

# STRATEGIE AVANZATE DI ISOLAMENTO SISMICO MODELLAZIONE NON LINEARE PER EDIFICI PONTI E VIADOTTI

Analisi strutturale di ponti e viadotti secondo LL.GG. ed NTC 2018

**Modellazione non lineare di sistemi di isolamento sismico su Ponti e Viadotti**



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**



## Francesco Fanigliulo

Structural Engineer

### CONTACTS

PHONE NUMBER:  
+39.0984.795683  
+39.335.5388966

WEBSITE:  
[www.studiofanigliulo.it](http://www.studiofanigliulo.it)

EMAIL ADDRESS:  
[francescofanigliulo@studiofanigliulo.it](mailto:francescofanigliulo@studiofanigliulo.it)



Owner and founder of “Studio di Ingegneria delle Strutture” since 1998. Lover of Bridges and Steel Constructions since the beginning of his career. Always interested in innovations, he immediately implemented, in his projects, object-oriented design and, eventually, BIM. He has implemented Nòlian in his engineering firm since 1999, which he used for numerous interventions. He uses Nòlian to carry out structural analyses and realize Structural models of bridges and viaducts.

In the structural field, he has drawn up structural rehabilitation projects of viaducts with girders in reinforced concrete and prestressed concrete, upper girder viaducts. Expert in structural modeling and reinforcement systems through the use of innovative materials such as UHPFRC, FRP and FRCM reinforcement techniques applied to buildings, bridges and viaducts. Member of IABSE, he is part of a group working on the degradation of structures, their durability, the evaluation of their residual life and on the extraordinary loads applied to structures.

# Ponti e viadotti:

**Ponte : struttura attraverso la quale si riesce a superare un ostacolo**

Difficoltà di calcolo in stretta relazione con la luce da superare

NUOVA OPERA



La difficoltà dello studio è legata alle conoscenze del sito. (aspetti geotecnici)

OPERA ESISTENTE



La difficoltà dello studio è legata ALLA CONOSCENZA DEL PROGETTO, DELLA STRUTTURA NEL SUO COMPLESSO ED ALLA SENSIBILITA' DI CHI SI ACCINGE A STUDIARE LA STRUTTURA

# Ponti e viadotti:

## PONTI E VIADOTTI ESISTENTI

### TEMA AMPIO

Conoscenze scientifiche all'epoca di costruzione

Schemi statici di calcolo.

Tipologie ed intensità dei carichi statici

Modalità di valutazione azione del vento

Modalità di valutazione azione sismica

Durabilità dei materiali

LCA Life Cycle Assessment



# Le Opere Infrastrutturali in Italia:

Estensione della rete stradale in Italia (fonte ANSFISA)

Ponti e viadotti..... 21072 (2829 Km)

Cavalcavia..... 6320

Gallerie..... 2179

## Valutazione delle infrastrutture esistenti

Evoluzione dell'intensità dei carichi mobili

Azioni sismiche definite più compiutamente

Stato di degrado dei materiali (Durabilità delle opere)

Condizioni al contorno evolute

# Le strutture esistenti:

## Normativa di riferimento

Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17.01.2018

Linee Guida Per La Classificazione E Gestione Del Rischio, La Valutazione Della Sicurezza Ed Il Monitoraggio Dei Ponti Esistenti

Circolare applicativa C.S.LL.PP. n. 7 del 21.01.2019

Istruzioni CNR

Norme UNI

FIP - CEB

Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera

# Ponti e viadotti:

## CONOSCENZA SPECIFICA

Il ponte nasce dalla necessità di superare un ostacolo ovvero di unire ciò che è separato: una difficoltà ed il suo superamento, ovvero, una sfida vinta.

una etimologia del nome “ponte” si riconduce ad una radice indoeuropea: la stessa del verbo con cui nell’antico greco si indicava l’azione del volo. La suggestione di questa interpretazione era quella di associare alle funzioni cui già si è accennato il concetto di “leggerezza”, di “ardimento” e di “libertà” che in genere si accompagnano all’idea del volo.

# Ponti e viadotti:

## CONOSCENZA SPECIFICA

Il ponte nasce con l'uomo quando per superare gli ostacoli incontrati nei suoi spostamenti ha utilizzato il tronco caduto, la liana ad altro e parlare di "evoluzione di questo manufatto" è un discorso sicuramente significativo con riferimento alle tecniche costruttive, ai materiali ed alle tecnologie.

Ciò consente di organizzare la vasta tematica che si riferisce ai ponti.



# Ponti e viadotti:

## CONOSCENZA SPECIFICA

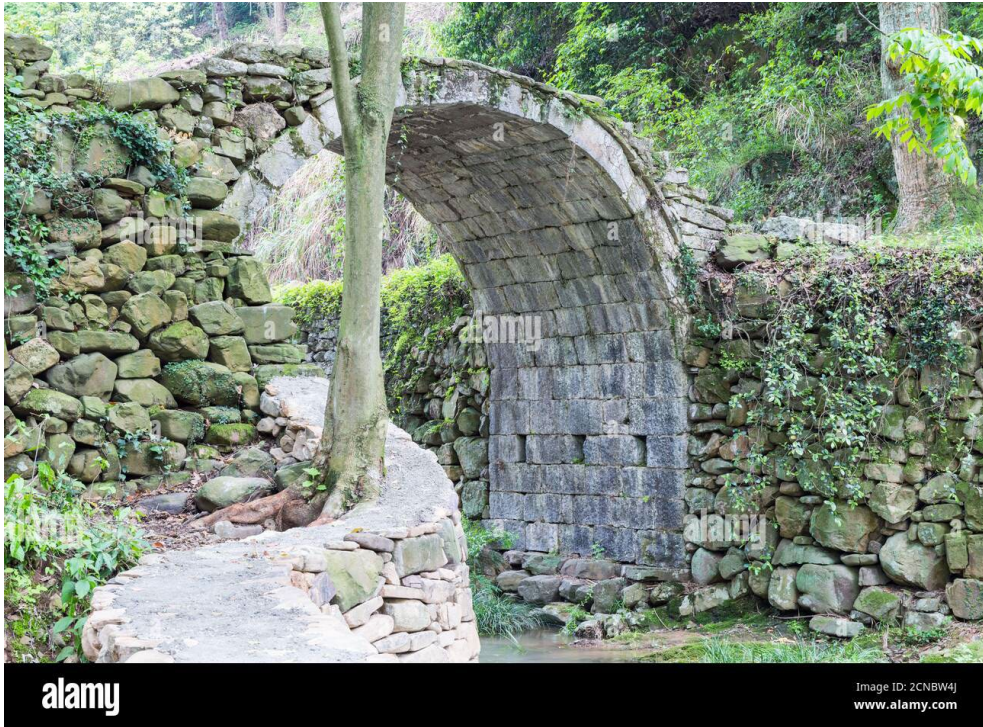


Il primo oggetto che si associa alla funzione di superare un ostacolo è il tronco di un albero: la sua accidentale caduta su di un corso d'acqua potrebbe aver suggerito la possibilità di utilizzare l'evento casuale per uno specifico utilizzo.

Il tronco d'albero in orizzontale si comporta come una trave.

# Ponti e viadotti:

## CONOSCENZA SPECIFICA



L'uomo però ha anche utilizzato altri due oggetti per scavalcare un ostacolo: l'arco e la fune, talvolta da soli ma più spesso associati ad un elemento prevalentemente orizzontale o configurato in maniera da rendere il transito agevole sia per il pedone che per un veicolo da trasporto.



# Ponti e viadotti:

CONOSCENZA SPECIFICA



Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti



# Ponti e viadotti:

## CONOSCENZA SPECIFICA



Abbiamo così individuato i tre oggetti che costituiscono gli elementi del costruire:

- la fune
- la trave
- l'arco

Il primo a curvatura negativa, l'ultimo a curvatura positiva e la trave a curvatura nulla.



# Ponti e viadotti:

## CONOSCENZA SPECIFICA

**Trave:** comportamento flesso-tagliante, capacità di resistenza a trazione ed a compressione, meccanismo resistente a taglio, schema statico piuttosto complesso

**Arco:** configurazione della direttrice, prevalenti sollecitazioni normali, uso della pietra, spinte, geometria dell'estradosso per accogliere il traffico, uso di sostegni provvisori, stabilità con chiusura concio di chiave, tipologia dominante per millenni.

# Ponti e viadotti:

## CONOSCENZA SPECIFICA

La disponibilità del ferro nelle costruzioni non coincide immediatamente con la messa a punto di innovative forme strutturali: la configurazione dei primi ponti metallici rimane l'arco.

**La fune:** è la materializzazione dell' *elemento resistente a trazione*: il suo uso nelle costruzioni dei ponti è strettamente connesso alla realizzazione di funi composte da fili in acciaio con elevata resistenza (già nel 1834 si disponeva di fili con resistenza di  $55 \text{ kg/mm}^2$ ).

# Ponti e viadotti:

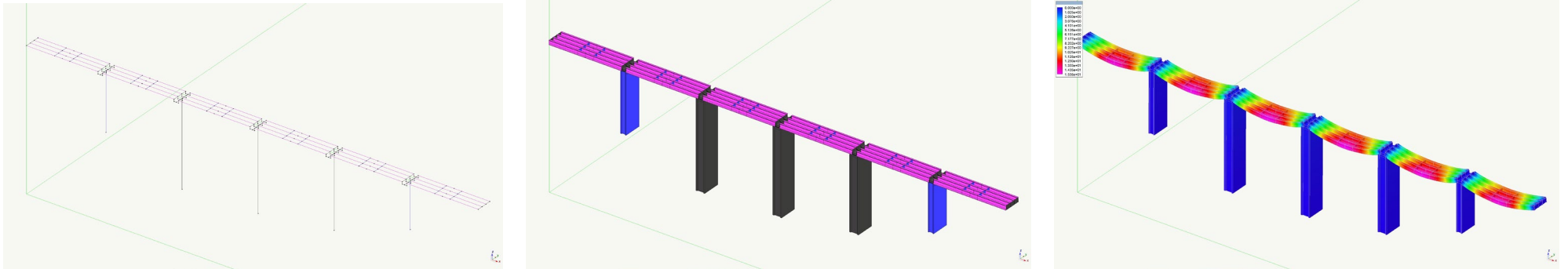
## CONOSCENZA SPECIFICA



Con questi tre oggetti elementari, da soli o combinati si possono realizzare tutte le tipologie di ponti comprendendo per estensione come caso limite quelli in cui la fune diventa uno strallo, assimilabile ad un tirante, ma che sotto l'azione del peso proprio non è un pendolo, perché non è trascurabile la sua curvatura.

# Ponti e viadotti:

## CONOSCENZA SPECIFICA



Da questo punto in poi interviene l'analisi strutturale in cui **proviamo a definire un modello** con cui interpretare il funzionamento di questi tre oggetti e stabilire le condizioni che ne consentono l'uso in sicurezza: la moderna scienza delle costruzioni e tecnica delle costruzioni che hanno come obiettivo la concreta realizzazione delle opere.



# Le strutture esistenti:

## Concezione dell'opera ed il progetto originario

Schema strutturale e vincoli al contorno

Azioni sulla struttura e modalità applicative

Caratteristiche meccaniche dei materiali

## Lo stato di degrado

Le cause che inducono il degrado e la loro evoluzione

Le conseguenze del degrado strutturale.

- Caratteristiche meccaniche dei materiali degradati
- Alterazioni geometriche degli elementi degradati



# Schema strutturale e vincoli al contorno:

## Analisi storico critica (par. 8.5.1 NTC)

- Acquisizione della documentazione tecnica relativa al progetto originario

- Acquisizione della documentazione tecnica di eventuali interventi successivi

- Correlazioni e studi sulla evoluzione della geometria strutturale

## Livelli di Conoscenza e Fattori di Confidenza (par. 8.5.4 NTC)

- Il rilievo geometrico-strutturale per individuare l'organismo resistente della costruzione

- Caratteristiche meccaniche dei materiali allo stato delle indagini ed individuazione del tipo di degrado che li ha interessati

- Riscontri tra la documentazione tecnica acquisita e le condizioni dello stato di fatto dell'opera.



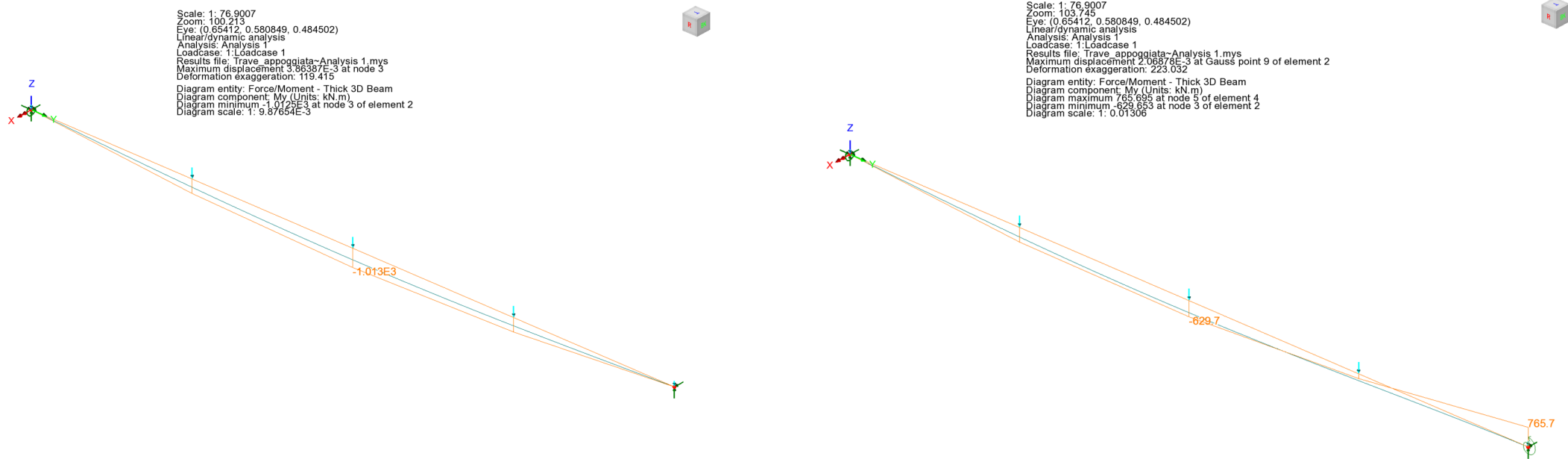
# Schema strutturale e vincoli al contorno:

Come i vincoli possono modificarsi per il degrado e degenerare:



# Schema strutturale e vincoli al contorno:

Come cambia lo stato di sollecitazione in una trave in semplice appoggio quando cambiano le condizioni al contorno:



Il degrado dei vincoli determina condizioni al contorno diverse ed induce una redistribuzione delle sollecitazioni negli elementi strutturali. Ciò comporta l'inversione delle sollecitazioni a parità di azione



# Schema strutturale e vincoli al contorno:

## Analisi storico critica (par. 8.5.1 NTC)

- Acquisizione della documentazione tecnica relativa al progetto originario

- Acquisizione della documentazione tecnica di eventuali interventi successivi

- Correlazioni e studi sulla evoluzione della geometria strutturale

## Livelli di Conoscenza e Fattori di Confidenza (par. 8.5.4 NTC)

- Il rilievo geometrico-strutturale per individuare l'organismo resistente della costruzione

- Caratteristiche meccaniche dei materiali allo stato delle indagini ed individuazione del tipo di degrado che li ha interessati

- Riscontri tra la documentazione tecnica acquisita e le condizioni dello stato di fatto dell'opera.

# Ponti e viadotti:

## Analisi Strutturali adeguate e Strumenti di calcolo

Difficoltà di calcolo in stretta relazione con la luce da superare

ANALISI LINEARE



**Principio di sovrapposizione degli effetti** e assume che la struttura risponda proporzionalmente ai carichi applicati. Le ipotesi fondamentali sono:

- **Comportamento del materiale:** relazione  $\sigma$ - $\varepsilon$  lineare elastica (legge di Hooke), senza plasticizzazione.
- **Geometria:** piccoli spostamenti e piccole deformazioni — la geometria deformata coincide con quella iniziale.
- **Vincoli:** condizioni al contorno invarianti (es. contatto sempre attivo).

# Ponti e viadotti:

## Analisi Strutturali adeguate e Strumenti di calcolo

Difficoltà di calcolo in stretta relazione con la luce da superare

ANALISI NON LINEARE



### 1. Non linearità materiale (NLM)

- Plasticizzazione di acciaio o calcestruzzo
- Fessurazione del calcestruzzo armato
- Comportamento di cavi e appoggi elastomerici
- Usata nell'analisi pushover e nelle verifiche a collasso

### 2. Non linearità geometrica (NLG)

- Effetti del secondo ordine ( $P-\Delta$ ,  $P-\delta$ )
- Fondamentale nei **ponti sospesi e strallati** con grandi spostamenti
- Buckling di elementi compressi (pile snelle)
- La rigidezza dipende dallo stato tensionale (effetto tirante/puntone)

### 3. Non linearità dei contatti e dei vincoli

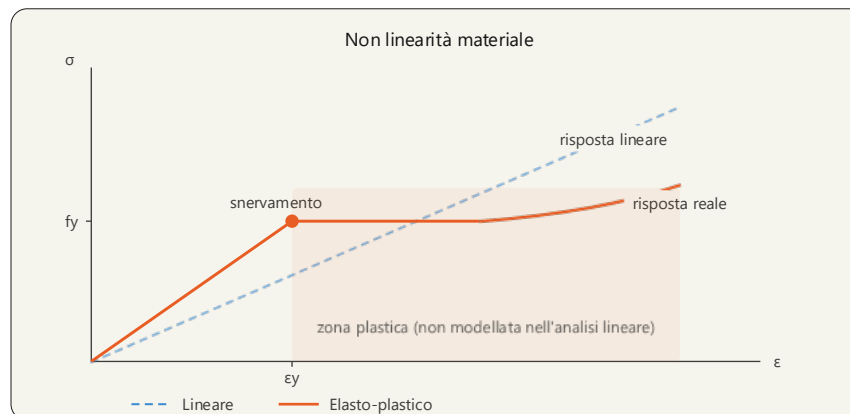
- Appoggi unilaterali (sollevamento dell'impalcato)
- Dispositivi sismici (dissipatori, isolatori)
- Attrito nei giunti

# Ponti e viadotti:

## Analisi Strutturali adeguate e Strumenti di calcolo

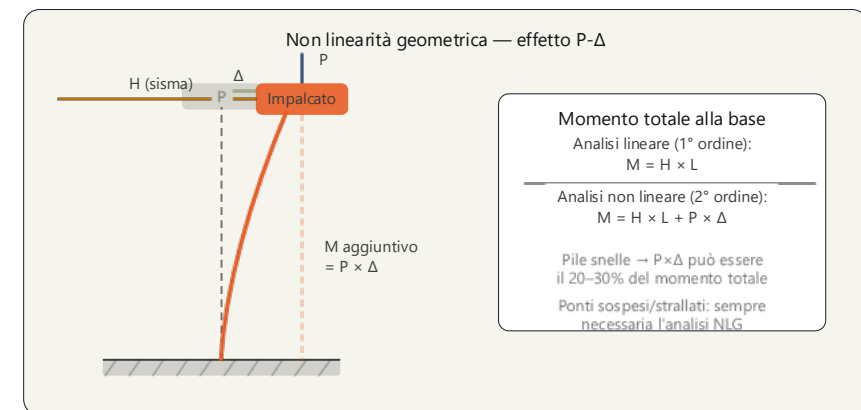
### Non linearità materiale (NLM)

- Plasticizzazione di acciaio o calcestruzzo
- Fessurazione del calcestruzzo armato
- Comportamento di cavi e appoggi elastomerici
- Usata nell'analisi pushover e nelle verifiche a collasso



### Non linearità geometrica (NLG)

- Effetti del secondo ordine ( $P-\Delta$ ,  $P-\delta$ )
- Fondamentale nei **ponti sospesi e strallati** con grandi spostamenti
- Buckling di elementi compressi (pile snelle)
- La rigidità dipende dallo stato tensionale (effetto tirante/puntone)



# Ponti e viadotti:

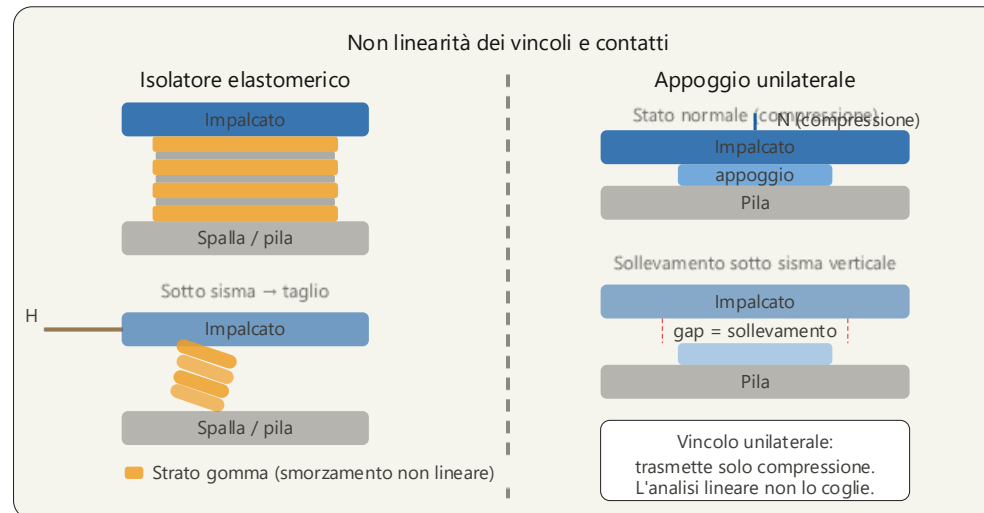
## Analisi Strutturali adeguate e Strumenti di calcolo

### Non linearità dei contatti e dei vincoli

Appoggi unilaterali (sollevamento dell'impalcato)

Dispositivi sismici (dissipatori, isolatori)

Attrito nei giunti



A sinistra, l'isolatore elastomerico lavora a taglio con una rigidezza che dipende dallo spostamento (loop isteretici non lineari).

A destra, l'appoggio unilaterale trasmette solo compressione: sotto sisma verticale l'impalcato si solleva, il vincolo si apre e le distribuzioni di reazione cambiano completamente — comportamento impossibile da cogliere con un'analisi lineare.



