



**Corso Formativo
DAL TERREMOTO DI MESSINA AL CROLLO DEL PONTE MORANDI
HOTEL BAIJA TAORMINA 7 e 8 Novembre 2019**

Il degrado e i difetti nelle strutture da ponte: analisi e metodi di ripristino

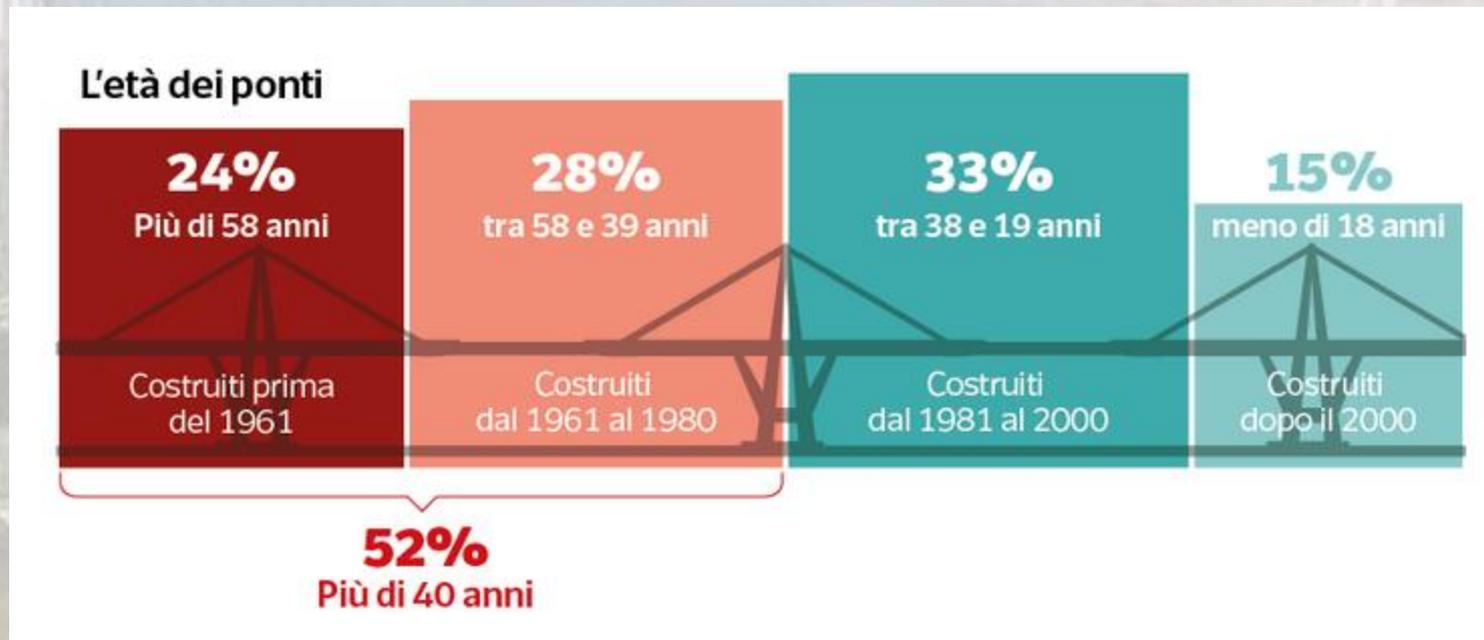
A. Recupero

Con il patrocinio di



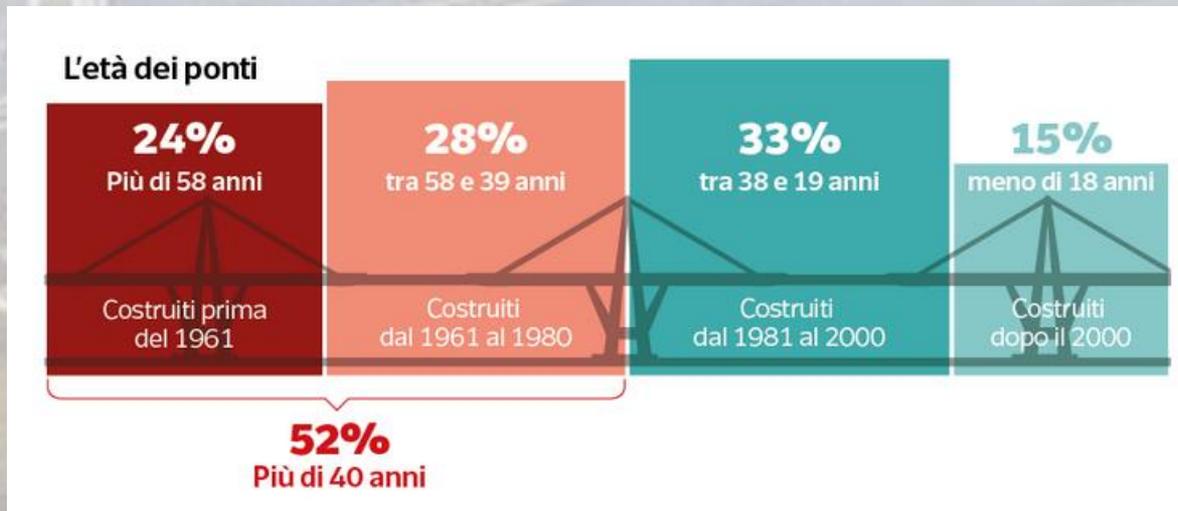
INTRODUZIONE

L'Europa ed in particolare l'Italia possiede un cospicuo patrimonio di opere d'arte che ha più di 40 anni di età (52%).



INTRODUZIONE

Questi ponti per il 85% in c.a. e c.a.p. furono progettati e realizzati in un periodo quando ancora non si tenevano in considerazione i problemi di durabilità e la stima delle azioni, soprattutto quelle sismiche, non era stata così dettagliata come lo è oggi.



An aerial photograph of a large cable-stayed bridge spanning a wide body of water. The bridge features two prominent white pylars on the left and right sides, with numerous stay cables supporting the deck. A large cargo ship is visible in the water below the bridge. In the background, a city skyline is visible across the water. A yellow rectangular box is superimposed over the center of the image, containing the word "CROLLI" in blue, stylized capital letters.

CROLLI

Linea 90 (edizione in abbonamento postale) - Ab. Italia (c.c.p. 2.127181) anno L. 12.250, sem. 5750, tri. 3500 - Estero: anno L. 22.000, sem. 11.250, tri. 5750
REDAZIONE, AMMINISTRAZIONE TIPOGRAFIA TORINO, VIA ROMA 25, Centrale tel. auton. 57.78 - Telex 31.114

LA STAMPA

Inserzioni **PUBBLICITÀ STAMPA** s.p.a. Torino, via Roma 25, tel. 57.78 (15 linee) Milano, via Broletto 7, telefono 735.121 Roma, Largo N. Saverio 5, tel. 066-477 Genova, via 12 ottobre 1961, tel. 595-632
Il giornale si riserva in ogni caso il diritto di rifiutare qualsiasi inserzione

Pubblicazione concessa n. 440 per ann. (semplice e data di riparo con 20%) - Avvisi pubblicitari, Notizie delle Aziende, Ricerche periodiche L. 800 per ann. - Ricorrenze, Legali L. 900 per ann. - Necrologi L. 450 per pagina - Sczi L. 1400 per ann. - Economica: valore rubriche - Abbonamento triennale 25% - Copia arretrata prezzo doppio
Baroni (spec. post. Paesi esteri, con avvisi): *Argentina pag. 90; *Austria sc. 3,5; *Belgio pag. 1,10; *Canada carta 20; *Cina pag. 30; *Danimarca sc. 1,10; *Francia pag. 6,40; *Germania D.M. 0,80; *Giappone sc. 1,10; *Italia sc. 3,5; *Londra pag. 1,10; *Messico pag. 1,10; *Olanda carta 20; *Polonia sc. 4,30; *Portogallo sc. 5; *Spagna pag. 7; *Sudafrica carta 20; *Svezia sc. 1,10; *Svizzera pag. 0,50; *Turchia pag. 7,5; *USA carta 20; *Yugoslavia sc. 1,10

LA LEGGE LI IGNORA

Nessuno in Italia controlla i ponti

La terra che si spalancò sotto i piedi, la voragine che si aprì ad inghiottire, è l'immagine usata dalle città lontane per indicare la più grave maleficenza urbanistica: l'insostenibilità. Si è materializzata, l'immagine, due giorni fa a trenta chilometri da Roma, lungo la strada statale numero 7, più nota col nome di Appia, oltre che con l'appellativo, tanto inusiglioso quanto immeritato, di «regina viarum». Se lungo la regina delle strade nazionali può toccare la sorte che nella notte del martedì a mercatelli di recente sottostava in

mezzanotte. E' quindi un povero tentativo grottesco, e' preferibile, a paragono con la menzogna, il candido scupore di uno dei progettisti, l'architetto Davide Passonuzzi, che ha parlato di «circostanza che direttore dei lavori, vale a dire ingegnere Gilberto Ortensi, che attualmente ha l'ufficio di direttore generale dell'Anas, vale a dire di supremo responsabile delle strade e dei ponti dello Stato. Il tema delle indagini tecniche e giudiziarie è preciso e strettamente delimitato. Saranno le commissioni

quanto successivamente in relazione alla prova, se il manufatto continua a fornire col passare del tempo. Nel caso dell'ente di Artico si è del resto la situazione che ha creato la circostanza che direttore dei lavori, vale a dire ingegnere Gilberto Ortensi, che attualmente ha l'ufficio di direttore generale dell'Anas, vale a dire di supremo responsabile delle strade e dei ponti dello Stato. Il tema delle indagini tecniche e giudiziarie è preciso e strettamente delimitato. Saranno le commissioni

L'incontro tra i sindacati e i ministri

Lo Stato non è in grado di concedere gli aumenti chiesti dai suoi dipendenti

Colombo ricorda gli aggravii provocati dall'alluvione mentre il risparmio pubblico presenta una contrazione sempre maggiore - Le finanze pubbliche non possono essere appesantite senza incidere sulla stabilità dei prezzi, sull'economia e sul livello di occupazione - Il ministro per la riforma burocratica Bertinelli dichiara che il costo dei dipendenti statali compresi i pensionati raggiunge i 3800 miliardi l'anno, più della metà delle entrate dell'Erario - Ora essi chiedono ancora 500 miliardi in 5 anni - Lo Stato per il '67 può dare solo 25 miliardi o poco più, e il bilancio del '68 non consentirà impegni rilevanti - Dopo l'incontro di ieri i pubblici dipendenti sono propensi ad attuare gli scioperi già annunciati

«Nostro servizio particolare»
Roma, 19 gennaio.
Il governo è favorevole ad una soluzione organica e globale dei problemi aperti nel vasto settore del pubblico impiego, amministrativi dello Stato, aziende autonome della ferrovia e delle poste, enti prestatari e locali, insieme con

ministri Colombo, Preti, Finocchiaro, Bertinelli, Scalfaro, Rosso, Spagnoli ed i rappresentanti delle confederazioni sindacali dei lavoratori. Erano presenti: per la Cgil Lama, Fos e Mosca; per la Cisl Sestini, azienda autonoma della ferrovia e delle poste, enti prestatari e locali, insieme con

federati ed i ministri Taviani e Decca per l'assenza dalle quali finanze pubbliche - ha detto Lama - sono reali, ma le riforme essenziali non si possono fare con i risparmi sul bilancio del inventario».

Stato, Crippa e Arzuffo, dopo aver insistito per una equa definizione della riforma e del riassetto, hanno fatto pronun-

decitazioni di stipendio per i provinciali e i dipendenti degli Enti locali. Le organizzazioni degli statali, dei ferrovieri dei posteggiatori, dei provinciali e dei dipendenti degli enti locali si sono riservate di assumere una precisa posizione dopo altri incontri in pro-

Alla Camera il problema della difesa in istruttoria
Roma, 19 gennaio.
(7, 8, 1) La commissione Giustizia della Camera esaminerà la proposta di legge del ministro Rinaldo Ossola sul riassetto del personale militare. La proposta, già approvata

Line 90 (spedizione in abbonamento postale) - Ab. Italia (L. 2.127/19) anno L. 12.250, sem. 5750, tri. 3500 - Estero: anno L. 22.000, sem. 11.250, tri. 5750
REDAZIONE, AMMINISTRAZIONE TIPOGRAFIA: TORINO, VIA ROMA 33, Centrale tel. auto. 57.78 - Telex 31.114

LA STAMPA

Venerdì 20 Gennaio 1967

Interventi "PUBBLICITA' STAMPA" a cura dell'editore, via Roma 33 tel. 57.78-114
MILANO, via Borgognona 3, telefono 709.112
 Roma: largo N. Saraceni 5, tel. 06-6-177
 Genova, via R. Staglieno 100/r, tel. 010-833
 Il giornale si riserva in ogni caso il diritto di rifiutare qualsiasi inserzione

Pubblicità concessa a L. 450 per ann. (escluso il costo di righe con 20%) - Avvisi: 1.000 per ann. - Bollette delle Aziende, Rendite periodiche L. 800 per ann. - Ricambi, Legali L. 900 per ann. - Necrologi L. 450 per ann. - Baroni (spec. per Paesi stranieri con annessi): *Argentina pag. 90; *Austria sc. 3,5; *Belgio pag. 1,10; *Canada carta 20; *Cina pag. 30; *Danimarca sc. 1,10; *Francia pag. 6,40; *Germania D.M. 0,80; *Giappone pag. 1,10; *Italia sc. 2; *Libano pag. 60; *Lituania sc. 1; *Malesia sc. 1; *Nigeria sc. 2; *Olanda sc. 1,10; *Olanda carta 60; *Polonia sc. 4,30; *Portogallo sc. 5; *Svezia sc. 1,25; *Spagna pag. 7; *Sud Africa sc. 1,10; *Sudafrica carta 20; *Svizzera sc. 1,10; *Turchia sc. 1,10; *USA carta 20; *Yugoslavia sc. 1,10

LA LEGGE LI IGNORA

Nessuno in Italia controlla i ponti

La terra che si spalancava sotto i piedi, la voragine che si aprì ad inghiottire, è l'immagine usata dalle città lontane per indicare la più grave maleficenza ferroviaria avvenuta nell'ultimo secolo. Si è materializzata, l'immagine, due giorni fa a trenta chilometri da Roma, lungo la strada statale numero 7, più nota col nome di Appia, oltre che con l'appellativo, tanto inusiglioso quanto immeritato, di «regina viarum». Se lungo la regina delle strade nazionali può toccare la sorte che nella notte del martedì a mercatelli di questo sottobosco ha

mezzanotte. E' quindi un povero tentativo grottesco, e' preferibile, a paragonare con la menzogna, il candido scupore di uno dei progettisti, l'architetto Davide Pacinotti, che ha perduto di vista la circostanza che direttore dei lavori, vale a dire ingegnere di esecuzione, fu l'ingegner Gilberto Ortensi, che attualmente ha l'ufficio di direttore generale dell'Anas, vale a dire di supremo responsabile delle strade e dei ponti dello Stato. Il tema delle indagini tecniche e giudiziarie è preciso e strettamente delimitato. Saranno le commissioni

quanto successivamente in relazione alla prova su il manufatto continua a fornire col passare del tempo. Nel caso del ponte di Ariccia si è del resto la situazione di fatto che ha creato la circostanza che direttore dei lavori, vale a dire ingegnere di esecuzione, fu l'ingegner Gilberto Ortensi, che attualmente ha l'ufficio di direttore generale dell'Anas, vale a dire di supremo responsabile delle strade e dei ponti dello Stato. Il tema delle indagini tecniche e giudiziarie è preciso e strettamente delimitato. Saranno le commissioni

L'incontro tra i socialisti e i democristiani

Lo Stato non è in grado di concedere gli aumenti chiesti dai suoi dipendenti

Colombo ricorda gli aggravii provocati dall'alluvione mentre il risparmio pubblico presenta una contrazione sempre maggiore - Le finanze pubbliche non possono essere appesantite senza incidere sulla stabilità dei prezzi, sull'economia e sul livello di occupazione - Il ministro per la riforma burocratica Bertinelli dichiara che il costo dei dipendenti statali compresi i pensionati raggiunge i 3800 miliardi l'anno, più della metà delle entrate dell'Erario - Ora essi chiedono ancora 500 miliardi in 5 anni - Lo Stato per il '67 può dare solo 25 miliardi o poco più, e il bilancio del '68 non consentirà impegni rilevanti - Dopo l'incontro di ieri i pubblici dipendenti sono propensi ad attuare gli scioperi già annunciati

«Nostro servizio particolare»
 Roma, 19 gennaio. Il governo è favorevole ad una soluzione organica e globale dei problemi aperti nel vasto settore del pubblico impiego, amministratori dello Stato, aziende autonome della ferrovia e delle poste, enti prestatari di servizi, imprese ma-

ministri Colombo, Preti, Finocchiaro, Bertinelli, Scalfaro, Rosso, Spagnoli ed i rappresentanti delle confederazioni sindacali dei lavoratori. Erano presenti: per la Cgil Lama, Fos e Mosca; per la Cisl Sestini, aziende autonome della ferrovia e delle poste, enti prestatari di servizi, imprese ma-

federali ed i ministri Taviani e Decca per l'assenza dalle questioni riguardanti gli enti locali e le aziende municipalizzate. In questa sede saranno approfondite le vertenze degli autotrasportatori e dei dipendenti delle imprese di elettricità e gas.

L'incontro di oggi si è susseguito con l'assenza di alcuni dei servizi. «Le difficoltà della finanza pubblica - ha detto Lama - sono reali, ma le riforme essenziali non si possono fare con i risposti esorbitanti dei lavoratori». Sicuti, Cigno e Armario, dopo aver insistito per una equa definizione della riforma e del suo risanamento, hanno fatto presen-

te di decurtazioni di stipendio per i provinciali e i dipendenti degli enti locali. Le organizzazioni degli statali, dei ferrovieri dei posteggiatori, dei provinciali e dei dipendenti degli enti locali si sono riservate di assumere una precisa posizione dopo altri incontri in pro-

Alla Camera il problema della difesa in istruttoria
 Roma, 19 gennaio. La commissione Giustizia della Camera esaminerà la proposta di legge del ministro Rinaldo Ossola sul problema della difesa in istruttoria. La commissione Giustizia della Camera esaminerà la proposta di legge del ministro Rinaldo Ossola sul problema della difesa in istruttoria.

CROLLO DEL PONTE DI ARICCIA



Il 18 gennaio del 1967 due arcate centrali del Ponte di Ariccia.

Finito di costruire nel 1854.

Il 1967, lo stesso anno del completamento del ponte Morandi.

ALCUNI CROLLI

1967 - in Gran Bretagna, il collasso di una passerella pedonale nell'Hampshire (Bickton Meadows Footbridge). (struttura in cemento armato precompresso del tipo a conci prefabbricati, il cui crollo, dopo pochi anni di servizio, con il solo peso proprio avvenne senza alcun preallarme)



1985 - in Galles, il collasso dell'Ynys-y-Gwas Bridge, un ponte a conci prefabbricati ad unica campata

ALCUNI CROLLI



20 maggio 2000, uno dei ponti pedonali sulla Lower's Motor Speedway nel Concord, North Carolina, crollò ferendo 107 spettatori che abbandonavano il circuito motoristico

Le indagini successive al crollo evidenziarono evidenti segni di corrosione dei cavi di pretcompressione delle strutture prefabbricate in una sezione limitata che era stato oggetto di sigillatura con malta. È stato riscontrato che la malta utilizzata conteneva una quantità molto elevata di cloruro di calcio

ALCUNI CROLLI



Il viadotto S. Stefano S.S. 114 - Messina

ALCUNI CROLLI

Il ponte era uno dei manufatti della SS. 114 Orientale Sicula - Km 11+050, in contrada Mili nel Comune di Messina. Fu progettato dall'Ing. **Riccardo Morandi** nel luglio 1954, ebbe il visto del Cons. Sup. Min. LL. PP. il 31/03/1955 e fu realizzato dall'Impresa Ferrocemento dell'Ing. Mantelli & C. - S.p.A. nel 1956.



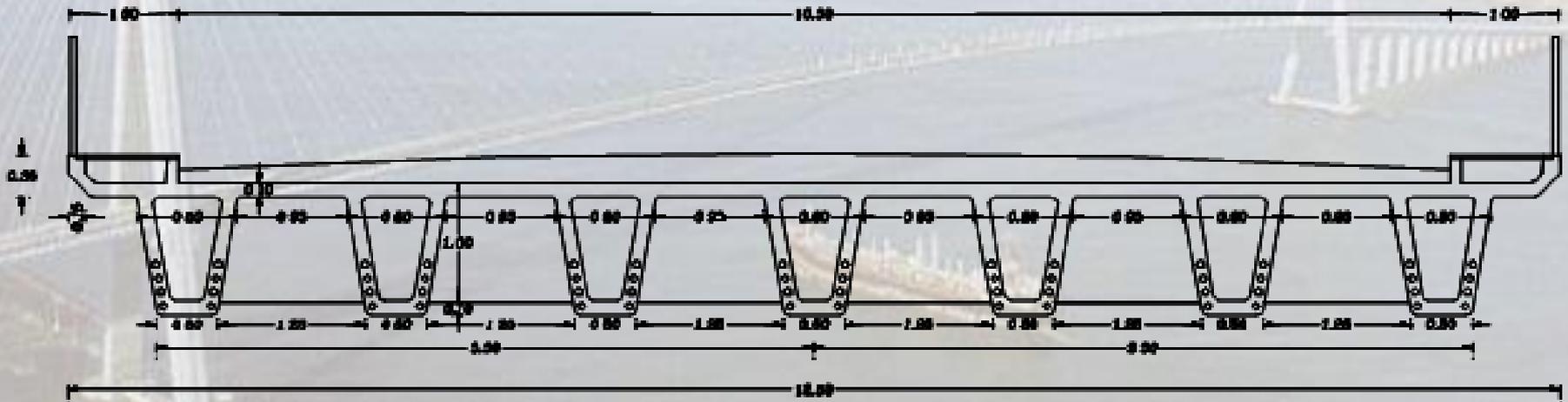
ALCUNI CROLLI

Il ponte era costituito da quattro campate con luci di ml 18.50, poggianti su n° 3 pile e n° 2 spalle, per una lunghezza complessiva dell'opera pari a ml 78.00



ALCUNI CROLLI

La livelletta stradale in prossimità del ponte e sullo stesso era orizzontale. La larghezza della sede viaria era di 10.50 m con due marciapiedi a sbalzo di 1.00 m, per un ingombro complessivo dell'impalcato di 12.50 m.



