



ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI FIRENZE

Genova: riflessioni per un ponte

Intervenire sui Ponti

Salvatore Giacomo Morano

Dipartimento di Ingegneria Civile

Università di Firenze

I ponti invecchiano?

...certo ma qualche volta semplicemente si ammalano!

...anche di “malattie infantili”

Invecchiamento fisiologico e patologie



Opera non più idonea alla funzione

SICUREZZA

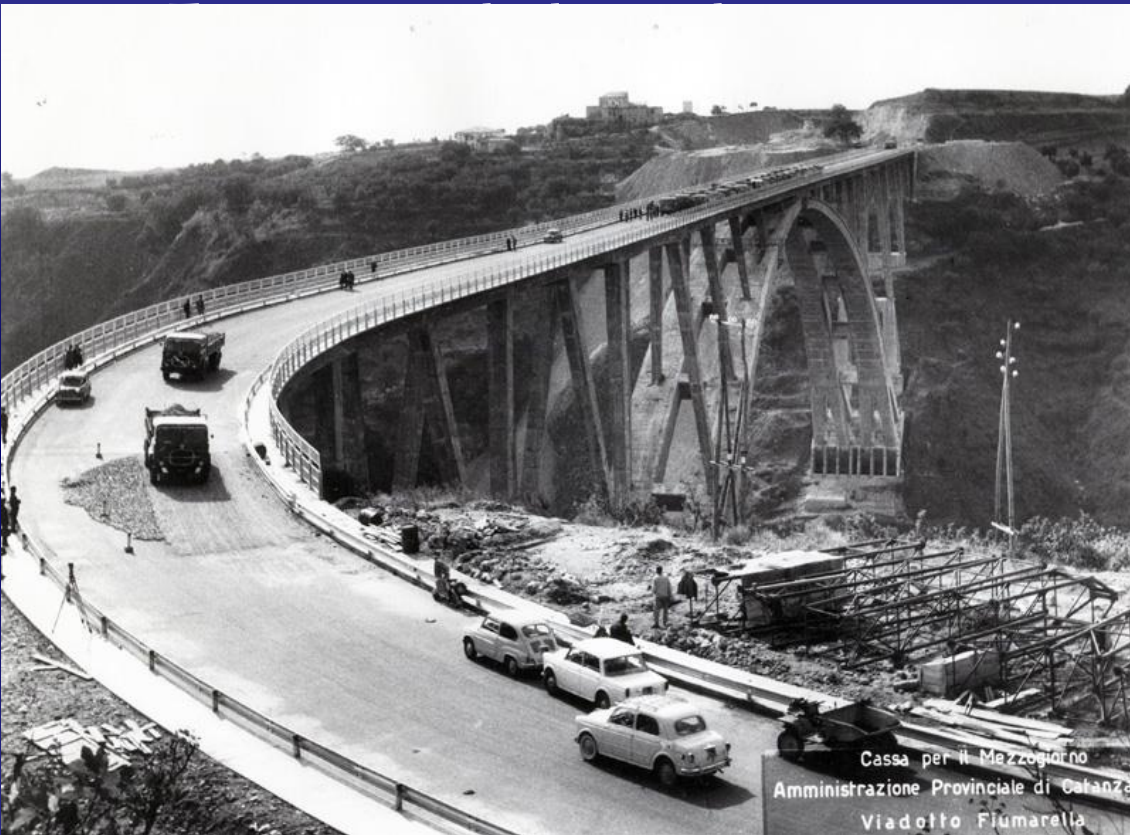
Invecchiamento fisiologico e patologie



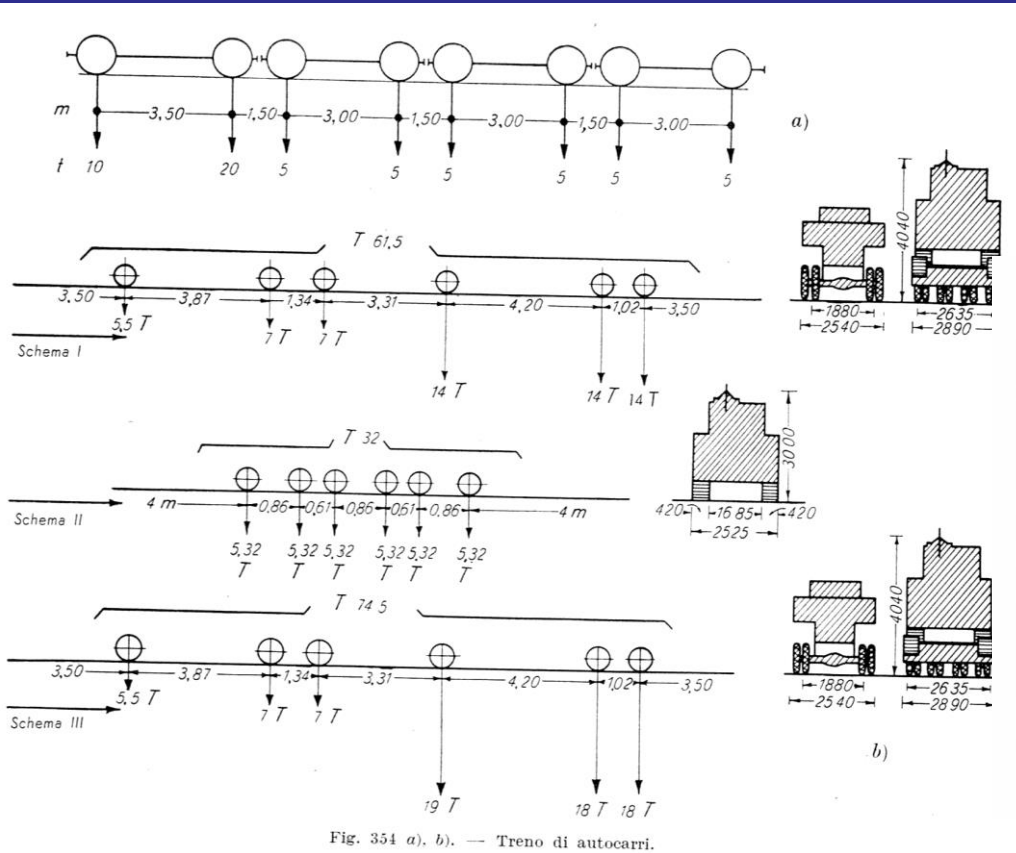
Invecchiamento fisiologico e patologie



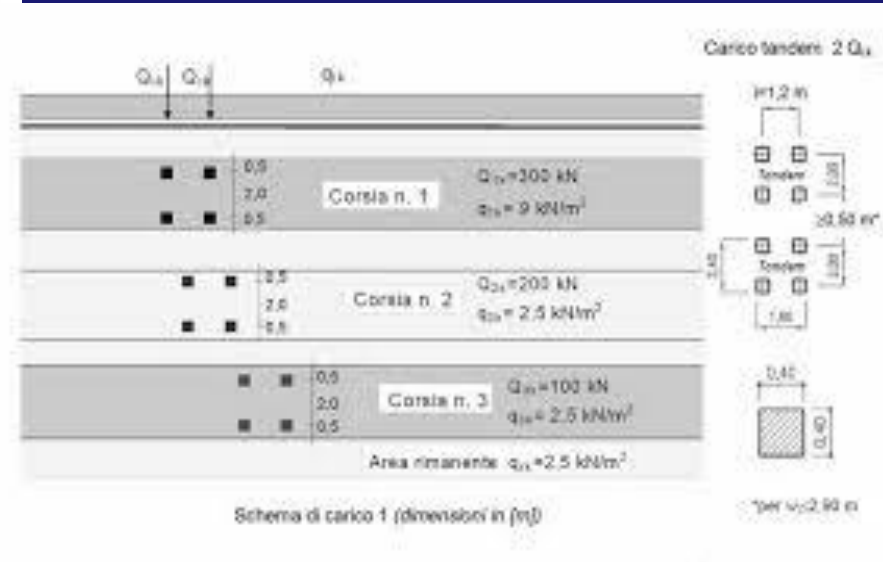
Invecchiamento fisiologico e patologie



Invecchiamento fisiologico e patologie



DM 1962



NTC 2018

Siamo consapevoli di cosa abbiamo?

1950-1975: Costruzione di grande parte delle infrastrutture viarie oggi vitali per il paese



È enorme il numero di ponti e viadotti con 40-60 anni di età

Cosa fare?

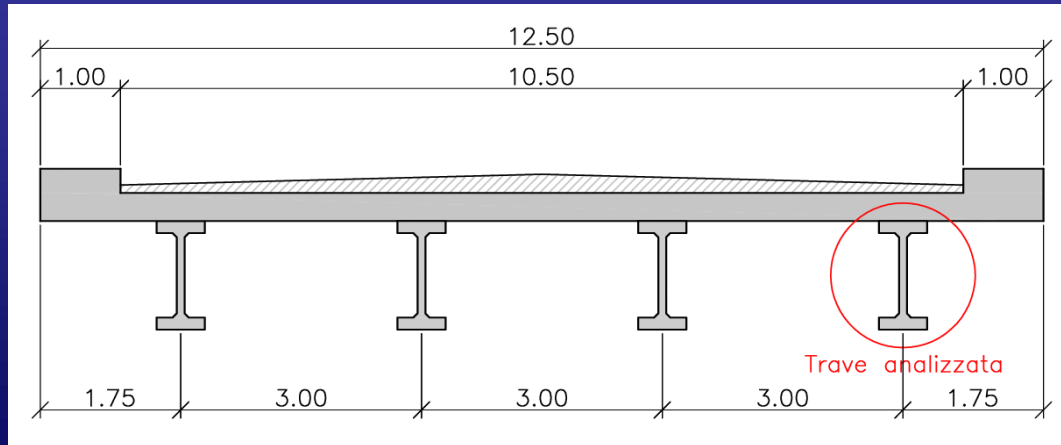
- Attendere ottimisti o rassegnati
- Ripristinare
- Adeguare
- Demolire e ricostruire

Elevatissimo numero di opere  enorme impatto sul paese (economico, logistico, sociale)

Le scelte emotive

È indispensabile un processo decisionale serio ed obiettivo basato sui migliori strumenti (e professionalità) tecniche

Confronto carichi accidentali normative

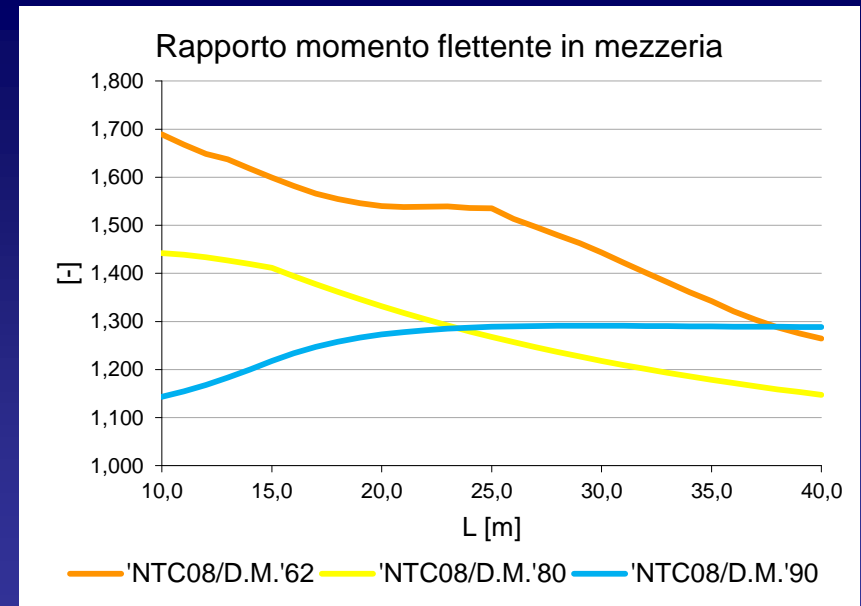


Schema di vincolo: appoggio-appoggio



Normative per carichi ponti

- Circolare ANAS 1955 - D.M. 1962
- D.M. 1980
- D.M. 1990
- NTC 2008-2018



Il nostro POKER



- Controllo
- Diagnosi
- Scelta strategia interventi
- Concezione degli interventi

Intervenire sui ponti

Casi presentati:

- Ripristino strutturale del ponte S. Niccolò (Firenze, 1999, Morano)
- Intervento di ripristino rampa viadotto Indiano (Firenze, 2009, Morano)
- Ripristino strutturale del ponte dell'Indiano (Firenze, 2001, Morano - Spinelli)
- Lavori di recupero e adeguamento sismico del ponte degli Alpini (Belluno, 2009, Cardinale - Morano - Spinelli)
- Interventi con precompressione esterna su viadotti autostradali (2018, Morano)
- Ripristino strutturale passerella Isolotto (Firenze, 2017, Morano)
- Allargamento e adeguamento sismico del ponte Vezzola (Teramo, 2013, Morano)
- Allargamento e adeguamento sismico del ponte Fosso Stregone (Civitella del Tronto – TE, 2018, Morano)

Ripristino strutturale del ponte San Niccolò (Riparazioni locali)

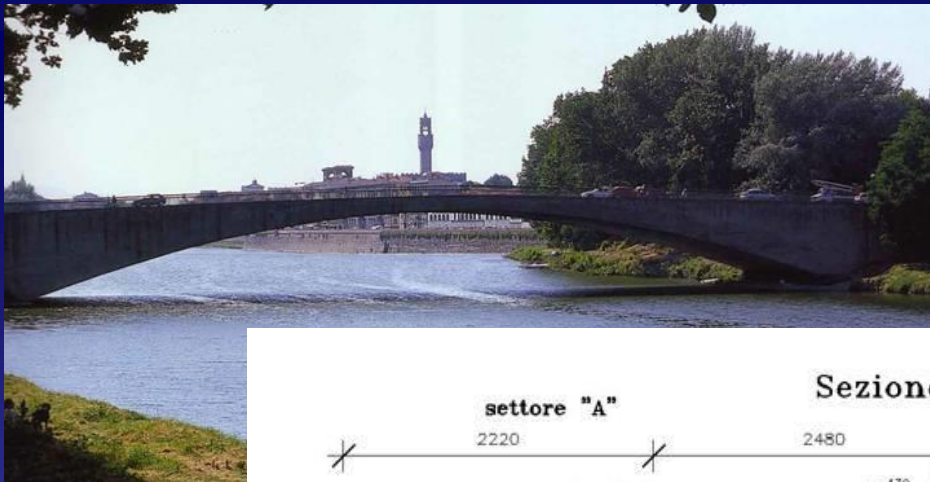
Il ponte San Niccolò

L'opera

Il ponte S. Niccolò (1949) a Firenze con il suo unico arco di circa 90 m di luce scavalca il fiume Arno. L'opera è stata progettata da Riccardo Morandi

I muri di timpano conferiscono all'opera un'apparenza di robustezza, ma non sono "strutturali" e mascherano una struttura composta da elementi snelli e arditi

La volta è cellulare e l'impalcato costituito da una sottile soletta nervata nelle due direzioni e sostenuta nei nodi da pilastrini.





Il ponte San Niccolò

Cause del dissesto

La presenza dei timpani laterali, determina la formazione di un ambiente interno chiuso, che presenta caratteristiche di aggressività per il materiale che costituisce l'opera.

Elementi degradati: pilastrini e nervature.

