

DEMOLIZIONE VIADOTTI

## RACORDO AUTOSTRADALE "SICIGNANO – POTENZA"

Ristrutturazione del viadotto Pietrastretta a Vietri di Potenza

### DEMOLIZIONE CONTROLLATA DELLA CARREGGIATA SUD DEL VIADOTTO PIETRASTRETTA CON LA CARREGGIATA NORD IN SERVIZIO

Cliente: COLLINI LAVORI spa, Trento, anno 2016



#### LAVORO

Demolizione controllata della carreggiata Sud del viadotto PIETRASTRETTA, sul raccordo autostradale "Sicignano - Potenza".

Il ponte fu costruito negli anni '70, in calcestruzzo armato a pila a singola stilata con stampelle trasversali sulle quali appoggiano due carreggiate indipendenti (impalcati da 47 m a 3 travi con sezione di altezza variabile da 1,7 a 2,7 m, un totale di 21 campate e lunghezza di 1 km).

La demolizione si è resa necessaria per la sostituzione delle vecchie e malridotte carreggiate, in calcestruzzo armato, con una nuova in acciaio COR-TEN (circa la metà del peso, migliore resistenza sismica e maggiore durata di vita).

La demolizione fu progettata per evitare danni alla carreggiata Nord ed alle pile rimaste in esercizio.

#### Contesto operativo

La carreggiata Sud ha dovuto essere messa fuori servizio a causa di difetti strutturali rilevanti.

Il traffico di entrambe le direzioni di marcia fu quindi spostato sulla carreggiata Nord, con interdizione ai veicoli di massa superiore a 7,5 t.

Ristrutturazione ed adeguamento furono dunque previsti "sotto traffico".

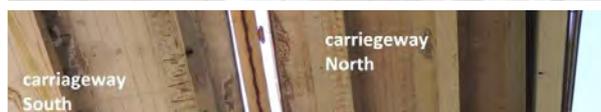
L'intervento prevedeva la sostituzione di entrambe le carreggiate, a partire dalla Sud, e il rifacimento delle superfici esterne delle pile.



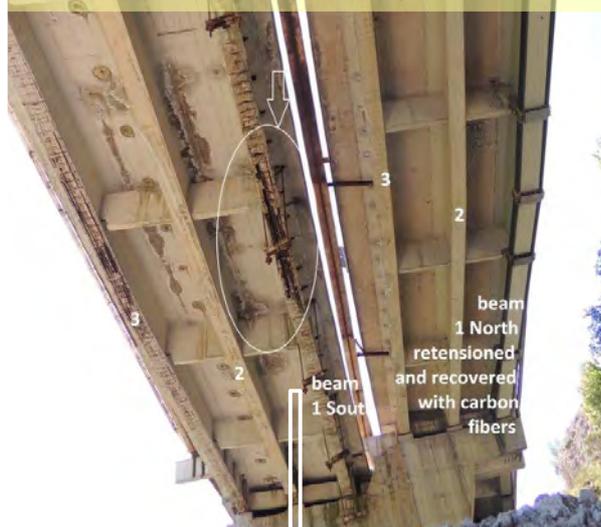
Profilo del viadotto PIETRASTRETTA, impalcati dal 1° al 16°



Pianta del viadotto, 21 impalcati da 47 m, 1 km di lunghezza complessiva



Le campate di entrambe le carreggiate hanno mostrato danni strutturali, con crepe, crollo dei volumi di cemento, esposizione dei ferri d'armatura, di corrosione e di rottura. Simili ma meno rilevanti danni, sono stati trovati sui piloni.



## Impostazione dei lavori

Un primo tentativo di rimuovere gli impalcati mediante carro ponte fu interrotto a causa di un incidente durante il quale, una delle 3 travi dell'impalcato, separata dalle altre 2 per poter essere sollevata, si ruppe durante il sollevamento rischiando di trascinare con se carro ponte e personale.

Questo incidente fu causato da una lesione nascosta la quale generò una cerniera che innescò il collasso con "strappo" sui punti di fissaggio per il sollevamento. La trave, con le sue 185 tonnellate di massa e 45 m di lunghezza, era originariamente vincolata alle altre 2 mediante travi di calcestruzzo trasversali post-tese e dalla soletta in calcestruzzo armato. Quando soletta e travi trasversali furono tagliate per permettere appunto il sollevamento, tutto il peso proprio dovette essere auto-sostenuto, essendo persa la cooperazione dalle altre due travi.

