

# UN IMPALCATO FERROVIARIO OBLIQUO PRECOMPRESSO GETTATO IN OPERA

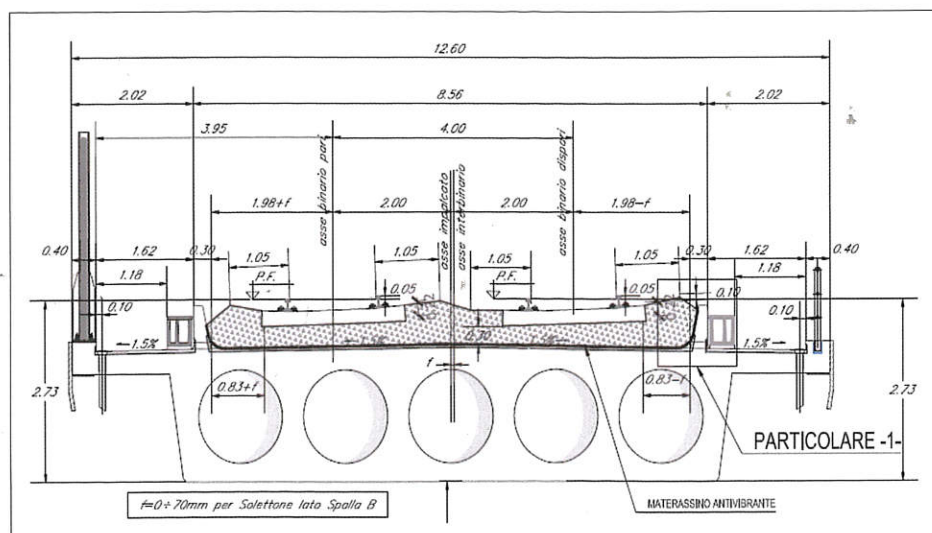
AD OPERA DELLA ENSER SRL, LE FASI COSTRUTTIVE DEI DUE IMPALCATI IN C.A.P. DEL LOTTO 13 DEL NODO AV DI BOLOGNA

Vista dell'impalcato in c.a.p.



1. Vista dell'impalcato lato Padova, spalla B

Sono le fasi costruttive a rappresentare la peculiarità dei due impalcati in c.a.p. del Lotto 13 del Nodo AV di Bologna. Entrambi sono costituiti da un solettone, gettato in opera e alleggerito da cavità cilindriche, di lunghezza 12,60 m. Per effetto della curvatura del tracciato, le due strutture non sono perfettamente uguali, ma si differenziano per lunghezza e obliquità. L'impalcato lato Padova, su cui è transitata la travata metallica che consente l'attraversamento ferroviario di tangenziale e A14, ha una luce di calcolo di 27,60 m, una lunghezza totale di 31,10 m e una obliquità di 25°27' rispetto alla direzione perpendicolare alla linea ferroviaria.



2. La sezione trasversale dell'impalcato lato Padova, spalla B

## LE FASI COSTRUTTIVE

Ciascun impalcato è stato gettato su casseri sostenuti da una serie di tralicci in acciaio. Una platea in calcestruzzo armato è stata gettata come fondazione per tali opere provvisorie. Il getto è avvenuto a una quota più alta di 60 cm rispetto alla posizione finale dell'intradosso per consentire la posa in opera degli appoggi definitivi, sui quali l'impalcato è stato successivamente calato. Le operazioni di tesatura sono state effettuate con l'impalcato ancora a quota di getto e gravante su appoggi provvisori. La struttura è alleggerita da cavità cilindriche, i cui casseri in polistirolo sono stati verificati a galleggiamento.

