

# Il nuovo Ponte del Papa a Genova. Unico ponte ad arco a impalcati sovrapposti presente in Europa

## *F&M Ingegneria inaugurates Ponte del Papa in Genoa, a unique example of engineering in all Europe*

A cura di: F&M Ingegneria SpA, con la collaborazione dell'Ing. Andrea Valerio Peraro e dell'Ing. Massimiliano Lazzari.

L'attuale via della Superba, inaugurata nel 2018, consente al traffico pesante, proveniente dal casello di Genova Aeroporto e diretto al porto di Genova, di evitare la viabilità urbana, transitando tuttavia all'interno dello stabilimento Ilva. Qui il flusso veicolare si scontra con la necessità dell'impianto di attraversare la strada con un tratto di ferrovia in due punti. La realizzazione di un nuovo viadotto dedicato quindi, consentirà di abbattere le interferenze, permettendo ai flussi diretti al porto di accedere direttamente al nuovo Varco di Ponente. Il tratto più iconico dell'intero viadotto è l'opera F, denominata "Ponte del Papa" ed è costituito da nuovo ponte stradale avente una lunghezza complessiva di 215,72 m caratterizzato da un impalcato a due vie di corsa, una inferiore e una intermedia, unico ponte ad arco avente tale caratteristica presente a oggi in Europa.

*The current Via della Superba, inaugurated in 2018, allows heavy traffic, coming from the Genoa Airport exit and directed to the port of Genoa, to avoid the urban road system, while passing through the Ilva factory. Here, the vehicular flow clashes with the plant's need to cross the road with a section of railway in two points. The construction of a new dedicated viaduct will therefore eliminate the interference, allowing flows to the port to directly access the new Varco di Ponente. The most iconic section of the entire viaduct is the work F, known as 'Ponte del Papa' (Pope's Bridge), and consists of a new road bridge with an overall length of 215.72 m characterised by a deck with two travel ways, one lower and one intermediate. It is the only arched bridge with such a feature in Europe to date.*



Corresponding author: Claudia Celada. Email: [claudia.celada@nicpr.it](mailto:claudia.celada@nicpr.it)



Fig. 1 | Vista del Ponte del Papa - render

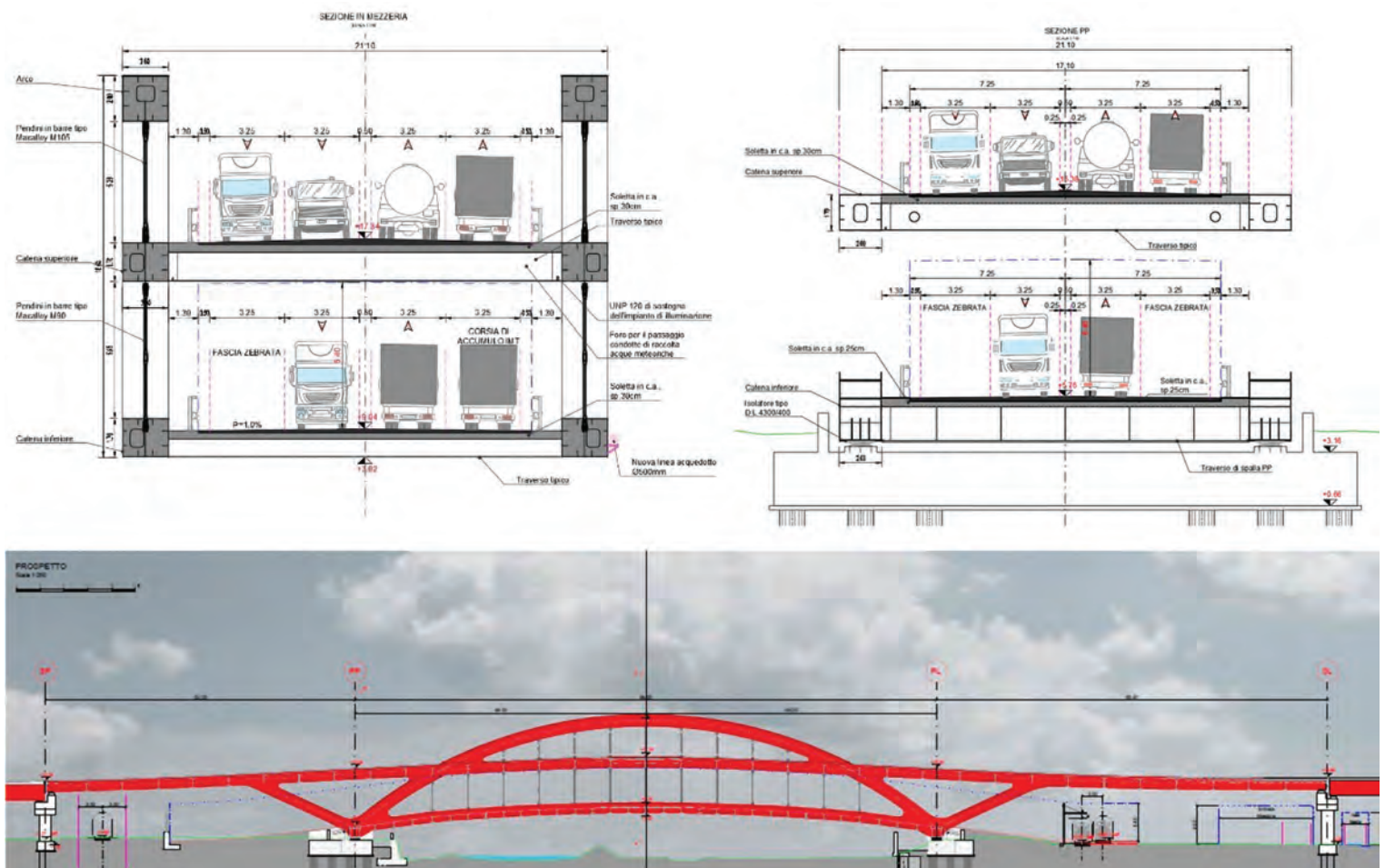


Fig. 2 | Sezioni trasversali in chiave (in alto a sinistra) in appoggio (in alto a destra) e prospetto longitudinale (in basso)

## 1. Descrizione della struttura

La soluzione sviluppata prevede un impalcato continuo su tre campate, realizzato con travi di tipo scatolare di altezza variabile da 1700 a 2000 mm. La campata centrale, di luce pari a 98,00 m,

consente lo scavalco del torrente Polcevera ed è realizzata da una struttura ad arco a spinta eliminata. Essa sostiene, mediante un doppio ordine di pendini, realizzati con barre a sezione circolare piena, le due vie di corsa. Le travi delle campate laterali della via intermedia sono state concepite come naturale prosecuzione

della trave-tirante intermedia in modo da conferire al prospetto una continuità formale e sono sostenute da dei puntoni inclinati che trovano origine dalla base degli archi (figura 2). Le due travi principali sono tra loro collegate da traversi tipici realizzati con una sezione metallica aperta a doppio T di altezza pari a 1280 mm e interasse tipico di circa 6,00 m. I traversi tipici della via inferiore invece hanno altezza ridotta pari a 780 mm ma interasse dimezzato a 3,00 m al fine di garantire il franco minimo richiesto per il passaggio del traffico veicolare.

L'anima interna delle travi principali e le piattabande superiori dei traversi sono dotate di pioli tipo "Nelson" al fine di rendere questi elementi collaboranti con le solette in calcestruzzo armato. Le solette hanno spessore 30 e 25 cm, rispettivamente per quella superiore e quella inferiore. Il getto delle solette avviene su lastre prefabbricate in calcestruzzo tralicciate. La larghezza complessiva dell'impalcato è di 21,10 m mentre la carreggiata stradale, che ospita 4 corsie, presenta una larghezza complessiva di 14,50 m. Visti gli spazi molto ristretti ove alloggiare le strutture di fondazione, allo scopo di ridurre al massimo le forze orizzontali trasmesse alle sottostrutture, per l'impalcato in oggetto è stato necessario prevedere dispositivi di isolamento sismico. La scelta è ricaduta su dispositivi a scorrimento a doppia curvatura, denominati "friction pendulum". Tali dispositivi presentano il vantaggio di disaccoppiare il moto della sovrastruttura da quello della sottostruttura, permettendo così di aumentare il periodo proprio di vibrazione dell'impalcato e di conseguenza ridurre le forze inerziali trasmesse alle fondazioni in caso di evento sismico. L'impalcato è sostenuto in corrispondenza di quattro allineamenti da strutture di sostegno in calcestruzzo armato. Gli allineamenti SP e SL, posti alle due estremità, sono strutture in elevazione costituite da un pulvino sorretto da una coppia di fusti cilindrici, basati su plinti tra di loro connessi e fondati ciascuno su un palo di grande diametro. Gli allineamenti PP e PL, posti in corrispondenza degli arrivi dell'arco, sono invece caratterizzati da un grande basamento fondato sul terreno mediante pali trivellati di grande diametro.

