

Ordine degli Ingegneri di Prato

27/01/2026 e 24/02/2026

INGEGNERIA DEI PONTI

Interventi sui ponti esistenti: aspetti normativi, criticità e casi studio

Gli interventi sul Viadotto sul Reno della A14

Prof. Ing. Salvatore Giacomo Morano

Università degli Studi di Firenze



A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

Sviluppo planimetrico: Rettilineo per metà lunghezza
+ curva dx con raggio 1000/2500m

Lunghezza complessiva: circa 500 m

L'opera è costituita da n. 4 carreggiate separate, 2 autostradali (interne)
e 2 tangenziali (esterne).

Tipologia impalcato: Impalcato originario (1967) con travi in C.A.P. a
cavi scorrevoli e tipologia a selle gerber

Numero Travi: n.6 per ciascun impalcato (312 in tot.)

Tipologia Elevazioni: Spalle
Pile a 4 fusti circolari con cappello in c.a.

H max/min elevazioni: Minimo 2,00 m; Massimo 12,00 m

Tipologia appoggi: Appoggi in acciaio/PTFE e elastomero

Tipologia Fondazioni: Profonde su pali

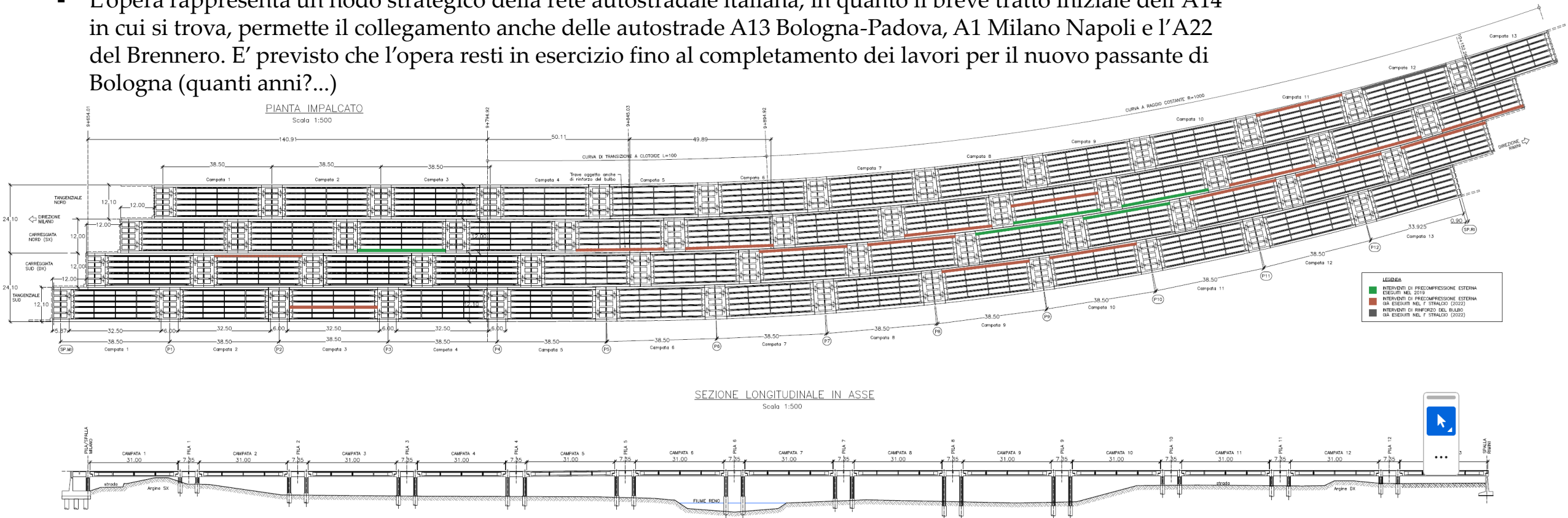


A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno



Caratteristica dell'Opera

- L'opera rappresenta un nodo strategico della rete autostradale italiana, in quanto il breve tratto iniziale dell'A14 in cui si trova, permette il collegamento anche delle autostrade A13 Bologna-Padova, A1 Milano Napoli e l'A22 del Brennero. E' previsto che l'opera resti in esercizio fino al completamento dei lavori per il nuovo passante di Bologna (quanti anni?...)

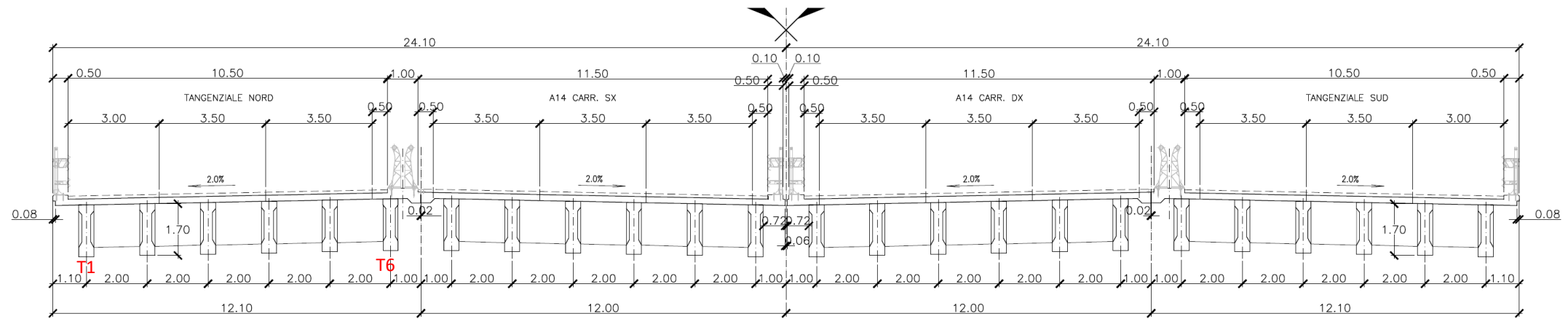


- Sezione impalcato: graticcio con n. 6 travi in C.A.P. a cavi scorrevoli
- Complessivamente sull'opera sono presenti 312 travi, ciascuna dotata di due selle alle estremità

A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

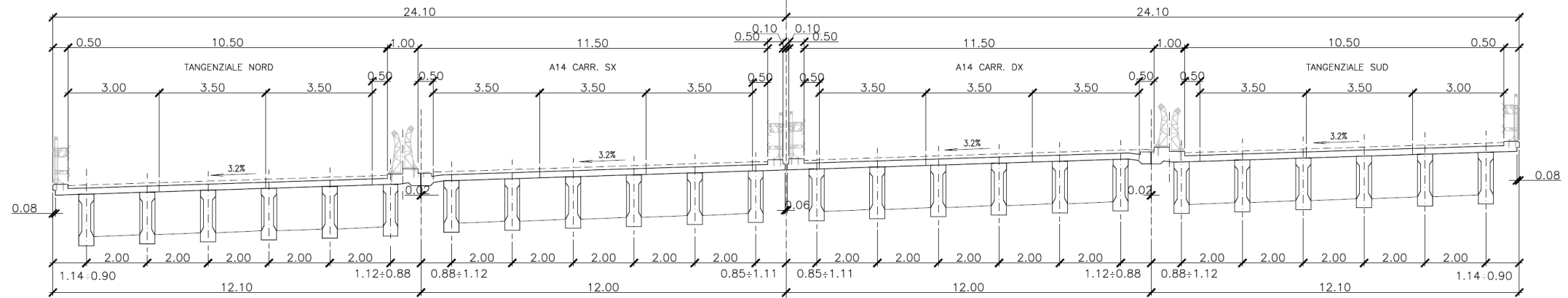
SEZIONE TRASVERSALE IN RETTIFILO

Scala 1:100



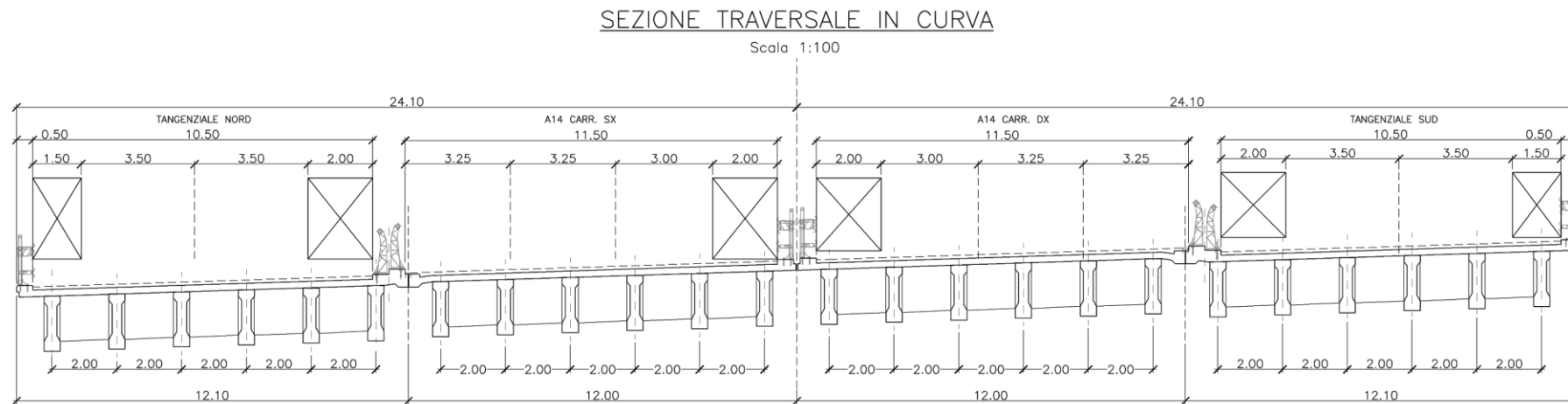
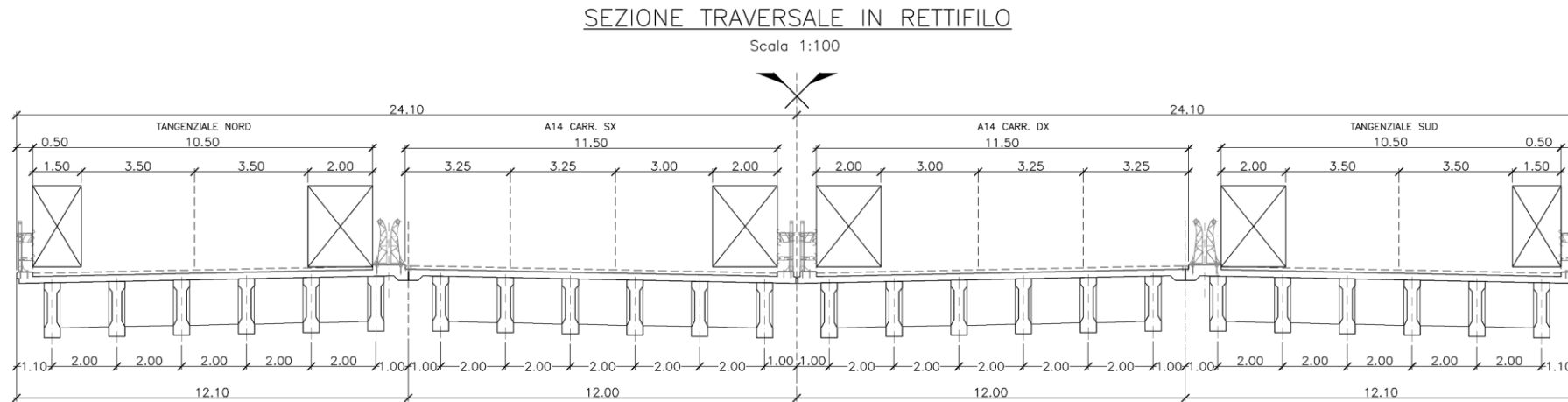
SEZIONE TRASVERSALE IN CURVA