ALCUNI CROLLI

La precompressione era del tipo a cavi post-tesi e le travi erano realizzate mediante l'assemblaggio a piè d'opera di conci prefabbricati della lunghezza di 1.50 ml.

I fori (\varnothing 40mm) di alloggiamento dei cavi di precompressione erano realizzati in cantiere mediante mandrini sfilabili.

I cavi utilizzati per ciascuna trave erano di due tipi: 6 erano costituiti da 18 fili \varnothing 5mm e 2 da 12 fili \varnothing 5mm.

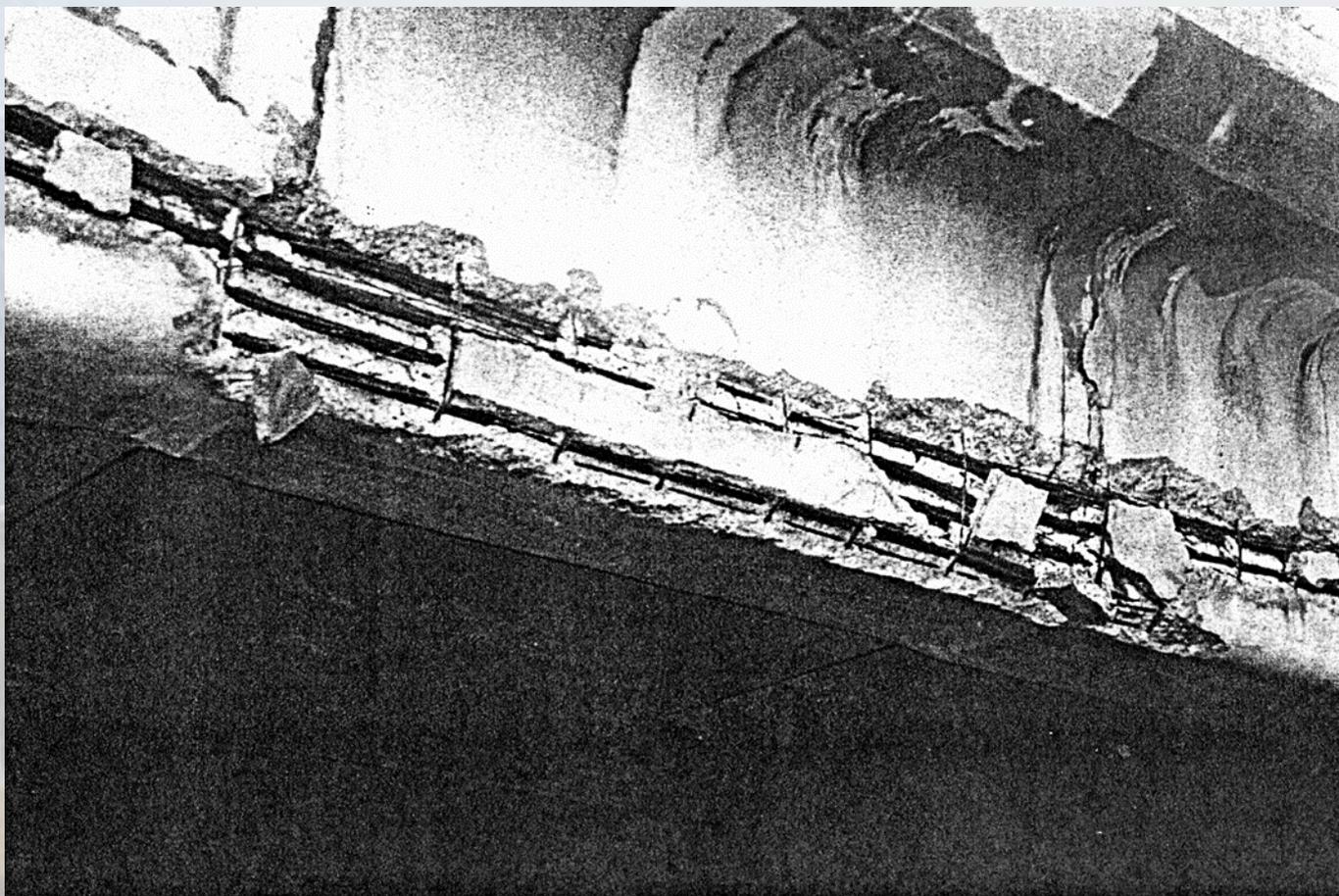
Successivamente all'assemblaggio dei conci, alla realizzazione delle opere in c.a. gettate in opera (traversi e solettina) e alla ritaratura della precompressione, da ambedue le testate si procedeva alla sigillatura dei fori di precompressione mediante iniezione di boiaccia.

ALCUNI CROLLI



La trave lato mare

ALCUNI CROLLI



ALCUNI CROLLI



La trave lato monte

ALCUNI CROLLI

Il Crollo

Dopo quarantatré anni di servizio, il 23 aprile 1999 alle ore 18.00 circa, una delle quattro campate che costituivano il ponte crollò.

Fortunatamente in quel momento non transitava nessun autoveicolo e quindi non si ebbero né morti né feriti.

La rottura avvenne in prossimità della mezzeria della campata interessata.

I cavi di precompressione mostrarono un sostanziale sfilamento dagli alloggiamenti e le sezioni dei fili che li costituivano risultarono ridotte rispetto a quelle nominali

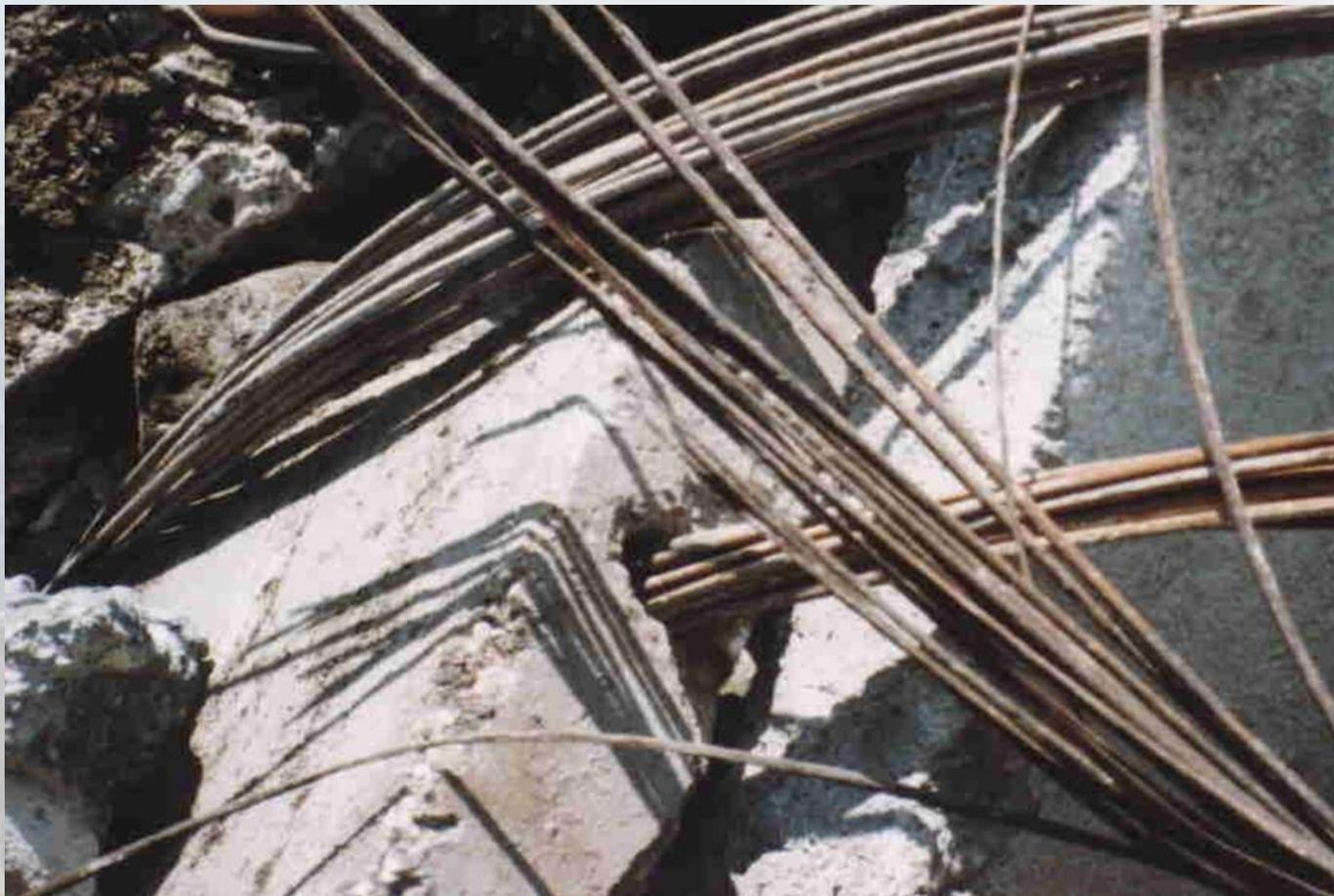
ALCUNI CROLLI



ALCUNI CROLLI



ALCUNI CROLLI



ALCUNI CROLLI



ALCUNI CROLLI



Colajanni, P., Recupero, A., Ricciardi, G., Spinella, N. - Failure by corrosion in PC bridges: A case history of a viaduct in Italy (2016) *International Journal of Structural Integrity*, 7 (2), pp. 181-193

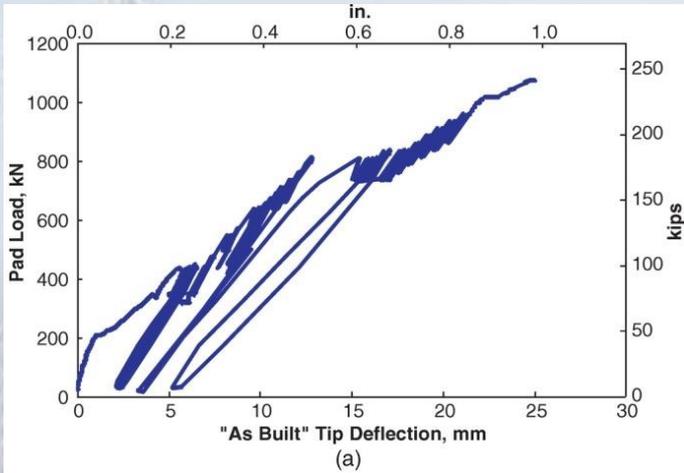
ALCUNI CROLLI

✓ Concorde Overpass, Quebec (30/09/2006)

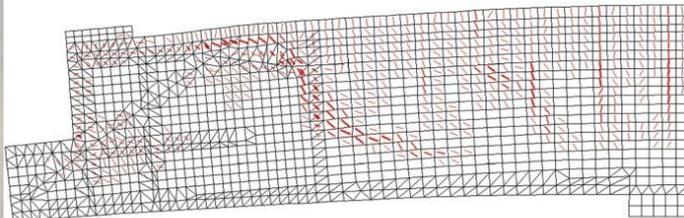
- Costruito nel 1970, crollò dopo i primi quaranta anni in servizio e sostanzialmente solo sotto il peso proprio;
- In questo caso la corrosione dell'armatura fu un fattore non trascurabile nella rottura a taglio;
- Il degrado del calcestruzzo nella regione di collasso fu causato principalmente generato dai cicli di gelo e disgelo in presenza di sali antigelo;
- Il crollo provocò 5 morti.



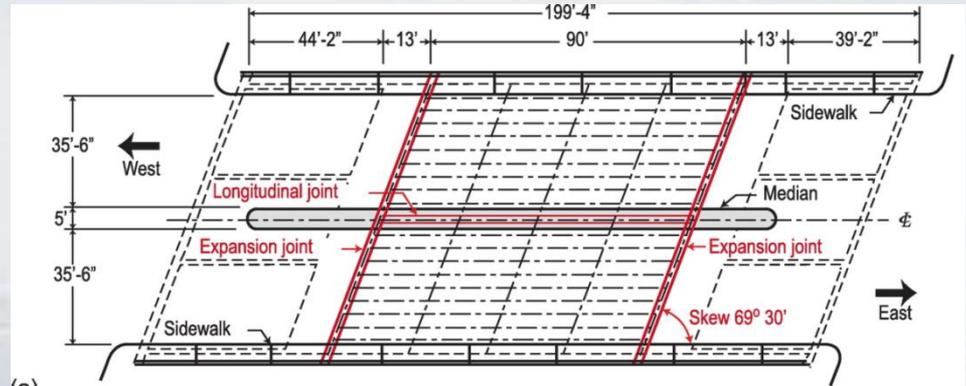
ALCUNI CROLLI



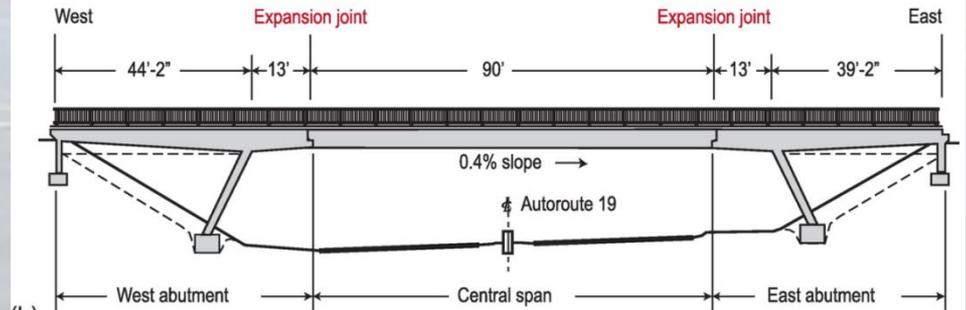
(b)



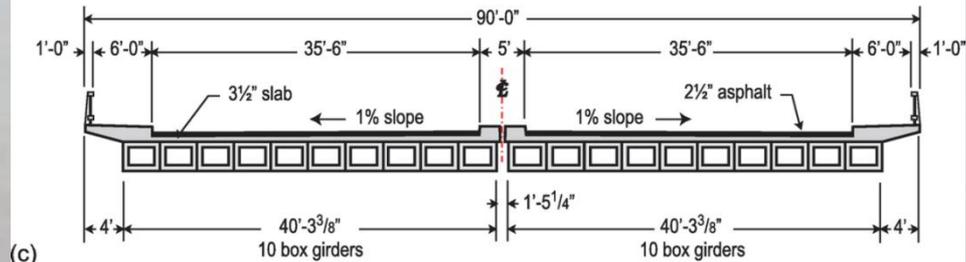
(c)



(a)



(b)



(c)

ALCUNI CROLLI



Concorde Overpass, Quebec (2006)

ALCUNI CROLLI



Viadotto a Licata (viadotto Petrulla) – 07/07 2014

Costruito alla fine degli anni '70.

ALCUNI CROLLI



Viadotto a Licata (viadotto Petrulla)

ALCUNI CROLLI



a) Lamierini dei condotti corrosi;



b) Armatura di precompressione corrosa;

ALCUNI CROLLI

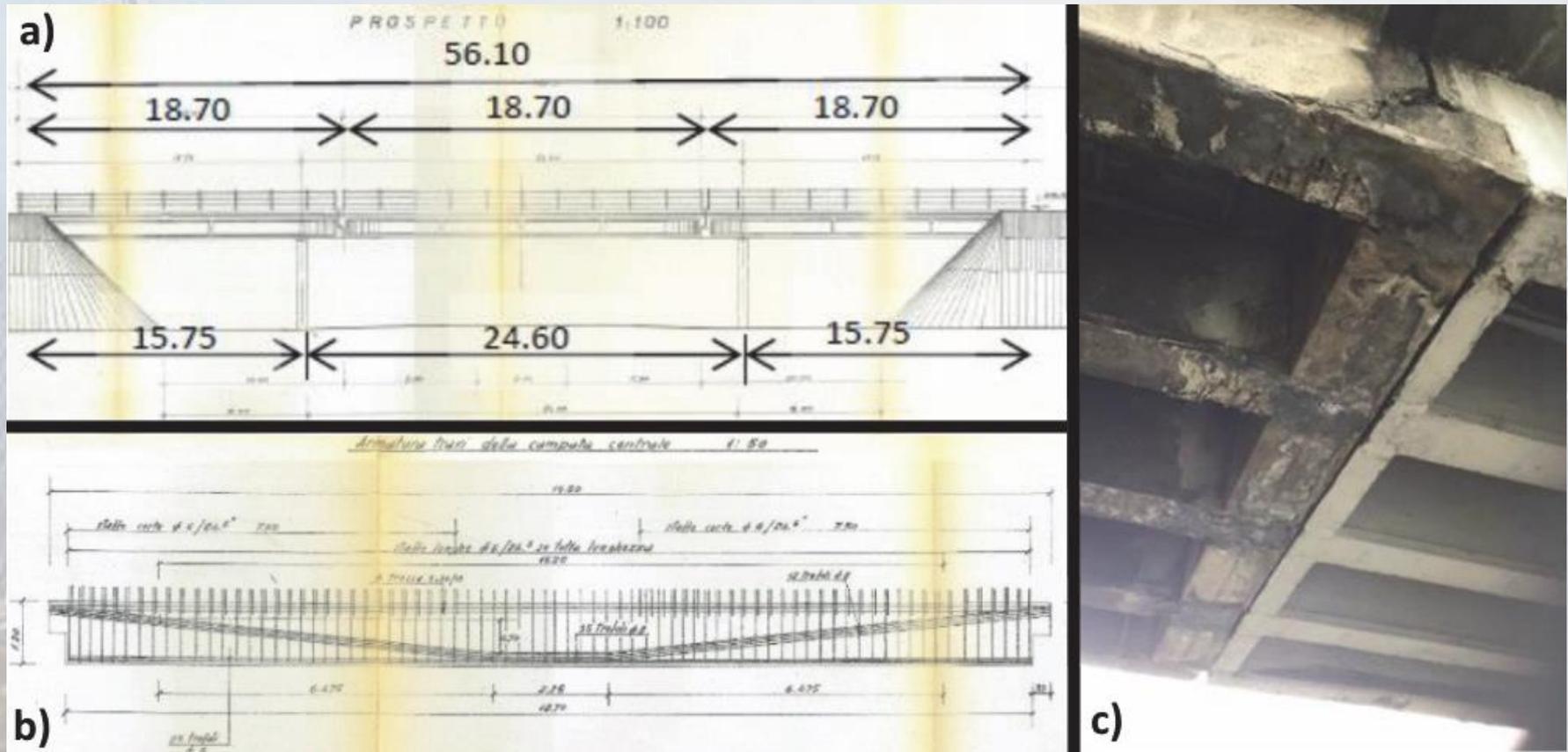
- a) L'indagine, condotta dopo il crollo, ha evidenziato un eccessivo stato di degrado delle armature da precompressione: ossidazione diffusa nei cavi di precompressione, gravi corrosioni della guaina metallica e assenza di intasamento all'interno dei cavi;
- b) L'iniezione di malta fu eseguita senza cura e i tubi di sfiato non furono accuratamente sigillati;
- c) In queste circostanze, l'umidità ha trovato una via preferenziale nei cavi e la sua variazione continua del contenuto ha generato un ambiente aggressivo per l'ossidazione dell'acciaio.

ALCUNI CROLLI



Cavalcavia di Annone (Lecco) - 18/10/2016

ALCUNI CROLLI



(a) schema Geber; (b) armature trave tampone; (c) foto dal basso della sella.

Cavalcavia di Annone (Lecco) - 18/10/2016

ALCUNI CROLLI



(a) Intervento di retrofitting prima del collasso; (b) condizioni della sella prima del collasso; (c) cavalcavia immediatamente dopo il collasso.