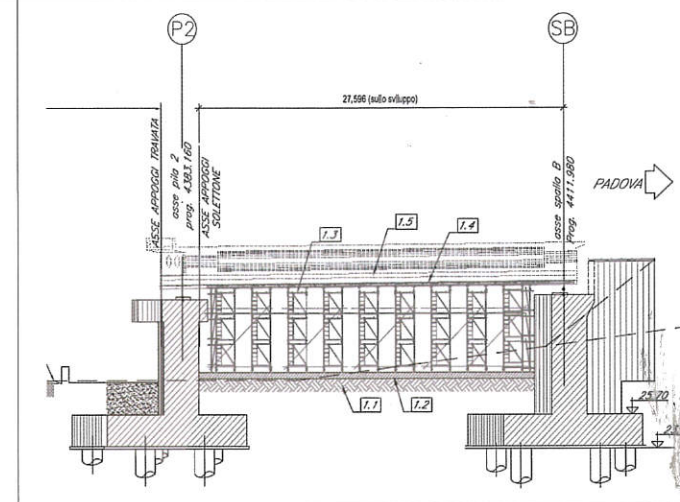
## COSTRUZIONE IMPALCATI

### Fase 1: la platea di fondazione delle opere provvisorie

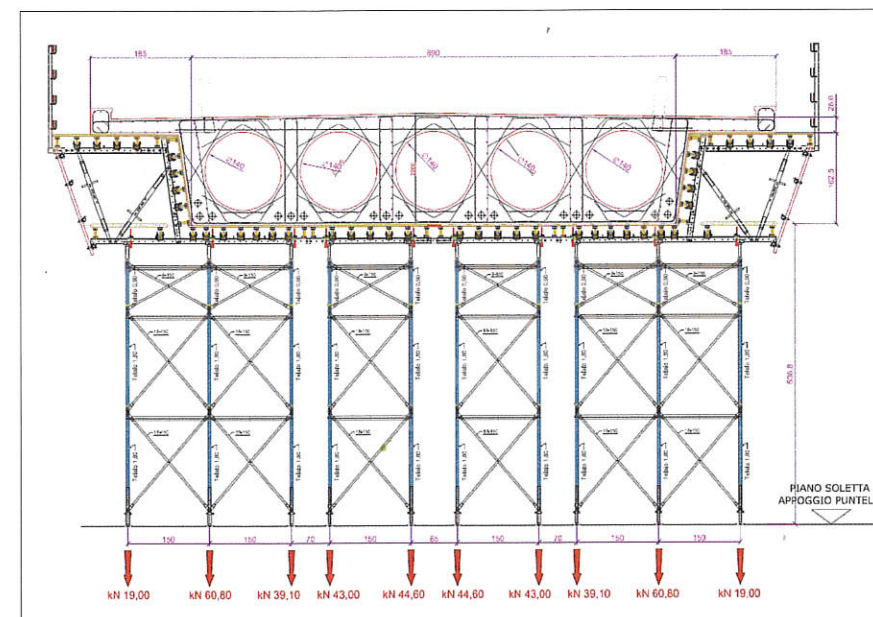
La prima fase costruttiva si è suddivisa in cinque passaggi fondamentali:

- regolarizzazione del terreno ed esecuzione di prove di carico con piastra per verificare l'idoneità del grado di compattazione;
- getto della platea;
- posa in opera dei tralicci a torre;
- posa in opera delle strutture di sostegno del cassero;
- posa in opera del cassero (a quota 0,60 m rispetto alla posizione di progetto).

La platea di fondazione è stata modellata come una trave su suolo elastico alla Winkler soggetta ai carichi trasmessi dai tralicci a torre.



5. Fase 1: la sezione longitudinale della platea di fondazione



3. La discesa dei carichi per il calcolo della platea di fondazione

### Fase 2: il getto del calcestruzzo

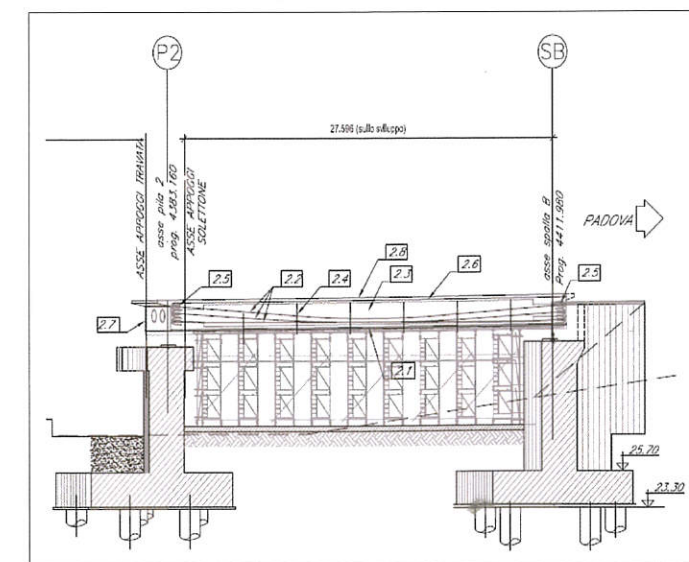
La fase di getto, con i casseri appoggiati ai tralicci metallici, ha previsto otto passaggi:

- posa in opera di armatura lenta inferiore, ancoraggi per ritegni, contropiastre superiori degli appoggi e sostegni dei cavi;
- posa in opera delle guaine con i cavi di precompressione;
- posa in opera dei cilindri di alleggerimento;
- posa in opera delle funi di ancoraggio dei cilindri;
- posa in opera delle testate e dei relativi frettaggi;
- completamento delle armature lente;
- completamento dei casseri in testata;
- getto del calcestruzzo ad eccezione degli sbalzi.

