



ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI FIRENZE

organizza la visita tecnica:

IL PONTE FERROVIARIO SUL FIUME LAMONE MANUTENZIONE E AMMODERNAMENTO

evento realizzato in collaborazione con:



presso:

stazione RFI di MARRADI

VENERDÌ 05 LUGLIO 2019



Chi siamo

ETS è una società di ingegneria civile

che offre servizi di diagnostica e progettazione geologico-geotecnica, strutturale ed architettonica prevalentemente nel campo delle infrastrutture ferroviarie e stradali.

ETS **sviluppa** oggi i propri **progetti** con metodologia **BIM (Building Information Modelling)**, in conformità agli standard descritti nella norma UNI 11337 e linee guida BS 1192 e PAS 1192-2:2013 con restituzione di Base Dati, composta da un Modello di Dati Confederato e relativi Contenuti Informativi.

ETS s.r.l. è **certificata** ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 e OHSAS 18001:2007 SA8000

CREDITS & PARTNERSHIP:



Cenni storici

I ponti misti in muratura e travata metallica possono ritenersi elemento caratterizzante dei ponti ferroviari della linea ferroviaria Firenze-Faenza – “**Faentina**” ed erano numerosi al momento in cui questa strada ferrata fu inaugurata, nel **1893**.

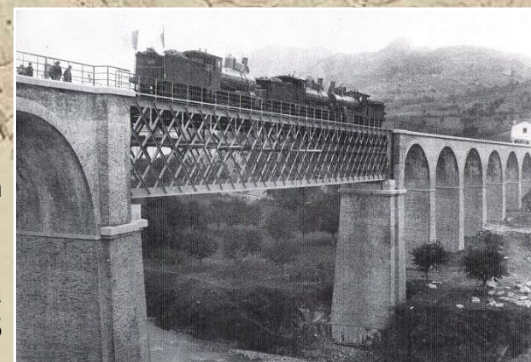
Costruita un tratto alla volta, lasciando per ultimo il più difficile: quello che avrebbe collegato Borgo San Lorenzo a Marradi, scavalcando l'appennino.

La sua realizzazione, al centro di accessi di tribù locali, si inserì nel **piano nazionale di completamento delle linee ferroviarie**.



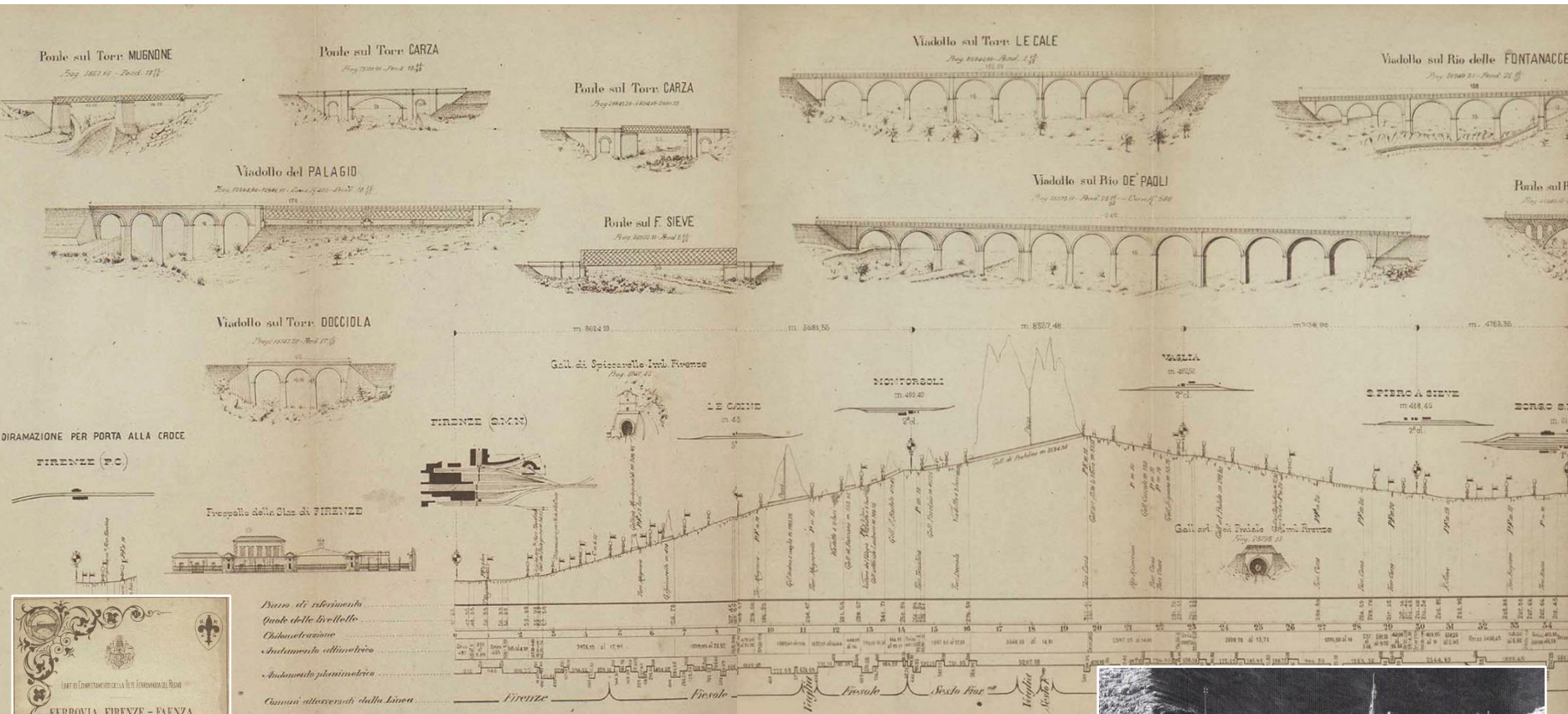
Per quanto riguarda la “Faentina”, il tratto più complesso fu la **galleria degli Allocchi** di ben 3.778 m, lungo la quale il percorso toccava anche la massima altitudine: **577 m. s.l.m.**

In dodici anni furono posati 101 km di rotaie, 24 dei quali attraverso gallerie scavate nella montagna, 55 tra ponti e viadotti, 18 cavalcavia, 100 case cantoniere, 9 magazzini merci, 15 stazioni intermedie.

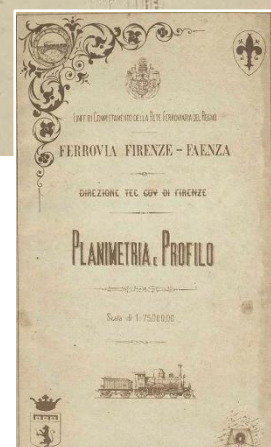
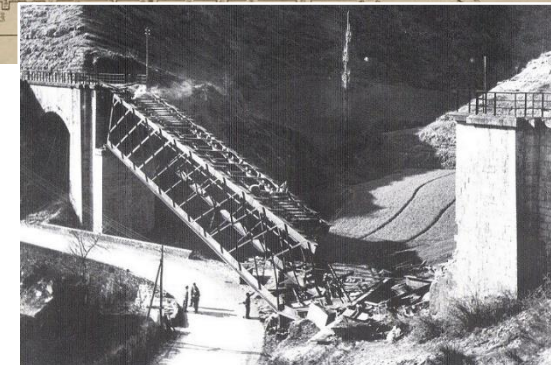


Cenni storici

Nel corso della seconda guerra mondiale si verificarono notevoli danni lungo tutta la linea ferroviaria e durante la ricostruzione post-bellica alcune travate danneggiate furono sostituite da strutture in muratura.

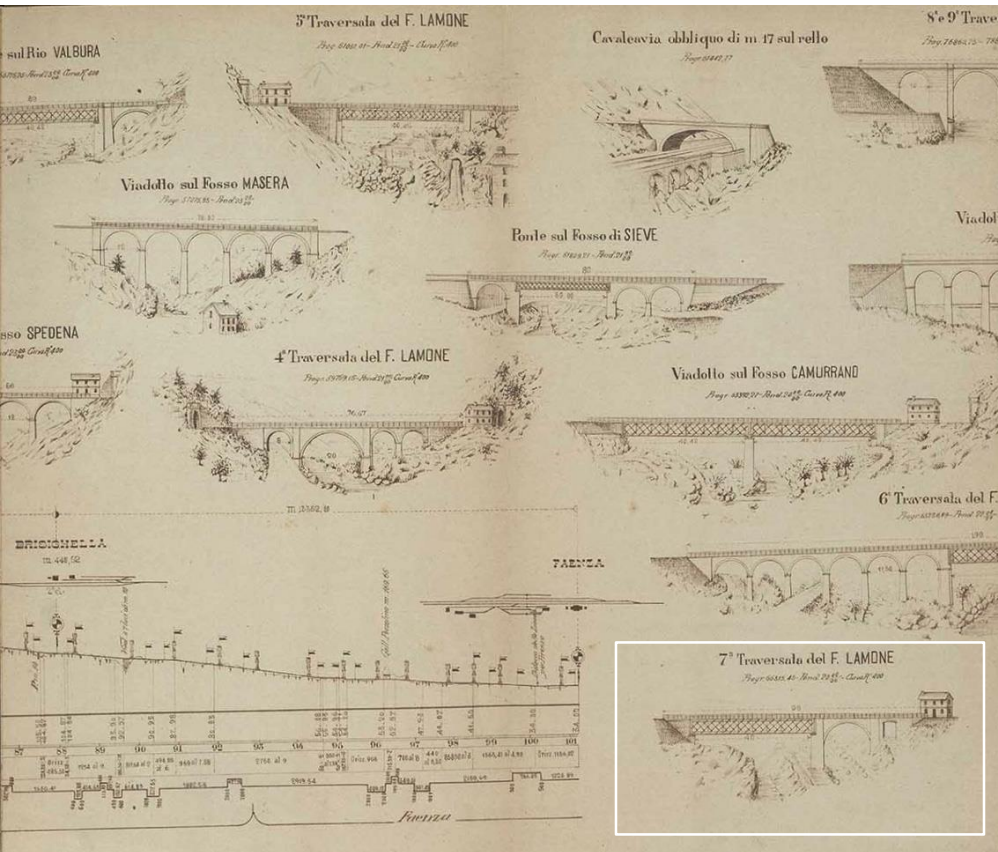


Documenti fotografici giacenti presso **l'Archivio Storico del Compartimento di Firenze delle Ferrovie dello Stato**, mostrano i danni della guerra subiti dalle pile di sostegno e dalle arcate e furono riparate attraverso il lavoro di "ricucitura" con mattoni pieni.