Cause principali: elevata umidità ambientale e scarsa ventilazione

Le necessità di intervento sono state messe in evidenza durante
“Controllo di alcuni ponti del territorio del Comune di Firenze “ 1995
Convenzione Dipartimento Ingegneria Civile - Comune di Firenze



Il ponte San Niccolò

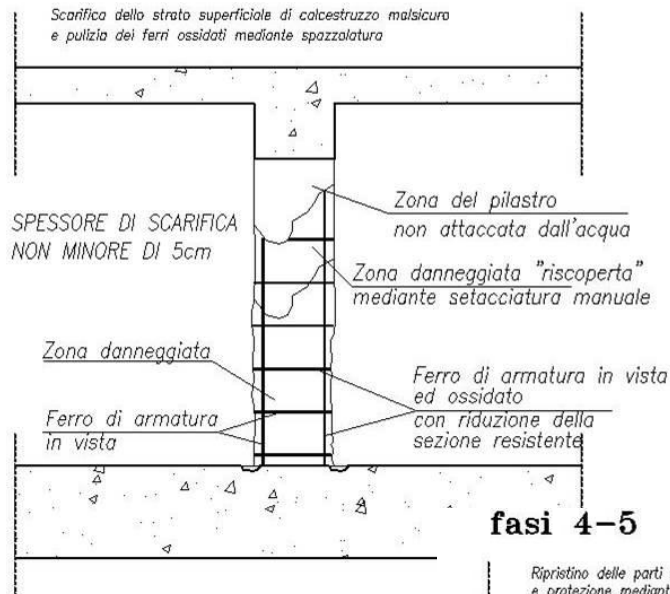
L'intervento

<u>Provvedimento</u>	<u>Effetto</u>
Eliminazione delle cause (fori di ventilazione e allontanamento acque)	Ambiente interno meno aggressivo
Ripristino strutturale dei pilastri e delle nervature (reintegro armature e ricostituzione dei fili di cassetto)	Ripristino sezioni originali (resistenza e rigidità)
Protezione superficiale dei pilastri (vernici impermeabili e traspiranti)	Aumento della durabilità

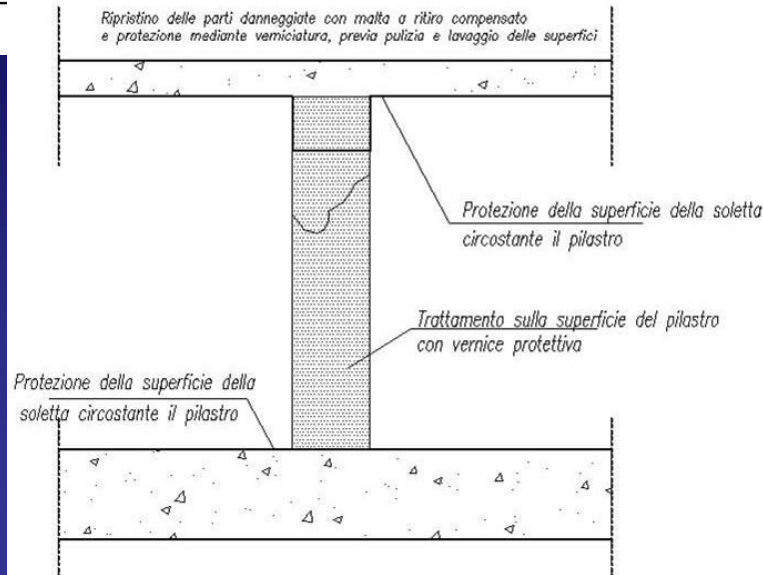
Il ponte San Niccolò

L'intervento

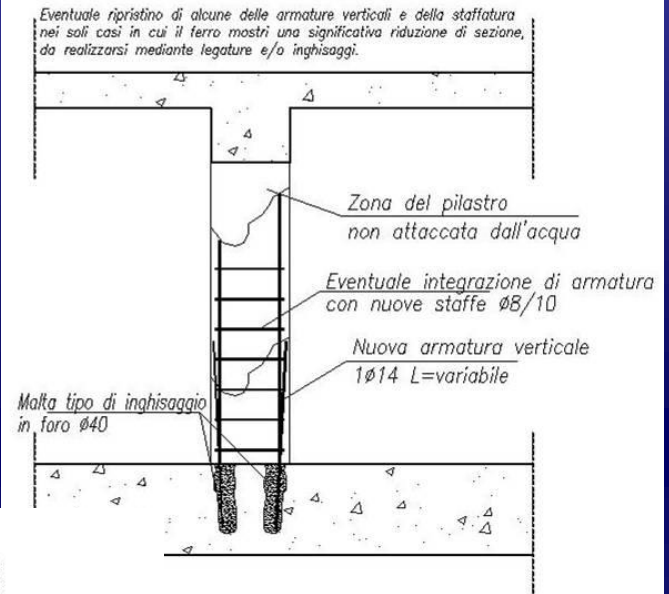
fasi 1-2



fasi 4-5



fase 3



Il ponte San Niccolò

L'intervento

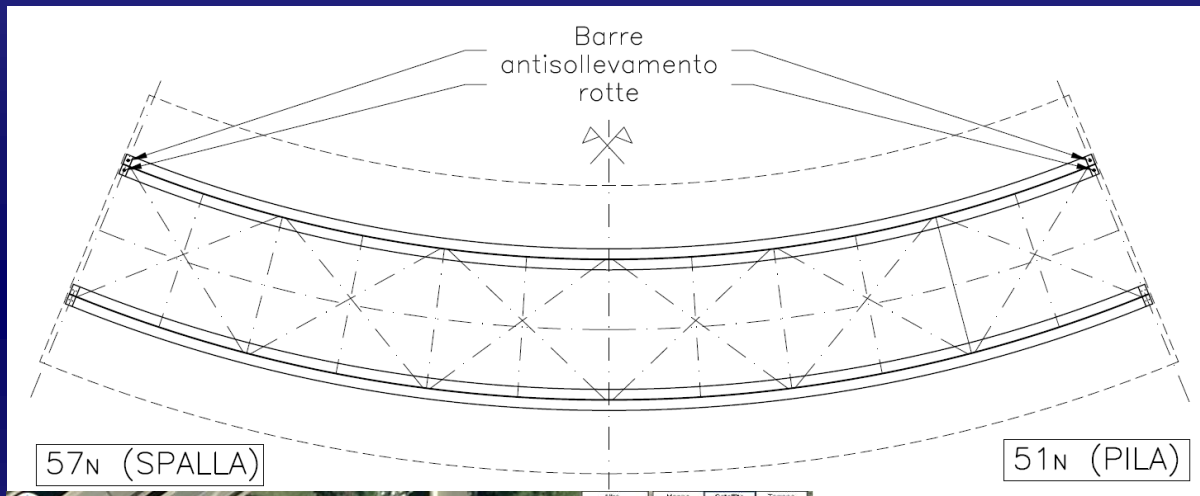


Intervento di ripristino
Rampa viadotto Indiano
(Intervento locale)

Rampa viadotto Indiano

L'opera e il danneggiamento da ripara

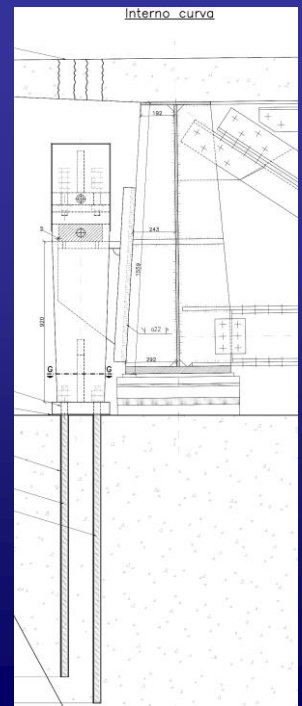
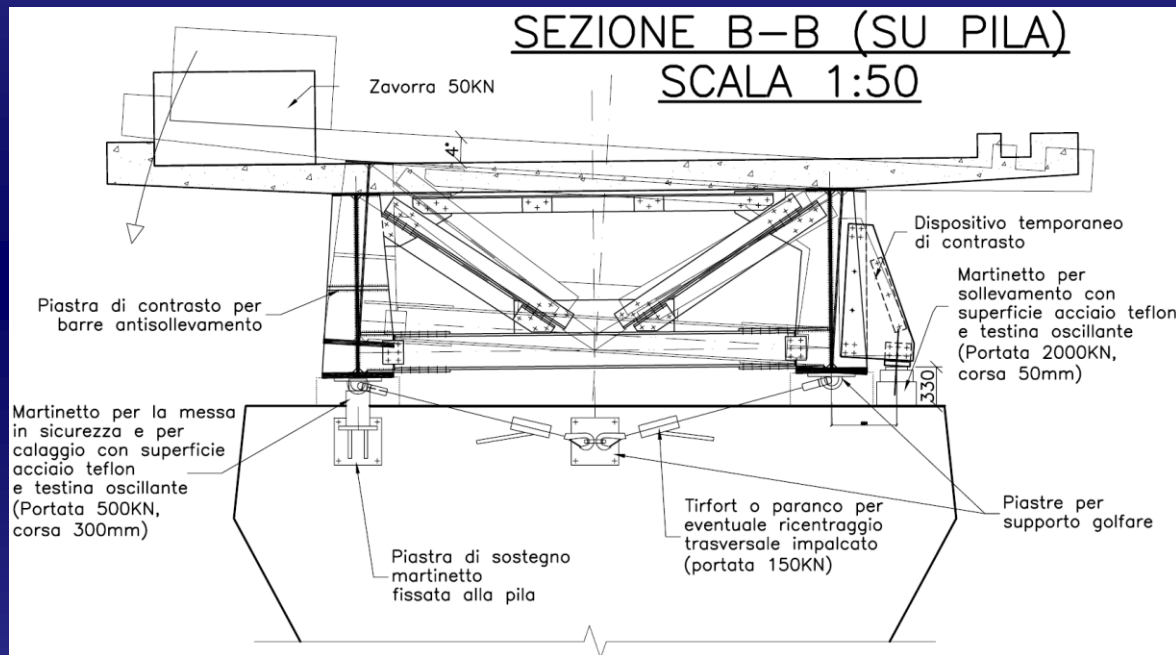
La campata in curva della rampa di accesso del viadotto all'Indiano presentava la rottura delle barre antisollevamento poste in corrispondenza degli appoggi interni e risultava ruotato rispetto alla configurazione originaria.



Rampa viadotto Indiano

L'intervento

- Riposizionamento della campata
- Installazione di specifico dispositivo antisollevamento



Ripristino strutturale del ponte dell'Indiano

(Riparazioni e interventi locali)

Il ponte dell'Indiano

L'opera

Il ponte dell'Indiano (1978) supera l'Arno alla periferia di Firenze

L'opera è stata progettata da Fabrizio de Miranda

La tipologia è strallata, ancorato al suolo, con antenne inclinate

Inferiormente presenta appesa una passerella pedonale



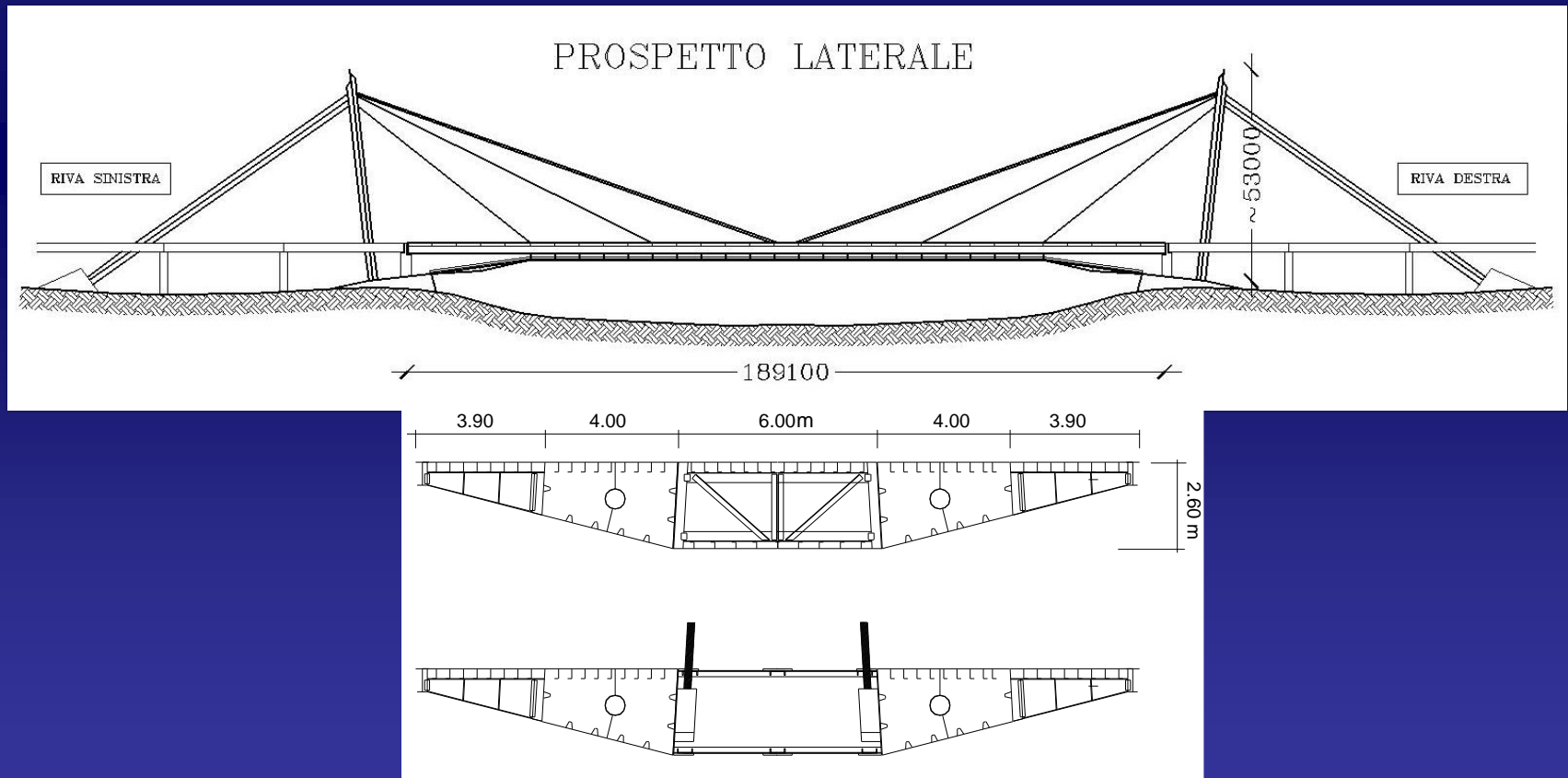
Il ponte dell'Indiano

L'opera

Campata centrale circa 190 m Altezza antenne circa 50 m

Larghezza totale impalcato circa 22 m

Ad oggi rappresenta ancora uno degli esempi di maggiori ponti strallati in Italia ed è realizzato con impalcato e antenne interamente metallici



Il ponte dell'Indiano

L'opera

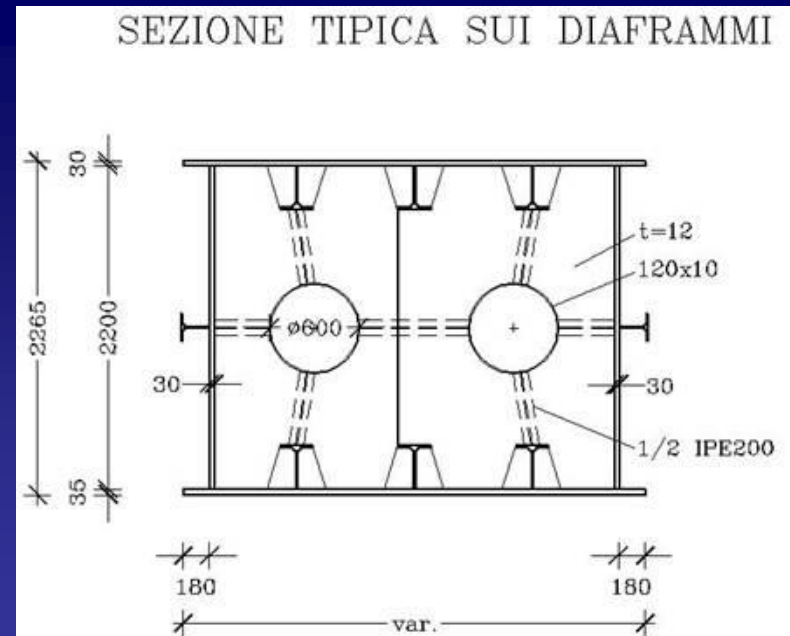
Il cassone è tricellulare nelle zone di massimo momento torcente (estremità).

