



Ordine degli Ingegneri di Firenze  
19 Ottobre 2018

# Riccardo Morandi e il Ponte sul Polcevera

Prof. Ing. Paolo Spinelli

*Università degli Studi di Firenze*

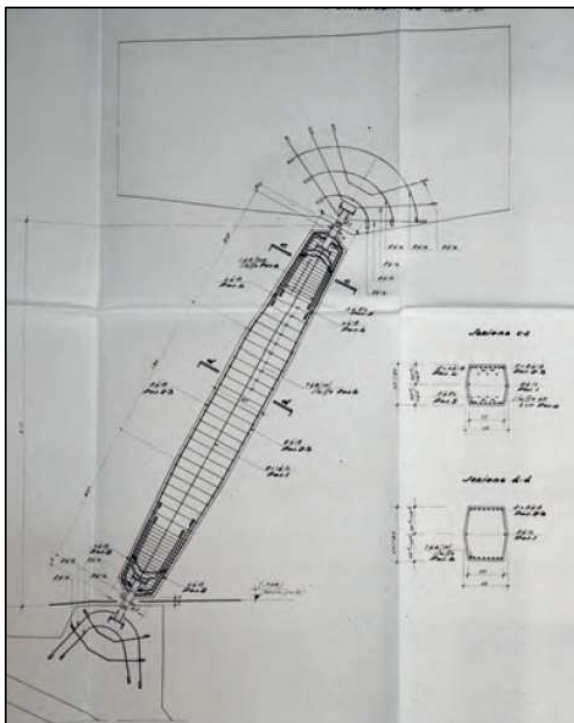
# Scheda

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Località:             | Genova (autostrada A10 Genova-Savona)                              |
| Progettista:          | Ing. Riccardo Morandi  |
| Progetto:             | 1962   |
| Costruzione:          | 1963-1967  |
| Lunghezza totale:     | 1102 m   |
| Campata massima:      | 208 m  |
| Altezza antenne:      | 90 m   |
| Altezza fondo valle:  | 56 m   |
| Larghezza impalcato:  | 18 m (2 carreggiate separate da NJ in c.a. con 2 corsie ciascuna)  |
| Materiale:            | calcestruzzo armato precompresso                                   |
| Schema statico:       | Cavalletti e travi tampone in semplice appoggio                    |
| Pile 9, 10 e 11:      | Sistema a «cavalletto rovesciato bilanciato» con stralli in c.a.p. |
| Data concessione:     | 12 ottobre 2007  |
| Concessionaria:       | Società Autostrade per l'Italia S.p.A.                             |
| Crollo:               | 14 agosto 2018 (ore 11.36 )  |
| Elementi interessati: | Pila 9 (171 m) e le due travi tampone adiacenti (36+36 m)          |
| Bilancio del crollo:  | 43 vittime e 13 feriti   |

Riccardo Morandi (Roma, 1 settembre 1902 –  
Roma, 25 dicembre 1989)



## Esposizione di Torino - Padiglione sotterraneo (1958)

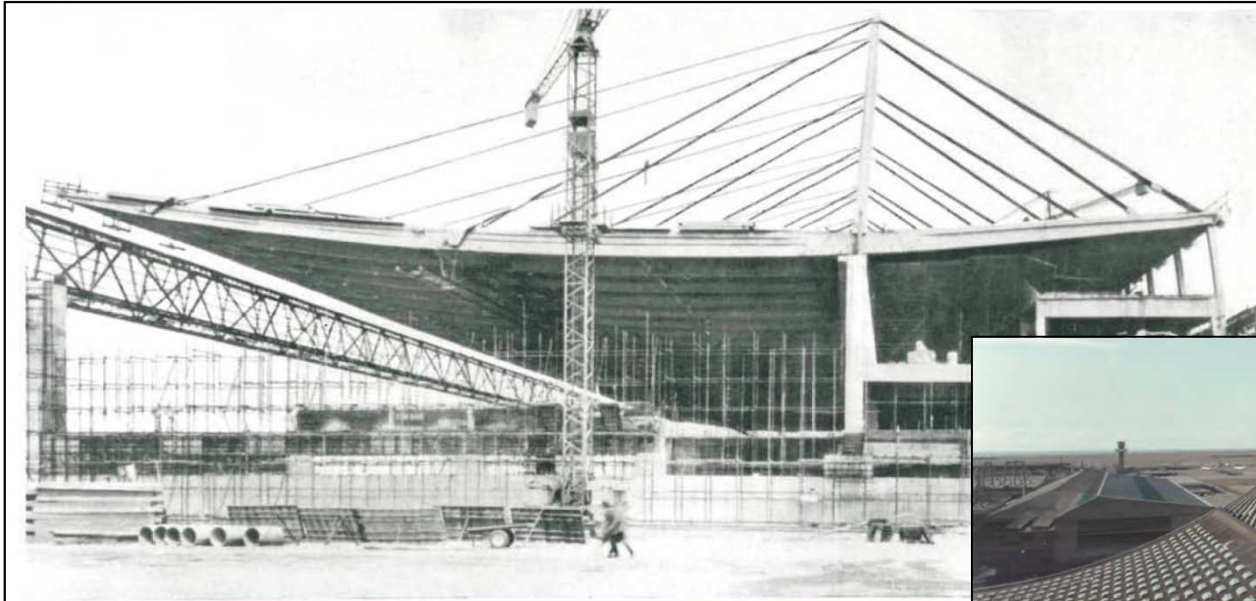




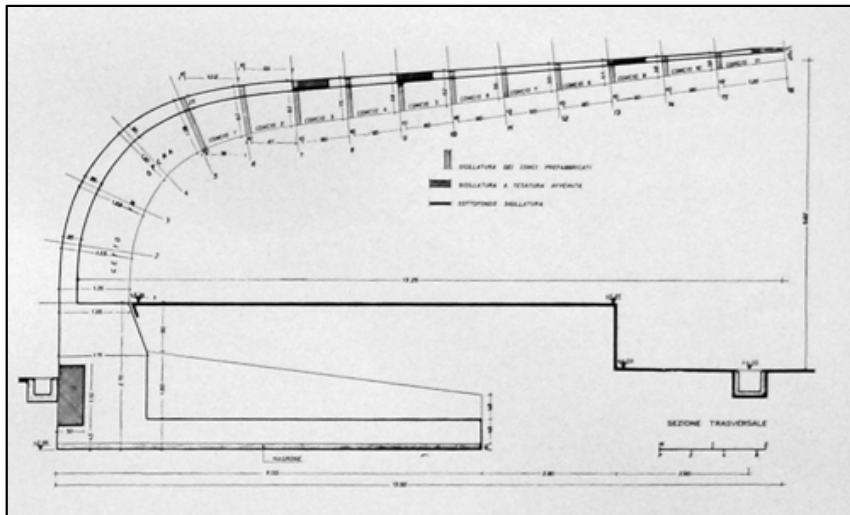
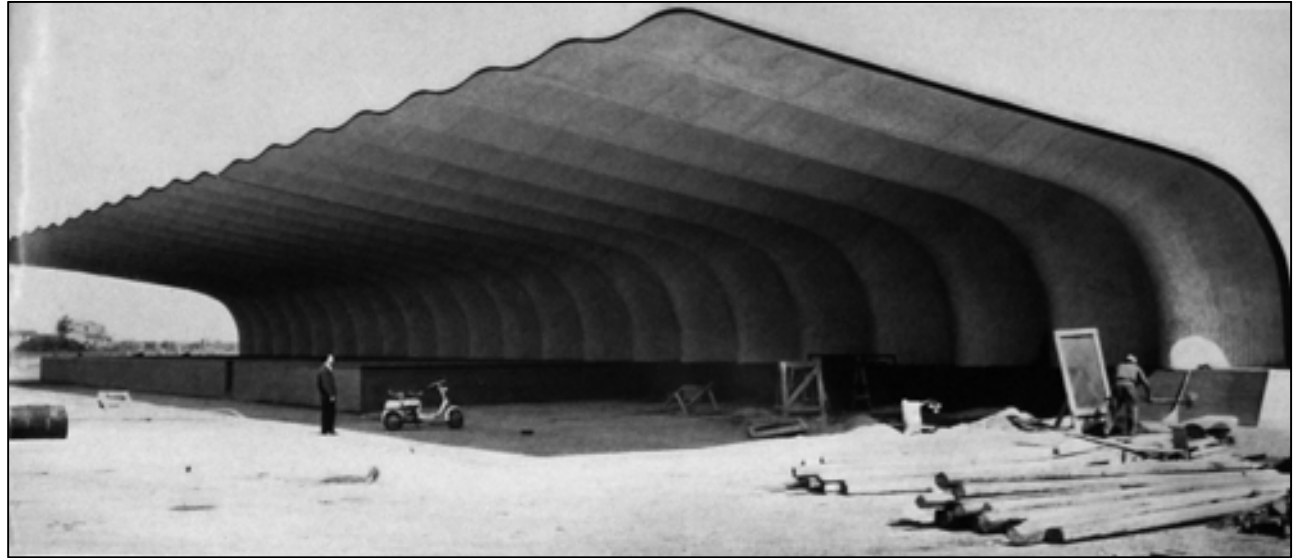
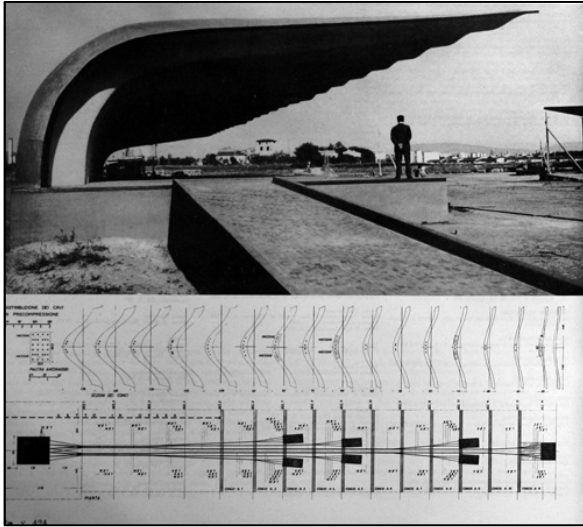
## Uffici FATA Torino (Arc. Oscar Niemeyer, 1977)



# Hangar a Fiumicino



# Pensiline presso mercato ortofrutticolo di Firenze (oggi demolite)



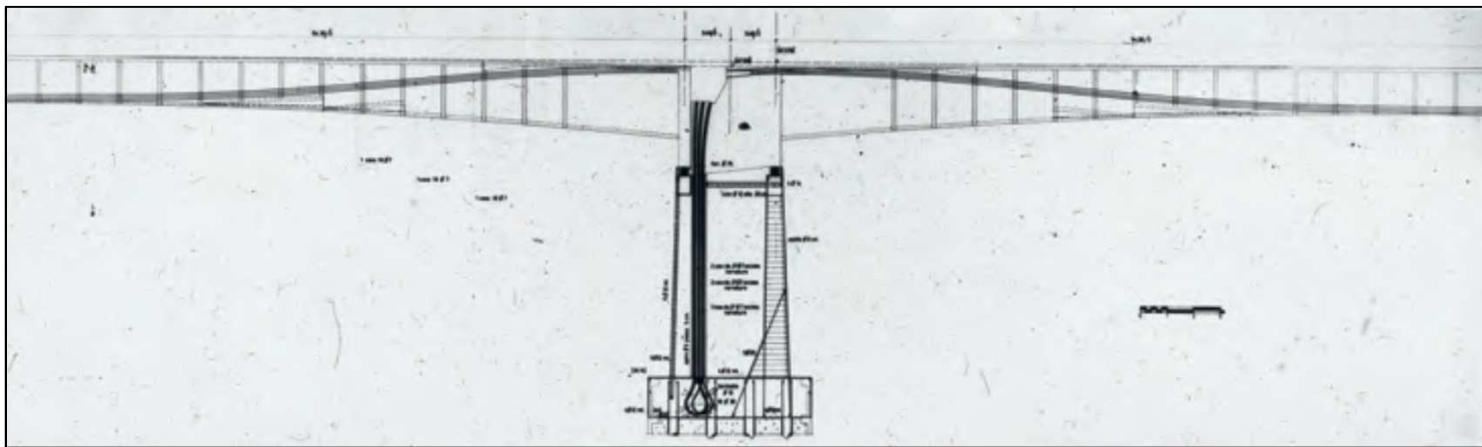
Lunghezza: 60 m  
Sbalzo: 16 m

Spessore dall'incastro si assottigliava fino a 5 cm

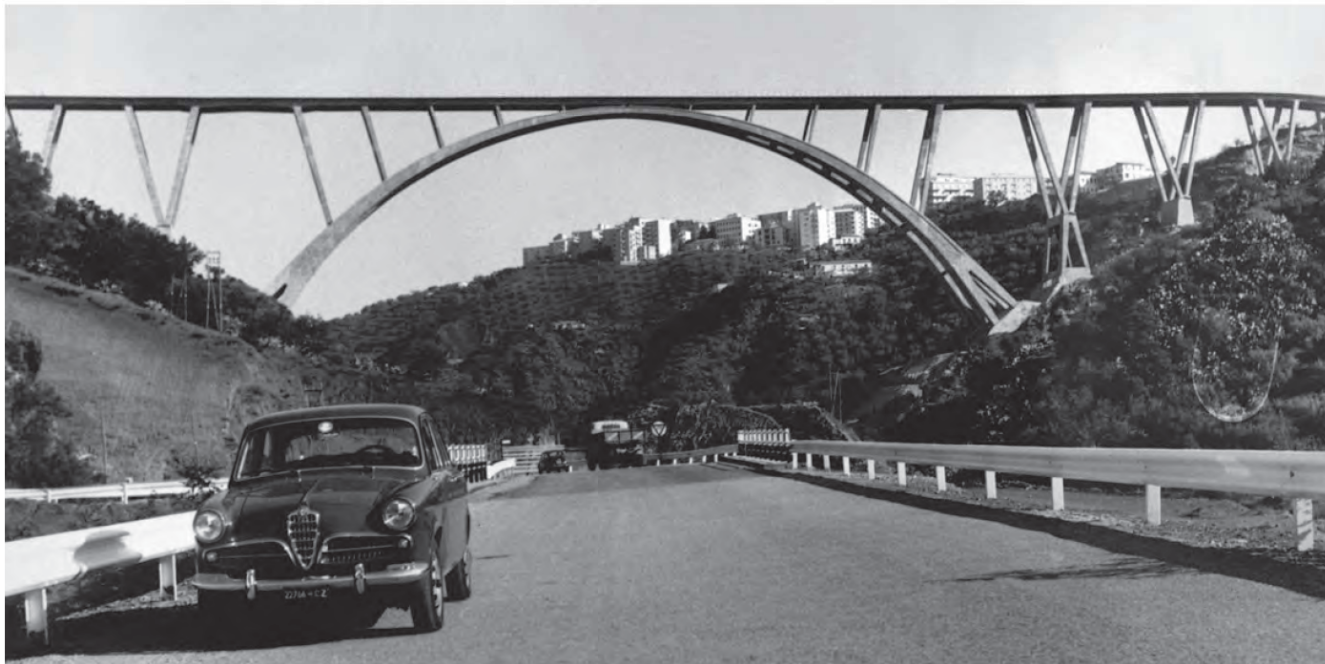
Mensole contigue ognuna composta da 16 conci prefabbricati a piè d'opera e cavi di precompressione



# Ponte Amerigo Vespucci a Firenze (progetto 1953)



# Viadotto Fiumarella (1960)



# Ponte sul Lago di Maracaibo, Venezuela (1959-62, luci max 180 m)



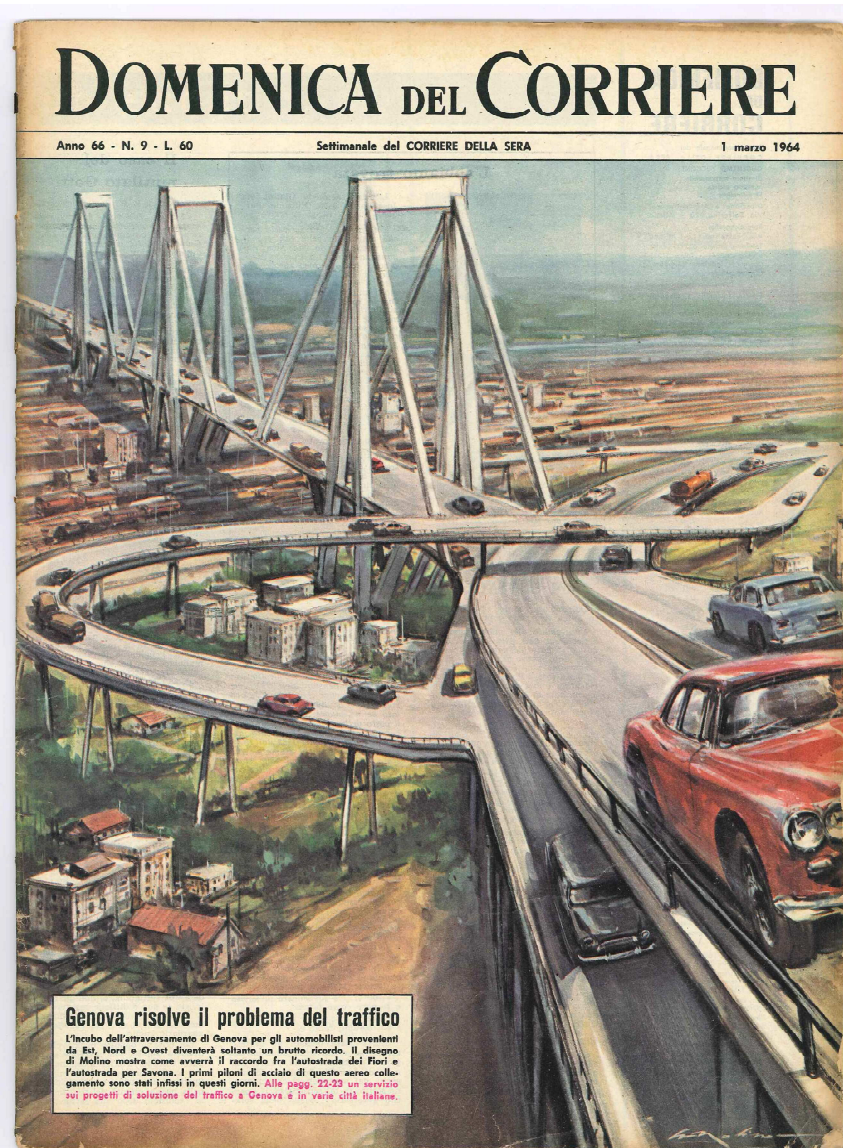


# Ponte sul Wadi Kuf, Libia (1965, 282 m di luce)





# Domenica del Corriere (marzo 1964)



## DOMENICA DEL CORRIERE

Anno 66 - N. 9 - L. 60

Settimanale del CORRIERE DELLA SERA

1 marzo 1964

### Genova risolve il problema del traffico

L'incubo dell'attraversamento di Genova per gli automobilisti provenienti da Est, Nord e Ovest diventerà soltanto un brutto ricordo. Il disegno di Molino mostra come avverrà il raccordo fra l'autostrada del Fiori e l'autostrada per Savona. I primi piloni di acciaio di questo arco collegamento sono stati infissi in questi giorni. Alle pagg. 22-23 un servizio sui progetti di soluzione del traffico a Genova e in varie città italiane.

