

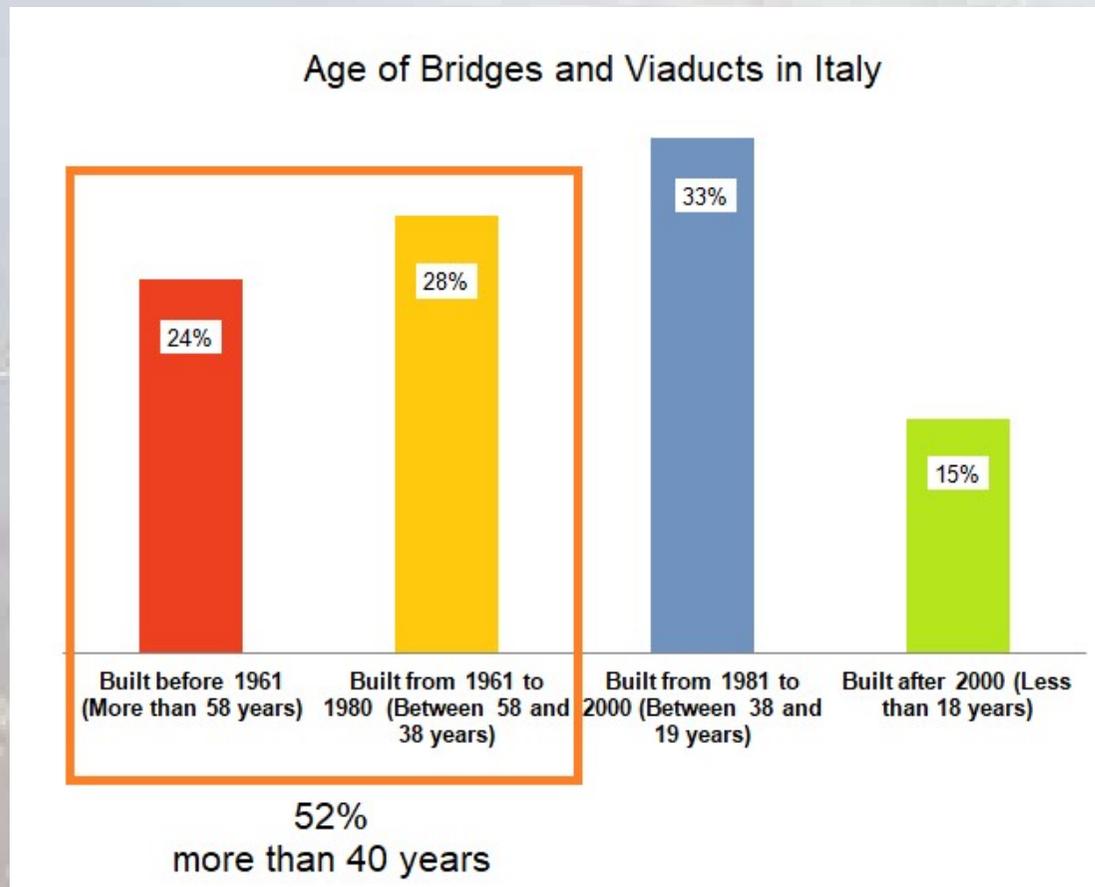


Analisi e riabilitazione di ponti esistenti

A. Recupero

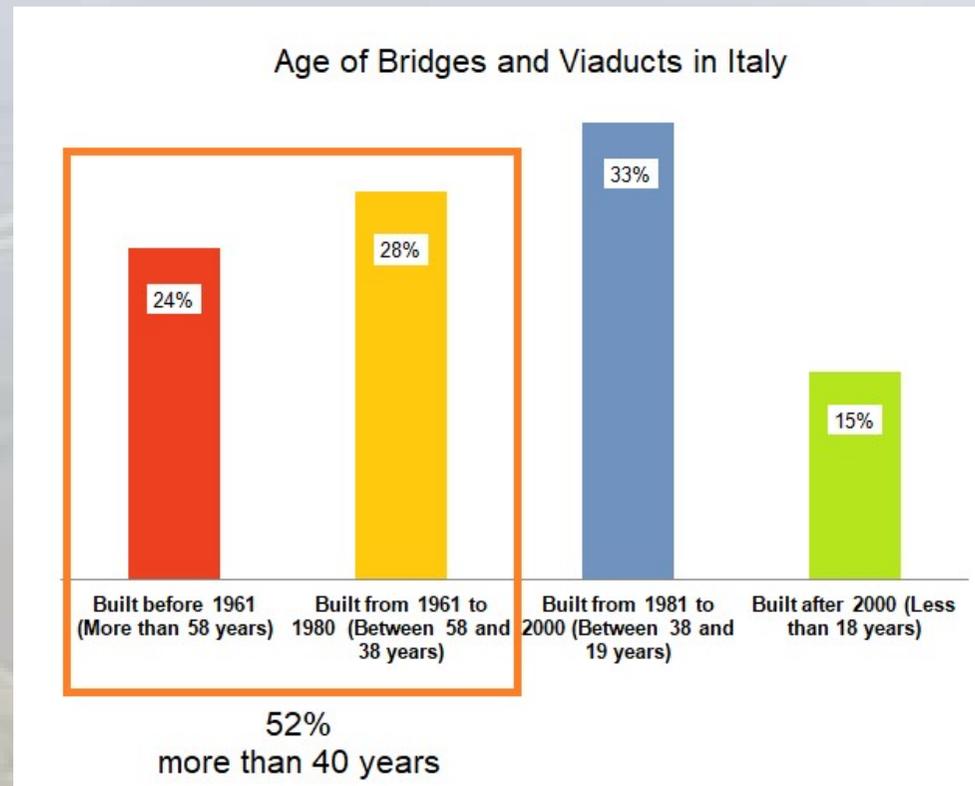
INTRODUZIONE

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.



INTRODUZIONE

Ponti a rischio in Italia

0

12



Fonte: Codacons



<https://www.idealista.it/news/immobiliare/costruzioni/2018/08/21/127049-ponti-a-rischio-in-italia-ecco-lelenco-aggiornato>

INTRODUZIONE

<https://www.idealista.it/news/immobiliare/costruzioni/2018/08/21/127049-ponti-a-rischio-in-italia-ecco-lelenco-aggiornato>

Sicilia

- Autostrada Catania-Palermo, ponte Simeto
- Agrigento, Viadotto Morandi
- Porto Empedocle, ponte Spinola
- Porto Empedocle, ponte Salsetto
- porto Empedocle, ponte Zubbie o Re
- Ponte sulla statale 18 tra Gioia Tauro e Palmi
- Ponte sulla statale 107 (viadotto 'Cannavino', al km 42,700 della strada statale 107 "Silana Crotonese")
- Palermo, ponte di via Oreto .
- Viadotto Acragas 1 e 2, Statale 115 quater
- Ponte sul fiume Salso, Licata
- Strada statale 626 Caltanissetta Gela (100m da Capodarso)
- Ponte sul fiume Gornalunga lungo la S.P. 74 in prossimità dei territori comunali di Belapasso, Motta S. Anastasia, Paternò e Palagonia

An aerial photograph of a cable-stayed bridge spanning a wide river or bay. The bridge features two tall, white, A-frame 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 with a black border is superimposed over the center of the image, containing the word "CROLLI" in blue, bold, sans-serif capital letters.

CROLLI

Linea 50 (spedizione in abbonamento postale) - Abbi. Italia (c.c.p. 232718) ann. L. 13.600, ann. 6750, riv. 3500 - Estero: ann. L. 22.990, sem. 11.250, riv. 5750

REDAZIONE, AMMINISTRAZIONE TIPOGRAFIA TORINO, VIA ROMA 35. Centralino tel. 5779 - Telex 51131

LA STAMPA

Isolatori: PUBLICITA' STAMPA s.p.a. Torino, via Roma 35, tel. 5779 (15 linee) Milano, via Borgogna 2, telefono 755121 Roma, largo N. Saraceni 5, tel. 960-977 Genova, via D'Azeglio 186/r, tel. 535-632

Il giornale si riserva in ogni caso il diritto di rifiutare qualsiasi inserzione

Publicità (semplice) L. 450 per ann. (letterone e data di rigore ann. 20%) - Avvisi (ordinari, bollette delle Aziende, Riviste periodiche) L. 900 per ann. - Abbonati, Legali L. 900 per ann. - Anzichè L. 650 per parola - Foto L. 1400 per ann. - Economici (sempre rubriche - Estero annuncio tariffe 25% - Copie arretrate prima dopo l'anno (specie per Paesi esteri) con arretrati: *Argentina post. 50; *Austria sc. 3,5; *Belgio fr. 5; *Canada can. 30; *Cuba sc. 30; *Danimarca sc. 1,10; *Egitto post. 6,90; *Francia D.F. 0,80; *Germania D.M. 0,60; *Giappone sc. 1; *Inghilterra sc. 1; *Italia sc. 1; *Lussemburgo sc. 1; *Paesi scandinavi sc. 1; *Portogallo sc. 1; *Spagna sc. 1; *Svezia sc. 1; *Svizzera sc. 1; *Turchia sc. 1; *Urss sc. 1; *USA sc. 1; *Yugoslavia sc. 1

LA LEGGE LI IGNORA Nessuno in Italia controlla i ponti

terra che si spalancò sotto i piedi, la voragine che si aprì ad inghiottire l'immagine usata dalle città lontane per indicare la più grave maledizione infernale innocente sull'uomo. 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 lusinghiero quanto immeritato, di «regina viarum». Se lungo la regina delle strade nazionali può toccare la sorte che nella notte da martedì a mercoledì si è verificata in

mezzanotte. E' quindi un povero tentativo grottesco, e' preferibile, a paragone con la menzogna, il candido stupore di uno dei progettisti, l'architetto Davide Pacionowski, che ha parlato di «impossibile controllo della parte da costruzione messa in opera sul ponte, il peperino romano». Il peperino tende sempre a insidriarsi e a diventar più compatto. Ecco perché il tempo, invece di danneggiarlo, doveva aver giovato al ponte; doveva, in un certo senso, averlo fortificato». Saranno le commissioni

quanto successivamente in relazione alla prova, o il manufatto continua a fornire col passare del tempo. Nel caso del ponte di Ariccia si è del resto la situazione di emergenza che direttore dei lavori, vale a dire 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 giudiziaria è preciso e strettamente delimitato. Si tratta di un

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 prepensi 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: amministrativo dello Stato, aziende autonome delle ferrovie e delle poste, enti prestativi e locali, imprese ind-

ustriali. Colombo, Preti, Piracini, Bertinelli, Scalfaro, Decca, Spagnoli ed i rappresentanti delle confederazioni sindacali dei lavoratori, erano presenti: per la Cgil Lama, Foa e Mosca; per la Cisl Scelto, Coppe ed Arlotta; per la Uil, Vigilantini, Corli e Benvenuto; per la Cnail Raberti.

Le discussioni si sono svolte in un clima di serietà e di equilibrio. I sindacati ed i ministri Tavianoli e Decca per l'esame delle questioni riguardanti gli enti locali e la azienda municipalizzata. In questa sede saranno approfondite le vertenze degli autoferroviari e dei dipendenti delle imprese di elettricità e gas.

Le discussioni si sono svolte in un clima di serietà e di equilibrio. I sindacati ed i ministri Tavianoli e Decca per l'esame delle questioni riguardanti gli enti locali e la azienda municipalizzata. In questa sede saranno approfondite le vertenze degli autoferroviari e dei dipendenti delle imprese di elettricità e gas.

La organizzazione degli statali, dei ferrovieri, dei posteggiatori, dei pensionati e dei dipendenti dagli enti locali si sono riservate di assumere una precisa posizione dopo altri incontri in un-

Alla Camera il problema della difesa in istruttoria Roma, 19 gennaio. Il 4.1) La commissione Giustizia della Camera esaminerà la proposta estesa al disegno di legge del ministro Rinaldo Ossola, che prevede la

Linea 50 (spedizione in abbonamento postale) - Abbi. Italia (leg. 2025/198) ann. L. 13.000, ann. 6750, inv. 3500 - Estero: ann. L. 22.000, inv. 11.250, inv. 5750

REDAZIONE, AMMINISTRAZIONE TIPOGRAFIA: TORINO, VIA ROMA 35. Centralino tel. 47.78 - Telex 51.134

LA STAMPA

Venerdì 30 Gennaio 1967

Inserzioni: PUBLICITA' STAMPA s.p.a. - Sede: via Roma 35, tel. 51.134 - 418 linee - Milano, via Marconi 2, telefono 700.117 - Roma, largo N. Salmati 5, tel. 854-877 - Genova, via R. Vitellio 1-85/r, tel. 503-877

Il giornale si riserva in ogni caso il diritto di rifiutare qualsiasi inserzione

LA LEGGE LI IGNORA

Nessuno in Italia controlla i ponti

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 maledizione infernale innocente sull'uomo. 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 lusinghiero quanto immeritato, di «regina viarum». Se lungo la regina delle strade nazionali può toccare la sorte che nella notte da martedì a mercoledì 31 gennaio subì una

mezzanotte, è quindi un povero tentativo grottesco, è preferibile, a paragone con la menzogna, il candido stupore di uno dei progettisti, l'architetto Davide Paganowski, che ha parlato di «irrimediabile compromissione della parte da costruzione messa in opera sul ponte, il peperino romano». Il peperino tende sempre a insidriarsi e a divessare già coperto. Ecco perché il tempo, invece di danneggiarlo, doveva aver giovato al ponte; doveva, in un certo senso, averlo fortificato». Saranno le commissioni

quanto successivamente la relazione alla prova, ma il manufatto continua a fornire col passare del tempo. Nel caso del ponte di Aricia si è del resto la situazione di circostanza che direttore dei lavori, vale a dire 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. Si tratta di un

L'incontro tra i s

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, 29 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 delle ferrovie e delle poste, enti provinciali e locali, imprese na-

zionali. Colombo, Preti, Piracini, Bertinelli, Scalfaro, Bianco, Spagnoli ed i rappresentanti delle confederazioni sindacali dei lavoratori, erano presenti: per la Cgil Lama, Foa e Mosca; per la Cisl Scelto, Coppe ed Arlotta; per la Uil, Vigliani, Corli e Benvenuto; per la Cnail Raberti.

La riforma del servizio pubblico - ha detto Lama - sono reali, ma la riforma organica non si può fare con i risparmi sul salario dei lavoratori. Storti, Coppe e Arlotta, dopo aver insistito per una equa definizione della riforma e del riassetto, hanno fatto presen-

te le difficoltà del servizio pubblico - ha detto Lama - sono reali, ma la riforma organica non si può fare con i risparmi sul salario dei lavoratori. Storti, Coppe e Arlotta, dopo aver insistito per una equa definizione della riforma e del riassetto, hanno fatto presen-

te le difficoltà del servizio pubblico - ha detto Lama - sono reali, ma la riforma organica non si può fare con i risparmi sul salario dei lavoratori. Storti, Coppe e Arlotta, dopo aver insistito per una equa definizione della riforma e del riassetto, hanno fatto presen-

Alla Camera il problema della difesa in istruttoria. Roma, 29 gennaio. (L. 4.1) La commissione Giustizia della Camera esaminerà la prossima settimana il disegno di legge del ministro Rinaldo Ossola sulle proposte dei deputati

CROLLO DEL PONTE DI ARICCIA - 18 gennaio 1967



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.

CROLLO DEL VIADOTTO S. STEFANO - 23 aprile 1999



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

CROLLO DEL VIADOTTO S. STEFANO - 23 aprile 1999

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.



CROLLO DEL VIADOTTO S. STEFANO - 23 aprile 1999

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.



CROLLO DEL VIADOTTO S. STEFANO - 23 aprile 1999

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.



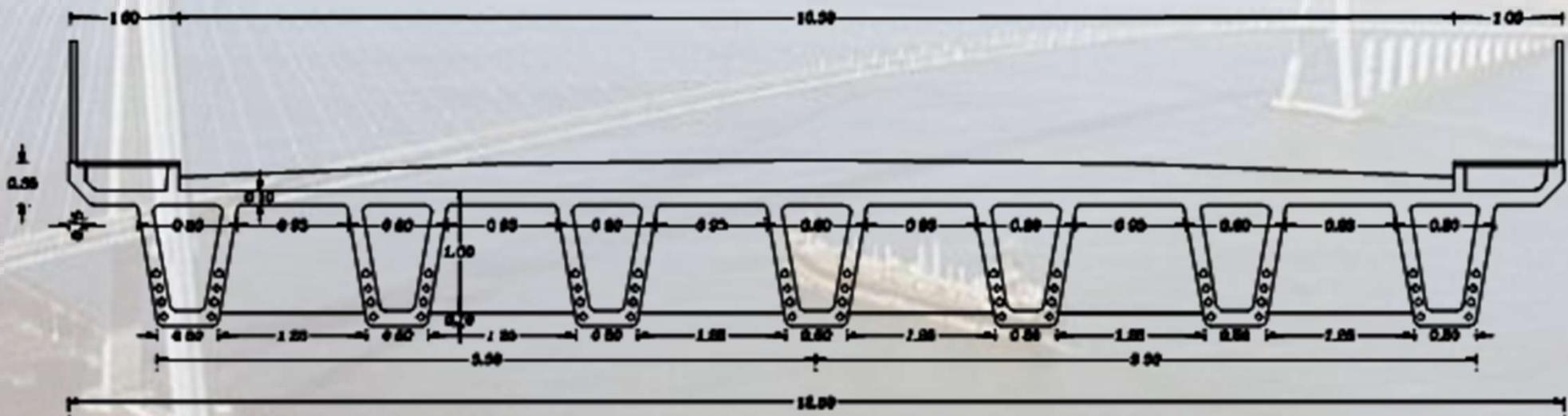
CROLLO DEL VIADOTTO S. STEFANO - 23 aprile 1999

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



CROLLO DEL VIADOTTO S. STEFANO - 23 aprile 1999

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.



CROLLO DEL VIADOTTO S. STEFANO - 23 aprile 1999

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 boiacca.**

CROLLO DEL VIADOTTO S. STEFANO - 23 aprile 1999



La trave lato mare

CROLLO DEL VIADOTTO S. STEFANO - 23 aprile 1999



CROLLO DEL VIADOTTO S. STEFANO - 23 aprile 1999



La trave lato monte

CROLLO DEL VIADOTTO S. STEFANO - 23 aprile 1999

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

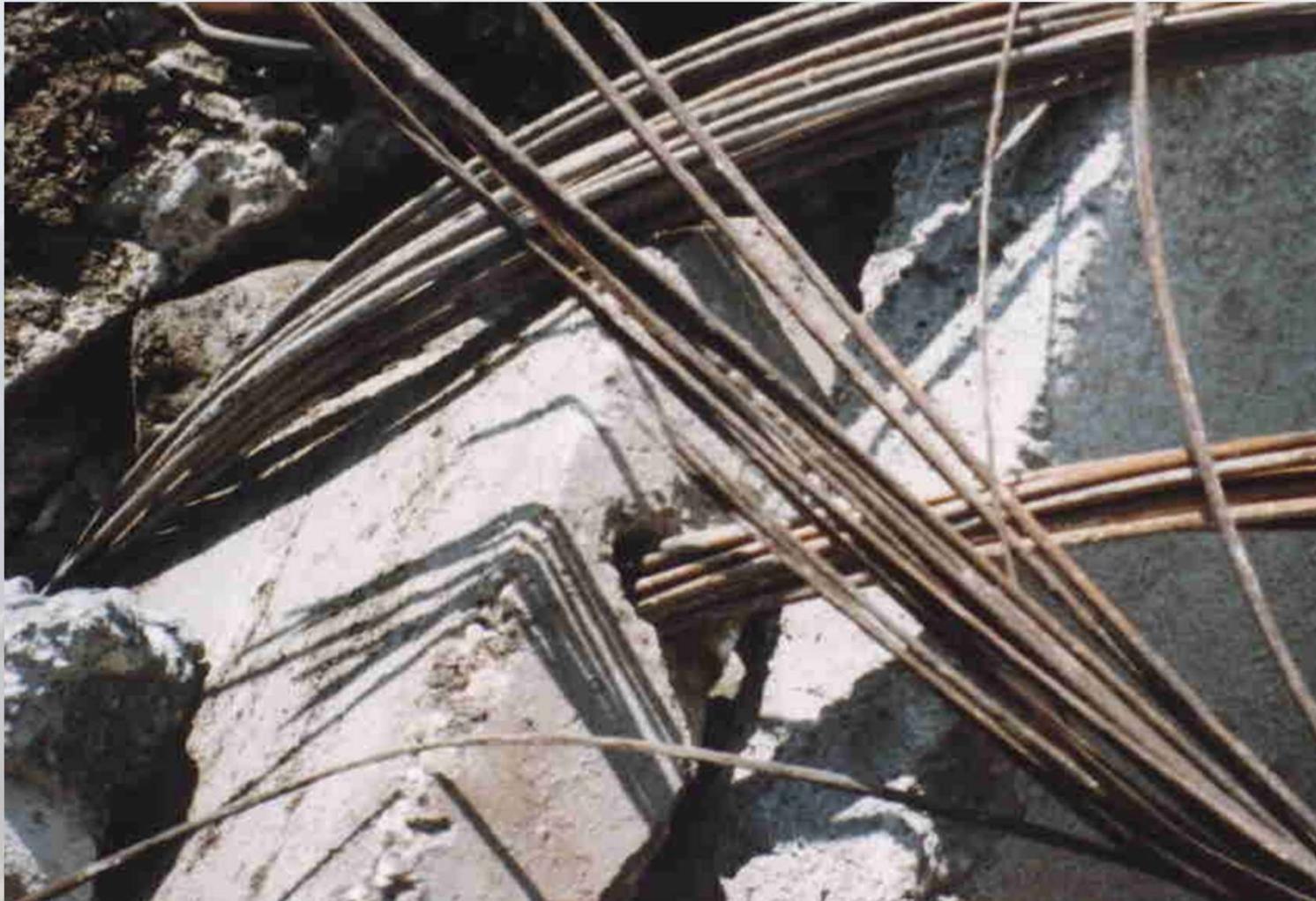
CROLLO DEL VIADOTTO S. STEFANO - 23 aprile 1999



CROLLO DEL VIADOTTO S. STEFANO - 23 aprile 1999



CROLLO DEL VIADOTTO S. STEFANO - 23 aprile 1999



CROLLO DEL VIADOTTO S. STEFANO - 23 aprile 1999



CROLLO DEL VIADOTTO S. STEFANO - 23 aprile 1999



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

DANNI SUL VIADOTTO RACINAZZI - 01 ottobre 2009

Torrente Racinazzi - Scaletta Zanclea Marina



a= buco nel pilone provocato dal violentissimo impatto di un masso di roccia (b) trasportato dalla colata (ricostruita in giallo trasparente) che ha raggiunto un'altezza di oltre 10 metri (c) all'impatto con i piloni dell'Autostrada Messina-Catania. La lettera d, nel riquadro R, indica l'altezza raggiunta dalla parte "più acquosa" posteriore della colata che ha dilavato il fango. La colata rapida di fango e detrito ha investito, inverosimilmente, i piloni perpendicolarmente alla loro dimensione massima (freccia rossa), disposta secondo la direzione di scorrimento dell'acqua nell'alveo torrentizio (e), poichè nell'ansa ubicata poco a monte il flusso è risalito sulla sponda destra orografica descrivendo una curva parabolica per ridiscendere nella valle in corrispondenza dell'attraversamento autostradale.

DANNI SUL VIADOTTO RACINAZZI - 01 ottobre 2009

Torrente Racinazzi - Scaletta Zanclea Marina



DANNI SUL VIADOTTO RACINAZZI - 01 ottobre 2009

Torrente Racinazzi - Scaletta Zanclea Marina



CROLLO DEL VIADOTTO LONGANO- 22 novembre 2011



22 novembre 2011 - Ponte sul torrente Longano a Calderà.

CROLLO DEL VIADOTTO LONGANO- 22 novembre 2011



22 novembre 2011 - Ponte sul torrente Longano a Calderà.

CROLLO DEL VIADOTTO CARASCO - 23 Ottobre 2013



**23 Ottobre 2013 - Il ponte a Carasco nel Levante Ligure (SP 225)
con due vittime**

CROLLO DEL VIADOTTO ODDONE- 18 novembre 2013



18 novembre 2013 - Viadotto sull'Oddone a Olbia, crollata una pila centrale.

CROLLO DEL VIADOTTO ODDONE - 18 novembre 2013



18 novembre 2013 - Viadotto sull'Oddone a Olbia, crollata una pila centrale.

CROLLO DEL VIADOTTO OLIENA - 18 novembre 2013



18 novembre 2013 - Ponte crollato sulla provinciale Oliena-Dorgali (NUORO).

CROLLO DEL VIADOTTO OLIENA - 18 novembre 2013



18 novembre 2013 - Ponte crollato sulla provinciale Oliena-Dorgali (NUORO).

CROLLO DEL VIADOTTO PETRULLA - 07 Luglio 2014



Licata (AG) - Costruito alla fine degli anni '70.

CROLLO DEL VIADOTTO PETRULLA - 07 Luglio 2014



CROLLO DEL VIADOTTO PETRULLA - 07 Luglio 2014

- 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.

CROLLO DEL VIADOTTO PETRULLA - 07 Luglio 2014



a) Lamierini dei condotti corrosi;



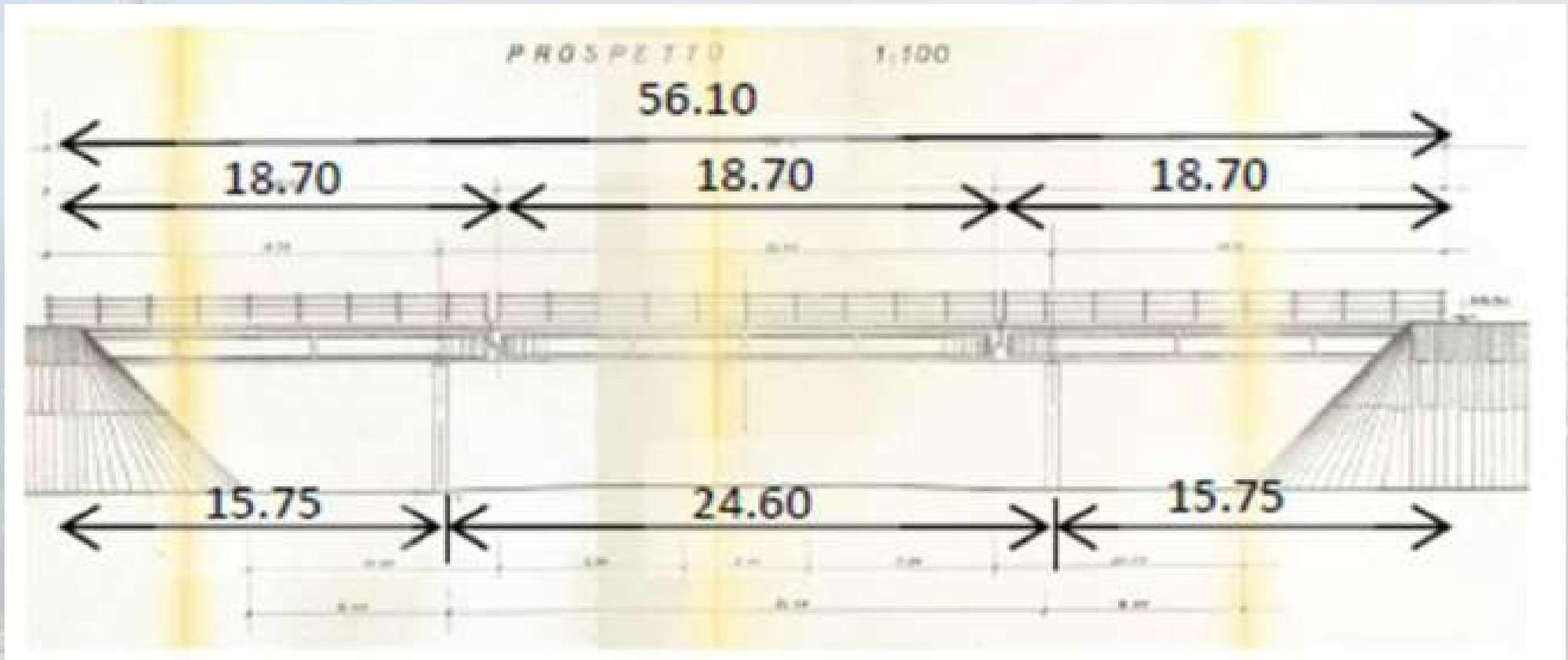
b) Armatura di precompressione corrosa;



CROLLO CAVALCAVIA DI ANNONE (LECCO) - 28/10/2016



CROLLO CAVALCAVIA DI ANNONE (LECCO) - 28/10/2016



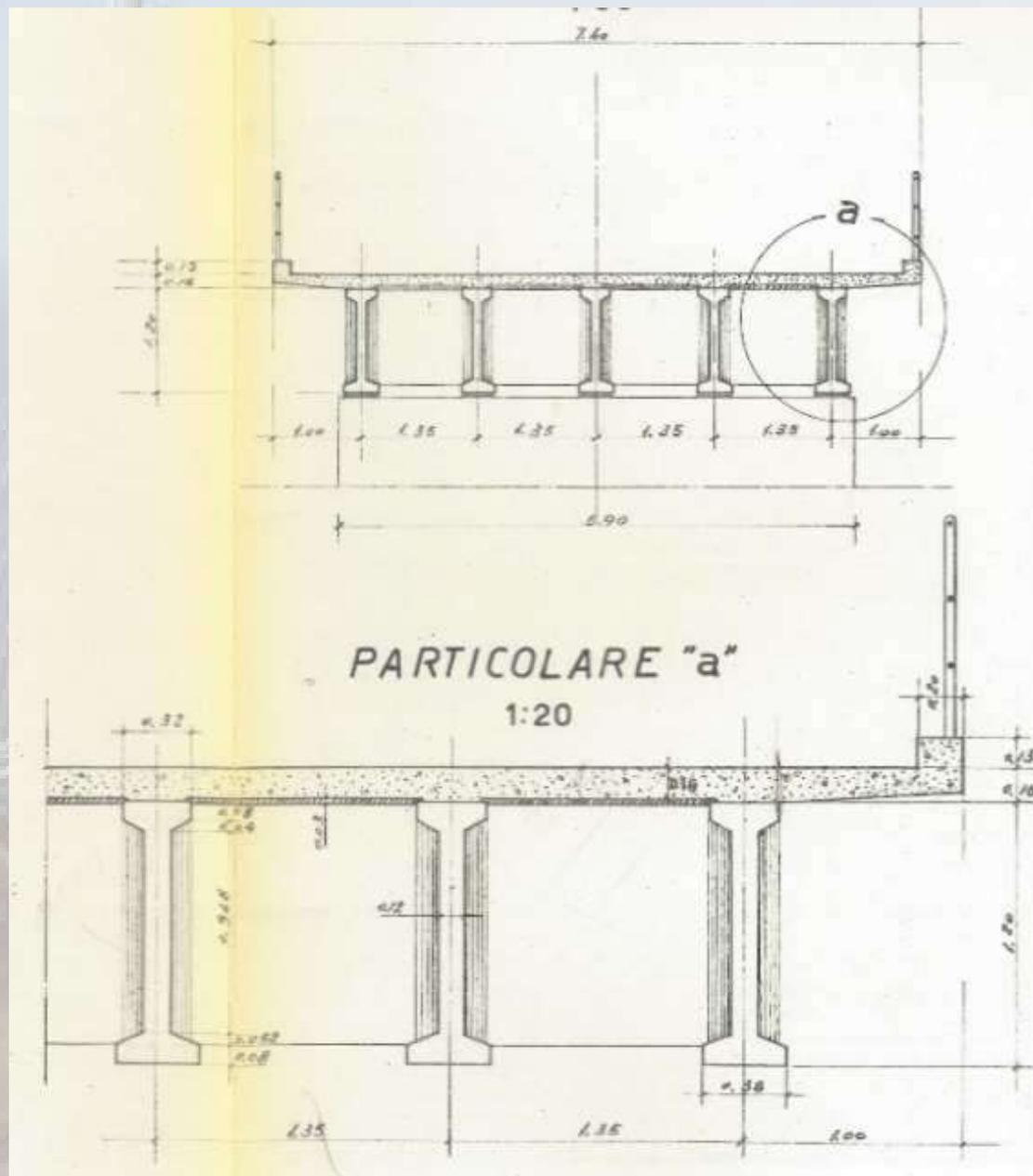
Disegni del progetto originario: Prospetto laterale

CROLLO CAVALCAVIA DI ANNONE (LECCO) - 28/10/2016



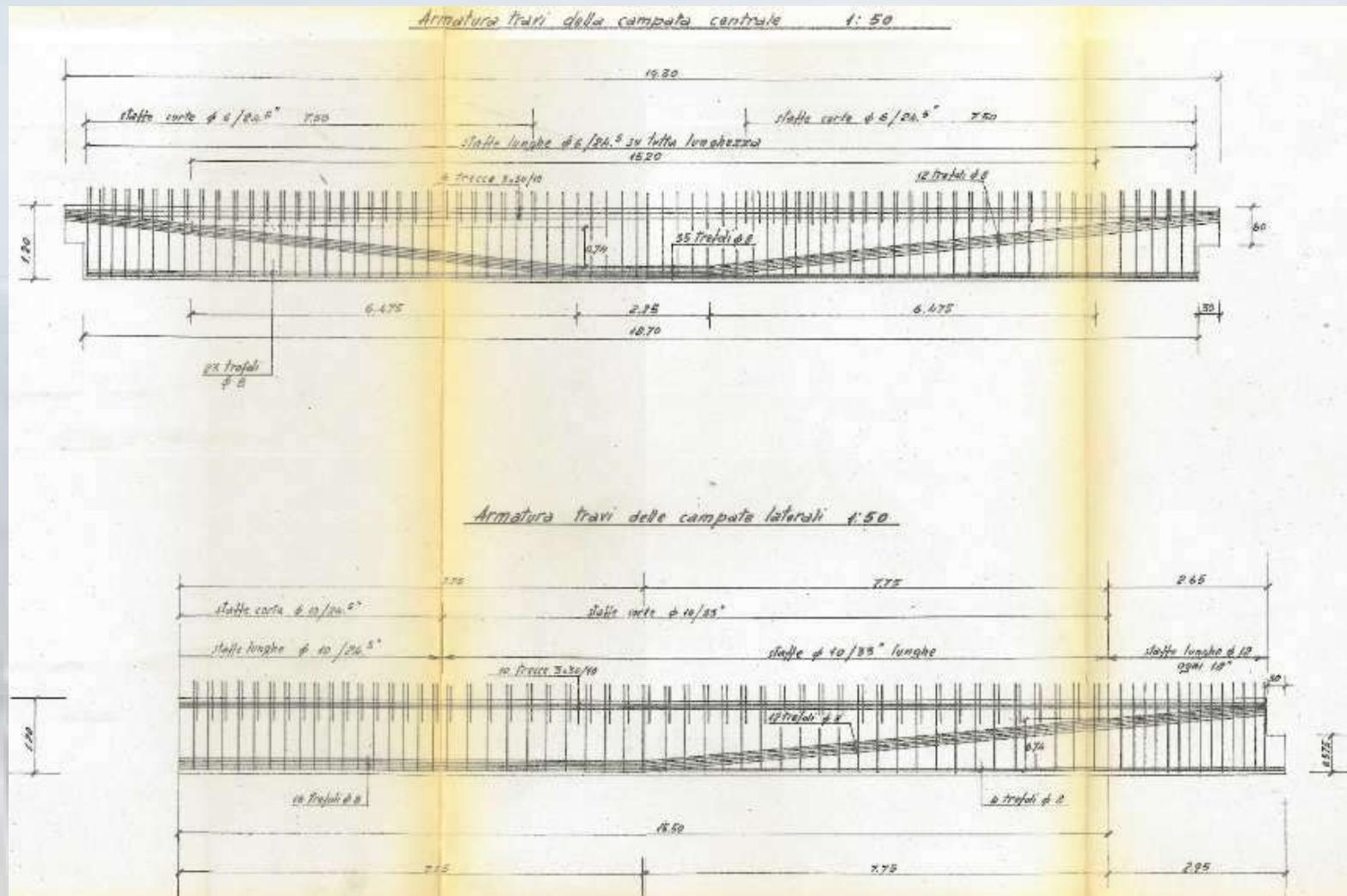
Disegni del progetto originario: Particolare prospetto laterale

CROLLO CAVALCAVIA DI ANNONE (LECCO) - 28/10/2016



Disegni del progetto originale: sezione trasversale.

CROLLO CAVALCAVIA DI ANNONE (LECCO) - 28/10/2016



Disegni del progetto originale: armatura longitudinale.

CROLLO CAVALCAVIA DI ANNONE (LECCO) - 28/10/2016



Urto localizzato nel 2006 che richiese intervento.

CROLLO CAVALCAVIA DI ANNONE (LECCO) - 28/10/2016



Urto localizzato nel 2006 che richiese intervento.

CROLLO CAVALCAVIA DI ANNONE (LECCO) - 28/10/2016



Intervento di riparazione mediante CFRP: dettaglio di posa delle strisce

CROLLO CAVALCAVIA DI ANNONE (LECCO) - 28/10/2016



Intervento di riparazione mediante
CFRP: vista a lavoro ultimato.

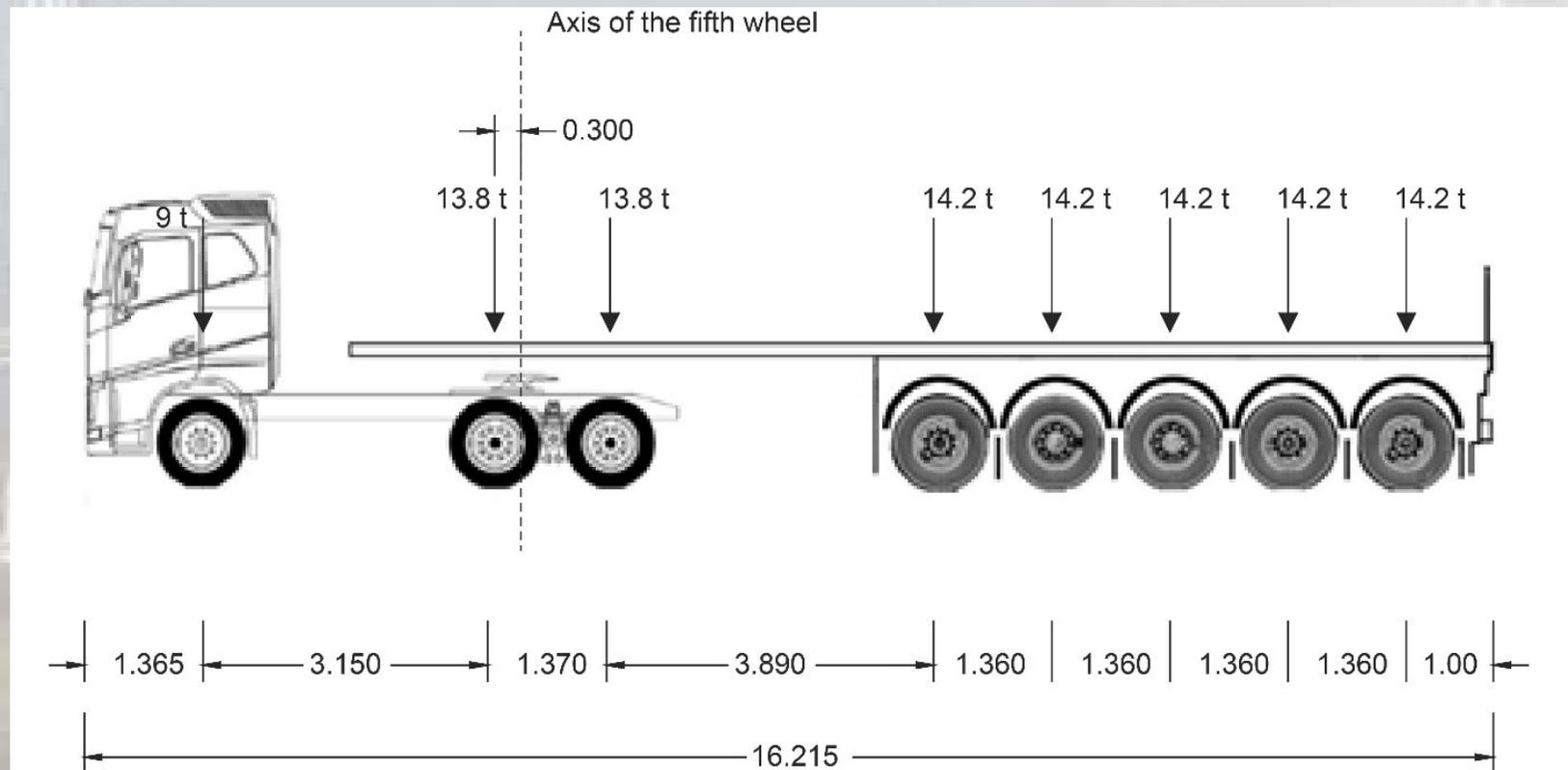
CROLLO CAVALCAVIA DI ANNONE (LECCO) - 28/10/2016



Foto della sella Gerber prima del crollo.

CROLLO CAVALCAVIA DI ANNONE (LECCO) - 28/10/2016

Il collasso del cavalcavia si è verificato quando l'ultimo asse dell'autoarticolato a 8 assi che trasportava 4 coils aventi un peso complessivo di 822.6 kN (con un peso totale dell'automezzo di 1076 kN), viaggiando nella propria corsia ad una velocità di circa 6.6 km/h, ha superato il giunto scaricando l'intero suo peso nella campata centrale.



CROLLO CAVALCAVIA DI ANNONE (LECCO) - 28/10/2016

I soli dati trasmessi dalla Società Eusider, con sede a circa 500 metri dal cavalcavia, hanno evidenziato come nella sola giornata del crollo del viadotto (28/10/2016) siano verosimilmente transitati sul viadotto quattro convogli con peso netto del solo carico superiore alle **700 kN** e più precisamente 767.4 kN, 749.8 kN, 748.4 kN, 730.2 kN.

Un'analisi delle bolle di consegna del materiale in ingresso svolta nell'arco dei 5 anni precedenti il crollo mostra un numero di convogli con carico trasportato superiore alle 700 kN sempre superiore al centinaio/anno.

Il ponte invece era stato progettato in accordo con quanto prescritto dalla Circolare 14 febbraio 1962 n.384 come ponte di II categoria (max 550 kN - comprensivo di incremento dinamico).

CROLLO CAVALCAVIA DI ANNONE (LECCO) - 28/10/2016

L'unica mensola intatta fu provata presso i laboratori a Lecco



CROLLO CAVALCAVIA DI ANNONE (LECCO) - 28/10/2016

- I carichi eccezionali che attraversavano il ponte imponevano al giunto più esterno un carico prossimo al suo carico di rottura;
- La fessura a taglio propagatasi nella sella Gerber giunta a collasso, ha favorito l'ossidazione del rinforzo e ne ha ridotto significativamente la capacità portante nel tempo, producendo un assestamento di circa 25 mm di tale supporto;
- Il ponte ha utilizzato la sua limitata capacità ridistributiva ed infine è collassato al passaggio dell'ennesimo carico eccezionale transitato nella propria corsia vicino alla linea centrale, producendo così una significativa eccentricità del carico sul cavalcavia.

CROLLO CAVALCAVIA DI FOSSANO (CU) - 18/04/2017



CROLLO CAVALCAVIA DI FOSSANO (CU) - 18/04/2017



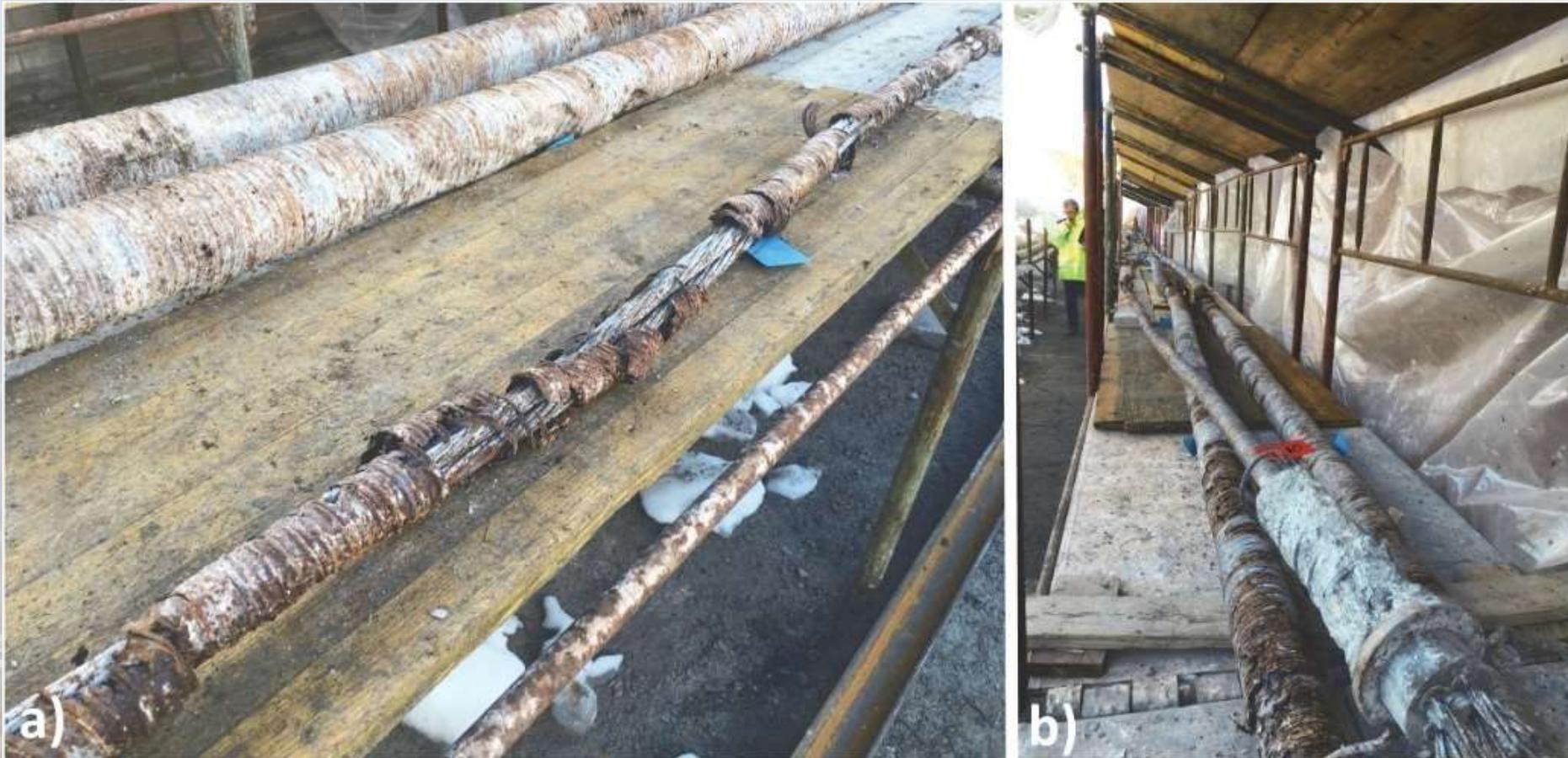
CROLLO CAVALCAVIA DI FOSSANO (CU) - 18/04/2017

La struttura era una trave semplicemente appoggiata, campata 30,80 m larghezza 8,90 m, costituita da una trave post-tesa bicellulare e da una soletta gettata. La sezione era 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.

CROLLO CAVALCAVIA DI FOSSANO (CU) - 18/04/2017



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.

CROLLO CAVALCAVIA DI FOSSANO (CU) - 18/04/2017



CROLLO CAVALCAVIA DI FOSSANO (CU) - 18/04/2017



CROLLO CAVALCAVIA A14 - 9 MARZO 2017



Crollo del cavalcavia lungo l'autostrada A14, avvenuto il 9 marzo 2017 tra i caselli Ancona sud e Loreto nel Comune di Camerano, che costò la vita a due persone e il ferimento di altre tre.

CROLLO CAVALCAVIA A14 - 9 MARZO 2017



Crollo del cavalcavia lungo l'autostrada A14, avvenuto il 9 marzo 2017 tra i caselli Ancona sud e Loreto nel Comune di Camerano, che costò la vita a due persone e il ferimento di altre tre.

CROLLO CAVALCAVIA A14 - 9 MARZO 2017



Crollo del cavalcavia lungo l'autostrada A14, avvenuto il 9 marzo 2017 tra i caselli Ancona sud e Loreto nel Comune di Camerano, che costò la vita a due persone e il ferimento di altre tre.

CROLLO CAVALCAVIA A14 - 9 MARZO 2017

Secondo il perito del PM, Prof. Luigino Dezi, a cedere fu una colonna di acciaio, provvisoria di sollevamento, cava e di sezione quadrata di diametro di circa 20 x 20 centimetri. Flangiata all'estremità con il compito di "contrastare" lo sforzo dei martinetti durante lo sforzo di sollevamento dell'impalcato. A far scivolare il ponte dunque sarebbe stato il cedimento di una di queste colonne perché posizionati in modo non simmetrico per cui, durante il sollevamento dell'impalcato, il peso di quest'ultimo si è distribuito in modo non uniforme, creando così un sovraccarico su uno dei pilastri e sul relativo martinetto. Così il ponte ha roteato sul suo asse orizzontale fino a cedere sull'asse autostradale. **Il sistema era poco robusto.**

CROLLO CAVALCAVIA A14 - 9 MARZO 2017

Inoltre, sempre secondo quanto ricostruito dal perito, queste colonne erano state posizionate male anche a seguito dei progetti ingegneristici, considerati poco dettagliati ed eccessivamente generici.



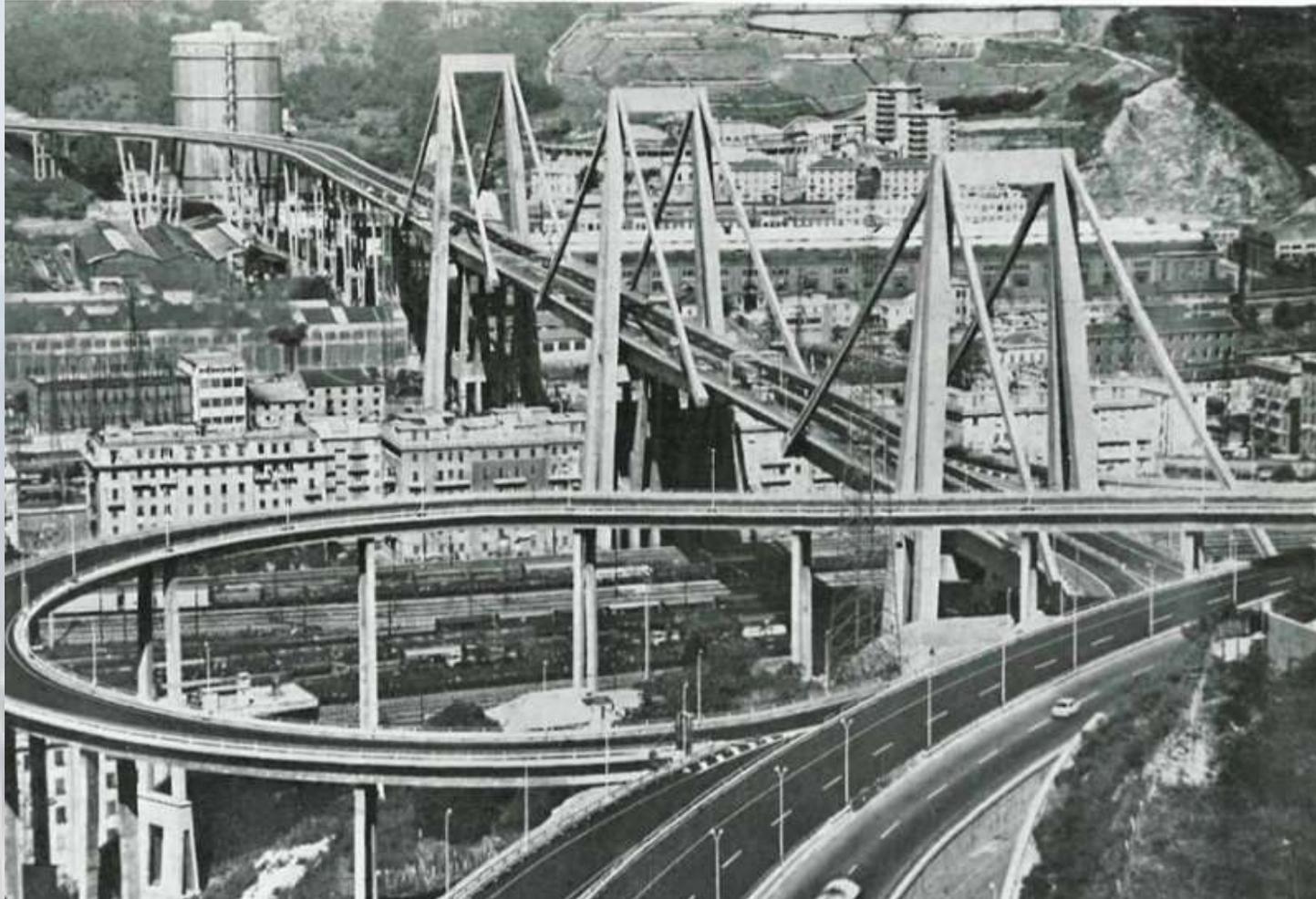
Infine i martinetti avrebbero lavorato troppo velocemente, sollevando il manufatto con eccessiva potenza, andando così ad accentuare lo sbilanciamento del baricentro del peso.

CROLLO VIADOTTO POLCEVERA - 14 AGOSTO 2018



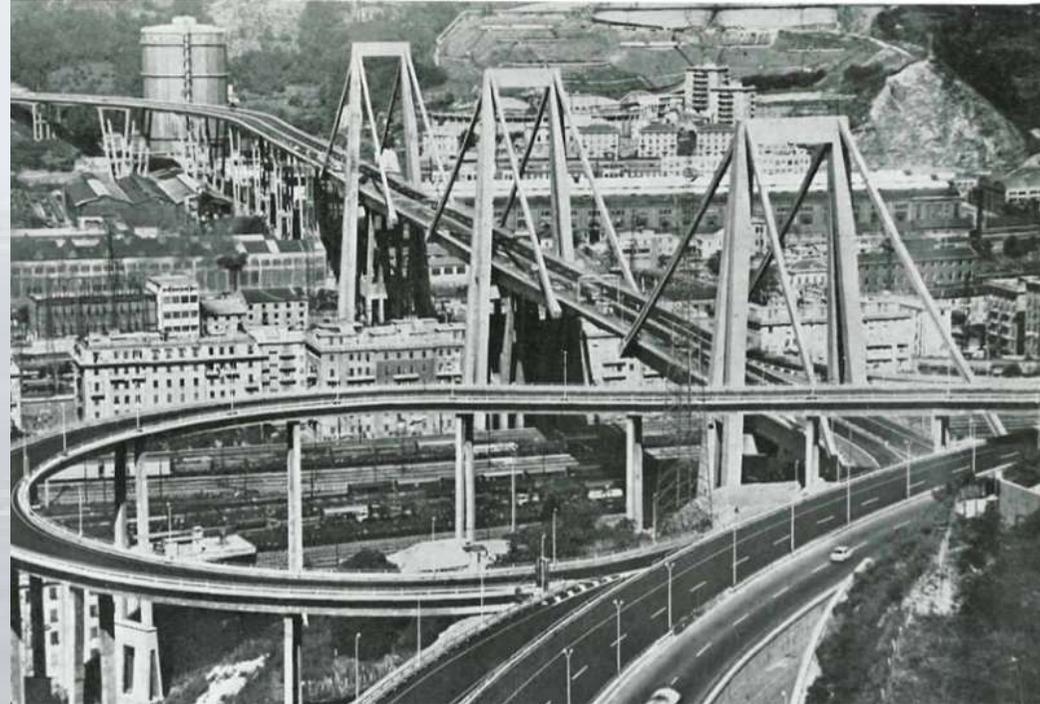
Il 14 agosto 2018 crollò l'intero sistema bilanciato della pila 9 del viadotto sul Polcevera, provocando 43 morti e 566 sfollati.