# Ponti e viadotti:

## Analisi Strutturali adeguate e Strumenti di calcolo

Aspetto	Lineare	Non Lineare
Legge $\sigma$ - $\epsilon$	Elastica lineare	Elasto-plastica / danno
Geometria	Piccoli spostamenti	Grandi spostamenti ammessi
Sovrapposizione effetti	✓ Valida	✗ Non valida
Duttilità e plasticità	Non considerata	Modellata esplicitamente
Verifica sismica	Analisi modale/spettrale	Pushover, Time History
Costo computazionale	Basso	Alto
Applicazione tipica	SLE, ponti a travata rigidi	SLU, ponti isolati, sospesi, strallati

# Schema strutturale e vincoli al contorno:

Come cambia lo stato di sollecitazione in una trave in semplice appoggio quando cambiano le condizioni al contorno:



Il degrado dei vincoli determina condizioni al contorno diverse ed induce una redistribuzione delle sollecitazioni negli elementi strutturali. Ciò comporta l'inversione delle sollecitazioni a parità di azione

# Schema strutturale e vincoli al contorno:

Come cambia lo stato di sollecitazione in una trave in semplice appoggio quando cambiano le condizioni al contorno:



Il degrado dei vincoli determina condizioni al contorno diverse ed induce una redistribuzione delle sollecitazioni negli elementi strutturali. Ciò comporta l'inversione delle sollecitazioni a parità di azione

# Come costruire un modello strutturale

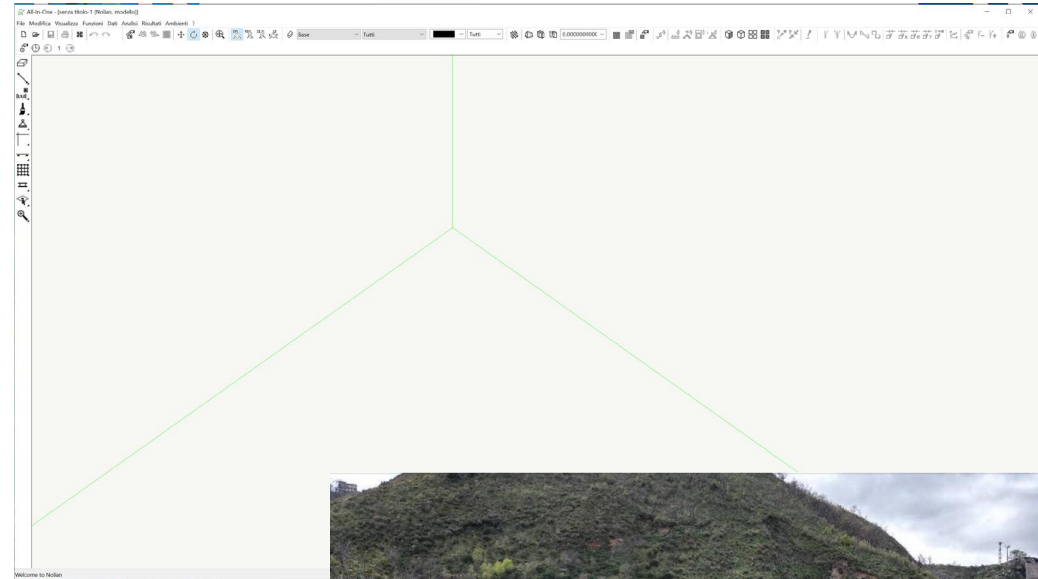
GEOMETRIE

VINCOLI INTERNI

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

AZIONI SOLLECITANTI

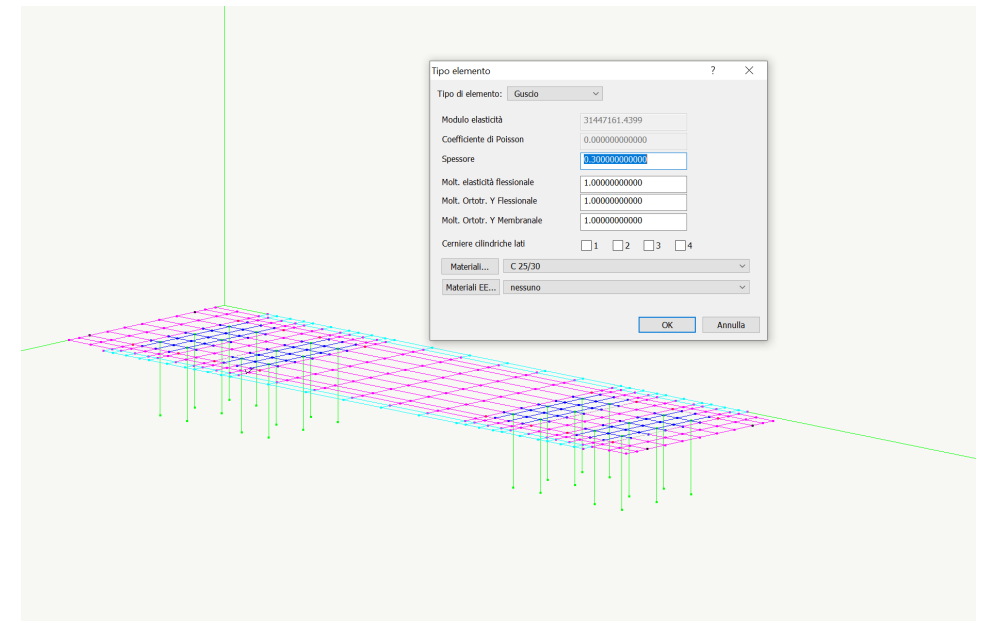
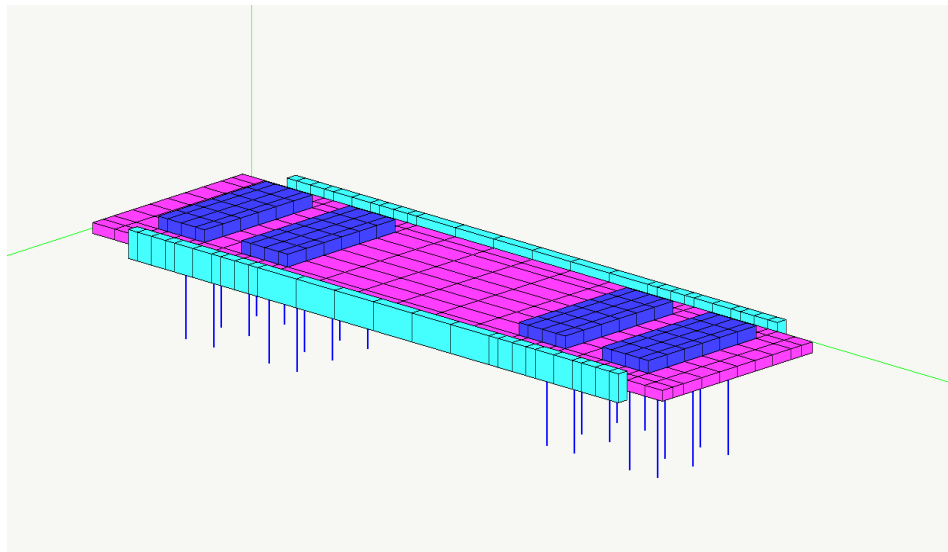
INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELL'ANALISI





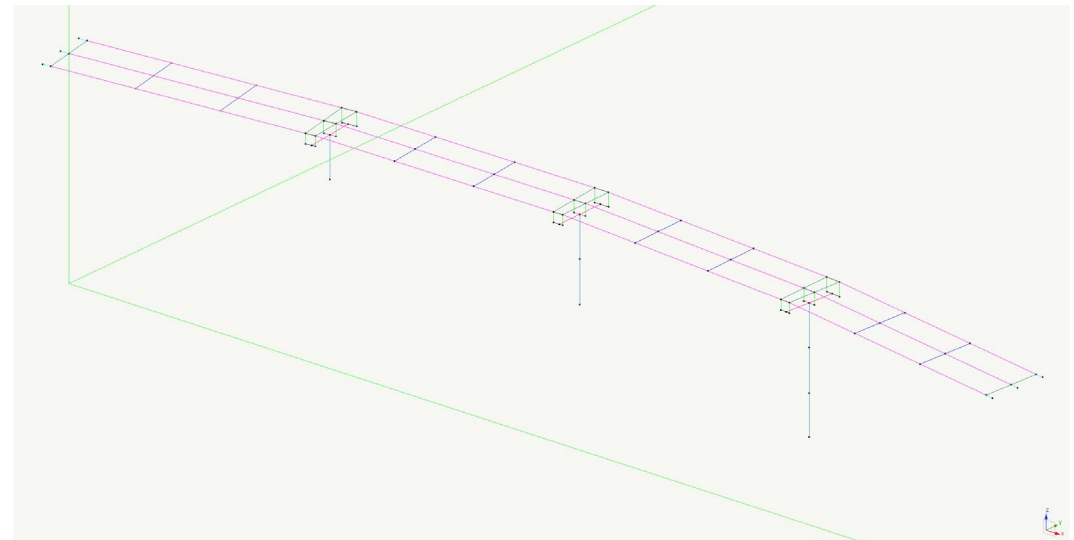
# Schemi strutturali o modelli?

Grazie alle potenzialità grafiche dei software si confonde sempre più la modellazione strutturale e quindi la costruzione di schemi strutturali che rappresentano le caratteristiche fisiche, meccaniche e cinematiche delle struttura con le relative condizioni al contorno con rappresentazioni grafiche della struttura.



## Schemi strutturali o modelli?

Grazie alle potenzialità grafiche dei software si confonde sempre più la modellazione strutturale e quindi la costruzione di schemi strutturali che rappresentano le caratteristiche fisiche, meccaniche e cinematiche delle struttura con le relative condizioni al contorno con rappresentazioni grafiche della struttura.



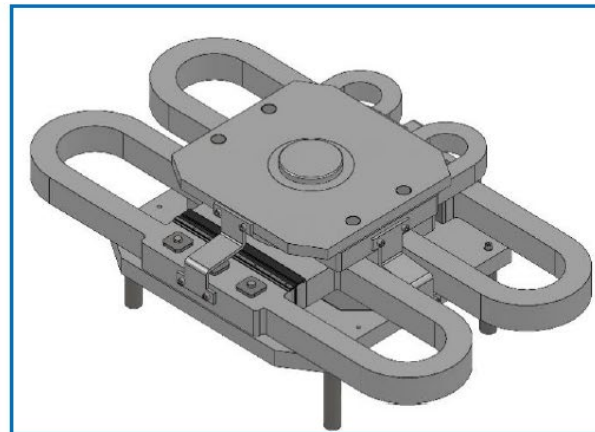
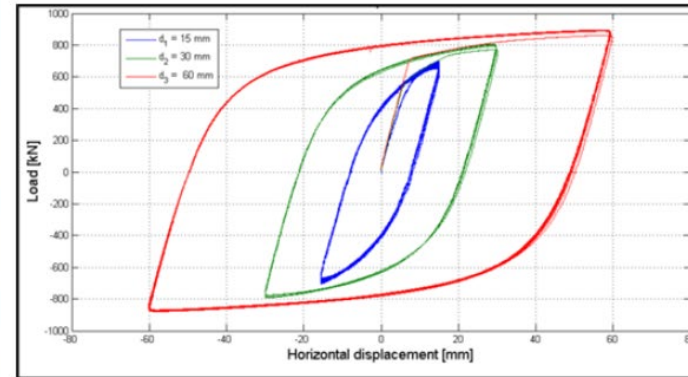


## Schemi strutturali o modelli?





## Schemi strutturali o modelli?



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**

# Come costruire un modello strutturale

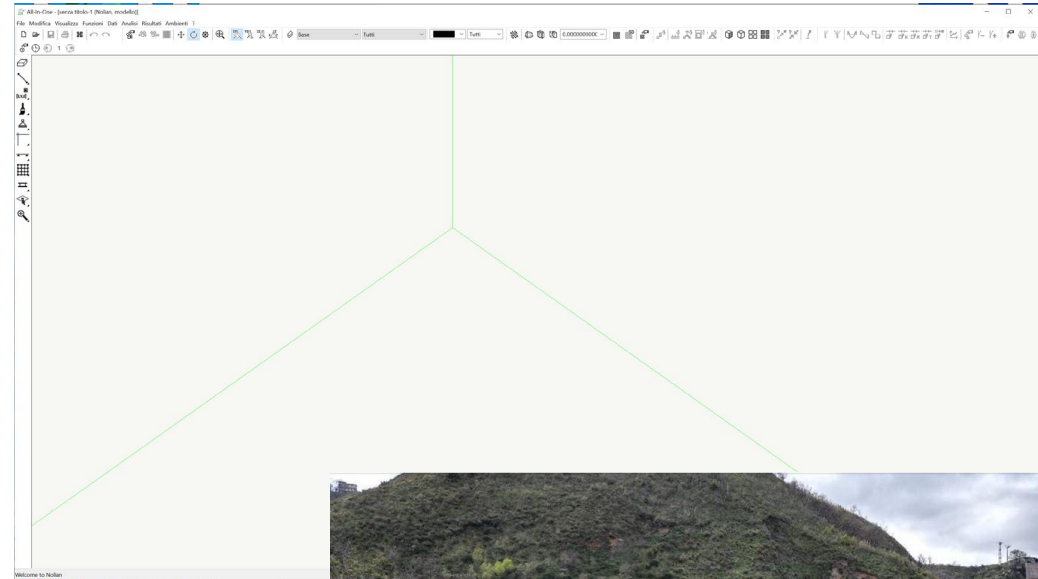
GEOMETRIE

VINCOLI INTERNI

CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

AZIONI SOLLECITANTI

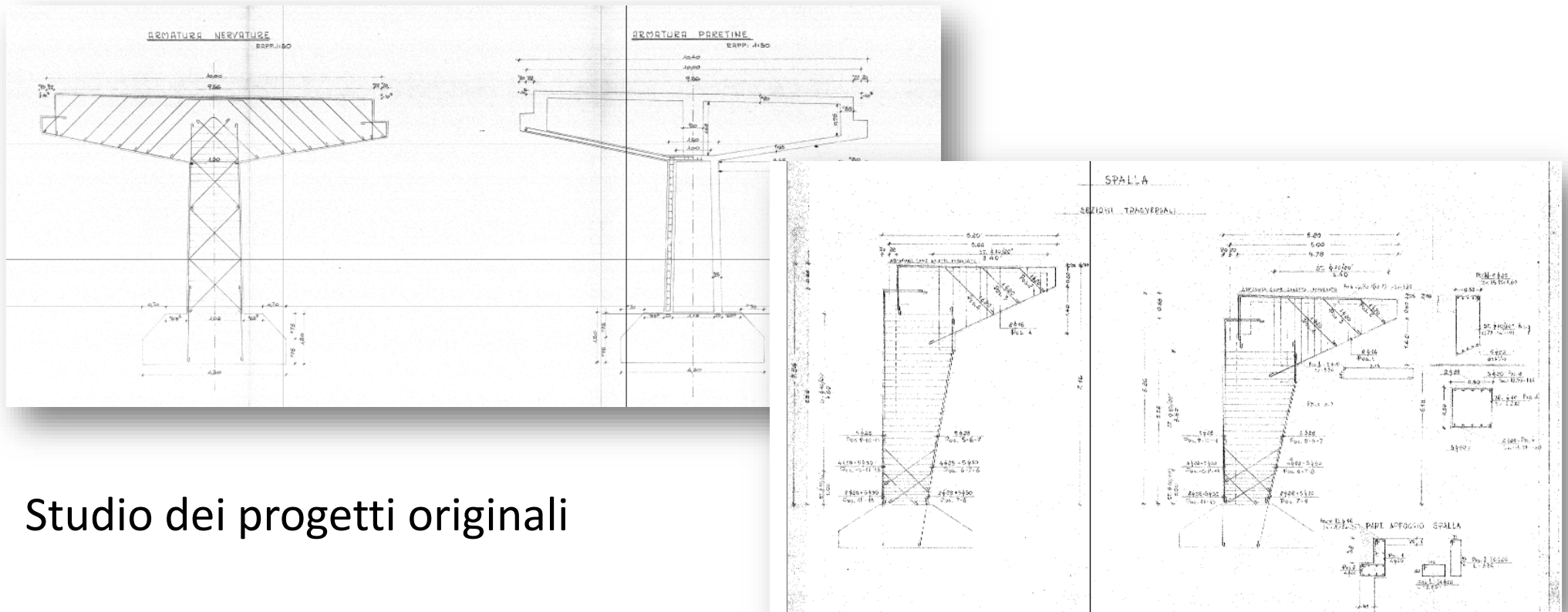
INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELL'ANALISI





# Le strutture esistenti:

## Analisi dello stato di fatto e livello di conoscenza



# Studio dei progetti originali

## Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti



# Le strutture esistenti:

## Normativa di riferimento

Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17.01.2018

Circolare applicativa C.S.LL.PP. n. 7 del 21.01.2019

Istruzioni CNR

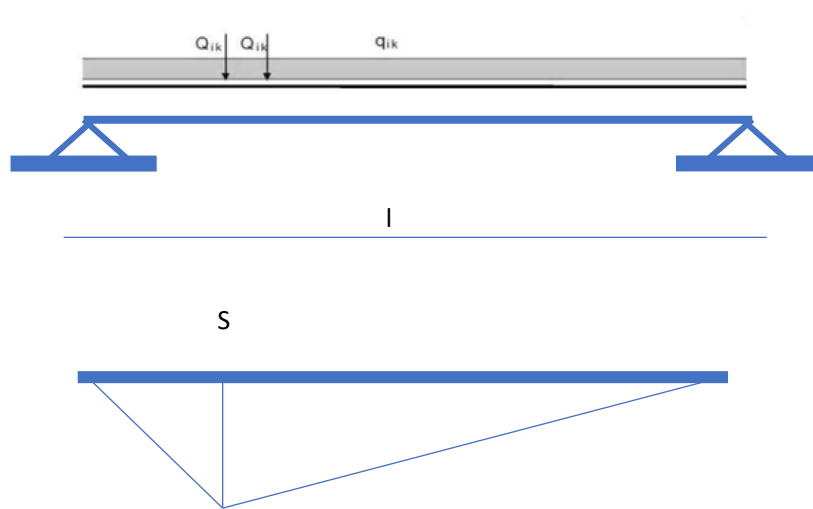
Norme UNI

FIP - CEB

Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera

# Azioni variabili da traffico sulla struttura:

La teoria dei carichi viaggianti e le linee di influenza



Il carico variabile da traffico è un carico «viaggiante» lungo la trave ed induce in una determinata sezione 'S' sollecitazioni variabili in funzione della posizione del carico.

Quindi il diagramma del momento nella sezione S quando il carico viaggia lungo la trave è riportato a sinistra.

La teoria delle linee di influenza ci permette di affrontare e risolvere agevolmente le problematiche inerenti i carichi viaggianti sull'impalcato, sia in senso longitudinale che in senso trasversale, individuando le posizioni più sfavorevoli dei carichi e quindi le sezioni più sollecitate.

# Azioni sulla struttura:

Azioni variabili da traffico par. 5.1.1.3

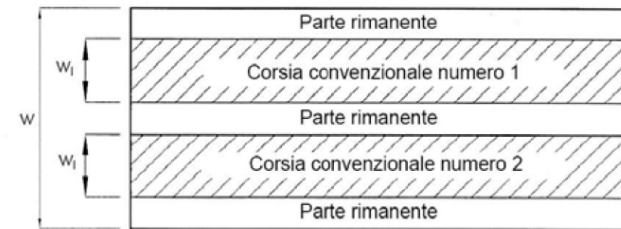


Fig. 5.1.1 - Esempio di numerazione delle corsie

Tab. 5.1.I - Numero e larghezza delle corsie

Larghezza della superficie carrabile "w"	Numero di corsie convenzionali	Larghezza di una corsia convenzionale [m]	Larghezza della zona rimanente [m]
$w < 5,40 \text{ m}$	$n_l = 1$	3,00	$(w - 3,00)$
$5,4 \leq w < 6,0 \text{ m}$	$n_l = 2$	$w/2$	0
$6,0 \text{ m} \leq w$	$n_l = \text{Int}(w/3)$	3,00	$w - (3,00 \times n_l)$

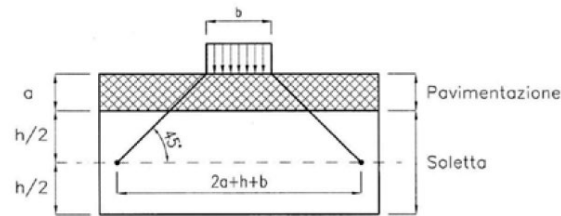
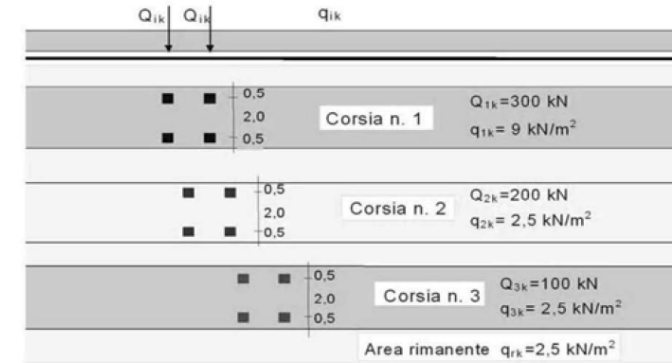
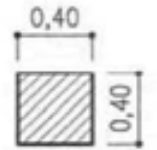


Fig. 5.1.3.a - Diffusione dei carichi concentrati nelle solette

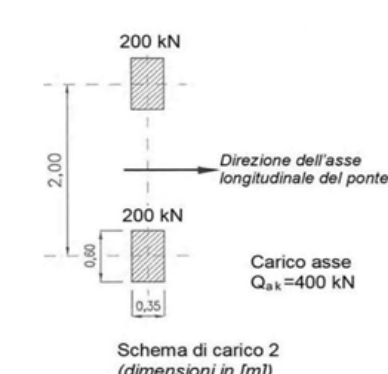
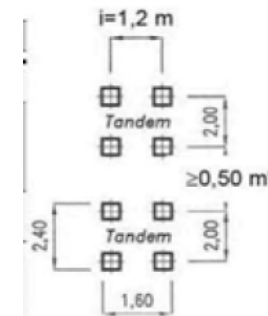


Schema di carico 1 (dimensioni in [m])

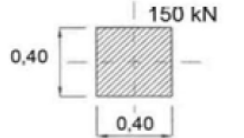


\*per  $w_l \leq 2,90 \text{ m}$

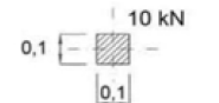
Carico tandem  $2 Q_{ik}$



Schema di carico 2 (dimensioni in [m])



Schema di carico 3 (dimensioni in [m])

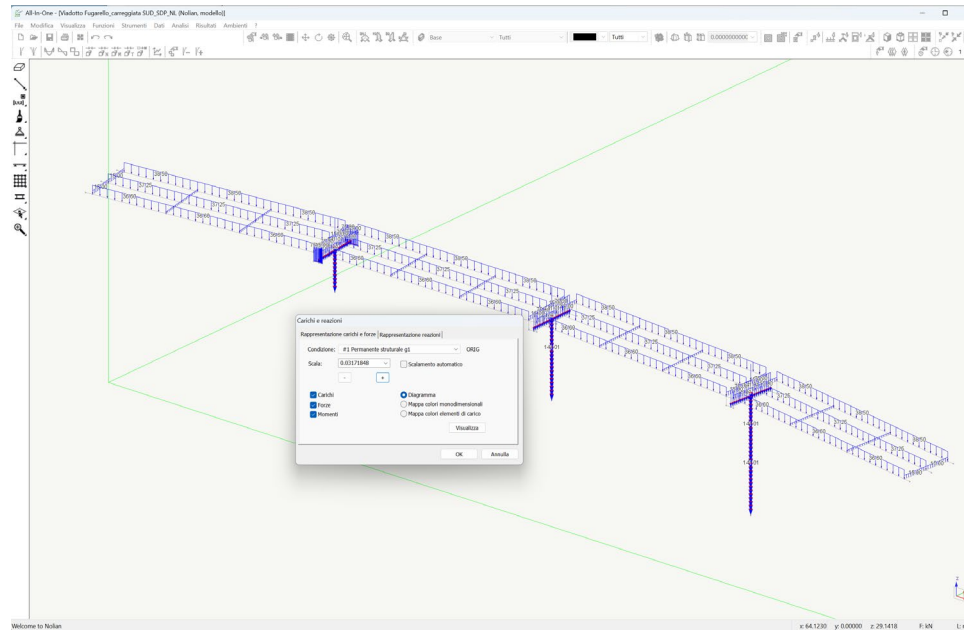


Schema di carico 4 (dimensioni in [m])

