

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

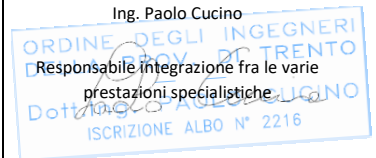


MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

Ing. Paolo Cucino



### PROGETTO ESECUTIVO

**PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"**

RELAZIONE

11 - OPERE CIVILI

A-PONTE SUL FIUME ISARCO

Elaborati Generali

Relazione interazione binario struttura

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO  Ing. Pietro Gianvecchio 		-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I B O U	1 B	E	Z Z	R H	V I O O O O	0 0 1	A

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	-	14/01/2022	F.Favaro	18/01/2022	D.Buttafoco (Dolomiti)	19/01/2022	IL PROGETTISTA M.Organte Ing. MARIO ORGANTE  29/01/2022

File: IB0U1BEZZRHVI0000001A.docx

n. Elab.: X

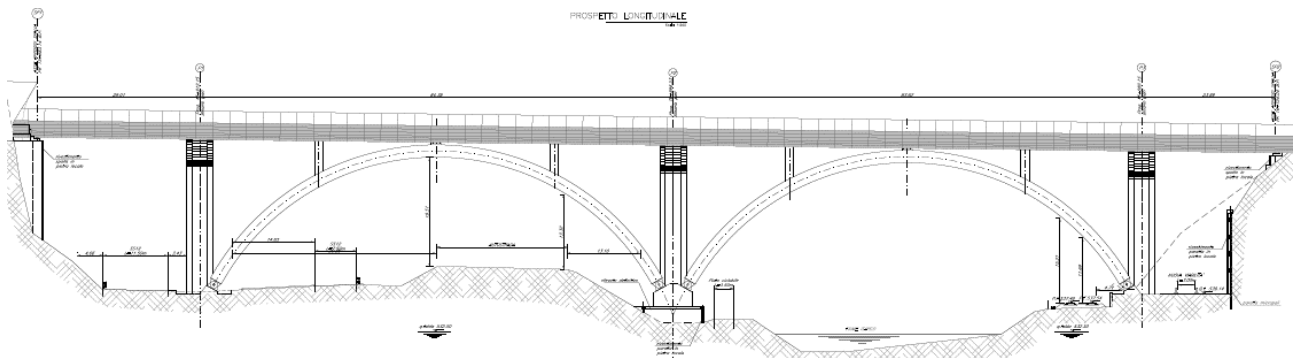
LINEA FERROVIARIA FORTEZZA – VERONA

QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA

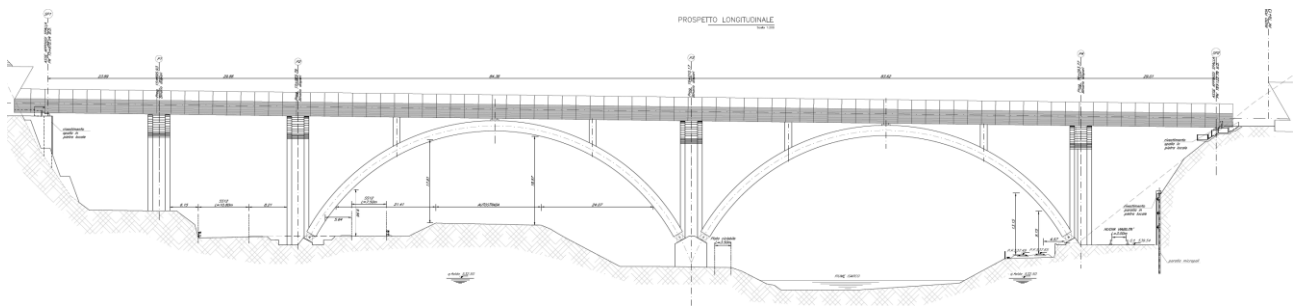
TRATTA FORTEZZA – PONTE GARDENA

PONTE SUL FIUME ISARCO

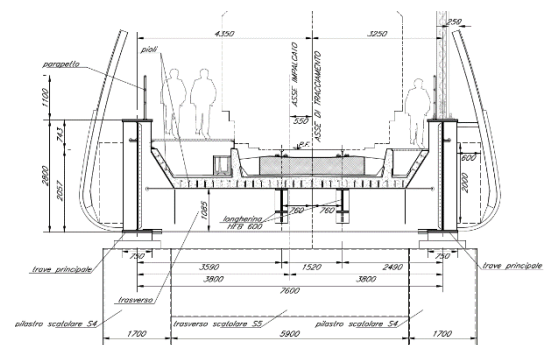
ANALISI DELL'INTERAZIONE TRENO – BINARIO – STRUTTURA



Binario Pari



Binario Dispari



Render e sezione

## INDICE

<b>1</b>	<b>DESCRIZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>MODELLI DI CALCOLO.....</b>	<b>7</b>
2.1	BINARIO PARI.....	7
2.2	BINARIO DISPARI .....	8
2.3	MODELLAZIONE DEL BINARIO .....	9
2.4	MODELLAZIONE DELL'IMPALCATO – BINARIO PARI.....	10
2.5	MODELLAZIONE DELL'IMPALCATO – BINARIO DISPARI .....	13
2.6	MODELLAZIONE DELL'ARMAMENTO .....	22
2.7	VARIAZIONI TERMICHE.....	24
2.8	CARICHI APPLICATI .....	25
<b>3</b>	<b>RISULTATI DELLE ANALISI PRELIMINARI .....</b>	<b>27</b>
3.1	BINARIO PARI.....	27
3.2	BINARIO DISPARI .....	30
<b>4</b>	<b>RISULTATI DELLE ANALISI FINALI.....</b>	<b>33</b>
4.1	BINARIO PARI.....	33
4.2	BINARIO DISPARI .....	35
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>41</b>

## 1 DESCRIZIONE

L'intervento in oggetto prevede, come opera principale, la realizzazione di due nuovi ponti ferroviari, uno per il binario pari ed uno per il dispari, sul fiume Isarco.

La soluzione proposta prevede due ponti simili ma non identici.

Il binario pari è dotato di 4 campate:

- 1) impalcato semplicemente appoggiato di luce paria a 29.01m (luce netta 28.16m);
- 2) ponte ad arco a via superiore con impalcato continuo su 5 appoggi di luce complessiva pari a 84.38m (luce netta 20.34m+21.00m+21.00m+20.34m);
- 3) ponte ad arco a via superiore con impalcato continuo su 5 appoggi di luce complessiva pari a 83.62m (luce netta 19.86m+21.00m+21.00m+19.96m);
- 4) impalcato semplicemente appoggiato di luce paria a 23.89m (luce netta 23.04m).

Il binario dispari è dotato di 5 campate:

- 1) impalcato semplicemente appoggiato di luce paria a 23.89m (luce netta 23.04m);
- 2) impalcato semplicemente appoggiato di luce paria a 29.86m (luce netta 28.16m);
- 3) ponte ad arco a via superiore con impalcato continuo su 5 appoggi di luce complessiva pari a 84.38m (luce netta 20.34m+21.00m+21.00m+20.34m);
- 4) ponte ad arco a via superiore con impalcato continuo su 5 appoggi di luce complessiva pari a 83.62m (luce netta 19.86m+21.00m+21.00m+19.96m);
- 5) impalcato semplicemente appoggiato di luce paria a 29.00m (luce netta 28.15m).

