

## Dossier Ingenio 03-2024 – Infrastrutture Ponti, Viadotti e Gallerie – 31.01.2024

### Il modello BIM 3D per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti.

*La riabilitazione strutturale delle infrastrutture viarie sospese esistenti è un tema di grande attualità non solo in Italia. Spesso è possibile eseguire manutenzioni tali da permettere alle strutture esistenti di soddisfare i requisiti di sicurezza richiesti dalle recenti normative, ma l'intervento dipende dal livello di conoscenza che si riesce ad acquisire sui manufatti. Con questi dati è possibile creare un modello numerico, per analizzare il comportamento delle strutture e determinarne le sollecitazioni, mentre il modello geometrico consente di studiare le connessioni, i nodi e gli elementi strutturali. In questo articolo, l'ingegnere Francesco Fanigliulo ([Studio di Ingegneria delle Strutture](#), Cosenza) condivide la propria esperienza nella riabilitazione di un lungo viadotto dell'Autostrada A2 del Mediterraneo con il supporto del modello BIM 3D creato con Allplan.*

#### La proposta progettuale.

L'ing. Fanigliulo ha già maturato una lunga esperienza in diversi interventi di ristrutturazione e adeguamento di ponti e viadotti di primaria importanza. Questo articolo tecnico illustra la riabilitazione strutturale di una coppia di viadotti della "A2 del Mediterraneo", costruiti intorno al 1970, eseguita con adozione di tecniche di rinforzo con CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymers).

Si tratta di un intervento di [risanamento dal punto di vista statico e di miglioramento sismico](#) del costo di 16,74 milioni di euro nell'ambito del Programma di finanziamento Connecting Europe Facility (CEF) RELEVANT, volto a garantire il transito dei mezzi ordinari e dei trasporti eccezionali, come richiesto dal Regolamento (UE) 2021/1328 del 10/08/2021 relativo ai requisiti delle infrastrutture di trasporto a uso duale civile/militare.

Il progetto è degno di nota in quanto dimostra una convergenza tra [ANAS](#) e mondo professionale, volta al miglioramento continuo delle tecniche e degli strumenti di pianificazione, progettazione ed esecuzione degli interventi finalizzati all'accrescimento del valore funzionale delle opere in esercizio.

Il team tecnico è composto dai seguenti professionisti:

- Ing. Massimiliano Campanella – [ANAS S.p.a.](#)  
*Dirigente Responsabile – Area Gestione Rete Autostrada del Mediterraneo A2*
- Ing. Francesco Caruso – [ANAS S.p.a.](#)  
*Responsabile Unico Procedimento – Area Gestione Rete Autostrada del Mediterraneo A2*
- Ing. Giuseppe Cozzolino – [ANAS S.p.a.](#)  
*Direttore dei Lavori – Area Gestione Rete Autostrada del Mediterraneo A2*
- Ing. Francesco Fanigliulo – [Studio di Ingegneria delle Strutture](#)  
*Progettista della proposta progettuale dell'impresa e BIM Manager del progetto*
- Ing. Davide Ferraro – [Consorzio Valori Scarl](#)  
*Direttore Tecnico*

- Pontedil S.r.l.  
*Impresa Esecutrice dei Lavori*

La proposta progettuale è stata promossa dal Consorzio Valori Scarl, appaltatore delle opere, nell'ambito degli interventi denominati *“Lavori di manutenzione programmata inerenti ripristini, corticali e profondi, con adeguamento delle sottostrutture, interventi di sostituzione degli appoggi, impalcati e giunti di dilatazione, adeguamento delle barriere di protezione ed interventi di miglioramento simico per i **Viadotti FRIDDIZZA NORD e FRIDDIZZA SUD** siti nell'Autostrada del Mediterraneo A2 rispettivamente in carreggiata Nord al Km 265+900 e in carreggiata SUD al Km 265+400”*.

In base a quanto è stato riscontrato negli studi in sito, l'ingegnere ha deciso di adottare una soluzione progettuale che propone tecniche di intervento innovative in grado di offrire prestazioni strutturali e di durabilità superiori per l'opera.

#### [Una tipica coppia di viadotti cinquantenni.](#)

I viadotti Friddizza si sviluppano in parallelo su due differenti profili longitudinali e altimetrici.

Il Friddizza Nord è un viadotto costituito da 19 campate, staticamente strutturate in impalcati appoggiati tra spalle e pila, per gli impalcati di estremità, e tra le pile, per gli impalcati interni. Lo schema strutturale per ogni impalcato è quindi quello del grigliato in semplice appoggio.

Il Friddizza Sud è un viadotto costituito da 8 campate, staticamente strutturate in impalcati appoggiati tra spalle e pila, per gli impalcati di estremità, e tra le pile, per gli impalcati interni. Anche per questo viadotto lo schema strutturale è quello del grigliato in semplice appoggio.

Entrambi i viadotti presentano caratteristiche costruttive e geometrie simili, differenziandosi esclusivamente per il numero di campate di ciascun viadotto e per l'altezza delle pile. Lo schema strutturale induce a eseguire i calcoli sul viadotto più esteso, considerato che le sollecitazioni indotte negli elementi strutturali sono analoghe. Si sono considerate le massime sollecitazioni indotte dai carichi e si è proceduto alle verifiche di sicurezza delle sezioni caratteristiche, avendo cura di verificare la validità delle ipotesi e dei modelli per entrambi i viadotti.



Foto dei due viadotti, in primo piano il Friddizza Nord e in secondo piano il Friddizza SUD

Per entrambi i viadotti le pile sono del tipo a stelo con sezione pluriconnessa. La luce degli impalcati è di 33 metri, la luce netta delle travi è 32,50 metri, per uno sviluppo complessivo del Friddizza Nord di 627 metri e per il Friddizza Sud di 264 metri.

Gli impalcati presentano le seguenti caratteristiche geometriche:

- larghezza dell'impalcato: 9.30 m
- spessore soletta: 20 cm
- sezione travi: H 195/A30/BS65\_30/BI65\_30
- numero travi sezione trasversale 4 travi
- interasse travi: 2.40 m
- luce travi: 32.50 m – più corti gli impalcati di estremità

La tipologia della sezione trasversale dell'impalcato è ascrivibile alla tipologia a pettine, travi parallele con traversi disposti ortogonalmente che ripartiscono il carico tra le travi stesse. La presenza dei traversi a un terzo della luce, oltre ai due traversi posti all'estremità d'impalcato, garantisce efficacemente la ripartizione trasversale dei carichi sulle travi, oltre a ridurre l'effetto torsionale sulle singole travi dell'impalcato.

[Leggi altri case studi di progetti vincenti di ponti in Italia e nel Mondo ...](#)

[I riscontri progettuali.](#)

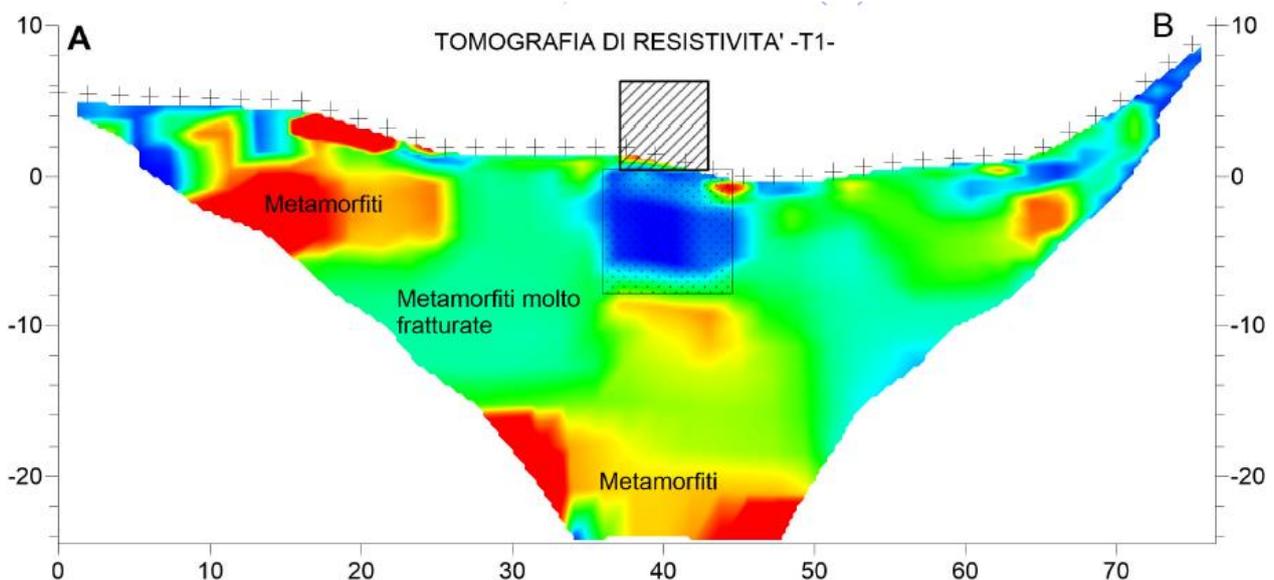
Le prove di rilascio tensionale hanno permesso di rilevare che la caduta di tensione delle armature precomprese è mediamente del 50%, con un picco del 59%, mentre il valore medio della tensione rilevata è stato di 650 MPa.