Nella parte centrale c'è comunque un funzionamento a pseudo-cassone tricellulare per la presenza dei controventi di torsione.

La larghezza complessiva d'impalcato si raggiunge per mezzo di mensole che aggettano dai cassoni laterali

Le due antenne sono incastrate al piede e inclinate rispetto alla verticale

La sezione è scatolare e si rastrema con l'altezza



Il ponte dell'Indiano

Il dissesto

- Presenza di numerose infiltrazioni nelle zone interne della struttura (impalcato ed antenne)
- Degrado precoce dei materiali, stato avanzato del fenomeno corrosivo
- Perdite localizzate e rilevanti di spessore del metallo
- Rottura di saldature degli irrigidenti longitudinali della piastra ortotropa per fatica
- Dissesto statico della passerella
- Malfunzionamenti degli apparecchi d'appoggio
- Degrado nella protezione degli stralli



Strallo senza
guaina durante
gli interventi

Il ponte dell'Indiano

L'intervento

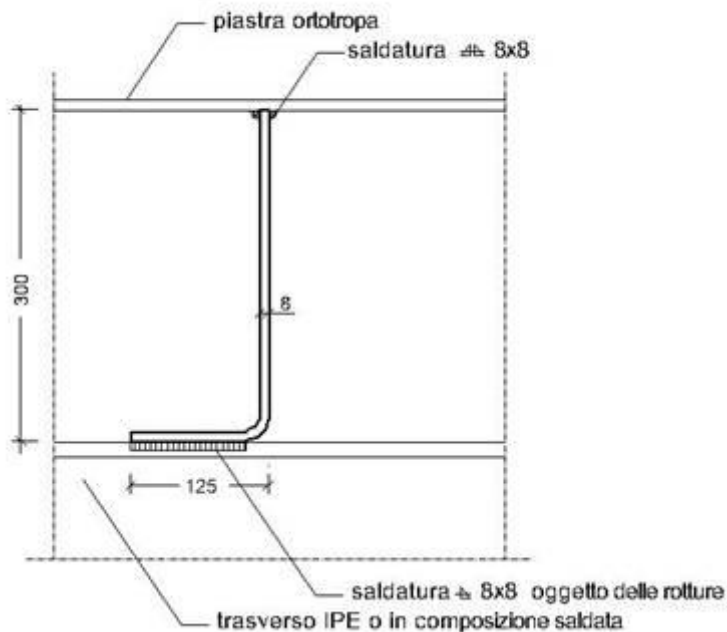
- Eliminazione delle cause del degrado (infiltrazioni, ristagni, etc.)
- Ripristino della passerella pedonale
- Riparazione della carpenteria metallica
 - particolare saldato degli irrigidenti longitudinali
 - perdita di spessore sul fondo dell'impalcato
 - perdite di spessore alla base delle antenne
- Sostituzione degli apparecchi d'appoggio
- Ripristino protezione degli stralli
 - (rinvenimento di strallo da sostituire)
- Sostituzione di uno strallo
- Provvedimenti per l'aumento della durabilità (impermeabilizzazioni, verniciature, etc.)

Il ponte dell'Indiano

L'intervento – Saldature irrigidenti longitudinali

Il fenomeno di rottura per fatica delle saldature degli irrigidenti longitudinali è dovuto all'utilizzo per gli irrigidenti di profili piegati a freddo in luogo di elementi formati a caldo previsti nel progetto originale

Situazione prima dell'intervento

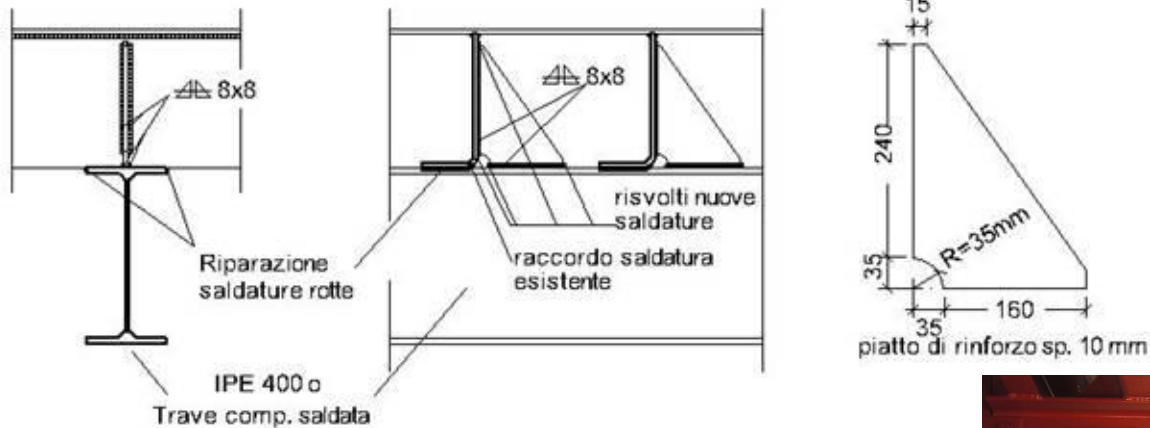


Il ponte dell'Indiano

L'intervento – Saldature irrigidimenti longitudinali

Il provvedimento è stato quello di inserire fazzoletti di irrigidimento saldati

Intervento di rinforzo con piatto di connessione



Il ponte dell'Indiano

L'intervento – Base antenna

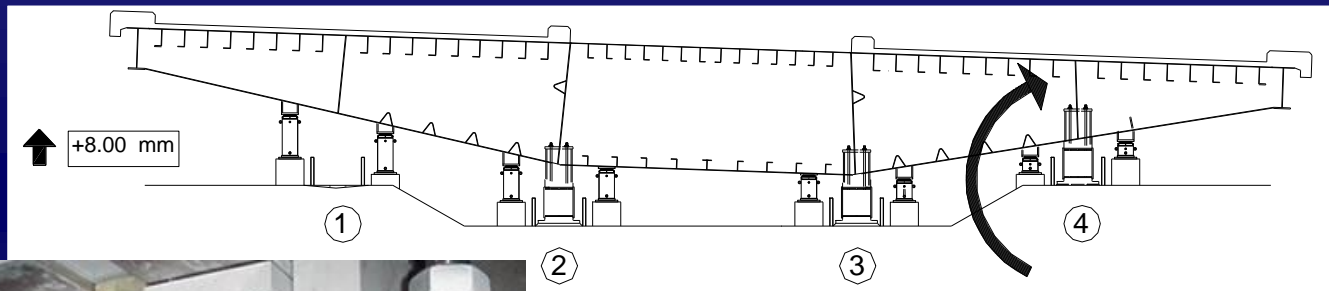
Il ripristino alla base delle antenne ha previsto un intervento di placcaggio sugli elementi al piede. Quindi è stata creata una base in c.a. per evitare ristagni alla base.



Il ponte dell'Indiano

L'intervento – Sostituzione appoggi

L'intervento è stato realizzato secondo una procedura piuttosto complessa che prevedeva l'installazione di nuove barre antisollevamento, la rotazione controllata dell'impalcato, la sostituzione dei dispositivi di appoggio e regolazione finale dei carichi sugli appoggi.



Il ponte dell'Indiano

L'intervento – Sostituzione strallo

Le prove di efficienza avevano evidenziato una notevole carenza di tiro a carico di un solo strallo (uno strallo ormeggio lato Cascine)

L'ispezione degli ancoraggi ne chiarì la causa



Il ponte dell'Indiano

L'intervento – Sostituzione strallo

Il ponte è rimasto in esercizio con uno strallo in meno

Il posizionamento della guaina è stato condotto senza interruzione.

La messa in tensione è avvenuta per singolo trefolo con il metodo “isotensione”

Al termine il tiro è stato riscontrato con una prova dinamica sullo strallo completo



Recupero e adeguamento sismico del ponte degli Alpini di Belluno (Adeguamento)

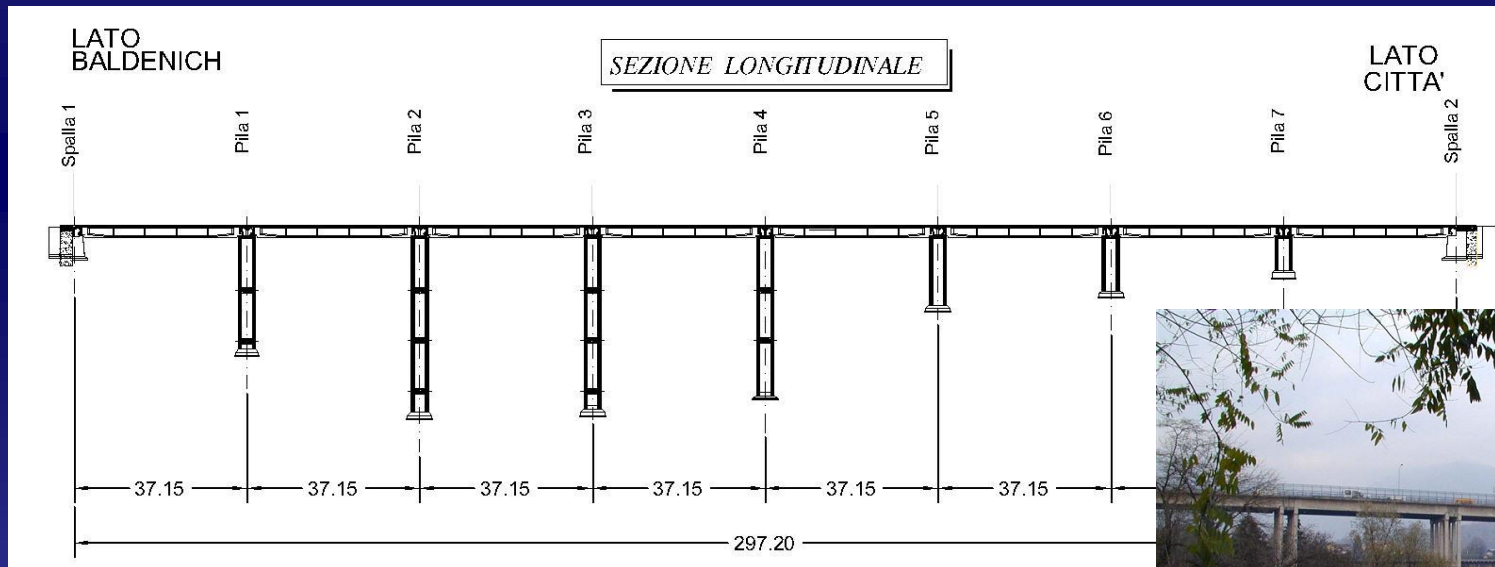
Il ponte degli Alpini

L'opera

Il ponte degli Alpini si trova in ambito urbano nel comune di Belluno ed ha una lunghezza complessiva di 297 m

L'intervento prevede:

- recupero
- adeguamento sismico dell'opera



n. 8 campate in C.A.P. in semplice appoggio ($L=37,15$ m)

Pile in C.A. formate ciascuna da 8 pilastri 70x70 cm

Fondazioni dirette a plinti in C.A.



Il ponte degli Alpini

L'opera

Inadeguatezza dell'opera alle azioni sismiche:

- Pile snelle inadatte a sostenere le azioni orizzontali sismiche
- La normativa vigente all'epoca della progettazione e realizzazione del viadotto prevedeva azioni sismiche minori
- Il dimensionamento della struttura era stato effettuato con un metodo semplificato; analizzando la struttura con metodologie più moderne ed approfondite, risulta sottodimensionata anche per alcune condizioni di carico relative all'esercizio.



Stato di degrado dell'opera:

L'opera presenta un buono stato generale di conservazione

Le uniche zone a presentare maggior degrado sono quelle interessate dalla percolazione delle acque provenienti dall'impalcato in corrispondenza dei pulvini e del paramento delle spalle.

Il ponte degli Alpini

L'intervento

Scopi:

- adeguamento della struttura alle azioni orizzontali previste dalla vigente normativa sismica
- mantenimento dell'aspetto estetico dell'opera
- recupero dello stato di degrado

Modalità di intervento:

- variazione dello schema di vincolo dell'opera
- minimi interventi sulle pile per evitare ringrossi eccessivi e mantenere aspetto slanciato

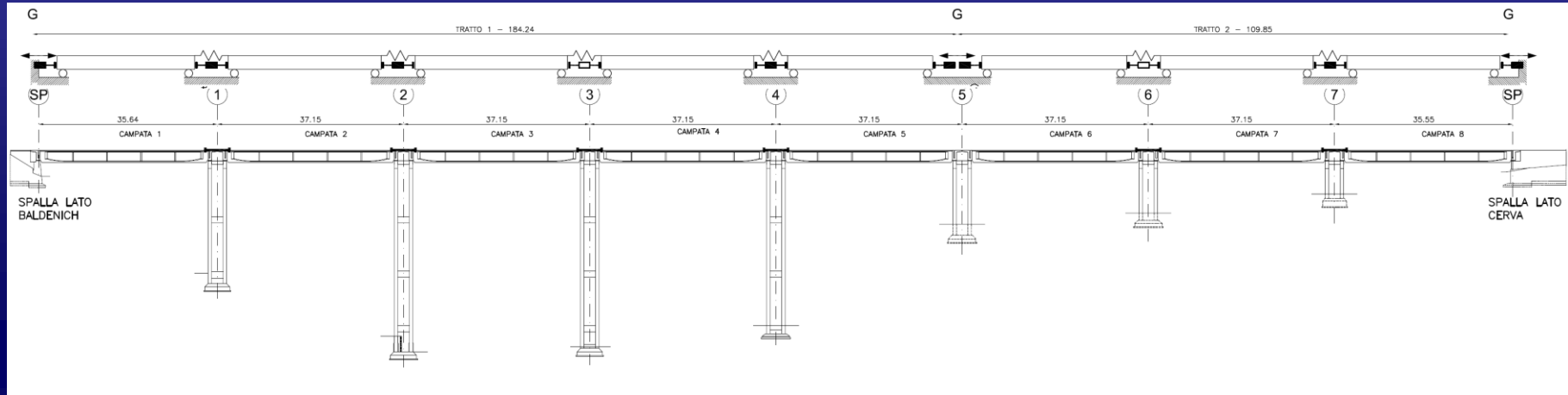
Risultati:

- variazione dei periodi propri della struttura → minori sollecitazioni da sisma
- attenuazione delle sollecitazioni sulle pile dovute alle azioni orizzontali di impalcato
- miglior comportamento statico delle pile (minor lunghezza libera d'inflessione)
- mantenimento della snellezza delle pile