CROLLO VIADOTTO POLCEVERA - 14 AGOSTO 2018



Fu progettato da Riccardo Morandi e venne costruito fra il 1963 e il 1967 dalla Società Italiana per Condotte d'Acqua

CROLLO VIADOTTO POLCEVERA - 14 AGOSTO 2018



Fu progettato da Riccardo Morandi e venne costruito fra il 1963 e il 1967 dalla Società Italiana per Condotte d'Acqua

CROLLO VIADOTTO POLCEVERA - 14 AGOSTO 2018



Alcune fasi della costruzione originaria

CROLLO VIADOTTO POLCEVERA - 14 AGOSTO 2018



CROLLO VIADOTTO MADONNA DEL MONTE - 25/11/2019



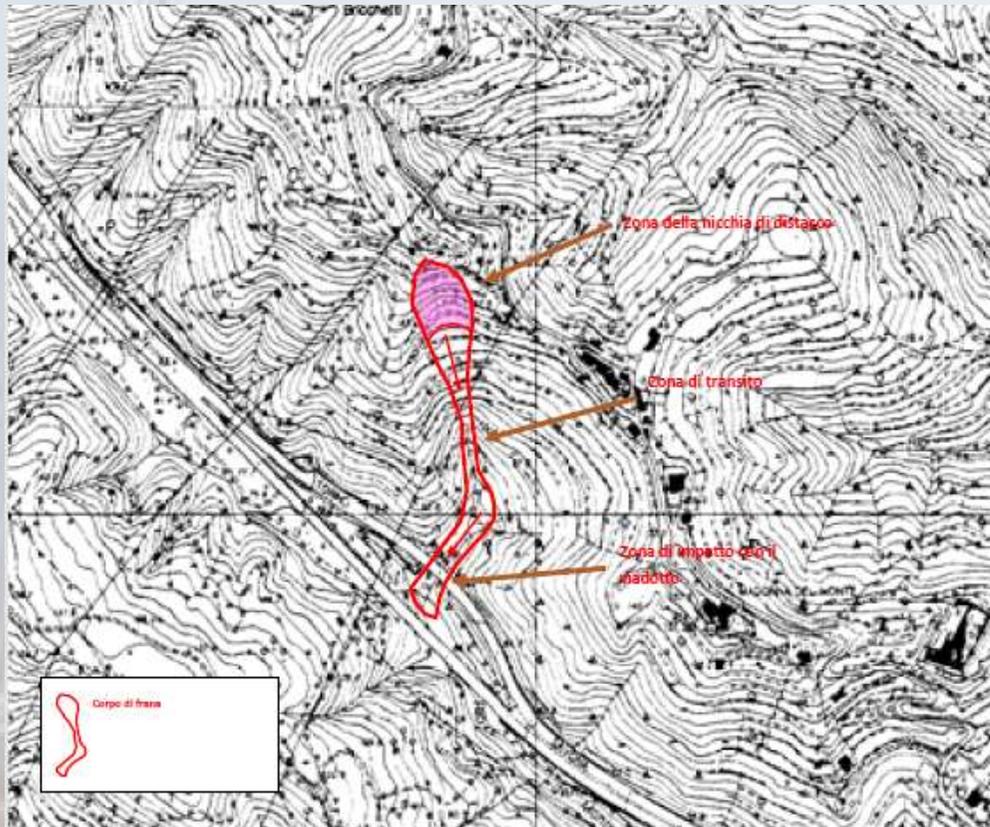
Un tratto del viadotto Madonna del Monte lungo la Torino-Savona - A6 - è crollato in data 25/11/2019.

CROLLO VIADOTTO MADONNA DEL MONTE - 25/11/2019



Un tratto del viadotto Madonna del Monte lungo la Torino-Savona - A6 - è crollato in data 25/11/2019.

CROLLO VIADOTTO A9 - 25 novembre 2019



Colata di fango e detriti causata dalle incessanti piogge sulla zona.

CROLLO PONTE ALBIANO MAGRA - 08 APRILE 2020



Il viadotto che collega Santo Stefano Magra (La Spezia) ad Albiano (Massa Carrara), sulla SP 70, ha ceduto per rottura progressiva

CROLLO PONTE ALBIANO MAGRA - 08 APRILE 2020

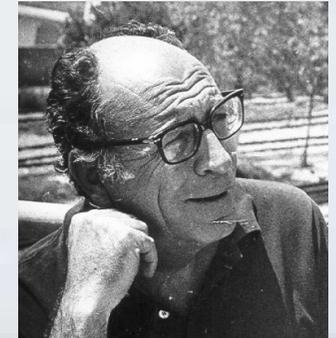


Il viadotto che collega Santo Stefano Magra (La Spezia) ad Albiano (Massa Carrara), sulla SP 70, ha ceduto per rottura progressiva.

CROLLO PONTE ALBIANO MAGRA - 08 APRILE 2020



Arrigo Carè (1919-2004)



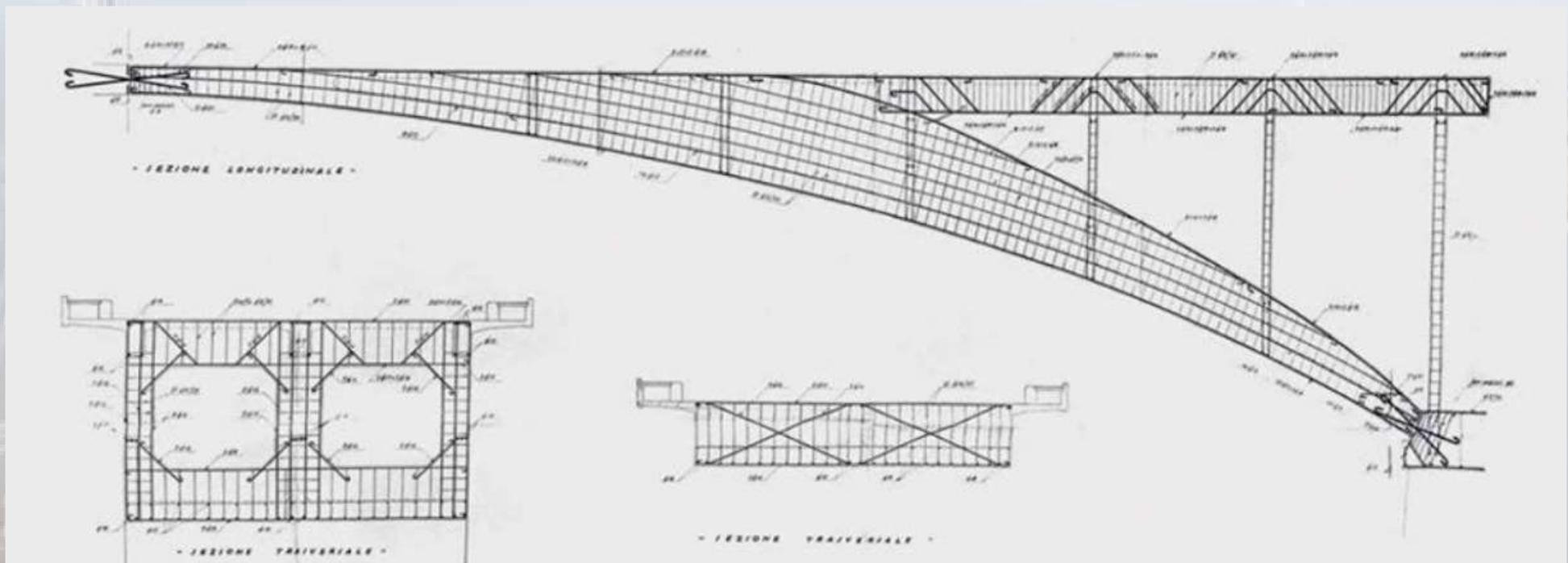
Giorgio Giannelli (1918-1985)

Giulio Ceradini (1918-2005)



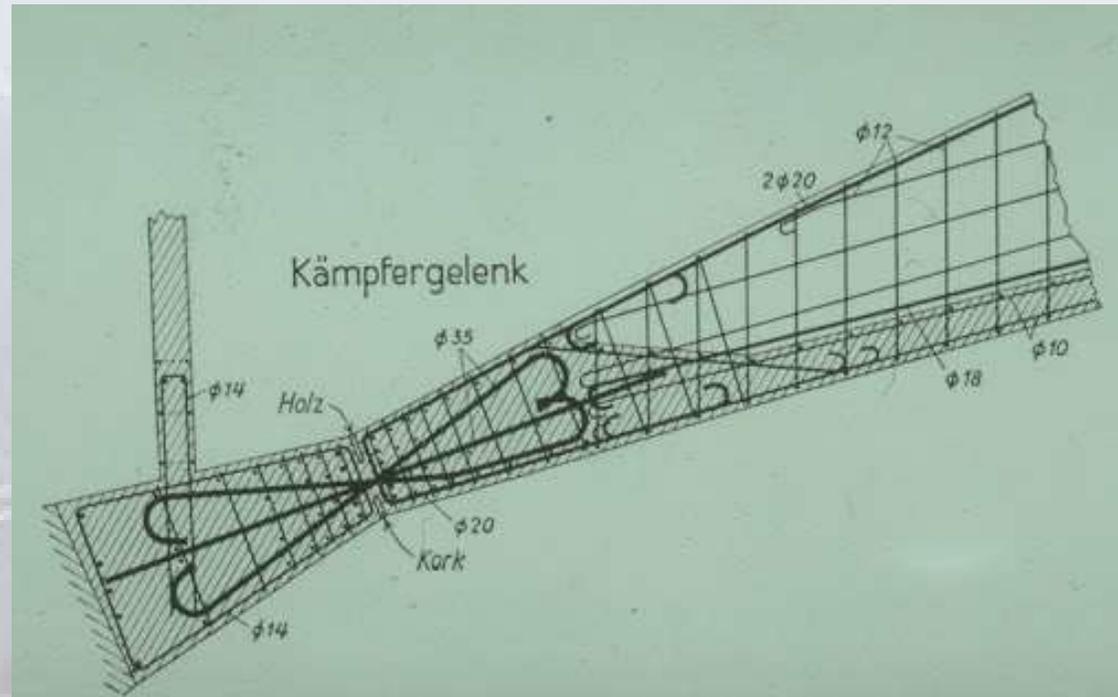
Il ponte fu ricostruito nel 1949, dall'impresa Nino Ferrari, su progetto di Arrigo Carè e Giorgio Giannelli, con il contributo di Giulio Ceradini tutti esponenti della scuola romana.

CROLLO PONTE ALBIANO MAGRA - 08 APRILE 2020



Arco in calcestruzzo armato, a tre, cerniere ribassato con le cerniere del tipo Mesnager.

CROLLO PONTE ALBIANO MAGRA - 08 APRILE 2020



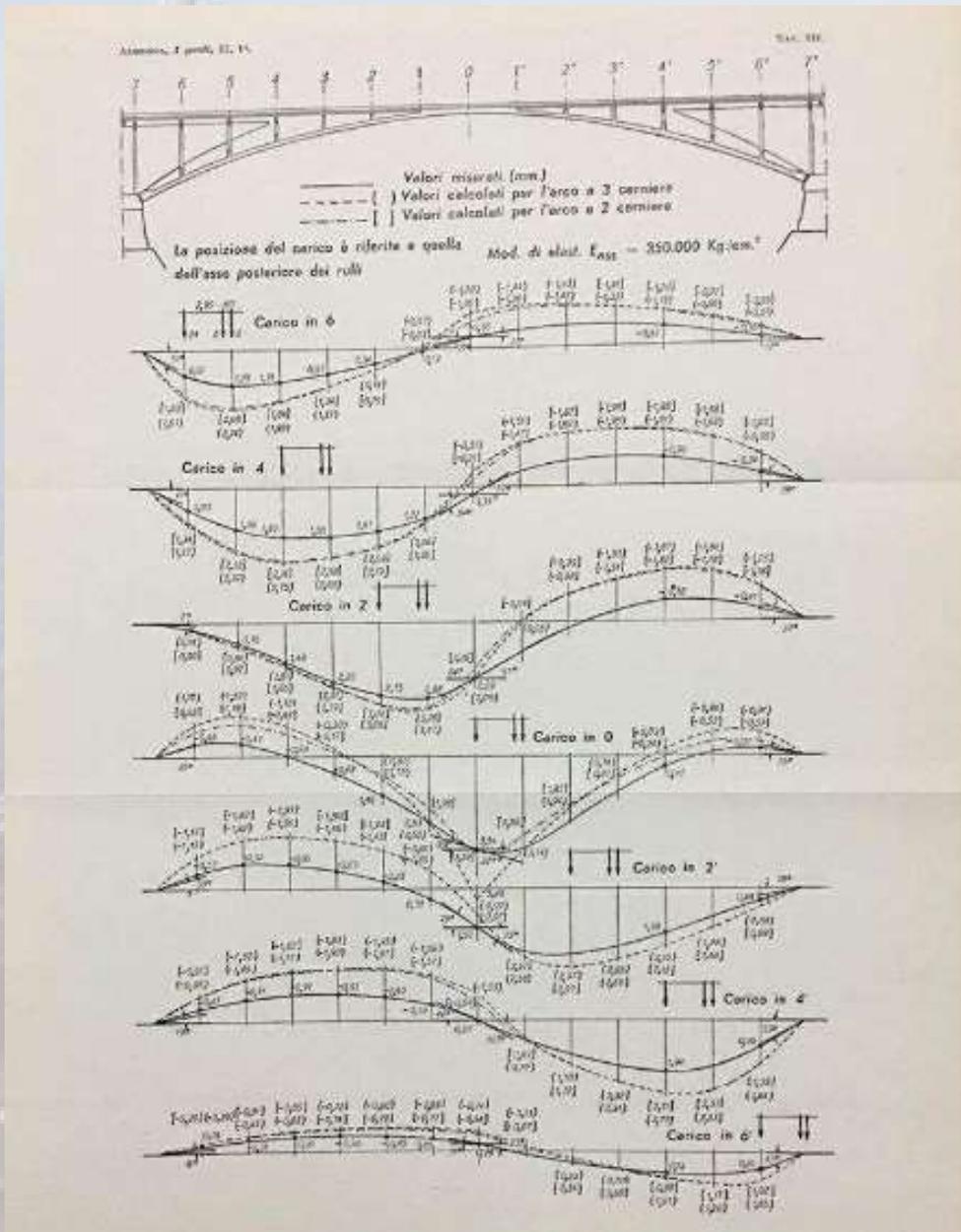
La cerniera fu ideata da Augustin Mesnager ingegnere francese per garantire l'assenza di momenti flettenti.

CROLLO PONTE ALBIANO MAGRA - 08 APRILE 2020



Fasi di realizzazione del Viadotto di Albiano Magra

CROLLO PONTE ALBIANO MAGRA - 08 APRILE 2020



Interpretazione della prova di carico e linee di influenza.

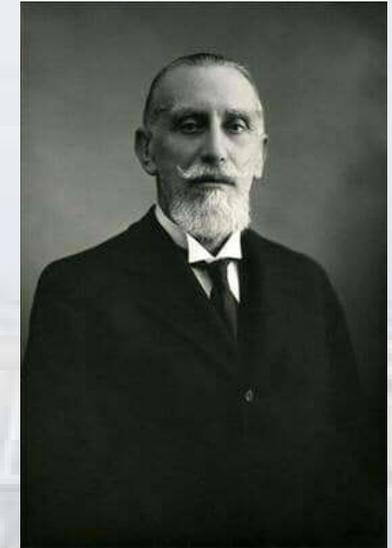
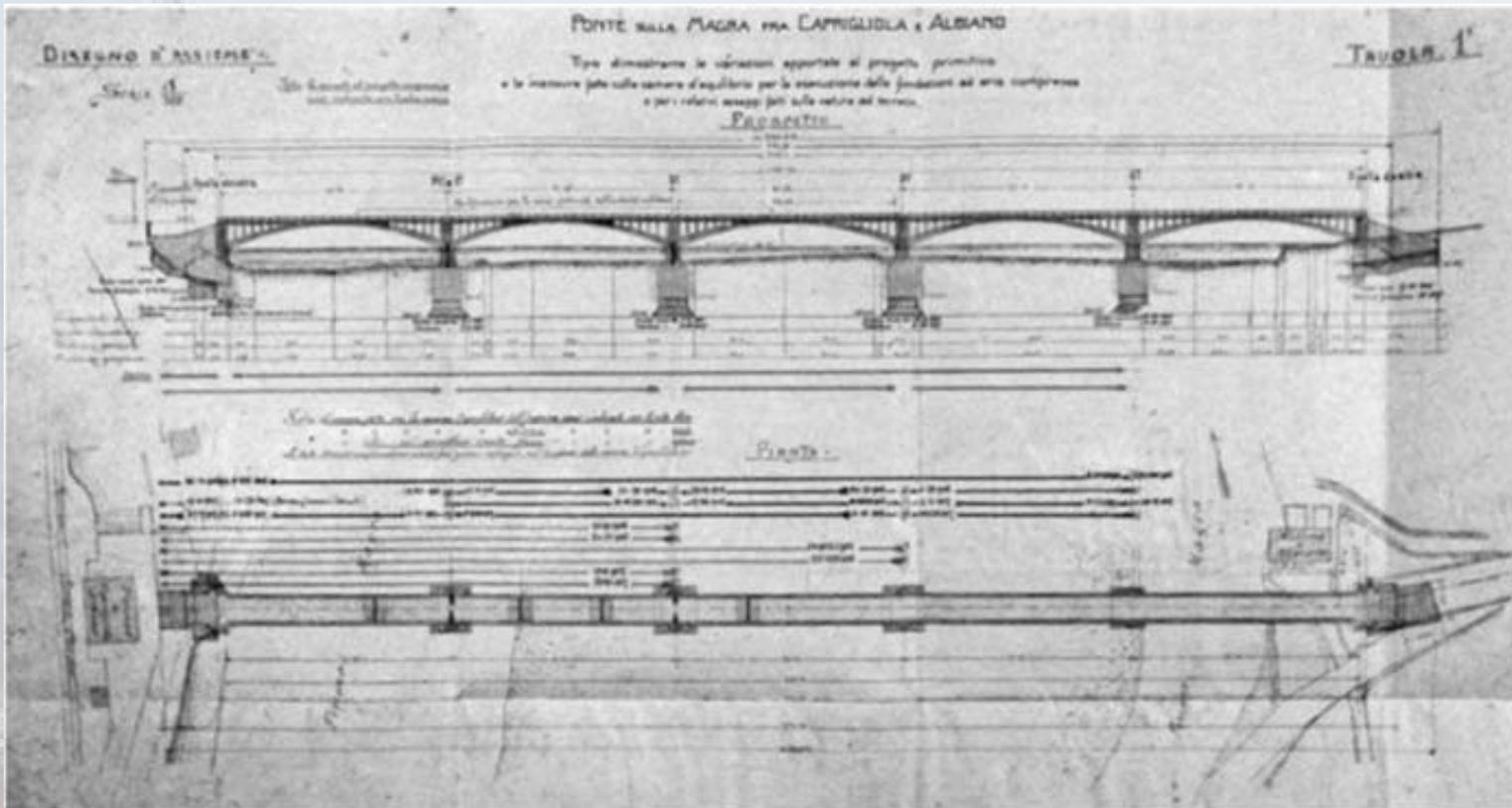


CROLLO PONTE ALBIANO MAGRA - 08 APRILE 2020



Il ponte originario era una struttura in cemento armato da 5 arcate distanti tra loro 51,85 metri, che poggiano su quattro pile in muratura. Le arcate a sezione variabile erano in cemento armato non precompresso, con piedritti sottili in cemento armato.

CROLLO PONTE ALBIANO MAGRA - 08 APRILE 2020



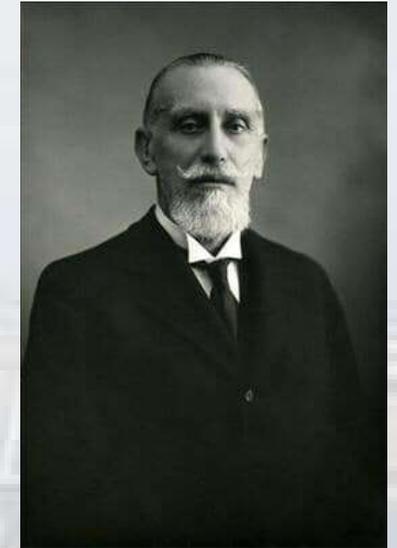
Attilio Muggia (1860 - 1936)

Il progetto era del Prof. Attilio Muggia, che tenne la cattedra di architettura tecnica alla scuola d'ingegneria di Bologna dal 1912 al 1935.

CROLLO PONTE ALBIANO MAGRA - 08 APRILE 2020



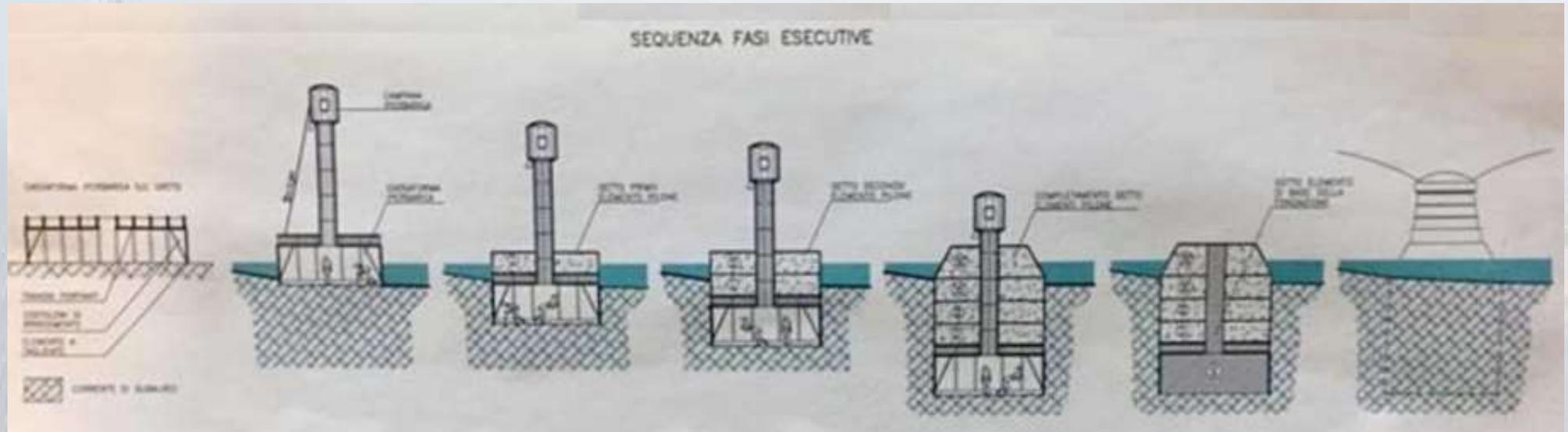
Foto dei lavori di costruzione del ponte sul Magra a Caprigliola (1906-1908). [1998 Chiappini p. 118].



Attilio Muggia (1860 - 1936)

Il progetto era del Prof. Attilio Muggia, che tenne la cattedra di architettura tecnica alla scuola d'ingegneria di Bologna dal 1912 al 1935.

CROLLO PONTE ALBIANO MAGRA - 08 APRILE 2020



Le fondazioni di tipo pneumatico furono insieme alle pile le uniche parti riutilizzate nella ricostruzione

CROLLO SUL SESIA- 3 OTTOBRE 2020



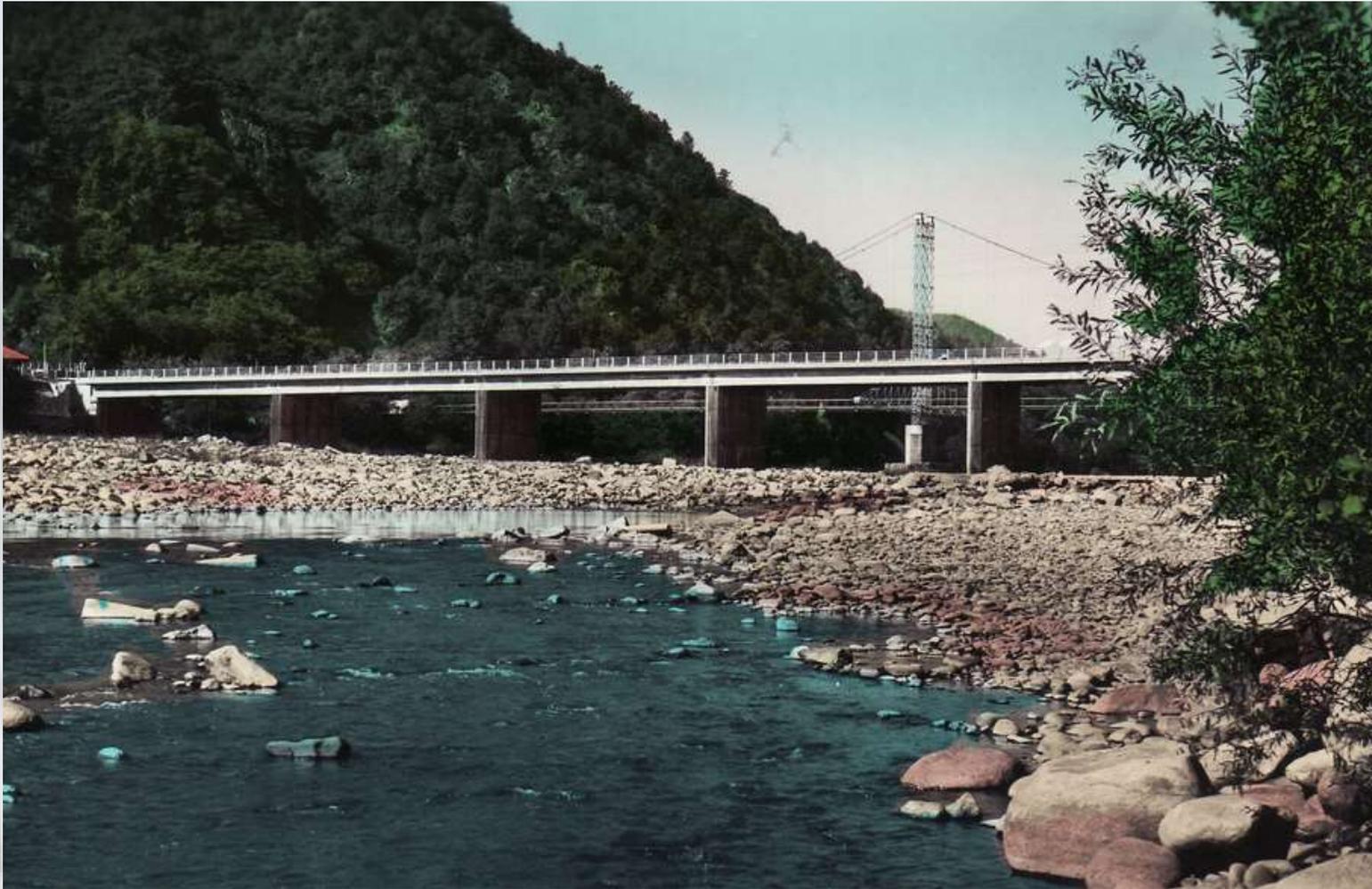
Il ponte di Romagnano Sesia crollato sabato 3 ottobre 2020

CROLLO SUL SESIA- 3 OTTOBRE 2020



Il ponte di Romagnano Sesia crollato sabato 3 ottobre 2020

CROLLO SUL SESIA- 3 OTTOBRE 2020



Il ponte di Romagnano Sesia in cemento armato fu edificato nel 1957

CROLLO SUL SESIA- 9 MARZO 2017



Aveva sostituito il vecchio ponte che era crollato nel 1951, in concomitanza con un'altra piena del fiume.

CROLLO SUL SESIA- 9 MARZO 2017



Il primo manufatto risaliva ai tempi di Cavour. L'opera era stata infatti inaugurata proprio dal primo ministro piemontese il 9 settembre 1860.



IL MATERIALE

ACCIAI DA PRECOMPRESSIONE E LA CORROSIONE

IL MATERIALE

Nella realizzazione degli elementi strutturali in calcestruzzo armato precompresso vengono impiegati acciai armonici, caratterizzati da:

- una elevata resistenza meccanica;
- una deformazione non elastica, all'atto della rottura, relativamente bassa.

L'elevata resistenza è dovuta alla composizione chimica, in cui è presente il carbonio (0.6 ÷ 0.9%), il manganese (0.4 ÷ 1.5%), il silicio, ed altri elementi alliganti.

IL MATERIALE

Gli acciai per armatura di presollecitazione, in base al tipo di prodotto, vengono usualmente suddivisi in:

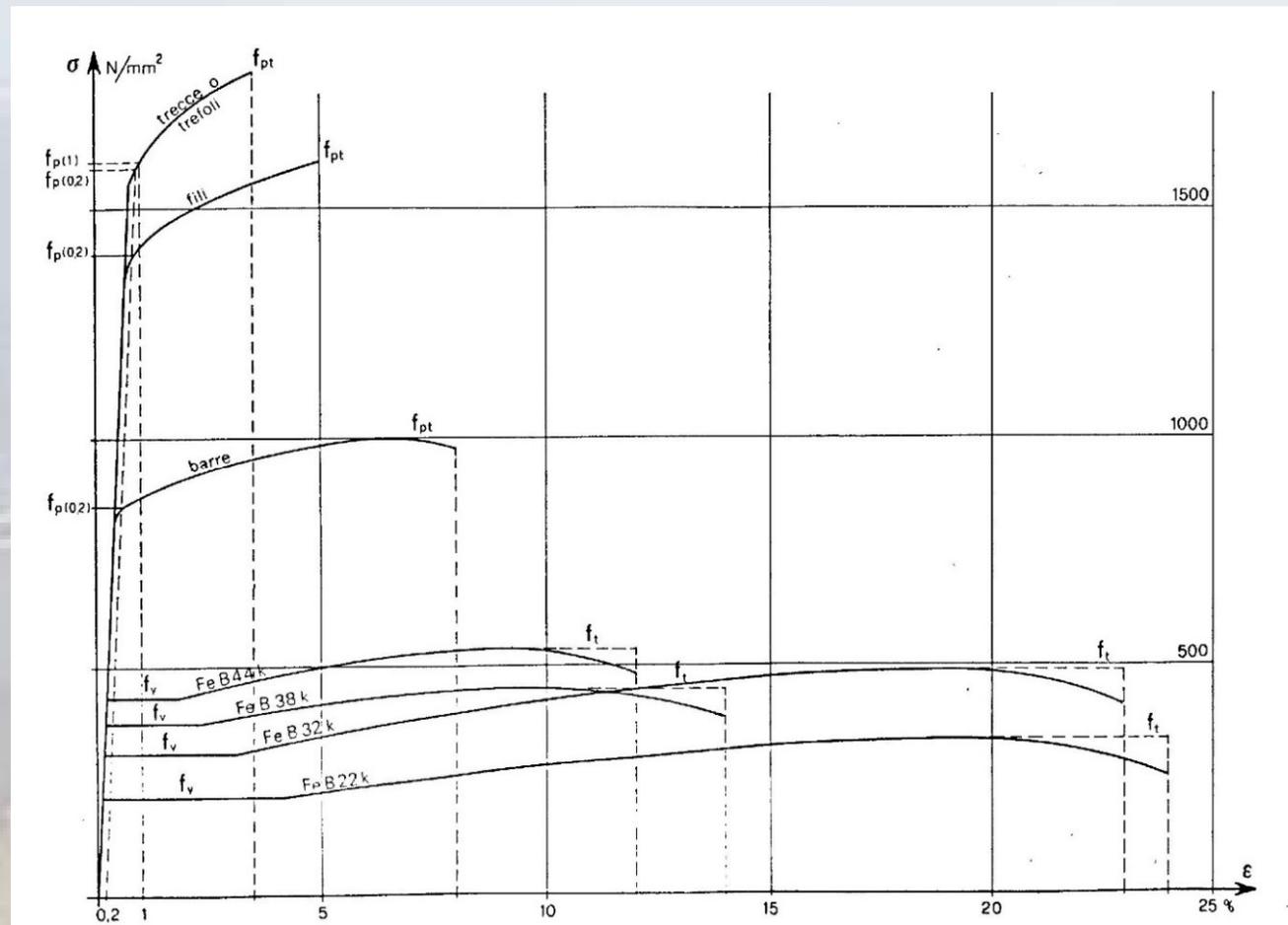
- **fili:** caratterizzati da una sezione piena, generalmente circolare, i quali raggiungono un diametro massimo di 12 mm;
- **barre:** anch'esse a sezione piena circolare, con diametri maggiori di 14 mm;
- **trecce:** costituite da un insieme di due o tre fili disposti ad elica intorno ad un unico asse longitudinale;
- **trefoli:** costituiti da più fili avvolti ad elica a formare una o più corone attorno ad un unico filo rettilineo, coincidente con l'asse longitudinale dell'insieme.



I fili e le trecce

IL MATERIALE

I legami costitutivi



IL MATERIALE



Il trefolo viplato



Il trefolo

IL MATERIALE

Processi di lavorazione

L'acciaio si produce dalla ghisa d'altoforno riducendo i tenori di carbonio e di impurezze quali fosforo, zolfo, silicio, etc., presenti in relazione al tipo di minerale utilizzato nella carica dell'altoforno.

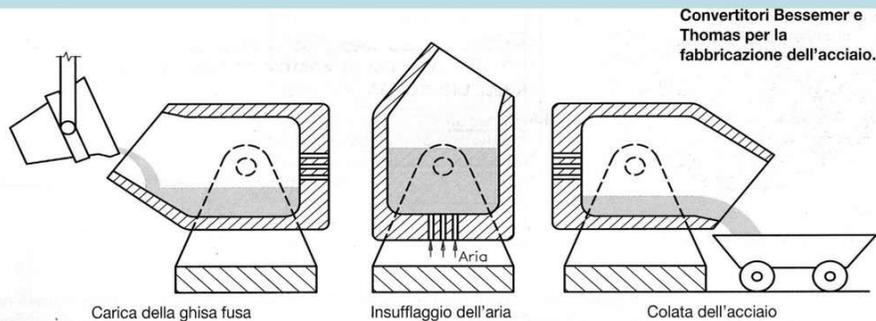
Tale operazione viene effettuata tramite due tipi di processi:

- processi Bessemer e Thomas che si avvalgono di appositi convertitori;
- processo Martin - Siemens che utilizza forni a riverbero;

IL MATERIALE

Processi di lavorazione

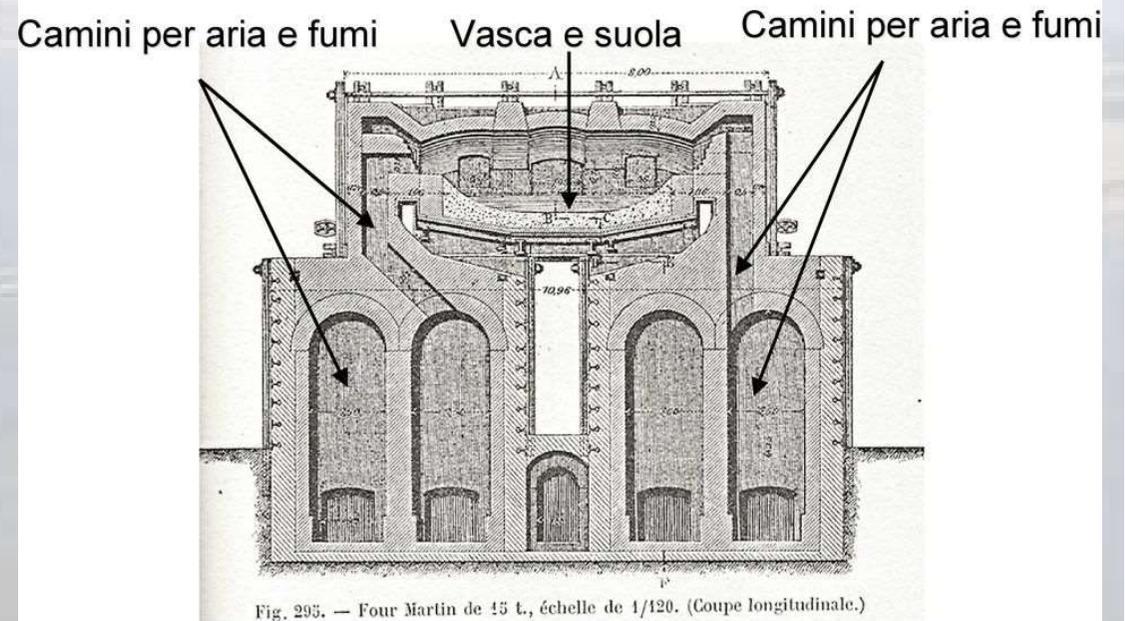
Convertitore Bessemer e Thomas



La **carica di ghisa liquida** viene attraversata dall' area insufflata dagli ugelli praticati sul fondo del forno.

Il processo dura circa 25 minuti e la pressione dell' aria è di 2 bar. L'Ossigeno dell' aria reagisce con il carbonio contenuto nella ghisa formando anidride carbonica che si elimina con i fumi, mentre la ghisa si trasforma in acciaio.

Forno Martin-Siemens



Processi di lavorazione

Le caratteristiche meccaniche degli acciai per armature di precompressione possono variare a seconda della tecnologia produttiva, della composizione chimica, delle dimensioni e della geometria.

Si hanno tre principali classi di acciai utilizzati nella precompressione:

- acciai trafilati a freddo;
- acciai laminati a caldo;
- acciai temprati e rinvenuti.

IL MATERIALE

Processi di lavorazione

Tipologie di acciai utilizzati nella precompressione

Materiale	Forma, superficie	Diametro (mm)	Resistenza (N/mm ²)	Produzione (1990) (tons/anno)
Fili trafilati a freddo	circolare-liscia	4 - 12.2	1570 - 1860	1000000 (nel mondo)
	circolare-profilati	5 - 5.5		
Trefoli trafilati a freddo	circolare-liscia (7 fili)	9.3 - 15.3	1700 - 2060	
Barre laminate a caldo	circolare-liscia	26 - 36	1030 - 1230	
	circolare-nervata	26.5 - 36		
Fili temprati e rinvenuti	circolare-liscia	6 - 14	1570	5000 (Germania, Japan)
	circolare-nervata	5 - 14		
	ovale-nervata	40 - 120		

IL MATERIALE

Processi di lavorazione

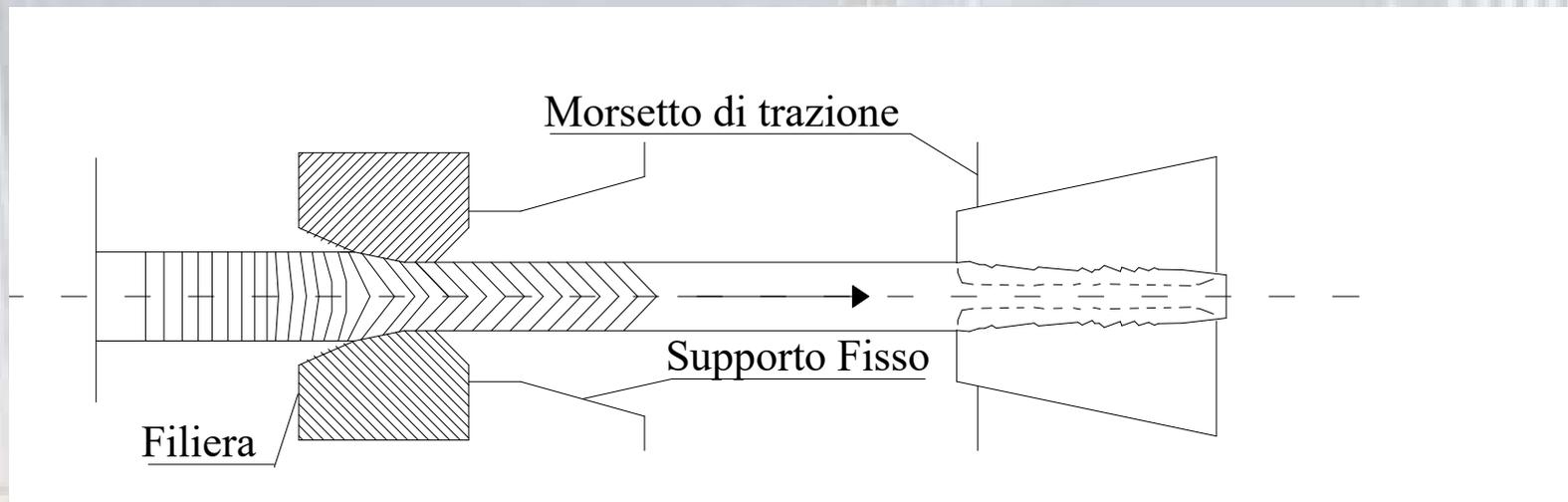
Vantaggi e applicazioni dell'acciaio de precompressione

Materiale	Vantaggi	Applicazioni
Fili trafilati a freddo	– produzione economica	Tutti i tipi di precompressione e tutti i tipi di elementi
Trefoli trafilati a freddo	– alta resistenza	
	– facilità di trasporto	
	– flessibilità	
	– facile istallazione	
	– buon comportamento d'aderenza	
Barre laminate a caldo	– alta capacità portante – semplicità di ancoraggio – facilità di trattamento – efficace aderenza delle nervature	Precompressione trasversale e ancoraggio
Fili temprati e rinvenuti	– buon comportamento d'aderenza	Elementi prefabbricati, traversine

IL MATERIALE

Acciaio trafilato

Per quanto riguarda il processo di lavorazione, l'acciaio ad alto limite elastico è prodotto tramite la **trafilatura a freddo della vergella**, per mezzo della quale è possibile ottenere le fondamentali caratteristiche meccaniche del materiale.



Acciaio trafilato

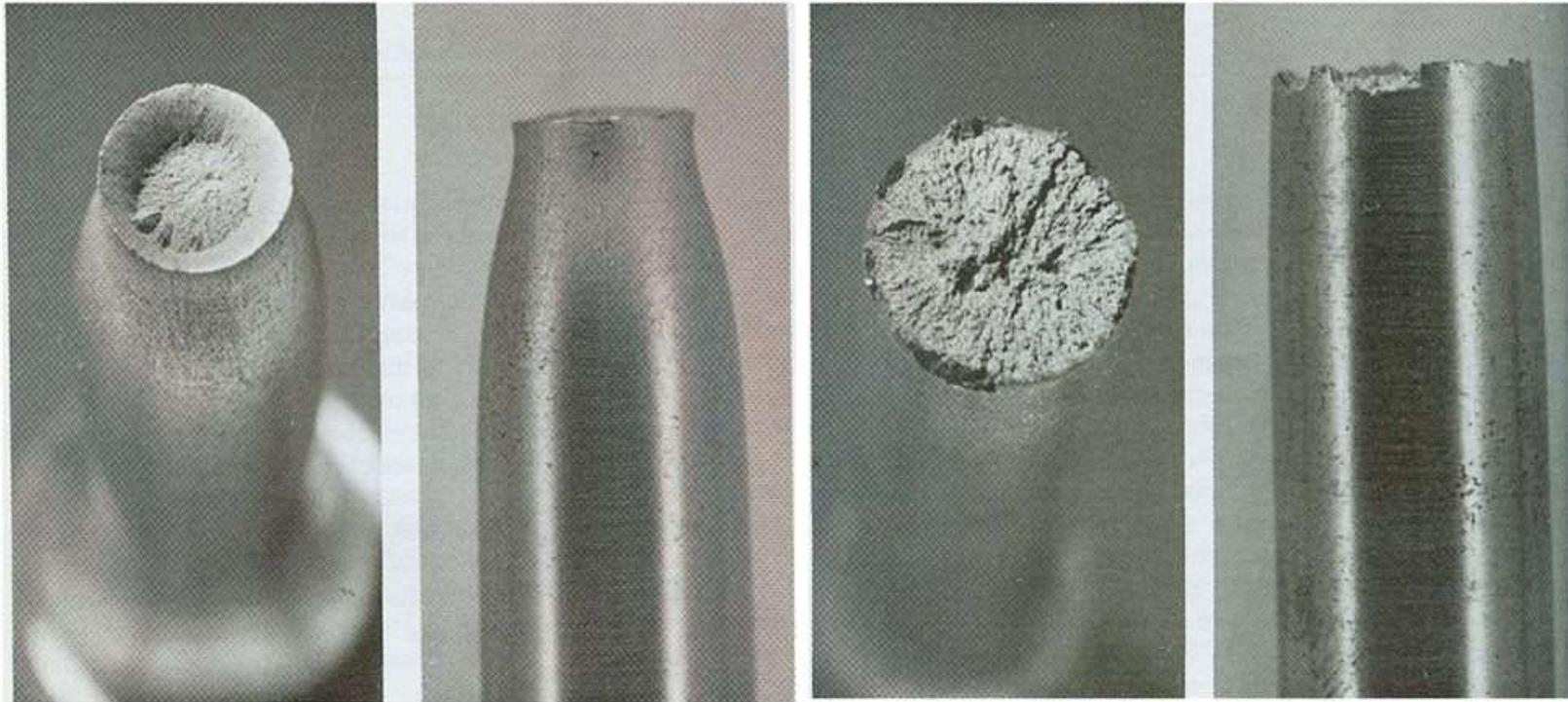
L'incrudimento dell'acciaio è dovuto, durante l'operazione di trafilatura, alla compressione cui è sottoposto nel passaggio attraverso il foro della filiera.

L'effetto dell'incrudimento è quello di:

- **esaltare** le proprietà meccaniche, quali il carico unitario a rottura, il limite elastico, il limite di snervamento e conseguentemente la durezza;
- **ridurre** l'allungamento percentuale e, in minima parte, il modulo elastico.

IL MATERIALE

Frattura Duttile e Fragile

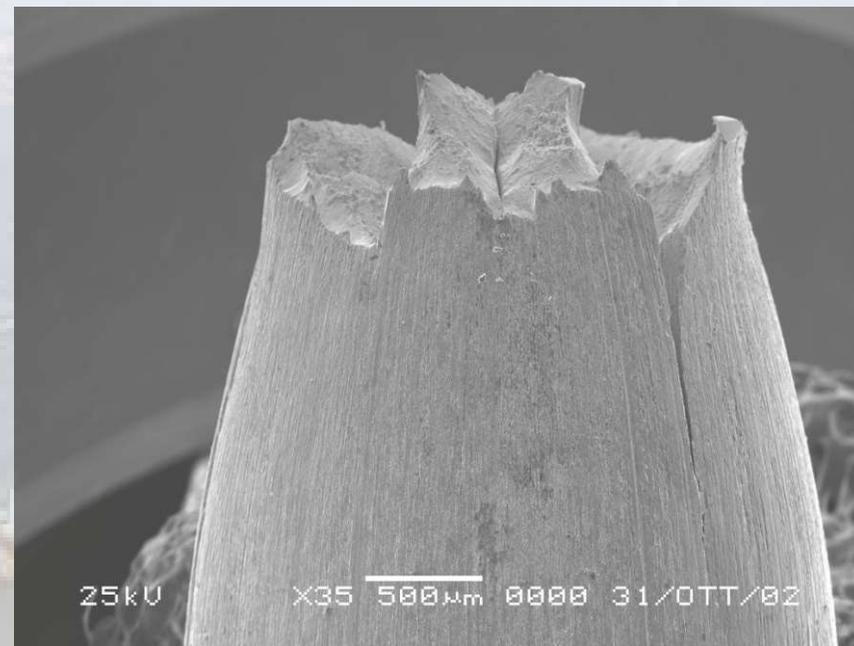
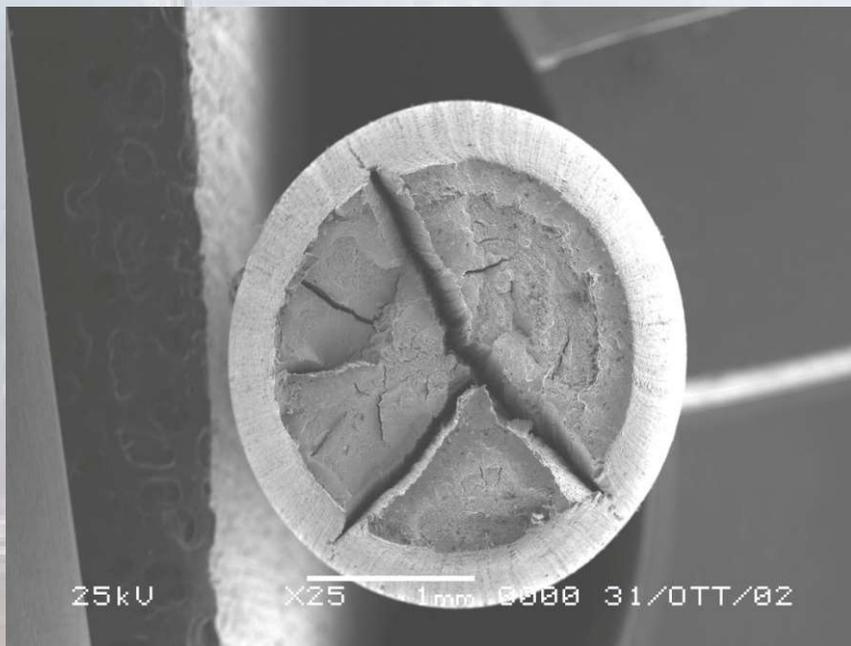


Frattura duttile

Frattura fragile

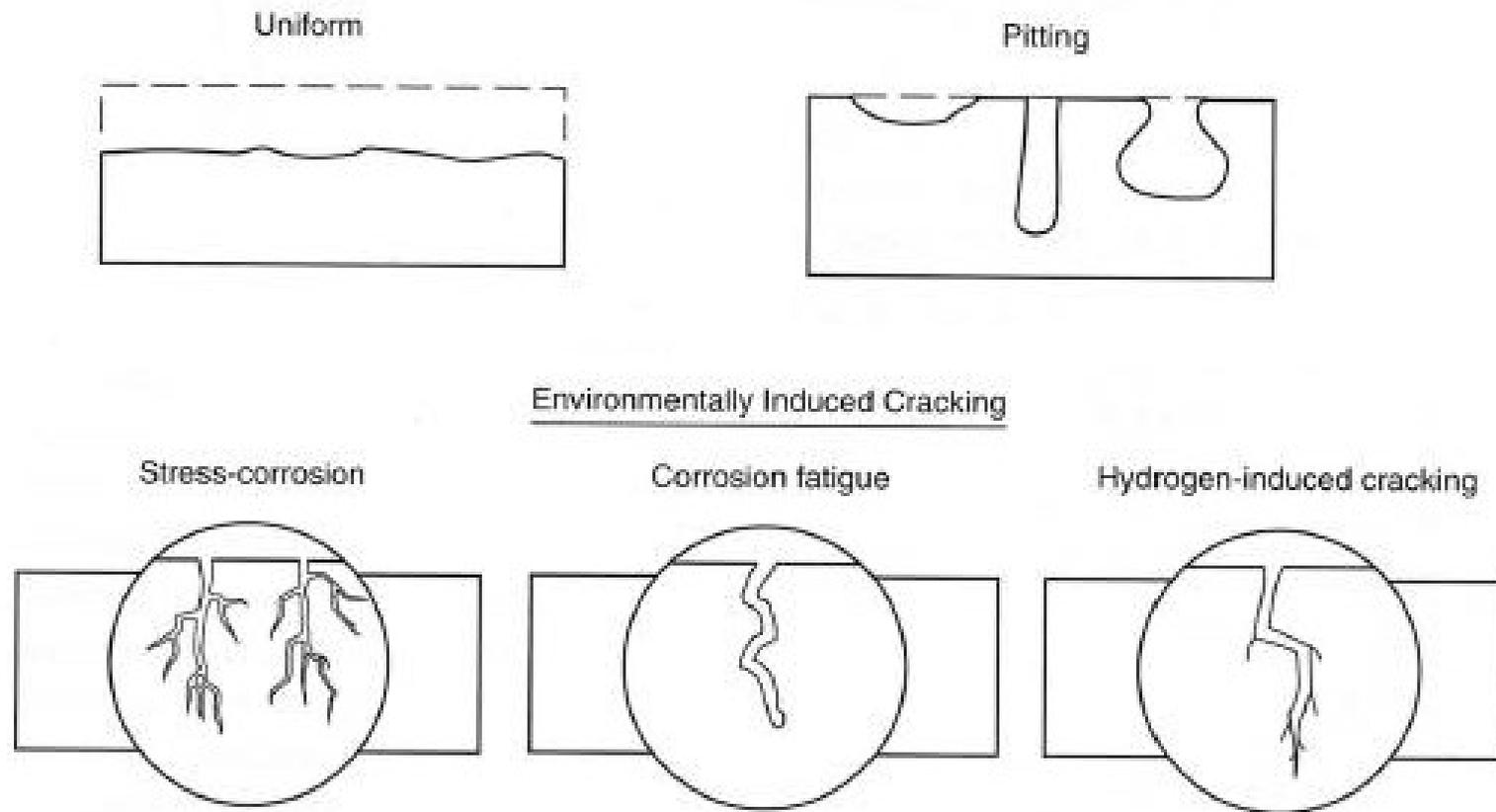
IL MATERIALE

Frattura duttile di un acciaio ad alta resistenza



IL MATERIALE

Morfologia dei fenomeni corrosivi



Morfologia dei fenomeni corrosivi

Corrosione generalizzata.

Si ha corrosione generalizzata quando tutta la superficie del materiale metallico è interessata dal fenomeno. Se l'attacco si produce in modo uniforme, si parla di corrosione uniforme.

Corrosione localizzata.

Si ha corrosione localizzata, invece, quando i processi corrosivi hanno luogo preferibilmente in corrispondenza ad alcune porzioni della superficie del materiale metallico, con aspetti morfologici particolari. Questa forma di corrosione è spesso indicata con il nome **pitting**.

IL MATERIALE

Morfologia dei fenomeni corrosivi

Cricche corrosive.

