- ponte carrabile, a due luci con travi in Cor-Ten, per una lunghezza totale di circa 145 m e larghezza della piattaforma di 13,40 m;
- protezione delle sponde e del fondo dell'alveo ordinario del Fosso d'Empiglione, con un sistema di materassi e gabbioni, per un tratto di circa 100 m tra il ponte esistente e quello di progetto;
- interventi di recupero e sistemazione dell'area e delle preesistenze romane onde valorizzarne la fruizione pedonale e ciclopedonale.

### LA STORIA DEL PROGETTO

La necessità di questo intervento venne riconosciuta già negli ultimi decenni del secolo scorso con il forte incremento di traffico causato dall'aumento del parco veicoli circolante e del pendolarismo su Roma. È però nei primi anni 2000 che si sviluppano una serie di progettazioni preliminari consolidate nel lavoro dell'Arch. Cerasoli, con il progetto redatto per conto dell'Amministrazione Provinciale di Roma e sottoposto alla Conferenza dei Servizi nel Luglio del 2006. Segue quindi la progettazione definitiva, presentata ad una nuova conferenza dei servizi nel 2009 e quindi la progettazione esecutiva del 2010, posta in gara da ASTRAL, la quale pubblica il bando di appalto per i lavori nel 2015. Nel frattempo il finanziamento dei lavori passa dalla Provincia alla Regione Lazio, ai sensi dell'art. 16 della Legge Regionale n° 72 del 18/6/1980, con Deliberazione Giunta Regionale n° 815 del 22/10/2009.

Dall'inizio dell'iter è quindi passato un ventennio e si sono svolte numerose conferenze dei servizi. Nel frattempo il mondo è cambiato, la digitalizzazione ha pervaso le nostre esistenze, abbiamo passato la più grande crisi economica dal Dopoguerra, ma quel nodo della viabilità - come tanti altri in Italia e nel resto del mondo - è rimasto tale e quale perché, fortunatamente, permane l'esigenza di mobilità di persone e merci.



1. Fotoinserimento: il nuovo ponte e la viabilità modificata



2. Vista area della zona d'intervento con i due acquedotti romani

Nel caso specifico, i "tempi archeologici" richiesti per sbloccare l'intervento sono parzialmente giustificati dalle indubbie difficoltà legate all'orografia dei luoghi e alle preesistenze romane di indubbio valore. Per by-passare questi interessanti resti archeologici (gli acquedotti Anio Vetus ed Anio Novus) è richiesta in effetti un'opera piuttosto importante in quanto l'unico allineamento possibile è quello che attraversa con forte obliquità l'incisione del torrente Empiglione, che risulta abbastanza profonda e con versanti acclivi cosparsi di ruderi romani, in sede o crollati.

### IL BALLETO DELLE PILE: UNA STORIA TUTTA ITALIANA

L'allineamento del nuovo attraversamento del torrente Empiglione era stato individuato già dalle prime fasi progettuali in quanto obbligato da urbanizzazioni esistenti, dagli acquedotti romani e dalla geometria stessa della Strada Provinciale. Ne consegue un'opera di 145 m con al centro il fosso dell'Empiglione, corso d'acqua di modestissime dimensioni il quale per altro, anche in concomitanza di piene importanti, non crea problemi idraulici in quanto, come altri immissari dell'Aniene, rigurgita (per i non specialisti è come se si formasse un laghetto) e non presenta quindi i caratteri di pericolosità legati a fenomeni erosivi che si hanno in condizioni di deflusso veloce.

D'altronde, il ponte settecentesco su cui passa oggi la provinciale è in buone condizioni e scavalca l'Empiglione con una campata ad arco in muratura di soli 6,75 m di luce.



3. Il ponte settecentesco sul fosso dell'Empiglione

I primi progetti presentati in conferenza dei servizi proponevano soluzioni a tre luci lasciando quindi che l'Empiglione defluisse sotto la campata centrale di oltre 50 m. Dalla conferenza dei servizi, come a volte accade per la somma di impreparazioni e veti, si uscì però con una soluzione peggiorativa; le due pile nella vallata sembrarono troppe e si richiese quindi una sola pila con due luci di 75 m circa. L'opera iniziò così ad assumere una certa importanza strutturale, ma quel che è peggio si costrinsero i Progettisti a porre l'unica pila proprio all'interno del corso d'acqua, del quale si dovette prevedere lo spostamento con tutta una serie di opere di regimentazione idraulica che sarebbero state altrimenti superflue.