Per un sistema post teso, la caduta di tensione da letteratura, considerata tra immediata e

differita, è pari al 20%. Considerando una tensione iniziale caratteristica pari all'80% di  $f_{yk}=1937$  Mpa, ne deriva una tensione di progetto (al netto delle perdite di carico) pari a  $f_{yd}=1347$  MPa.

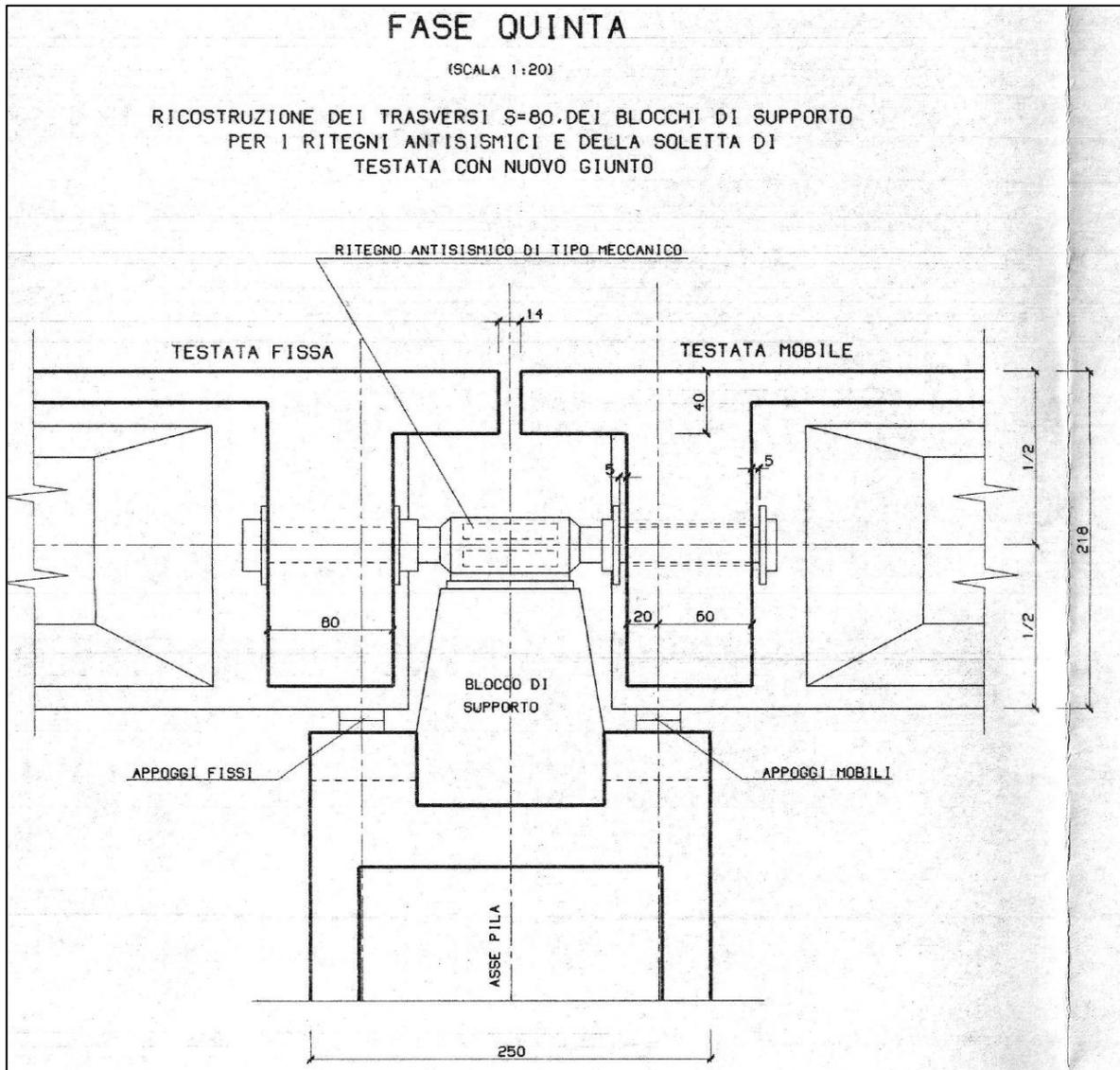
Durante l'esecuzione dei lavori, si è potuto riscontrare che l'altezza reale delle pile è diversa da quella assunta nella progettazione esecutiva. Ogni pila ha una parte, più o meno rilevante, affondata nel terreno (si veda a questo proposito la specifica tavola grafica). Questo comporta non solo un diverso comportamento strutturale statico e dinamico della pila, ma anche una significativa rivisitazione della capacità portante delle fondazioni, conseguentemente alla variazione del piano fondale.

Per approfondire il livello di conoscenza, si sono investigati tutti gli elementi strutturali e sono state eseguite indagini con estrazione di carote per determinare le caratteristiche meccaniche dei materiali, per definire lo stato di degrado e per approfondire il livello di conoscenza della struttura. Relativamente alle fondazioni delle pile, costituite da plinti isolati su pali, è stata eseguita un'indagine geoelettrica tridimensionale, che ha permesso di determinare la consistenza dell'apparato fondale, tipologia di terreno in cui sono immersi i pali. Trattandosi di una roccia molto fratturata, l'intervento previsto per il consolidamento del fondale non ha alcuna utilità.



Sezione geoelettrica 3D in prossimità della pila n. 15

Il viadotto, negli anni '90 è stato oggetto di un intervento di risanamento strutturale che ha contemplato anche l'installazione di smorzatori sismici oleodinamici, in grado di solidarizzare gli impalcati alla pila in caso di sisma, accoppiati ad apparecchi di appoggio, in grado di evitare l'insorgere di stati di coazione all'interno degli elementi strutturali. La figura seguente illustra quanto è stato adottato negli anni '90.



Configurazione sui pulvini.

Le fotografie illustrano le condizioni di vincolo in testa alle pile. Questi sono elementi di ritegno sismico.



Particolare dell'apparecchio di appoggio e del dispositivo di smorzamento viscoso.