### E' cominciata la

## Un polmone per le strade

Gigantesche strutture di cemento arma consentiranno alla città, ora congestionata e da un intensissimo traffico di veicoli.

Genova, febbraio. L'incubo dell'attraversamento di Genova per gli automobilisti provenienti da Est, Nord e Ovest diventerà soltanto un brutto ricordo. Il disegno di Molino mostra come avverrà il raccordo fra l'autostrada del Fiori e l'autostrada per Savona. I primi piloni di acciaio di questo arco collegamento sono stati infissi in questi giorni. Alle pagg. 22-23 un servizio sui progetti di soluzione del traffico a Genova e in varie città italiane.

### Quella di

MILANO

Ritardano le vie

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

breve strada alla

## FIRENZE

Si arriverà presto al divieto di parcheggio in centro.

Parla l'assessore al traffico, dottor Rodolfo Francioni: Firenze presenta limitazioni veramente notevoli in materia di traffico in quanto partendo dai viali della circoscrizione, ove sorgevano le antiche mura della città, e venendo verso il centro, si hanno strade più o meno concentriche, che vanno a incidere sul centro storico, dal Duomo fino all'Arno, zona che, al contrario, presenta strade strette, una perpendicolare all'altra, perché all'incirca questo è l'antico quadrato romano.

Per inquadrare il problema è da tener presente, inoltre, che attualmente nella provincia sono immatricolate e marcianti circa 200 mila auto (1 ogni 5 abitanti), delle quali 150 mila affluiscono giornalmente al capoluogo, che è anche capoluogo della regione.

L'Amministrazione comunale ha cercato di fronteggiare questa «esplosione» della meccanizzazione con una serie di provvedimenti come «disco orario», sensi unici paralleli l'uno all'altro, sottopassaggi pedonali, mentre è allo studio la costruzione di parcheggi sotterranei nel centro della città. Non è da escludere, peraltro, che il problema del traffico possa aggravarsi ulteriormente tanto da dover impedire in modo assoluto il parcheggio nelle vie centrali. V'è un ostacolo: la grande maggioranza delle aziende commerciali e artigianali è proprio allogata nel centro della città.

Leonardo Pecchioni

### nere soffocate dal traffico



### FIRENZE

Il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

### BOLOGNA

Rapido i paraggi

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

il traffico può essere

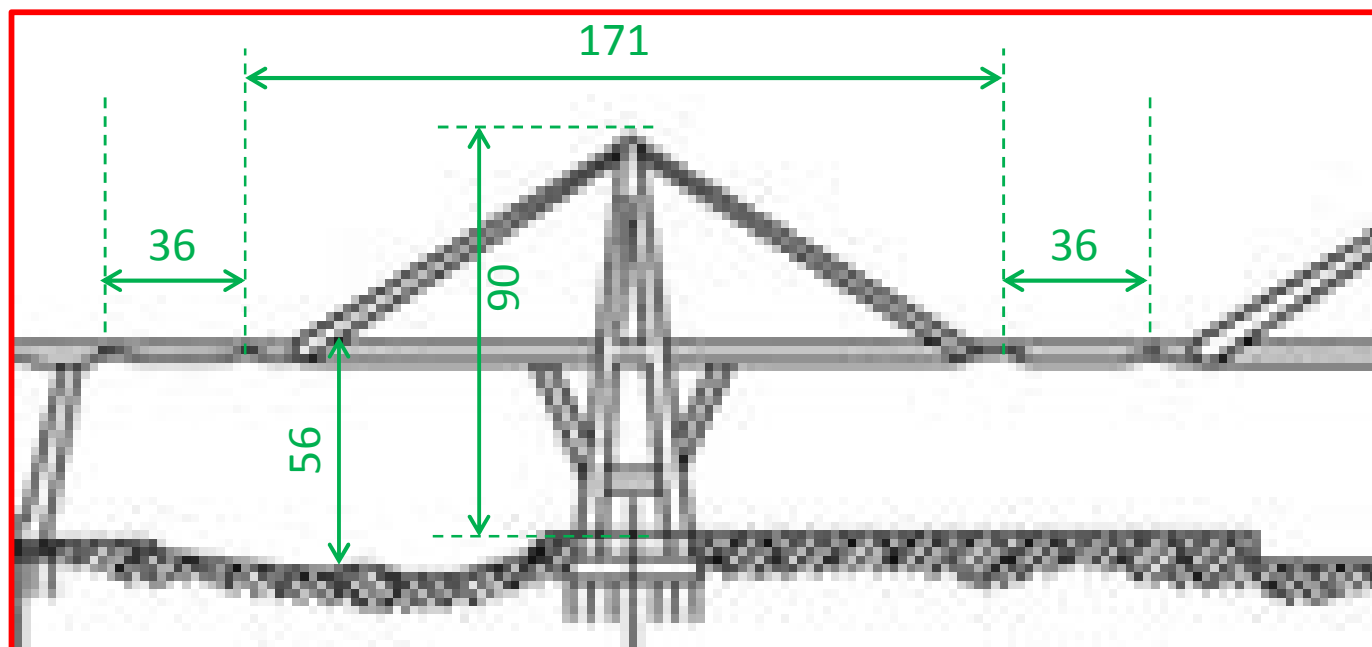
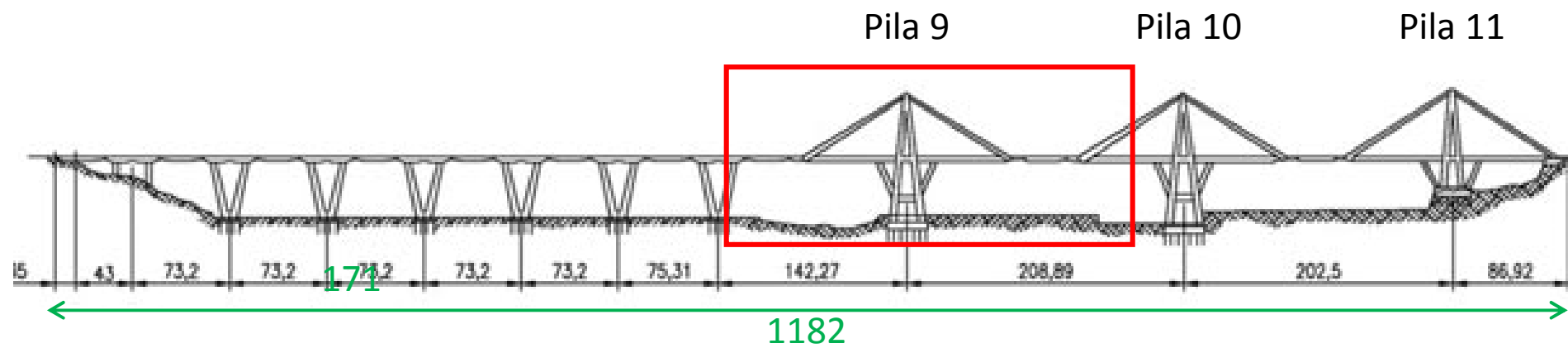
il traffico può essere