Queste in genere si producono in presenza di sforzi di trazione costanti (corrosione sotto sforzo) o variabili nel tempo (corrosione fatica). Le cricche sono orientate in direzione perpendicolare a quella di sollecitazione di trazione e possono avanzare con velocità molto elevata. La corrosione sotto sforzo si manifesta per specifici accoppiamenti metallo-ambiente quando il materiale è soggetto ad una sollecitazione di trazione superiore ad una soglia critica.

Le cricche possono avanzare perché la loro punta si apre oppure perché infragilisce in genere a causa dell'idrogeno atomico e di conseguenza per la presenza di sforzi si rompe. **In questo caso si parla di infragilimento da idrogeno.**

IL MATERIALE

Morfologia dei fenomeni corrosivi

Corrosione da carbonatazione

Il fenomeno più interessante, dal punto di vista della durabilità, connesso con l'ingresso della CO_2 nel calcestruzzo, è legato alla diminuzione del pH della soluzione acquosa presente nei pori capillari della matrice cementizia

IL MATERIALE

Morfologia dei fenomeni corrosivi

Corrosione da carbon

Il fenomeno più interessante per la durabilità, connesso al calcestruzzo, è legato alla soluzione acquosa presente nella matrice cementizia

Corrosione delle armature di un pilastro di un edificio di 7 piani crollato a Palermo nel 1999



in vista della
a CO_2 nel
del pH della
della matrice

IL MATERIALE

Morfologia dei fenomeni corrosivi

Corrosione da carbonatazione

Il fenomeno più interessante, dal punto di vista della durabilità, connesso con l'ingresso della CO_2 nel calcestruzzo, è legato alla diminuzione del pH della soluzione acquosa cementizia



IL MATERIALE

Morfologia dei fenomeni corrosivi

Corrosione da cloruri

L'alcalinità del calcestruzzo favorisce la formazione di uno strato.

La rottura di questo film protettivo e, conseguentemente la corrosione dell'acciaio, può aver luogo per molte ragioni, tra cui la più diffusa è legata alla penetrazione dei cloruri nella matrice cementizia.

IL MATERIALE

Morfologia dei fenomeni corrosivi

Corrosione da cloruri

L'alcalinità del
strato.

La rottura di q
corrosione dell
cui la più diffu
matrice cemen



rmazione di uno
guentemente la
olte ragioni, tra
dei cloruri nella

IL MATERIALE

Morfologia dei fenomeni corrosivi

Corrosione da cloruri

L'alcalinità del calcestruzzo favorisce la formazione di uno strato.

La rottura
corrosione
cui la più
matrice c



mente la
gioni, tra
uri nella

IL MATERIALE

Morfologia dei fenomeni corrosivi

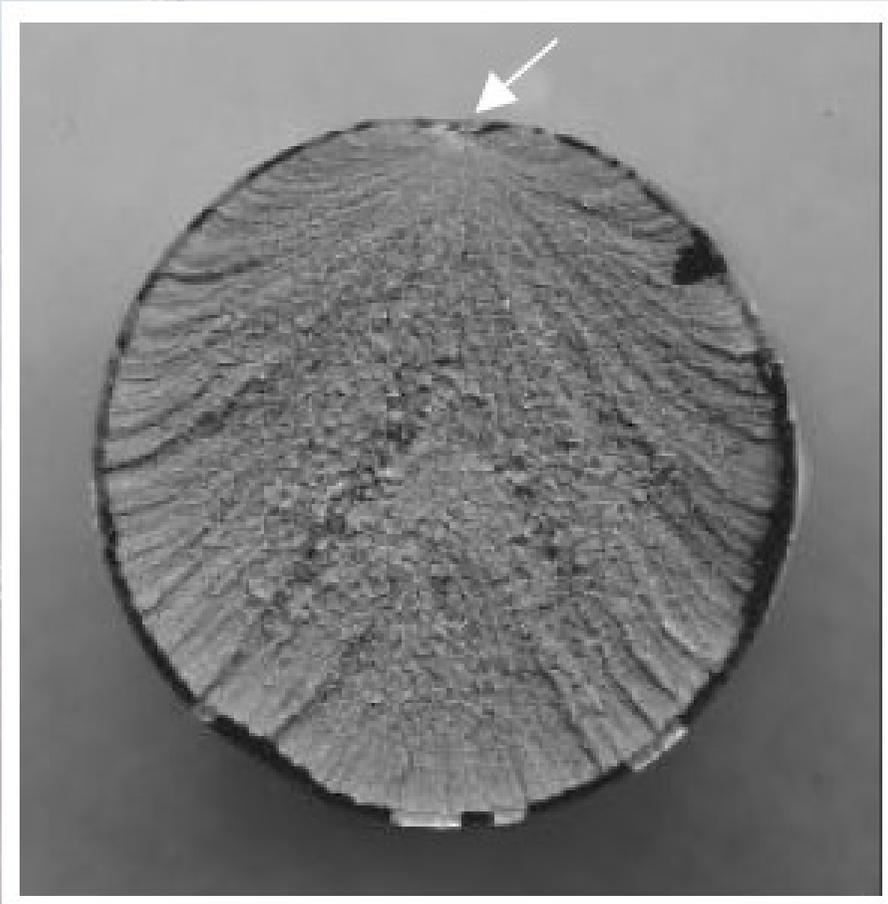
Crollo della Congress Hall di Berlino per cedimento da corrosione sotto sforzo di armature precomprese



costruito nel 1957 → 23 anni → crollato nel 1980

IL MATERIALE

Morfologia dei fenomeni corrosivi



Cedimento di una barra in acciaio ad alta resistenza di diametro 35 mm innescata da cricca di corrosione sotto sforzo (vedi freccia) (Milano, 1999)

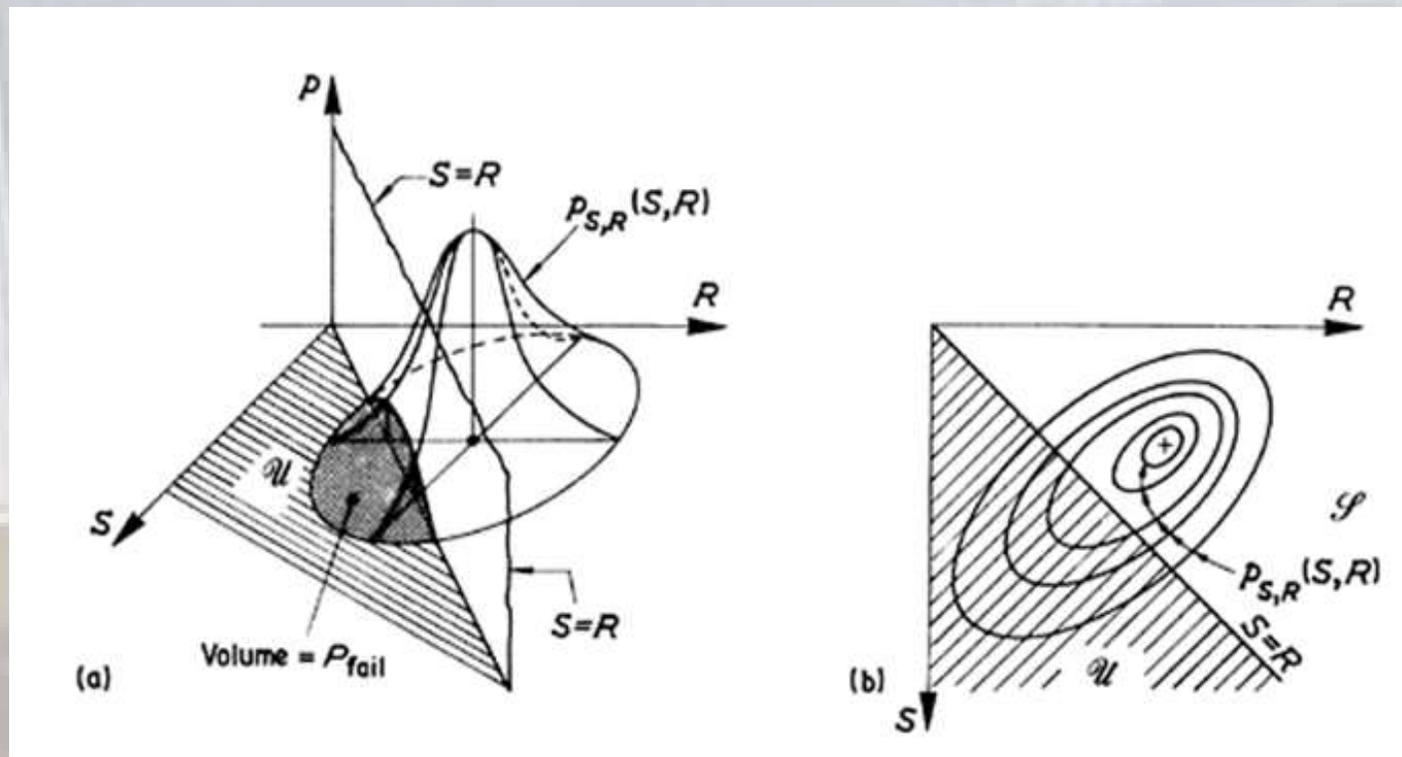
An aerial photograph of a cable-stayed bridge spanning a wide river. The bridge features two tall, white, A-frame pylons with numerous stay cables. A large cargo ship is visible on the river below. The background shows a cityscape under a hazy sky.

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

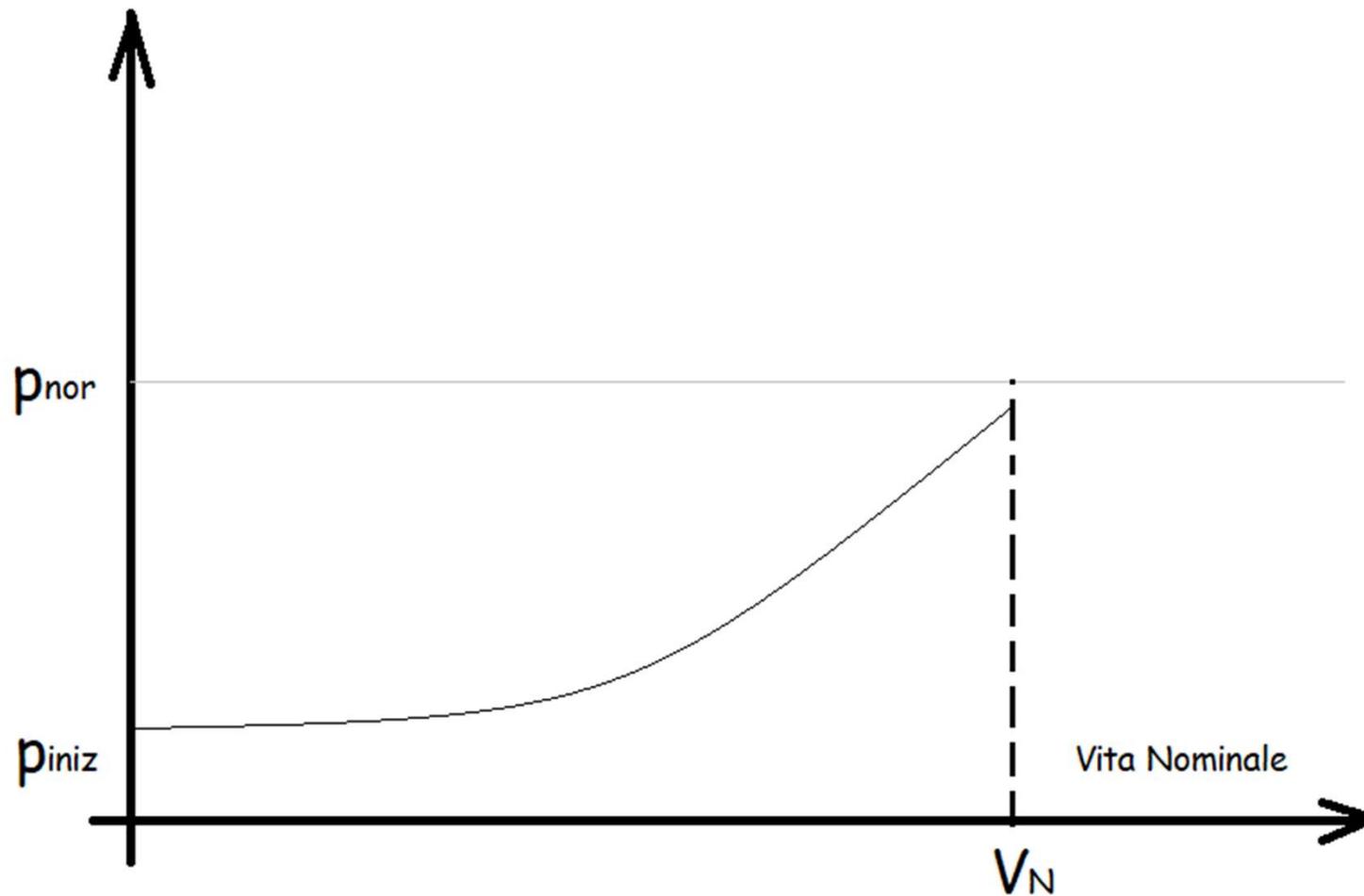
Probabilità di crisi

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

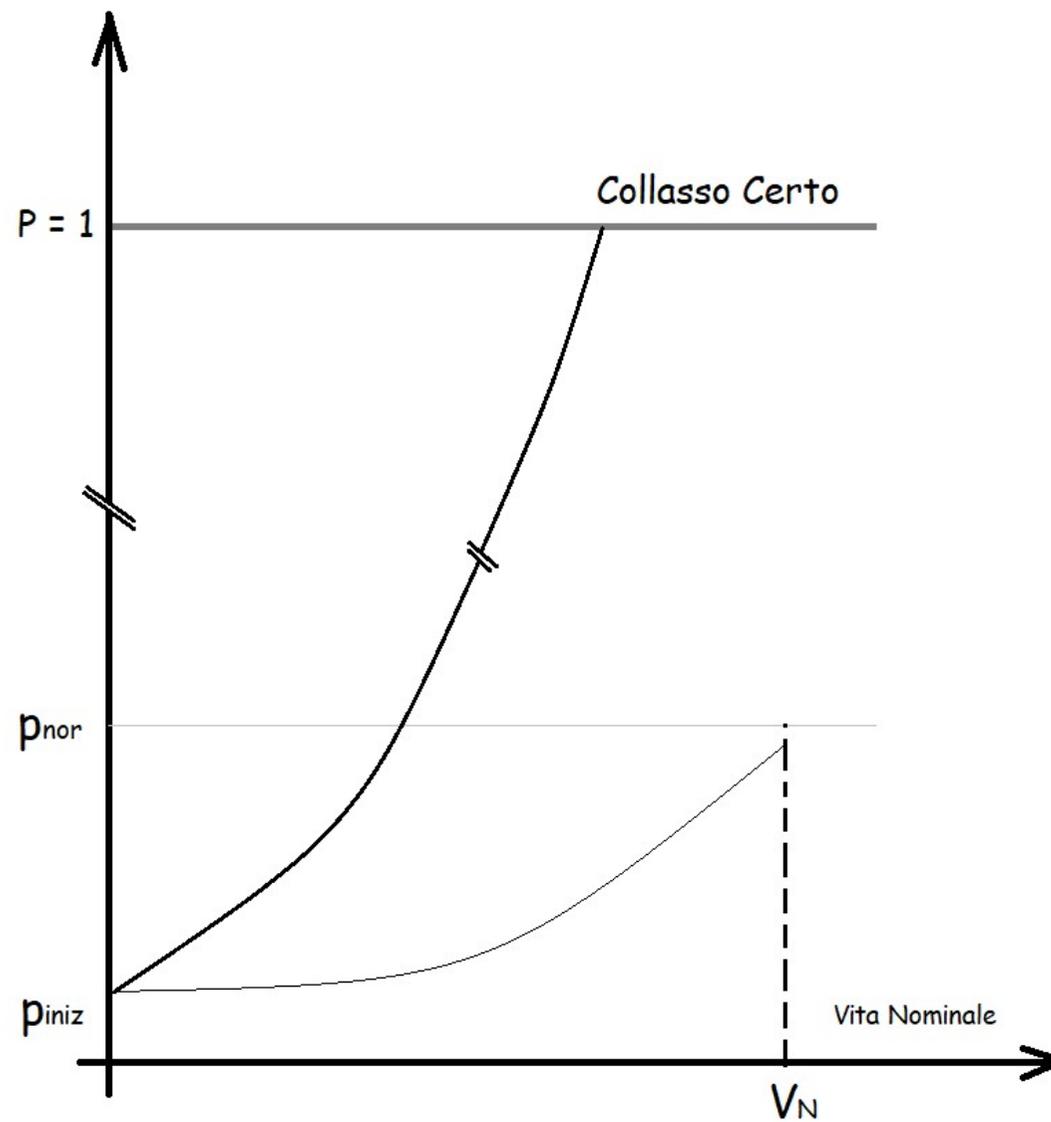
Per la condizione di collasso strutturale, valori tipici di P_F sono compresi tra

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

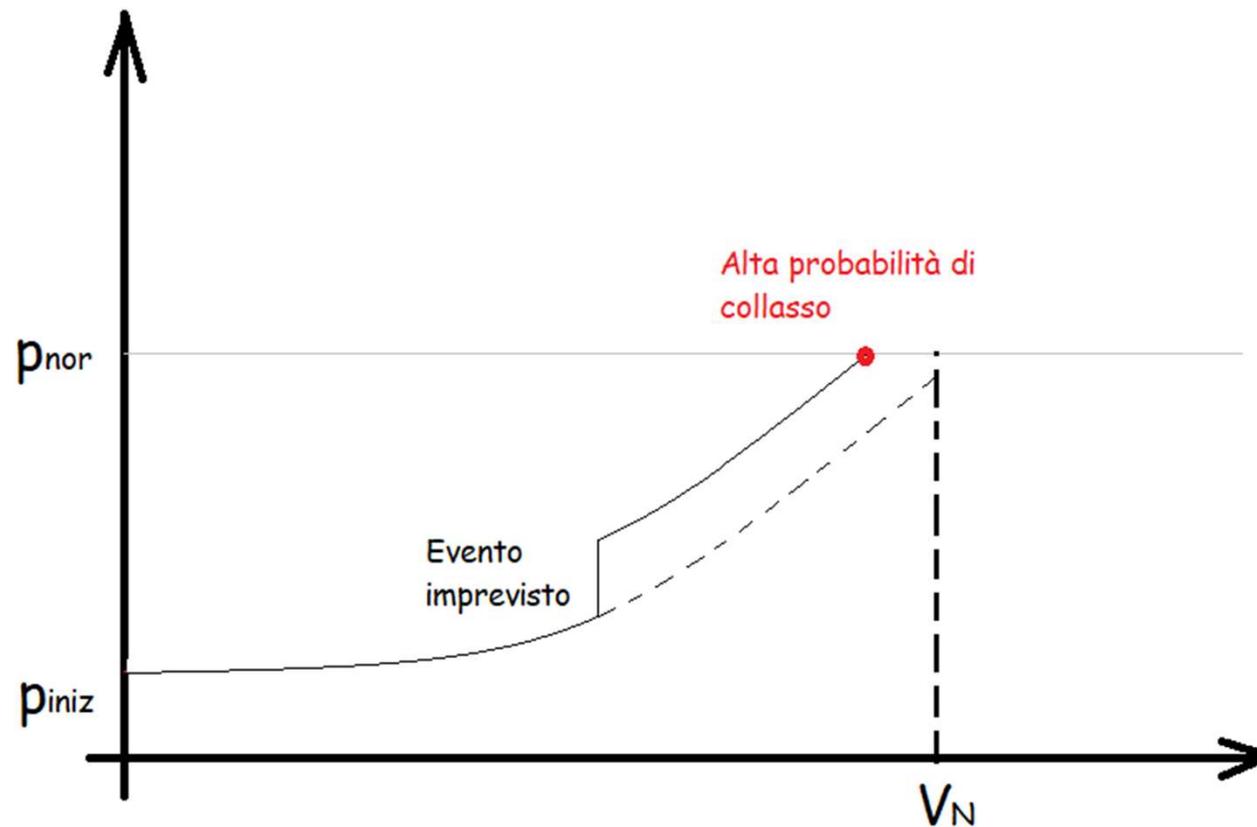
LA SICUREZZA



LA SICUREZZA

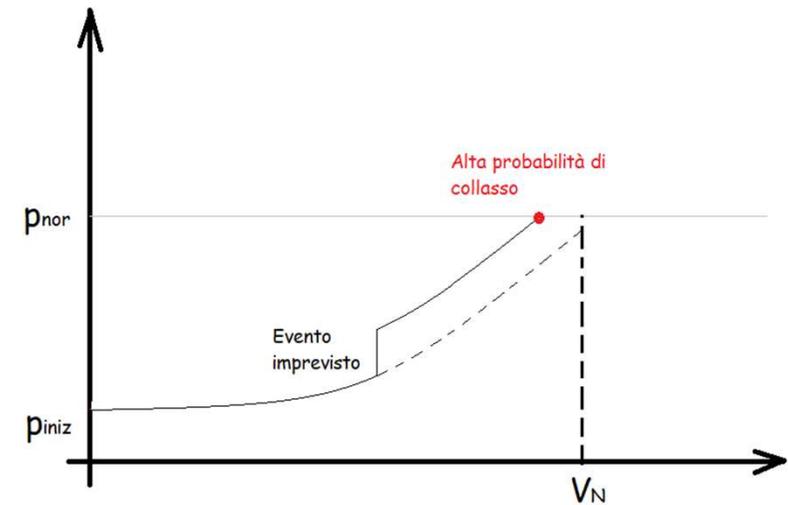


LA SICUREZZA



Evento imprevisto con incremento brusco

LA SICUREZZA

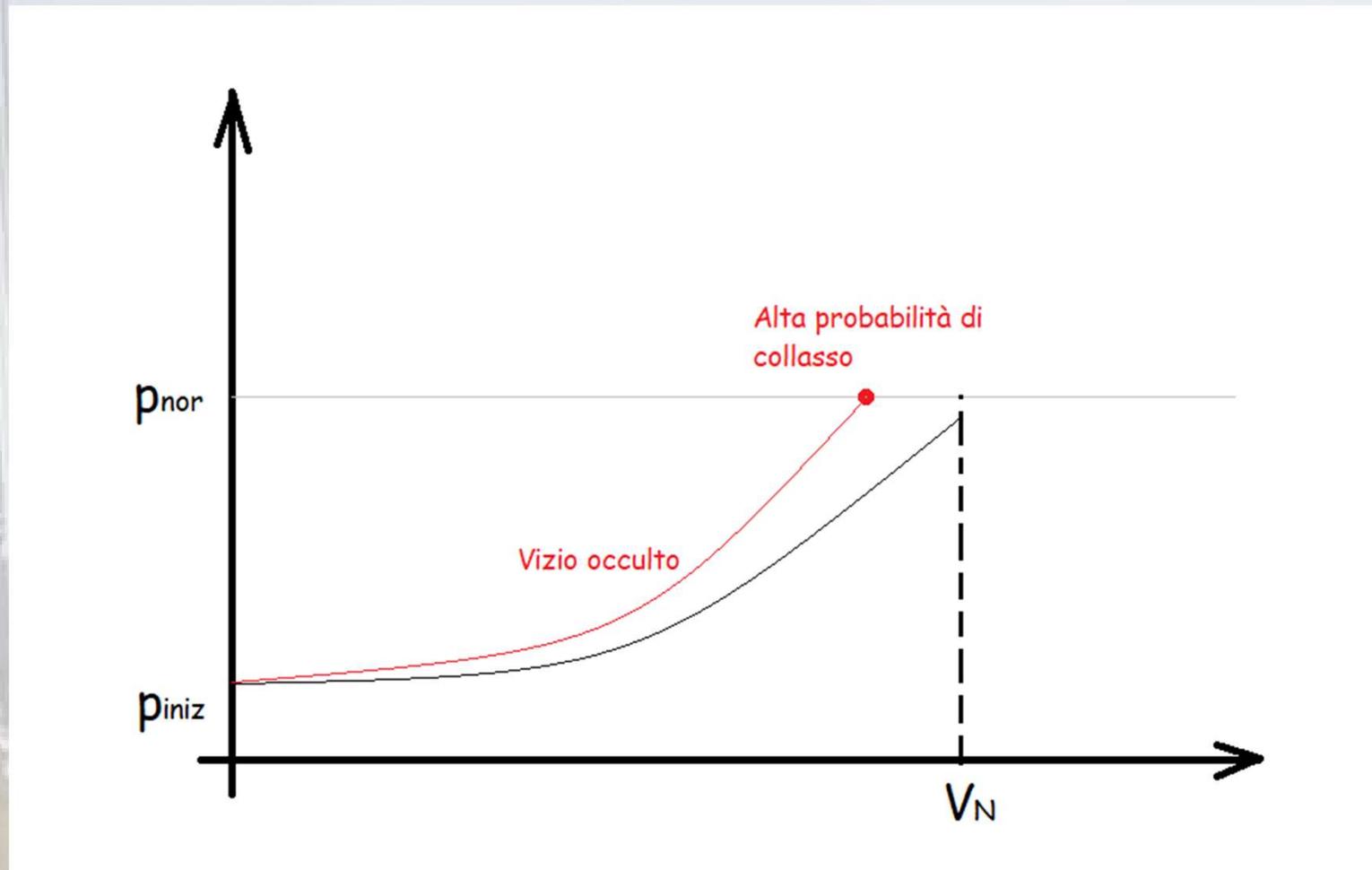


Urto all'intradosso
con tranciamento
armature.

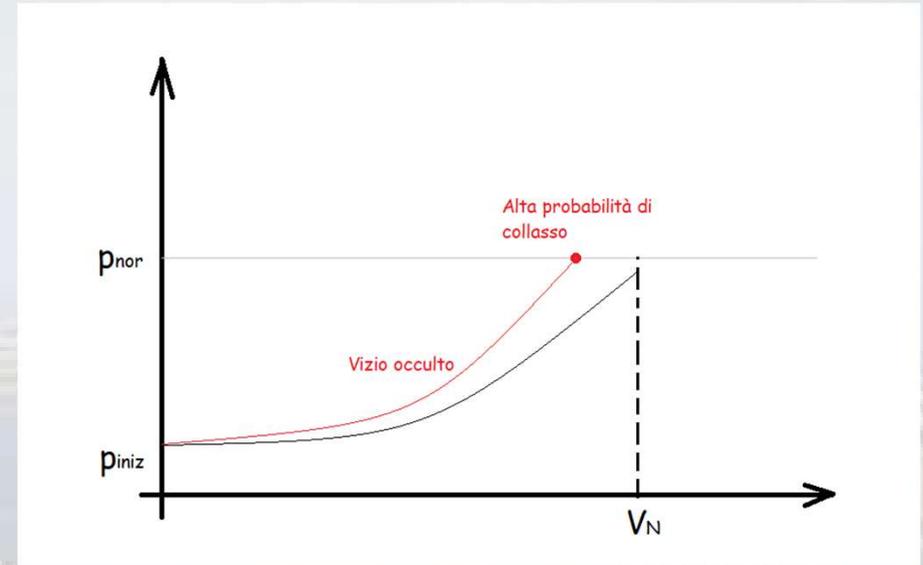


LA SICUREZZA

Vizio occulto in fase di esecuzione o progettazione

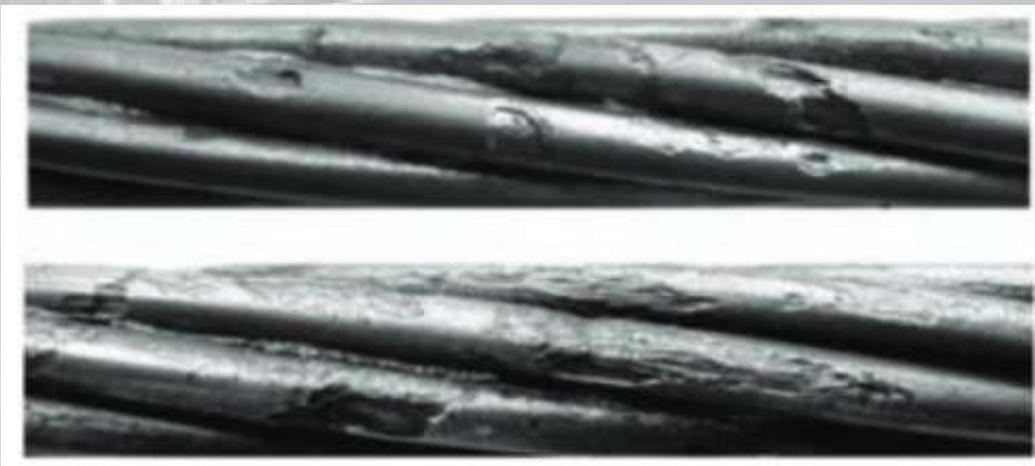


LA SICUREZZA

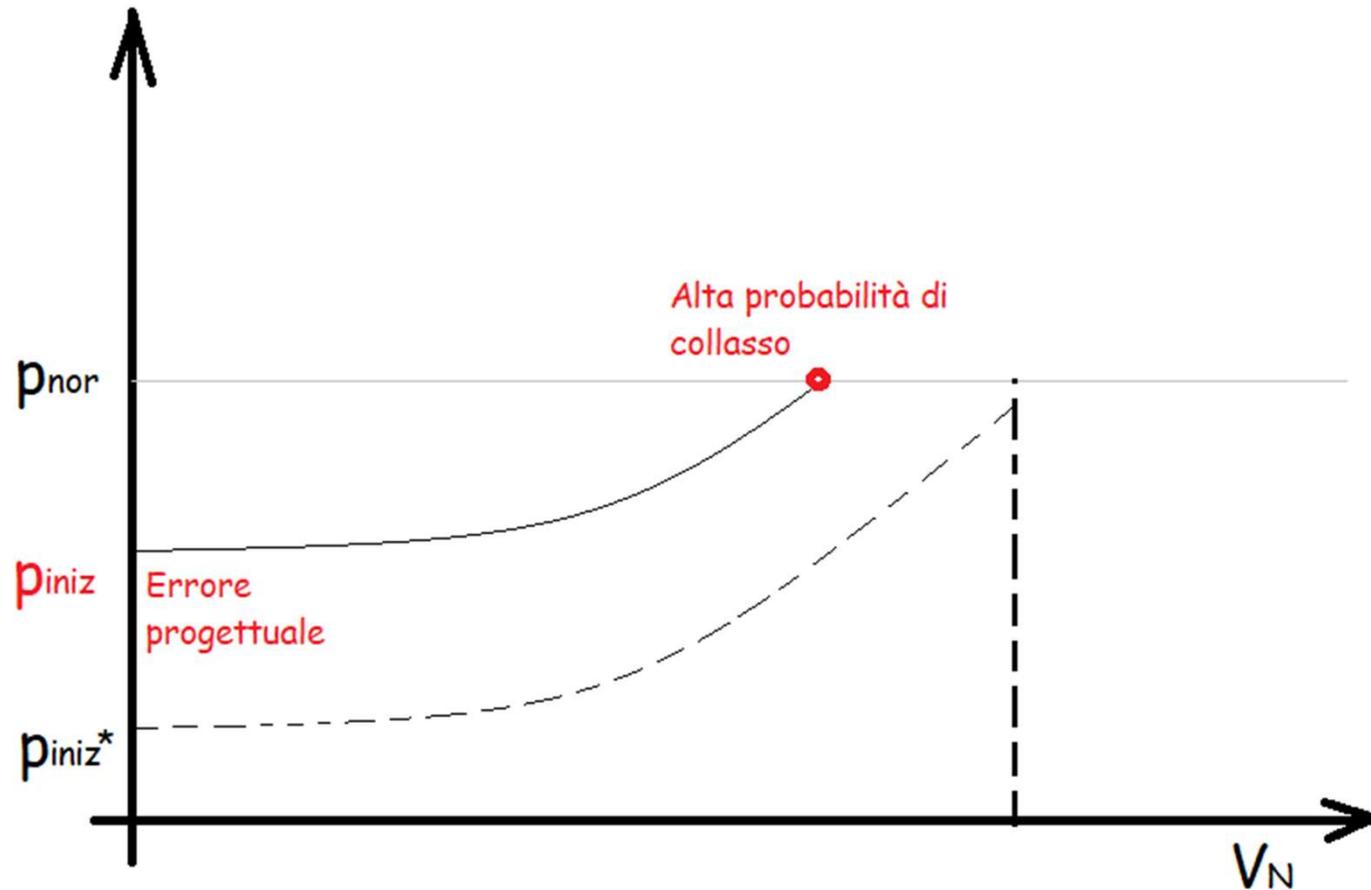


Ridotto copriferro

Cattivo intasamento
condotti



LA SICUREZZA

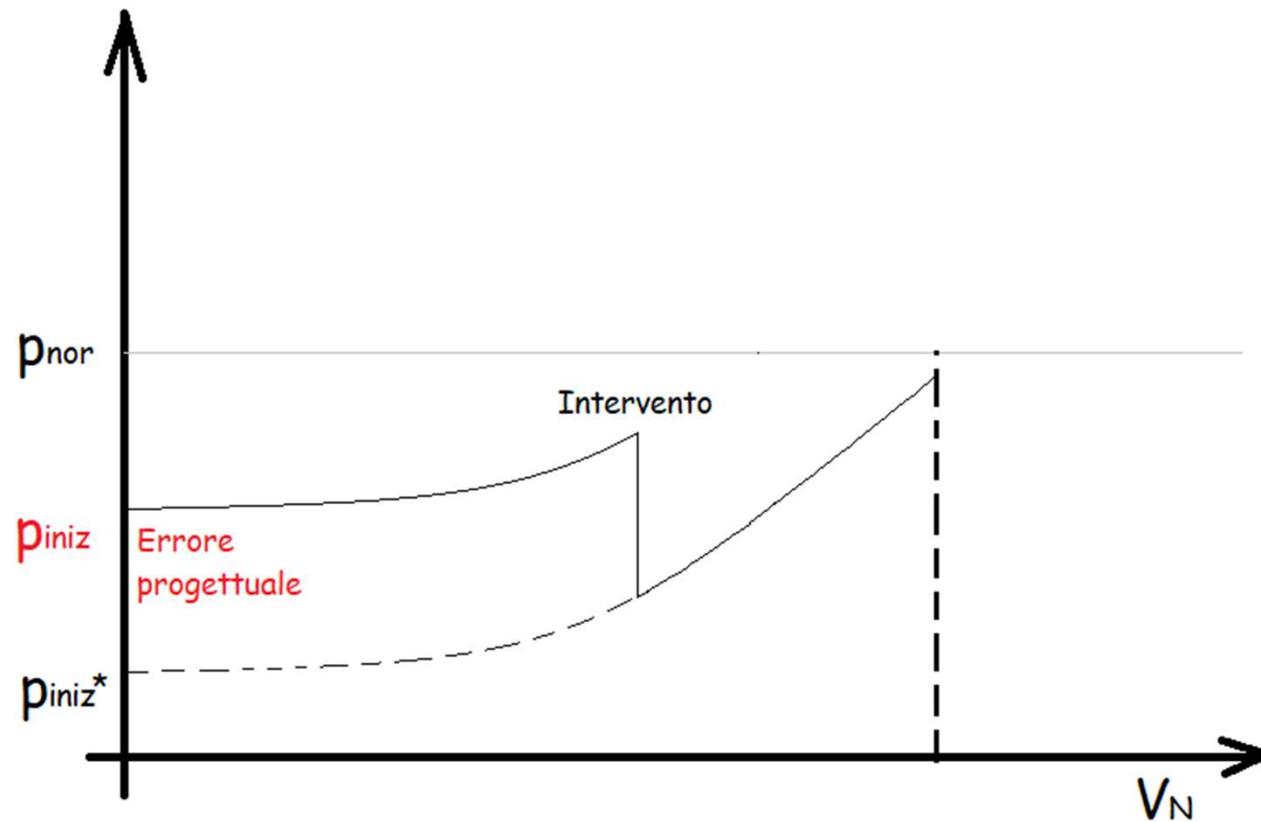


LA SICUREZZA



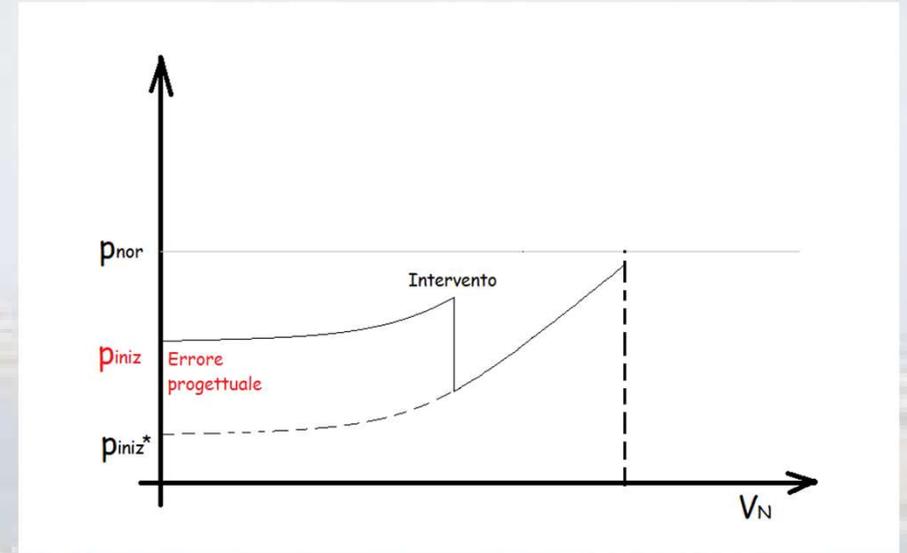
Carenza di
armatura in
fondazione e
necessità di un
rinforzo

LA SICUREZZA



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

LA SICUREZZA



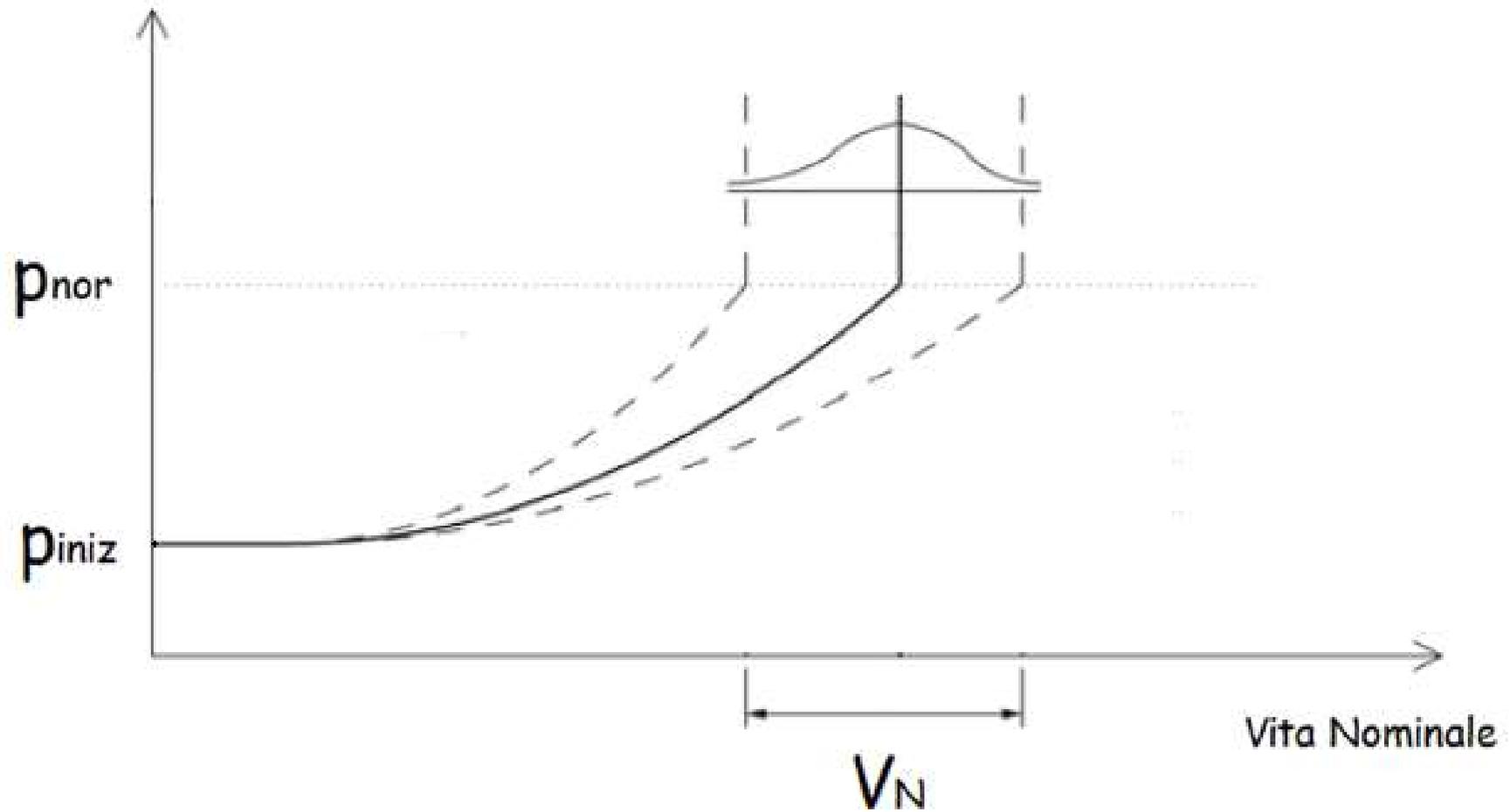
Precompressione
esterna;

Beton plaqu 



LA SICUREZZA

Effetti delle incertezze sulla curva



ATTIVITA' UNIME

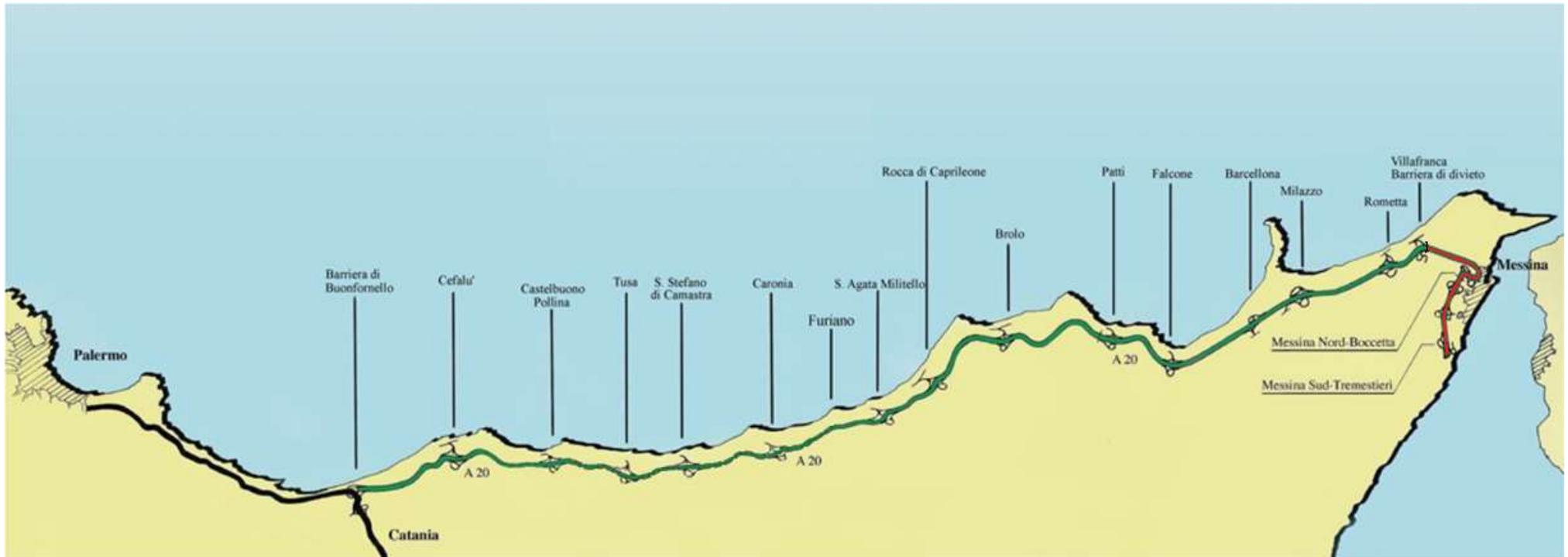
*Accordo quadro con CAS su:
I viadotti ed i cavalcavia degli anni
'70 sulle autostrade siciliane*

Le autostrade siciliane



Autostrada A20

L'autostrada A20, lunga 183 km, collega Messina a Buonfornello.
È gestita interamente dal Consorzio per le Autostrade Siciliane.



Autostrada A20

L'autostrada A20, lunga 183 km, collega Messina a Buonfornello.
È gestita interamente dal Consorzio per le Autostrade Siciliane.

Tratto Iniziale	Bocchetta-Rocca di Caprileone Buonfornello - Cefalù	1969 -1978
Tratto Nuovo	Rocca di Caprileone- Sant'Agata Militello	1984 - 1988
Tratto Recente	Sant'Agata Militello - Furiano	1988 - 1992
Tratto Recente	Furiano - Cefalù	1992 - 2005

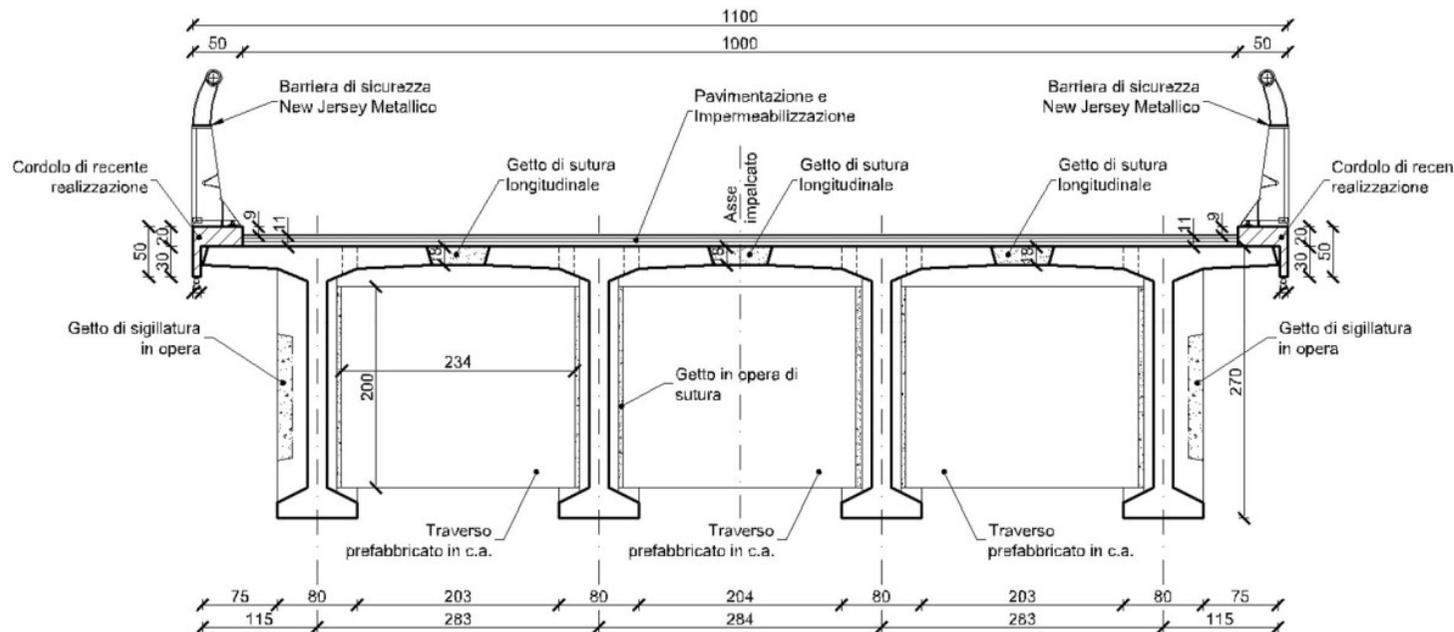
Opere principali

- **282** ponti e viadotti, con lunghezze variabili da un minimo di 19 m a un massimo di 1.101 m;
- 124 gallerie naturali (per complessivi 112,408 km);
- 31 gallerie artificiali (per complessivi 5,720 km)

I Ponti ed i Viadotti

Tipologie ricorrenti

Tratto Iniziale



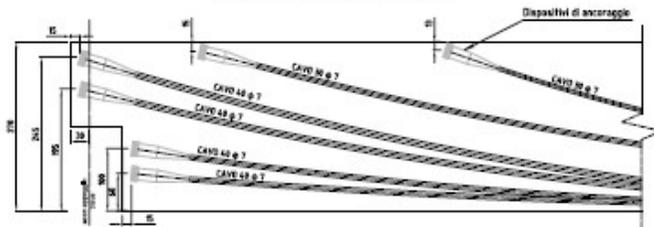
Luci $L = 43.50$ m

La carreggiata è larga circa 11.00 m.

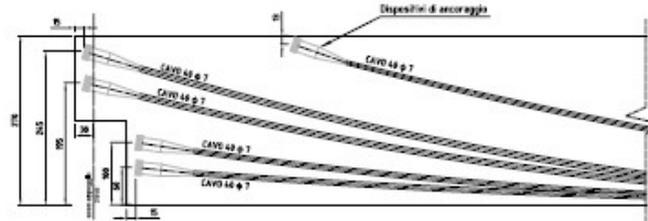
Pile di altezza massima $H \approx 50$ m

Tratto Iniziale

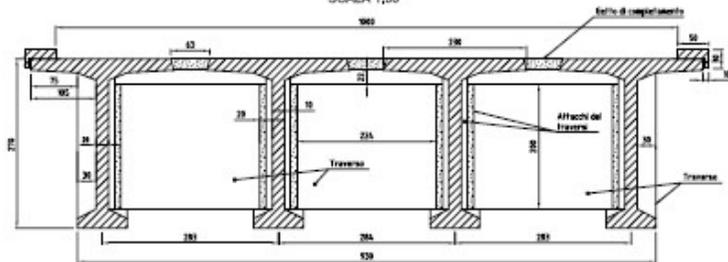
ANCORAGGI DI TESTATA DELLA TRAVE DI BORDO
SEZIONE LONGITUDINALE SCALA 1:50



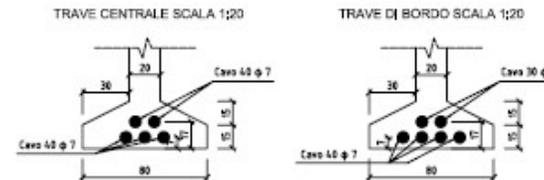
ANCORAGGI DI TESTATA DELLA TRAVE CENTRALE
SEZIONE LONGITUDINALE SCALA 1:50



SEZIONE TRASVERSALE IN MEZZERIA
SCALA 1:50



PARTICOLARI CAVI SEZIONE DI MEZZERIA



Trave di bordo

- n° 4 cavi da 40 Ø7;
- n° 2 cavi da 30 Ø7;
- tensione al tiro per singolo filo: 1136 MPa

Trave centrale

- n° 5 cavi da 40 Ø7;
- tensione al tiro per singolo filo: 1125 MPa

Traverso

- n° 2 cavi da 24 Ø7;
- tensione al tiro per singolo cavo: 1136 MPa

L'acciaio armonico per i cavi da precompressione ha le seguenti caratteristiche:

tensione limite di rottura	1700 N/mm ²
tensione limite di snervamento	1500 N/mm ²

I Ponti ed i Viadotti

Tipologie ricorrenti

Tratto Iniziale



Viadotto Trapani

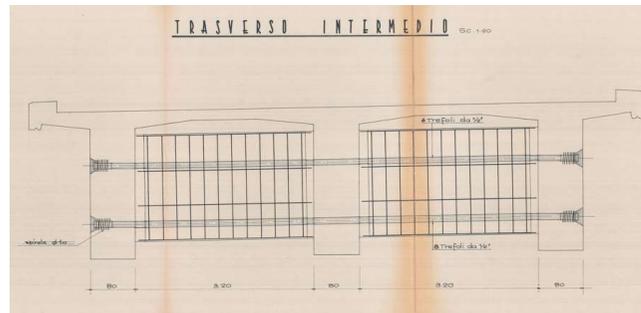
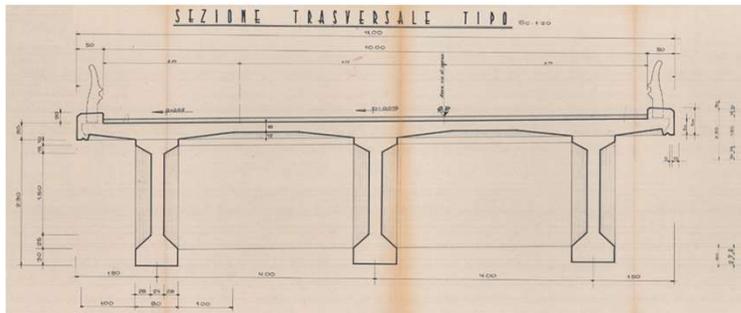


Viadotto San Corrado

I Ponti ed i Viadotti

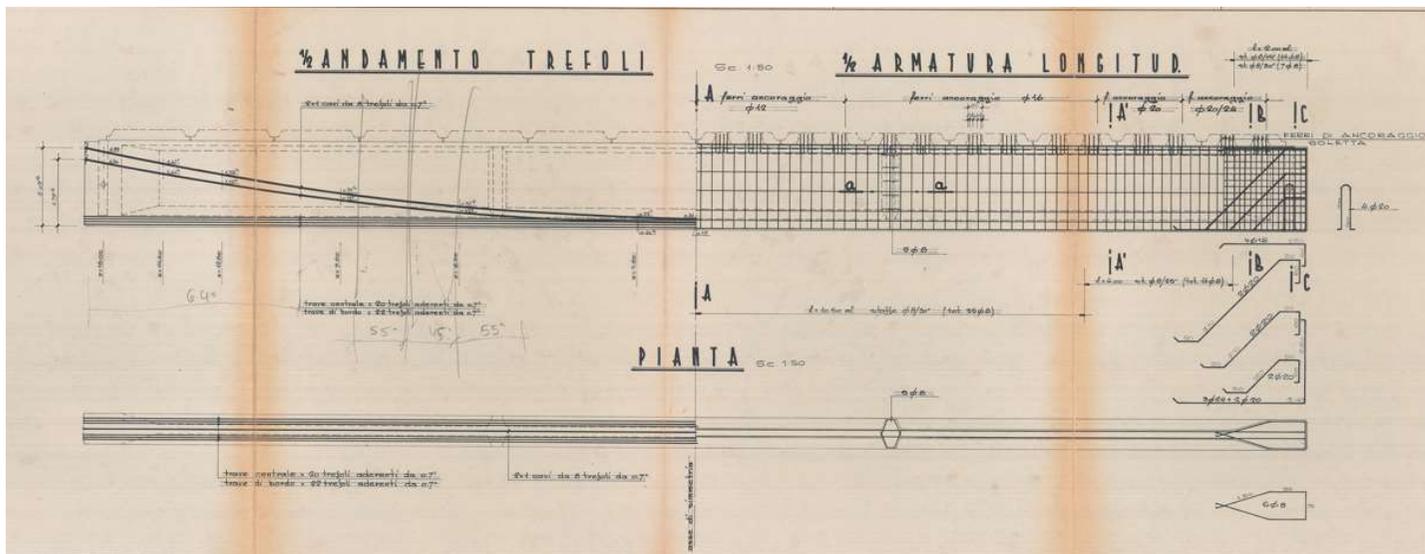
Tipologie ricorrenti

Tratto Iniziale



Luci $L = 32.00$ m

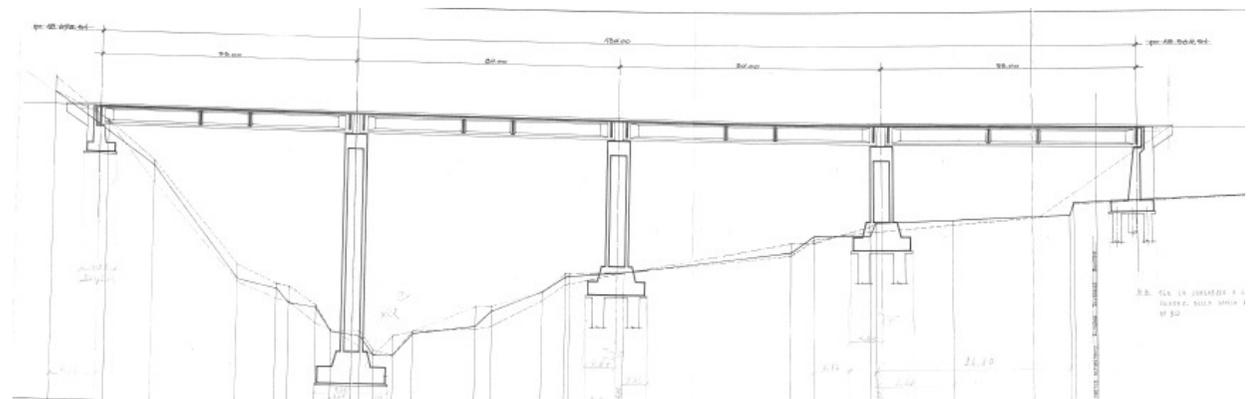
La carreggiata è larga circa 11.00 m.