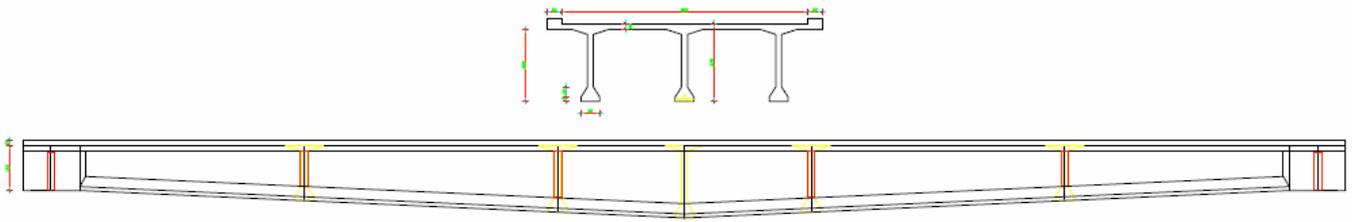
Per evitare il ripetersi di un simile evento fu dunque deciso di rimuovere gli impalcati mediante abbattimento controllato con esplosivi, mantenendo il personale a distanza di sicurezza.

Tutte le attività di predisposizione all'abbattimento con esplosivi furono effettuate con mezzi radiocomandati e con personale a distanza di sicurezza, agganciato ad una linea di vita fissata direttamente alle pile.

## La struttura

La progettazione di questo ponte, come molti altri dell'epoca, fu mirata al risparmio di calcestruzzo e di ferro, approfittando della bassa incidenza di costo della manodopera qualificata e dell'elevato grado di competenza dei progettisti. Questo può essere rilevato dal numero delle travi (3 invece di 4) e dalla loro geometria ad altezza variabile. Può anche essere rilevato dalla geometria snella ed elegante delle pile, con numerosi spigoli che richiesero extra lavoro per ponteggi e casseforme. Le due carreggiate furono sfalsate di 3 m in altezza, per l'adeguamento al profilo della scarpata. Entrambi gli impalcati furono appoggiati ad una stampella scatolare trasversale impostata su una pila a stilata unica (altezze tra i 12 e i 45 metri). Le travi principali, da 45 m, furono concatenate da 6 traversi post-tensionati e da una soletta armata di 9,5 m di larghezza ed altezza 20 cm.

Il centro di massa di ciascun impalcato cade al di fuori della pila. Questo, in un primo tempo, determinò preoccupazioni per il pericolo di ribaltamento trasversale del ponte per il rischio di sbilanciamento una volta che tutta la vecchia carreggiata Sud fosse stata rimossa in assenza della nuova carreggiata Sud la quale, almeno in parte, avrebbe potuto controbilanciare il peso della carreggiata Nord rimasta in esercizio sotto traffico.



## Prospezioni

In una indagine preliminare fu rilevato come tutte le travi fossero interessate da un diffuso degrado, con perdita di calcestruzzo, esposizione dei ferri d'armatura ed ossidazione sia dei ferri d'armatura che dei cavi di tensionamento.

Localmente le armature apparivano profondamente ossidate ed anche spezzate. Il degrado appariva meno spinto nelle travi centrali rispetto a quelle esterne. Un degrado elevato è stato notato nel bulbo inferiore rispetto a quello superiore.

Un simile livello di degrado fu riscontrato anche nella soletta, ma non nei traversi.

Tre campate apparivano in condizioni critiche, prossime alla resistenza ultima.

Da principio non fu possibile comprendere il motivo della diversa intensità di degrado tra una trave e l'altra. Una volta completate le caratterizzazioni meccaniche potè essere rilevato come questo fosse correlato alla diversa qualità dell'esecuzione e, conseguentemente, a differenze anche rilevanti nella resistenza meccanica del calcestruzzo. In parte anche per la diversa esposizione agli agenti atmosferici (gelo e mancanza di un adeguato drenaggio dell'acqua meteorica sul piano di via, assieme al sale usato in grandi quantità in inverno con funzione anti-ghiaccio).

La geometria dei componenti risultò conforme al progetto costruttivo. All'epoca della costruzione era prassi modificare il progetto in fase d'esecuzione, anche con cambiamenti rilevanti. Questo per semplificare la costruzione e/o compensare la mancanza in loco di componenti specifici. Non sempre questi cambiamenti venivano registrati nei documenti ufficiali quindi fu necessaria la verifica della conformità al progetto dell'eseguito.

