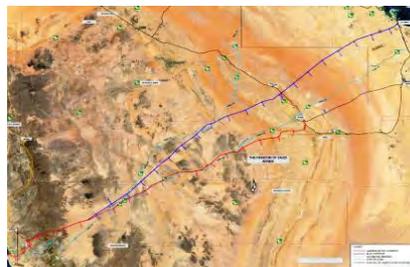
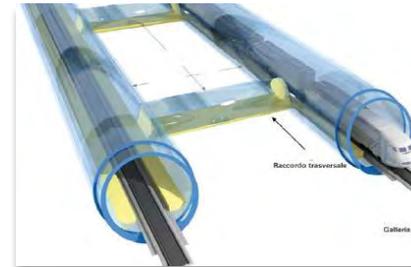
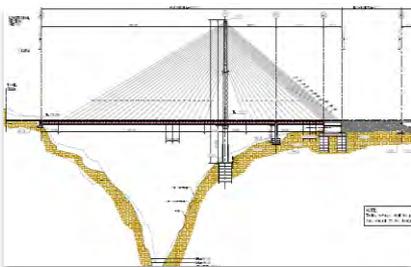


LO SVILUPPO DELL'INGEGNERIA FERROVIARIA ITALIANA NEL MONDO



Titolo: il Terzo Ponte sul Bosforo, una soluzione ibrida, elegante, che consente l'attraversamento ad un traffico bimodale

Autore: *Roberto Sorge (Astaldi - Corporate Design Manager)*

ISTANBUL



IL BOSFORO – UNO SVILUPPO VINCOLATO



Una capitale sviluppatasi sulle sponde di due continenti, Europe e Asia, in un contesto geografico ed urbanistico unico.

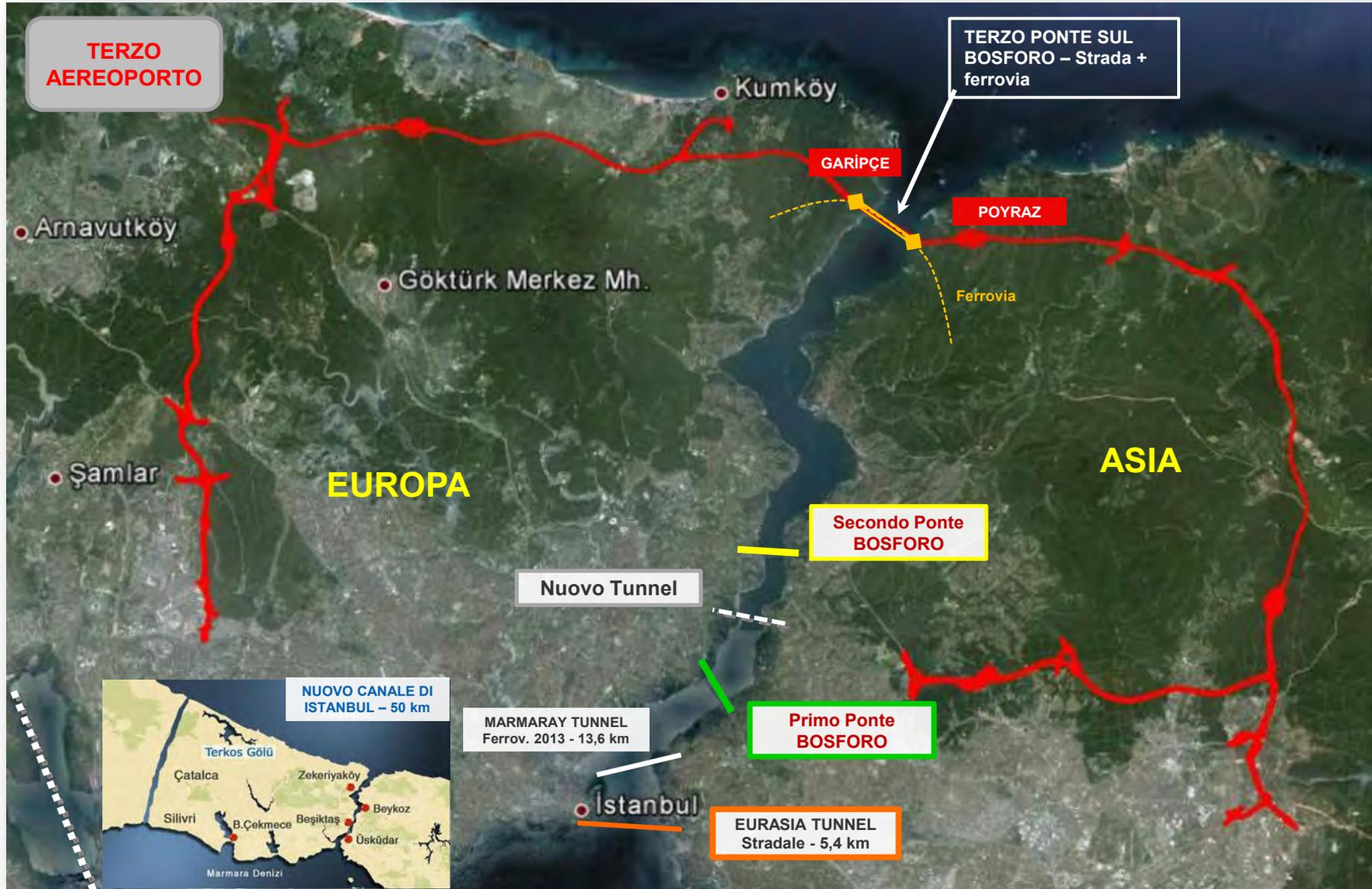
Nel 2014 la popolazione era stimata intorno ai 14 milioni di abitanti (17 milioni?).

Più della metà vive in Asia.
Ma il 90% di questa metà lavora in Europa.

CRESCITA DELLA POPOLAZIONE

	ANNO	ABITANTI	
•	1945	860.000	
•	1960	1.466.000	
•	1970	2.132.000	
•	1980	2.773.000	
•	1990	6.629.000	+139%
•	2000	8.803.000	
•	2010	13.120.000	+50%

AUTOSTRADA MARMARA DEL NORD - 130 Km



I DUE PONTI ESISTENTI SUL BOSFORO



Entrambi famosi per la loro eleganza

IL PONTE SEVERN/WYE (U.K.) - 1966

E' il primo ponte che ha ispirato gli altri.

Ponte sospeso stradale con una campata centrale di 988 m fra Inghilterra e Galles.



E' stato una rivoluzione nella progettazione dei ponti sospesi, con un impalcato realizzato con un cassone ortotropico sottile aerodinamico e pendini inclinati.

Progetto: Freeman, Fox and Partners.



IL PRIMO PONTE SUL BOSFORO - 1973

Cassone ortotropico e pendini inclinati (modificati in verticali nel 2015).

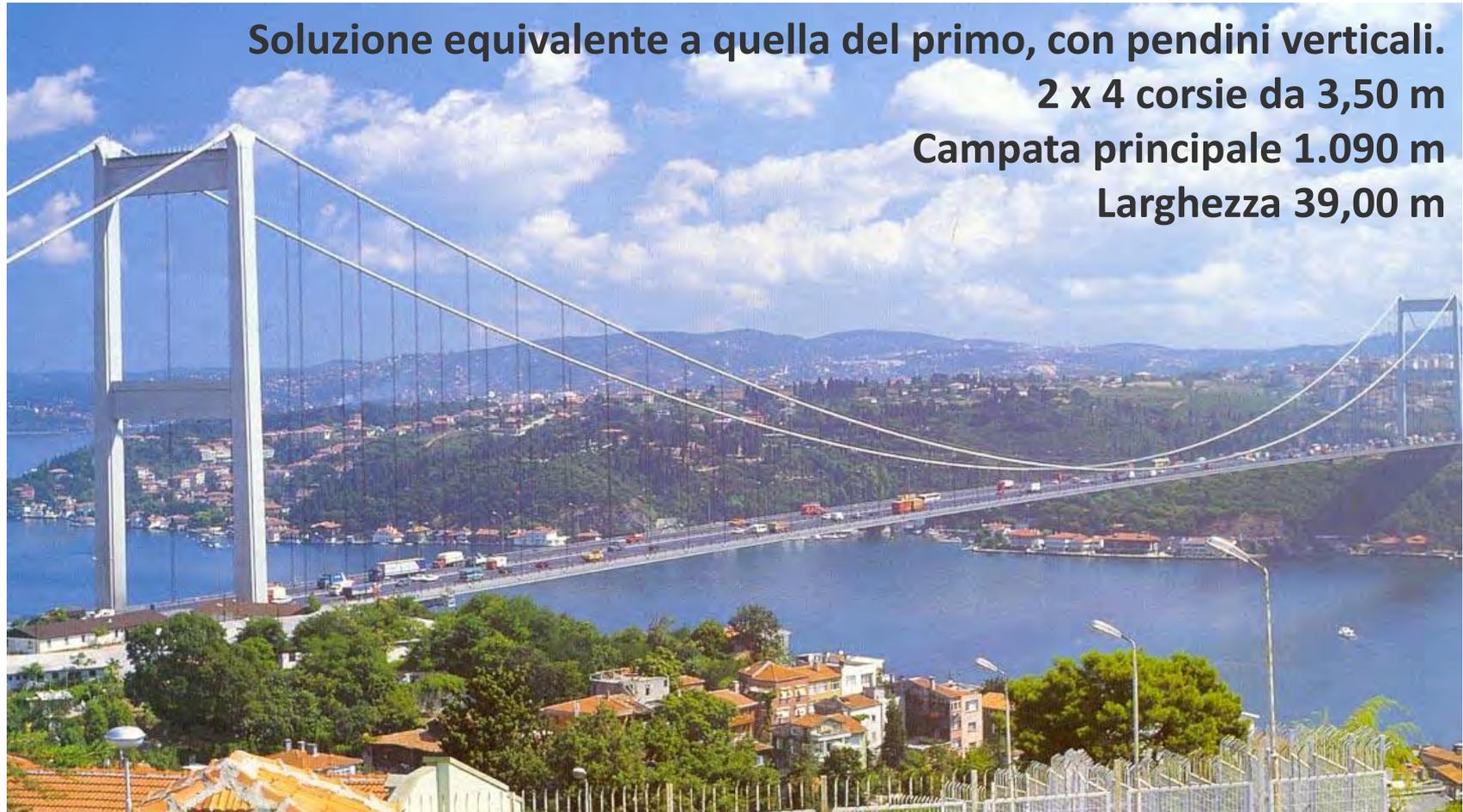
2 x 3 corsie da 3,50 m

Campata centrale 1.074 m

Larghezza 33,40 m



IL SECONDO PONTE SUL BOSFORO - 1988



Soluzione equivalente a quella del primo, con pendini verticali.

2 x 4 corsie da 3,50 m

Campata principale 1.090 m

Larghezza 39,00 m

IL TERZO PONTE SUL BOSFORO - 2016

Soluzione mista, in parte strallata e in parte sospesa

2 x 4 corsie da 3,60 m

2 binari ferroviari (Alta velocità e merci)

Campata centrale 1.408 m

Larghezza 58,50 m

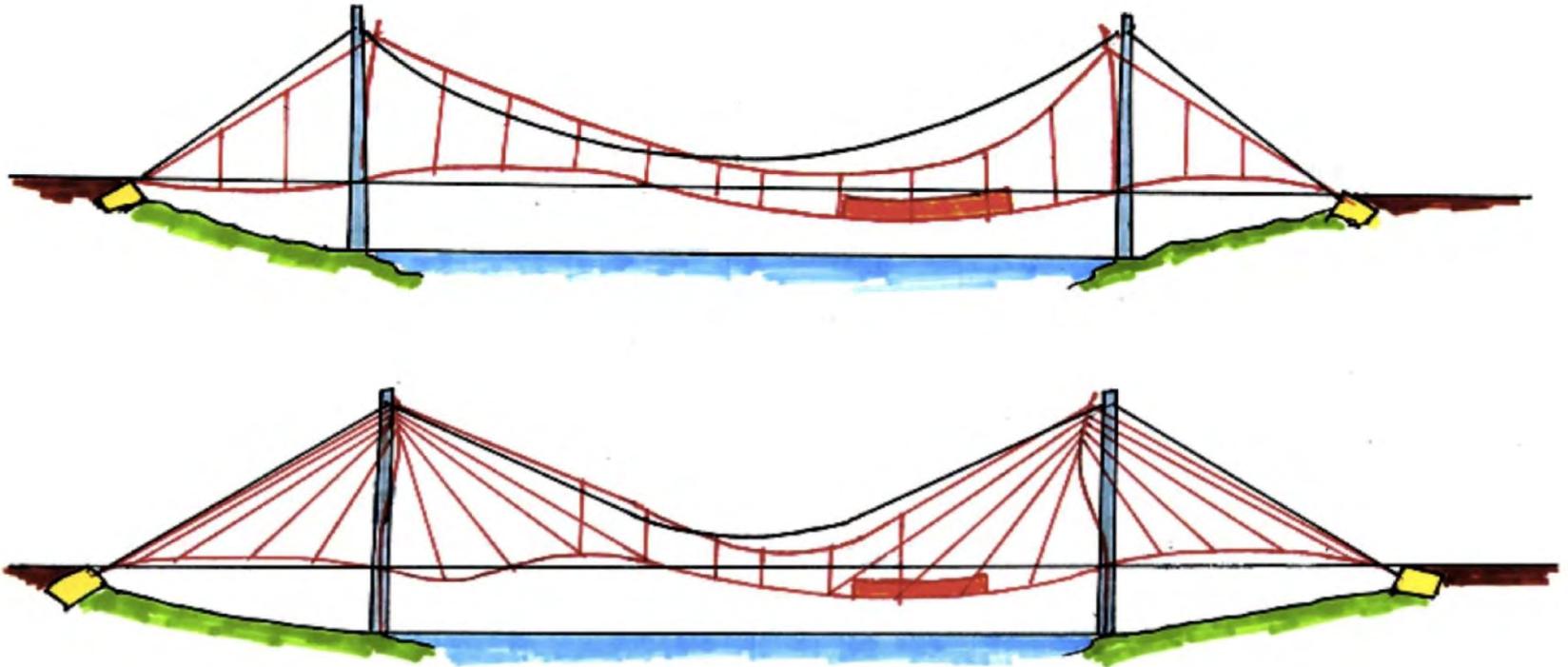




26 Agosto 2016

REALIZZATO IN SOLI 3 ANNI E 3 MESI

PRINCIPIO STRUTTURALE

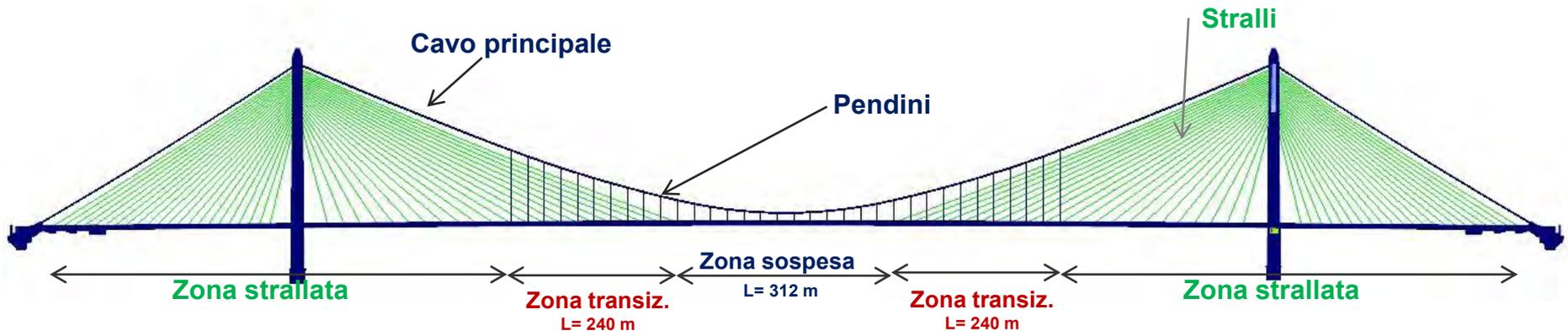


Per il 3° Ponte sul Bosforo sono stati aggiunti degli stralli, chiamati cavi irrigidenti, accanto alle torri, in modo da scaricare parte del carico sulle torri stesse, riducendo la flessione dell'impalcato di un fattore pari a 3 o 4.

UNA SOLUZIONE IBRIDA

H.R.S.B. High Rigid Suspension Bridge

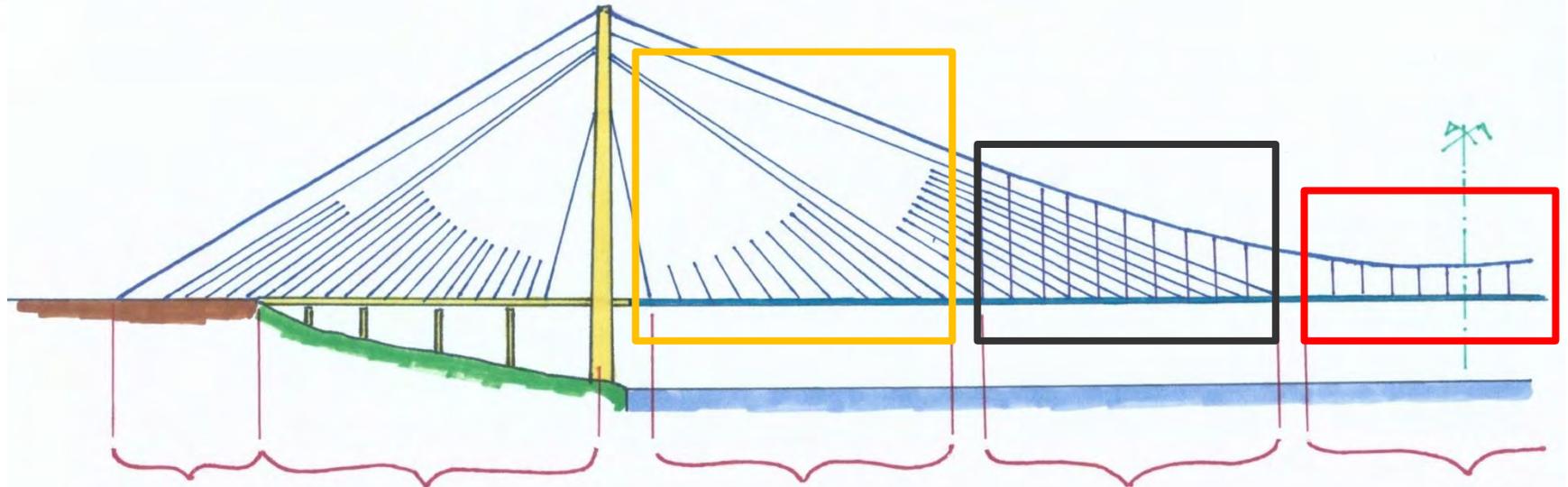
Concetto: Michel VIRLOGEUX
Progettista: Jean François KLEIN
Vincent DE VILLE