I Ponti ed i Viadotti

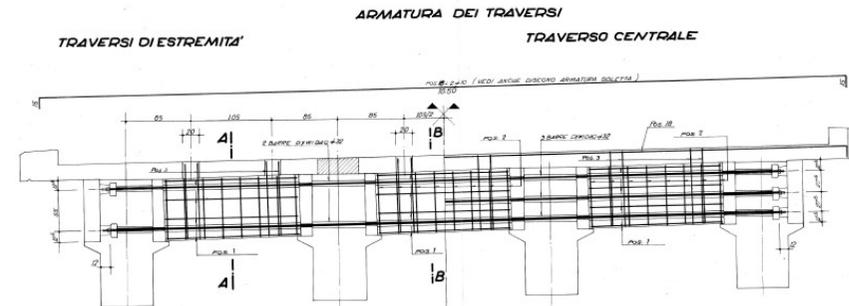
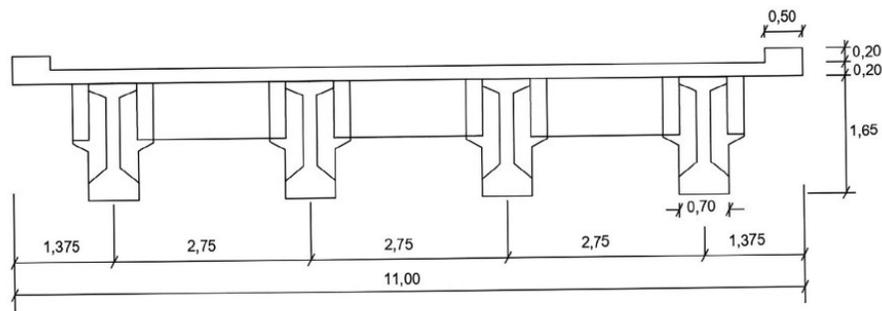
Tipologie ricorrenti

Tratto Iniziale

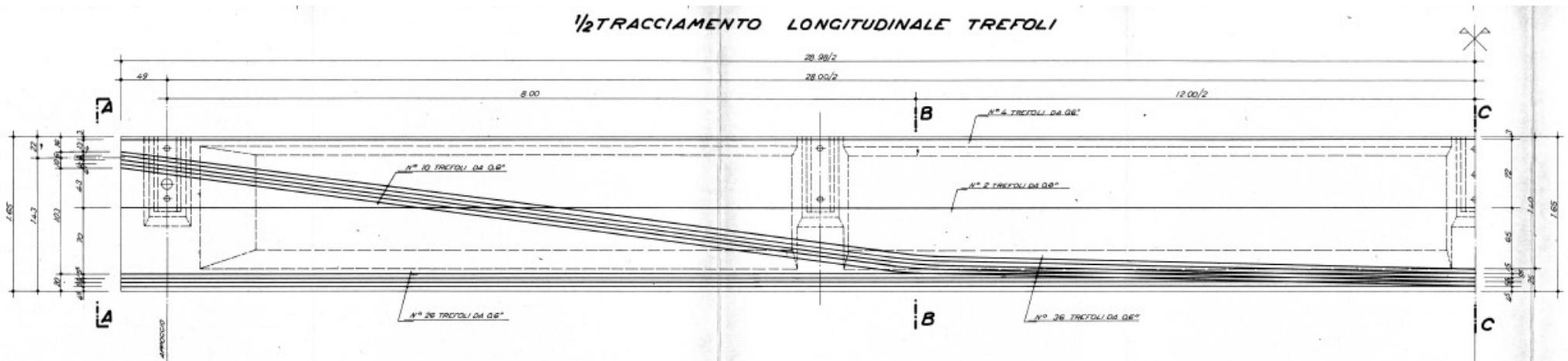


Viadotto Tonnarazza

Tratto Iniziale



1/2 TRACCIAMENTO LONGITUDINALE TREFOLI



I Ponti ed i Viadotti

Tipologie ricorrenti

Tratto Iniziale



Luci $L = 28.00$ m

La carreggiata è larga circa 11.00 m

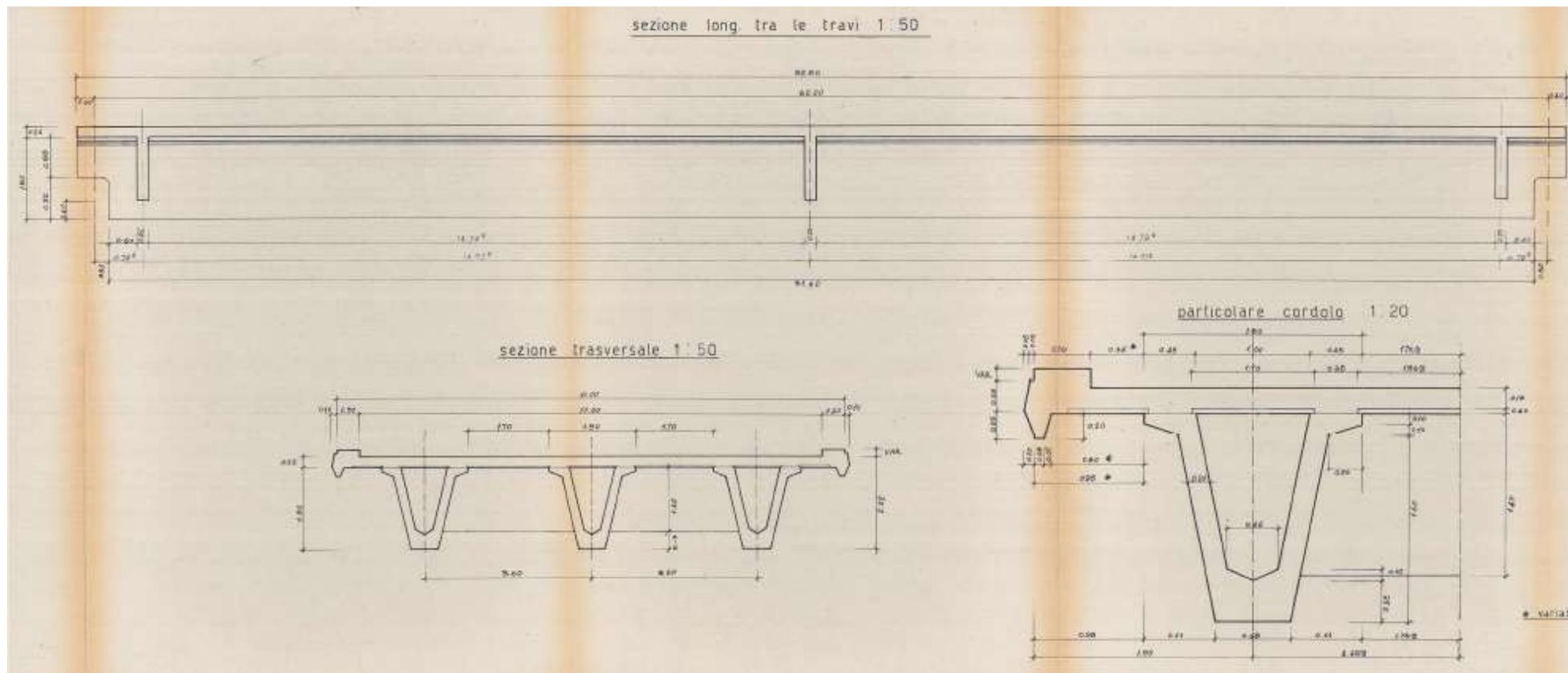
Altezza pile max 15 m.

Viadotto Mela

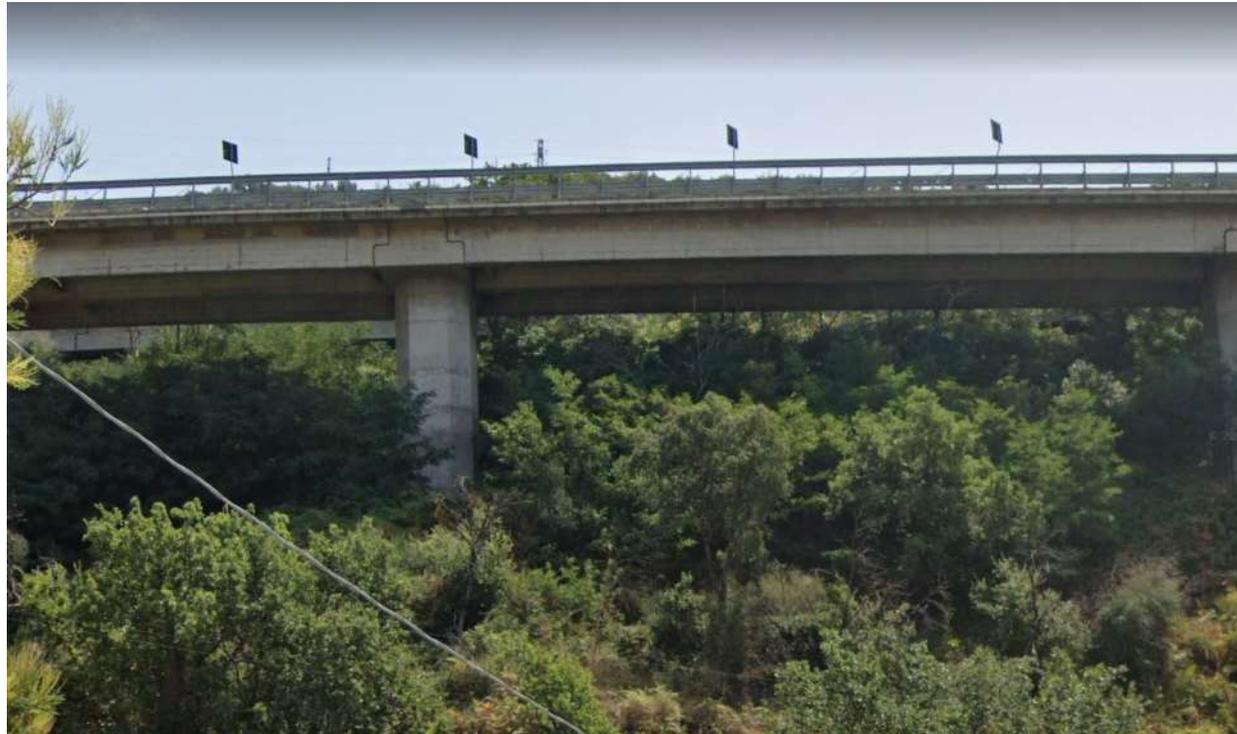


Progetto Silvano Zorzi

Tratto Iniziale

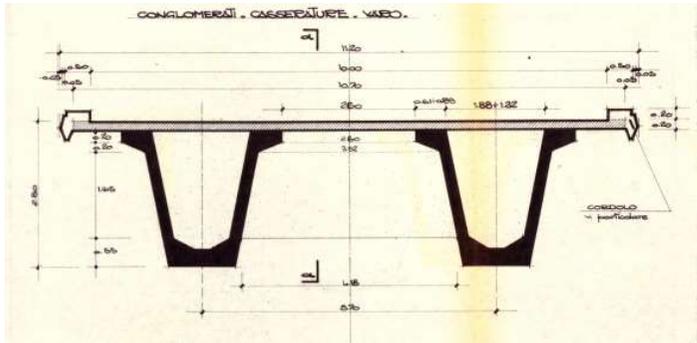


Tratto Iniziale



Viadotto Forno

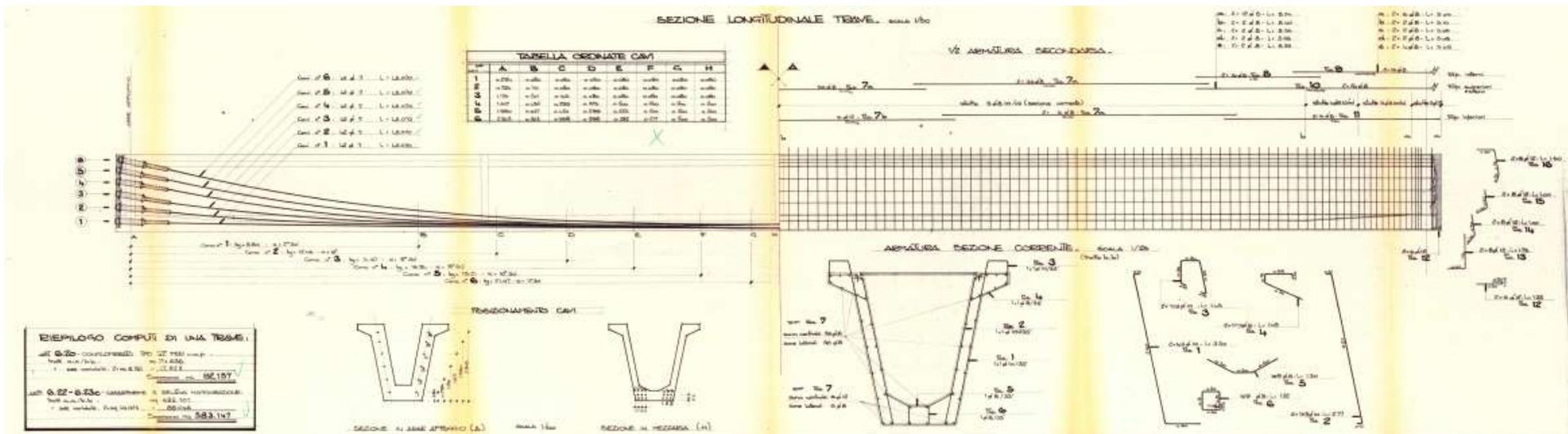
Tratto Iniziale



Luci $L = 44.20$ m

La carreggiata è larga circa 11.00 m

Altezza pile max 45 m.



Tratto Iniziale

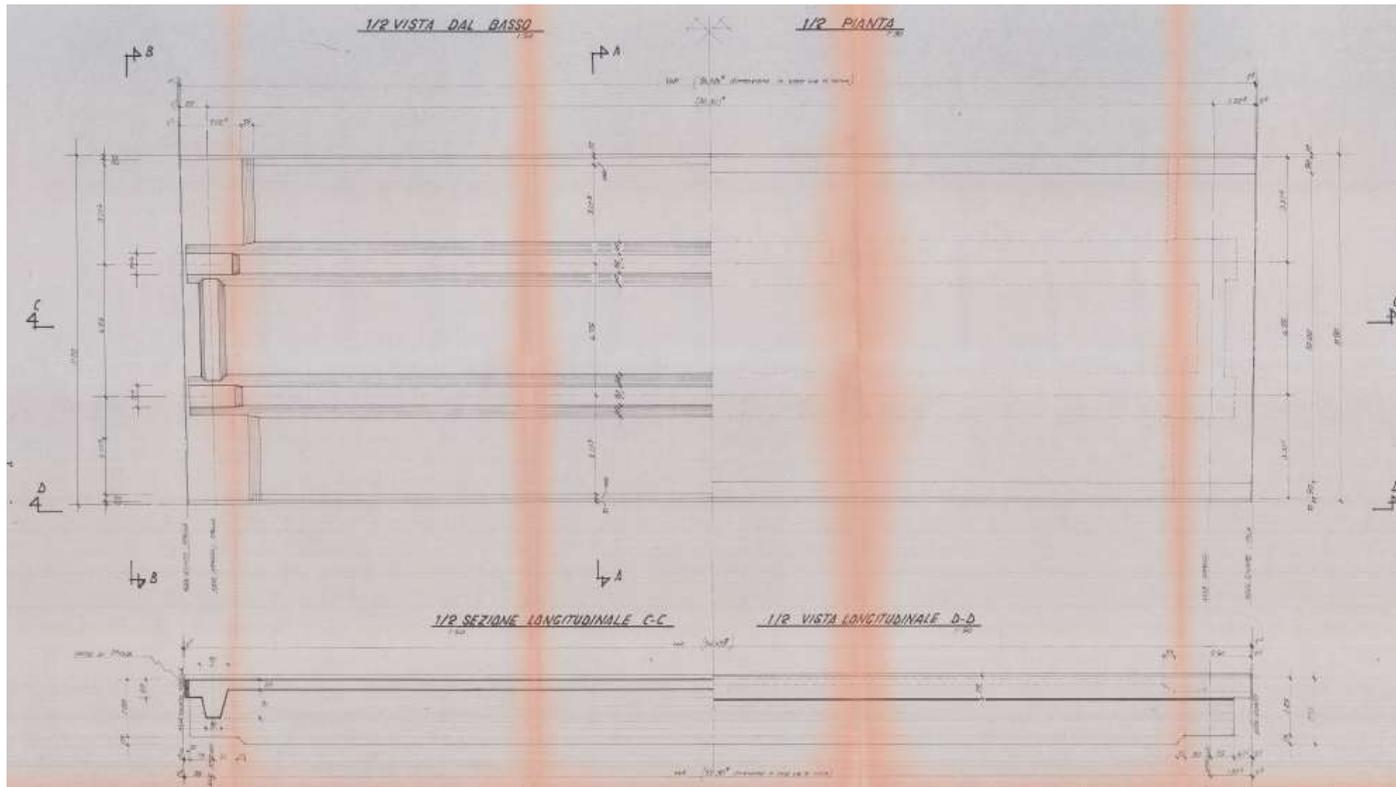


Viadotto Zappulla

I Ponti ed i Viadotti

Tipologie ricorrenti

Tratto Nuovo

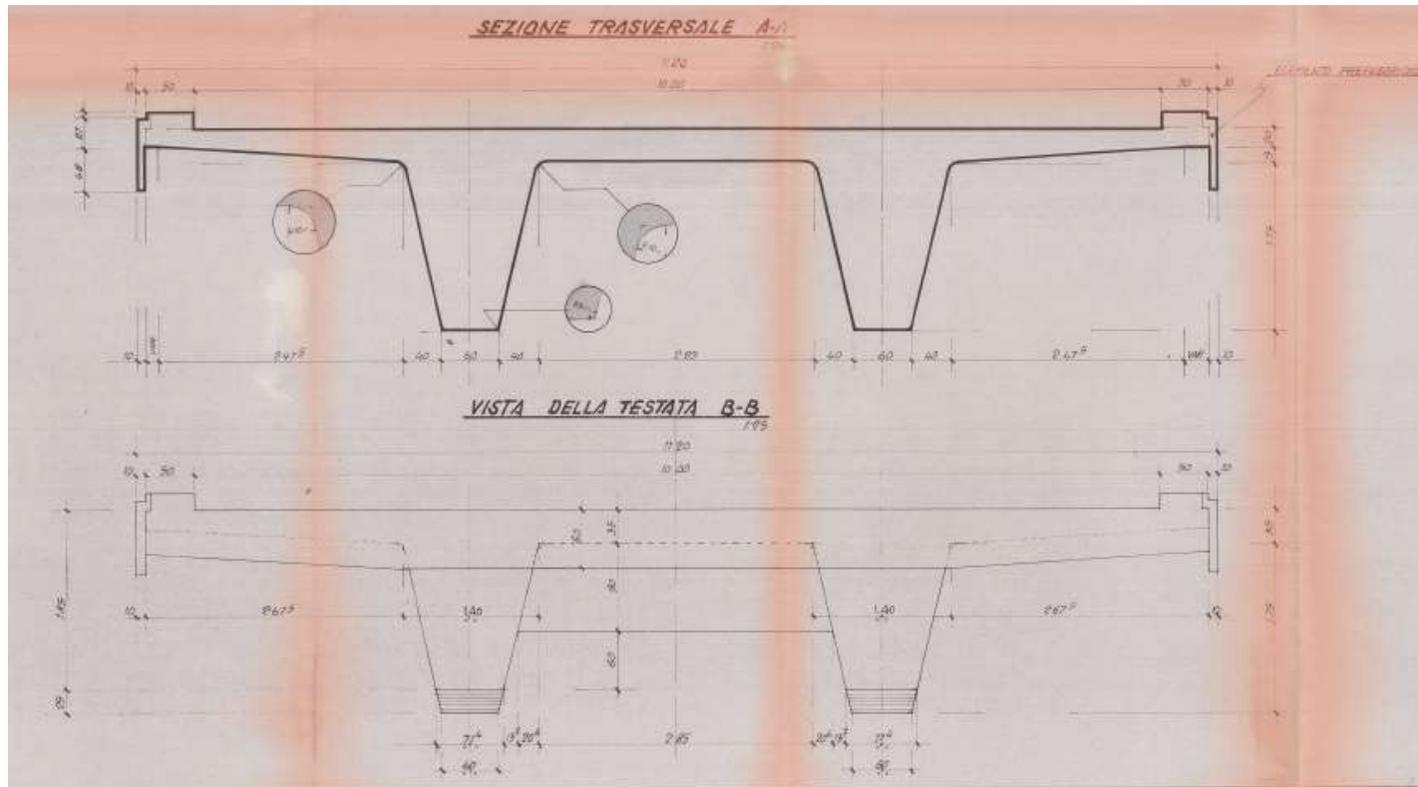


Luci $L = 32.30$ m

La carreggiata è
larga circa 11.00
m

Altezza pile max
45 m.

Tratto Nuovo



Tratto Nuovo

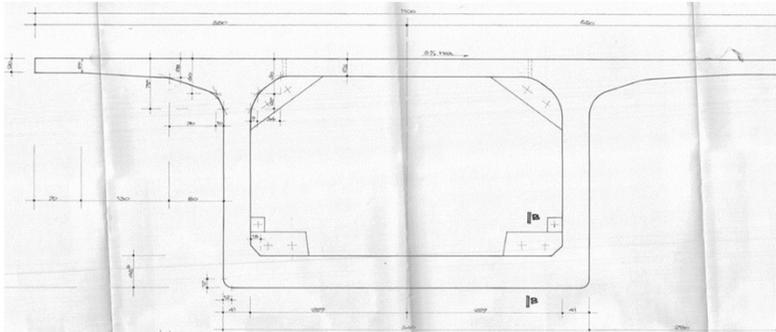


Viadotto Platana

I Ponti ed i Viadotti

Tipologie ricorrenti

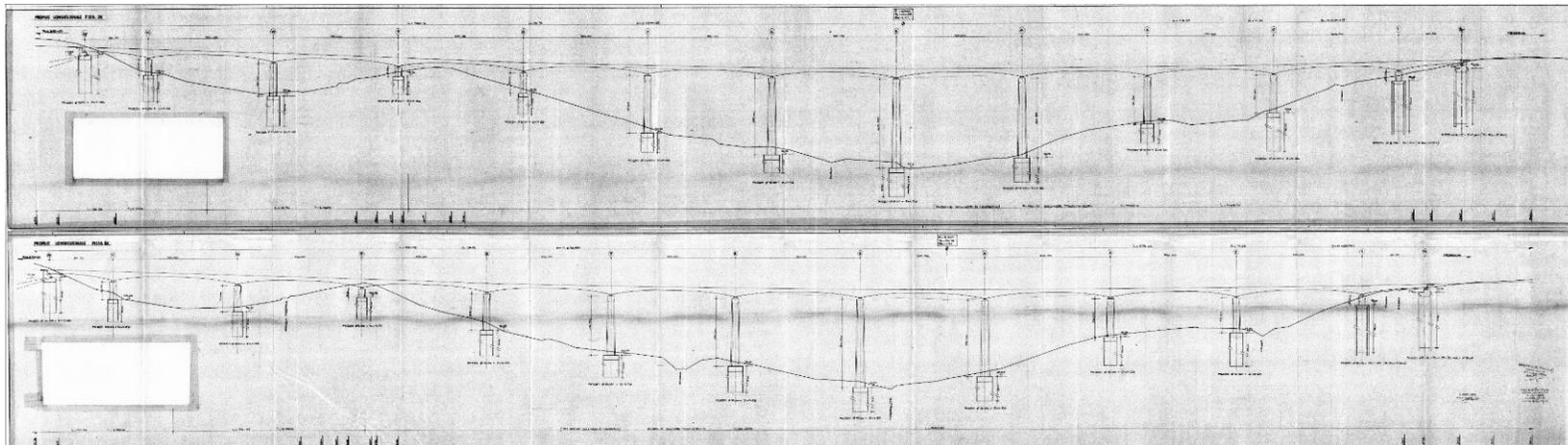
Tratto Recente



Luci $L = 110.00$ m

La carreggiata è larga circa 11.00 m

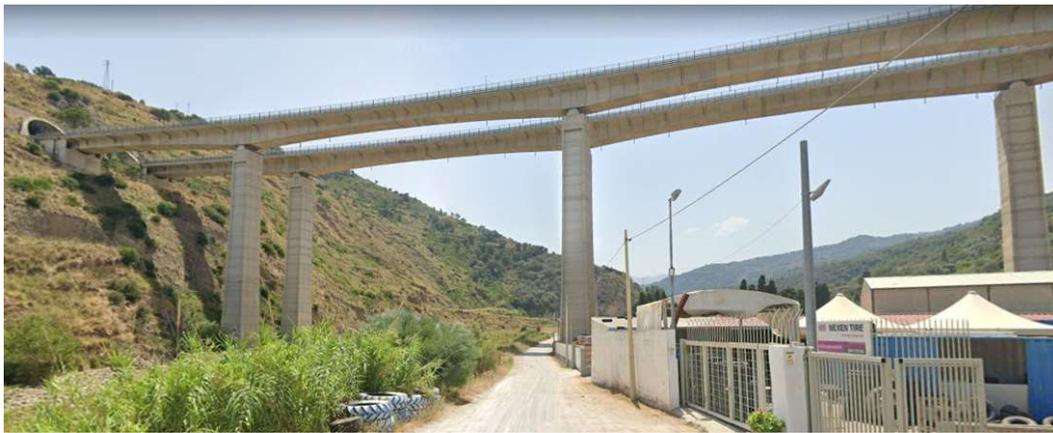
Altezza pile max 122 m.



I Ponti ed i Viadotti

Tipologie ricorrenti

Tratto Recente



Viadotto Inganno



Viadotto Buzza

Tratto Recente



Viadotto Malpertugio

I Cavalcavia

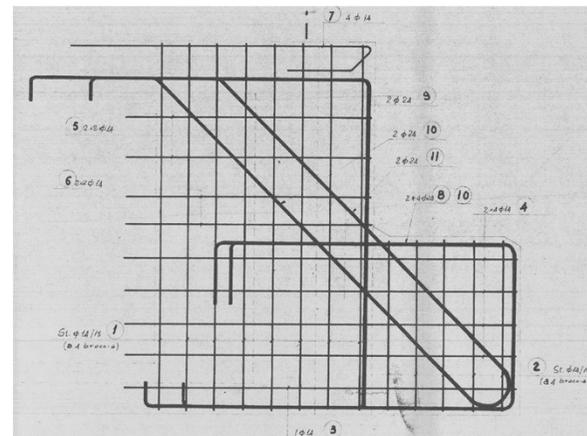
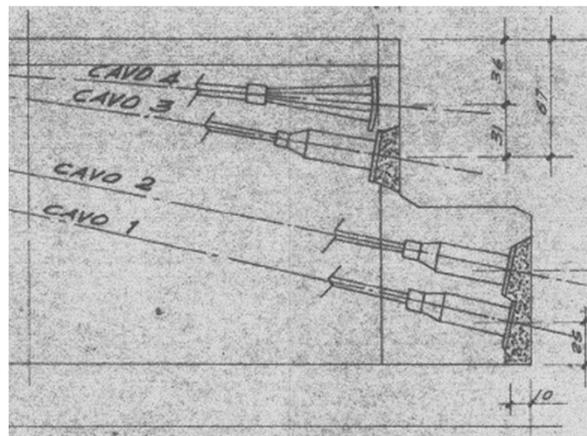
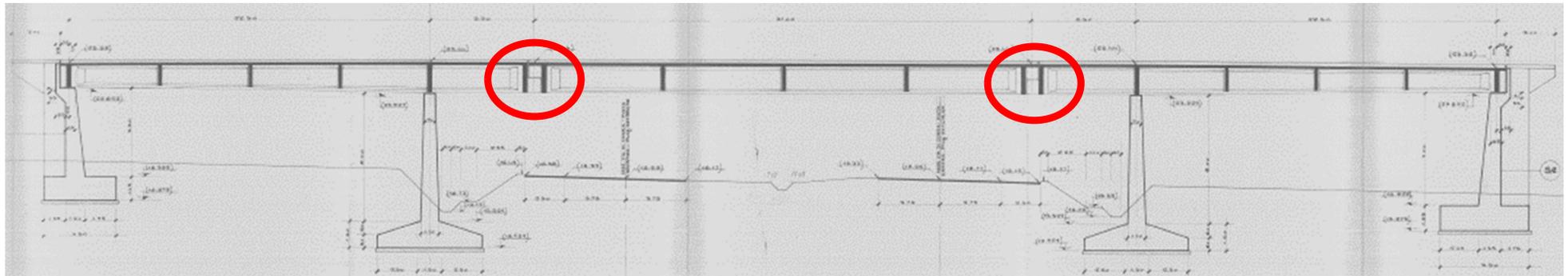
- 1968-1978
- Schema Gerber
- c.a.p.

Tipologie ricorrenti



I Cavalcavia

Tipologie ricorrenti



I Cavalcavia

Tipologie ricorrenti

- 1984-2005
- Schema appoggiato - pila centrale
- c.a.p.

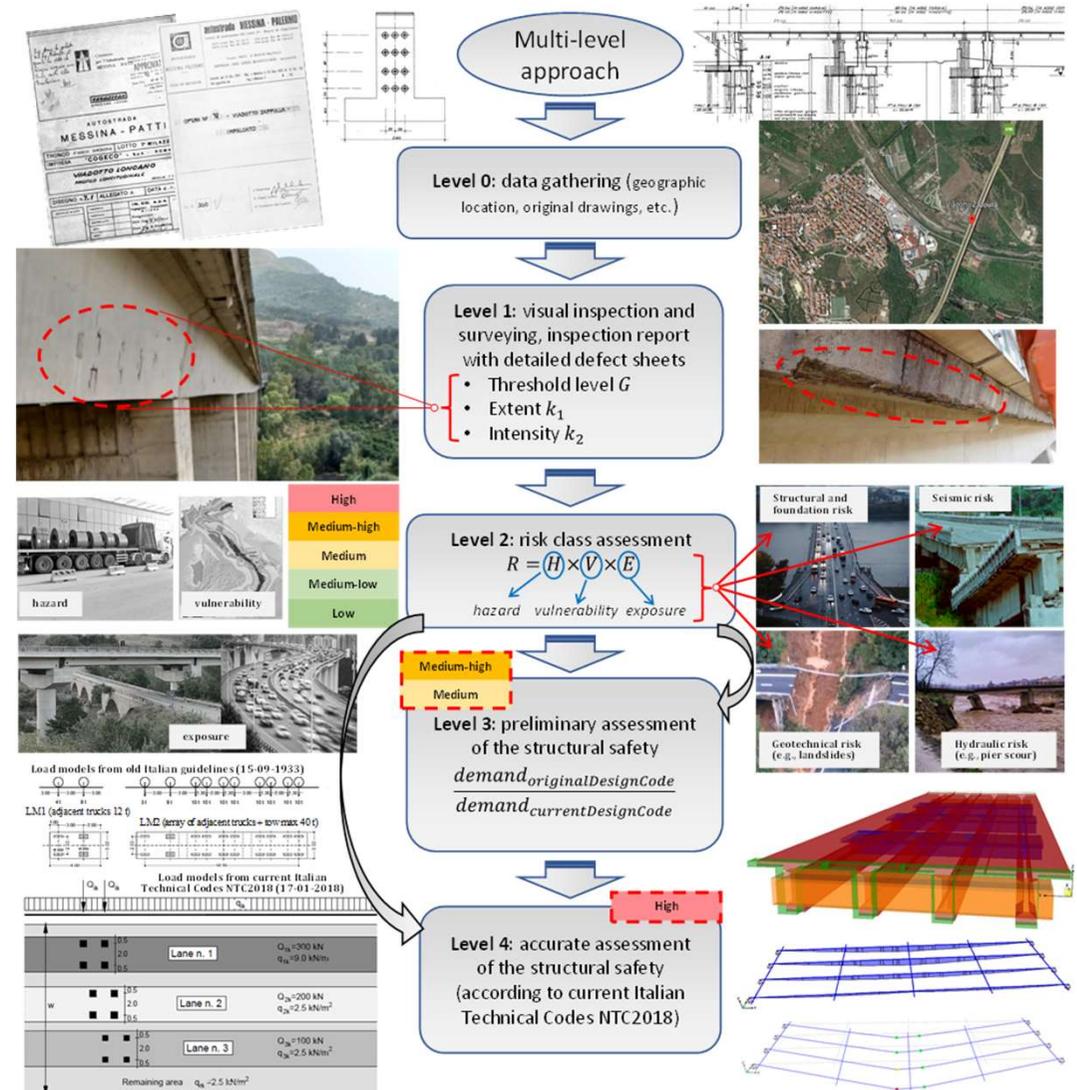


Attività di ricerca UNIME

Tre accordi di programma tra UNIME e CAS;

Il primo siglato nel 2019, rinnovati quando scaduti e quindi ancora attivi.

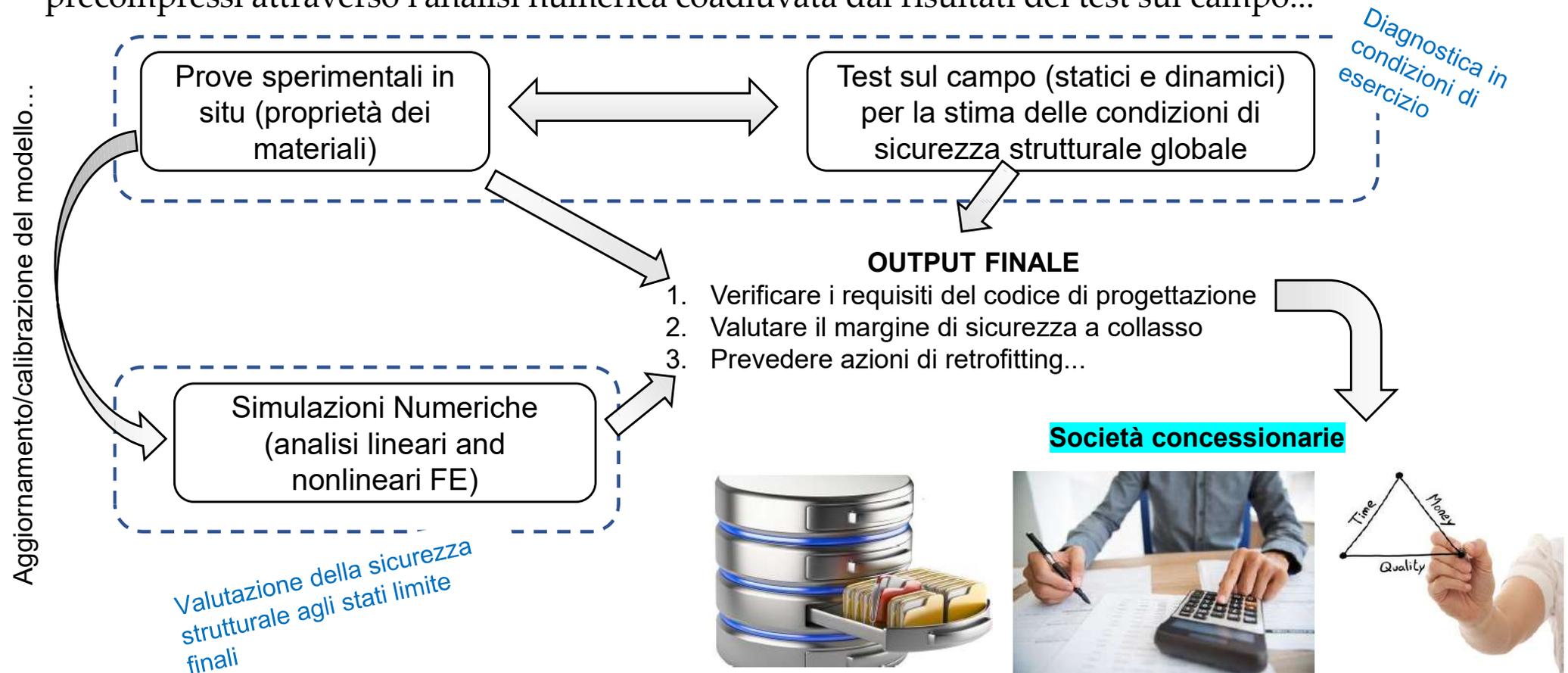
Si stanno utilizzando i dati al fine di calibrare dei modelli speditivi di stima del rischio, ricalibrando gli obiettivi ai sensi del D.M. 578/20 e D.M. 204/22.



Attività di ricerca UNIME

Approccio utilizzato

Approccio sistematico per il controllo qualità e la valutazione di vulnerabilità di impalcati esistenti in precompressi attraverso l'analisi numerica coadiuvata dai risultati dei test sul campo...



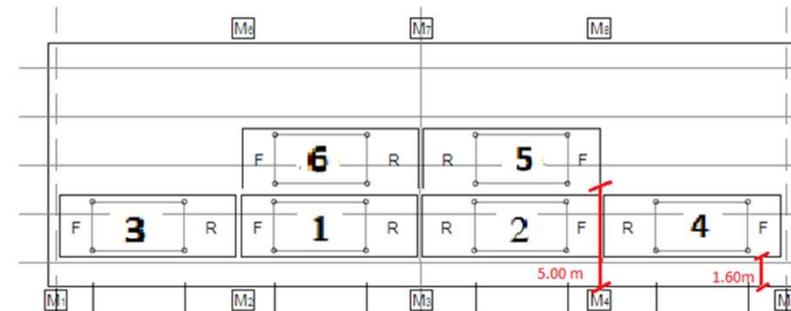
Attività di ricerca UNIME

Tratto Iniziale

- 11 viadotti - 43 campate testate

Viadotto	Posizione [km]	Numero impalcati per direzione	Numero di prove per direzione	Data prove
TONNARAZZA dir PA	26+898	5	1	09/04/2021
TORREGROTTA dir PA	31+047	3	1	09/04/2021
MAZZARRA' dir PA	51+905	8	2	15/04/2021
MAZZARRA' dir ME	51+905	8	3	16/04/2021
ROSMARINO dir PA	102+100	21	2	27/04/2021
MONTAGNAREALE dir ME	68+727	20	4	28/04/2021
LONGANO dir PA	45+721	3	1	12/05/2021
LONGANO dir ME	45+721	3	1	12/05/2021
NICETO dir PA	32+548	6	2	13/05/2021
MELA dir PA	41+703	10	2	13/05/2021
MELA dir ME	41+703	10	2	14/05/2021
MONTAGNAREALE dir PA	68+727	20	4	31/05/2021
NICETO dir ME	32+458	6	2	22/06/2021
TORREGROTTA dir ME	31+047	3	1	22/06/2021
CORRIOLO dir ME	38+215	3	1	29/06/2021
CORRIOLO dir PA	38+215	3	1	30/06/2021
TONNARAZZA dir ME	26+898	5	1	30/06/2021
FORNO dir PA	92+581	9	2	06/07/2021
FORNO dir ME	92+581	9	2	07/07/2021
ZAPPULLA dir PA	95+821	18	4	05/07/2021
ZAPPULLA dir ME	95+822	18	4	04/07/2021

Prova di carico statico e test dinamici prima e dopo



- 11 viadotti - 43 campate testate

10 viadotti progettati con la circolare del Ministero dei LLPP - Consiglio Superiore - 14/02/1962 n. 384 - Norme relative ai carichi per i ponti stradali

Il viadotto Rosmarino progettato con il Decreto Ministeriale 2 Agosto 1980 - Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo di ponti stradali

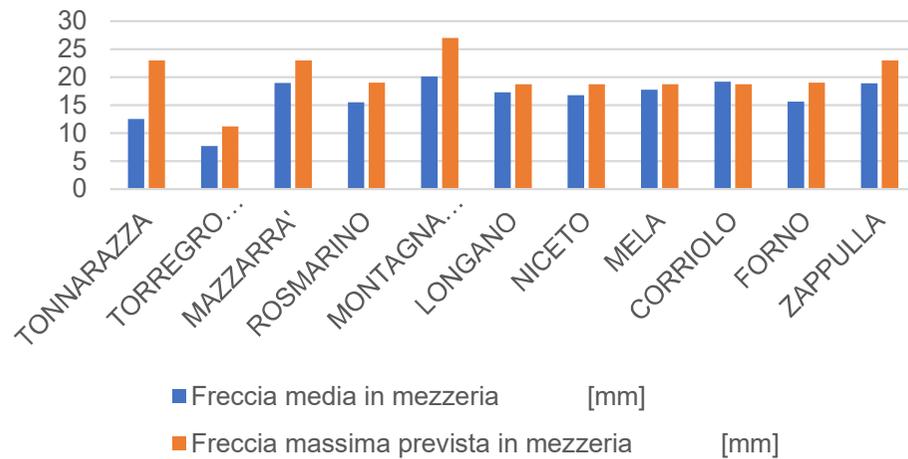
VIADOTTO	Freccia media in mezzeria [mm]	Freccia massima prevista in mezzeria [mm]	Frequenza pre prova statica [Hz]	Frequenza post prova statica [Hz]	Frequenza principale prevista [Hz]
TONNARAZZA	12.50	23.00	4.47	4.44	4.49
TORREGROTTA	7.70	11.20	7.39	7.36	7.29
MAZZARRA'	18.98	23.00	4.34	4.34	3.82
ROSMARINO	15.52	19.00	3.92	3.88	2.97
MONTAGNAREALE	20.08	27.00	4.06	4.05	3.30
LONGANO	17.31	18.70	4.35	4.30	4.01
NICETO	16.76	18.70	4.38	4.39	4.01
MELA	17.75	18.70	4.33	4.38	4.01
CORRIOLO	19.19	18.70	4.38	4.40	4.01
FORNO	15.64	19.00	3.75	3.76	3.05
ZAPPULLA	18.87	23.00	3.00	3.01	2.93

Attività di ricerca UNIME

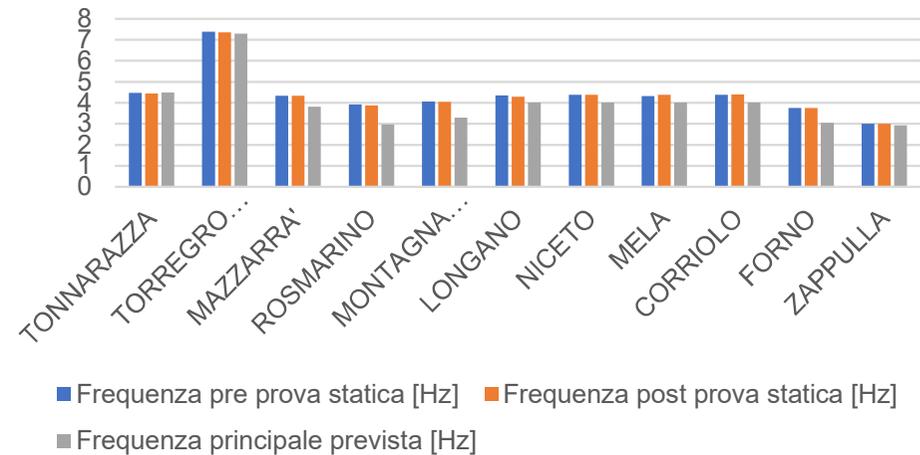
Tratto Iniziale

- 11 viadotti - 43 campate testate

Prova Carico



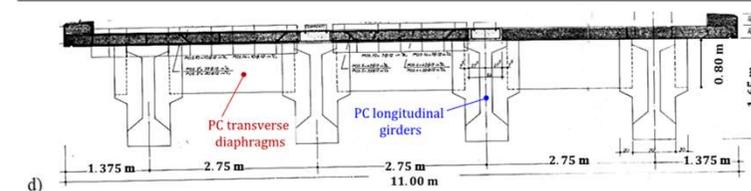
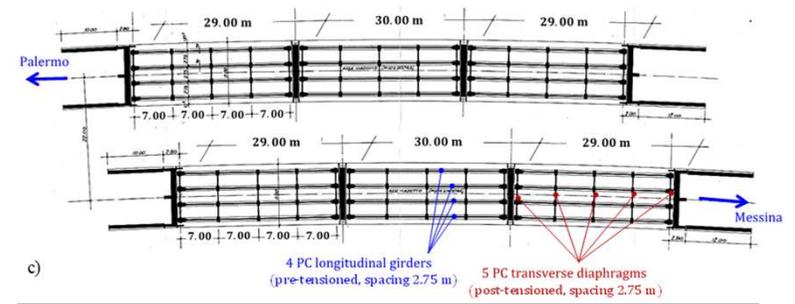
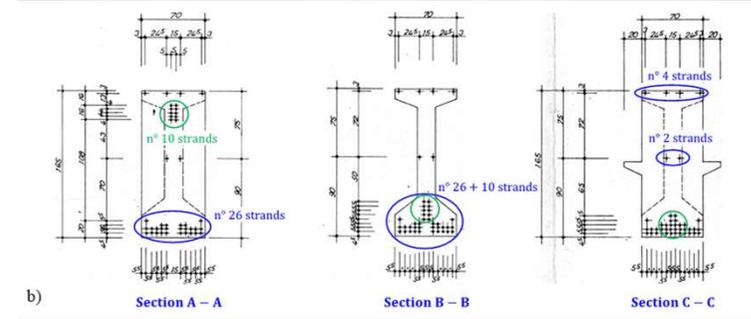
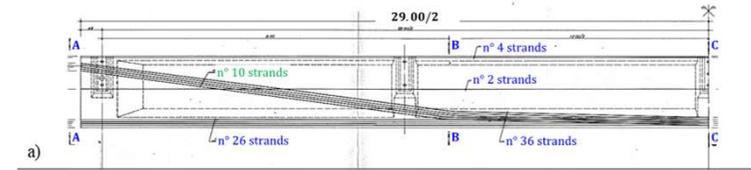
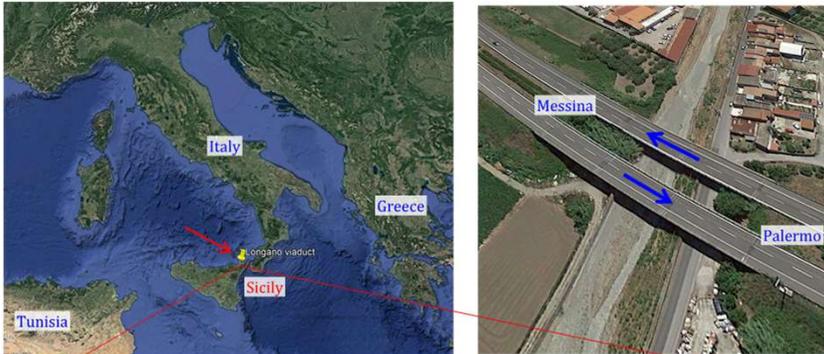
Prova Dinamica



Attività di ricerca UNIME

Viadotto Longano

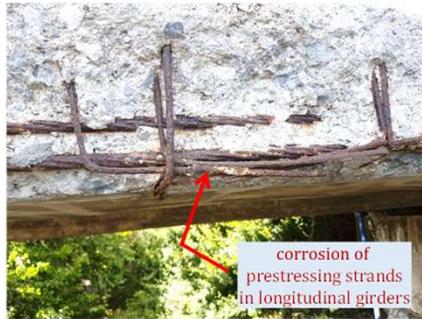
Tratto Iniziale



Progetto di Silvano Zorzi

Attività di ricerca UNIME

Tratto Iniziale

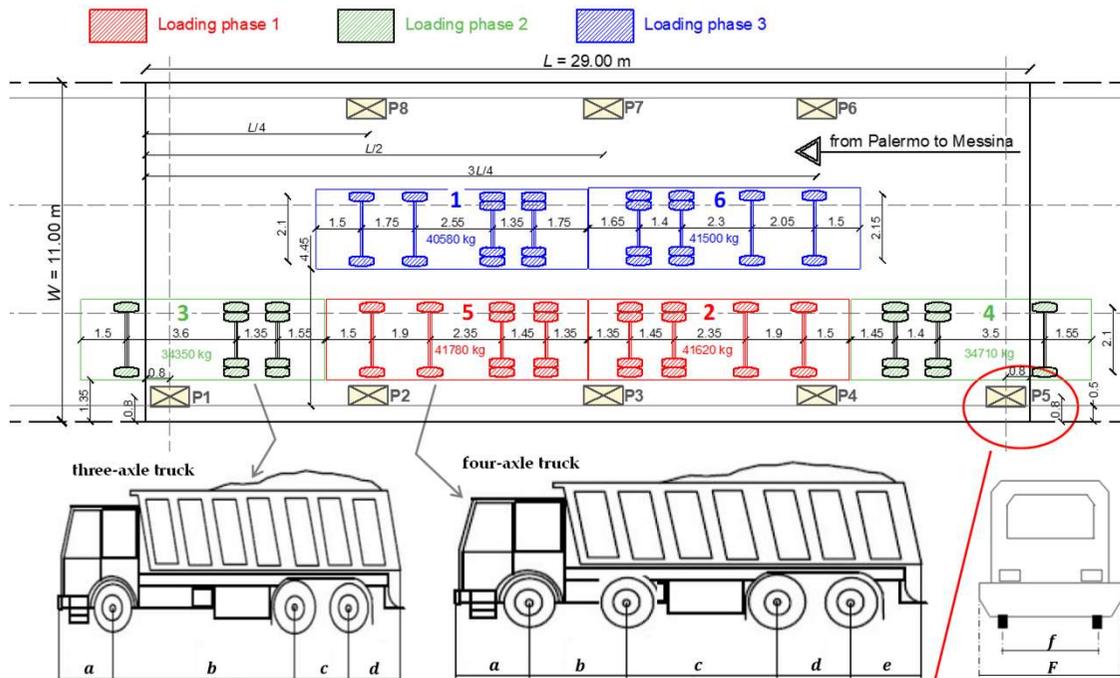


Viadotto Longano Rilievo del degrado

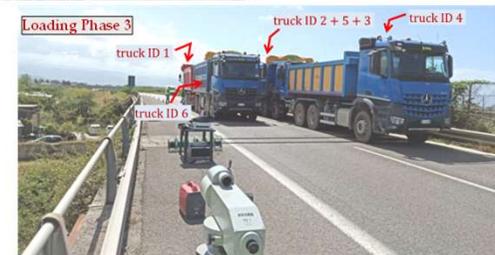


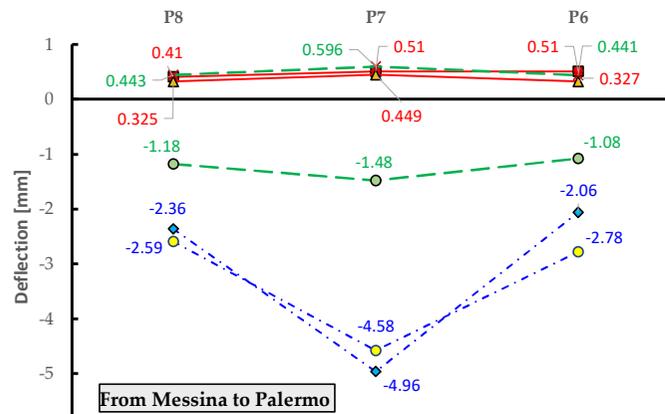
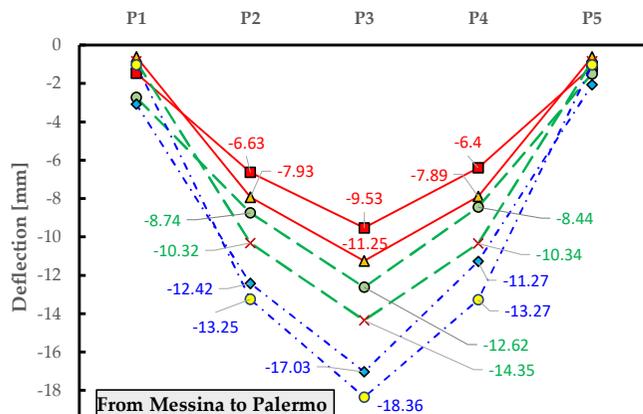
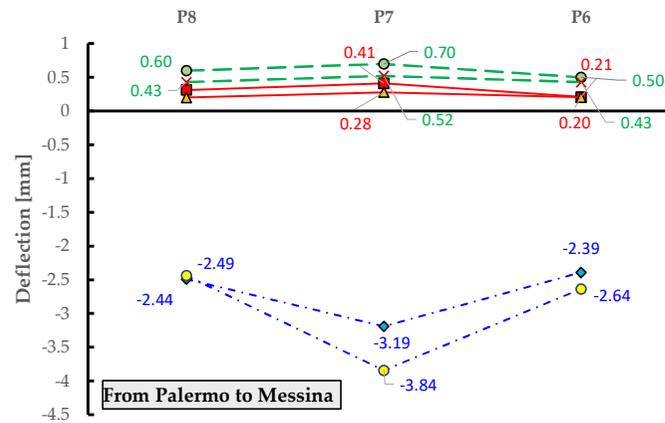
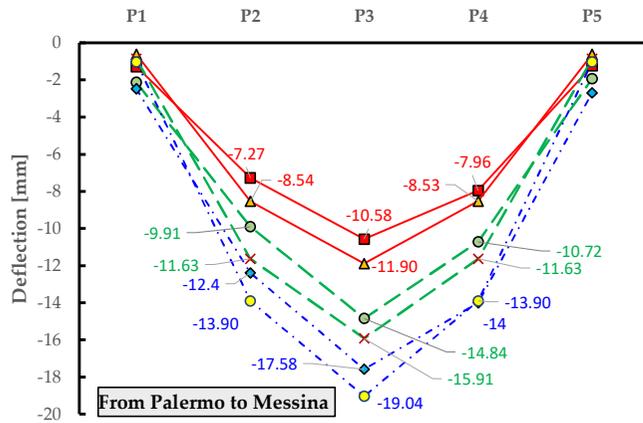
Attività di ricerca UNIME