Scala 1:100



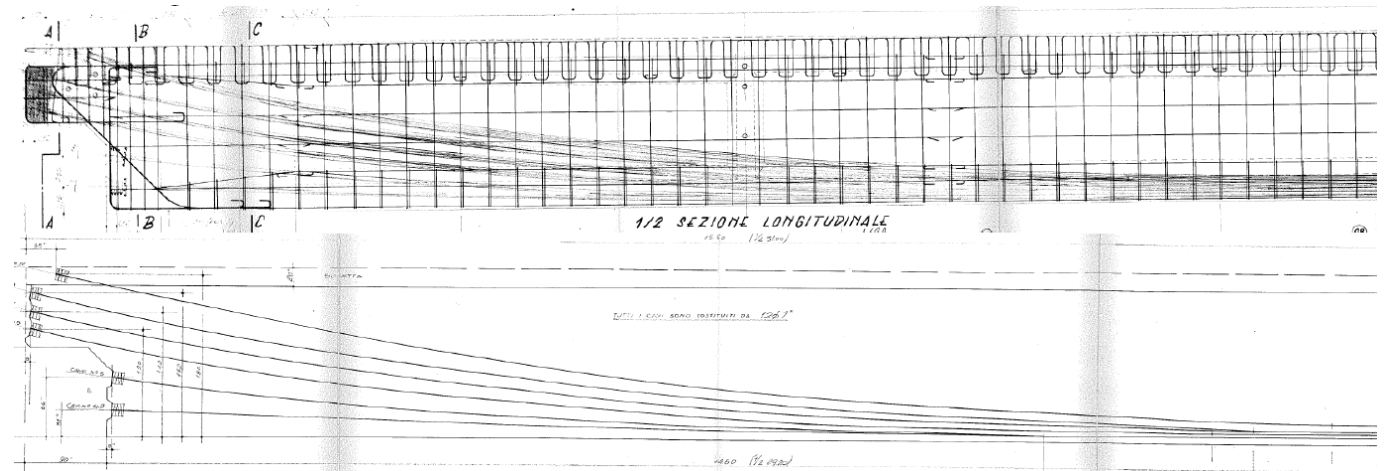
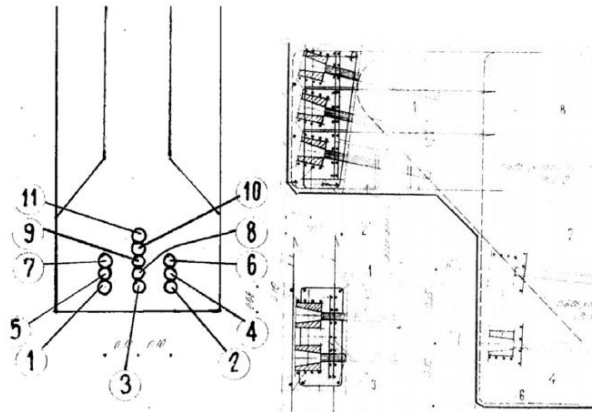
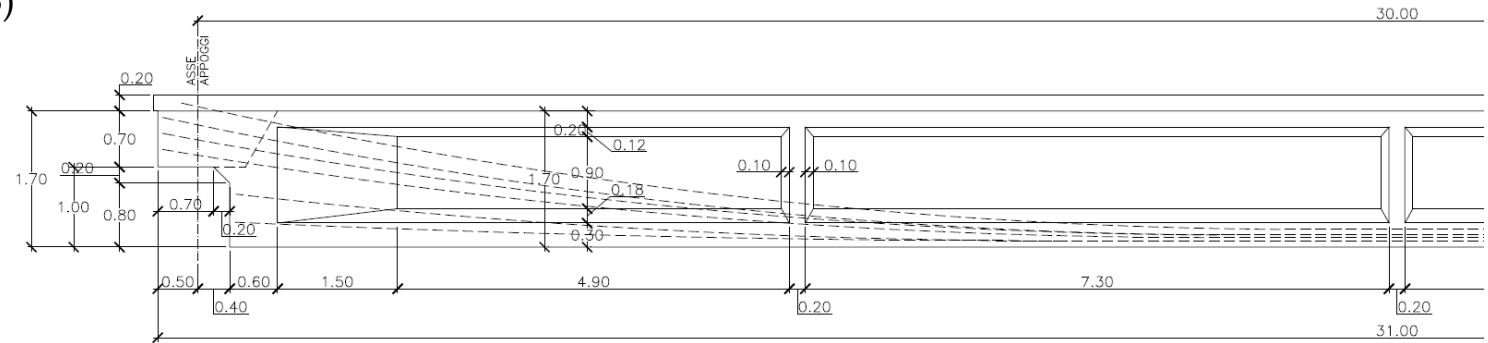
A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

- Al momento del nostro coinvolgimento, in esito alla Verifica di Sicurezza, sull'opera erano stati posti restringimenti sulle corsie dell'autostrada e delle tangenziali e chiusure delle corsie di emergenza delle tangenziali.



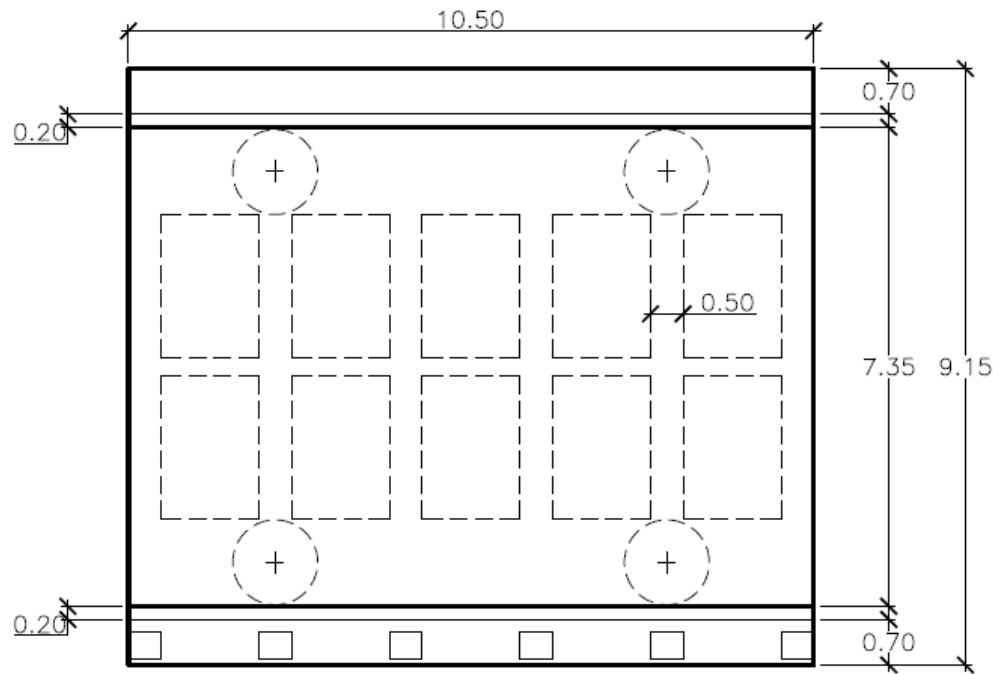
Caratteristica dell'Opera

- Le travi in C.A.P. risultano precomprese con n.11 cavi scorrevoli post-tesi, ciascuna costituito da 12 $\Phi 7$ mm, dei quali:
 - 2 ancorati in soletta (cavi 10 e 11)
 - 6 ancorati nella sella Gerber (cavi 4-9)
 - 3 ancorati sulla testata (cavi 1-3)

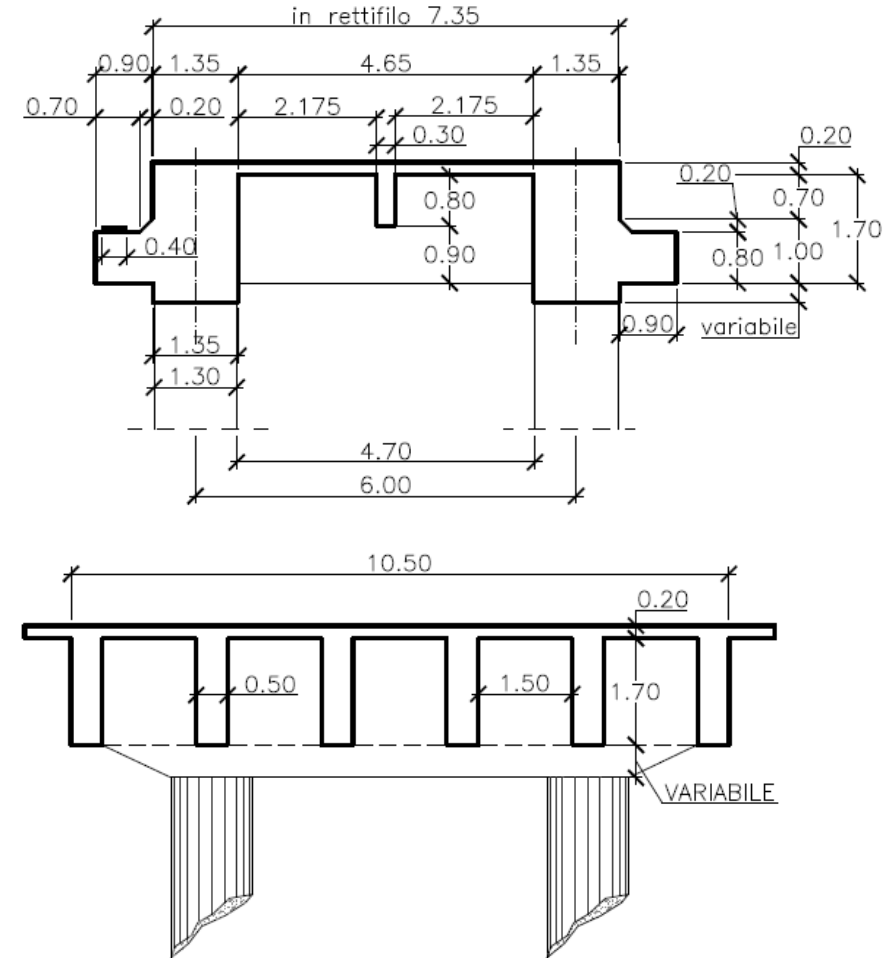


Caratteristica dell'Opera

- Le pile sono costituite da 4 fusti circolari uniti in testa da un cappello costituito da un graticcio in C.A. con selle Gerber portanti



- Le travi sono tutte di uguale lunghezza e la curva in pianta è ottenuta variando le dimensioni del cappello tra i lati interno e esterno.



La progettazione degli interventi

OBIETTIVO:

Intervenire per porre rimedio agli indebolimenti degli impalcati che avevano comportato le restrizioni d'uso e ricondurre l'opera a una condizione di **operatività**.
Limitare al massimo l'interferenza con il traffico.
Intervenire rapidamente.
Contenere i costi degli interventi.

MODALITÀ:

Suddivisione del progetto in due stralci:



STRALCIO 1: (principalmente) Interventi su travi con difetti a carico dei cavi di precompressione

STRALCIO 2: (principalmente) Interventi sulle selle Gerber ammalorate



Il Viadotto Reno

Lo stato di ammaloramento

- Sull'opera è stata condotta un'estesa campagna di indagine a supporto della redazione della Verifica di Sicurezza. In particolare sono state eseguite:
 - Ispezione visiva ravvicinata di tutte le travi di riva di tutti gli impalcati
 - Rilievo del tracciato dei cavi con georadar su alcune travi
 - Tomografie ultrasoniche
 - Numerosissime video-endoscopie e saggi per quantificazione del degrado a carico dei cavi di post-tensione e delle armature lente delle selle Gerber
 - Prove di rilascio tensionale e prove di trazione su fili estratti da cavi di precompressione
- Ulteriori indagini sono state eseguite successivamente:
 - Rilievo laser scanner accurato di alcune campate
 - Rilievo dello spessore di pavimentazione presente
 - Ulteriori saggi per indagare il degrado a carico di n.5 travi oggetto di un precedente intervento di precompressione esterna
- Le indagini hanno mostrato un avanzato stato di degrado, dovuto essenzialmente a venute d'acqua dagli spazi di intervia, principalmente a carico di:
 - Armature di precompressione delle travi di bordo degli impalcati
 - Selle Gerber travi di bordo degli impalcati

Lo stato di ammaloramento – Le travi in c.a.p.

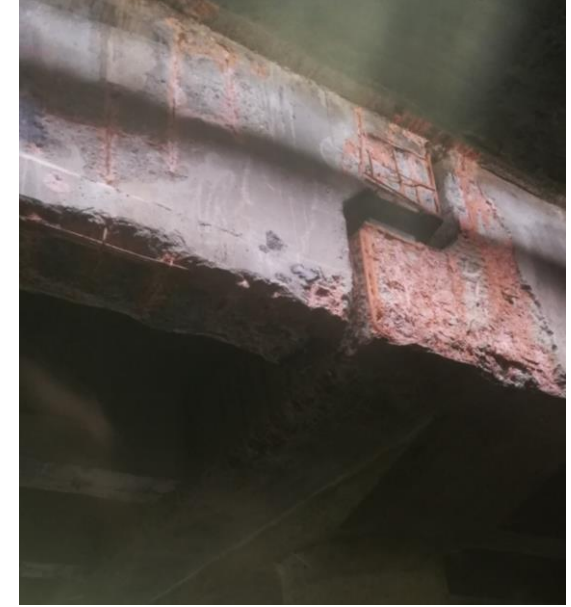
- Sulle travi c.a.p. sono stati riscontrati ammaloramenti a carico di:
 - Armature lente (soprattutto selle portate e bulbi)
 - Cavi di precompressione
- I difetti a carico dei cavi di post-tensione sono stati ritrovati in:
 - n. 18 travi prima campagna di indagine (gruppo A)
 - n. 5 travi oggetto di precedente intervento di precompressione esterna (gruppo B)
 - n. 2 travi ulteriori per difetti emersi durante l'esecuzione dei lavori (gruppo C)
- Sulle travi sono presenti 11 cavi. Il difetto massimo riscontrato è stato:
 - Perdita equivalente a 3,7 cavi per 19 travi dei gruppi A e C
 - Perdita equivalente a 5,0 cavi per una trave del gruppi A
 - Perdita equivalente a 5,8 cavi per il gruppo B;
- I difetti sono risultati quasi sempre localizzati in corrispondenza di venute d'acqua puntuali (rottura di pluviali)



Lo stato di ammaloramento – Le selle Gerber

Il dissesto:

- Selle gerber (lato esterno) con armatura lenta esposta e corrosa e testate di precompressione scoperte e/o corrose



Lo stato di ammaloramento – Le selle Gerber

- Le selle Gerber portanti (in c.a.), armate molto generosamente, mostravano difetti contenuti e superficiali con modesta riduzione di portanza;
- Molte selle Gerber portate mostravano, sul lato esterno visibile, armature lente e testate di precompressione corrose;
- Sono state **indagate in dettaglio 85 delle 208 selle portate** di travi di bordo presenti sull'opera:
 - Per n. 67 selle si è rilevata presenza di apprezzabili difetti sulle armature lente visibili;
 - Per n. 14 selle si è rilevata presenza di difetti ai cavi di post-tensione ancorati nella sella.
- Delle n. 14 travi di cui sopra, n. 12 sono travi di intervista delle due carreggiate autostradali e n.2 solo travi esterne della carreggiata Nord autostradale, lato tangenziale esterna.
- Tenuto conto che in alcune selle, i difetti su armature lente e precompressione sono concomitanti, le selle portate con riduzione di capacità portante sono state stimate complessivamente in n. 71.