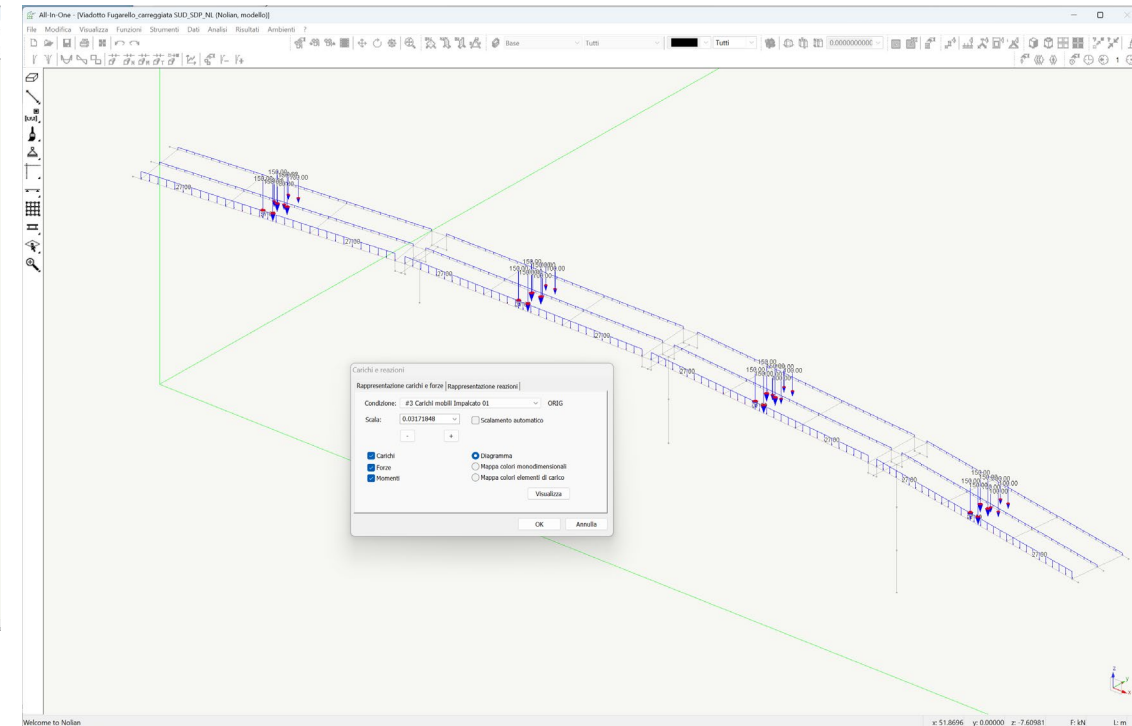


# Azioni sulla struttura:

Azioni variabili da traffico par. 5.1.1.3



Azioni variabili da traffico par. 5.1.1.3





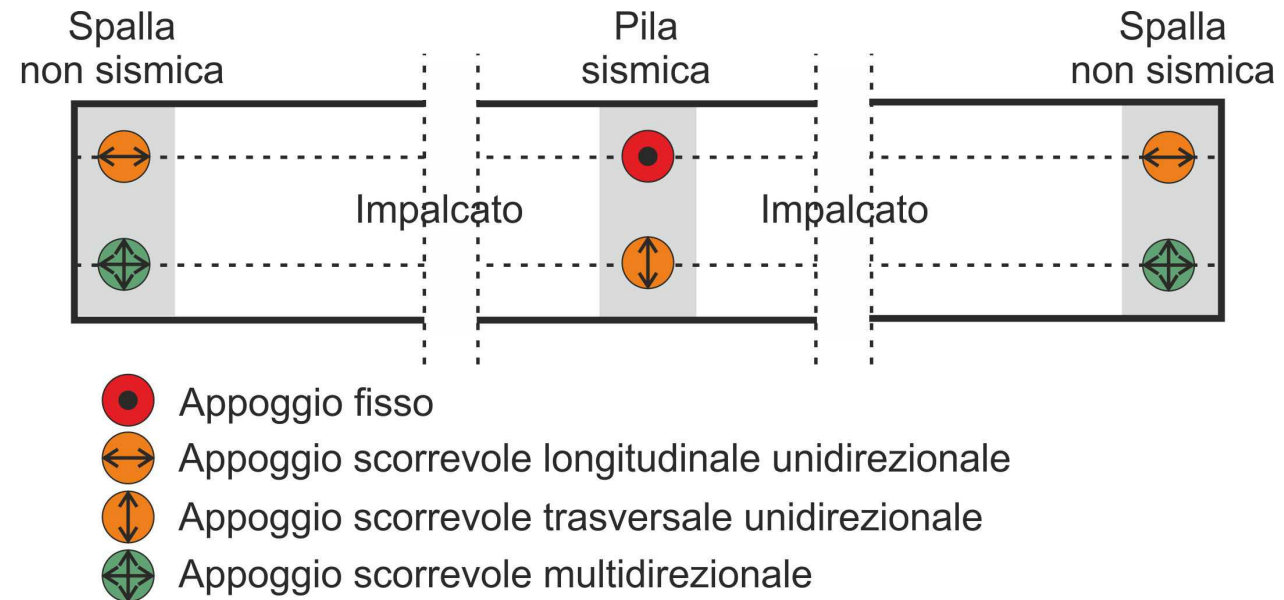
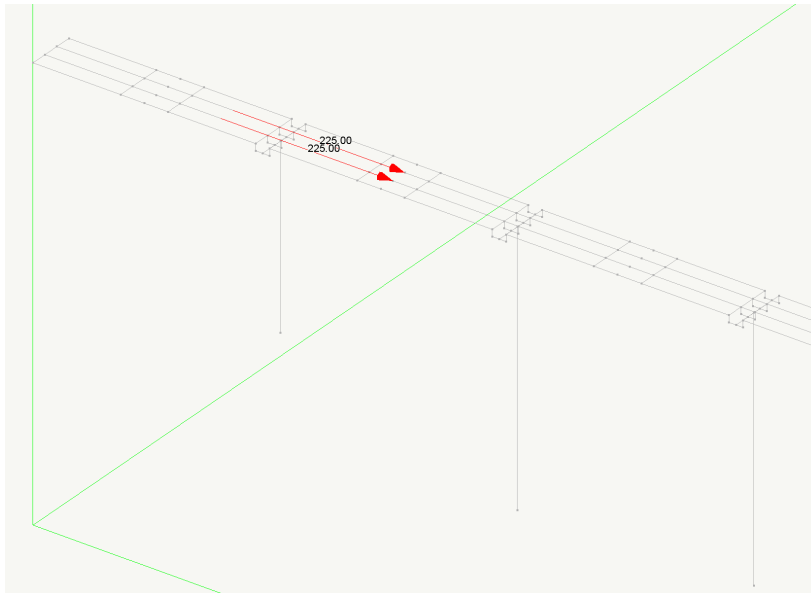
# Azioni sulla struttura:

Azioni variabili da forze di frenatura par. 5.1.3.5

La forza di frenamento/accelerazione  $q_3$  è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1 ed è uguale a:

$$180 \text{ kN} < q_3 = 0,6 (2Q_{1k}) + 0,10q_{1k} \cdot w_1 \cdot L < 900 \text{ kN} [5.1.4]$$

essendo  $w_1$  la larghezza della corsia e  $L$  la lunghezza della zona caricata. La forza, applicata a livello della pavimentazione ed agente lungo l'asse della corsia, è assunta uniformemente distribuita sulla lunghezza caricata e include gli effetti di interazione.



# Azioni sulla struttura:

Azioni variabili da azione del vento par. 5.1.3.7

Per le azioni da neve e vento vale quanto specificato al Capitolo 3.

L'azione del vento può essere convenzionalmente assimilata ad un **sistema di carichi statici**, la cui **componente principale è orizzontale e diretta ortogonalmente all'asse del ponte** e/o diretta nelle direzioni più sfavorevoli per alcuni dei suoi elementi (ad es. le pile). **Tale componente principale si considera agente sulla proiezione nel piano verticale delle superfici investite, ivi compresi i parapetti, le barriere di sicurezza stradale e le barriere acustiche, ove previsti;** al riguardo può farsi utile riferimento a documenti di comprovata validità di cui al Capitolo 12.

La superficie dei carichi transitanti sul ponte esposta al vento si assimila ad una parete rettangolare continua dell'altezza di 3 m a partire dal piano stradale. **L'azione del vento si può valutare come sopra specificato nei casi in cui essa non possa destare fenomeni dinamici nelle strutture del ponte** o quando l'orografia non possa dar luogo ad azioni anomale del vento.

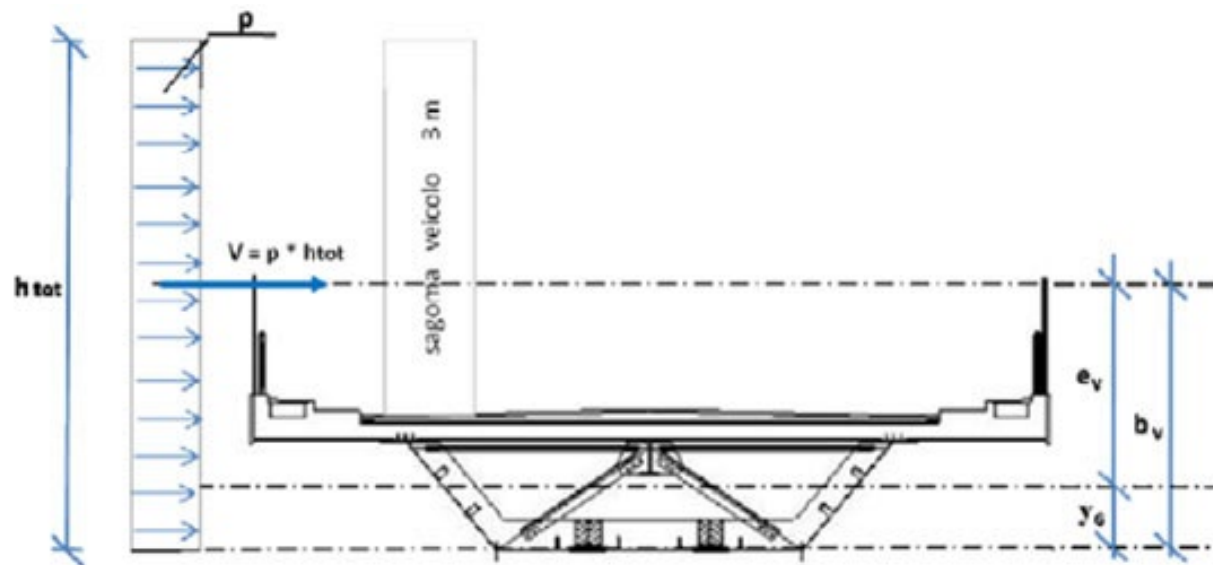
Per i ponti particolarmente sensibili all'eccitazione dinamica del vento si deve procedere alla valutazione della risposta strutturale in galleria del vento e, se necessario, alla formulazione di un modello matematico dell'azione del vento dedotto da misure sperimentali.

Il carico di neve si considera non concomitante con i carichi da traffico, salvo che per ponti coperti.

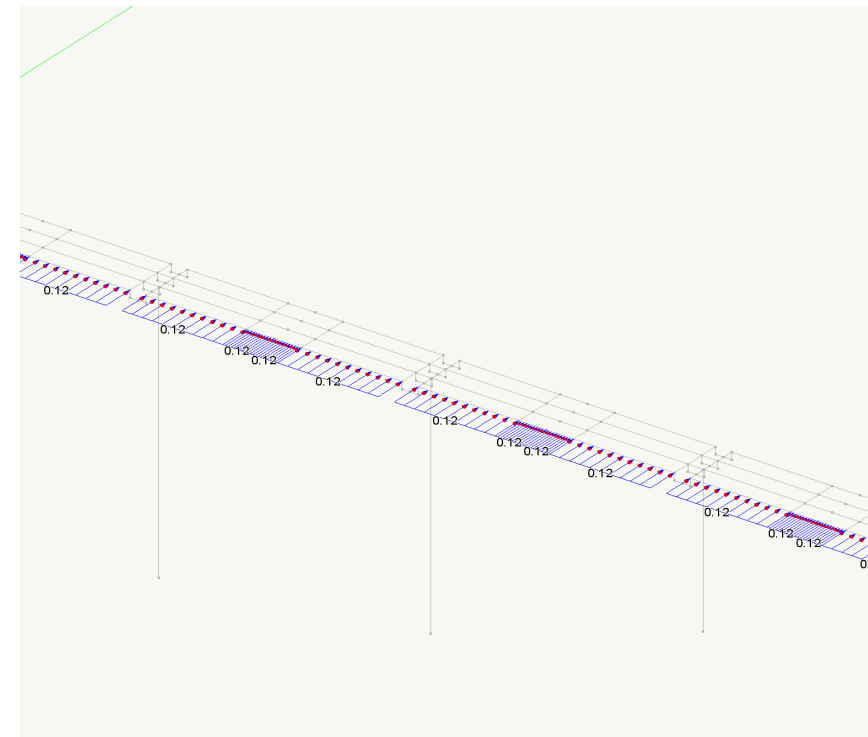
# Azioni sulla struttura:

Azioni variabili da azione del vento par. 5.1.3.7

Graficizzazione dell'azione del vento su impalcato tipo



Applicazione del carico nel modello F.E.M.



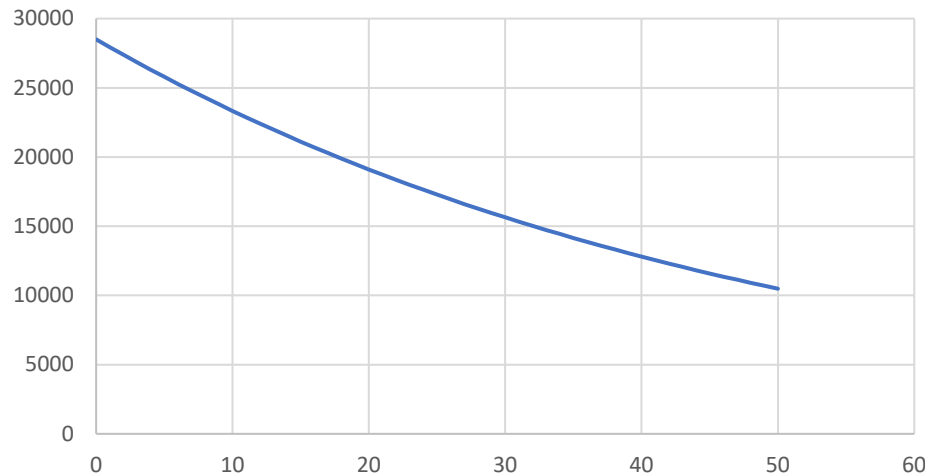
# Caratteristiche meccaniche dei materiali:

## I modelli di degrado dei materiali

Resistenza caratteristica  $R_{ck}(t) = E_c(t)\varepsilon$  Quanto complessa possa essere la funzione  $E(t)$  è da definire. Così anche aver supposto  $\varepsilon$  indipendente da  $t$  è una semplificazione

Definizione del degrado  $E_c(t) = E_c(t_0) * e^{(-\lambda*t)}$  Formulazione matematica del degrado  
 $\lambda$  : coefficiente di degrado

Degrado del modulo elastico del calcestruzzo



Questa è una delle condizioni significative per la resistenza strutturale



# I più comuni errori

## Errata formulazione dei modelli di calcolo

- Sopravvalutazione o sottovalutazione delle sollecitazioni

- Nella formulazione delle sezioni reagenti si trascura la variabile temporale

- Si trascura la scomposizione in strutture più semplici dell'opera, alterando le

- Condizioni al contorno (vincoli)

## Errato utilizzo dei software di calcolo

- Utilizzo scorretto dei modelli all'interno dei software

- Poca considerazione degli effettivi schemi statici

- Conoscenza delle tecniche di analisi insufficienti

# L'analisi strutturale e l'utilizzo del software

Metodologia progettuale finalizzata alla mitigazione degli errori

Riscontro geometrico nello stato di fatto e nello stato documentale storico

Indagini, ispezioni e prove per dare una piena conoscenza dell'opera LC3

Profonda conoscenza delle azioni a cui l'opera è stata e sarà sottoposta

Una progettazione attenta deve:

Interpretazioni della realtà con schemi strutturali corretti

Studio delle sollecitazioni indotte dai carichi esterni e scelta dei materiali

Conoscenza delle tecniche di posa in opera dei materiali scelti

Valutazione delle performances meccaniche e di durabilità

**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**

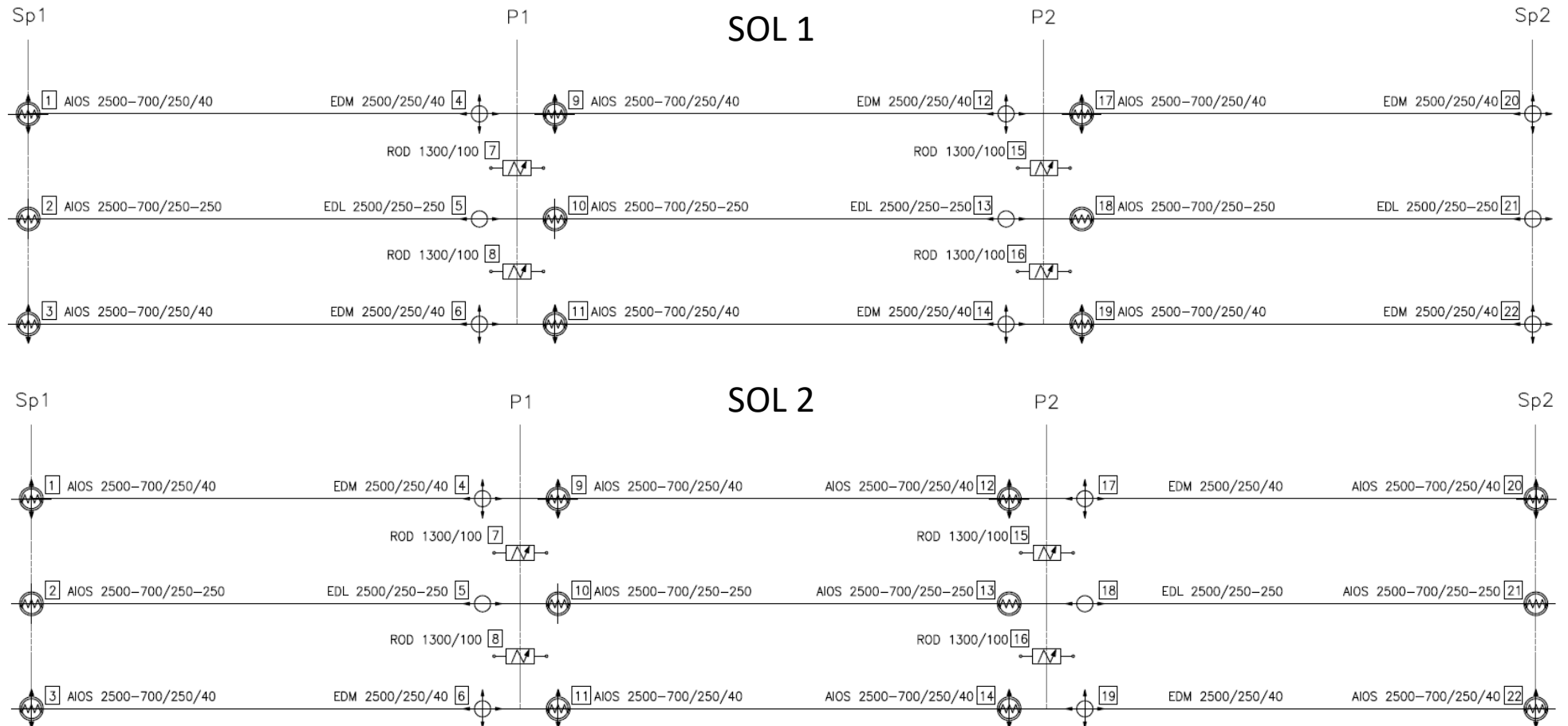
# Progetto strutturale ed analisi

Nella redazione di un progetto strutturale è quindi necessaria una competenza multidisciplinare per definire schemi strutturali (schemi statici) in grado di rappresentare la realtà fisica tenendo conto delle condizioni dello stato dei luoghi e relegando i fattori di incertezza (acquisizione della conoscenza) a livelli minimi tali da non pregiudicare la soluzione di calcolo.

La verifica di un progetto esecutivo, che per l'aspetto strutturale è richiesto al cap. 10.2.2 del D.M. del 17.01.2012 (Norme Tecniche per le Costruzioni), è fondamentale per cantierizzare l'opera ed effettuare una corretta programmazione dei lavori evitando di incepparsi su imprevisti in corso d'opera.

# Analisi non lineare di un viadotto

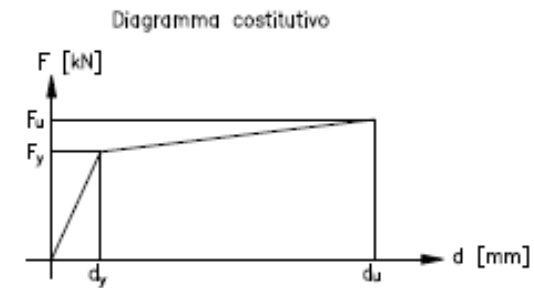
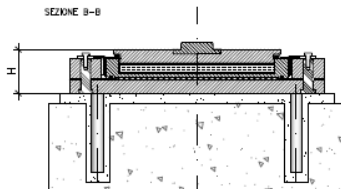
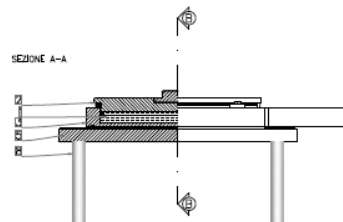
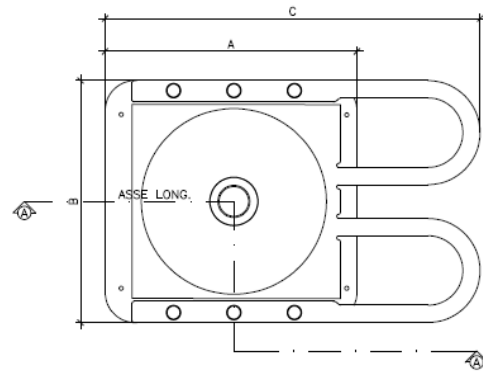
Il modello di calcolo:





# Analisi non lineare di un viadotto

Il modello di calcolo:



## CARATTERISTICHE DIMENSIONALI

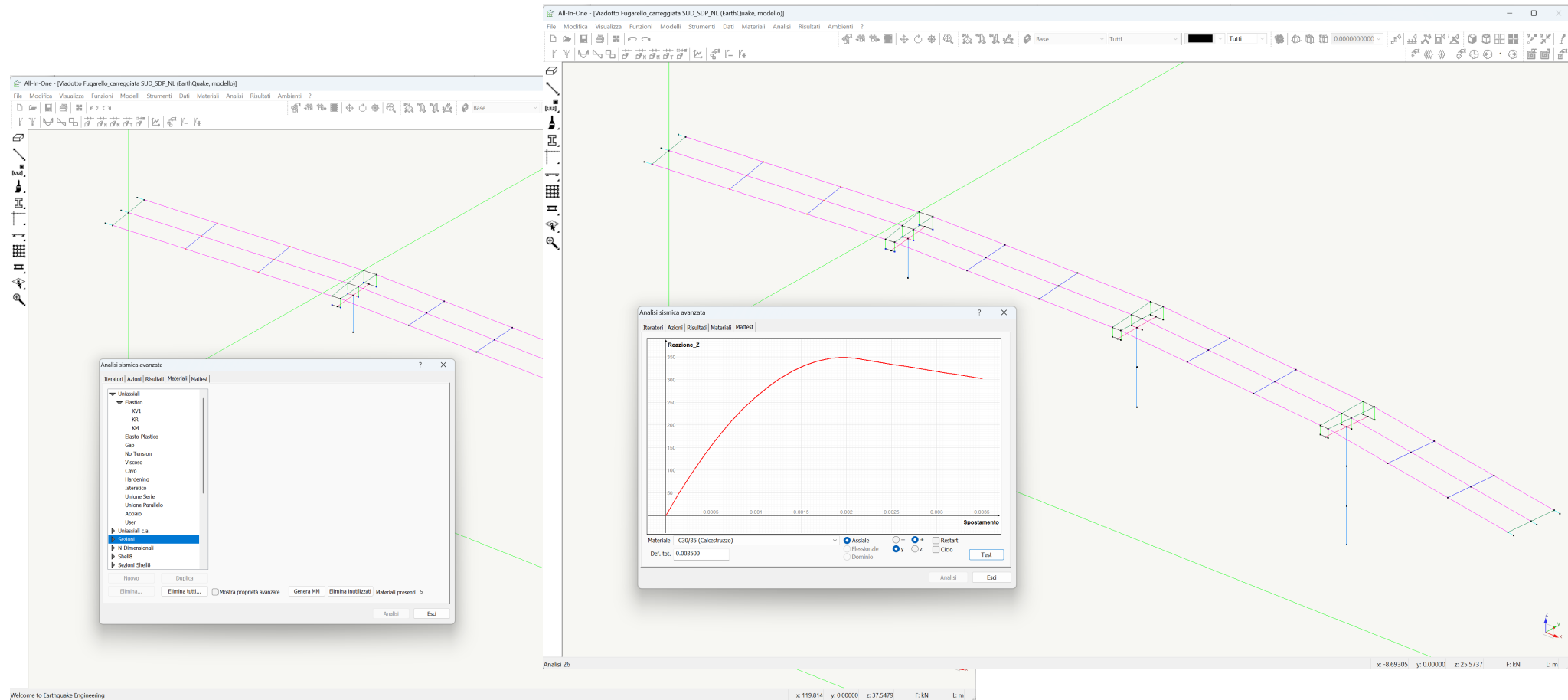
A [mm]	B [mm]	C [mm]	H [mm]
690	735	885	155

## CARATTERISTICHE PRESTAZIONALI

		ELASTOPLASTICO LONGITUDINALE					FORZA TRASVERSALE	
Codice	...	N [kN]	$F_y$ [kN]	$F_u$ [kN]	$d_y$ [mm]	$d_u$ [mm]	$F_y$ [kN]	Rot [rad]
		2500	725	900	$\pm 15$	$\pm 125$	900	$\pm 0.01$