SEZIONE TRASVERSALE



ORGANIZZAZIONE DELLA CAMPATA CENTRALE

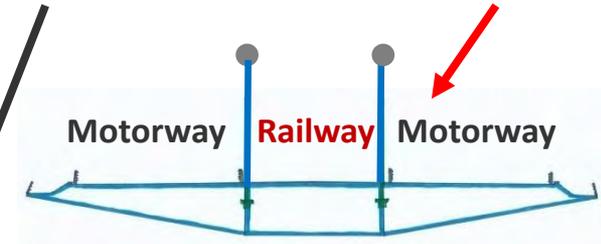


Zona strallata

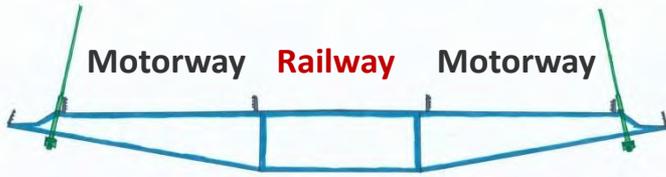
Zona di transizione

Parte sospesa

Motorway Railway Motorway



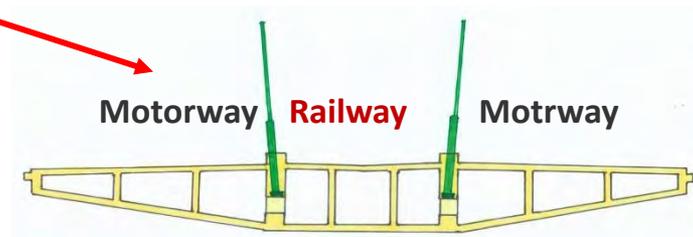
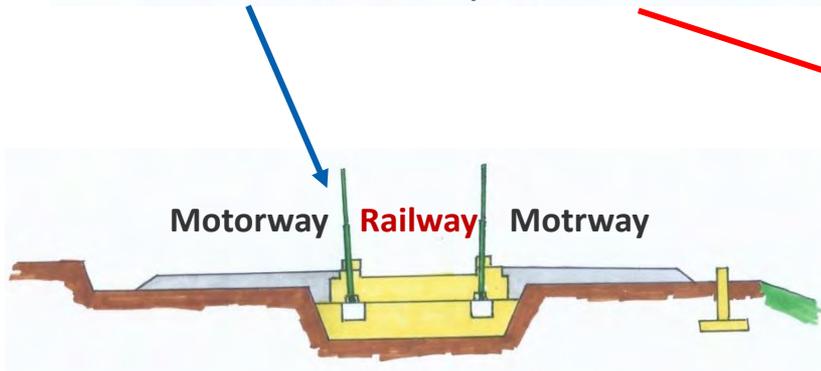
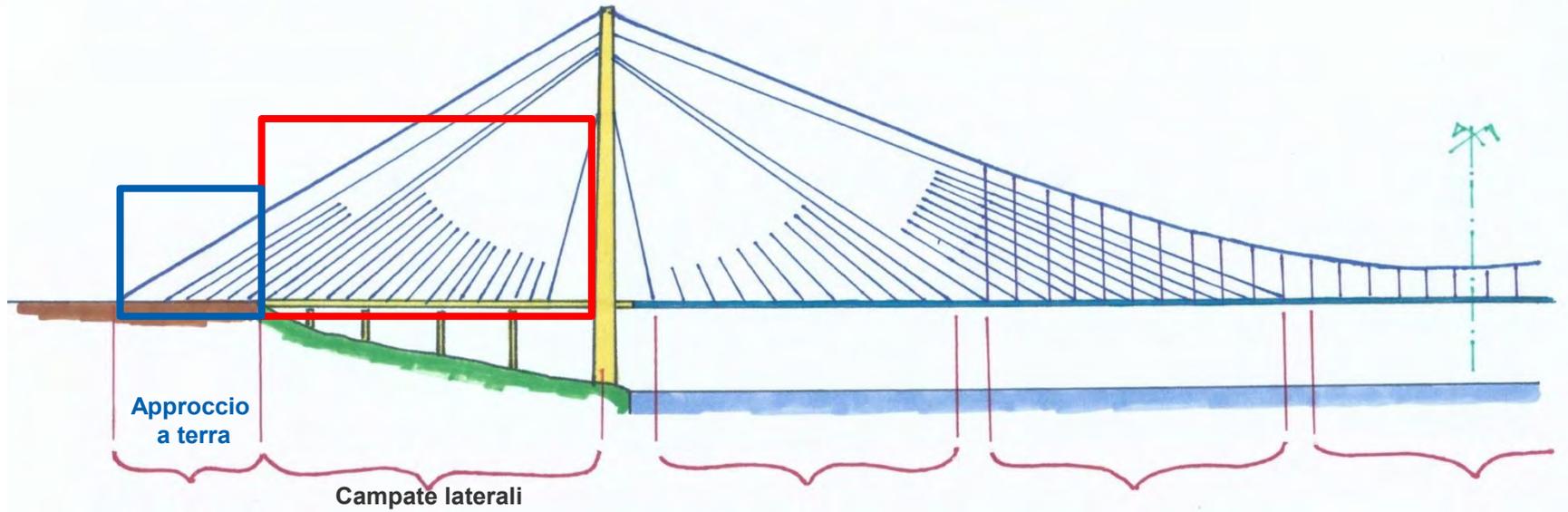
Motorway Railway Motorway



Motorway Railway Motorway



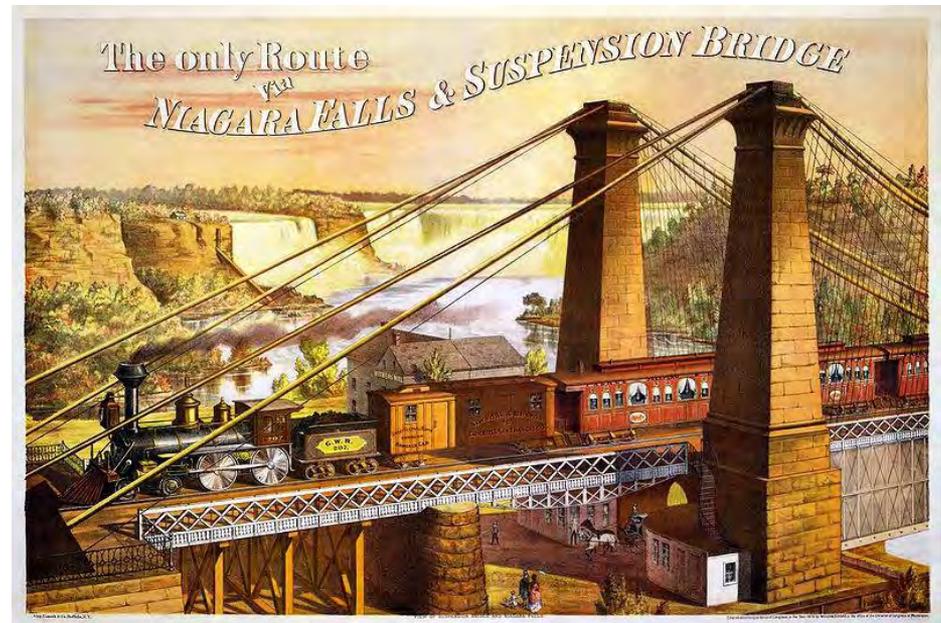
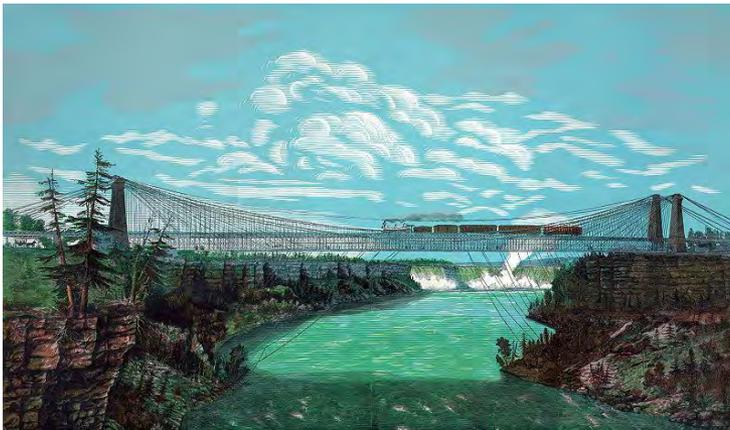
ORGANIZZAZIONE DELLA CAMPATA LATERALE



NON SIAMO STATI I PRIMI



John Augustus Roebling, nel 1851 fece costruire un ponte sospeso con 4 cavi, integrato con stralli, sulle Cascate del Niagara. Con una campata di 251 m, due livelli per il passaggio di una ferrovia sopra e di una strada sotto.



NON SIAMO STATI I PRIMI



NON SIAMO STATI I PRIMI



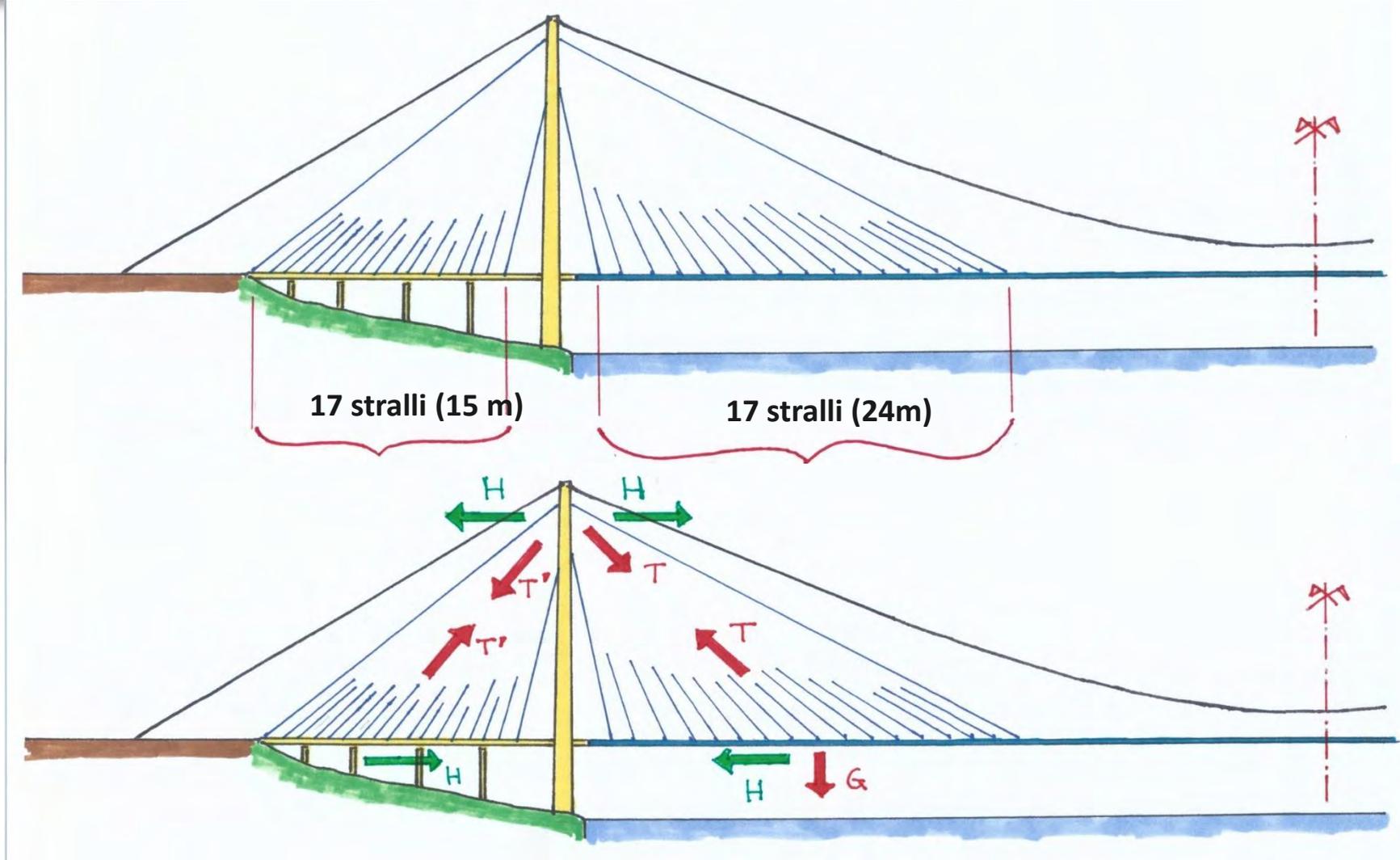
Nel 1883 John Roebling progetta anche il Ponte di Brooklyn sull' Hudson river, con una soluzione mista/ibrida

PARAGONE FRA IL CLASSICO A DUE LIVELLI E LA SOLUZIONE MISTA

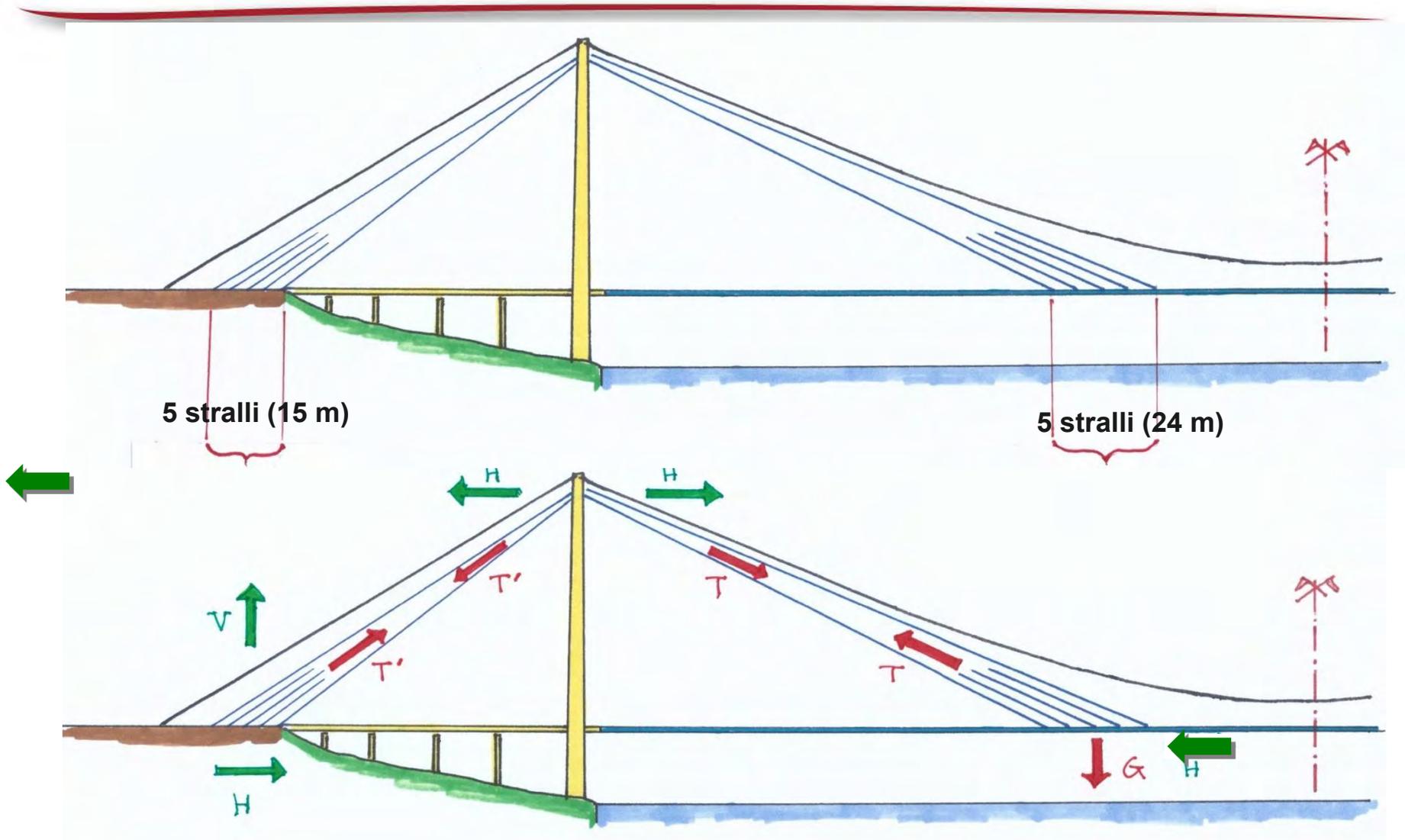


CLASSICO	CONFRONTO	H.R.S.B.
- 9,00 m	Spostamento verticale in mezzeria sotto carichi massimi	- 4,75 m
7,00 m	Spostamento trasversale in mezzeria sotto carichi dovuti ai venti estremi	1,42 m
0,70 – 1,00 m	Spostamento orizzontale longitudinale dell'impalcato all'altezza delle torri sotto carichi accidentali	0,53 m
0,06 m	Spostamento longitudinale dell'impalcato all'altezza delle torri per le sollecitazioni dovute alla frenatura dei treni	0,038 m
7,00 m	Spostamento trasversal sotto sisma (50 anni)	1,51 m

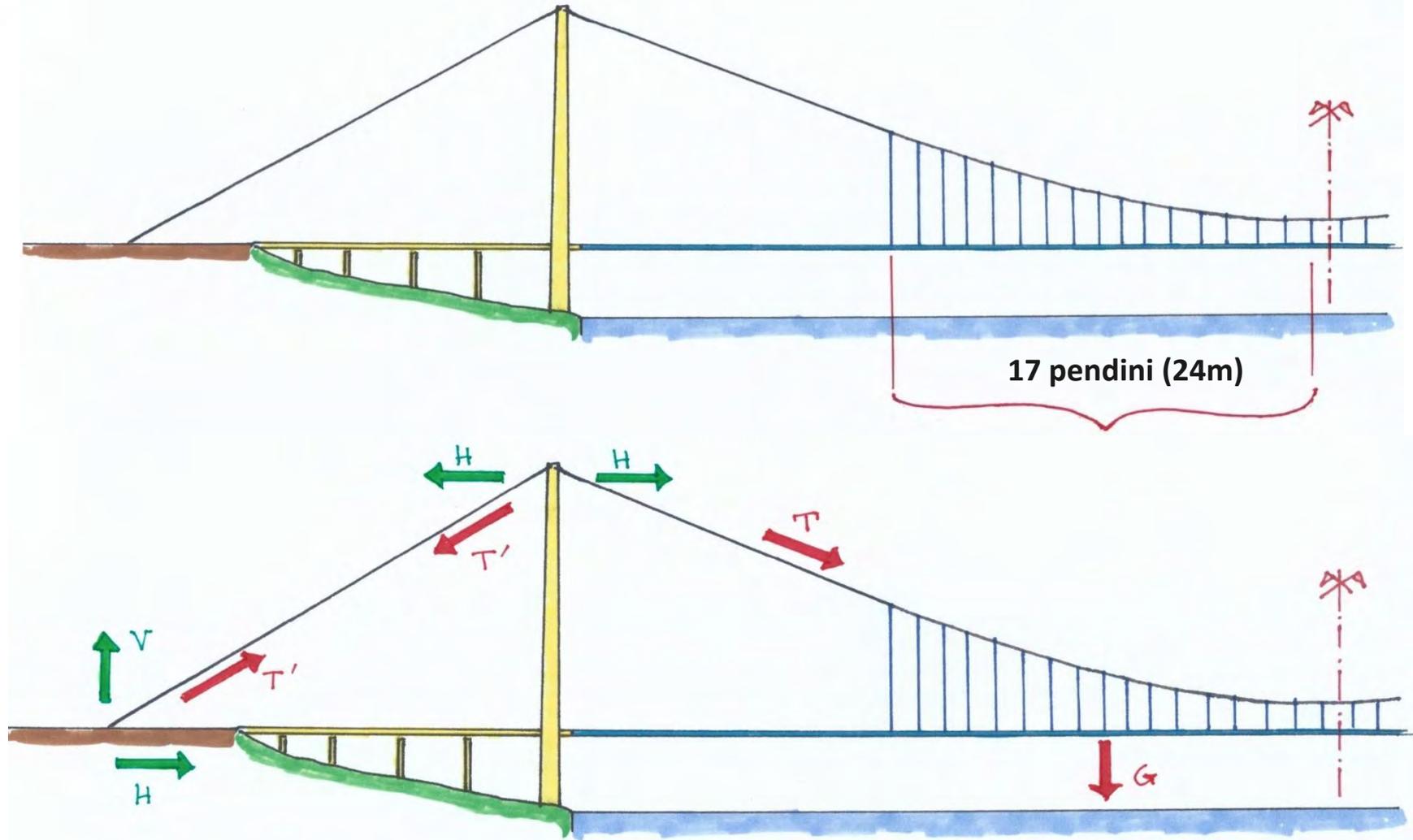
BILANCIO DELLE FORZE LONGITUDINALI



BILANCIO DELLE FORZE LONGITUDINALI



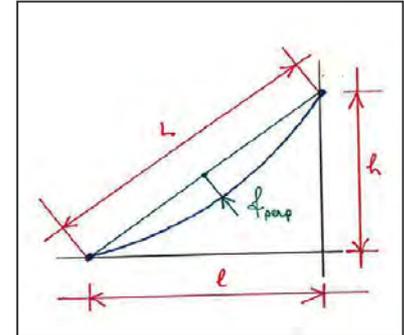
BILANCIO DELLE FORZE LONGITUDINALI



CRITERI DI PROGETTO - CARICHI

Controindicazione principale

La limitazione della tensione sotto carichi permanenti in tutto il sistema dei cavi comporta delle frecce elevate con conseguente incremento delle vibrazioni e dei rischi di effetto fatica.