Difettosità a carico dell'armatura lenta delle selle gerber

	Perdita di sezione
Tirante orizzontale	-20%
Armatura di sospensione	-30%
Armatura di sospensione (staffe)	-50%
Tirante inclinato	-20%

Difettosità cavi di post-tensione delle selle gerber

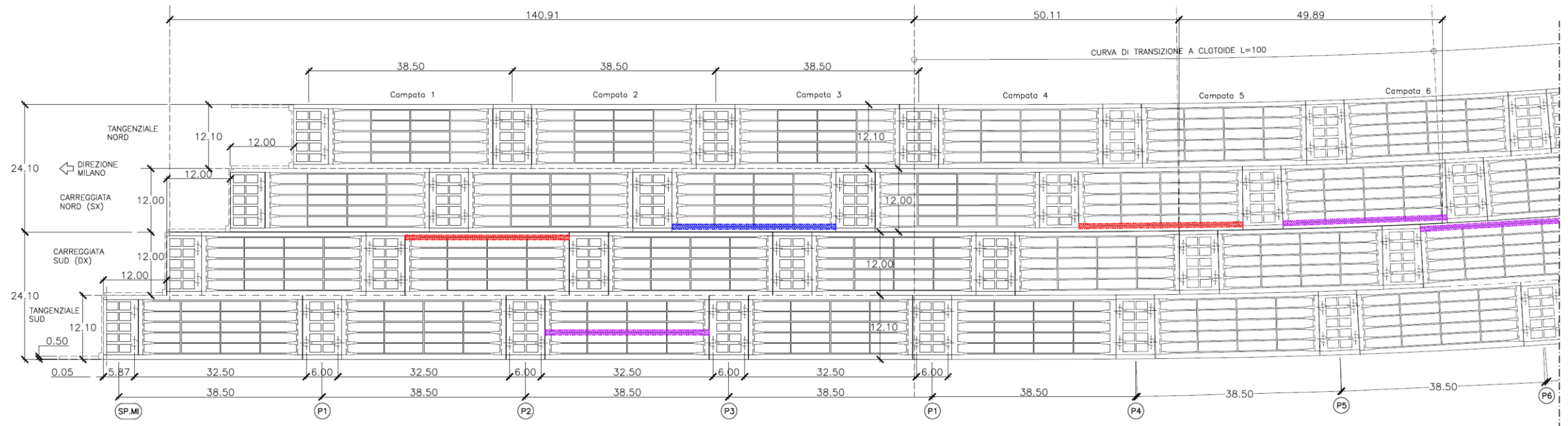
Allineamento travi	Perdita cavi
T1 DX e T6 SX	4 su 8
T6 DX e T1 SX	2 su 8
T1-T6 TN e T1-T6 TS	0 su 8



A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

L'intervento del I stralcio:

- Applicazione di precompressione esterna su n. 15 travi
- Rinforzo del bulbo su n. 3 travi
- Rinforzo a taglio su n. 1 trave



A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

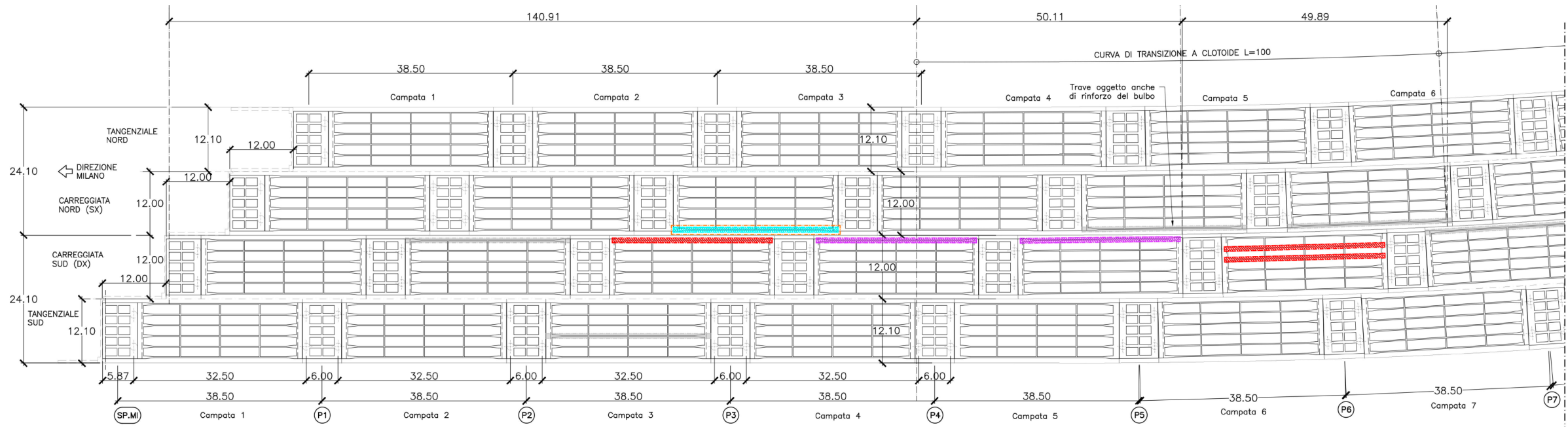
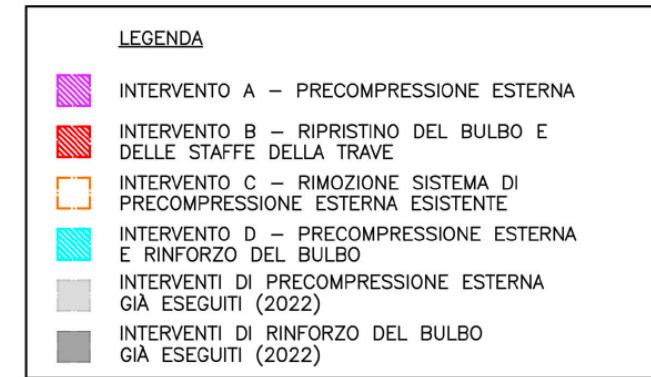
L'intervento del I stralcio:



A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

L'intervento del II stralcio:

- Rimozione precedente intervento di precompressione esterna su n.5 travi
- Applicazione di precompressione esterna su n. 4 travi
- Applicazione di precompressione esterna e rinforzo del bulbo su n. 3 travi
- Ripristini su n. 3 travi



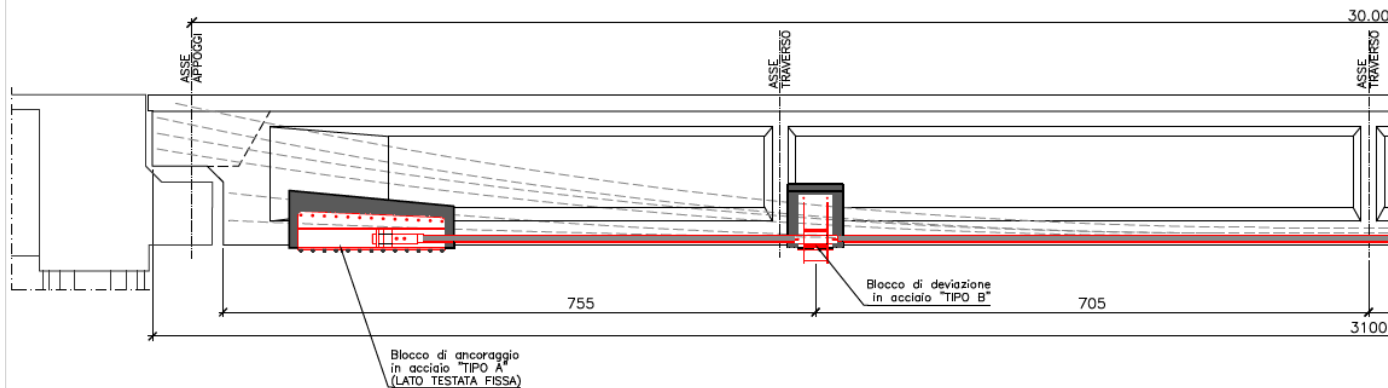
A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

L'intervento del II stralcio:



Gli interventi sulle travi

- Per ricondurre le travi in c.a.p. in condizioni di Operatività, sono stati progettati i seguenti interventi:
 - Rinforzo del bulbo con armatura lenta (perdite modeste);
 - Precompressione esterna (perdite medie);
 - Precompressione esterna e rinforzo del bulbo (perdite elevate).
- Su una sola trave è stato eseguito anche un intervento di rinforzo a taglio



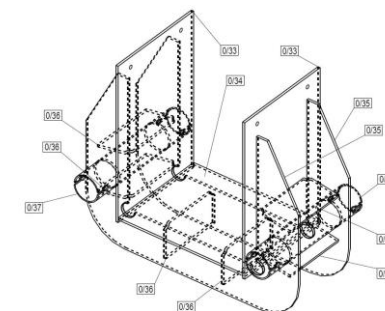
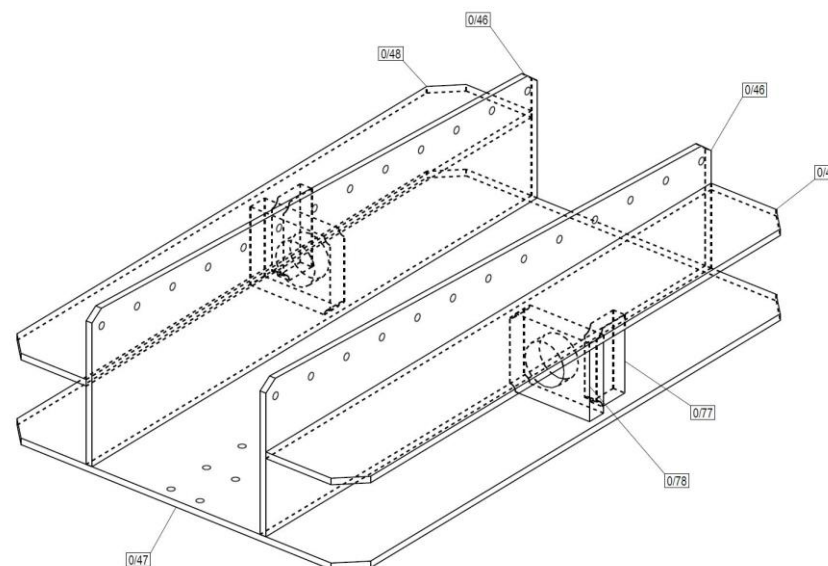
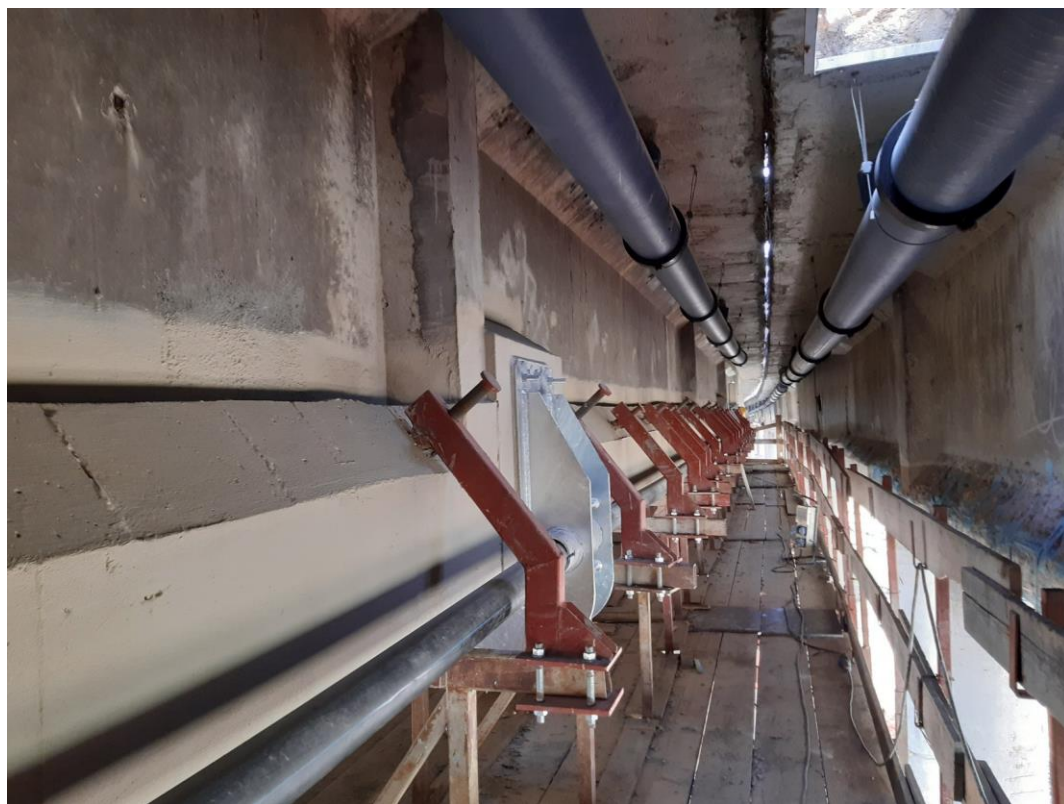
- La precompressione esterna è applicata per mezzo di:
 - 2 cavi da 7 trefoli T15S;
 - Blocchi di ancoraggio progettati per trasferire un carico fino a 1100 kN su ciascun cavo;
 - Testate attive dotate di celle di carico.



Gli interventi dovevano consentire eventuali interventi sulle selle

Gli interventi sulle travi

- I blocchi di ancoraggio e di deviazione (fissaggio intermedio) sono in acciaio da carpenteria zincati a caldo per velocizzare la messa in opera e ridurre i pesi.



Technical drawing of a bridge deck cross-section and longitudinal section.