Non fu possibile invece controllare i cavi di tensionamento a causa del rivestimento in calcestruzzo sulle testate delle travi. Inoltre non furono trovati dati sulla sequenza di post-tensionamento, se eseguito prima o dopo la connessione della soletta alle travi. Per la definizione del modello di ponte per la previsione del comportamento una volta indebolita struttura per la predisposizione al brillamento, fu ipotizzato un post-tensionamento successivo all'accoppiamento della soletta.

## Caratterizzazione meccanica

Per consentire la modellazione 3D del "ponte-da-predisporre-per-la-demolizione" e del recettore "ponte-da-lasciare-in-esercizio" furono misurati i valori dei parametri geometrici e meccanici del viadotto.

La campagna di prospezione e di prove di laboratorio si estese ad un arco temporale di un mese.

Un totale di 110 campioni di calcestruzzo furono prelevati, almeno due per ciascuna trave; questo per l'esecuzione di 340 prove di laboratorio necessarie alla definizione dei valori dei parametri di elasticità e resistenza meccanica a rottura per ciascuna trave quali peso dell'unità di volume, compressione uniassiale e triassiale, modulo elastico statico (secondo la norma EN 12.390-13), ultrasuoni (per il calcolo della tangente dinamica modulo elastico secondo la norma EN12504-4), resistenza alla trazione.

Furono rilevati valori di resistenza a compressione mono-assiale (UCS) molto bassi, il minimo pari a 30 MPa, a fronte di un minimo previsto da legge di 45 MPa. Il valore maggiore di UCS fu trovato pari a 46 MPa.

Per tutti gli impalcati il valore minimo di UCS fu trovato pari al valore medio meno il valore della deviazione standard.

Il massimo valore di deviazione standard fu trovato pari al 30% del valore medio e mai inferiore all'11%, così da evidenziare un'elevata variazione della resistenza nelle travi dello stesso impalcato.

I valori medi di resistenza alla trazione "Brasiliana" risultarono generalmente inferiori al 10% di UCS e la resistenza a compressione triassiale (confinamento pari a 4 MPa) superiore di circa il 40% rispetto al UCS (ovvero 57-77 MPa).

Unit weight [Kg/m <sup>3</sup> ]	Uniaxial compression strength [MPa]
----------------------------------	-------------------------------------

<b>SPAN 1</b>	2.378	32,1
<b>SPAN 2</b>	2.411	33,0
<b>SPAN 3</b>	2.412	40,7
<b>SPAN 4</b>	2.402	45,9
<b>SPAN 5</b>	2.409	31,9
<b>SPAN 6</b>	2.379	36,6
<b>SPAN 7</b>	2.404	38,4
<b>SPAN 8</b>	2.397	51,8
<b>SPAN 9</b>	2.423	37,0
<b>SPAN 10</b>	2.404	38,3
<b>SPAN 12</b>	2.414	30,9
<b>SPAN 15</b>	2.331	44,8
<b>SPAN 16</b>	2.381	35,9
<b>SPAN 17</b>	2.412	33,0
<b>SPAN 18</b>	2.387	36,0
<b>SPAN 19</b>	2.394	41,8
<b>SPAN 20</b>	2.394	35,0

### MINIMUM VALUE AMONG THE 17 SPANS

min AVERAGE =	2.322	38,9	
max STD DEV =	63	14,1	
min AVERAGE - STD D.	2.266	31,8	
min MIN =	2.232	30,9	
min AVG -			
max STD DEV =		24,8	80%
max AVG -			
min STD DEV =	2.387		

### MAXIMUM VALUE AMONG THE SPANS

max AVERAGE =	2.401	58,5	150%
min STD DEV =	15	3,4	24%
max AVERAGE - STD L	2.377	53,6	168%
max MIN =	2.374	51,8	168%
max AVG -			
min STD DEV =		55,0	222%
min AVG -			
max STD DEV =	2.259		

### AVERAGE VALUE AMONG THE SPANS

AVERAGE =	2.369	47,9	
STD DEV =	30	9,0	
AVERAGE - STD DEV =	2.342	39,1	
MIN =	2.334	37,9	
average AVERAGE -			
average STD DEV =	2.339	39,0	157%