SAG reduce from 7,50 to 5,40 m

Per ridurre questi effetti molti accorgimenti sono stati messi in campo:

- Incrementare la tensione accettabile fino a 50% GUTS (Guaranteed Ultimate Tensile Stress);
- Usare stralli con 1'960 Mpa invece del classic 1'860 Mpa in modo da poter ridurre il diametro degli stralli
- Applicare dei carichi realistici al ponte



In conclusione si è cercato di enfatizzare il comportamento strutturale del ponte e la sua efficienza

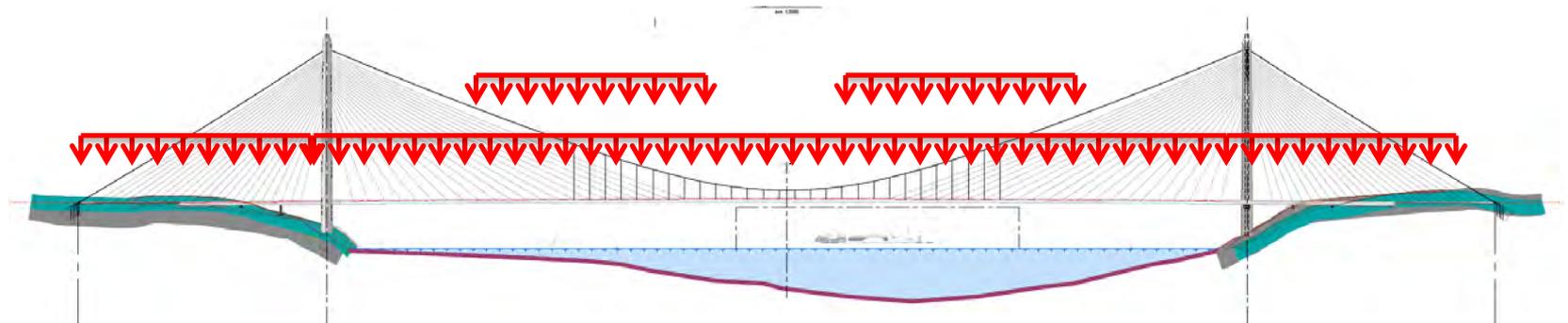
CRITERI DI PROGETTO - CARICHI

1. Verifiche locali in direzione trasver.

Secondo gli **EUROCODICI**

2. Verifiche globali in direzione longit.

Viene verificato il comportamento dell'intera struttura,
Per determinare i momenti e le torsioni nell'impalcato e
nelle torri in direzione longitudinale



Il progetto ha preso in conto il traffico secondo un approccio probabilistico che tenga in conto del traffico reale sul ponte, sia in condizioni normali che di traffico bloccato.

CRITERI DI PROGETTO - CARICHI

I limiti per i codici sono:

Eurocodici

campata < 200 metres

AASHTO

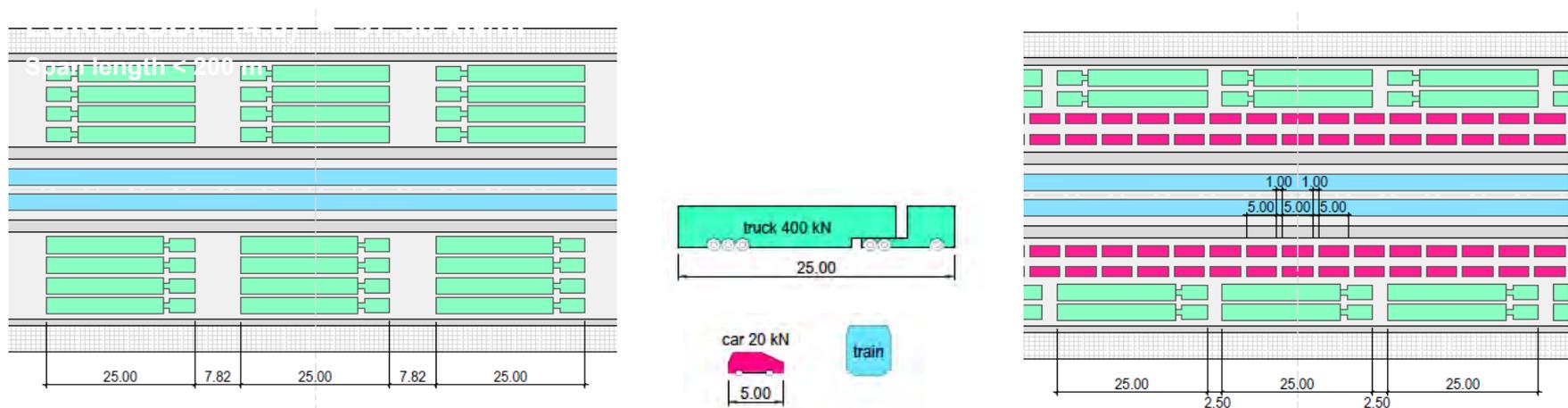
campata < 500 feet (154 m)

Turkish

campata < 500 feet (154 m)

La normativa svedese per i progetti dei ponti, denominata TK BRO, è l'unica normativa che considera anche i ponti di grande campate, come il BB3, senza limiti.

L'ultima edizione del 2009 si basa completamente sugli Eurocodici e ne segue le regole principali.



CRITERI DI PROGETTO - CARICHI

Criteria iniziali

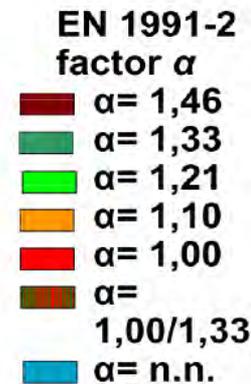
2 treni merci LM71 da 80 kN/m (Heavy freight trains) nella stessa posizione.

Secondo le specifiche (ma anche sulla base dell'Eurocodice) questi carichi vanno moltiplicati per un fattore "alpha" (α) che "deve essere discusso con la autorità competenti durante la fase di progetto)

UIC Union Internationale des Chem,ins de Fer **1,33**

Ponte	Paese	Luce	Stato	α
Oresund	Denmark-Sweden	490	Detail Design Operations	1,1
Messina	Italy	3.300	Detail Design Planned	1,1
3 rd Tagus	Portugal		Tender Design Planned	1,0
Fehman	Denmark-German	1.700	Feasibility study Planned	1,1
Puente Nigale	Venezuela	430	Under construction	1,21

L'uso del Coefficiente Alfa in Europe



Source: Seminar 'Bridge design with Eurocodes' JRC-Ispra, 1-2 october 2012.

1,46 Finland 1,33 Norway – Switzerland – France (only for international freight lines)
 1,21 Spain–Belgium–Nederland–Germany–Slovenia–Hungary–Austria–Denmark–Czechoslovakia
 1,10 Italy – England
 1,00 Sweden – Croatia - France (national freight lines)
 Have to increase the Alfa to the min. 1,10 (UIC)

SISMA E VENTI



Probabilities of occurrence	Exposure life	Return period	Verification	Period
[%]	[years]	[years]		
4	100	2475	ULS	Service Life
19	100	475	SLS	Service Life
4	3	75	ULS	Building Period

Wind Tunnel Tests: Gallerie del vento Politecnico (Milano)- CSTB Nantes



I test eseguiti sono stati finalizzati a:

- Caratteristica aerodinamica torri e impalcato
- Comportamento aeroelastico della struttura
- Configurazione finale e fasi costruttive
- Comfort per gli utenti (wind screen)

La velocità media del vento considerata è pari a 37 m/s , con tempo di ritorno 100 anni

A livello dell'impalcato la velocità media assunta è stata in SLS pari a **46.81 m/s (~ 168 km/h)** di picco 61,08 m/s



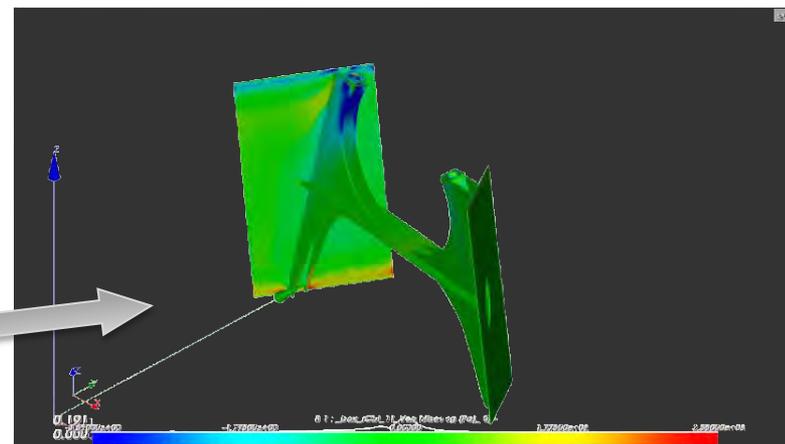
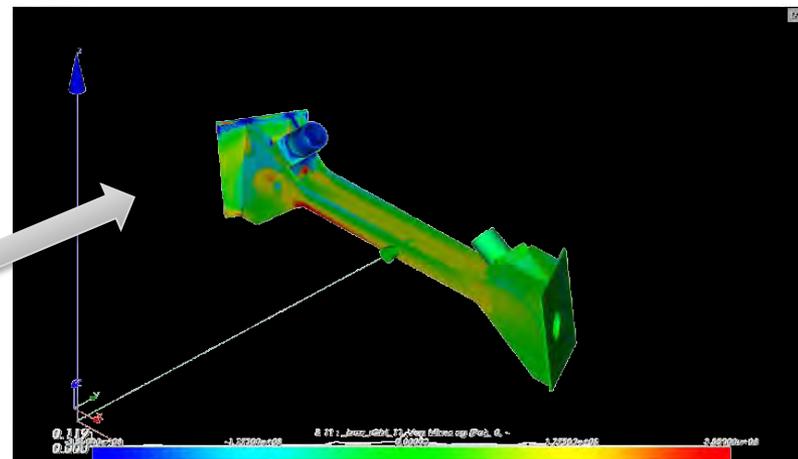
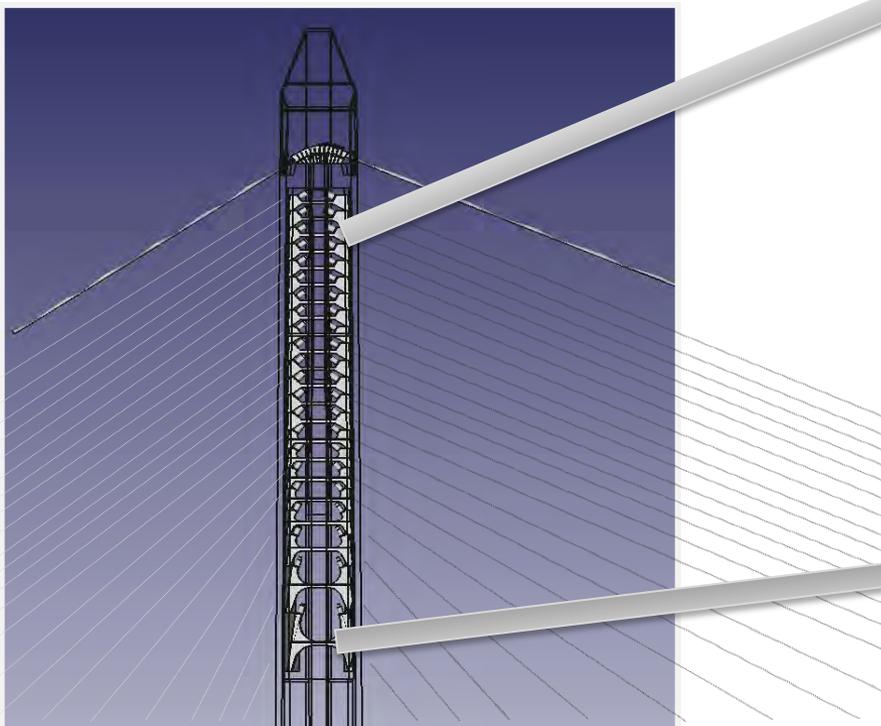
Nel Terzo Ponte le forze del sisma sono circa il 50% di quelle estreme dovute al vento

FONDAZIONI DELLE TORRI



STRALLI : ANCORAGGI

Numero ancoraggi	22 X 4 = 88
Peso totale	2.820 t



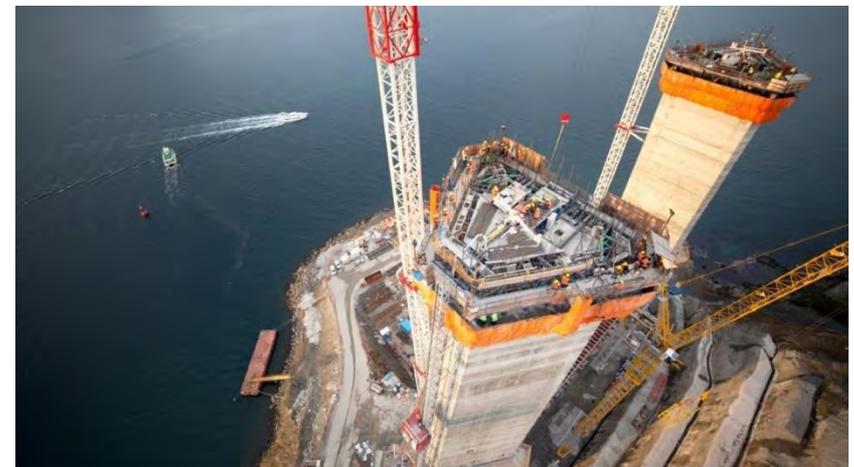
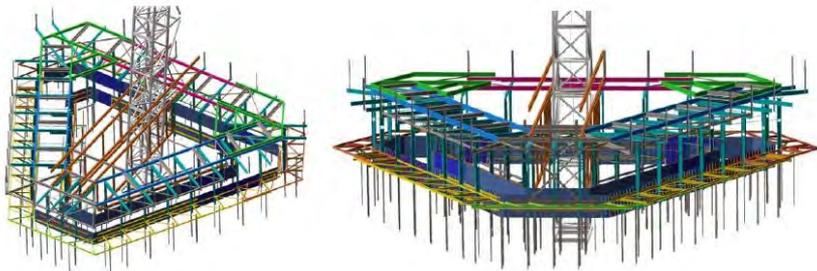
STRALLI : ANCORAGGI



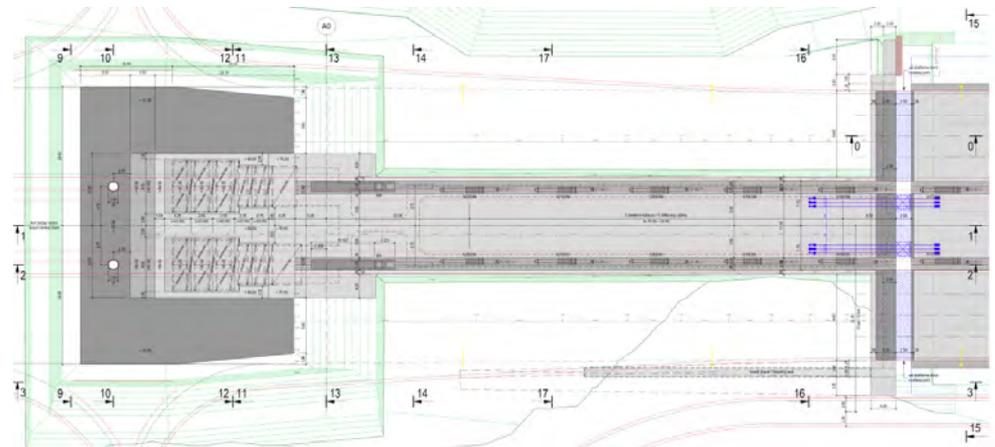
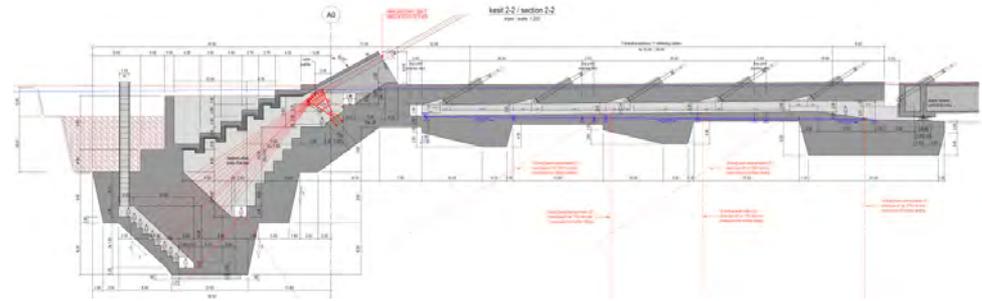
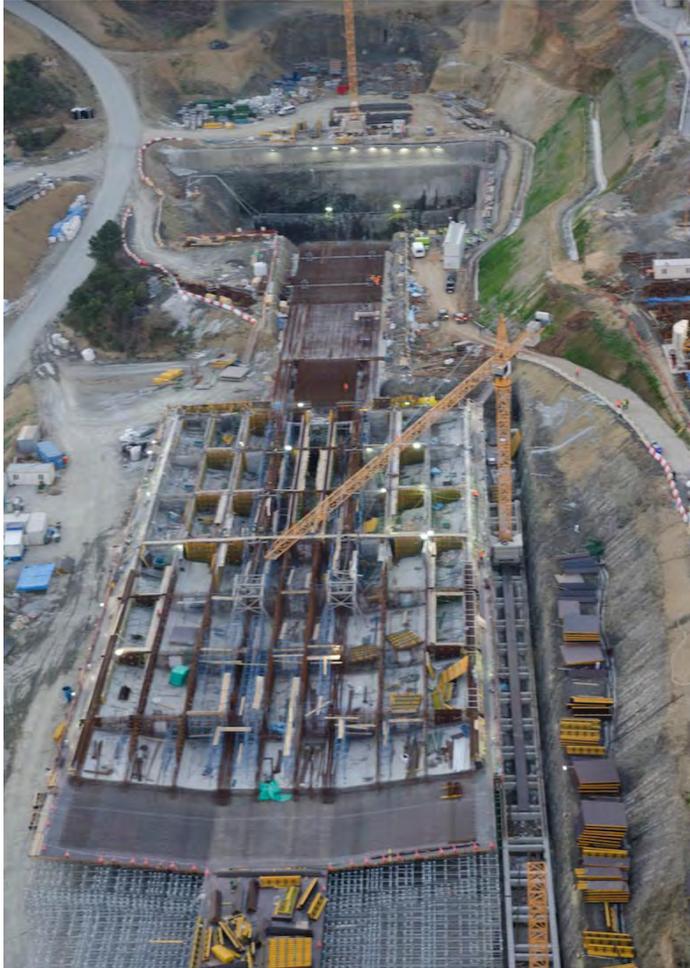
TORRI