Cenni storici

Il ponte in oggetto, situato poco prima della Stazione di Marradi, al **km 66+322** sul versante in direzione Firenze, in una gola dove il fiume Lamone si apre un varco tra due opposti speroni rocciosi, è in **muratura e travata metallica**, rappresentando quindi una testimonianza legata alle caratteristiche originarie della ferrovia "Faentina".



La **travata metallica**, con campata di 41,97 m di luce, semplicemente appoggiata, è composta da due travi principali a traliccio multiplo, con soli elementi diagonali, travi trasversali, longarine, controventature superiori ed inferiori a croce di Sant'Andrea.

Le travi principali, a parete sono tipo **"HOWE"** costituite con elementi profilati in ferro agglomerate ed unioni di tipo chiodato.

Documentazione fotografica

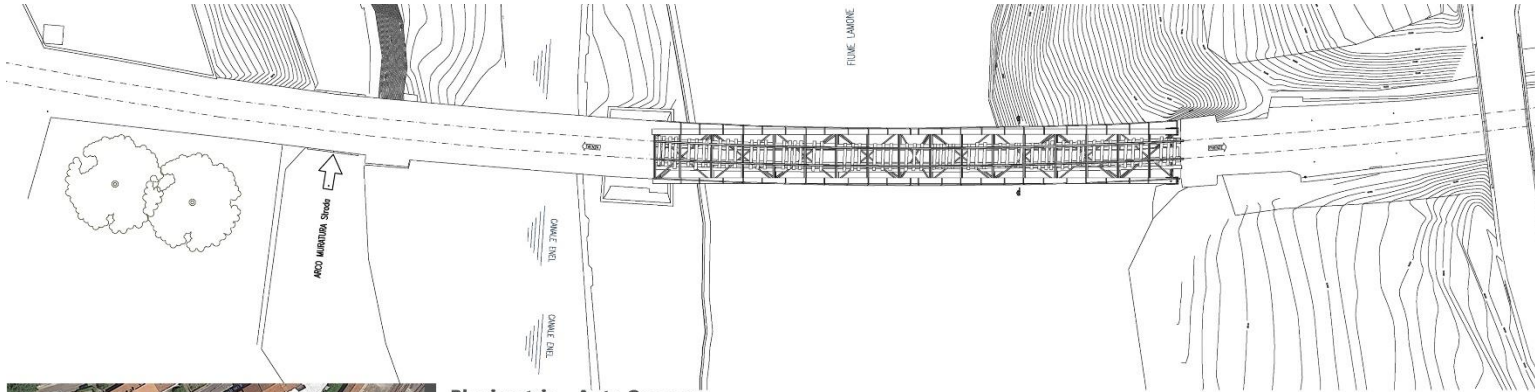
La **struttura muraria del ponte**, è costituita da un arco in muratura di mattoni a tutto-sesto poggiante su pile, anch'esse in muratura.



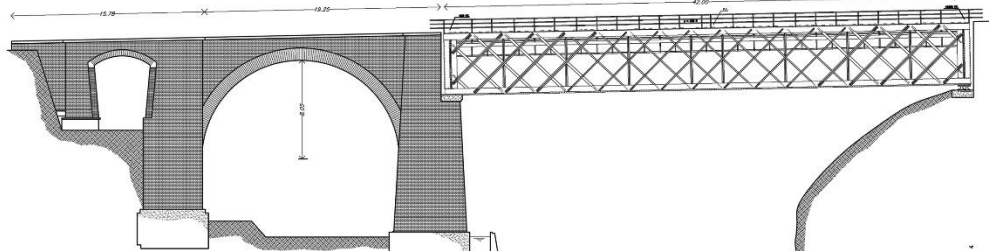
L'arco principale ha un raggio di circa 8 m sotto il quale scorre il canale artificiale Enel, limitrofo il Fiume Lamone. In direzione Faenza, la struttura muraria prosegue con un altro arco in muratura sotto il quale è presente la Via Celestina Donati.



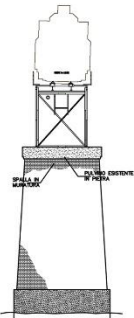
Stato di fatto – rilievo 3D e 2D



Planimetria - Ante Operam



Prospetto - Ante Operam



Sezione - Ante Operam



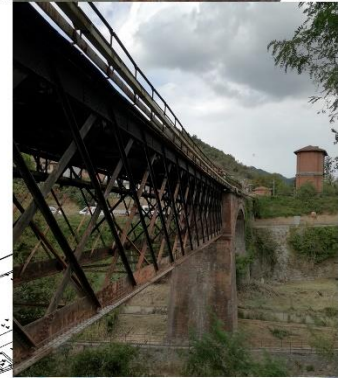
Inquadramento

7^a Traversata del F. LAMONE

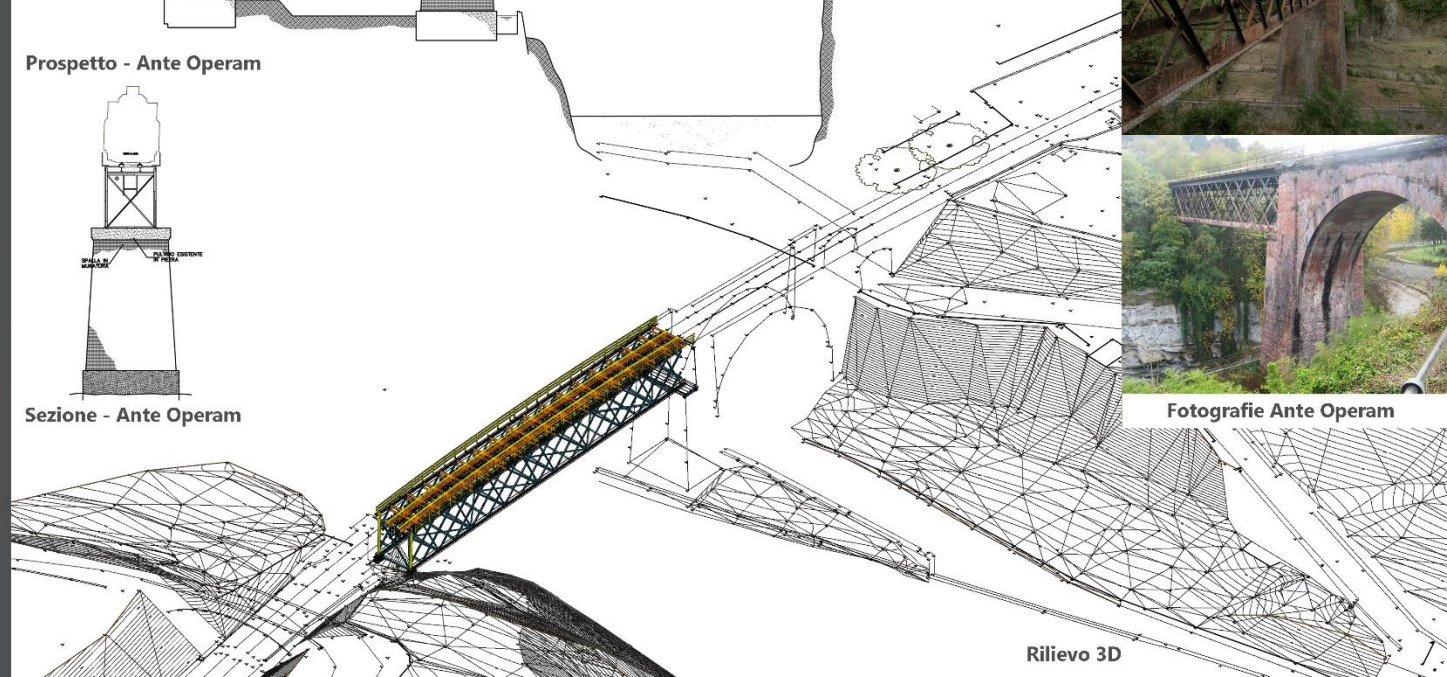
Progr. 66261 del 10/10/1955 - Classif. 400



Disegno storico di progetto

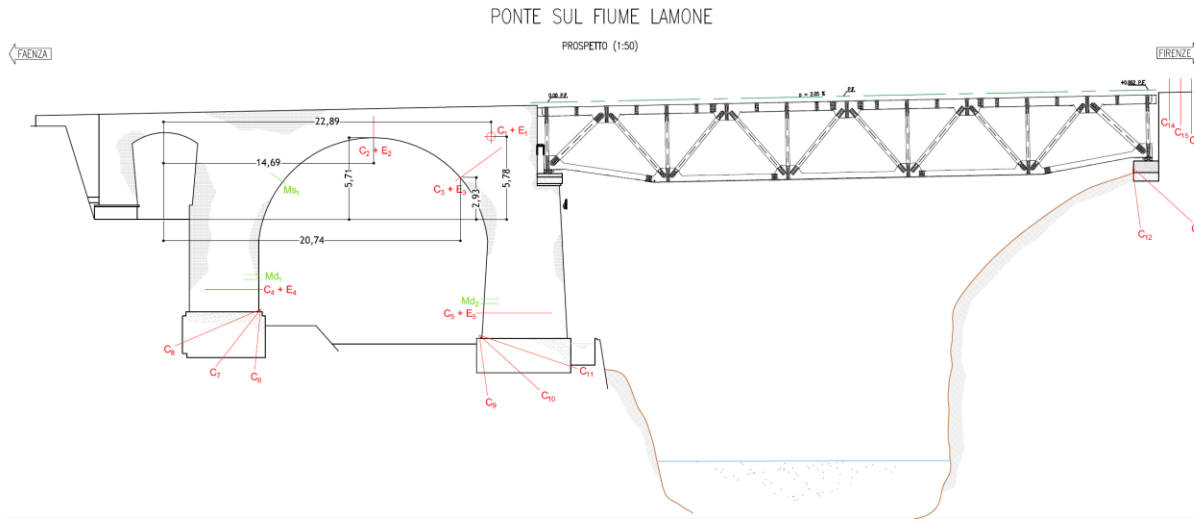


Fotografie Ante Operam



Rilievo 3D

Stato di fatto – indagini geologiche e strutturali



Sulla base delle informazioni acquisite sulla geometria e sui dettagli costruttivi nonché sulle proprietà dei materiali ed in accordo con il quadro normativo tecnico sulle strutture esistenti si ritiene di aver acquisito il **livello di conoscenza massimo per le strutture in muratura** (LC3 - Accurata), a cui corrisponde il fattore di confidenza FC=1.00