Questa è stata la soluzione del progetto esecutivo posto a base di gara, sebbene fosse prevista la possibilità di presentare modifiche migliorative che non mettessero però in discussione quanto già deciso nelle precedenti conferenze dei servizi.

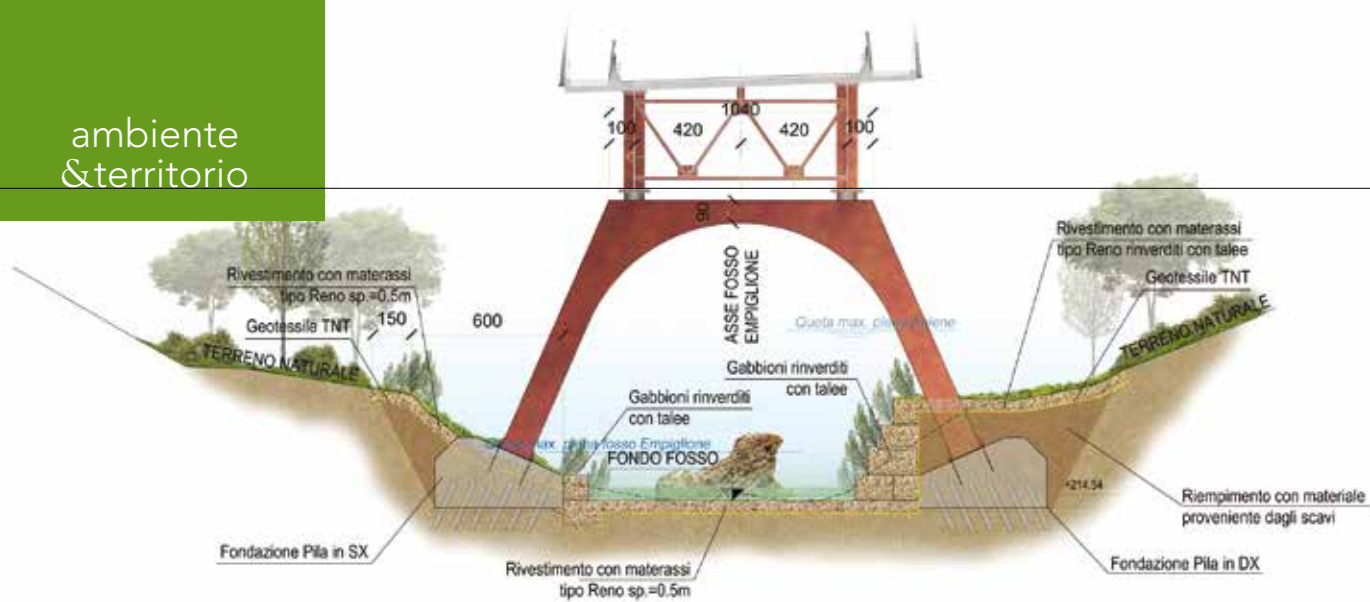
Gli scriventi si sono quindi concentrati sul problema della pila prevista al centro del fosso. Era chiaro infatti che lo spostamento del corso d'acqua sarebbe stato molto oneroso perché l'acclività dei versanti richiedeva importanti opere di sostegno e di regimentazione anche solo per spostare il corso d'acqua di pochi metri. Si rendeva poi necessario uno spostamento provvisorio durante la realizzazione delle fondazioni ed uno definitivo per non incidere sulla pila centrale, un intervento che avrebbe suscitato l'ilarità anche nei nostri antenati Romani.

Si avviarono quindi una serie di studi e di analisi per individuare la migliore modalità per presentare un'offerta migliorativa all'interno delle modifiche accettabili dal cliente e compatibili con le risultanze delle conferenze dei servizi precedenti. Il timore era che qualche concorrente presentasse una soluzione a campata unica che eliminasse completamente il problema di questa pila ed anche buona parte dei rischi di interferenza con i reperti romani sparsi nella valle.