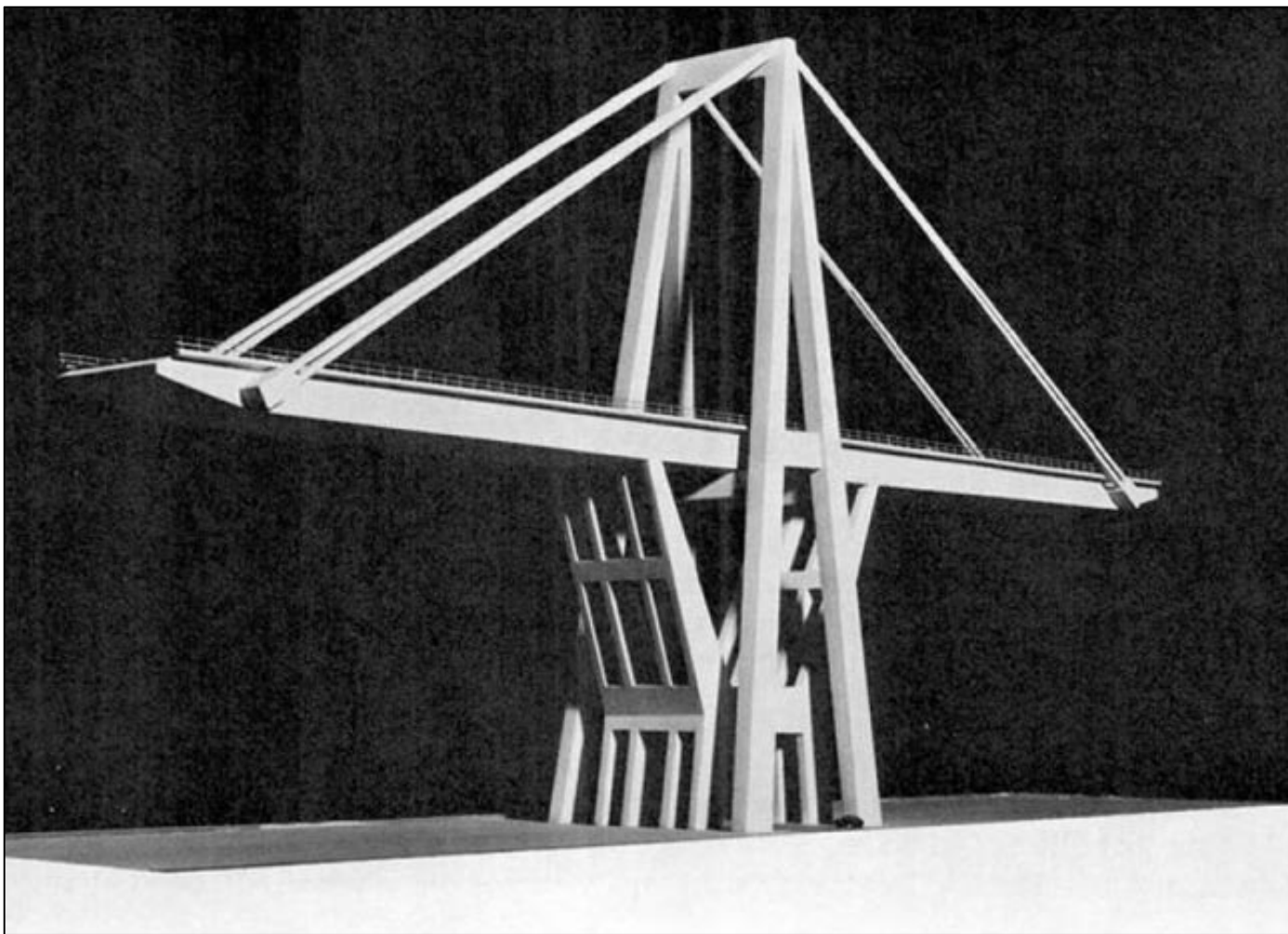
# Ponte ultimato



# Dimensioni

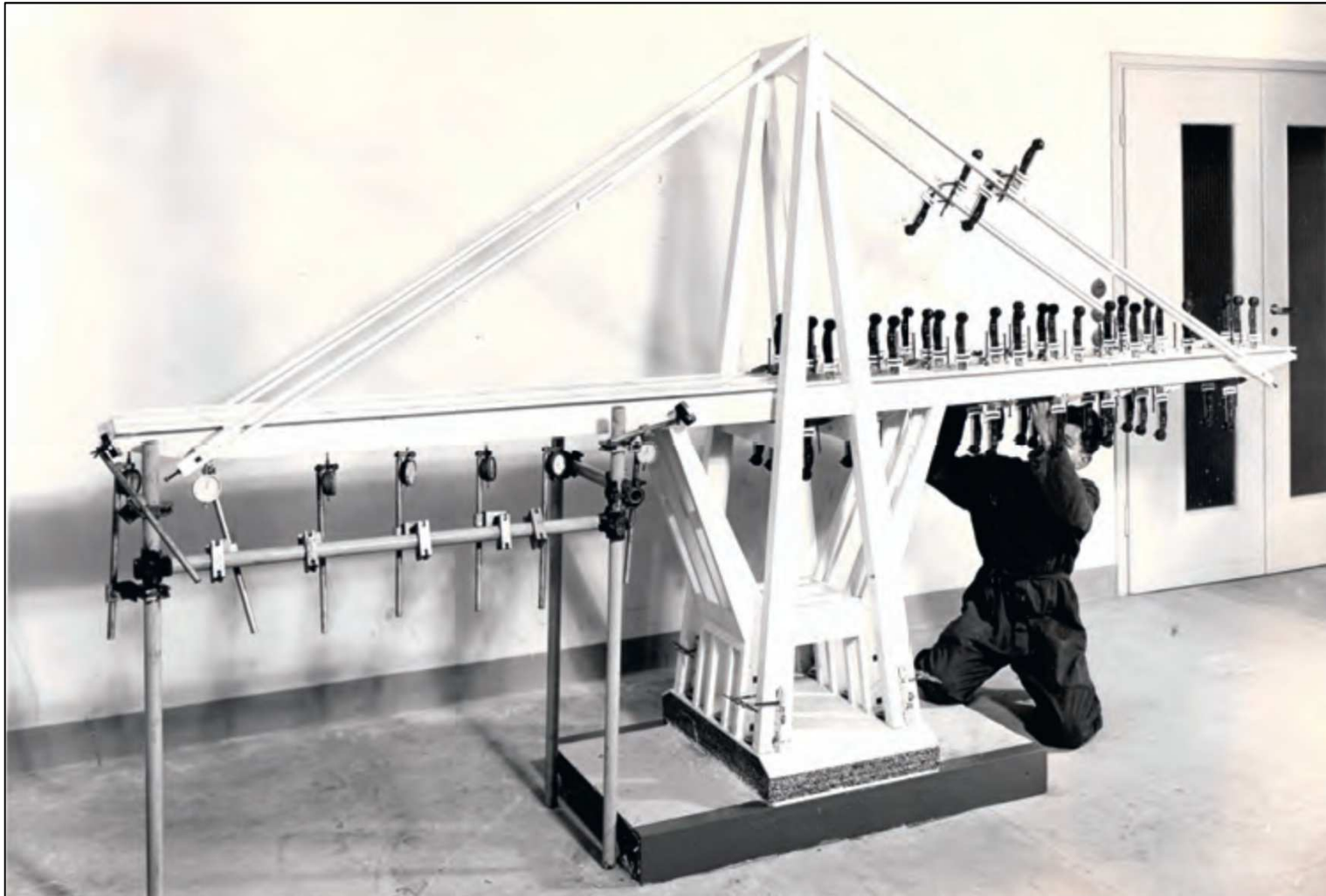


# Cavalletto inverso bilanciato (Pile 9, 10 e 11)



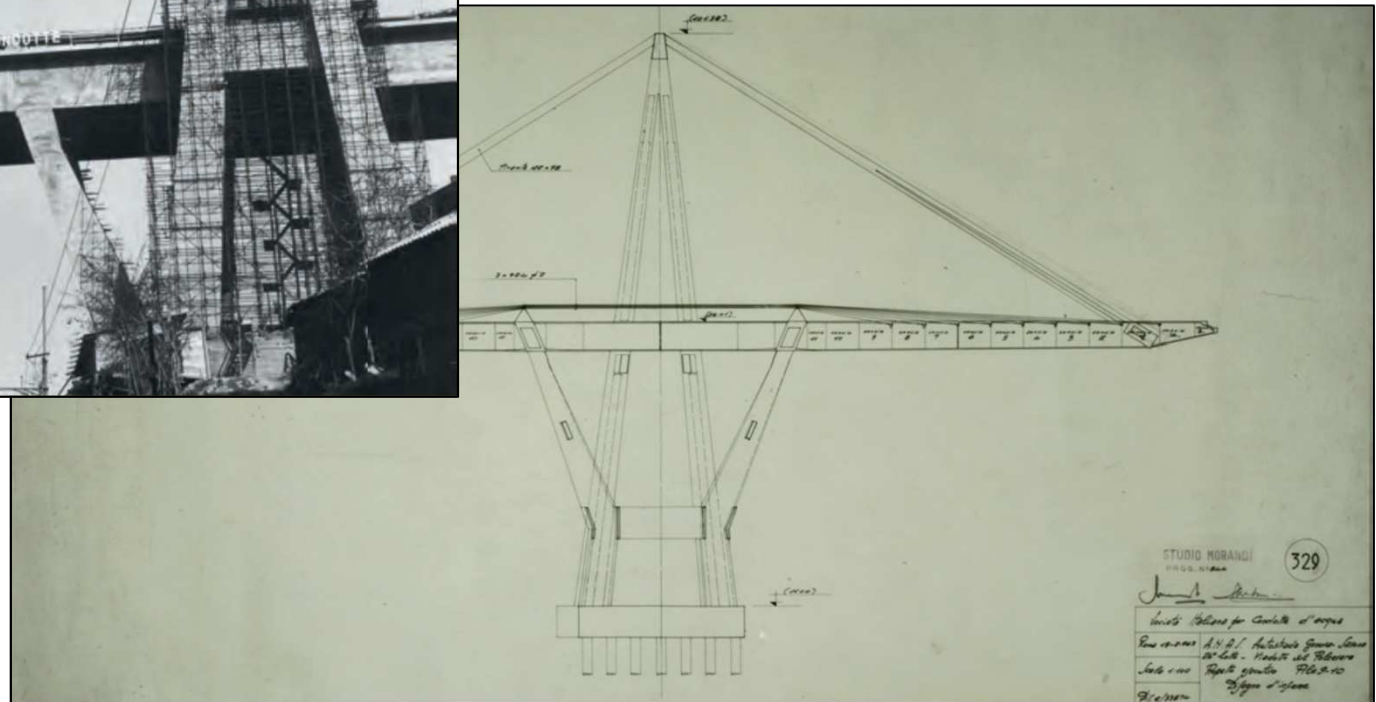
# Modello elastico in celluloido

- scala 1:50 (1962)

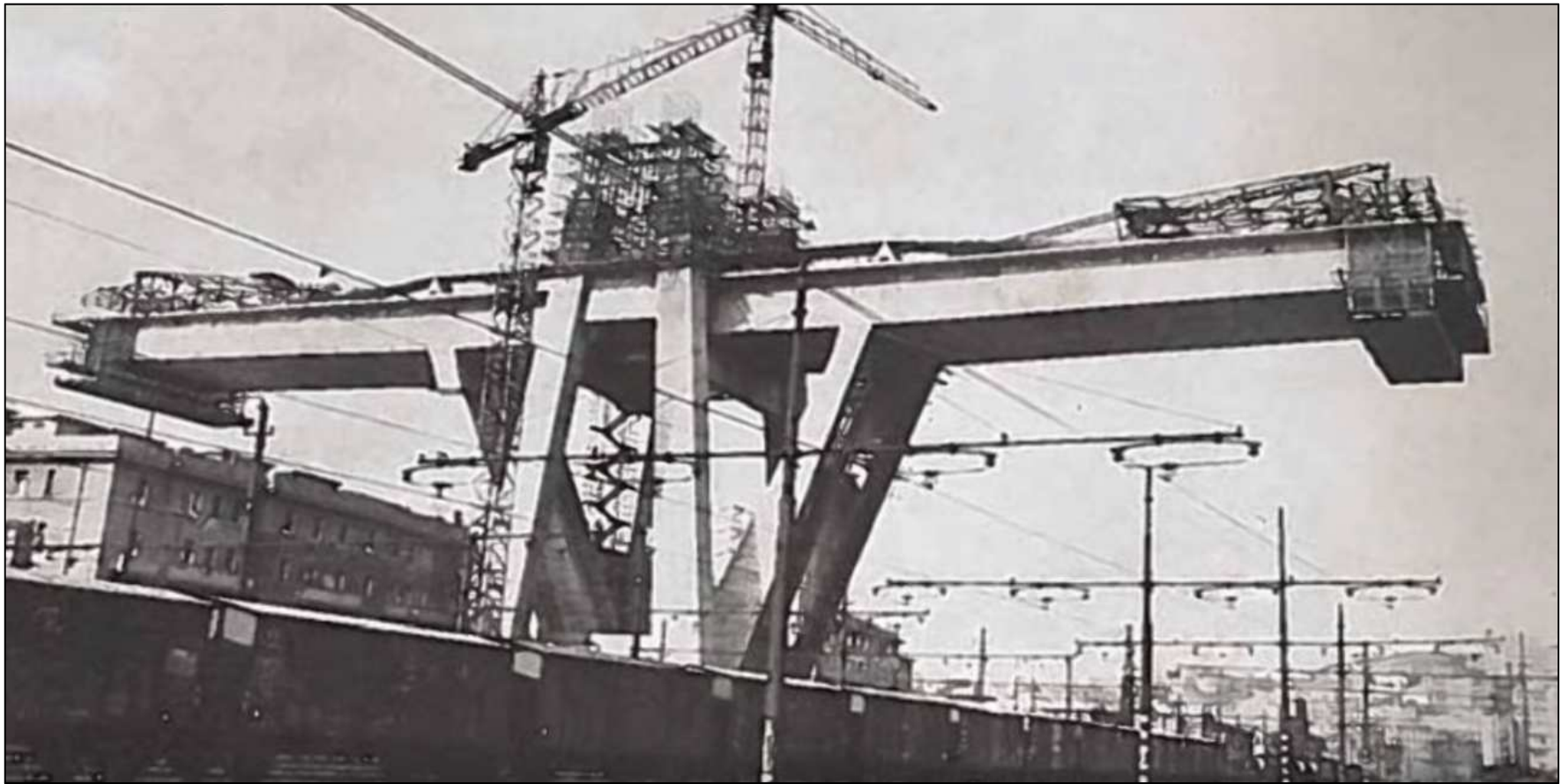




# Costruzione per conci a sbalzo



# Fasi costruttive

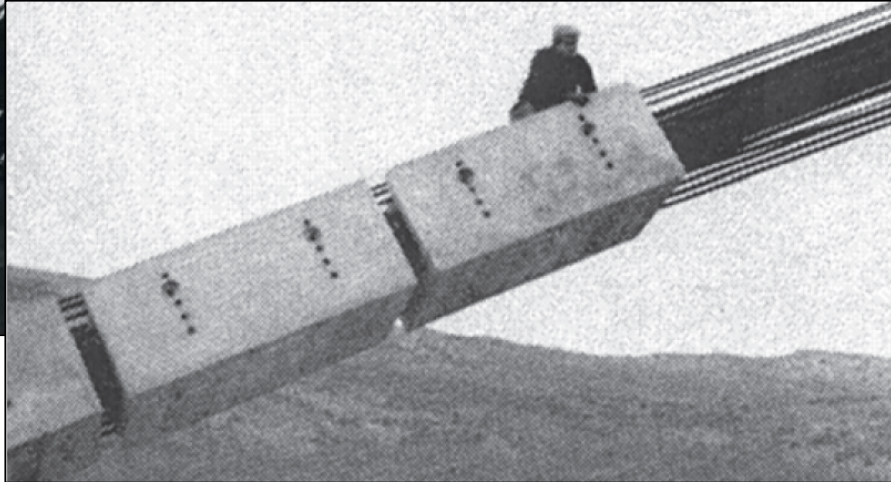
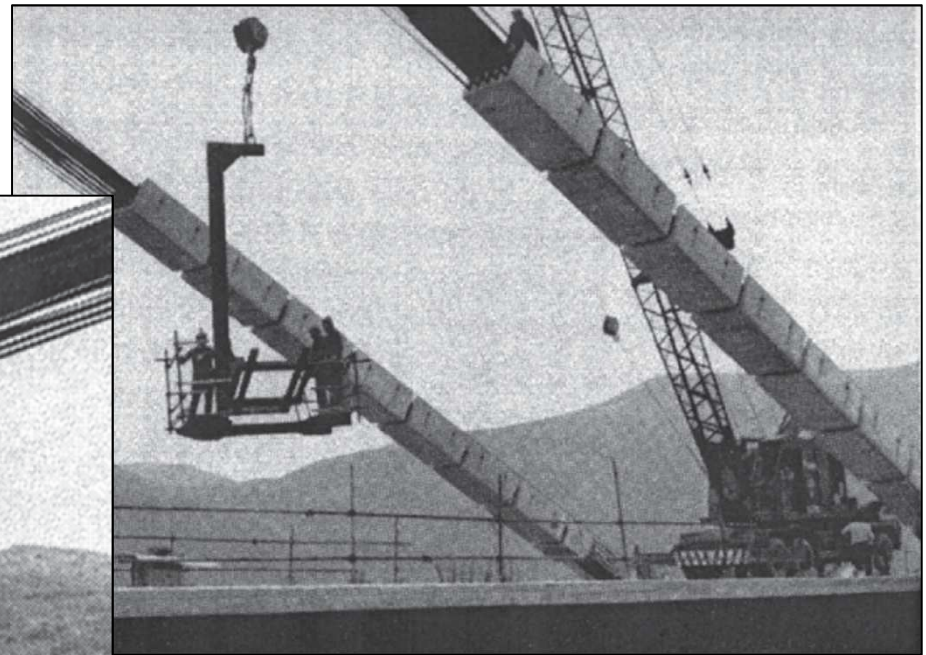
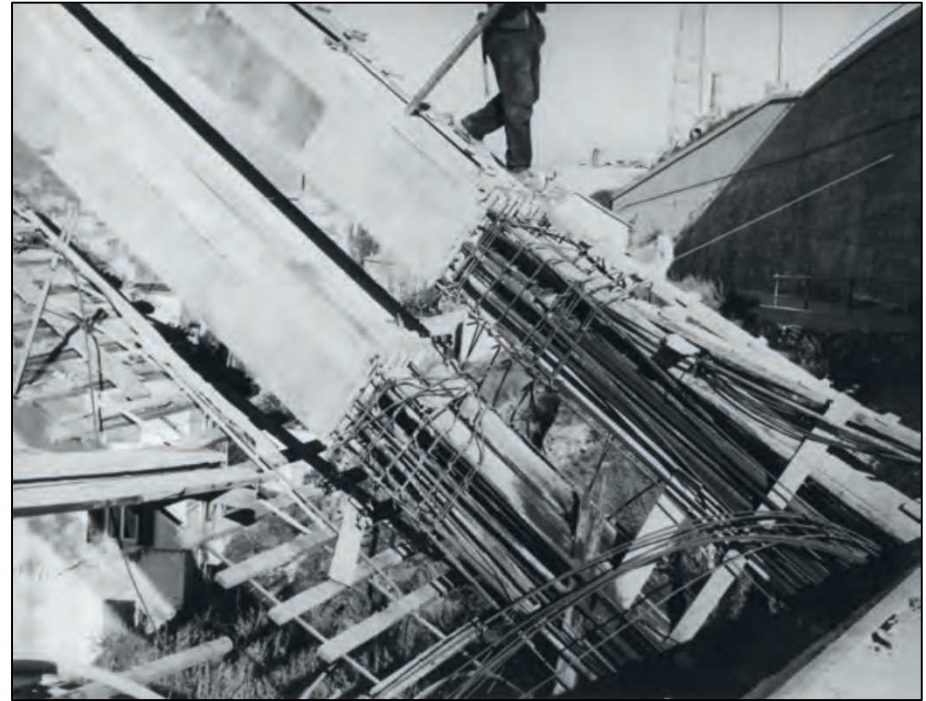