Tratto Iniziale



Viadotto Longano Prova Carico





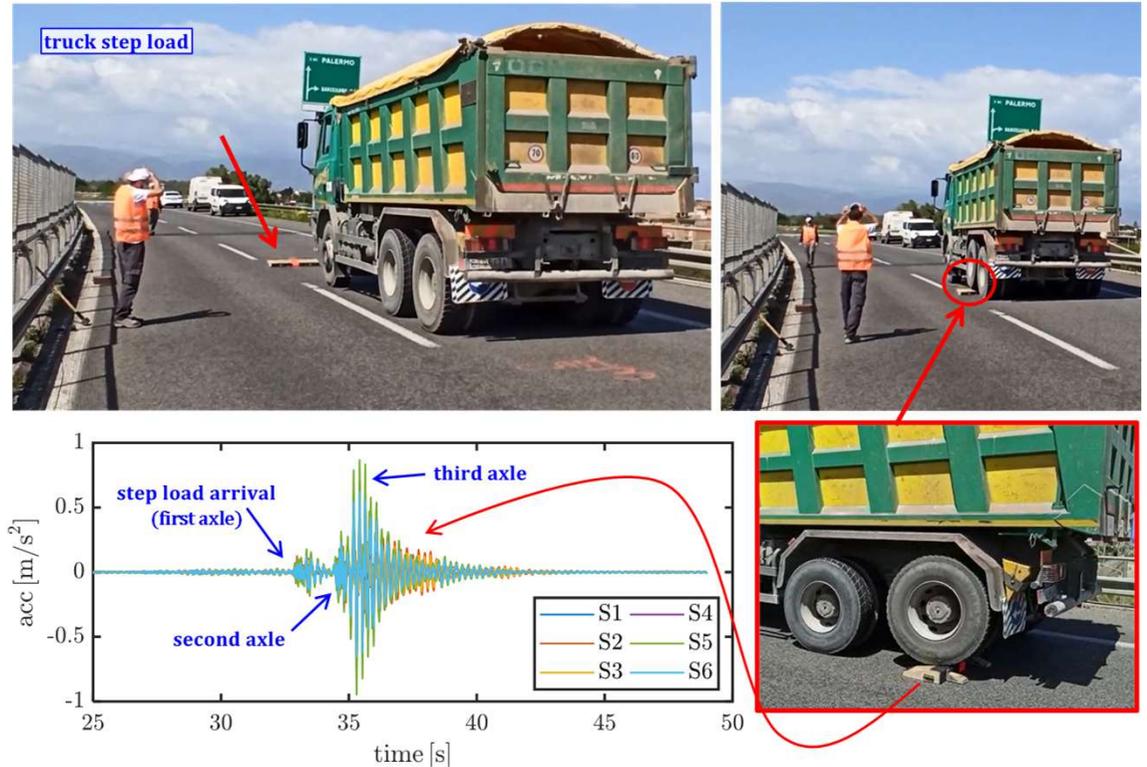
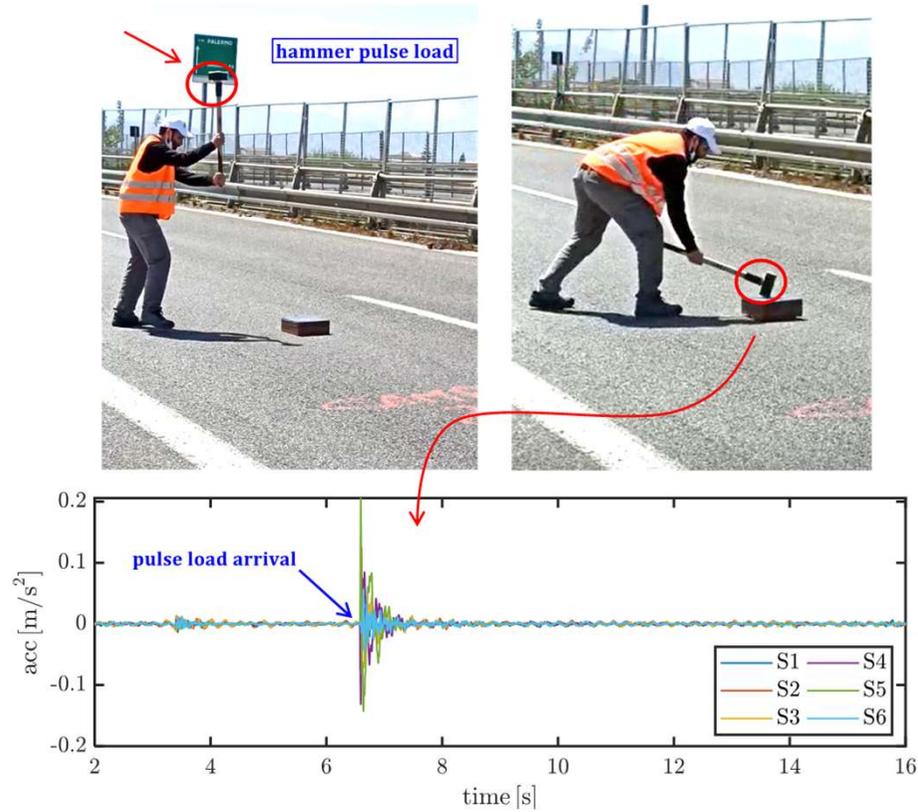
- Phase 1 exp ▲ Phase 1 FEM
- Phase 2 exp × Phase 2 FEM
- ◆ Phase 3 exp ○ Phase 3 FEM

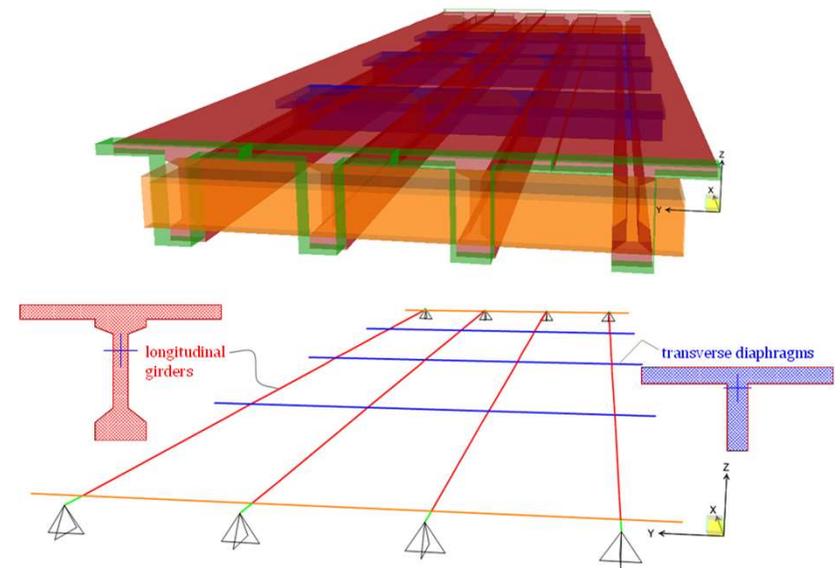
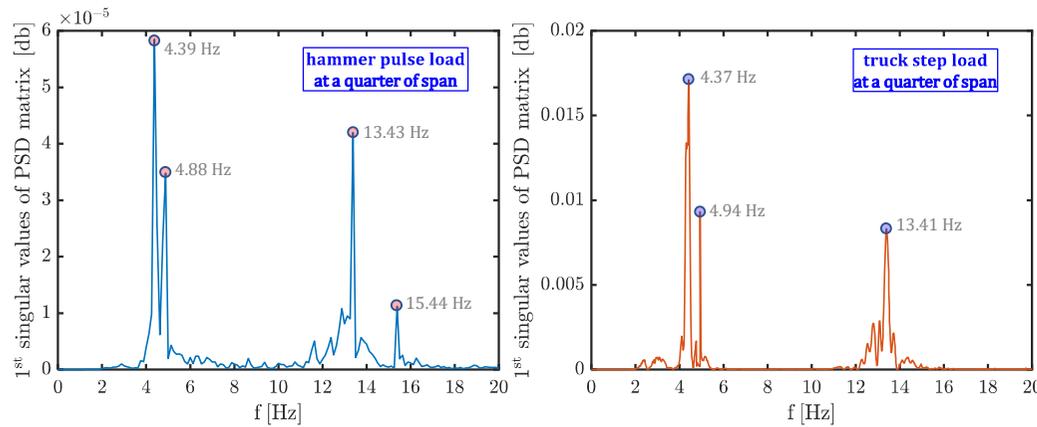
Viadotto Longano Prova Carico

Attività di ricerca UNIME

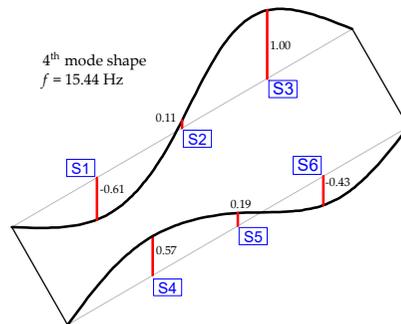
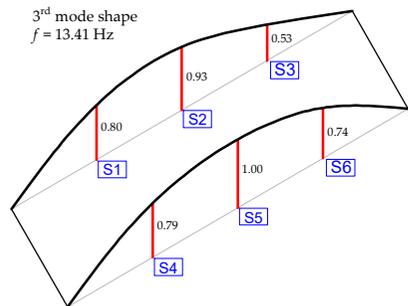
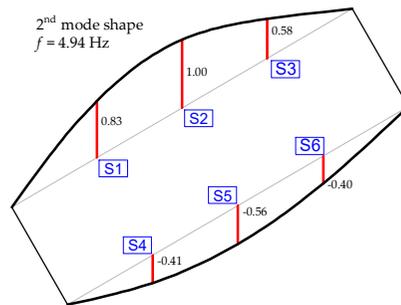
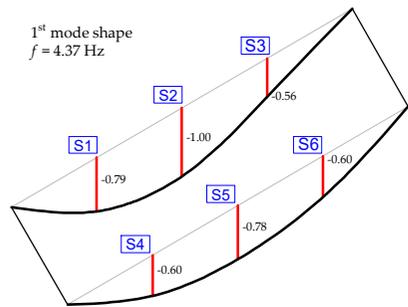
Viadotto Longano Test dinamico

Tratto Iniziale

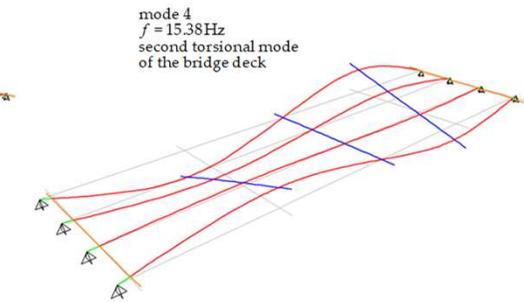
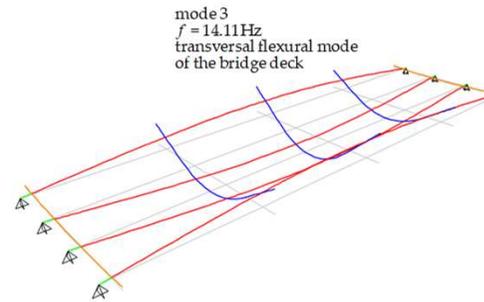
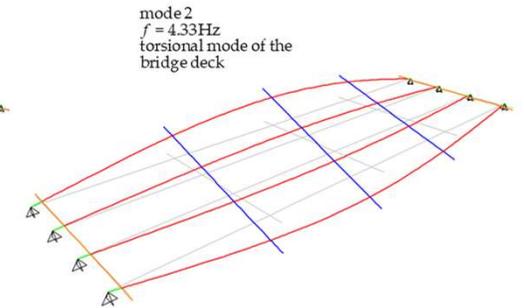
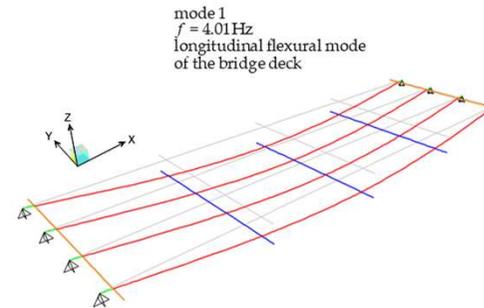




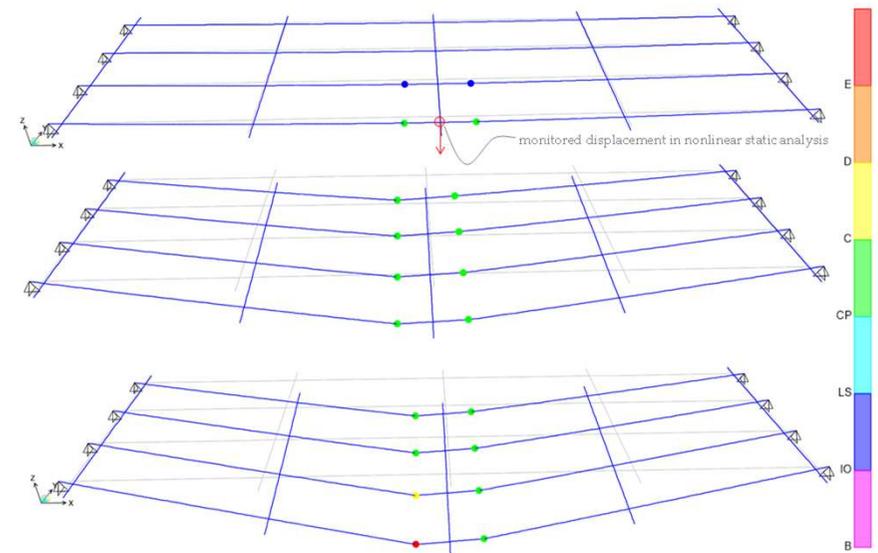
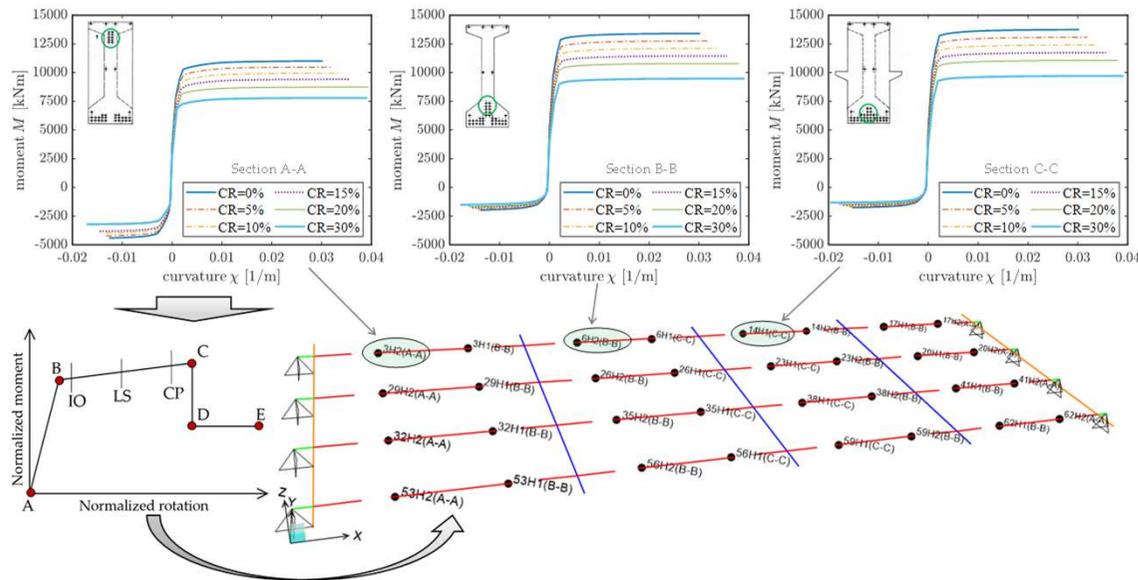
Mode number	Type of vibration (exp = FE model)	Frequency (exp) [Hz]	Frequency (FE model) [Hz]	Relative error [%]
1	longitudinal flexural	4.37	4.01	8.23
2	1 st torsional	4.94	4.33	12.35
3	transversal flexural	13.41	14.11	5.22
4	2 nd torsional	15.44	15.41	0.19

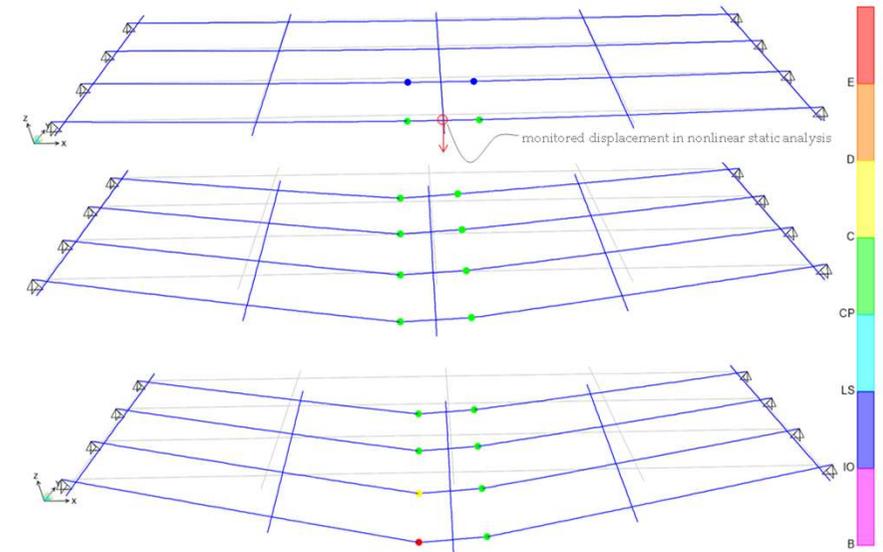
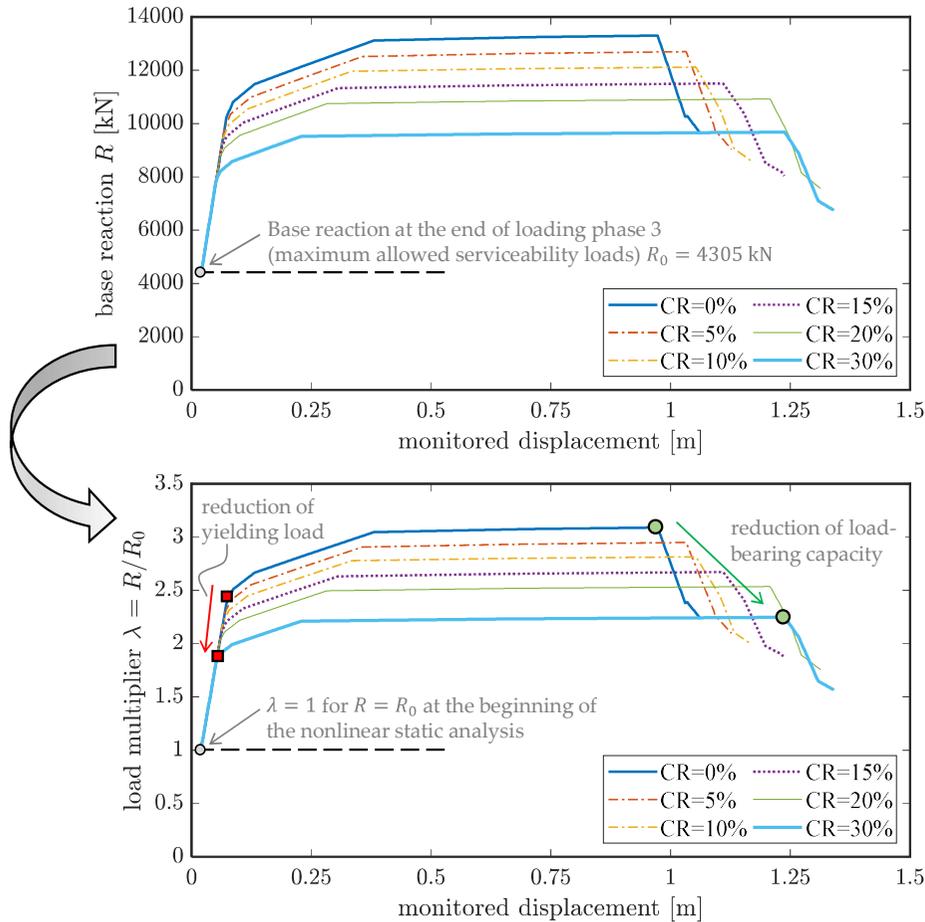


Sperimentale



Teorico

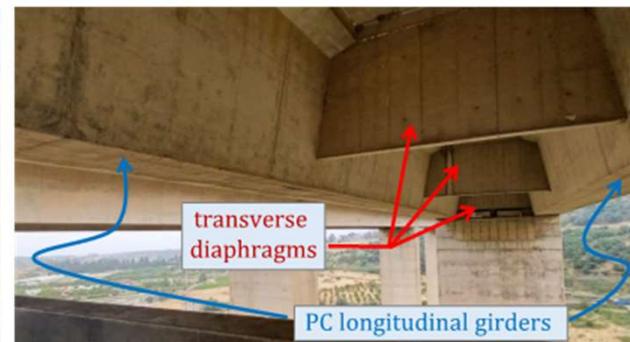




Attività di ricerca UNIME

Viadotto Zappulla

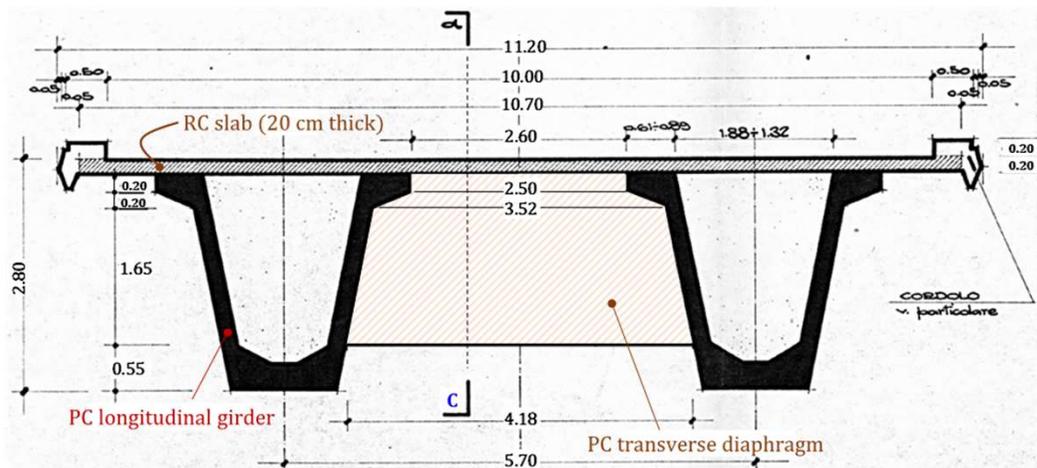
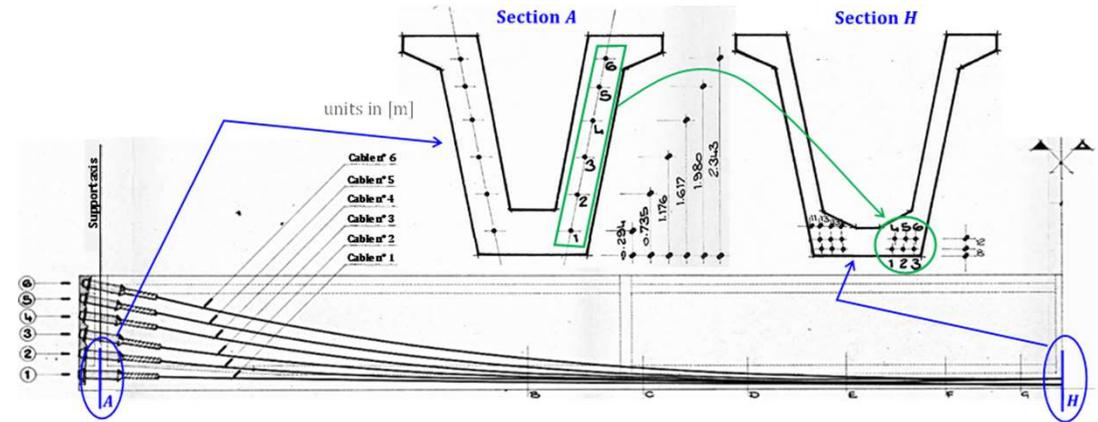
Tratto Iniziale



Si trova a 2 km dal mar Tirreno

Caratteristiche strutturali

- Due carreggiate separate;
- lunghezza 860 m, 18 campate di 45.2 m ciascuna, in semplice appoggio
- impalcato: bitrave a cassoncini precompressi con 5 trasversi totali precompressi
- 12 cavi (42 fili $\phi 7$ a forma parabolica)



Dal progetto originale:

- calcestruzzo C35/45
- acciaio da precompressione $f_{ptk} > 1650 \text{ MPa}$
- acciaio ordinario $f_y = 430 \text{ MPa}$

Attività di ricerca UNIME

Viadotto Zappulla

Tratto Iniziale

Ispezione visive e ricerca difetti

- fessurazione sulla faccia esterna (laterale) delle travi longitudinali in precompresso;
- testate di ancoraggio non sigillate nei trasversi precompressi;
- macchie di umidità su travi longitudinali trasversi e solette;
- si osservano fessurazioni diffuse ed espulsione di calcestruzzo nella parte inferiore delle solette, con barre di acciaio corrose sull'intradosso;
- stato di degrado di alcuni supporti, con presenza di detriti e fenomeni di degrado nella zona circostante i cuscinetti in neoprene

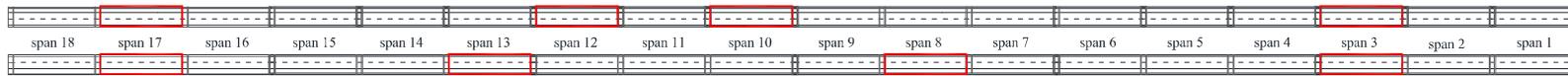


Attività di ricerca UNIME

Viadotto Zappulla

Tratto Iniziale

direction Palermo (PA)
←



Span of the viaduct involved in the experimental campaign

direction Messina (ME)
→

Campagna diagnostica in situ

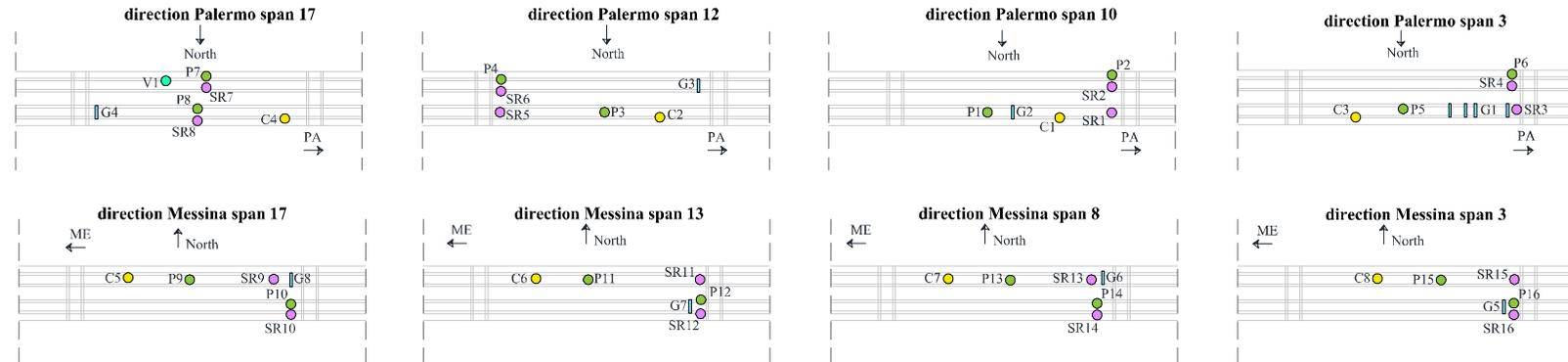
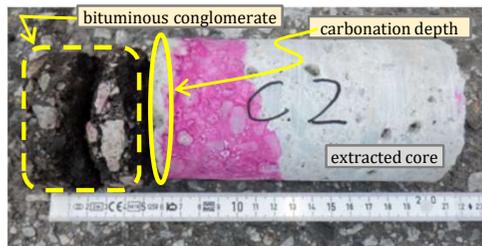


TABLE OF TEST SYMBOLS

- C concrete coring and subsequent compression test
- || G georadar test for prestressing cable detection
- P pachometer test for steel bar detection
- SR SonReb (sclerometric combined with ultrasonic pulse velocity)
- V video-endoscopic investigation



Carotaggio

SonReb tests



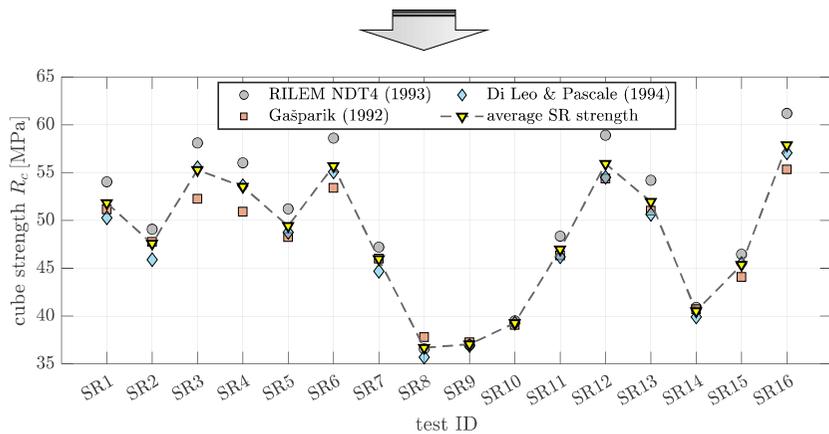
ultrasonic pulse velocity semi-direct measurement



Schmidt rebound hammer test

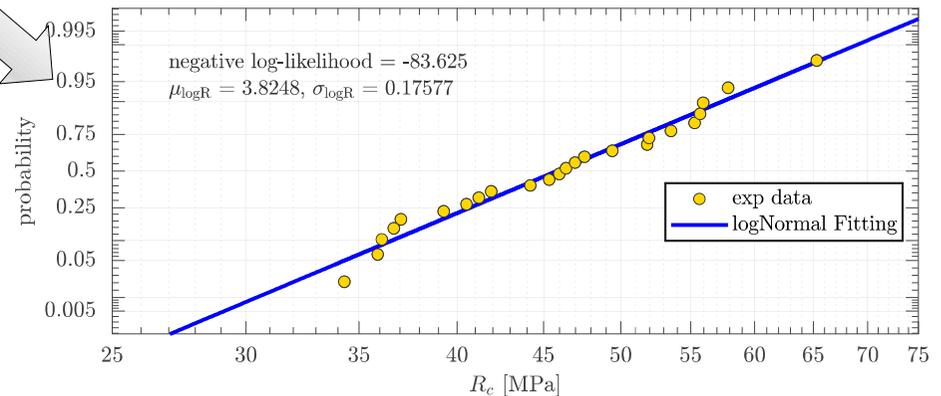
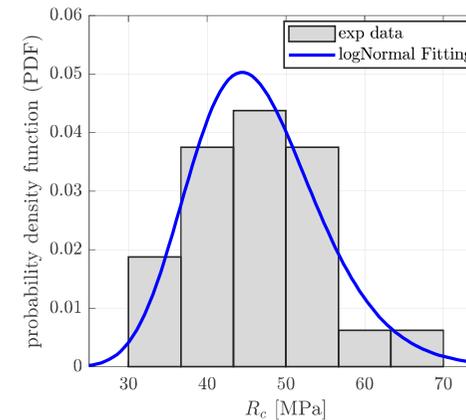
Fitting dei dati ottenuti con carotaggi e prove SonReb con **distribuzione Lognormal**

SonReb tests



8 core strengths
+
16 SonReb tests

$R_c = [34.3 - 65.3]$ MPa
mean $R_{cm} = 46.5$ MPa
CoV = 17.7%

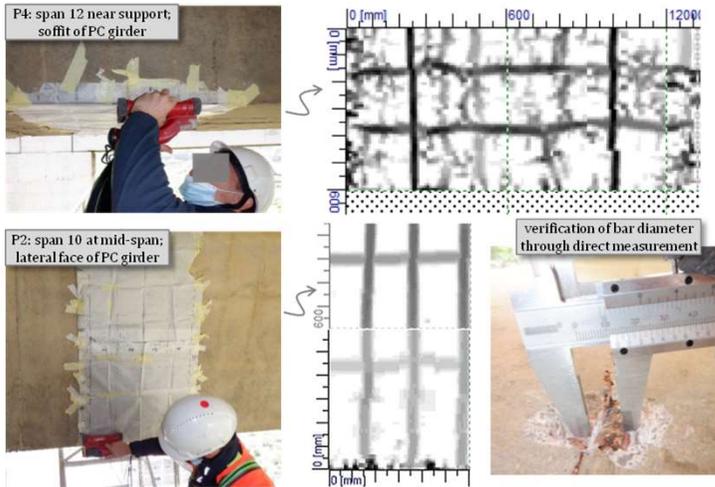


Attività di ricerca UNIME

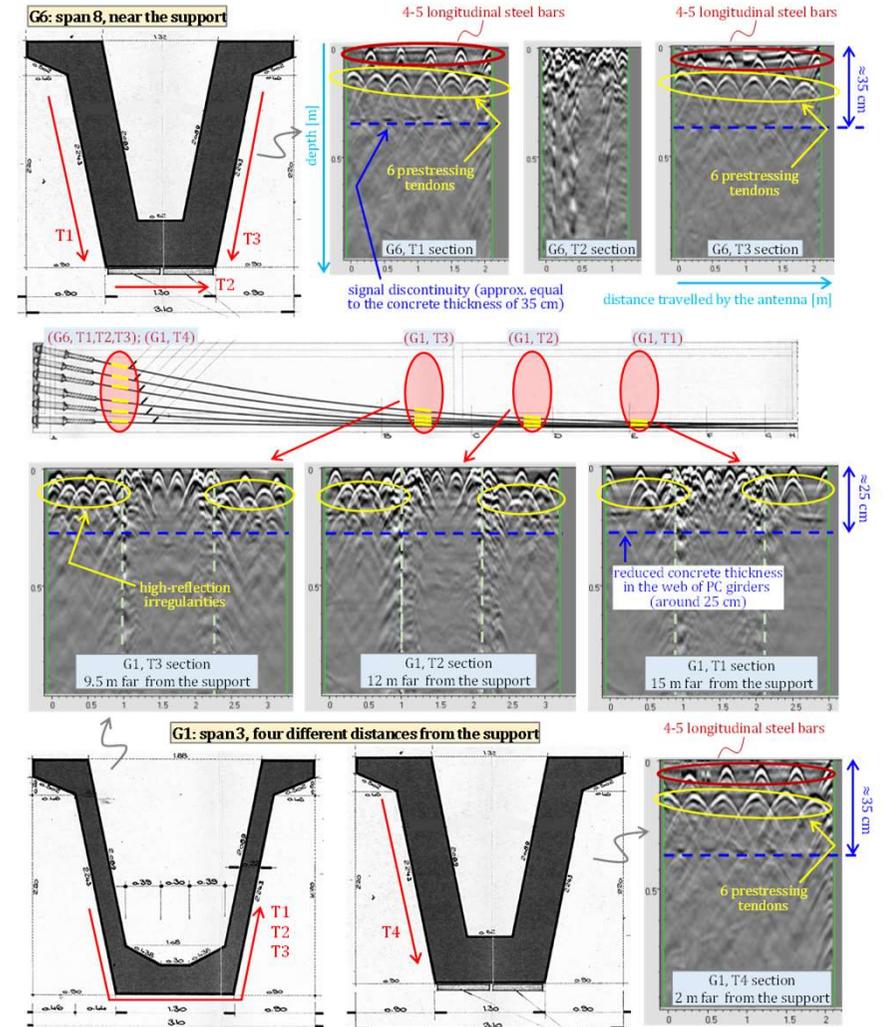
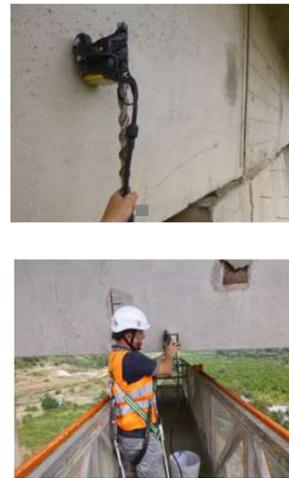
Viadotto Zappulla

Tratto Iniziale

Test pacometrico

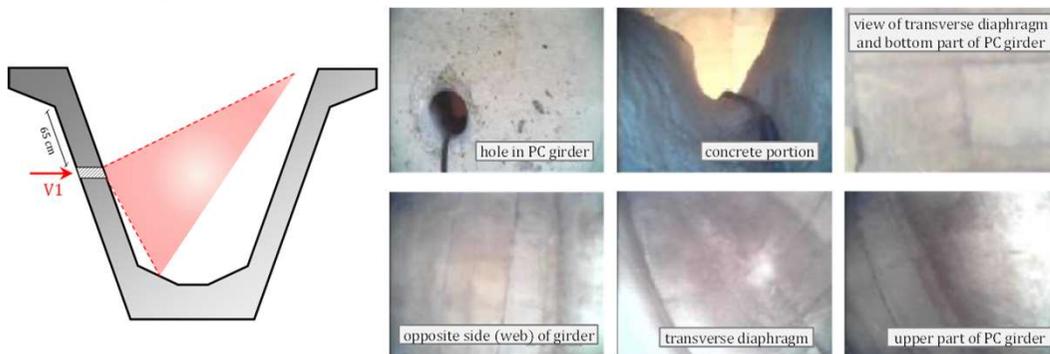


Test georadar



Investigazione video endoscopica

Range copriferro [30-40 mm]

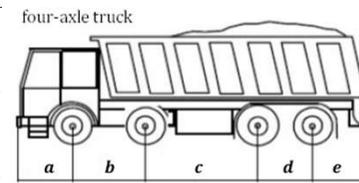
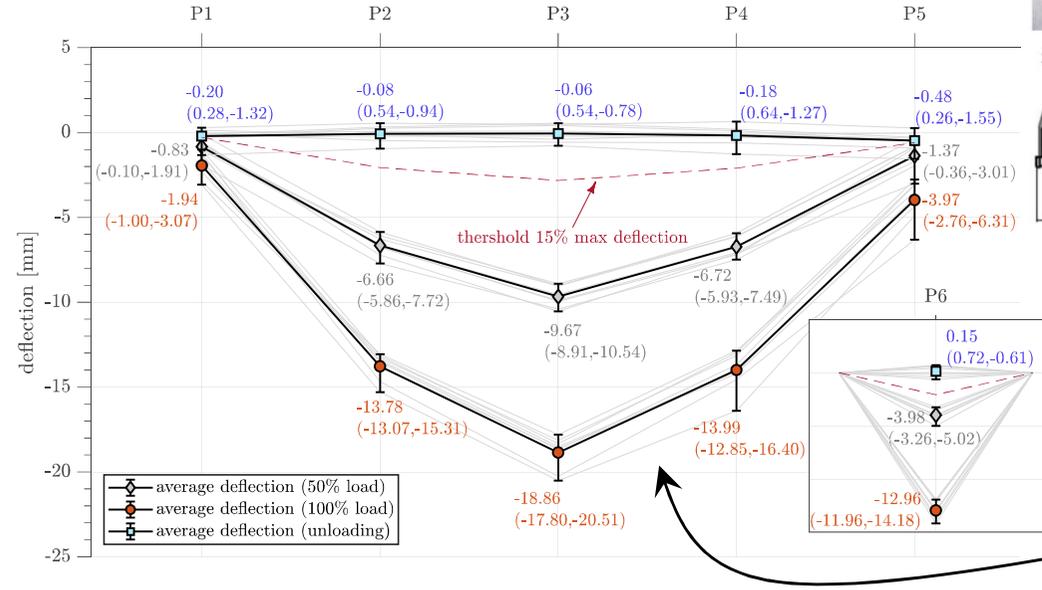
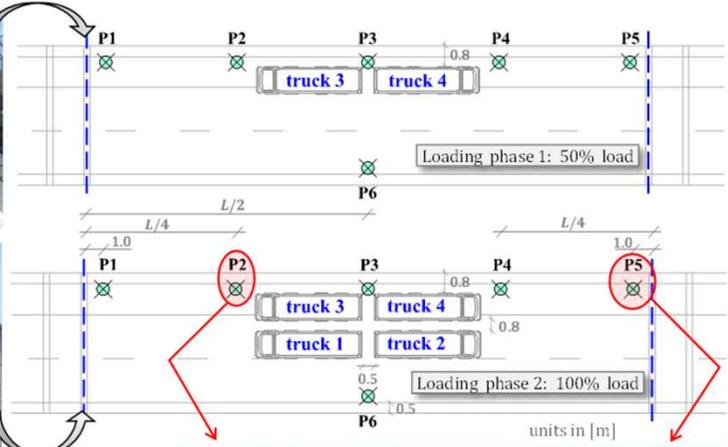
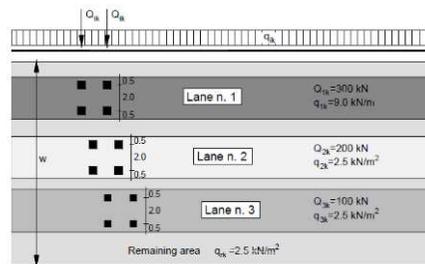


Attività di ricerca UNIME

Viadotto Zappulla

Tratto Iniziale

Test in situ:
1) Prova di carico
 (EC2-2; NTC 2018 §5)

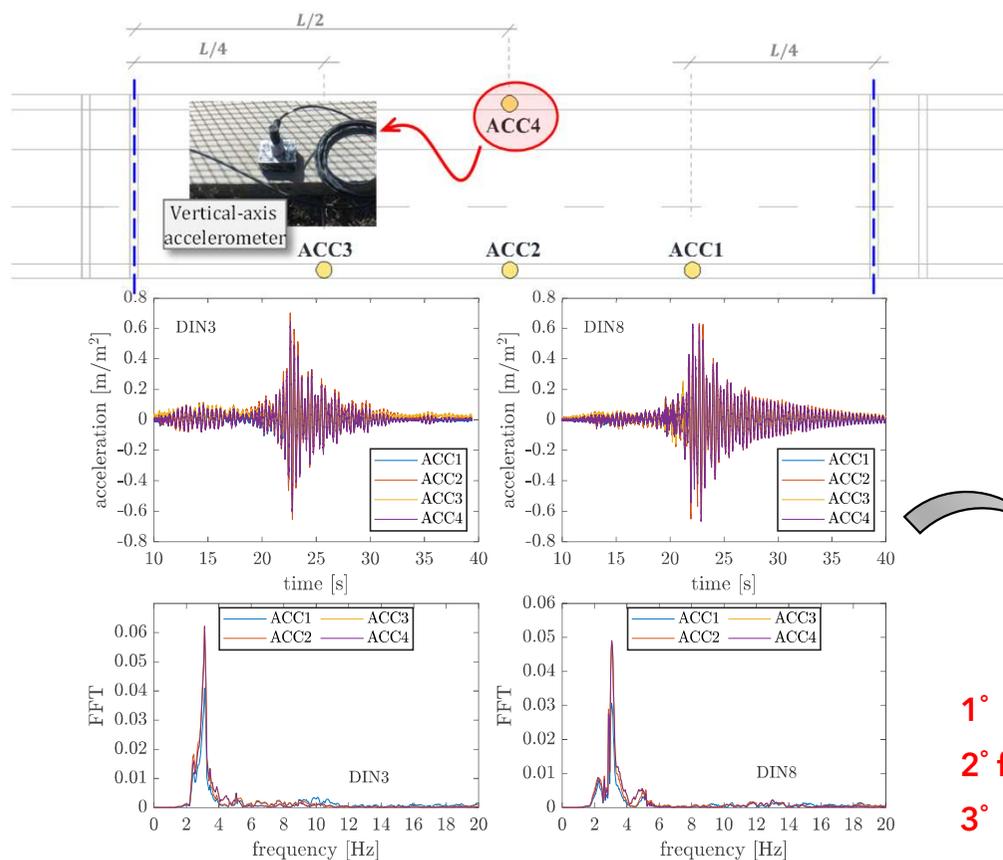


Frecce Residue < 15% della massima freccia registrate durante la prova di carico (NTC18 §9.2.2)

- Linee sottili grigie: risultato per singola campata
- Linee sottili nere: risultati medi (su 8 campate)
- Barre Error : intervallo di variazione delle misure

Test in situ: 2) Test di vibrazione libera

Identificazione delle frequenze naturali dell'impalcato



VIDEO

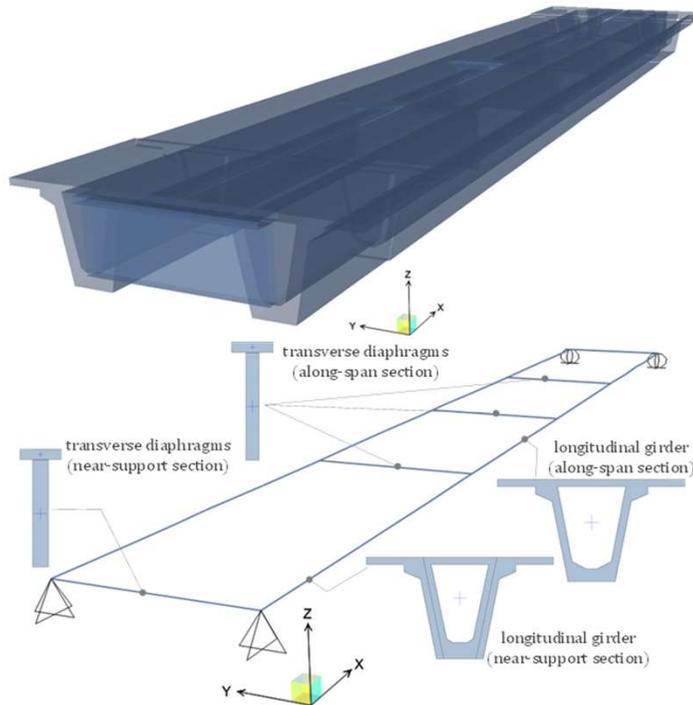


- 1° frequenza ≈ 2.9-3.1 Hz
- 2° frequenza ≈ 5.2-5.4 Hz
- 3° frequenza ≈ 9.9-10 Hz

Simulazione Numerica: analisi lineare FE

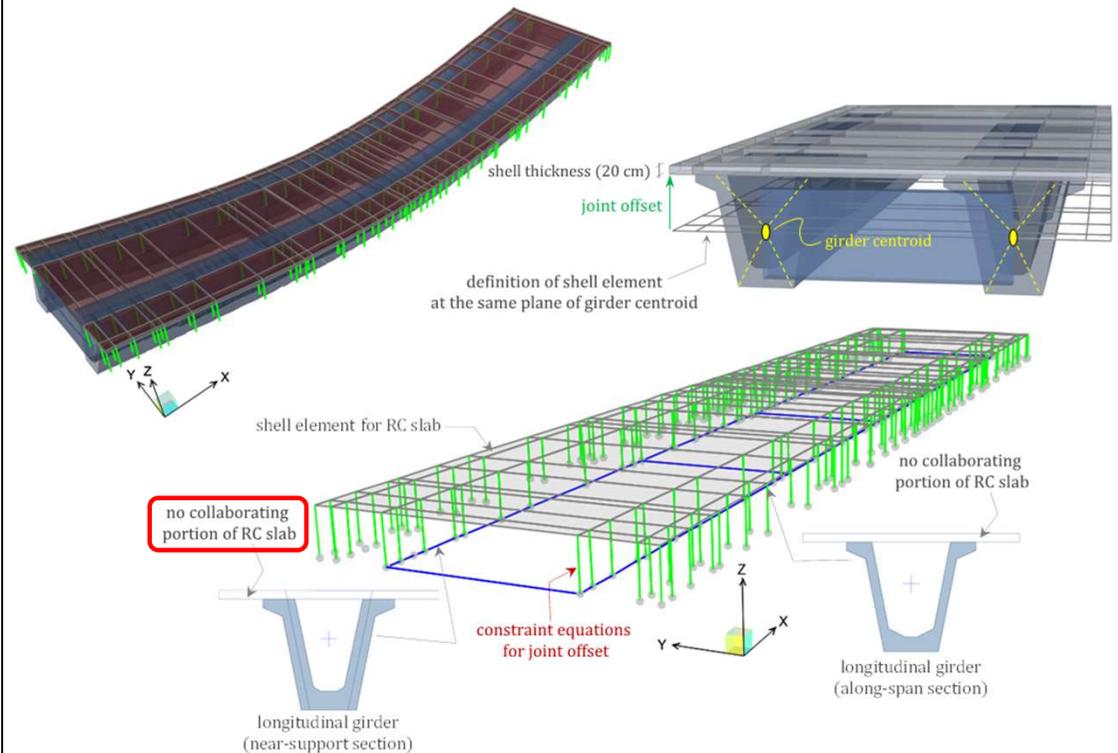
Modello semplificato

Elementi Beam (6 DOFs per nodo) per travate
 Sezioni trasversali consistenti che include le proprietà di una porzione di soletta in c.a. collaborante (per lgi effetti shear lag)



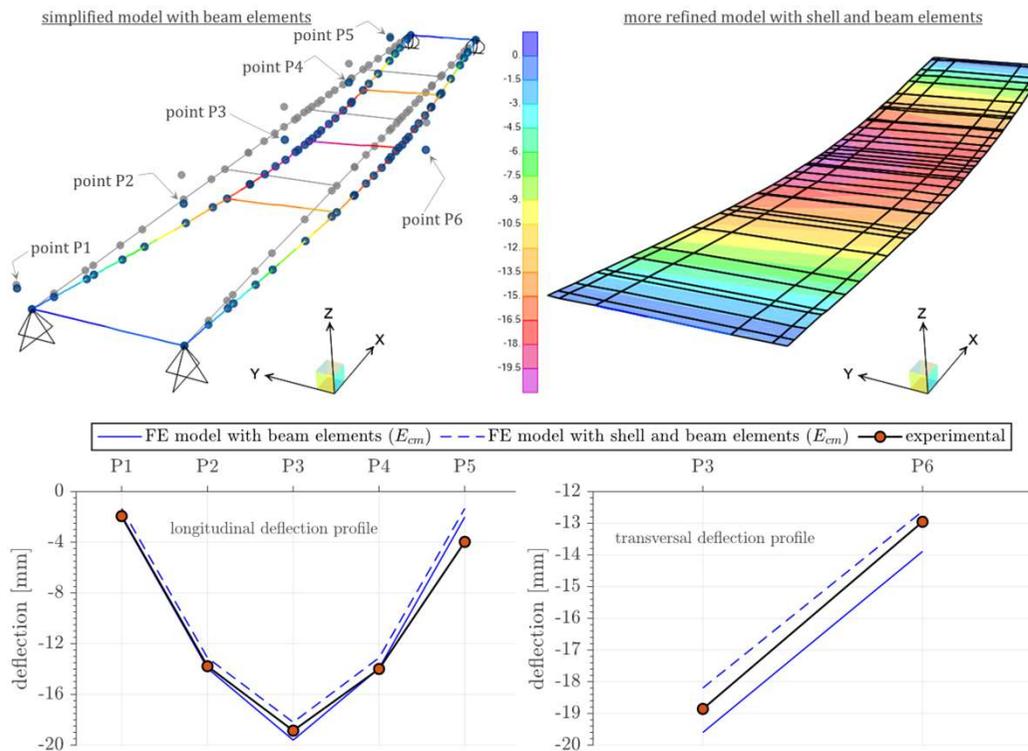
Modello più accurato

Elementi Beam (6 DOFs per nodo) per travate
 Shell per soletta in c.a.
 Offset dei punti (per evitare sovrapposizioni con le travate)
 Equazioni di vincolo tra elementi beam ed elementi shell.



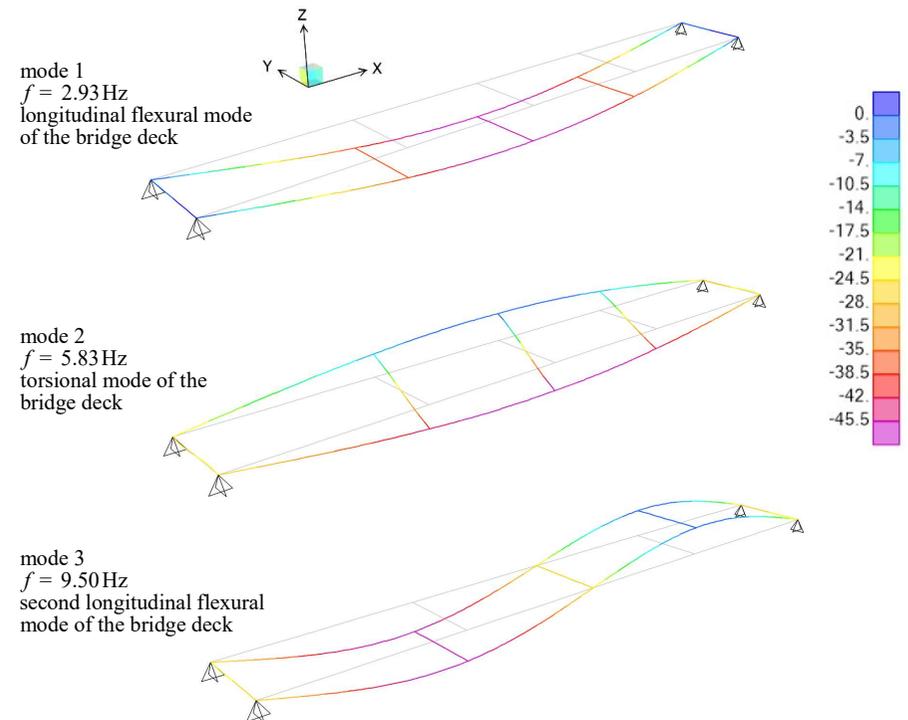
Il confronto tra risultati sperimentali e numerici

Simulazione dei carichi statici (risposta frecce)



Ragionevole accordo tra i risultati del modello FEM e le frecce sperimentali. Così come ci si aspettava, il FEM misto shell e beam è più rigido di quello con i soli beam.

Analisi modale per l'identificazione delle frequenze



Le frequenze calcolate con analisi modale sono molto prossime a quelle identificate con test dinamico sperimentale.