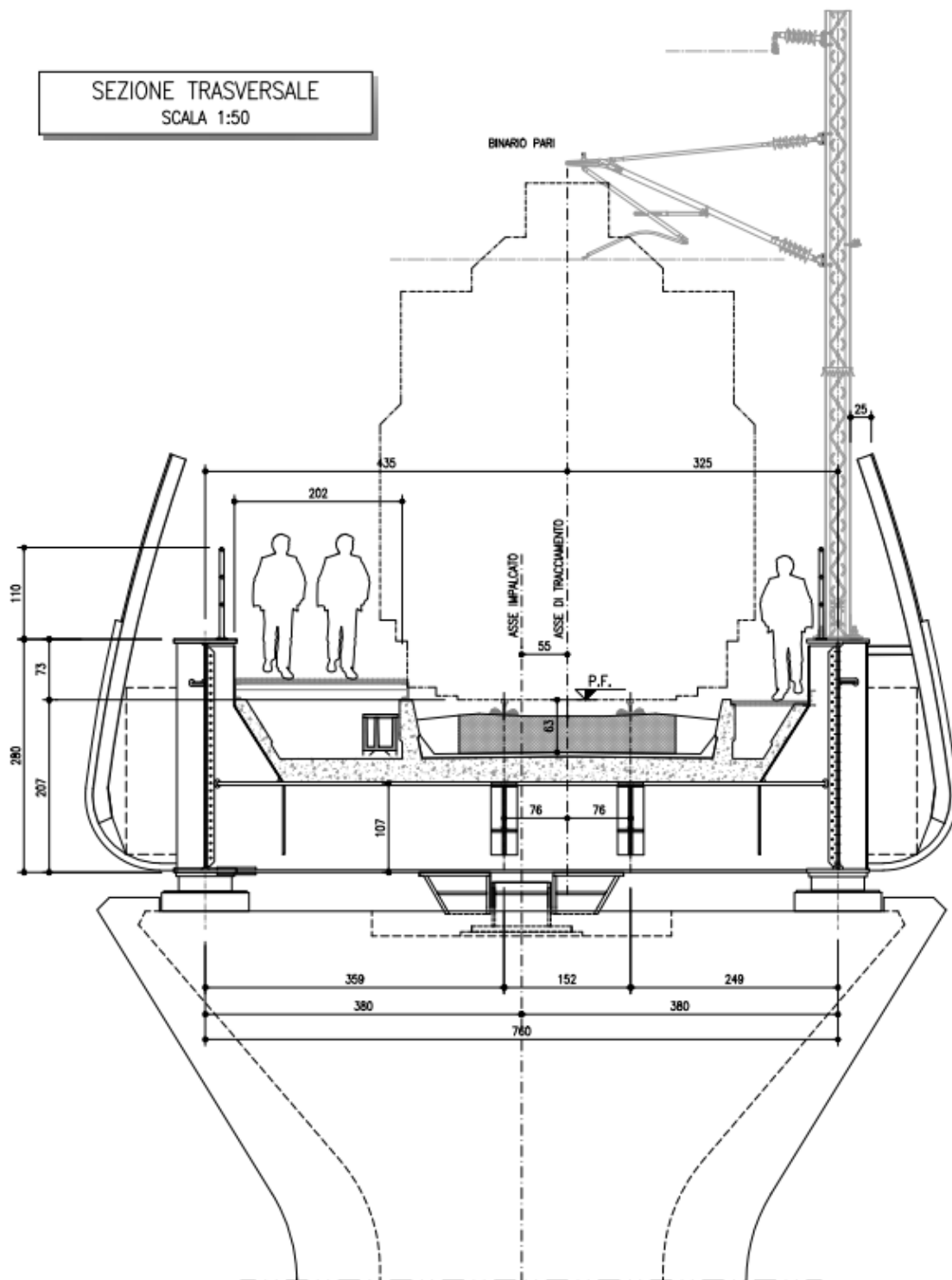


Fig. 1.1 – Sezione trasversale tipo binario pari

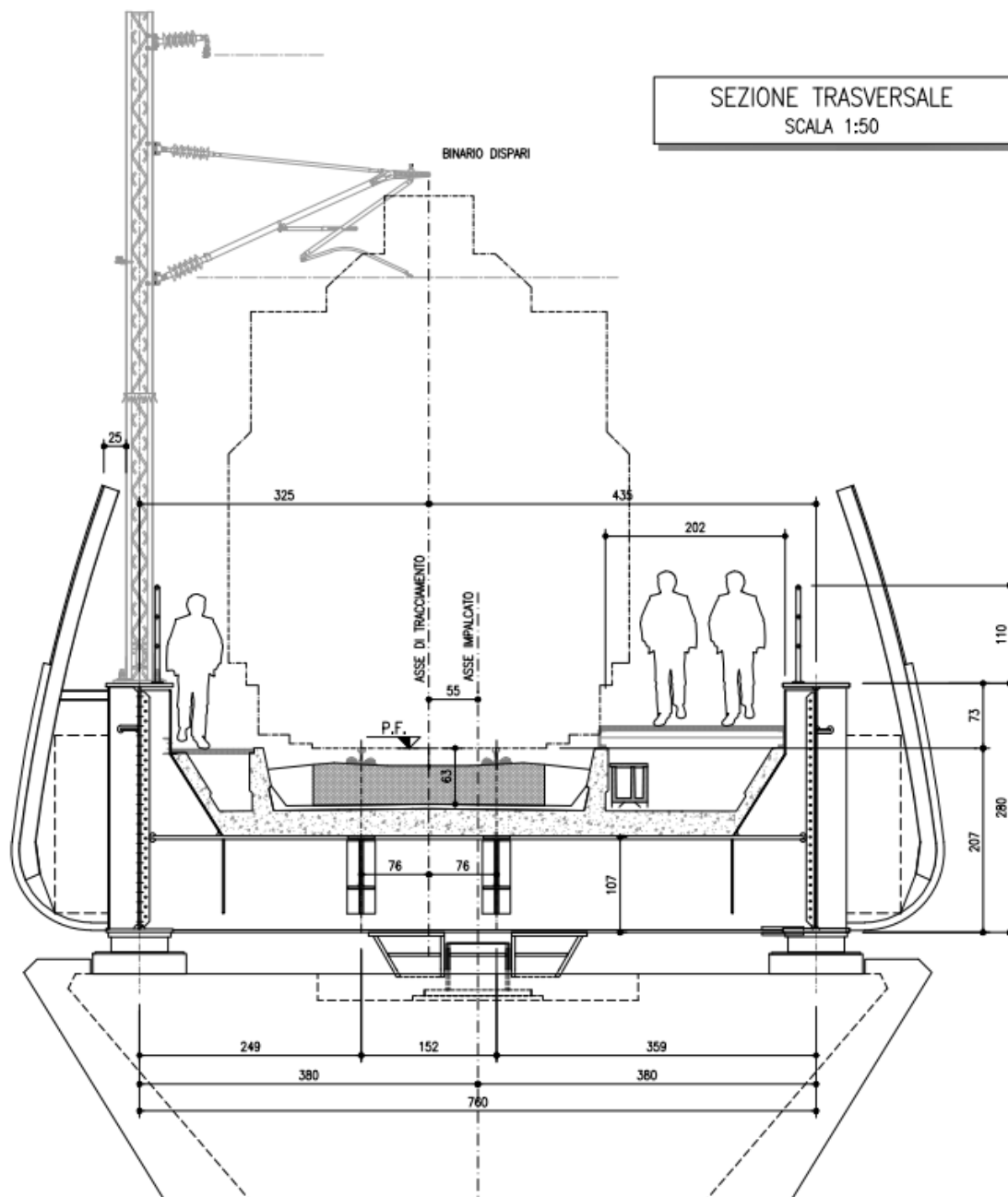


Fig. 1.2 – Sezione trasversale tipo binario dispari

Per la descrizione integrale e per i materiali impiegati, si rimanda alla relazione di calcolo dell’impalcato.

L’analisi è volta ad indagare gli effetti dovuti all’interazione statica treno-binario-struttura sul Ponte. Per lo scopo sono stati realizzati due modelli di calcolo che riproducono le due strutture. I modelli di calcolo sono tridimensionali.

Le longherine sono state modellate a singolarmente, Per smorzare gli effetti di bordo, in ciascuna delle estremità sono state modellate due piattaforme da 100 m ai lati di ciascuna spalla.

Nelle simulazioni numeriche è stato utilizzato il programma ad elementi finiti WPRIS, che permette di analizzare, in campo non lineare, gli effetti contemporanei dovuti alle azioni orizzontali di avviamento e frenatura, all’inflessione prodotta dai carichi verticali e alle variazioni termiche dell’impalcato.

Sono stati utilizzati elementi finiti lineari tipo "beam" per la modellazione del binario e dell'impalcato, mentre per l'armamento, realizzato con attacco diretto su piastroni in calcestruzzo sono stati utilizzati elementi finiti non lineari tipo "ballast" (v. M. Dolce, Interazione Statica Treno-Binario-Struttura: Il programma ISTBS, Ingegneria Ferroviaria, Settembre 1992, Roma), aventi una deformazione orizzontale al limite elastico di 0.5 mm ed una resistenza, allo stesso limite, pari a 13 o 50 kN/m nel caso di binario scarico rispettivamente per l'attacco elastico e l'attacco di tipo "K" e di 35 o 80 kN/m nel caso di binario con carico verticale di 80 kN/m rispettivamente per l'attacco elastico e l'attacco di tipo "K".

La variazione termica uniforme dell'impalcato in acciaio è stata fissata a  $\pm 25^{\circ}\text{C}$  per le campate in acciaio (cfr. "Manuale di progettazione: RFI DTC SI PS MA IFS 001 E" § 2.5.1.4.4.1); le variazioni termiche sono state applicate prima del transito dei treni, in accordo con le Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle Ferrovie dello Stato.

Gli impalcati sono a singolo binario e sono stati impiegati nell'analisi, in accordo con le citate Istruzioni, i treni tipo LM71, SW0 e SW2. Il valore del coefficiente di adattamento " $\alpha$ " da adottarsi per il modello di carico LM71 e SW0 nella progettazione di ferrovie ordinarie è pari a 1.1.

## 2 MODELLI DI CALCOLO

### 2.1 BINARIO PARI

Il modello è costituito da 2262 nodi, da quattro gruppi di elementi finiti tipo “beam” e quattro di tipo molle, tutti a comportamento lineare, e da un gruppo di elementi finiti tipo “ballast” a comportamento non lineare.

Nella tabella seguente viene riportata una descrizione dei gruppi di elementi finiti utilizzati:

GRUPPO	TIPO	DESCRIZIONE	N° ELEMENTI
1	BEAM	BINARIO	422
2	BEAM	IMPALCATO	2094
3	BEAM	PILE	3
4	BEAM	BRACCI RIGIDI DI IMPALCATO	446
5	BALLAST	ARMAMENTO	423
6	MOLLE	APPARECCHI DI APPOGGIO	32 (16 reali + 16 fittizi)
7	MOLLE	FONDAZIONI	3
8	MOLLE	BRACCIO RIGIDI FONDAZIONI	3
9	MOLLE	MOLLE FITTIZIE (*)	5

(\*) elementi molla di rigidità nulla utilizzati per leggere gli spostamenti relativi tra due impalcati consecutivi o tra impalcato e rilevato, al livello del piano di regolamento.

La discretizzazione del modello prevede passi di avanzamento dei convogli di 1m; per ogni passo di avanzamento del convoglio sono previsti 3 passi di integrazione. Il numero massimo di passi di integrazione usato nelle analisi è pari a 1507.



## 2.2 BINARIO DISPARI

Il modello è costituito da 2498 nodi, da quattro gruppi di elementi finiti tipo “beam” e quattro di tipo molle, tutti a comportamento lineare, e da un gruppo di elementi finiti tipo “ballast” a comportamento non lineare.

Nella tabella seguente viene riportata una descrizione dei gruppi di elementi finiti utilizzati:

GRUPPO	TIPO	DESCRIZIONE	N° ELEMENTI
1	BEAM	BINARIO	452
2	BEAM	IMPALCATO	2298
3	BEAM	PILE	4
4	BEAM	BRACCI RIGIDI DI IMPALCATO	504
5	BALLAST	ARMAMENTO	453
6	MOLLE	APPARECCHI DI APPOGGIO	40 (20 reali + 20 fittizi)
7	MOLLE	FONDAZIONI	4
8	MOLLE	BRACCIO RIGIDI FONDAZIONI	4
9	MOLLE	MOLLE FITTIZIE (*)	6

(\*) elementi molla di rigidità nulla utilizzati per leggere gli spostamenti relativi tra due impalcati consecutivi o tra impalcato e rilevato, al livello del piano di regolamento.

La discretizzazione del modello prevede passi di avanzamento dei convogli di 1m; per ogni passo di avanzamento del convoglio sono previsti 3 passi di integrazione. Il numero massimo di passi di integrazione usato nelle analisi è pari a 1597.