# Pile con stralli in costruzione





# Stralli in c.a.p.

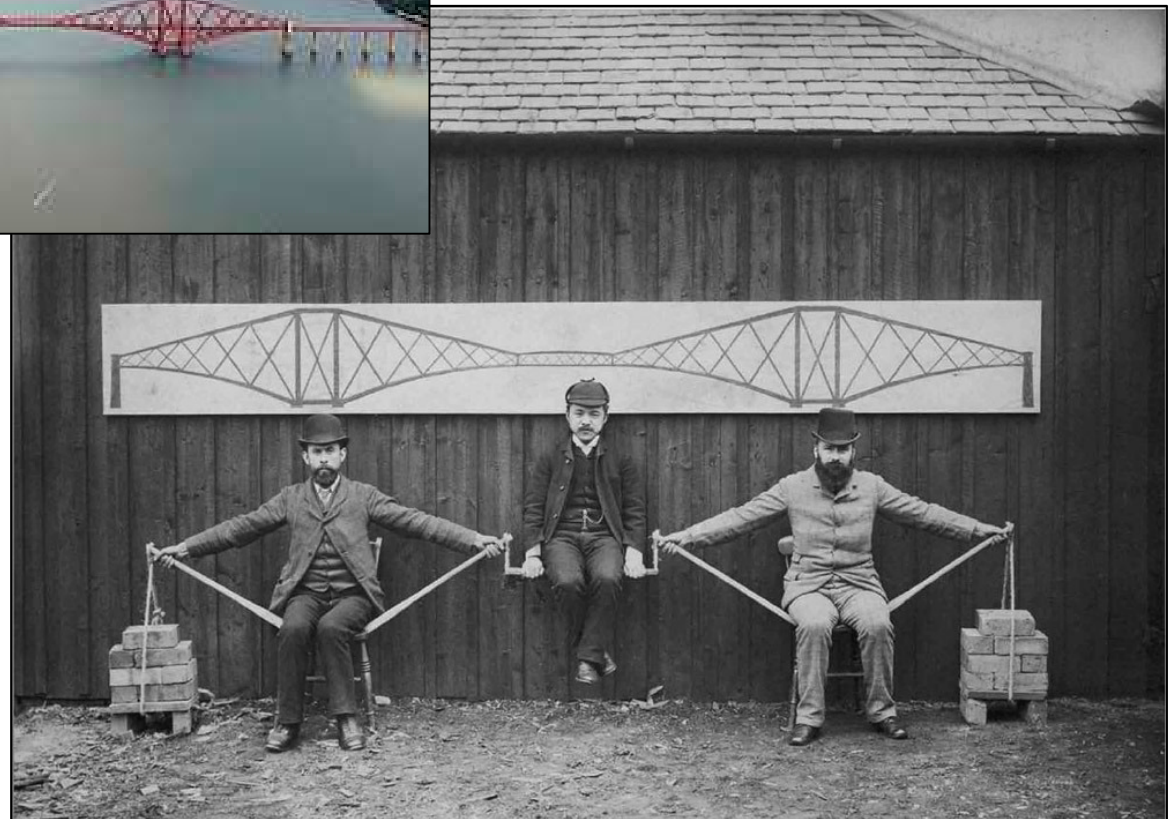




# Pile strallate ultimate

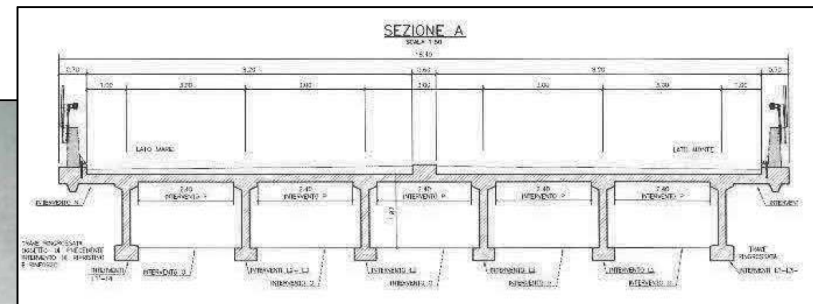
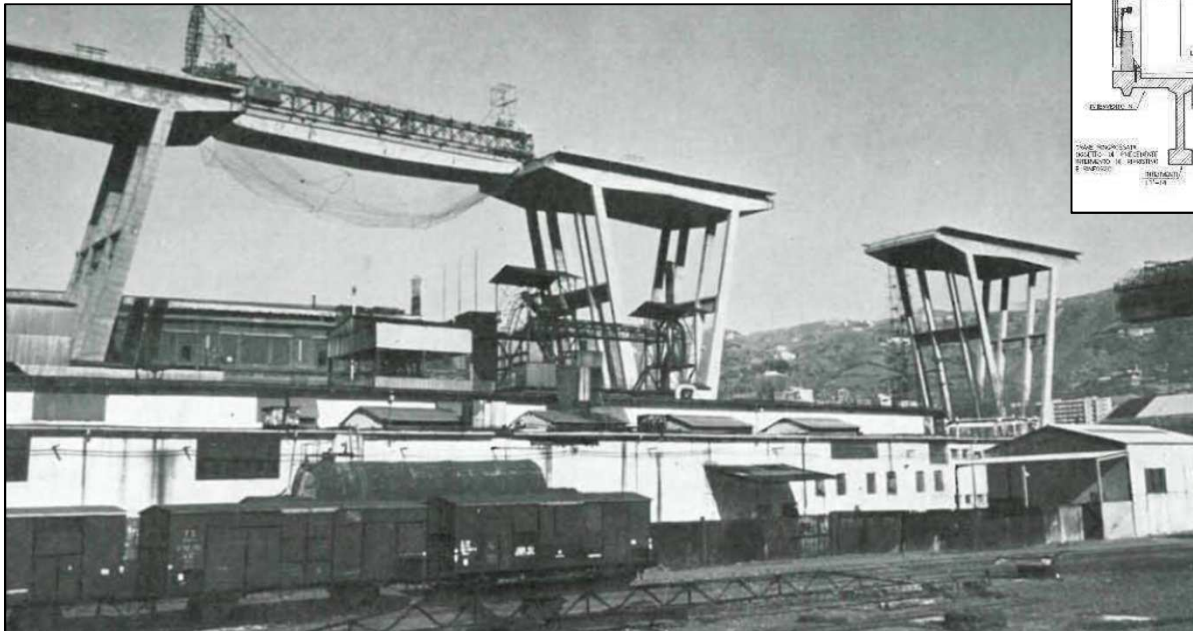
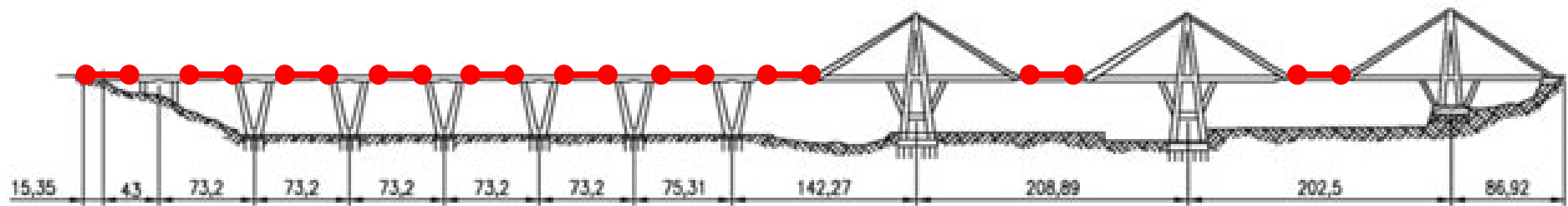


# Forth Bridge (1890)



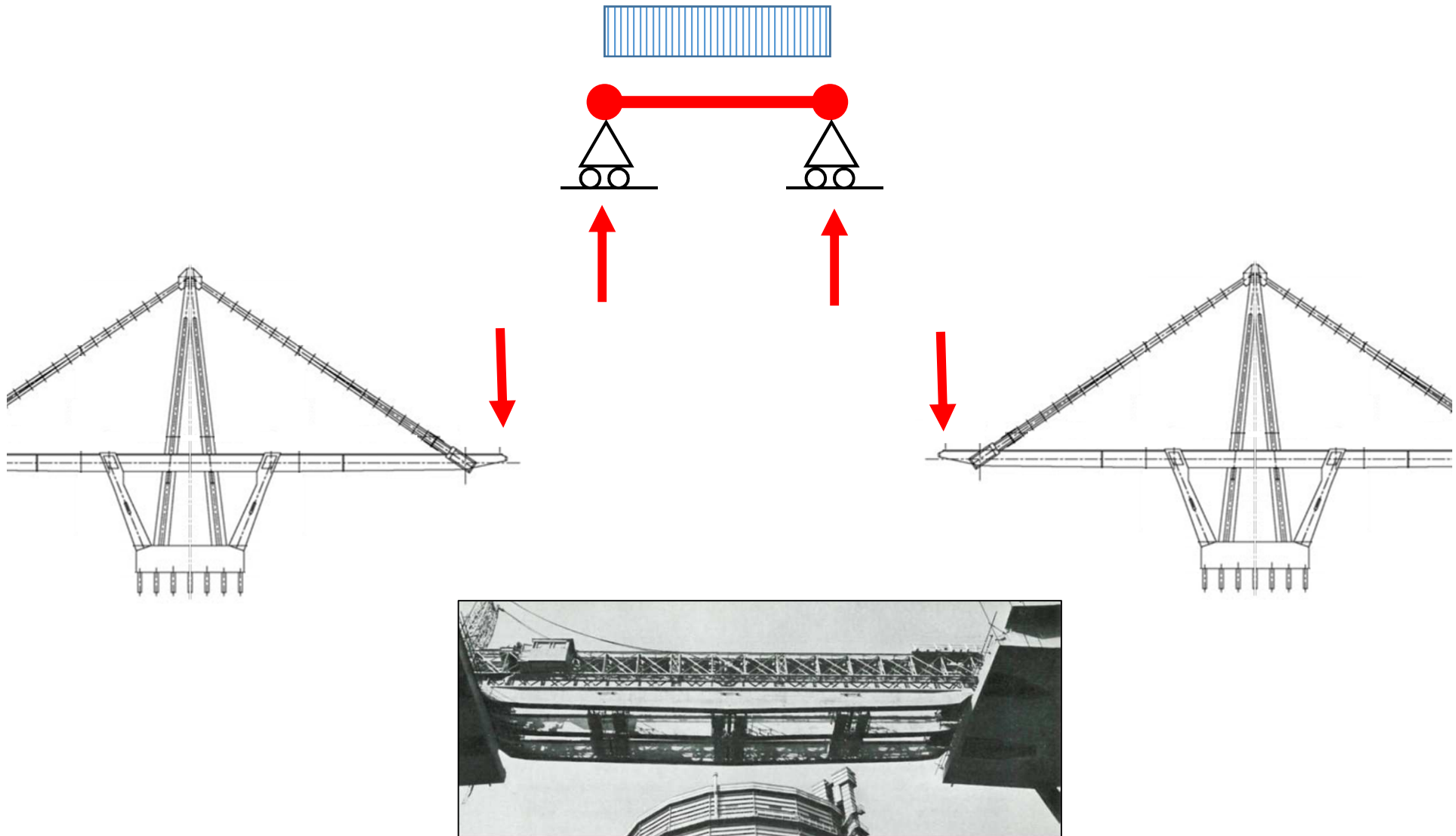
# Sistema di travi tampone su due appoggi