Cavalcavia di Annone (Lecco) - 18/10/2016

ALCUNI CROLLI



Cavalcavia a Fossano (CU)

ALCUNI CROLLI



Cavalcavia a Fossano (CU)

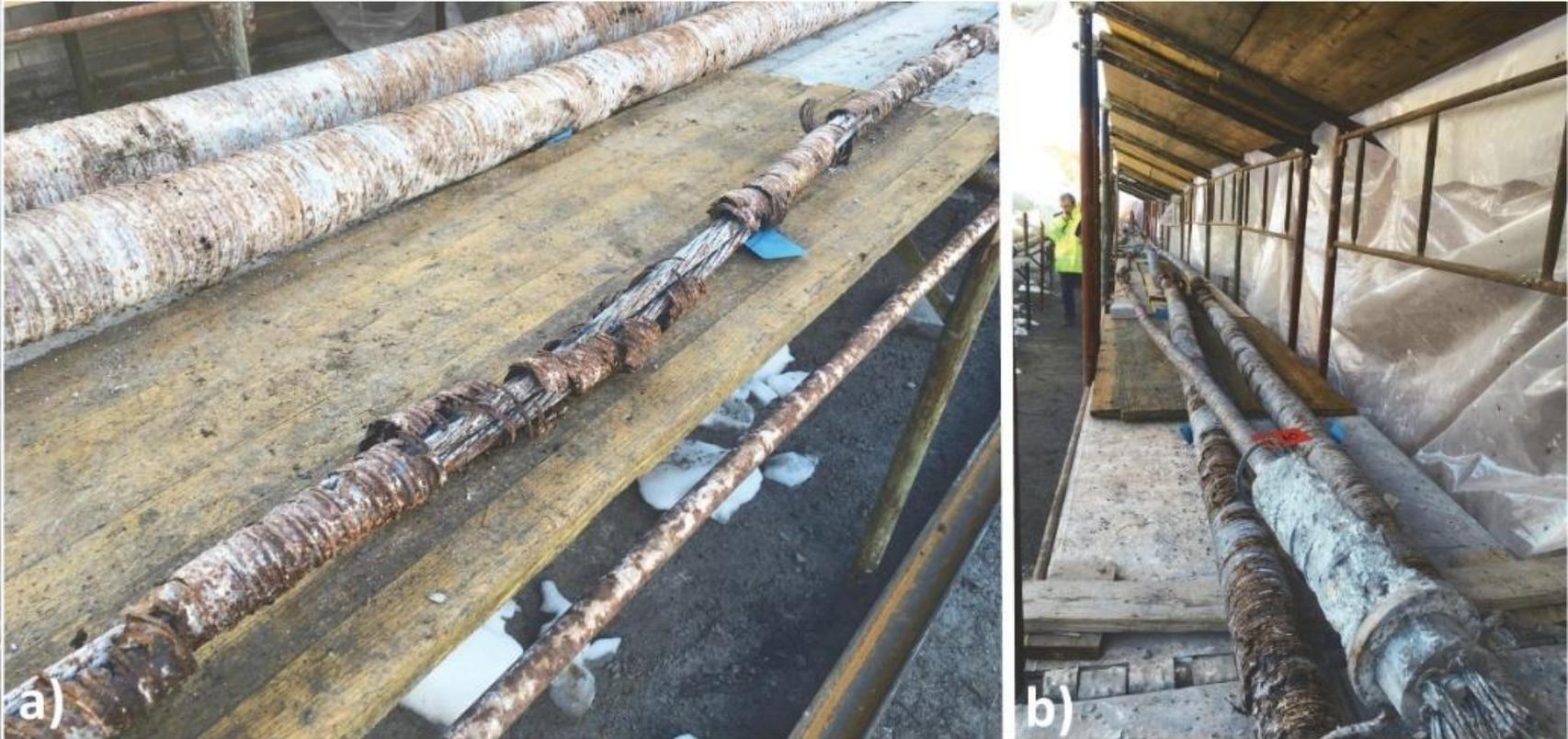
ALCUNI CROLLI

La struttura era una trave semplicemente appoggiata, campata 30,80 m larghezza 8,90 m, costituita da una trave post-tensa bicellulare e da una soletta gettata. La sezione è stata realizzata collegando due elementi a U prefabbricati in calcestruzzo con una chiave di taglio gettata in situ.

In direzione longitudinale, la campata è stato costruito in 3 segmenti, quello centrale lungo 11,50 m quello laterale lungo 9,35 m. La connessione tra i segmenti è stata realizzata da un giunto in calcestruzzo colato in situ largo 0,5 m.

Sistema di post-tensione costituito da 8 cavi parabolici, ciascuno dei quali costituito da 19 fili da 0,8". Il peso totale della struttura era di circa 400 t.

ALCUNI CROLLI



Cavi di precompressione, estratti e analizzati. È possibile notare la correlazione diretta tra contenuto di malta e tasso di ossidazione sia della guaina che dei fili.

ALCUNI CROLLI



ALCUNI CROLLI



An aerial photograph of a large cable-stayed bridge spanning a wide river or bay. The bridge features two prominent white pylars with numerous stay cables. A large cargo ship is visible in the water below the bridge. In the background, a city skyline is visible across the water. A green rectangular box with the word 'SPERIMENTAZIONE' in blue capital letters is overlaid on the center of the image.

SPERIMENTAZIONE

SPERIMENTAZIONE



Università degli Studi di Messina

SPERIMENTAZIONE



Università degli Studi di Messina

SPERIMENTAZIONE



Università degli Studi di Messina

SPERIMENTAZIONE



Università degli Studi di Messina

Test Campaign - January, 2006



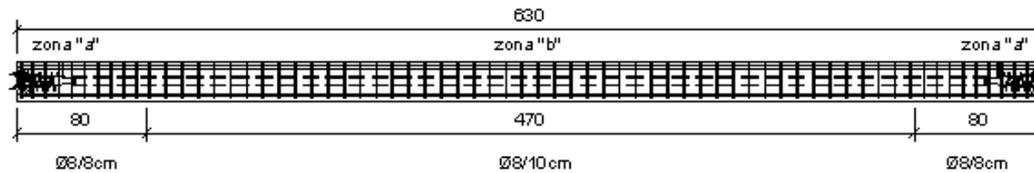
- The research goal was the assessment of damage in PC beams by using dynamic investigation methods
 - 12 PC beams
 - 400 x 250 mm
 - Length 6.30 m
 - 4 strand tendon at centroid level
 - 7-wire 0.6''
 - $f_{us} = 1860$ Mpa

Test Campaign - January, 2006

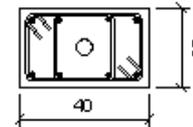
TRAVE T1 (Precompressa 100% - Cavo: 4 trefoli da 0,6")

- Le travi saranno provviste di ganci di sollevamento filettati -

Scala 1:20

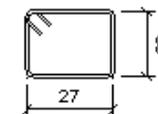
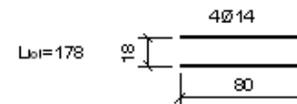
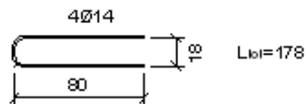


Scala 1:10



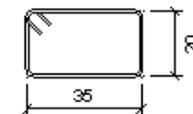
2Ø18

L_{tot} = 625



2Ø18

L_{tot} = 625



SPERIMENTAZIONE



SPERIMENTAZIONE

Specimen	Description	Specimen	Description
T1	No defects. 90% of tendon allowable force (756 kN)	T2	No defects. 45% of tendon allowable force (378 kN)
T3a,T3b	Damaged with a void of 100 mm long, inside of the duct, at 1/2 of the beam length. A chemical solution (a) and an acid (b), respectively, were added to corrode the cross-section of the tendon	T4a, T4b	Damaged with a void, 100 mm long, inside of the duct, at 1/4 of the beam length. A chemical solution (a) and an acid (b), respectively, were added to corrode the cross-section of the tendon



SPERIMENTAZIONE

Specimen	Description	Specimen	Description
T5a, T5b	Damaged with two voids, 100 mm long, inside of the duct, at 1/4 and 1/2, respectively, of the beam length. A chemical solution (a) and an acid (b), respectively, were added to corrode the cross-section of the tendon	T6a, T6b, T6c, T6d	With un-bonded tendon, the duct was subsequently filled with grease injection at 1/6, 1/2 and 5/6 of the beam length, respectively. The empty parts were damaged by four family of molds, a specimen for each mold family considered

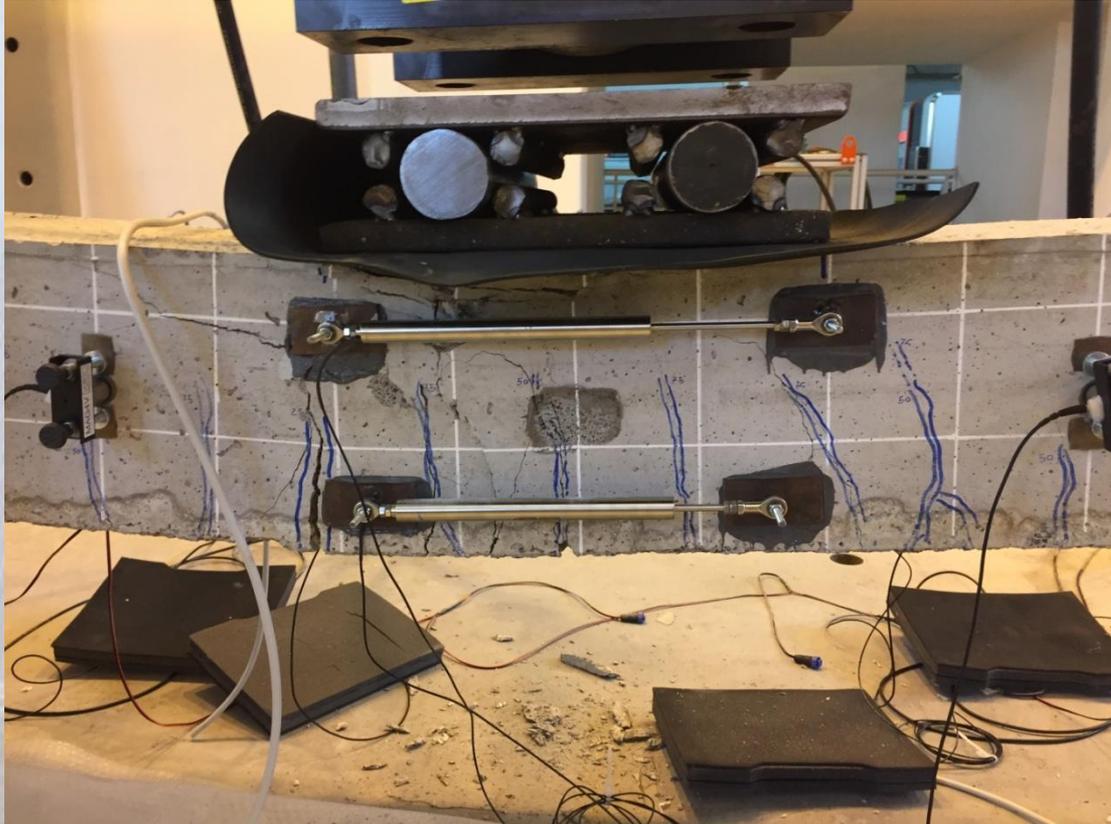


SPERIMENTAZIONE

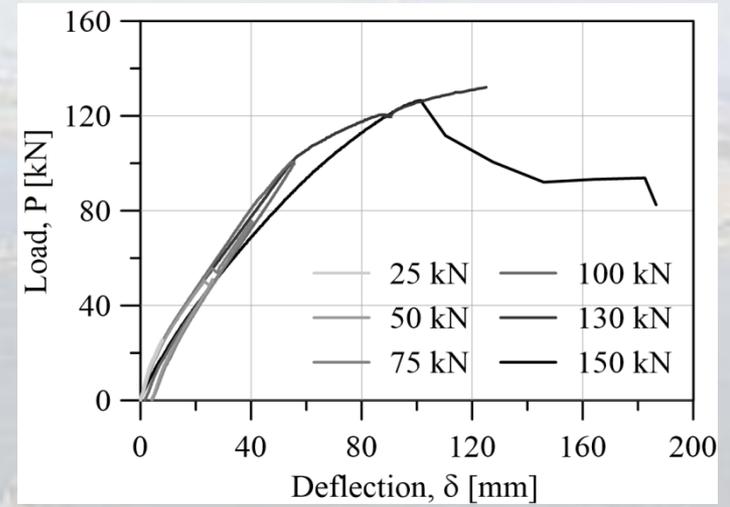
- After the non-destructive tests, specimens were stored in the lab for 12 years
- Last June, a destructive tests campaign has started and it is involving 6 beams



SPERIMENTAZIONE

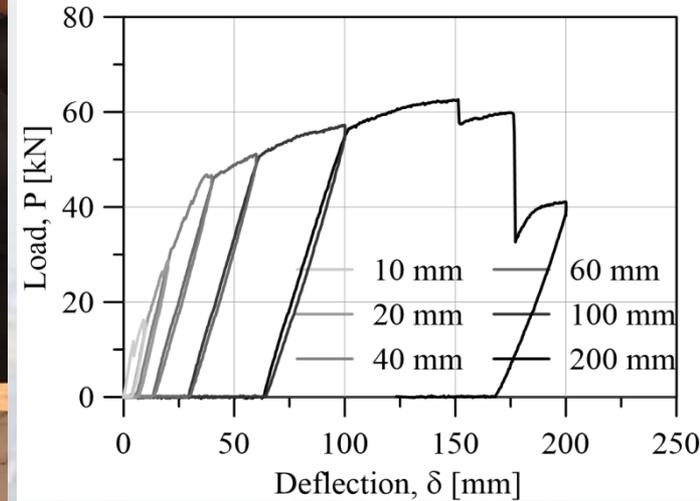


T1



✓ Force control

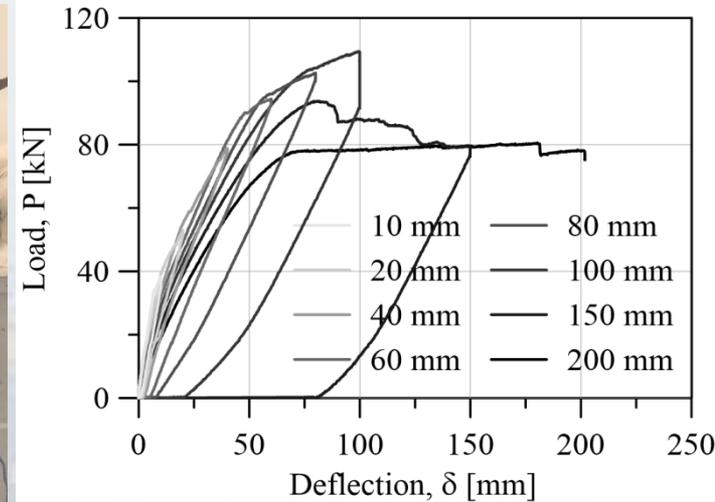
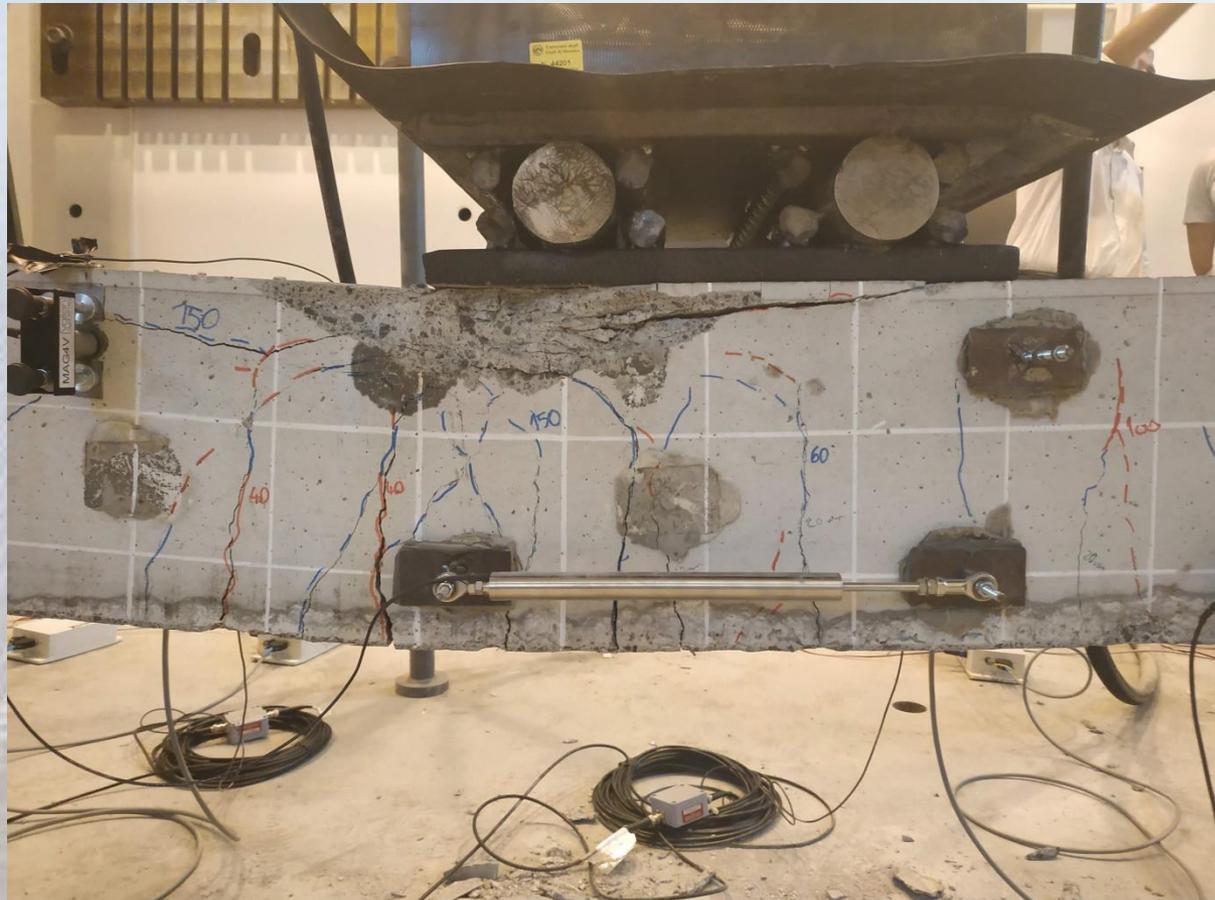
SPERIMENTAZIONE



- ✓ Displacement control
- ✓ Chemical solution of thiocyanates and chlorides

T4a (1 void at 1/4 L – chemical sol.)

SPERIMENTAZIONE



- ✓ Displacement control
- ✓ The duct was filled with grease at 1/6, 1/2 and 5/6 L

T6b (grease at 1/6, 1/2 and 5/6 L)

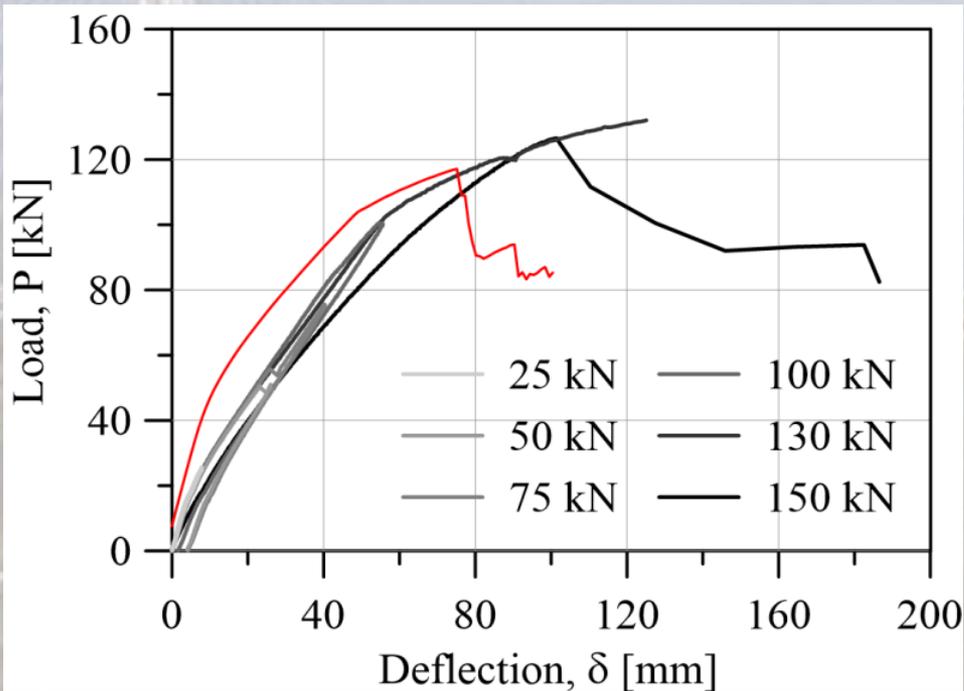
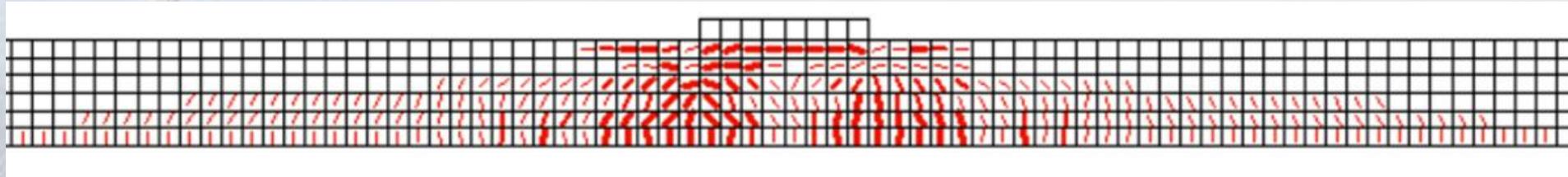
Modeling

- Finite Element Model based on the Modified Compression Field Theory (MCFT) – (*Vecchio and Collins, 1986*)
- VecTor2 (first attempts)



SPERIMENTAZIONE

Modeling



- The **numerical** curve is **steeper** than the experimental one

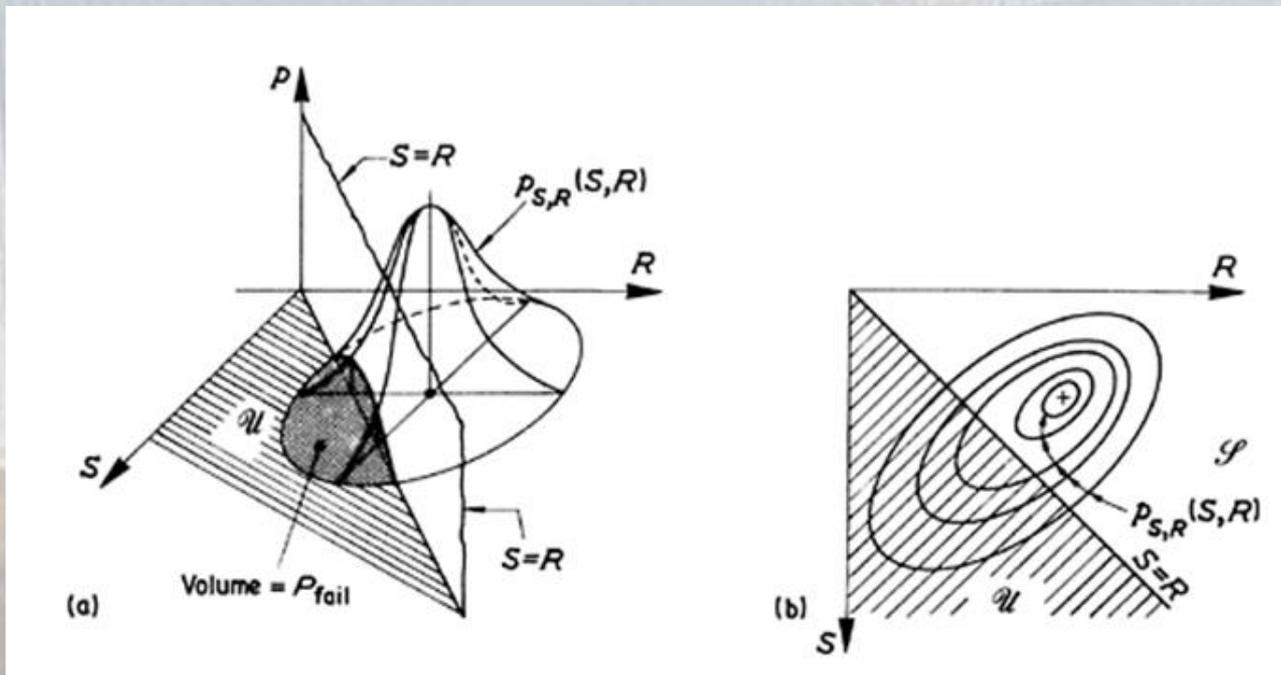
An aerial photograph of a large cable-stayed bridge spanning a wide river or bay. The bridge features two prominent white pylons with numerous stay cables. A large cargo ship is visible in the water below the bridge. In the background, a city skyline is visible across the water. A yellow rectangular box is overlaid on the image, containing the text 'LA SICUREZZA' in blue, bold, uppercase letters.