Livello di Conoscenza	Geometria	Dettagli costruttivi	Proprietà dei materiali	Metodi di analisi	FC
LC1		verifiche in situ limitate	Indagini in situ limitate Resistenza: valore minimo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1		1.35
LC2	Rilievo muratura, volte, solai, scale. Individuazioni carichi gravanti su ogni elemento di parete Individuazioni tipologia fondazioni. Rilievo eventuale quadro fessurativo e deformativo.	verifiche in situ estese ed esaurive	Indagini in situ estese Resistenza: valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 Indagini in situ esaurive -caso a) (disponibili 3 o più valori sperimentali di resistenza) Resistenza: media dei risultati delle prove Modulo elastico: media delle prove o valore medio intervallo di Tabella C8A.2.1 -caso b) (disponibili 2 valori sperimentali di resistenza) Resistenza: se valore medio sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, valore medio dell'intervallo di Tabella C8A.2.1; se valore medio sperimentale maggiore di estremo superiore intervallo, quest'ultimo; se valore medio sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore medio sperimentale. Modulo elastico: come LC3 - caso a). -caso c) (disponibile 1 valore sperimentale di resistenza) Resistenza: se valore sperimentale compreso in intervallo di Tabella C8A.2.1, oppure superiore, valore medio dell'intervallo; se valore sperimentale inferiore al minimo dell'intervallo, valore sperimentale. Modulo elastico: come LC3 - caso a).	Tutti	1.20
LC3					1.00

Tabella C8A.1.1 – Livelli di conoscenza in funzione dell'informazione disponibile e conseguenti valori dei fattori di confidenza per edifici in muratura



Stato di progetto – la nuova travata metallica

Dati tecnici:

luce di calcolo $L = 41.97 \text{ m}$ con struttura del tipo a maglia triangolare a passaggio superiore. E' costituita da **due travi principali** poste ad interasse di 4.10 m, di altezza complessiva variabile e pari a circa 4.00 m agli appoggi e 5.00 m in campata.

Gli **elementi strutturali** costituenti la travata sono in parte **laminati** (*longherine, controventi, diaframmi, diagonali centrali della parete principale*) ed in parte **saldati** (*briglie, prima diagonale della parete principale, montanti*).

Le **giunzioni** in opera fra i vari elementi sono previste con bulloni lavoranti a taglio.

Il ponte è interessato da un tratto di **tracciato in curva circolare** di raggio 400 m, sopraelevazione di 110 mm, con velocità di tracciato di 70 km/h.

Stato di progetto – la nuova travata metallica



- TABELLA 5 - (*)

Linee che ammettono una massa per asse o una massa per metro inferiore a quella in categoria A

Linea o tratto di Linea	Massa massima per asse ammessa	Massa massima per metro corrente ammessa
Direzione Territoriale Produzione - TORINO		
Romagnano - Varallo Sesia	14 t	4,8 t/m
Santhia' - Rovasenda	16 t	4,8 t/m
Direzione Territoriale Produzione - MILANO		
Carnate Usmate - Calusco	16 t	4,8 t/m
Direzione Territoriale Produzione - FIRENZE		
Borgo S.Lorenzo - Faenza	16 t	4,8 t/m
Direzione Territoriale Produzione - ANCONA		
L'Aquila - Rieti	16 t	4,8 t/m
Direzione Territoriale Produzione - ROMA		
Arce - Avezzano	16 t	4,8 t/m
Direzione Territoriale Produzione - NAPOLI		
Avellino - Mercato S. Severino	16 t	4,8 t/m
Avellino - Rocchetta	16 t	4,8 t/m
Sicignano - Lagonegro <i>(temporaneamente chiusa all'esercizio)</i>	16 t	4,8 t/m

La posizione degli appoggi fissi e mobili

Nel progetto della nuova travata, realizzato negli anni 1986-1991, coincide con la disposizione degli appoggi presenti nella travata attualmente in opera. Ovvero, appoggi fissi posizionati sulla pila/spalla lato Faenza, mentre i mobili longitudinali su pulvino in pietra lato Firenze.

Il peso complessivo della nuova travata è maggiore di quello della travata esistente, inoltre **i sovraccarichi passano da linea A (16 t/asse e 4.8 t/m...) a linea D4 (22.5 t/asse e 8.0 t/m)**, comportando un **aumento sensibile dei pesi e delle masse in gioco**, gravanti sulla pila/spalla lato Faenza, dove sono presenti importanti lesioni.

Gli **apparecchi di appoggio** di nuova costruzione sono del tipo a calotta sferica e sono stati previsti geometricamente intercambiabili.

Rispettando il posizionamento degli appoggi del progetto originario, la pila subirebbe azioni orizzontali statiche e sismiche di entità non trascurabile pertanto, considerando lo stato fessurativo già in atto sulla pila/spalla esistente e l'entità delle azioni statiche e sismiche previste per la nuova travata in acciaio, **si è scelto di posizionare gli appoggi uni-longitudinali sulla pila-spalla ad arco in muratura e degli appoggi fissi dalla parte opposta rispetto all'attuale configurazione.**



Stato di progetto – Arco in muratura - modello FEM

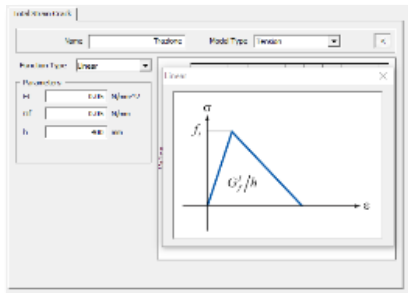
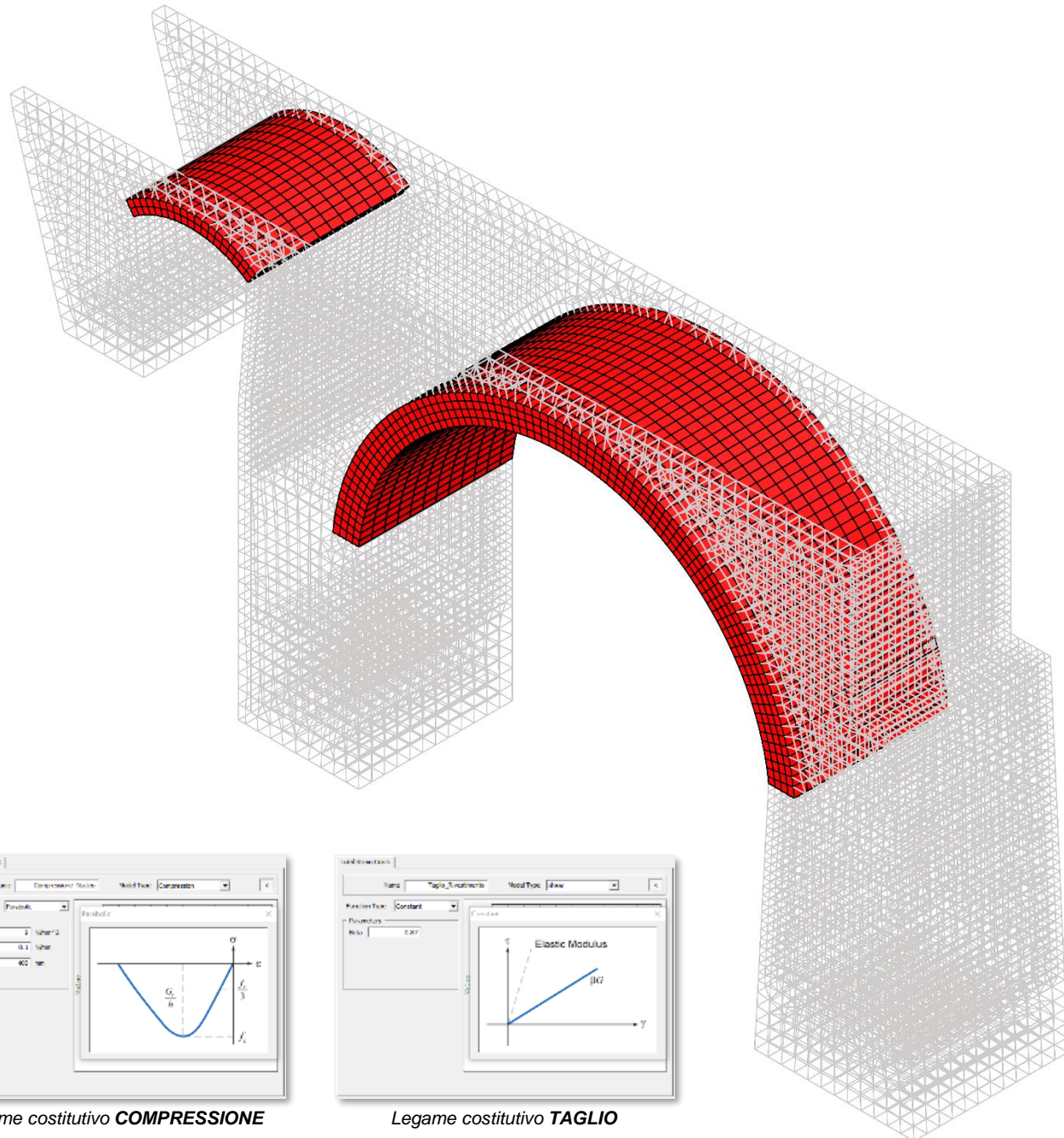
La previsione della risposta sismica di un ponte in muratura presenta non poche difficoltà

Il comportamento certamente non lineare della struttura deriva principalmente:

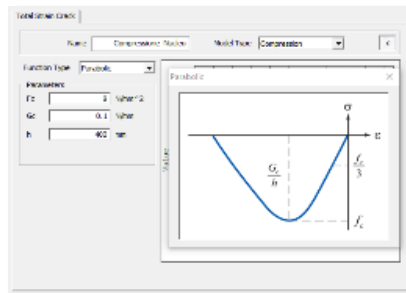
- **debole resistenza a trazione del materiale**, che al limite è nulla
- **fenomeni di schiacciamento**
- **possibile dislocamento del pietrame nel corso dello scuotimento sismico.**

Il ponte è stato analizzato con il codice di calcolo ad elementi finiti (FEM), valutando la **risposta inelastica** della struttura in direzione longitudinale e trasversale, al fine di ottenere i **livelli tensionali massimi raggiunti dalla muratura ed il quadro fessurativo dovuto al superamento dei limiti di trazione.**

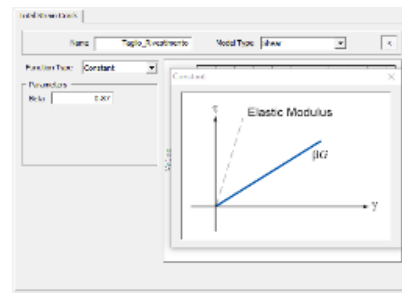
Particolare attenzione è stata data nell'implementazione del legame non lineare della muratura: **TOTAL STRAIN CRACK MODEL** che permette una risposta della struttura sempre più realistica.