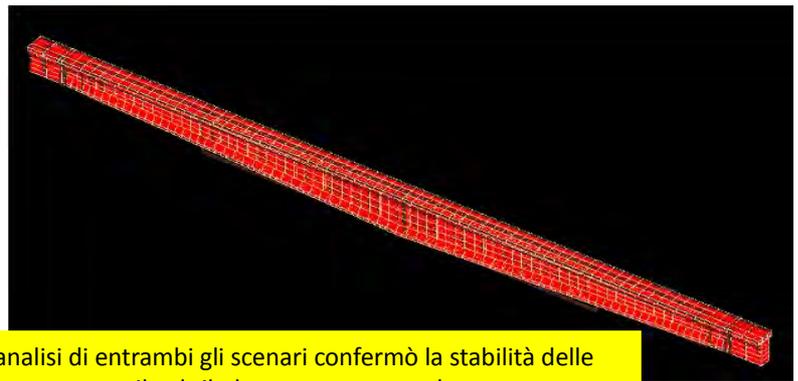
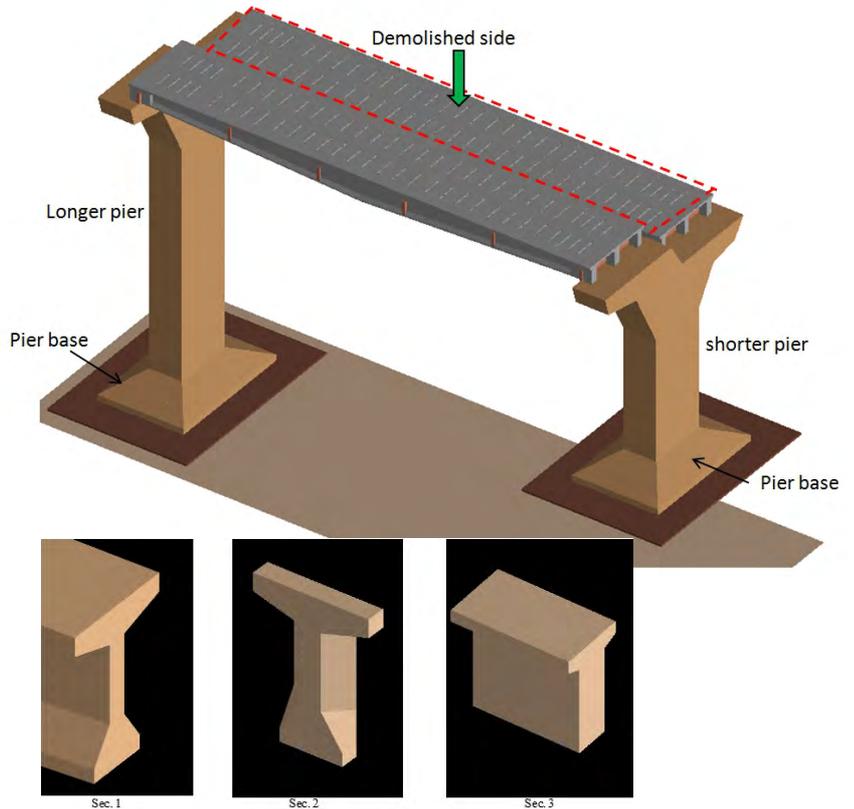
**"Modello con elementi applicati" della struttura da demolire e di quella da lasciare in posizione**

Il viadotto fu modellato ed analizzato per 2 scenari di demolizione i quali entrambi prevedevano la realizzazione di fori per posizionamento esplosivi e taglio trasversale della soletta e, uno dei due scenari, anche il taglio longitudinale della soletta e dei traversi per la soluzione di continuità tra le singole travi così da consentirne l'abbattimento in successione.

Questi scenari furono definiti per la ricerca del miglior compromesso tra possibilità pratica e sicurezza per il personale, sempre garantendo la stabilità al ribaltamento trasversale del ponte per il rilascio improvviso di peso a seguito della rimozione di una delle due carreggiate.

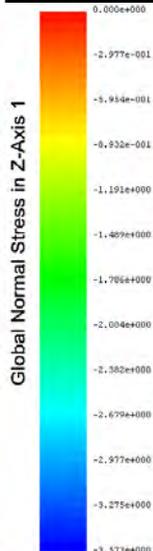
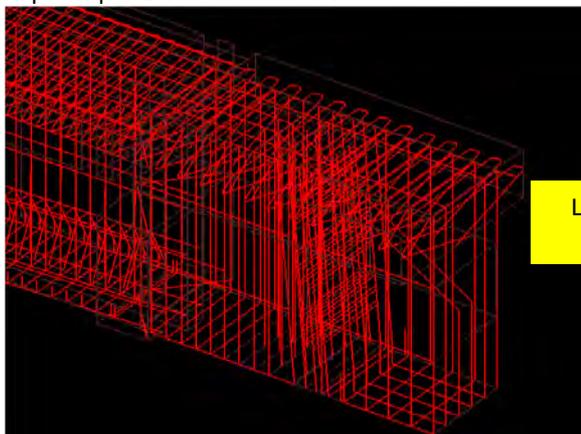
Il metodo degli "elementi applicati" è stato utilizzato attraverso il programma per le strutture (ELS) della "Extreme Loading". Il programma ha fornito relazioni di calcolo ed animazioni 3D di sollecitazioni e relative oscillazioni per la previsione del comportamento della struttura le attività preliminari di predisposizione alla demolizione (le quali comportano un indebolimento della struttura) ed il comportamento delle pile durante l'abbattimento degli impalcati, sulla base dei valori di resistenza meccanica misurati nelle prove di laboratorio.