Longitudinal Section (Top):

- Spans: 755, 705, 3100, 705.
- Labels: ASSE APPROGGIO, ASSE TRASVERSO, Blocco di deviazione in acciaio "TIPO B", PARTICOLARE P1, PARTICOLARE P2.

Cross-section (Bottom):

- Dimensions: 210 (top width), 188 (bottom width), 74 (height), 84 (base width).
- Reinforcement: staffe esistenti passo 30 cm (DA PROGETTO ORIGINALE), staffe esistenti passo 15 cm (DA PROGETTO ORIGINALE), ASSE APPROGGIO.
- Section markers: 1A, 1B.

A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

L'intervento del I stralcio: Precompressione esterna



A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

L'intervento del I stralcio: Precompressione esterna



A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

L'intervento del I stralcio: Precompressione esterna



A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

L'intervento del I stralcio: Precompressione esterna

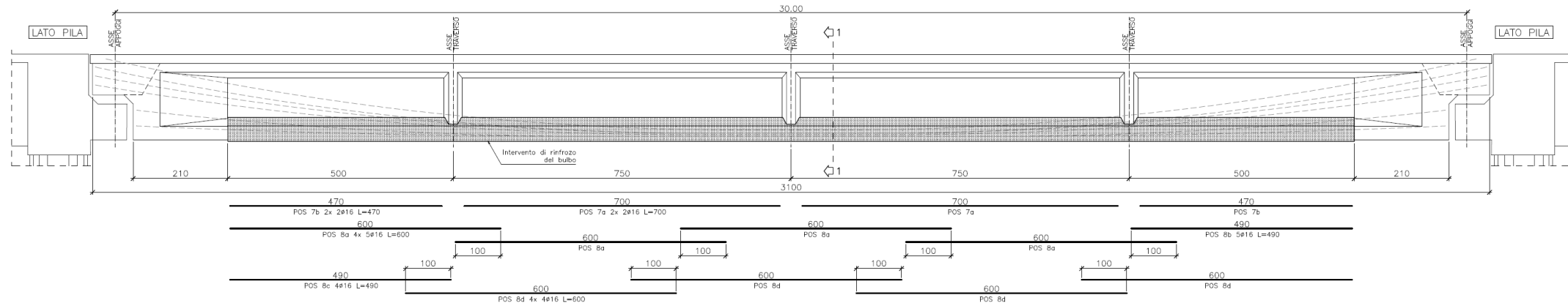


A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

L'intervento del I stralcio: Rinforzo del bulbo

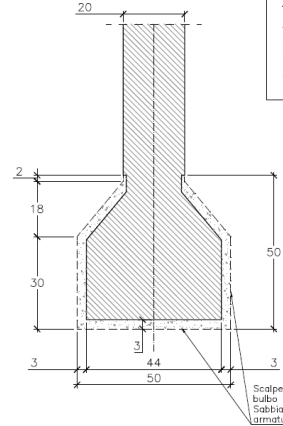
PROSPETTO TRAVE

Scala 1:50



SEZ. 1-1
FASE 1
PREPARAZIONE

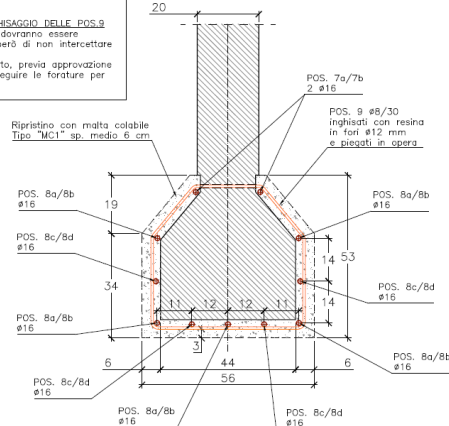
Scala 1:10



NOTA:
AVVERTENZE PER LA FORATURA PER L'INGHISAGGIO DELLE POS.9
La foratura per inghiassare le barre POS.9 dovranno essere
realizzate a passo 30 cm, avendo cura però di non intercettare
i cavi di precompressione.
Il passo potrà essere localmente modificato, previa approvazione
della D.L., laddove non risulti possibile eseguire le forature per
la presenza dei cavi di precompressione.

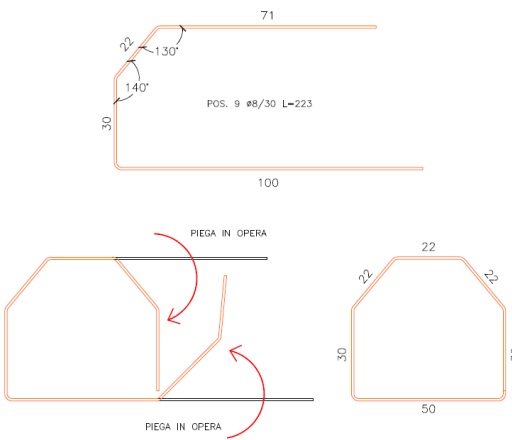
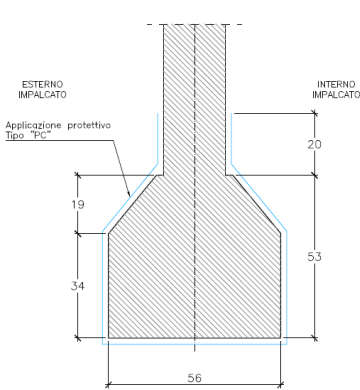
SEZ. 1-1
FASE 2
RIPRISTINO

Scala 1:10



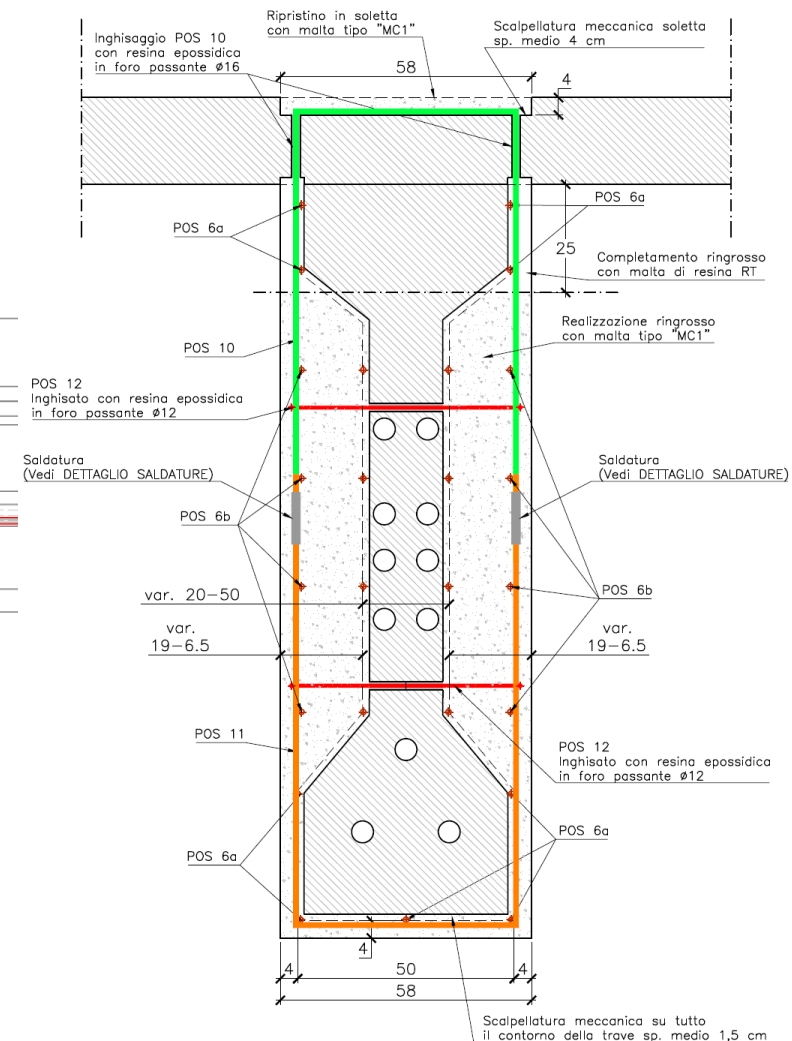
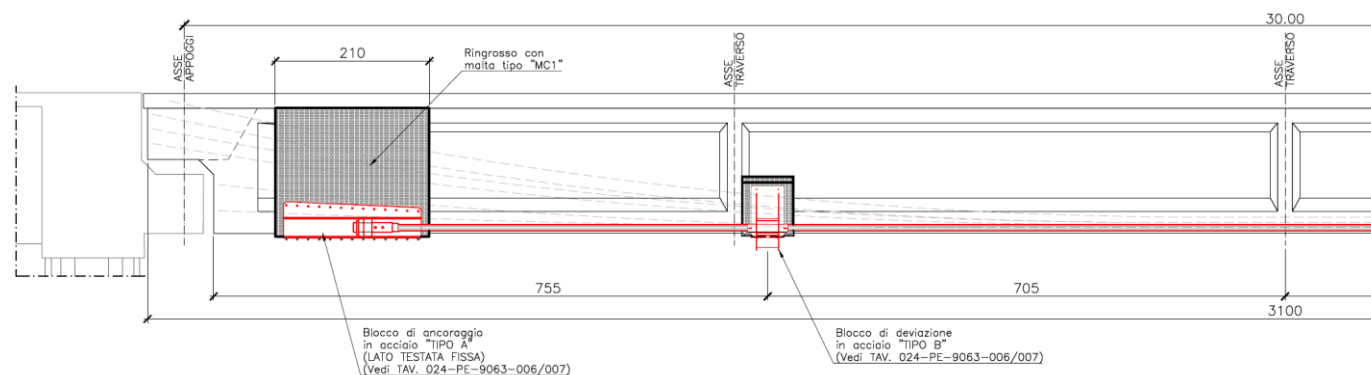
SEZ. 1-1
FASE 3
FINITURA

Scala 1:10



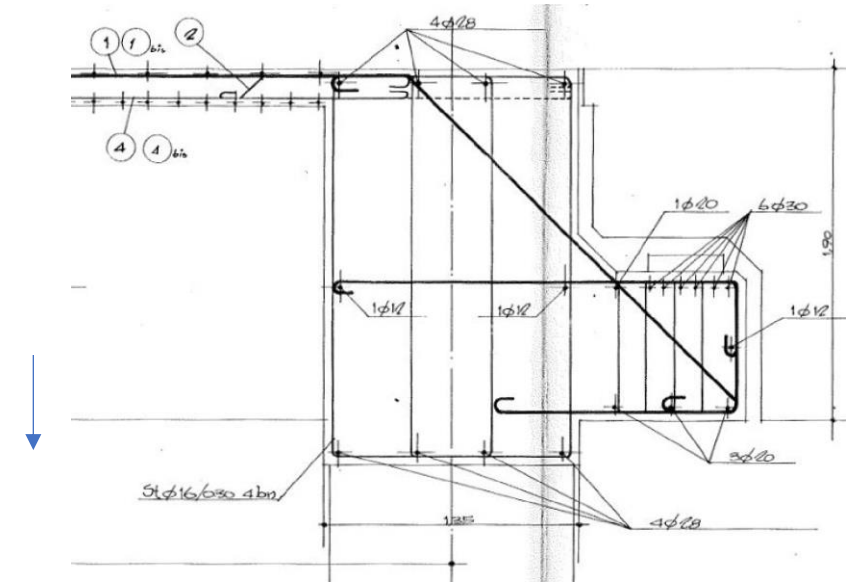
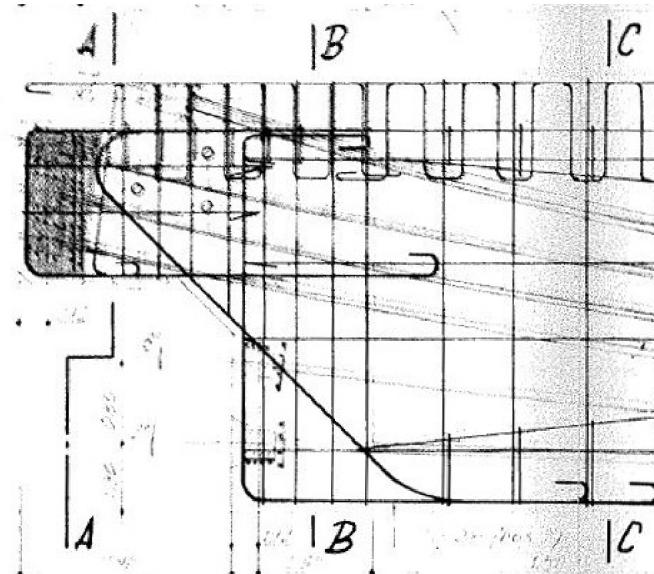
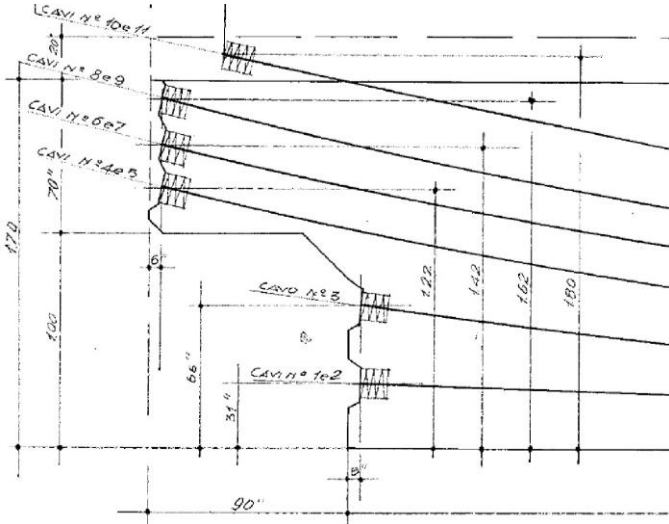
A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

L'intervento del I stralcio: Rinforzo a taglio



Gli interventi sulle selle

- Peculiarità delle **selle portanti**:
 - Aggettano da un robusto traversone («cappello») in appoggio ai fusti delle pile;
 - Trasversalmente continue, con robusto traversone;
 - Sono dotate di armature lente diffuse e «ampiamente sovradimensionate».
- Peculiarità delle **selle portate**:
 - Poste alle estremità delle travi;
 - Trasversalmente continue, con traverso precompresso di altezza ridotta;
 - Contengono ben 8 testate di ancoraggio dei cavi della trave.
 - Elevata congestione di armature passive e attive.