Legame costitutivo **TRAZIONE**



Legame costitutivo **COMPRESSIONE**



Legame costitutivo **TAGLIO**

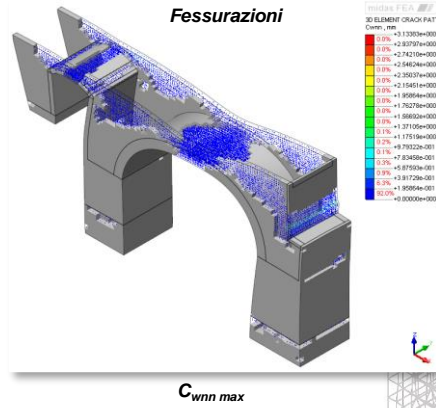
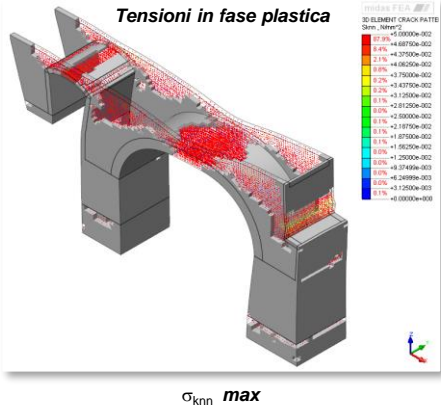
Stato di progetto – Arco in muratura - modello FEM

Le σ_{knn} rappresentano le **tensioni principali di trazione in fase plastica**; le zone rosse, rappresentano le zone appena entrate in fase plastica, mentre quelle blu evidenziano zone in fase plastica avanzata.

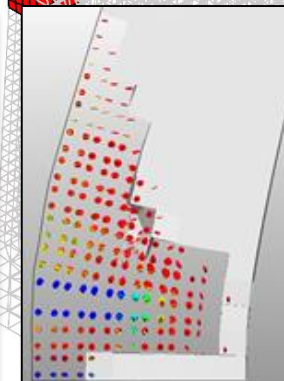
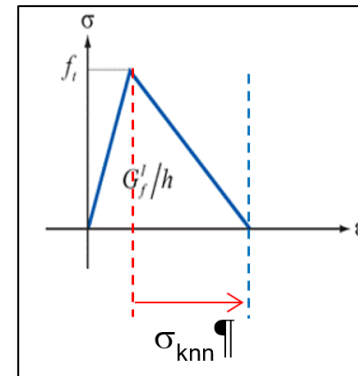
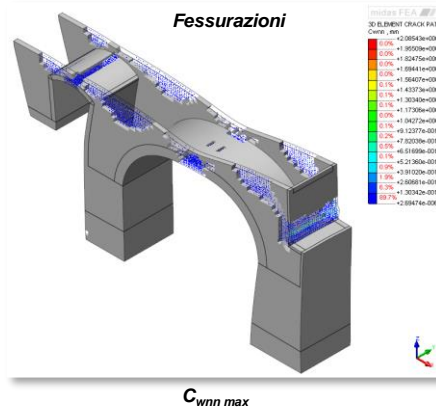
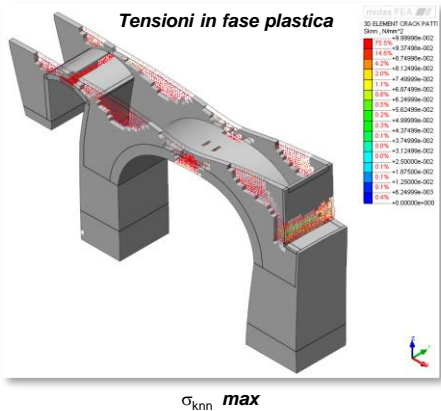
Le C_{wnn} rappresentano le **fessure associate alle tensioni principali di trazione in fase plastica**.

I risultati ottenuti dallo modello ante-operam, il tipo di riclassificazione svolta sulla travata metallica, principalmente a carattere statico, ed il **vincolo storico-monumentale presente**, hanno fatto propendere per la scelta di interventi non eccessivamente impattanti, che consentono di raggiungere un **consolidamento statico**, ed un non trascurabile **miglioramento sismico**, ma certamente non il raggiungimento del totale adeguamento sismico dell'opera esistente, in accordo con quanto effettuato per la travata metallica

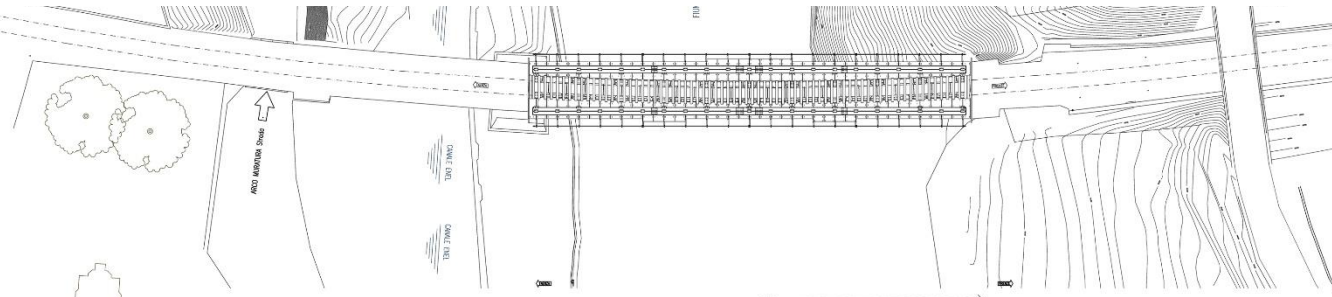
Analisi non lineare – ante operam



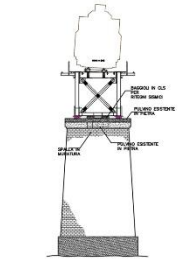
Analisi non lineare – post operam



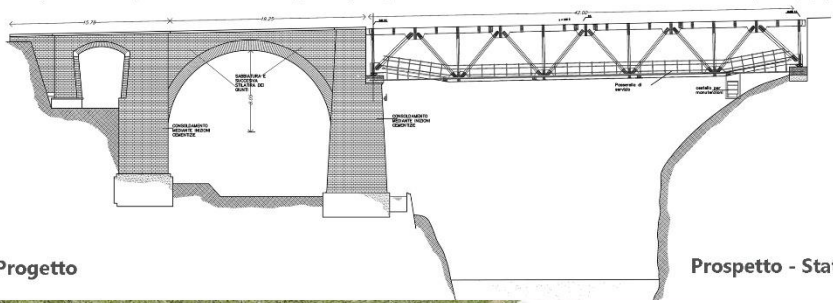
Stato di progetto – Arco in muratura - modello FEM



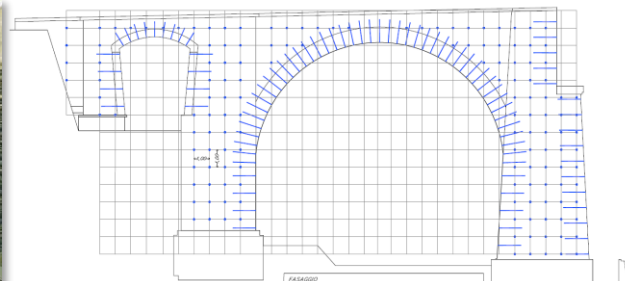
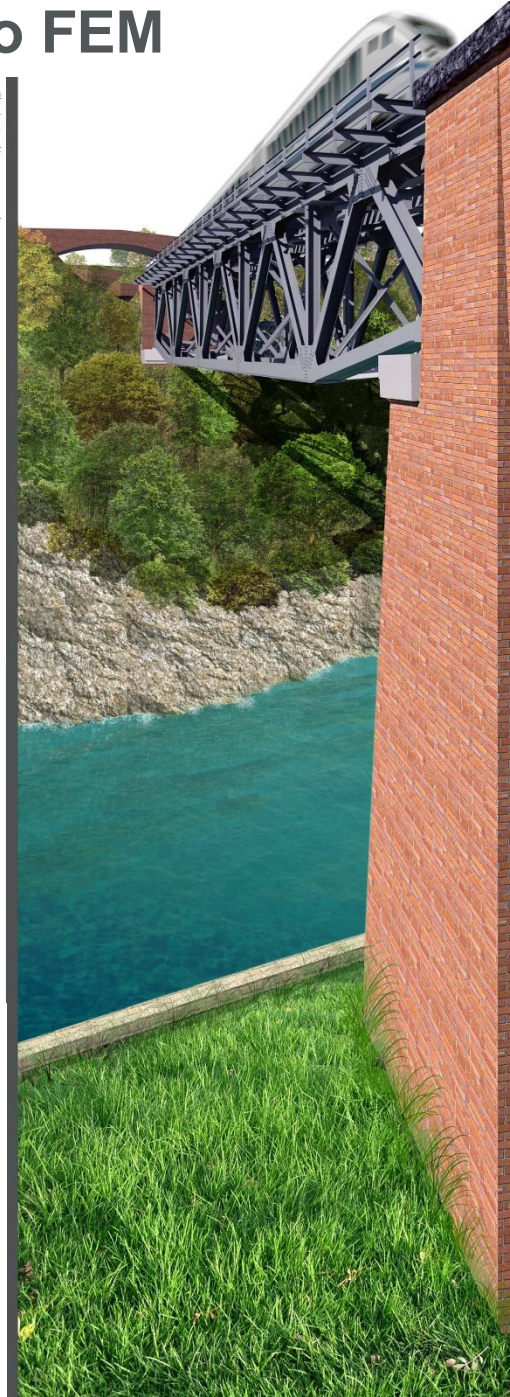
Planimetria - Stato di Progetto



Sezione - Stato di Progetto

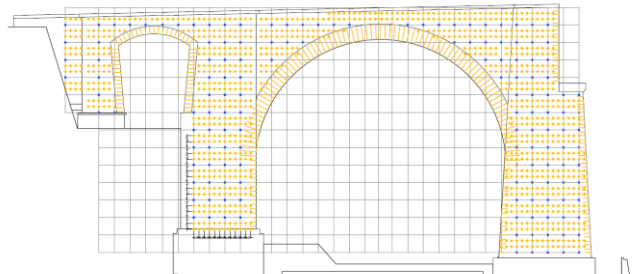


Prospetto - Stato di Progetto

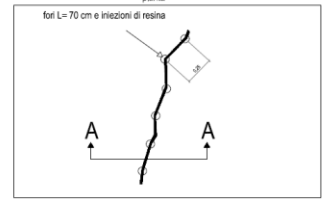


FASADDO
1) perforazioni #32 L=150 mm secondo una maglia 100x100 mm secondo un'alternanza per l'impugnatura e una resina epossidica per il riempimento e una resina epossidica idrofilata per il trattamento dei vuoti presenti nell'intonaco della muratura nel trattamento di barre di armatura # 24 mm successivamente sigillate con massello idrofilo.