Le cavità cilindriche di alleggerimento, vuote ed ispezionabili, hanno un diametro di 0,80 m alle estremità e di 1,40 m per la rimanente estensione dell'impalcato.



4. Fase 1: i tralicci e i casseri in posizione



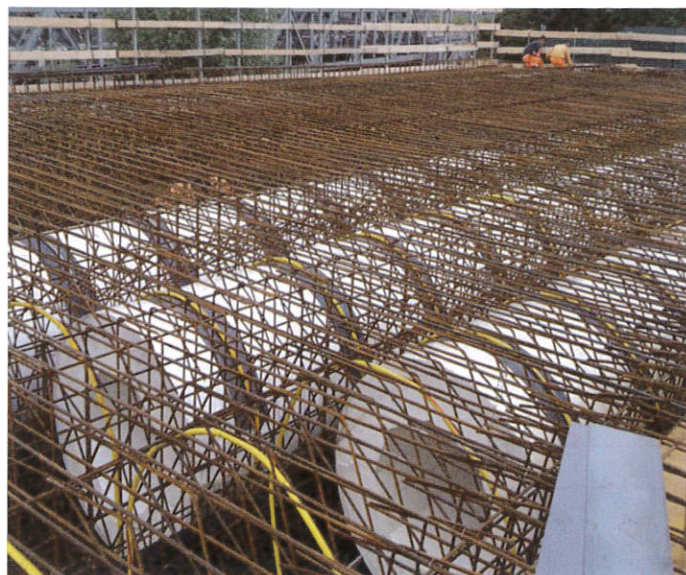
6. Fase 2: la sezione longitudinale



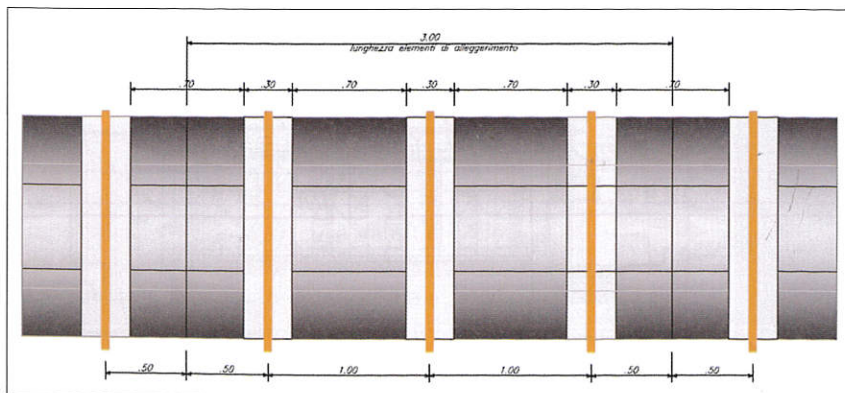


7. Fase 2: l'armatura lenta dell'impalcato

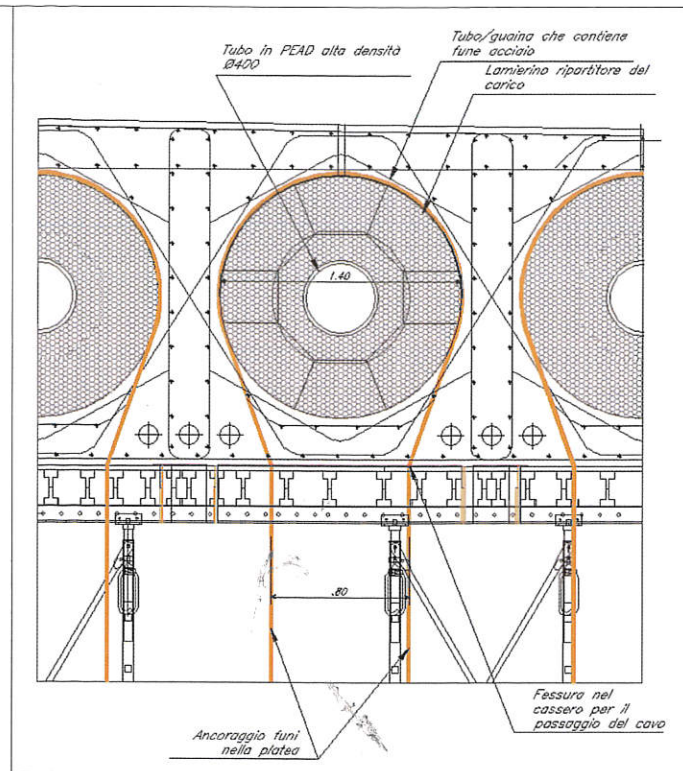
Per svolgere la funzione di casseri amovibili di forma circolare, aventi la rigidità necessaria per mantenere la forma durante il getto e una configurazione idonea a contrastare la spinta di Archimede, sono stati disposti dei cilindri di polistirolo.