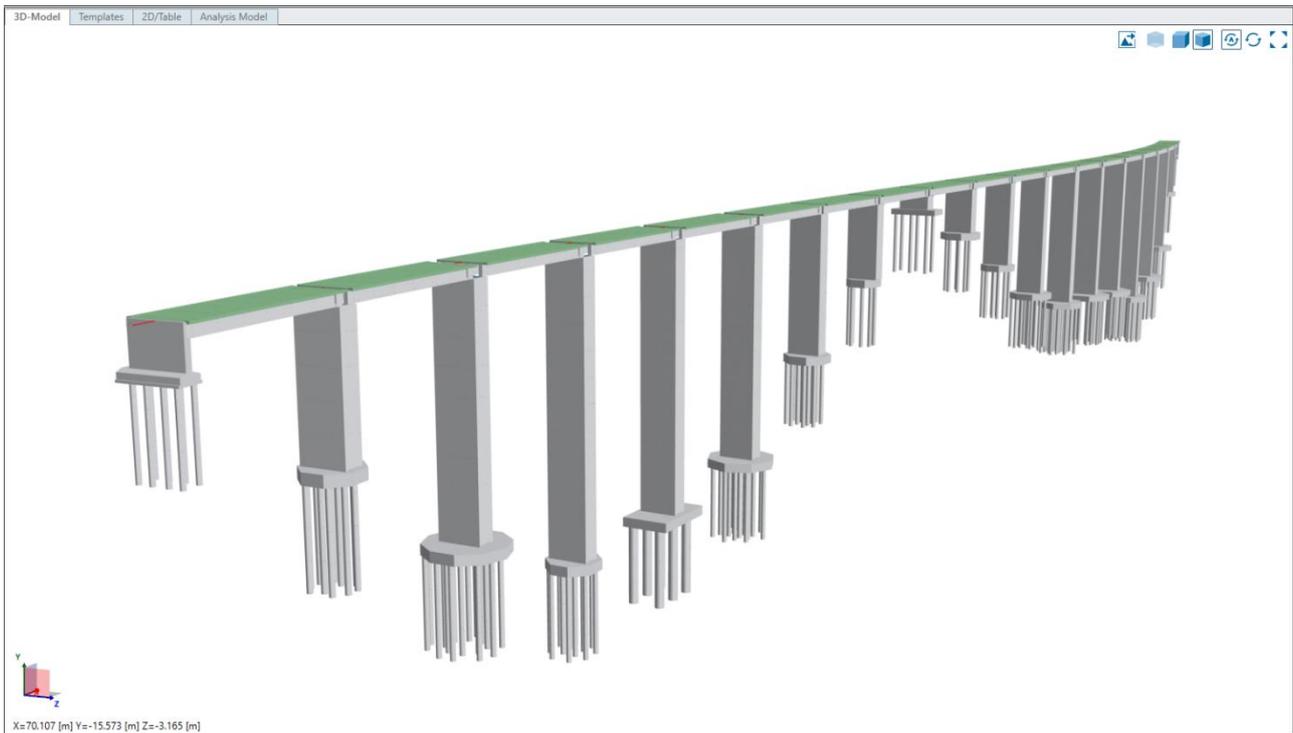


Particolare del ritegno sismico trasversale estratto dalla relazione T00VI00STRRE03\_B del progetto esecutivo, con evidenza del gap tra estremità trave e ritegno.

La verifica di vulnerabilità sismica della struttura è stata eseguita sulla base di due modelli numerici su cui sono state effettuate analisi strutturali statiche e sismiche:

- un modello numerico descrittivo del sistema impalcati-pila; modello FEM locale impiegato per lo studio delle sollecitazioni di entrambi i viadotti;
- un modello numerico globale. Sono stati realizzati due modelli globali, uno per il Friddizza Nord e uno per il Friddizza Sud.

È stato eseguito un accurato studio dell'opera utilizzando dei software ad elevato contenuto tecnologico, **Allplan** e **Allplan Bridge**, che hanno permesso di studiare l'intero modello del viadotto tenendo conto delle geometrie reali rilevate. Sono stati eseguiti modelli di calcolo per lo studio delle sollecitazioni indotte dai carichi agenti, con condizioni al contorno compatibili con quelle riscontrate in sito. Sono state anche eseguite verifiche locali sulla base delle prove e delle indagini svolte e delle ipotesi assunte.



Il modello BIM 3D del viadotto Friddizza Nord in Allplan Bridge

### [Scopri il flusso di progettazione BIM dei ponti con Allplan Bridge ...](#)

Ai fini sismici, si è proposto un nuovo schema di vincoli per l'impalcato, finalizzato a garantire le migliori prestazioni strutturali al viadotto. Si prevede l'impiego di una catena cinematica esterna che, svincolando le pile da buona parte delle azioni orizzontali di tipo sismico, riporti queste ultime alle spalle. In questo modo, si riducono le azioni orizzontali in testa alla pila e si ricentra lo sforzo normale al piede.

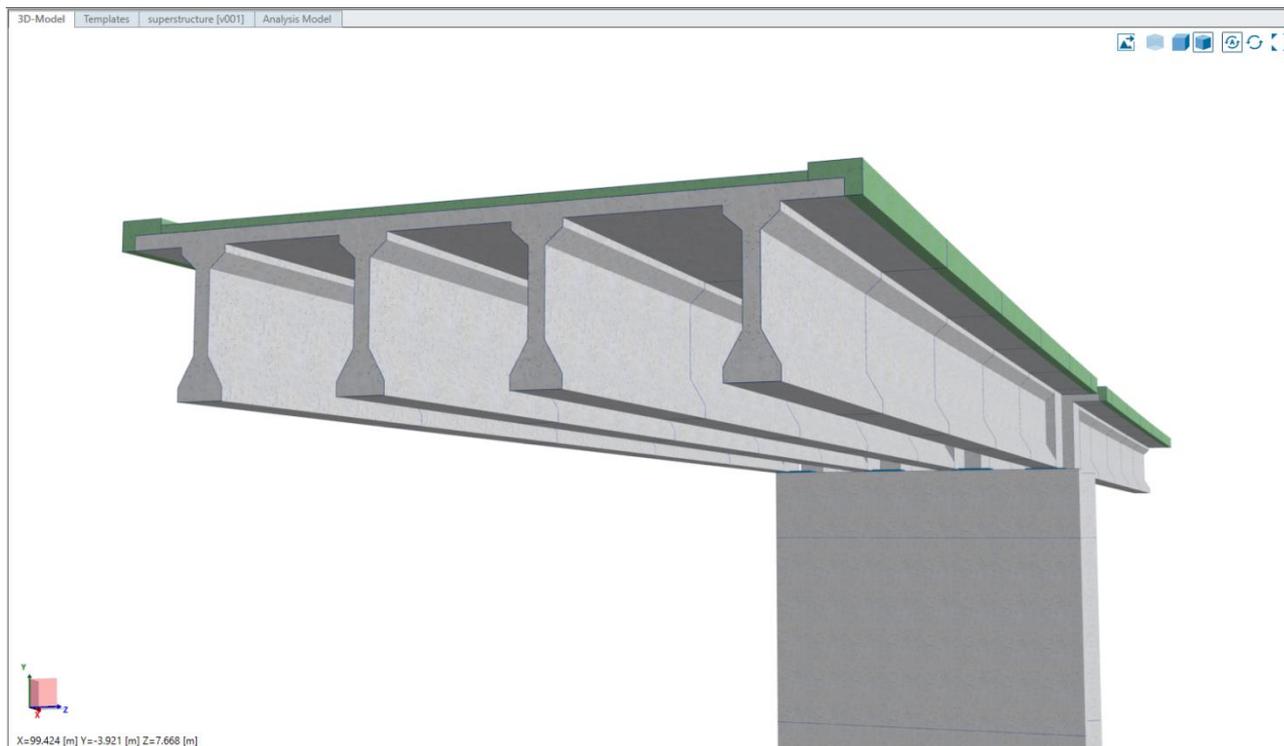
Alla luce delle indagini sul detensionamento dei cavi, si è rivisto l'intervento previsto in progetto e si sono verificate le condizioni di decompressione della parte inferiore della sezione della trave in c.a.p.

### [Guarda gratis il webinar sulla modellazione parametrica dei cavi di precompressione...](#)

È stato previsto un intervento di riabilitazione strutturale con rinforzi in CFRP in lamina, da apporre all'intradosso delle travi, e in tessuto, per le azioni di taglio alle estremità delle travi.

Relativamente alle pile, è prevista la riabilitazione strutturale delle stesse con l'impiego di malte ad alte prestazioni che, grazie ai bassi spessori, non alterano le masse sismiche, contribuendo contestualmente al rinforzo dell'elemento strutturale con materiali in grado di garantire elevate prestazioni.

Le armature degradate e quelle necessarie alle nuove sollecitazioni sono integrate con materiali innovativi quali i rinforzi in fibra di carbonio. Si consegue così, per le pile, un rinforzo strutturale poco invasivo per la struttura esistente e in grado di non alterare le masse e le geometrie preesistenti.