Travi tampone

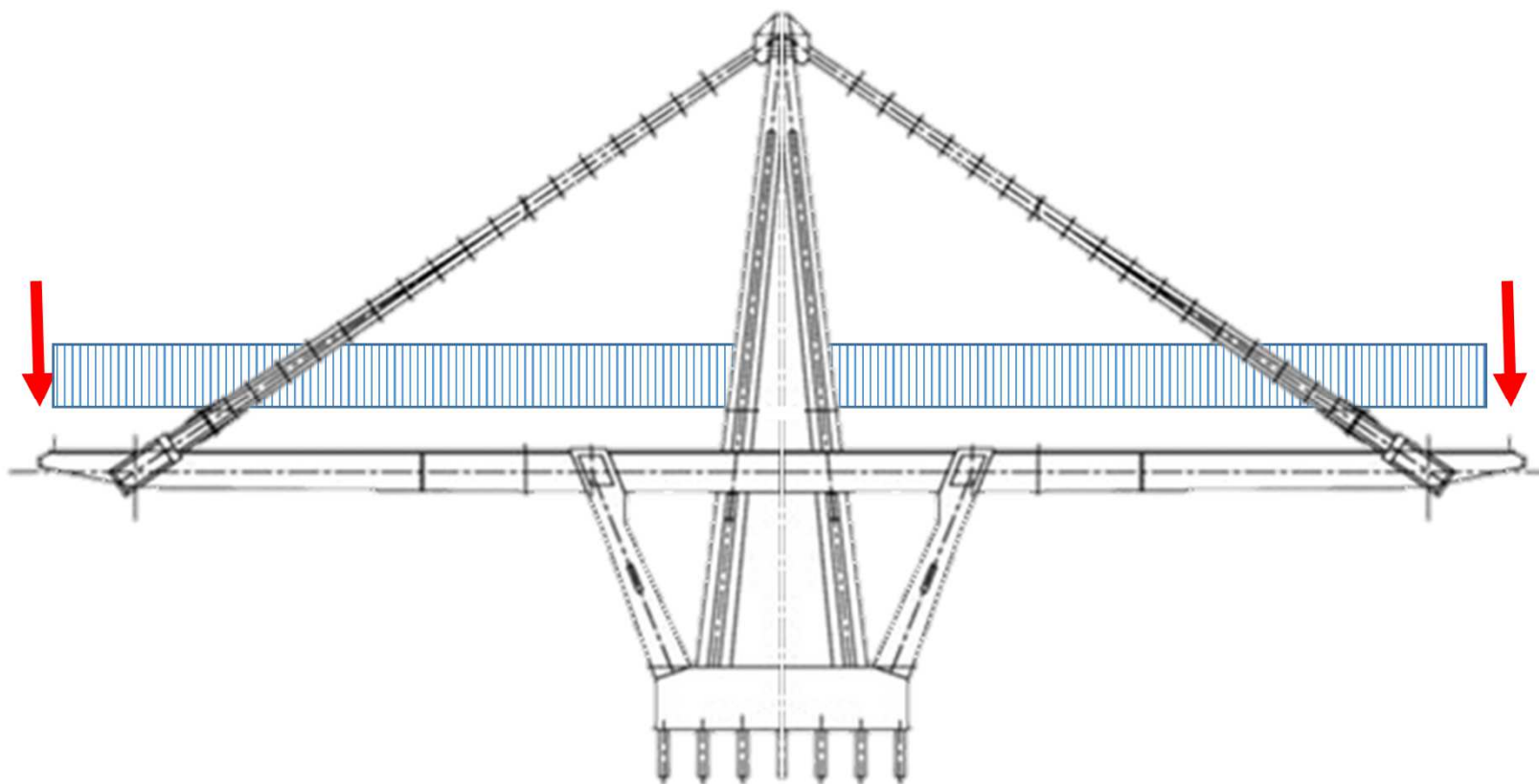


sezione

# Trave tampone su due appoggi

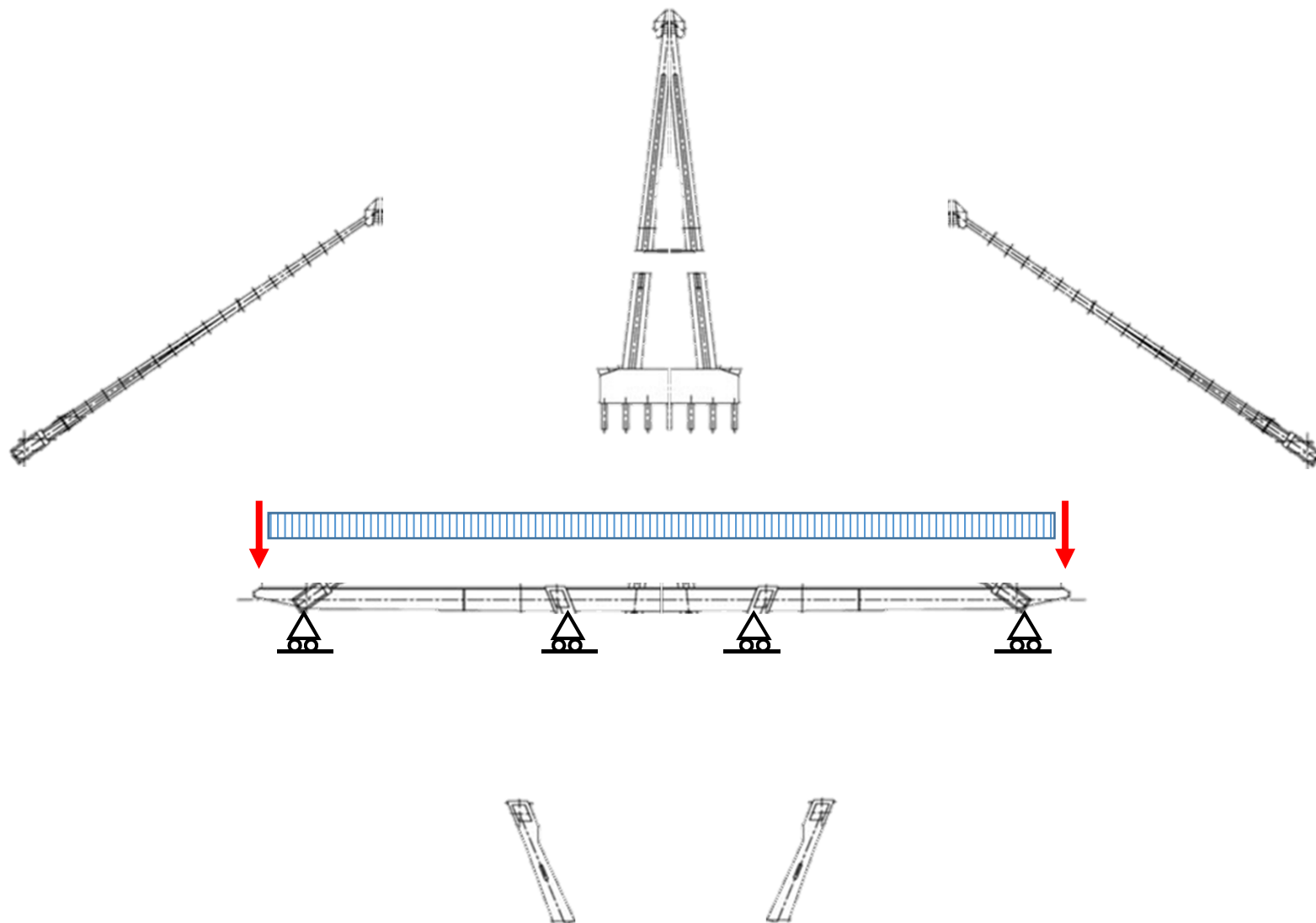


# Sistema a cavalletto inverso bilanciato

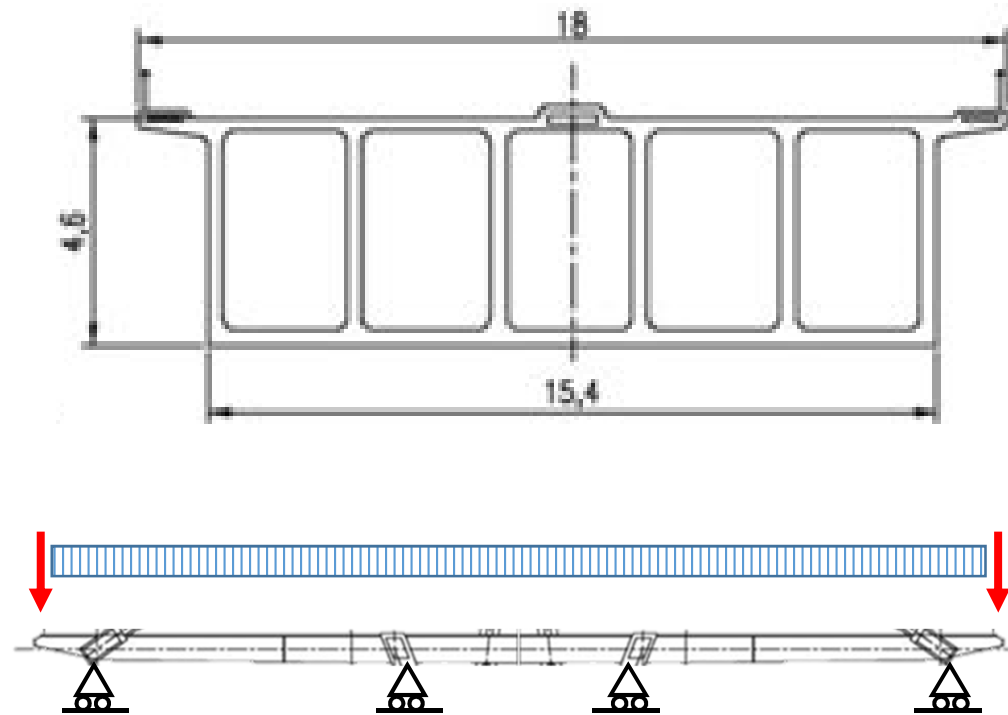




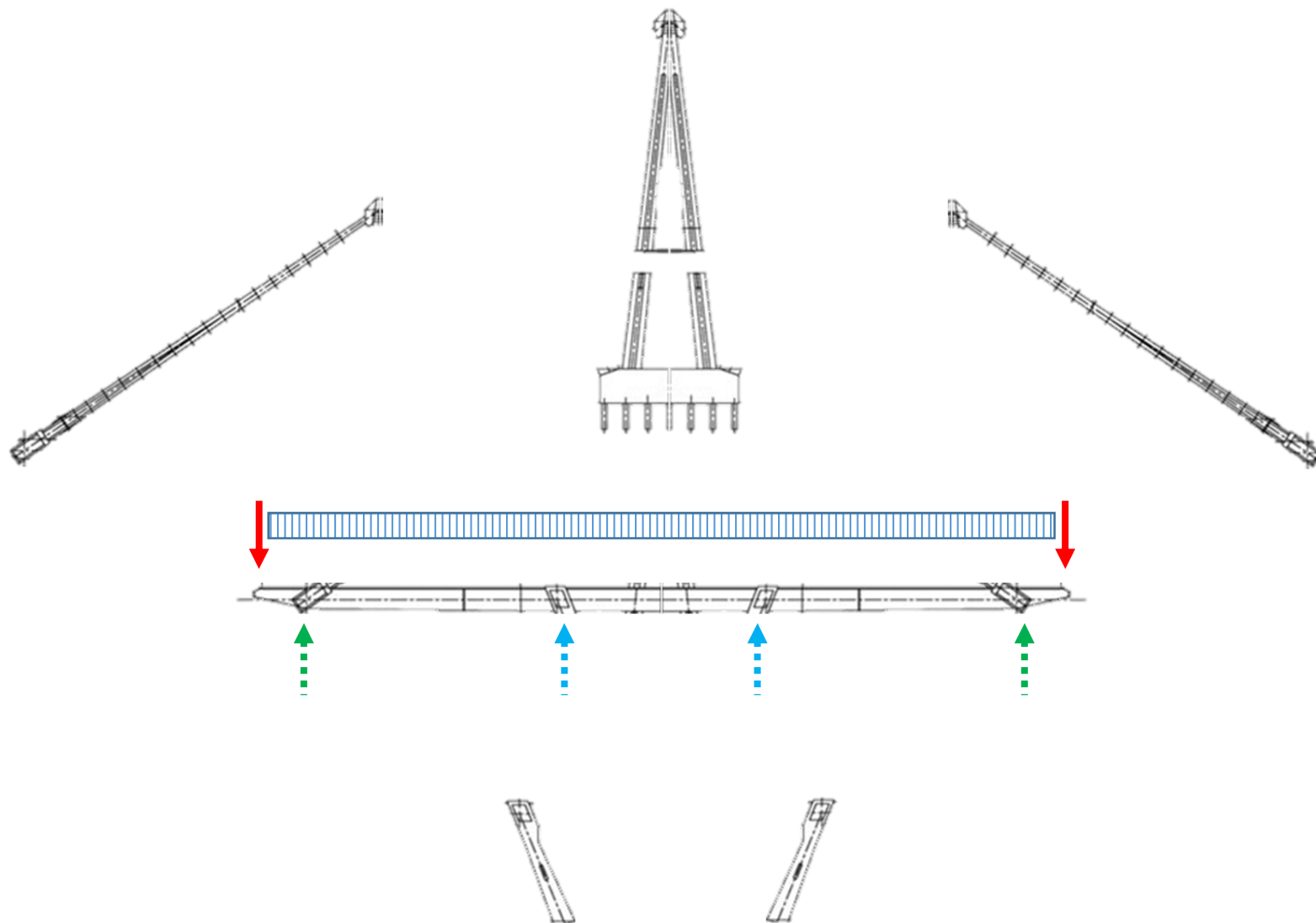
# Sistema a cavalletto inverso bilanciato



# Sezione del cassone pluricellulare

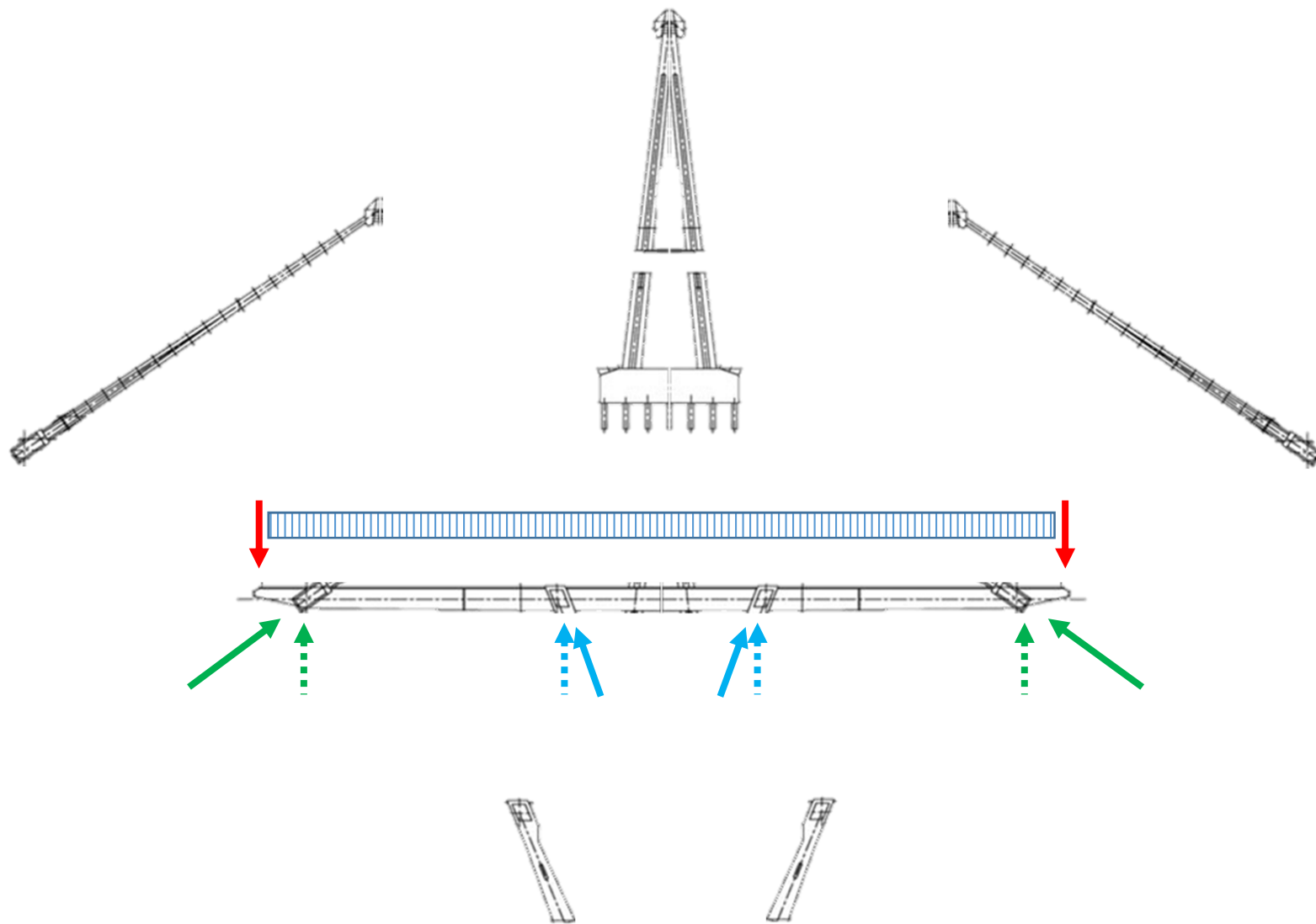


# Sistema a cavalletto inverso bilanciato

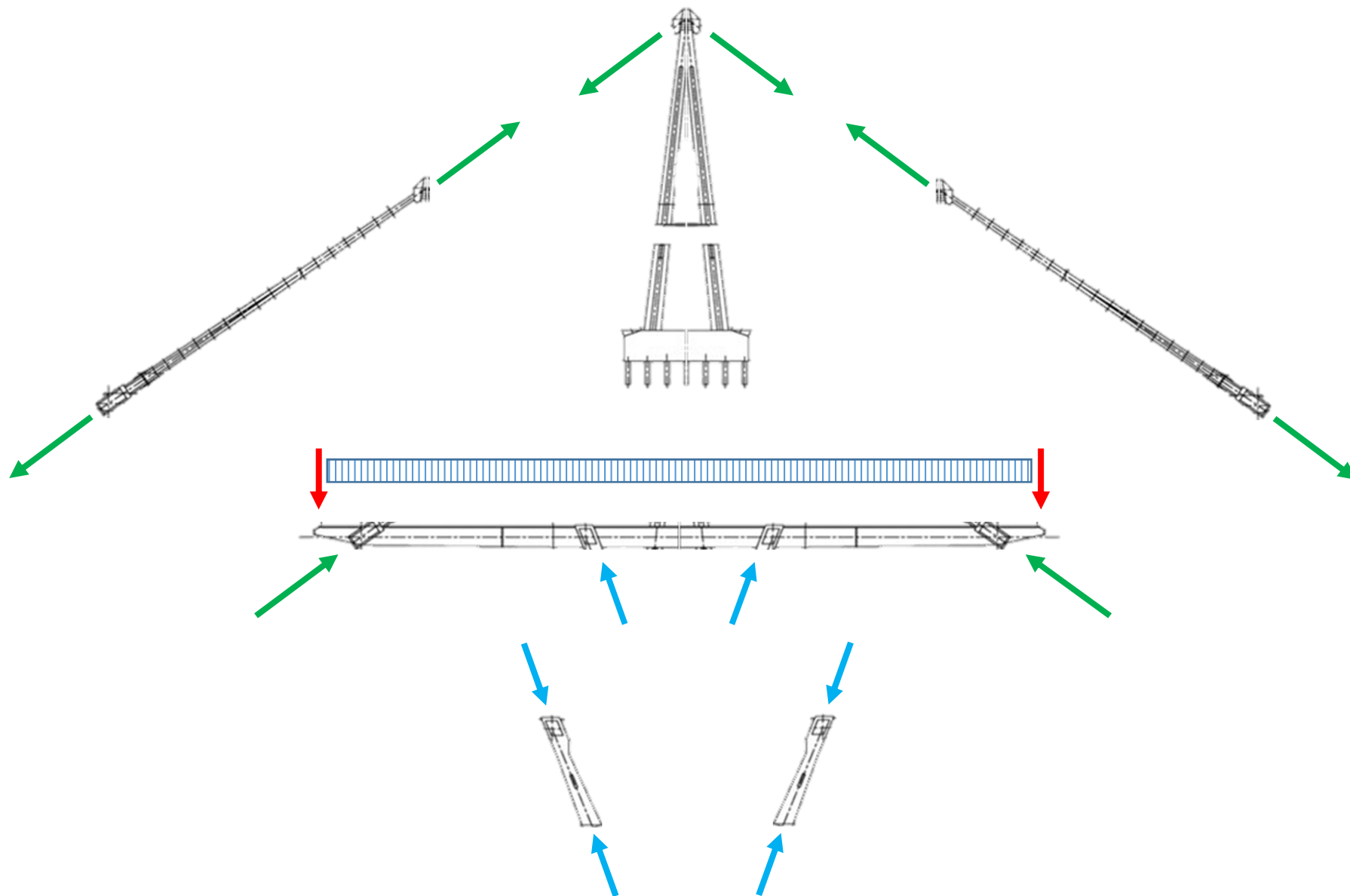




# Sistema a cavalletto inverso bilanciato



# Sistema a cavalletto inverso bilanciato



# La pila 9 crollata



# Relazione commissione ministeriale



**Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti**  
**Commissione Ispettiva Ministeriale**

(D.M. n. 386 del 14/08/2018 – D.M. n. 387 del 27/08/2018 – D.M. 392 del 05/09/2018)

**Comune di Genova**  
**Autostrada A10 - crollo del Viadotto Polcevera**  
**Evento accaduto il 14 agosto 2018**

**Coordinatore**  
Ing. Alfredo Principio Mortellaro   
Consigliere Consiglio Superiore dei LL.PP.

**Membri**  
Ing. Gianluca Ievolella   
Consigliere Consiglio Superiore dei LL.PP.  
Dott. Francesco Lombardo   
Consigliere della Corte dei Conti  
Prof. Ing. Camillo Nuti   
Professore ordinario in Tecnica delle Costruzioni dell'Università degli studi "Roma Tre"  
Prof. Ing. Ivo Vanzi   
Professore ordinario in Tecnica delle Costruzioni Università degli studi "G. d'Annunzio" Chieti – Pescara

Roma, 14 settembre 2018

# Sintesi

1. Controllo basato sulla redazione di schede di ispezione è inefficace se non complementato da valutazioni quantitative effettuate da un ingegnere.
2. La valutazione secondo OPCM 3274/2003, obbligatoria, non è mai stata effettuata.
3. Le ispezioni, pur qualitative, mostravano uno stato di degrado preoccupante e crescente, con presenza di cavi rotti nelle travi degli impalcati.
4. Nel progetto di «retrofitting» del 2017, emergevano verifiche a taglio con rapporto capacità-domanda  $C/D = 0.58$  e verifiche a flessione con  $C/D = 0.71$ .
5. Non sono conseguiti né stati previsti interventi diffusi (solo pochi elementi).
6. Non è documentata alcuna cura affinché l'installazione dei carriponte non provocasse il taglio di armature.
7. La prima ipotesi di collasso è la rottura a taglio in un appoggio della trave tampono.
8. Il 98% degli investimenti strutturali è antecedente al 1999 (e alla concessione).

# Interventi

## PRIMA DELLA CONCESSIONE

**1981-96:** risanamento corticale, rifacimento smaltimento acque, creazione botole di ispezione

**1986-93:** rinforzo bulbo inferiore delle travi tamponi, ripristino intradosso del cassone, barriere NJ bordo-ponte, appoggi mobili, appoggi fissi, passi d'uomo per ispezione, demolizione e rifacimento sbalzi dell'impalcato, rinforzo nodo soletta parete verticale esterna del cassone, cavi Dyform per rinforzo soletta inferiore del cassone della pila 9.

**1992-96:** nuovi stralli pila 11, rinforzo collegamento stralli antenna, campagna sistematica sui materiali che mette in luce cattivo stato di conservazione dei cavi di precompressione e degli stralli

## DOPO LA CONCESSIONE

**2008-09:** sostituzione NJ

**2009:** sostituzione giunti impalcato

**2009-10:** ripristino di solette della spalla per sfondamenti

**2014-15:** rimozione del carro-ponte

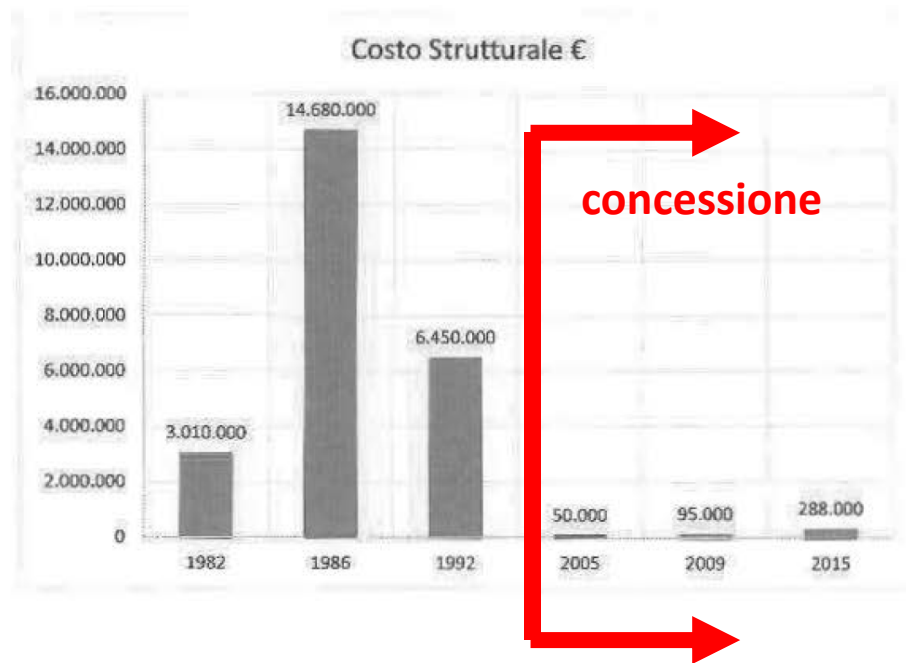
**2015-16:** rinforzo trave di bordo lato mare con precompressione esterna

**2014-18:** sostituzione NJ, integrazione armatura estradossale della soletta all'attacco degli stralli, installazione elementi di protezione dell'attacco degli stralli, installazione rete di NJ con mancorrente e rete di contenimento