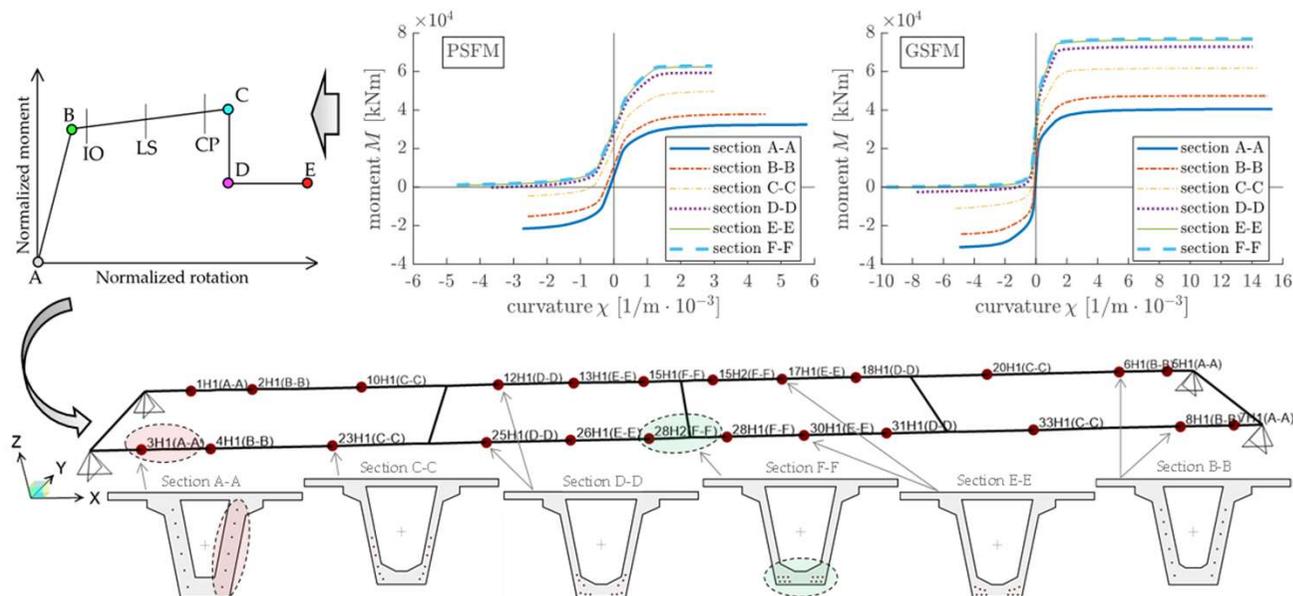


Simulazione numerica : Analisi NONLINEAR FE

Approccio a plasticità concentrata

Assunzioni strutturali

- Il legame momento-curvatura ($M - \chi$) sono stati calibrati per 6 sezioni rappresentative;
- Nella calibrazione delle cerniere si sono considerate le cadute di precompressione;
- I carichi sono stati incrementati fino al collasso dell'impalcato (analisi push-down);
- La lunghezza di cerniera plastica è pari all'altezza della sezione trasversale

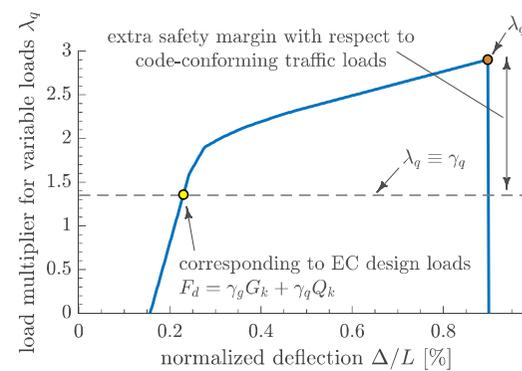
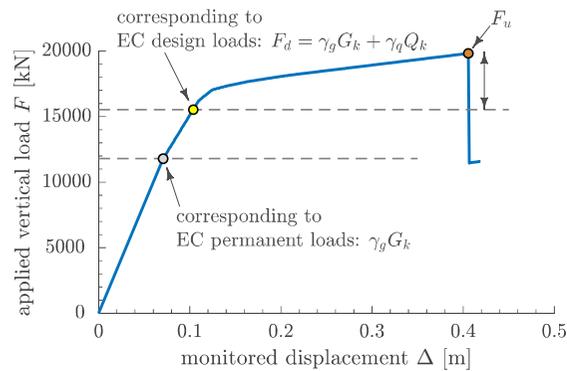
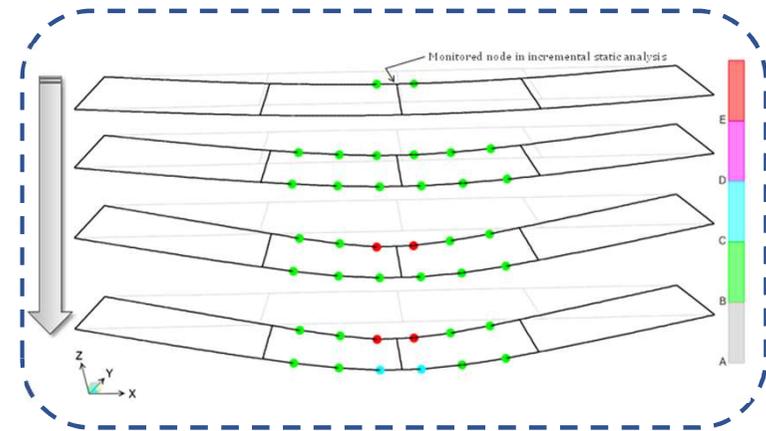


Simulazione numerica : Analisi **NONLINEAR FE**

Approccio a plasticità concentrata

Dopo aver superato i valori di carico da traffico proposti dagli Eurocodici, la rigidezza tangente diminuisce...

Il moltiplicatore a collasso per carichi da traffico $\lambda_{qu} = 2.90 \gg \gamma_q = 1.35$



Cavalcavia A20

Tratto Iniziale

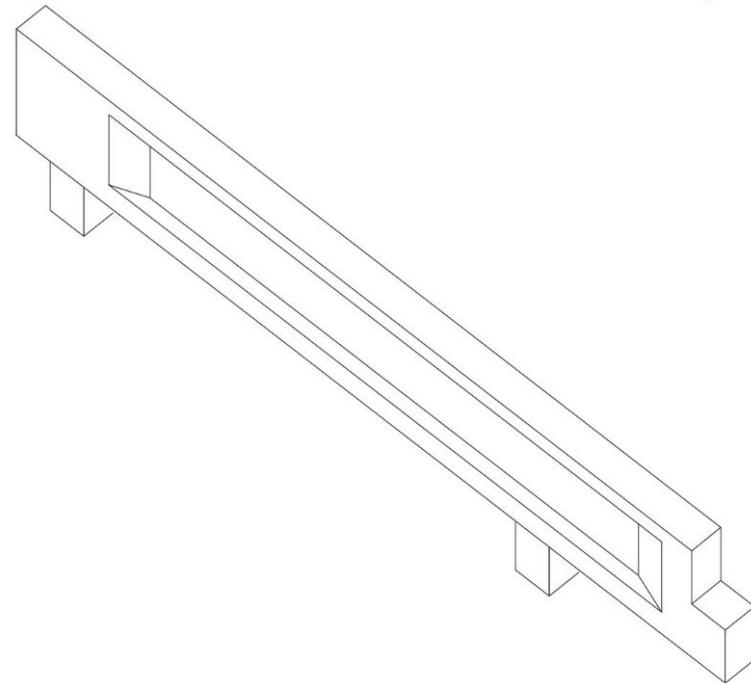
6,50 m 31,00 m 6,50 m



22,50 m 44,00 m 22,50 m

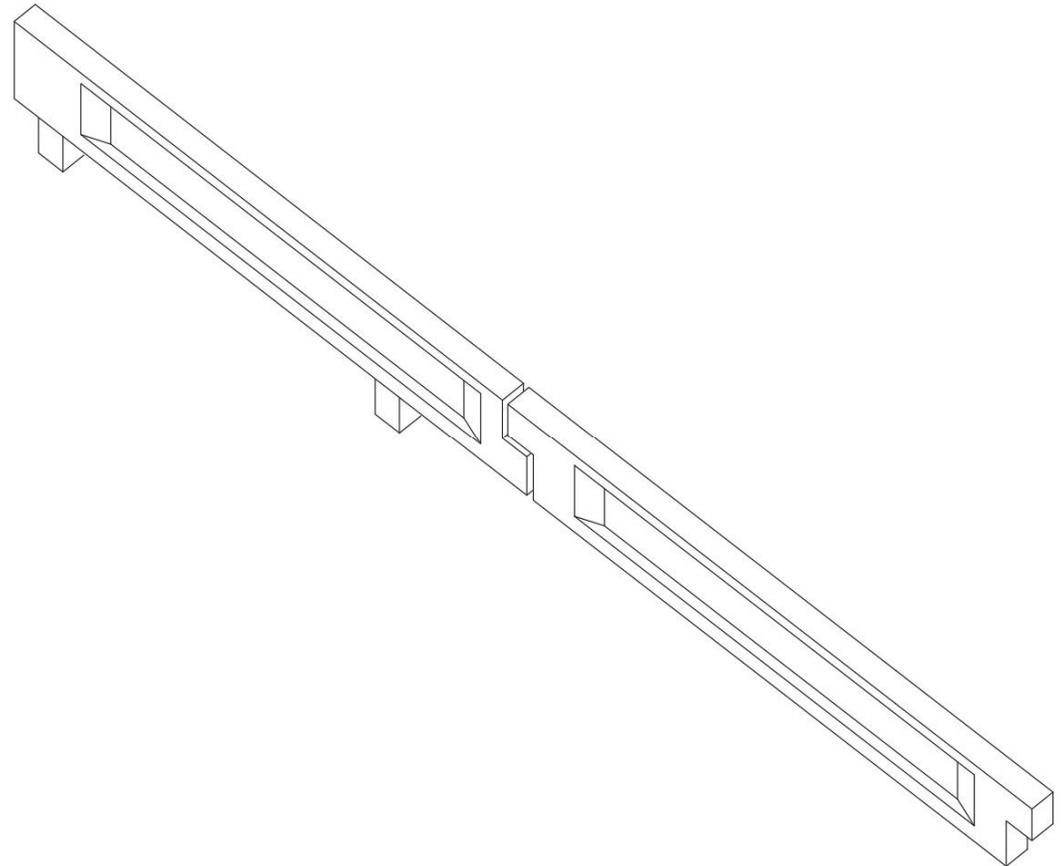
Cavalcavia A20

Molti dei ponti, viadotti e cavalcavia esistenti in Italia e nel mondo sono realizzati con il cosiddetto **schema Gerber.**



Cavalcavia A20

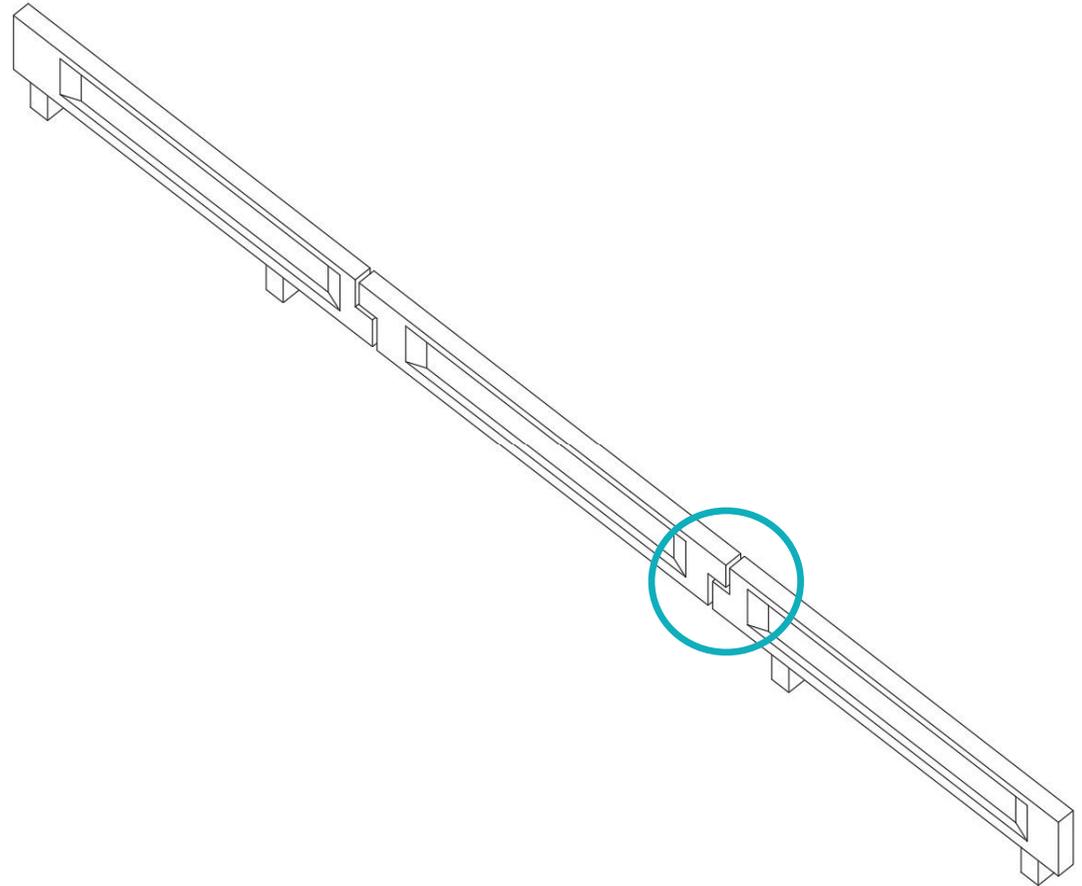
Molti dei ponti, viadotti e cavalcavia esistenti in Italia e nel mondo sono realizzati con il cosiddetto **schema Gerber.**



Cavalcavia A20

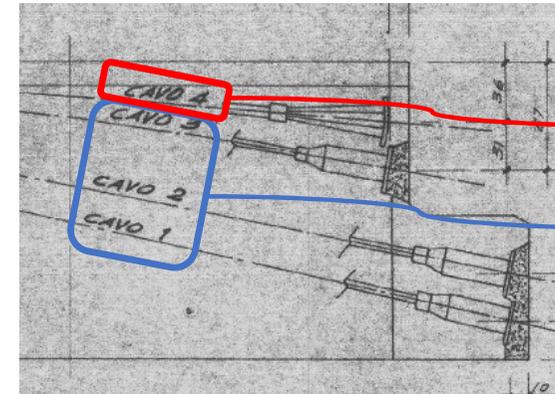
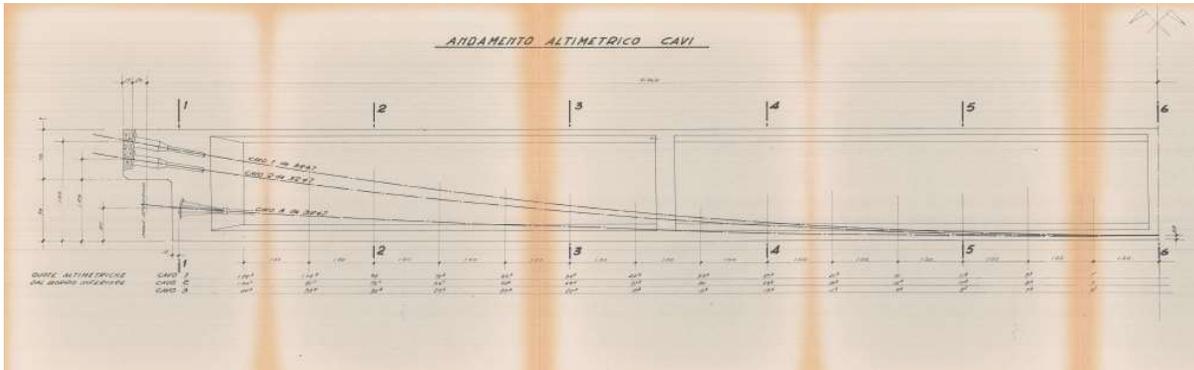
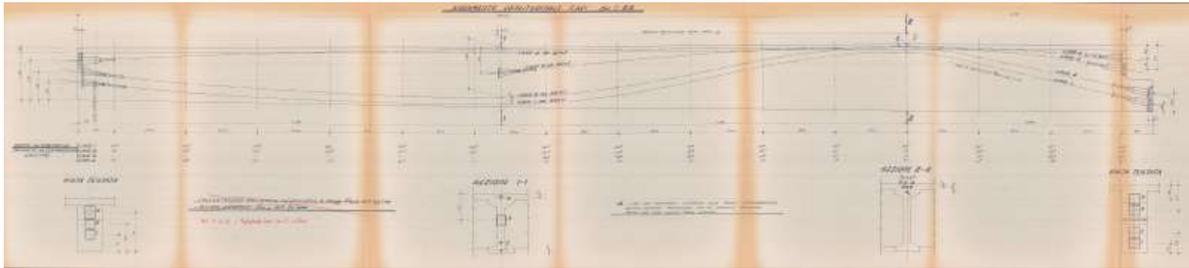
Molti dei ponti, viadotti e cavalcavia esistenti in Italia e nel mondo sono realizzati con il cosiddetto **schema Gerber**.

È uno schema staticamente molto utile perchè combina i vantaggi delle strutture isostatiche con quelli delle strutture iperstatiche.



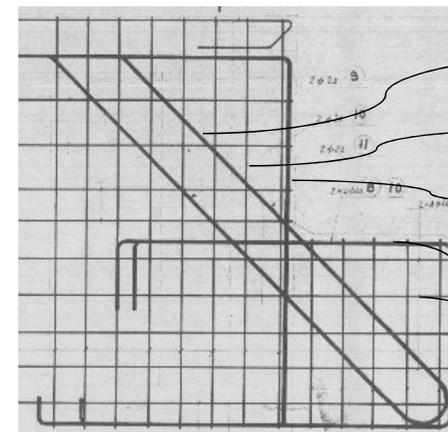
Cavalcavia A20

Andamento dei cavi



42φ7

32φ7



4φ24

1φ14/15

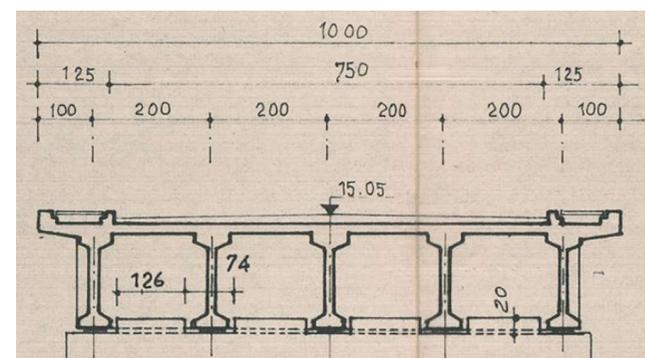
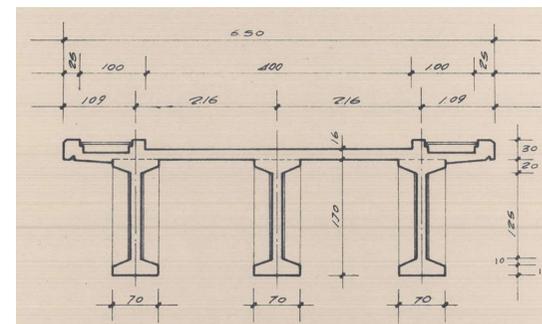
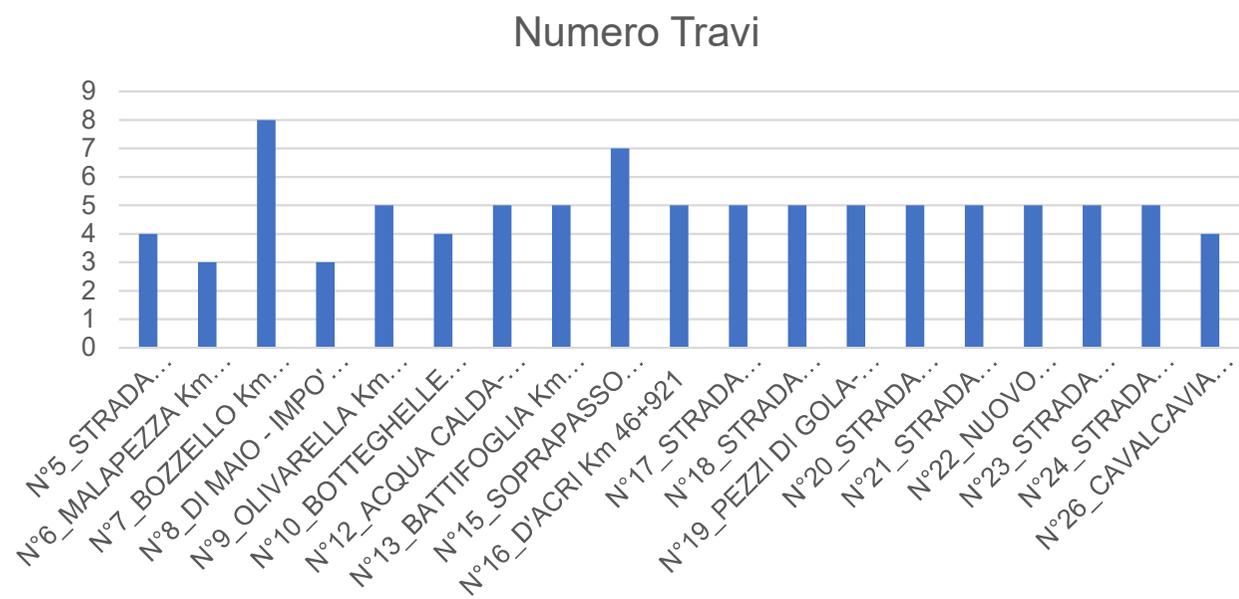
2φ24

6φ24

1φ14/15

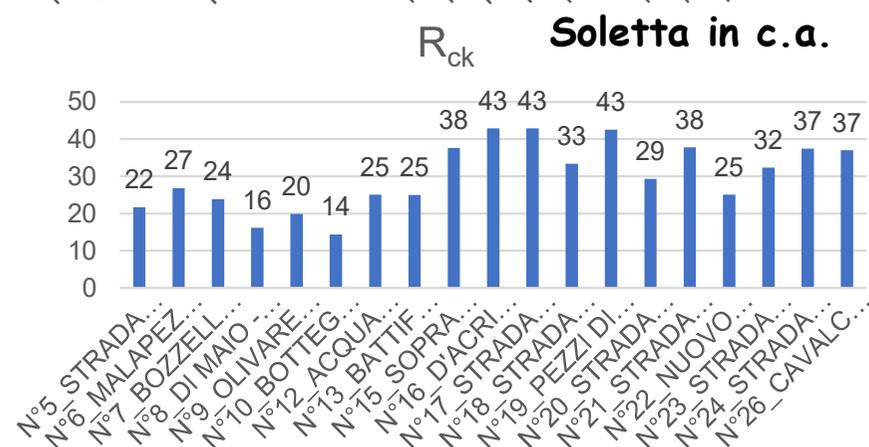
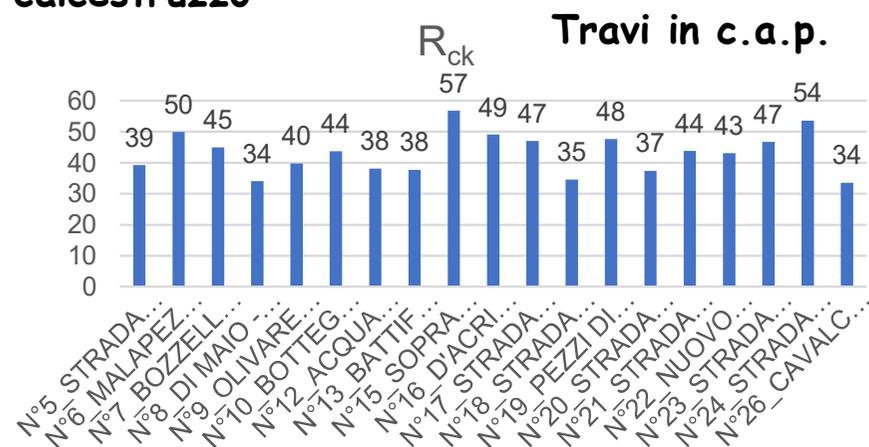
Cavalcavia A20

Ispezione su 19 cavalcavia per i quali sono state richieste prove di caratterizzazione dei materiali.



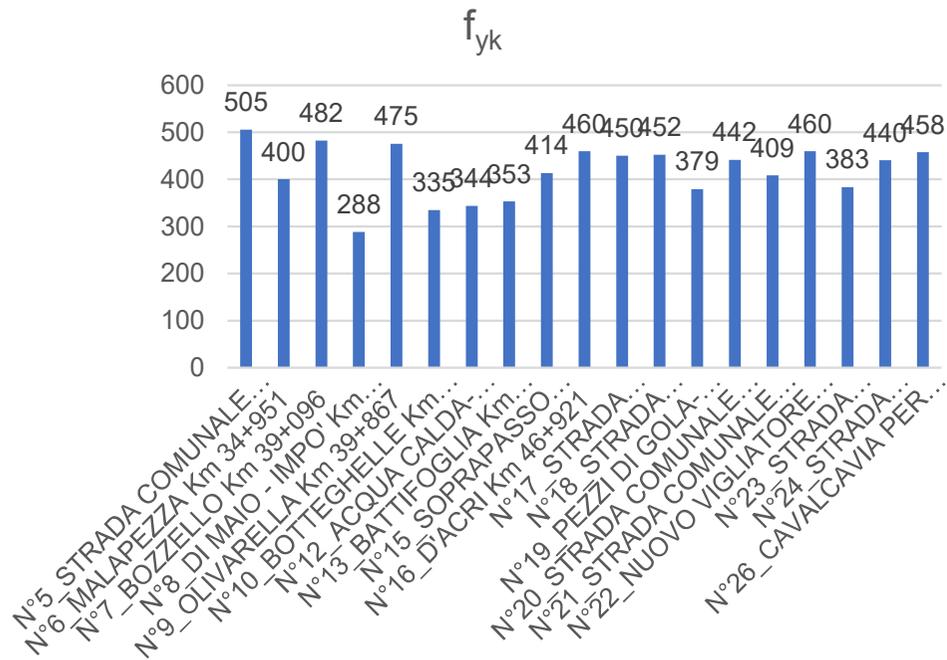
Cavalcavia A20

Utilizzando le indicazioni del DM 204/22 si è stimata la resistenza equivalente del calcestruzzo

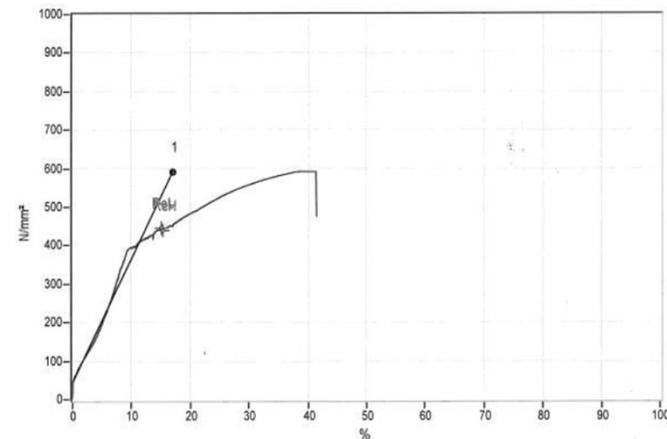


Cavalcavia A20

Utilizzando le indicazioni del DM 204/22 si è stimata la resistenza delle barre



Barre in acciaio



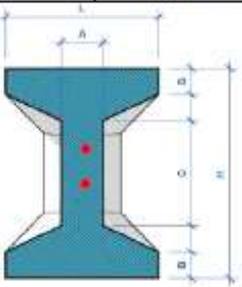
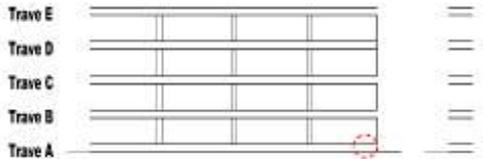
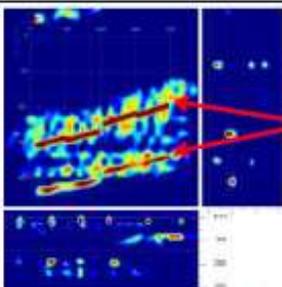
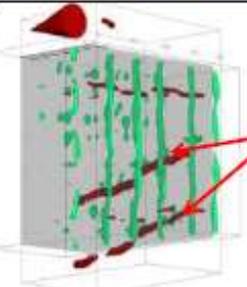
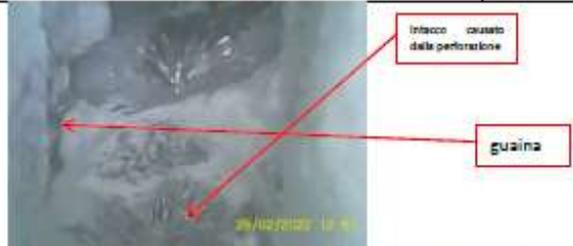
Cavalcavia A20

Ispezione su 19 cavalcavia per i quali sono state richieste prove di caratterizzazione dei materiali.



Cavalcavia A20

Ispezione su 19 cavalcavia per i quali sono state richieste prove di caratterizzazione dei materiali.

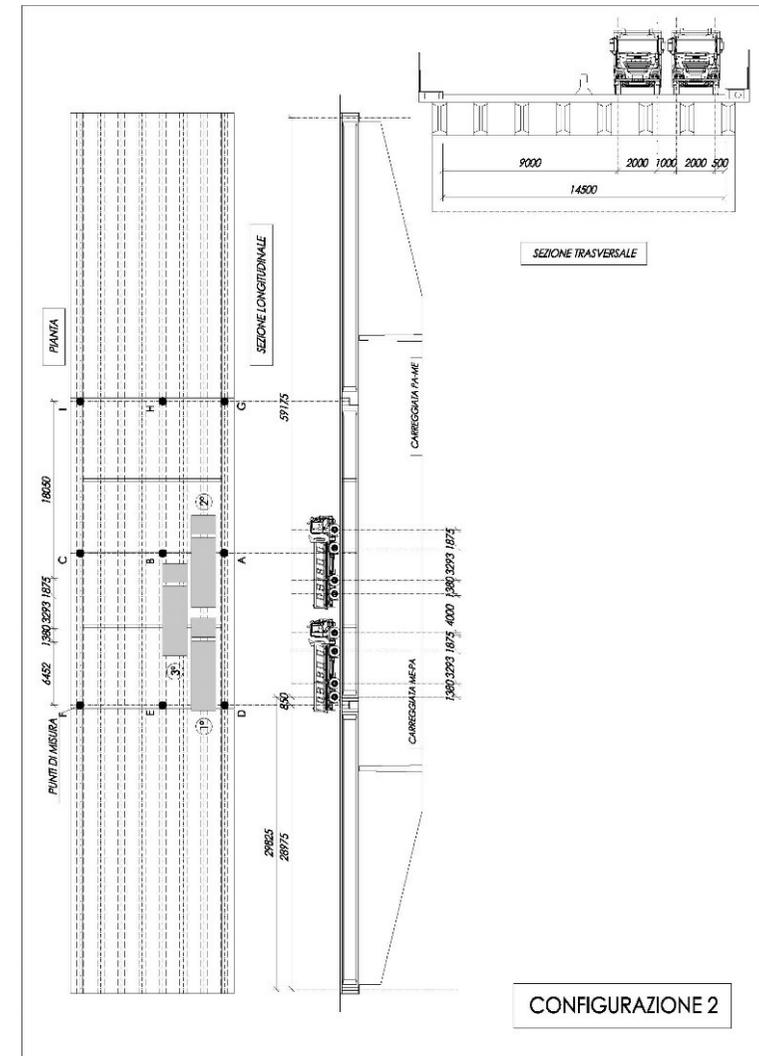
Impalcato: ME-PA 24 Elemento: TRAVE A dist. 1,0 m dalle SELLE Dimensioni (cm): L=70 H=170 A=20 B=13 C=120		Armatura riscontrata: humero sezione (mm) copriferro(cm) Cavi 2 indefinita 8 c.a.			AREA INDAGATA 		
Indagine RADAR  <p>Sezione tipo</p>	 <p>Stralcio planimetrico – Lato ME/PA</p>			 <p>Vista 2D</p> <p>Evidenza dei cavi "1" e "2" nella posizione compatibile con quella di progetto, a 8 cm c.a. di profondità (parte esterna)</p>		 <p>Vista 3D</p> <p>Evidenza dei cavi "1" e "2" nella posizione compatibile con quella di progetto</p>	
	Videoscopica Si rileva cavo di precompressione a fili paralleli a 8 cm c.a. di profondità; nessuna evidenza di fenomeni di ossidazione nel punto indagato. Lieve evidenza di boiocca tra i cavi. I cavi risultano in tensione non evidenziando movimenti ad una sollecitazione indotta con scalpello metallico.		 <p>Vista foro</p>			 <p>Foto endoscopia</p>	

Cavalcavia A20

Si sono condotte delle prove di carico per transitabilità



Prova in notturna



Cavalcavia A20

Particolare studio del dettaglio di sella

Questo sistema costituisce un punto di debolezza per la **durabilità** del manufatto, a causa della percolazione di acqua all'interno del giunto che crea un pericoloso bagnasciuga che promuove la **corrosione** delle armature.

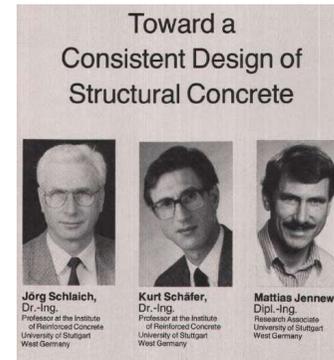


Cavalcavia A20

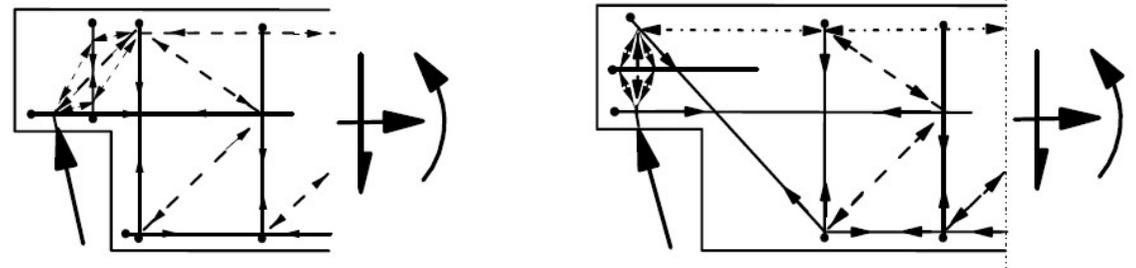
Il metodo analitico più utilizzato per il calcolo delle D-Regions è senza dubbio lo **strut-and-tie**.

L'EC2 fornisce un modello di S&T apposito per la sella Gerber, schematizzandola come due strutture reticolari equivalenti **additive**.

Particolare studio del dettaglio di sella



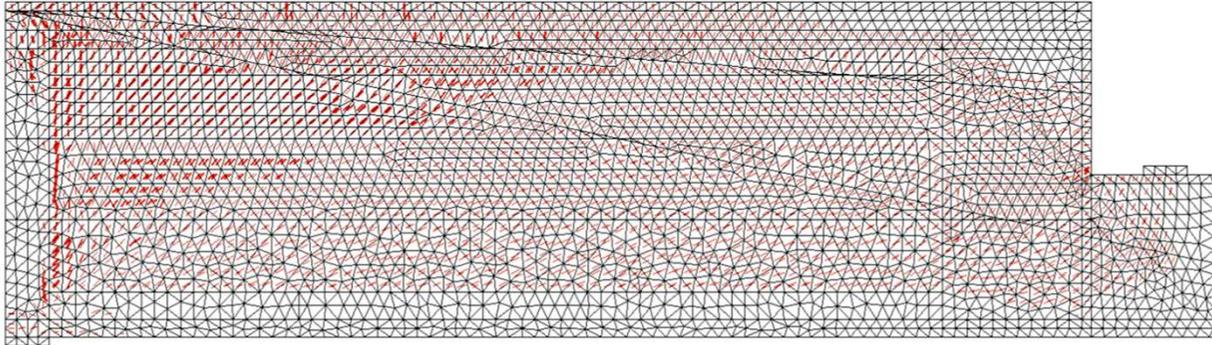
(Schlaich et al., 1987)





VecTor 2

Cavalcavia A20



A: no corrosione armature di precompr.

B: 25% di corrosione armature di precompr.

C: 50% di corrosione armature di precompr.

Cls:

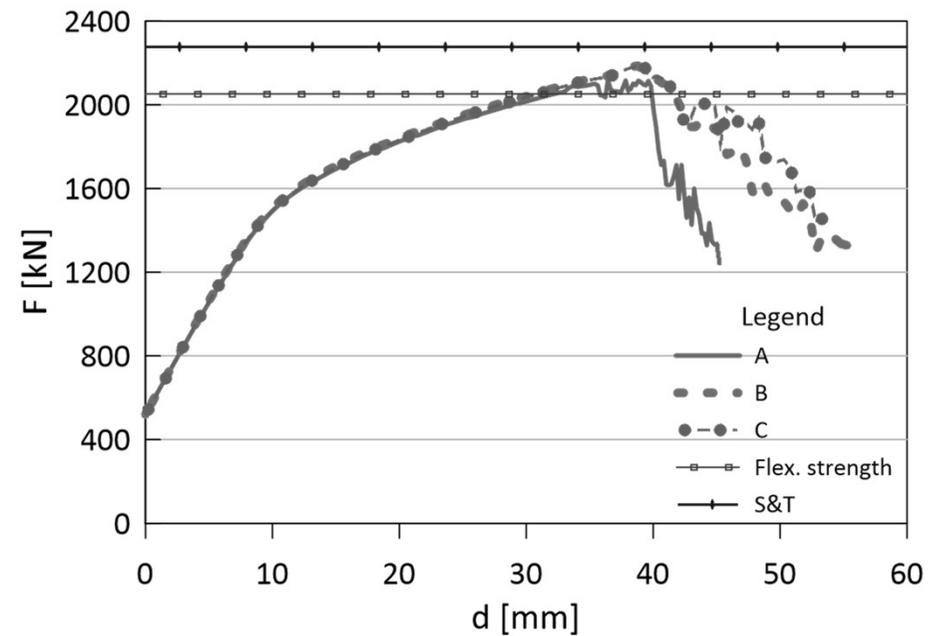
Parabola di Hognestad +
Kent&Park softening lineare

Acciaio dolce:

Legame trilineare

Acciaio armonico:

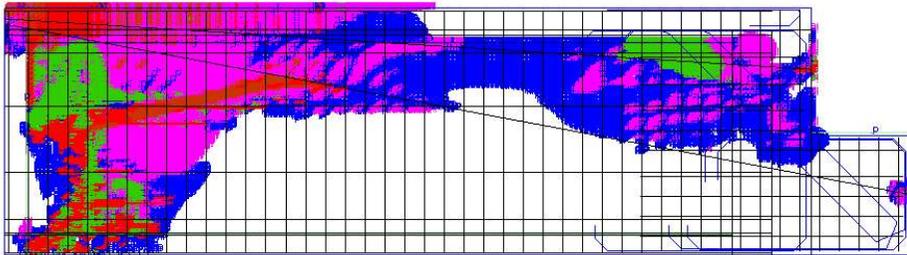
Legame di Ramsberg-Osgood



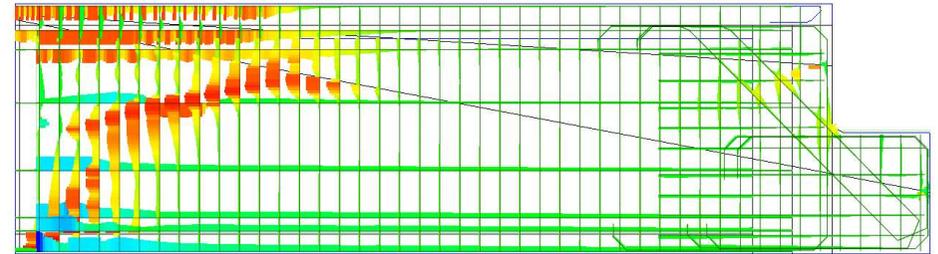
Spinella, N., Messina, D. - *Load-bearing capacity of Gerber saddles in existing bridge girders by different levels of numerical analysis*, Structural Concrete, 2022

Cavalcavia A20

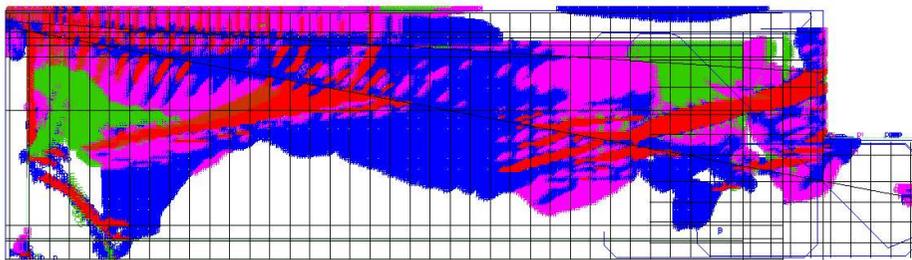
MIDAS FEA software, with 2D plane-stress elements for concrete (average dimension of mesh 25 mm and variable thickness according to the dimensions of the beam, slab and crossbeam sections) and 1D embedded truss elements for mild reinforcements and tendons, for a total of 30160 elements.



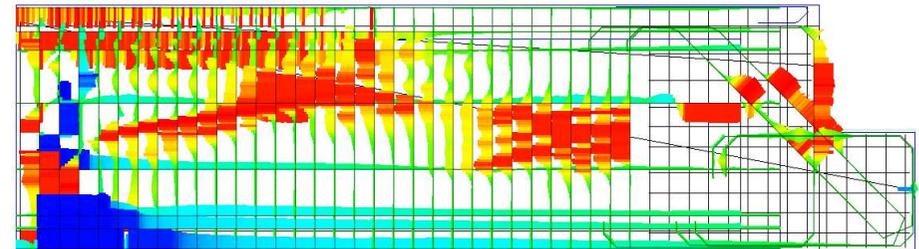
Uncorroded Reinforcement. a) Crack pattern;



b) reinforcement yielding stresses.



Corroded Reinforcement. a) Crack pattern;

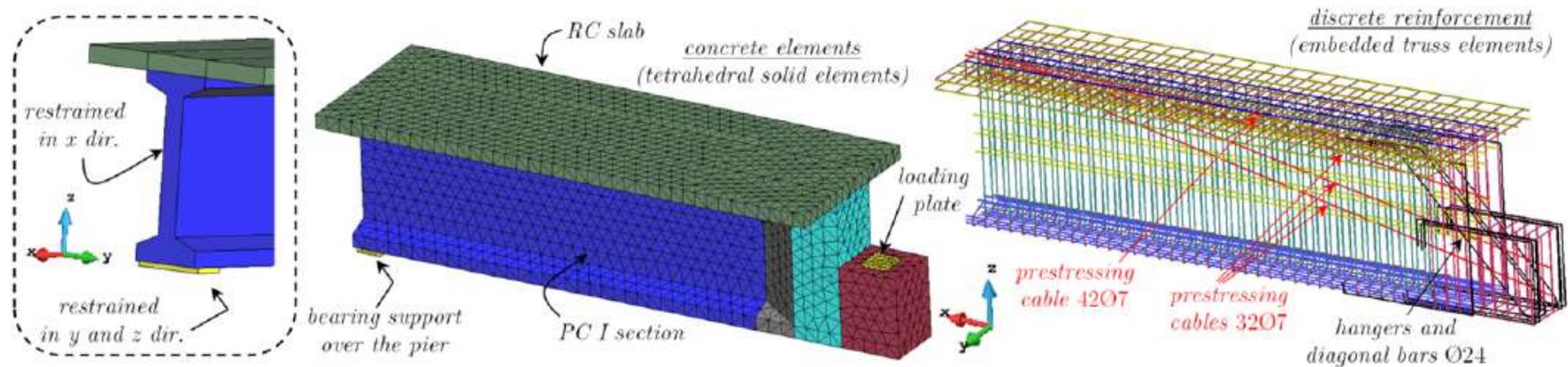


b) reinforcement yielding stresses.

Michele Fabio Granata, Lidia La Mendola, Salvatore Pecoraro, Davide Messina, Antonino Recupero - Effects of transverse beams on the behaviour of damaged Gerber saddles of bridge girders - Accettata per CACRCS 2023 - Parma

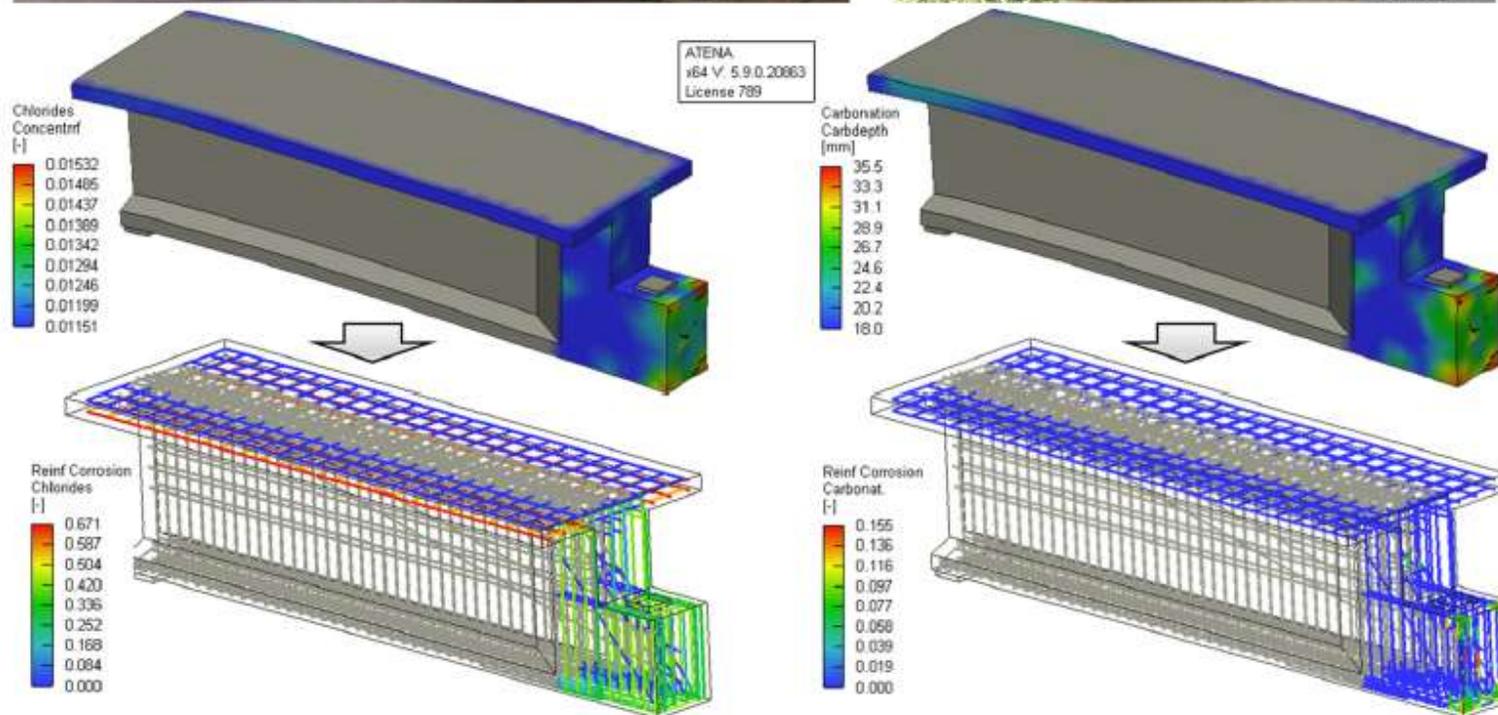
Cavalcavia A20

Analisi FEM non lineari con il codice ATENA

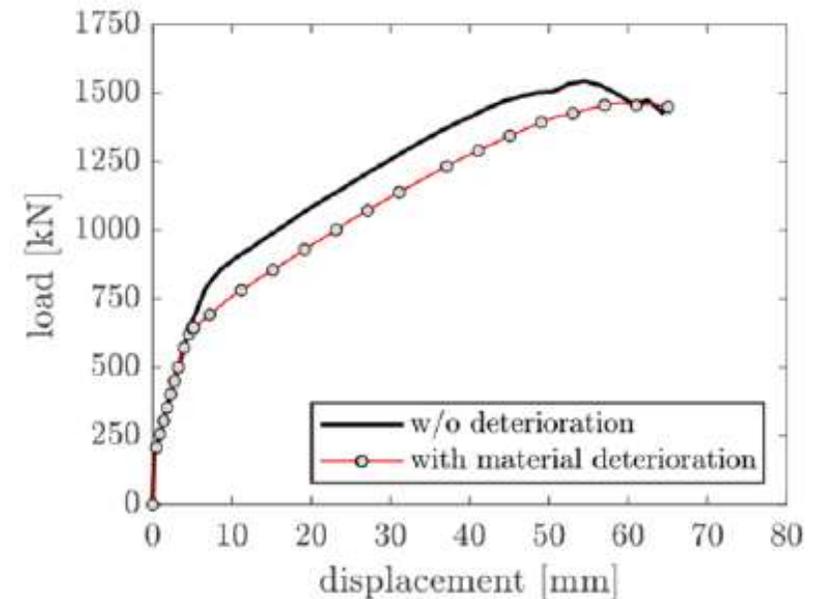
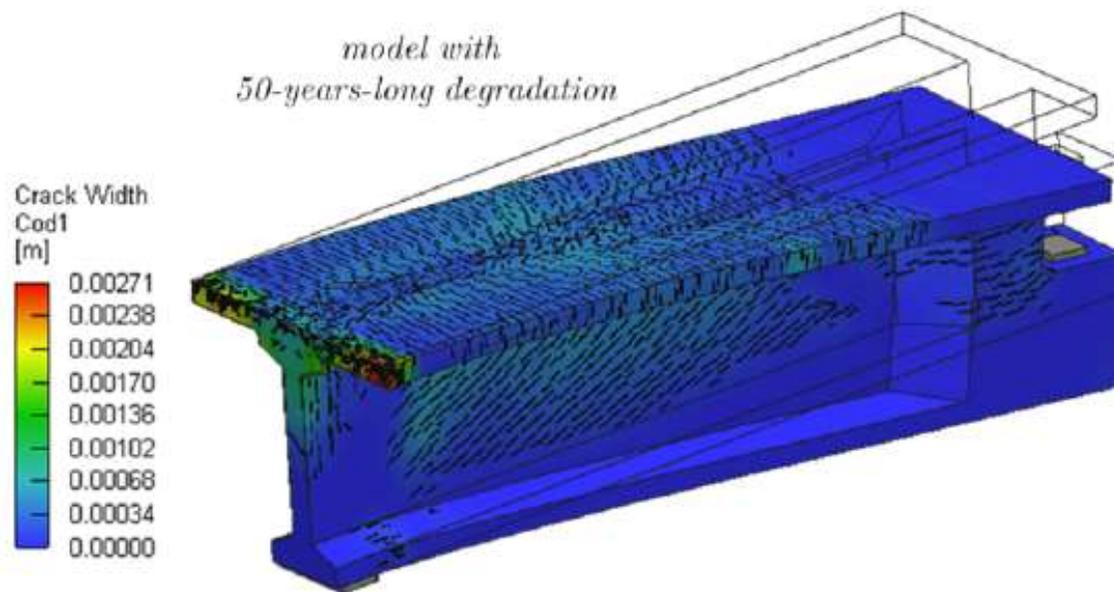


Dario De Domenico, Matteo Mazzeo, Davide Messina, Antonino Recupero - Safety assessment of corroded PC half-joint bridges through an advanced mechanochemical finite element model - Accettata per CACRCS 2023 - Parma

Cavalcavia A20



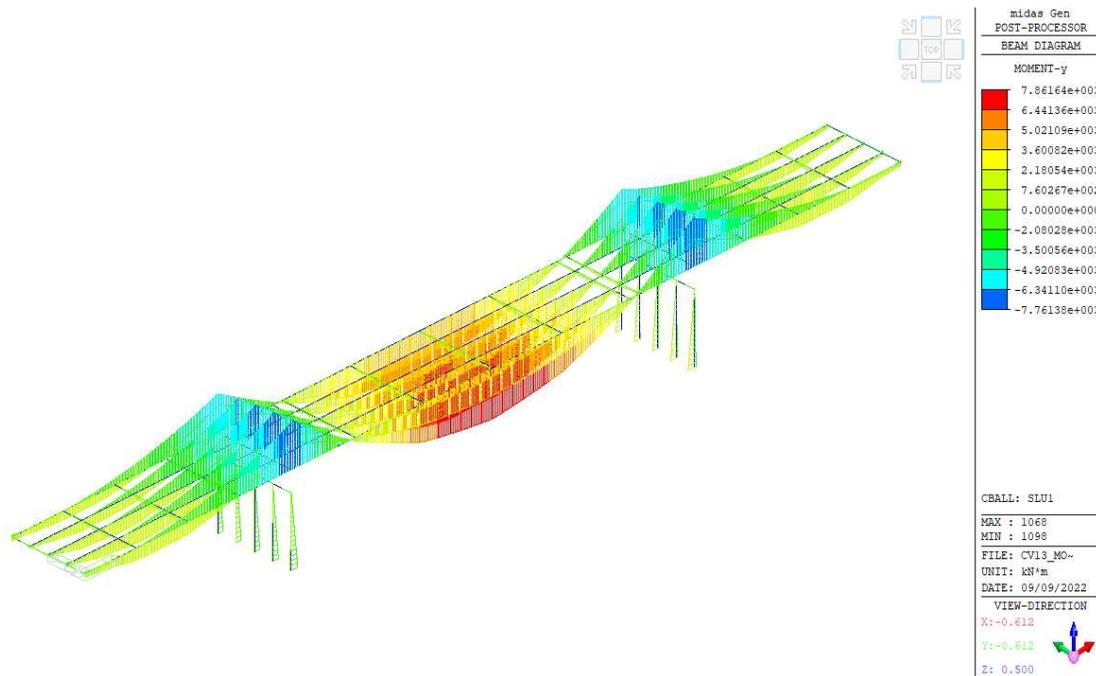
Cavalcavia A20



La rottura è governata dal collasso nel concio prossimo alla pila per taglio-flessione e non dalla rottura della sella.

Cavalcavia A20

Utilizzando le indicazioni del DM 204/22 si è stimata la transitabilità degli impalcati



Modello FEM

TRANSITABILITA' (2)

si prevede l'imposizione di limitazioni di carico. La limitazione di carico è definita in modo coerente con quanto previsto dal Codice della Strada e il massimo peso dei veicoli ammesso sul ponte scelto in modo da garantire un adeguato livello di sicurezza della struttura.