Sezione parametrica trasversale del viadotto Friddizza Nord in Allplan Bridge

L'obiettivo del miglioramento sismico della proposta progettuale è il raggiungimento di un valore di almeno  $\zeta E=0.70$ , inteso come il rapporto tra l'accelerazione sismica indotta alla struttura e l'accelerazione sismica prevista dalle NTC 2018, con la quale sono soddisfatte le verifiche degli elementi strutturali; questo per offrire, a fronte dell'impiego di materiali più performanti rispetto a quelli previsti in progetto, una struttura più sicura sotto il profilo sismico.

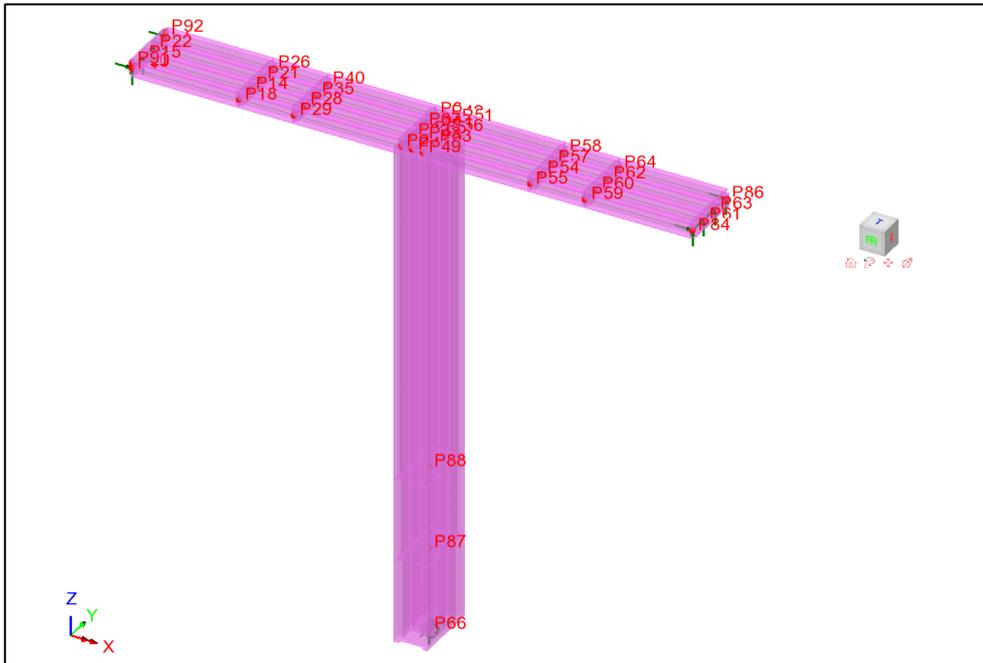
L'impiego di malte fibrorinforzate consente di minimizzare gli spessori di materiale applicato, e, unitamente all'impiego di rinforzi in CFRP, permette di conseguire prestazioni migliori in termini di prestazioni meccaniche e di durabilità. Si evidenzia che i rinforzi in CFRP non subiscono il processo di degrado dovuto all'ossidazione.

Il miglioramento sismico della struttura si ottiene disponendo in testa alle pile degli appoggi multidirezionali ad alto scorrimento, in grado di garantire l'assorbimento delle deformazioni dovute alle escursioni termiche e alle azioni orizzontali. Le azioni istantanee, quali le azioni sismiche, di frenatura e del vento, saranno trasmesse a elementi strutturali all'uopo rinforzati e/o dove l'azione induce minore sollecitazione.

Per lo studio della struttura, sono stati implementati due modelli numerici basati sulla tecnica degli elementi finiti, modelli descrittivi della realtà fisica con sufficiente approssimazione.

L'analisi è stata condotta con il metodo degli elementi finiti, utilizzando i software **LUSAS® v.ne 20.04** di Finite Element Analysis Ltd e **Noliàn EW56** della Softing®, al fine di incrociare i risultati e di valutarne la correttezza e l'affidabilità. Le strutture di impalcato, le travi e le pile sono state discretizzate con elementi numerici in grado di rappresentare matematicamente l'elemento strutturale. I carichi permanenti e quelli variabili sono stati determinati attraverso attenta analisi in accordo al D.M. 17.01.2018. Le verifiche sul singolo impalcato sono state condotte

implementando un modello di calcolo agli elementi finiti specifico per il dimensionamento dei rinforzi e le verifiche locali degli stessi.

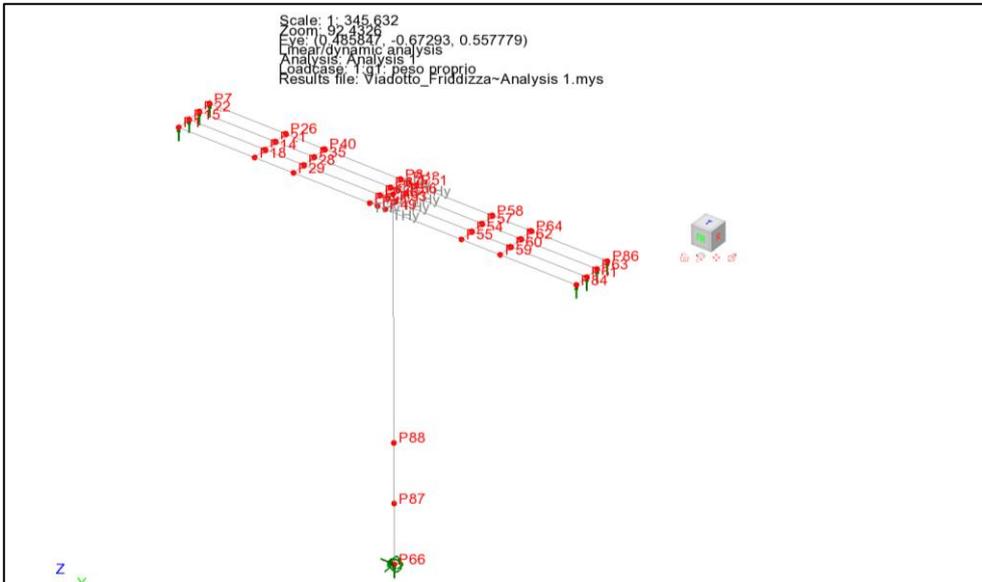


Modello strutturale del viadotto schema impalcata su pila.

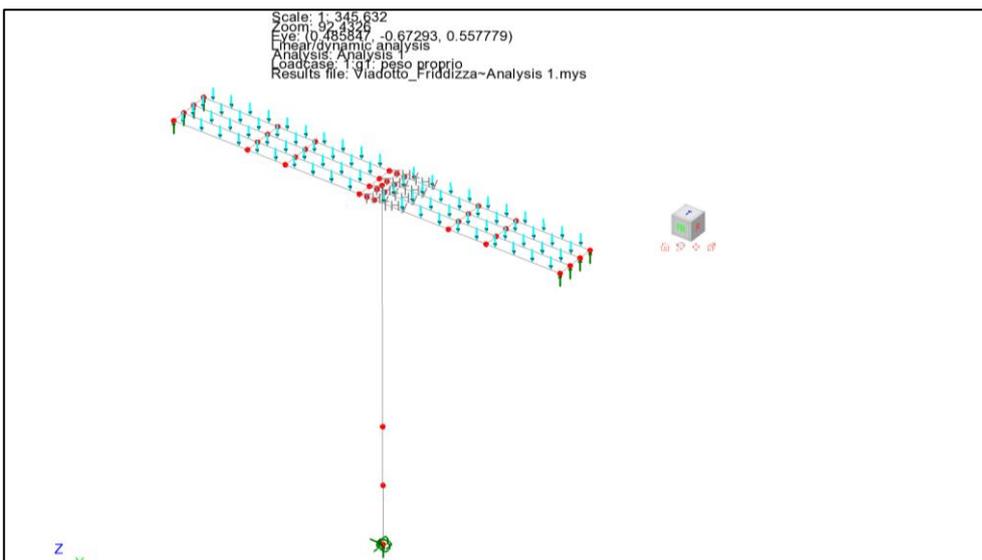
Le verifiche rispetto alle azioni sismiche e la conseguente determinazione del livello di sicurezza della struttura sono state condotte in relazione al rapporto  $\zeta_E$  tra l'azione sismica massima sopportabile dalla struttura e l'azione sismica massima che si utilizzerebbe nel progetto di una nuova costruzione. Si è verificato che la struttura raggiungesse un adeguamento sismico pari  $\zeta_E = 0,7$ .