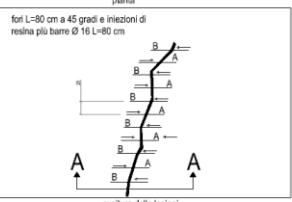
EASE 2 - PERFORAZIONI ED INIEZIONI DI RESINA EPOSSIDICA
PROSPETTO - SCHEMA FRAZIONALE
SCALA 1:100



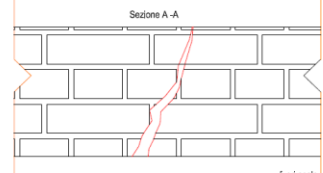
FASADDO
2) perforazioni max #50mm L=100mm per l'arco e L=100mm per il trattamento di pile e spalle eseguite dal basso all'infuori del manufatto per il rilascio di resina epossidica di ripristino strutturale.



fori L=70 cm e iniezioni di resina

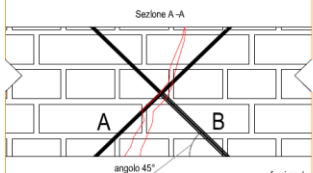


fori L=80 cm a 45 gradi e iniezioni di resina più barre Ø 16 L=80 cm



Sezione A-A

fuori scala



Sezione A-A

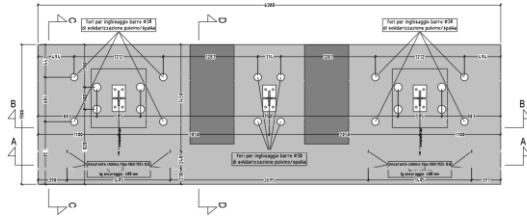
angolo 45°

fuori scala

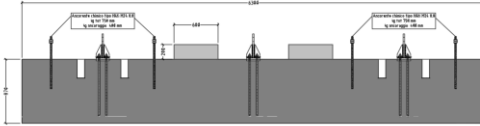


Stato di progetto – opere civili

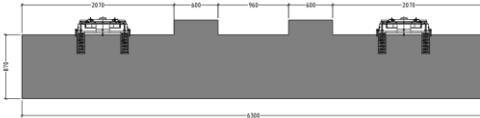
PULVINO APOGGI UNIDIREZIONALI LONGITUDINALI - LATO FAENZA
CARPENTERIE - PIANTA
SCALA 1:20



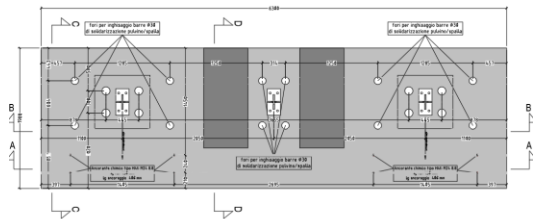
CARPENTERIE - SEZIONE A-A
SCALA 1:20



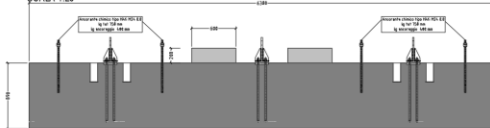
CARPENTERIE - SEZIONE B-B
SCALA 1:20



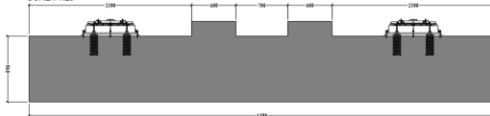
PULVINO APOGGI FISSI - LATO FIRENZE
CARPENTERIE
SCALA 1:20



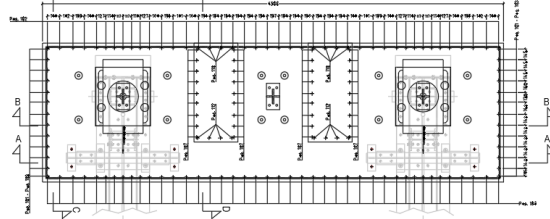
CARPENTERIE - SEZIONE A-A
SCALA 1:20



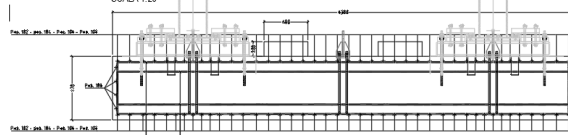
CARPENTERIE - SEZIONE B-B
SCALA 1:20



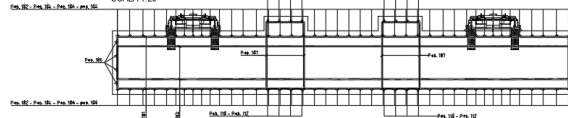
PULVINO APOGGI UNIDIREZIONALI LONGITUDINALI - LATO FAENZA
ORDITURE - PIANTA
SCALA 1:20