Prodotti della ricerca

De Domenico, D., Messina, D., Recupero, A - *Quality control and safety assessment of prestressed concrete bridge decks through combined field tests and numerical simulation*, Structures, 2022, 39, pp. 1135–1157

De Domenico, D., Messina, D., Recupero, A. - *A combined experimental–numerical framework for assessing the load-bearing capacity of existing PC bridge decks accounting for corrosion of prestressing strands*, Materials, 2021, 14(17), 4914

Messina, D., Proverbio, E. - *Effect of prestressing corrosion on failure in bridges*, Structural Concrete, 2023

Spinella, N., Messina, D. - *Load-bearing capacity of Gerber saddles in existing bridge girders by different levels of numerical analysis*, Structural Concrete, 2022

M. F. Granata, L. La Mendola, S. Pecoraro, D. Messina, A. Recupero - *Effects of transverse beams on the behaviour of damaged Gerber saddles of bridge girders* – Accettata per CACRCS 2023 - Parma

D. De Domenico, M. Mazzeo, D. Messina, A. Recupero - *Safety assessment of corroded PC half-joint bridges through an advanced mechanochemical finite element model* – Accettata per CACRCS 2023 - Parma

An aerial photograph of a cable-stayed bridge spanning a wide body of water. The bridge features two tall, white, A-frame pylons with numerous stay cables supporting the deck. A large cargo ship is visible in the water below the bridge. The background shows a distant shoreline with some buildings and a hazy sky. A red rectangular box with the word "RETROFITTING" in blue, stylized capital letters is overlaid on the center of the image.

RETROFITTING

An aerial photograph of a cable-stayed bridge spanning a wide river. The bridge's tall, white pylons and stay cables are prominent. A large cargo ship is visible in the water below. A red rectangular box is superimposed over the center of the image, containing the text 'LE PILE' in blue, bold, sans-serif capital letters.

LE PILE

RETROFITTING

Un viadotto Autostradale



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale



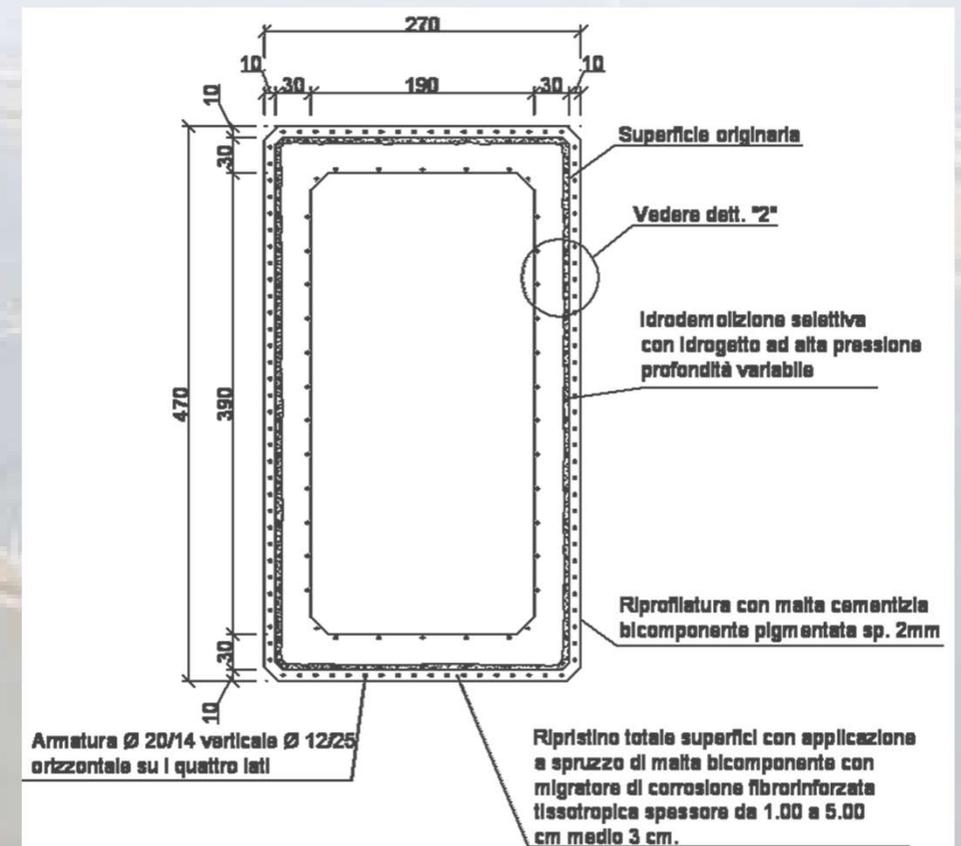
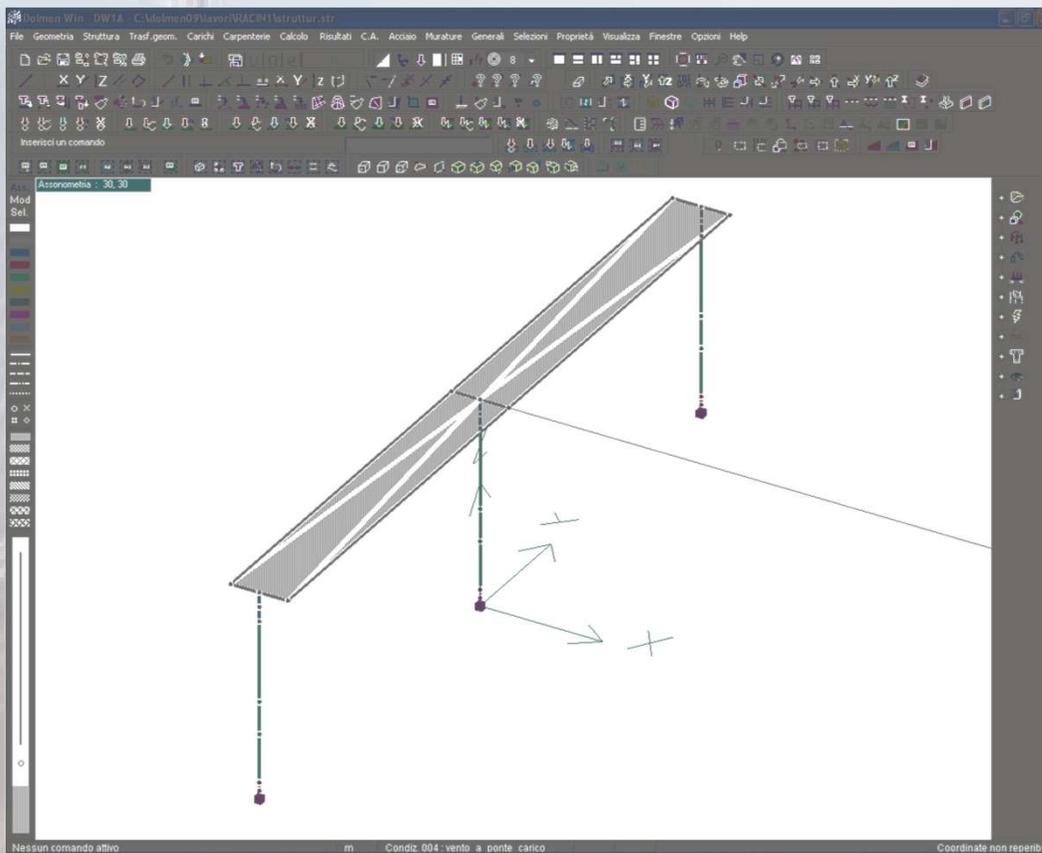
RETROFITTING

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



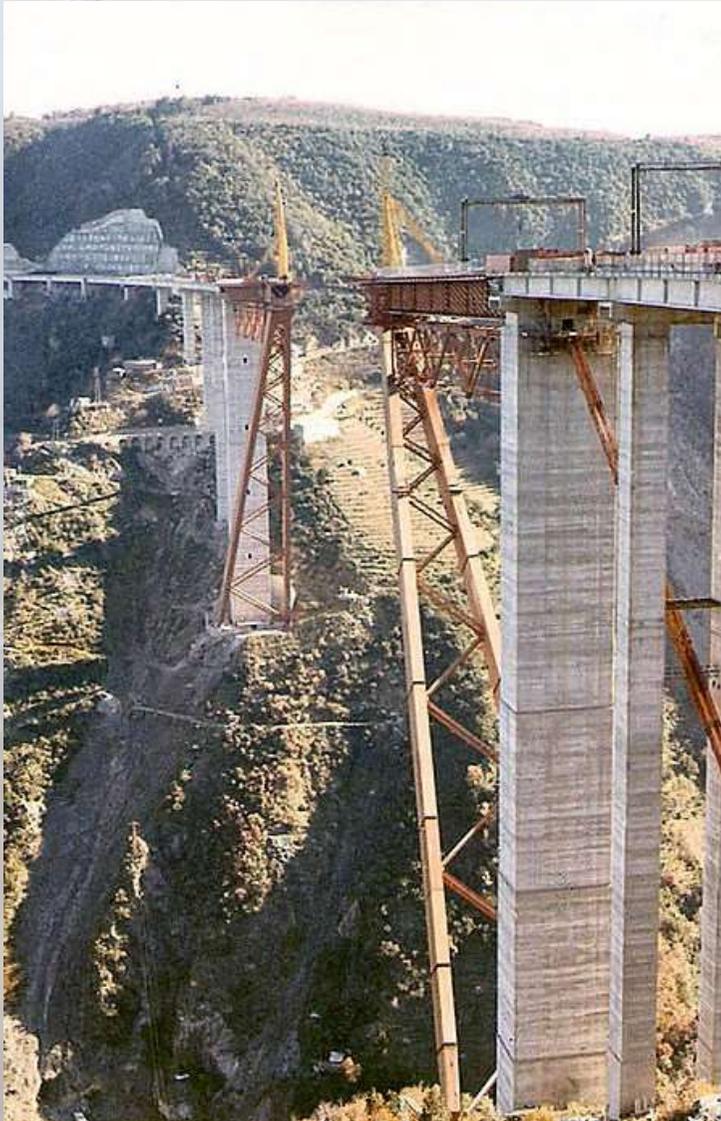
RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Lo Sfalassà"



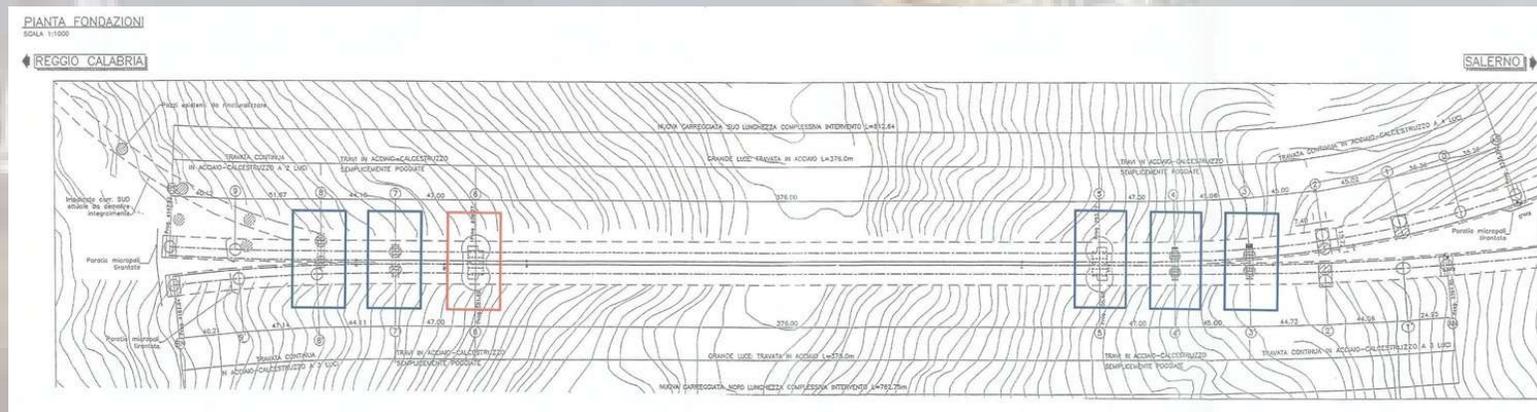
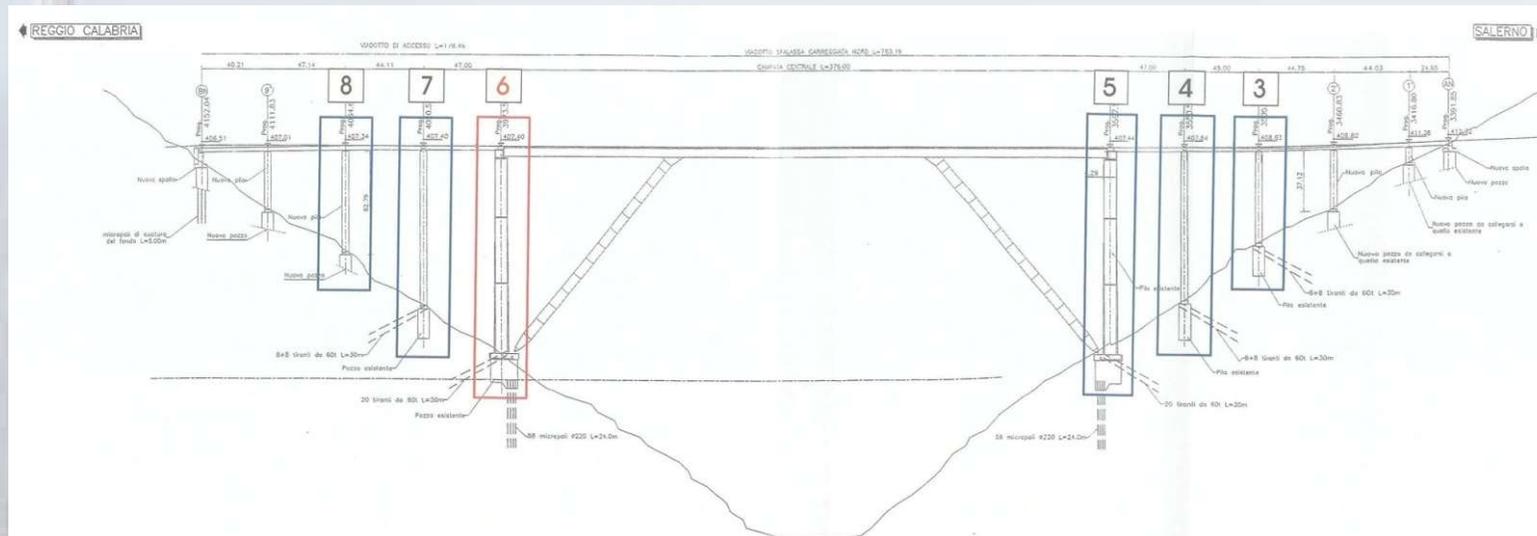
RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Lo Sfalassà"



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Sfalassà"



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Sfalassà"



RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Sfalassà"



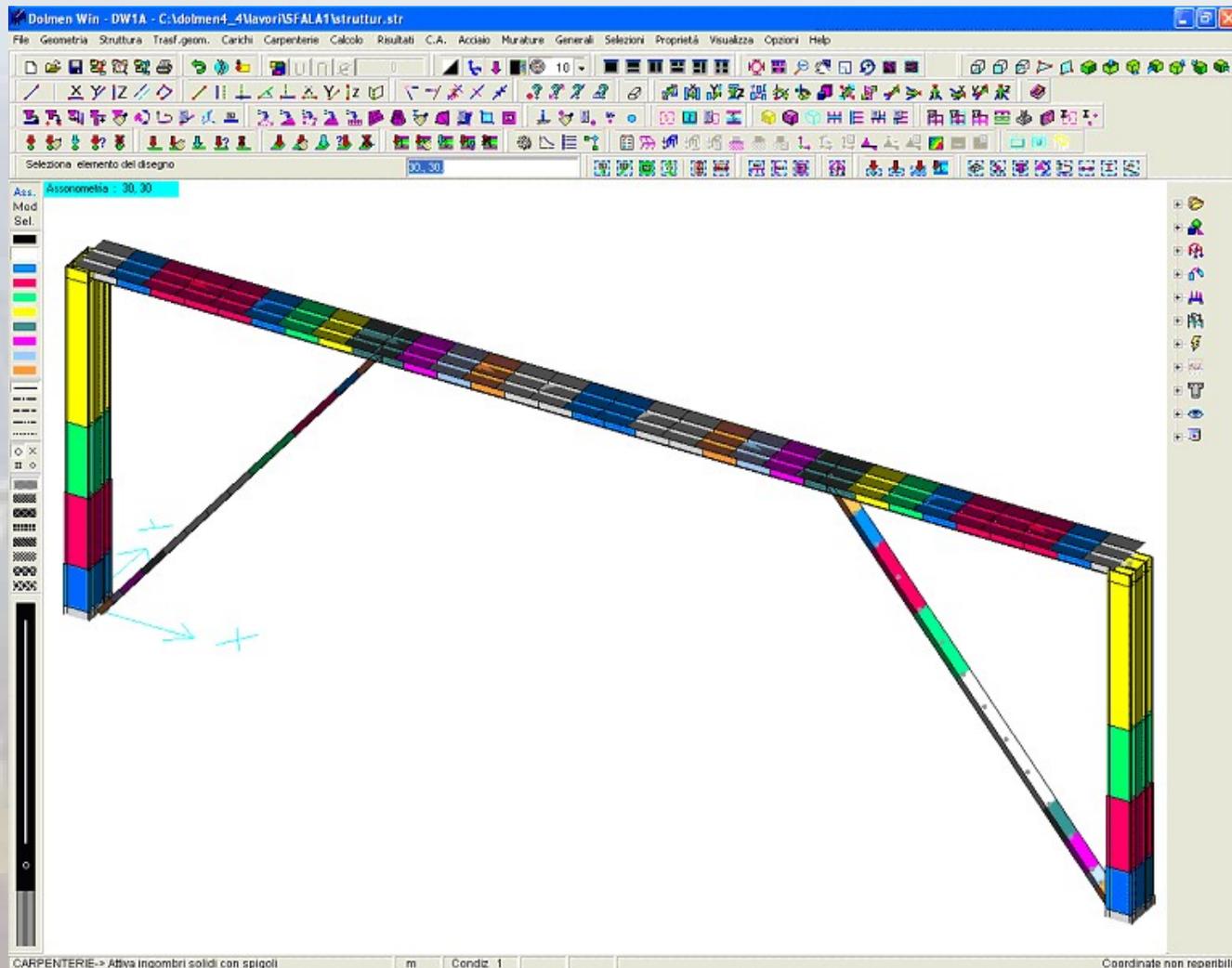
RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Sfalassà"



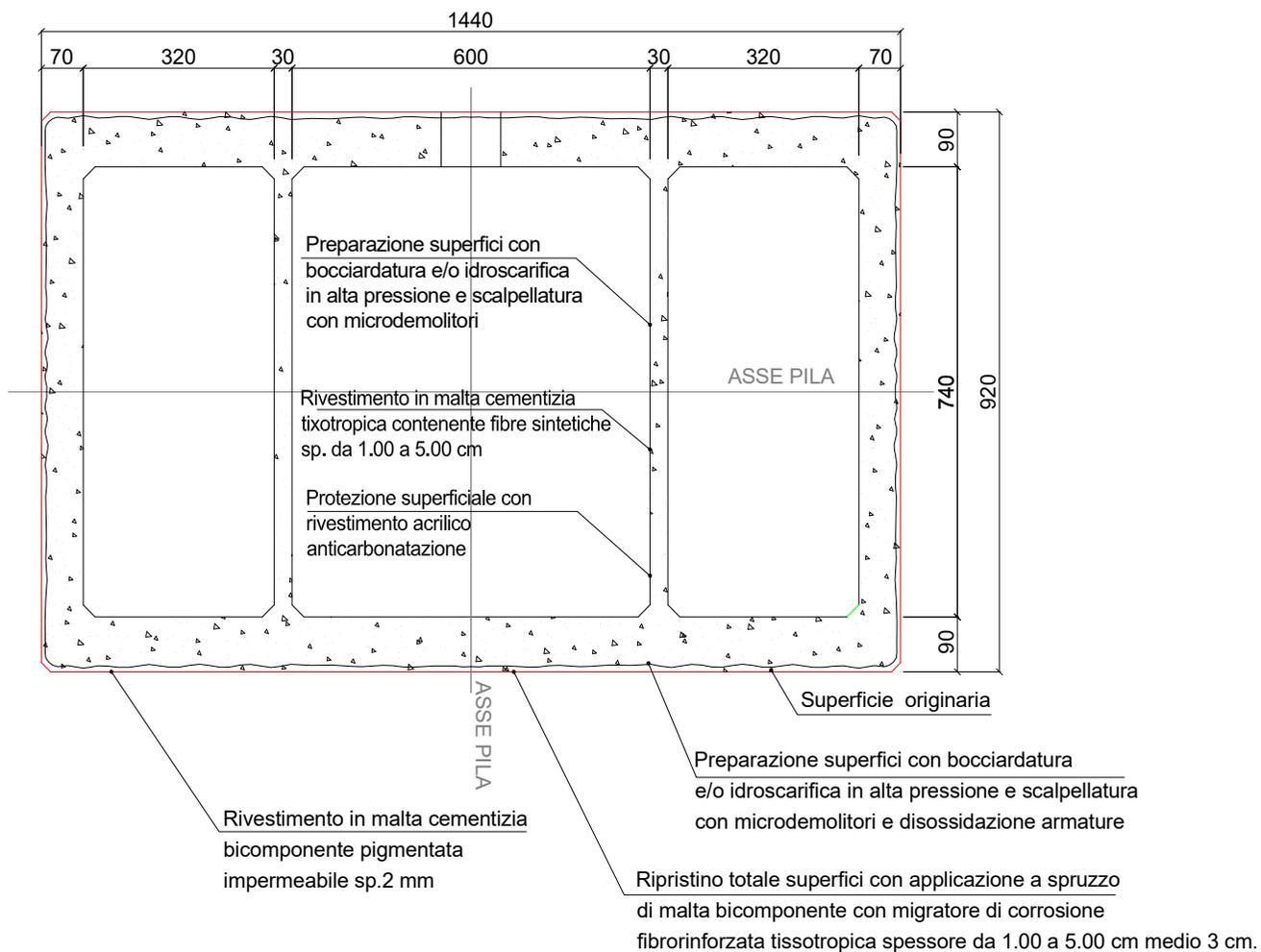
RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Sfalassà"



RETROFITTING

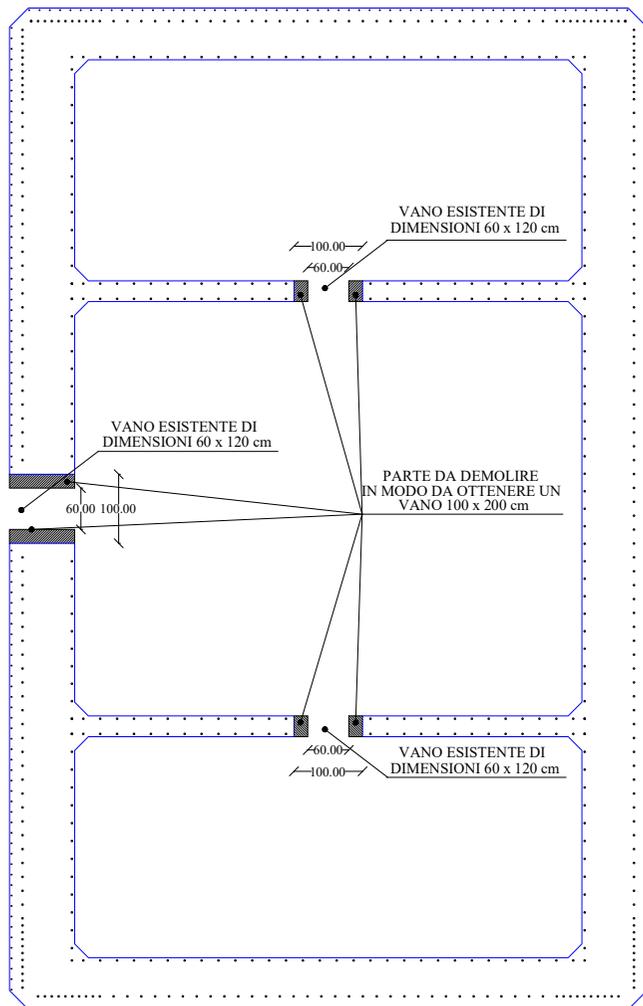
Un viadotto Autostradale "Lo Sfalassà"



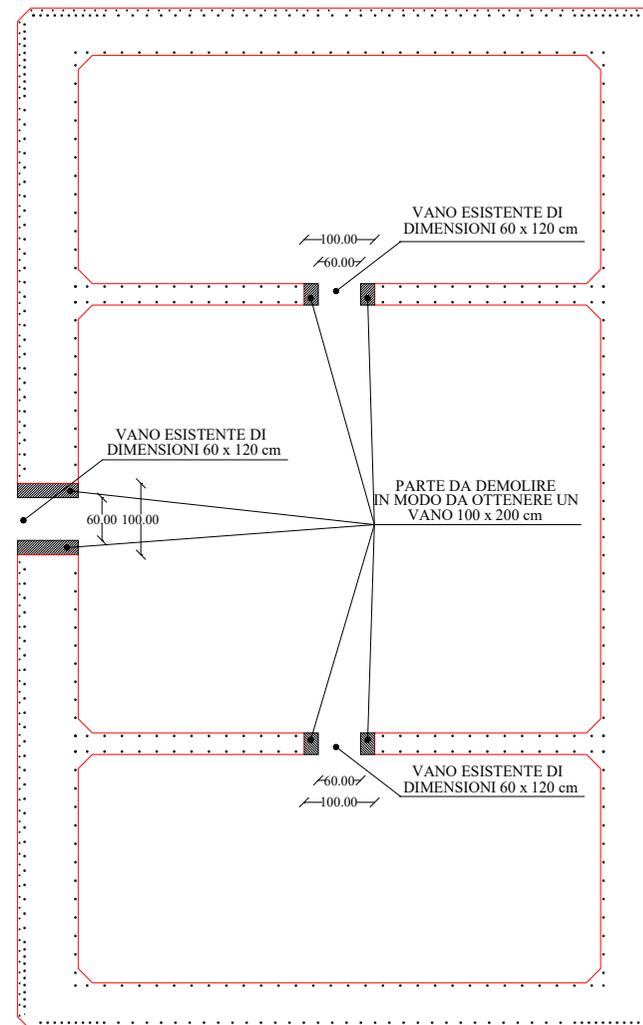
RETROFITTING

Un viadotto Autostradale "Sfalassà"

PILA LATO SALERNO

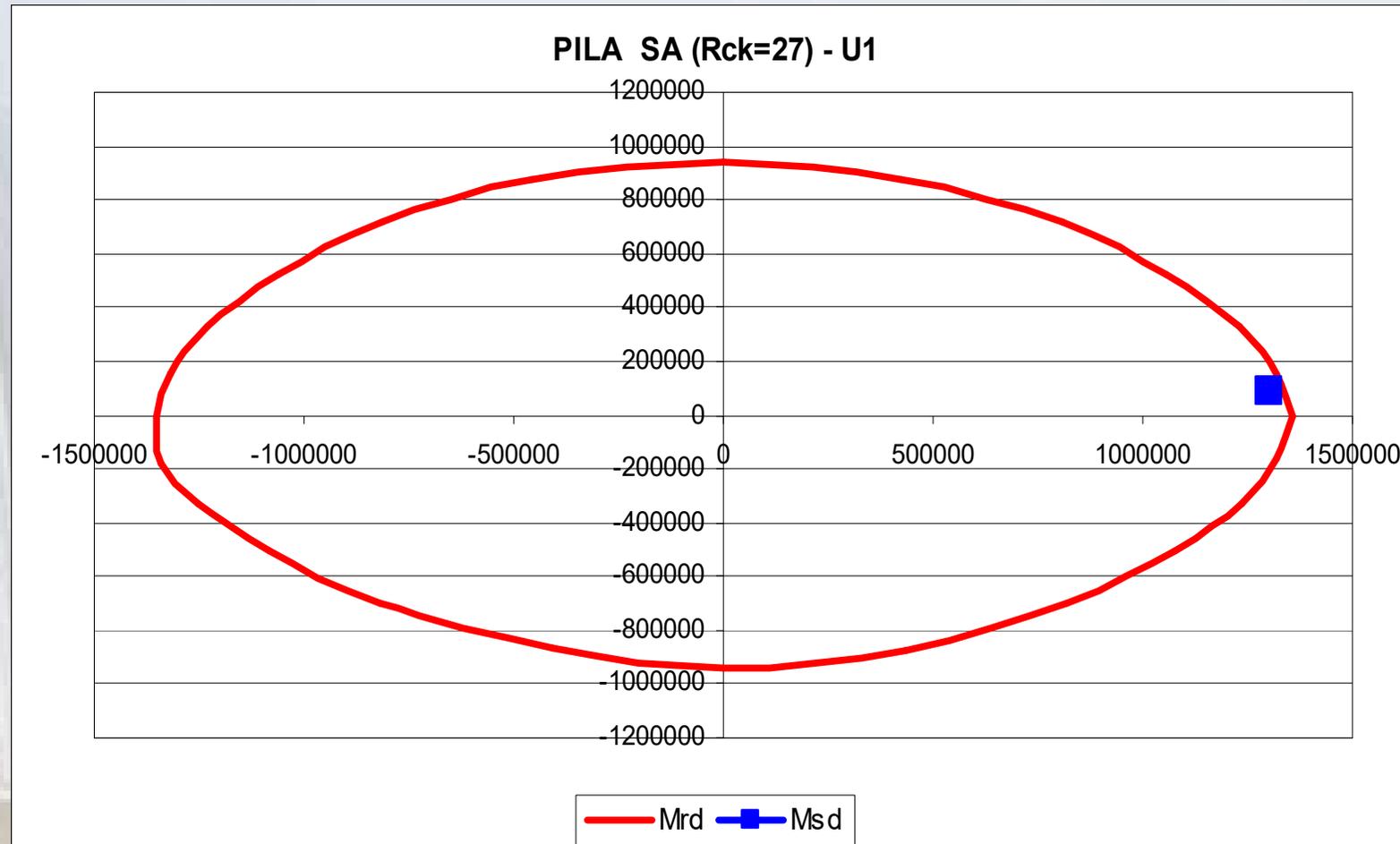


PILA LATO REGGIO CALABRIA



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

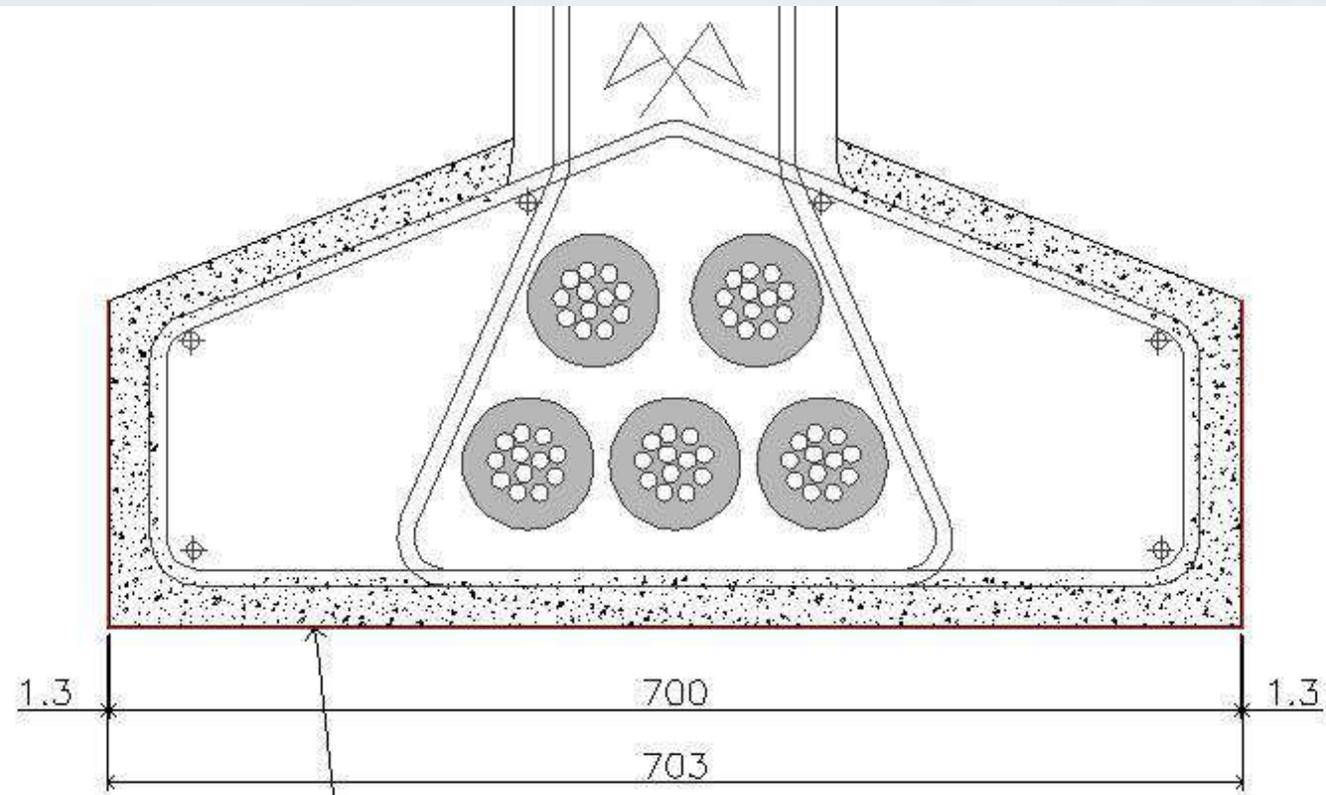
An aerial photograph of a cable-stayed bridge spanning a wide river or bay. The bridge features two tall, white, A-frame pylons with numerous stay cables. A large cargo ship is visible in the water below the bridge. In the background, a city skyline is visible across the water. A red rectangular box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



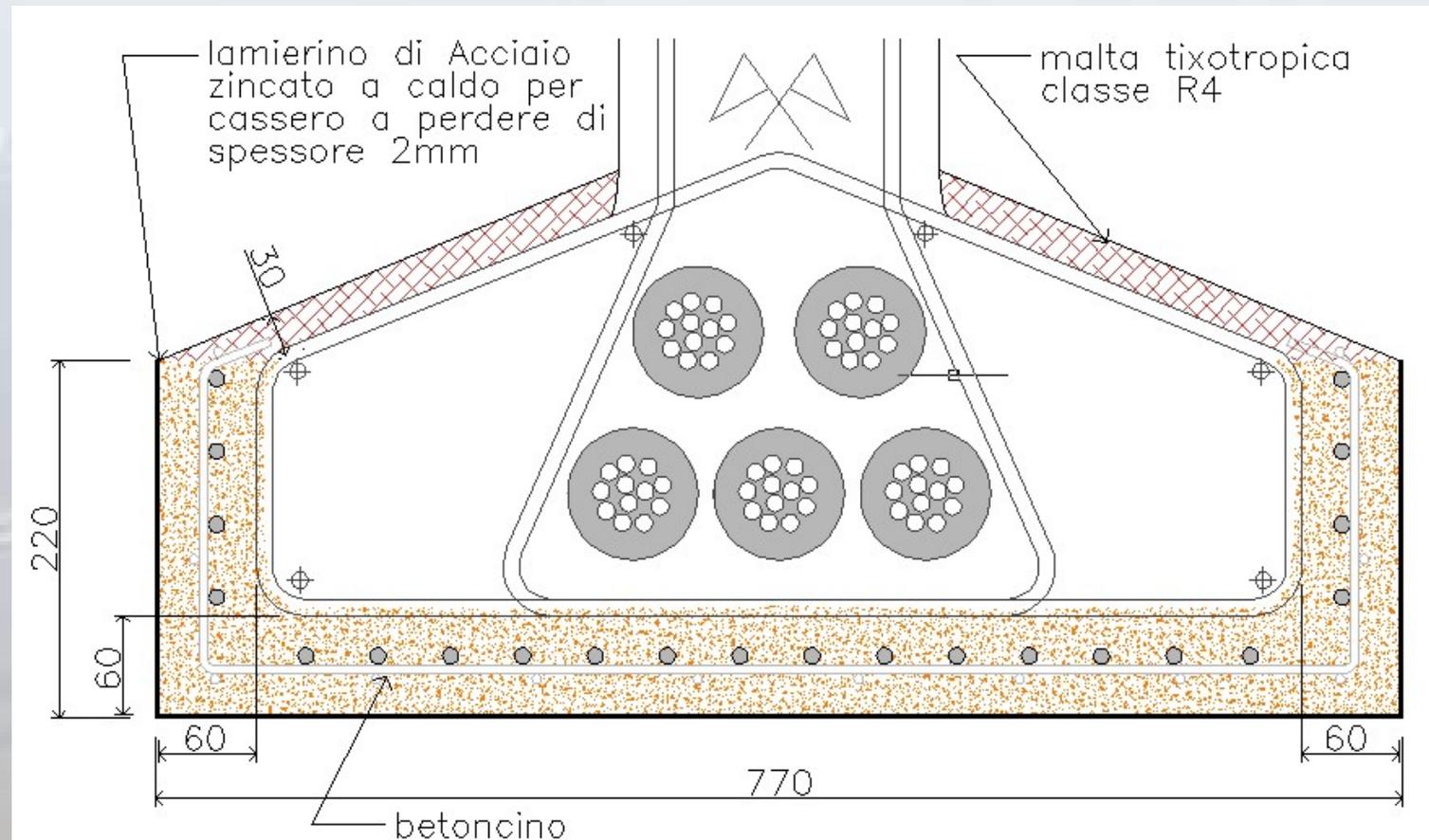
RETROFITTING



RETROFITTING

Trefoli corrosi

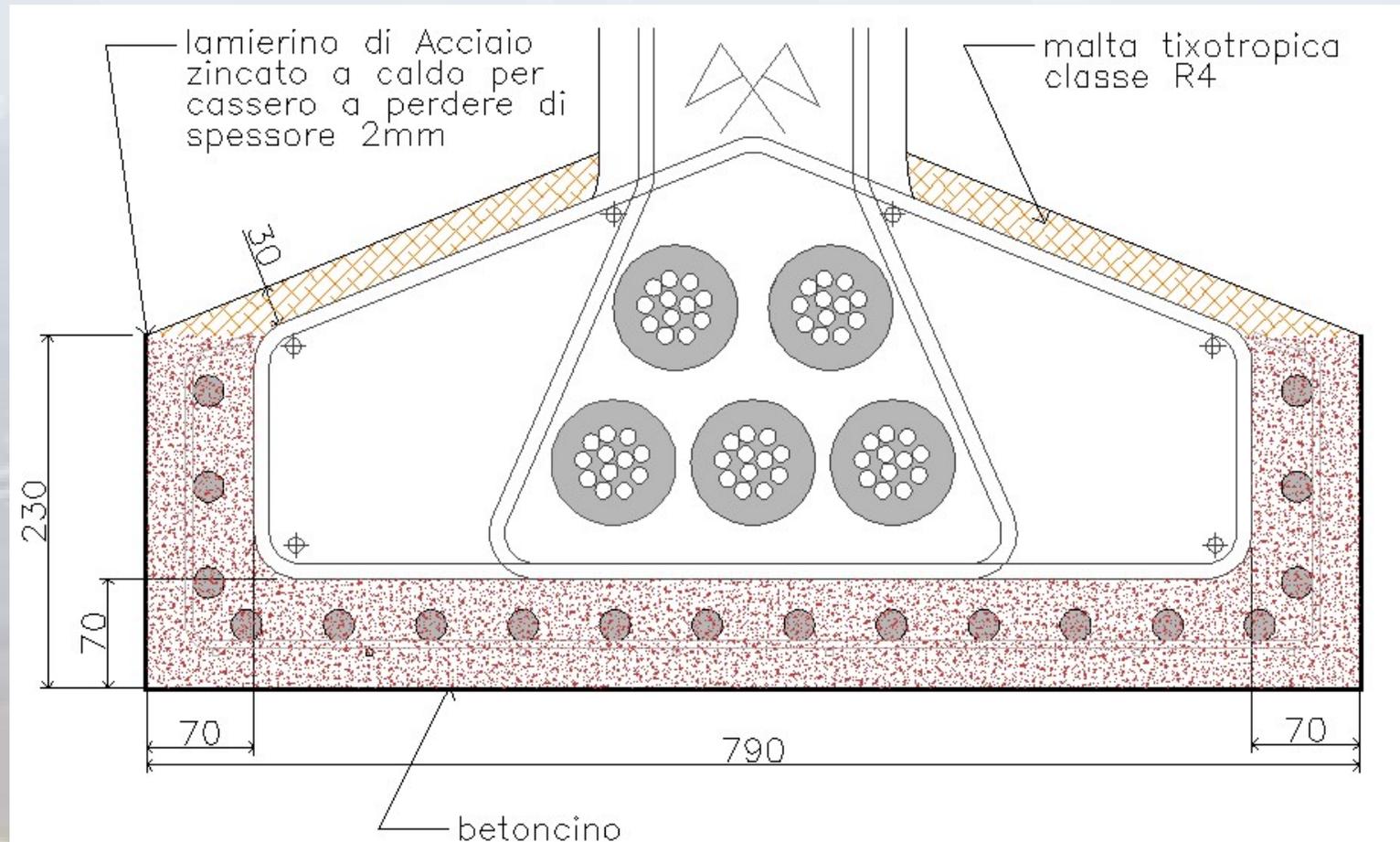
Tipologia di
ripristino
con 22 barre
al carbonio



RETROFITTING

Trefoli corrosi

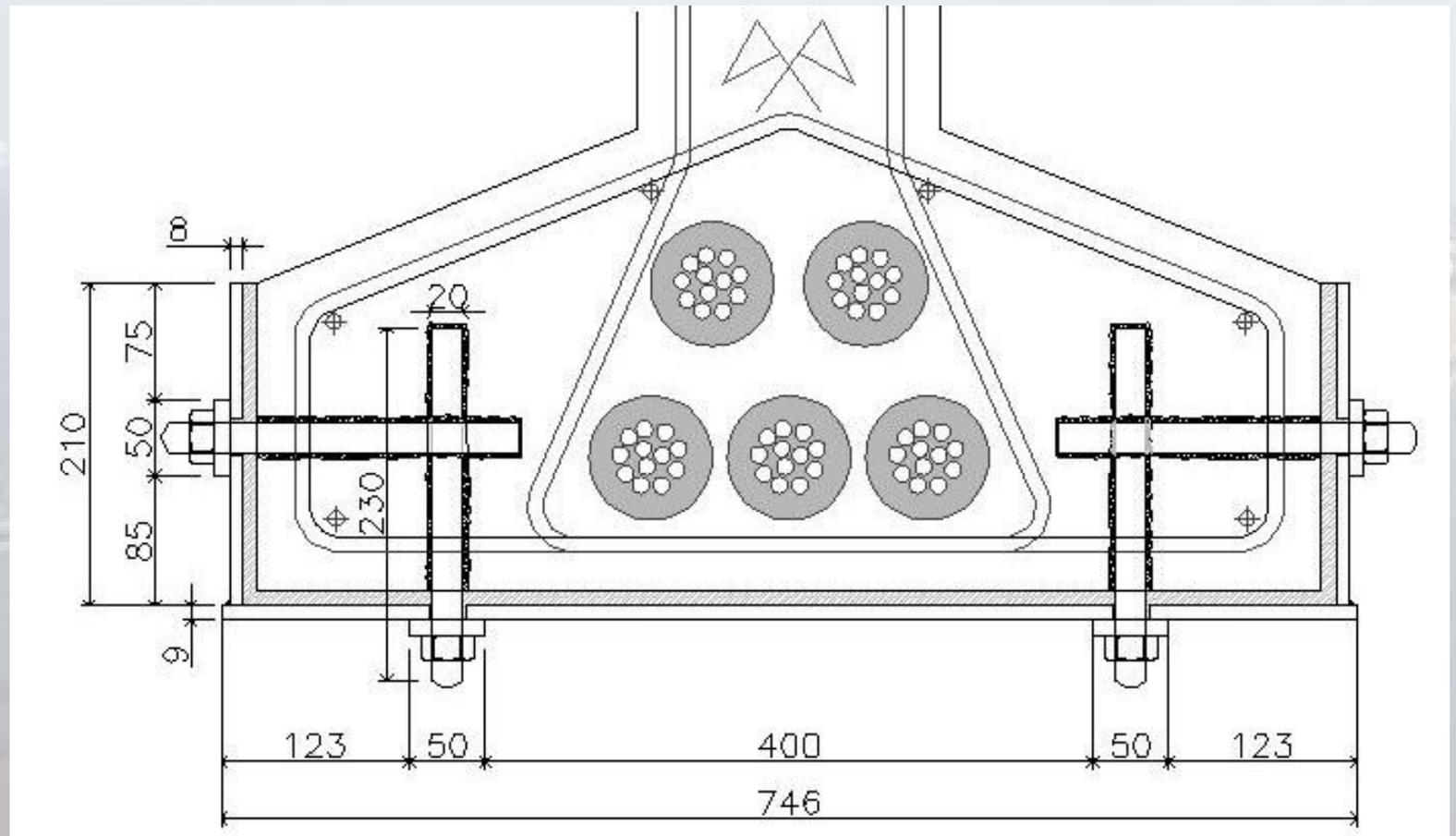
Tipologia di ripristino con barre di acciaio ad aderenza migliorata B450C