Il ponte degli Alpini

L'intervento

Schema statico variato per le azioni orizzontali:



	OTP: DISSIPATORE OLEODINAMICO TERMICO PLASTICO LONGITUDINALE PER PILA 1 ACCOPIATO A DISSIPATORI ELASTOPLASTICI TRASVERSALI
	OTP: DISSIPATORE OLEODINAMICO TERMICO PLASTICO LONGITUDINALE PER PILE 2,4 ACCOPIATO A DISSIPATORI ELASTOPLASTICI TRASVERSALI
	OTP: DISSIPATORE OLEODINAMICO TERMICO PLASTICO LONGITUDINALE PER PILA 5 ACCOPIATO A DISSIPATORI ELASTOPLASTICI TRASVERSALI + N°2 SCHOCK TRANSMITTER (OT) DA 500 kN
	OTP: DISSIPATORE OLEODINAMICO TERMICO PLASTICO LONGITUDINALE PER SPALLE E PILE 6,7 ACCOPIATO A DISSIPATORI ELASTOPLASTICI TRASVERSALI

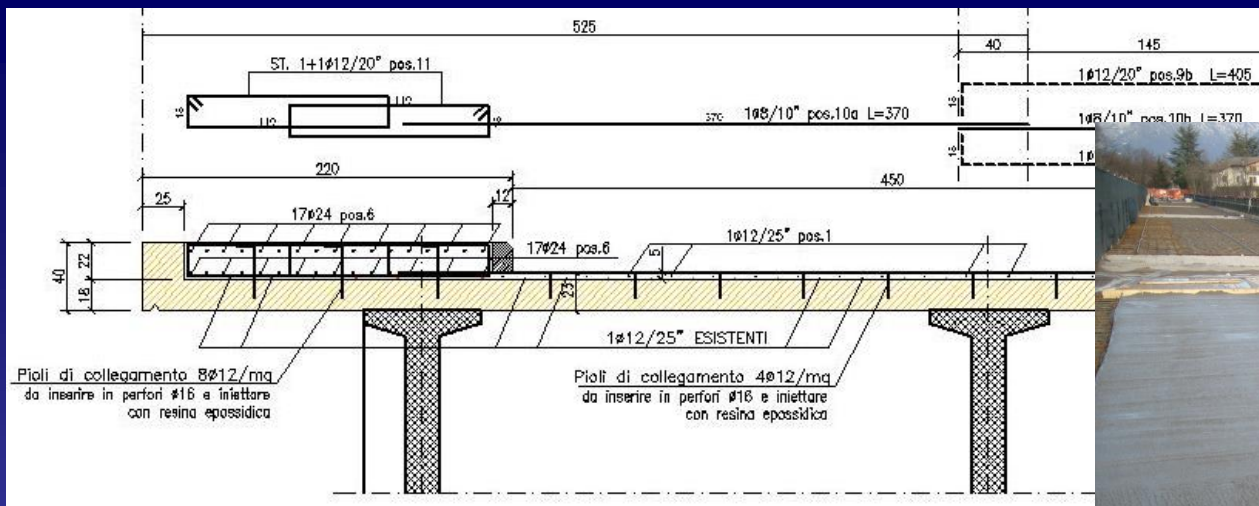
	G GIUNTO LONGITUDINALE
	200 kN DISSIPATORE ELASTOPLASTICO TRASVERSALE (N°4 SIA IN SPALLA SIA IN PILA)
	OP: DISSIPATORE OLEODINAMICO PLASTICO LONGITUDINALE PER PILA 3 ACCOPIATO A DISSIPATORI ELASTOPLASTICI TRASVERSALI
	OP: DISSIPATORE OLEODINAMICO PLASTICO LONGITUDINALE PER PILA 6 ACCOPIATO A DISSIPATORI ELASTOPLASTICI TRASVERSALI

Il ponte degli Alpini

L'intervento

Interventi in soletta :

- ringrosso della soletta (da 18 cm a 23 cm)
- trasformazione dei marciapiedi laterali in elementi strutturali in c.a. per assorbire azioni flettenti trasversali

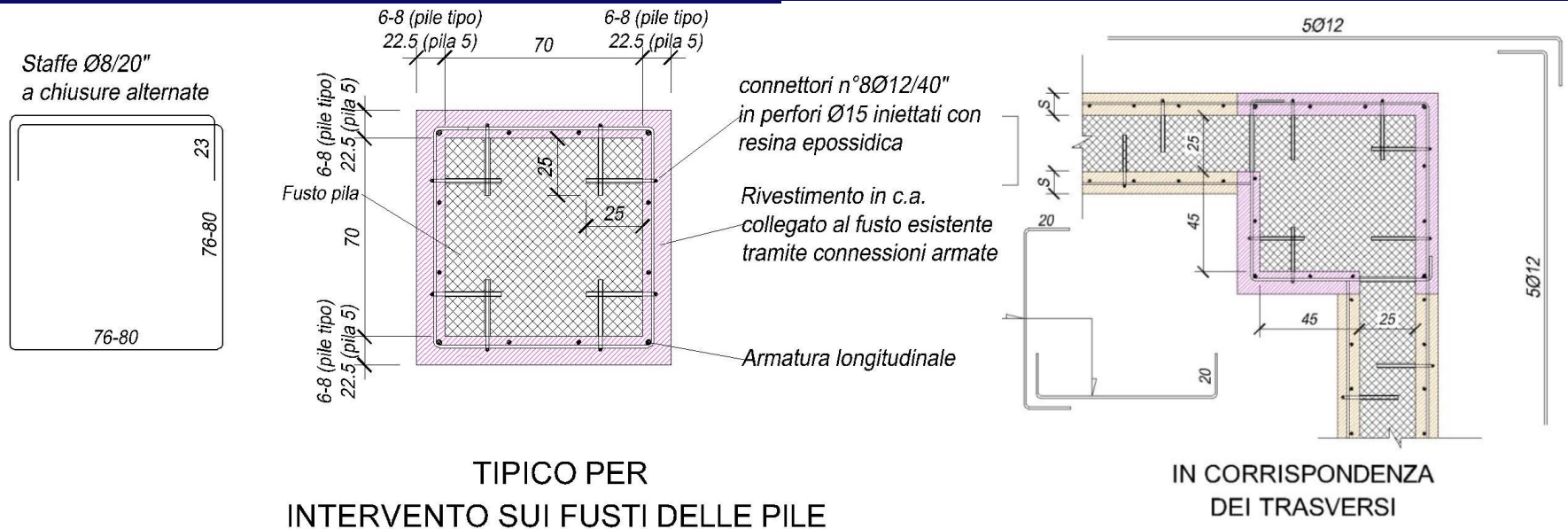


Il ponte degli Alpini

L'intervento

Interventi Pile:

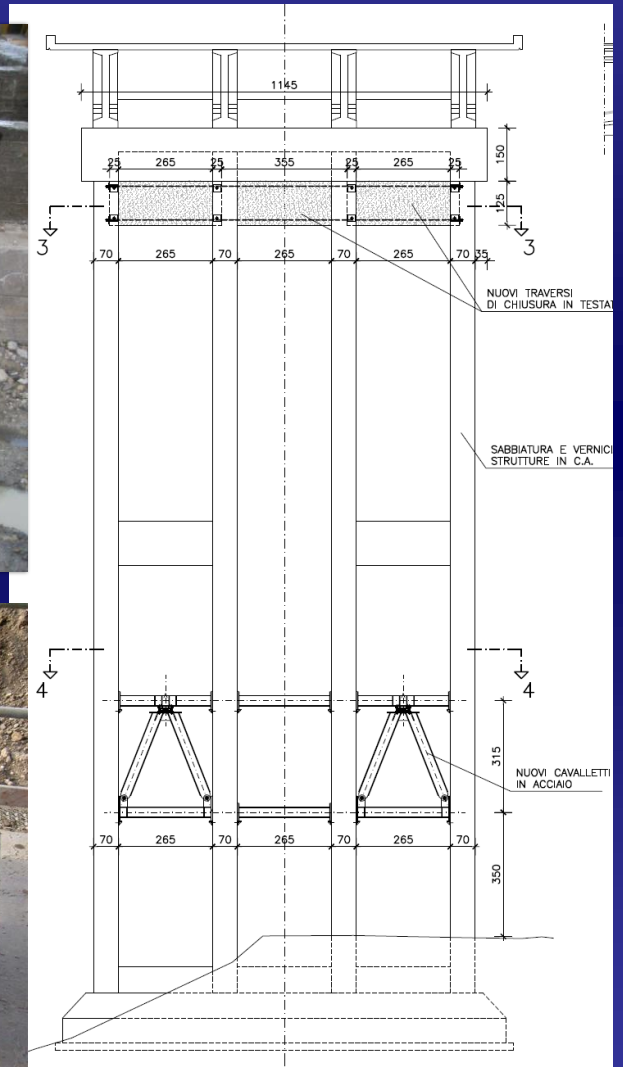
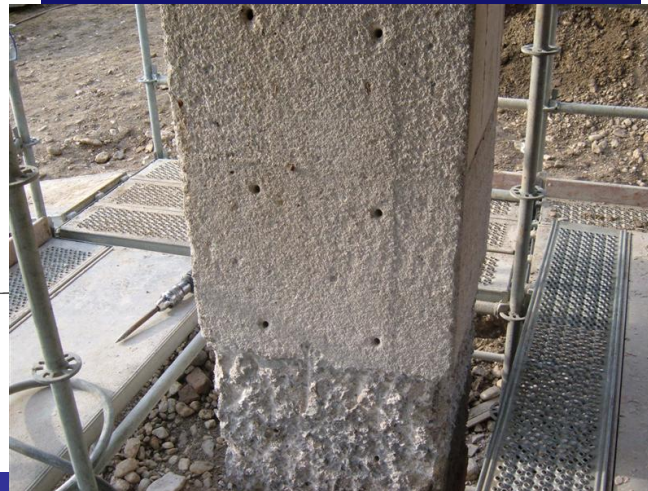
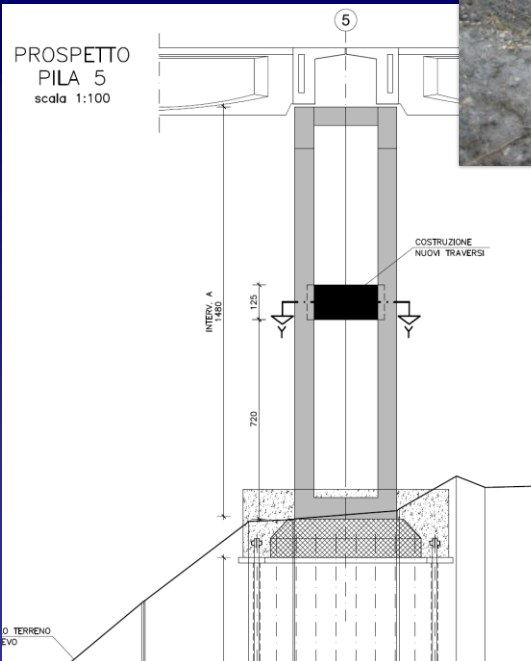
- diverso schema di vincolo di impalcato → minori sollecitazioni sulle pile
- continuità impalcato → pile con schema statico incastro alla base – cerniera in sommità
- minimi ringrossi dei pilastri → minima variazione del periodo proprio della struttura
- rinforzo dei traversi superiori delle pile e consolidamento delle fondazioni



Il ponte degli Alpini

L'intervento

Interventi Pila 1 e 5:



Il ponte degli Alpini

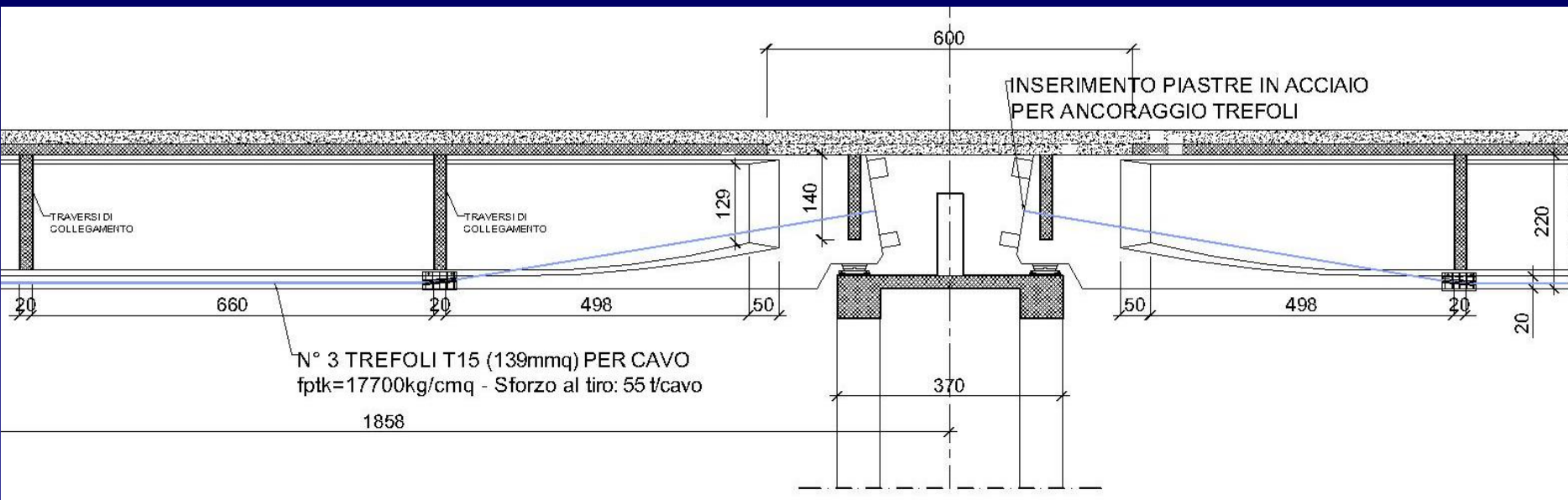
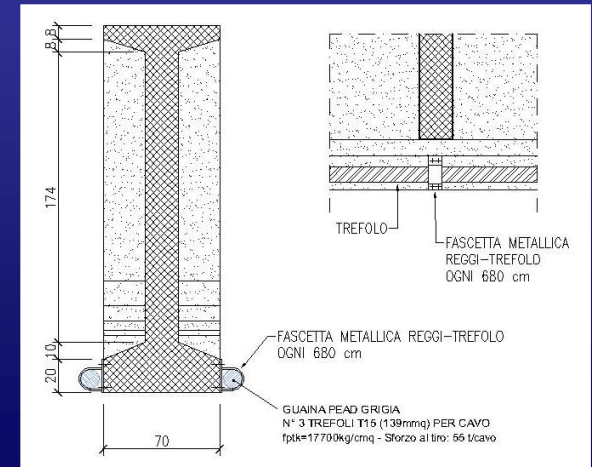
L'intervento

Travi principali:

- sottostima nel progetto originario delle azioni sull'impalcato
- stima accurata delle perdite per attrito dei cavi di pretensione

Interventi:

- rinforzo delle travi principali mediante precompressione esterna



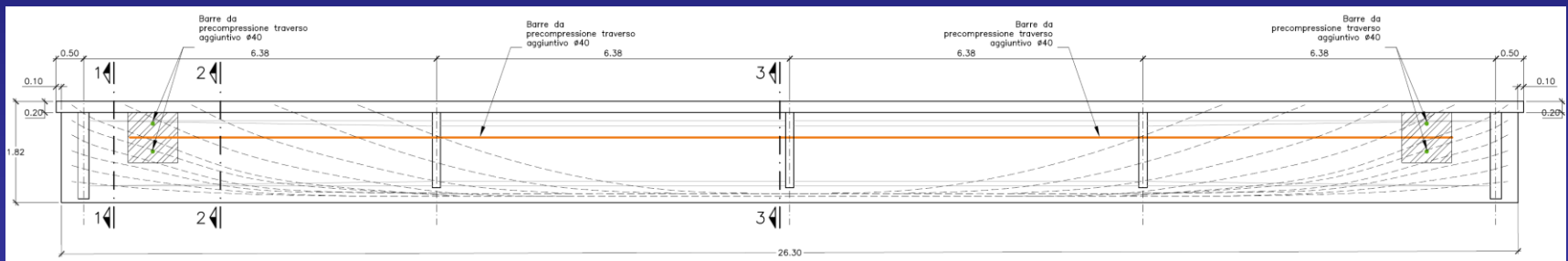
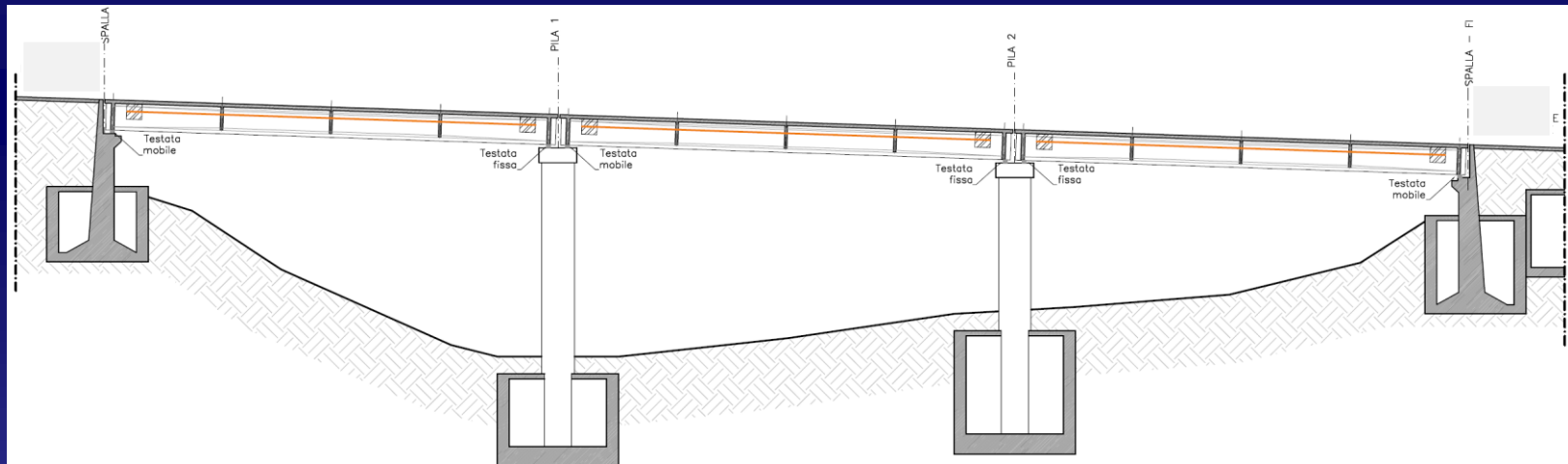
Interventi con precompressine esterna su impalcati autostradali

(Riparazioni e interventi locali)

Viadotto a cavi scorrevoli

L'opera

Il viadotto è costituito da 3 campate per complessivi 79,70 m, ciascuna composta da due impalcati indipendenti, che ospitano le carreggiate. Ogni impalcato è costituito da 4 travi precomprese a cavi scorrevoli e già oggetto di un precedente intervento con barre di precompressione esterna.



Viadotto a cavi scorrevoli

- Degrado generalizzato
- Dispositivi di appoggio fortemente ossidati
- Esposizione e rottura di alcuni cavi di precompressione



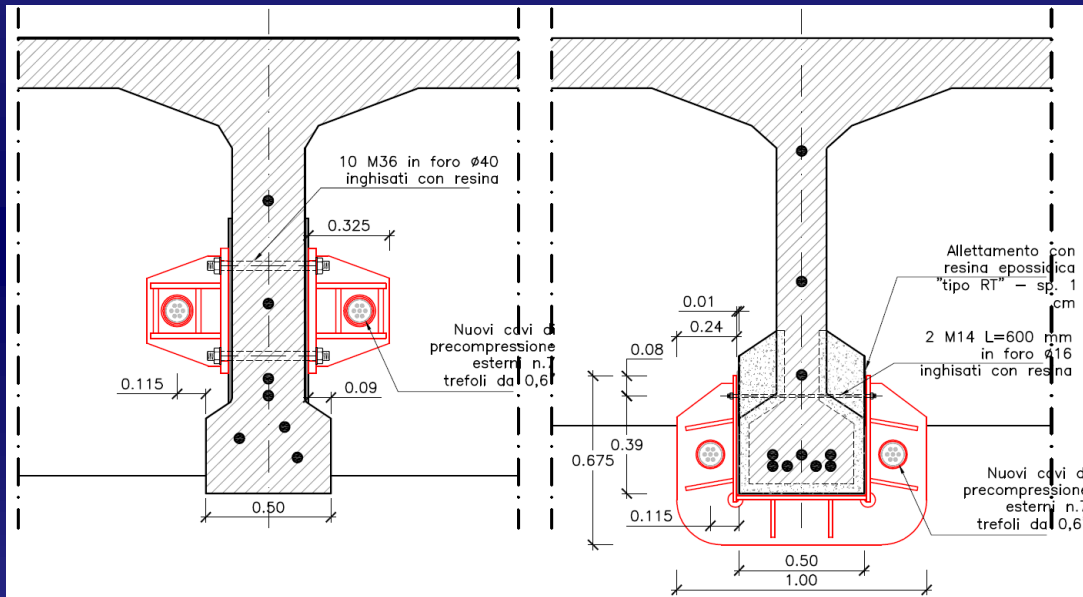
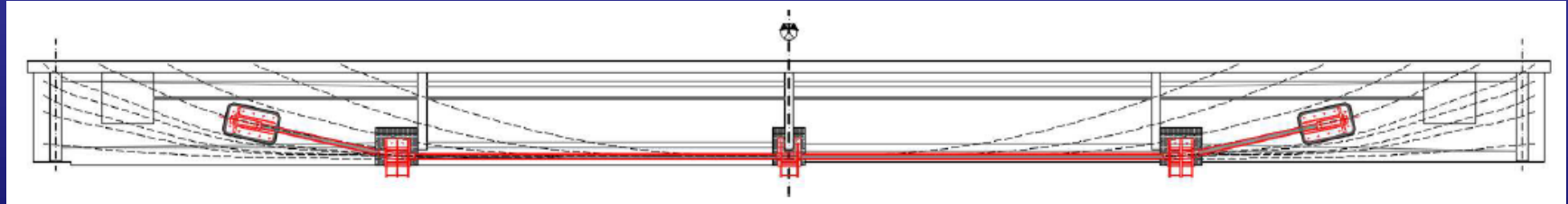
Viadotto a cavi scorrevoli

L'intervento

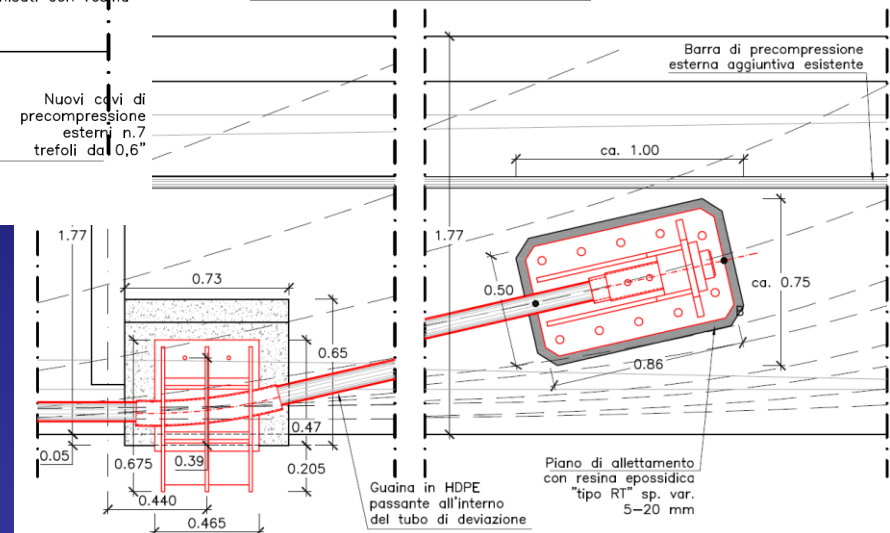
<u>Provvedimento</u>	<u>Effetto</u>
Applicazione di precompressione esterna con cavi di trefoli ad andamento trilatero su n. 4 travi	Ripristino della precompressione persa
Sostituzione dei dispositivi di appoggio	Ripristino della funzionalità degli appoggi
Ripristini superficiali su travi, soletta, spalle e pulvini pile e protezione delle superfici esposte.	Ripristino corticale del cls ammalorato e aumento della durabilità
Ripristino smaltimento acque	Eliminazione principale causa degrado

Viadotto a cavi scorrevoli

L'intervento



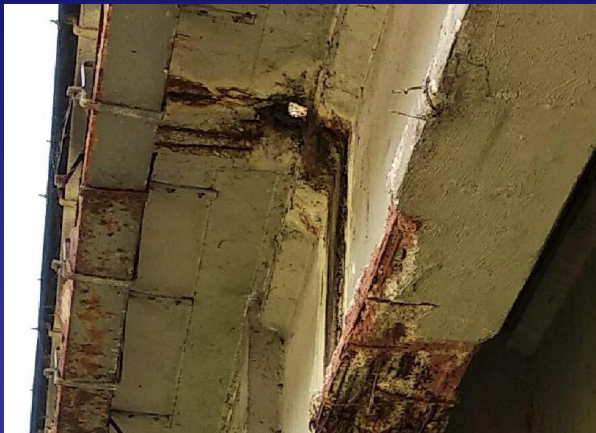
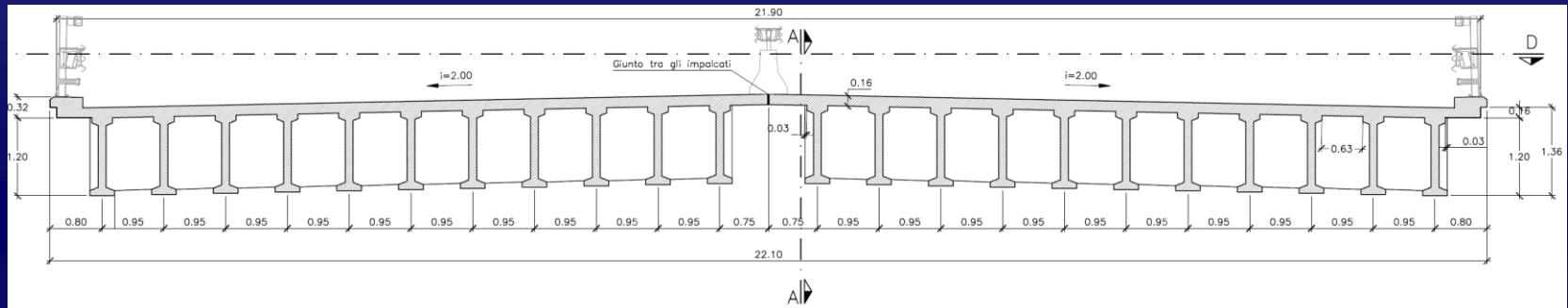
PROSPETTO CARPENTERIA BLOCCHI DI ANCORAGGIO



Ponte a cavi aderenti

L'opera e il dissesto

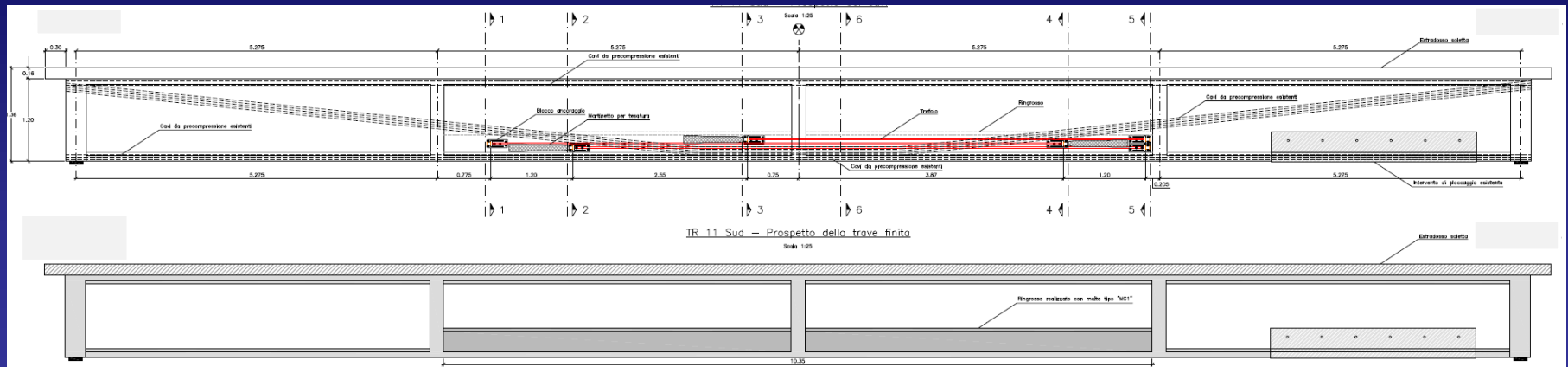
Il manufatto è costituito da un'unica campata di 21,10 m di luce, composta da due impalcati indipendenti che ospitano le carreggiate. Ogni impalcato è costituito da 11 travi precomprese a cavi pre-tesi alte 1,20 m poste ad interasse 0,95 m.