8. Fase 2: gli alleggerimenti in polistirolo



9. Fase 2: la sezione longitudinale degli alleggerimenti in polistirolo



10. Fase 2: la sezione trasversale degli alleggerimenti in polistirolo

Gli aspetti caratteristici sono i seguenti:

- cavo di tenuta: cavo in acciaio inserito all'interno di una guaina che avvolge il cilindro di polistirolo. Una volta eseguito il getto dell'impalcato il cavo è stato sfilato dalla guaina, la quale è stata rimossa a sua volta. La cavità residua alla rimozione della guaina è stata iniettata con malta espansiva. I cavi sono stati ancorati con tasselli alla soletta di fondazione del ponteggio;
- lamierino ripartitore: per diffondere i carichi sul polistirolo in corrispondenza del cavo di tenuta;
- tubo interno in PEAD: utilizzato per evitare possibili rotture a taglio del polistirolo.

I cilindri di alleggerimento sono stati rimossi per fasi successive in modo da facilitare l'estrazione dei vari elementi.

La prima fase ha previsto la rimozione delle funi in acciaio per scorrimento all'interno delle guaine in PVC con successiva rimozione delle guaine spiralate e iniezione di malta cementizia attraverso i fori di intradosso lasciati dalle guaine.

Successivamente, alla presa della malta cementizia si è effettuato lo sfilamento del tubo in PEAD (polietilene ad alta densità) per tutta la lunghezza d'impalcato. Si è passati poi all'estrazione dei tubi in polistirolo partendo dalla sezione centrale per i primi 3,00 m di impalcato con successiva rimozione degli spicchi trapezoidali per la medesima lunghezza, effettuando la piegatura e rimozione dei tre lamierini in acciaio di lunghezza 30 cm disposti con interasse di 1,00 m lungo i 3,00 m.

Si è proseguito all'estrazione dei successivi conci da 3,00 m fino alla rimozione totale del polistirolo e dei lamierini per tutta la lunghezza d'impalcato.

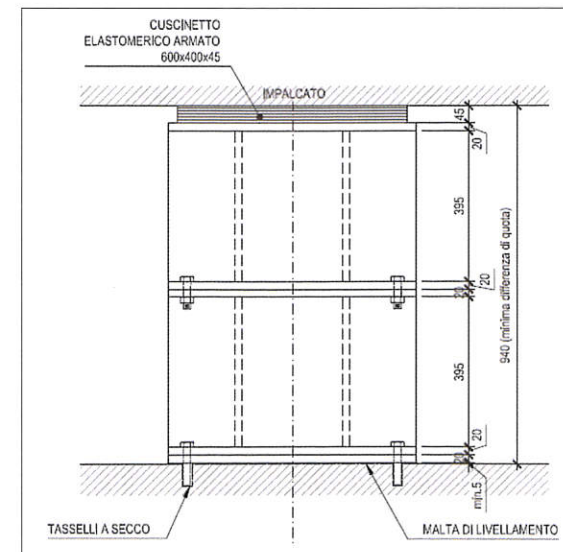
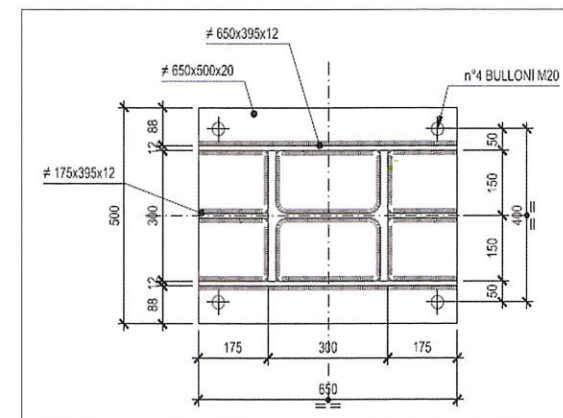
### Fase 3: gli appoggi provvisori e tesatura dei cavi