Nella presente relazione si utilizza il Sistema di misura Internazionale, per cui le forze sono espresse in kN, le lunghezze in m.

### 2.3 MODELLAZIONE DEL BINARIO

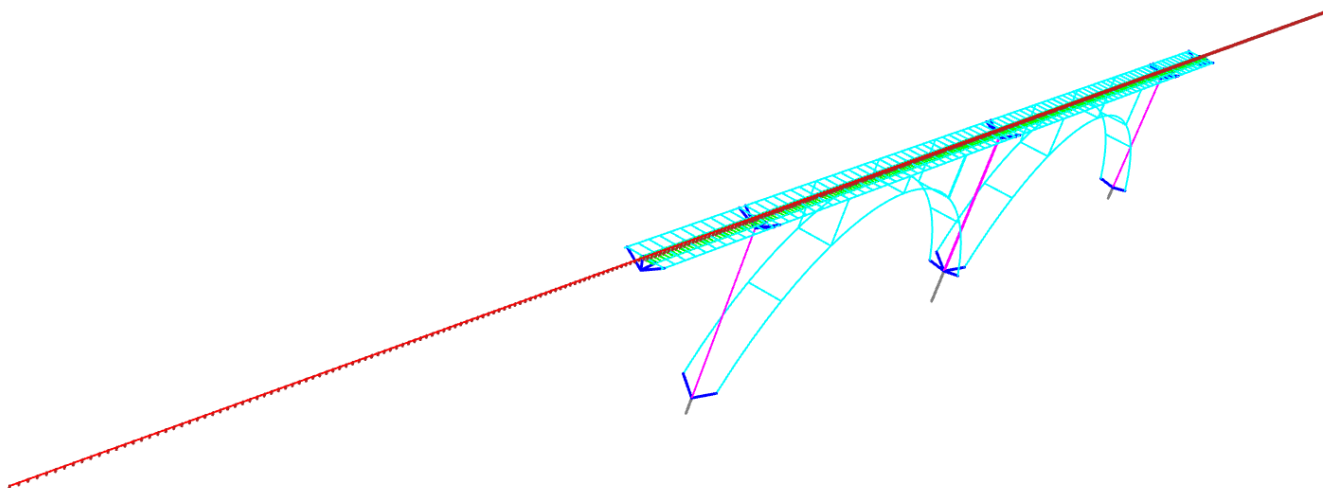
La modellazione dei binari è realizzata mediante un gruppo di elementi finiti tipo “beam”, aventi le caratteristiche geometrico-meccaniche descritte nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** Il collegamento tra i binari e l'impalcato è realizzato con bracci rigidi e con elementi “ballast”. Ogni elemento “beam” ha la lunghezza pari a 1.00 m.

Caratteristiche	
Area Sezione [m <sup>2</sup> ]	0.007686
Area Taglio S [m <sup>2</sup> ]	0.003
Mom. Inerzia Fless. S [m <sup>4</sup> ]	5.128E-06
Mod. Resist. Asse S Sup [m <sup>3</sup> ]	6.84E-05
Mod. Resist. Asse S Inf [m <sup>3</sup> ]	6.84E-05
Z Baricentro [m]	0.08095
Mom. Inerzia Tors. R [m <sup>4</sup> ]	1
Area Taglio T [m <sup>2</sup> ]	0.004
Mom. Inerzia Fless. T [m <sup>4</sup> ]	3.055E-05
Mod. Resist. Asse T Sup [m <sup>3</sup> ]	0.0003355
Mod. Resist. Asse T Inf [m <sup>3</sup> ]	0.0003774
<input type="button" value="Ricalcola Caratteristiche"/>	

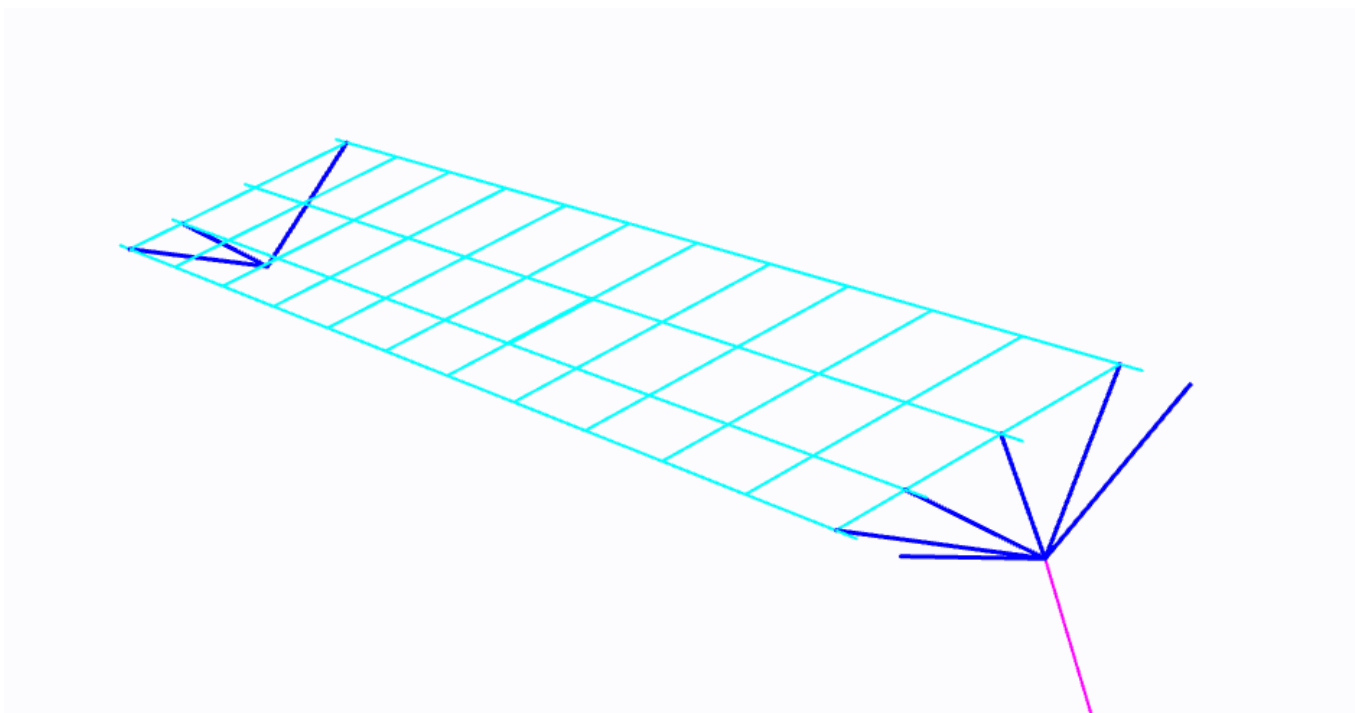
Fig. 2.1 - Caratteristiche della rotaia

**2.4 MODELLAZIONE DELL'IMPALCATO – BINARIO PARI**

L'impalcato è modellato mediante elementi "beam" di sezione costante nei tratti di pertinenza le cui caratteristiche geometriche sono fornite dal progettista strutturale.