In effetti la soluzione a campata unica sarebbe stata veramente eccessiva e sproporzionata rispetto allo stato dei luoghi, ma soprattutto molto più costosa del budget disponibile. Una luce di 150 m avrebbe richiesto infatti una trave molto alta, incompatibile con la livelletta e con il franco idraulico o, in alternativa, una struttura a via inferiore - quindi un arco o uno strallato - il tutto per lo scavalco di un rigagnolo già risolto con archi in muratura di pochi metri di luce. Purtroppo ci sono stati casi in Italia, negli ultimi anni, in cui il cliente ha premiato soluzioni esagerate di questo tipo salvo poi trovarsi con contenziosi legati ai maggiori oneri delle stesse.

Non potendo peraltro tornare alla soluzione a tre campate, poiché già bocciata in conferenza dei servizi, non restava che insistere sulla soluzione a due campate, soluzione che è già piuttosto onerosa e che non si poteva rendere asimmetrica, cioè con due luci differenti, per evitare la pila al centro dell'Empiglione, in quanto una trave continua su tre appoggi con, ad esempio, una luce da 90 m e una da 60 avrebbe richiesto una travata molto impegnativa e poco efficiente.

A questo punto si è deciso di proporre una pila a cavalletto (portale) in modo da posizionare le due zampe ai lati dell'Empiglione. Da notare che essendo l'obliquità del ponte molto forte (60 gradi circa), quella del cavalletto lo è molto meno (30°) e quindi è bastato un cavalletto con larghezza pari a quella dell'impal-



4. La soluzione vincente con la pila a cavalletto

cato stesso per rimanere abbondantemente fuori dall'alveo dell'Empiglione ed assicurare una capacità di deflusso molto superiore a quella dell'opera storica preesistente.

La struttura proposta per la pila aveva peraltro un richiamo evidente alle numerose strutture ad arco presenti nel sito, dagli acquedotti al ponte stradale storico, e lo studio della forma e dei materiali ha seguito un percorso concettuale illustrato in sede di gara con diversi rendering e fotosimulazioni che avevano l'obiettivo di accompagnare la commissione di gara in un processo di metamorfosi.



6. Un rendering della soluzione vincente con la pila a cavalletto

### GEOLOGIA, GEOTECNICA E FONDAZIONI

Il sito di progetto ricade in un ambito di notevole interesse nel quadro geologico regionale, caratterizzato dal tipico sistema "thrust-belt" con la sovrapposizione di falde montuose dell'antica piattaforma carbonatica laziale-abruzzese. Uno di questi thrust (sovrascorrimenti) interessa la zona in esame (thrust di C.le Monitola-M. S. Angelo in Arcese).

In questo quadro geologico, gli studi condotti per il progetto esecutivo in variante hanno accertato alcune difformità rispetto a quanto evidenziato nelle prime fasi di studio, con la necessità di un notevole approfondimento delle indagini che complessivamente sono consistite in nove sondaggi con prove SPT, prove pressiometriche e prelievo di campioni per prove di laboratorio; due piezometri, cinque prove down-hole e due stendimenti geosismici a rifrazione. Si tratta di una mole di indagini che ha consentito di ricostruire con un adeguato livello di affidabilità il modello geologico di sottosuolo, anche nella sua complessità.

La complessità geologica riguarda in particolare il sottosuolo del versante sinistro e del fondo dell'alveo del fosso Empiglione, corrispondenti ad una antica scarpata fluviale, verosimilmente impostata su una scarpata tettonica.

Ne consegue una sovrapposizione di unità litologiche, forte fratturazione e presenza di blocchi (anche molto voluminosi) disarticolati o appena "radicati" all'antico substrato. La forte inclinazione dell'antica scarpata (oggi sepolta dai depositi alluvionali dell'Empiglione) comporta inoltre una forte disomogeneità meccanica del sottosuolo anche su brevi distanze. Le forti deformazioni tettoniche hanno quindi provocato un'ampia depressione, successivamente colmata da potenti depositi alluvionali e fluvio-lacustri, oggi corrispondente all'ampia zona pianeggiante di Monitola, successivamente reincipisa dall'attuale fosso dell'Empiglione. Ne risulta quindi un modello di