In seguito al getto del calcestruzzo si è disposto l'impalcato sugli appoggi provvisori per effettuare la tesatura dei cavi. La lavorazione ha previsto:

- asportazione della zona di cassero in corrispondenza degli appoggi provvisori;
- posa in opera degli appoggi provvisori (con interposizione di un cuscinetto in neoprene a contatto con l'impalcato);
- verifica del raggiungimento da parte del calcestruzzo della resistenza  $R_{ck} > 30$  MPa;
- tesatura dei cavi trasversali;
- tesatura dei cavi longitudinali;
- completamento del getto della soletta (sbalzi interferenti con le operazioni di tesatura);
- smontaggio del cassero e dei relativi sostegni.

Sono stati disposti due appoggi provvisori in corrispondenza di ogni appoggio definitivo per un totale di 12 appoggi provvisori. Questi ultimi sono composti da due elementi sovrapposti, ognuno formato da due piastre (di dimensioni 650x500 mm e spessore 20 mm) e da un profilo HEB 300 lungo 395 mm irrigidito da quattro piastre di spessore 12 mm.

La tesatura dei cavi da precompressione è stata effettuata operando da un solo lato.

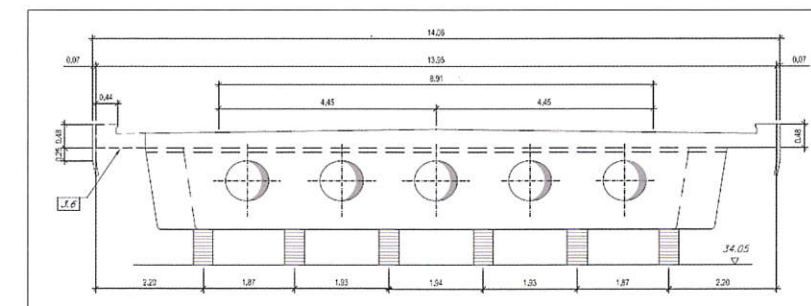


11A e 11B. Fase 3: la carpenteria degli appoggi provvisori

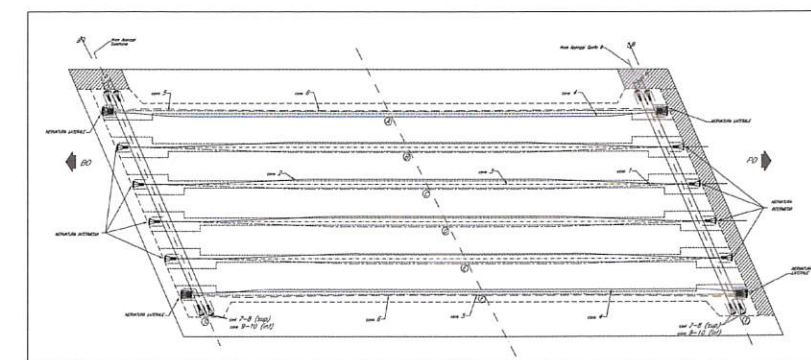


12. Fase 3: gli appoggi provvisori

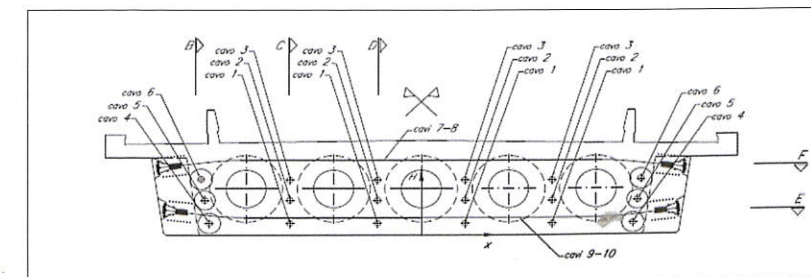
Tale modalità è stata preferita alla più dispendiosa tesatura simmetrica. La prima fase di getto è stata interrotta in corrispondenza degli sbalzi in modo da permettere una più semplice disposizione dei martinetti in corrispondenza del traverso per le operazioni di tesatura.