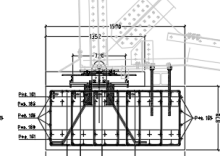
ORDITURE - SEZIONE A-A
SCALA 1:20



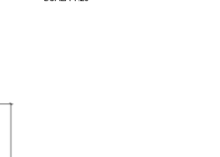
ORDITURE - SEZIONE B-B
SCALA 1:20



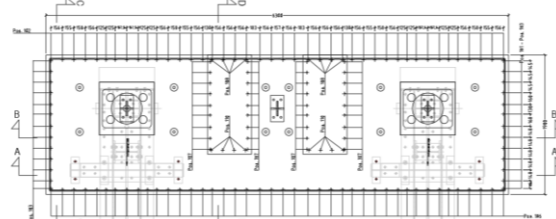
ORDITURE - SEZIONE C-C
SCALA 1:20



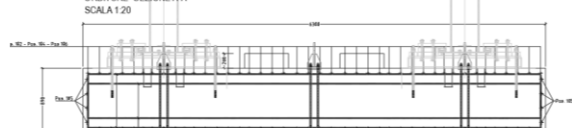
ORDITURE - SEZIONE D-D
SCALA 1:20



PULVINO APOGGI FISSI - LATO FIRENZE
ORDITURE - PIANTA
SCALA 1:20



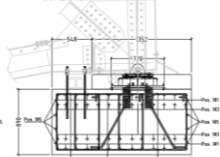
ORDITURE - SEZIONE A-A
SCALA 1:20



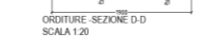
ORDITURE - SEZIONE B-B
SCALA 1:20



ORDITURE - SEZIONE C-C
SCALA 1:20



ORDITURE - SEZIONE D-D
SCALA 1:20

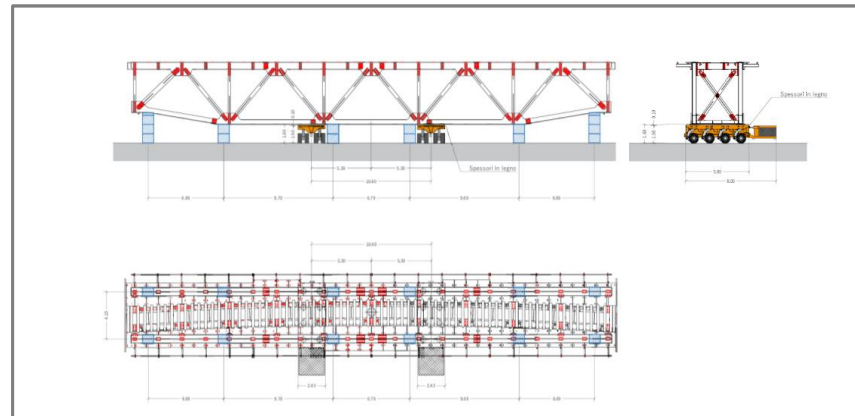
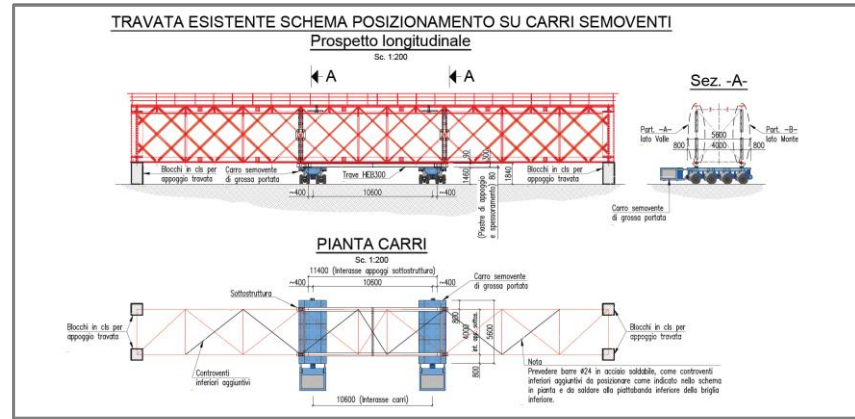
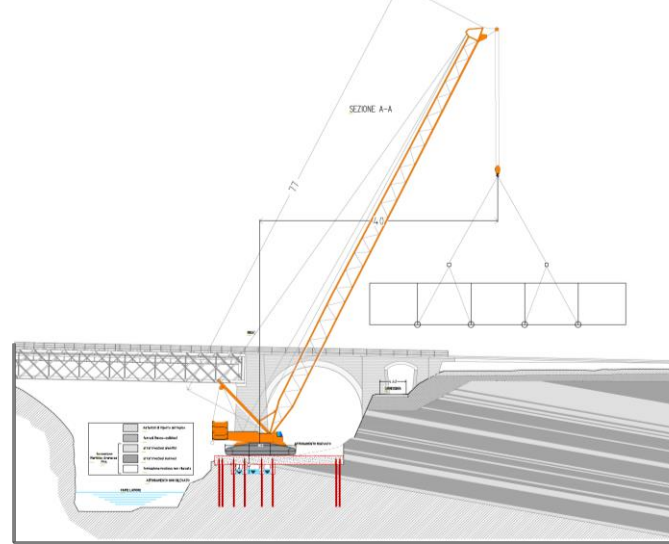
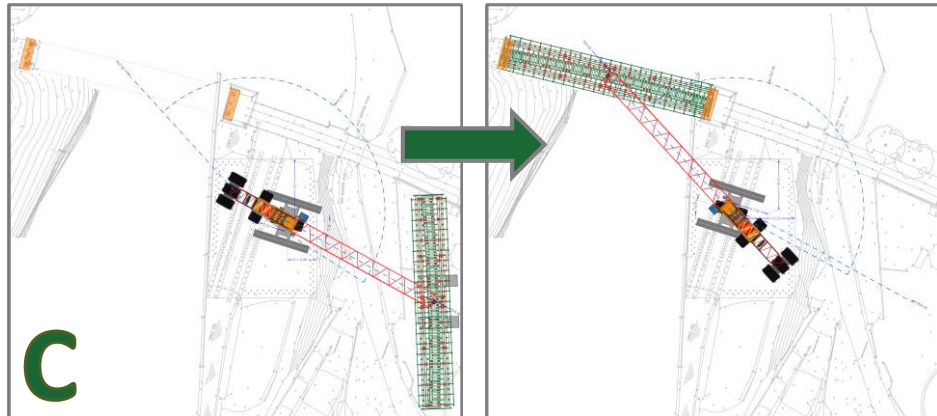
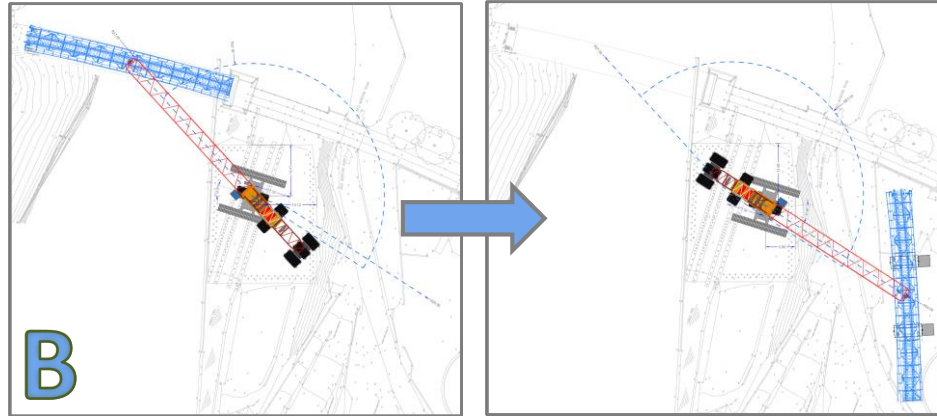
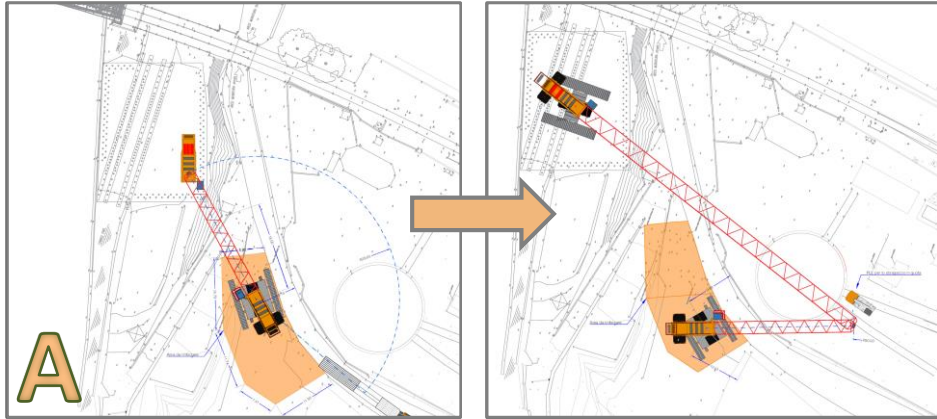


ETS H

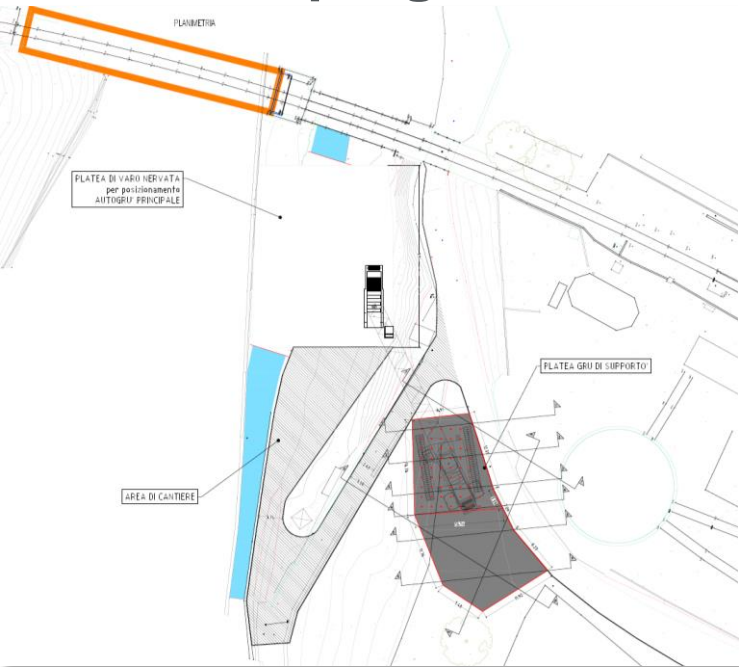
 **MICOS**
IMPRESA DI COSTRUZIONI

ETS H

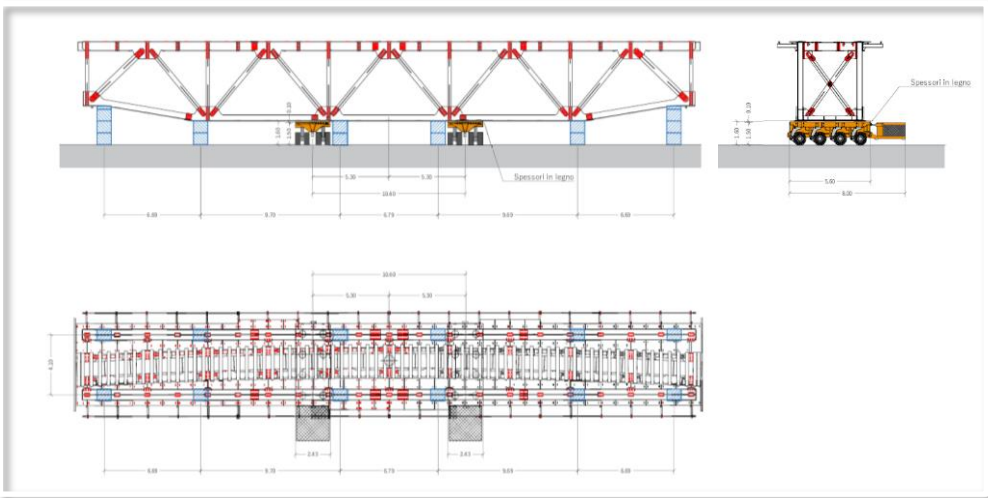
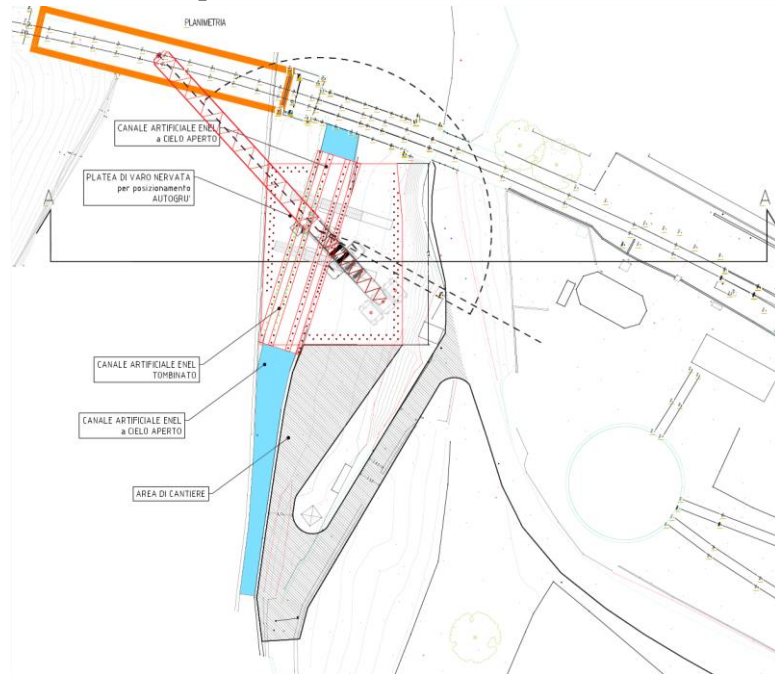
Stato di progetto – fasi di varo