*Fig. 2.2 – Schematizzazione modello di calcolo*



*Fig. 2.3 – Dettaglio degli elementi finiti del ponte – Campata 1*

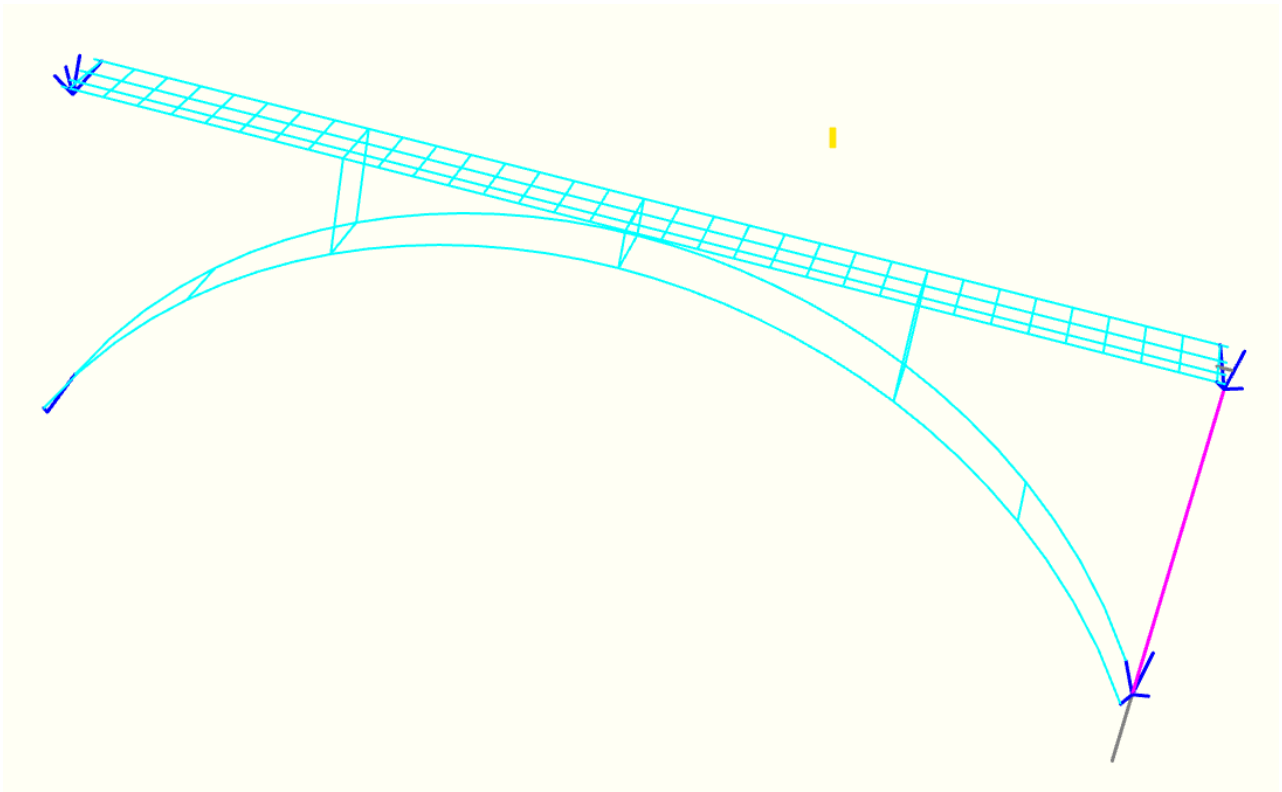


Fig. 2.4 – Dettaglio degli elementi finiti del ponte – Campata 2

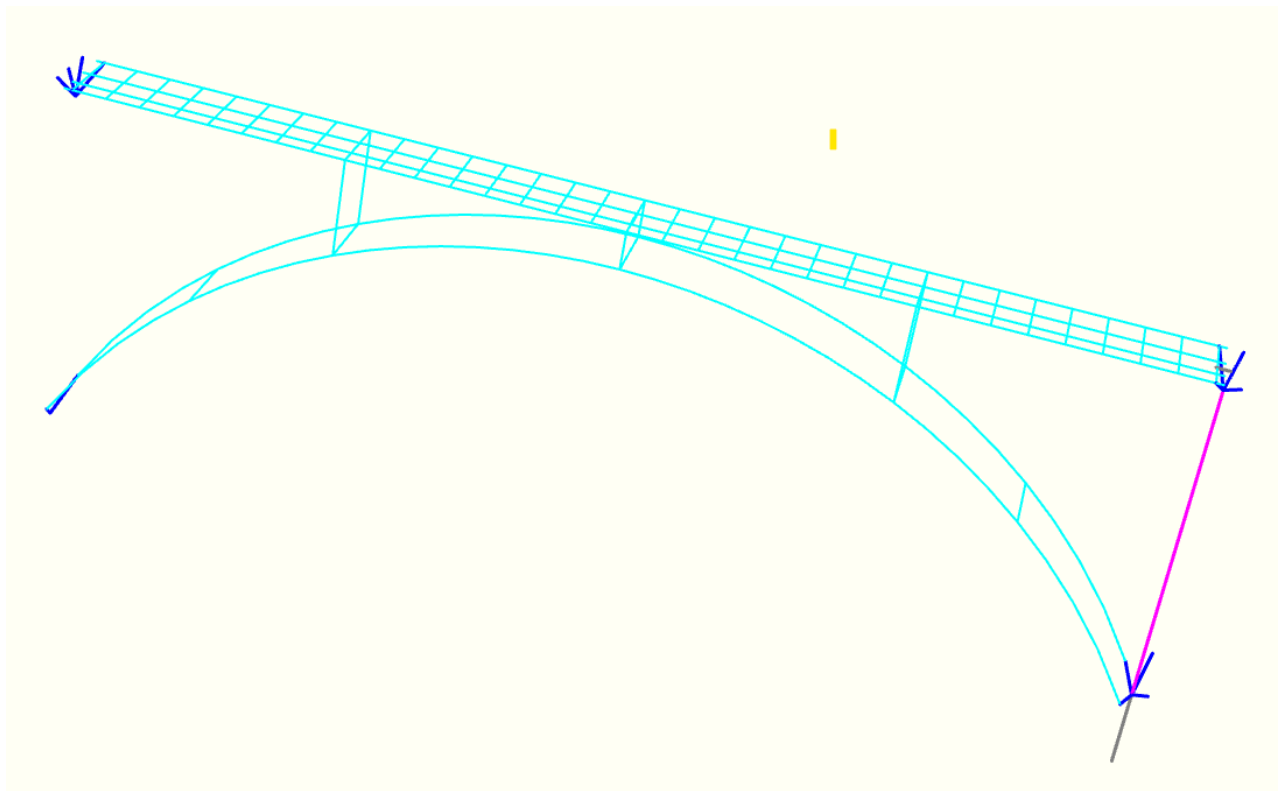
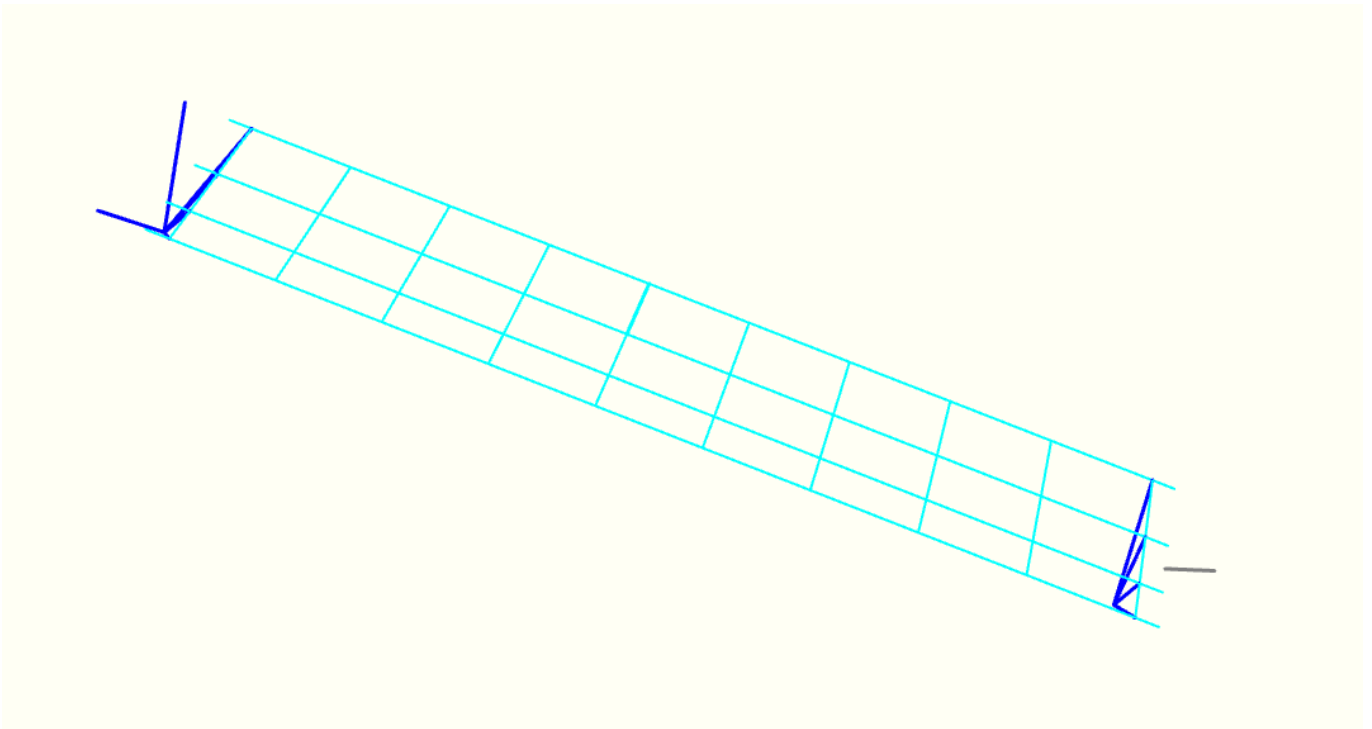


Fig. 2.5 – Dettaglio degli elementi finiti del ponte – Campata 3



*Fig. 2.6 – Dettaglio degli elementi finiti del ponte – Campata 4*

## 2.5 MODELLAZIONE DELL'IMPALCATO – BINARIO DISPARI

L'impalcato è modellato mediante elementi "beam" di sezione costante nei tratti di pertinenza le cui caratteristiche geometriche sono fornite dal progettista strutturale.