## 2, Modellazione numerica

La complessità elevata dell'opera ha richiesto una gestione avanzata della modellazione strutturale agli elementi finiti. Mediante l'uso del software MIDAS GEN, si è fatto quindi ampio uso di analisi non lineari e per successive fasi di seguito meglio descritte.

### 2.1 Modello statico

In particolare, per quanto riguarda l'analisi statica, al fine di cogliere correttamente gli stati di sollecitazione durante l'intera vita utile dell'opera, è stato realizzato un modello numerico dell'impalcato che tenesse in considerazione l'evoluzione del processo costruttivo del ponte. Tramite la tecnica della "Construction Stage", si è proceduto dapprima all'attivazione degli elementi che compongono la carpenteria metallica dell'impalcato centrale ad arco, per poi attivare solo in seconda fase le porzioni di campate laterali. Ciò ha permesso di ottenere dei risultati di calcolo il più possibile attinenti con la realtà, senza incorrere in errori grossolani di valutazione dovuti a un'analisi superficiale delle condizioni di vincolo interne che vengono a modificarsi durante il processo di costruzione della struttura. Le fasi analizzate sono le seguenti:

Fase 1: È presente solo l'impalcato metallico della campata centrale costituito dall'impalcato inferiore, dalla porzione di impalcato

intermedio all'interno dell'arco, dall'arco stesso e dai pendini. La struttura è caratterizzata da uno schema di vincolo provvisorio perfettamente isostatico.

Fase 2: Viene attivato il peso del getto della soletta inferiore (comprese le lastre predalles) ma non vengono attivati gli elementi

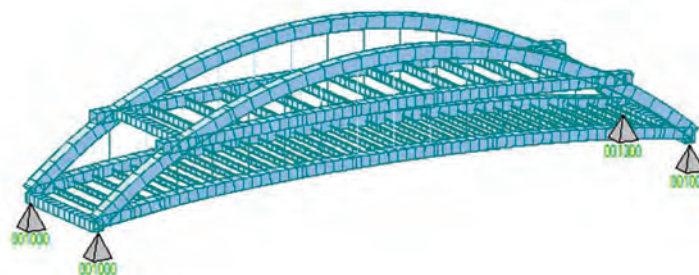
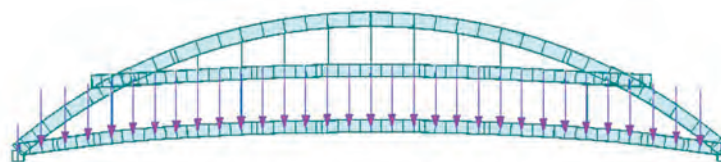


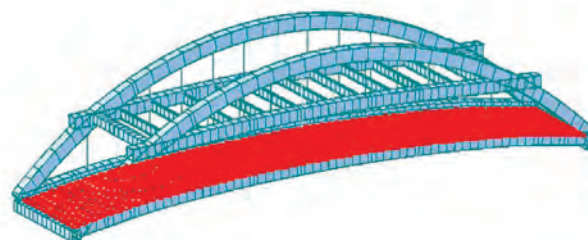
plate che la rappresentano a livello numerico. La soletta rappresenta solamente un carico portato.

Fase 3: Vengono attivati gli elementi plate rappresentativi della soletta inferiore.

Fase 4: Vengono applicati i carichi permanenti non strutturali

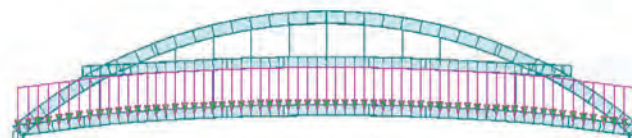


(pavimentazione, barriere) per la soletta inferiore. In tal modo la via di corsa inferiore risulta operativa e può essere aperta al traffico veicolare.

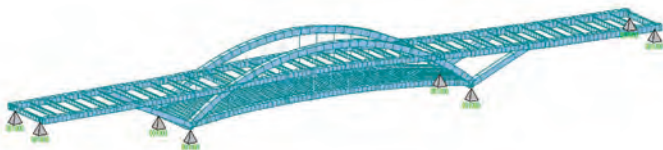


Fase 5: Viene completato l'impalcato metallico nella sua totalità, attivando quindi anche gli elementi metallici che compongono le campate laterali.

Fase 6: Viene imposto in corrispondenza dell'allineamento SL



uno spostamento verso l'alto di 200 mm ai nodi vincolati, così da bilanciare gli squilibri di sollecitazione presenti nell'arco, dovuti alla diversa lunghezza tra campata di ponente e di levante.

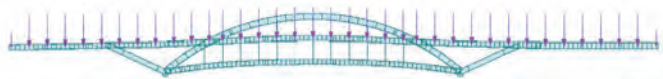


Fase 7: Viene applicato il peso della soletta superiore (comprese le lastre predalles). La soletta superiore rappresenta solamente un carico portato.

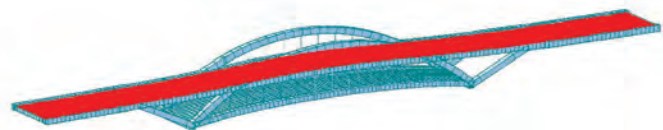


Fase 8: Vengono attivati gli elementi plate rappresentativi della soletta superiore.

Fase 9: Vengono applicati i carichi permanenti non strutturali (pavimentazione, barriere e impianti). A questo punto viene fatto trascorrere un tempo sufficiente a far maturare completamente gli

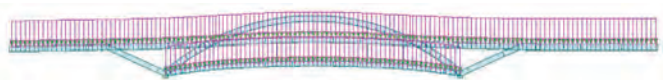


effetti di viscosità e ritiro per i carichi permanenti portati.



Post C.S: I risultati dell'analisi per fasi (per i carichi permanenti) sono combinati con quelli di un'analisi statica per i carichi variabili aventi natura istantanea.

## 2.2 Modello dinamico



Per la valutazione del comportamento della struttura durante l'evento sismico, sono state condotte analisi dinamiche non lineari con integrazione al passo della struttura, adottando l'approccio