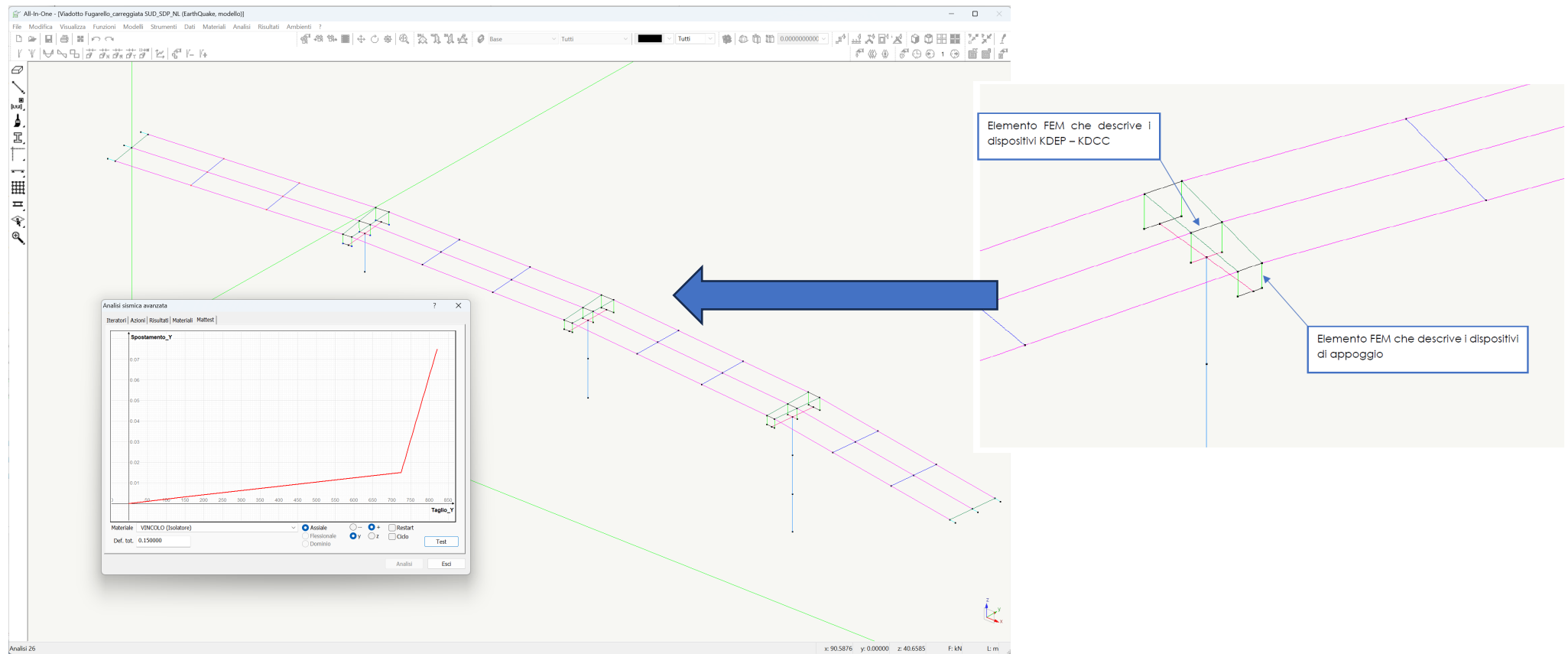
# Analisi non lineare di un viadotto

## Il modello di calcolo:



# Analisi non lineare di un viadotto

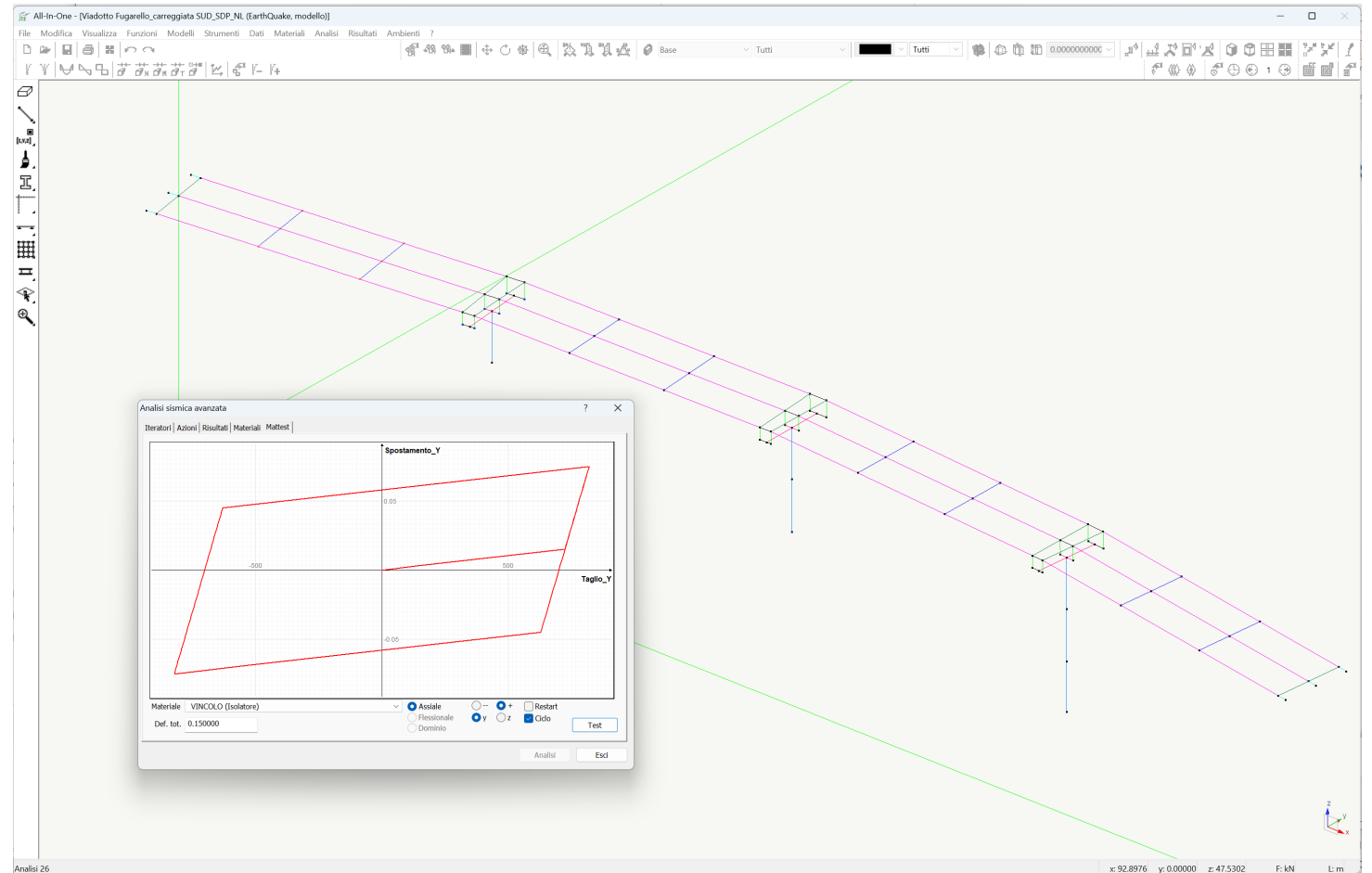
Il modello di calcolo:



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**

# Analisi non lineare di un viadotto

Il modello di calcolo:





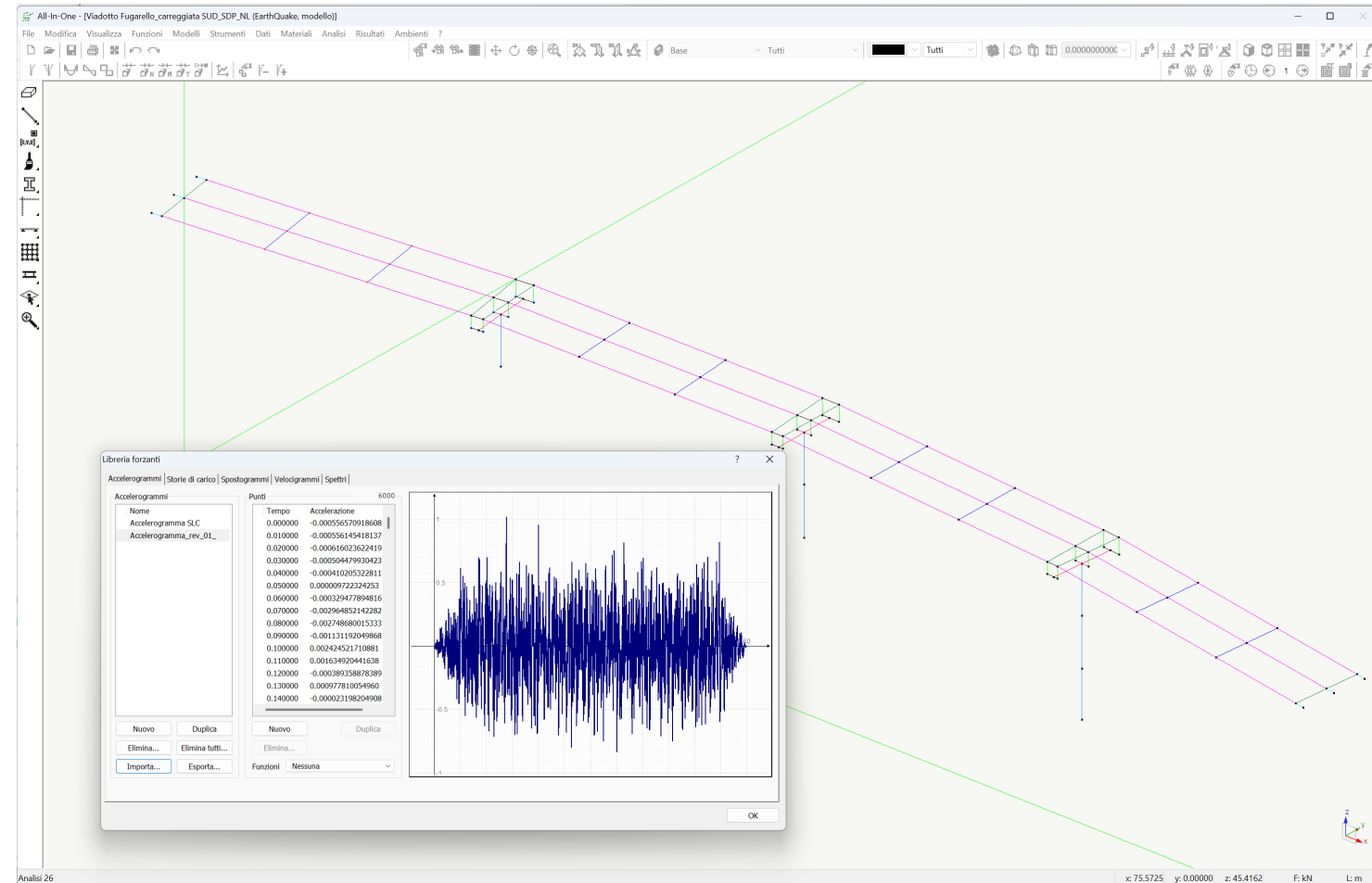
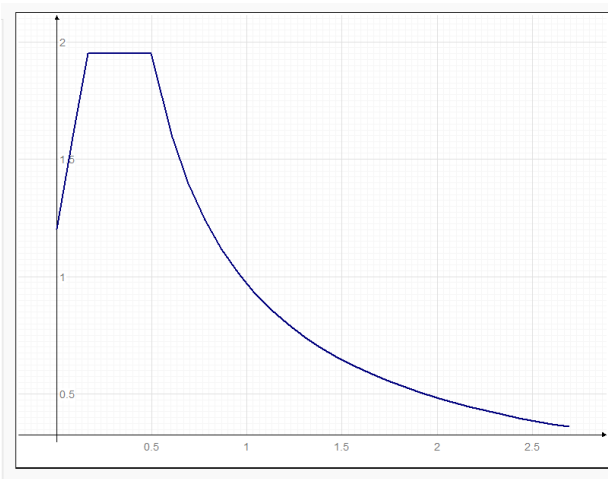
# Analisi non lineare di un viadotto

## Il modello di calcolo:

Accelerogrammi spettro compatibile

Generati dagli spettri di risposta

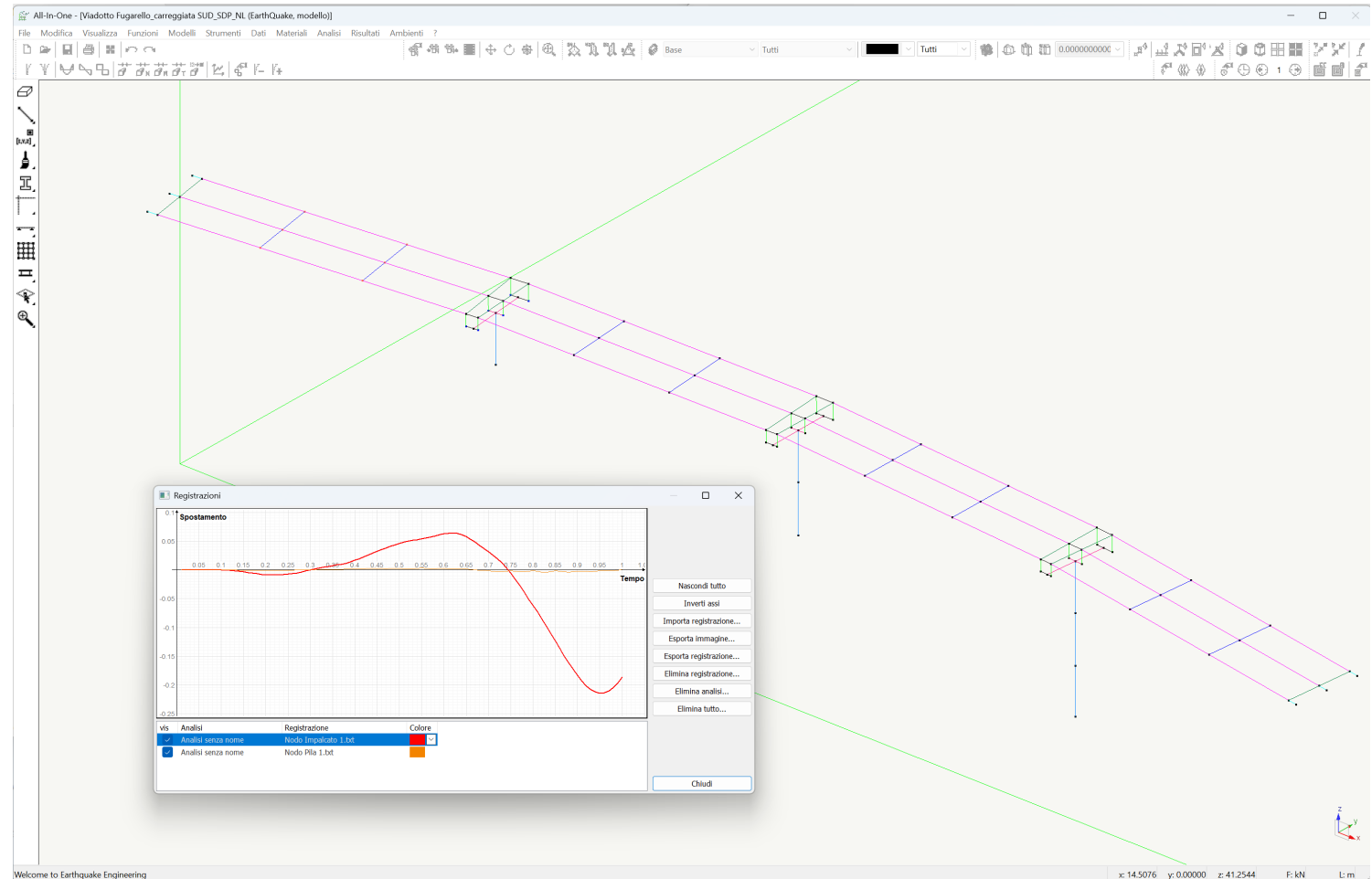
o dalle RSL importate.



# Analisi non lineare di un viadotto

Efficacia del sistema

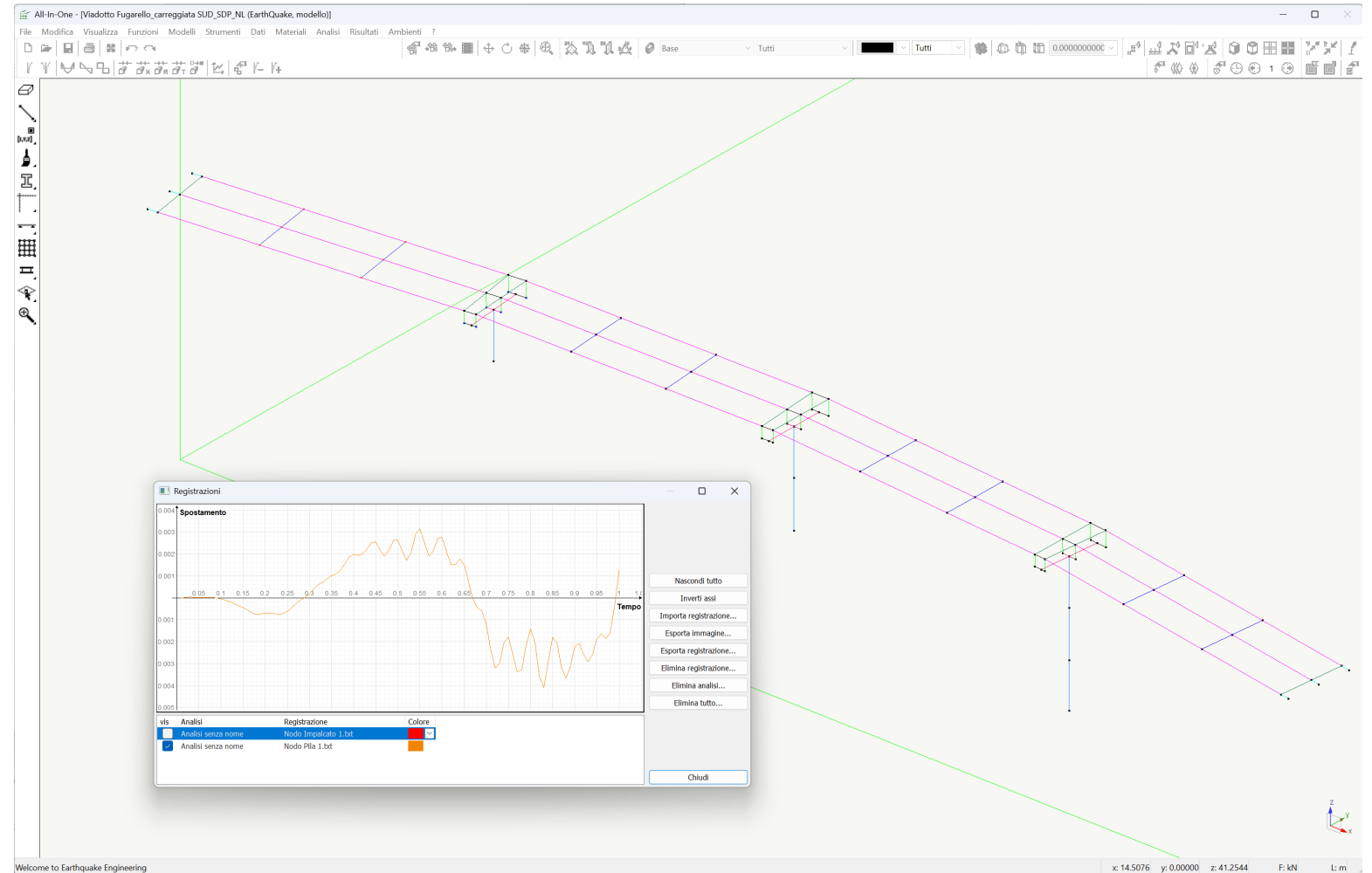
Su nodo impalcato



# Analisi non lineare di un viadotto

Efficacia del sistema

Su nodo in testa alla pila



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**

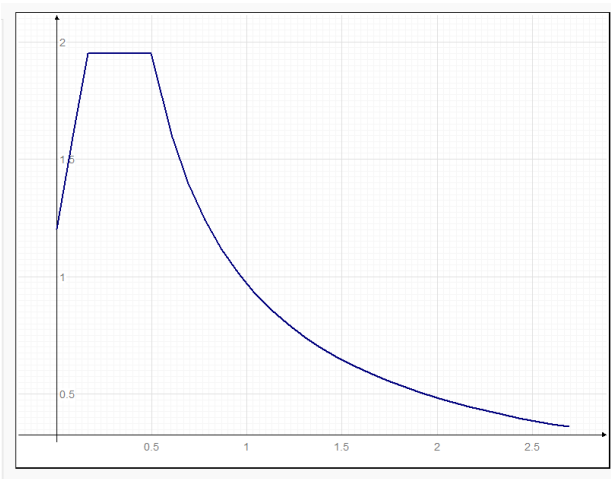
# Analisi non lineare di un viadotto

## Restituzione numerica:

Accelerogrammi spettro compatibile

Generati dagli spettri di risposta

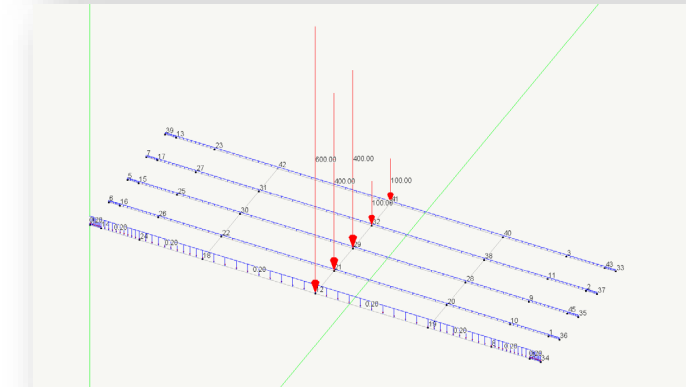
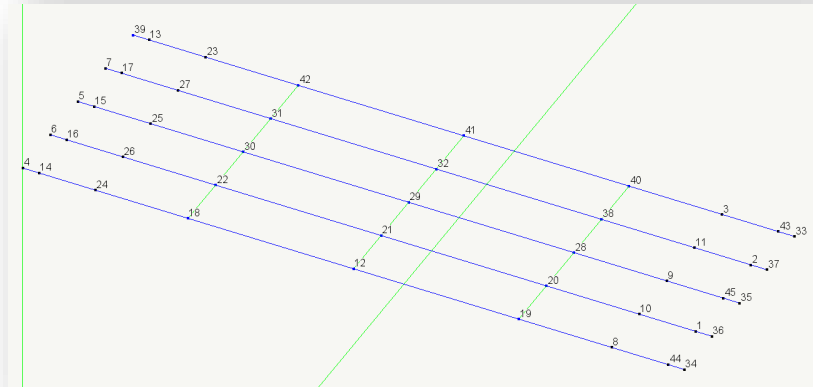
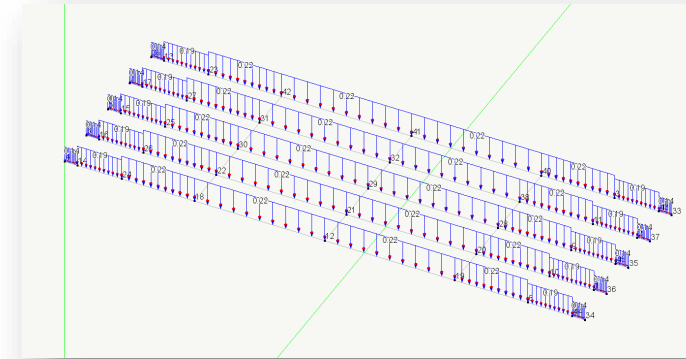
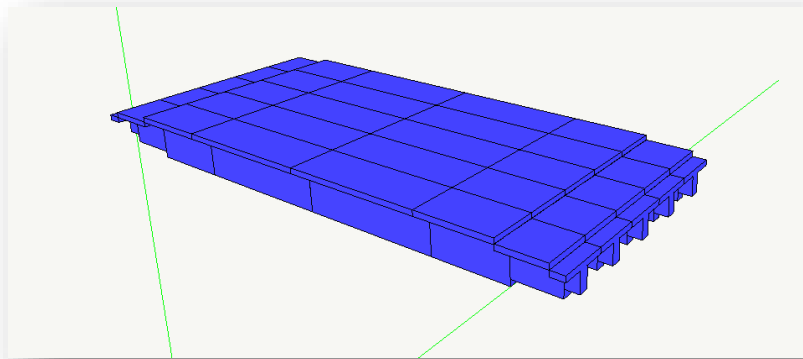
o dalle RSL importate.