Ai cavi è affidata buona parte della resistenza della sella

Gli interventi sulle selle

- Per le selle portanti i difetti a carico delle armature lente sono risultati solo superficiali e tenuto conto:
 - del sovradimensionamento delle armature;
 - della robusta continuità trasversale (possibilità di redistribuzioni);
- come evidenziato anche nella Verifica di Sicurezza, non necessitano di alcun intervento di rinforzo

- Delle n. 71 selle portate sulle quali sono emersi difetti:
 - n. 15 selle su travi di bordo delle tangenziali lato autostrade, con soli difetti a carico delle armature lente, per la configurazione della piattaforma risultano meno sollecitate. La modesta perdita di capacità portante consente comunque di sostenere i carichi in condizione di Operatività, e pertanto non sono stati necessari interventi strutturali;
 - su n. 56 selle, poste sugli altri allineamenti, si rendono necessari interventi strutturali.



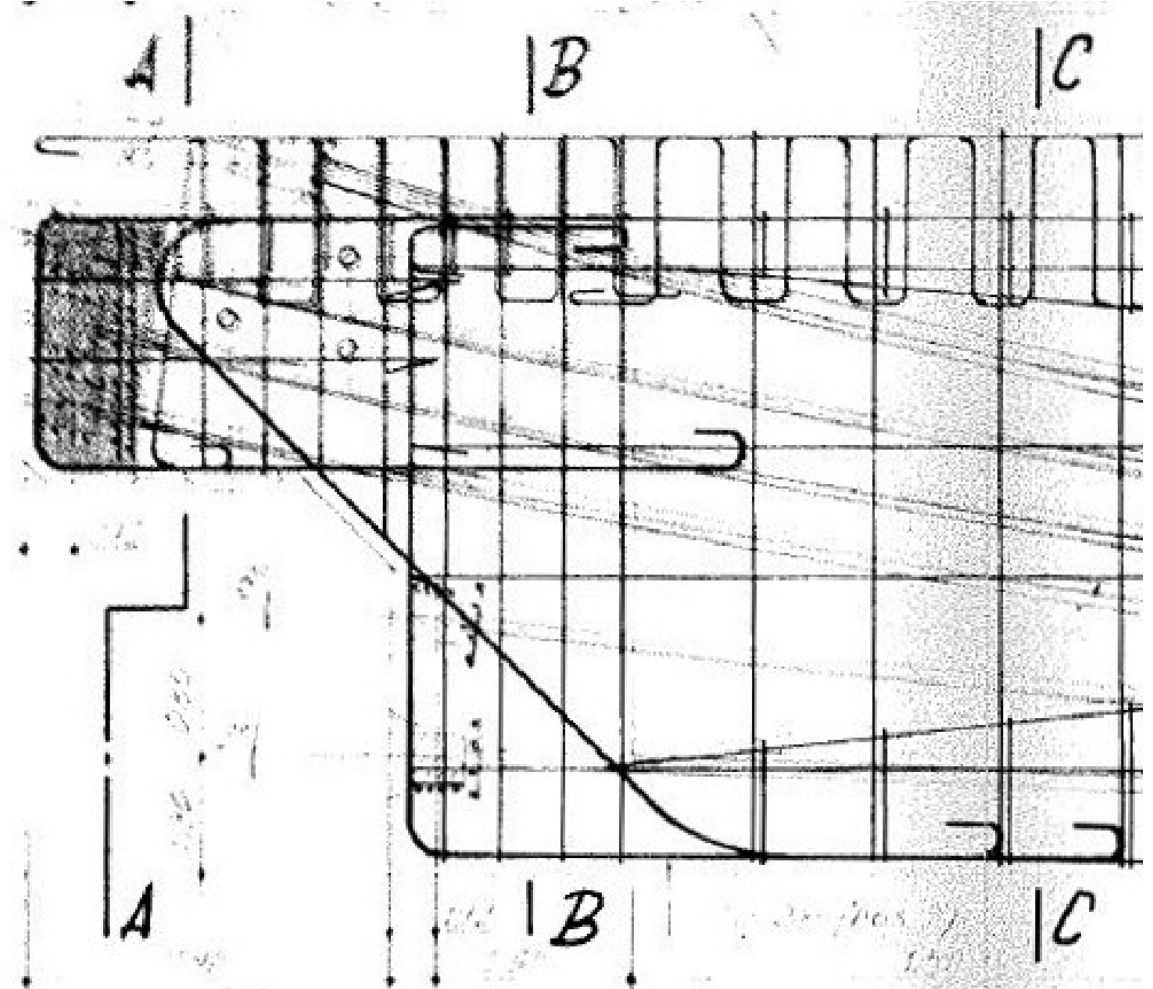
Scelta dei criteri degli interventi

Gli interventi sulle selle

Criteri seguiti nella scelta degli interventi

- Gli interventi con armature di rinforzo inserite in perfori sono stati scartati per la difficoltà di operare tra le armature congestionate e gli ancoraggi da precompressione;
- Scartati anche gli interventi con placcaggi metallici laterali per la presenza del traverso sul lato interno della sella;
- Si è cercato un intervento che preservasse la sella, limitandone al massimo il disturbo, anche per il suo ruolo di sede degli ancoraggi di precompressione;
- Si è optato per un intervento attivo per dosare l'effetto introdotto e poterne misurare nel tempo il comportamento e l'efficacia.

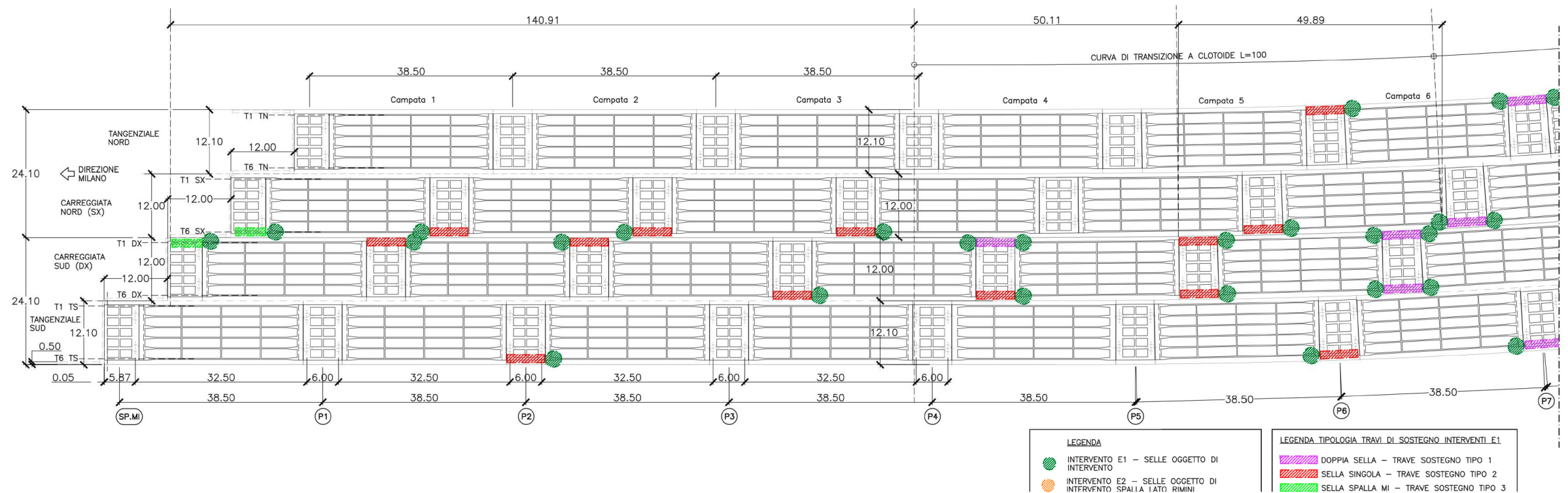
Piuttosto che aumentare la resistenza della sella si è pensato di ridurre la sollecitazione con un intervento di alleggerimento attivo contrastando sulla trave all'inizio della sezione a tutta altezza.



A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

L'intervento del II stralcio:

- Interventi sulle selle (n.56 selle)

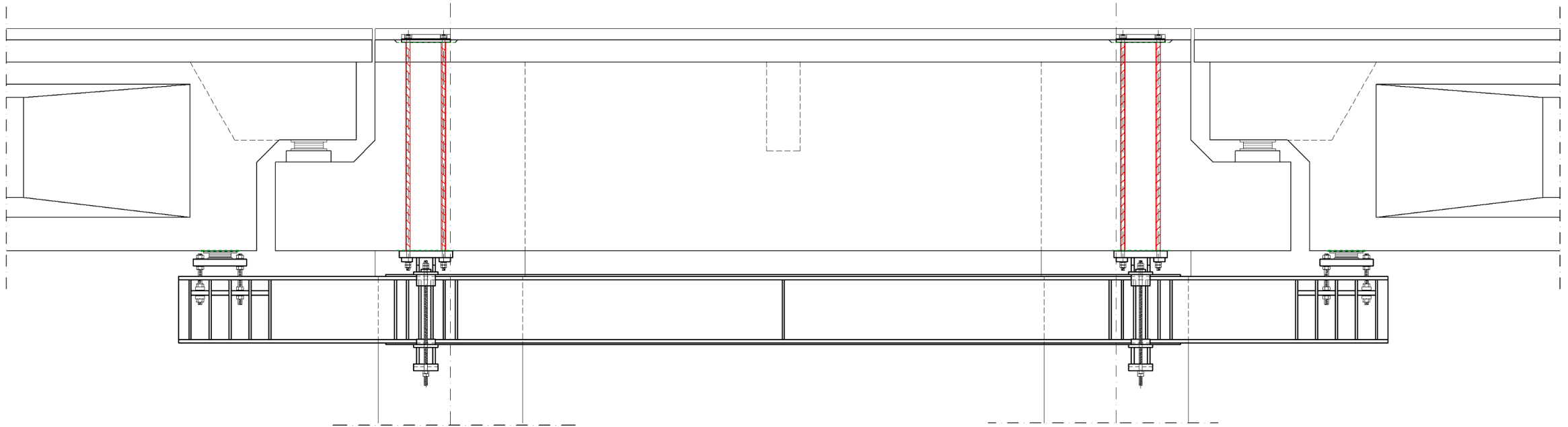


A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno



Gli interventi sulle selle

- L'intervento ha previsto l'inserimento di un elemento che si comportasse come un dispositivo elastico precaricato, in grado di sospingere la trave verso l'alto in posizione leggermente avanzata rispetto all'appoggio sulle selle, riportando parte del carico direttamente quasi in asse alle colonne del «tavolino».
- Nella progettazione si è attentamente valutata la rigidezza del sistema e l'entità del precarico al fine di ottenere, in tutti gli scenari di progetto, un valore dell'ente sollecitante agente sulla sella sempre compatibile con la sua resistenza.
- Un'eccessiva rigidezza o un'eccessivo precarico avrebbero potuto comportare il distacco degli appoggi sulle selle.
- Il sistema di supporto è sovradimensionato in modo da poter resistere anche in uno scenario di progressione del danno fino alla perdita di efficacia di tutti i cavi di precompressione nella sella.