Studio delle sollecitazioni dei carichi statici.

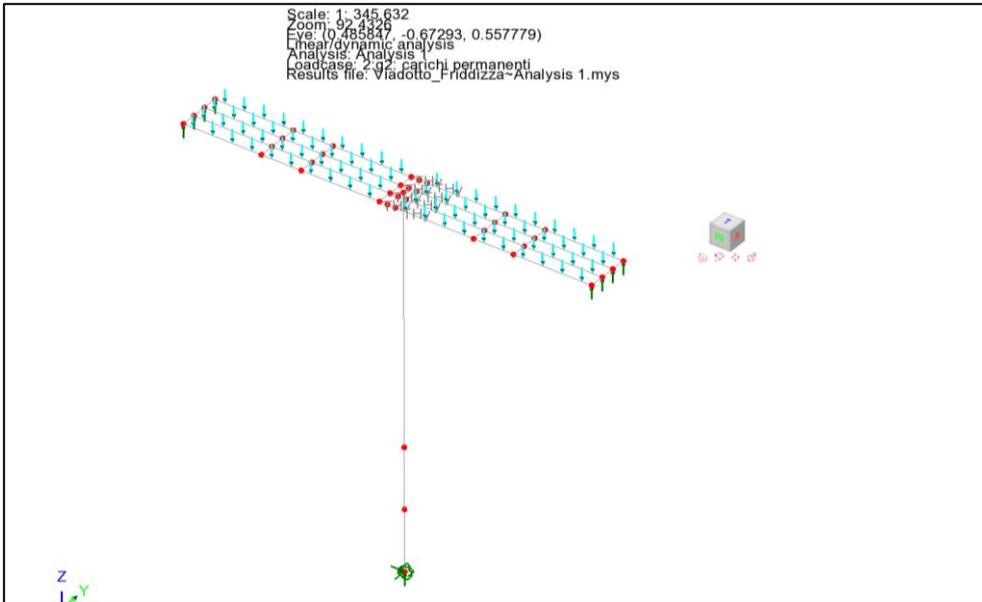
I carichi applicati alla struttura sono quelli descritti nelle figure seguenti.



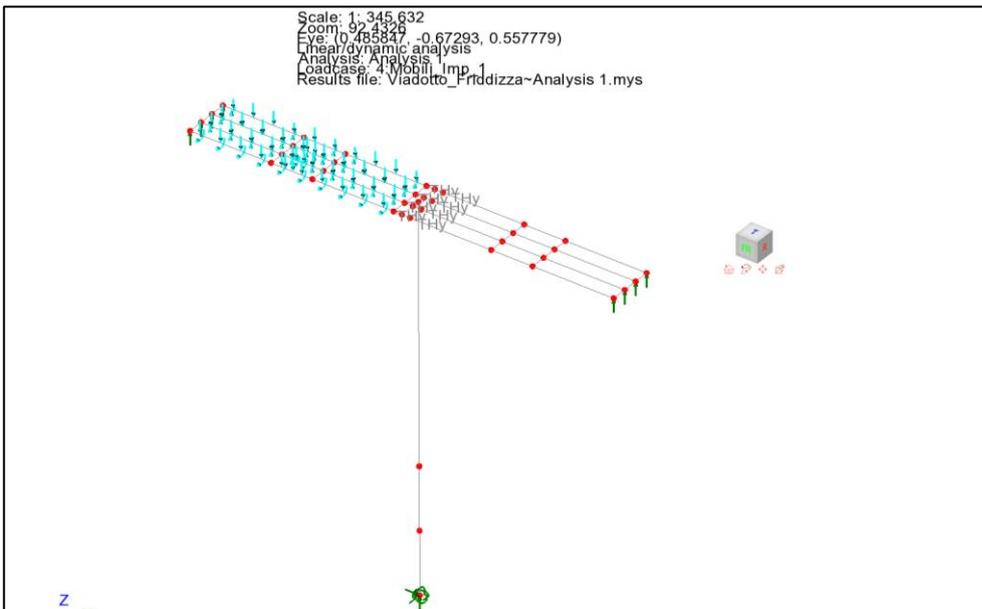
Modello FEM della struttura sistema impalcato-Pila