Ponte a cavi aderenti

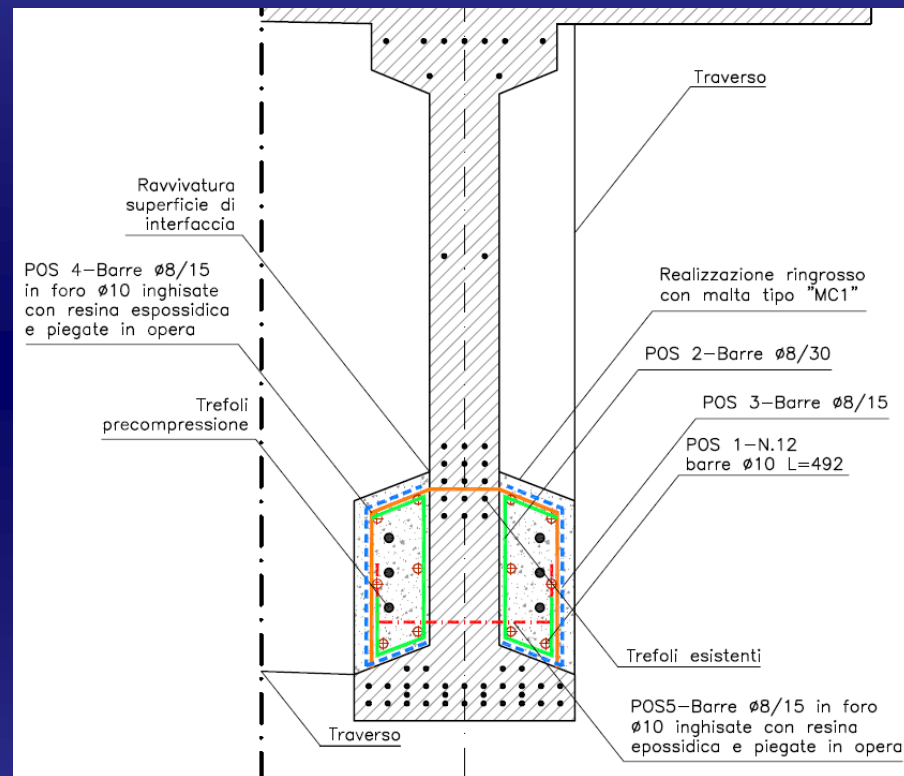
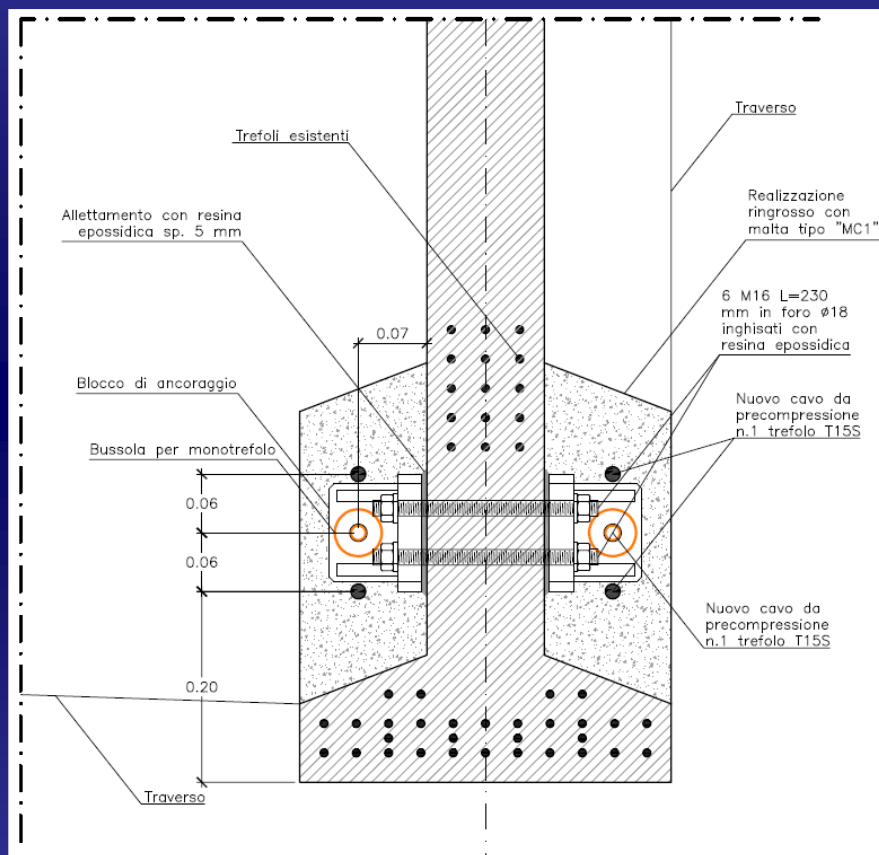
L'intervento

<u>Provvedimento</u>	<u>Effetto</u>
Applicazione di precompressione esterna con singoli trefoli rettilinei resi aderenti su n. 2 travi	Ripristino della precompressione persa
Ripristini superficiali su travi, soletta, spalle e pulvini pile e protezione delle superfici esposte.	Ripristino corticale del cls ammalorato e aumento della durabilità
Ripristino smaltimento acque	Eliminazione principale causa degrado



Ponte a cavi aderenti

L'intervento



Ripristino strutturale passerella Isolotto

(Miglioramento – sostituzione parziale impalcato)

Passerella Isolotto

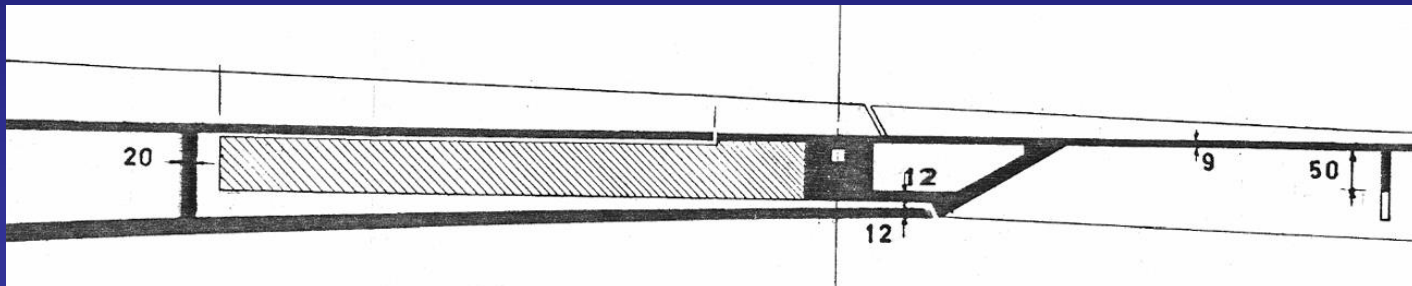
L'opera

La passerella pedonale dell'Isolotto a Firenze è stata inaugurata nel 1962.

Progettata dagli Ing. Carlo Damerini e Vittorio Scalesse, collega il quartiere Isolotto con il parco delle Cascine, superando l'Arno con un'unica luce di 90 m.

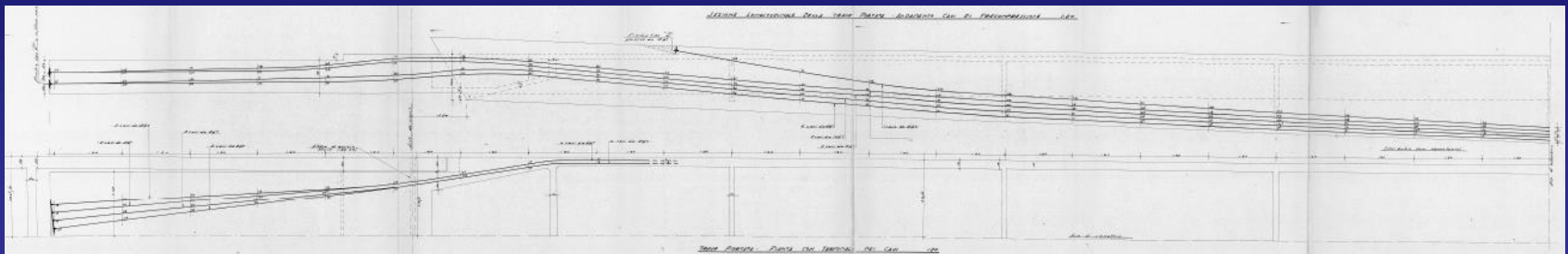
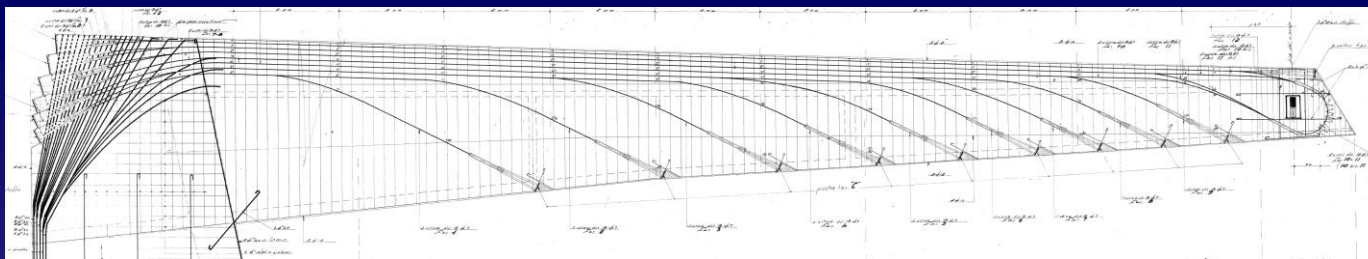


La struttura è in c.a.p. con una campata centrale in semplice appoggio di luce 50,0 m, dotata di contrappesi, sorretta da due mensole laterali a sbalzo di 20,0 m.



Passerella Isolotto

L'opera



Passerella Isolotto

Le indagini

Nel corso del precedente intervento di urgenza era stata condotta una campagna di indagine mirata a verificare:

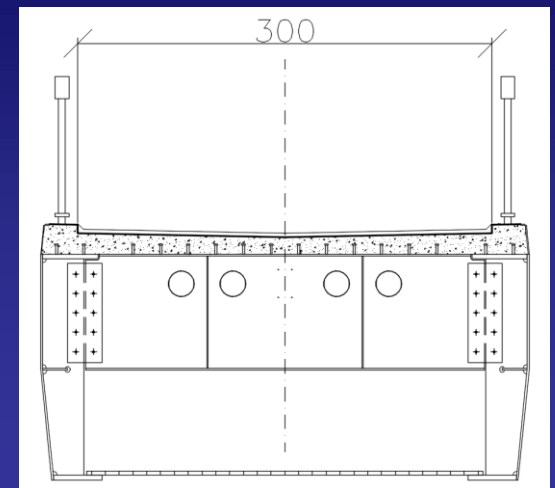
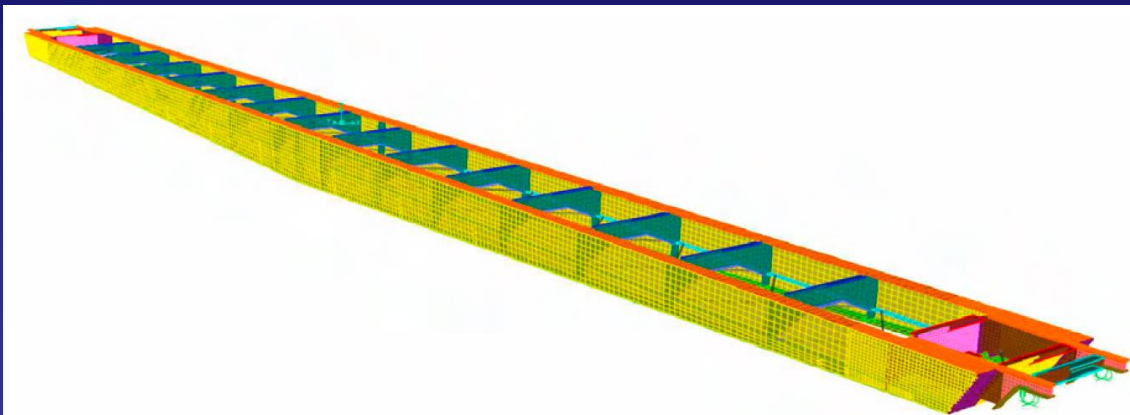
- le caratteristiche meccaniche del calcestruzzo delle mensole
- lo stato di conservazione della precompressione delle mensole



Passerella Isolotto

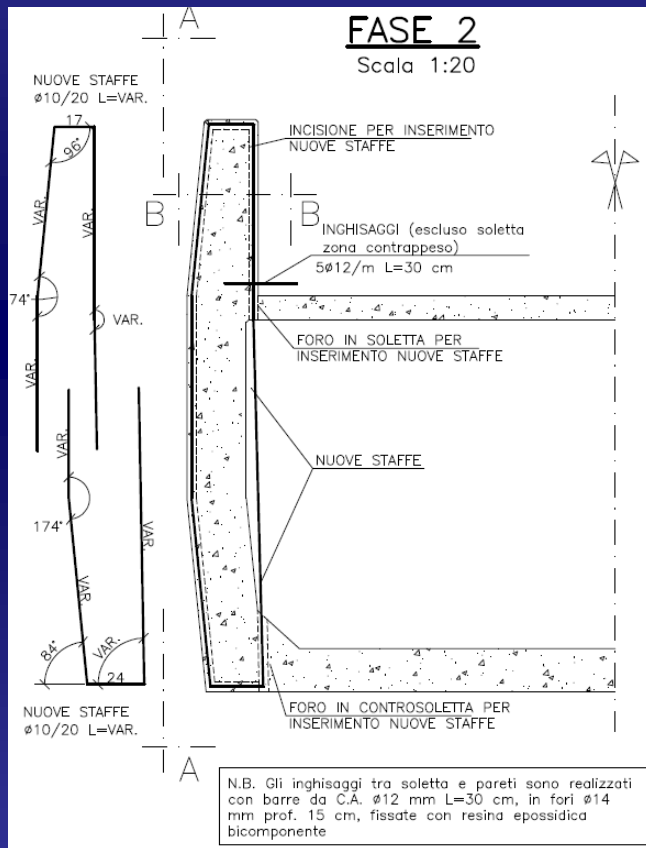
L'intervento

<u>Provvedimento</u>	<u>Effetto</u>
Sostituzione della campata centrale in c.a.p. con una più leggera in acciaio-cls con forma del tutto analoga	Miglioramento: grazie alla riduzione dei carichi permanenti sulle mensole si ottiene la possibilità di trasferire i carichi accidentali delle NTC2008 (5 kN/mq)
Inserimento di isolatori elastomerici	Riduzione delle forze sismiche trasmesse dalla campata centrale
Rinforzo delle mensole esistenti con incamiciature in c.a.	Miglioramento in termini di resistenza e durabilità delle mensole



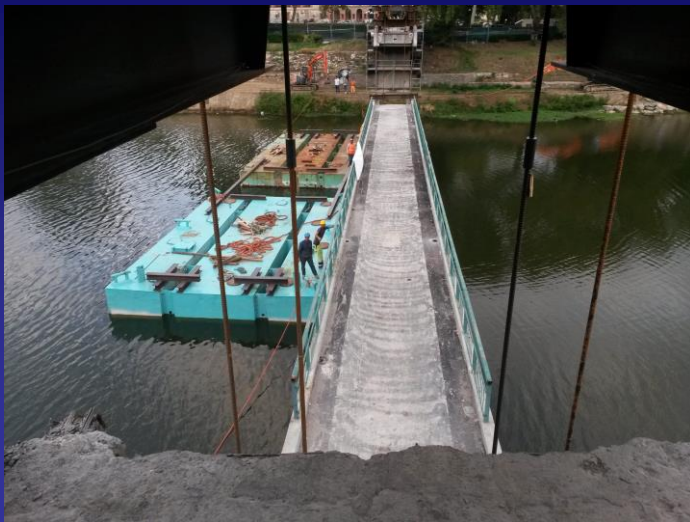
Passerella Isolotto

L'intervento (1° fase – Rinforzo delle mensole)



Passerella Isolotto

L'intervento (II° fase – Rimozione campata esistente)



Passerella Isolotto

L'intervento (III° fase – Varo nuova campata e completamento)



Allargamento e adeguamento del ponte Vezzola (Ricostruzione integrata)

Il ponte Vezzola

L'opera

Il ponte Vezzola sulla S.S.81 Piceno-Aprutina presso Teramo supera l'omonimo torrente con tre archi a tutto sesto in muratura ($L=15,5-14,4-15,5$ m ciascuno) che poggiano su due spalle e due pile interne alte circa 11 m