**2015-18** installazione nuovo carroponte

**2018:** presidi gravitativi per evitare la caduta dei NJ in caso di urto

# Investimenti strutturali e non

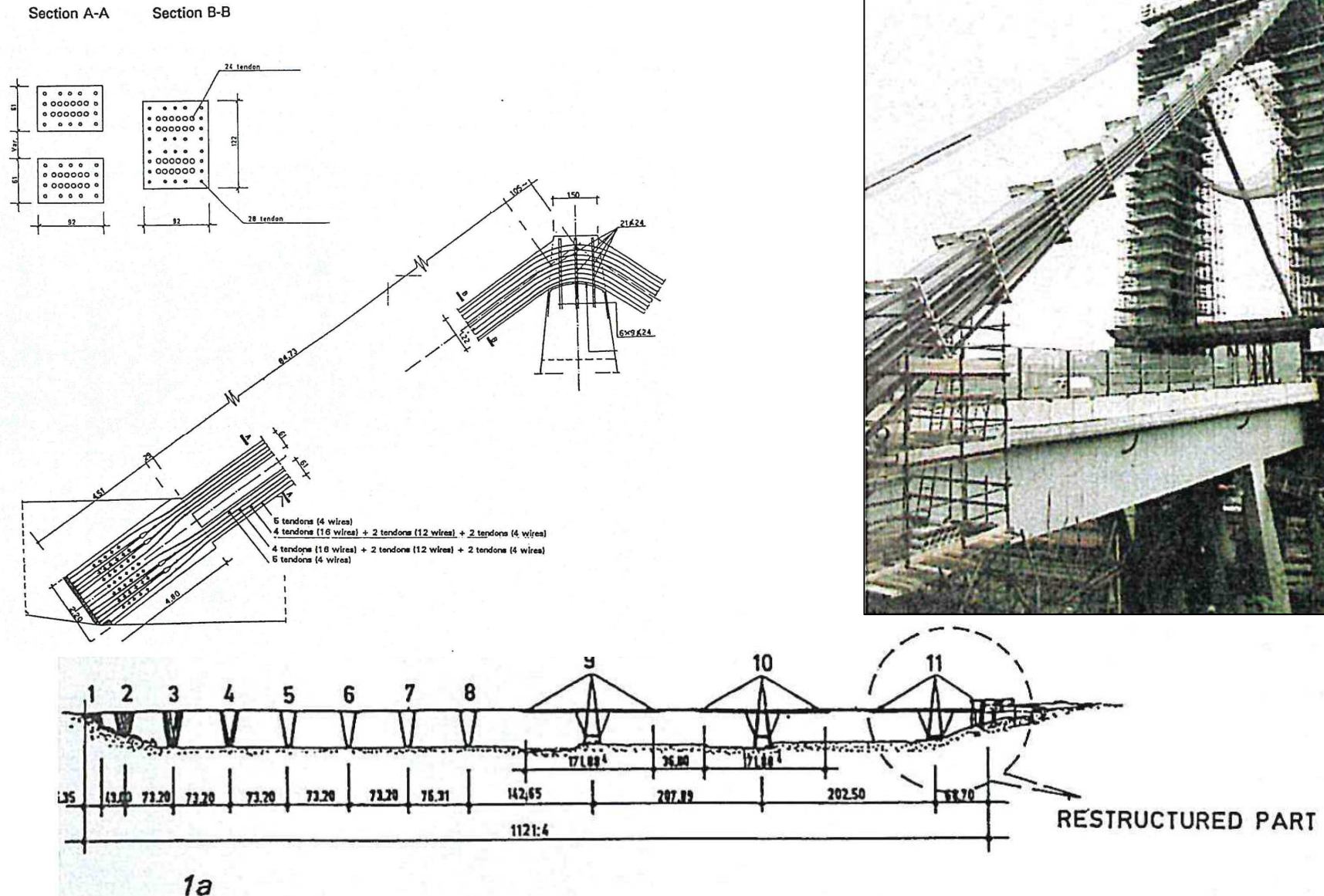


# Investimenti strutturali

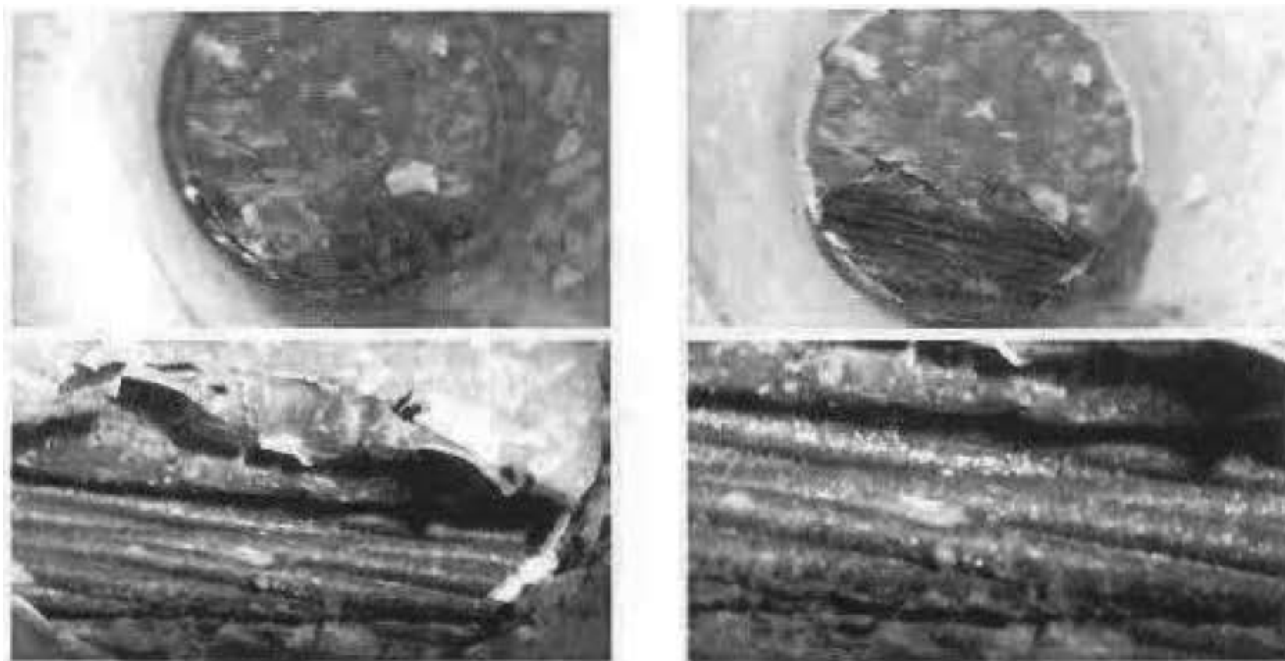
| N° | Anno | Non<br>strutturale<br>€ | cumulato<br>non<br>strutturale<br>€ | Strutturale<br>€ | cumulato<br>strutturale<br>€ | costo<br>cumulato<br>€ | Tipo | Oggetto   |
|----|------|-------------------------|-------------------------------------|------------------|------------------------------|------------------------|------|---|
| 1  | 1982 |                         |                                     | 3.010.000        | 3.010.000                    | 3.010.000              | S    | manutenzione<br>ordinaria sulle pile  |
| 2  | 1986 |                         | 0                                   | 14.680.000       | 17.690.000                   | 17.690.000             | S    | posa new Jersey /<br>rifacimento sbalzi<br>/appoggi /entone e<br>stralli/ sostituzione<br>cavi soletta pila 9 /<br>rinforzo nodo / soletta<br>pareti di bordo sui<br>cassoni delle pile |
| 3  | 1992 |                         | 0                                   | 6.450.000        | 24.140.000                   | 24.140.000             | S    | retrofitting stralli pila<br>11   |
| 4  | 2005 |                         | 0                                   | 50.000           | 24.190.000                   | 24.190.000             | S    | manutenzione camere<br>e tesatura cavi pila 11  |
| 5  | 2006 | 28.000                  | 28.000                              |                  | 24.190.000                   | 24.218.000             | NS   | inst. passerella<br>metallica sp Glt w<br>pila 11   |
| 6  | 2009 | 264.000                 | 292.000                             |                  | 24.190.000                   | 24.482.000             | NS   | riqualifica new jersey<br>spartitraffico  |
| 7  | 2009 | 37.500                  | 329.500                             |                  | 24.190.000                   | 24.519.500             | NS   | interventi su 6 linee di<br>giunto  |
| 8  | 2009 |                         | 329.500                             | 95.000           | 24.285.000                   | 24.614.500             | S    | ripristino soletta<br>spalla lato SV  |
| 9  | 2012 | 284.000                 | 613.500                             |                  | 24.285.000                   | 24.898.500             | NS   | rimozione carro ponte   |
| 10 | 2015 |                         | 613.500                             | 288.000          | 24.573.000                   | 25.186.500             | S    | ripristino<br>precompressione travi   |
| 11 | 2016 | 3.901.000               | 4.514.500                           |                  | 24.573.000                   | 29.087.500             | NS   | sostituzione barriera<br>new jersey   |
| 12 | 2016 | 2.819.000               | 7.333.500                           |                  | 24.573.000                   | 31.906.500             | NS   | installazione carro<br>ponte  |
| 13 | 2016 | 1.380.000               | 8.713.500                           |                  | 24.573.000                   | 33.286.500             | NS   | carichi gravitativi   |



# Stralli esterni aggiuntivi nella pila 11 (1993)



# Progetto esecutivo di «retrofitting» (2017)



Basato sull'ipotesi, probabilmente ottimistica, di stato di corrosione dei cavi al 20%.

# Travi tampone

Verifiche a taglio

|   | SEZIONI DI VERIFICA | $V_{sd}$<br>[kNm] | $V_{rd}$<br>[kNm] | $F_s$ |
|---|---------------------|-------------------|-------------------|-------|
| STATO<br>ATTUALE<br>(INTEGRA)<br>COND 1 | 0,35-1,30           | 1127              | 1062              | 0,94  |
|   | 1,3                 | 1127              | 1043              | 0,93  |
|   | 3,5                 | 1172              | 1121              | 0,96  |
|   | 9,0                 | 1015              | 1248              | 1,23  |
| STATO<br>ATTUALE<br>(DANNO)<br>COND 2   | 0,35-1,30           | 1783              | 1062              | 0,60  |
|   | 1,3                 | 1783              | 1043              | 0,58  |
|   | 3,5                 | 1354              | 1121              | 0,83  |
|   | 9,0                 | 1031              | 1248              | 1,21  |

Verifiche a flessione

|                        | $M_{sd}$<br>[kNm] | $M_{rd}$<br>[kNm] | $F_s$ |
|------------------------|-------------------|-------------------|-------|
| CASO 1-trave integra   | 20339             | 20553             | 1,01  |
| CASO 3-trave degradata | 20339             | 16173             | 0,80  |
| CASO 2-trave integra   | 20339             | 18901             | 0,93  |
| CASO 4-trave degradata | 20339             | 14438             | 0,71  |

# Considerazioni della commissione

La Commissione ritiene che le previsioni del Progettista fossero addirittura ottimistiche, nonostante avessero dimostrato l'insufficienza del ponte a sostenere i carichi di norma. Le strutture tecniche di ASPI e tutta la sua organizzazione non sono stati in grado di cogliere la gravità della situazione presentata dal progettista né di tener conto degli esiti delle verifiche condotte dal Progettista.

Anche la situazione valutata dal progettista era tale che, secondo più dettati normativi e convenzionali, oltre che per normale buon senso, avrebbe dovuto comportare l'adozione di misure immediate per la tutela dell'utenza e delle stesse opere .

# Indagini sugli stralli

1992

Dall'analisi visiva dello stato degli stralli delle pile 9 e 10, è apparso che la maggior parte delle guaine indagate non erano iniettate, i trefoli mostravano estese corrosioni, e alcuni cavi presentavano trefoli laschi. Per quanto riguarda gli stralli della la pila 11, in corrispondenza della testa dell'antenna, erano stati individuati rilevanti deterioramenti dei trefoli, con fortissime corrosioni, la rottura di molti elementi, e una generale assenza di iniezione delle guaine.

2015

*“- la guaina è apparsa ossidata;*

*- l'iniezione è assente;*

*- sono stati visti 3 dei 4 trefoli che si muovono con facilità facendo leva con uno scalpello;*

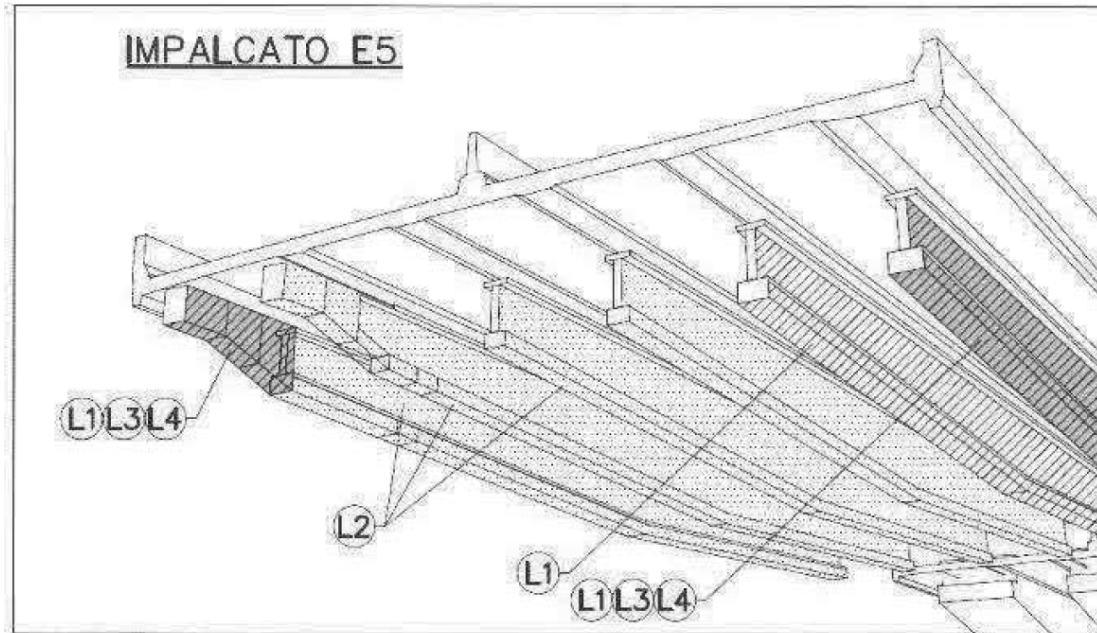
*- i fili dei trefoli sono ossidati.”*

2017

*“- Le deformate dei modi globali osservate in ambedue i sistemi bilanciati presentano un'evidente mancanza di simmetria longitudinale (lato Nord vs. lato Sud) e trasversale (lato Genova vs. lato Savona), relativamente al comportamento degli stralli in c.a.p. Tale mancanza di simmetria, che si palesa attraverso spostamenti modali abbastanza diversi dei 4 stralli nell'ambito della medesima deformata modale è certamente da ascrivere a differenze nelle caratteristiche meccaniche e nell'azione di tiro degli stralli. In particolare, appare probabile, a parere di chi scrive, che le differenze osservate siano riconducibili ad una differente pre-sollecitazione residua nei 4 tiranti in c.a.p. generata, ad esempio, da possibili fenomeni di corrosione nei cavi secondari, difetti di iniezione, ecc.;*



# Indagini sulle travi tampono



Tutte le indagini hanno costantemente messo in evidenza, durante tutto l'arco temporale di riferimento, una generale evoluzione peggiorativa dello stato di degrado e dissesto degli elementi strutturali.

Nei casi più significativi, l'evoluzione dei fenomeni risulta documentata dal notevole stato di deterioramento dei principali elementi strutturali, con rottura dei materiali, degrado di precedenti interventi di rinforzo, corrosione delle armature e dei cavi di precompressione.



# Obbligo verifiche di sicurezza OPCM/2003

Nella risposta del 13 dicembre 2016, la Società comunica di aver ispezionato tutte le opere d'arte presenti sulla rete, e che *non ci sono opere d'arte che presentano una situazione di criticità per la rete autostradale*. Il 23 giugno 2017 la Società comunica che sono state completate tutte le valutazioni di sicurezza ai sensi dell'O.P.C.M. 3274/2003, e non menziona criticità.

[...]

Tuttavia, questa Commissione ha richiesto ad Autostrade per l'Italia, nelle comunicazioni scritte dell'agosto e settembre 2018, la valutazione di sicurezza ai sensi della 3274/2003, ma non lo ha ricevuto. Ha ribadito la propria richiesta nel corso dell'audizione del personale di Autostrade per l'Italia, tenutasi il 31 agosto 2018 presso il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ed ha appreso che, contrariamente a quanto affermato nella comunicazione del 23 giugno 2017 della Società alla struttura di vigilanza, tale documento non esiste, non essendo stata eseguita la valutazione di sicurezza del viadotto Polcevera.

# Considerazioni sulle ispezioni

## 5. IMPALCATI-SBALZI:

- visita ispettiva del 22/12/2006 difetto n.1 (Ferri tranciati a causa di cedimento soletta - ultima campata SV (dove avvenuto cedimento) - ubicazione: localizzato (2 m)): difetto con voto assegnato pari a 40, assolutamente non coerente con il danno rilevato; a parere della Commissione sarebbe stato opportuno assegnare una votazione pari a 70, così come evidenziato nel Manuale ASPI a pag 53/149 di cui si è sopra riportato uno stralcio. Anche in questo caso si sarebbe intervenire con *“provvedimenti immediati (...)”* (pag.50/149 del Manuale).