13. Fase 3: la sezione trasversale dell'impalcato



14. Fase 3: la vista in pianta delle fasi di getto del solettone



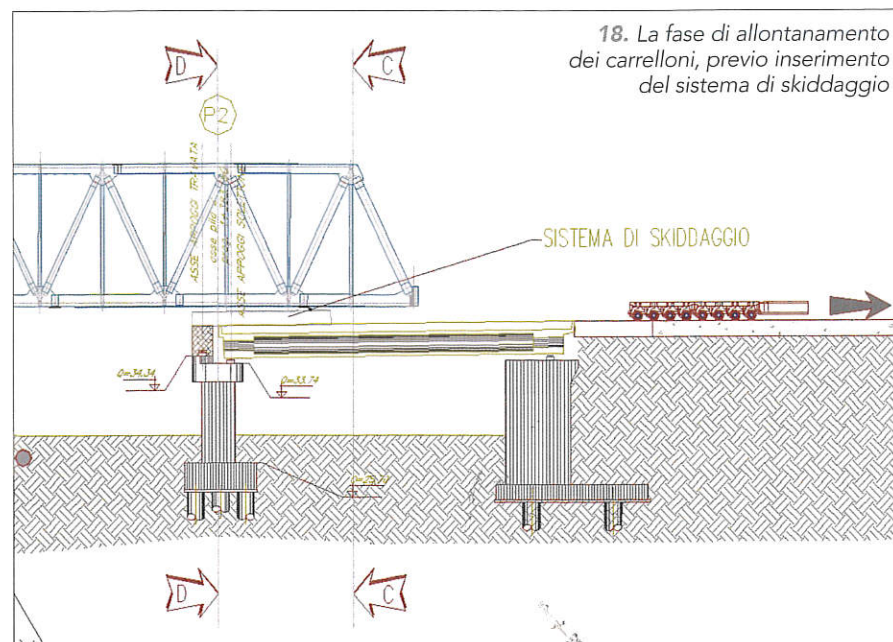
15. Fase 3: la sezione trasversale della disposizione dei cavi da precompressione



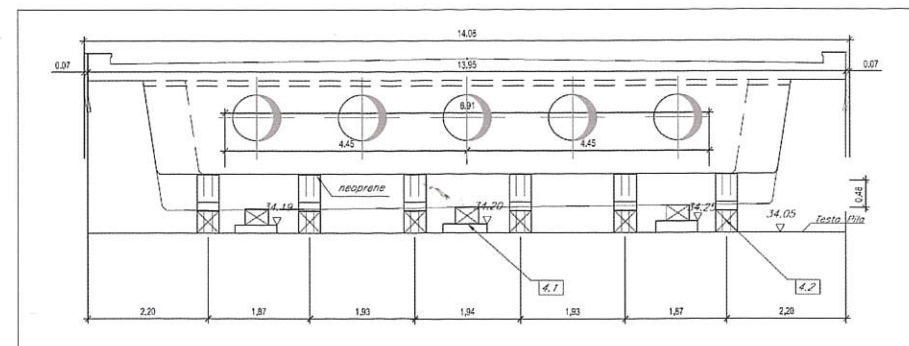
#### Fase 4: il calaggio sugli appoggi definitivi

Dopo lo smontaggio del cassero, si è provveduto al calaggio dell'impalcato sugli appoggi definitivi, eseguito nelle seguenti fasi successive:

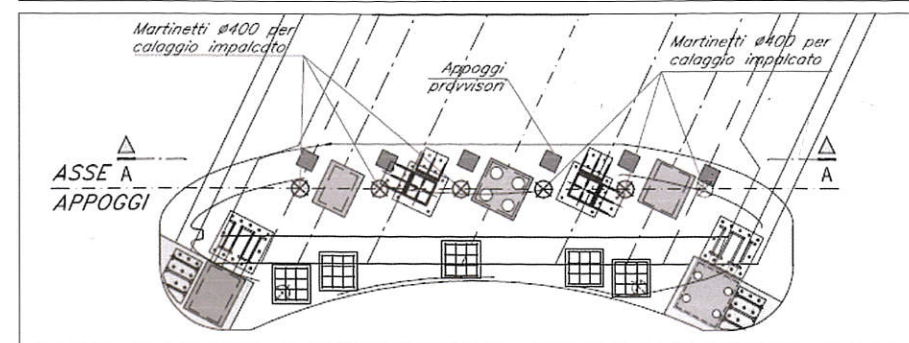
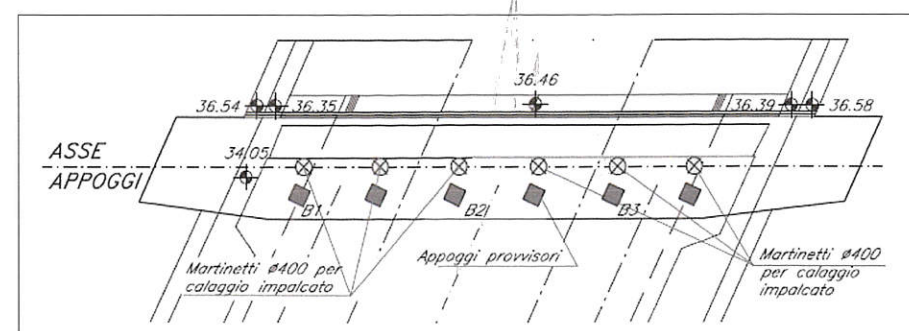
- posa in opera degli appoggi definitivi;
- posizionamento dei martinetti;
- sollevamento dell'impalcato sufficiente all'asportazione degli appoggi provvisori;
- asportazione dell'elemento superiore degli appoggi provvisori e riposizionamento del foglio di neoprene;
- ripetizione dei passaggi 3 e 4;
- asportazione completa degli appoggi provvisori;
- calaggio dell'impalcato sugli appoggi definitivi;
- smontaggio dei martinetti;
- posa in opera dei ritegni sismici.