CASSERI PER LE TORRI



STRUTTURE A TERRA



STRUTTURE A TERRA

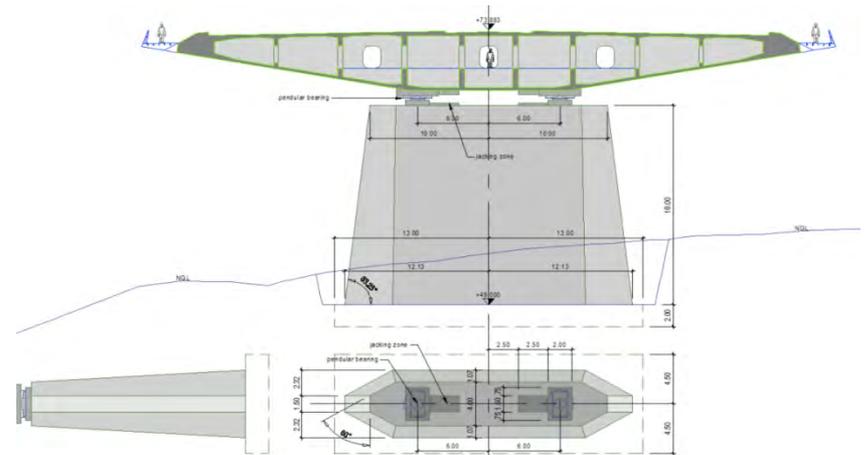
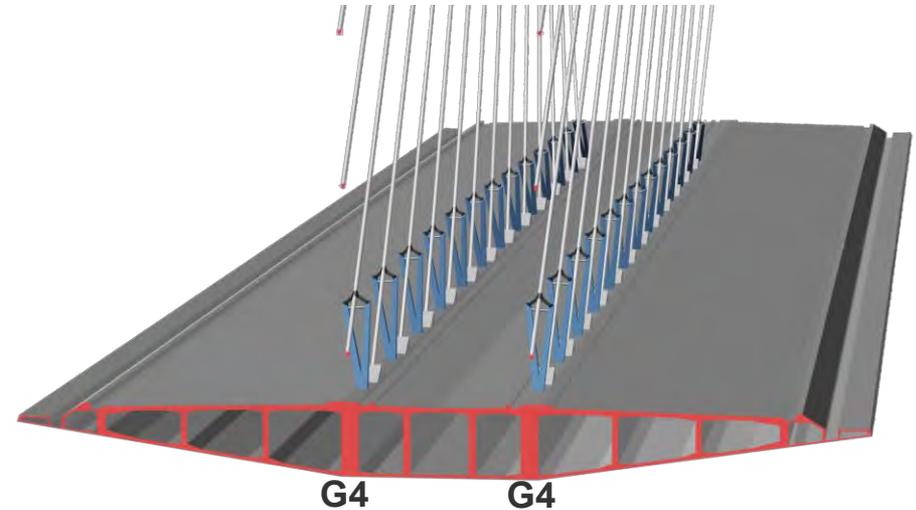
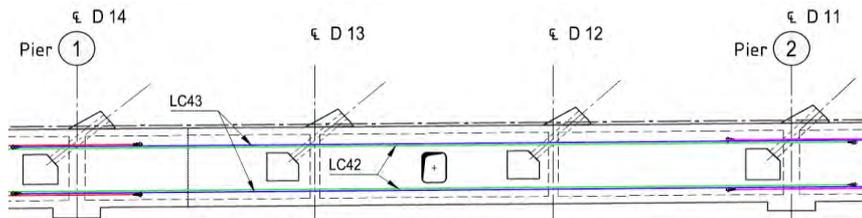


CAMPATE LATERALI

IMPALCATO CON COMPORTAMENTO TRIDIM.

- Struttura multicellulare 47m e alta 5,3m
- N.10 Travi (comprese 2 travi principali – G4)
- 21 Diaframmi trasversali (ogni 15m)
- Appoggi sotto le travi principali G4

Precompressione longitudinale assiale, precompressione trasversale nei diaframmi e nella soletta superior (combinazione di cavi interni e unbonded)



CAMPATE LATERALI



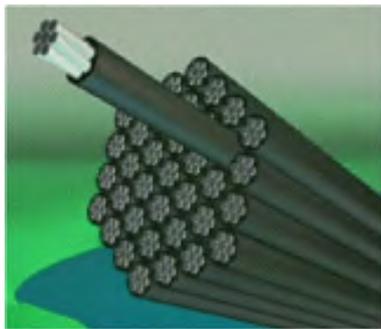
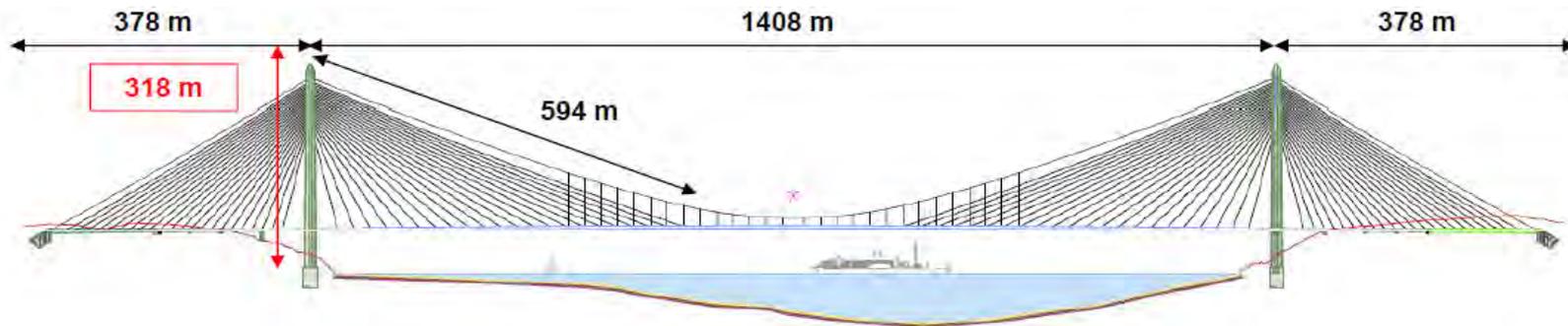
STRALLI

PSS (Parallel Strand System) 1.960 Mpa

Il sistema PSS ha i seguenti vantaggi:

- Installazione e messa in tensione ogni trefolo;
- Protezione individuale contro la corrosione;
- Possibilità di sostituzione dei trefoli.

Diametro	280-315 mm
Numero totale	$22 \times 4 \times 2 = 176$
Peso totale	8.816 t



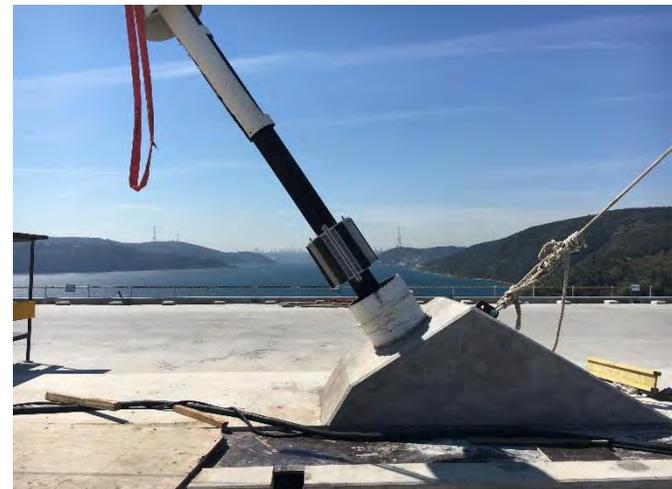
176 STRALLI

65-151 N. TREFOLI PER CAVO

7 FILI PER CAVO (diam. 5.4 mm)



STRALLI & DAMPERS

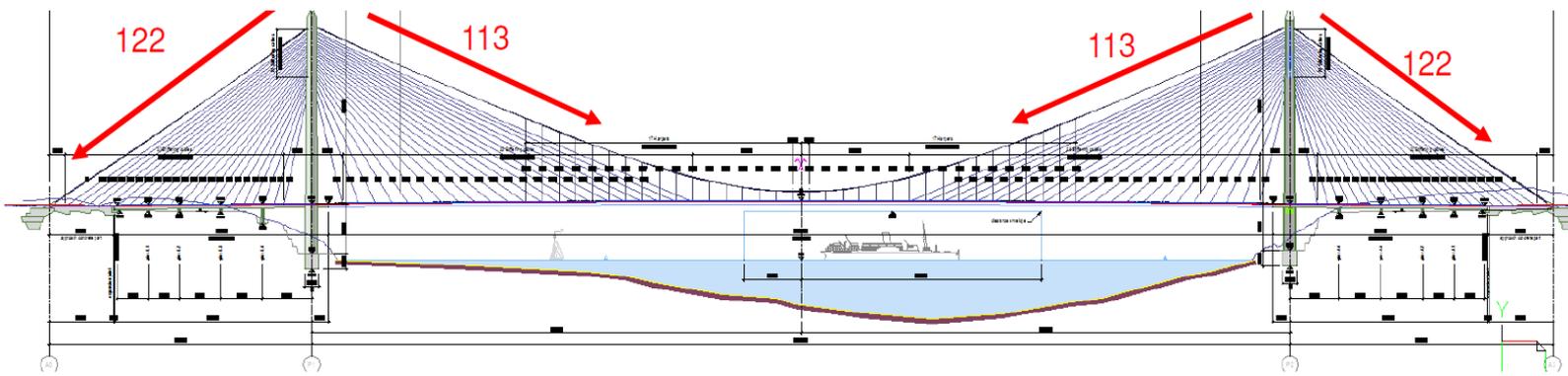
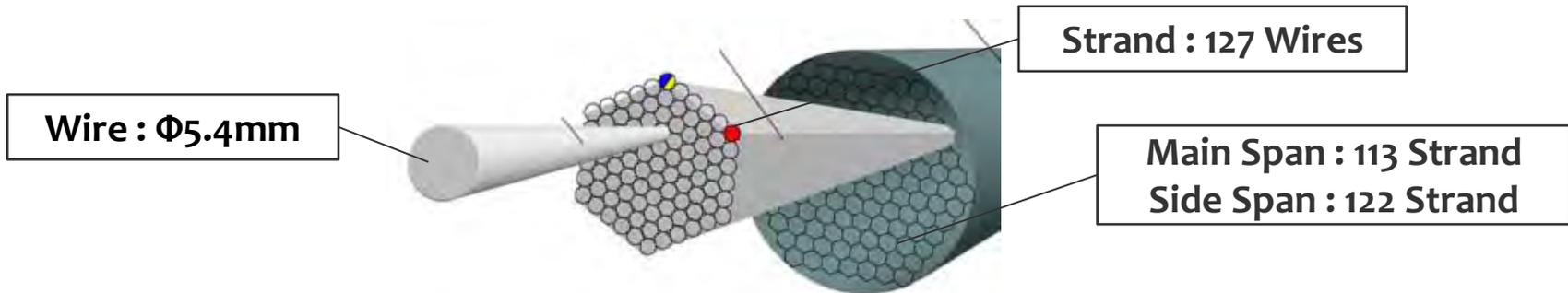




CAVO PRINCIPALE

PPWS (Prefabricated Parallel Wire System) 1.860 Mpa

Lunghezza del cavo	4.842 m
Diametro (campata centrale e laterale)	723 mm – 752 mm
Peso totale del cavo	12,822 t



CAVO PRINCIPALE





LA TECNOLOGIA ITALIANA



ACCIAIERIA FONDERIA CIVIDALE S.p.A.

LINGOTTI E GETTI IN ACCIAIO

Cap. soc. € 5.263.200,00 i.v.
Iscritta nel Registro delle imprese di Udine, numero di iscrizione:
codice fiscale e Partita I.V.A. n. 00165290305
R.E.A. di Udine n. 109211
Sede sociale



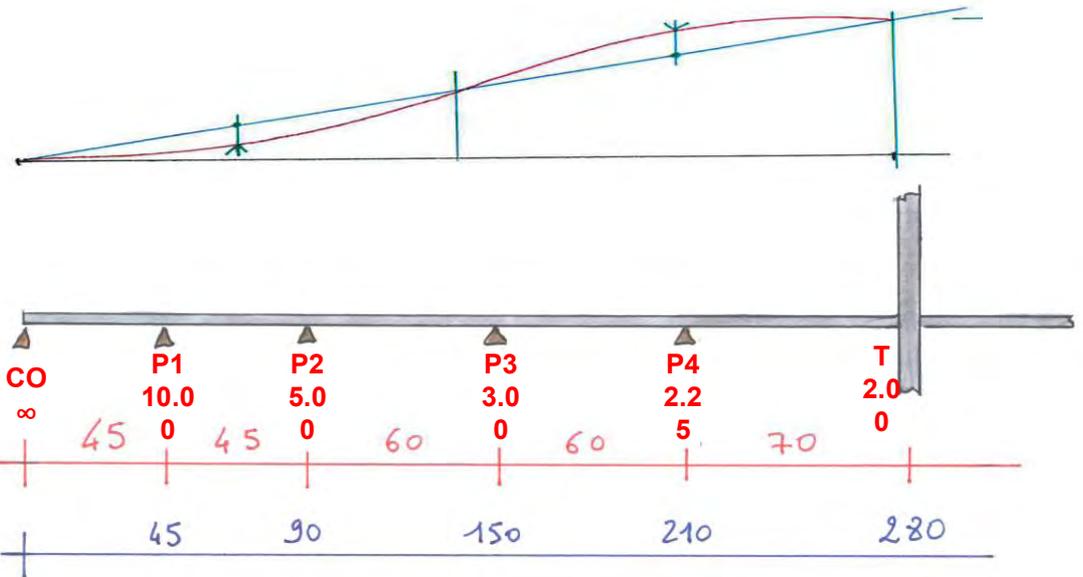
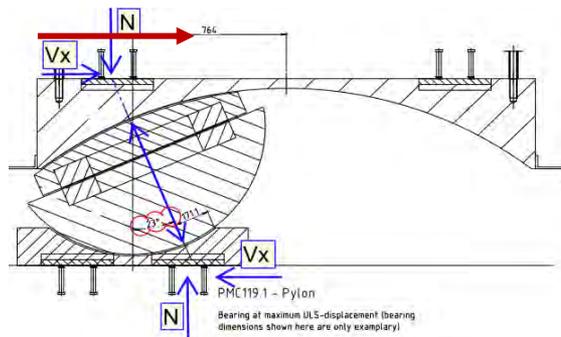
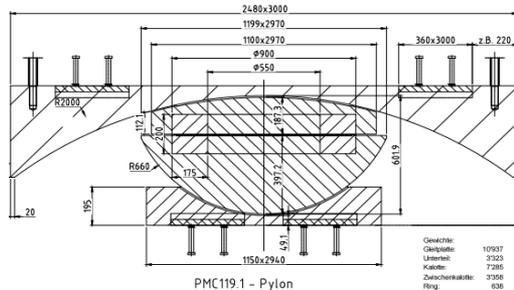
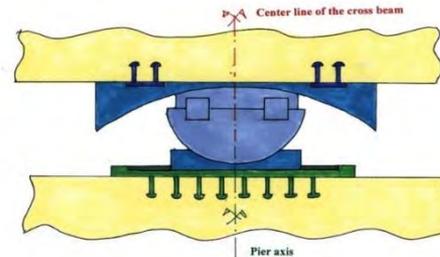
LA TECNOLOGIA ITALIANA



PENDULAR BEARINGS

Pendular bearings sono stati scelti per controllare gli spostamenti longitudinali e il comportamento sismico, sono installati sulle 4 pile per ridurre gli spostamenti grazie all'attrito e all'effetto pendolo. Il progetto dei raggi di curvatura ottimizza:

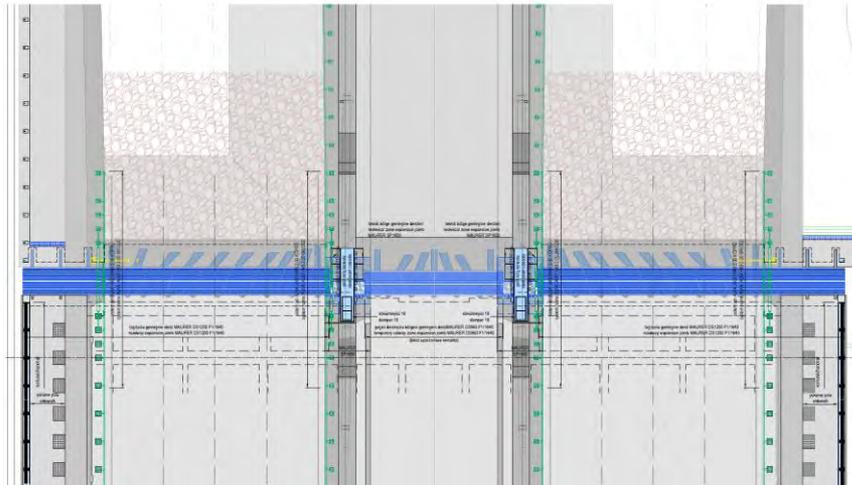
- Gli effetti termici
- L'effetto del treno fermo sul ponte
- La dinamica del treno
- Il sisma



PENDULAR BEARINGS & EXPANSION JOINTS



-1200 - +1460

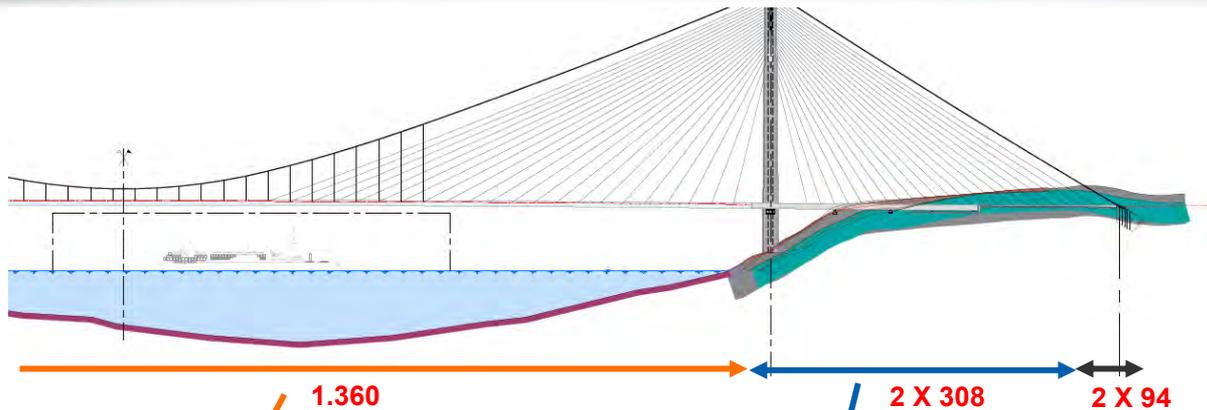


PAVEMENT & WIND BARRIERS

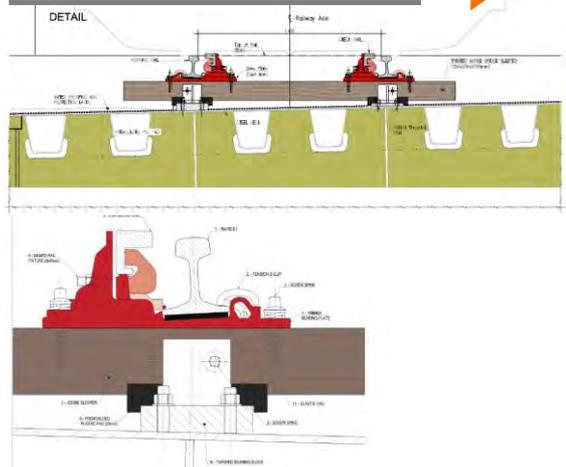
IMPALCATO METALLICO	
Stone Mastic Asphalt	4 cm
Mastic Asphalt	3 cm
Take coat (mano di attacco)	Metalcrlato polimero HR
Impermeabilizzazione MMA	Metli Metalcrlato (resina)
Primer (spray)	Anti corrosivo per metalli



ARMAMENTO

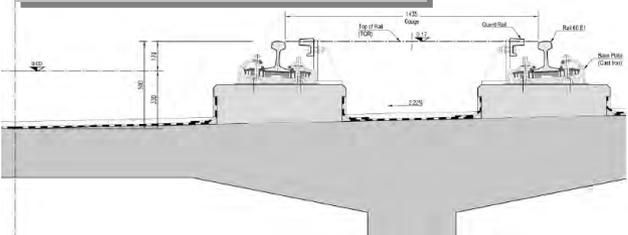


Traverse in legno e/o fibrorinforzate FFU



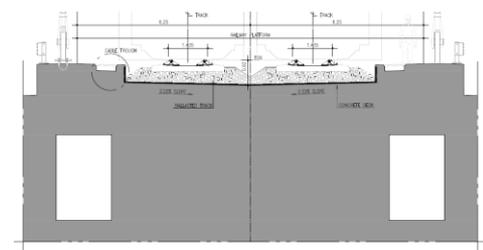
Peso tot. (1 bin.) 7 kN/m

Traverse in c.a.