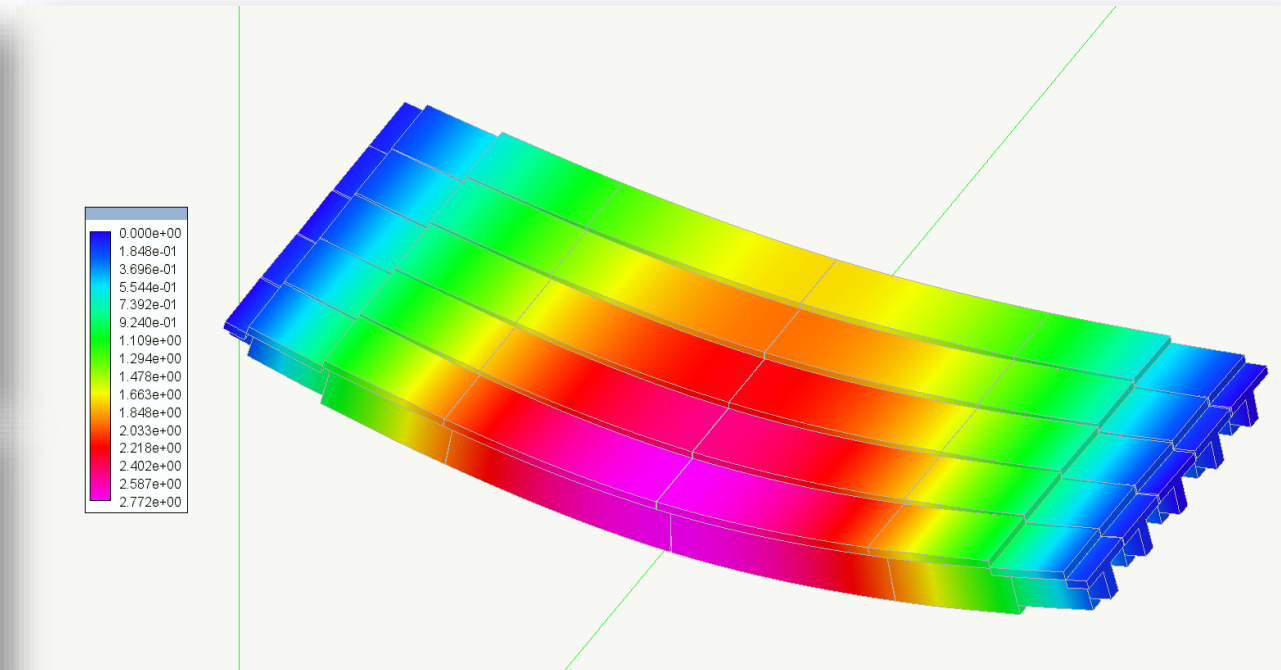
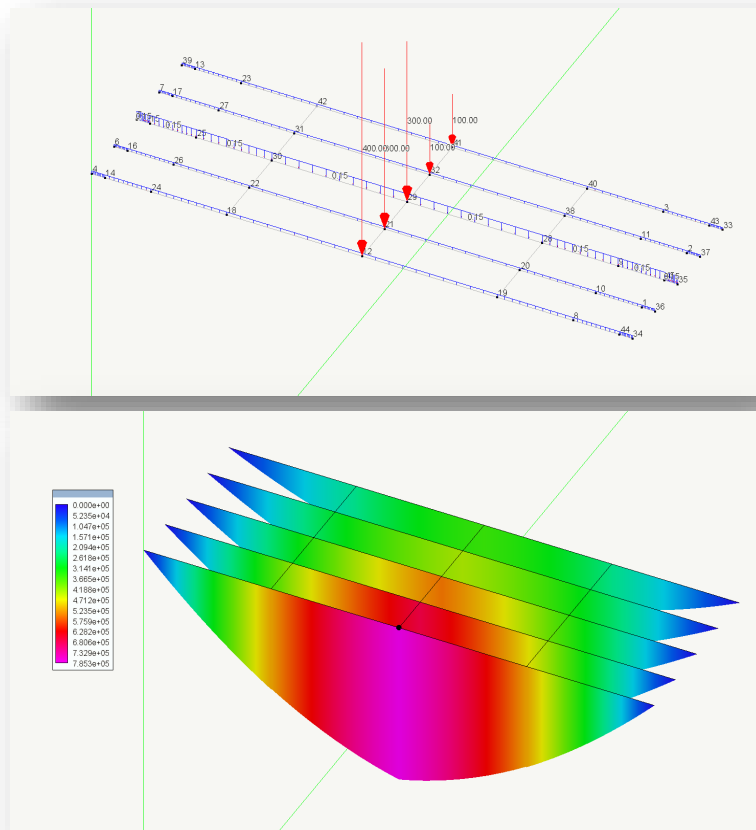
# Analisi di un impalcato da ponte

Il modello di calcolo:



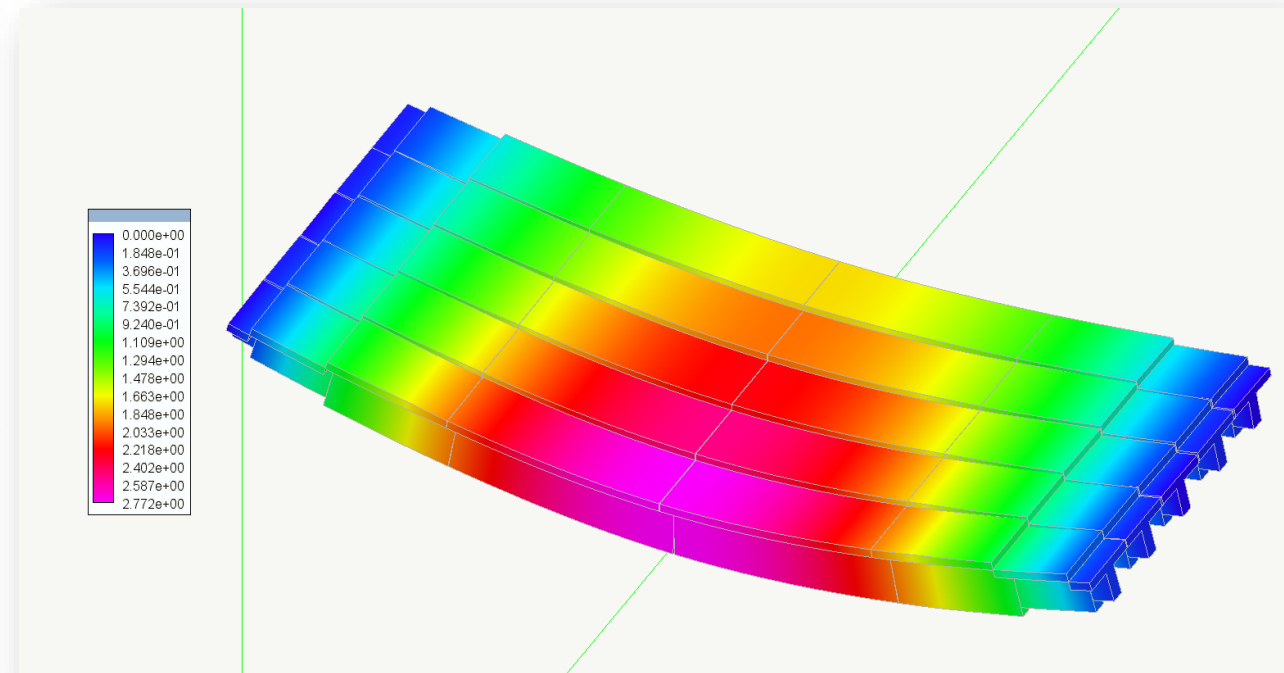
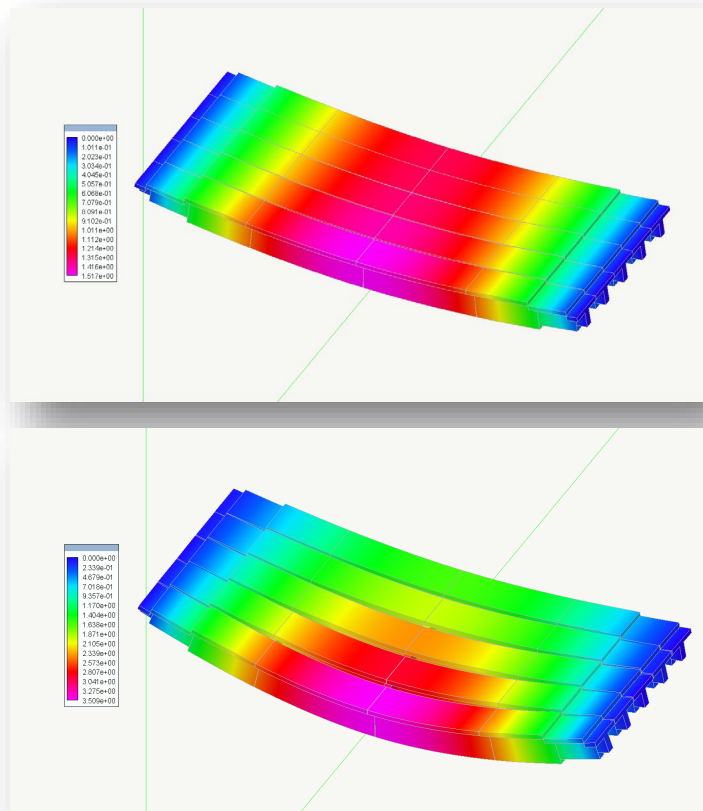
La grafica deve aiutare a comprendere gli errori geometrici nella formulazione del modello di calcolo ma non è l'interpretazione della struttura

# Analisi di un impalcato da ponte



Studio delle deformate d'impalcato per azione dei carichi permanenti e per i carichi esterni (Carichi variabili mobili).

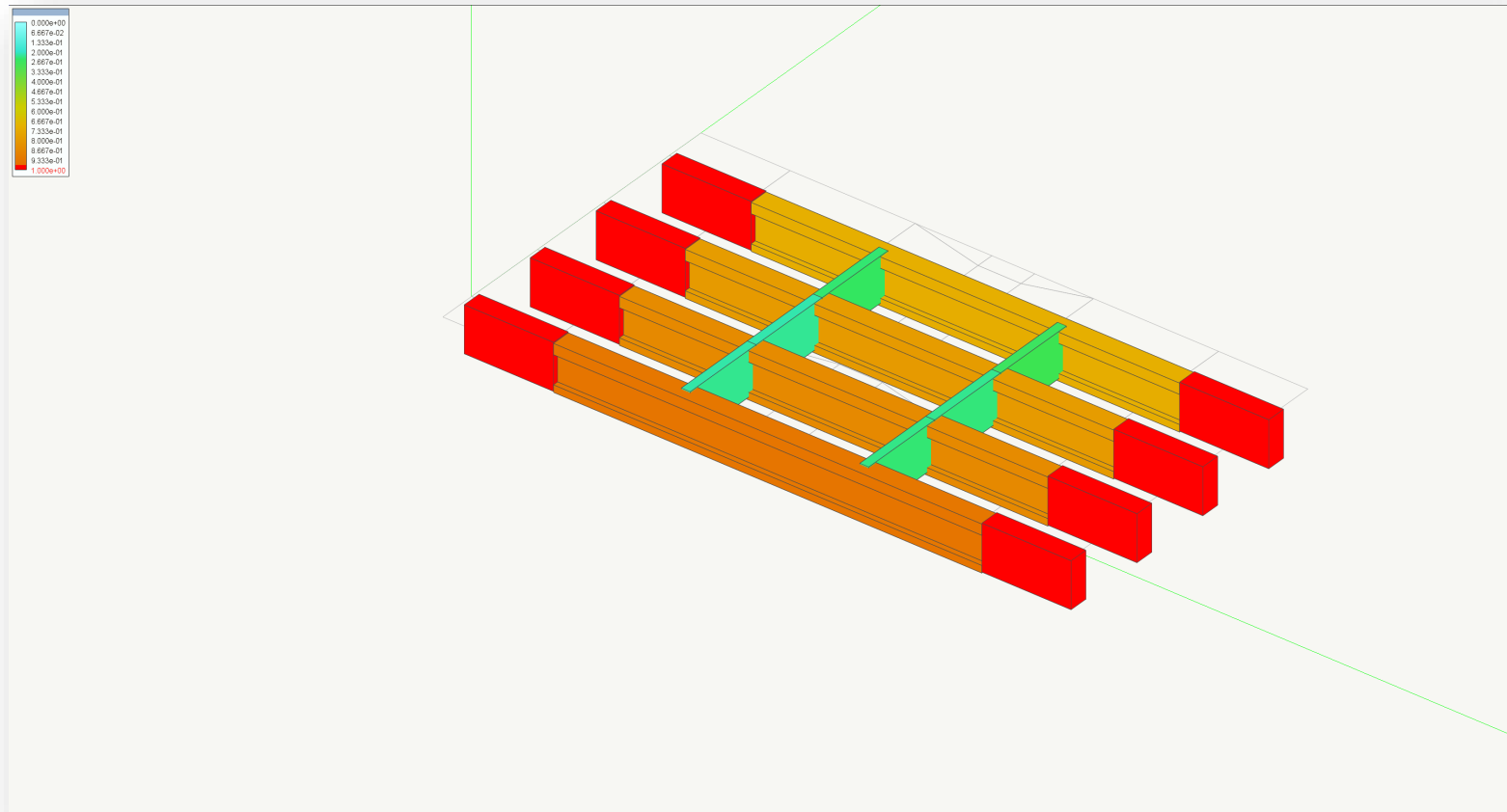
## Analisi di un impalcato da ponte



Studio delle deformate d'impalcato per azione dei carichi permanenti e per i carichi esterni (Carichi variabili mobili).

# Lo studio dell'impalcato e le verifiche

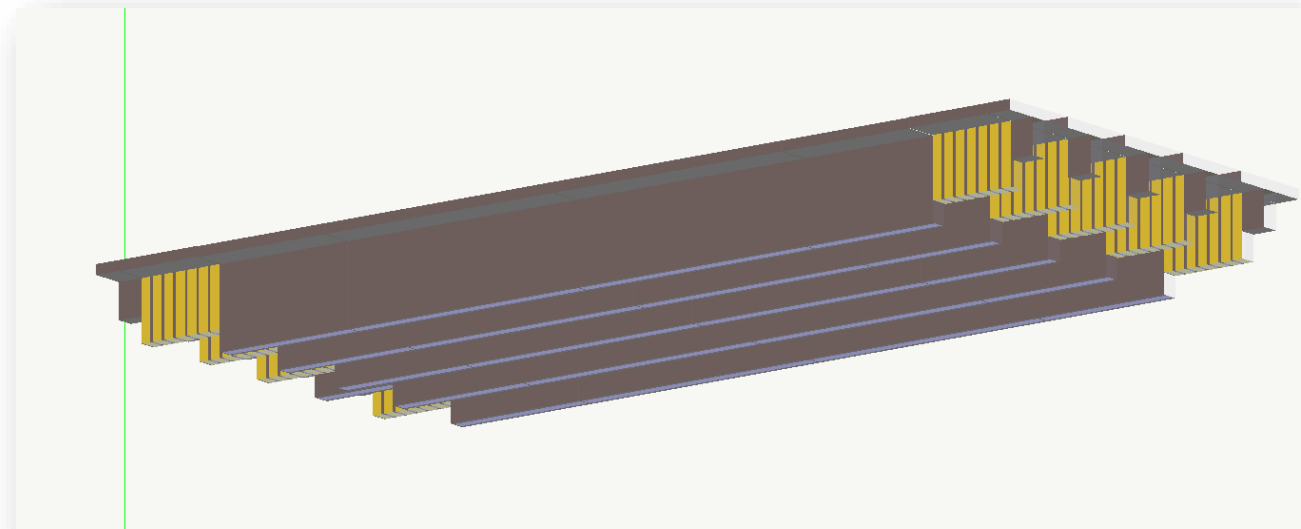
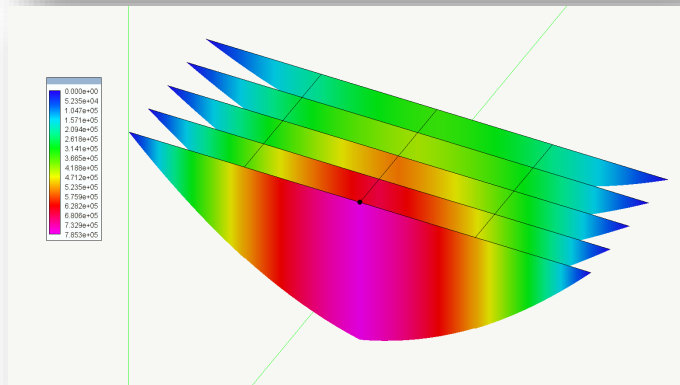
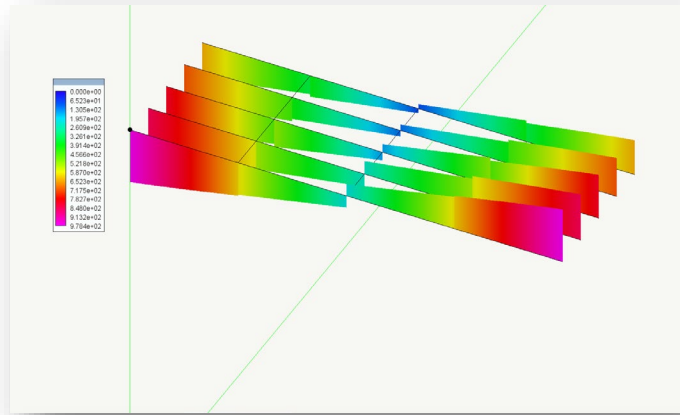
Verifica dello stato di fatto





# Viadotto Fiumara di Catona

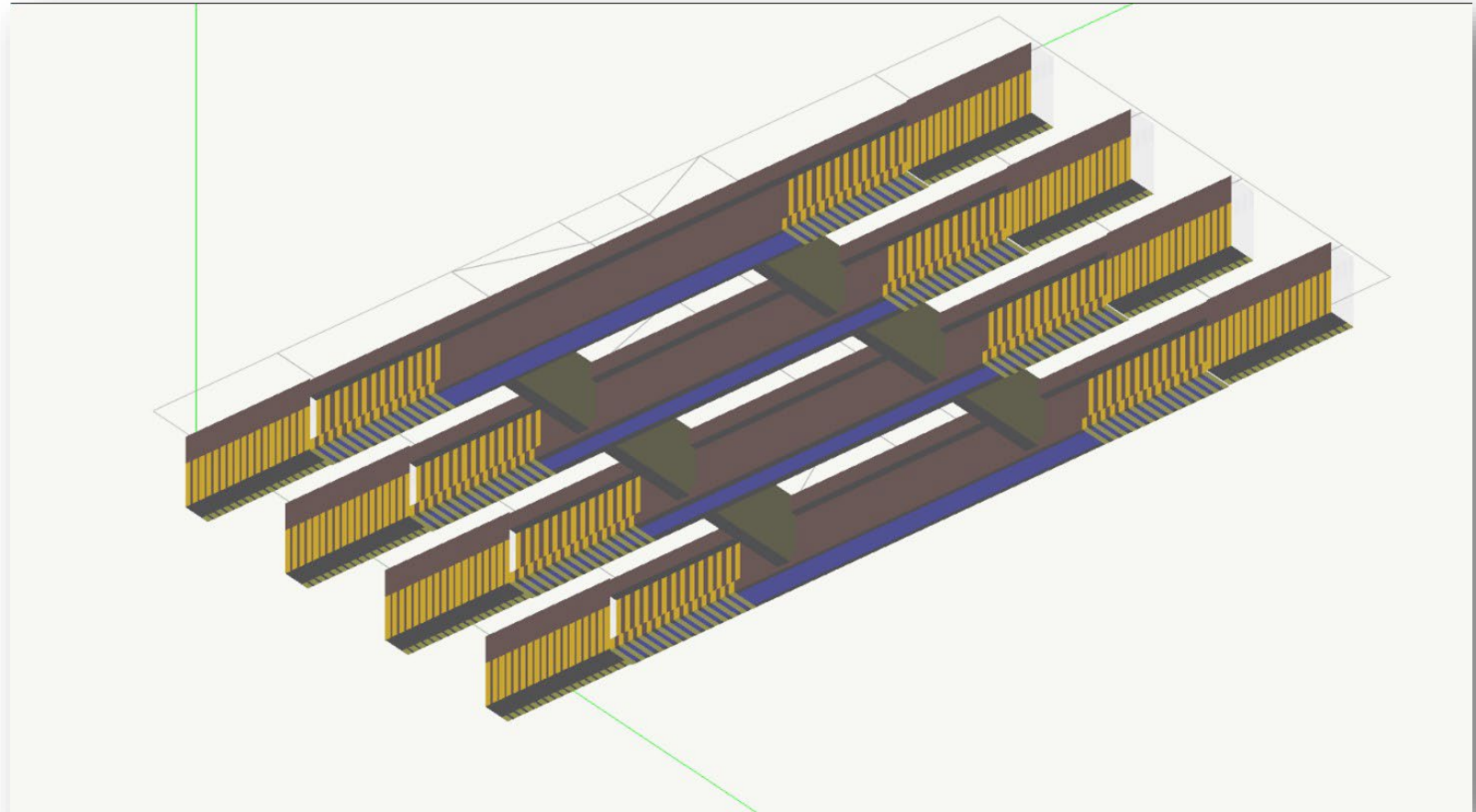
Analisi Strutturale impalcato :



Lo studio del rinforzo strutturale in CFRP considera sia l'azione dovuta alla sollecitazione di flessione che la sollecitazione dovuta al taglio

# Lo studio dell'impalcato e le verifiche

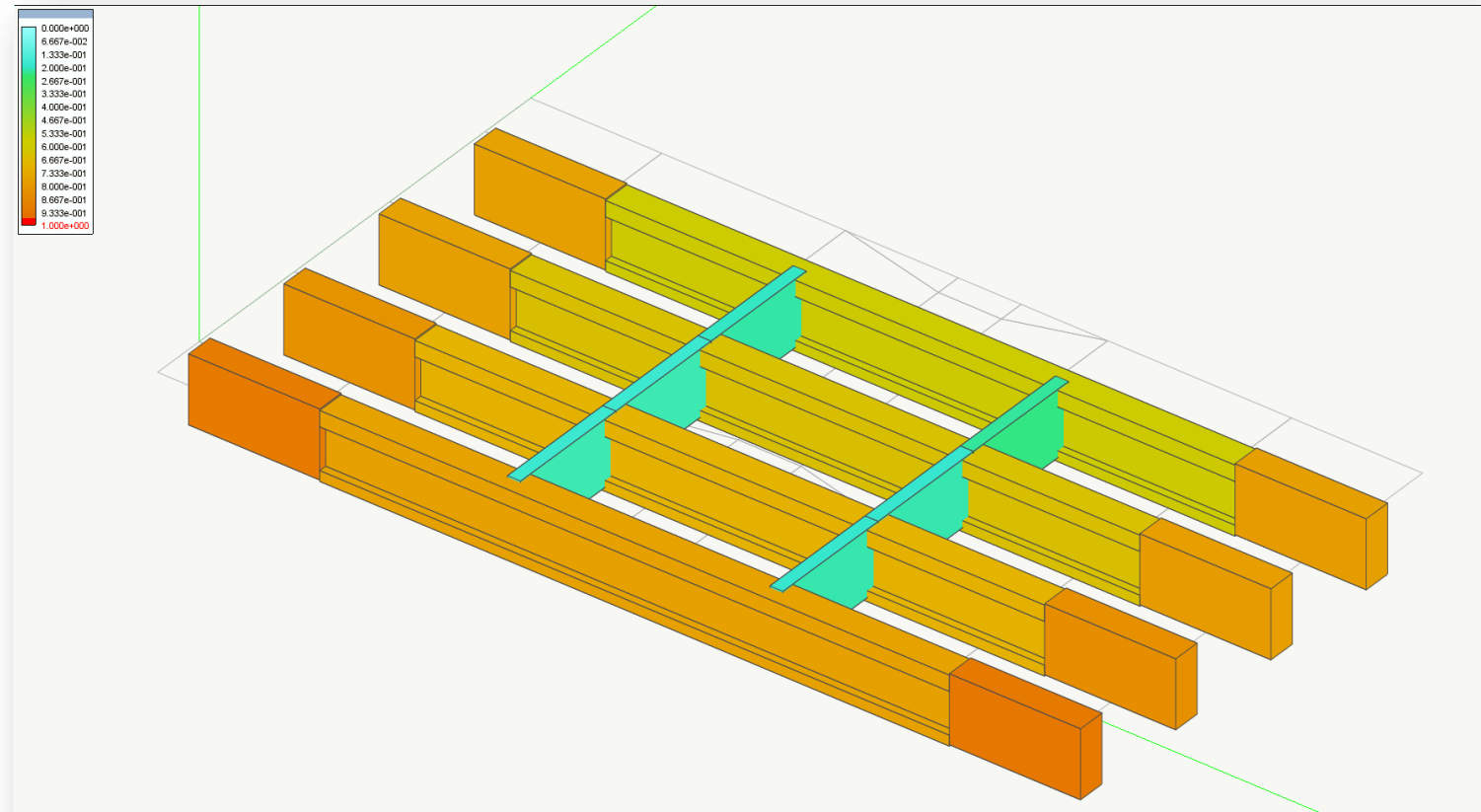
Studio della struttura d'impalcato rinforzata con CFRP