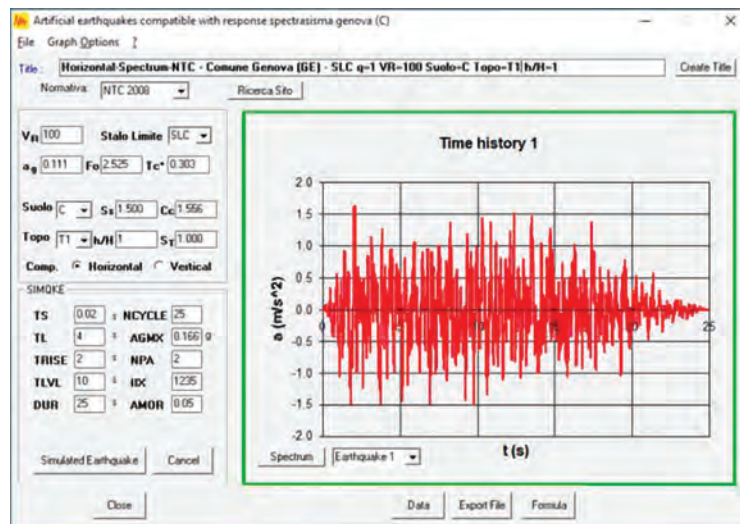


Fig. 3 | Accelerogramma 1 per la componente orizzontale SLC

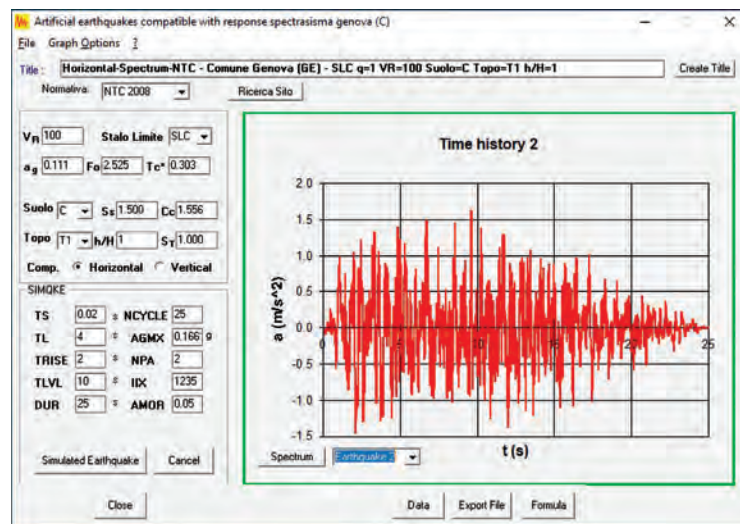


Fig. 4 | Accelerogramma 2 per la componente orizzontale SLC

indicato al §3.2.3.6 delle NTC 2018 che prevede l'impiego di storie temporali artificiali del moto del terreno. La generazione delle storie temporali artificiali è avvenuta con l'ausilio del programma SIMQKE inserendo le caratteristiche sismiche del sito, il periodo di riferimento e lo stato limite considerato. Si riporta a titolo di esempio un set di tre accelerogrammi (due orizzontali e uno verticale) che costituisce una storia temporale adottata per condurre le verifiche allo SLC (figure 3-5).

Il sopracitato capitolo normativo prevede, inoltre, che gli accelerogrammi artificiali abbiano uno spettro di risposta elastico coerente con quello adottato nella progettazione. In altre parole, deve essere garantita la spettrocompatibilità, verificando che l'ordinata spettrale media non risulti mai inferiore del 10% all'ordinata corrispondente dello spettro di risposta elastico indicato dalla norma stessa. In figura 6 si riporta a titolo di esempio la verifica di spettrocompatibilità condotta per l'accelerogramma 1 (figura 3) usato per la componente orizzontale SLC.

Gli isolatori impiegati, di tipo friction-pendulum, presentano il legame costitutivo forza - spostamento riportato in figura 7 e descritto dalla seguente relazione:

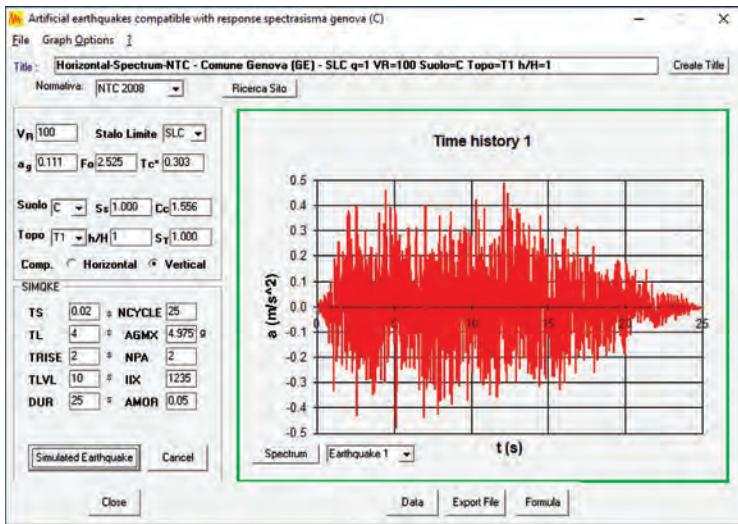


Fig. 5 | Accelerogramma 3 per la componente verticale SLC

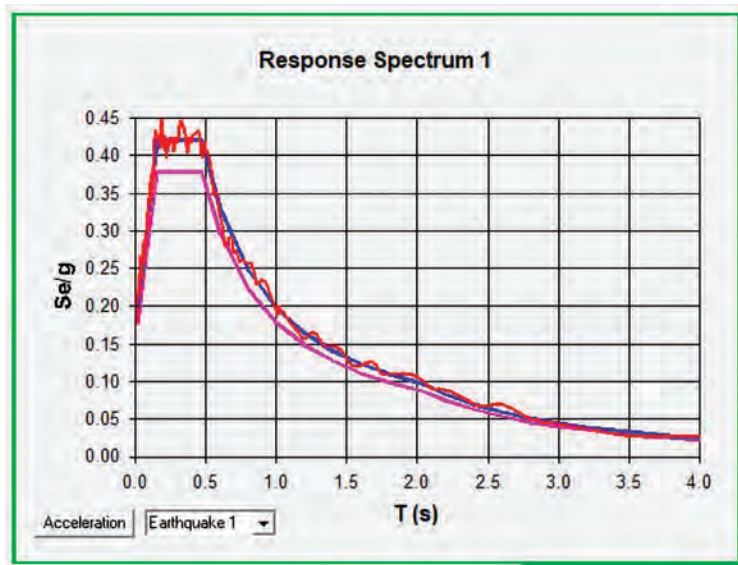


Fig. 6 | Verifica di spettrocompatibilità per l'accelerogramma 1 SLC

$$F = \mu \cdot N_{sd} + \frac{N_{sd}}{R} \cdot d$$

Si evince quindi come la risposta del dispositivo sia dipendente, oltre che dallo scarico agente sul dispositivo, anche dal parametro di spostamento, rendendo di fatto indispensabile un'analisi che tenga conto della configurazione deformata della struttura stessa. In MIDAS GEN risulta presente un particolare elemento, chiamato general link, la cui implementazione già include le opportune leggi non lineari, rendendo di fatto immediata la sua rappresentazione all'interno del modello FEM (figura 8).

### 2.3 Modelli locali

In aggiunta alla modellazione globale dell'impalcato, sono stati realizzati alcuni modelli locali dei nodi ritenuti più significativi, quale ad esempio la zona di intersezione tra arco e catena inferiore. Il modello numerico ad elementi plate è stato implementato mediante il software di calcolo Straus 7 ed è finalizzato alla valutazione dettagliata dello stato tensionale in tale zona, particolarmente articolata e di difficile interpretazione con semplici schemi manuali. Il modello è rappresentativo di tutti