RETROFITTING

Trefoli corrosi

Tecnologia
Beton Plaqué



RETROFITTING

Tecnologia Beton Plaqué



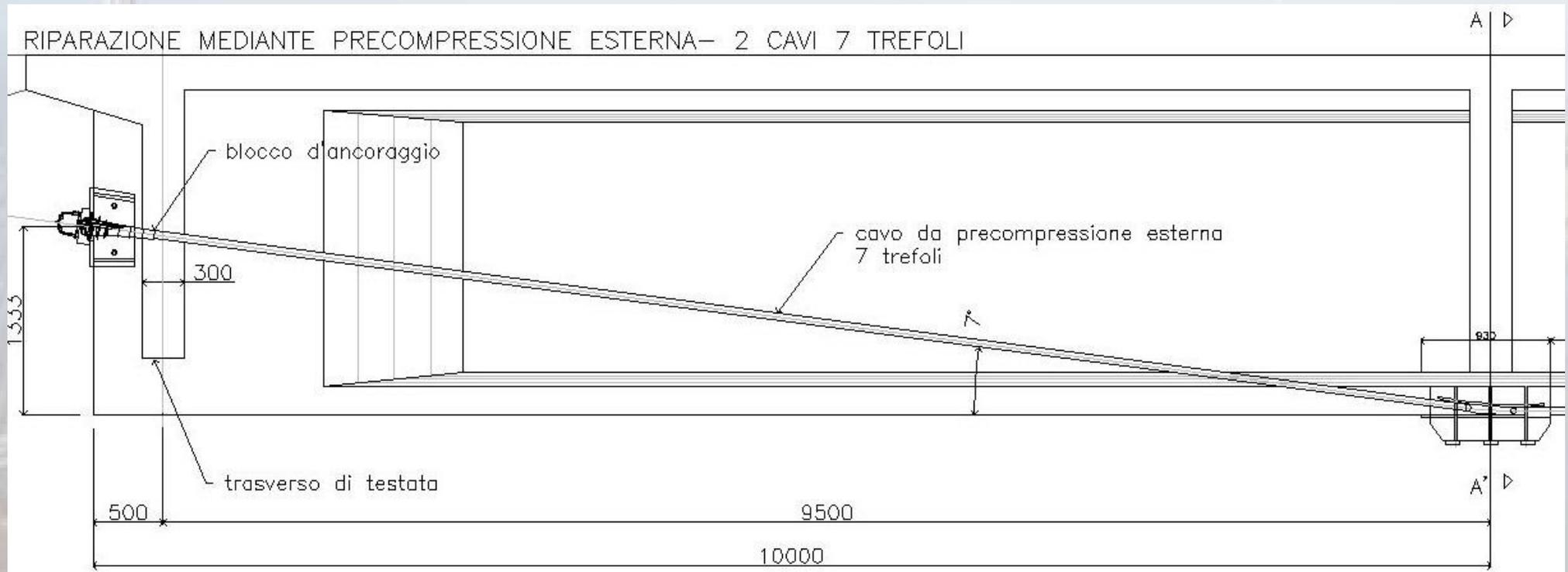
RETROFITTING

Tecnologia Beton Plaqué



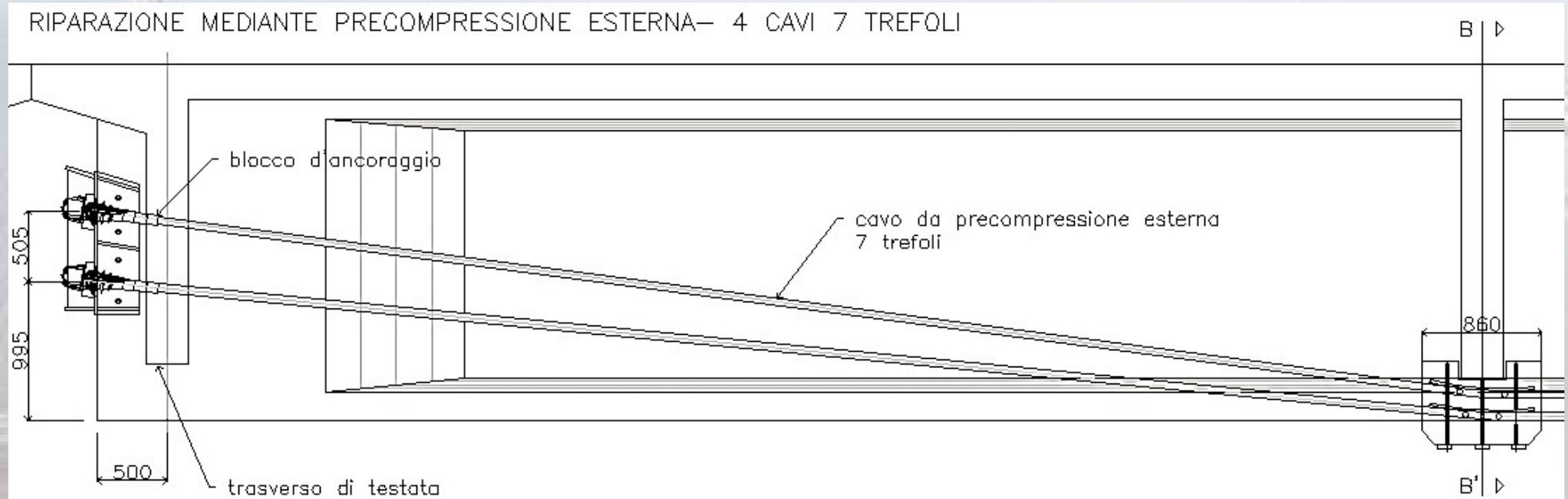
RETROFITTING

Tecnologia della precompressione esterna



RETROFITTING

Tecnologia della precompressione esterna



RETROFITTING



Tecnologia della precompressione esterna

RETROFITTING



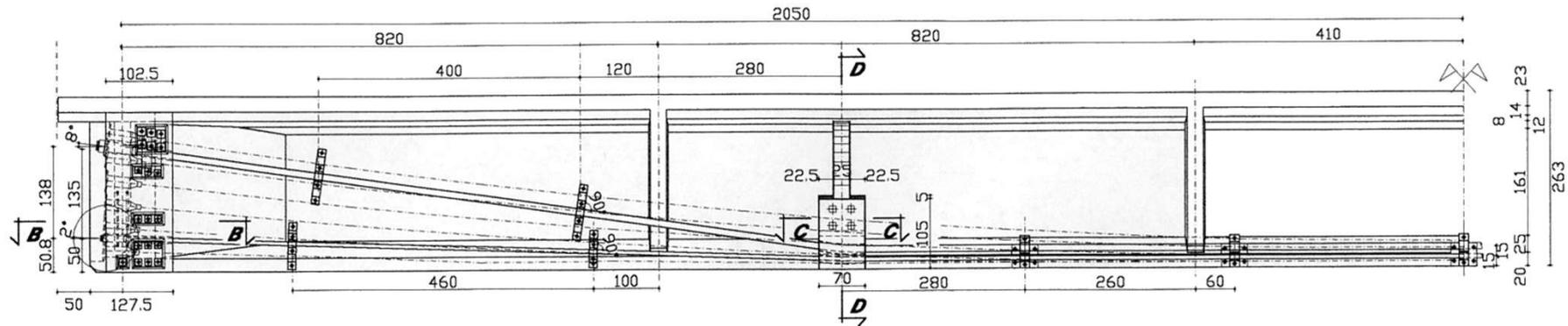
Viadotto Rio Berceto

RETROFITTING

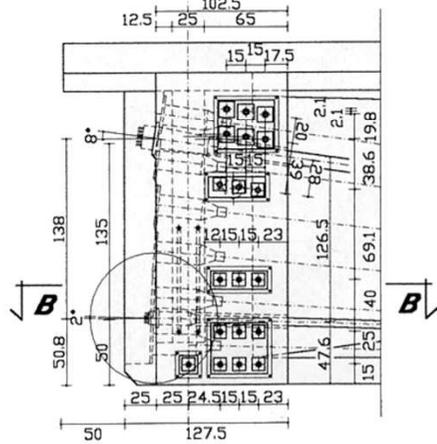


Viadotto Rio Berceto

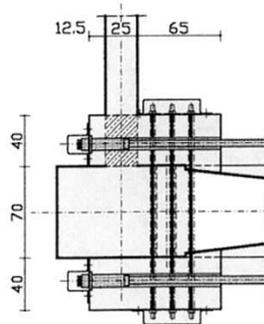
RETROFITTING



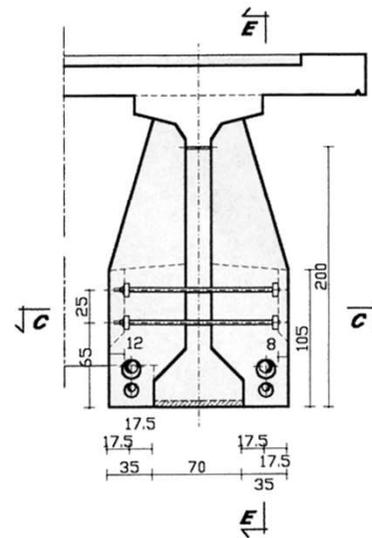
DETAIL



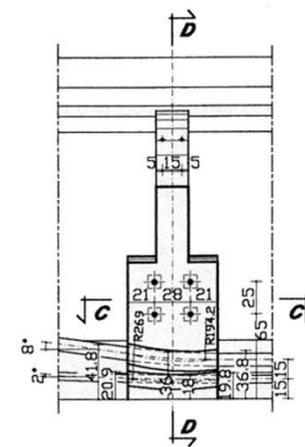
SECTION B-B



SECTION D-D

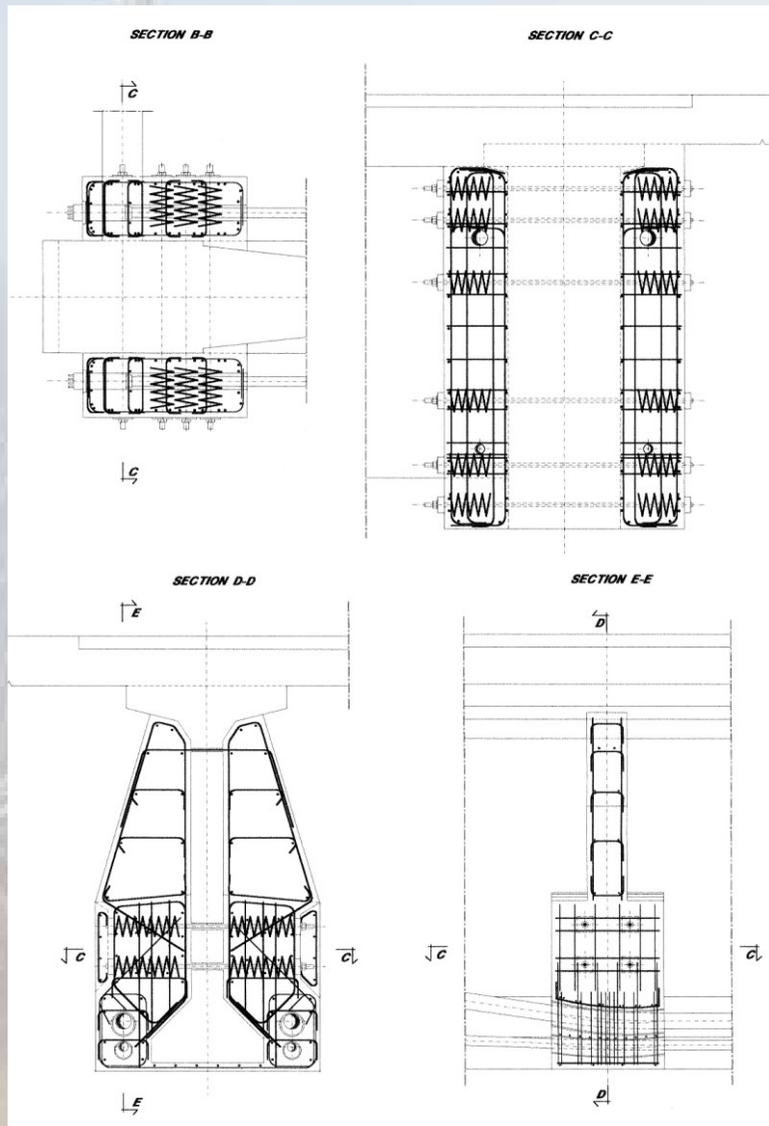


SECTION E-E



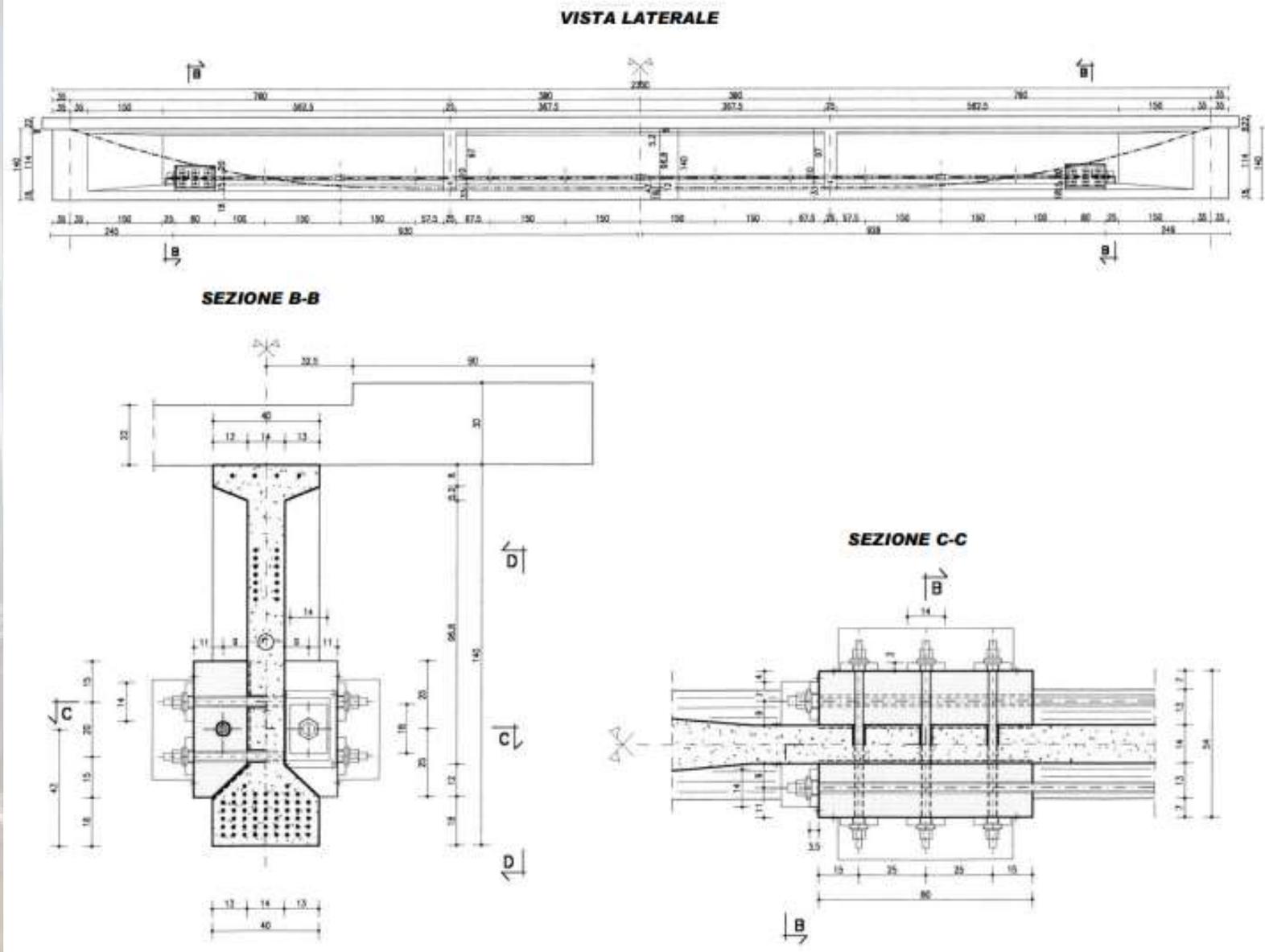
Viadotto Rio Berceto

RETROFITTING



Viadotto Rio Berceto

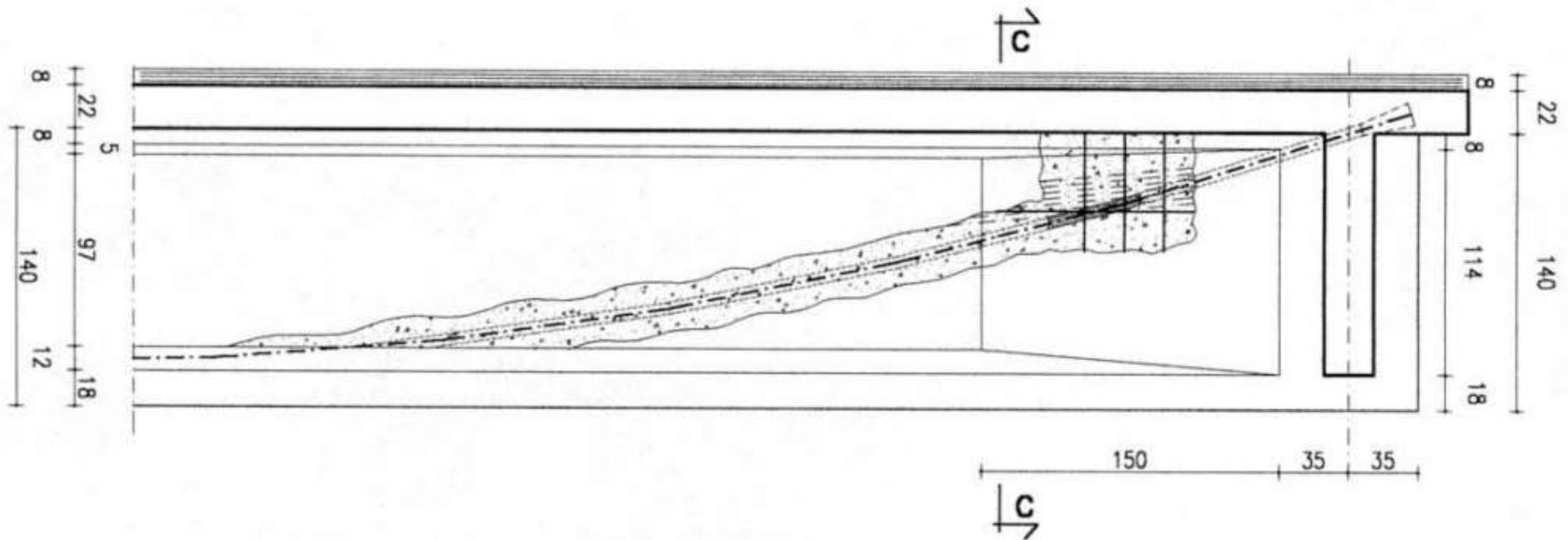
RETROFITTING



Viadotto Vizzana-Zampogna

RETROFITTING

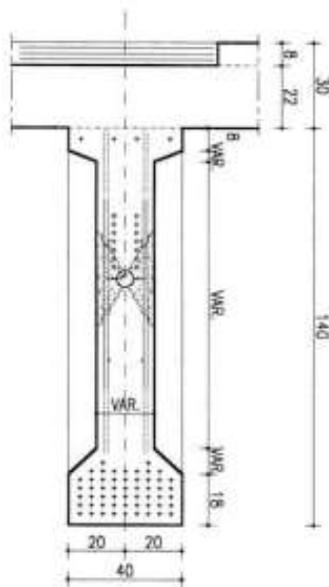
VISTA LATERALE



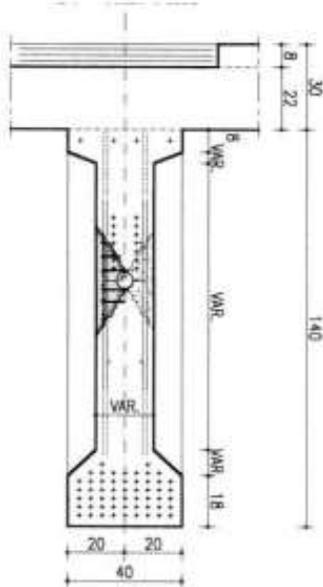
RETROFITTING



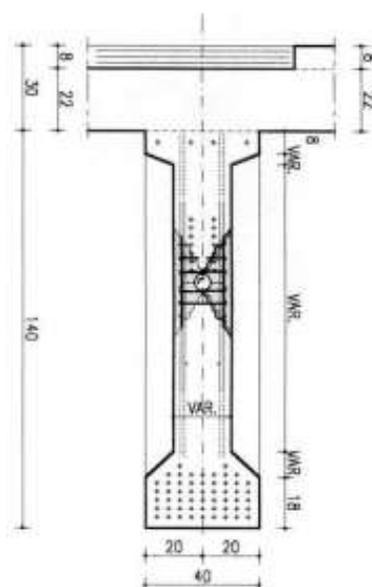
SEZIONE C-C



**PRIMA FASE
DELLA RIPARAZIONE**

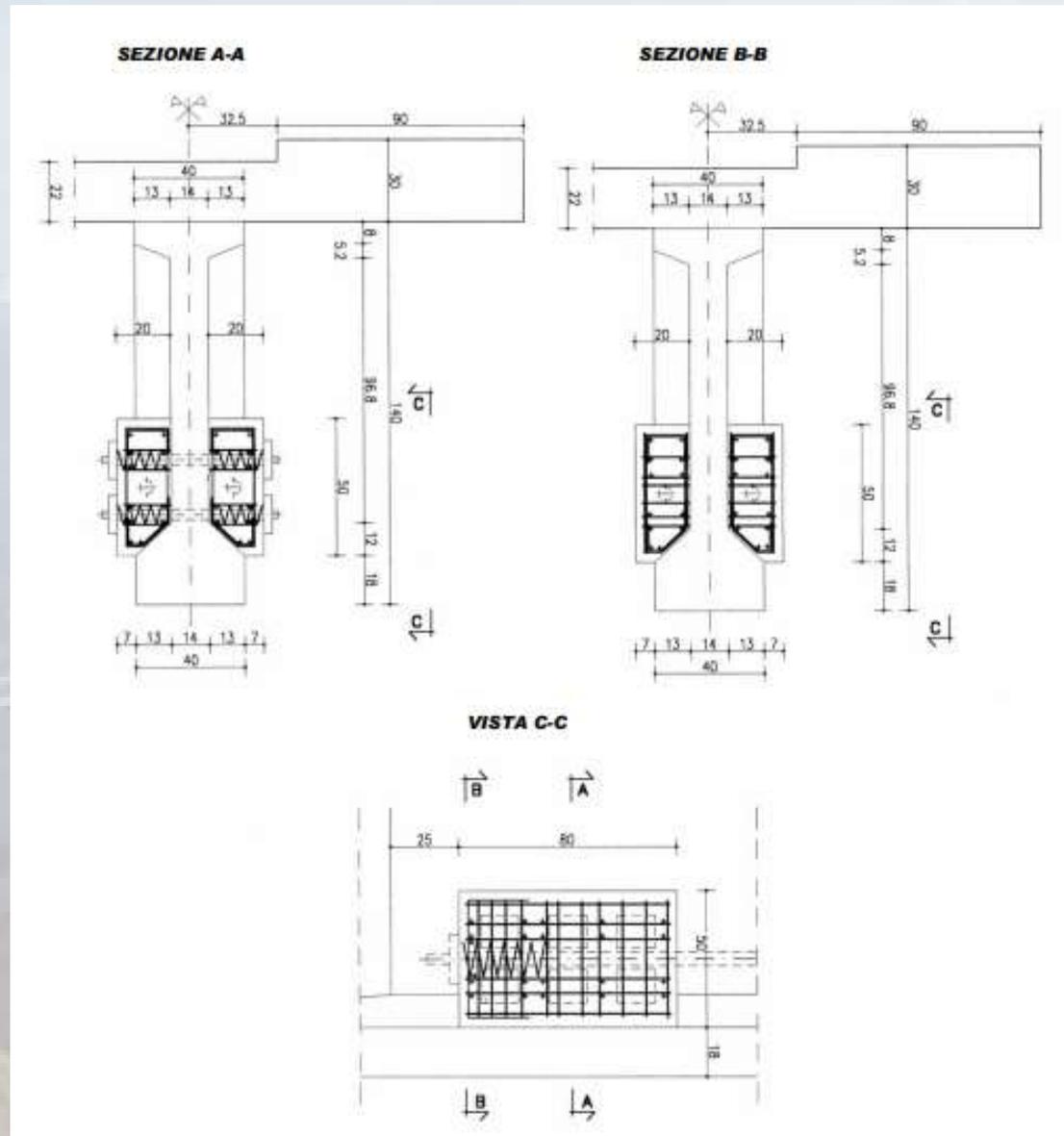


**SECONDA FASE
DELLA RIPARAZIONE**



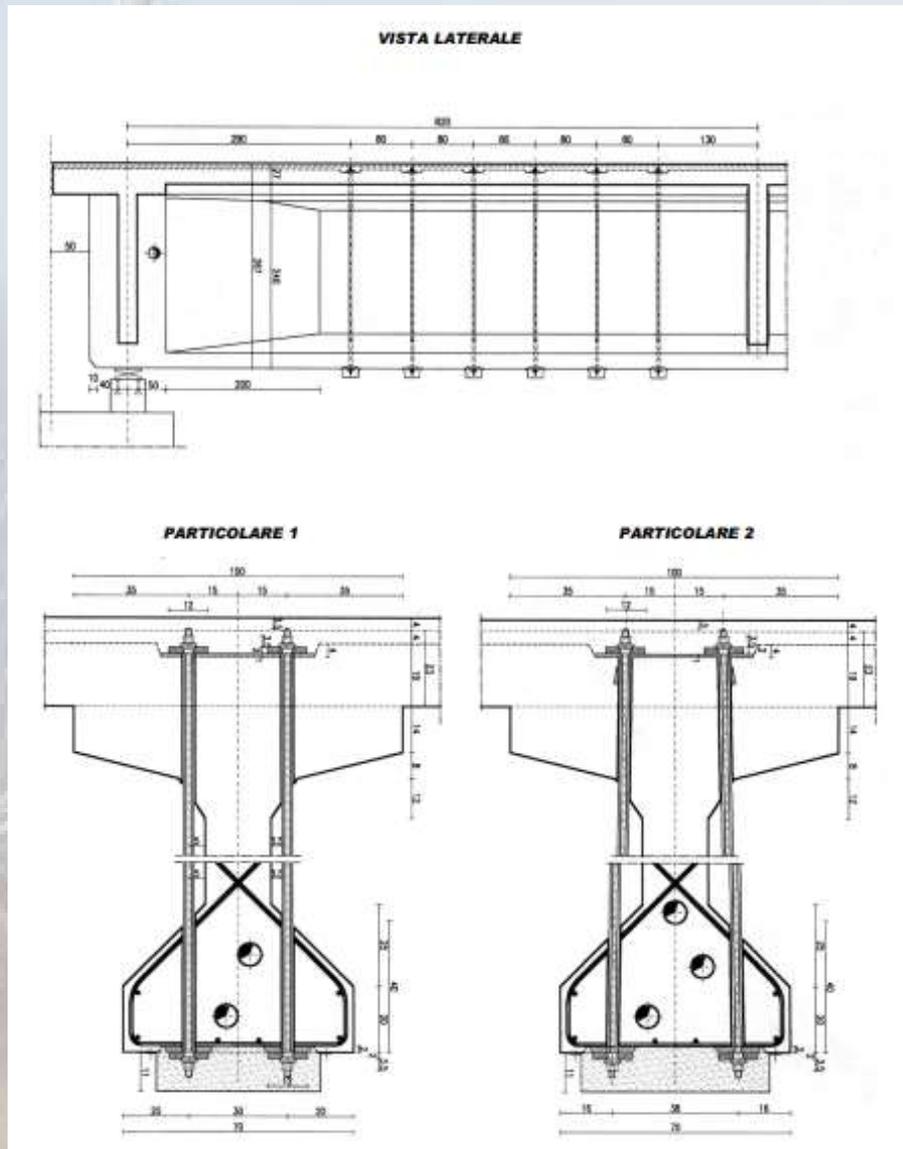
In questo caso l'intervento di rinforzo è stato ridotto al livello minimo idoneo a garantire i livelli di sicurezza richiesti per un periodo di 5 anni, al di là dei quali l'opera doveva essere dismessa, al completamento di una importante variante di tracciato.

RETROFITTING



Viadotto Vizzana-Zampogna

RETROFITTING



Il modello resistente con inclinazione variabile del campo di compressioni oblique nel calcestruzzo non può essere utilizzato a causa della mancanza di aderenza tra barre e calcestruzzo e quindi della loro incapacità ad assumere incrementi tensionali allo stato limite ultimo. E' quindi necessario ricorrere all'impiego di un modello bidimensionale, che consenta di considerare una zona d'anima come una lastra.

RETROFITTING



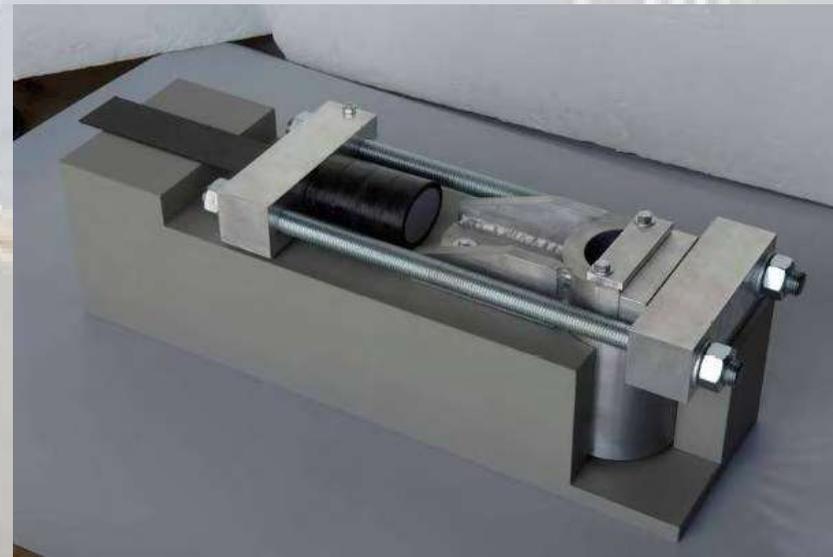
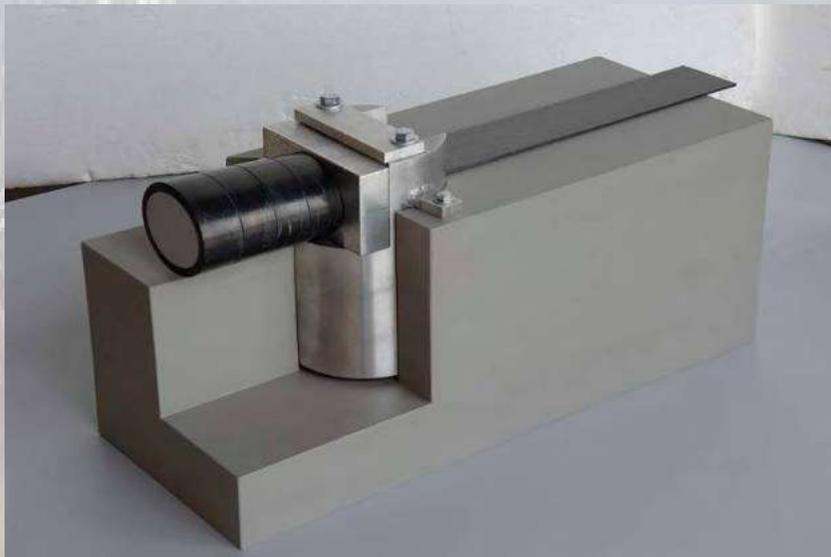
Tiranti a barre per il rinforzo a taglio di un ponte con travi a T

RETROFITTING



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

RETROFITTING



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

RETROFITTING

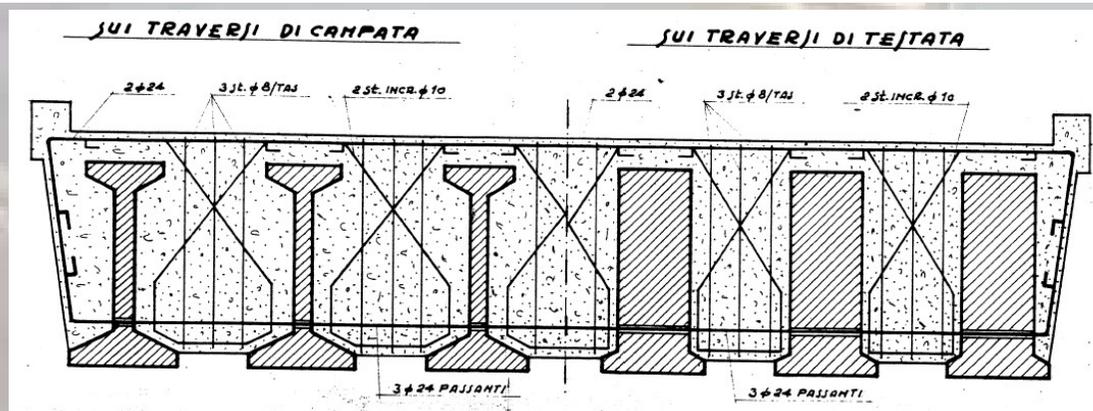
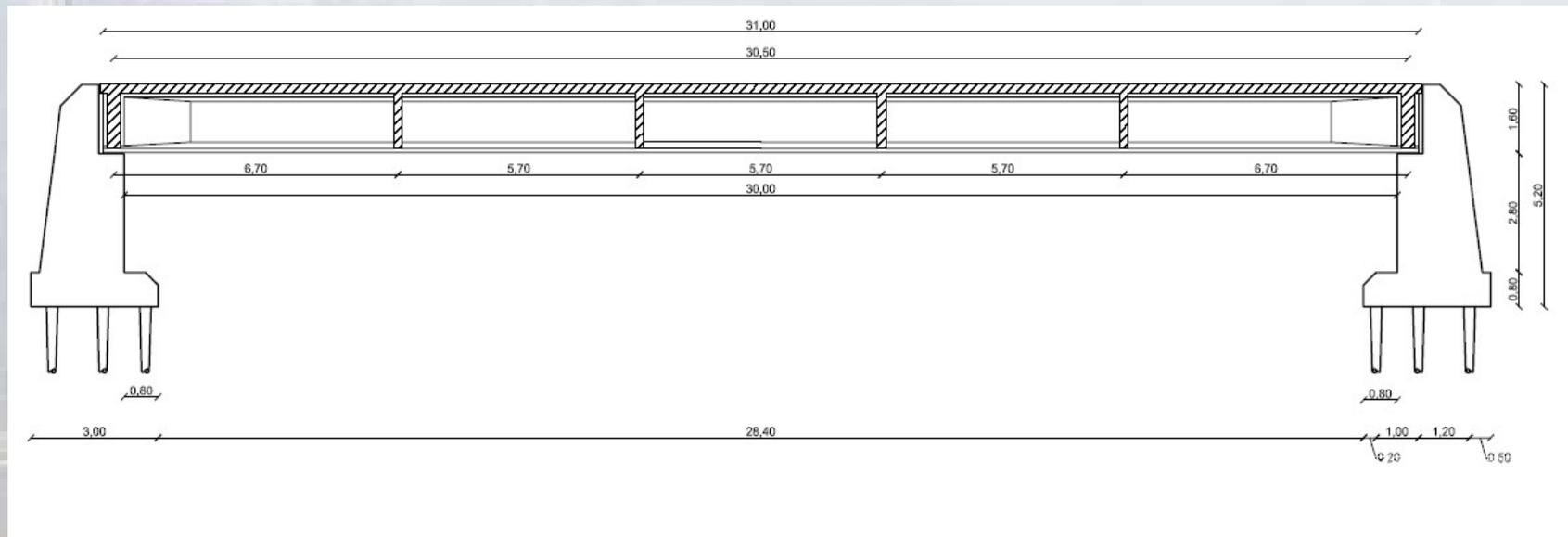


Clinton & Opkins bridge, Ohio (USA) Applicazione di Sika® CarboStress®

RETROFITTING

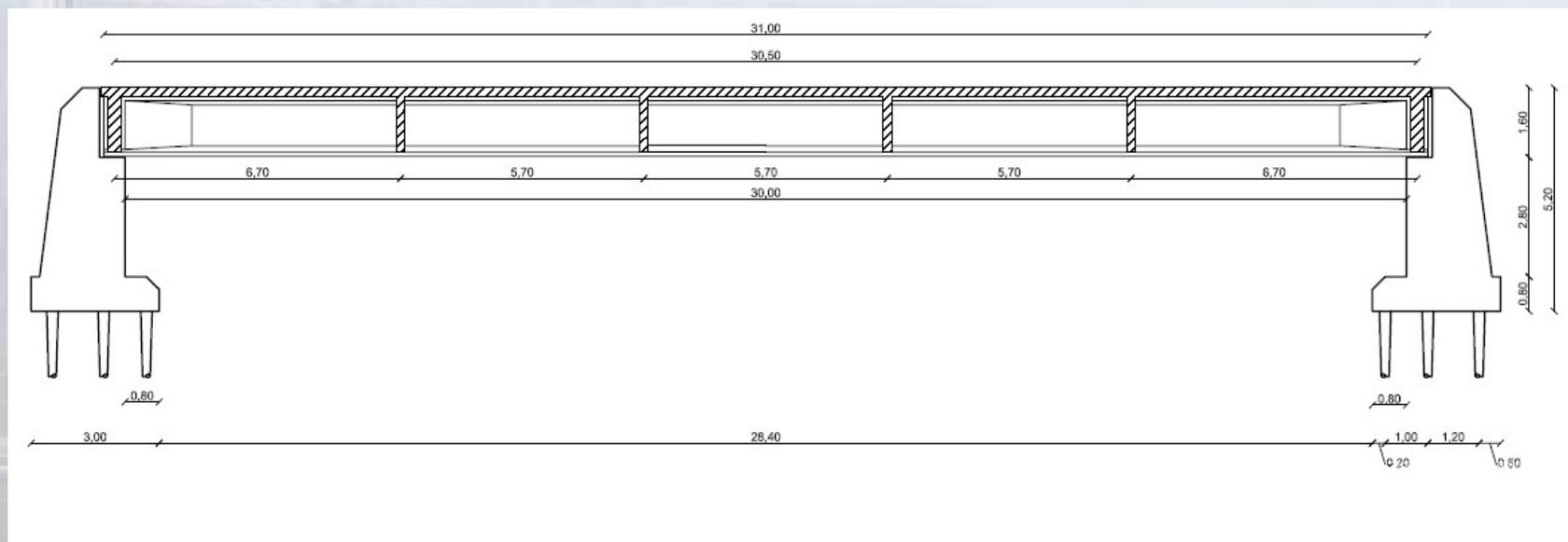
Il ponte "stradale" sul torrente Terdoppio, fu realizzato sul prolungamento della strada vicinale della Maretta (Novara).

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.

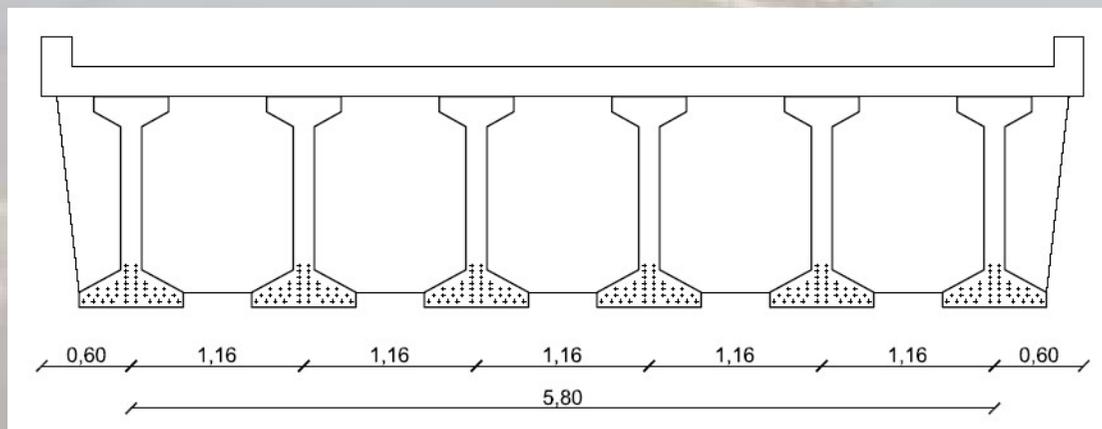


RETROFITTING

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

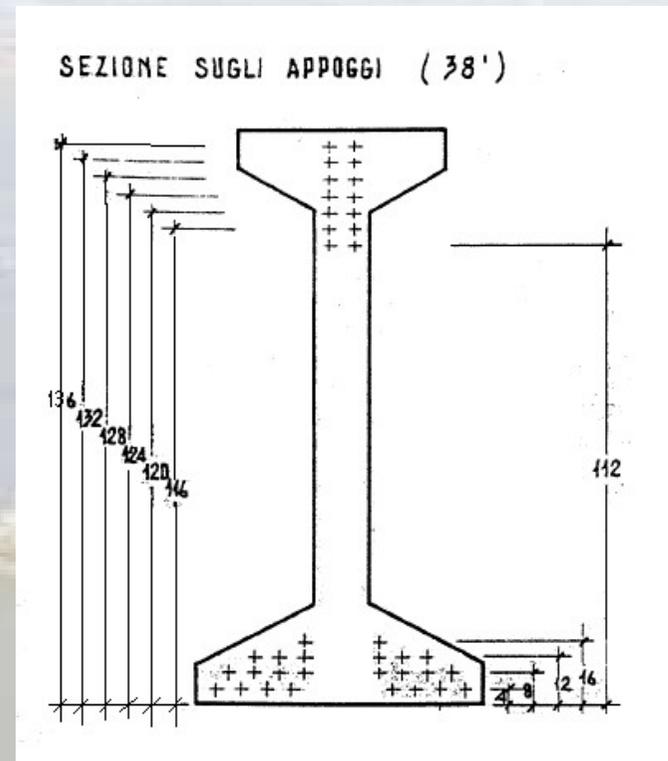
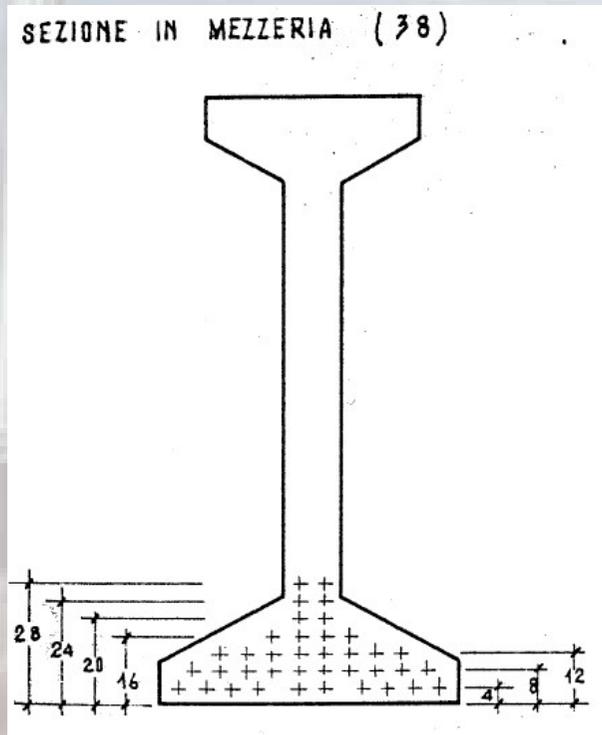


Sezione di Mezzeria



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>Decomposizione di ANU</i>		
<u>FONTE SUL TORRENTE TERDOPIO</u>		
<u>Imp. ZOMAGLIANI-GALLINA</u>		
DISEGNATO: ct	A SENSO DI LEGGE È VIETATA LA RIPRODUZIONE ANCHE PARZIALE O LA SUA CESSIONE A TERZI DEL PRESENTE DISEGNO.	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.

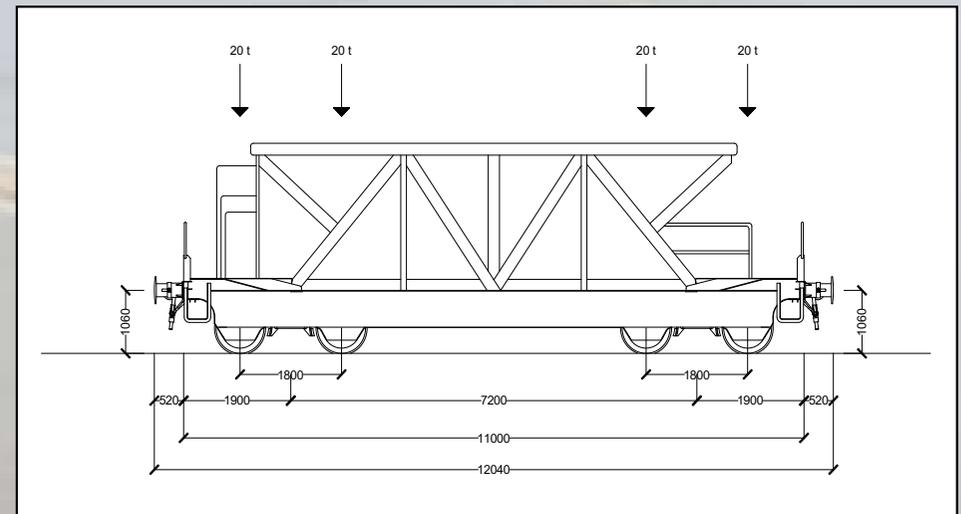


RETROFITTING

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.

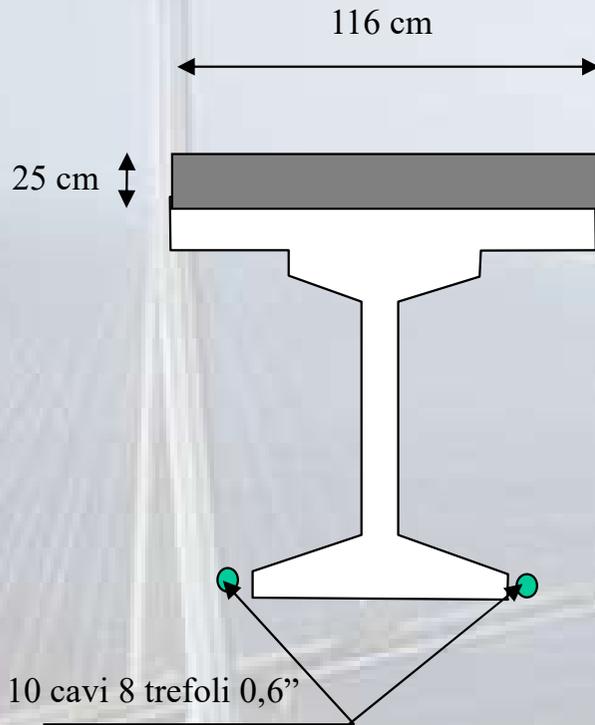
Alla fine si scelse di adeguare solo parzialmente l'opera, permettendo il transito dei treni di cui al punto b) e c) 100% e quello di cui al punto a), ridotto al 60%, riservandosi il ricarico al 100% dopo il transito dello stesso sul ponte di Terdoppio.



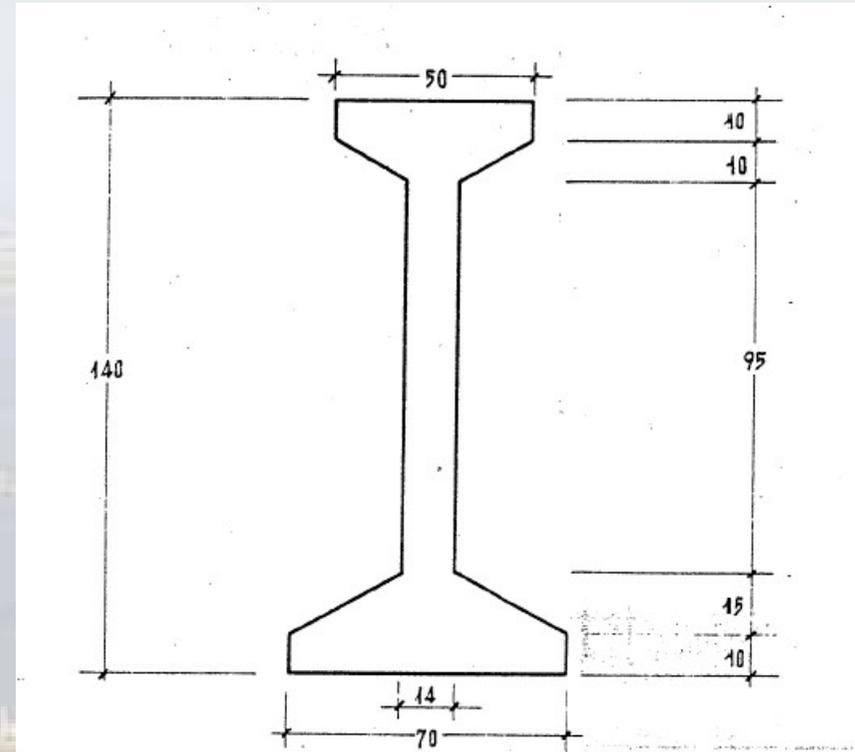
Riservandosi il ricarico al 100% dopo il transito dello stesso sul ponte di Terdoppio.

RETROFITTING

Geometria della trave precompressa



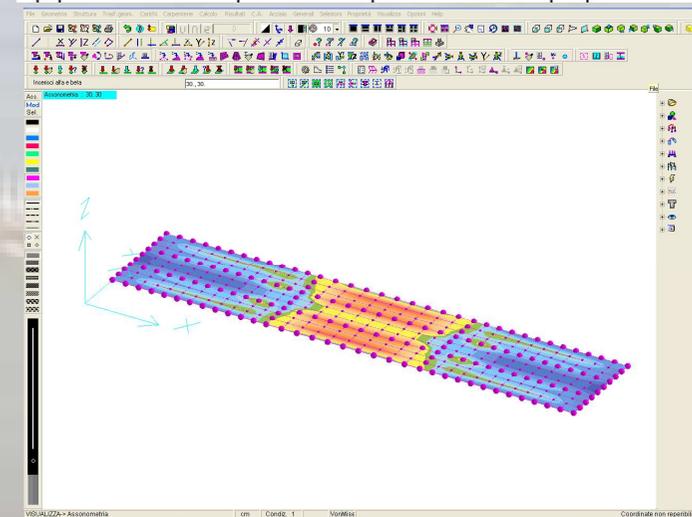
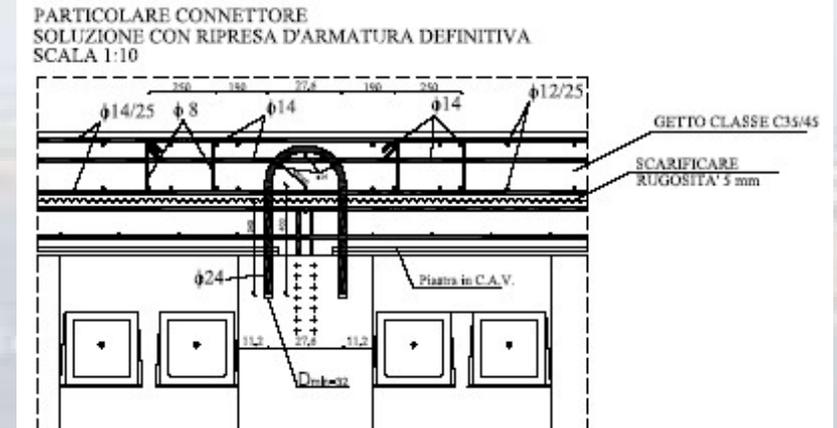
Soluzione scelta



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.



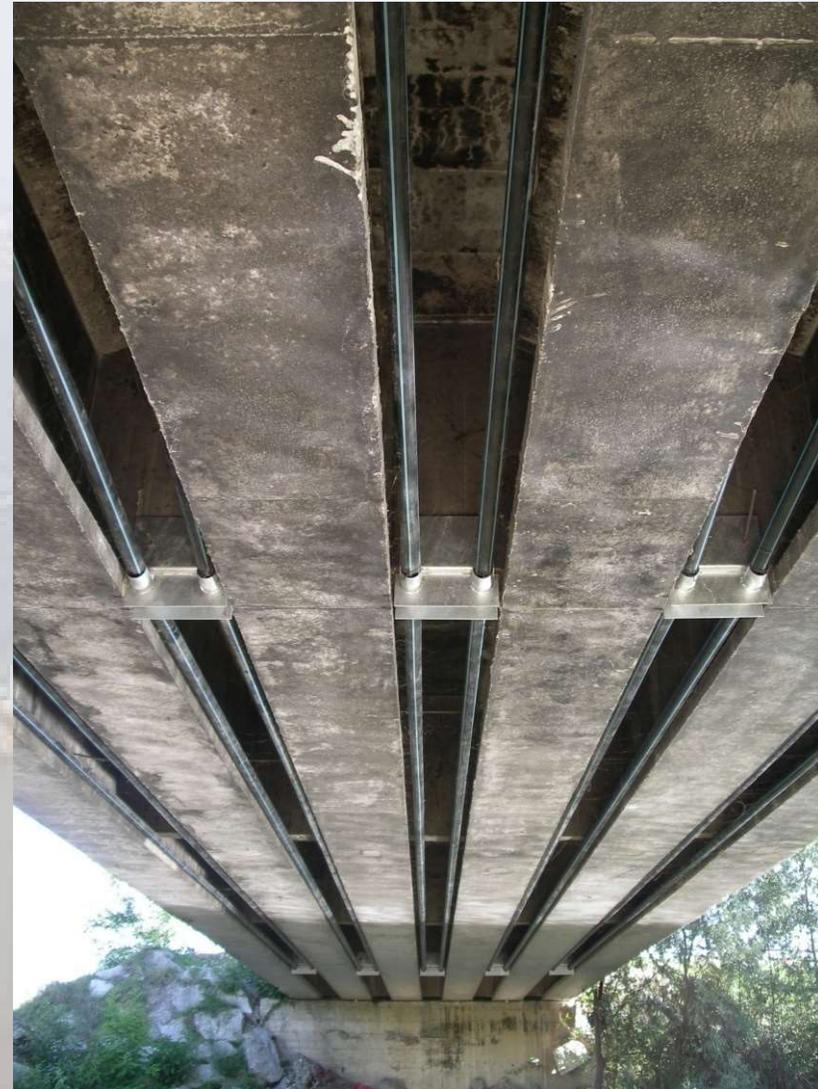
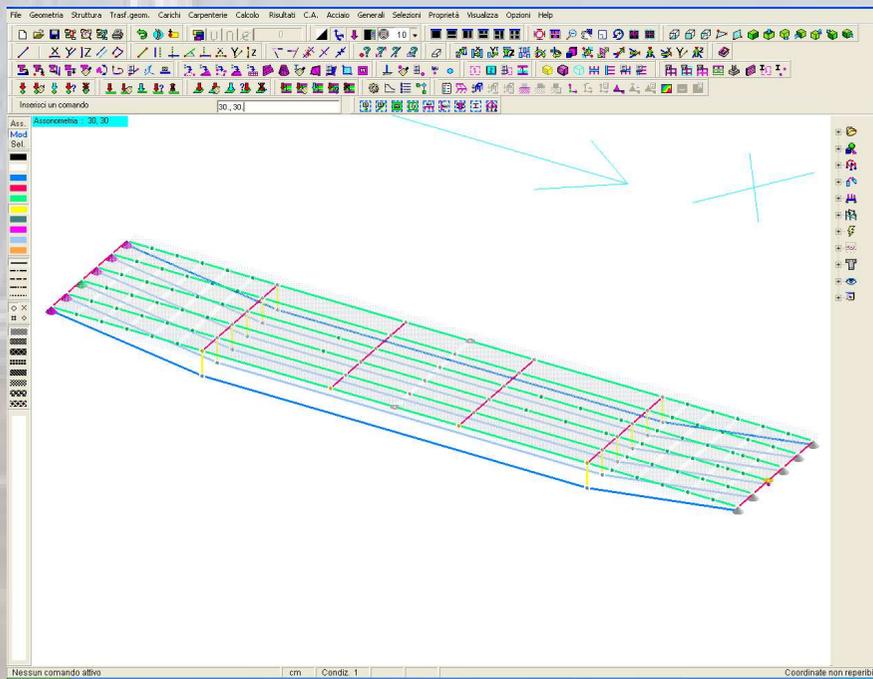
La progettazione dei connettori fu eseguita secondo il punto 6.2.5. dall'Eurocodice 2.

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.

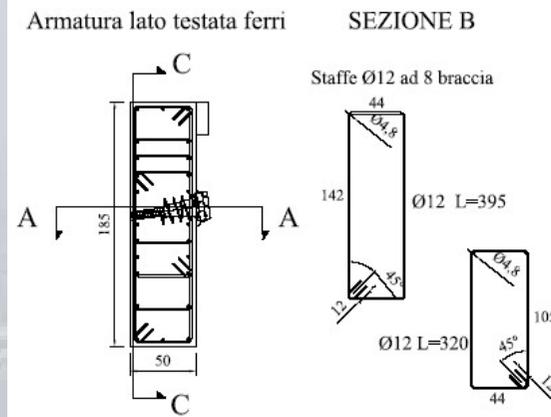
Entro il blocco sella, furono saldati due tubi metallici presagomati che potessero fornire al cavo passante la richiesta inclinazione.



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.

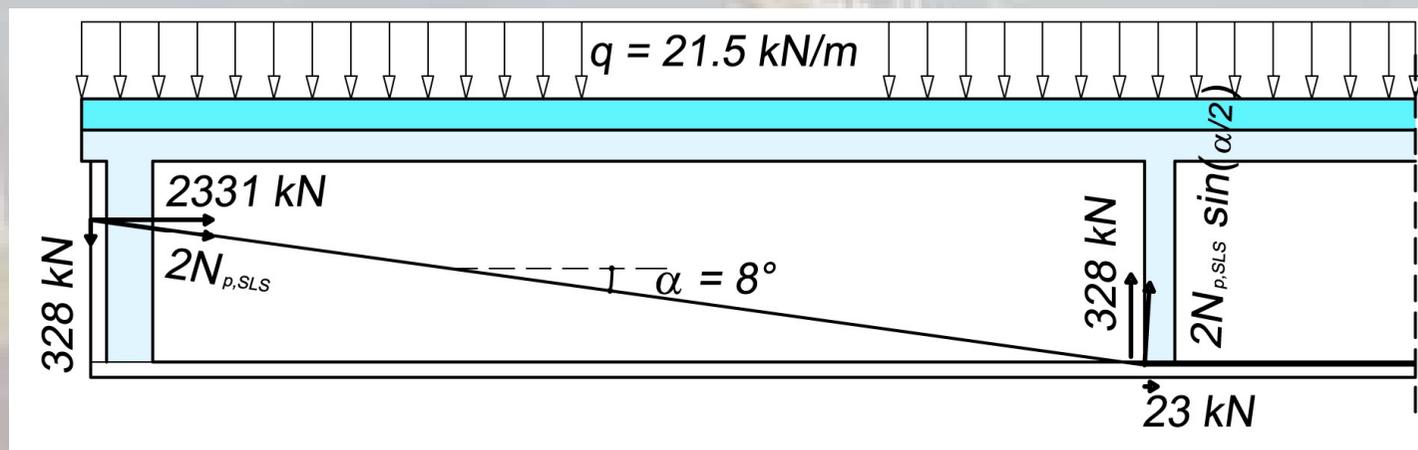
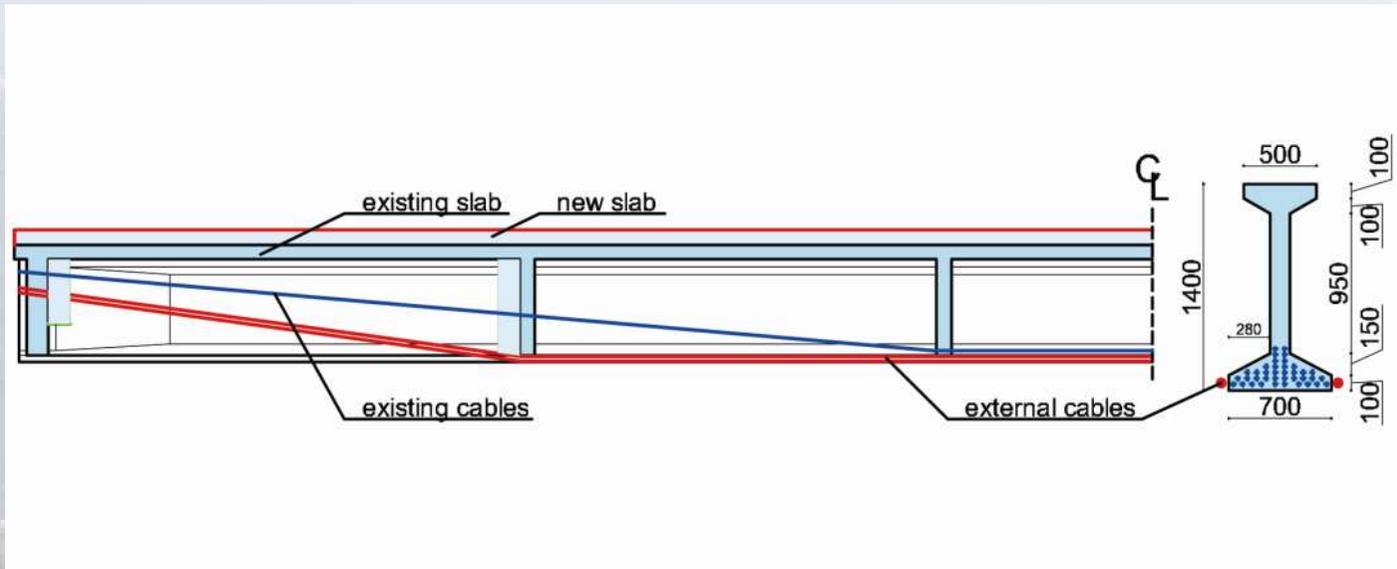


Armatura lato testata ferri Ø20 SEZIONE A



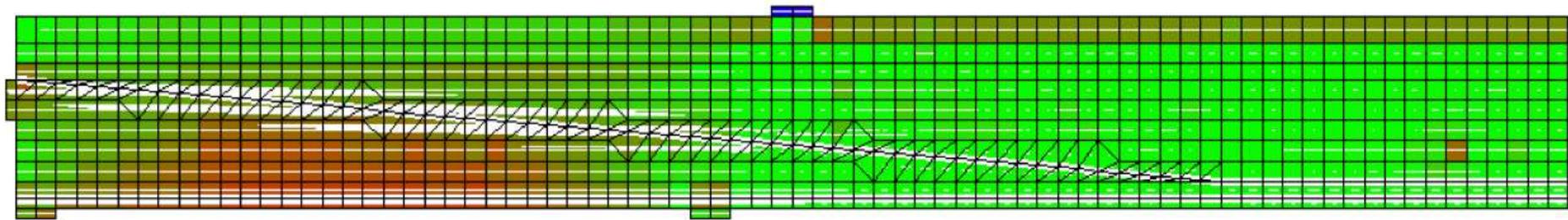
RETROFITTING

Le analisi di calcolo



RETROFITTING

Le analisi di calcolo



Enter Job Title

to -37.61
to -35.93
to -34.25
to -32.57

to -30.89
to -29.21
to -27.53
to -25.85

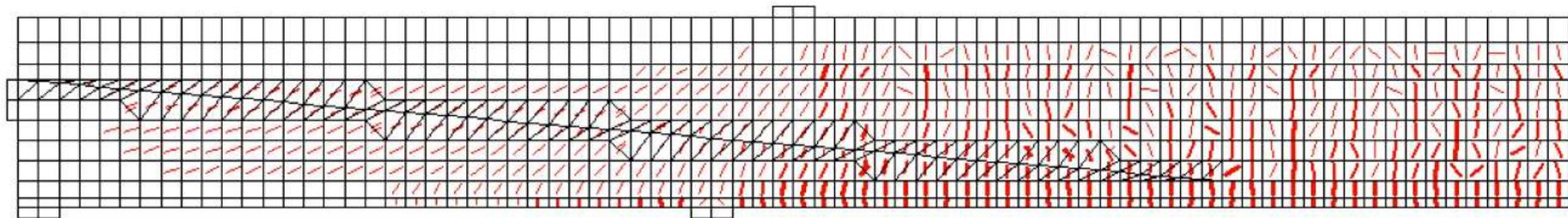
to -24.17
to -22.49
to -20.81
to -19.13

to -17.45
to -15.77
to -14.09
to -12.41

to -10.73
to -9.05
to -7.37
to -5.69

Stress (conc): f_{cr} Displacement Factor = 1.00

to -4.01
to -2.33
to -0.65
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 cable-stayed bridge spanning a wide river. The bridge features two tall, white, A-frame pylons with numerous stay cables. A large cargo ship is visible on the river below the bridge. The background shows a cityscape under a hazy sky.

**Grazie per la cortese
Attenzione**