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**

# Verifiche della struttura

Studio della struttura d'impalcato rinforzata con CFRP

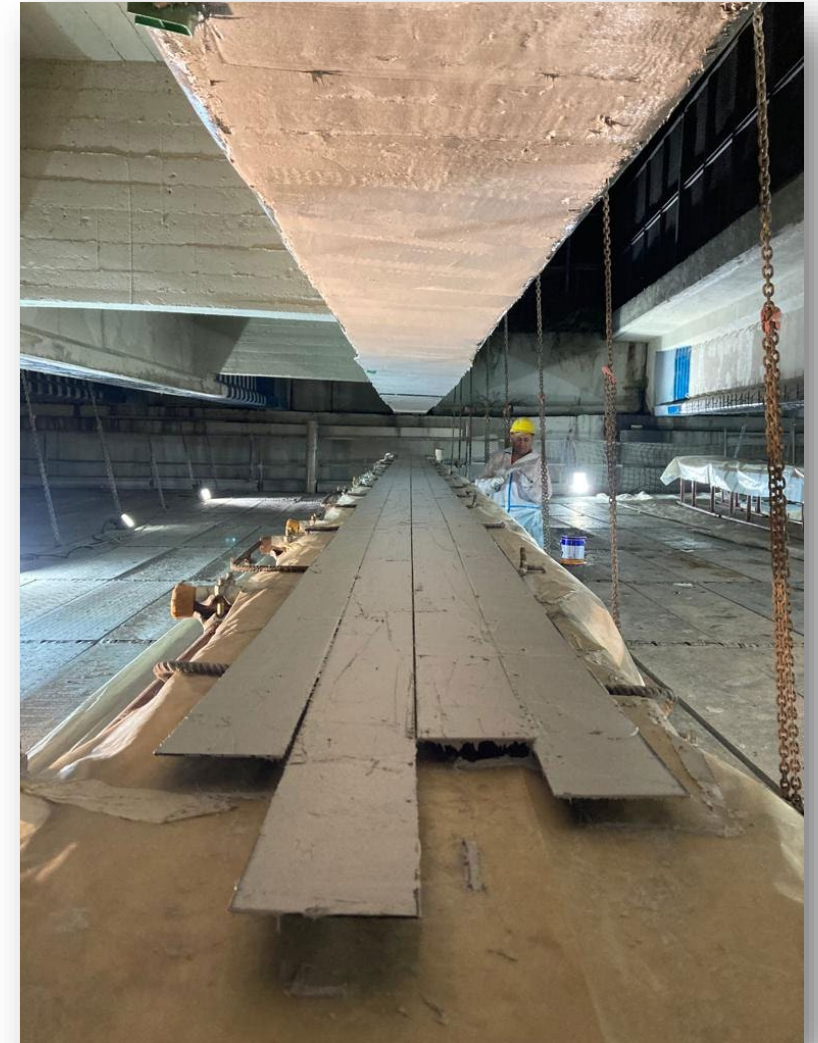
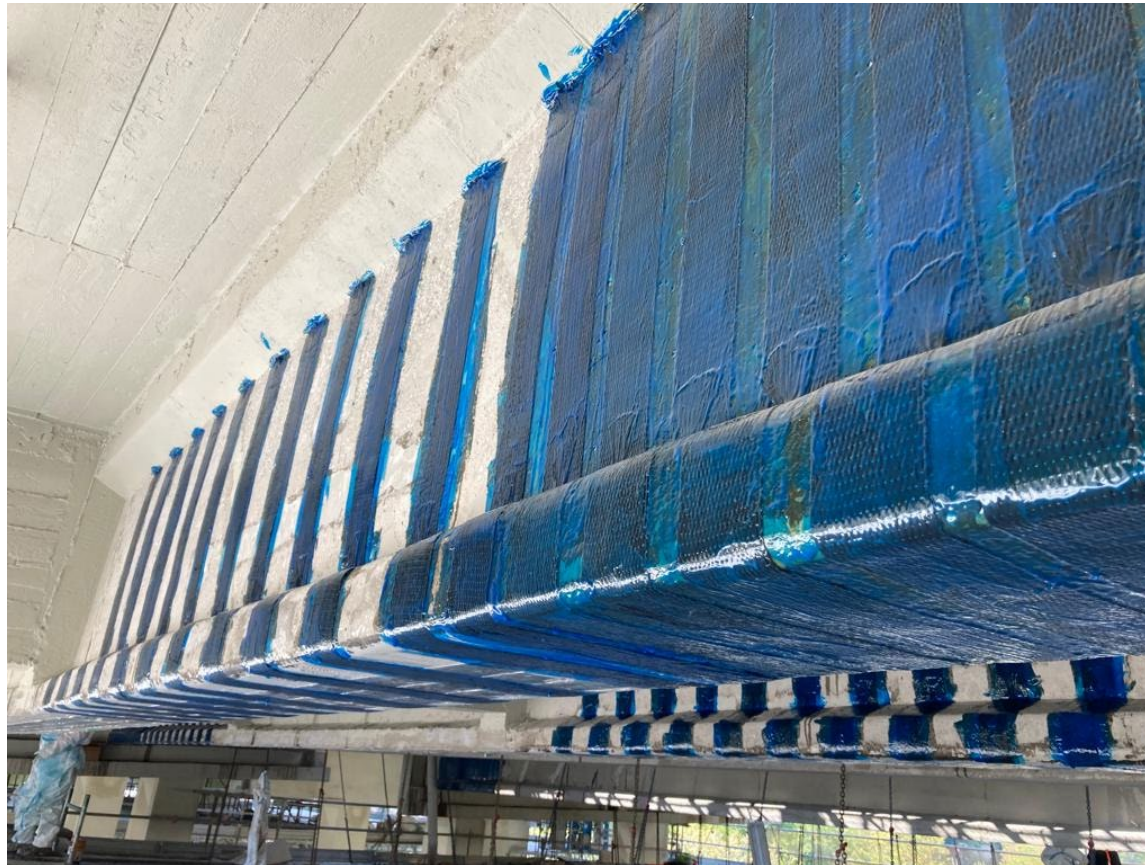


**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**



# La realtà fisica

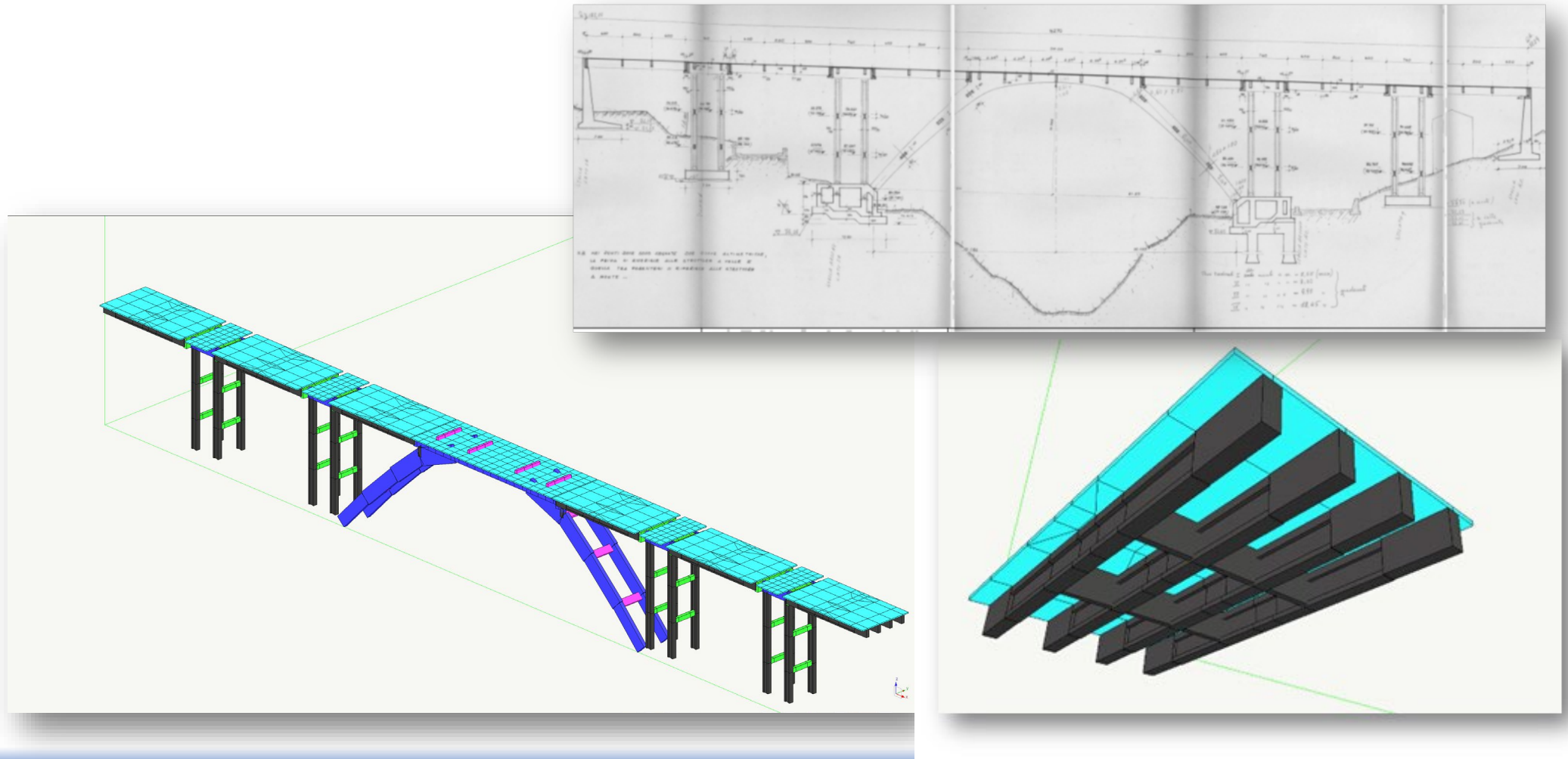
Realizzazione del rinforzo strutturale



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**



# MODELLO GENERALE E PARTICOLARE DI UN VIADOTTO



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**

# Case Study

## Viadotto Friddizza



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**



# Viadotto Friddizza

## Caratteristiche del viadotto

- 19 campate con luce di circa 33 m per uno sviluppo complessivo di 630 m circa;
- 18 pile a sezione cava pluriconnessa ed a geometria variabile in altezza;
- schema statico di trave appoggiata, su pile, di luce è pari a di 33,00 m.
- L'impalcato è composto da n. 4 travi e da nr. 5 traversi (ivi inclusi quelli di estremità) solidarizzati alla soletta superiore.  $L = 33,00$  m.
- La larghezza della carreggiata, fuori tutto è pari a 9,30 m. di cui 8,50 m
- Pila n. 8 tozza
- Spalle di estremità in c.a. gettato in opera;

# Viadotto Friddizza

Obiettivo dell'intervento:

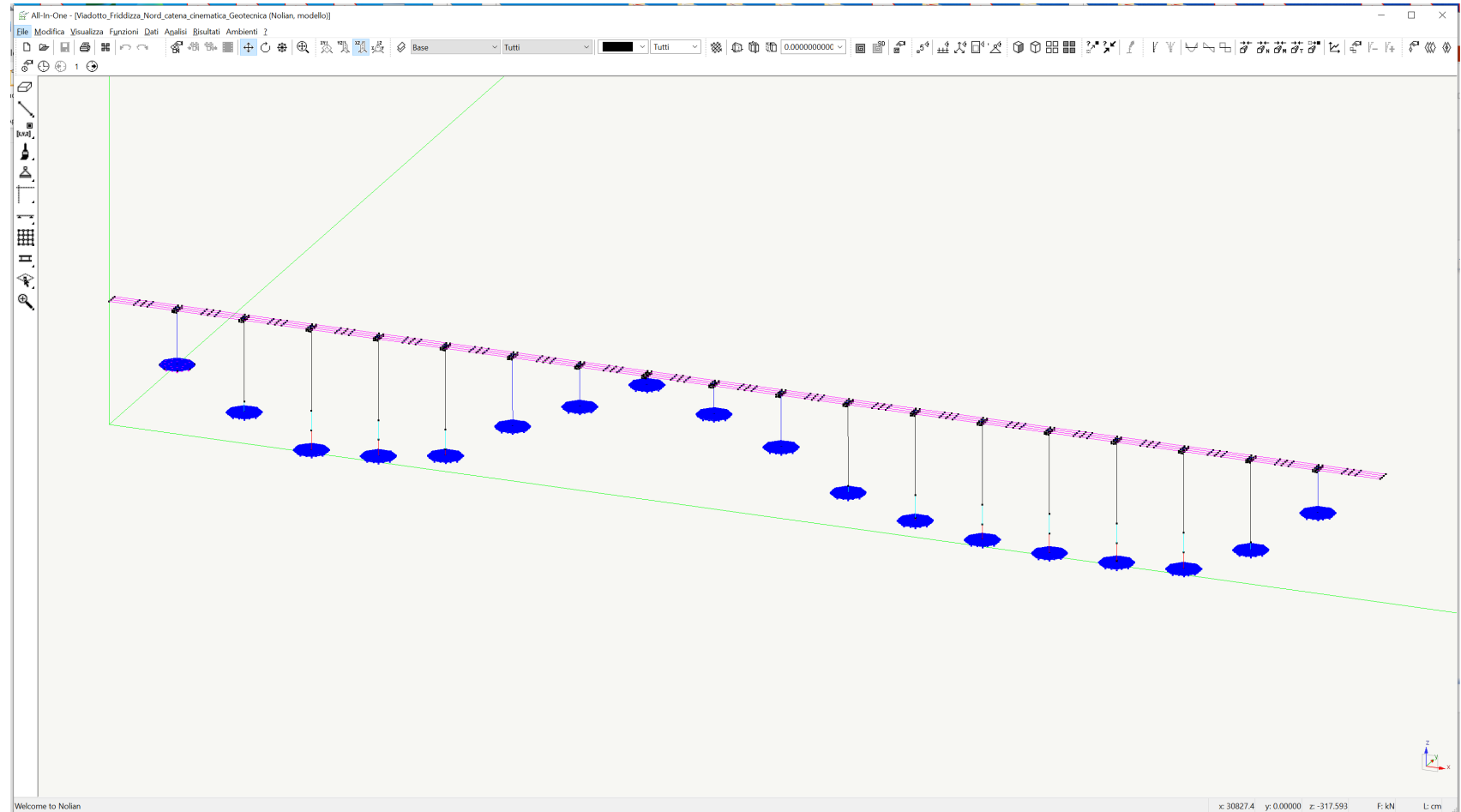
- Migliorare il comportamento sismico del viadotto;
- Adeguarlo ai nuovi carichi (NTC 2018);
- Garantire una migliore durabilità dell'opera