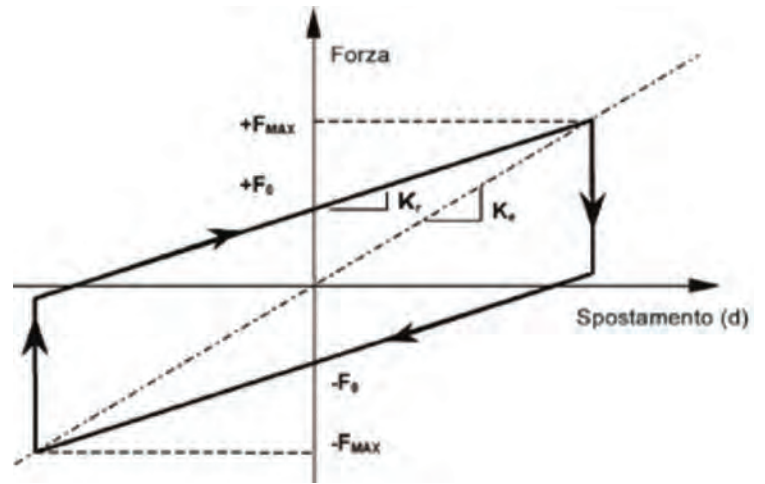


Fig. 7 | Relazione tra carico trasmesso dall'isolatore e spostamento orizzontale

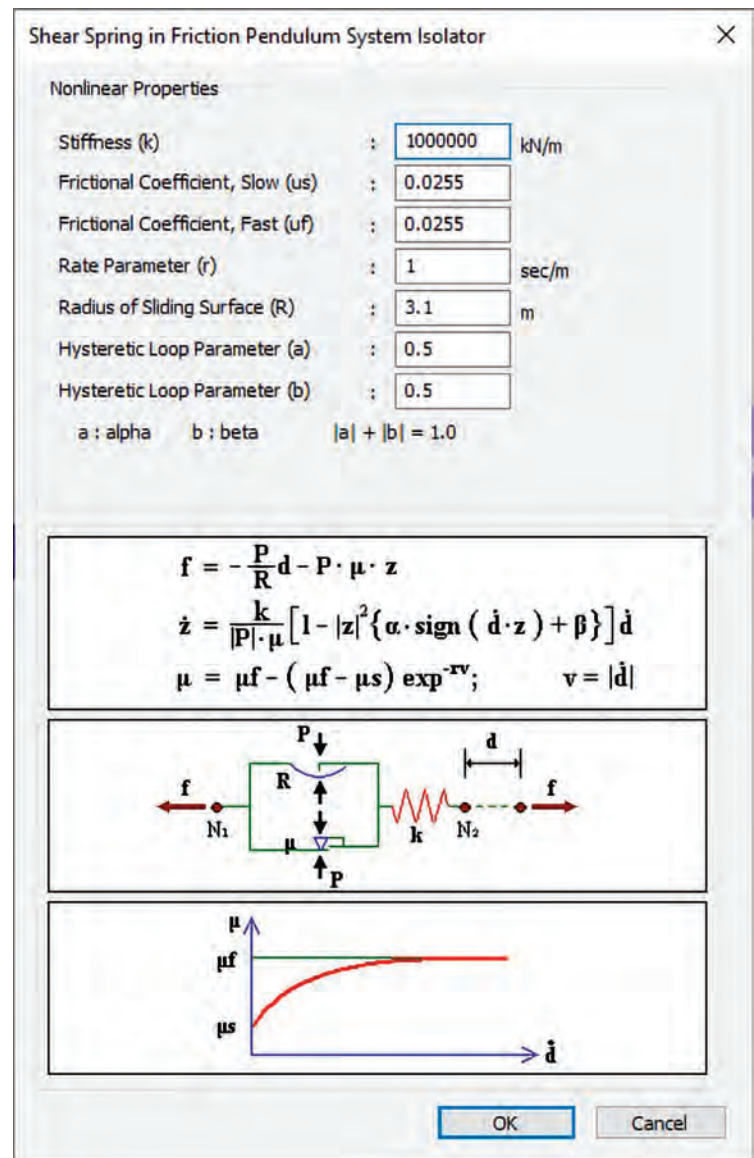


Fig. 8 | Assegnazione delle caratteristiche non lineari all'elemento General link in MIDAS GEN.

gli elementi strutturali metallici che convergono nel nodo, ossia arco, catena, puntone e traverso (figure 10-11). Per ben simulare

il comportamento del materiale sono state assegnate le leggi tensione-deformazione del tipo elasto-plastiche incrudenti che caratterizzano i vari spessori di acciaio S355. Di seguito viene riportata la legge per spessori  $t < 40$  mm (figura 9). Grazie a questi modelli è stato possibile verificare che gli stati di deformazione e di sollecitazione delle lamiere, sia esterne che interne, fossero compatibili con le resistenze dell'acciaio evitando l'insorgere di ampie zone plasticizzate.

#### 2.4 Modello delle pile

Infine, oltre ai modelli relativi all'impalcato, sono stati realizzati anche i modelli numerici delle pile di arrivo dell'arco. La modellazione ha fatto uso di elementi di tipo plate per la rappresentazione del plinto di fondazione e di elementi di tipo beam per quanto riguarda la rappresentazione dei pali. Tali modelli hanno permesso di cogliere più nel dettaglio l'andamento delle sollecitazioni all'interno della fondazione, potendo ottimizzare la disposizione delle armature laddove risultasse più necessario (figura 9).

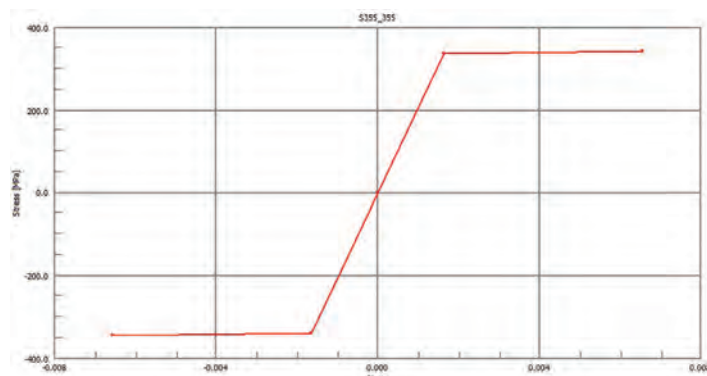


Fig. 9 | Legge elasto-plastica incrudente assegnata al materiale acciaio con  $t < 40$  mm

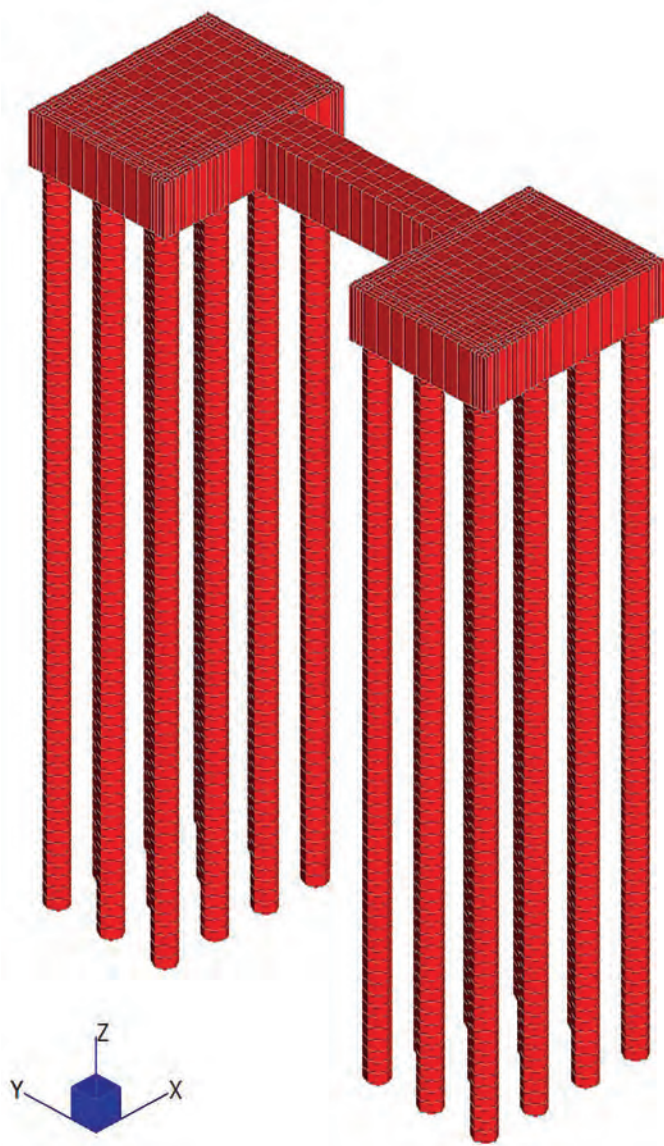


Fig. 10 | Modello FEM della pila PP realizzato con Straus7

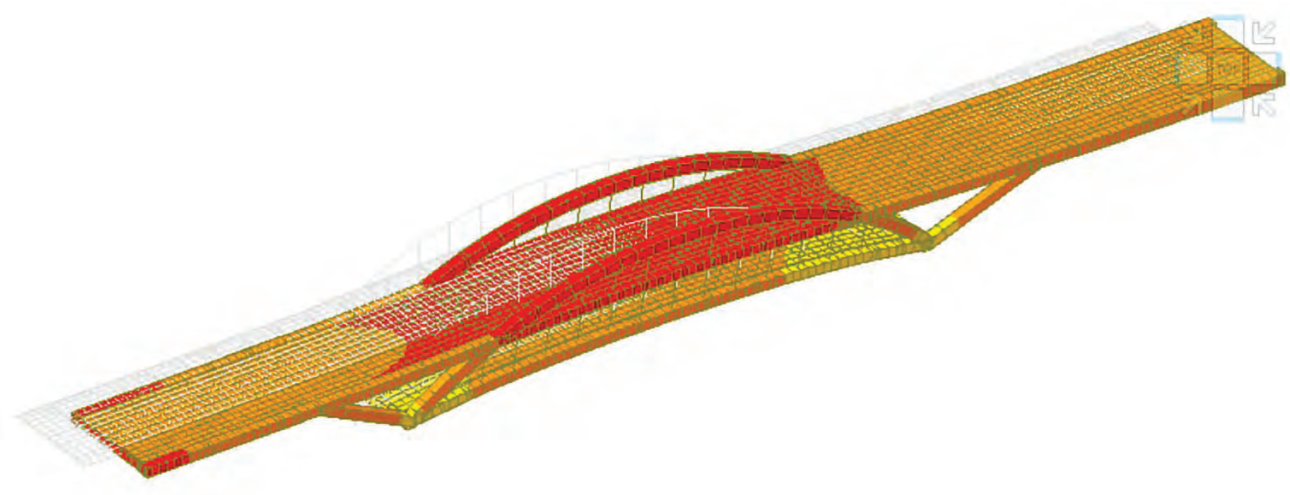
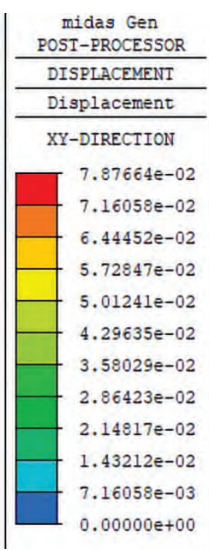