L'analisi dimostrò come il viadotto avrebbe sostenuto in sicurezza l'indebolimento per l'attività di predisposizione all'abbattimento.

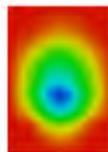
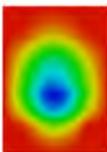


L'analisi di entrambi gli scenari confermò la stabilità delle pile al ribaltamento trasversale

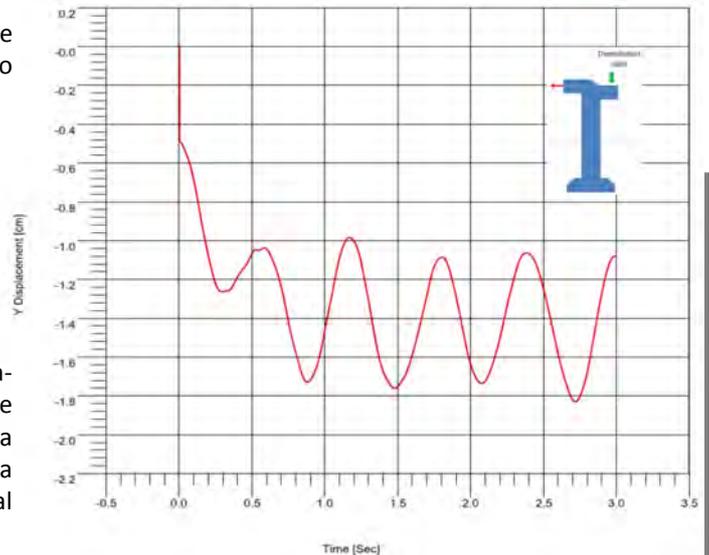
Lo spostamento dinamico trasversale risultò dell'ordine di alcuni centimetri. Il rischio di ribaltamento per il rilascio improvviso dell'intero peso di una carreggiata, non controbilanciato da quella nuova, fu dunque escluso.



Anche le sollecitazioni di compressione massime nella direzione verticale al di sotto delle fondazioni furono calcolate.



Dall'analisi non risultarono sollecitazioni di trazione al piano fondazione, così da confermare la mancanza di sollevamento della fondazione a seguito della rimozione improvvisa della campata e, quindi, la stabilità della pila al ribaltamento.





### Esecuzione

A causa della conseguente riduzione dei margini di sicurezza derivanti dal modello A.E.M., massima attenzione fu data alla precisione in esecuzione di tagli e fori per preparare la struttura all'abbattimento. Questo, appunto, per mantenere la predisposizione il più possibile corrispondente al modello per minimizzare i rischi di crollo improvviso.

Per eliminare qualsiasi rischio, il personale fu comunque assicurato contro il pericolo di crollo accidentale dell'impalcato, mediante una linea di vita fissata direttamente sulle pile e le principali attività furono eseguite con mezzi radiocomandati.

**carro di perforazione radiocomandato operatore agganciato alla linea di vita fissata sulle pile**      **demolizione dei traversi con l'escavatore radiocomandato ed operatore agganciato alla linea di vita**