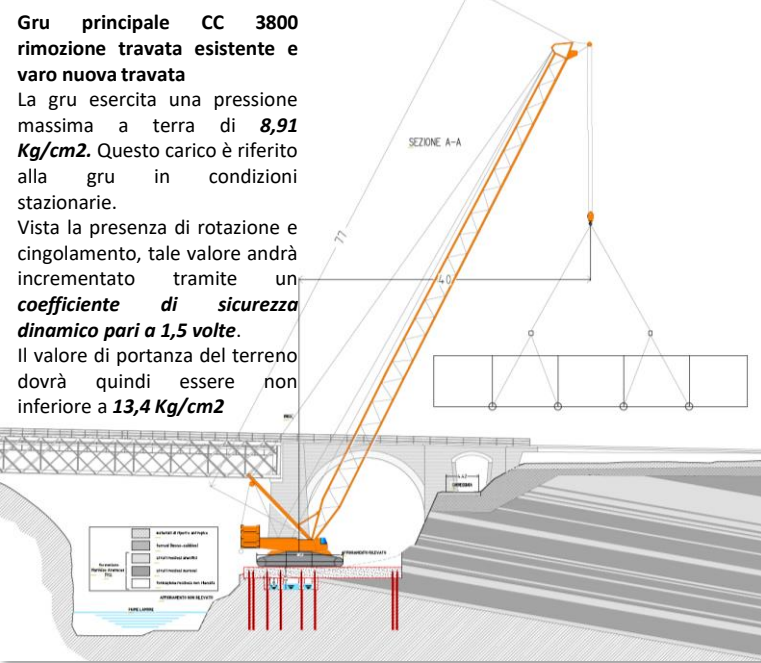
Stato di progetto – fasi di varo – mezzi d'opera



Gru secondaria LR 1400 montaggio gru principale
 La gru esercita una pressione massima a terra di **6,83 Kg/cm²**. Questo carico è riferito alla gru in condizioni stazionarie. Vista la presenza di rotazione e cingolamento, tale valore andrà incrementato tramite un **coefficiente di sicurezza dinamico pari a 1,5 volte**. Il valore di portanza del terreno dovrà quindi essere non inferiore a **10,2 Kg/cm²**



Carrelli semoventi SPMT – movimentazione impalcati
 Il peso totale che verrà scaricato a terra dagli pneumatici degli SPMT sarà pari a 260 t, numero dato dalla somma dei singoli pesi dei due carrelli (45 t) più quello dell'impalcato ferroviario (170 t). Ognuno dei due SPMT è dotato di quattro assi, con quattro ruote ciascuno, la cui impronta sulla superficie di appoggio con l'impalcato caricato è pari a 30x30cm. Da ciò si può dedurre che la pressione massima esercitata a terra durante il trasporto dell'impalcato tramite SPMT è pari a **9 kg/cm²**, che è quindi il valore di portanza minima del terreno richiesta.

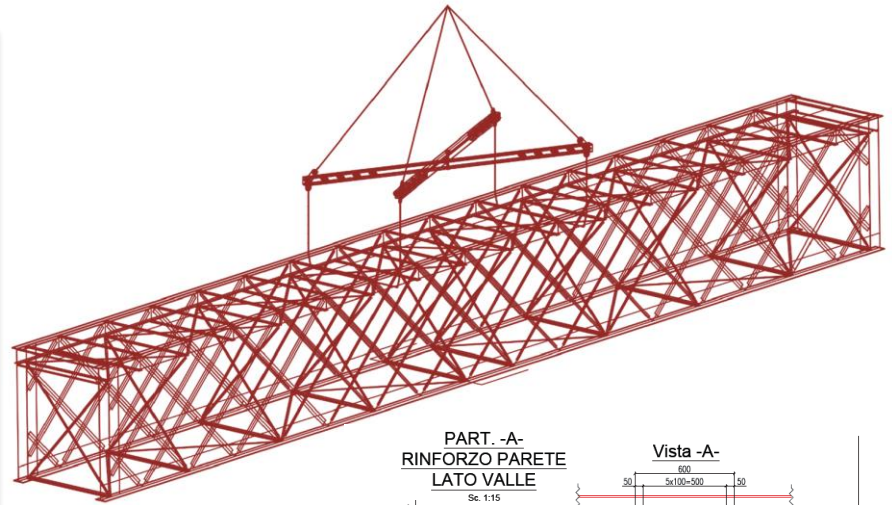
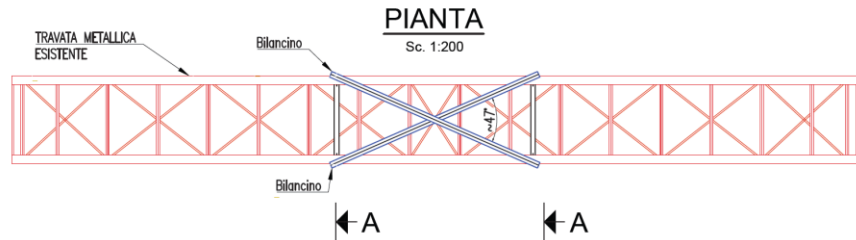
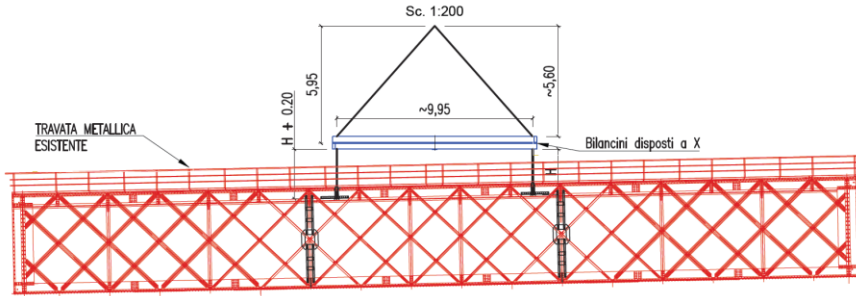


Gru principale CC 3800 rimozione travata esistente e varo nuova travata
 La gru esercita una pressione massima a terra di **8,91 Kg/cm²**. Questo carico è riferito alla gru in condizioni stazionarie. Vista la presenza di rotazione e cingolamento, tale valore andrà incrementato tramite un **coefficiente di sicurezza dinamico pari a 1,5 volte**. Il valore di portanza del terreno dovrà quindi essere non inferiore a **13,4 Kg/cm²**

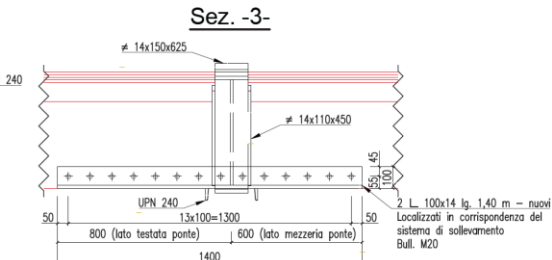
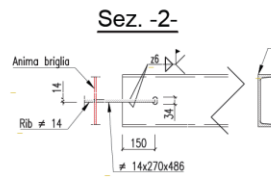
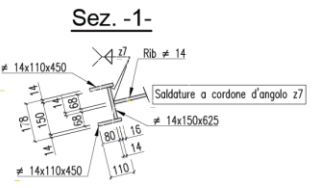
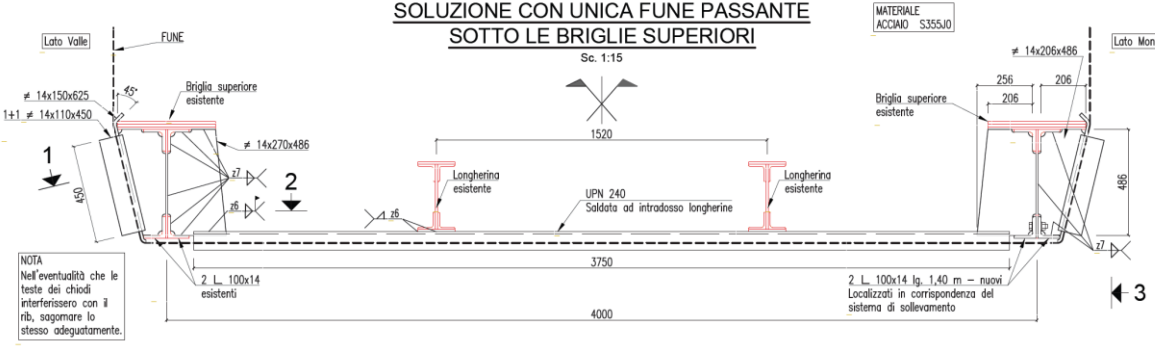


Stato di progetto – rimozione travata esistente

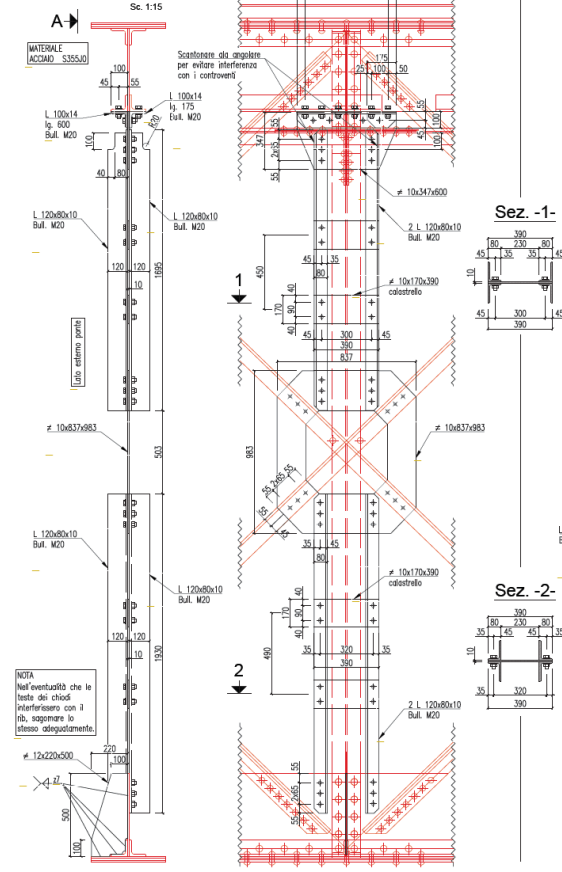
TRAVATA ESISTENTE SCHEMA SOLLEVAMENTO CON AUTOGRÙ Prospetto longitudinale