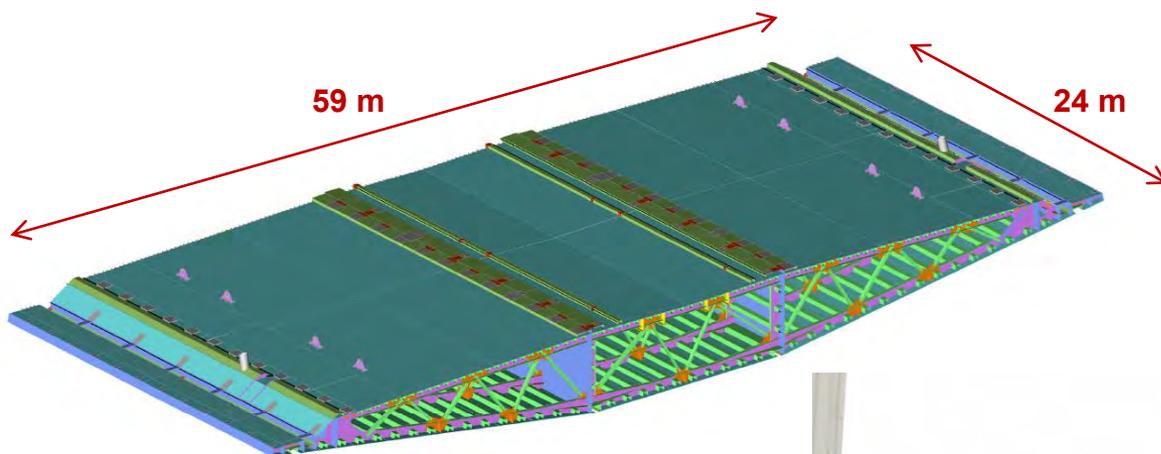
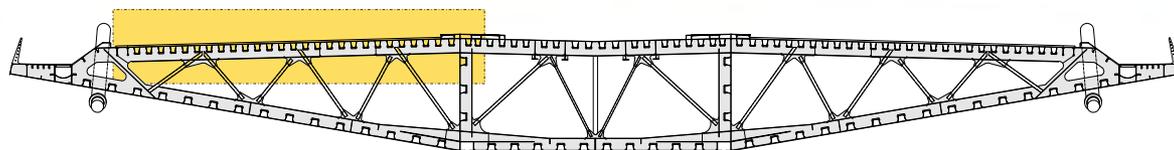


Peso tot. (1 bin.) 12,9 kN/m

Ballast classico



IMPALCATO METALLICO - CAMPATA CENTRALE



**L'IMPALCATO E' UN CLASSICO
ORTOTROPICO ESEGUITO CON
LASTRE DI ACCIAIO S460**

**COMPOSTO DA 59 SEGMENTI
OGNUNO DI 900 TONN.**



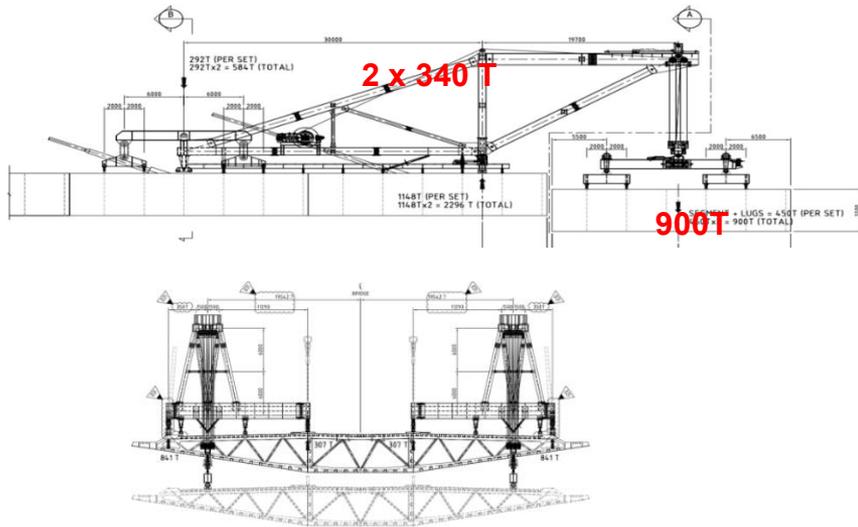
SEQUENZA DI MONTAGGIO CAMPATA CENTRALE



SEQUENZA DI MONTAGGIO CAMPATA CENTRALE

1. PARTE A SBALZO

Sollevarono della parte strallata con due derrick cranes
Dal segmento D00 fino al segmento D20



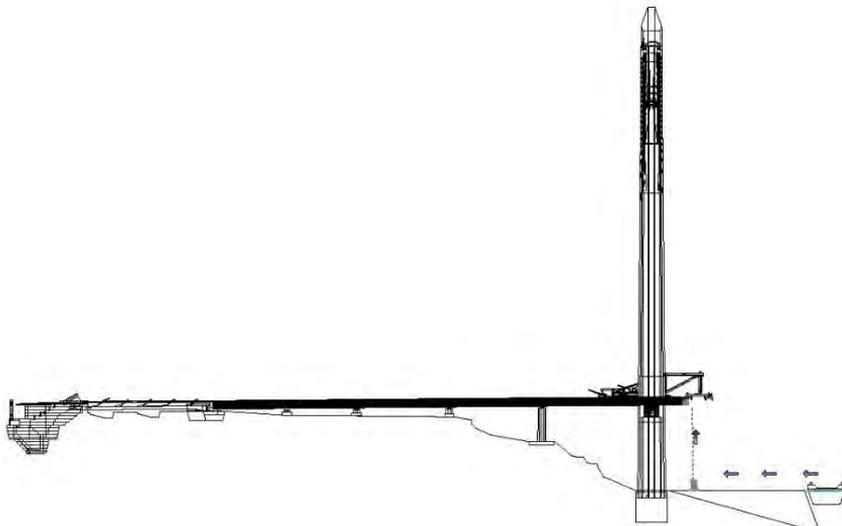
2. PARTE SOSPESA

Solevamento della parte sospesa con due Lifting Gantry
Dal segmento D21 al segmento chiave D99

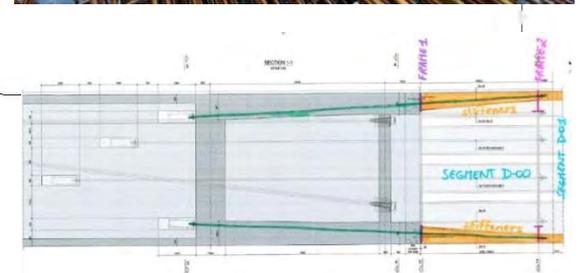


PARTE A SBALZO Segmento D00 – 4 m

- Installazione ed ancoraggio dei derrick crane
- Sollevamento segmento D00 acciaio, connessione con CLS (4 m)
- Connessione provvisoria del D00 al segmento di CLS
- Getto del giunto di 50 cm e successiva post-tensione
- Rilascio dei derrick crane



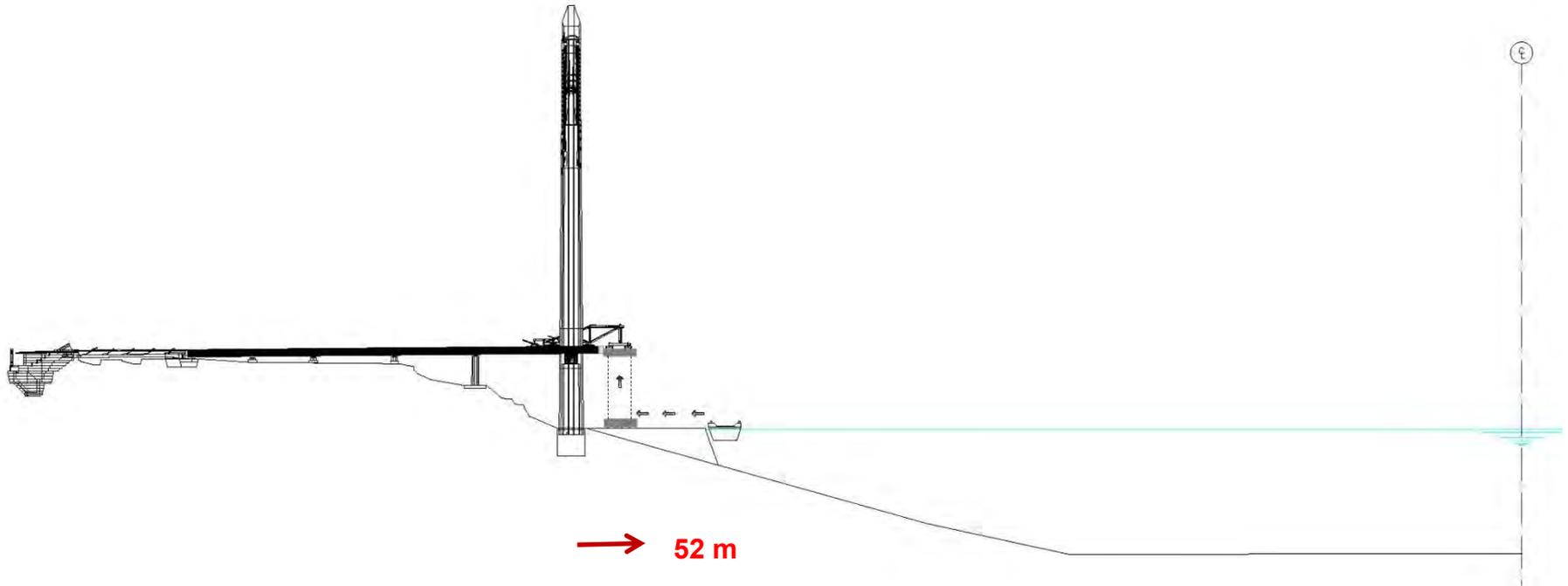
→ 28 m





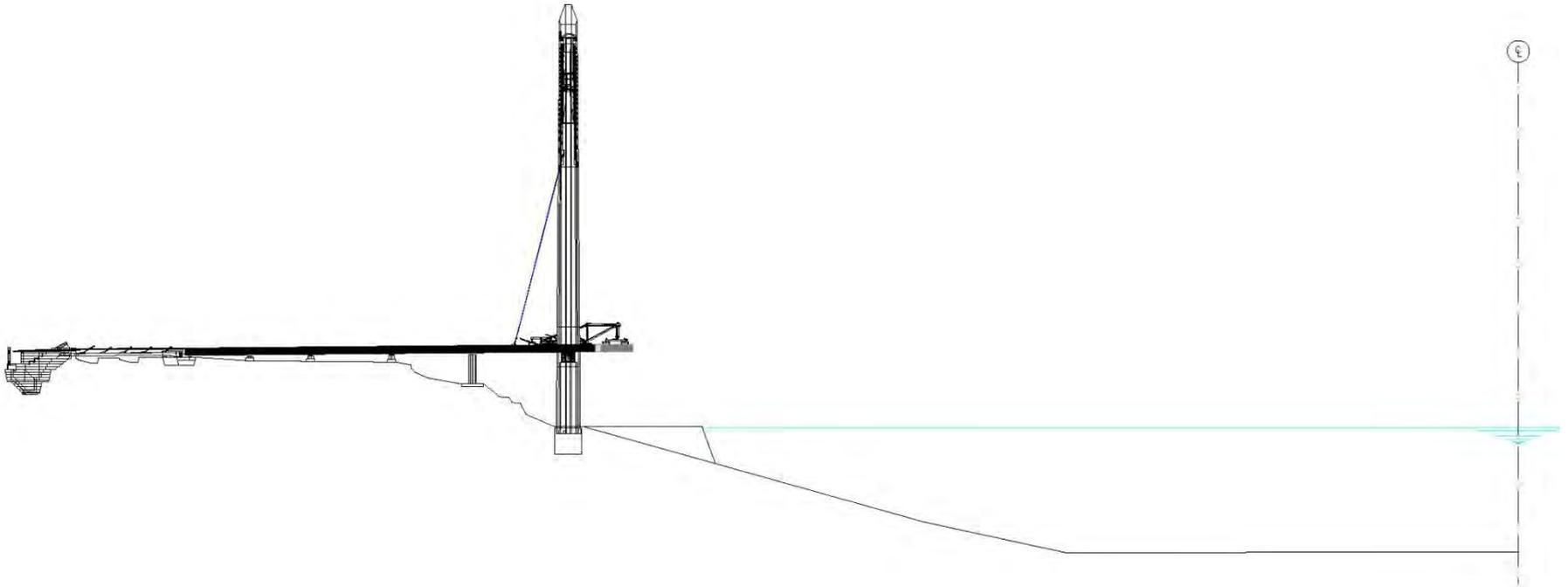
PARTE A SBALZO
Segmento D01 – 24 m

- Lancio dei derrick crane
- Sollevamento del segmento D01
- Saldatura della connessione fra D00 e D01



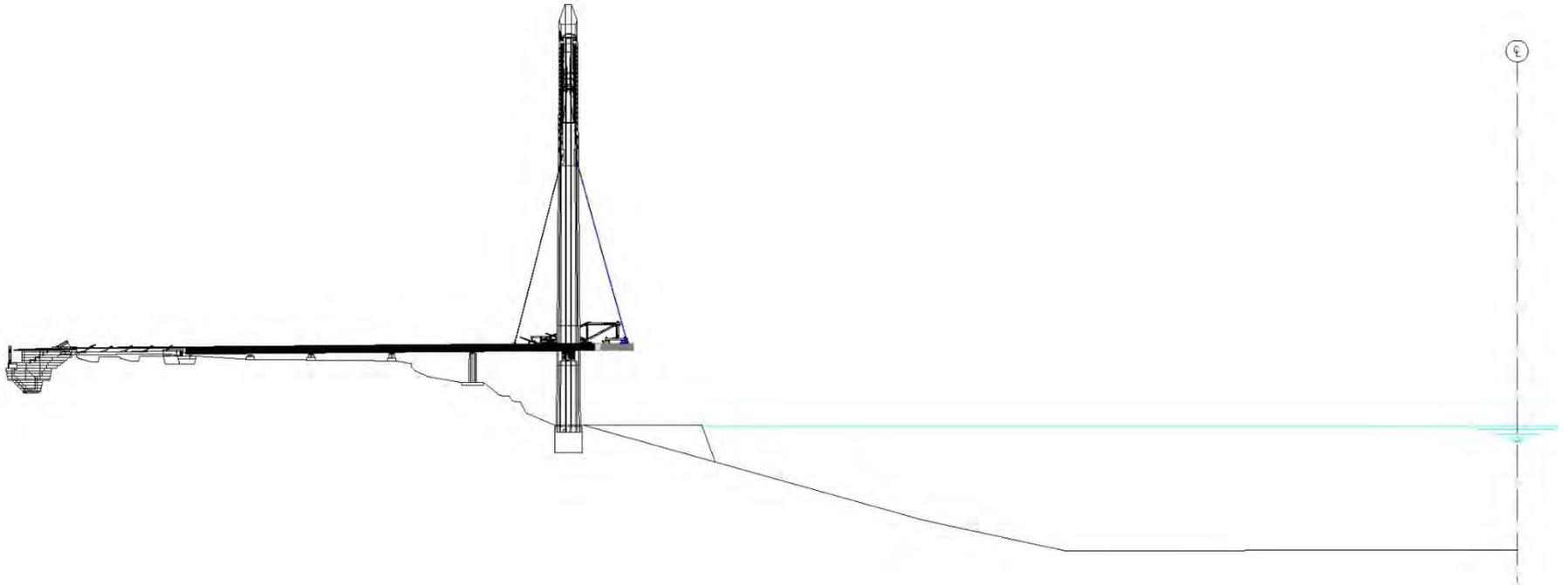
- Installazione degli stralli S01B della campata laterale
- Rilascio del concio D01 con solo peso proprio

PARTE A SBALZO
Segmento D01 – 24 m



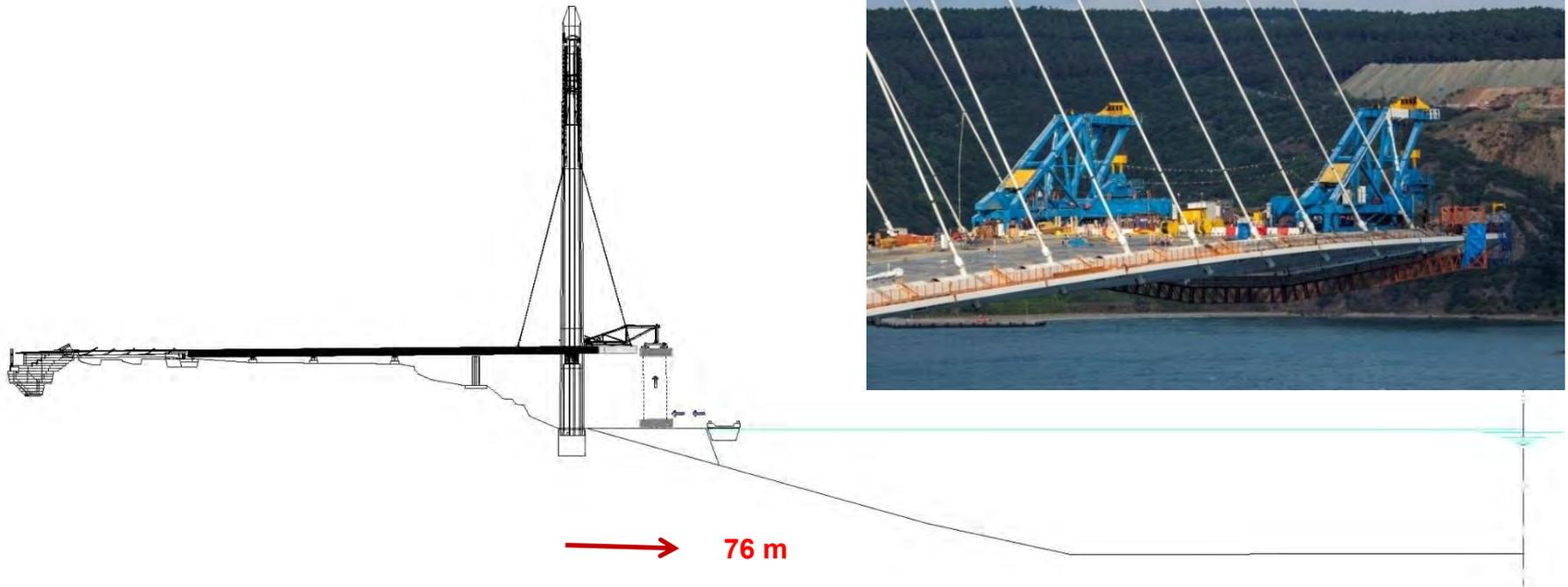
PARTE A SBALZO
Segmento D01 – 24 m

- **Installazione degli stralli S01M delle campate centrali**



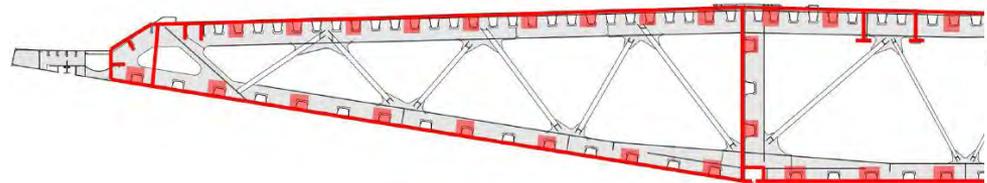
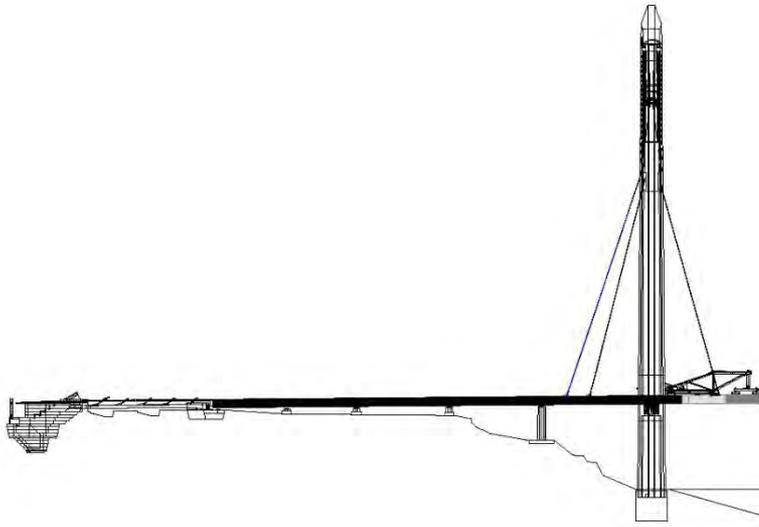
PARTE A SBALZO
Segmento D02 – 24 m