LA SICUREZZA

LA SICUREZZA

Probabilità di crisi

La probabilità di crisi deve essere calcolata mediante la funzione densità di probabilità congiunta (JPDF = joint probability density function) delle due variabili aleatorie S ed R .



LA SICUREZZA

Probabilità di crisi

In questo diagramma la probabilità di crisi corrisponde al volume di crisi, indicato in grigio scuro nella figura precedente.

Risulta quindi

$$P_F = \iint_{[S \geq R]} P_{S,R}(S,R) dS dR = \int_0^\infty dS \int_0^S P_{S,R}(S,R) dR$$

LA SICUREZZA

Probabilità di crisi

Il problema della sicurezza strutturale consiste nel calcolare la probabilità di crisi e di fare in modo che essa si mantenga al di sotto di un valore ε fissato dal legislatore, corrispondente a una soglia di rischio accettato. Questo valore dipende dalla destinazione d'uso della costruzione e dal numero delle persone che la utilizzano contemporaneamente.

Deve quindi essere

$$P_F < \varepsilon$$

LA SICUREZZA

Probabilità di crisi

Per determinare un valore adeguato di P_F è stata proposta la relazione seguente:

$$P_F = \frac{\zeta_s V_N}{N_P} \cdot 10^{-4}$$

in cui V_N è la vita nominale della costruzione in anni, N_P il numero medio delle persone all'interno o nelle vicinanze della costruzione e ζ_s un coefficiente (sociale), i cui valori sono indicati nella tabella seguente

LA SICUREZZA

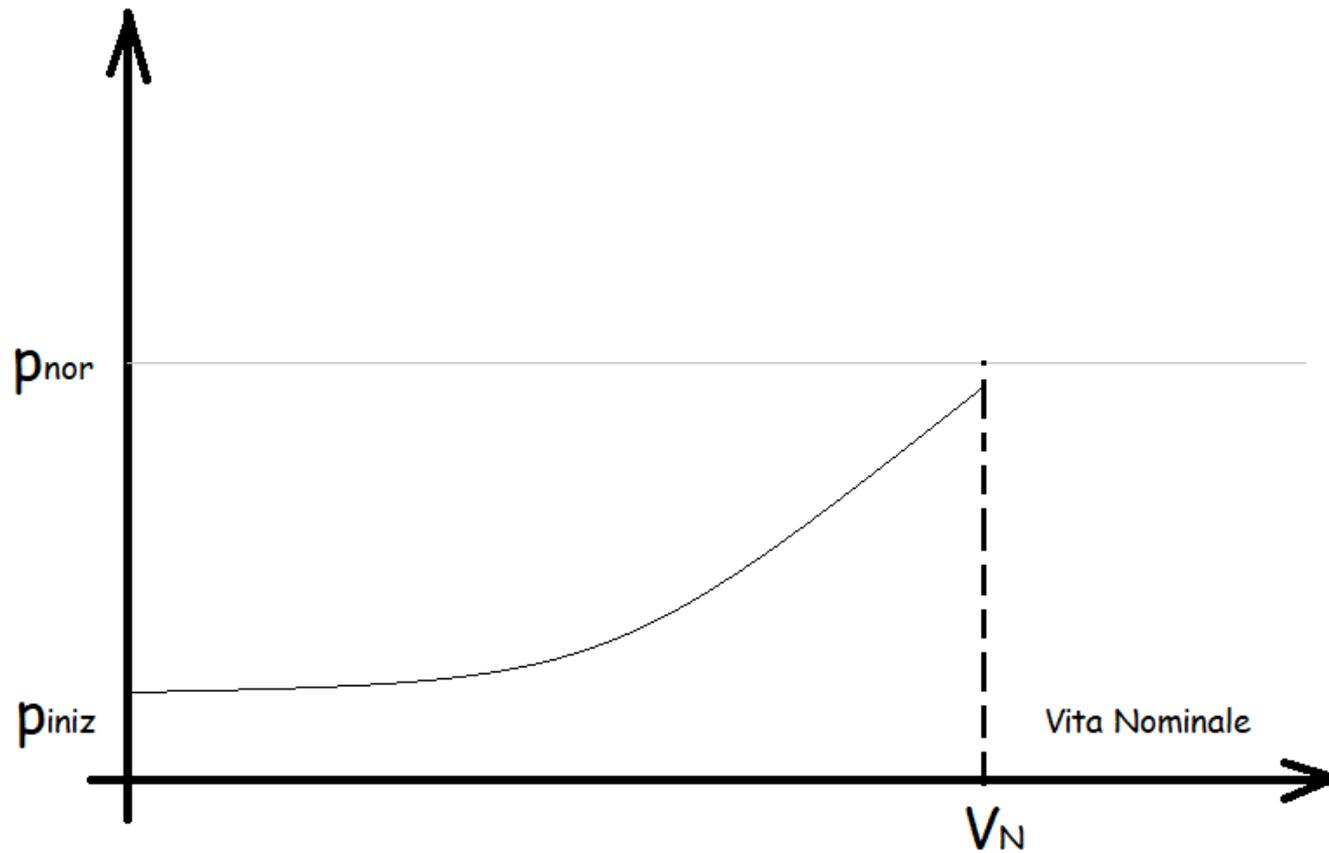
Probabilità di crisi

Tipo di struttura	ξ_s
Luogo pubblico, diga	0.005
Abitazioni, uffici, edifici per il commercio e l'industria	0.050
Ponti	0.500
Torri, strutture offshore	5.000

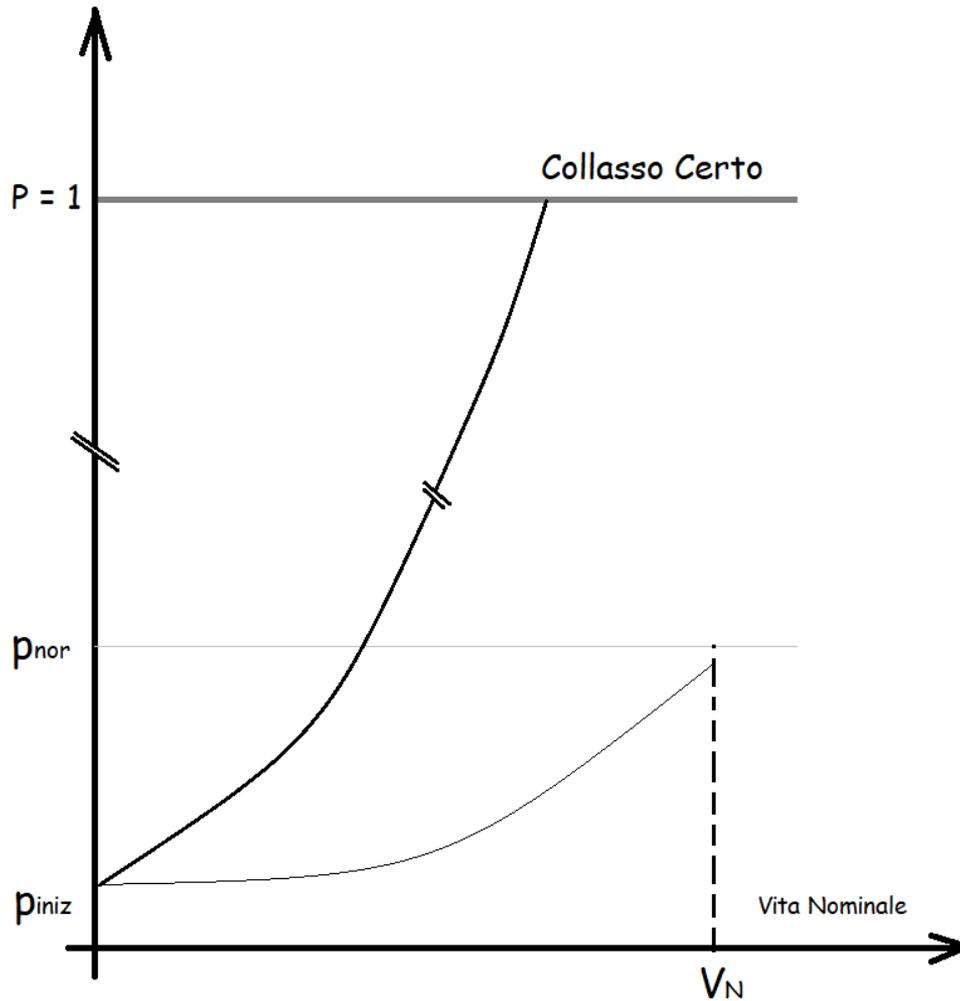
Per la condizione di collasso strutturale, valori tipici di P_F sono compresi tra

$$1 \cdot 10^{-6} \leq P_F \leq 1 \cdot 10^{-5}$$

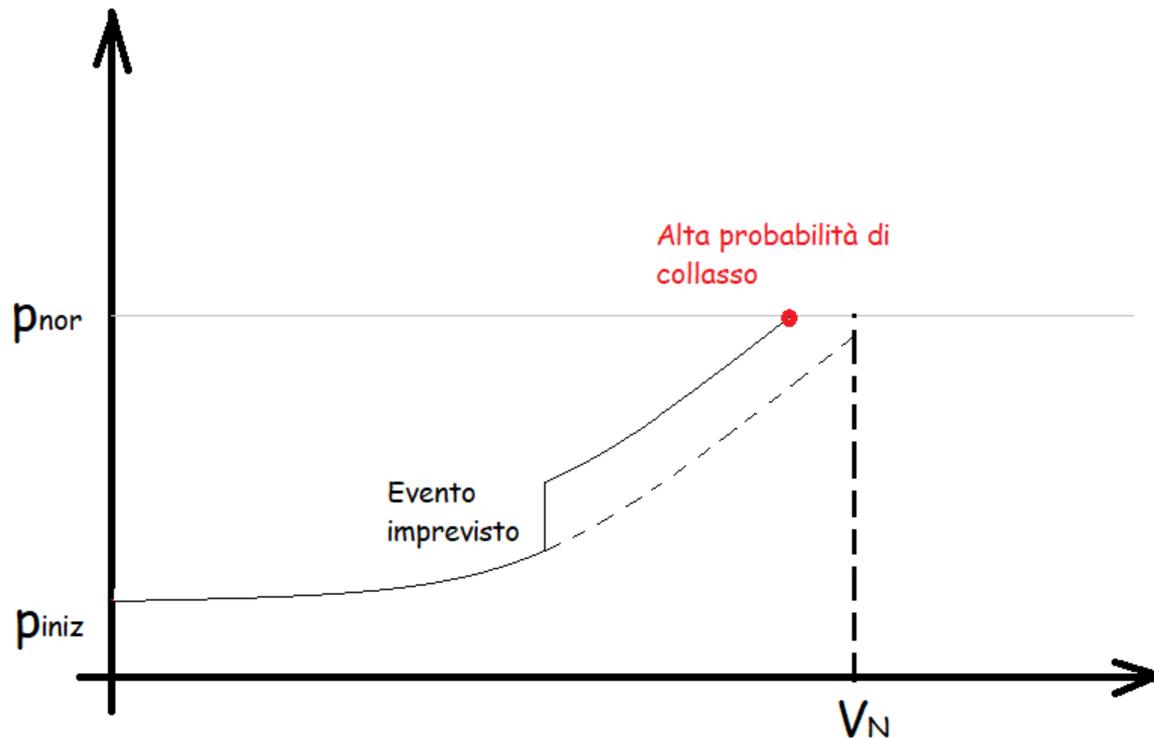
LA SICUREZZA



LA SICUREZZA

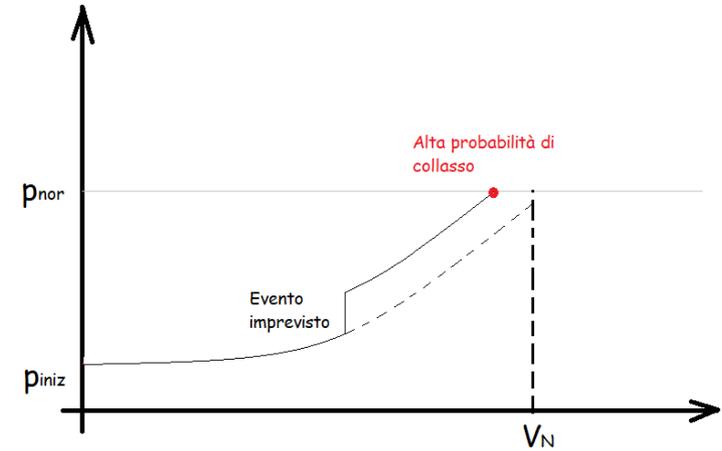


LA SICUREZZA



Evento imprevisto con incremento brusco

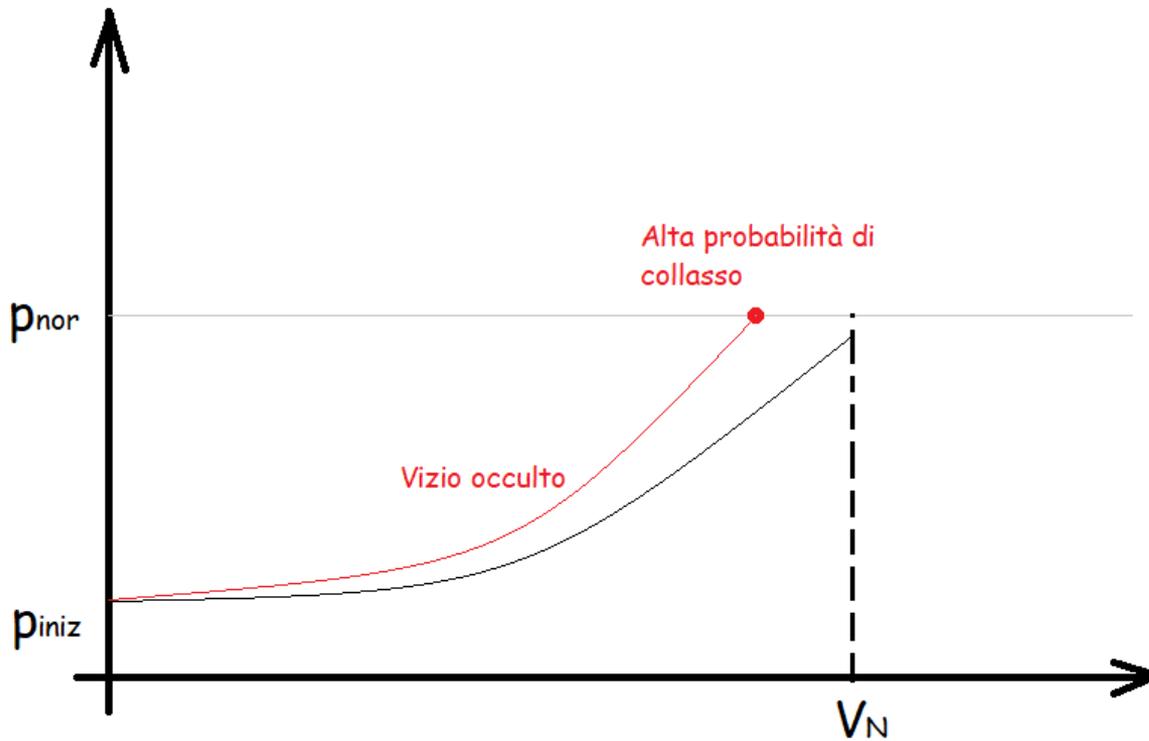
LA SICUREZZA



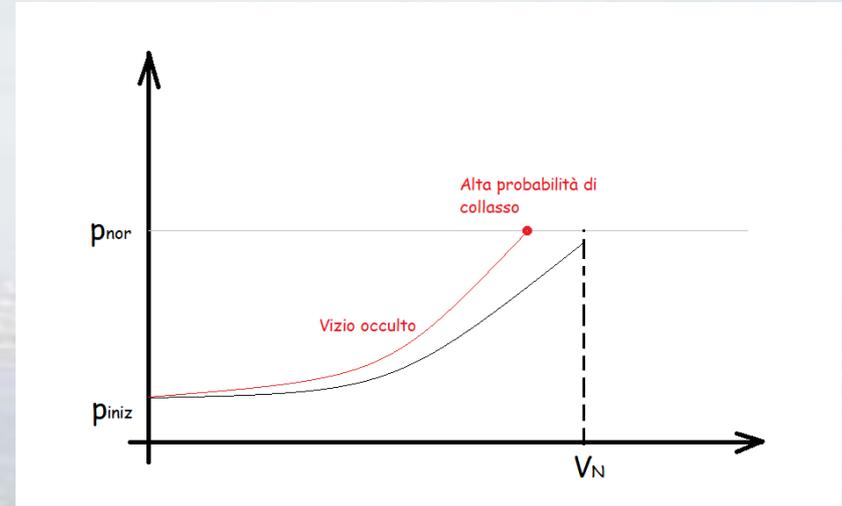
Urto all'intradosso
con tranciamento
armature.