18. La fase di allontanamento dei carrelli, previo inserimento del sistema di skiddaggio



16. Fase 4: la sezione trasversale dell'impalcato sugli appoggi definitivi



17A e 17B. Fase 4: la pianta degli appoggi e dei ritegni sulla spalla B e sulla pila 2

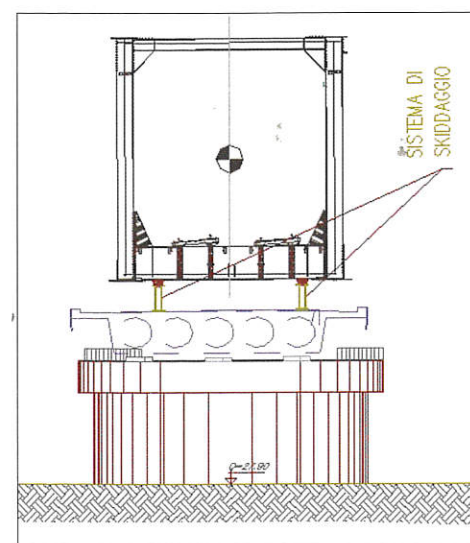
#### IL VARO DELLA TRAVATA METALLICA

Il solettone in c.a.p. lato Padova è stato interessato dal transito della travata metallica in fase di varo.

La travata è stata movimentata mediante due file da 18 carrelli a singolo asse ognuno, per un totale di 36 carrelli:

- peso della travata metallica: 882 t;
- peso totale dei carrelli: 159 t.

In fase di varo, successivamente al raggiungimento del bordo dell'impalcato da parte del carrello posteriore, è stato trasferito il carico dell'impalcato metallico sulle travi di manovra previo inserimento di rulli tra di es-



19. La sezione trasversale e la posizione del sistema di skiddaggio

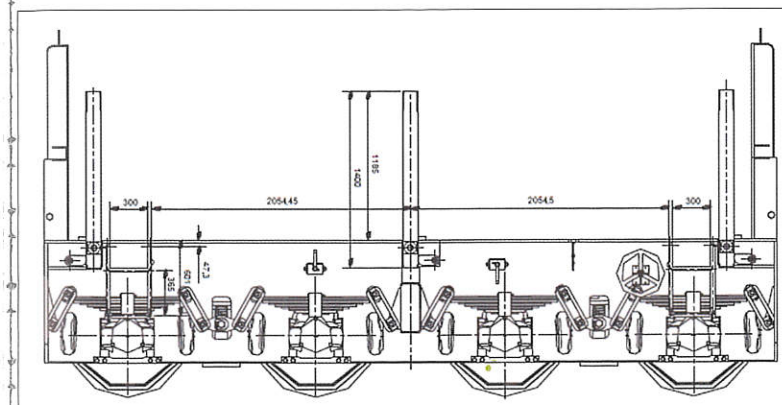
se (sistema di skiddaggio) e la travata del ponte, con successivo allontanamento dei carrelli semoventi posteriori.

I rulli di skiddaggio sono passati progressivamente dalla sezione di mezzeria dell'impalcato fino ad arrivare in corrispondenza degli appoggi, portando il carico dell'impalcato metallico e trasferendolo all'impalcato in c.a.p. attraverso le travi di manovra. Successivamente al varo della travata metallica, l'intervento è stato completato dalla costruzione dei muretti paraballast, dalla realizzazione delle finiture e dalla sistemazione del terreno come da progetto.