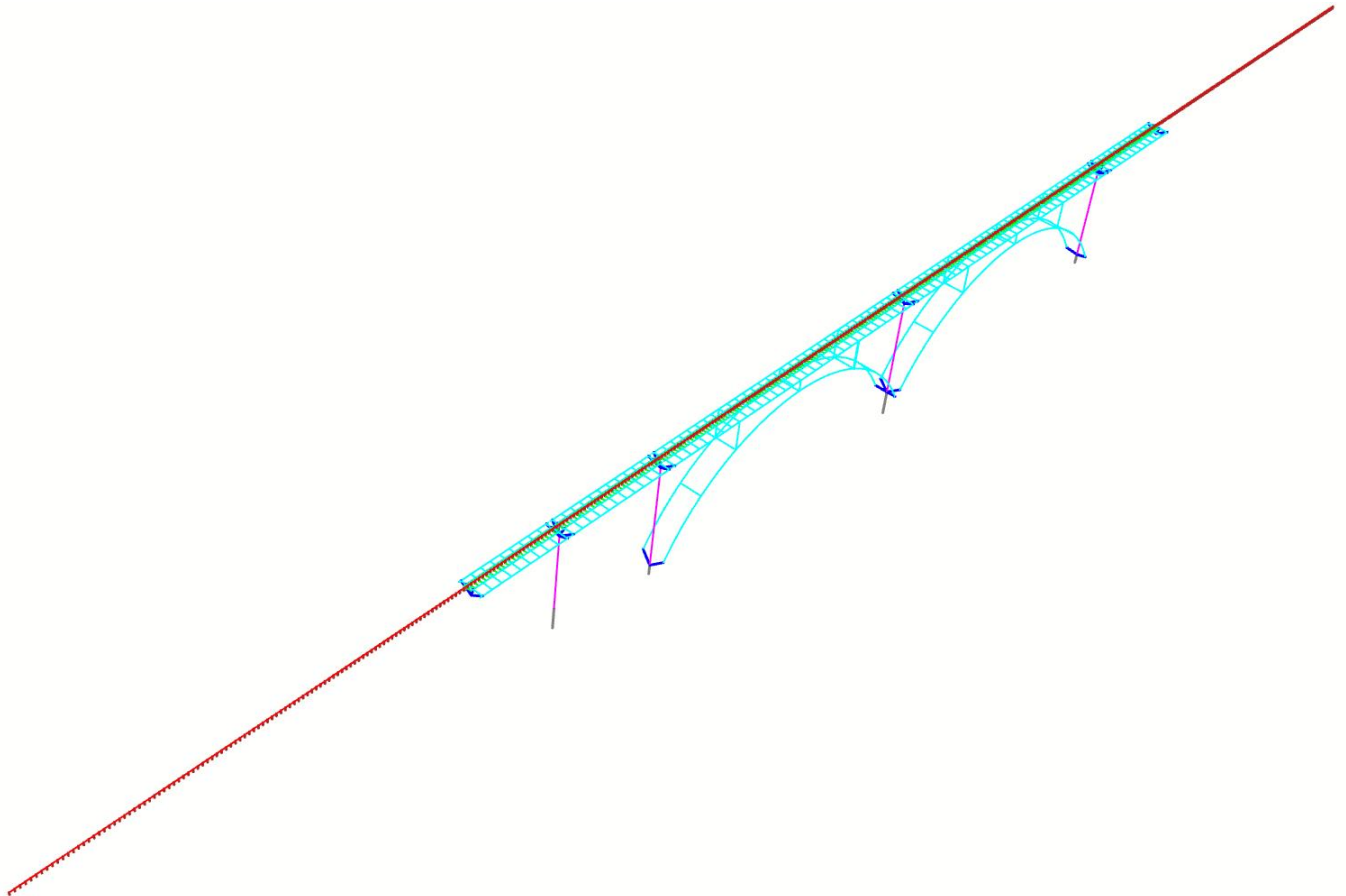


Fig. 2.7 – Schematizzazione modello di calcolo

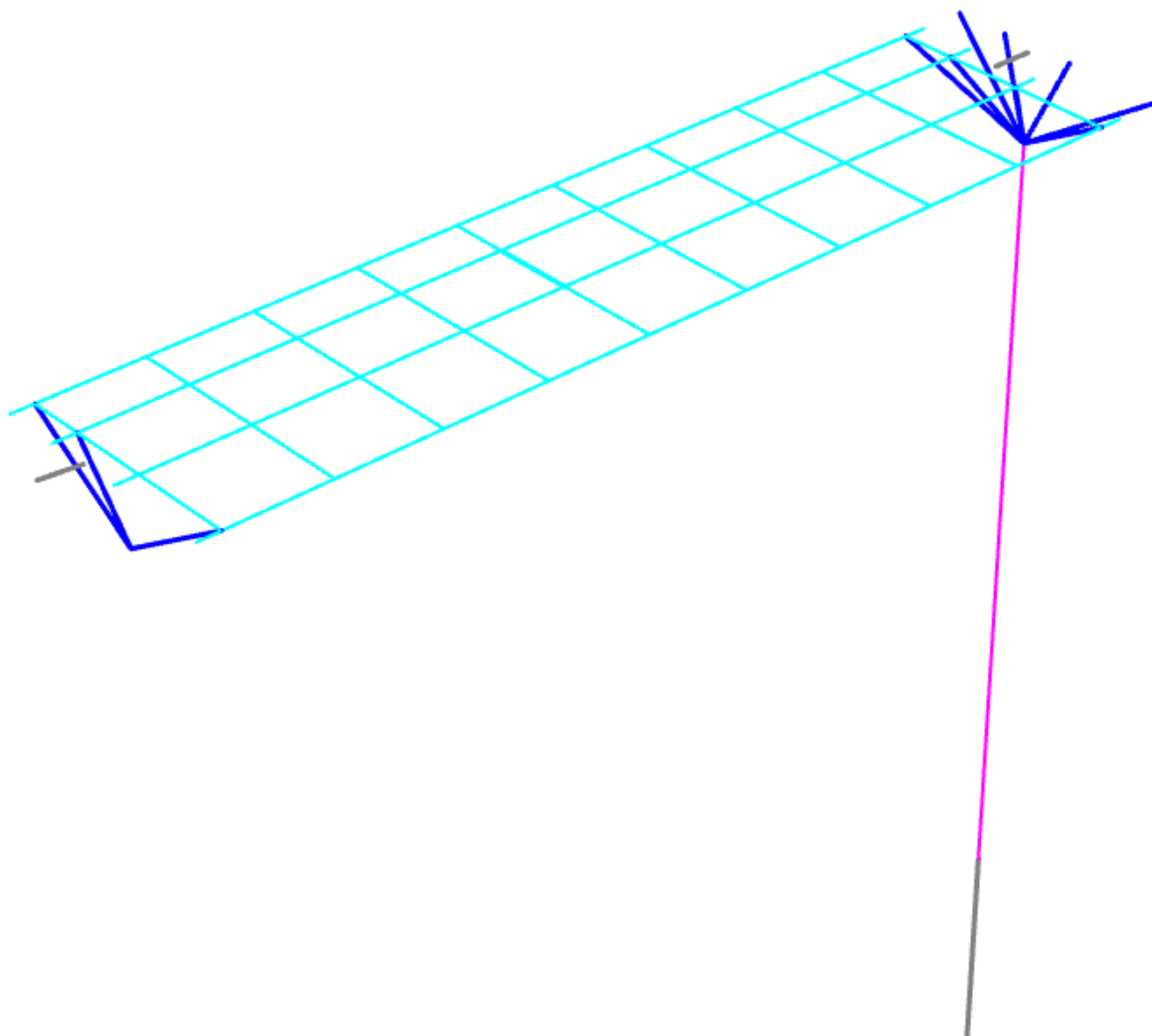
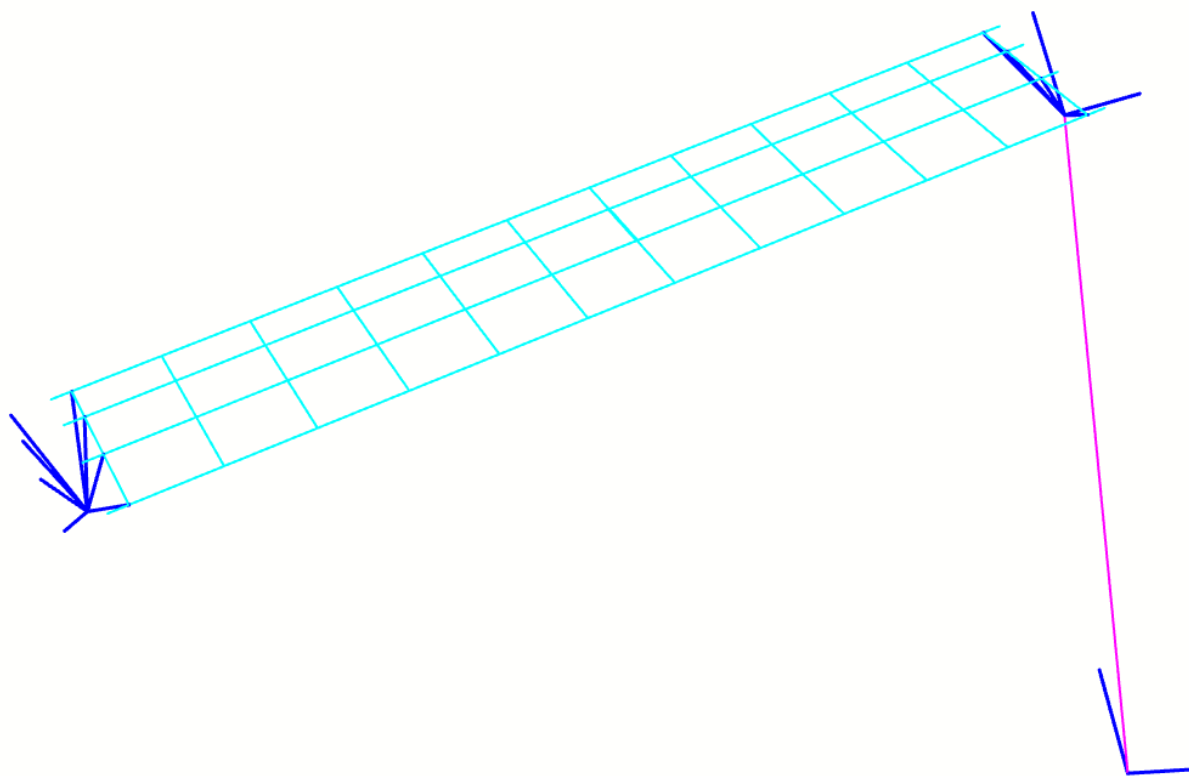