LA SICUREZZA

Vizio occulto in fase di esecuzione o progettazione

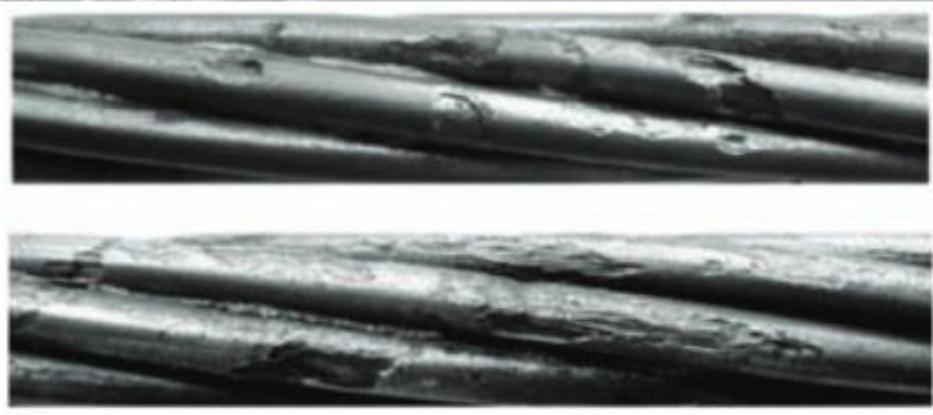


LA SICUREZZA

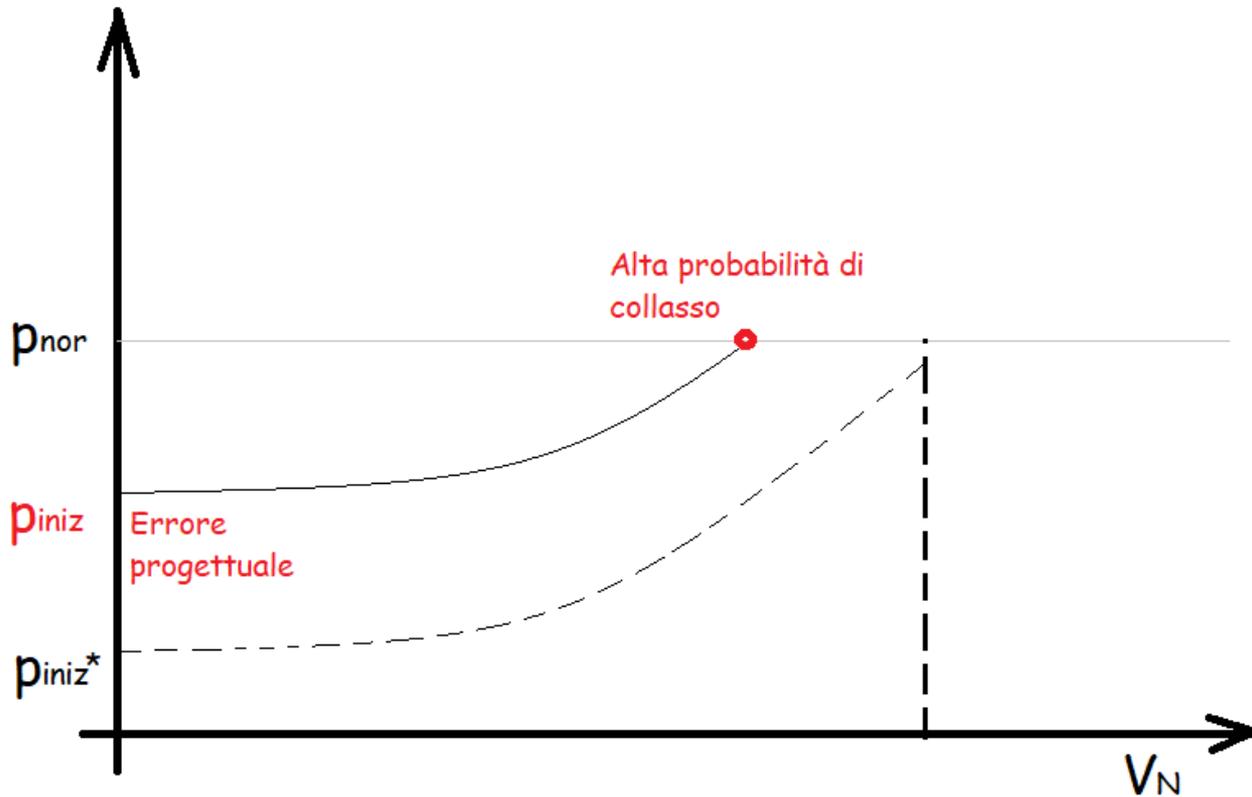


Ridotto copriferro

Cattivo intasamento
condotti



LA SICUREZZA

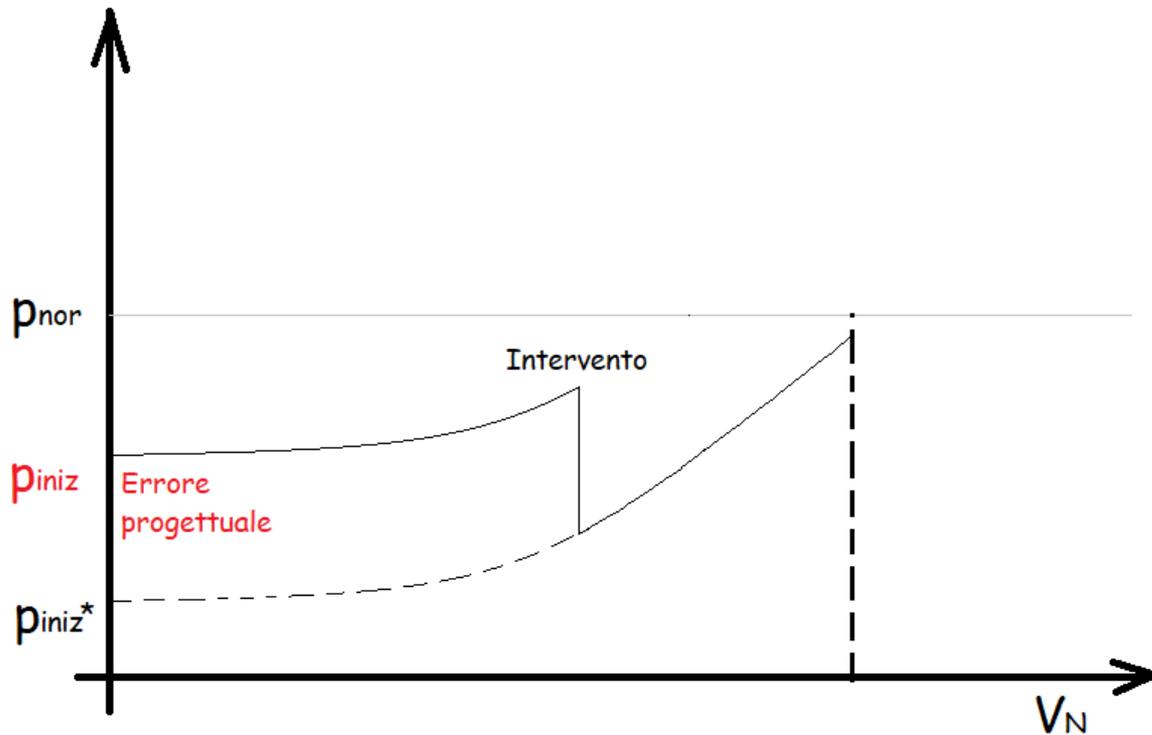


LA SICUREZZA



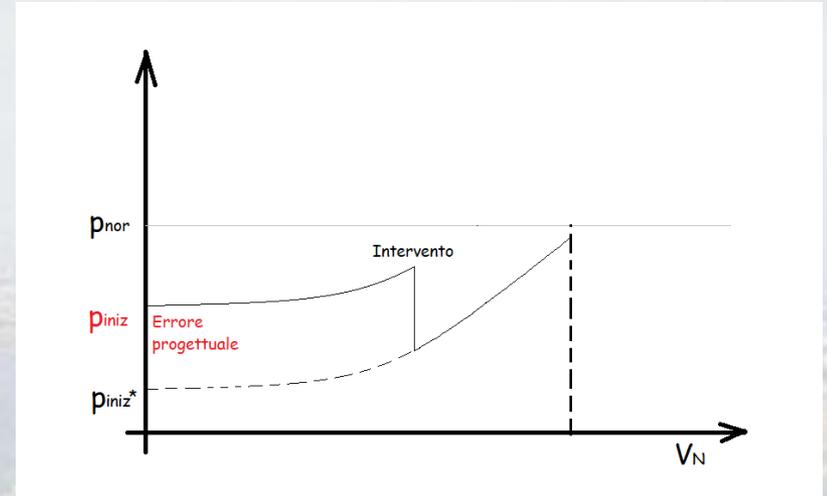
Carenza di
armatura in
fondazione e
necessità di un
rinforzo

LA SICUREZZA



Un intervento ben fatto risistema la curva di decadimento della sicurezza e allunga la vita alla struttura

LA SICUREZZA



Precompressione
esterna;

Beton plaqu 

An aerial photograph of a large cable-stayed bridge spanning a wide river or bay. The bridge features two prominent white pylon towers with numerous stay cables. A large cargo ship is visible in the water below the bridge. The background shows a city skyline under a cloudy sky. A red rectangular box is overlaid on the center of the image, containing the word "RETROFITTING" in blue, bold, uppercase letters.

RETROFITTING

An aerial photograph of a large cable-stayed bridge spanning a wide body of water. The bridge features two prominent white pylons with numerous stay cables. A large cargo ship is visible in the water below the bridge. A red rectangular box is superimposed over the center of the image, containing the text 'LE PILE' in blue, bold, uppercase letters.

LE PILE

RETROFITTING

Un viadotto Autostradale



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale



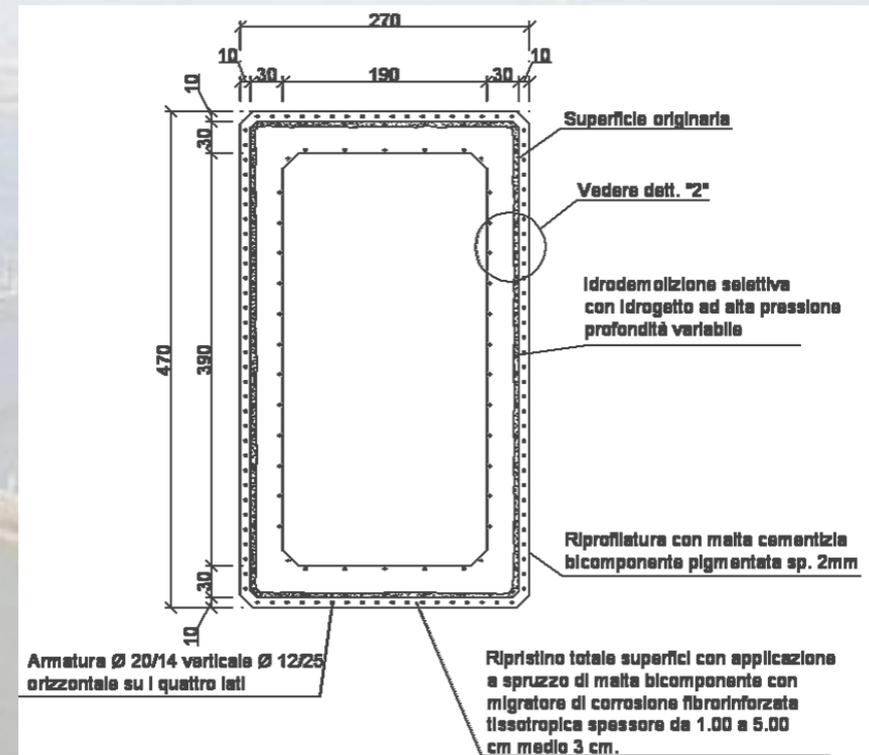
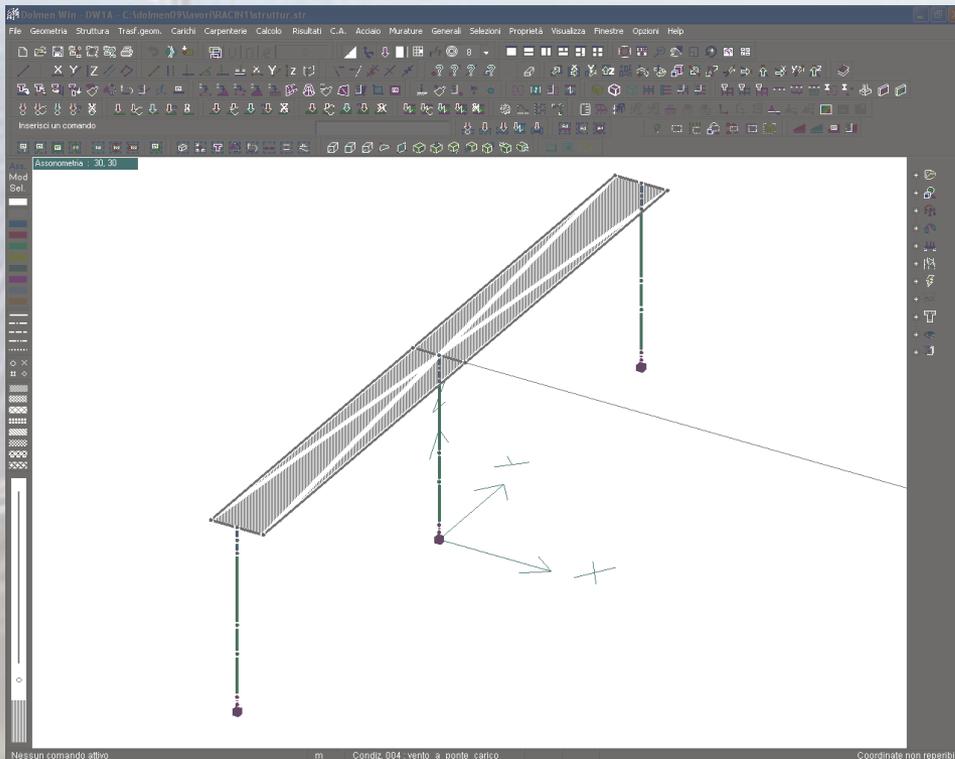
RETROFITTING

Un viadotto Autostradale



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale



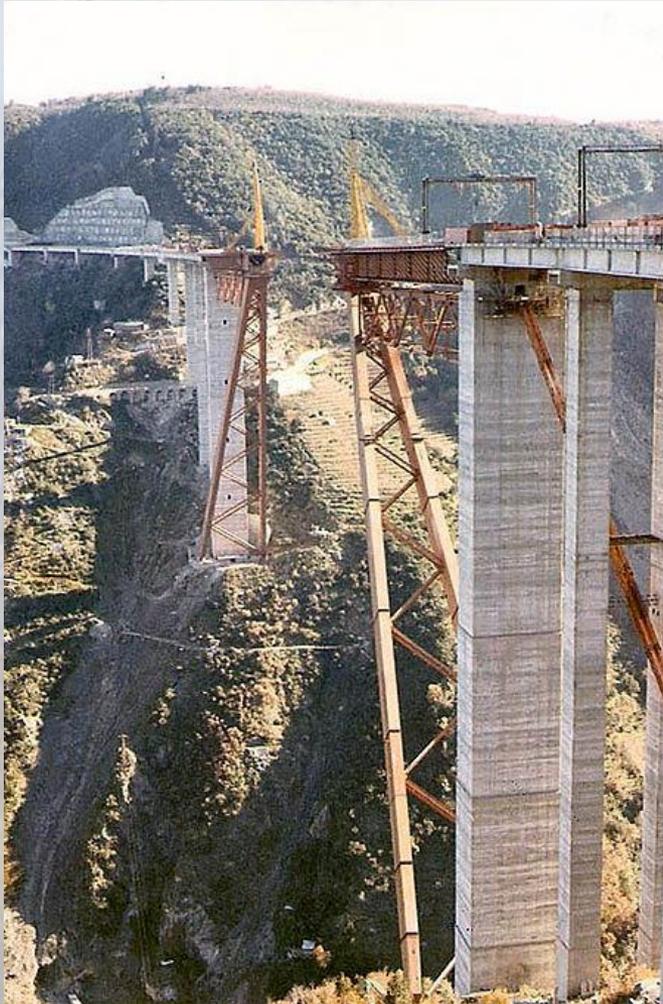
RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Lo Sfalassà"



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Lo Sfalassà"



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Sfalassà"



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Sfalassà"



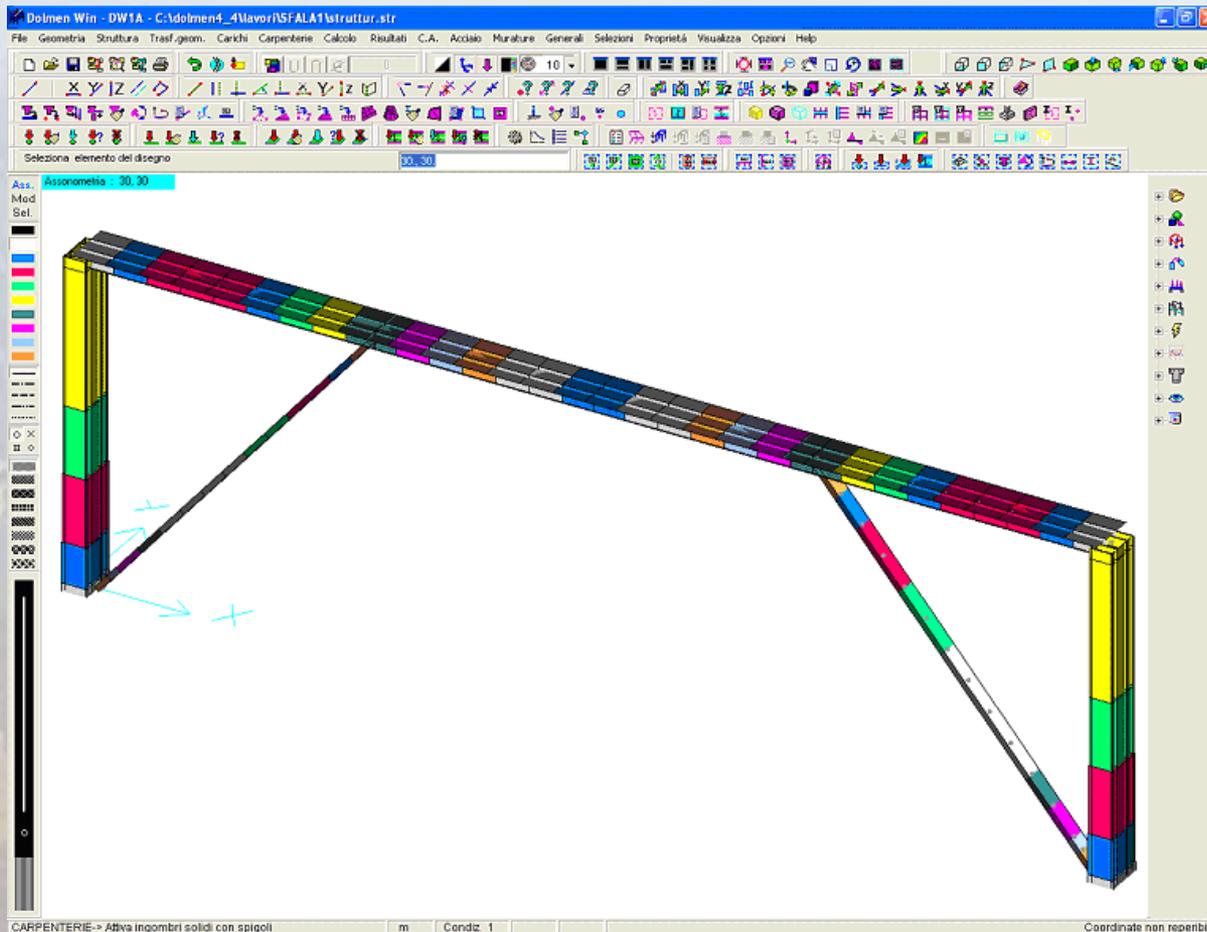
RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Sfalassà"



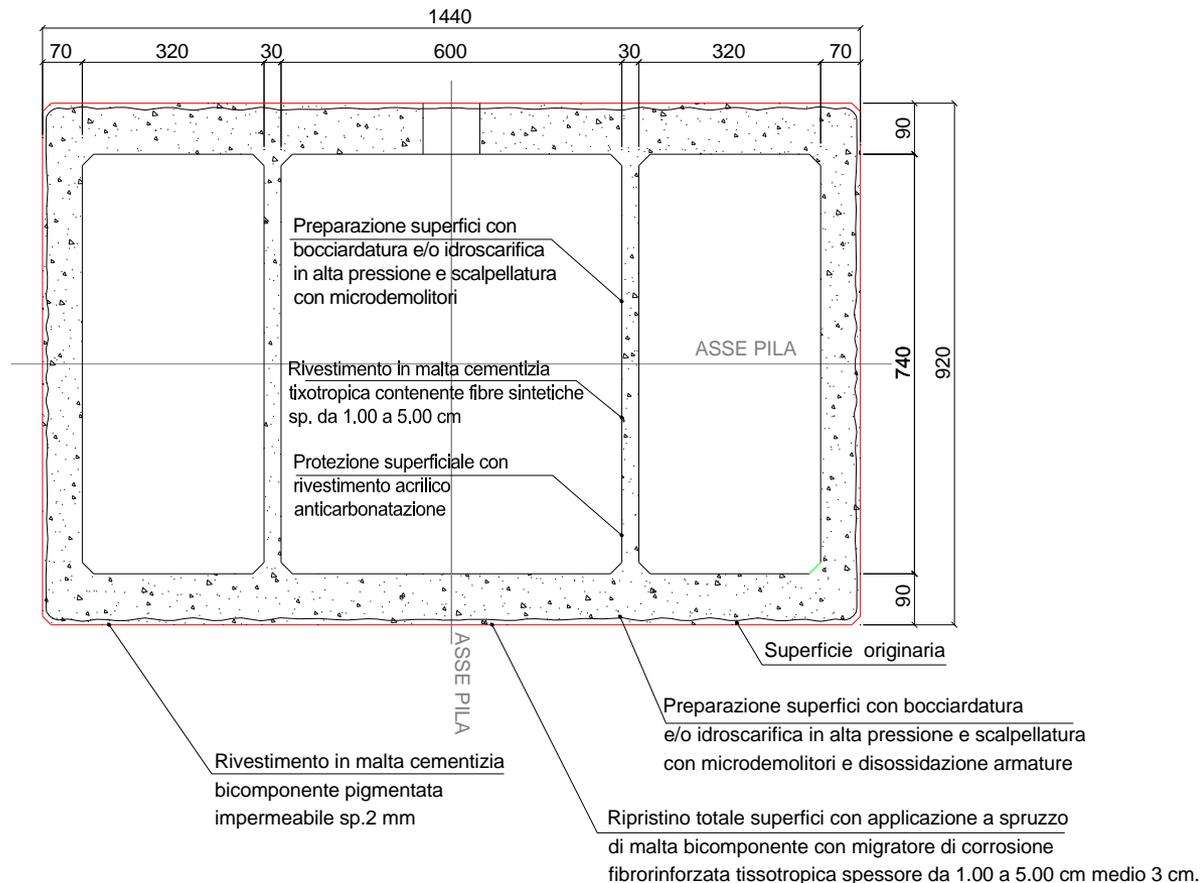
RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Sfalassà"



RETROFITTING

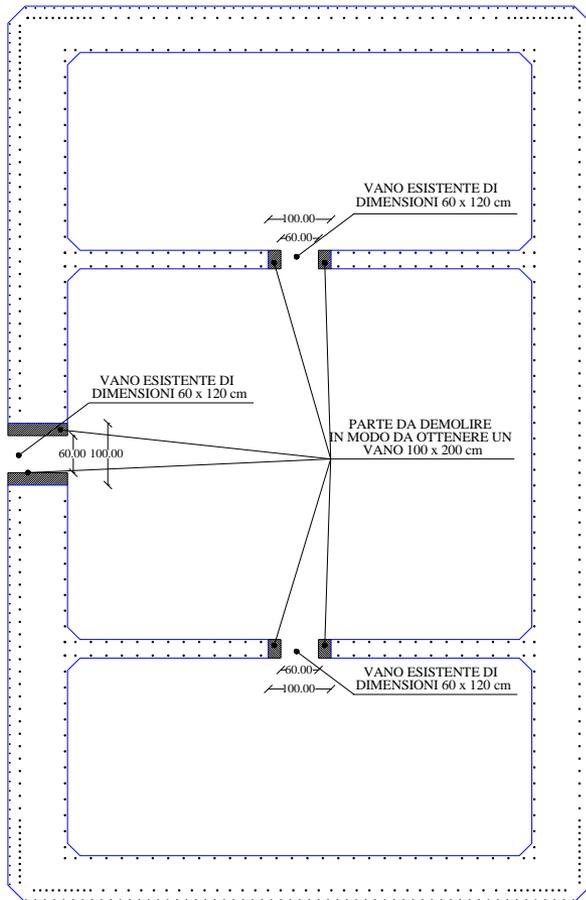
Un viadotto Autostradale "Lo Sfalassà"