---

***“VOTO 70 "DIFETTO ALLO STATO AVANZATO, HA INFLUENZA SULLA STATICA E RIDUCE IL COEFFICIENTE DI SICUREZZA”***

***• riduzione sezione armatura di precompressione (fili rotti).....(...)”***

In tal caso, con una votazione pari a 70 si sarebbe dovuti intervenire immediatamente, come riportato a pag.50/149 del Manuale sopracitato:

*“Mentre per il voto 70 sono previsti dei provvedimenti immediati: quale limitazioni di traffico, fino alla chiusura della carreggiata, seguiti generalmente da interventi di tipo provvisorio e quindi da un intervento in somma urgenza.”*

# Schede relative alle ispezioni

| DATA<br>ISPEZIONE | ELEMENTI ANALIZZATI  |      |            |            |              |   |
|-------------------|--|------|------------|------------|--------------|---|
|                   | IMPALCATI-SOLETTE - n.48 elementi  |      |            |            |              |   |
|                   | DIFETTO  | VOTO | UBICAZIONE | ESTENSIONE | NOTE SPEA    | NOTE COMMISSIONE                                      |
| 25/06/2003        | 1 - Efflorescenze e ferri scoperti ossidati - sull'intradosso - 40% estensione   | 30   | 48         | 40         |              |   |
| 23/07/2003        | 1 - 25/06/2003<br>2 - 03/04/1996<br>3 - 28/02/1997   |      |            |            |              |   |
| 16/12/2003        | 1 - 25/06/2003<br>2 - 03/04/1996<br>3 - 28/02/1997   |      |            |            |              |   |
| 20/02/2004        | 1 - 25/06/2003<br>2 - 03/04/1996<br>3 - 28/02/1997   |      |            |            |              |   |
| 14/04/2004        | 1 - 25/06/2003<br>2 - 03/04/1996<br>3 - 28/02/1997   |      |            |            |              |   |
| 13/05/2004        | 1 - 25/06/2003<br>2 - 03/04/1996<br>3 - 28/02/1997   |      |            |            |              |   |
| 30/09/2004        | 1 - 25/06/2003<br>2 - 03/04/1996<br>3 - 28/02/1997   |      |            |            |              |   |
| 22/12/2004        | 1 - 25/06/2003<br>2 - 03/04/1996<br>3 - 28/02/1997   |      |            |            |              |   |
| 07/01/2005        | 1 - 25/06/2003<br>2 - 03/04/1996<br>3 - 28/02/1997   |      |            |            |              |   |
| 24/01/2005        | 1 - 25/06/2003<br>2 - 03/04/1996<br>3 - 28/02/1997   |      |            |            |              |   |
| 30/05/2005        | 1 - 25/06/2003<br>2 - 03/04/1996<br>3 - 28/02/1997   |      |            |            |              |   |
| 05/07/2005        | 1 - 25/06/2003<br>2 - 03/04/1996<br>3 - 28/02/1997   |      |            |            |              |   |
| 07/11/2005        | 1 - 25/06/2003<br>2 - 03/04/1996<br>3 - 28/02/1997   |      |            |            |              |   |
| 31/03/2005        | 1 - 25/06/2003<br>2 - 03/04/1996<br>3 - 28/02/1997   |      |            |            |              |   |
| 09/06/2006        | 1 - 25/06/2003<br>2 - 03/04/1996<br>3 - 28/02/1997   |      |            |            |              |   |
| 04/07/2006        | 1 - 25/06/2003<br>2 - 03/04/1996<br>3 - 28/02/1997   |      |            |            |              |   |
| 19/09/2006        | 1 - 25/06/2003<br>2 - 03/04/1996<br>3 - 28/02/1997   |      |            |            |              |   |
| 18/10/2006        | 1 - 25/06/2003<br>2 - 03/04/1996<br>3 - 28/02/1997   |      |            |            |              |   |
| 22/12/2006        | 1 - 25/06/2003<br>2 - 03/04/1996<br>3 - Anomalo abbassamento della soletta con vibrazioni a seguito cedimento parziale sede d'appoggio sottostante - CEDIMENTO RIPRISTINATO - Ubicazione: ultima campata SV - Estensione: 20 % | 43   | 1          | 5          | DA SEGNALARE | CEDIMENTO RIPRISTINATO MA COMUNQUE GLI STESSI VALORI? |



# Valenza delle ispezioni effettuate

Inoltre, è opportuno sottolineare che il sistema di ispezione<sup>6</sup> (schede) adottato dalla Società, nel caso del calcestruzzo armato, anche precompresso, non consente di stimare affidabilmente il livello di corrosione. Inoltre, anche in ottica di prevenzione dei collassi<sup>7</sup>, gli esiti ricavati hanno dubbia correlazione con il rischio dei collassi; sarebbe infatti comunque necessaria l'interpretazione e i calcoli di un ingegnere. Per questa ragione, questa fase viene richiesta per disposizioni normative con il termine di *valutazione di sicurezza*.

Questo risultato è da un lato noto in letteratura<sup>8</sup>. Inoltre, anche ma non solo per la corrosione, il metodo delle ispezioni visive è inaffidabile e poiché i collassi fragili sono, per definizione, improvvisi e non preceduti da avvisaglie; e infine, poiché è impossibile, dall'esterno e tramite sola visione, stimare con affidabilità importanti aspetti quali la carbonatazione del calcestruzzo, la corrosione dell'acciaio, la tensione presente nei cavi di precompressione, ecc..

Il metodo di ispezione ha così rilievo per le operazioni di manutenzione ordinaria e modesto o nullo contenuto informativo per quanto concerne la stima della sicurezza strutturale e la prevenzione dei crolli.

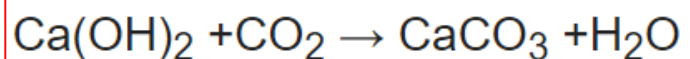
# Valenza delle ispezioni effettuate

*Table 9: Vulnerability Classifications for Superstructure and Substructure*

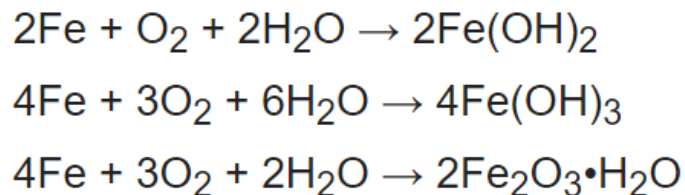
| Bridge   | Superstructure Vulnerabilities |             |            | Substructure Vulnerabilities |                 |                |             |            |
|----------|--------------------------------|-------------|------------|------------------------------|-----------------|----------------|-------------|------------|
|          | <i>FHWA &amp; WDOT</i>         | <i>ODOT</i> | <i>Kim</i> | <i>FHWA &amp; WDOT</i>       | <i>CalTrans</i> | <i>Gilbert</i> | <i>ODOT</i> | <i>Kim</i> |
| 01 0024  | High                           | High        | Mod        | Low                          | Mod             | Mod            | Low         | High       |
| 04 0155  | Low                            | Low         | Low        | Low                          | Mod             | Mod            | Mod         | Mod        |
| 06C0108L | High                           | Low         | High       | ---                          | Mod             | Mod            | Low         | High       |
| 08 0021  | Mod                            | Mod         | Mod        | ---                          | Mod             | Mod            | Low         | Mod        |
| 10 0180  | High                           | High        | High       | Mod                          | Mod             | Mod            | Low         | High       |
| 19C0062  | Mod                            | Low         | Low        | ---                          | Mod             | Mod            | Low         | Mod        |
| 23 0172  | Low                            | Low         | Low        | Low                          | Low             | Low            | Low         | Low        |
| 50C0179L | Mod                            | Low         | Mod        | ---                          | Low             | Low            | Low         | Low        |
| 52 0274  | Low                            | Low         | Low        | Mod                          | Mod             | Mod            | High        | Mod        |
| 58 0240L | Low                            | Low         | Low        | High                         | Mod             | Mod            | Mod         | Mod        |

# Degrado del calcestruzzo armato

- Il calcestruzzo nuovo è alcalino (pH=13 per presenza di  $\text{Ca(OH)}_2$ ) e protegge le armature dall'ossidazione (ferro «passivato» per formazione di ossidi compatti).
- La presenza di **anidride carbonica** alza il pH del cls riducendo progressivamente l'azione protettiva (carbonatazione).



- Quando il pH scende a 9 si formano ossidi e idrossidi di ferro non aderenti (ruggine) e la sezione di armatura si riduce progressivamente.



- L'espulsione del ricoprimento di armatura accelera il processo.
- In presenza di **cloruri** (es. **ambiente marino**, **autostrade** ove viene sparso sale antigelo) il processo è accelerato, localizzato, ed inizia anche in assenza di carbonatazione.

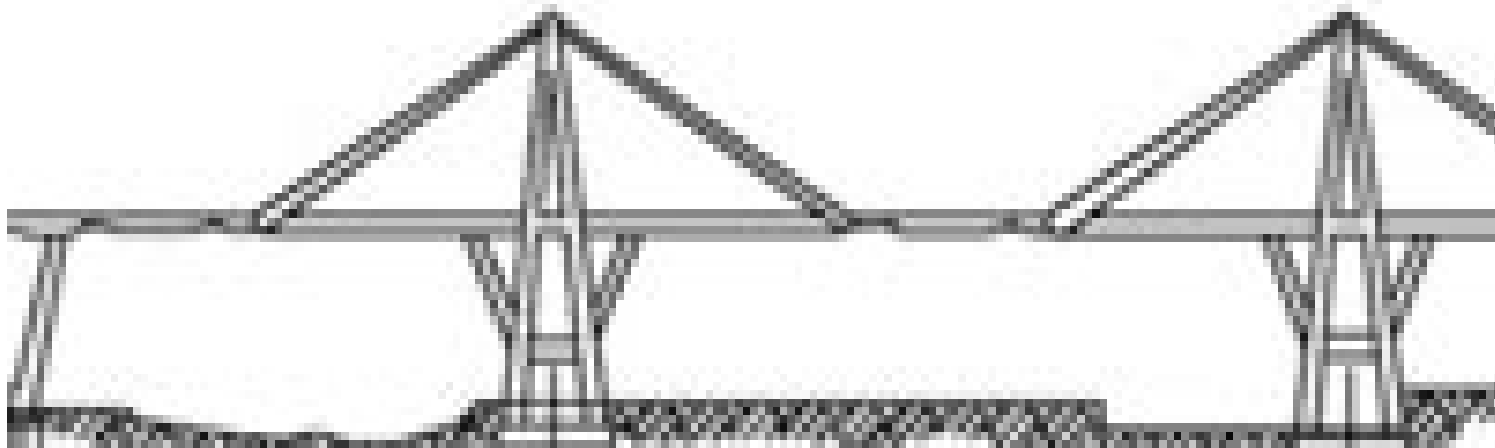




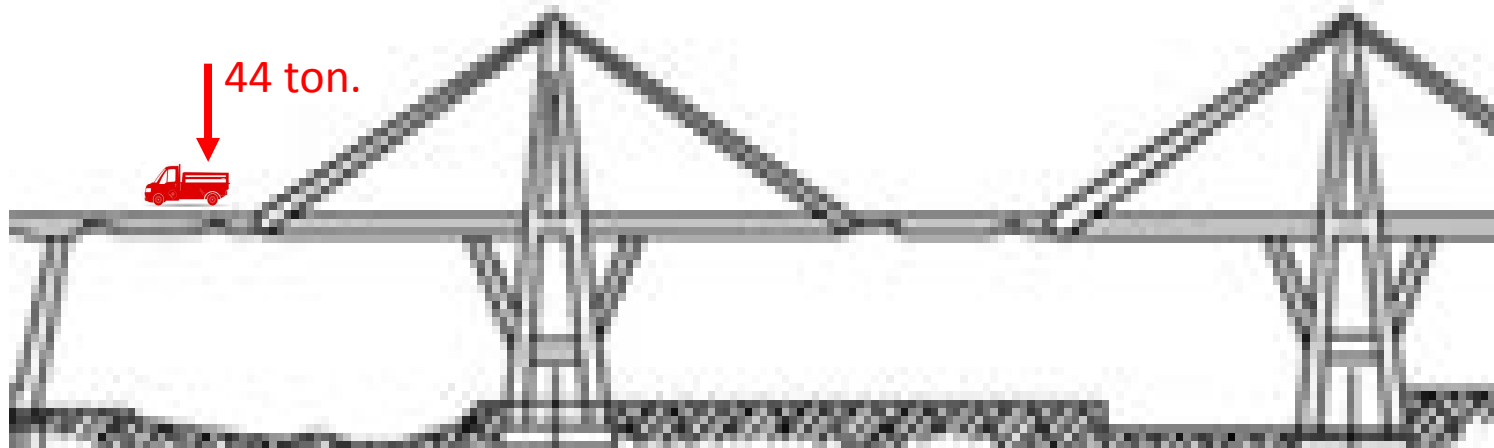
# Considerazioni sui carichi

- (a) il traffico su entrambe le carreggiate era scorrevole;
- (b) la densità di traffico non era elevata né era presente numero elevato di mezzi d'opera o pesanti. Si ha notizia della presenza, sulla parte crollata, di almeno un mezzo d'opera con peso totale di circa 44 ton. Si tratta di carico non straordinario, che ha senz'altro percorso con elevata frequenza il viadotto nel corso di anni. Inoltre, il peso di tale mezzo d'opera è paragonabile al peso per unità di lunghezza (m, in direzione longitudinale) dell'impalcato a cassone. Si tratta, in altre parole, di un carico rilevante per quanto concerne gli effetti locali (ad esempio sulle travi di bordo), ma poco rilevante per la sicurezza complessiva del viadotto e delle sue parti;
- (c) le condizioni metereologiche erano cattive, ma non pessime. Al momento del crollo era in corso un temporale, con caratteristiche di precipitazioni e di vento, tuttavia, non eccezionali;
- (d) per quanto riportato nel paragrafo precedente relativamente all'interferometria satellitare, dovrebbero potersi escludere anormali cedimenti o rotazioni fondali.

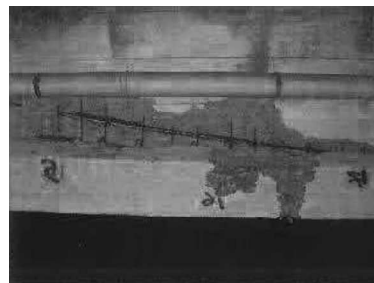
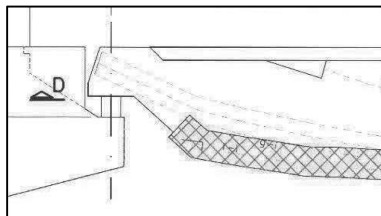
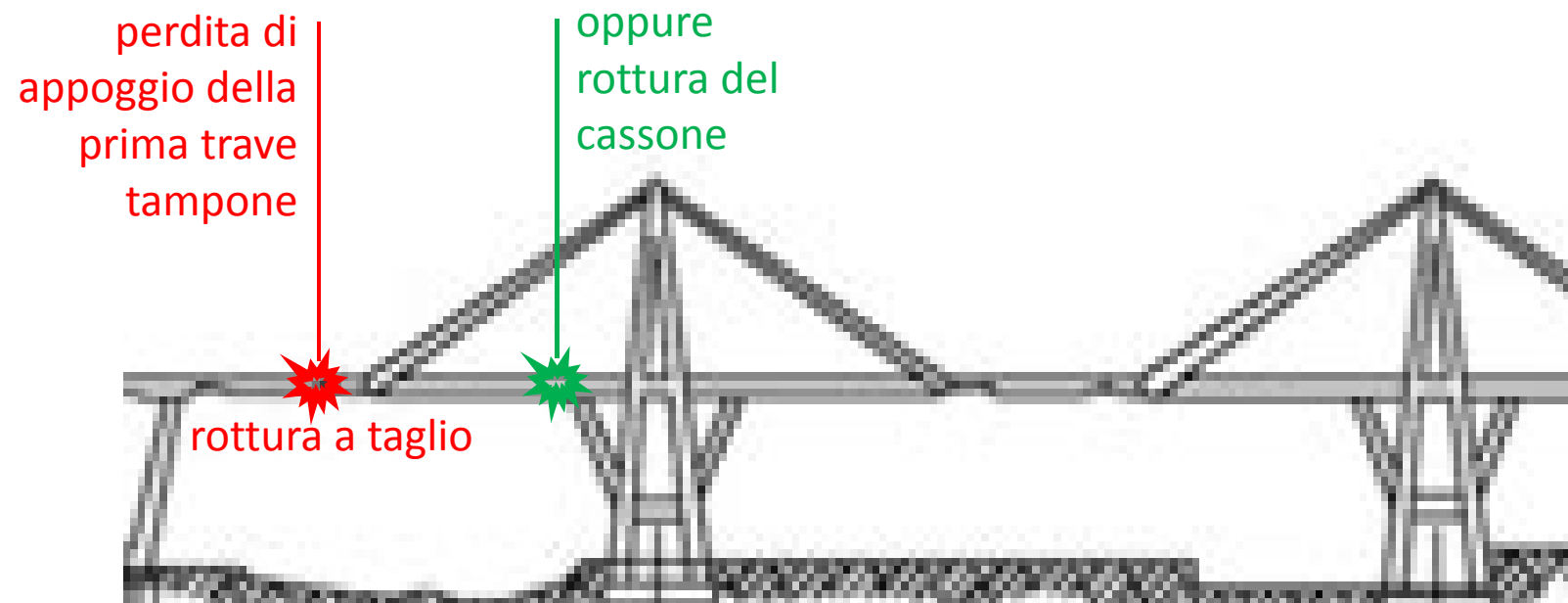
# Ipotesi 1 (di 3) di collasso