# Viadotto Friddizza

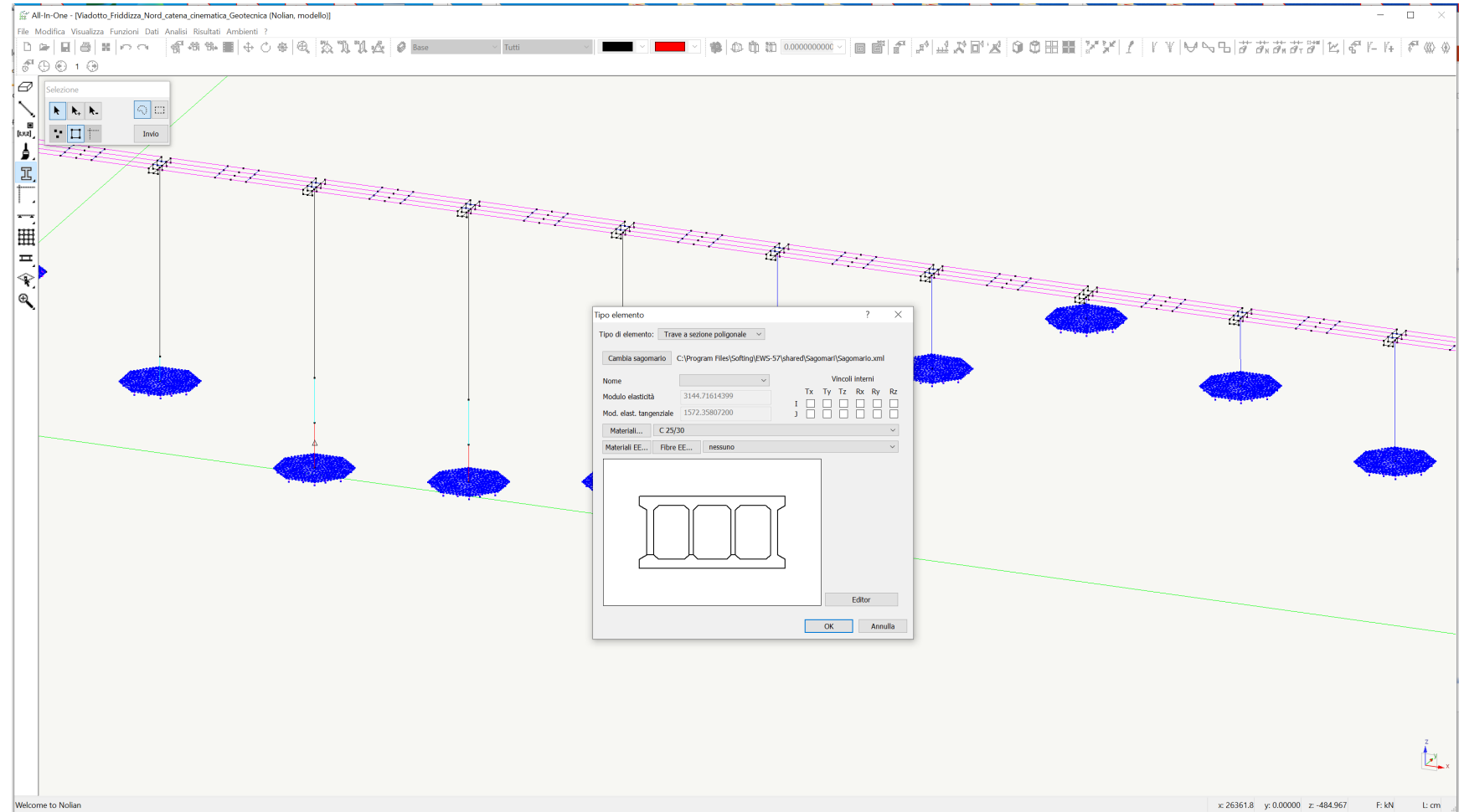
Il modello strutturale in Nòlian



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**

# Viadotto Friddizza

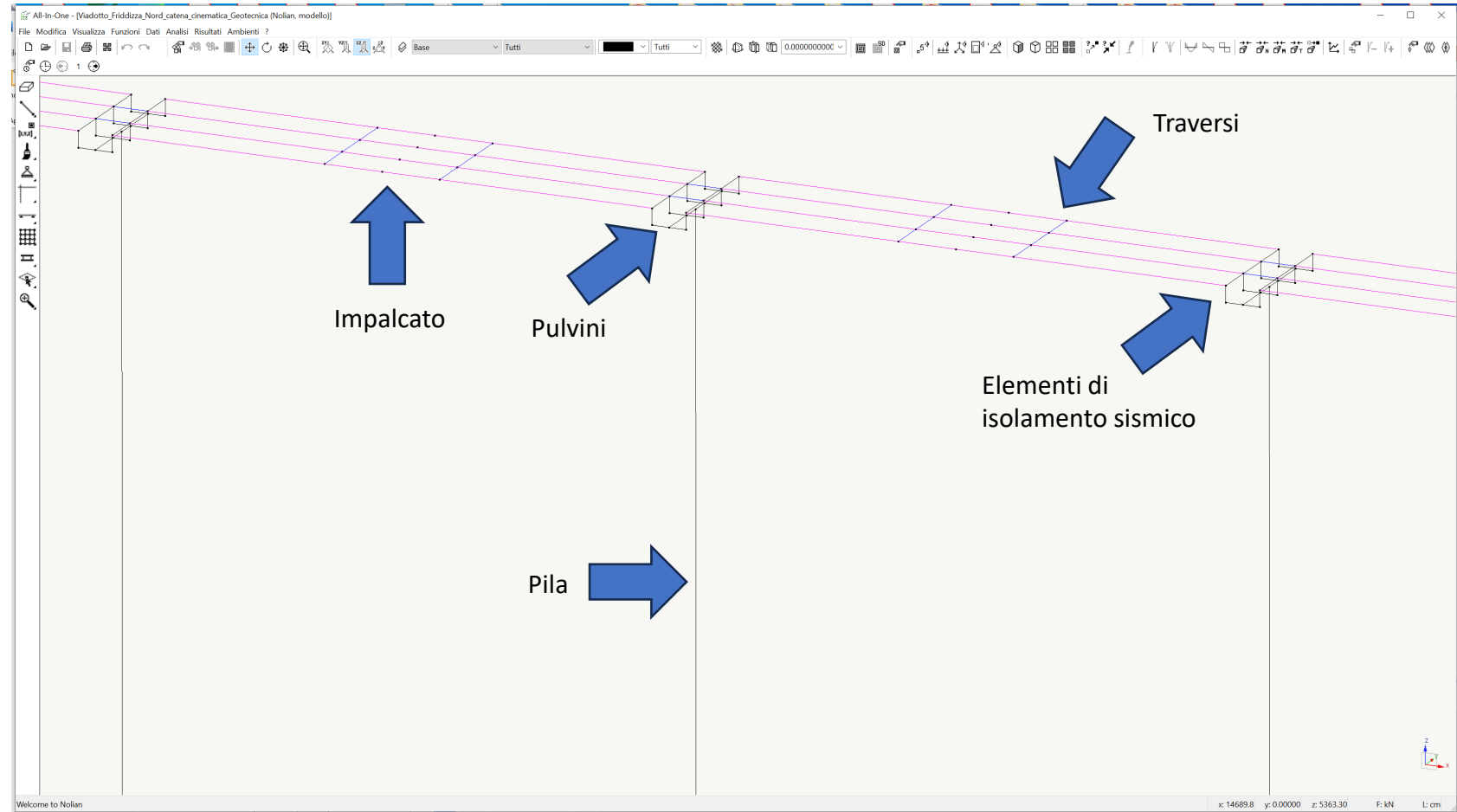
Il modello strutturale in Nòlian



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**

# Viadotto Friddizza

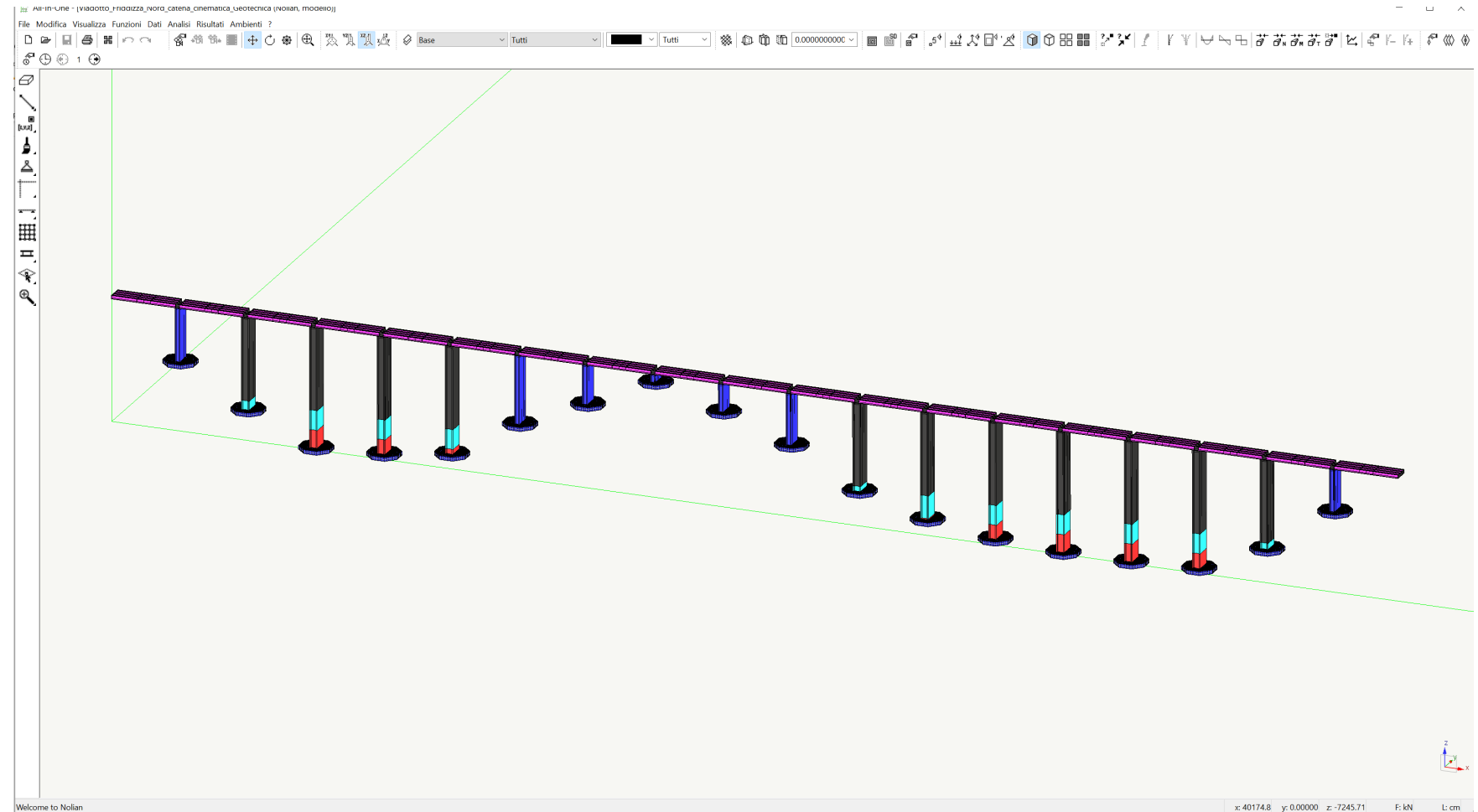
Il modello strutturale in Nòlian



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**

# Viadotto Friddizza

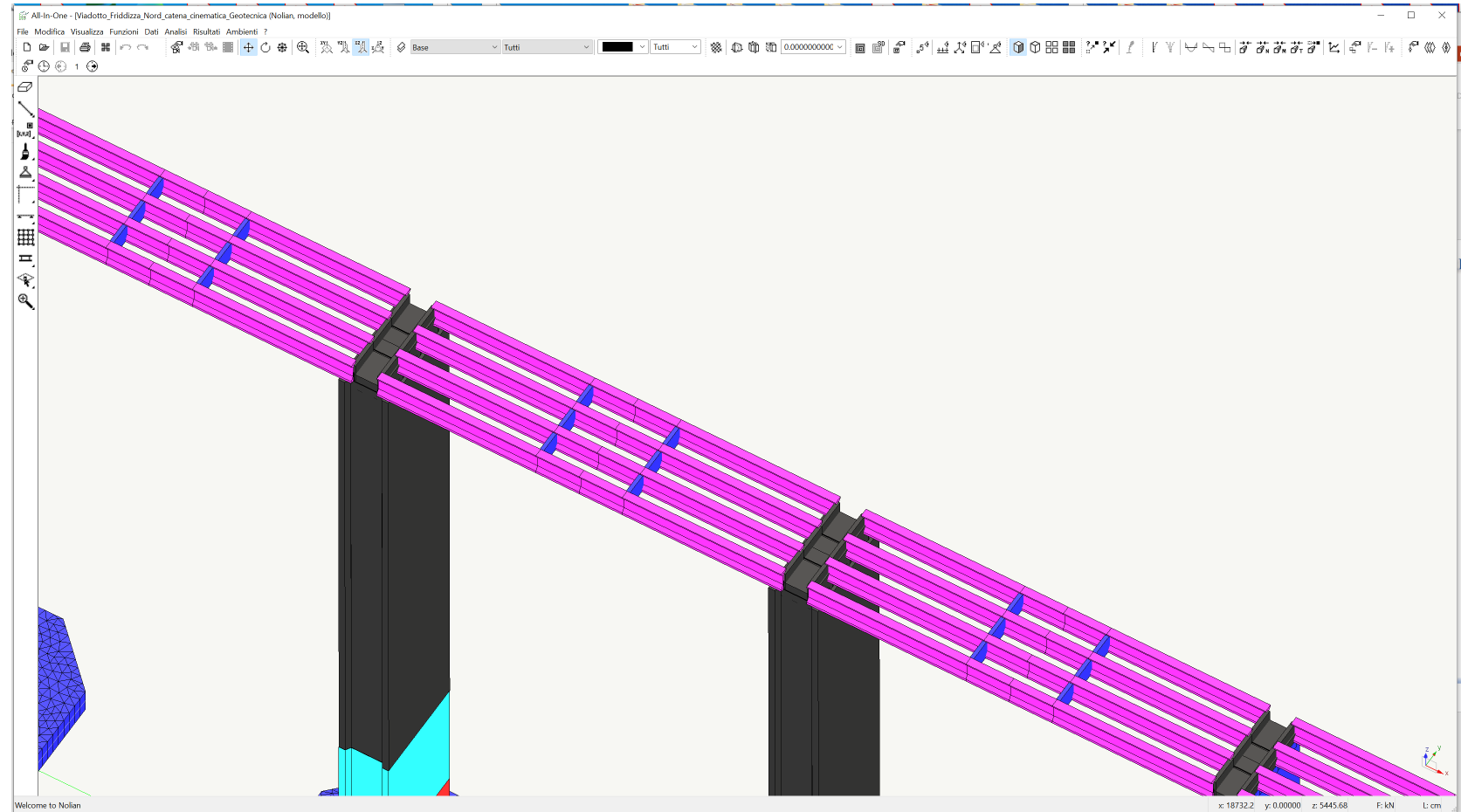
Il modello strutturale in Nòlian



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**

# Viadotto Friddizza

Il modello strutturale in Nòlian

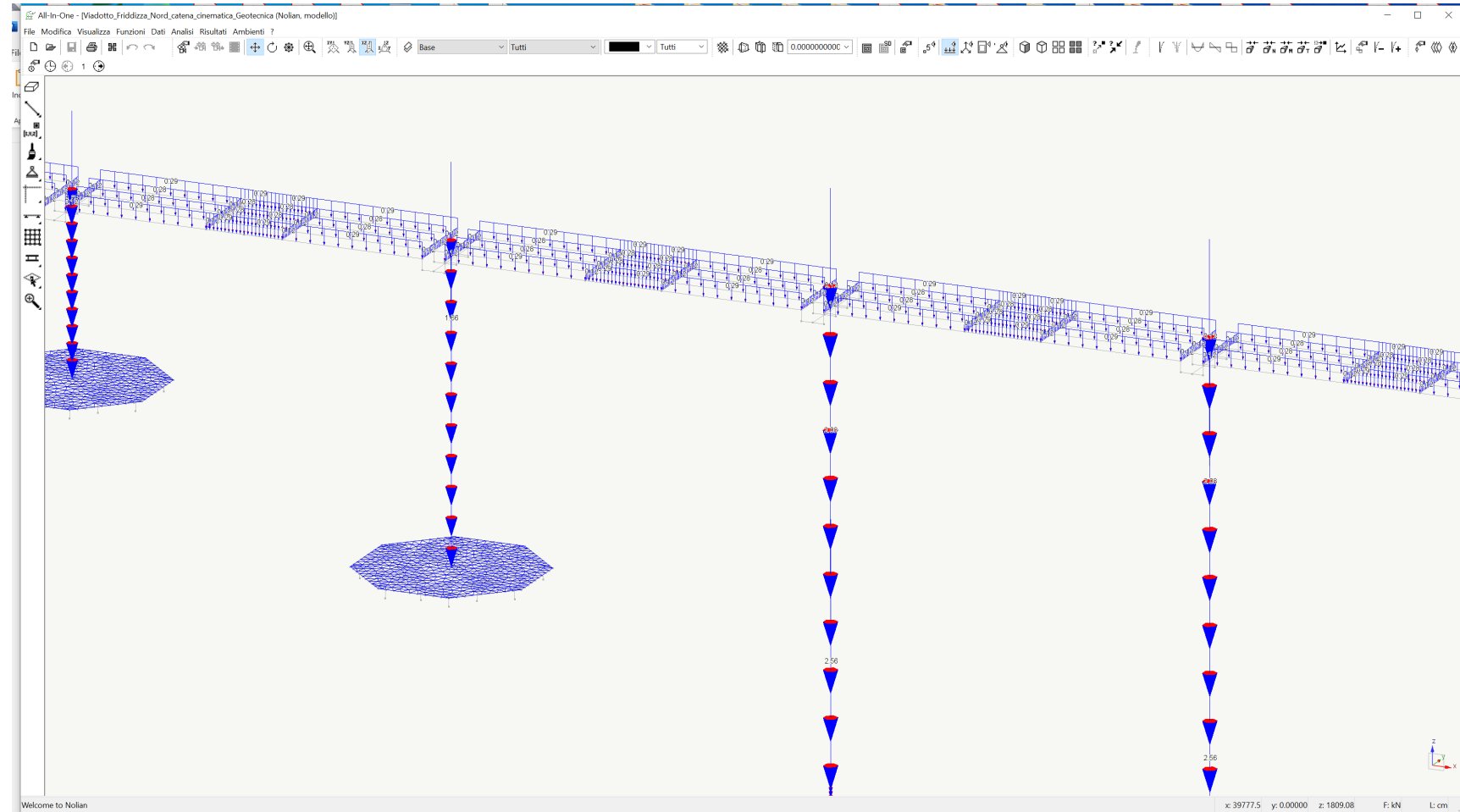


**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**



# Viadotto Friddizza

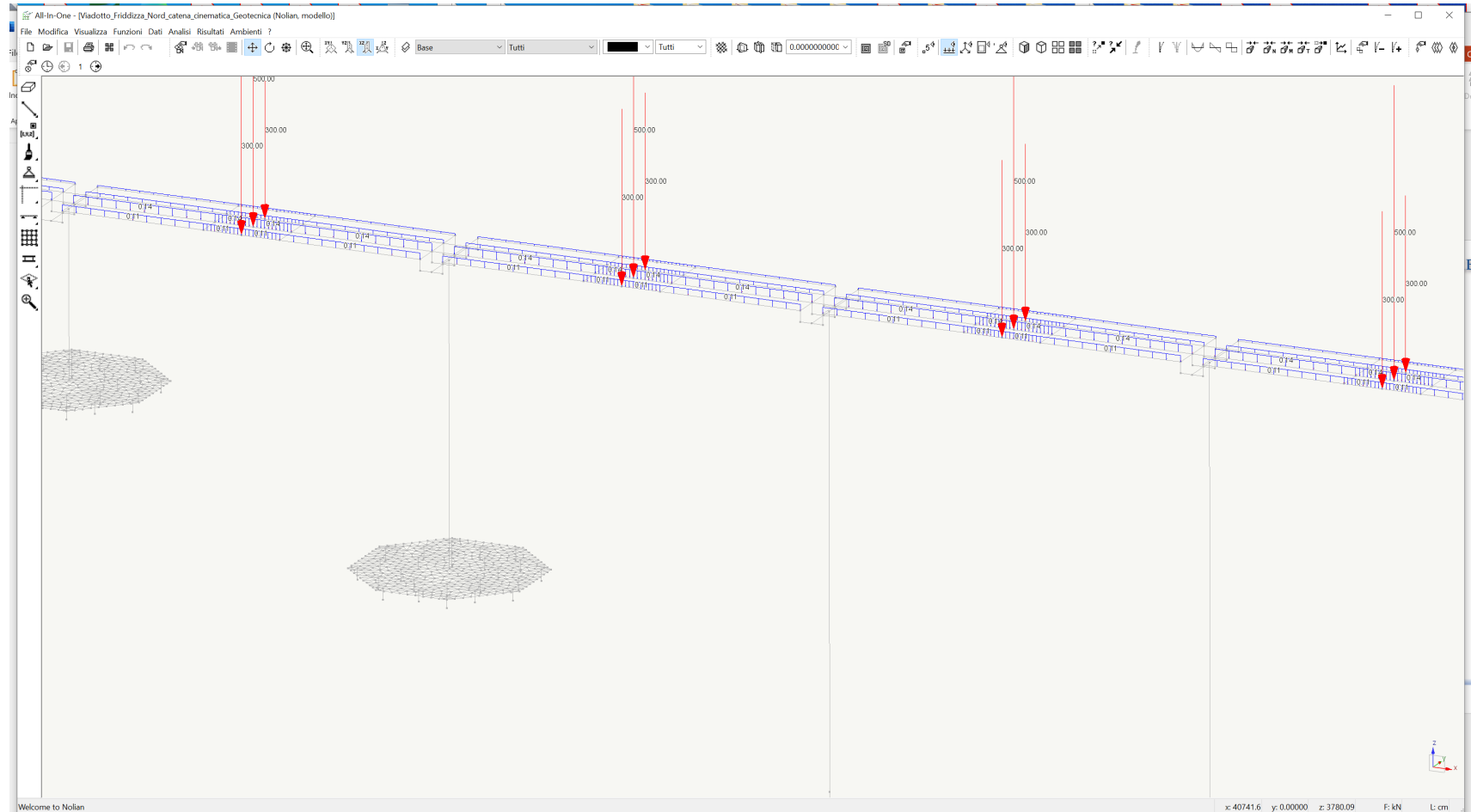
Il modello strutturale in Nòlian



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**

# Viadotto Friddizza

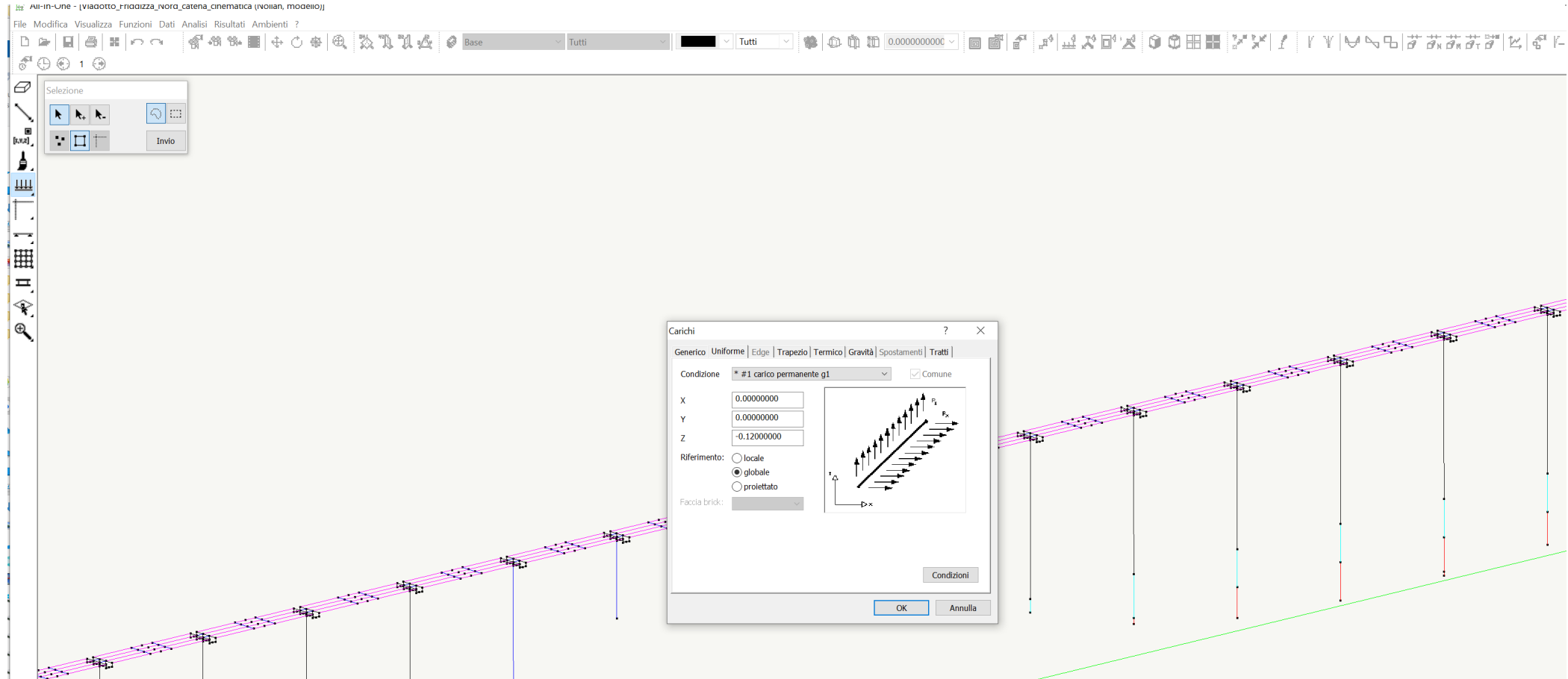
Il modello strutturale in Nòlian



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**

# Viadotto Friddizza

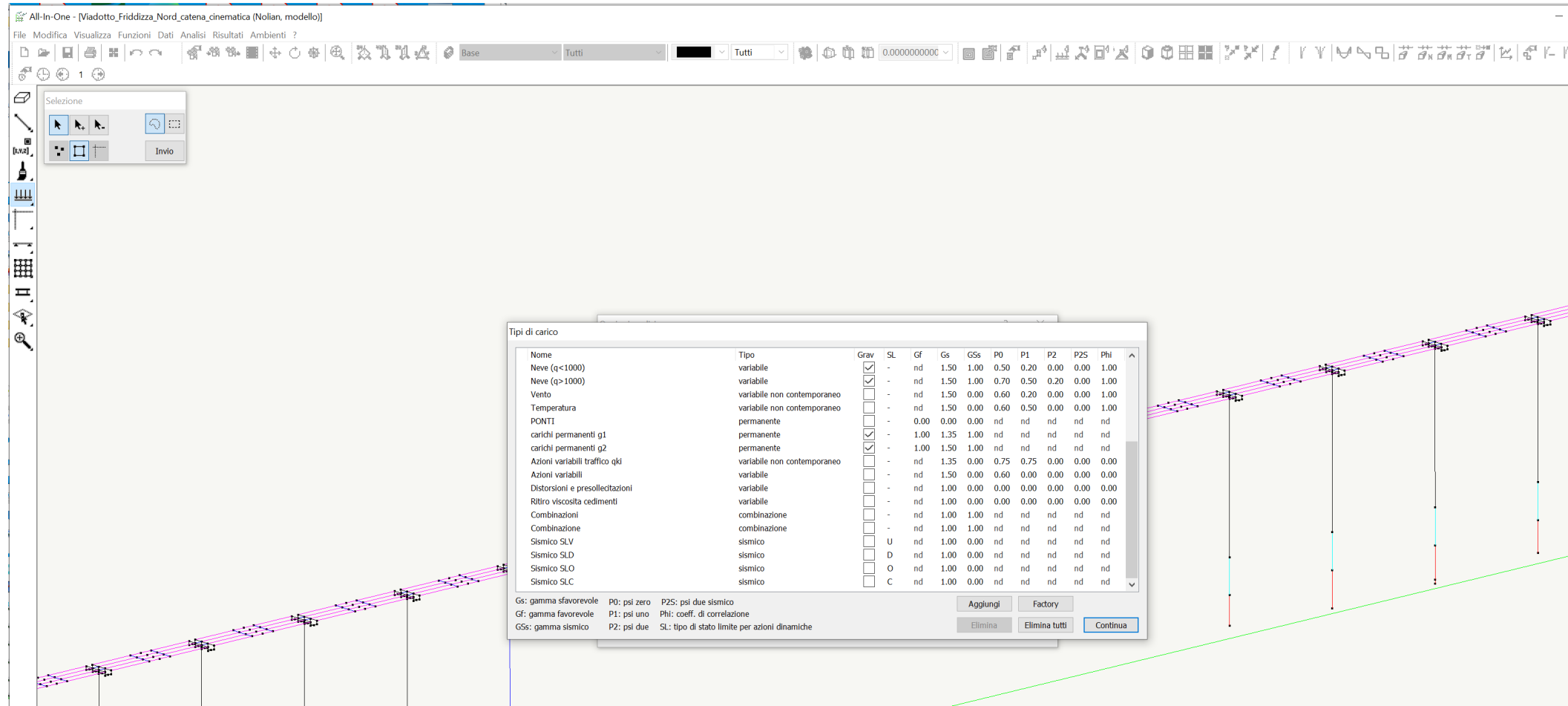
Il modello strutturale in Nòlian



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**

# Viadotto Friddizza

## Il modello strutturale in Nòlian

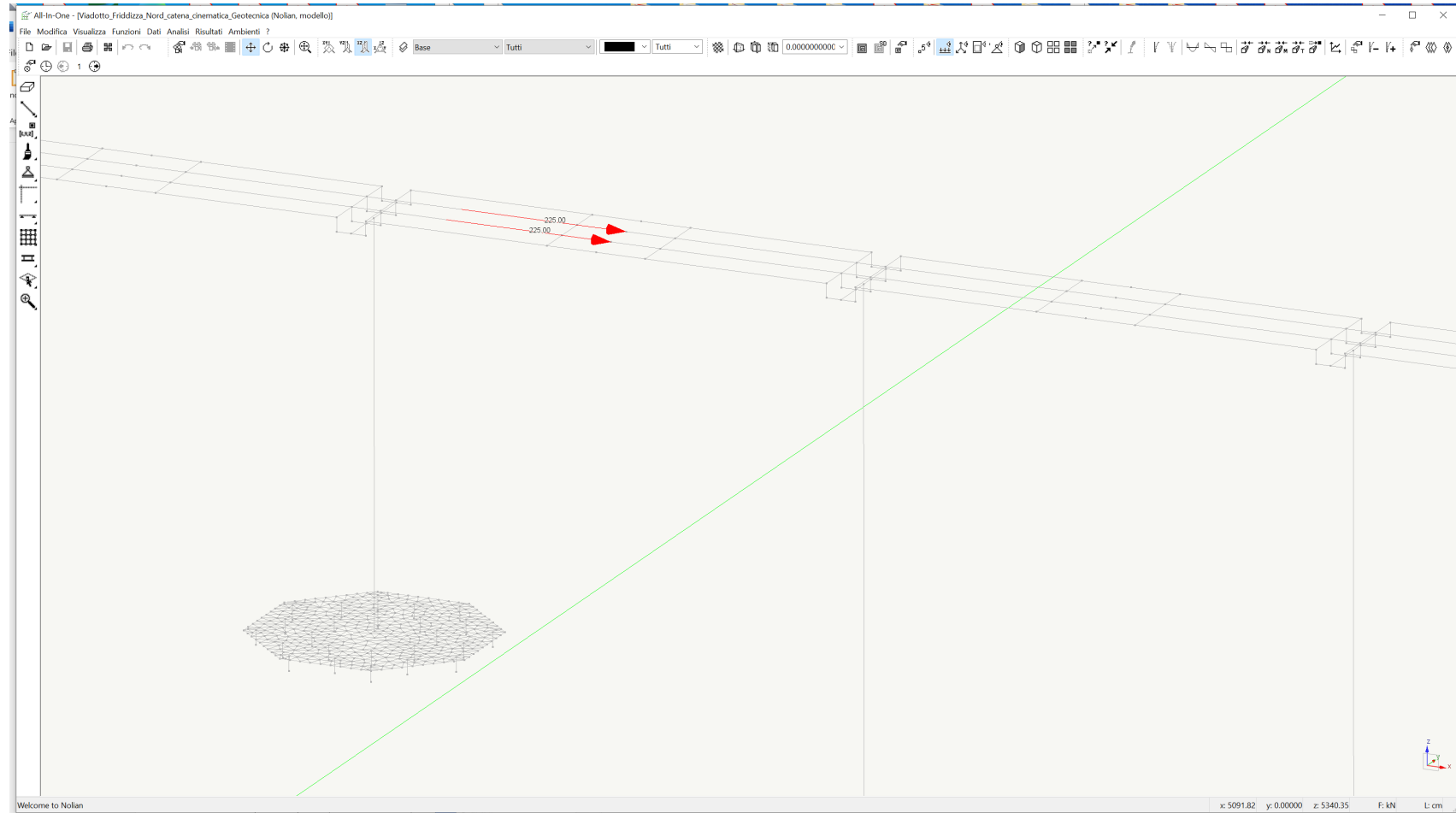


**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**



# Viadotto Friddizza

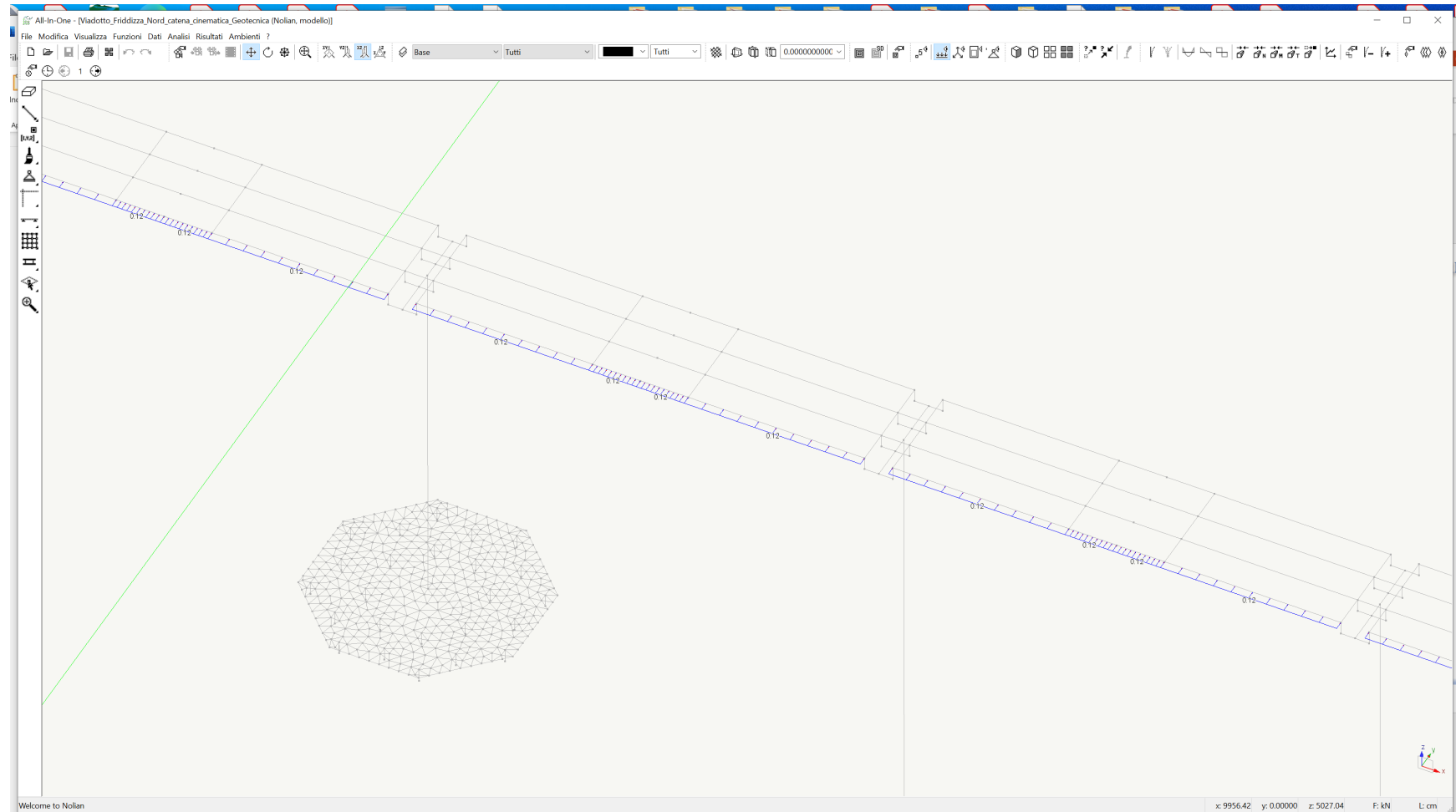
Il modello strutturale in Nòlian



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**