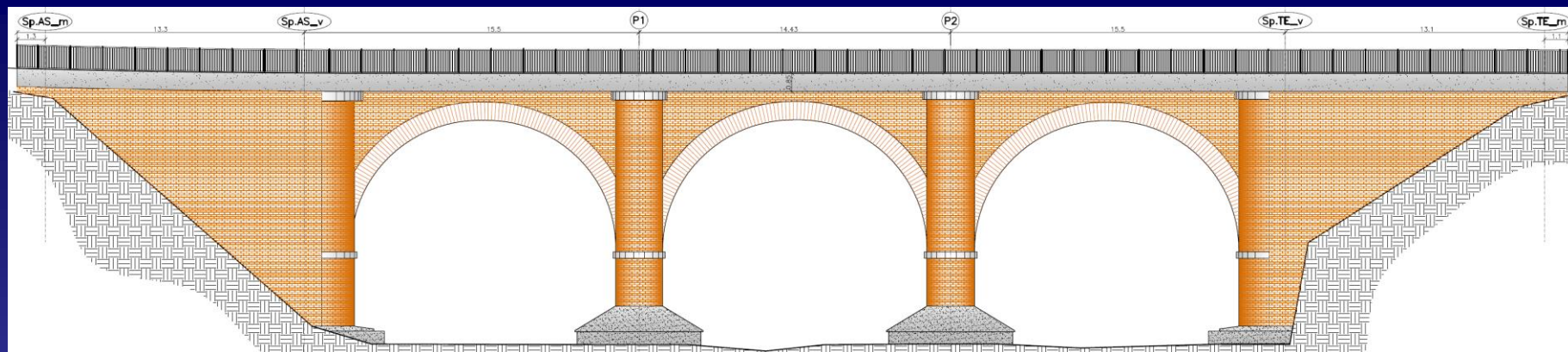
La sede stradale originale era larga 5,11 m (gli archi 6,42 m). L'intervento richiedeva di portare la carreggiata a 9,50 m più due marciapiedi laterali da 1,25 m ciascuno per un totale di 12,0 m di larghezza di piattaforma e l'adeguamento alle NTC2008



Il ponte Vezzola

La campagna di indagine

Le pile a lama sono costituite da un paramento esterno in muratura di laterizio e un riempimento interno in calcestruzzo magro



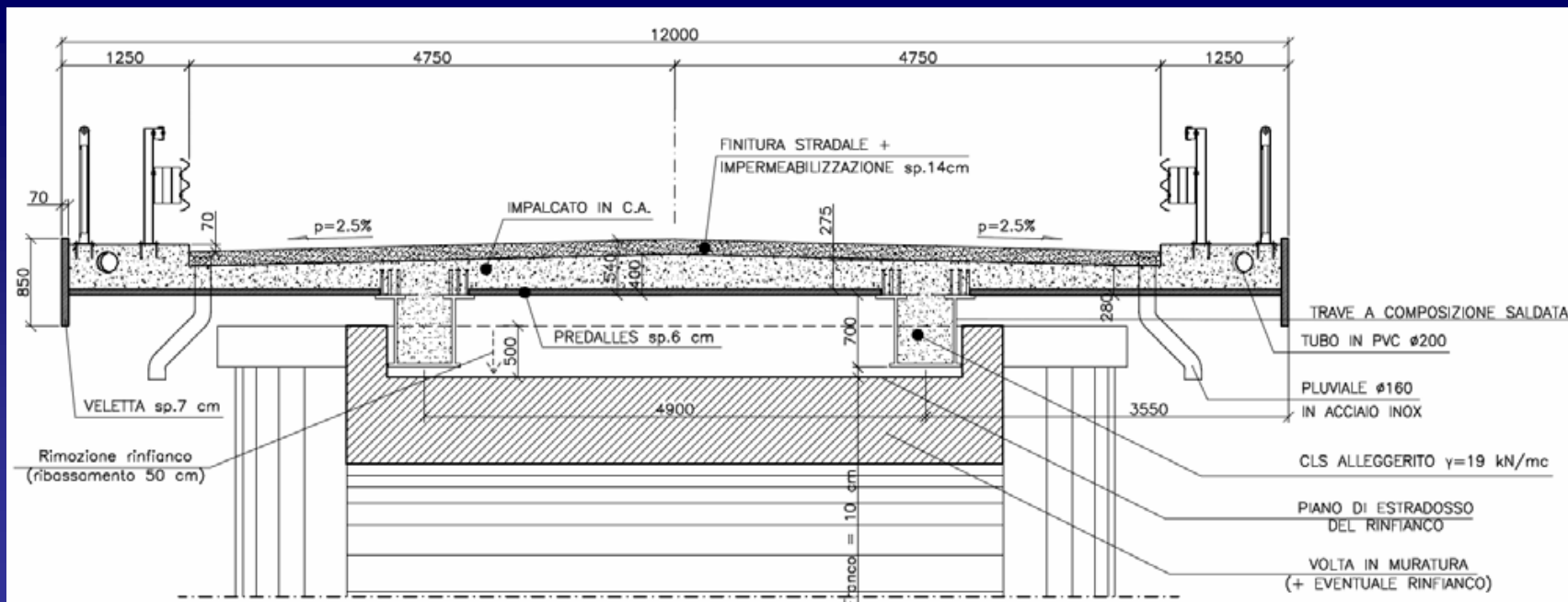
A seguito di un'estesa campagna di indagine si è rilevato che le strutture esistenti (archi e pile) erano insufficienti a sostenere la piattaforma allargata e a fronteggiare le azioni sismiche della normativa vigente (NTC2008)

Il ponte Vezzola

L'intervento

<u>Provvedimento</u>	<u>Effetto</u>
Realizzazione di una campata continua di altezza ridotta e rinforzo delle pile dell'opera esistente	Ampliamento della piattaforma e adeguamento del ponte alle NTC2008

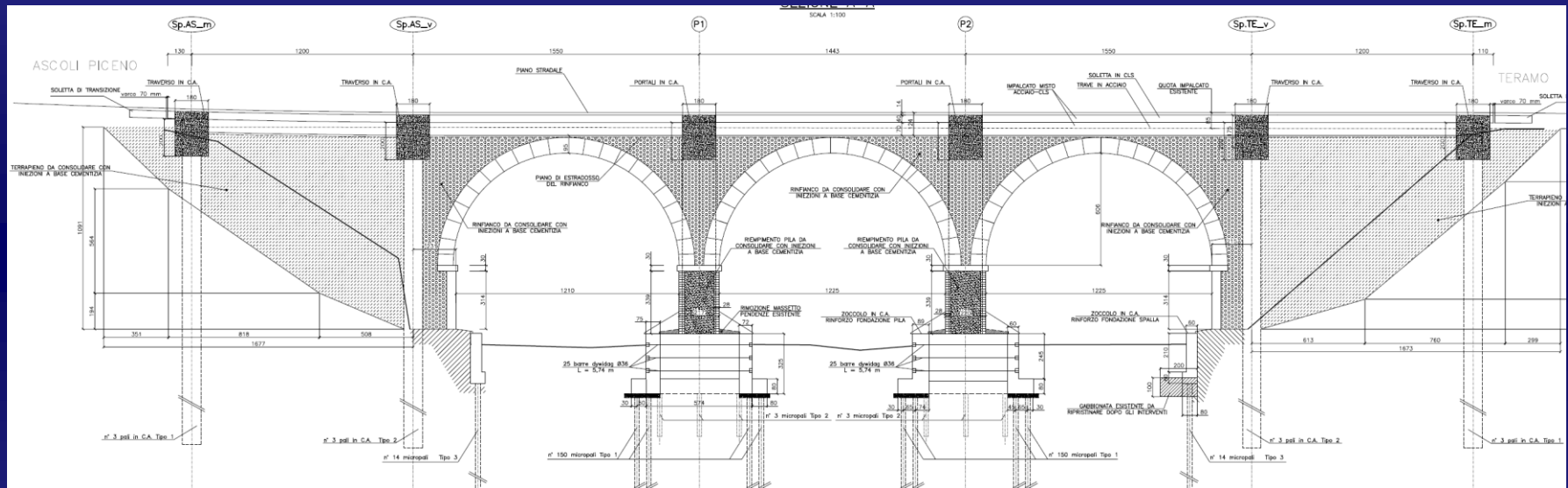
Si è proposto la realizzazione di un impalcato a travata continua con sezione mista acciaio-clt di altezza contenuta che si appoggiasse in corrispondenza di pile e spalle



Il ponte Vezzola

L'intervento

Sono stati adottati due cassoncini metallici aperti, alti 70 cm e completamente inseriti all'interno del ponte esistente, riempiti con cls alleggerito, sui quali sono poste lastre predalles per il getto della soletta d'impalcato.



È stato rimosso parte del rinfianco degli archi e consolidato con iniezioni a base cementizia quello rimanente.

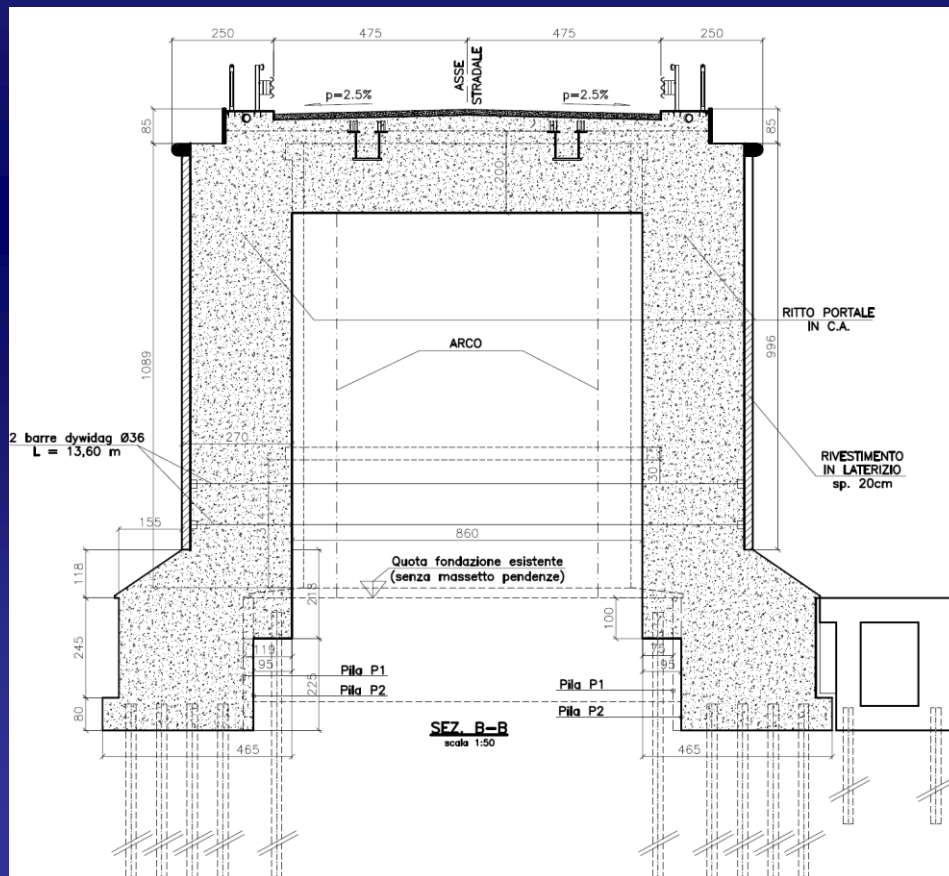
Sono state realizzate n.4 file di n.3 pali $\Phi 100$ in c.a. a tergo delle spalle.

Il ponte Vezzola

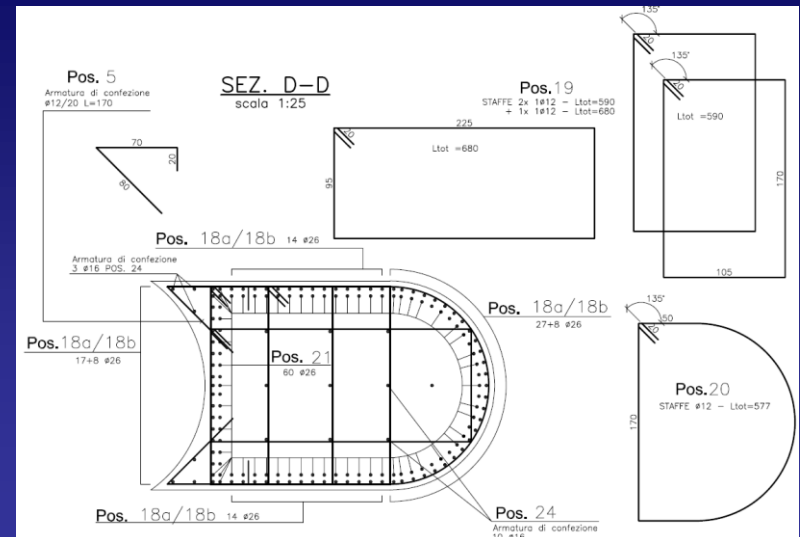
L'intervento

Sono state realizzate nuove fondazioni su micropali (150 micropali per ciascuna pila) per sostenere l'intero carico gravante sulle pile.

Sono stati realizzati dei portali in c.a. in corrispondenza delle pile per trasferire i nuovi carichi direttamente alla nuova in fondazione.

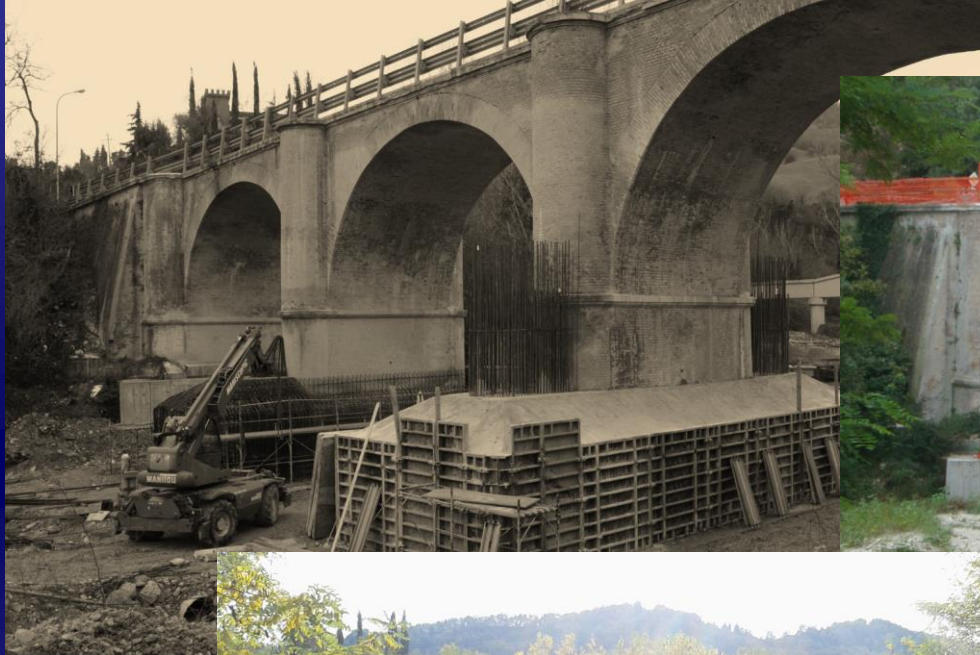


I nuovi portali in c.a. sono stati collegati alla pila esistente per mezzo di barre dywidag. Nuova e vecchia fondazione sono collegate per mezzo di barre dywidag e inghisaggi.