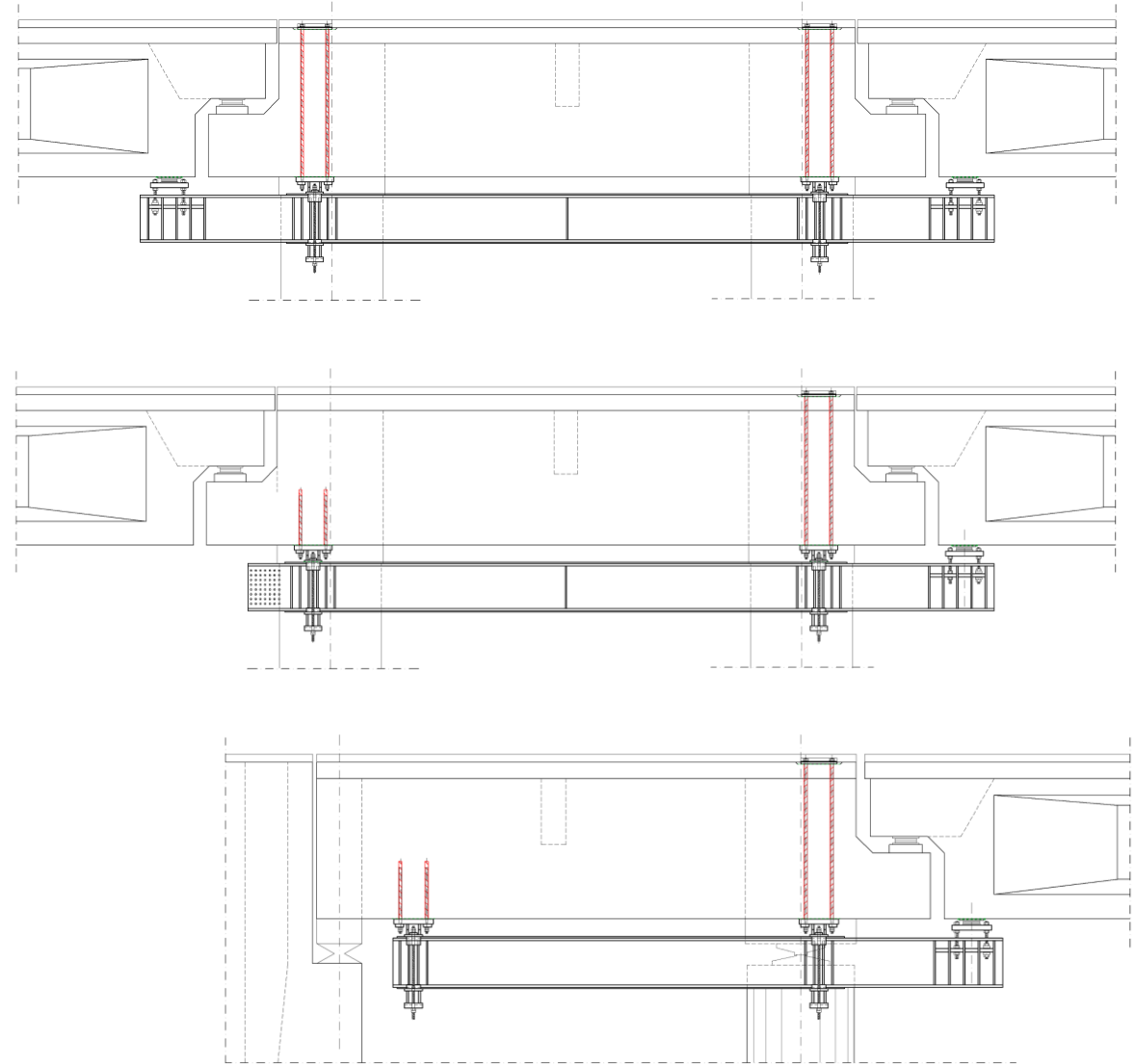
Gli interventi sulle selle

L'intervento ha previsto:

- Il fissaggio di una trave metallica a bilanciere al cappello su pila, tramite barre di sospensione;
- L'inserimento di un appoggio in gomma armata sotto la trave, su un sistema che ne permettesse il precarico;
- L'inserimento di un sistema di controllo del carico effettivamente agente sul dispositivo di appoggio, a partire dal montaggio e nel tempo.

3 varianti di intervento:

- Tipo 1: intervento su entrambe le travi di riva di un cappello su pila;
- Tipo 2: intervento su una sola trave di riva di un cappello su pila, comunque predisposto per il raddoppio;
- Tipo 3: intervento su una sola trave di riva del cappello speciale su pila-spalla,

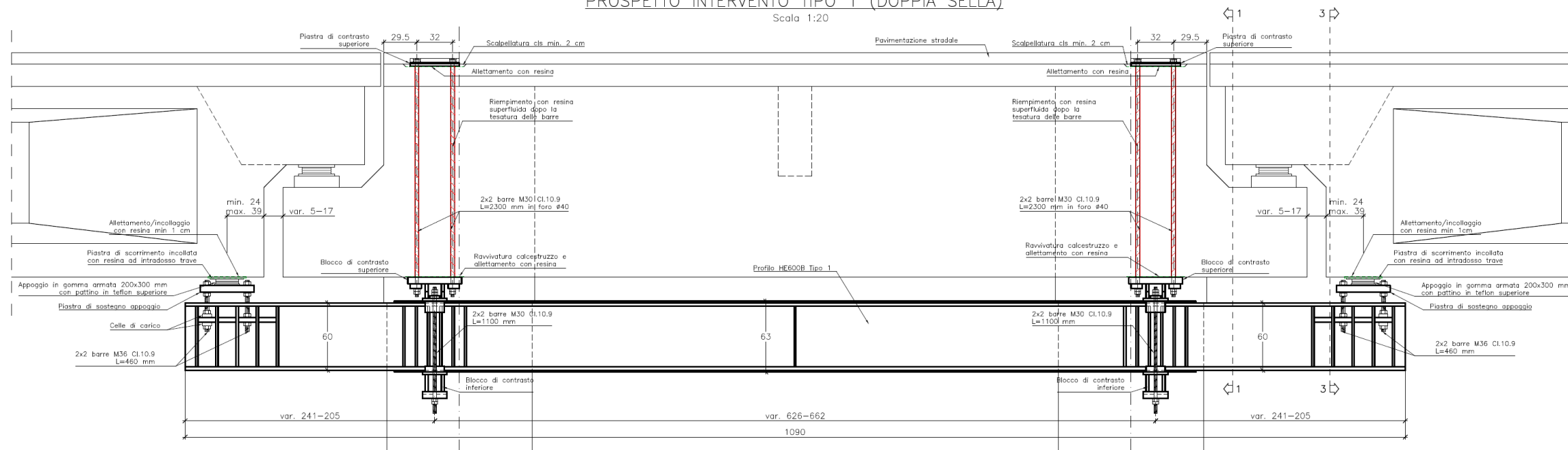


A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

Intervento sulle selle gerber doppie

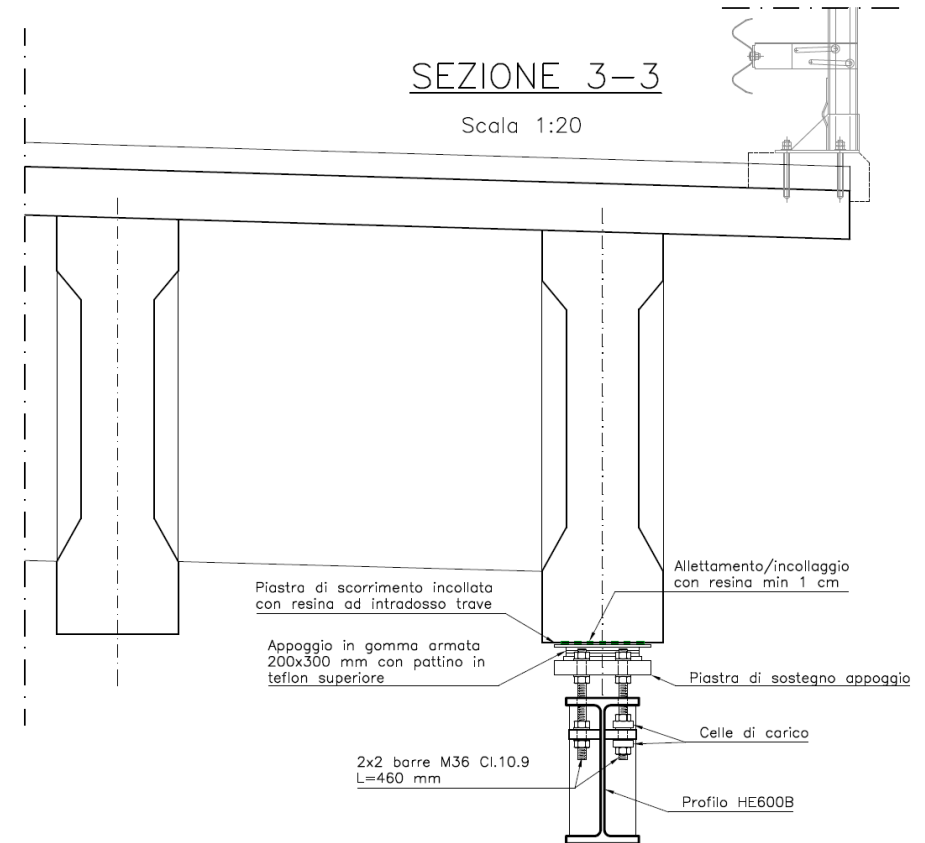
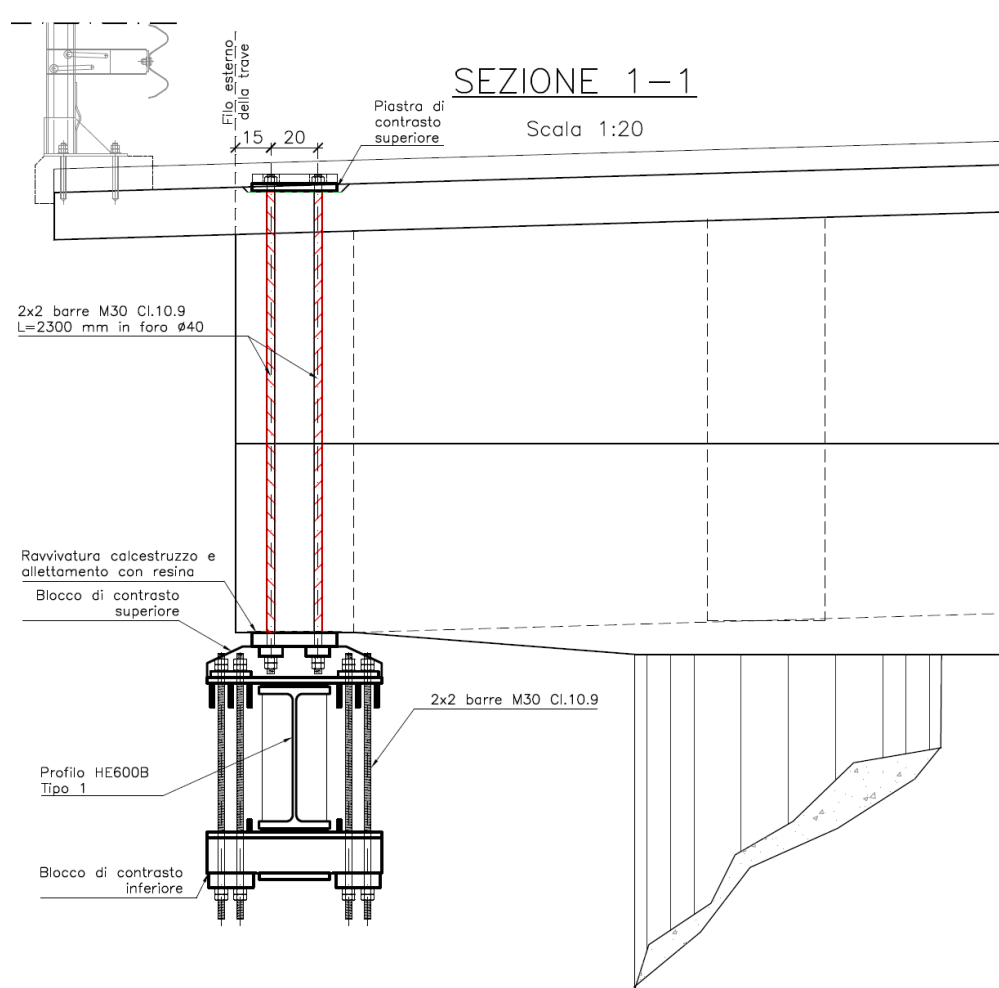
PROSPETTO INTERVENTO TIPO 1 (DOPPIA SELLA)