Fig. 11 | Spostamento massimo nel piano orizzontale ottenuto mediante analisi dinamica non lineare [m]

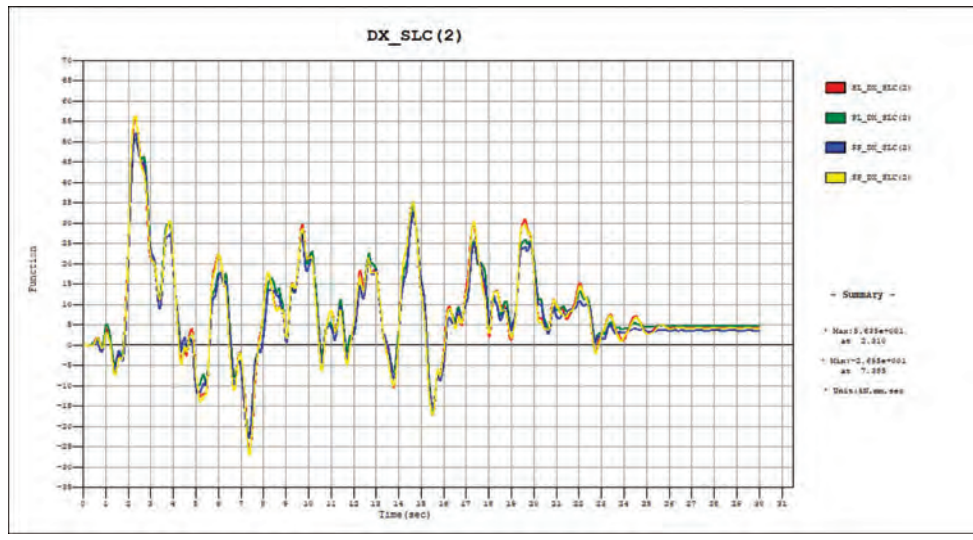


Fig. 12 | Scorrimento longitudinale DX di un isolatore per ciascuno dei quattro allineamenti durante una storia temporale SLC [mm]

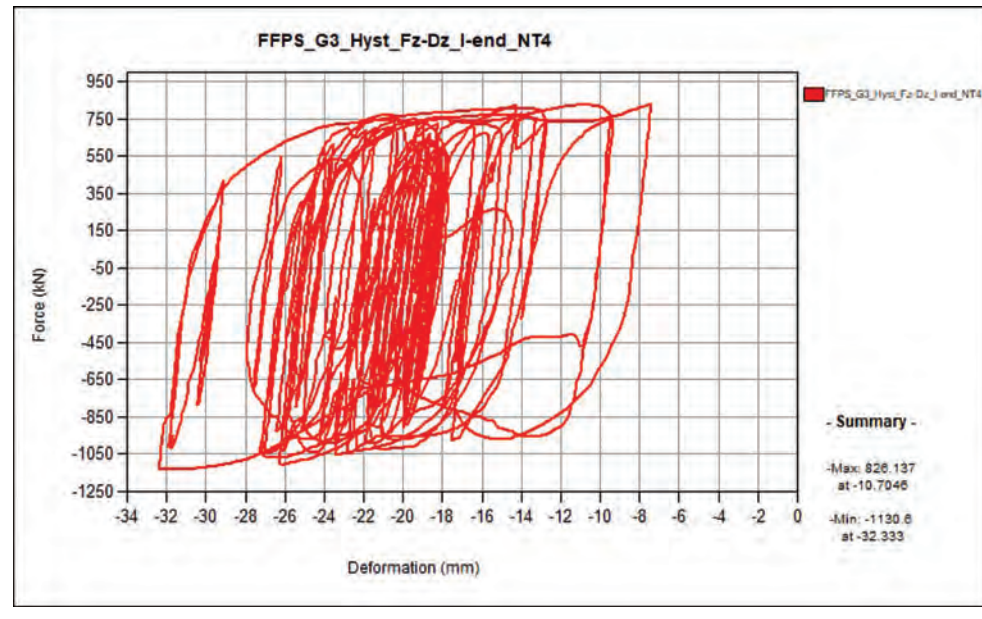


Fig. 13 | Ciclo isteretico forza-Spostamento longitudinale isolatore in PP [kN-mm]

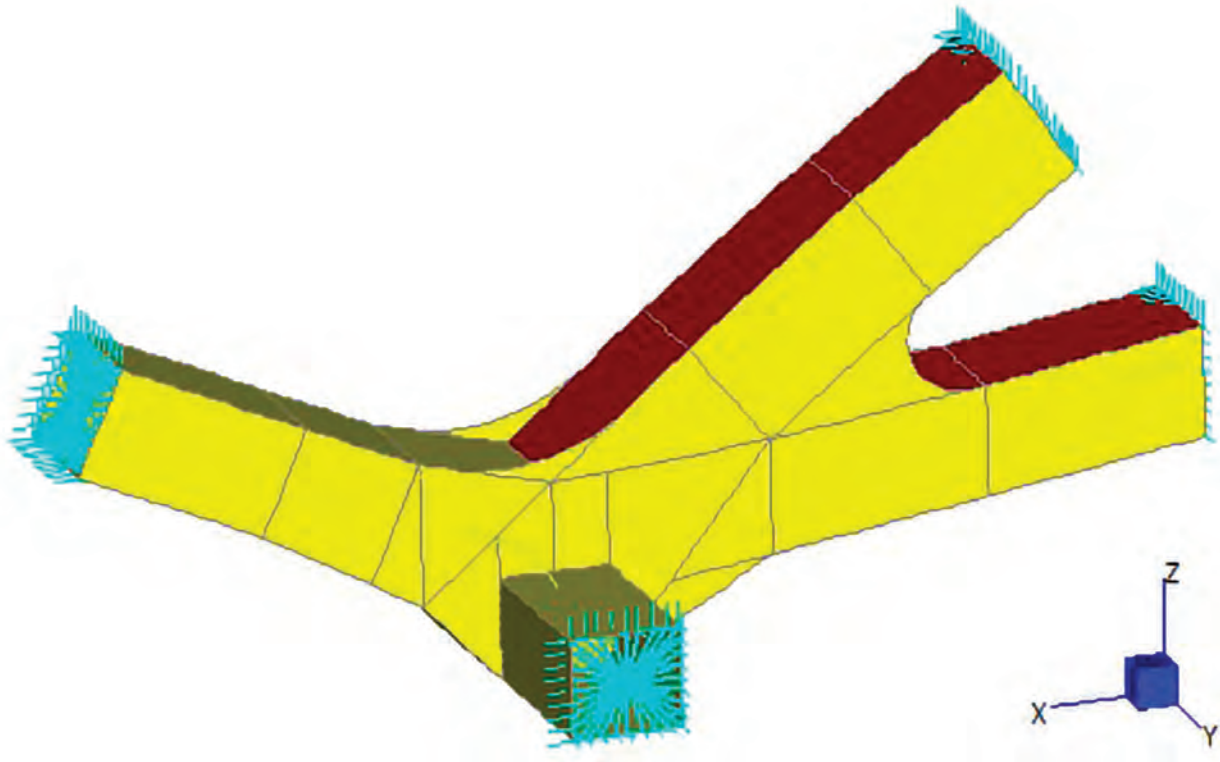


Fig. 14 | Vista prospettica del modello numerico rappresentante il nodo alla base dell'arco