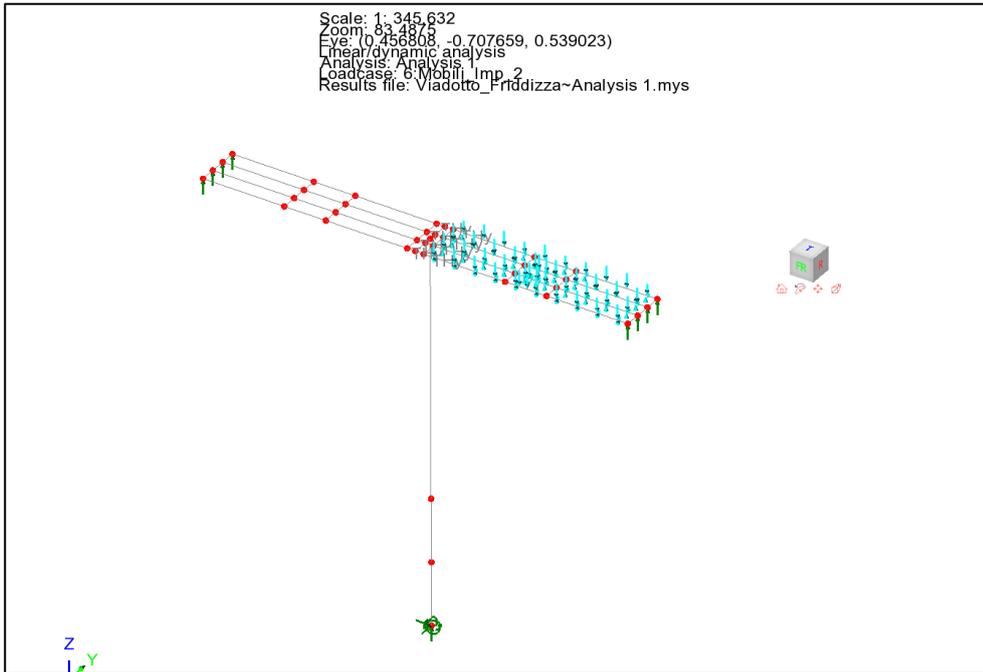
Carichi permanenti g1



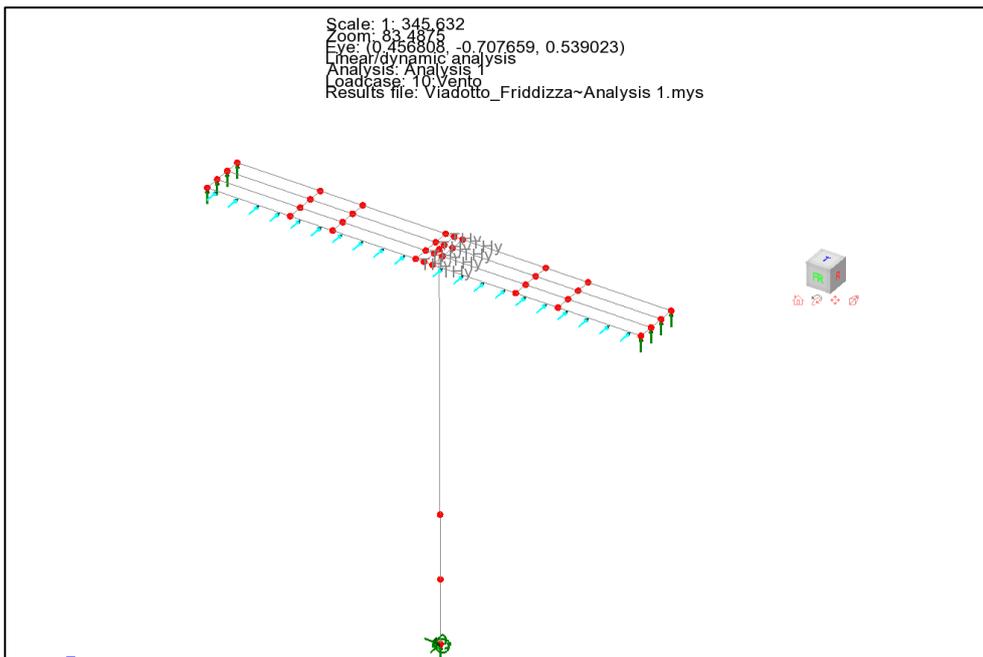
Carichi permanenti g2



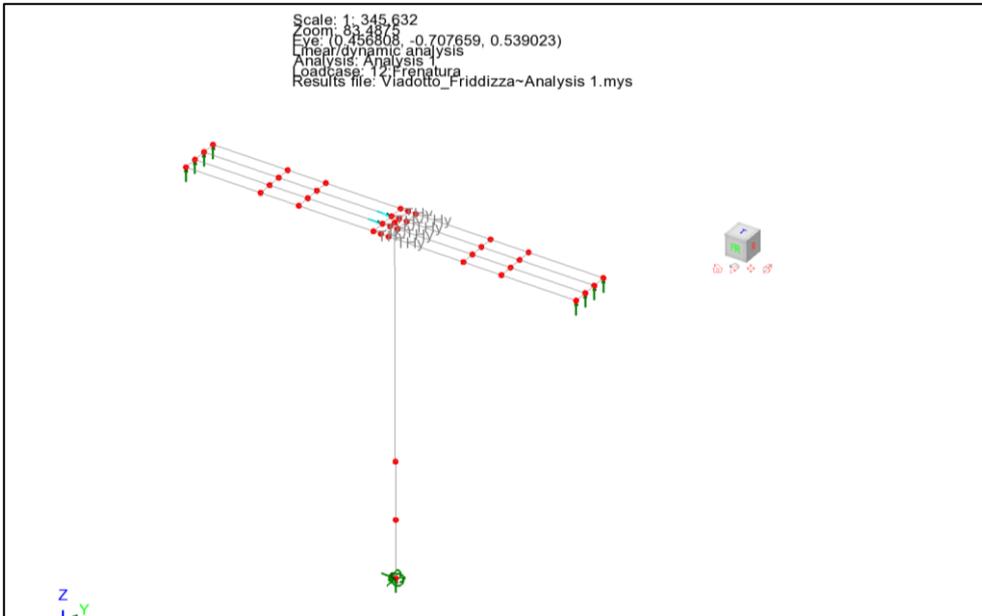
Carichi mobili Q1k e q1k su impalcato 01 – Max soll. trave di riva



Carichi mobili Q1k e q1k su impalcato 02 – Max soll. trave di riva

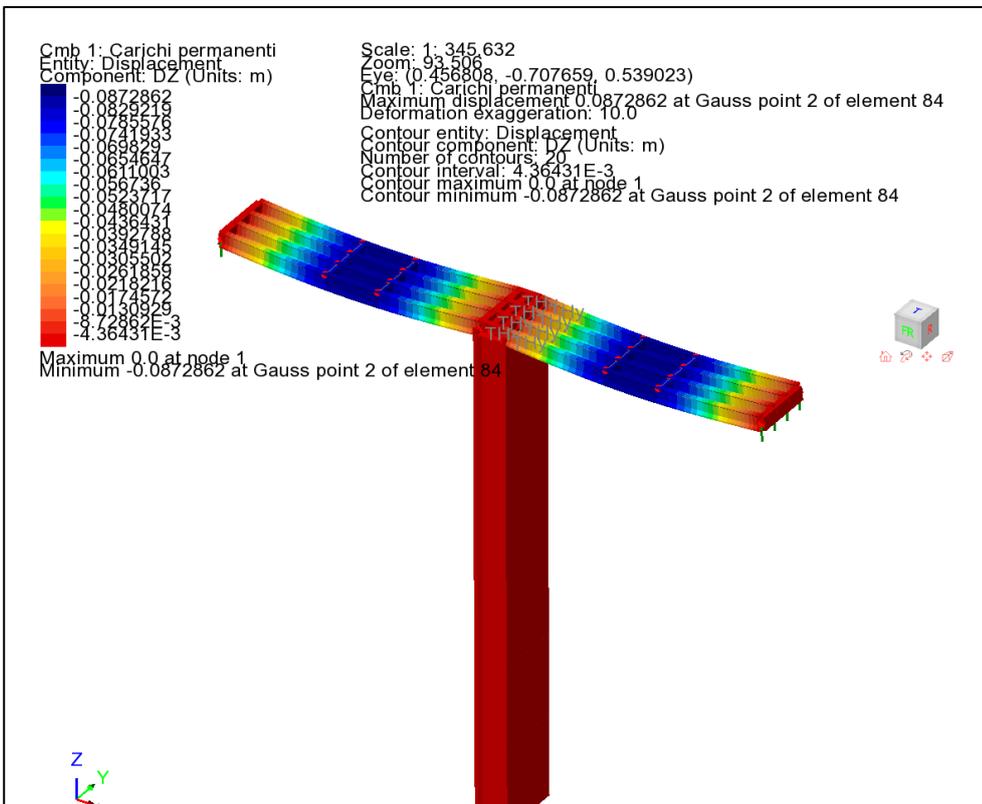


Carichi variabili azione del vento



Azione frenatura veicoli

Le singole condizioni di carico sono state combinate in specifiche combinazioni i cui risultati delle analisi sono riassunti nelle figure che seguono.



Deformata della struttura sotto carico permanente g1 e g2. Max = 0.0873 m

Si evidenzia che la deformazione massima di calcolo della struttura è di 8,73 cm. (a fronte di una freccia teorica  $f_{amm} = 6.40$  cm). Inoltre, si ha la possibilità di evidenziare il comportamento globale dell'opera nel quale risalta l'indipendenza dei singoli impalcati.