Scala 1:20



A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

Intervento sulle selle gerber

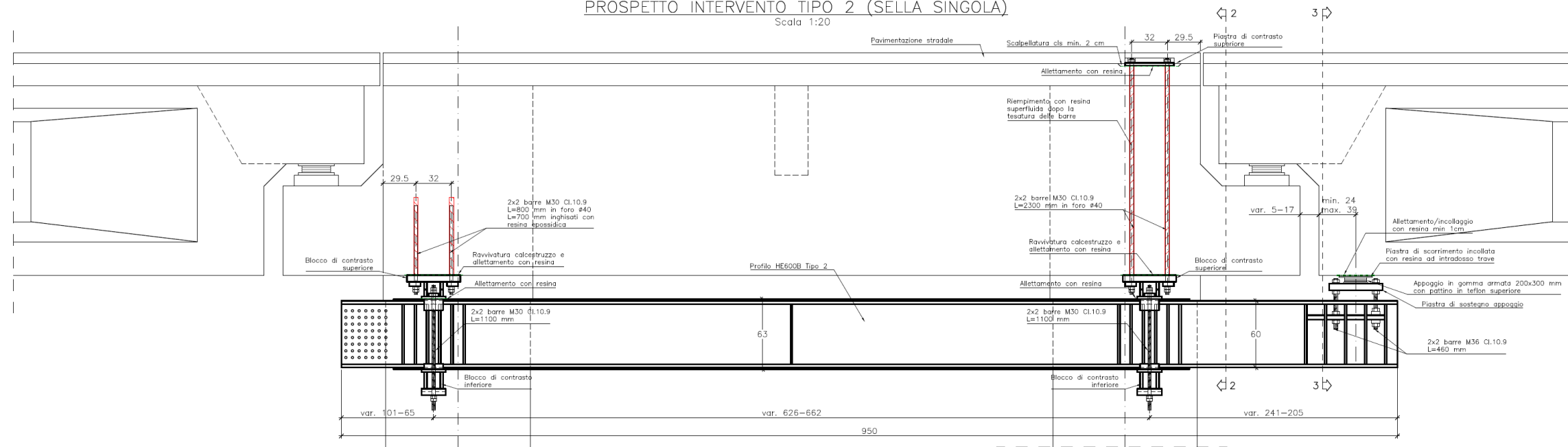


A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

Intervento sulle selle gerber singole

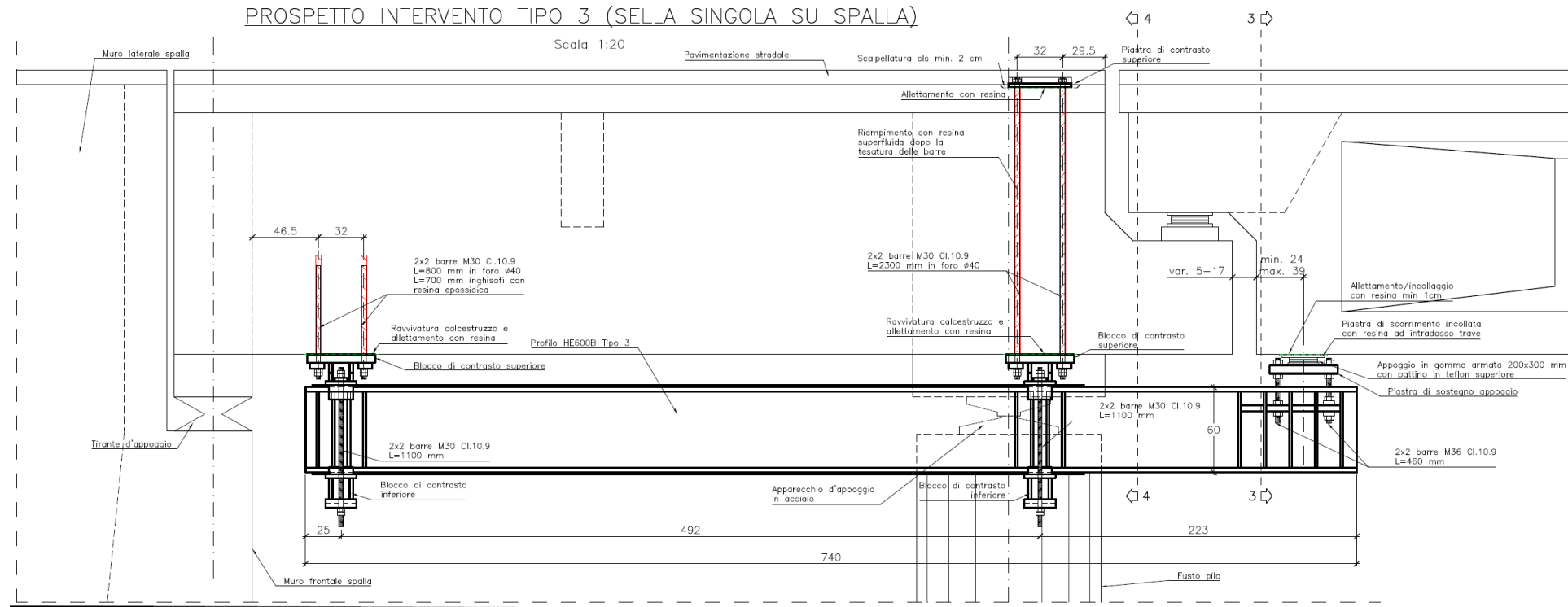
PROSPETTO INTERVENTO TIPO 2 (SELLA SINGOLA)

Scala 1:20



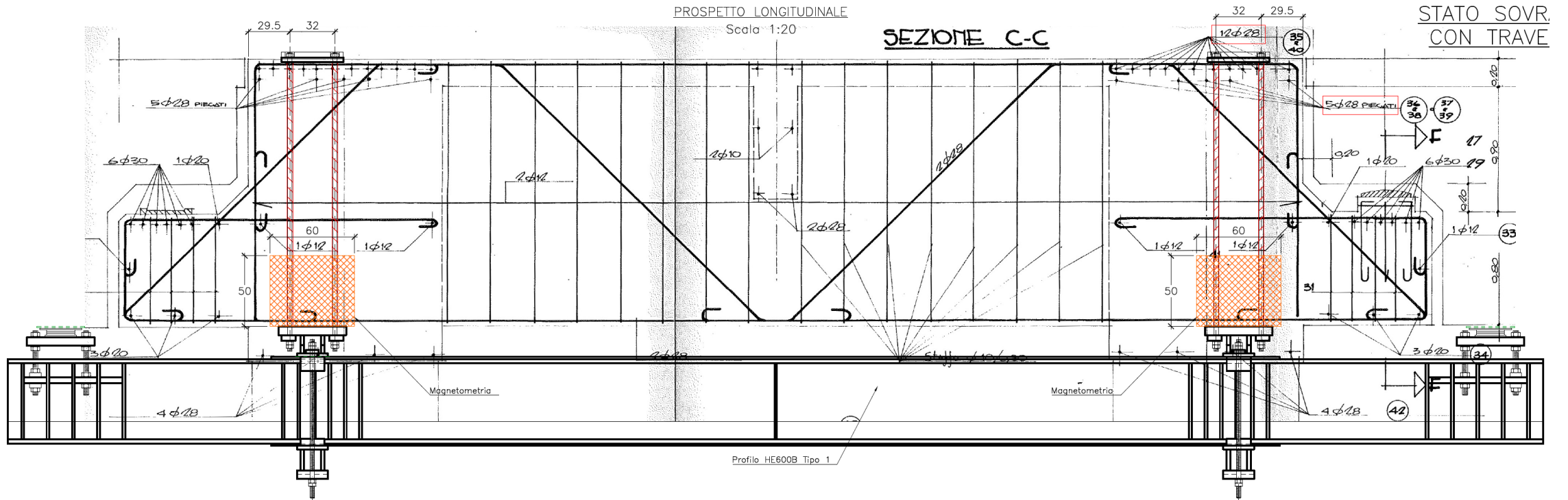
A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

Intervento sulle selle gerber singole su spalla



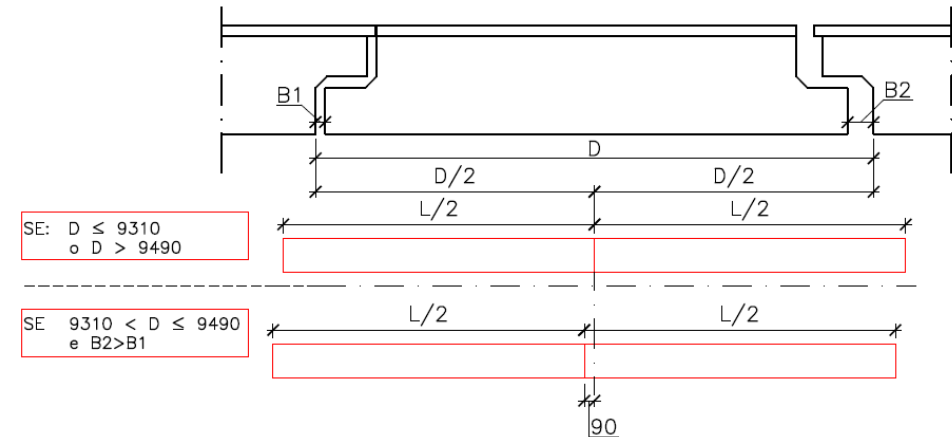
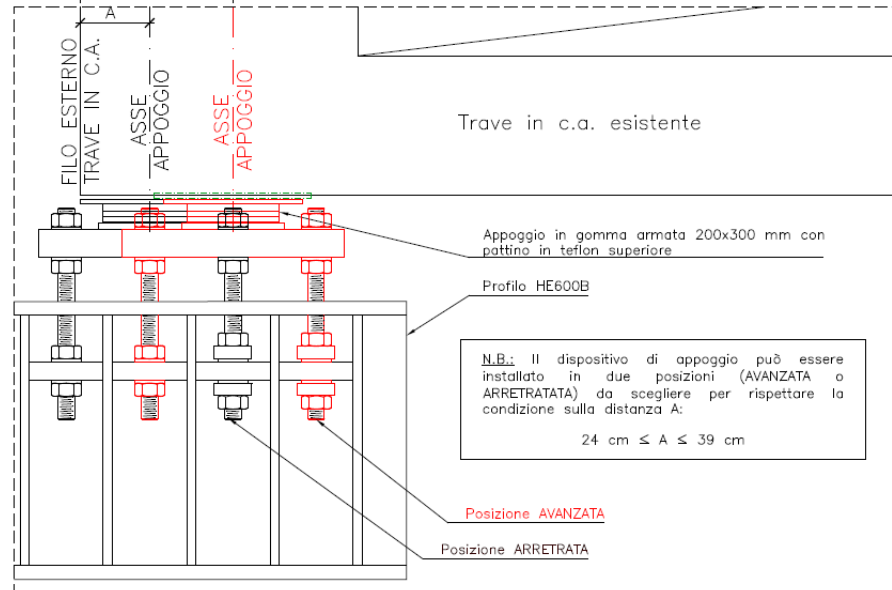
A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

Intervento sulle selle gerber



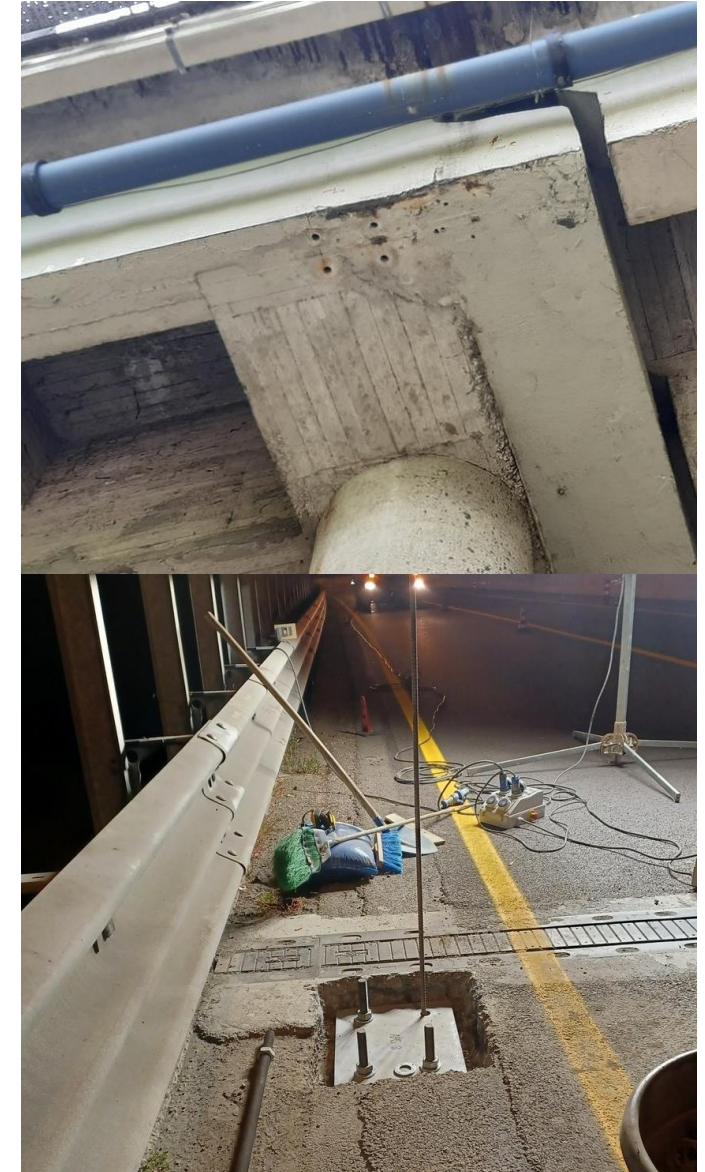
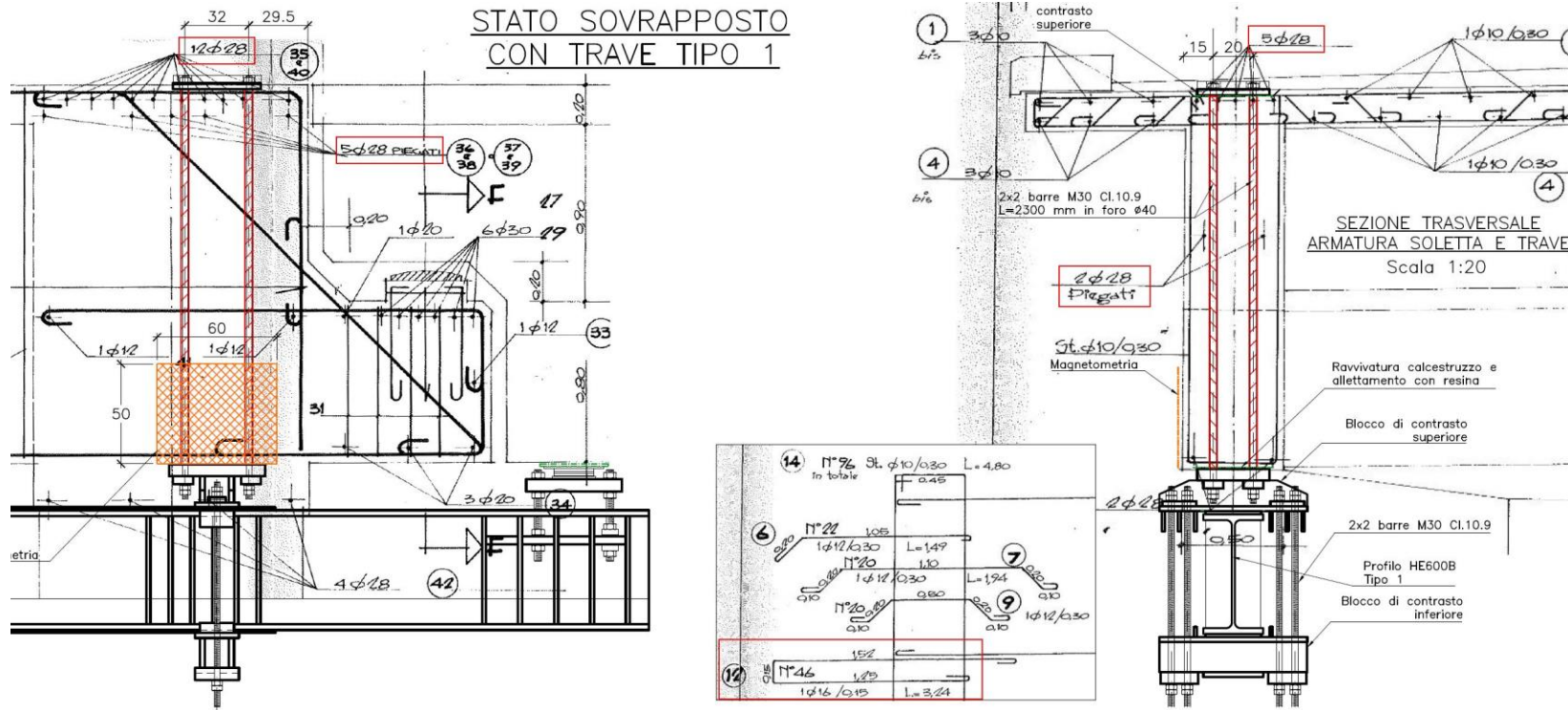
Gli interventi sulle selle

- Gestione delle tolleranze geometriche:
 - I viadotti si sviluppano in parte in curva planimetrica con raggio variabile;
 - Le dimensioni dei cappelli risultano differenziate tra interno ed esterno curva, per ciascun viadotto, e diverse da pila a pila;
 - Inoltre vi sono tolleranze geometriche dovute alla fase di realizzazione dell'opera.
- Si è definita una geometria che coprisse tutti i casi prevedibili. Una volta fissato l'intervallo di posizioni dell'appoggio rispetto alla trave:
 - Sono stati fissati i punti di sospensione sul cappello rispetto al loro filo esterno in direzione longitudinale;
 - Sono state definite due possibili posizioni per i dispositivi di appoggio;
 - E' stata definita una possibilità di regolazione nel posizionamento longitudinale della trave metallica.