Il ponte Vezzola

L'intervento



Allargamento e adeguamento del ponte Fosso Stregone (Ricostruzione integrata)

Il ponte Fosso Stregone

L'opera

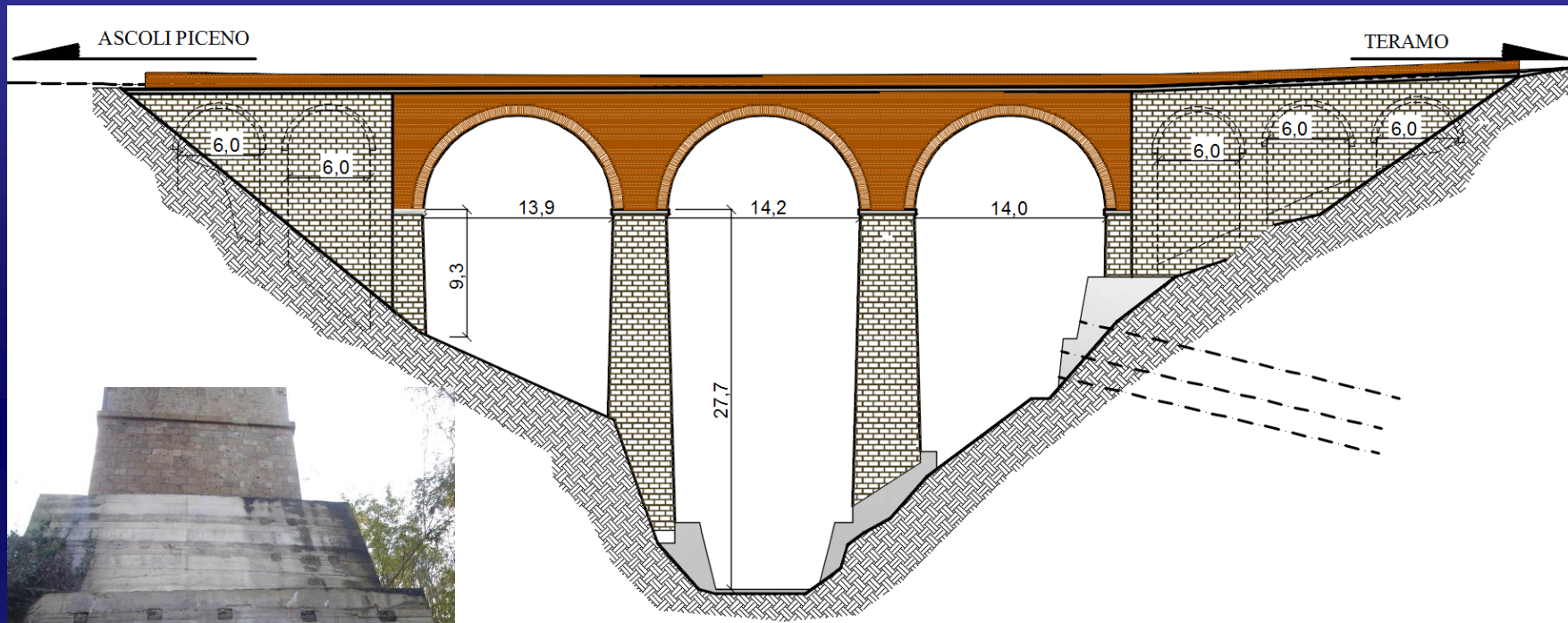
Il ponte Fosso Stregone sulla S.S.81 Piceno-Aprutina in loc. Villa Passo (Civitella del Tronto - TE) supera l'omonimo torrente con tre archi a tutto sesto in muratura (L=ca. 14 m ciascuno) che poggiano su due spalle e due pile interne alte oltre 25 m

La sede stradale originale era larga 5,20 m più i parapetti in muratura. L'intervento richiedeva di portare la carreggiata a 9,50 m più due marciapiedi laterali da 1,25 m ciascuno per un totale di 12,0 m di larghezza di piattaforma e l'adeguamento alle NTC2008



Il ponte Fosso Stregone

L'opera



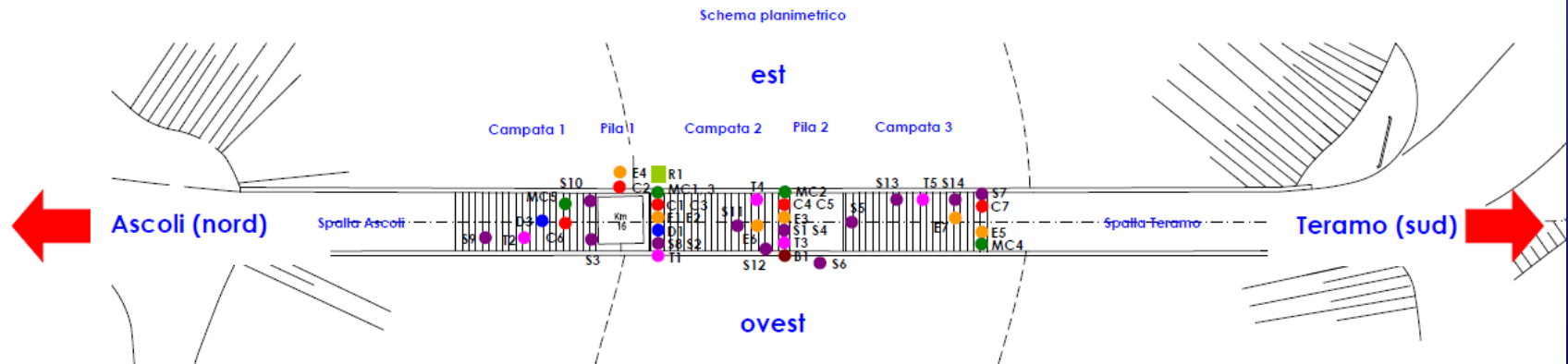
Erano visibili interventi di rinforzo alla base delle pile e della spalla lato Teramo.

È stata eseguita una approfondita campagna di indagine sui materiali e sulla struttura di archi e pile.

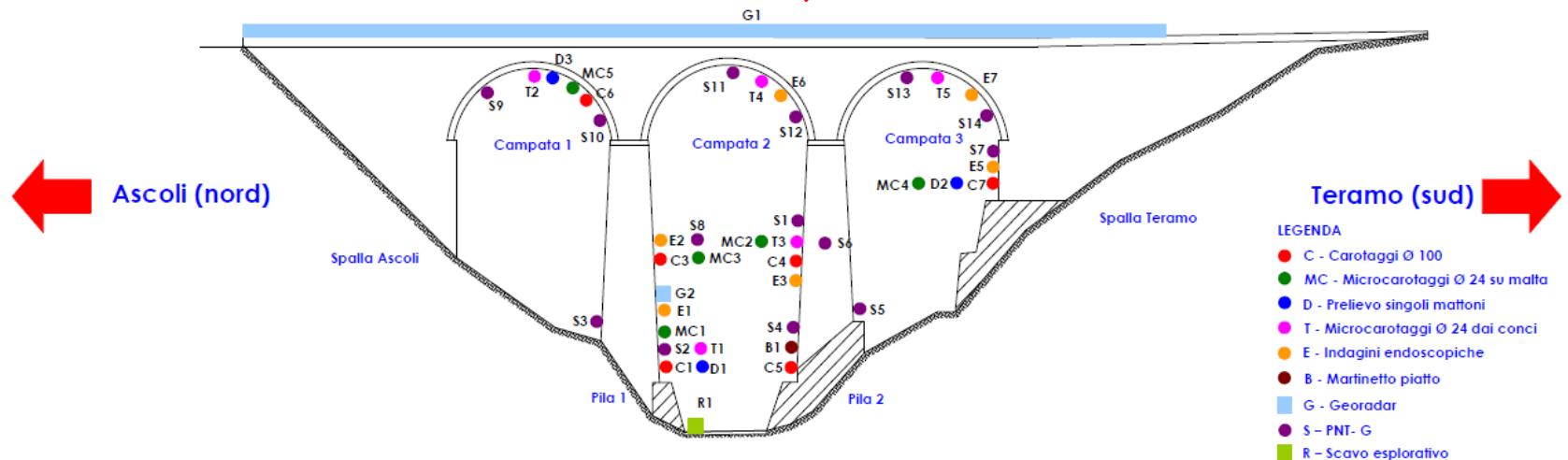
È emerso che all'interno di ciascuna spalla erano presenti ulteriori archi più piccoli.

Il ponte Fosso Stregone

La campagna di indagine



STRUTTURA INSUFFICIENTE A SOSTENERE LA NUOVA PIATTAFORMA ALLARGATA E LE AZIONI SISMICHE DERIVANTI PER DEBOLEZZA DI ARCHI E, SOPRATTUTTO, DELLE PILE



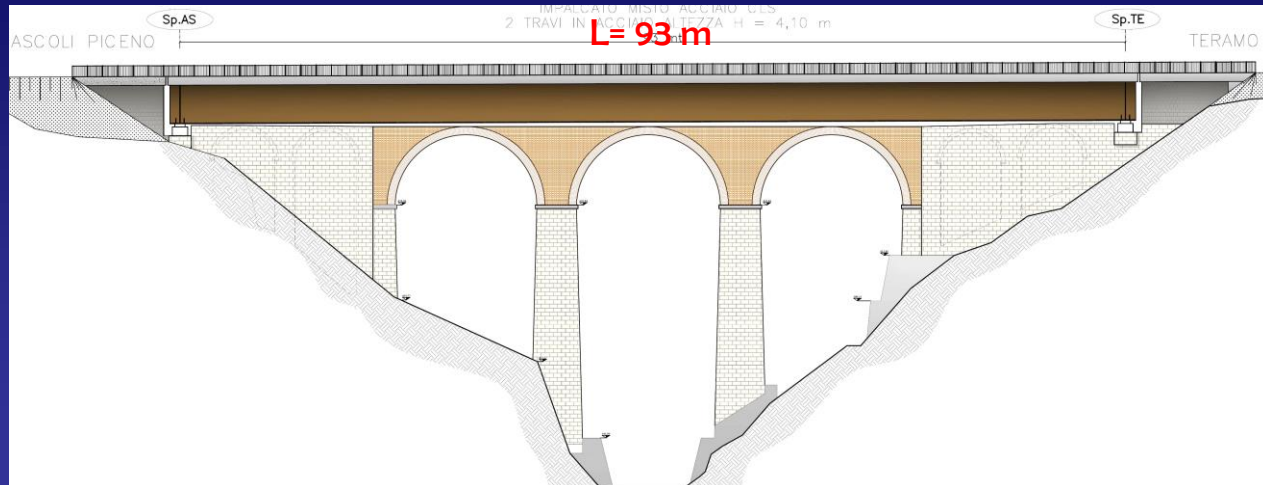
Il ponte Fosso Stregone

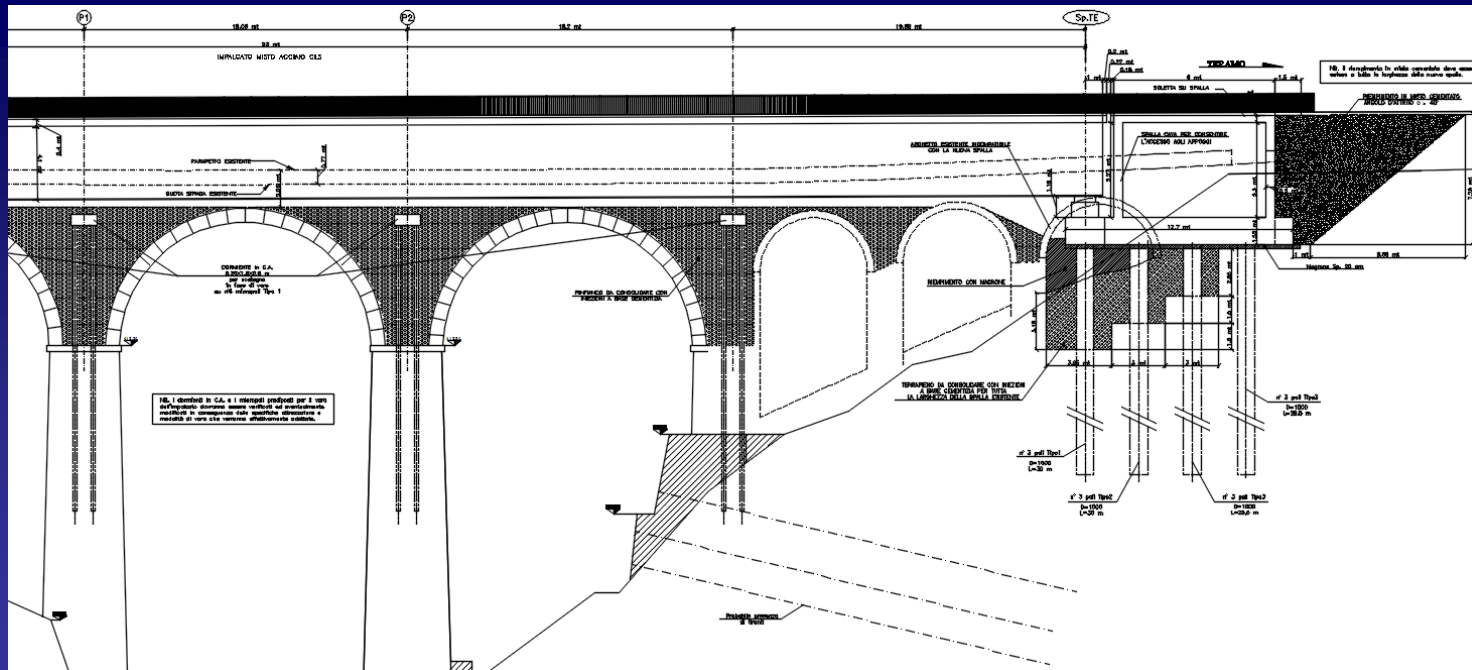
L'intervento

Rinforzo delle pile e delle fondazioni sarebbe stato →

- estremamente impegnativo per l'ambito di intervento
- estremamente oneroso per la pesantezza dell'intervento

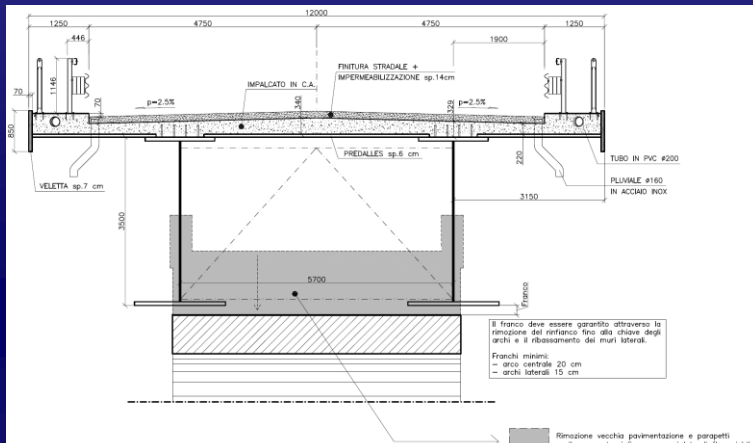
<u><i>Provvedimento</i></u>	<u><i>Effetto</i></u>
Realizzazione di una nuova campata che supera interamente l'opera esistente	Ampliamento della piattaforma e adeguamento del ponte alle NTC2008





L'intervento (II° fase)

- Varo nuova campata con impalcato bitrave in acciaio-cl
- Completamento spalle scatolari e getto soletta impalcato



Cosa fare?

- Un piano Marshall di sostituzione dei ponti?
(prof. A. Occhiuzzi, CNR - ITC)
- È vitale che tutti gli attori comprendano la portata del problema



«La questione dei ponti in Italia»

Personaggi (solo alcuni, in ordine casuale)

- La società*
- La classe politica dirigente*
- Amministrazioni ed enti proprietari*
- I tecnici*
- Le Università*