- Lancio dei derrick crane
- Sollevamento del segmento D02
- Saldatura della connessione fra D01 e D02



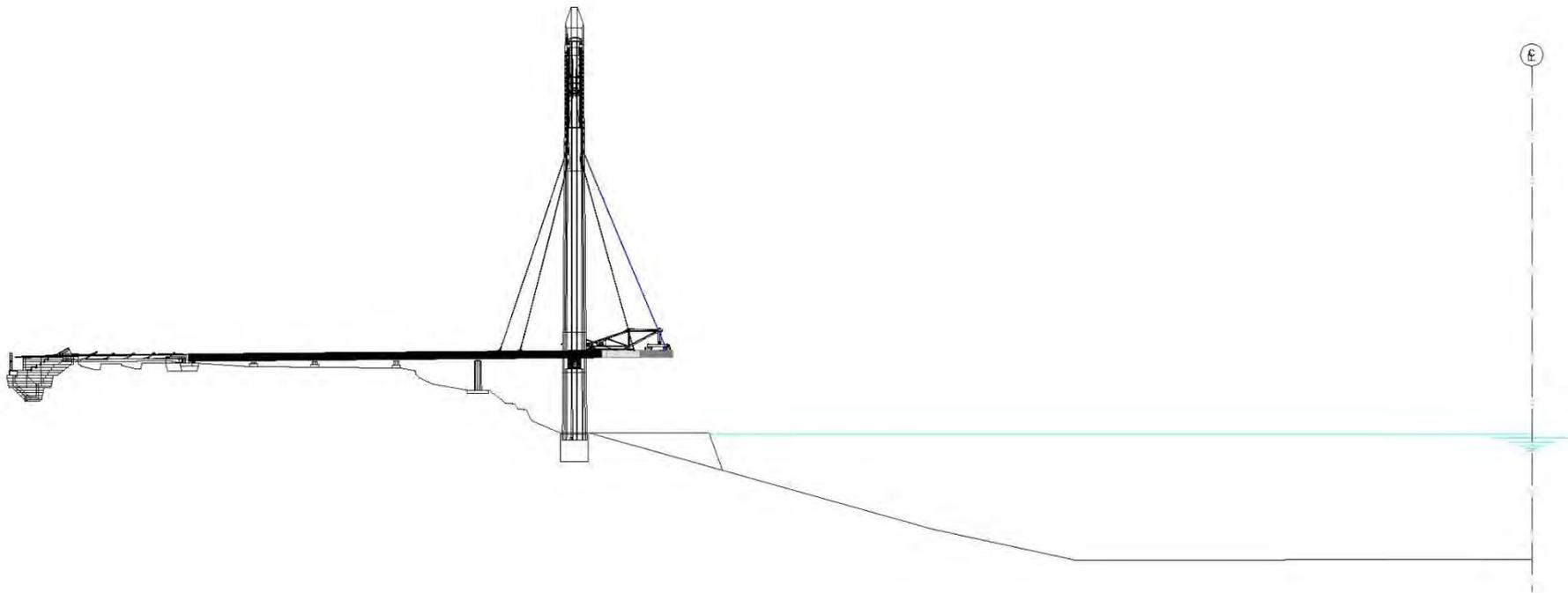
PARTE A SBALZO Segmento D02 – 24 m

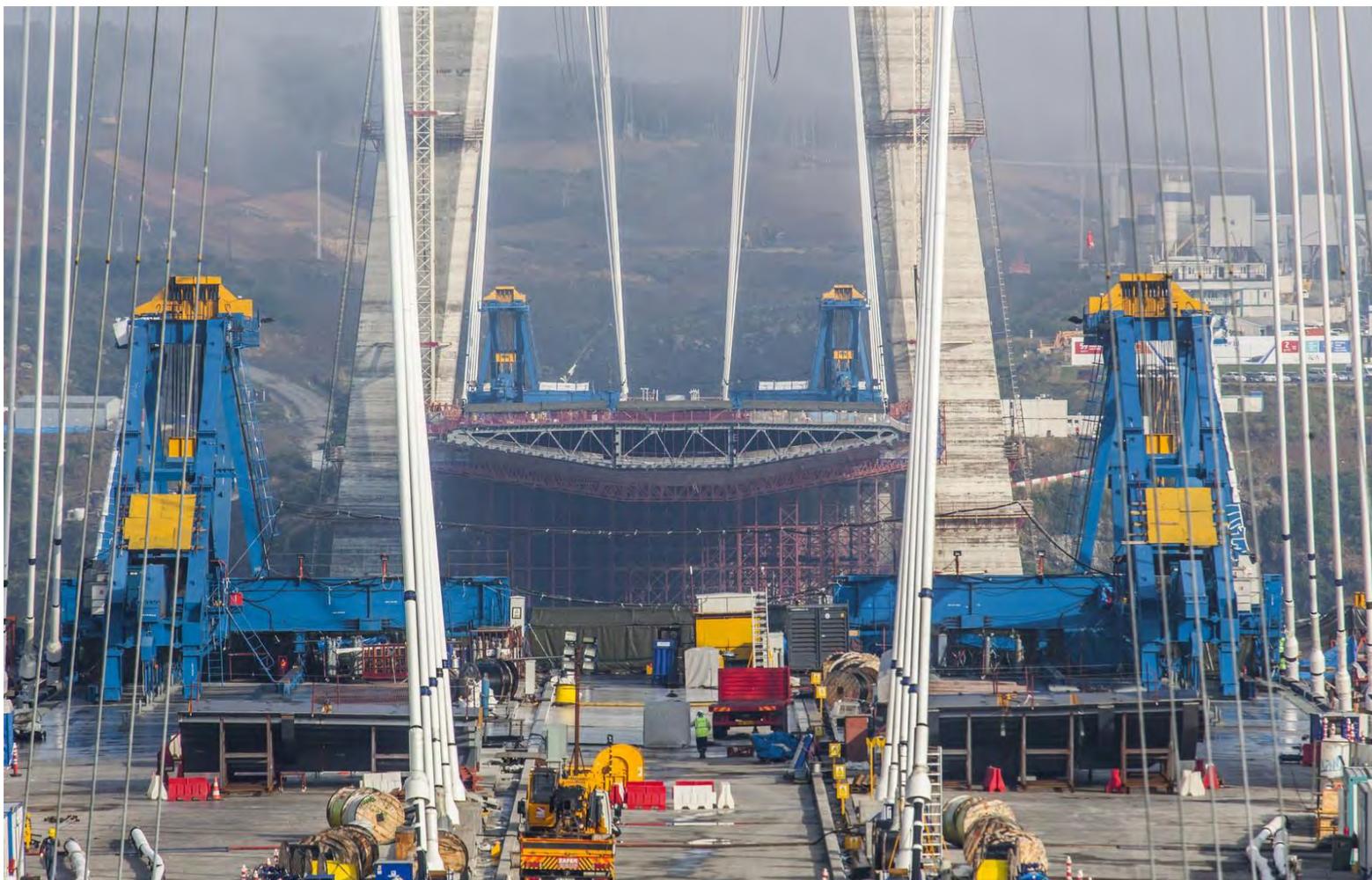
- Installazione degli stralli S02B delle campate laterali
- Rilascio del concio D02 con solo peso proprio



PARTE A SBALZO
Segmento D02 – 24 m

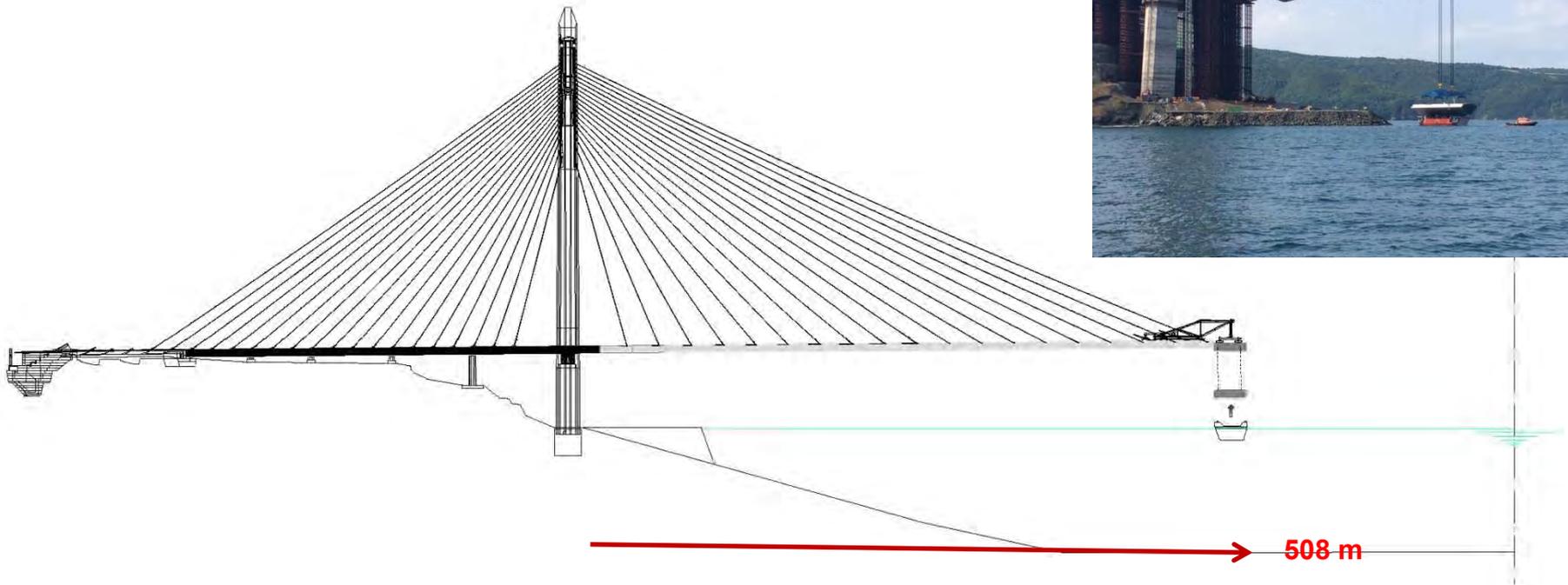
- Installazione degli stralli S02M delle campate centrali





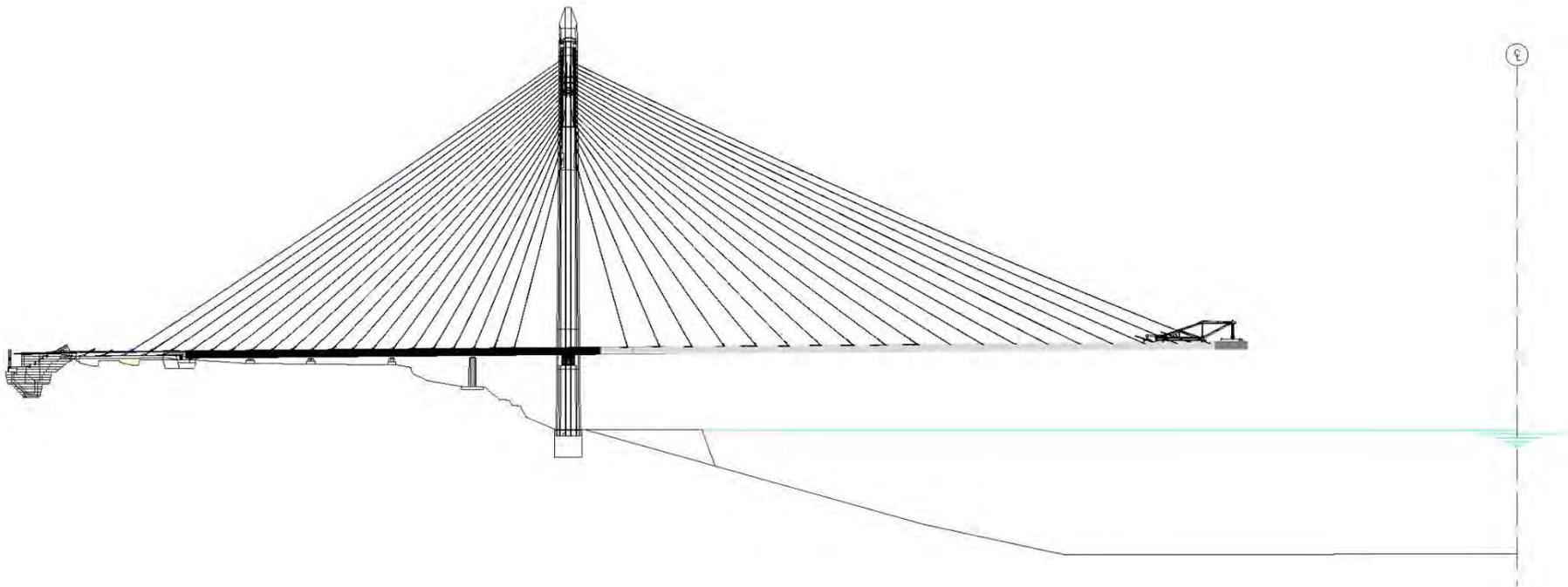
PARTE A SBALZO
Segmento D20 – 24 m

- Lancio dei derrick crane
- Sollevamento del segmento D20
- Saldatura della connessione fra D19 e D20



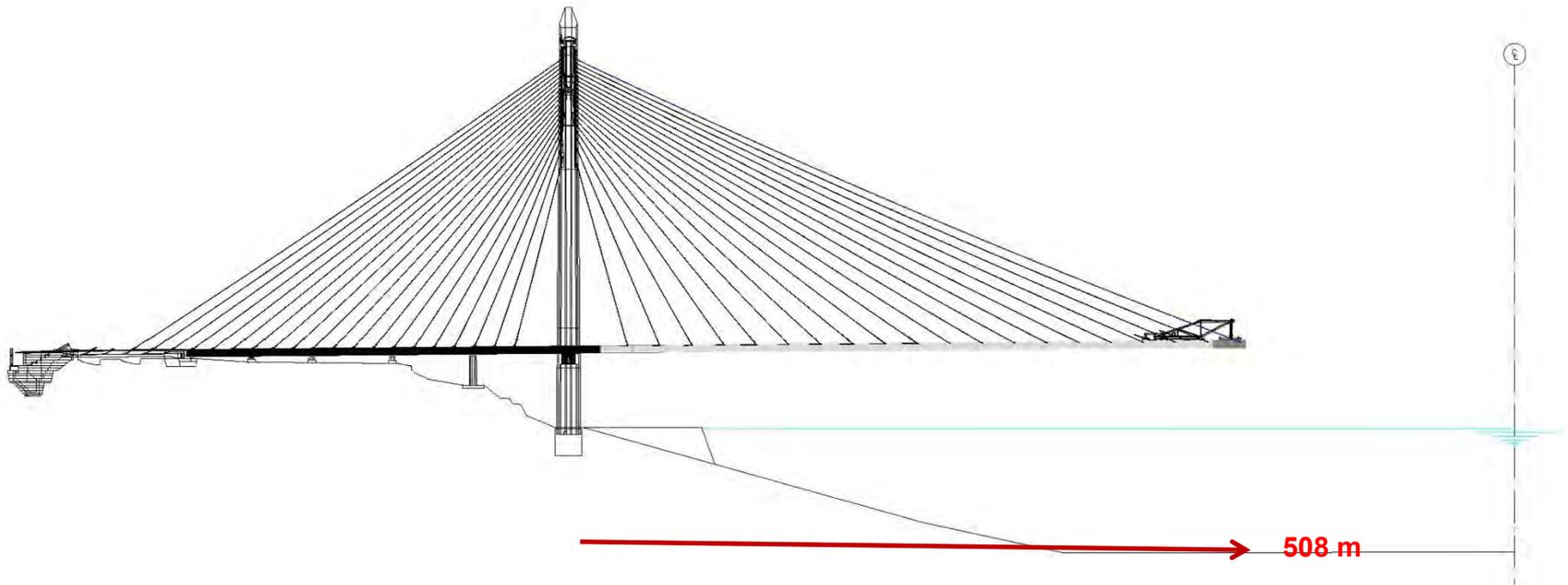
- Installazione degli stralli S20B delle campate laterali

PARTE A SBALZO
Segmento D20 – 24 m



PARTE A SBALZO
Segmento D20 – 24 m

- Rilascio del concio D20 con solo peso proprio
- Installazione degli stralli S20M delle campate centrali

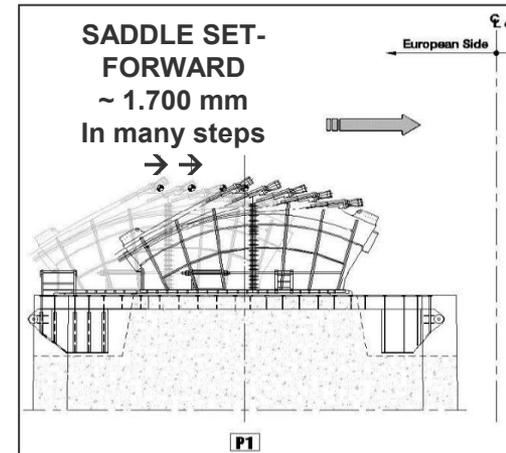
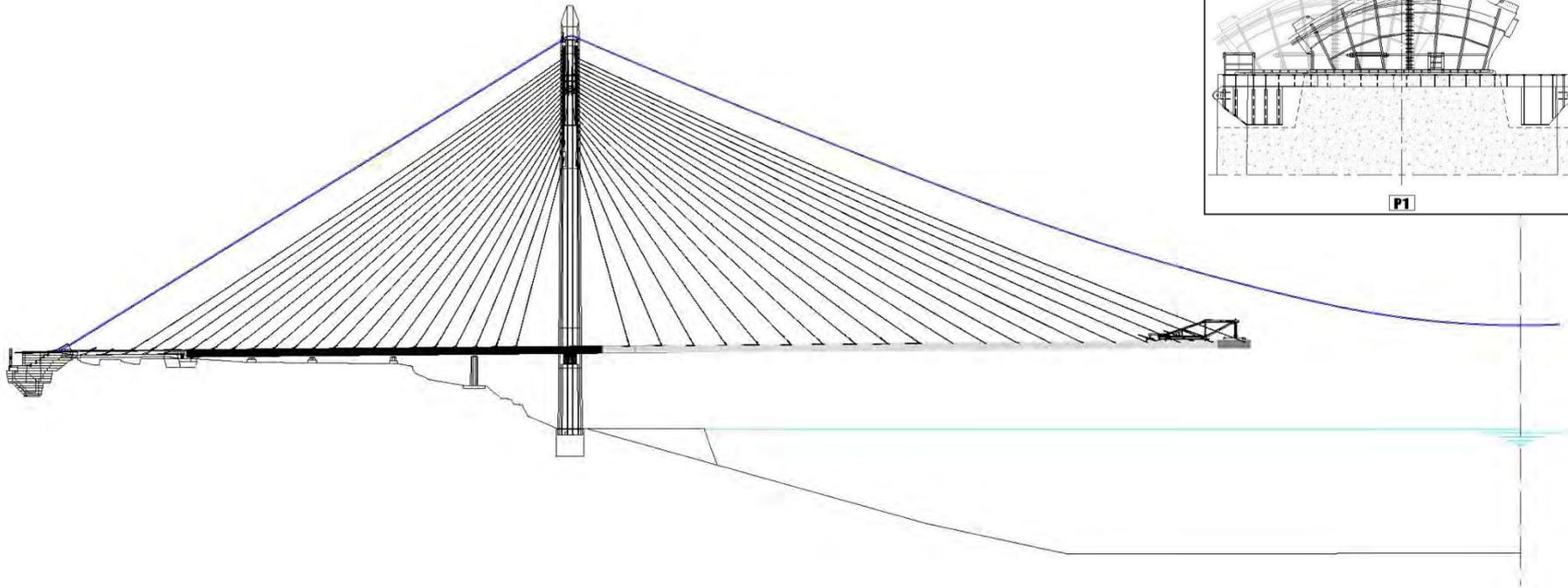