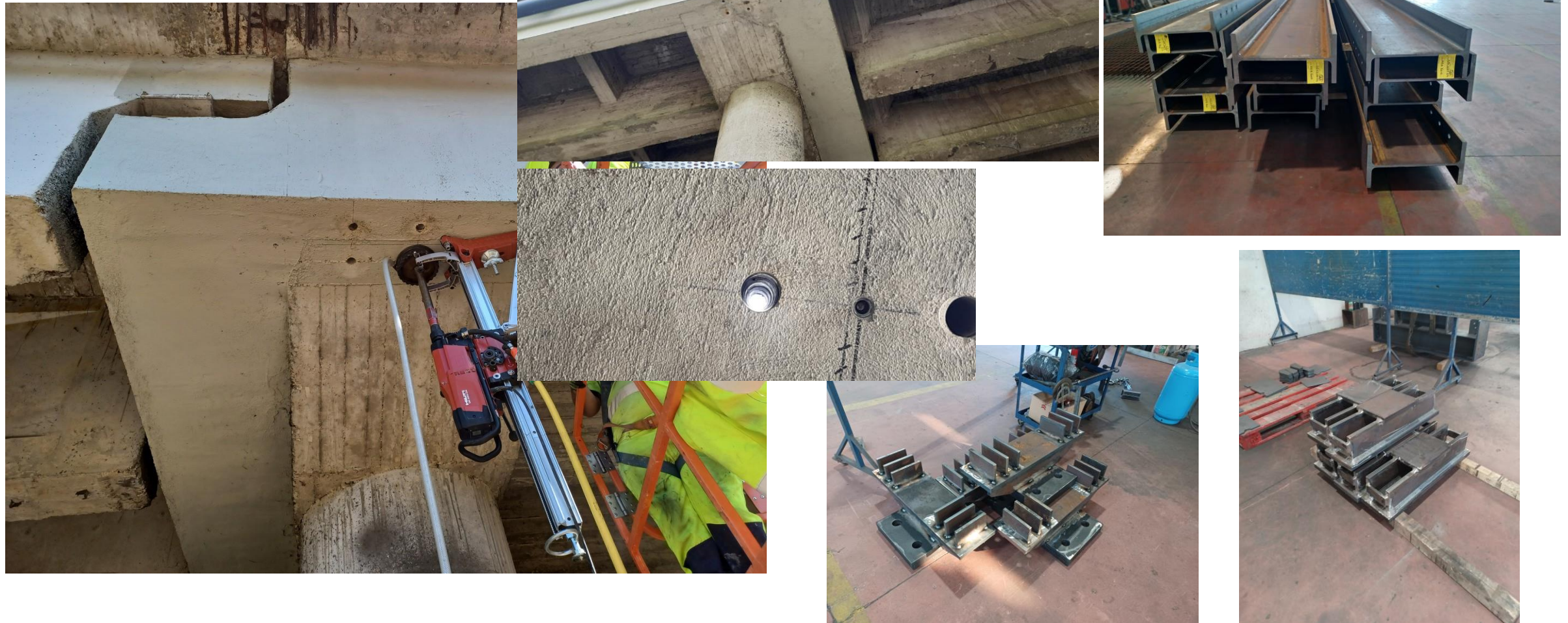
Gli interventi sulle selle

- Il sistema di sospensione con barre passanti nel traversone viene montato preliminarmente alla trave a bilanciere, movimentando pezzi di peso e dimensione modesta.
- Le forature sono di dimensioni contenute ed eseguite dal basso.
- I piatti di contrasto superiori vengono montati in notturna.



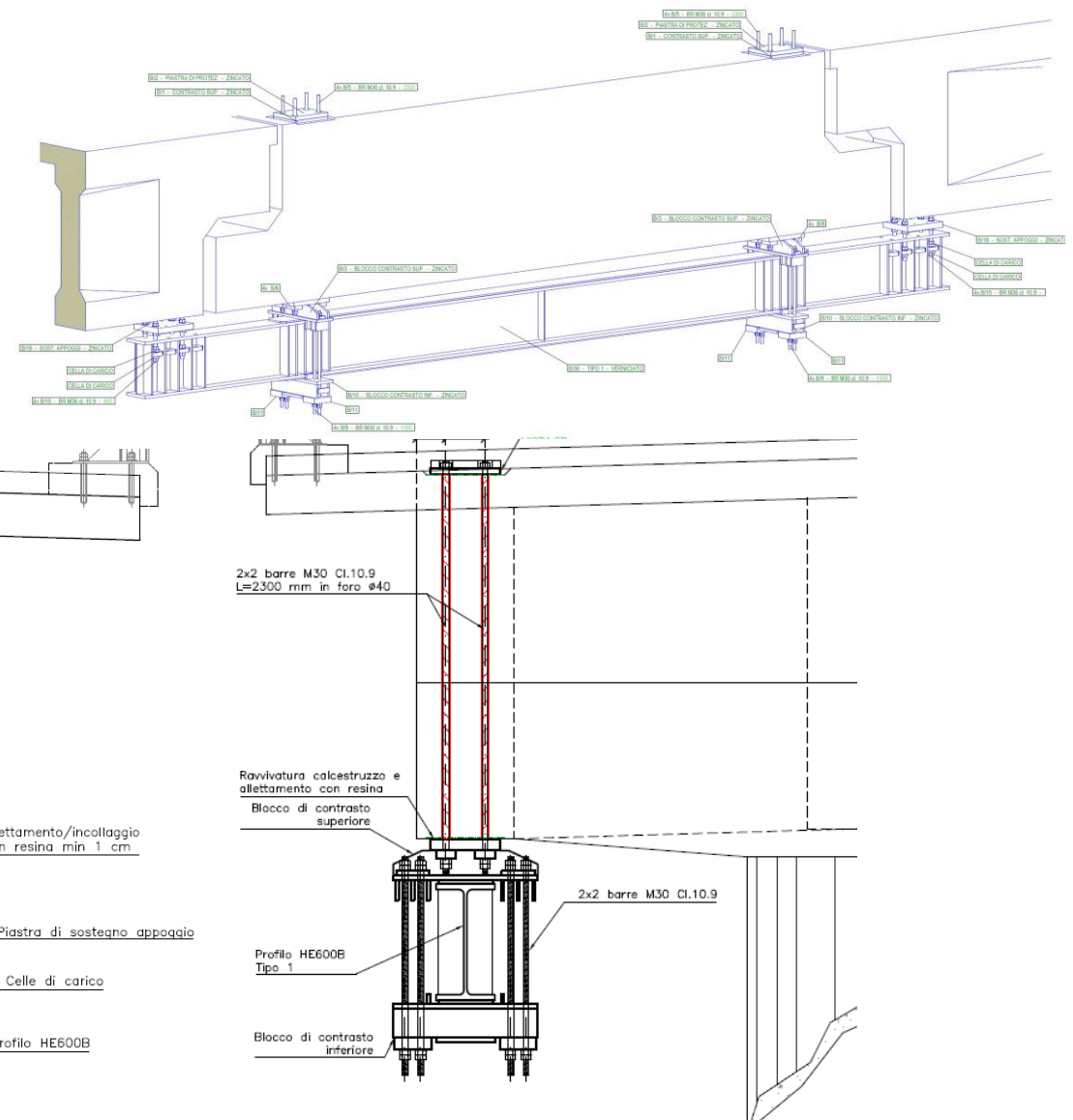
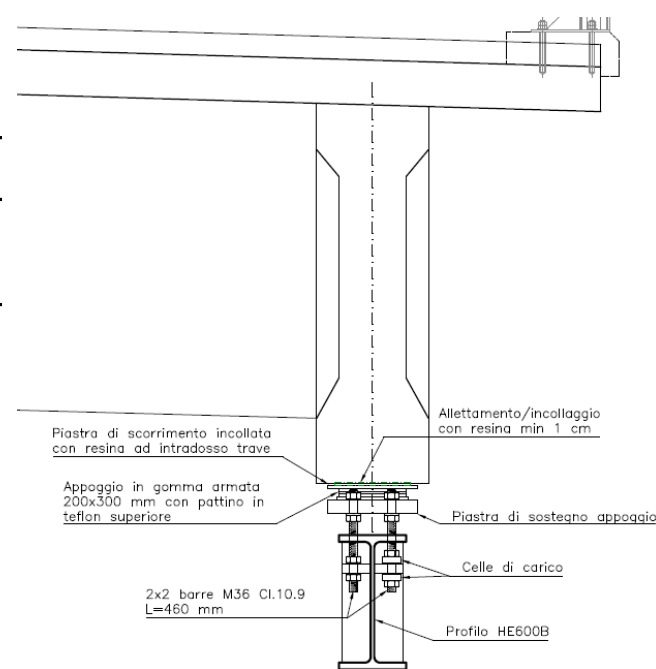
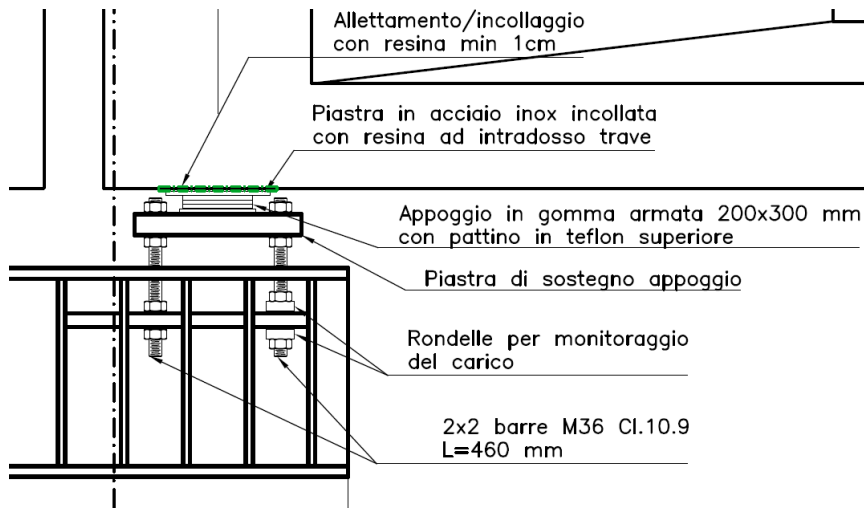
A14 BOLOGNA – Ponte sul Reno

Intervento sulle selle gerber



Gli interventi sulle selle

- Si segue con il montaggio dal basso della trave a bilanciere
- Si completa con l'inserimento del dispositivo d'appoggio e con il suo precarico tramite martinetto.
- Il carico sul dispositivo è monitorabile tramite le celle di carico installate e modificabile nel tempo, se ve ne fosse necessità.



Interferenze con la viabilità

- Durante i lavori non è stato necessario introdurre limitazioni ulteriori oltre a quelle già in essere;
- Solo in orario notturno, per alcune lavorazioni da eseguire in estradosso, sono state operate chiusure di alcune corsie di marcia;



- I lavori stanno procedendo speditamente, per allineamenti di travi, in modo da rimuovere progressivamente i restringimenti imposti dalle verifiche di sicurezza sui diversi viadotti.
- Via via che gli interventi vengono completati su una via, i lavori vengono sottoposti a collaudo statico misurando anche la variazione di carico sugli appoggi delle travi a bilanciere.

Conclusioni

Il complesso degli interventi progettati, e quasi completamente eseguiti, sul Viadotto Reno ha permesso di prolungarne la vita utile mantenendolo in esercizio durante i lavori e garantendo all'opera di continuare a svolgere il suo ruolo cruciale nel nodo di Bologna fino al completamento del nuovo passante.

Agli interventi più canonici eseguiti sulle travi (rinforzo a taglio, rinforzo del bulbo, precompressione esterna) è stato affiancato un intervento sulle selle Gerber, i cui elementi più significativi sono:

- Concezione e applicazione di un **sistema che incrementa la sicurezza senza invasivi e delicati interventi di rinforzo** specifico sulle selle;
- Introduzione di un **sistema attivo** per l'applicazione di un pre-carico controllato che riduce l'impegno delle selle anche in condizioni permanenti;
- Introduzione di un **sistema di controllo del carico** sui dispositivi di appoggio per valutare comportamento ed efficienza dell'intervento e monitorare eventuali future evoluzioni del difetto.