# Viadotto Friddizza

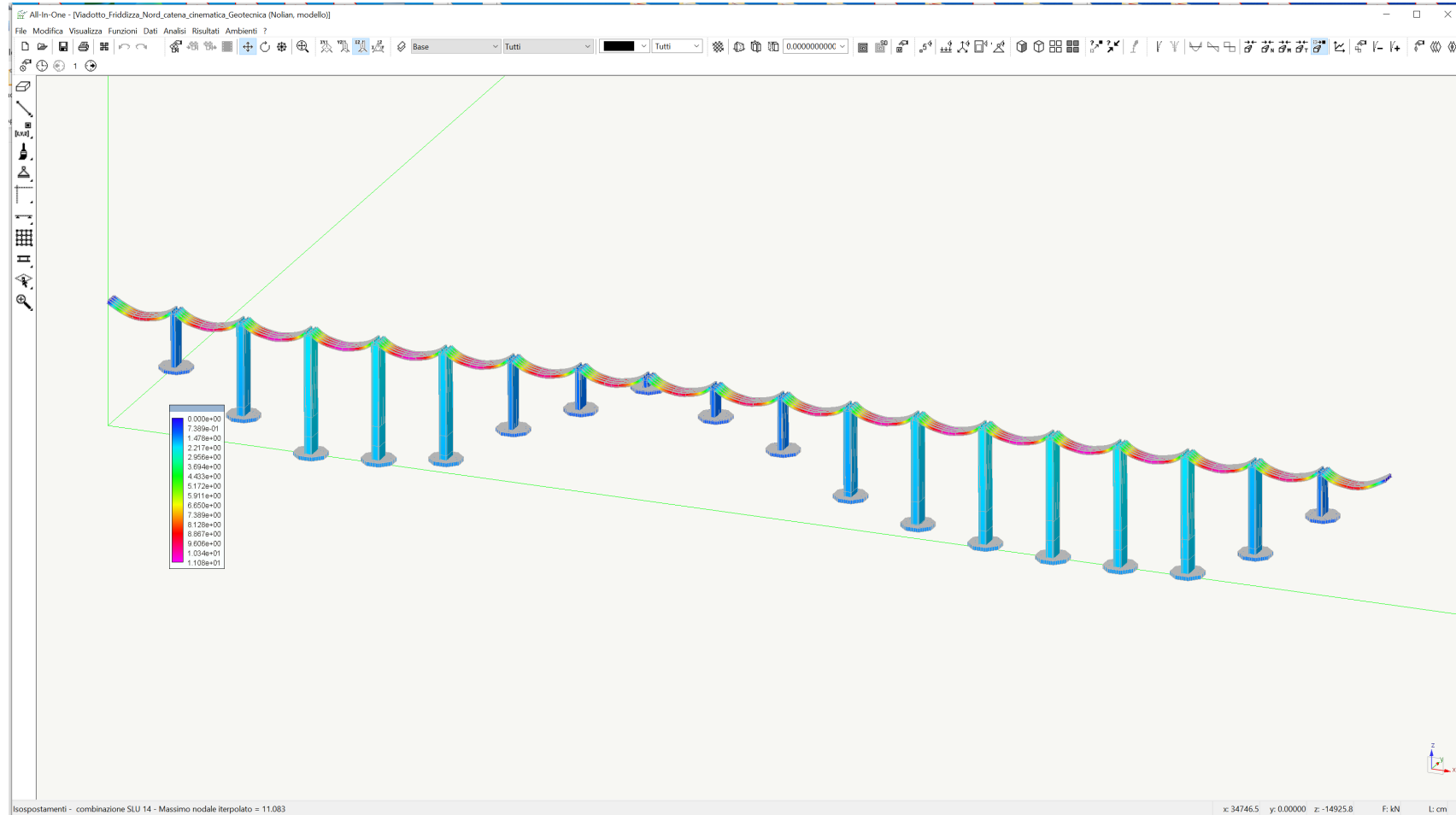
Il modello strutturale in Nòlian



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**

# Viadotto Friddizza

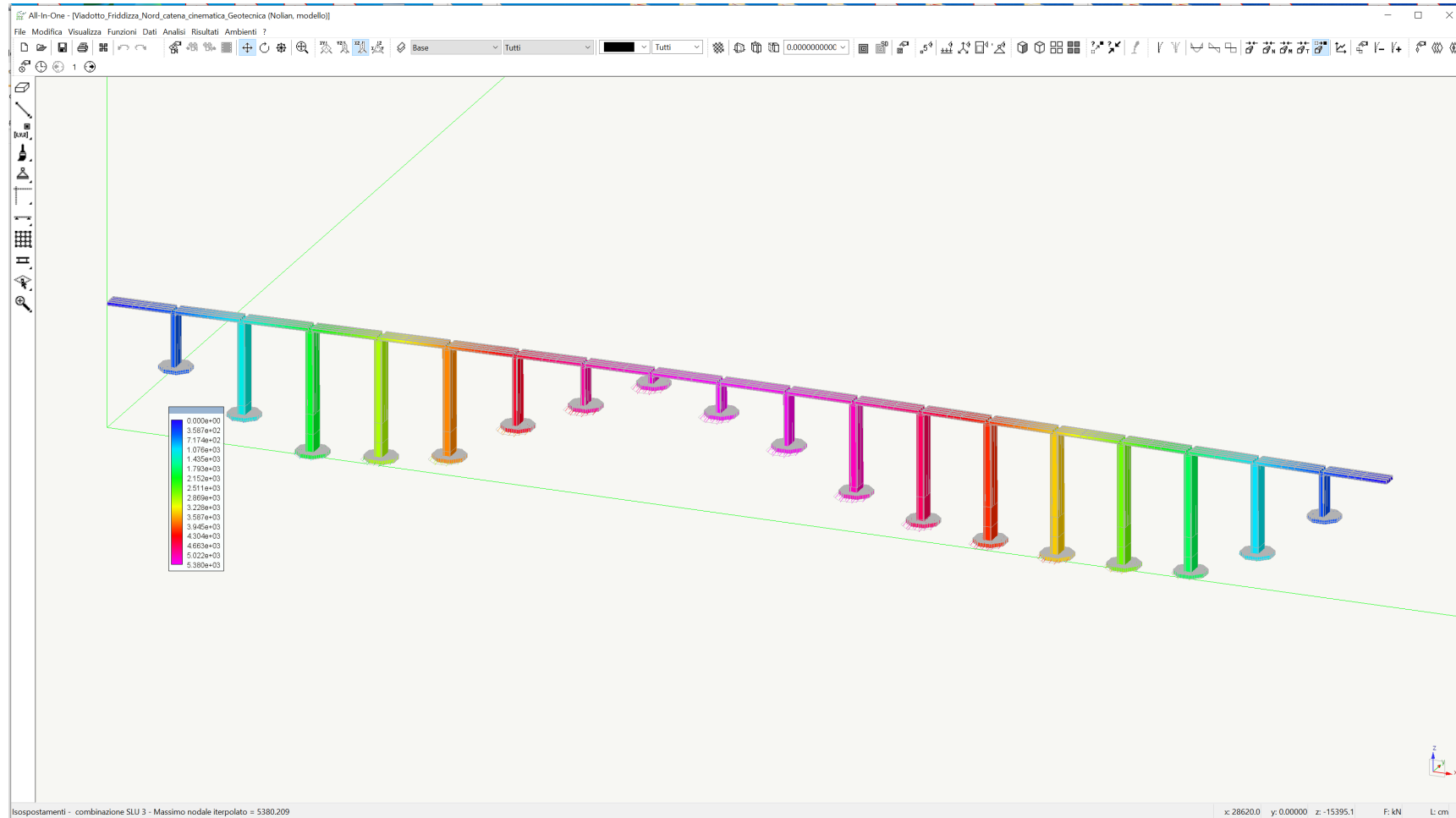
Il modello strutturale in Nòlian



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**

# Viadotto Friddizza

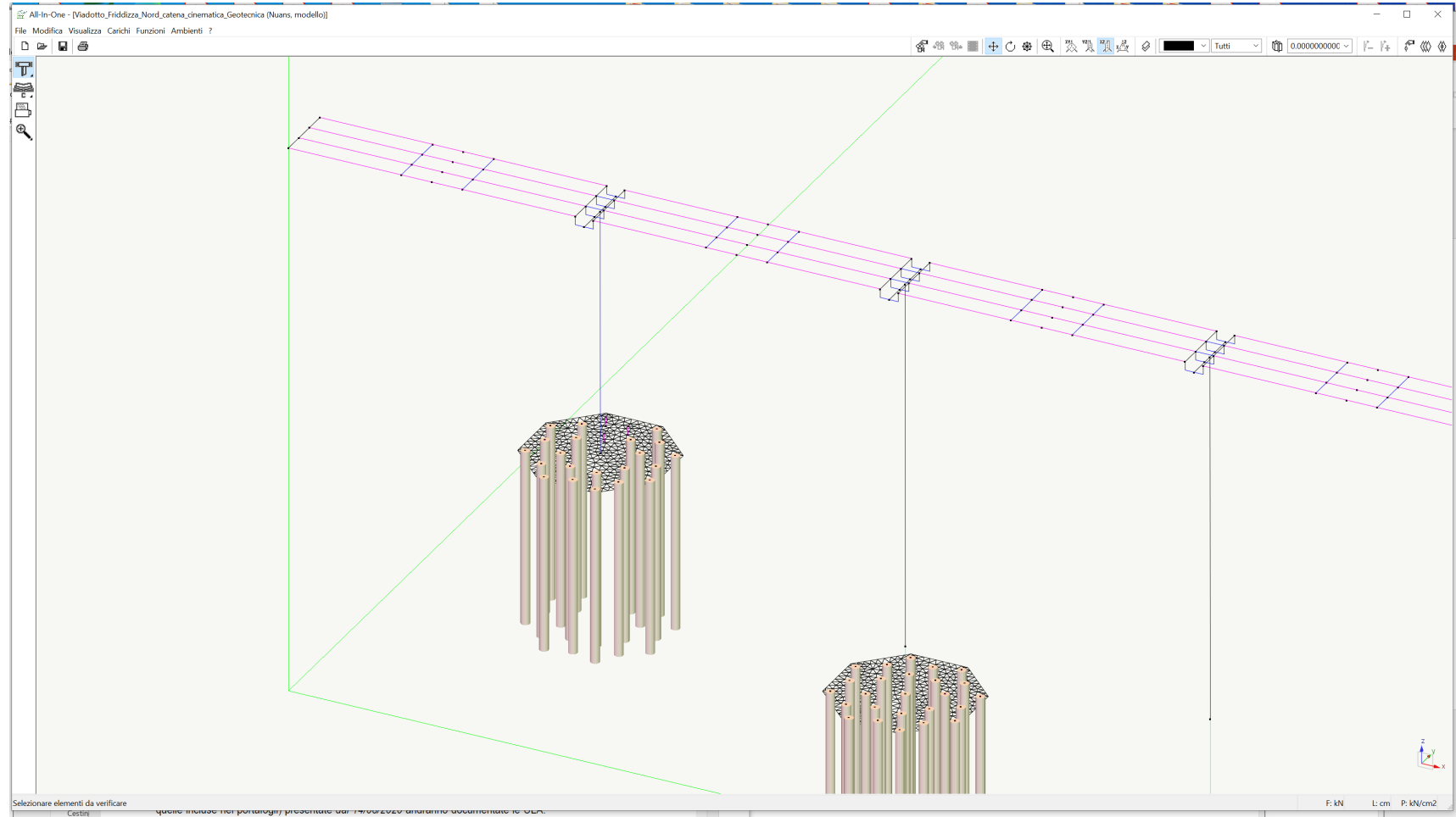
Il modello strutturale in Nòlian



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**

# Viadotto Friddizza

Il modello strutturale in Nòlian

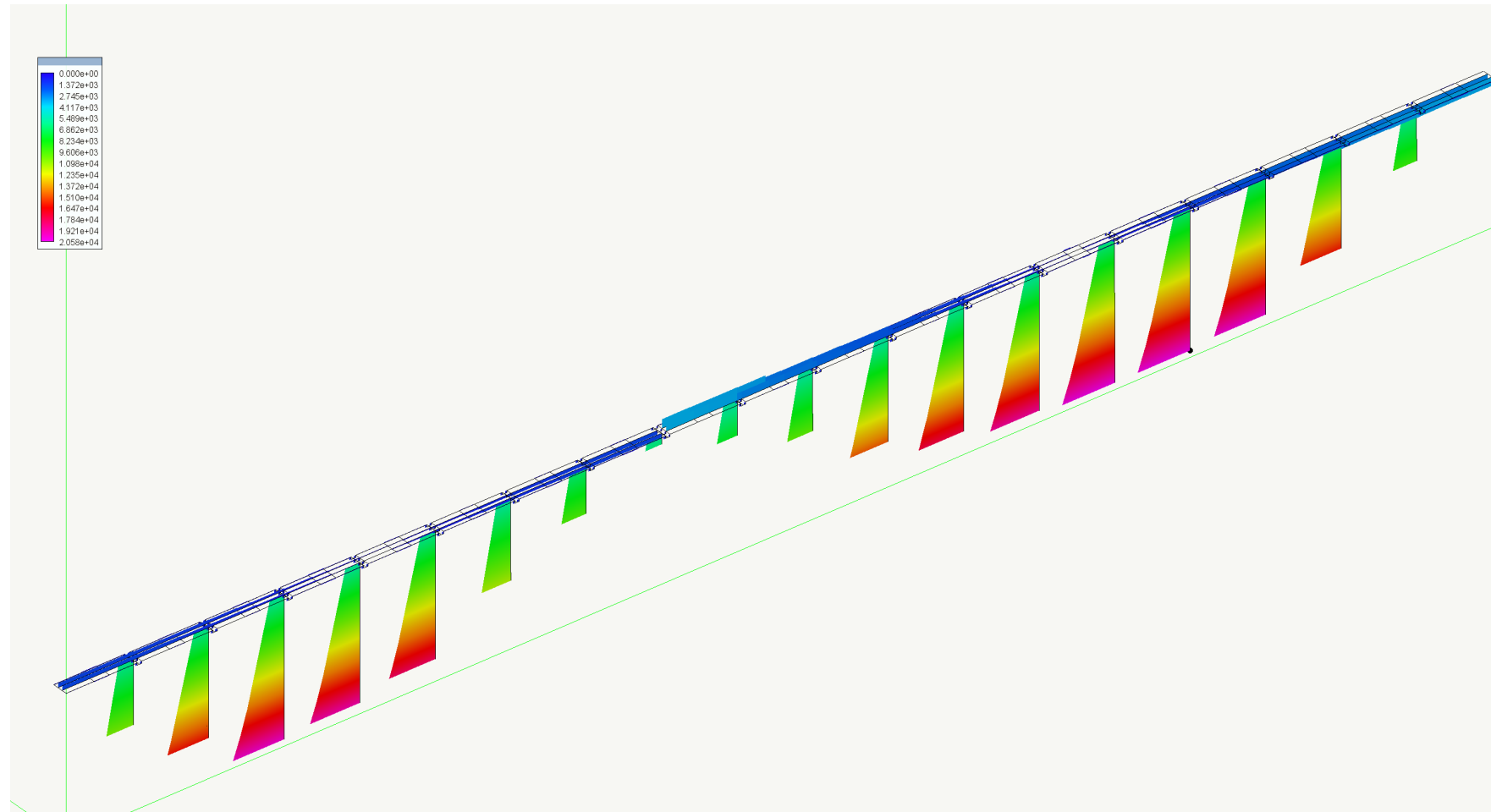


**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**



# Viadotto Friddizza

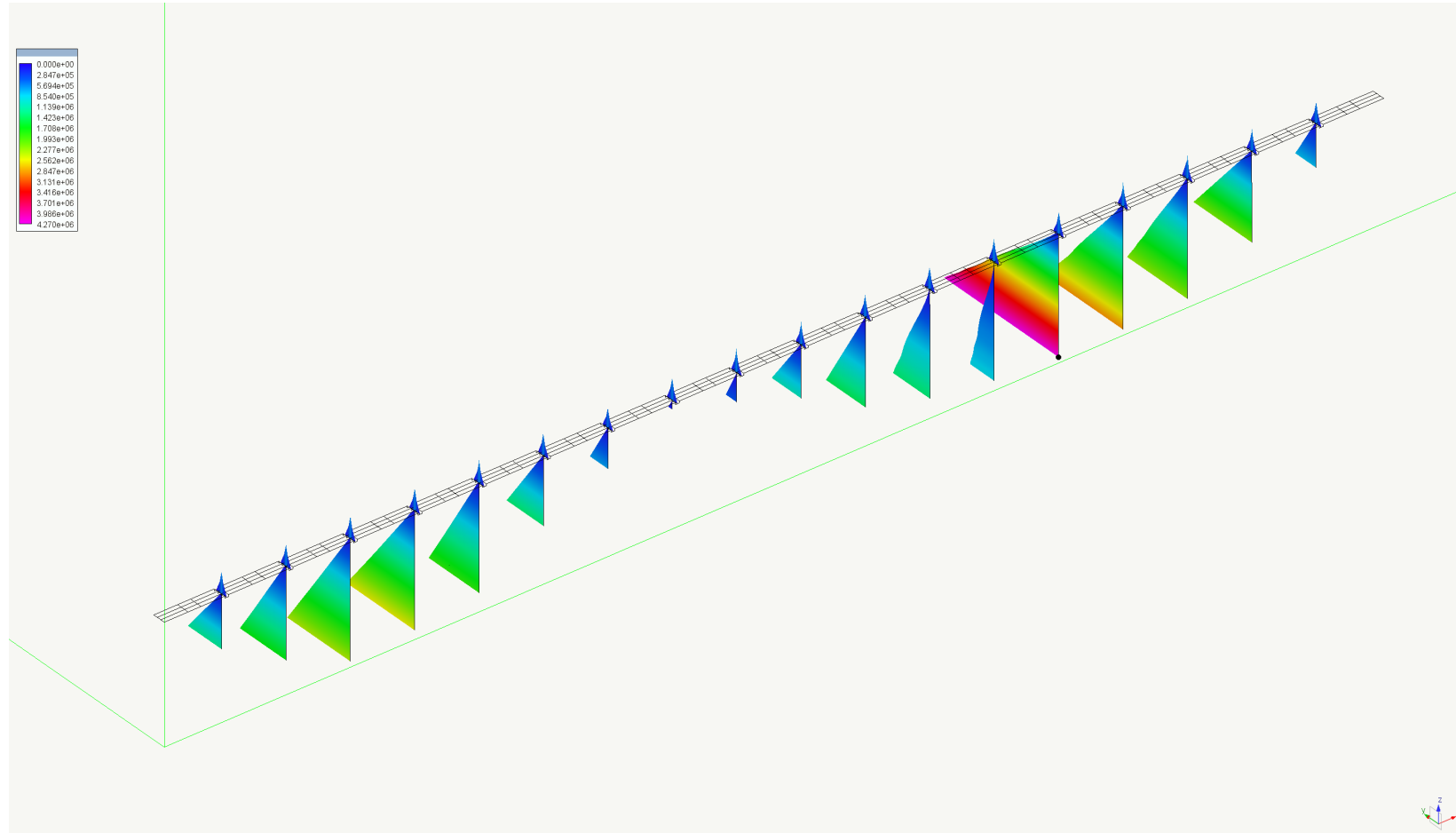
Il modello strutturale in Nòlian



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**

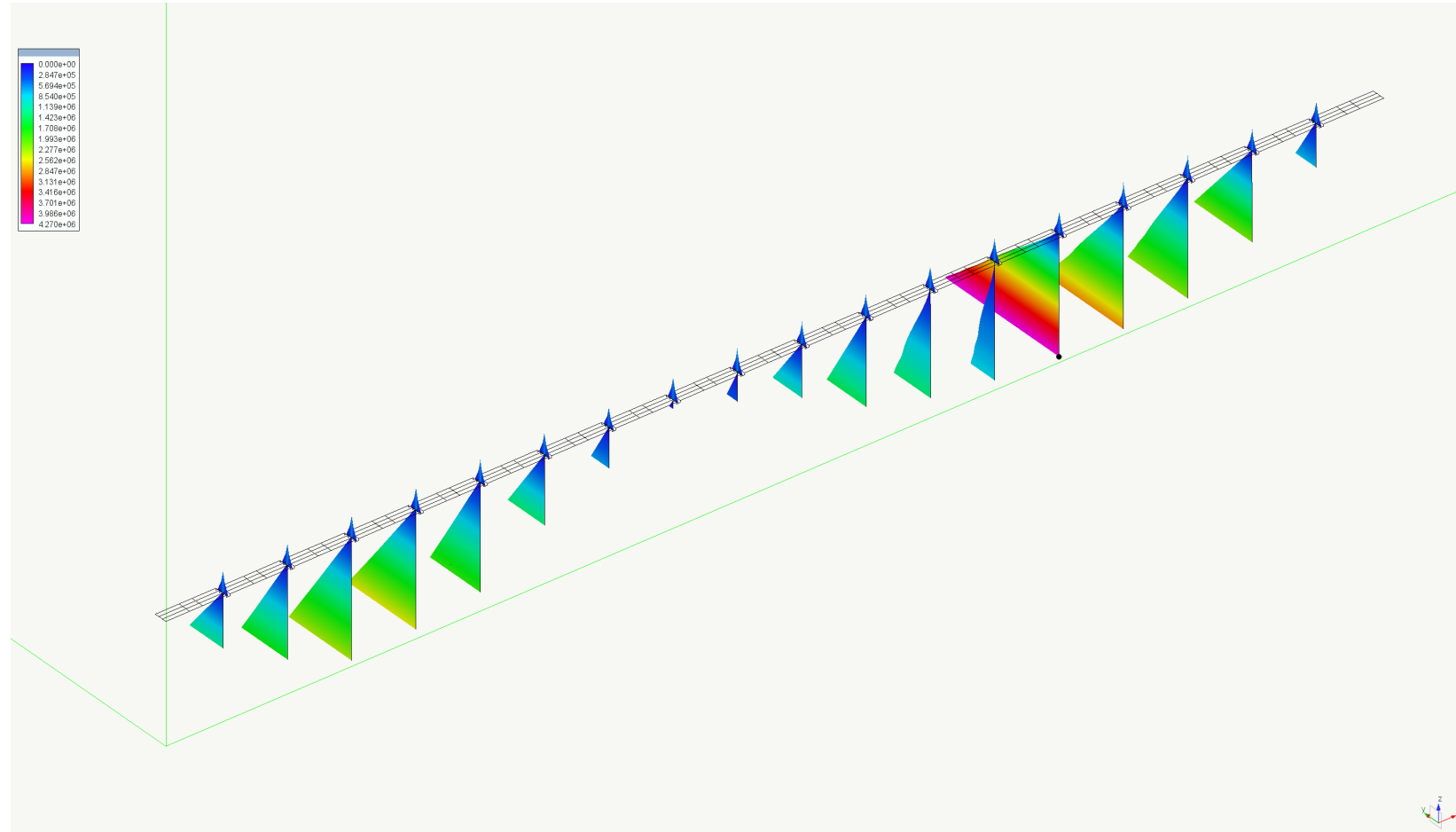
# Viadotto Friddizza

Il modello strutturale in Nòlian



# Viadotto Friddizza

Il modello strutturale in Nòlian





# Viadotto Friddizza

Applicazione dei Rinforzi strutturali



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**



# Viadotto Friddizza

Applicazione dei rinforzi strutturali



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**



# Viadotto Friddizza

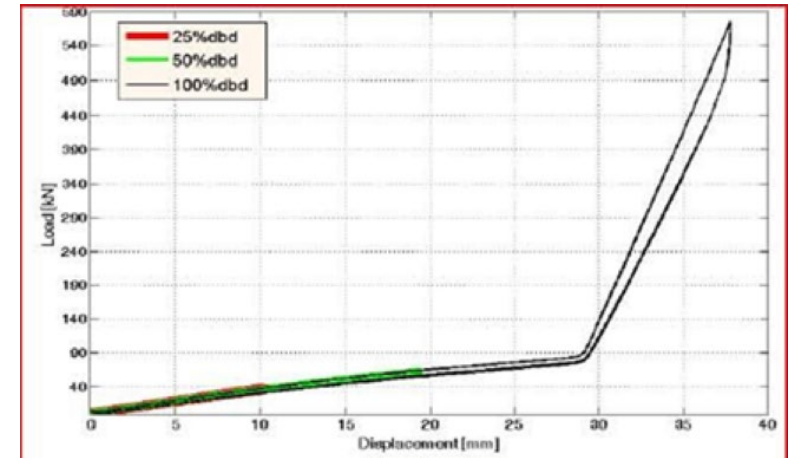
Il modello strutturale in Nòlian



# Viadotto Friddizza

## Il modello strutturale in Nòlian

Comportamento meccanico sotto test ciclico di spostamento sismico del dispositivo





# Viadotto Friddizza

Il modello strutturale in Nòlian



**Soluzioni innovative per la riabilitazione strutturale di ponti e viadotti**





Grazie per l'attenzione