FINE DELLA PARTE A SBALZO

PARTE SOSPESA

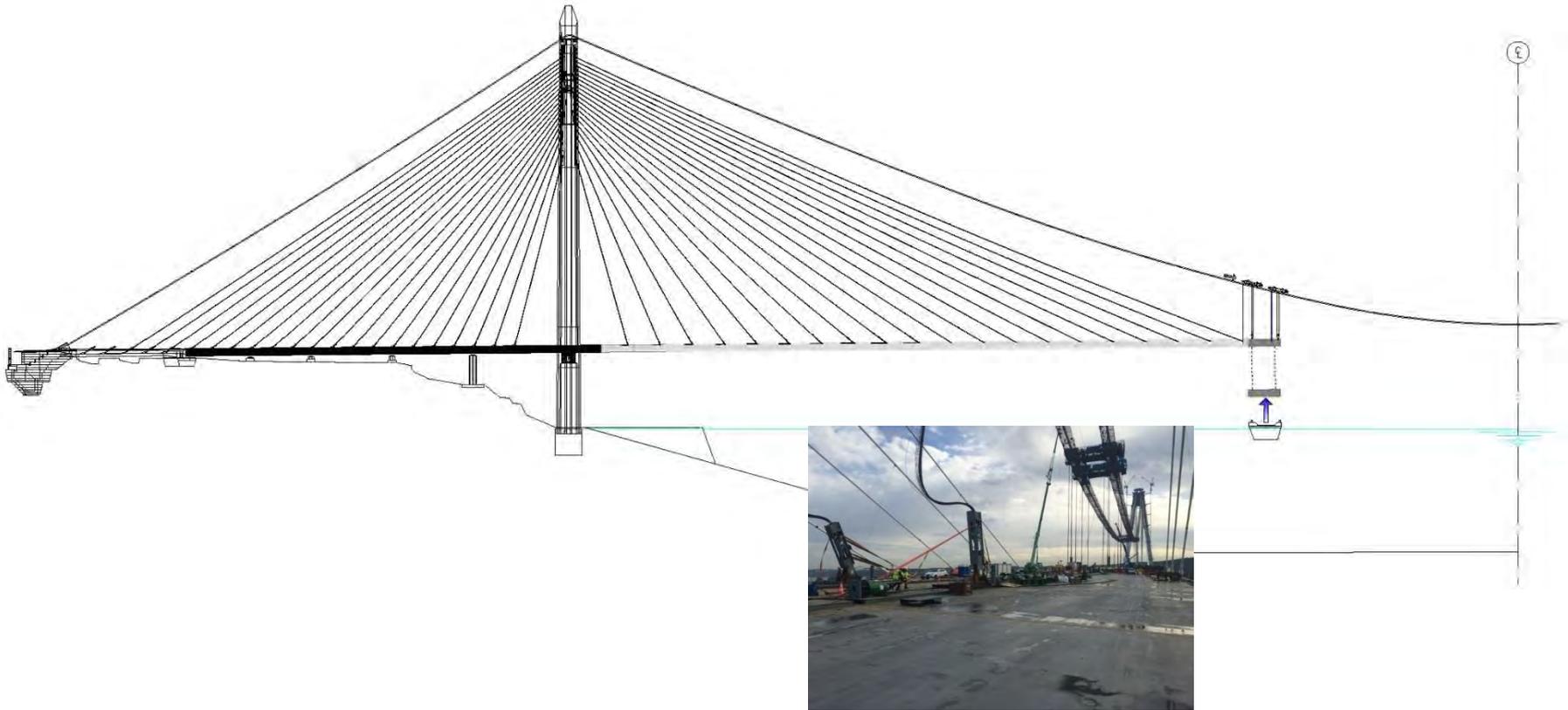
- Installazione dei due main cables
- Smontaggio dei Derrick Crane
- Compattazione dei due cavi principali
- Installazione delle "cable bands"
- Avanzamento delle selle

MC



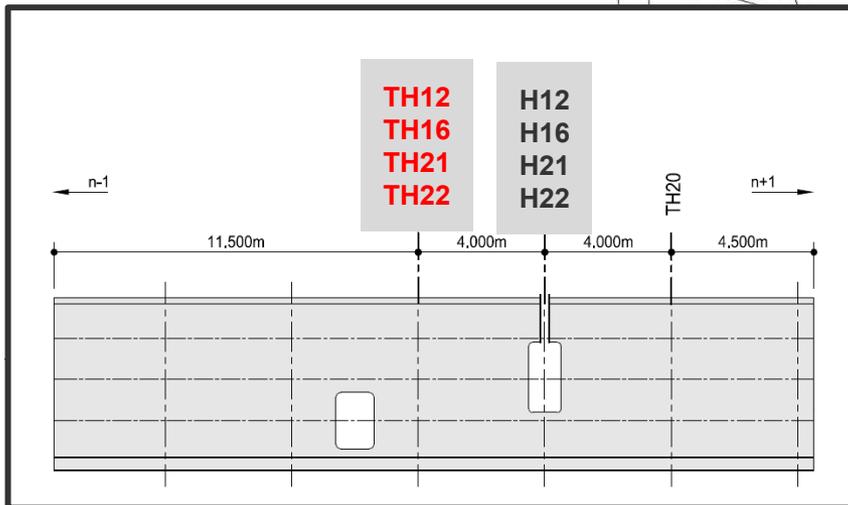
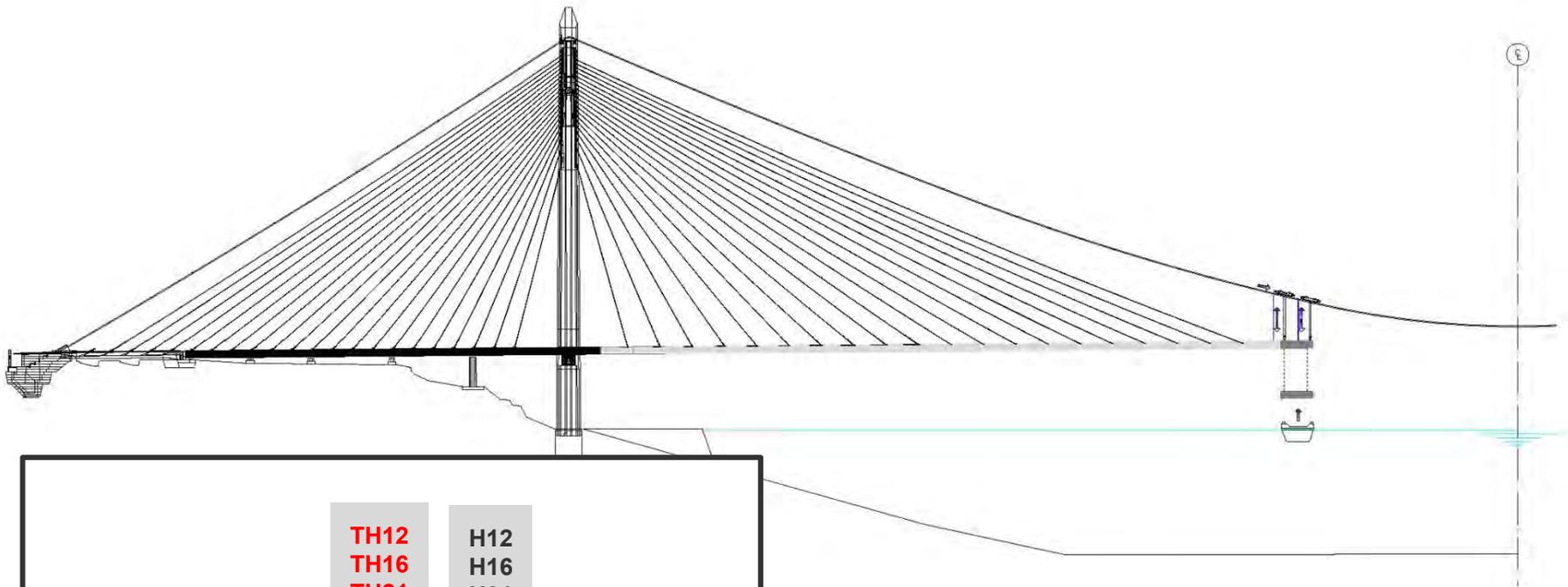
PARTE SOSPESA
Segmento D21 – 24 m

- Installazione dei lifting gantry
- Avanzamento delle selle
- **Installazione dei Pendini temporanei TH20**
- Avanzamento delle selle
- Sollevamento del segment D21
- Aggiustamento della lunghezza dei Pendini temp. TH20
- Saldatura della giunzione fra I segmenti D20 e D21
- **Installazione dei Pendini temporanei TH21**



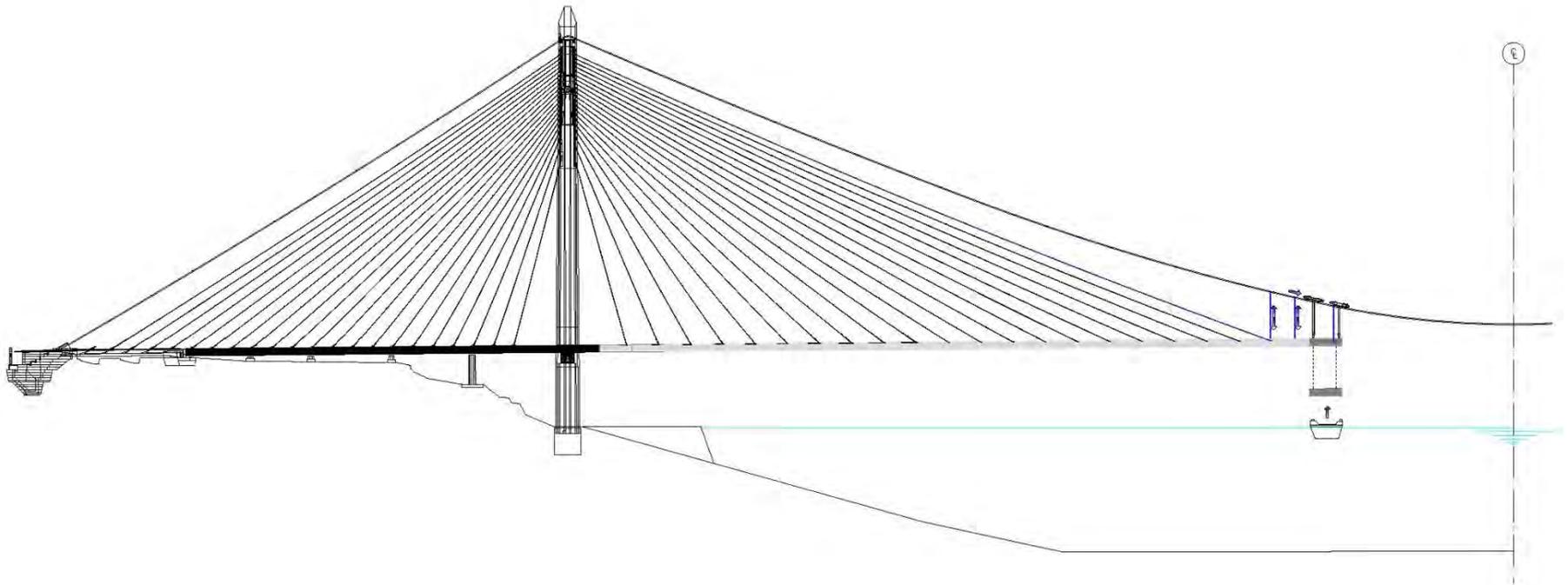
PARTE SOSPESA
Segmento D22 – 24 m

- Spostamento dei lifting gantry
- **Rimozione dei Pendini temporanei TH20**
- Sollevamento del segment D22
- Saldatura della giunzione fra I segmenti D21e D22
- Avanzamento delle selle
- **Installazione degli stralli S21B (back span)**
- **Installazione dei Pendini temporanei TH22**
- **Aggiustamento della lungh. dei Pendini temp. TH21 e TH22**



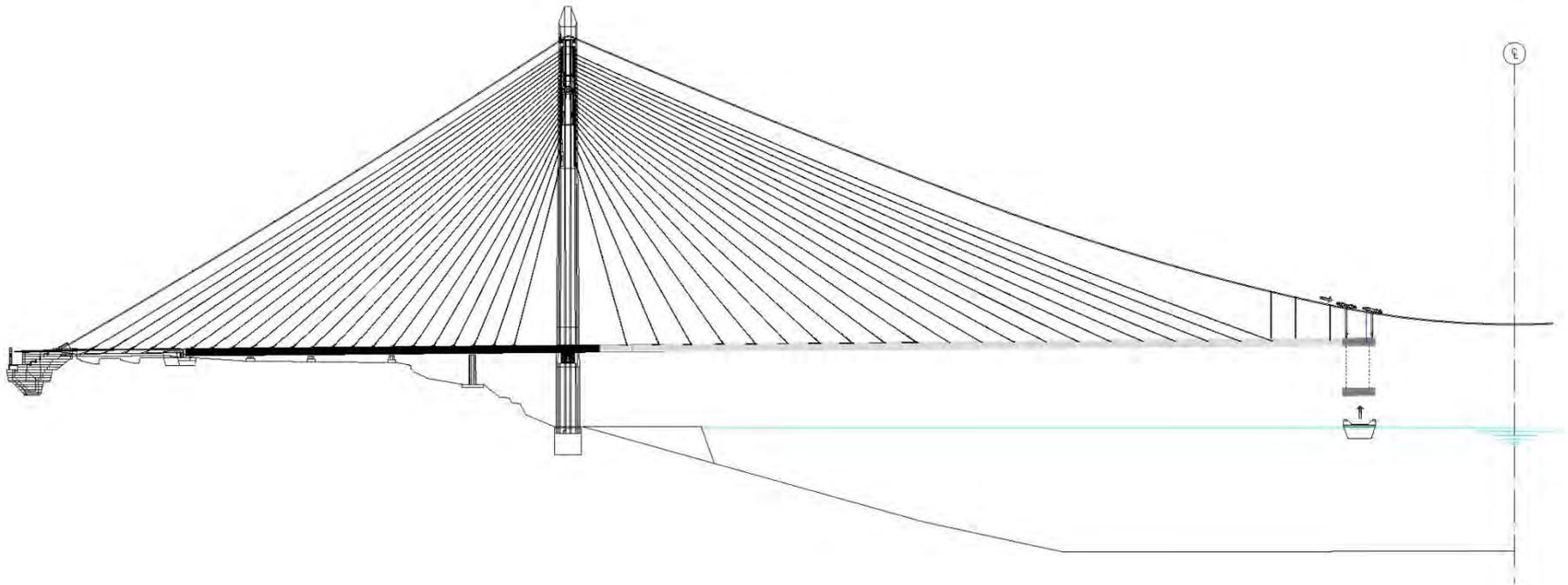
PARTE SOSPESA
Segmento D23 – 24 m

- Sollevamento segment D23
- Saldatura della giunzione fra i segmenti D22 e D23
- **Installazione degli stralli S21M nella campata centrale**
- Installazione dei pendini temporanei H23
- Avanzamento delle selle



PARTE SOSPESA
Segmento D24 – 24 m

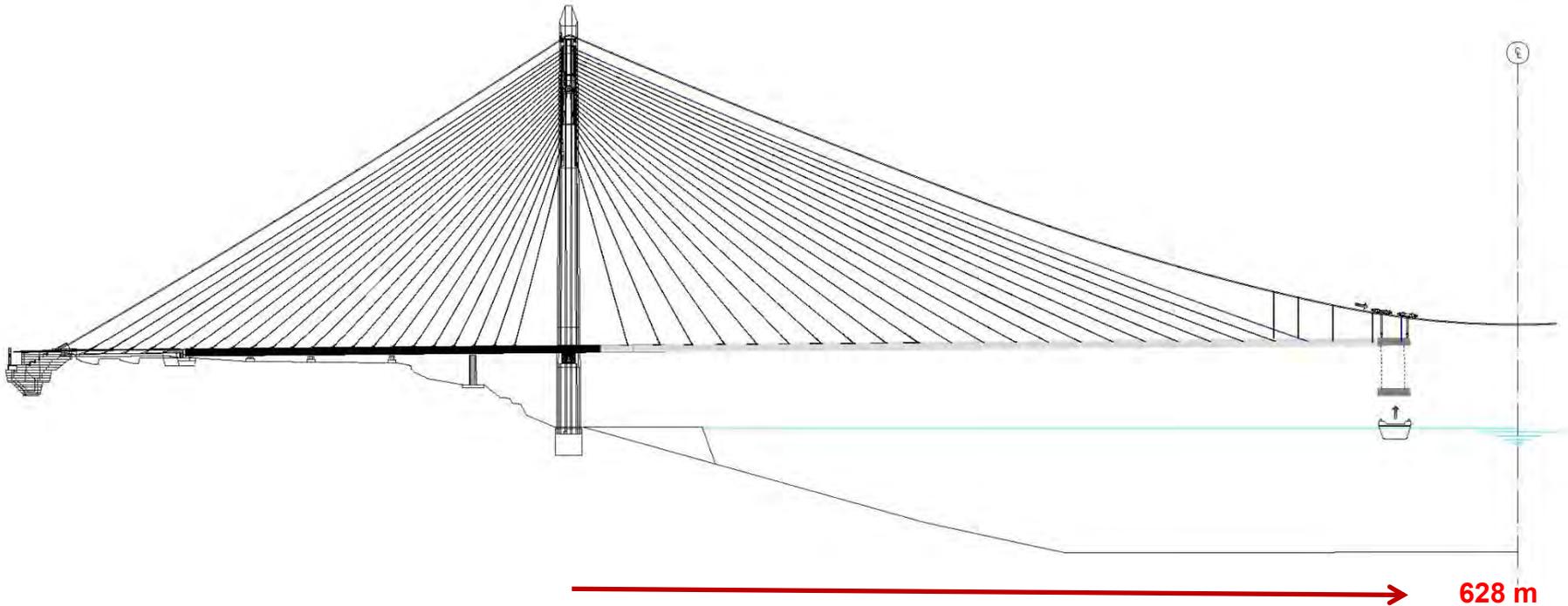
- Sollevamento del segmento D24
- Saldatura della giunzione fra i segmenti D23 e D24
- **Installazione degli stralli S22B delle campate laterali**
- Aggiustamento della lughe. dei Pendini temp. TH21 e TH22
- Installazione dei Pendini H24
- Avanzamento delle selle