Fig. 2.8 – Dettaglio degli elementi finiti del ponte – Campata 1



*Fig. 2.9 – Dettaglio degli elementi finiti del ponte – Campata 2*



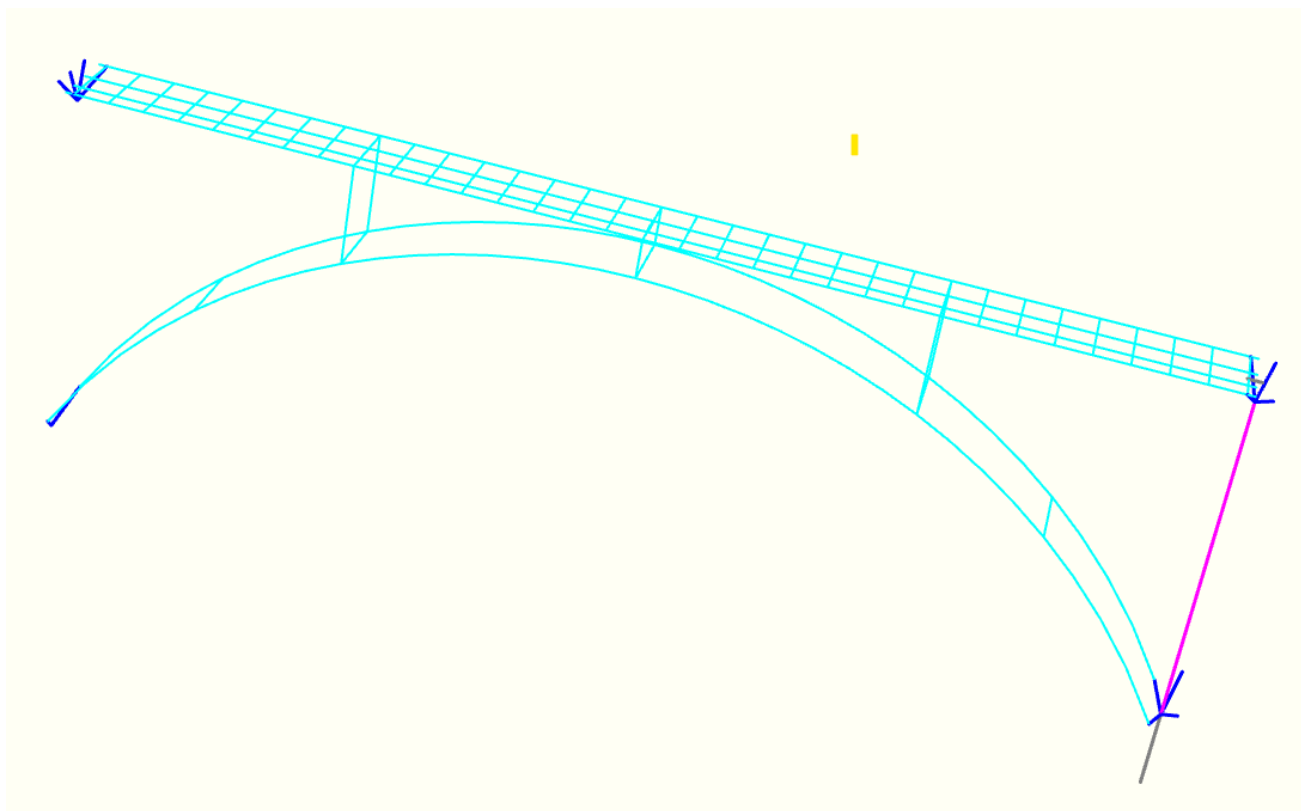


Fig. 2.10 – Dettaglio degli elementi finiti del ponte – Campata 3

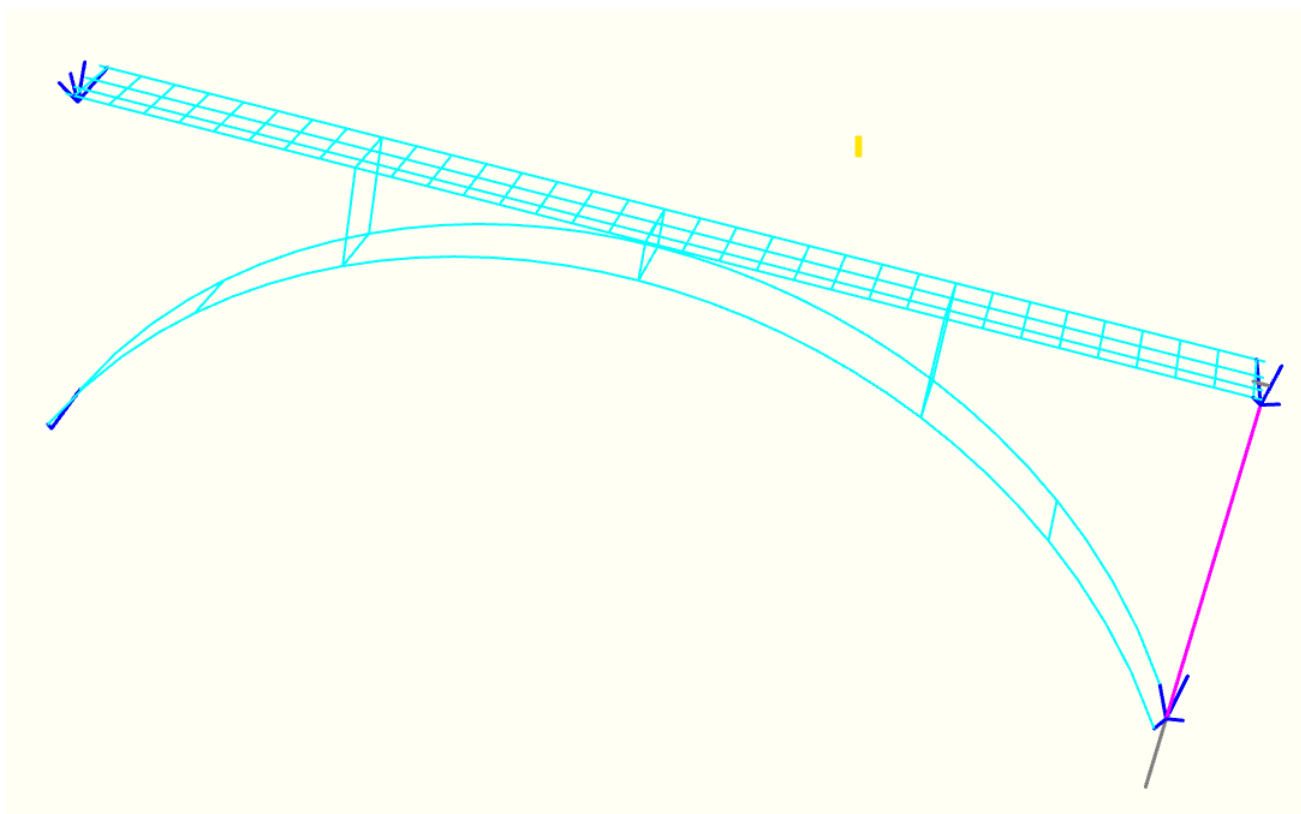


Fig. 2.11 – Dettaglio degli elementi finiti del ponte – Campata 4

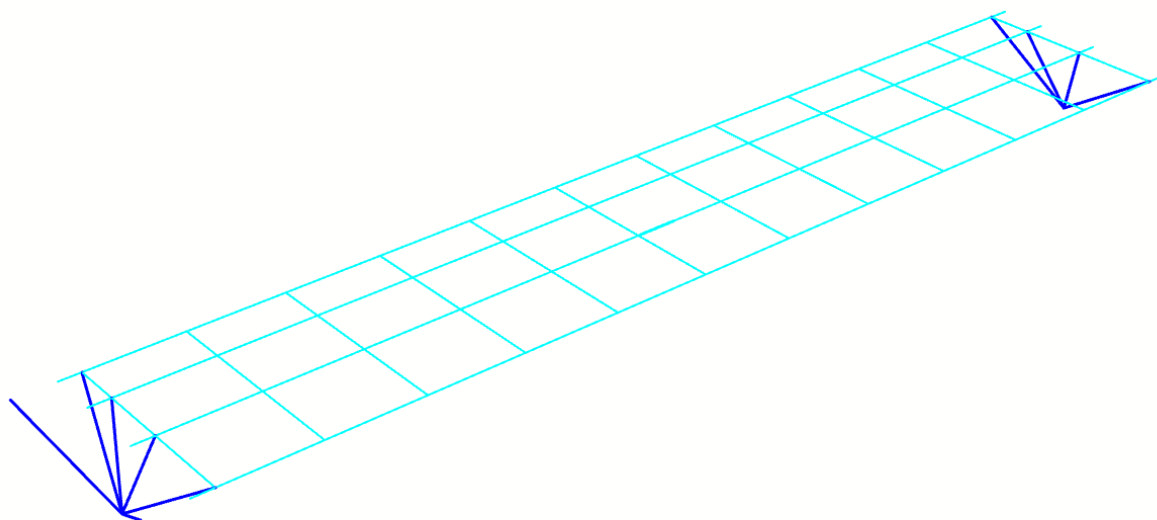


Fig. 2.12 – Dettaglio degli elementi finiti del ponte – Campata 5

Le caratteristiche geometriche delle sezioni sono riportate nelle figure seguenti.

Tali valori sono forniti dal progettista delle strutture.