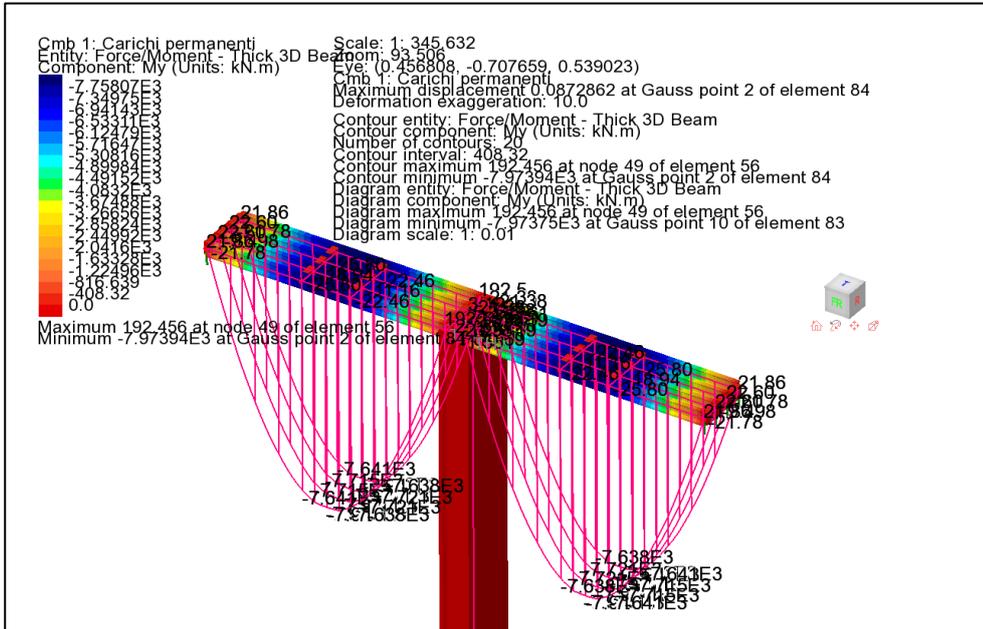


Diagramma del momento per carichi  $g_1$  e  $g_2$ .  $M_{max} = 7758$  kNm

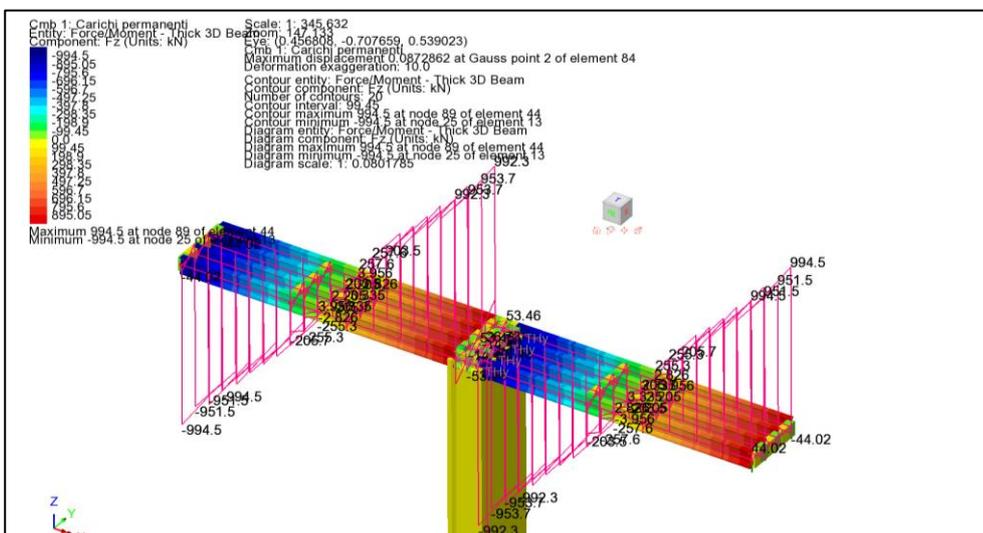


Diagramma del taglio per carichi agenti  $g_1$  e  $g_2$ .  $T_{max} = 994.50$  kN

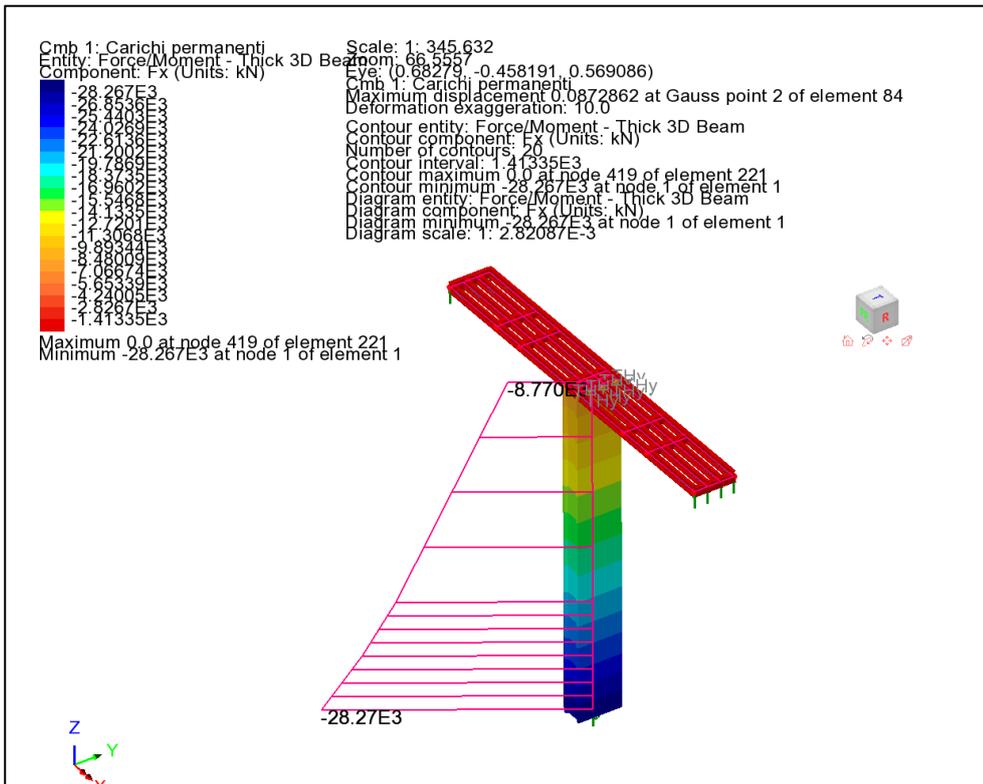


Diagramma dello sforzo normale per carichi agenti  $g_1$  e  $g_2$ .  $N_{max} = 28270$  kN

Le singole condizioni di carico sono state combinate in specifiche combinazioni i cui risultati delle analisi sono riassunti nelle figure che seguono.