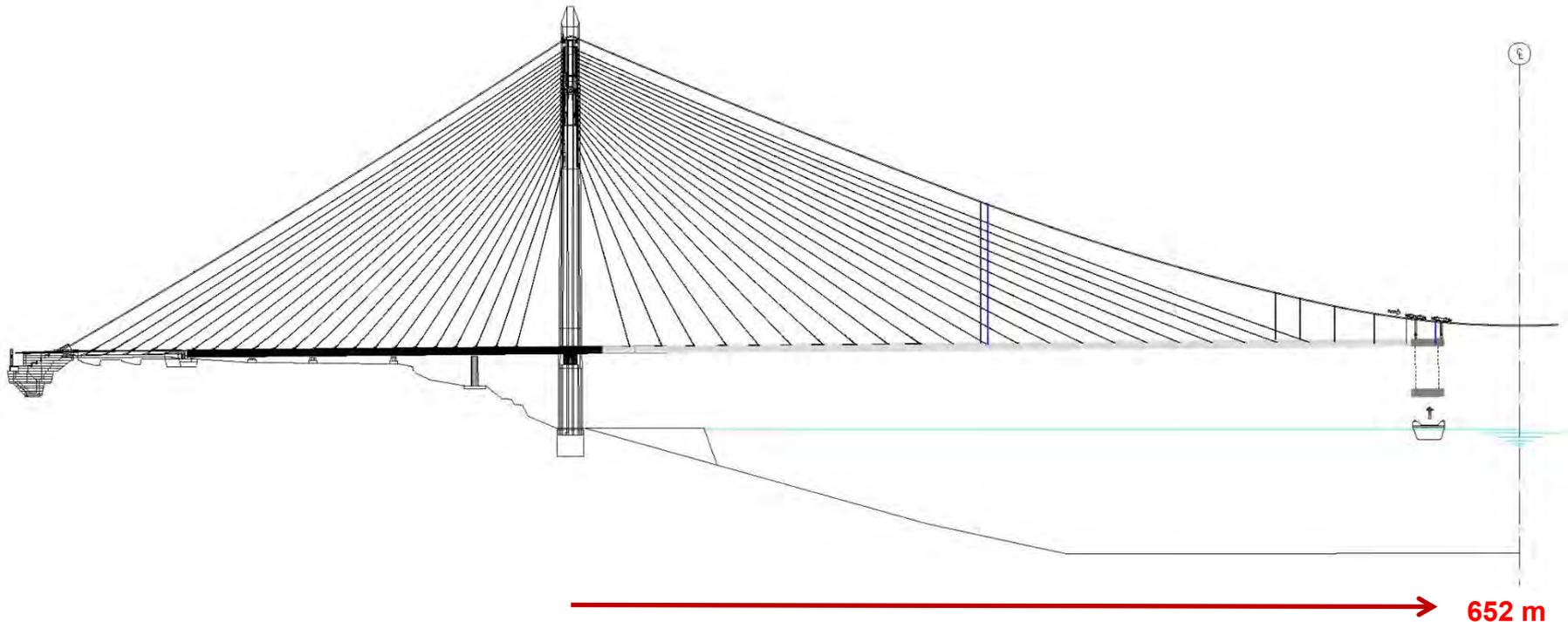
PARTE SOSPESA
Segmento D25 – 24 m

- Sollevamento del segmento D25
- Saldatura della giunzione fra i segment D24 e D25
- **Installazione degli stralli S22M sulla campata centrale**
- Installazione dei Pendini H25



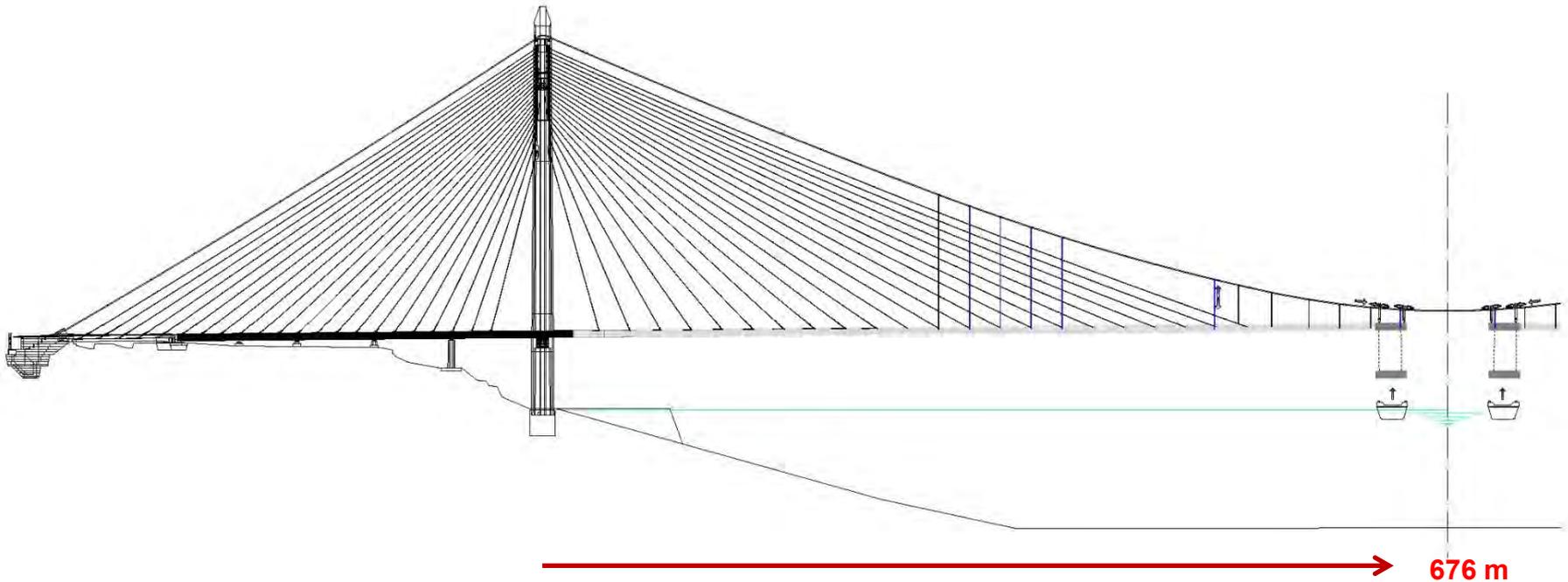
PARTE SOSPESA
Segmento D26 – 24 m

- Sollevamento del segmento D26
- Saldatura della giunzione fra i segmenti D25 e D26
- Avanzamento delle selle
- **Installazione dei Pendini Temporanei TH12**
- **Installazione dei Pendini H12**
- **Rimozione dei Pendini Temporanei TH12**
- **Installazione dei Pendini H26**
- Avanzamento delle selle



PARTE SOSPESA
Segmento D27 – 24 m

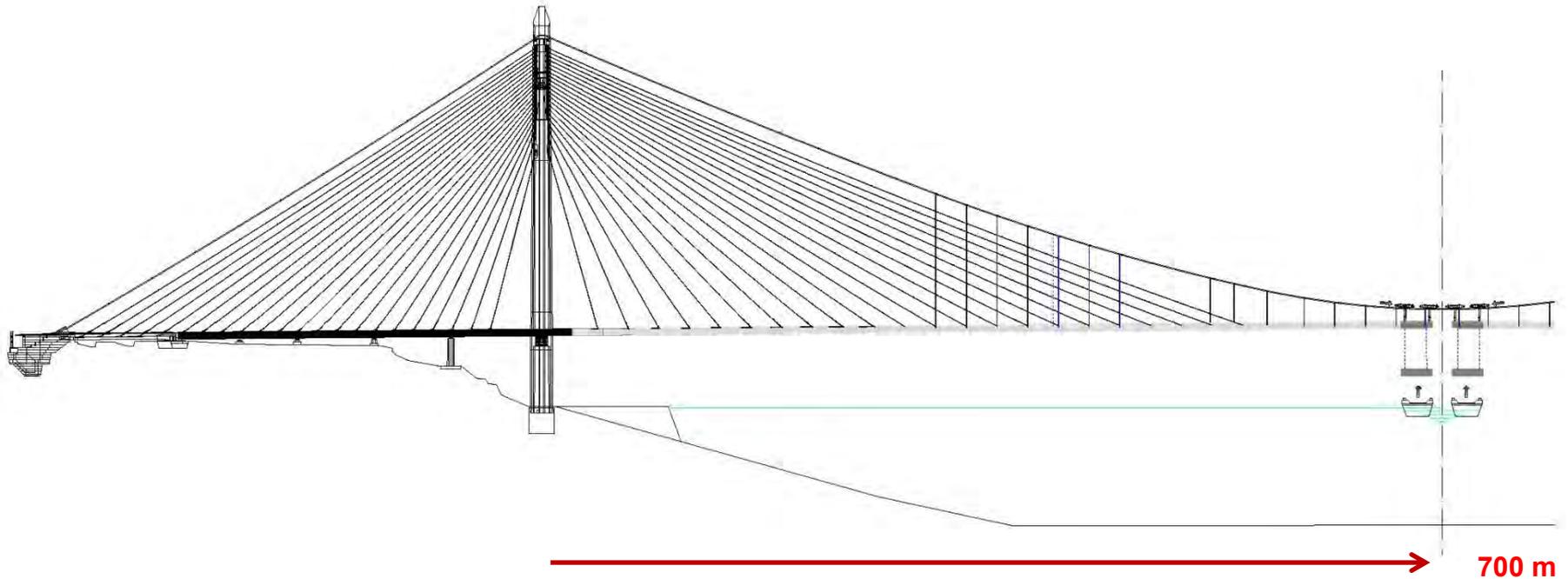
- Sollevamento del segmento D27
- Collegamento con saldatura fra i segmenti D26 e D27
- Avanzamento delle selle
- **Installazione dei Pendini Temporanei TH16**
- **Aggiustamento della lunghezza dei TH21**
- **Installazione dei Pendini H13 / H14 / H15**
- Installazione dei Pendini H27
- Avanzamento delle selle





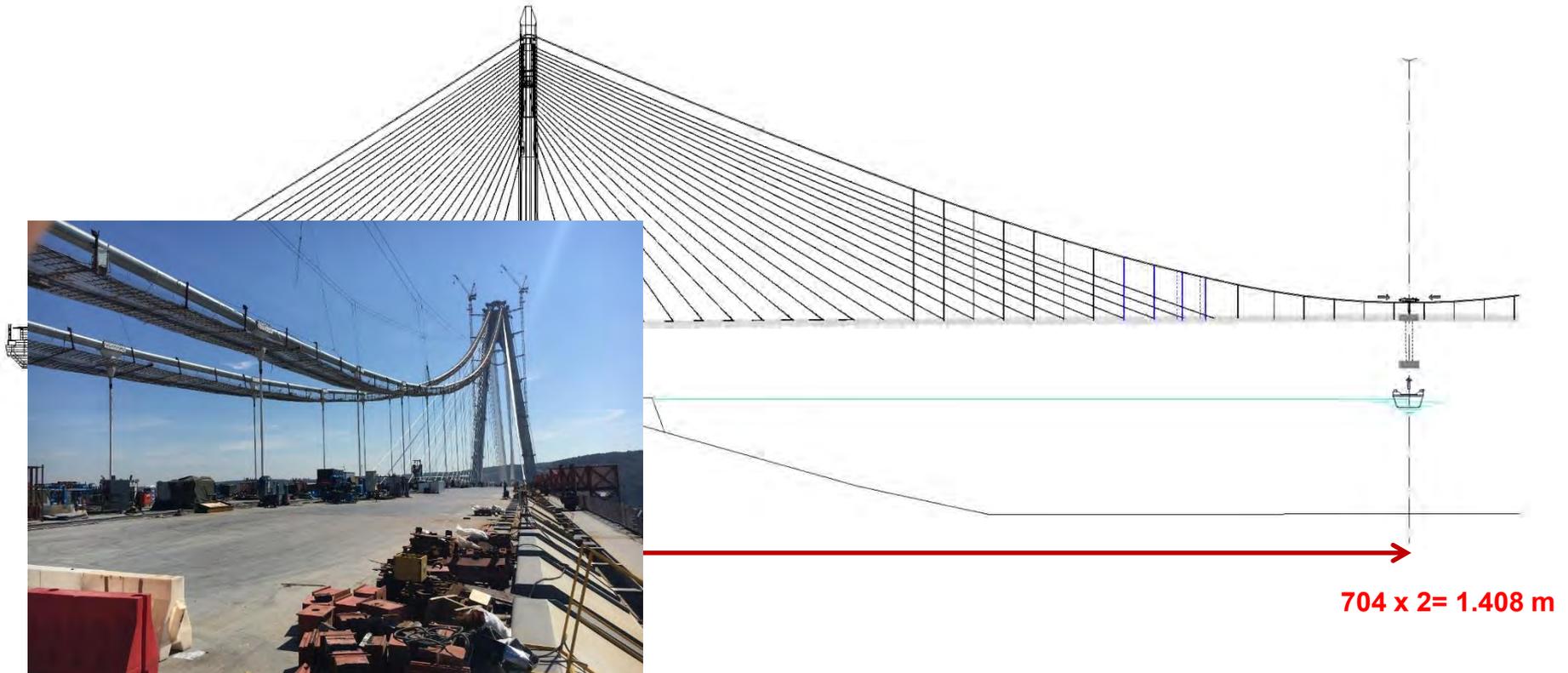
PARTE SOSPESA
Segmento D28 – 24 m

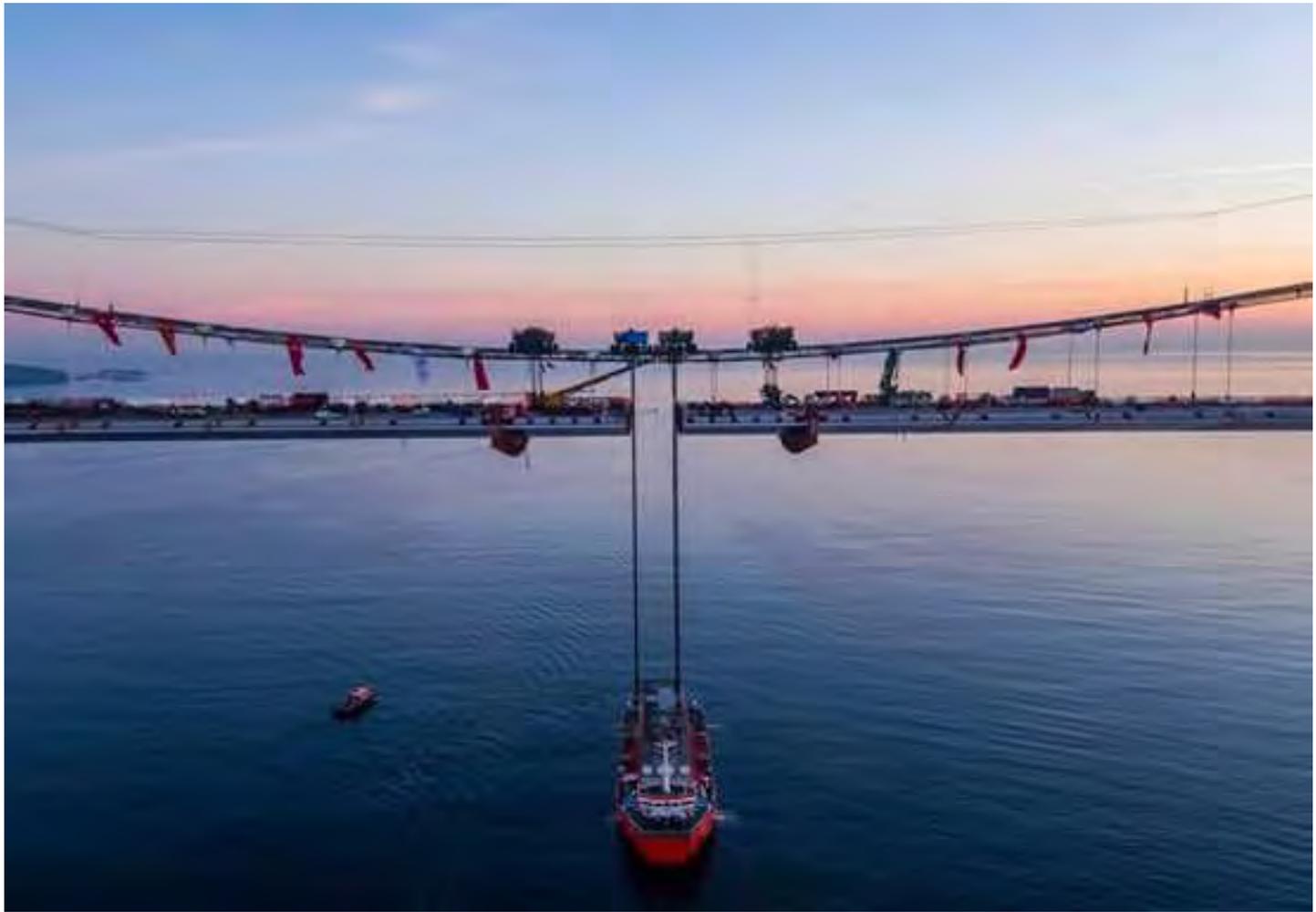
- Sollevamento del segmento D28
- Collegamento con saldatura dei segmenti D27 e D28
- Avanzamento selle
- Installazione dei Pendini H17 / H18 / H16
- **Rimozione del Pendino Temporaneo TH16**
- Installazione dei Pendini H28
- Avanzamento delle selle



PARTE SOSPESA
Segmento chiave D99 – 8 m

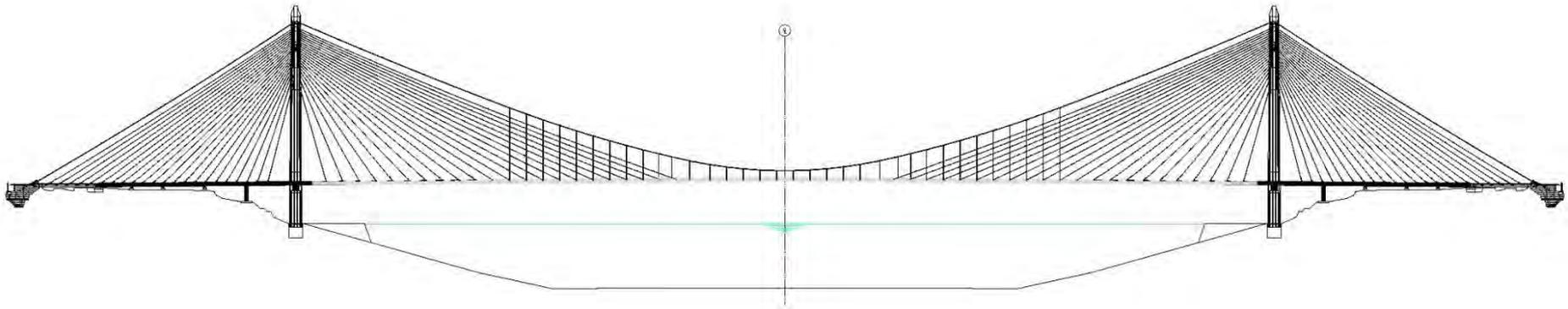
- Spostamento degli impalcati
- Sollevamento del segment chiave D99
- Connessione con saldatura fra i segmenti D99 e D28A
- Installazione dei Pendini H19A e H20A
- Spostamento degli impalcati
- Connessione con saldatura fra i segmenti D99 e D28E
- Installazione dei Pendini H19E / H20E





IMPALCATO COMPLETATO

- Rimozione del sistema di chiusura degli impalcati
- Installazione dei Pendini H21 e H22
- **Rimozione dei Pendini Temporanei TH21 e TH22**
- Main Cable wrapping
- Rimozione dei Lifting Gantry
- **Seconda regolazione degli Stralli**



Lungh. impalcato acciaio 2 x 680 m = 1.360 m
n.2 concrete span 2 x 24 m = 48 m
TOTALE 1.408 m





Grazie per l'attenzione



ASTALDI