# Ipotesi 1 (di 3) di collasso



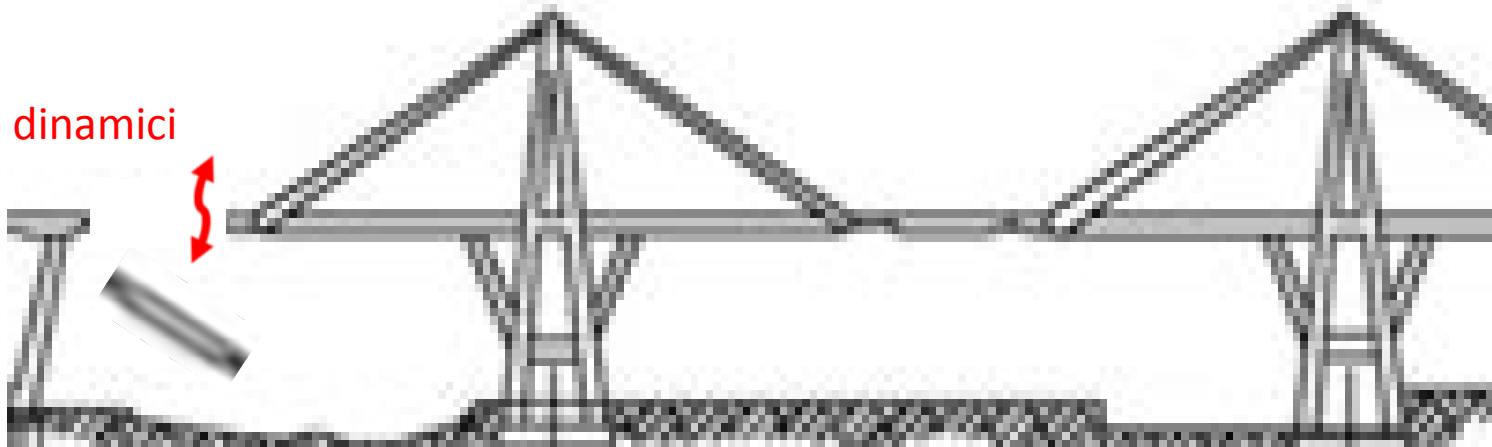
# Ipotesi 1 (di 3) di collasso





# Ipotesi 1 (di 3) di collasso

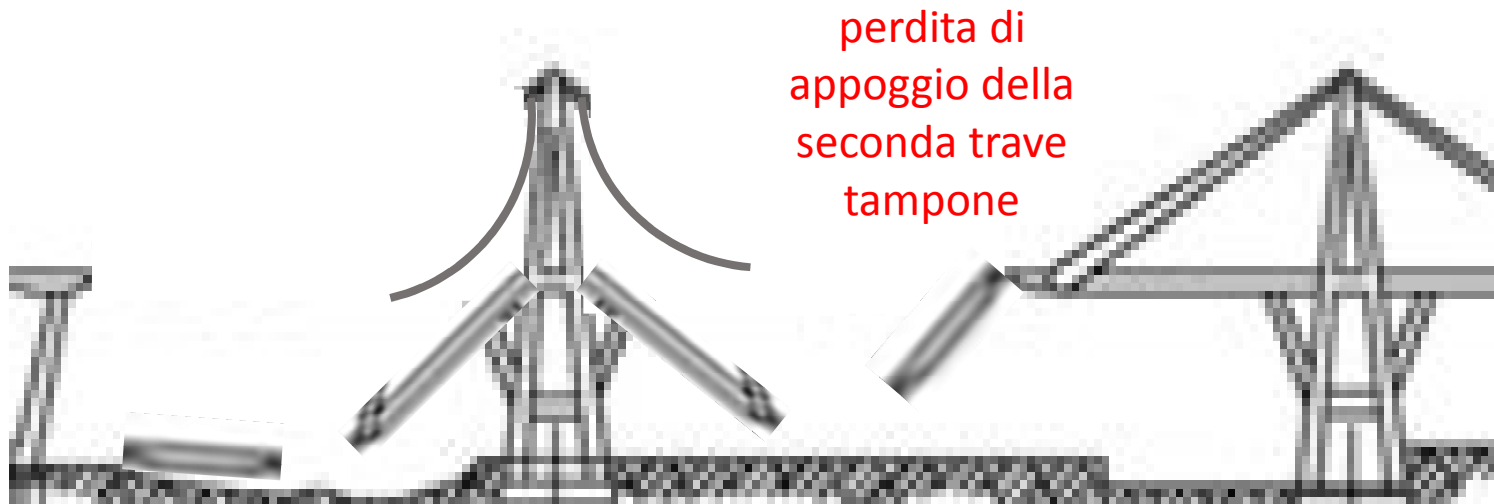
effetti dinamici



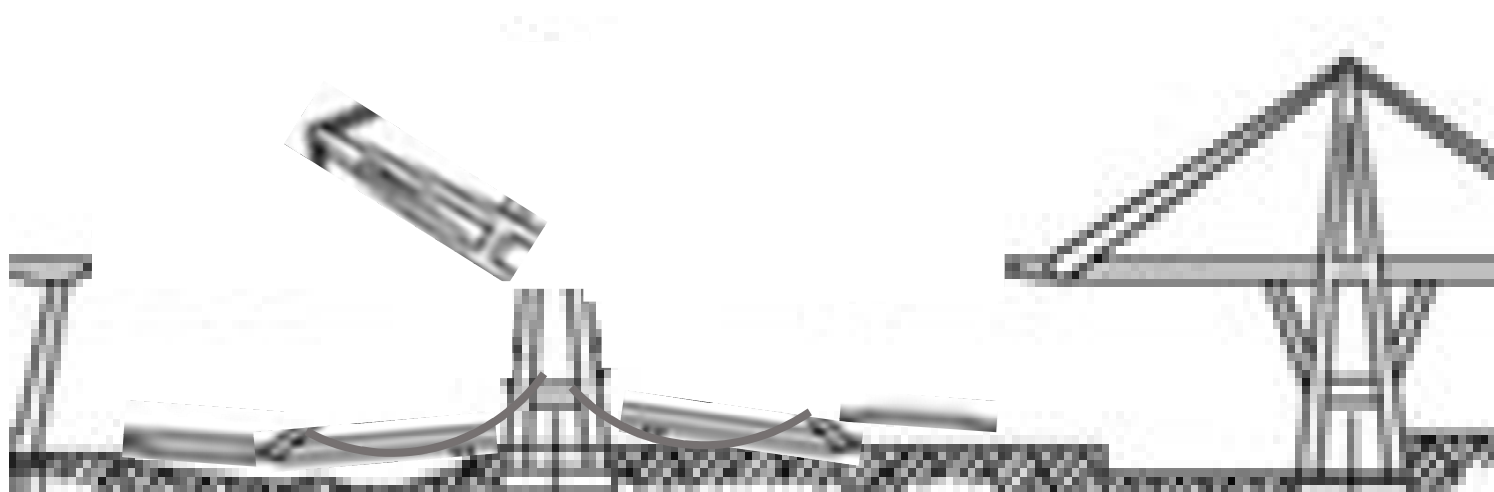
# Ipotesi 1 (di 3) di collasso



# Ipotesi 1 (di 3) di collasso



# Ipotesi 1 (di 3) di collasso





# Ponte degli Alpini (Belluno)



# Ponte degli Alpini (Belluno)

- Rinforzo impalcato (nuova soltta, nuovi cavi di precompressione esterni)



- Rinforzo pilastri tramite incamiciatura



# Perché i disastri non si ripetano (editoriale del *bollettino ingegneri*)

Il Ponte di Genova crollato così tragicamente il 14 Agosto scorso era chiamato prima del crollo ponte sul Polcevera o Ponte delle Condotte. Il Polcevera era il fiume che il ponte oltrepassava, oltre ai tanti altri ostacoli, mentre Condotte era il nome della ditta costruttrice.

Chissà come mai all'indomani del crollo è stato rinominato ponte Morandi dal nome dell'Ing. Riccardo Morandi progettista. Come a dire che il nome del progettista si nomina solo in caso di insuccesso dell'opera.

Ed infatti il nome di Morandi era sconosciuto, prima del disastro, alla maggior parte delle persone comuni, che ignoravano la sua attività di precursore in Italia della tecnica del Cemento Armato Precompresso, e di progettista di grandi strutture e di Ponti.

In questa Italia in cui dal 14 Agosto sembra che siano aumentati in progressione esponenziale gli "intenditori" di Ingegneria Civile, insieme all'Ing. Riccardo Morandi si è dato tutte le colpe al cemento armato, perché è un materiale che invecchia rapidamente, mentre l'acciaio no.

Peccato che nei giorni scorsi, ad un mese dal crollo del Ponte di Genova, sia stato chiuso al traffico il Ponte in acciaio sull'Adda, meraviglia dell'ingegneria della fine del '800, a causa di ammaloramento dell'acciaio e necessità di manutenzione.

Già la necessità della manutenzione e del controllo, perché la dimensione del tempo va tenuta in conto per le strutture, perché le strutture cambiano col tempo, hanno bisogno di manutenzione, vanno controllate con continuità.

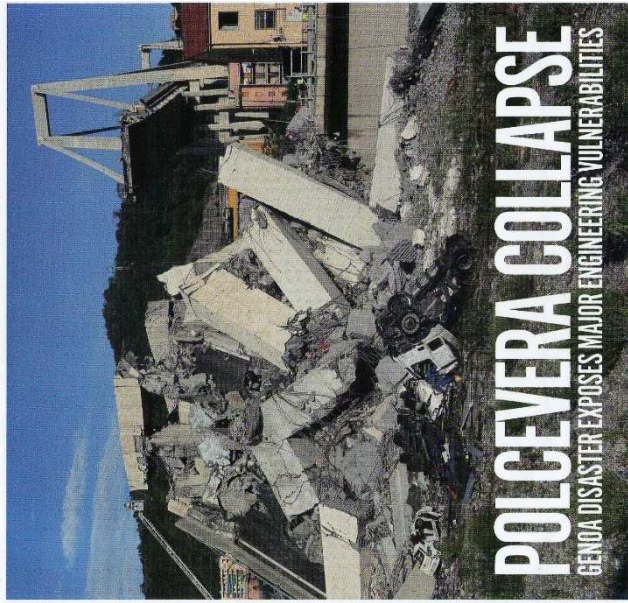
In alcuni paesi (e anche in Italia nella provincia di Bolzano) il collaudo dei ponti va ripetuto a distanza di sei o dieci anni dalla costruzione, a seconda della luce. Perché vanno verificati i materiali, gli appoggi, i carichi, lo schema statico, i giunti. E non bastano i sensori, il controllo automatico a distanza. Sarebbe bello ma non basta.

Occorre sempre che un ingegnere in carne ossa, con coscienza tecnica, vada sul posto, guardi tutti i progetti, controlli i materiali, faccia prove di carico se necessario, rifaccia in altre parole le operazioni di collaudo. E alla fine certifichi con un collaudo nuovo il ponte.

Proviamo a dirlo in giro, noi ingegneri, a tutti gli "intenditori" di ingegneria.

Per far sì che i disastri non si ripetano.





# POLCEVERA COLLAPSE

## GENOA DISASTER EXPOSES MAJOR ENGINEERING VULNERABILITIES

### UK Reaction

#### Alexandra Wymne

**N**o bridges on the UK's motorway network bear similarities to that of the collapsed Polcevera viaduct. Moved to respond to the catastrophe in Italy, the roads operator said that the collapse of its structures are suspension or cable stayed bridges, none were of a similar design to that of the Polcevera viaduct.

The unusual statement comes as the UK's highways industry has been able to contribute factors were that led to the fatal collapse. Italian road safety experts have been criticised for the viaduct's design and maintenance work, when a 250m long section of the viaduct was found to be in poor condition.

Foundations as part of scheduled maintenance work were not yet clear where this work was taking place in relation to the collapsed section.

Sources close to the investigation have also indicated that serious structural defects during scheduled repairs were made more urgent as the problem was revealed by the collapse.

The statement by UK counterpart Highways England said of its road safety standards and quality control processes to ensure bridges are designed to last for 100 years and provide comfortable journeys for road users.

"This is supported by a thorough

### KEY FACTS

- 3,203 UK highways structures deemed substandard
- £1.35bn cost of replacing Forth Road Bridge

and regular regime for inspecting all structures, including bridges, on England's motorways and major A roads. The highways operator said that general inspections are undertaken every six years, involving close inspection as to how such a devastating bridge collapse could have occurred in a country whose proximity to the UK appears to have triggered concerns around asset knowledge and safety standards.

UK's highways industry has been criticised for the viaduct's design and maintenance work, when a 250m long section of the viaduct was found to be in poor condition.

Foundations as part of scheduled maintenance work were not yet clear where this work was taking place in relation to the collapsed section.

Sources close to the investigation have also indicated that serious structural defects during scheduled repairs were made more urgent as the problem was revealed by the collapse.

The statement by UK counterpart Highways England said of its road safety standards and quality control processes to ensure bridges are designed to last for 100 years and provide comfortable journeys for road users.

"This is supported by a thorough

- #### FIVE UK NEAR MISSIES
1. HAMMERSMITH FLYOVER  
Emergency closure in 2011 (pictured)
  2. BOSTON MANOR  
Urgently closed and fixed
  3. HUMBER BRIDGE  
Corrosion threatened lifespan
  4. FORTH ROAD BRIDGE  
Fears its steel reinforcement was built at end of 1930s
  5. SEVERN BRIDGE  
Unacceptable levels of corrosion



- #### FIVE ITALIAN COLLAPSES
1. PETRILLA VIADUCT  
Heavy load caused collapse in 2006
  2. ANNONE FLYOVER  
Collapse in 2006
  3. ADRIATIC MOTORWAY  
Collapse in 2007
  4. TANGENTALE DI FOSCANO  
Collapsed in April 2017 (pictured)
  5. POLCEVERA VIADUCT  
Collapsed in August 2018 (this page)



### Polcevera Viaduct Collapse

# No UK complacency after Italian experience

## Highways England moves to reassure UK post-Genoa

## Billions needed to bring Italy's bridges up to date

### MARK HANSFORD

A March 19th "meeting" of Italian road engineers, which will probably lead to a major programme of replacement of the work, "added to the fact that the Italian road infrastructure research body has demanded the call has been made in the wake of the collapse of the viaduct by the largest public research institution in Italy, the National Research Council (Cnr)."

It cites a sequence of collapsing Italian road infrastructure that has become a worry for highway engineers. A worst highlight that is the common factor, with most of the infrastructure in Italy built between the 1950s and 1960s. It adds that severe cost pressures following the Second World War led to a high level of often made between capital cost and longevity of the structures.

He also said there was no immediate danger for the UK's motorway network, but that more development was required in monitoring systems.

### Tens of thousands of bridges in Italy have exceeded the lifespan for which they were designed and built

The figures necessary for the modernisation of road bridges in Italy are around one in 20 of the roughly 100,000 bridges in the country, he added. "To avoid tragedy such as Genoa, a sort of Marshall plan for the Italian road infrastructure would be needed to ensure the replacement of most Italian bridges with new structures characterised by



# Articolo IABSE, 1979

**The Long-Term Behaviour of Viaducts Subjected to Heavy Traffic and Situated in an aggressive Environment. The Viaduct on the Polcevera in Genoa.**

Comportement à long terme de viaducs soumis à un fort trafic et dans un environnement agressif.  
Le cas du viaduc de Polcevera à Gênes.

Langfristiges Verhalten von Brücken unter schweren Lasten und in aggressiver Umwelt.  
Der Polcevera Viadukt in Genua.

**R. MORANDI**  
Professor of Engineering  
Rome, Italy

Ma il Ministro Graziano Delrio non ha mai risposto a queste interpellanze.

|  |                        |
|--|------------------------|
| Senato della Repubblica  | XVII LEGISLATURA       |
| 525ª Seduta (antimerid.)   | ASSEMBLEA - ALLEGATO B |
|  | 20 ottobre 2015        |
| <p>Maurizio ROSSI. – <i>Al Ministro delle infrastrutture e dei trasporti.</i> –</p> <p>molti tratti autostradali liguri non sono conformi alle normative di sicurezza europee e, nelle ore di punta, si verificano continuamente code di decine di chilometri, rallentamenti e numerosi incidenti che bloccano l'area intorno a Genova;</p> <p>sul nodo autostradale di Genova è noto il grave problema del ponte Morandi che attraversa la città e del quale non si conosce la sicurezza nel tempo.</p> |                        |

|  |                        |
|--|------------------------|
| Senato della Repubblica  | XVII LEGISLATURA       |
| 618ª Seduta (pomerid.)   | ASSEMBLEA - ALLEGATO B |
|  | 28 aprile 2016         |
| <p>Maurizio ROSSI. – <i>Al Ministro delle infrastrutture e dei trasporti.</i> –</p> <p>il viadotto Polcevera dell'autostrada A10, chiamato ponte Morandi, è un'imponente realizzazione lunga 1.182 metri, costituita su 3 piloni in cemento armato che raggiungono i 90 metri di altezza che collega l'autostrada Genova-Milano al tratto Genova-Ventimiglia, attraversando la città sulla val Polcevera;</p> <p>recentemente, il ponte è stato oggetto di un preoccupante cedimento dei giunti che hanno reso necessaria un'opera straordinaria di manutenzione senza la quale è concreto il rischio di una sua chiusura;</p> |                        |