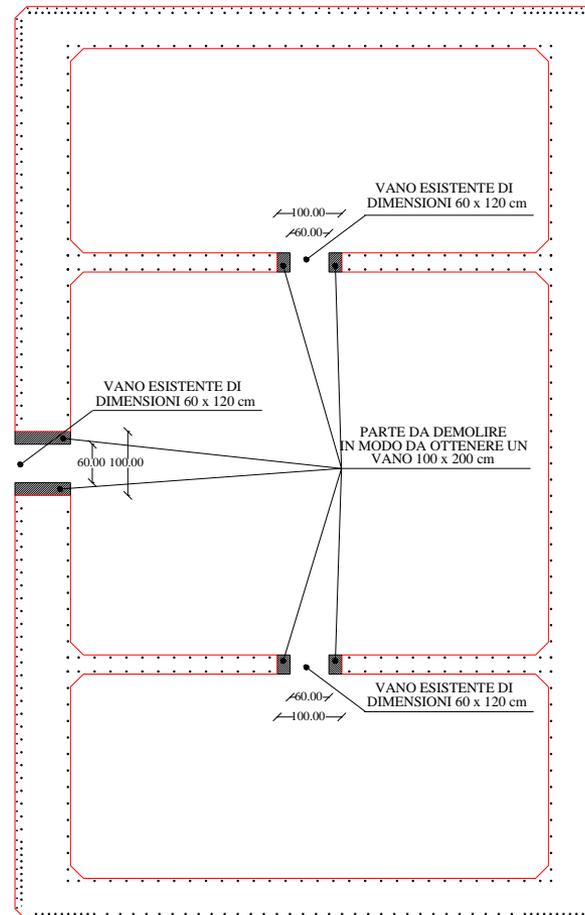
RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Sfalassà"

PILA LATO SALERNO

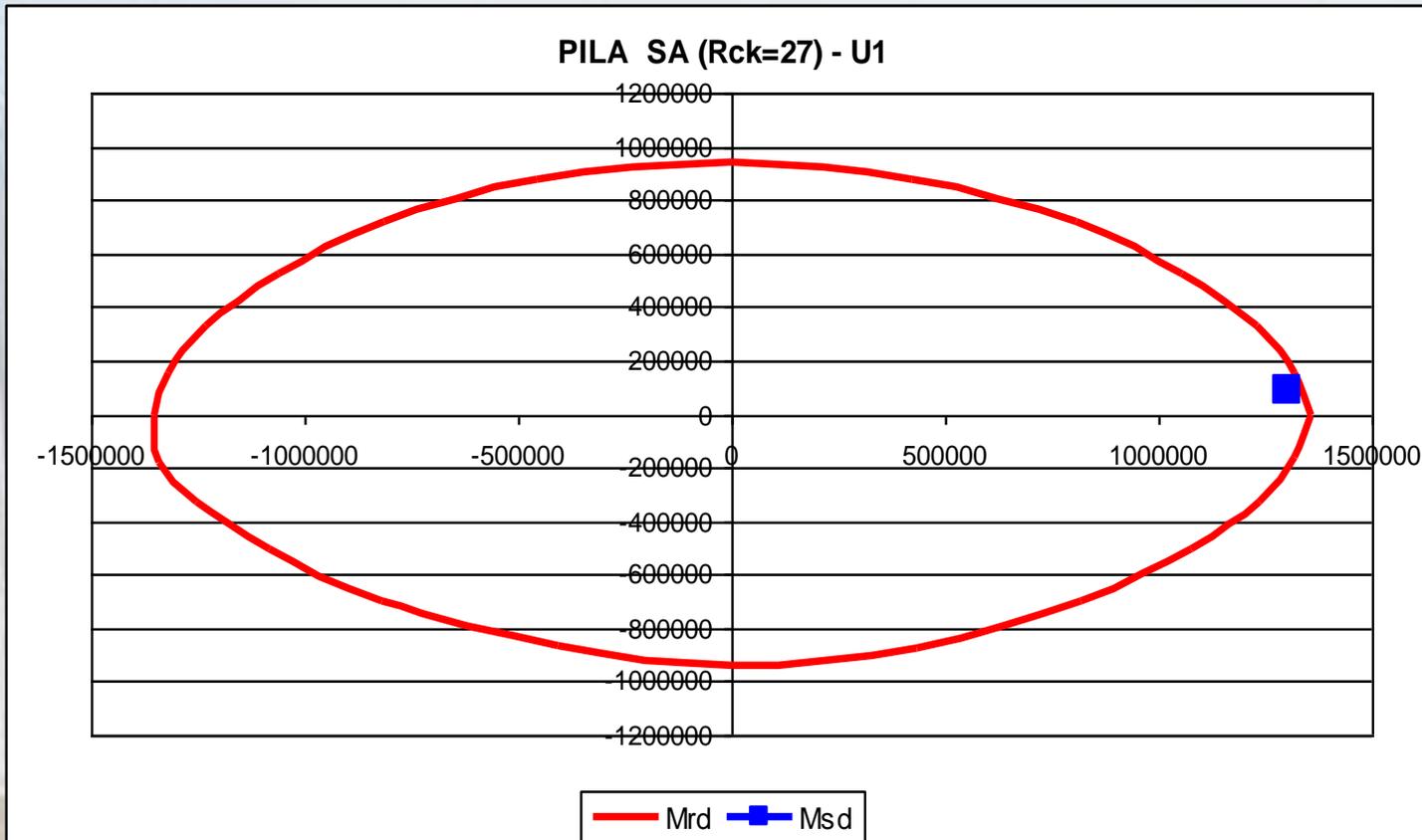


PILA LATO REGGIO CALABRIA



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Sfalassà"



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Sfalassà"



Idrodemolizione per rimuovere le parti ammalorate in superficie.

RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Sfalassà"



Posizionamento di una nuova armatura sulla superficie idrodemolita.

RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Sfalassà"



Posizionamento di una nuova armatura sulla superficie idrodemolita.

RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Sfalassà"



Posizionamento degli anodi sacrificali MAPESHIELD I 30/20.

RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Sfalassà"



Applicazione e irruvidimento della prima mano di MAPEGROUT EASY FLOW.

RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Sfalassà"



Applicazione della seconda
mano di MAPEGROUT EASY
FLOW



Applicazione a spruzzo di
MAPELASTIC GUARD

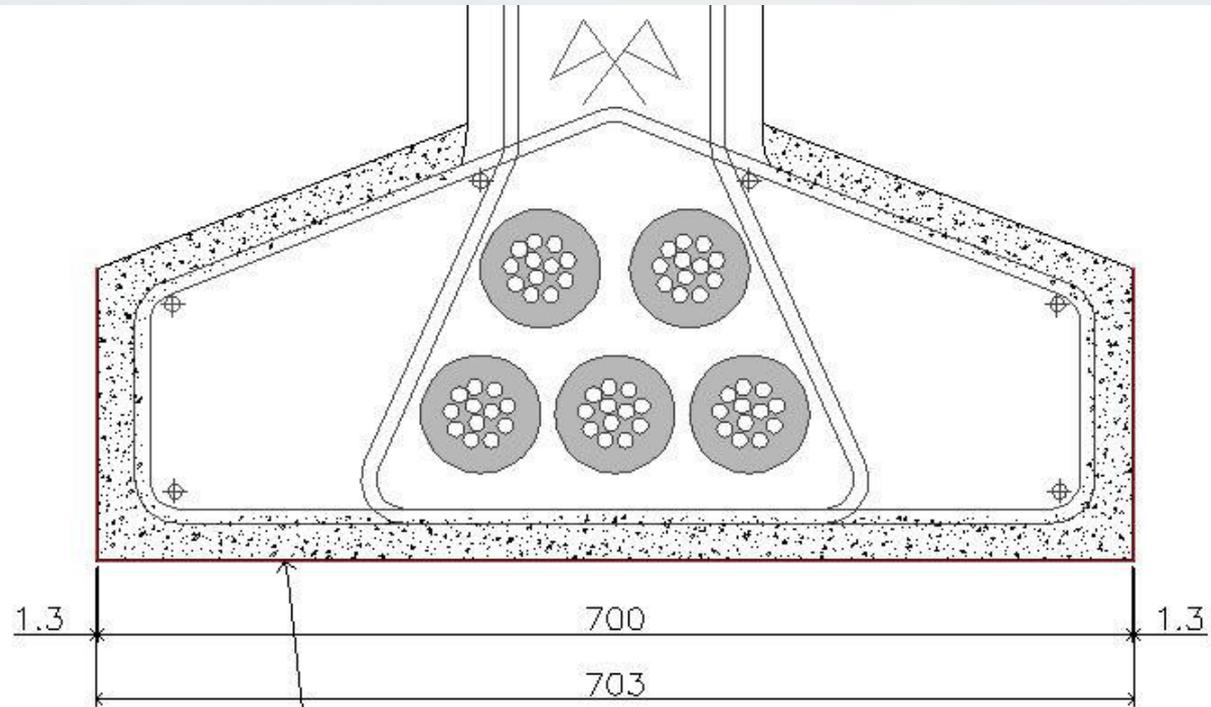
An aerial photograph of a large cable-stayed bridge spanning a wide river or bay. The bridge features two prominent white pylons with numerous stay cables. A large cargo ship is visible in the water below the bridge. In the background, a city skyline is visible across the water. A red rectangular box is overlaid on the image, containing the text 'LE TRAVI' in blue capital letters.

LE TRAVI

RETROFITTING

Trefoli corrosi

Impiego di
fibra di
carbonio in
strati



rinforzo strutturale mediante 4 strati
di tessuto unidirezionale in Fibra di
Carbonio ad alto Modulo, spessore singolo
strato: 0.332mm

RETROFITTING



RETROFITTING



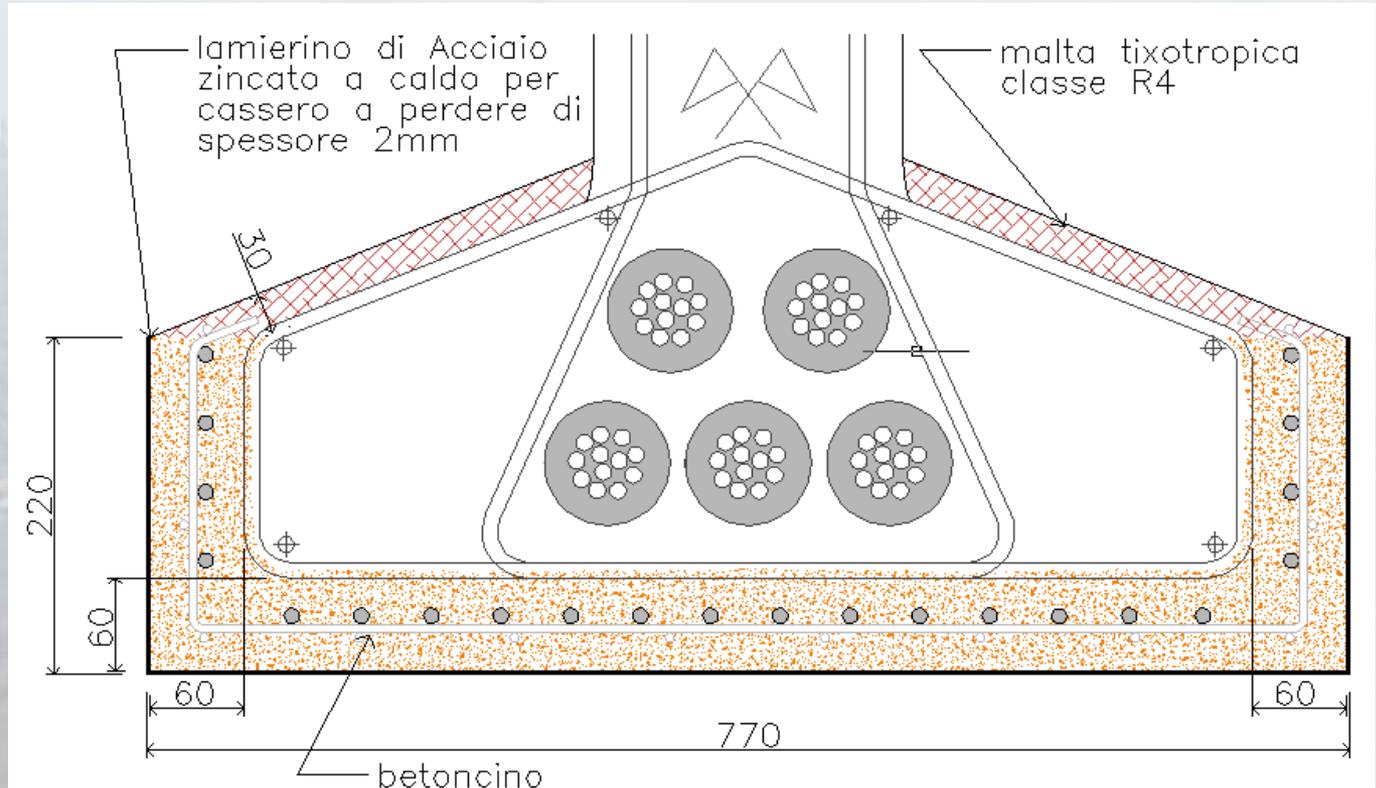
RETROFITTING



RETROFITTING

Trefoli corrosi

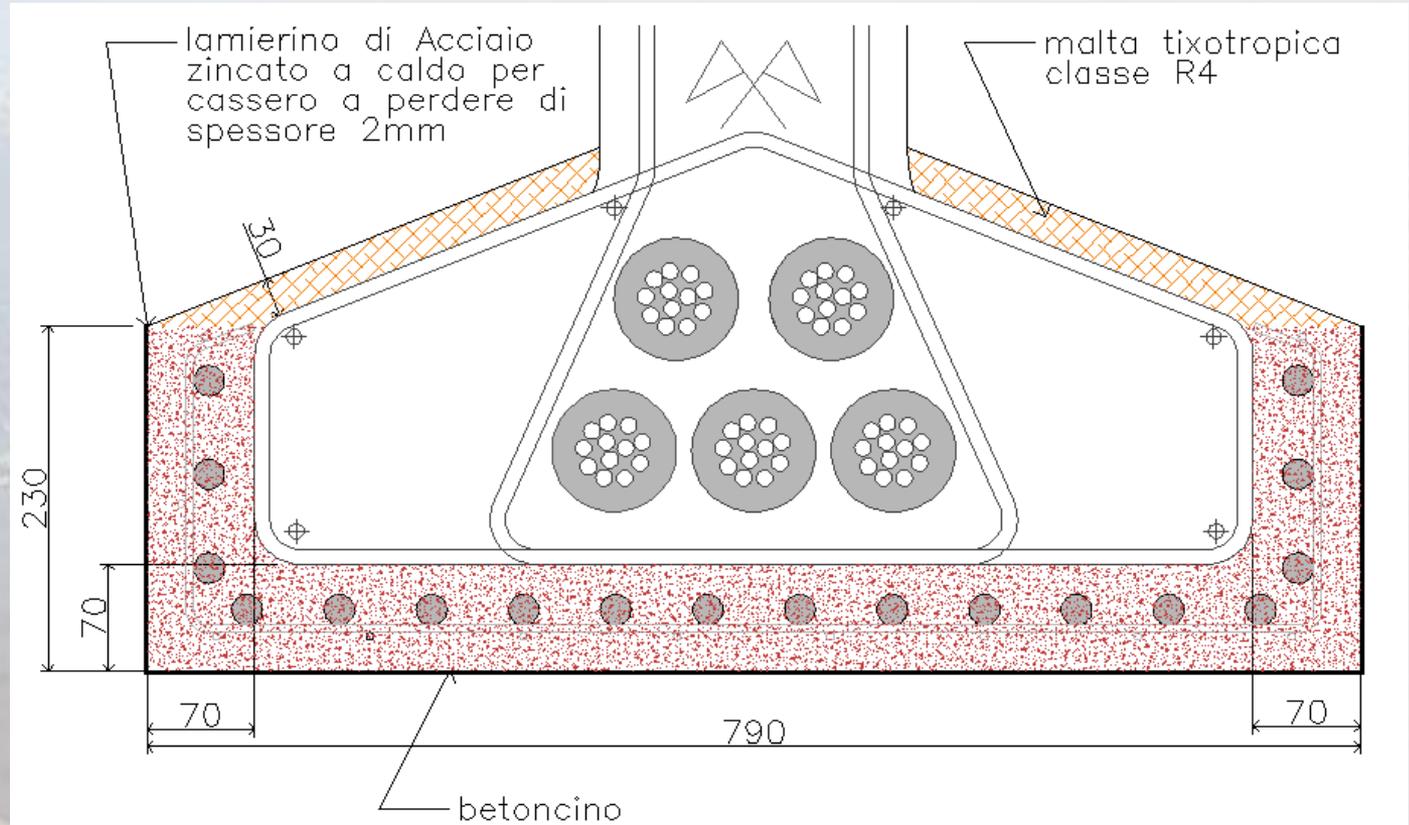
Tipologia di ripristino con 22 barre al carbonio



RETROFITTING

Trefoli corrosi

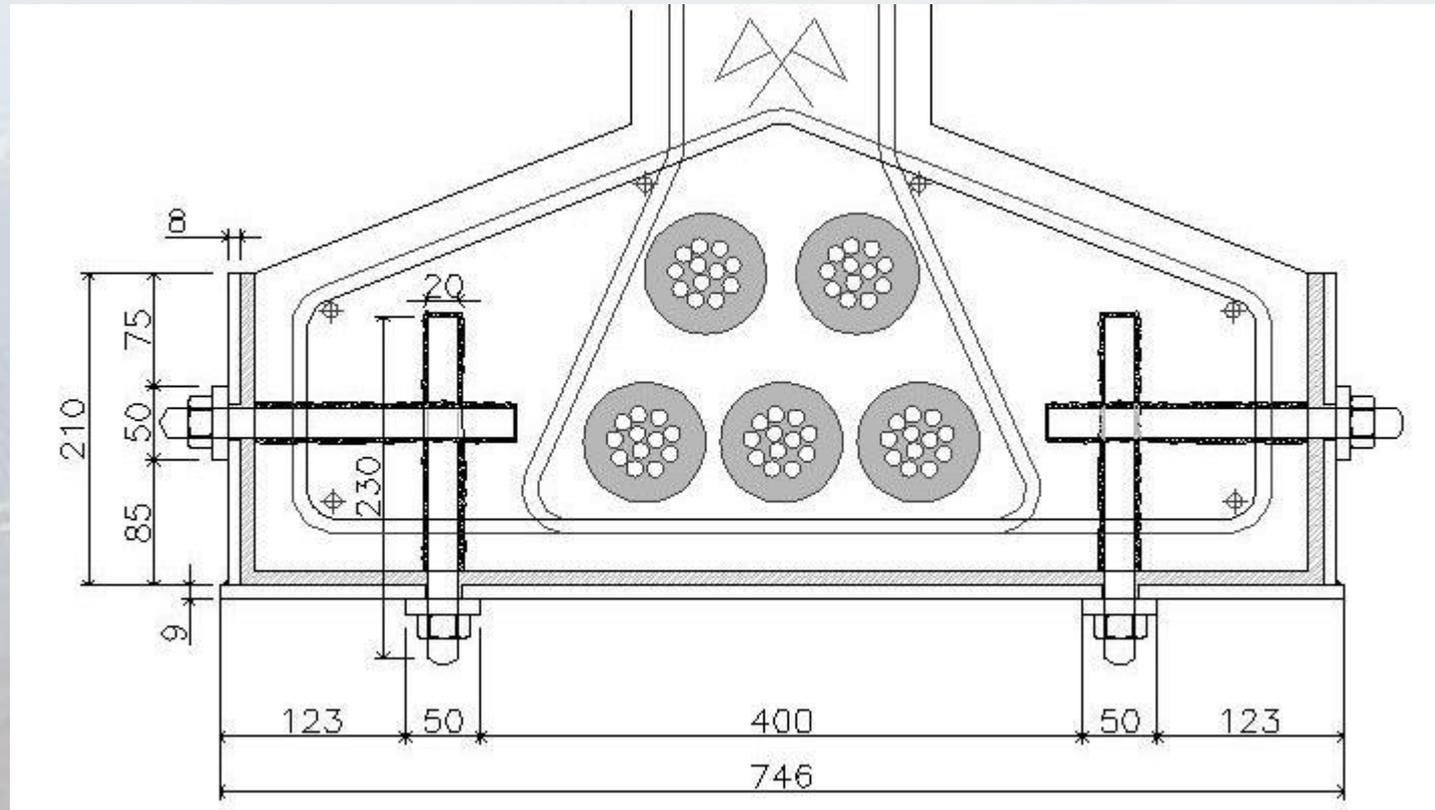
Tipologia di ripristino con barre di acciaio ad aderenza migliorata B450C