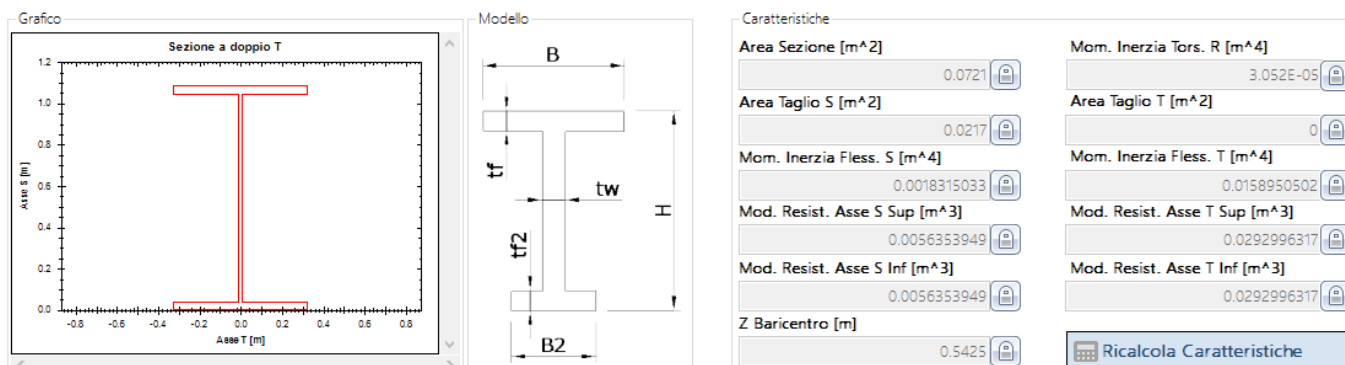


Fig. 2.13 - Sezione Traverso impalcato in appoggio

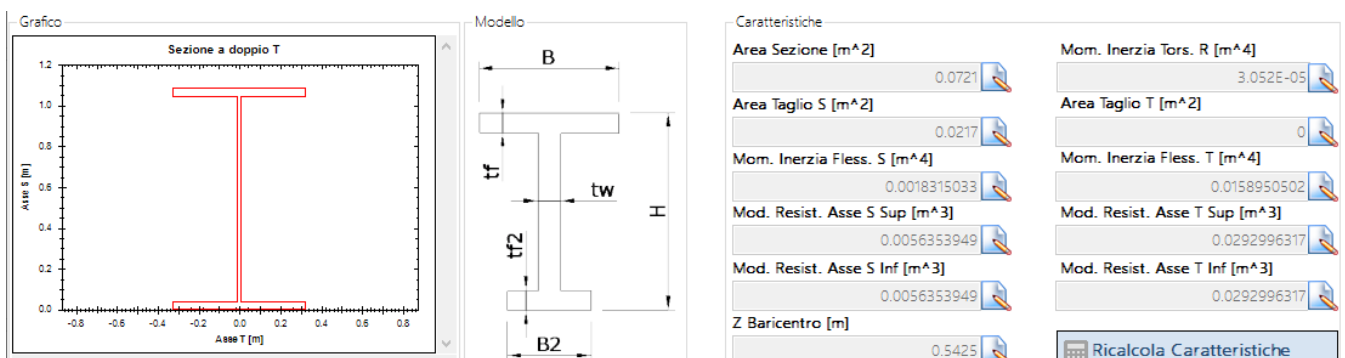


Fig. 2.14 - Sezione Traverso impalcato tipo

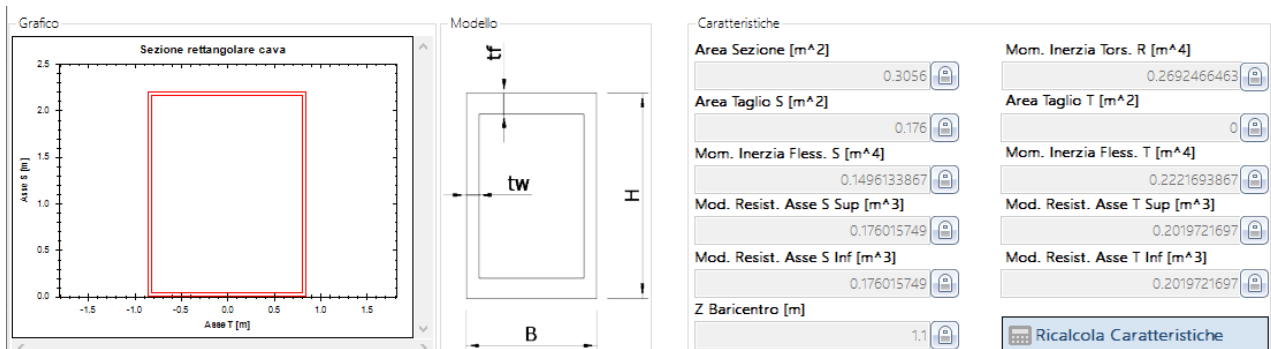


Fig. 2.15 - Sezione Arco

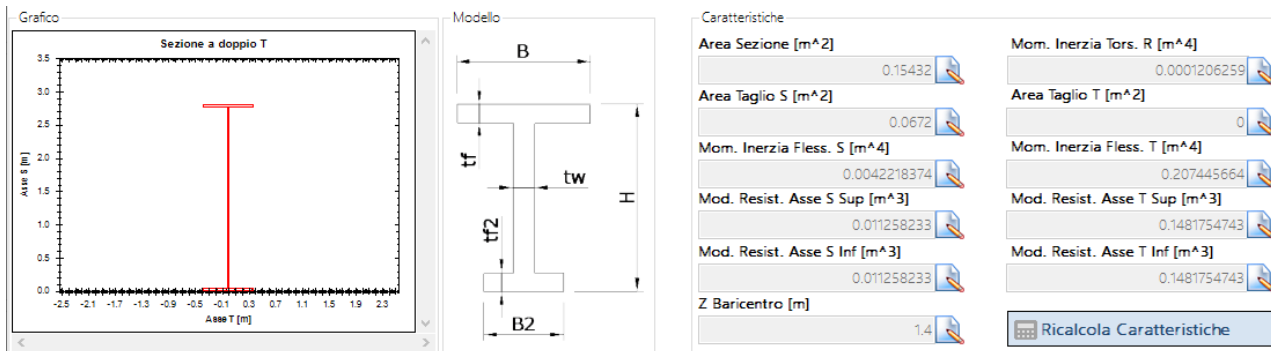


Fig. 2.16 - Sezione Trave tipo 1

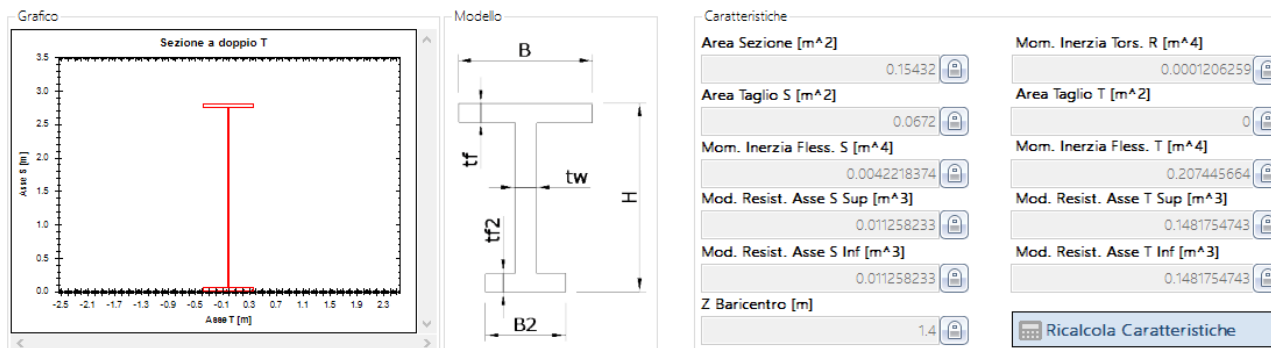


Fig. 2.17 - Sezione Trave tipo 2

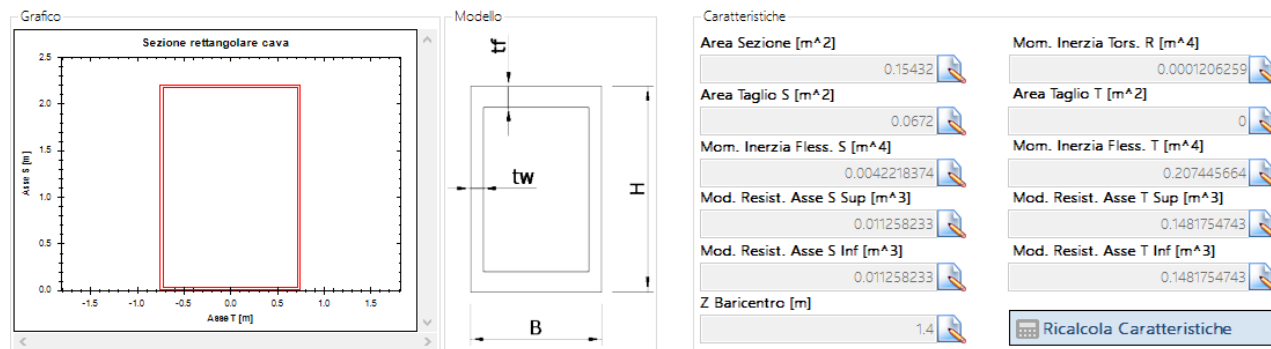


Fig. 2.18 - Sezione Traverso S2

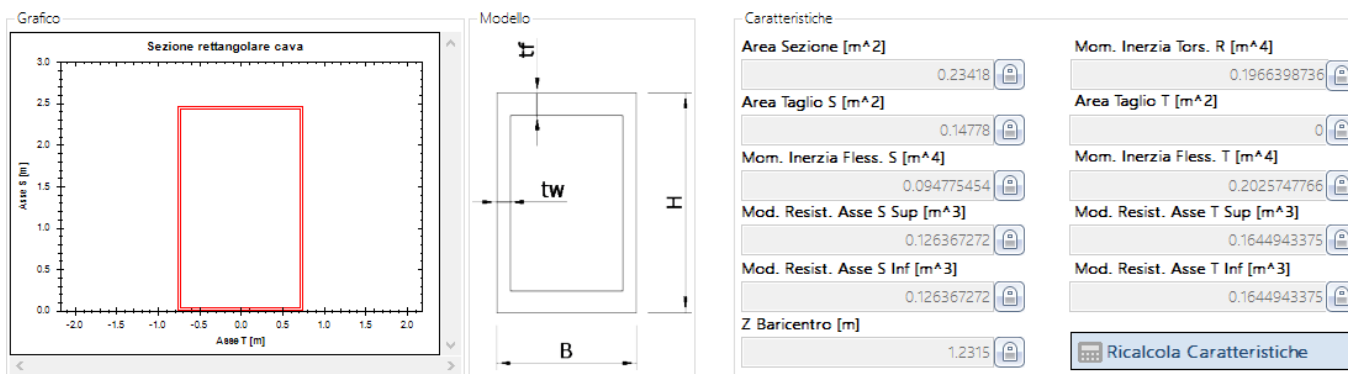


Fig. 2.19 - Sezione Traverso S3

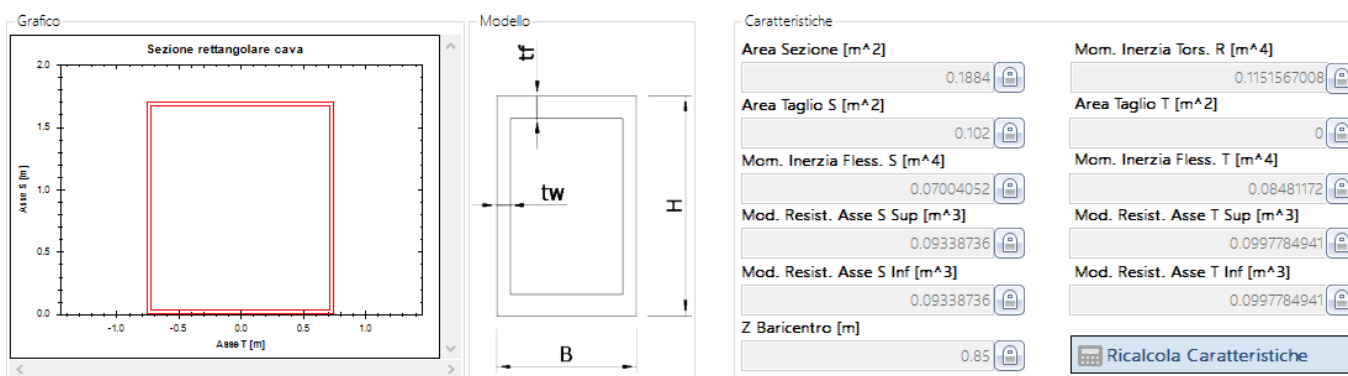


Fig. 2.20 - Sezione Traverso S5

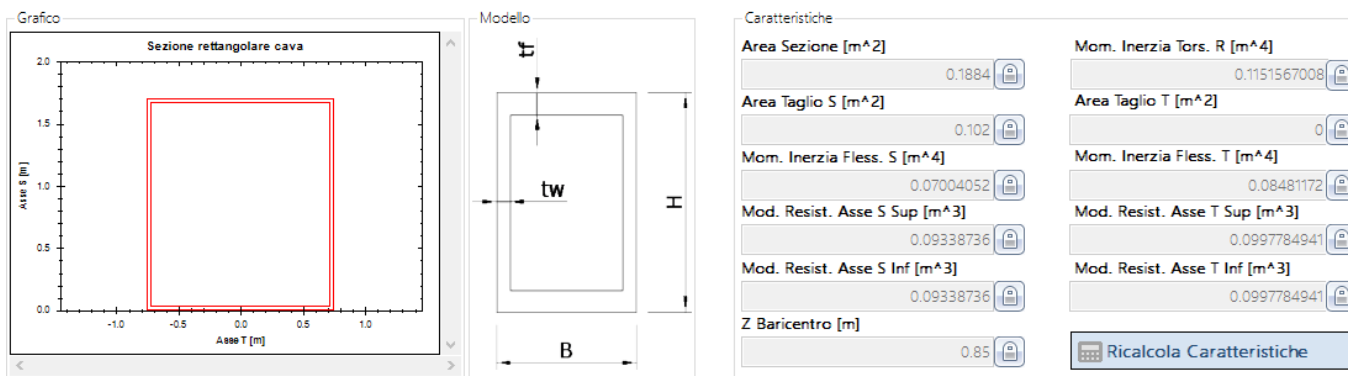


Fig. 2.21 - Sezione Colonna S4

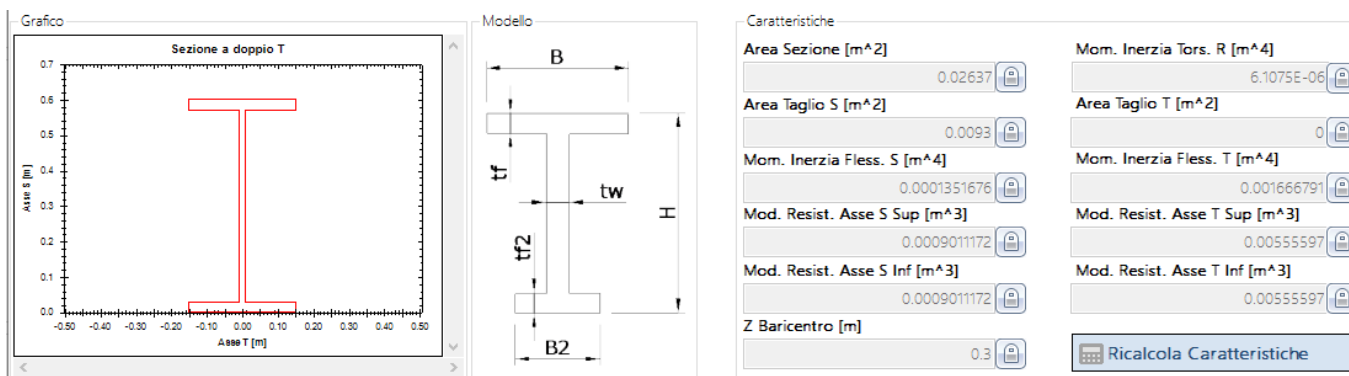


Fig. 2.22 – Sezione Longherina HE600B

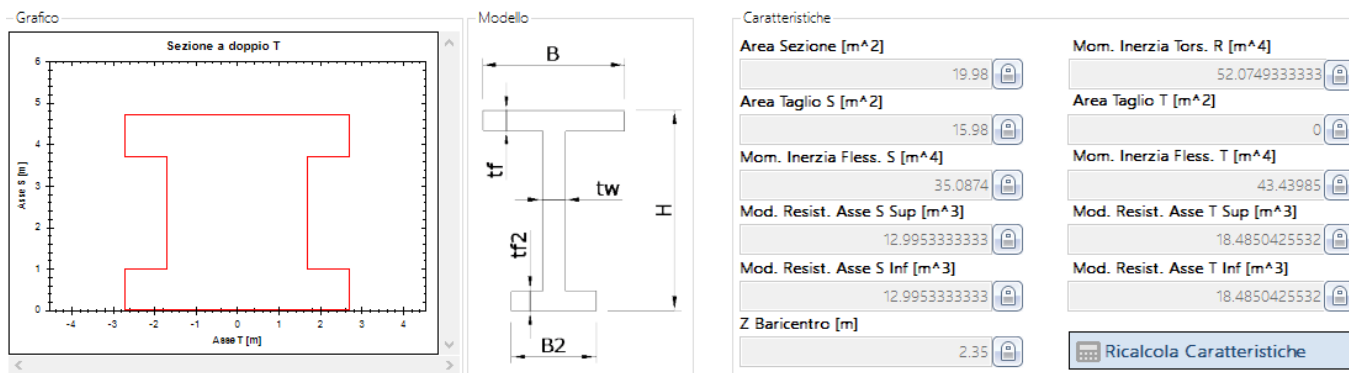


Fig. 2.23 – Sezione Pila

Di seguito le caratteristiche meccaniche dei materiali utilizzati:

Descrizione	Modulo Elastico [kN/m <sup>2</sup> ]	Coefficiente Dilatazione Termica	Coefficiente di Poisson
Acciaio	2.1E+08	1.20E-05	0.3
Calcestruzzo	33721654	1.00E-05	0.15

La rigidezza longitudinale dei vincoli fissi deve tener conto della deformabilità delle pile/spalle e delle relative fondazioni. I pozzi delle pile P1D, P4D e P3P ricadono in roccia sono schematizzati come incastri. Le rigidezze calcolate invece fanno riferimento ai pozzi su terreni alluvionali (P2D, P3D, P1P e P2P).

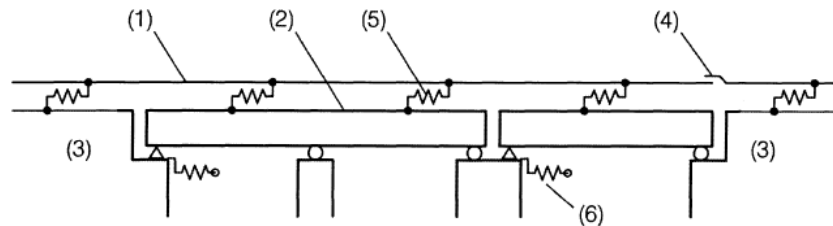
La valutazioni sulla rigidezza delle fondazioni è stata fornita dal progettista strutturale.