**Plate Stress:VM Mid plane (MPa)**

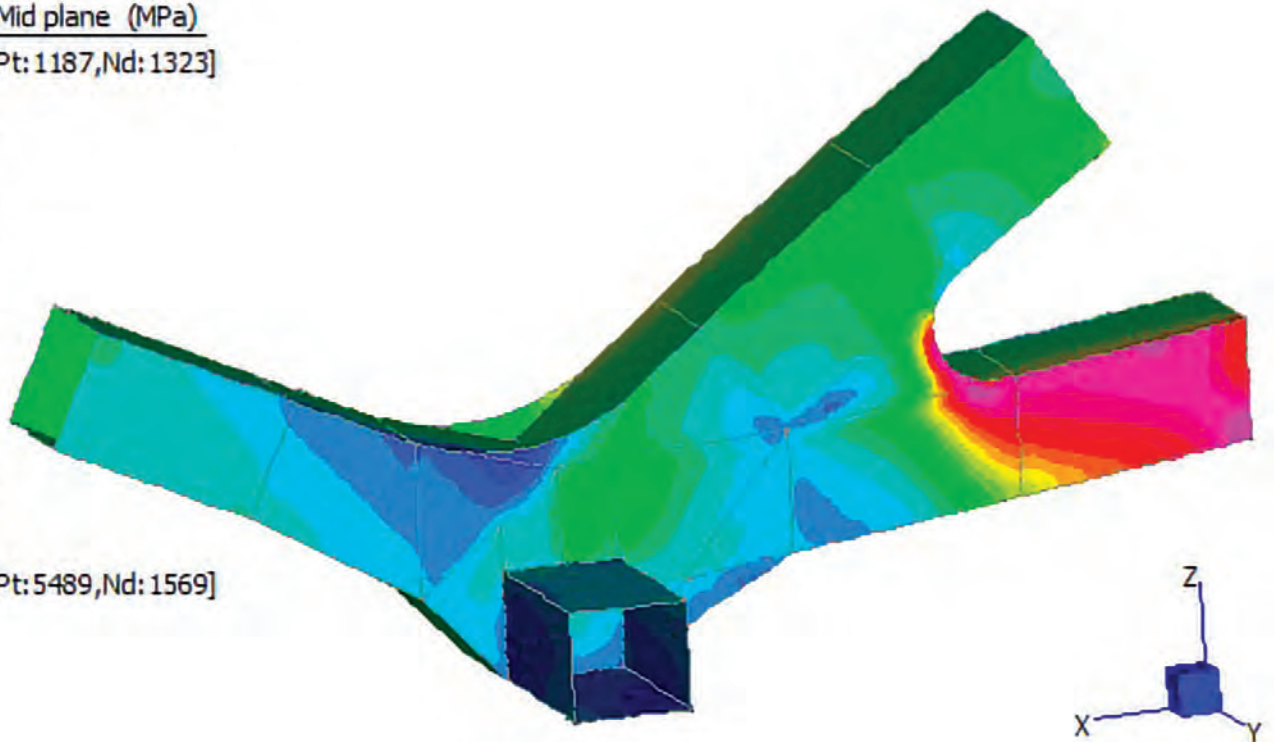
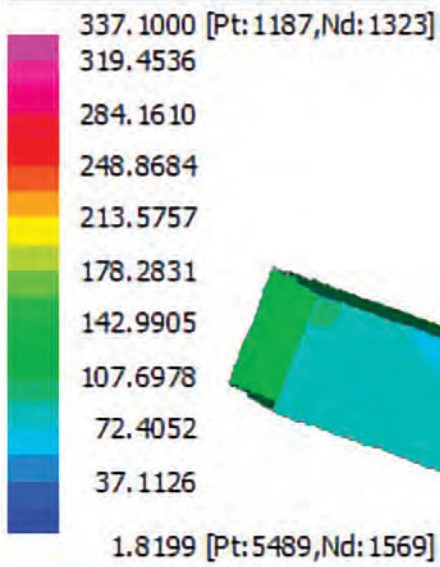