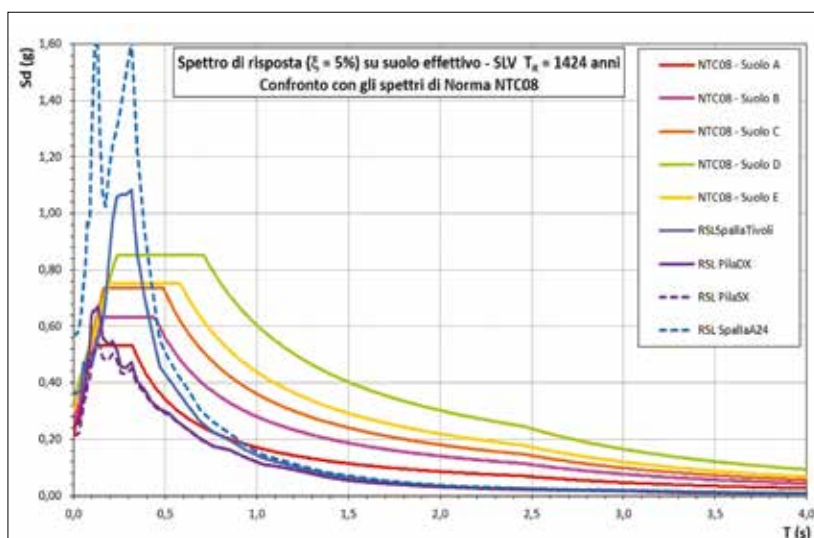


5. Il percorso di metamorfosi: dall'arco romano in muratura alla pila a cavalletto in acciaio Cor-Ten

sottosuolo nettamente distinto in due parti; il versante sinistro a comportamento essenzialmente "litoide" (ma fortemente disarticolato) e il versante destro con un potente accumulo di materiali alluvionali recenti, limo-argillosi, con mediocri caratteristiche geotecniche; al contatto tra i due complessi una fascia disturbata tettonicamente e geometricamente irregolare.

Queste condizioni sono facilmente individuabili dalla sezione geologica trasversale alla pila di fondo alveo, la quale, con la sua geometria a cavalletto, si è impostata con i due appoggi su condizioni di sottosuolo alquanto diverse tra loro. Altrettanto diverse tra loro sono le condizioni delle due spalle.

Tale disomogeneità si è riscontrata, oltre che nel comportamento geotecnico, anche in quello sismico, come si evince in Figura 8 che contiene gli spettri ricavati dall'analisi di Risposta Sismica Locale eseguiti su ognuno dei quattro appoggi (due spalle lato Tivoli e lato Autostrada A24 e due appoggi della pila a cavalletto, in sinistra e destra idraulica), messi a confronto con gli spettri previsti dalla Normativa NTC2008 con il cosiddetto metodo semplificato.