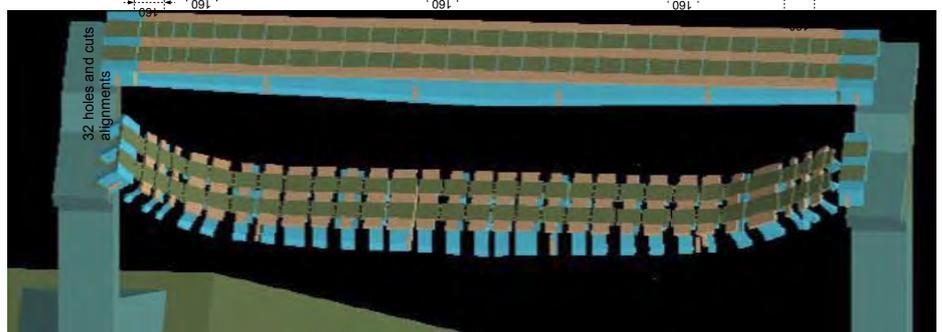
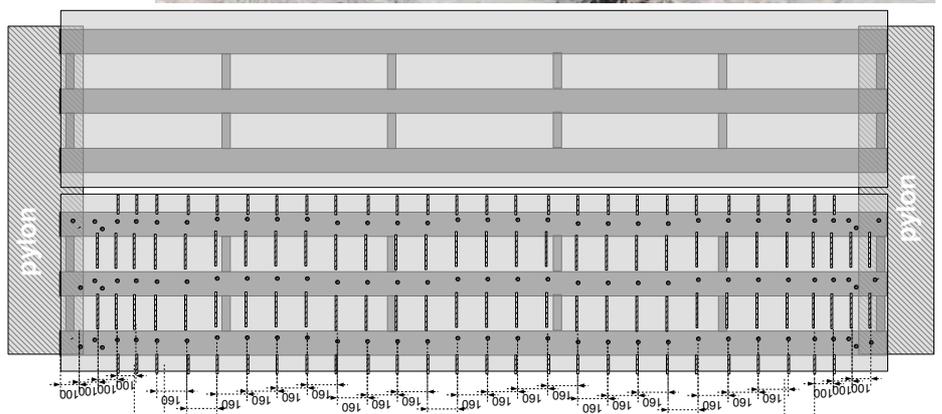


Una volta abbattuti gli impalcati dovevano rimanere stabili sul pendio acclive. Questo per evitare lo scivolamento a valle, con conseguente difficoltà d'accesso per gli escavatori che avrebbero dovuto completare a terra la demolizione.

Per questo perforazione e demolizione preliminare della soletta furono estese a tutto l'impalcato, per la sua frammentazione diffusa.

Gli impalcati sulle pile più alte impattarono con velocità intorno ai 20 km/h, disintegrandosi.

Gli impalcati sulle pile meno alte, a causa della minore velocità d'impatto, rimasero in pezzi legati insieme dai ferri d'armatura, aggiustandosi al profilo del pendio.





Sequenza di tiro

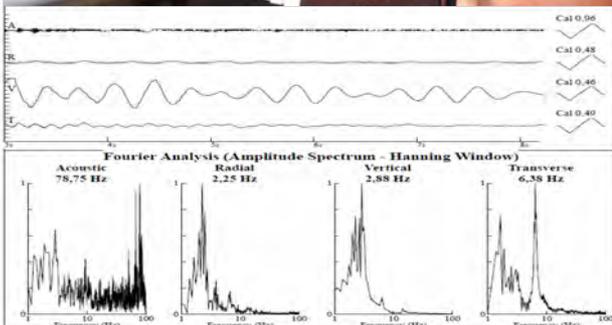


impalcati abbattuti conformatisi al profilo del pendio



**Spostamenti e monitoraggio sismico**

Il monitoraggio continuo degli spostamenti e delle oscillazioni risultarono conformi alle previsioni dell'analisi, a conferma del rispetto dei limiti di sicurezza secondo le norme e lo stato dell'arte.



**Resultati – minimizzazione dei costi e dei tempi**

L'abbattimento controllato con esplosivi e l'utilizzo di mezzi radiocomandati hanno reso possibile il completamento della demolizione del ponte Pietrastretta in soli 2 mesi. In alternativa la demolizione meccanica per decostruzione tramite carro-varo avrebbe invece richiesto 8 mesi. Inoltre, quest'ultima tecnica, a causa della ridotta resistenza dei componenti strutturali del ponte, comunque si sarebbe rilevata più pericolosa e, anche per questo, dovette essere scartata.

Con l'abbattimento controllato con esplosivi fu dunque possibile garantire non solo migliori condizioni di sicurezza per il personale ma, allo stesso tempo, minimizzazione dei costi e dei tempi d'esecuzione.

Questo risultato fu possibile grazie ad un approccio rigoroso con indagini accurate ed estese, modellazione accurata, competenza ed esperienza sia in fase di progettazione che di esecuzione.

L'impatto indotto nei recettori vicini, quali le fondazioni delle pile e la carreggiata adiacente, così come nelle case all'intorno furono contenute entro limiti tali da garantire, al 100%, la non occorrenza di danni.