#### LE PROVE DI CARICO

Per il collaudo dell'impalcato in c.a.p. lato Padova si disporrà di due carri pianali per binario (per un totale di quattro carri pianali) e due tramogge di pietrisco ai lati.

I carri pianali sono lunghi 5,83 m e hanno quattro assi da 230 kN (massa lorda massima per prove di peso).

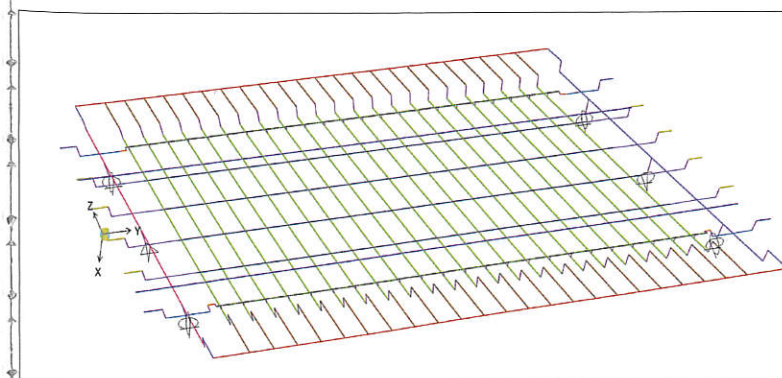


20. La geometria dei carri pianali

Ogni carro pianale corrisponde quindi a un carico distribuito equivalente di 157,8 kN/m per una lunghezza di 5,83 m.

Le tramogge con tara pari a 22,5 t e carico massimo 50-55 t sono lunghe circa 14 m (quattro assi): ciò equivale ad un carico distribuito pari a 51,7 kN/m.

Nel modello di calcolo agli elementi finiti sono state implementate diverse combinazioni di carico a seconda delle diverse posizioni possibili dei carri pianali in funzione dell'effetto da massimizzare.



21. Il modello di calcolo FEM

(1) Ingegnere Civile, Socio Fondatore, Consigliere Delegato e Direttore Tecnico della Enser Srl

(2) Ingegnere Civile, Socio, Referente Tecnico di sede e Progettista della Enser Srl

(3) Ingegnere Civile e Progettista della Enser Srl



22. Vista delle cavità ispezionali

#### Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare il Progettista Ing. Angelo Vittozzi di Italferr SpA - U.O. Strutture per i consigli e la supervisione offerta nel corso del progetto di dettaglio.

#### DATI TECNICI

**Stazione Appaltante:** Rete Ferroviaria Italiana SpA

P.M. Italferr - Nodo di Bologna: Ing. Cristiano Vercellone

**Appaltatore:** ATI composta dal Consorzio Stabile Modenese Soc. Cons. pA (Mandataria che ha sviluppato le opere civili tramite la propria Consorziata Baraldini SpA), S.I.F.E.L. SpA e Alessandria (Mandante che ha realizzato gli impianti)

**Progetto esecutivo:** Progettista Responsabile Ing. Angelo Vittozzi e Collaboratori Ingg. Pietro Di Nucci, Felice Bonifacio, Massimo di Napoli di Italferr SpA - U.O. Strutture

**Progetto di dettaglio delle opere civili:** Progettista Responsabile Ing. Giancarlo Guadagnini e Collaboratori Ingg. Stefano Pedrielli, Zoe Prosdocimi Gianquinto, Stefano Bilosi di Enser Srl

**Collaudo:** Ing. Roberto Di Bianco di Italferr SpA

**Direzione dei Lavori:** Ing. Tiziana Cicala di Italferr SpA

**Coordinatore della sicurezza in fase di esecuzione:** Ing. Andrea Piani di Italferr SpA

**Esecutore dei Lavori:** Costruzioni Edili Baraldini Quirino SpA

**Direttore di Cantiere:** Geom. Massimo Baraldini

**Direttore Tecnico:** Ing. Cristiano Rangoni di 2Pigreco Srl con il Collaboratore Ing. Lorenzo Bacci

**Subappaltatori (per la costruzione del ponte):** Ing. Carmine Iembo, Geom. Giuseppe Iembo e Ing. Riccardo Rondelli della Iembo Michele Srl

**Durata dei lavori:** 852 giorni

**Data di consegna:** 23 Dicembre 2013

**Data di ultimazione:** Lavori in corso