Fig. 15 - Vista globale della tensione ideale di Von Mises sull'intero modello



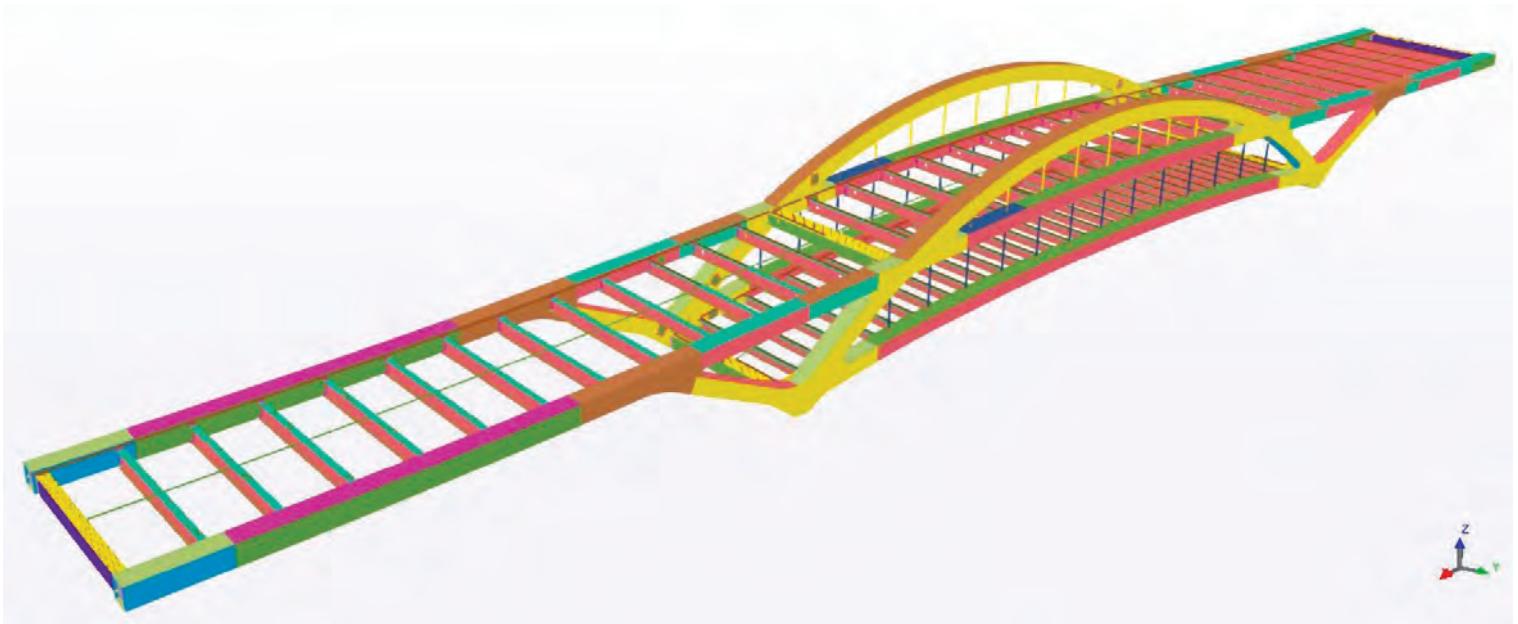


Fig. 16 | Vista del modello BIM della carpenteria metallica

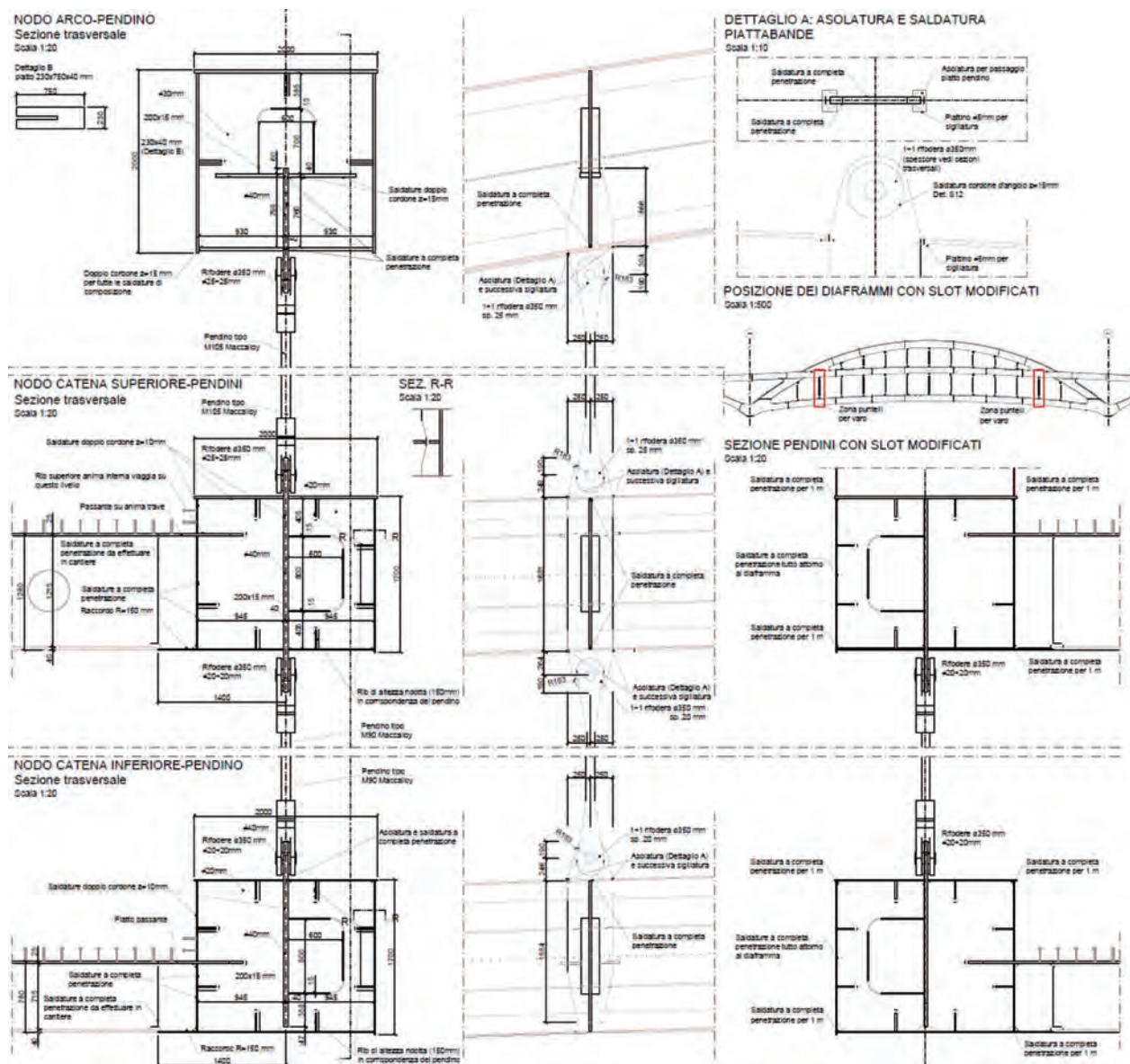


Fig. 17 | Messa in tavola dei nodi di collegamento pendini-elementi strutturali

### 3. Varo del ponte

Un ultimo ma non meno importante aspetto ha riguardato le fasi di realizzazione del ponte. Durante la fase di costruzione infatti, una struttura può subire sollecitazioni più gravose di quelle presenti nell'intera vita dell'opera, poiché spesso la configurazione di vincolo risulta diversa rispetto a quella finale. Successivamente al montaggio della campata ad arco mediante uso di torri provvisionali per il supporto e di autogrù per il posizionamento dei vari conci metallici, l'intera porzione centrale del peso di circa 2000 t viene fatta traslare dal piazzale di costruzione fino alla posizione finale mediante moduli SPTM con una configurazione totale di 72 assi. Vista la necessità di attraversare il torrente Polcevera, oltre alla preparazione del letto del fiume con una pista di adeguata capacità

per consentire il passaggio del ponte, è stato necessario studiare diverse configurazioni di supporto, cercando di minimizzare i cambi di presa e riducendo di conseguenza il tempo necessario alle operazioni di varo interferenti con la viabilità.

In figura 19 si riporta un estratto delle cinematiche di traslazione considerate. Per il completamento delle campate laterali è stato invece previsto un varo dal basso mediante sollevamento dei conci con autogrù, e supporto temporaneo fornito da torri provvisionali. Queste fasi di lavorazione verranno eseguite durante le ore notturne, al fine di ridurre il più possibile le interferenze con il normale funzionamento del porto e con la via di corsa inferiore che risulta aperta e percorribile dal traffico veicolare.



Figura 18 | Foto della porzione ad arco centrale durante le fasi di attraversamento del fiume Polcevera