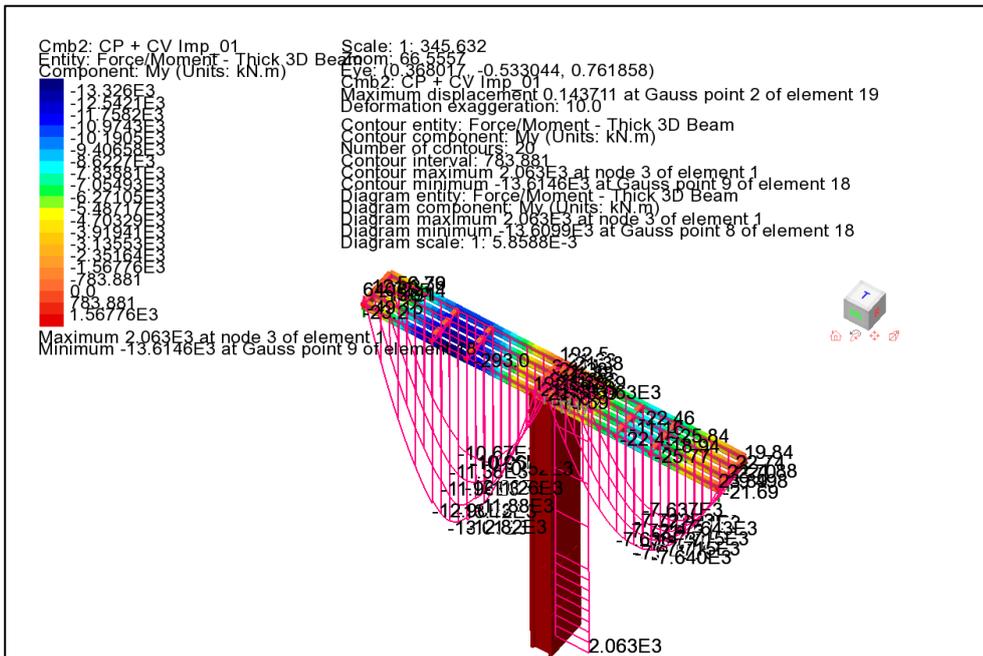


Diagramma del momento per carichi g1, g2, CV su impalcato 1

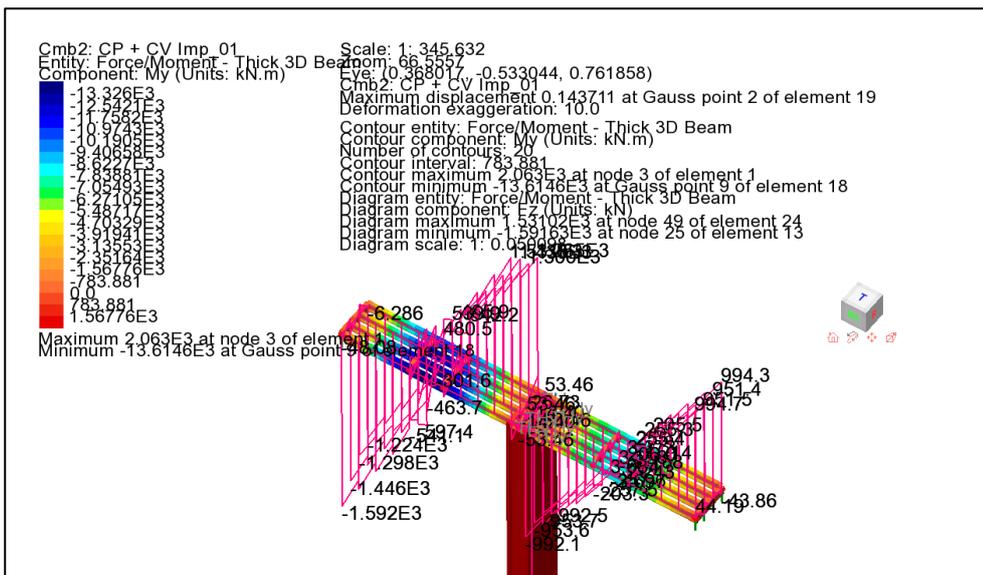


Diagramma del taglio per carichi g1, g2, CV su impalcato 01 Tmax = 1592 kN

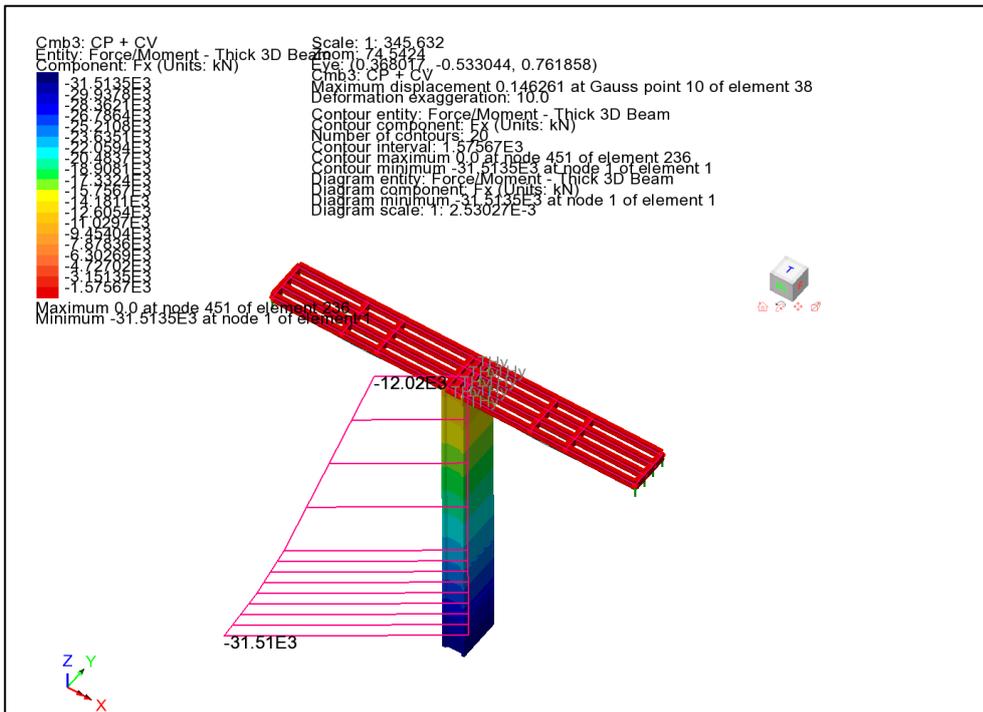
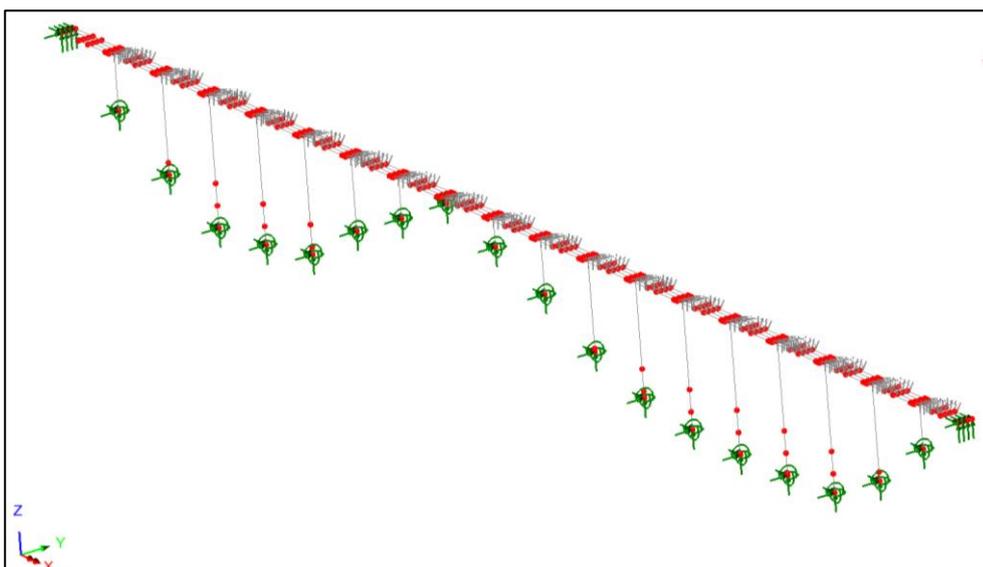


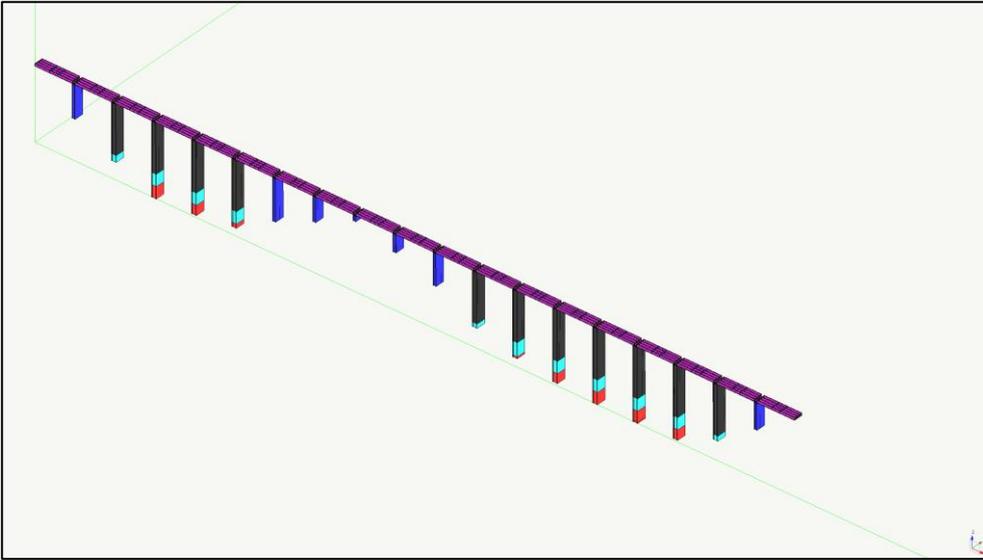
Diagramma dello Sforzo Normale per carichi g1, g2, CV su impalcati adiacenti

È stata condotta un'analisi modale con la tecnica dello spettro di risposta. Il modello utilizzato per l'analisi sismica è un modello globale dell'impalcato che ha permesso di studiare il comportamento complessivo e di valutare tecniche di isolamento sismico.

L'analisi è stata effettuata considerando un  $a_g = a_g * 0.70$  e quindi un  $\zeta_E = 0.70$  rispetto a quello considerato in progetto esecutivo pari a  $\zeta_E = 0.60$ .



Modello del viadotto Friddizza Nord utilizzato per le analisi sismiche (LUSAS)



Modello solido 3D del Friddizza Nord utilizzato per le analisi sismiche (Nolià)

**Link di approfondimento**

[Scarica Allplan 2024 in versione trial](#)

[Guarda gratis il webinar sulla progettazione di ponti con impalcati a travi ...](#)

[Guarda gratis il webinar sulle novità di Allplan 2024 per la progettazione delle infrastrutture ...](#)