SEZIONE -A- SOLUZIONE CON UNICA FUNE PASSANTE SOTTO LE BRIGLIE SUPERIORI



PART. -A- RINFORZO PARETE LATO VALLE

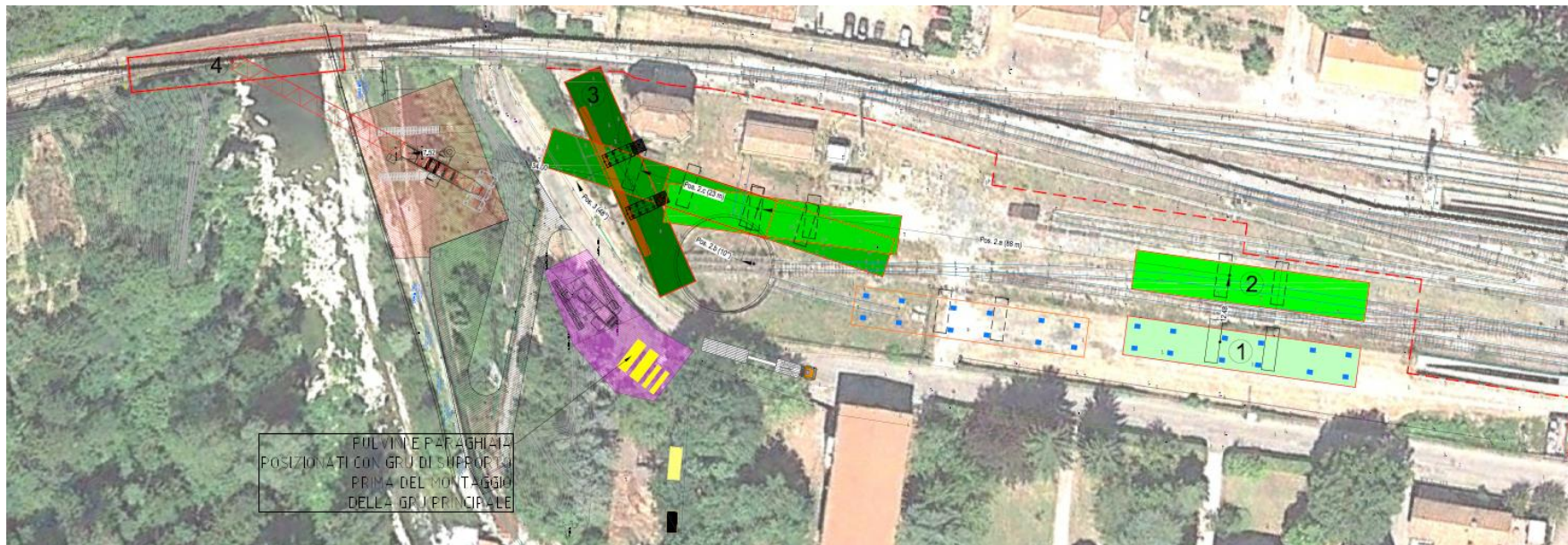


Stato di progetto – fasi di varo - movimentazioni

Planimetria generale – rimozione e movimentazione travata esistente



Planimetria generale – movimentazione e varo nuova esistente



Stato di fatto – opere propedeutiche al varo



Le autogru e i mezzi di trasporto raggiungeranno il cantiere percorrendo Strada Provinciale 302 R Brisighellese-Ravennate fino a raggiungere il Comune di Marradi.

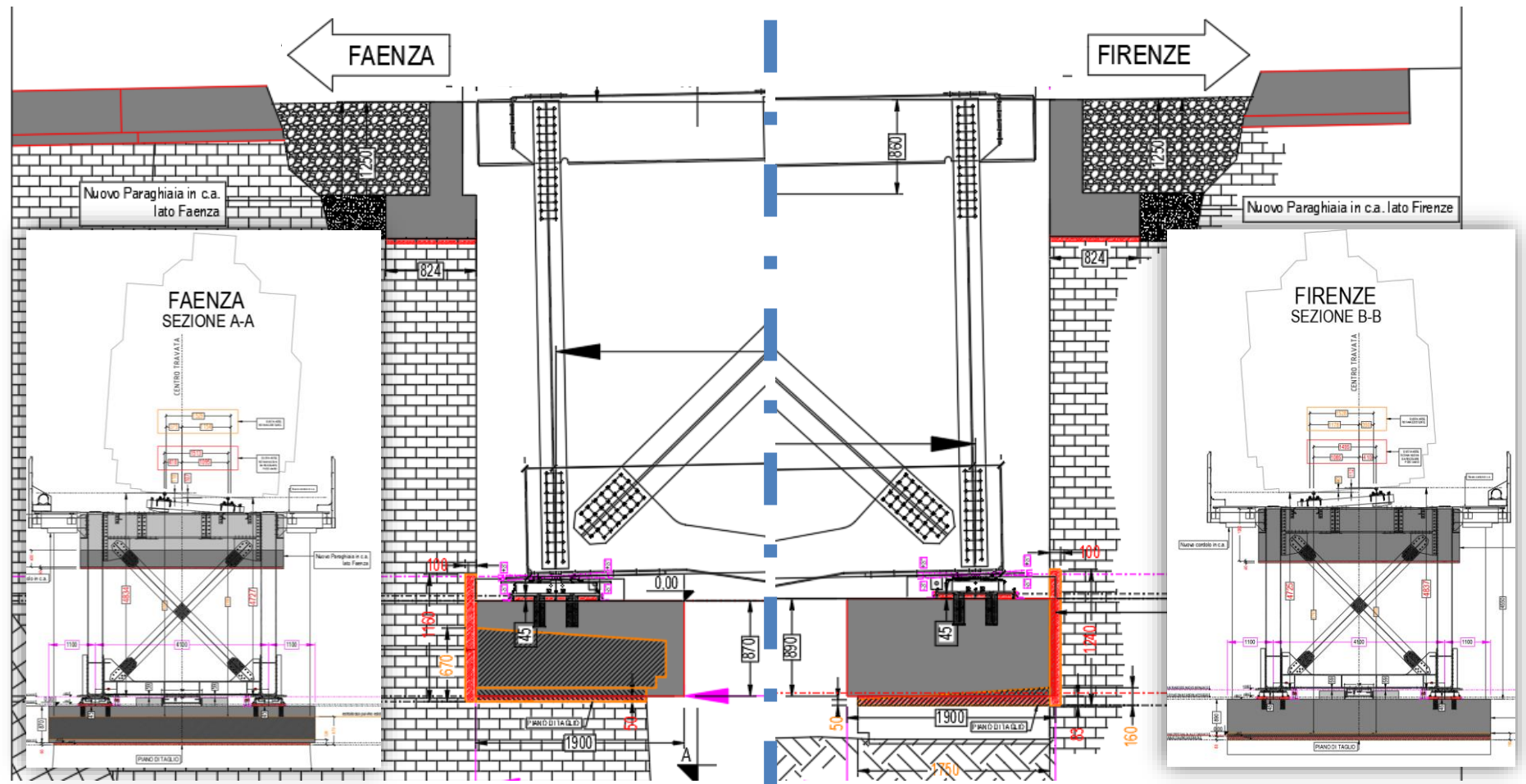
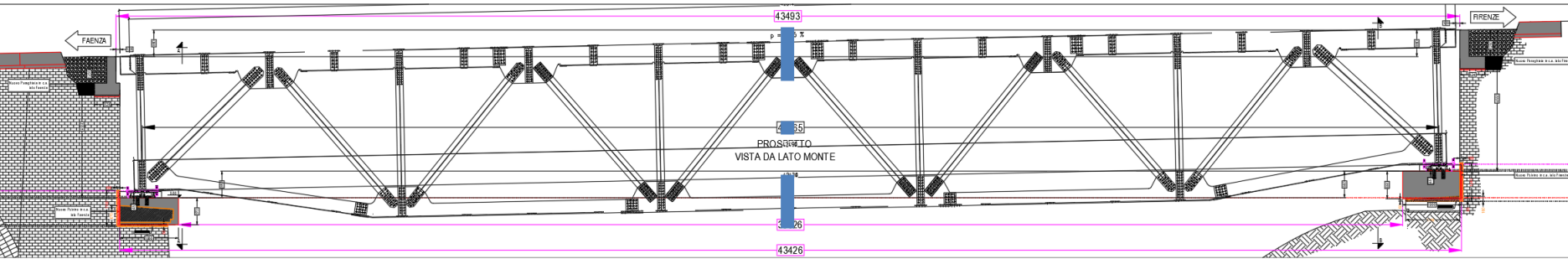
Sul percorso sono presenti diverse opere d'arte in muratura e con luce abbastanza contenuta. A seguito di parere richiesto alle Province di Firenze e Ravenna in merito al transito di trasporti eccezionali sul tratto Faenza-Marradi, è stato indicato da tali Enti il peso di **56 t. come carico massimo ammissibile per ogni convoglio.**

E' stata eseguita un'accurata ispezione delle opere d'arte interessate dal transito dei mezzi pesanti (garantendo il peso massimo di 56 tonn) ed alcune di esse hanno dato esito negativo, necessitando quindi di interventi di consolidamento.

In particolare sono stati eseguiti lavori di consolidamenti su 5 ponti in Provincia di Firenze e n. 4 ponti in Provincia di Ravenna

1. Ponte ad arco a tutto sesto in muratura di pietra - km 65+850 Località Marradi (FI);
2. Piccolo viadotto a 3 travate in c.a. – km 66 +950 loc. Popolano (FI),
 - a) Travata ad unica campata con soletta su graticcio di travi;
 - b) Seconda Travata ad unica campata con soletta su graticcio di travi;
 - c) Travata con tre campate $b=7.3$ m, $L_{N, SX}=L_{N, DX}=5.8$ m, $L_{N, CENTRALE}=21.0$ m;
3. Ponte ad arco ribassato in muratura di pietra+telaio c.a - 70+700 loc. Sant'Adriano (FI);
4. Ponte ad arco ribassato in muratura di pietra - 70+800 loc. Sant'Adriano (zona frana) (FI);
5. Ponte ad arco ribassato in muratura di mattoni – km 71+957 presso il confine FI-RA;
6. Ponte ad arco ribassato in muratura di mattoni e c.a. – km 74+257 Rio Paloppina (RA);
7. Imbocco Galleria San Cassiano - km 75+000 loc. San Cassiano (RA);
8. Ponte ad arco a tutto sesto in muratura di pietra - km 77+657 loc. S. Eufemia (RA);
9. Ponte ad arco a tutto sesto in muratura di mattoni – km 87+980 loc. Brisighella (RA).

Stato di progetto – controllo posizionamenti



CRONOPROGRAMMA LAVORI

CRONOPROGRAMMA DI VARO



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