RETROFITTING

Trefoli corrosi

Tecnologia
Beton Plaqué



RETROFITTING

Tecnologia Beton Plaqué



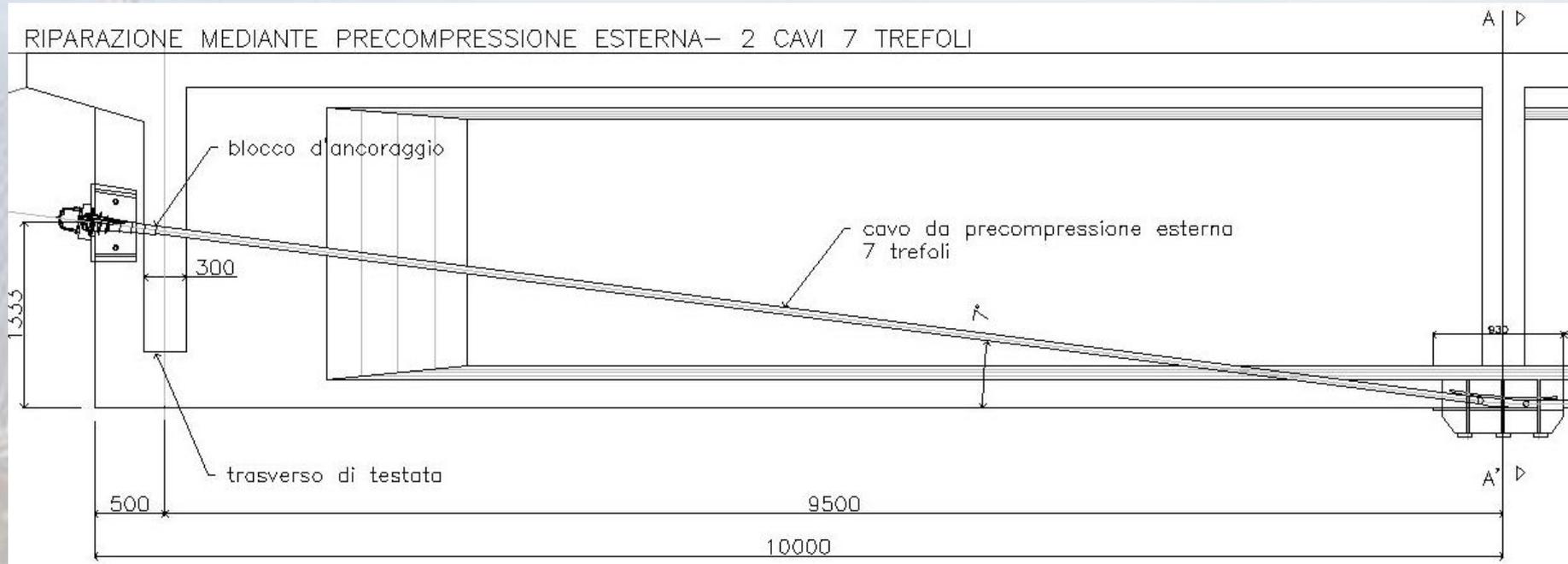
RETROFITTING

Tecnologia Beton Plaqué



RETROFITTING

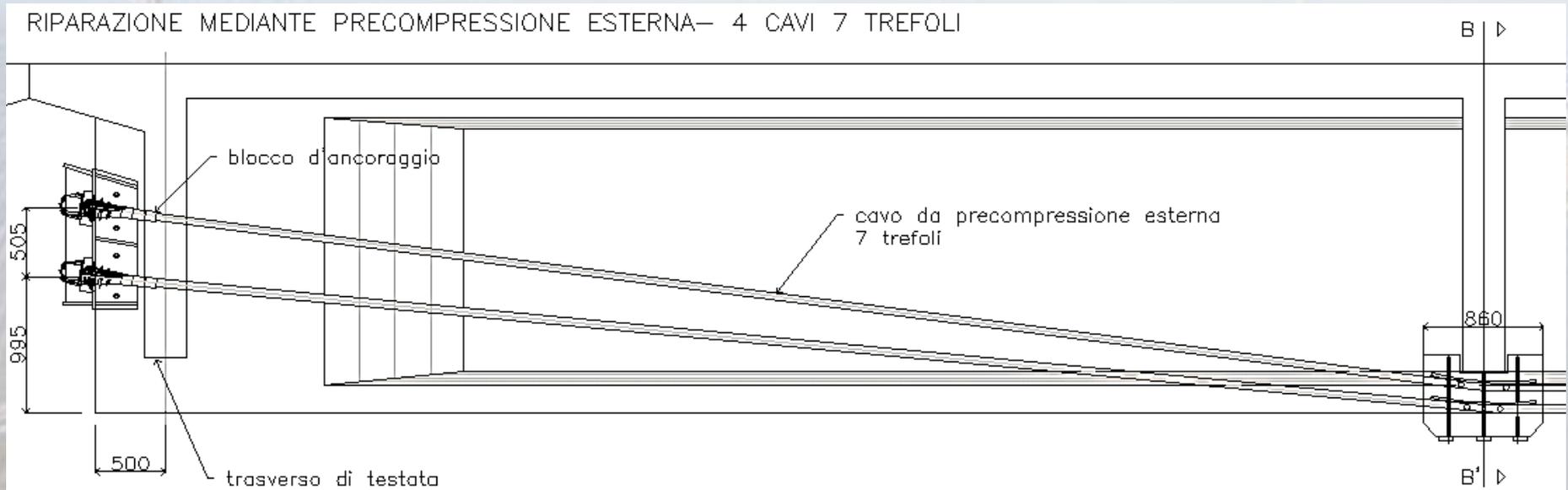
Trefoli corrosi



Tecnologia della precompressione esterna

RETROFITTING

Trefoli corrosi



Tecnologia della precompressione esterna

RETROFITTING



Tecnologia della precompressione esterna

RETROFITTING



Tiranti a barre per il rinforzo a taglio di un ponte con travi a T

RETROFITTING



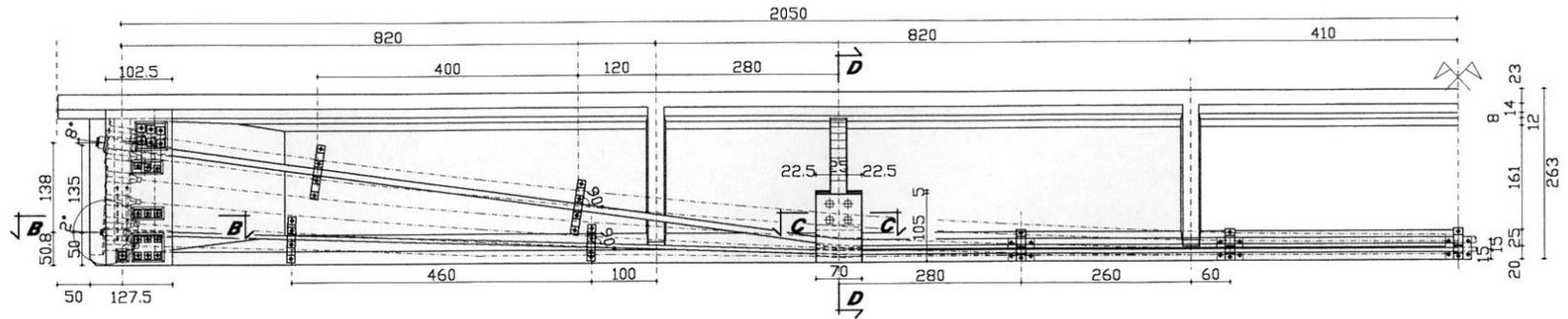
Viadotto Rio Berceto

RETROFITTING

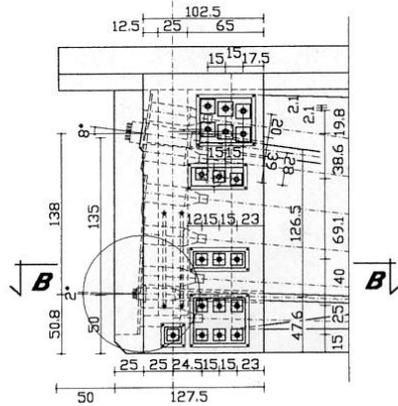


Viadotto Rio Berceto

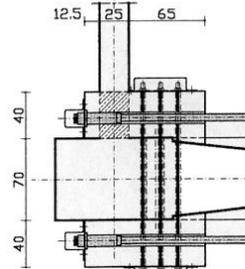
RETROFITTING



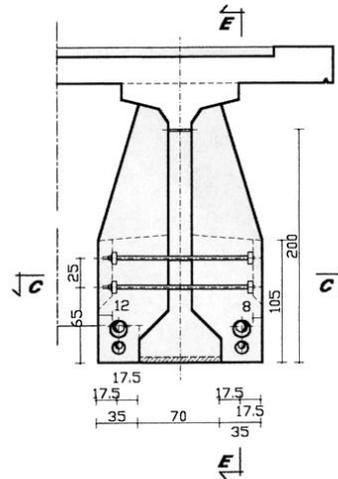
DETAIL



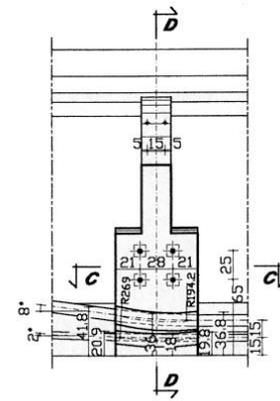
SECTION B-B



SECTION D-D

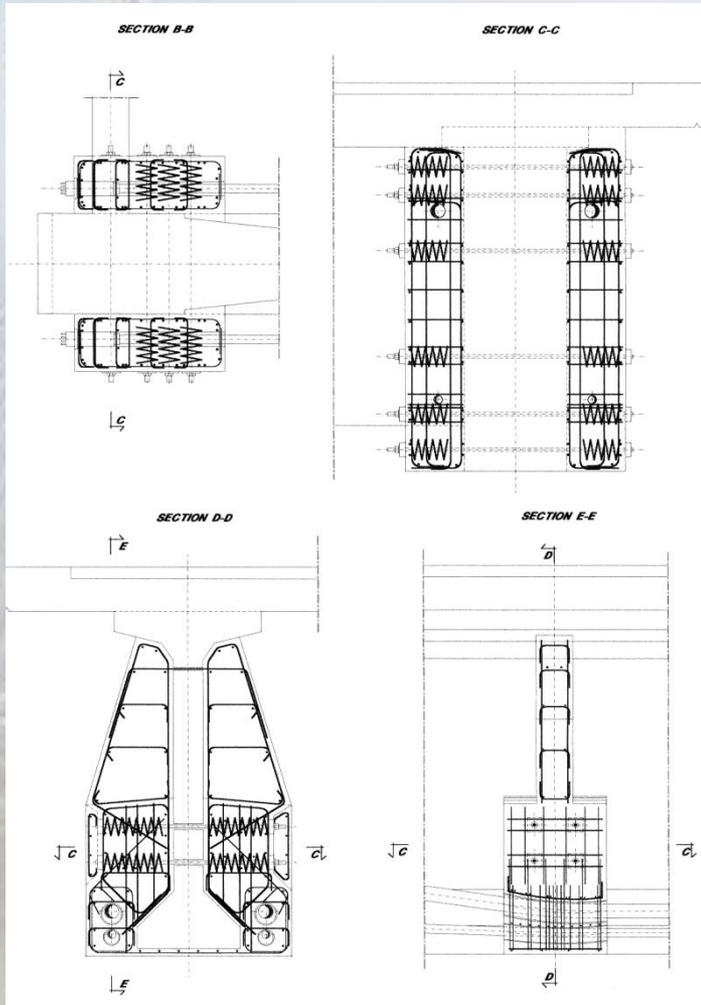


SECTION E-E



Viadotto Rio Berceto

RETROFITTING



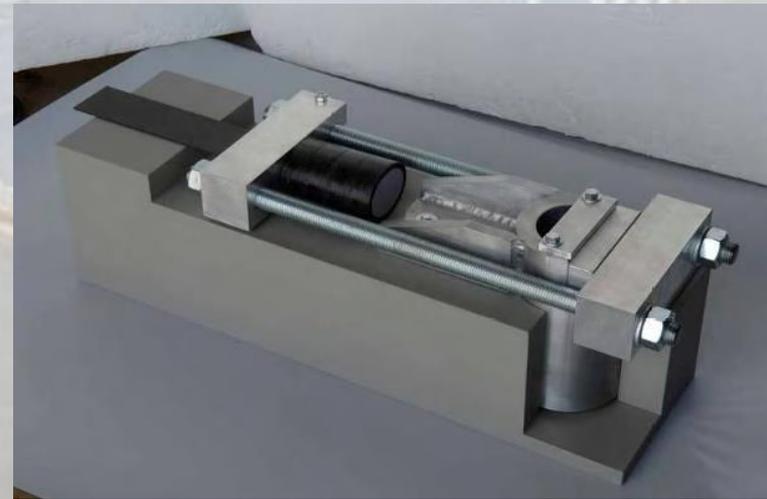
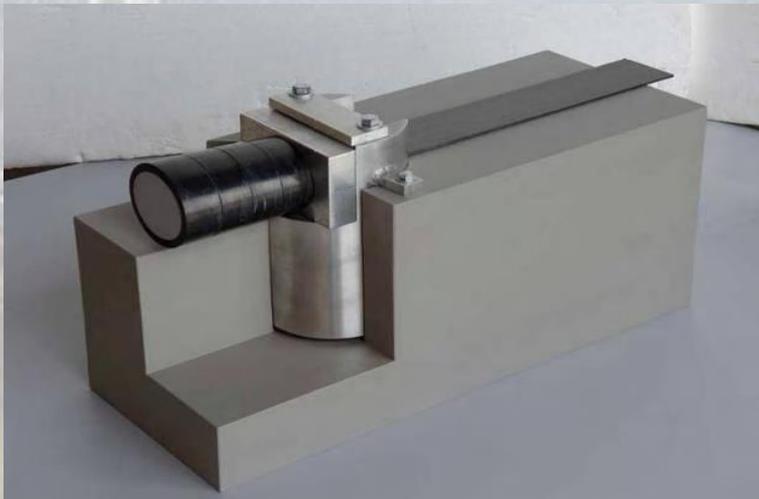
Viadotto Rio Berceto

RETROFITTING



Applicazione di CFRP
nelle infrastrutture
Post-compressione
con Sika®
CarboStress®

RETROFITTING



Applicazione di CFRP nelle infrastrutture Post-compressione con Sika® CarboStress®

RETROFITTING

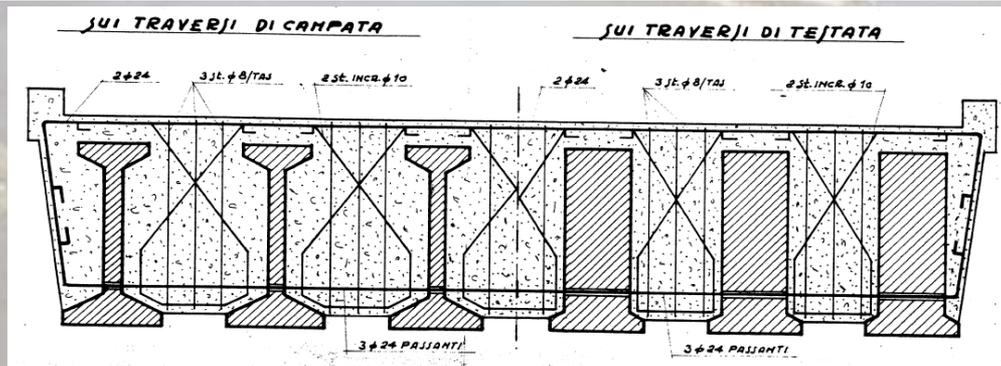
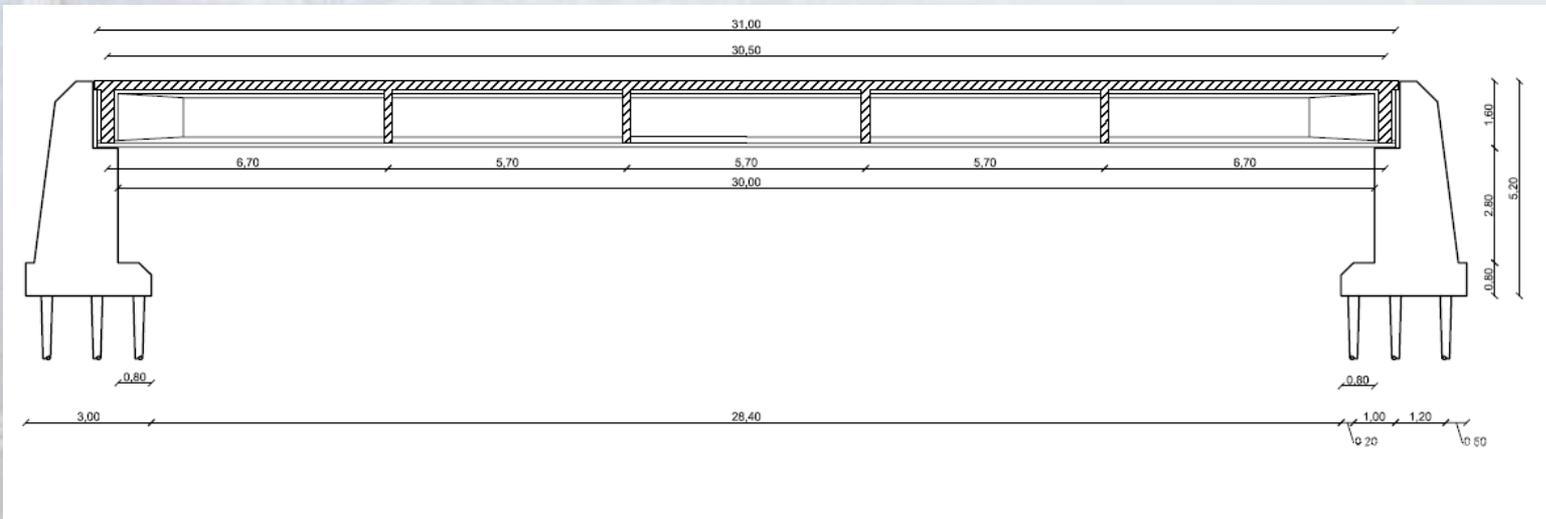


Clinton & Opkins bridge, Ohio (USA) Applicazione di Sika® CarboStress®

RETROFITTING

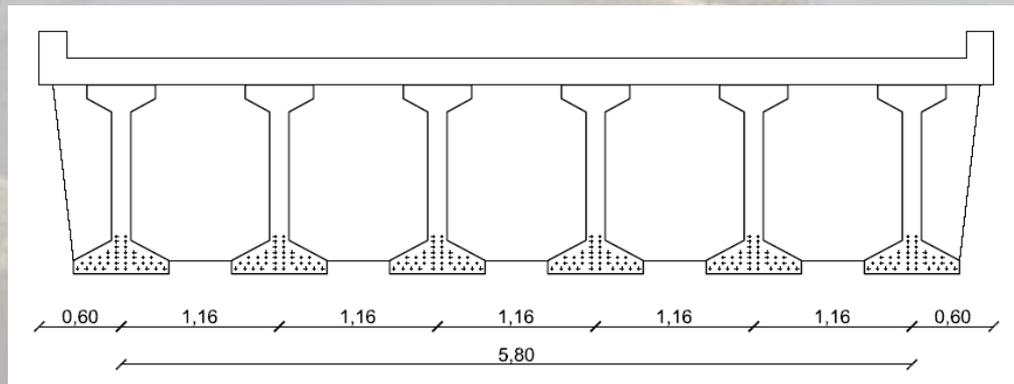
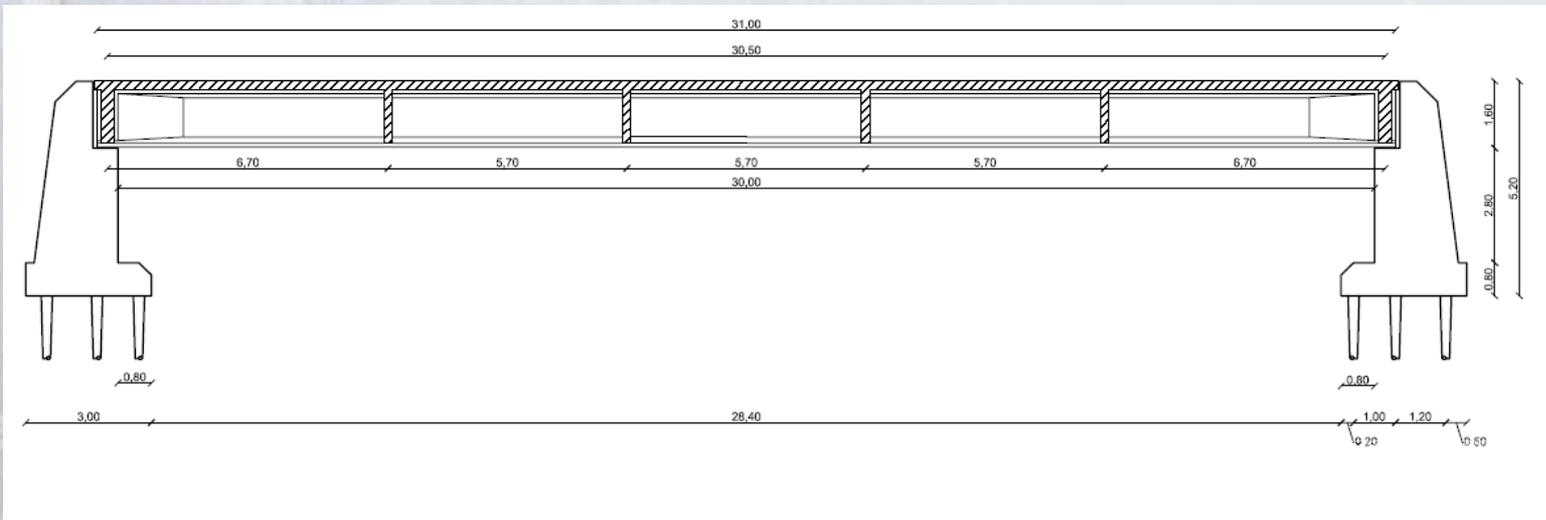
Il ponte "stradale" sul torrente Terdoppio, fu realizzato sul prolungamento della strada vicinale della Maretta (Novara).

Essa era stato costruito agli inizi degli anni settanta ed era costituito da un impalcato di sei travi precomprese e sei traversi gettati in opera.