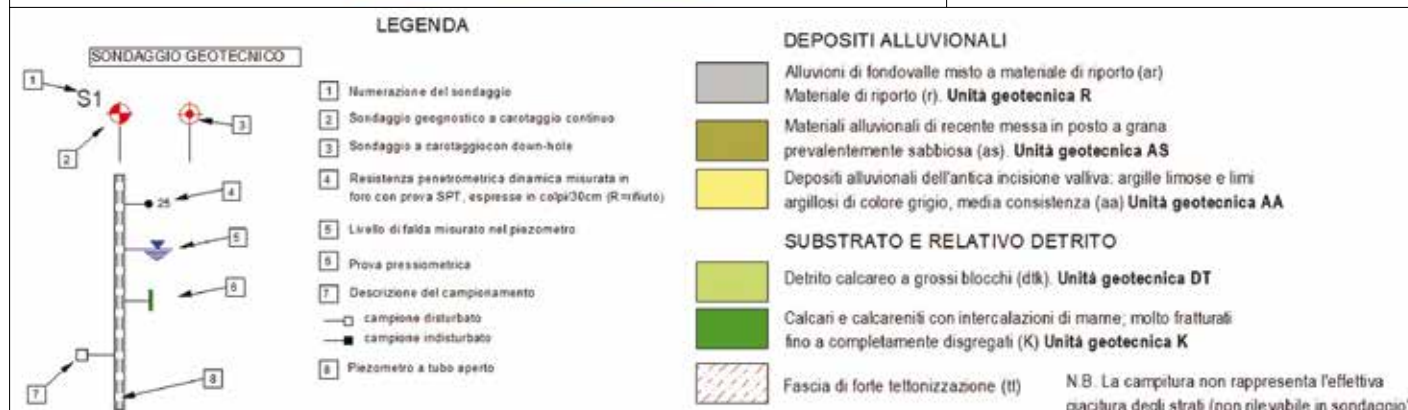
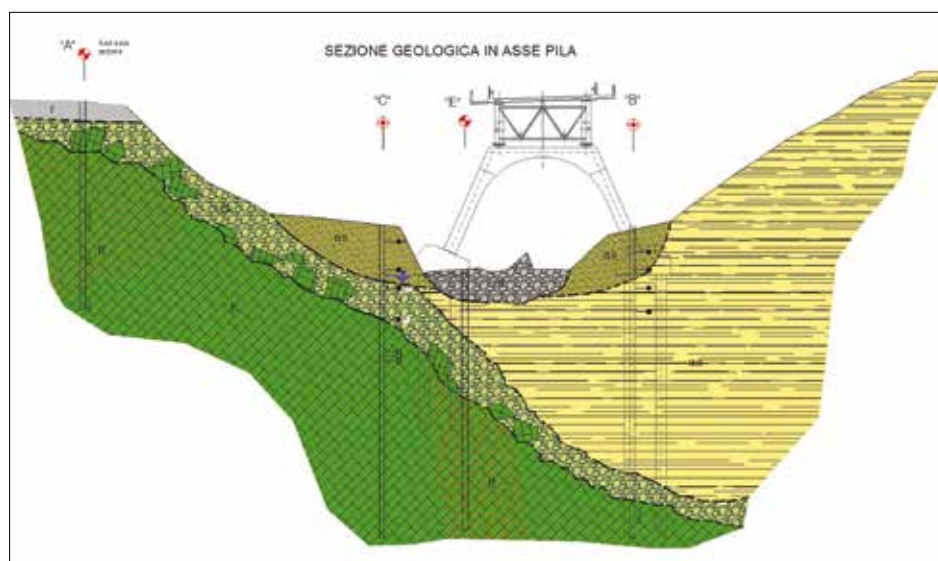
8. Gli spettri sismici ricavati dalla RSL per i quattro siti di appoggio delle fondazioni confrontati con quelli di Normativa (metodo semplificato)

### L'IMPALCATO E LA PIATTAFORMA STRADALE

L'opera di attraversamento del fosso dell'Empiglione sarà costituita da una travata continua su due campate, per uno sviluppo di 143,70 m e larghezza della piattaforma pari a 13,40 m al netto degli allargamenti in curva.

Nel dettaglio, le due campate avranno la medesima luce di 71,85 m con un impalcato di tipo misto acciaio-calcestruzzo costituito da due travi principali in carpenteria metallica in composizione saldata ad altezza variabile, una trave di spina e una soletta in calcestruzzo collaborante.

La variabilità dell'altezza delle travi fa sì che esse dai 2,50 m in corrispondenza delle spalle raggiungano rispettivamente 4 m sulla pila centrale per la trave interno curva e 4,30 m per la trave esterno curva, essendo la differenza di altezza dovuta alla pendenza trasversale della piattaforma stradale in curva.



7. La sezione geologica trasversale alla pila di fondo alveo



		F.el_long (KN)	d.el_long max (mm)	F.ul_long (KN)	d.ul_long (mm)	F.el_trasv (KN)	d.el_trasv max (mm)	F.ul_trasv (KN)	d.ul_trasv (mm)
SP1	int.					500	+/-10	550	+/-40
	ext.					500	+/-10	550	+/-40
P1	int.	500	+/-10	550	+/-80	500	+/-10	550	+/-50
	ext.	500	+/-10	550	+/-80	500	+/-10	550	+/-50
SP2	int.					500	+/-10	550	+/-40
	ext.					500	+/-10	550	+/-40

10. Le caratteristiche dei ritegni elasto-plastici

Tutta questa mole di studi e di analisi non ha spostato minimamente il dimensionamento di questi ritegni rispetto ad un predimensionamento con metodi semplificati a partire dal citato spettro standard di Normativa per il sito. Sicuramente più interessante è invece ragionare sulla scelta e sul dimensionamento di questi ritegni, frutto di esperienza progettuale e realizzativa e di considerazioni legate alla costruzione e manutenzione di questo tipo di ponti in zona sismica [4 e 5].