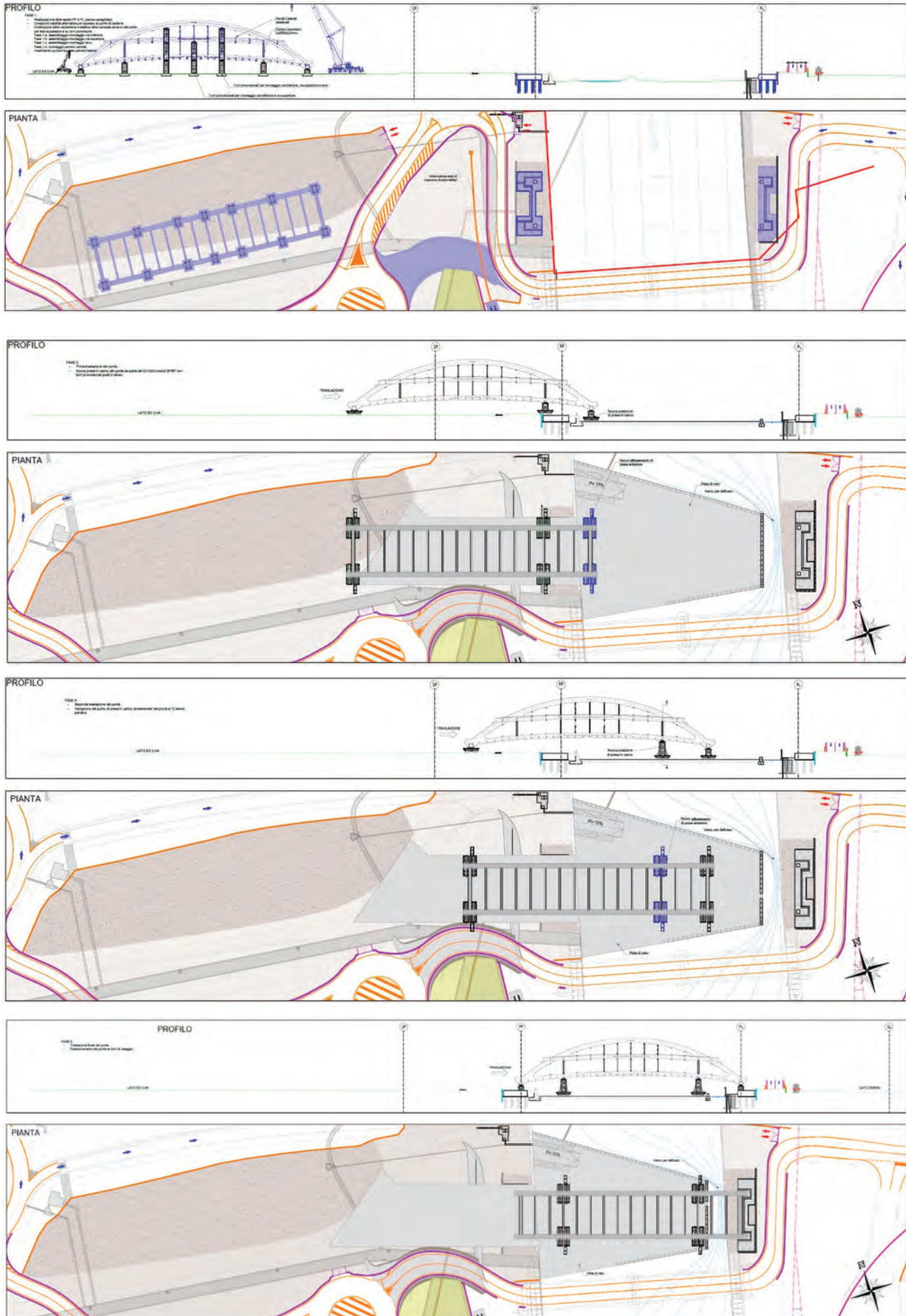


Fig. 19 | Estratto delle cinematiche di varo

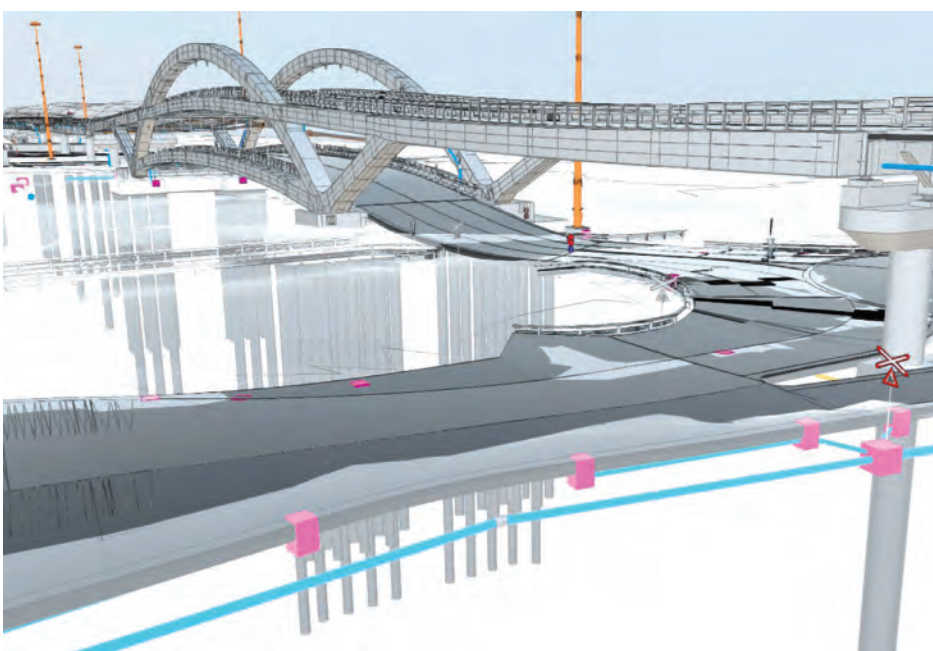
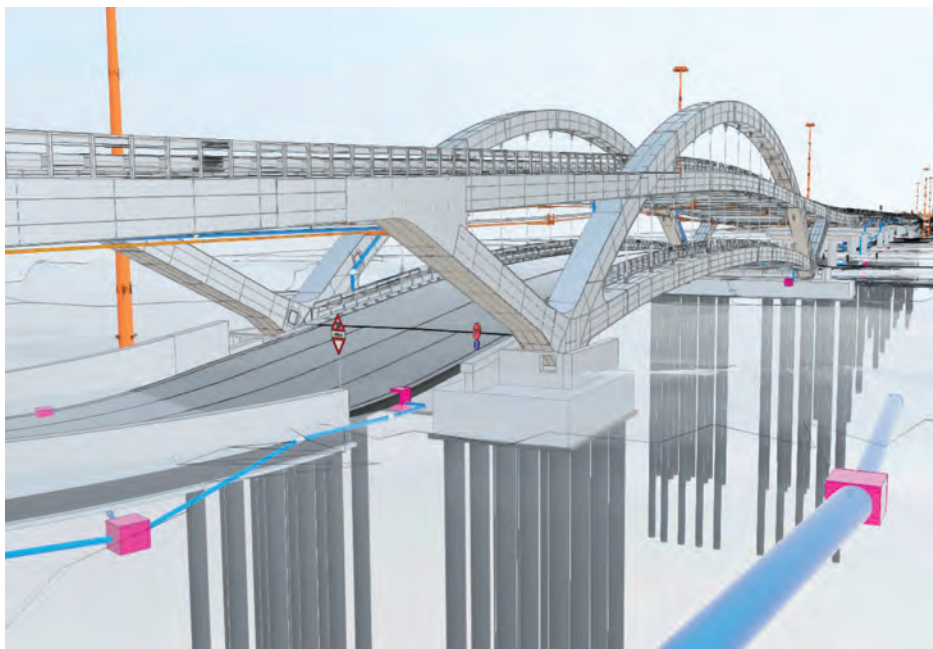


Fig. 20 | Modelli BIM

## CREDITS

Progettazione definitiva ed esecutiva del ponte del Papa: F&M Ingegneria SpA (opera ricompresa nel Programma Straordinario per il Porto di Genova, sviluppato in RTP con Technital SpA).

Progettista generale:  
ing. Tommaso Tassi

Responsabile di commessa:  
ing. Stefano Rioda

Progettazione stradale:  
Ing. Giulio Nordio

Progettazione strutturale:  
Ing. Massimiliano Lazzari  
e ing. Andrea Valerio Peraro (consulente F&M)

Progettazione geotecnica:  
Ing. Andrea Gorghetto

Cantierizzazione:  
geom. Stefano Favaretto

PSC:  
Ing. Alessandro Bonaventura  
e geom. Francesca Bertuzzo



### **Tommaso Tassi**

Si laurea con lode nel 1995 in Ingegneria Civile presso l'Università di Padova. Poco dopo entra in F&M Ingegneria e ne diventa socio nel 1999. Socio dell'A.G.I., esperto in materia di geotecnica, meccanica del suolo e tecniche di trattamento dei terreni, partecipa attivamente, anche come relatore, a convegni di perfezionamento sia in Italia che all'estero. Direttore tecnico di F&M Ingegneria, coordina il settore infrastrutture. È project manager e coordinatore di numerosi progetti in cui collabora con i più importanti studi di architettura e società di ingegneria italiane: ciò ha permesso di acquisire notevole esperienza nella gestione di tutte le tematiche che si incontrano in un incarico complesso.



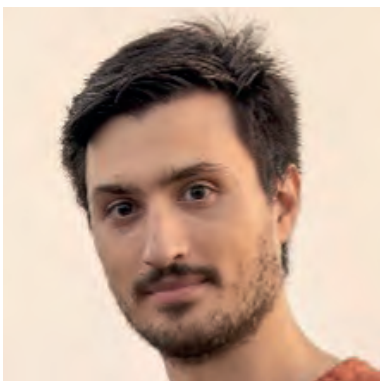
### **Stefano Rioda**

Si laurea nel 2002 presso l'Università di Padova in Ingegneria Civile. In F&M Ingegneria dal 2003, ha iniziato subito ad occuparsi di progettazione infrastrutturale in ambito stradale e autostradale, accompagnando all'attività progettuale anche l'assistenza in fase di esecuzione. Come project manager e progettista ha coordinato tutte le maggiori commesse di F&M Ingegneria di viabilità, gestendo un team integrato di progettisti e coordinando il rapporto con le varie amministrazioni pubbliche territoriali e le società di gestione.



### **Massimiliano Lazzari**

Laureato con lode in Ingegneria Civile, indirizzo Strutture, presso l'Università degli Studi di Padova, nel marzo 1998. Nel maggio 1999 si iscrive all'Ordine degli Ingegneri della provincia di Pordenone, trasferito poi dal 2021 all'Ordine degli Ingegneri di Padova. Nel 2002 consegue il dottorato di ricerca in Meccanica delle Strutture con la discussione della tesi "Strutture a comportamento non lineare per geometria soggette all'azione del vento". È stato professore a contratto presso il Dipartimento di Costruzioni e Trasporti della Facoltà di Ingegneria di Padova. Co-fondatore e socio di LAIRA, responsabile del settore Ingegneria e dell'intera gestione dei progetti di edifici civili e industriali, di opere speciali e di ponti stradali e ferroviari.



### **Andrea Valerio Peraro**

Laureato in Ingegneria Civile, indirizzo Strutture, presso l'Università degli Studi di Padova, nel febbraio 2017 con tesi riguardante la "Modellazione elastoplastica a grandi deformazioni di pozzi non circolari". Iscritto all'Ordine degli Ingegneri della provincia di Padova dal 2018. Dal 2019 collabora con LAIRA, dove ha acquisito esperienza in progettazione, analisi e verifica strutturale di opere civili e infrastrutturali, sia nuove che esistenti, in carpenteria metallica, calcestruzzo armato, legno e muratura. Sviluppa e segue inoltre, progetti inerenti il miglioramento della risposta sismica delle strutture attraverso lo studio dell'isolamento sismico e della dissipazione viscosa.