RETROFITTING

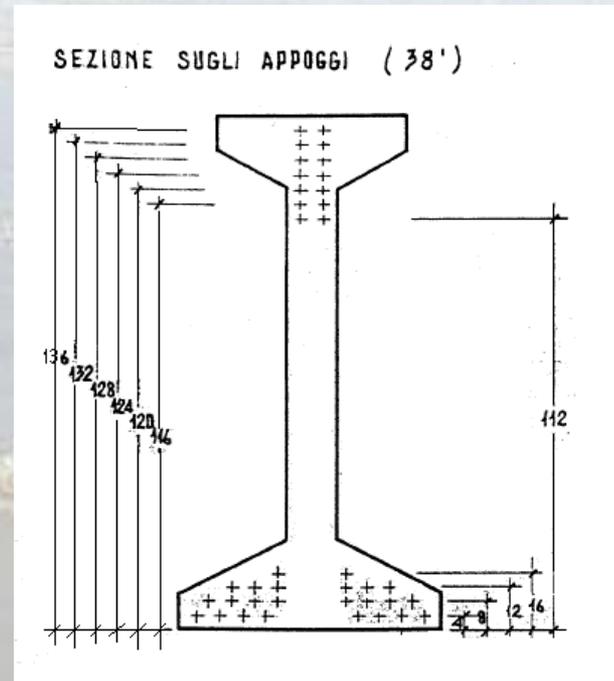
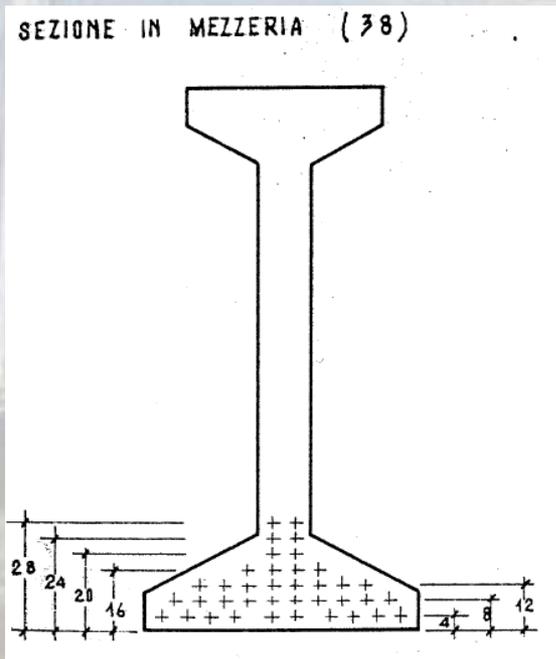
L'opera progettata secondo le Circ. 384/1962 e 1398/1965 del Min. LL.PP., fu costruita e collaudata agli inizi degli anni settanta.



Sezione di Mezzeria

RETROFITTING

L'opera progettata secondo le Circ. 384/1962 e 1398/1965 del Min. LL.PP., fu costruita e collaudata agli inizi degli anni settanta.



38 trefoli di area unitaria pari a 0.93 cm^2 e carico di rottura di 1750 N/mm^2 .

RETROFITTING

La scelta fu condizionata da

Esigenze statiche

Vincoli economici;

Successivo riutilizzo

Si rintracciarono i documenti allegati al progetto originario e le prove di carico eseguite sulla struttura durante i collaudi.

CALCOLO n° 1413/10/M	SCAC SOCIETÀ CEMENTI ARMATI CENTRIFUGATI MILANO	
<i>Prova di Anni</i>		
FONTE SUL TORRENTE TERDOPIO		
Imp. ZOMAGLIANI-GALLINA		
DISEGNATO: CT	<small>A SENZA DI LEGGE È VIETATA LA RIPRODUZIONE ANCHE PARZIALE O LA SOLA CESSIONE A TERZI DEL PRESENTE DISEGNO</small>	AGGIORNAMENTI:
CONTROLLATO: SH	SCALA:	
DATA: 19/10/1970		

RETROFITTING

Si scelse di programmare comunque una campagna di indagini non-distruttive sul calcestruzzo (alcuni carotaggi sulla soletta esistente integrate da prove del tipo **SonReb** anche sulla trave e sui traversi).

Per il calcestruzzo della soletta si stimò un materiale di classe C20/25.

Per quello delle travi si stimò una classe C35/45, tipica dell'industria di prefabbricazione di quel periodo.

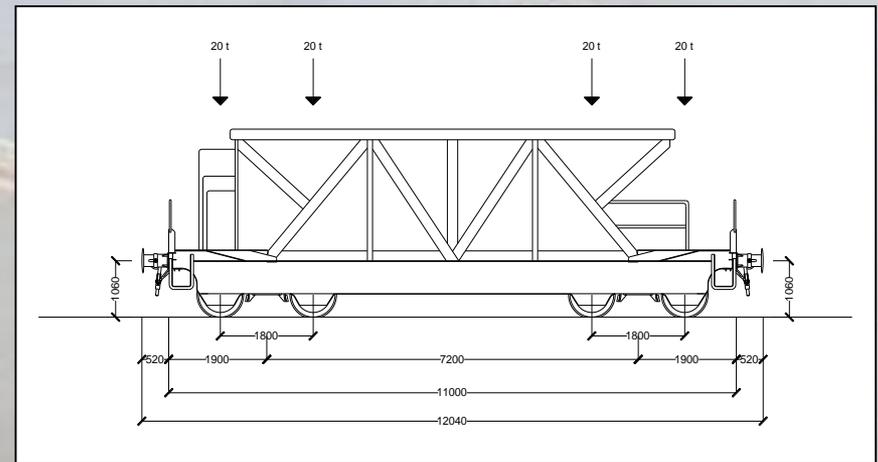


RETROFITTING

Si richiedeva il passaggio rispettivamente di:

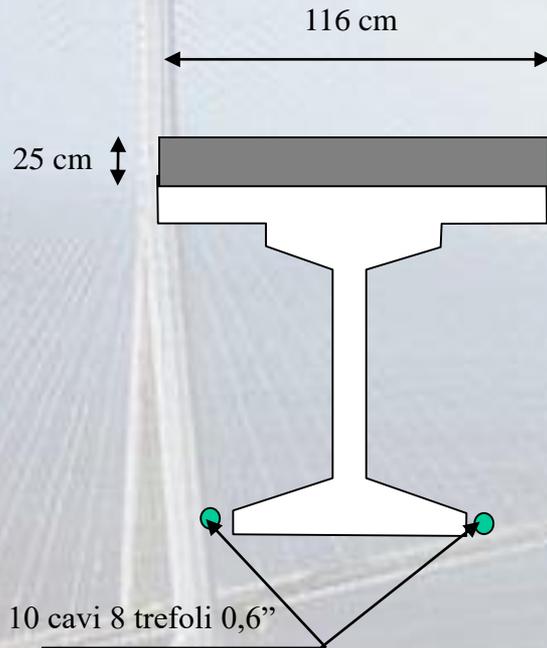
- un treno per il collaudo delle opere progettate per l'Alta Velocità composto di 24 assi da 210 kN cadauno per un totale di 5040 kN;
- un treno equivalente al LM71 ridotto all'83% come previsto dalle istruzioni ITALFERR per ponti di Cat. B;
- un treno di ballastiere con il carico complessivo di 800 kN su quattro assali.

Alla fine si scelse di adeguare solo parzialmente l'opera, permettendo il transito dei treni di cui al punto b) e c) 100% e quello di cui al punto a), ridotto al 60%, riservandosi il ricarico al 100% dopo il transito dello stesso sul ponte di Terdoppio.



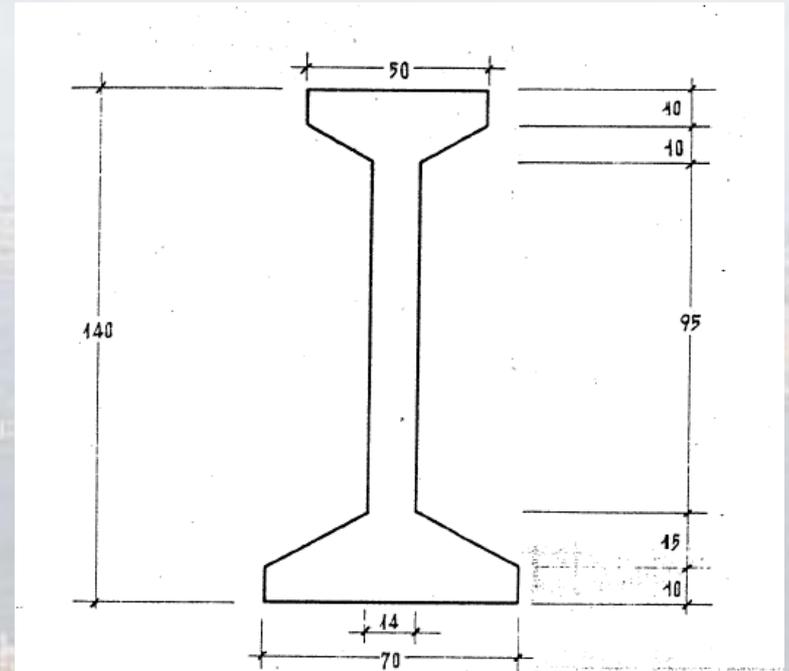
Riservandosi il ricarico al 100% dopo il transito dello stesso sul ponte di Terdoppio.

RETROFITTING



Soluzione
scelta

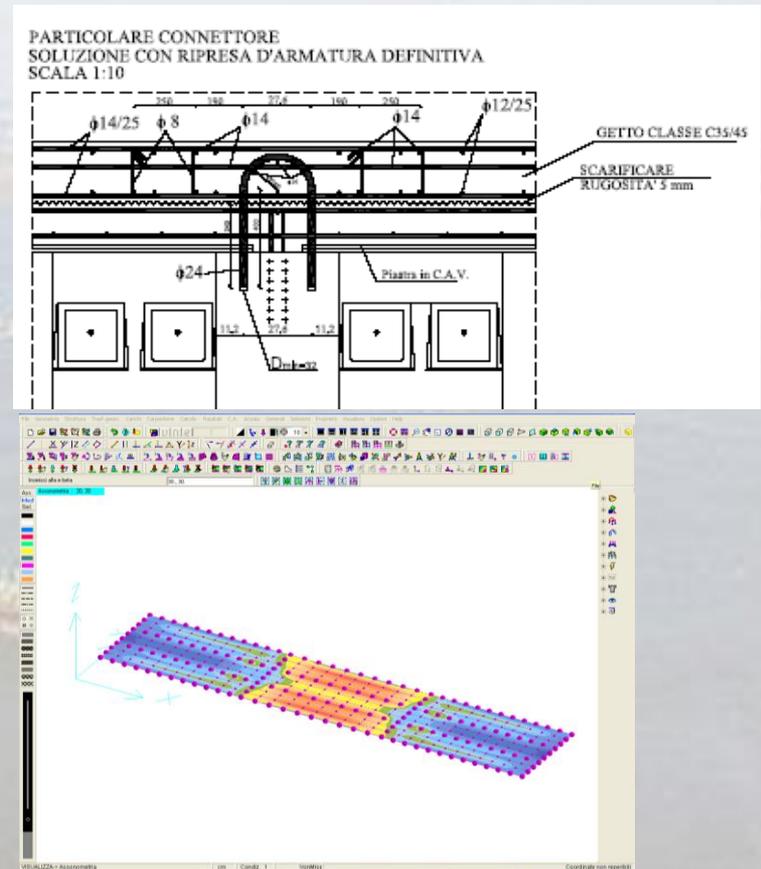
Geometria della trave precompressa



Per la precompressione esterna delle travi principali furono utilizzati 10 cavi da 8 trefoli 0,6" del tipo TESIT con testate Mobili "ZPG806", tiro iniziale per cavo $N_{pinz} = 1491 \text{ kN}$ (152 ton) e tiro massimo in esercizio $N_{pesr} = 1177 \text{ kN}$ (120 ton).

RETROFITTING

La soletta integrativa realizzata per sorreggere i maggiori carichi fu resa solidale alla struttura sottostante con scarifica superficiale di quella esistente e con connettori metallici.



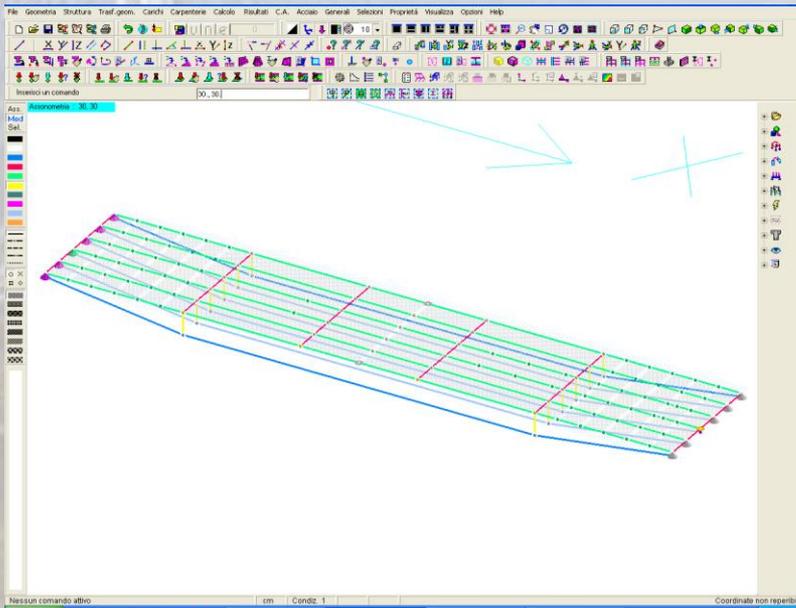
La progettazione dei connettori fu eseguita secondo il punto 6.2.5. dall'Eurocodice 2.

Furono prescritti:

- 1) una scabrezza superficiale con scarifica non inferiore a 5 mm;
- 2) l'uso di calcestruzzo espansivo per il getto della nuova soletta.

RETROFITTING

I cavi furono deviati tramite dei rinvii in acciaio realizzati a tergo di quei traversi di campata prossimi agli estremi.



RETROFITTING

Per le **selle di rinvio** a causa della modesta classe del calcestruzzo dei traversi si scelse una tipologia avvolgente in acciaio con funzioni di presidio della parte terminale del traverso e di sella di rinvio.

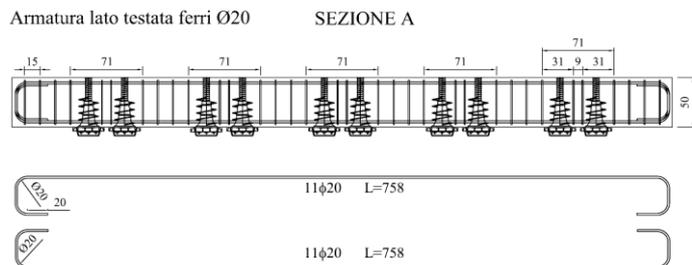
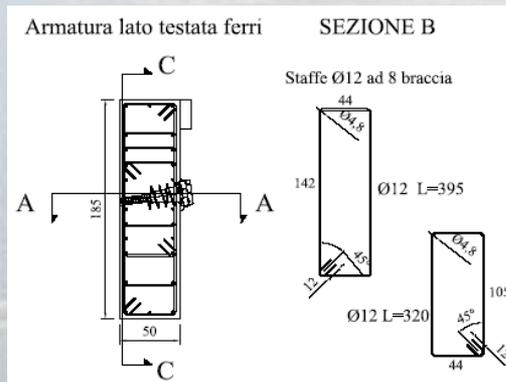
Entro il blocco sella, furono saldati due tubi metallici presagomati che potessero fornire al cavo passante la richiesta inclinazione.



RETROFITTING

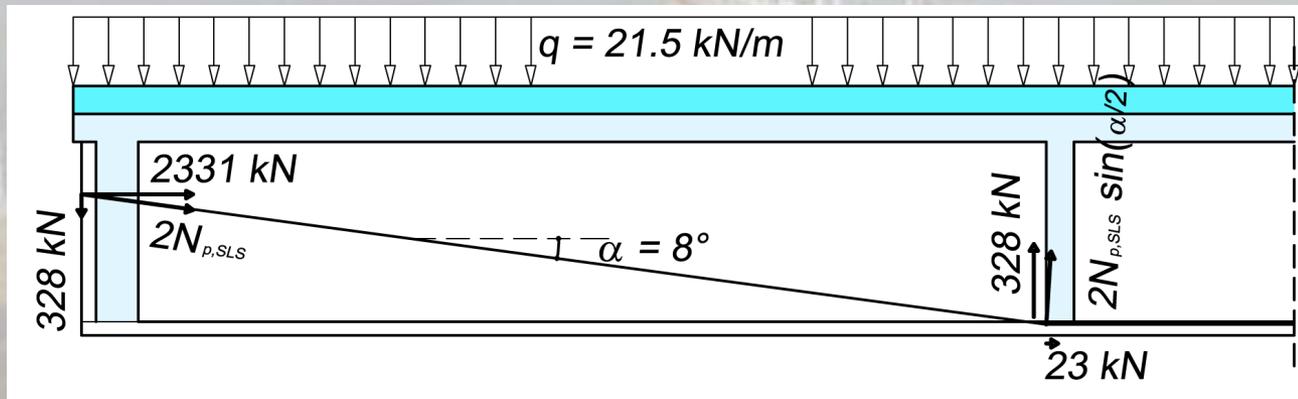
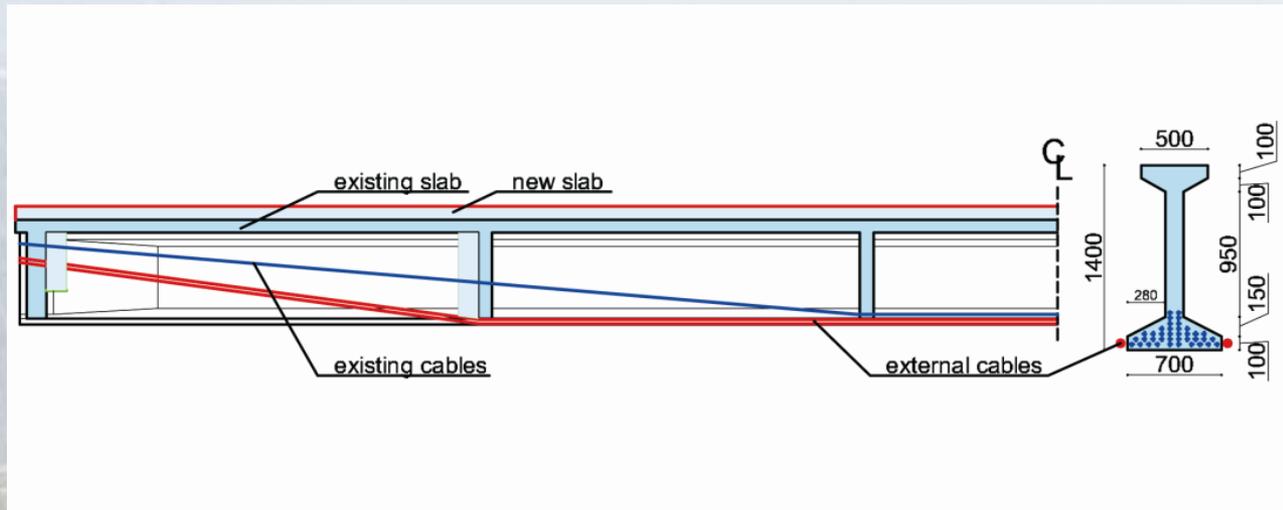
Le testate di precompressione furono disposte dentro le strutture di rinforzo dei traversi di testata.

Il progetto fu eseguito utilizzando schemi del tipo tirante-puntone.



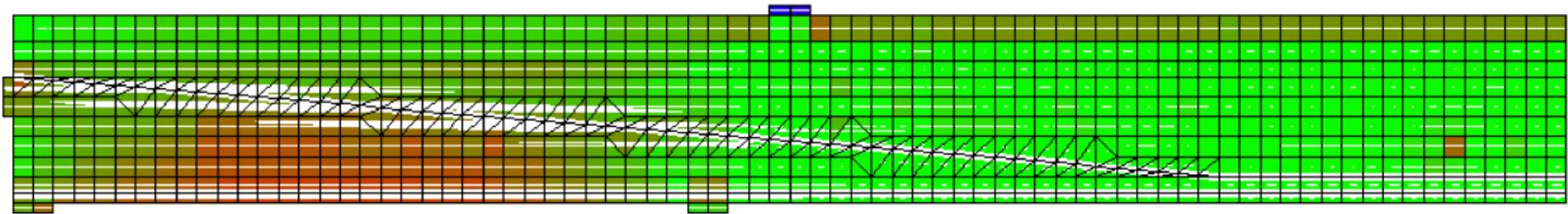
RETROFITTING

Le analisi di calcolo



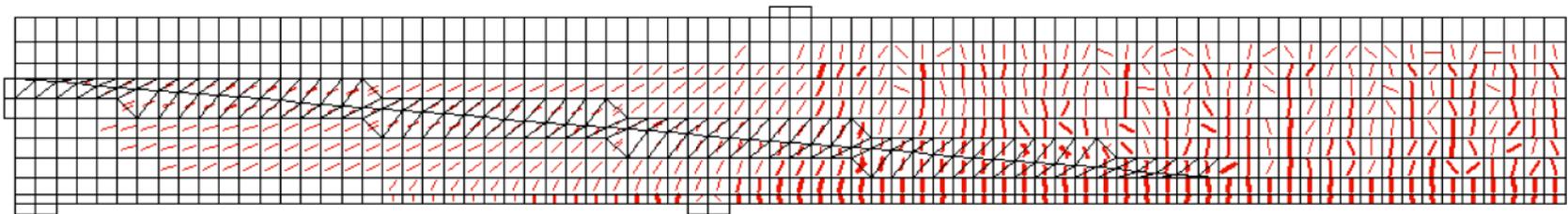
RETROFITTING

Le analisi di calcolo



Enter Job Title

Stress (conc): for Displacement Factor = 1.00					
 to -37.61	 to -30.89	 to -24.17	 to -17.45	 to -10.73	 to -4.01
 to -35.93	 to -29.21	 to -22.49	 to -15.77	 to -9.05	 to -2.33
 to -34.25	 to -27.53	 to -20.81	 to -14.09	 to -7.37	 to -0.65
 to -32.57	 to -25.85	 to -19.13	 to -12.41	 to -5.69	 to 1.03



RETROFITTING

L'intervento di adeguamento è stato eseguito da febbraio ad agosto 2007 e il ponte è stato collaudato con successo nel settembre del 2007 ed è oggi in uso.



Collaudo

Recupero, A., Spinella, N., Colajanni, P., Scilipoti, C.D. - Increasing the capacity of existing bridges by using unbonded prestressing technology: A case study (2014) *Advances in Civil Engineering*, 2014, art. no. 840902.

An aerial photograph of a large cable-stayed bridge spanning a wide body of water. The bridge features two prominent white pylons with numerous stay cables. A large cargo ship is visible in the water below the bridge. In the background, a city skyline is visible across the water. The text "Grazie per l'Attenzione!" is overlaid in red in the center of the image.

Grazie per l'Attenzione!