Nei ponti a travata ad andamento più o meno rettilineo la scelta fondamentale è quella della localizzazione dei ritegni longitudinali "fissi" e quindi la decisione se inserire in questi punti dei dispositivi a comportamento viscoso, attrittivo ovvero elasto-plastico.

Per una serie di motivi ben noti, discussi in dettaglio nei lavori richiamati in Bibliografia [4 e 5], la posizione ottimale per il posizionamento del fisso ovvero fisso cedevole/isolato è quella baricentrica, quindi nel caso del ponte in esame la pila a cavalletto. Se si fosse infatti posizionato il ritegno fisso su una spalla si sarebbero sollecitate le altre due sottostrutture con le variazioni termiche giornaliere e stagionali e, in caso di sisma, si sarebbe avuto un punto di ritegno rigido ed eccentrico rispetto al baricentro delle masse, situazione tutt'altro che ottimale.

Per zone con intensità sismica moderata, i ritegni elasto-plastici in lega metallica sono economici, durevoli e a bassissima manutenzione. Molto più complessi sono invece i ritegni viscosi (idraulici) ed in minor misura anche quelli attrittivi tipo friction pendulum. L'unico difetto dei ritegni elasto-plastici sarebbe quello di non essere ricentranti, ma nel caso in esame questo comporterebbe un'attività di ricentraggio in occasione di eventi sismici con tempi di ritorno di qualche centinaio di anni, mentre per gli altri dispositivi ci sarebbe la necessità di ispezioni e ricambi ogni decina di anni.

In effetti il cavalletto centrale, anche senza ritegni elasto-plastici, avrebbe potuto assorbire il sisma di progetto con una modesta escursione in campo plastico senza rischio di rotture fragili in quanto è un elemento snello realizzato in carpenteria metallica; dato però il costo molto contenuto di questi ritegni, non si sono viste controindicazioni al loro inserimento quali elementi sacrificali nel caso di eventi sismici di intensità eccezionalmente elevata riducendo contestualmente le sollecitazioni in fondazione. In direzione trasversale vale un ragionamento analogo e per questa direzione tutti e tre gli appoggi sono stati dotati di ritegni elasto-plastici. Nel caso delle spalle questo ha permesso di dimensionare le fondazioni in maniera ragionevole in modo da mantenerle sempre in campo elastico anche per gli eventi sismici con periodo di ritorno millenario.

Le analisi non lineari nel dominio del tempo condotte per il ponte hanno permesso di dimensionare questi ritegni in modo da avere forze massime e spostamenti relativamente contenuti come riassunto in Figura 10. ■

<sup>(1)</sup> Professore, Presidente Integra Srl

<sup>(2)</sup> Ingegnere, Direttore Tecnico di Integra Srl

## Bibliografia

- [1]. M. Pietrantoni, A. Tagliaferri, M. Petrangeli - "Valutazione dell'affidabilità delle prove SPT per la caratterizzazione sismica dei terreni", "Rivista italiana di Geotecnica" n° 1/13, pp. 17-30, ISSN: 0557-1405, 2013.
- [2]. M. Petrangeli - "Modelli Numerici per Strutture Monodimensionali in Cemento Armato", Tesi di Dottorato, Università di Roma "La Sapienza", 1996.
- [3]. 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.
- [4]. 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.
- [5]. 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.

## DATI TECNICI

**Stazione Appaltante:** Astral SpA  
**Progettazione esecutiva:** Integra Srl (Marco Petrangeli; Strutture: Camillo Andreocci; Geologia e geotecnica: Massimo Pietrantoni)  
**RUP:** Giovanni Torriero  
**Direzione dei Lavori:** Marco Panimolle  
**Responsabile della Sicurezza:** Dario Varano  
**Impresa esecutrice:** Mario Cipriani Srl  
**Responsabile Impresa:** Luigi Cipriani  
**Importo dei lavori:** 5.224.541 Euro  
**Durata dei lavori:** 430 giorni