Rigidezze		P1P - P2D	
Kz	[kN/m]	<b>9.62E+06</b>	Rigidezza traslazionale in direzione Z verticale
Kx	[kN/m]	<b>3.40E+06</b>	Rigidezza traslazionale in direzione X longitudinale
Ry	[kNm/rad]	<b>5.65E+08</b>	Rigidezza rotazionale longitudinale, attorno asse Y
Ky	[kN/m]	<b>6.48E+06</b>	Rigidezza traslazionale in direzione Y trasversale
Rx	[kNm/rad]	<b>7.93E+08</b>	Rigidezza rotazionale trasversale, attorno asse X

Rigidezze		P2P - P3D	
Kz	[kN/m]	<b>1.99E+07</b>	Rigidezza traslazionale in direzione Z verticale
Kx	[kN/m]	<b>2.80E+06</b>	Rigidezza traslazionale in direzione X longitudinale
Ry	[kNm/rad]	<b>5.42E+08</b>	Rigidezza rotazionale longitudinale, attorno asse Y
Ky	[kN/m]	<b>5.46E+06</b>	Rigidezza traslazionale in direzione Y TRASVERSALE
Rx	[kNm/rad]	<b>8.71E+08</b>	Rigidezza rotazionale trasversale, attorno asse X

2.6 MODELLAZIONE DELL'ARMAMENTO

L'armamento è stato modellato mediante un apposito elemento finito presente nella libreria del programma WPRIS a comportamento non lineare. Il legame costitutivo dell'elemento finito è descritto nella Fig. 2.24. Ogni elemento "ballast" ha il nodo superiore collegato ad un elemento di binario. Il nodo inferiore può essere collegato, a seconda del tipo di tratta, direttamente alla piattaforma inerte oppure, tramite bracci rigidi, agli elementi "beam" dell'impalcato.

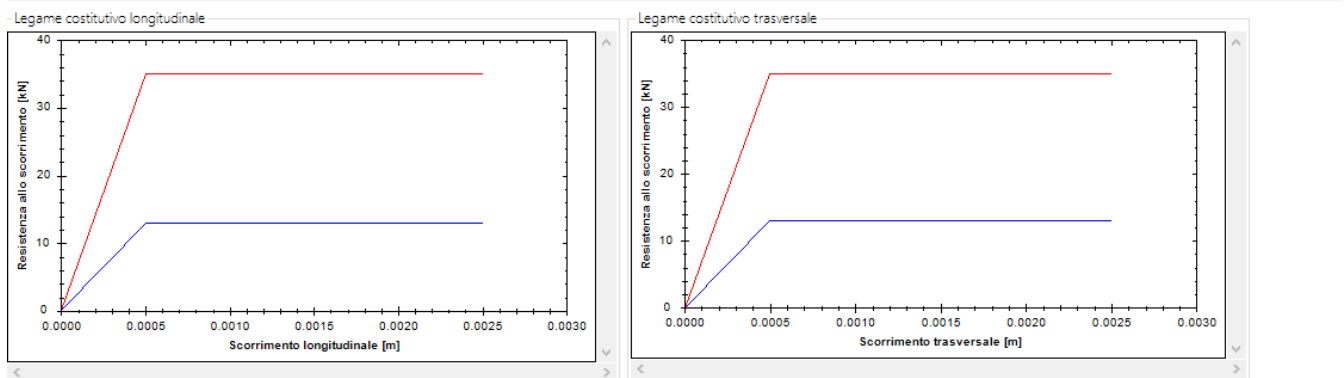


Legenda:

- 1-Rotaia (Binario); 2-Impalcato; 3-Rilevato; 4-Eventuali dispositivi di dilatazione del binario
- 5-Elementi non lineari con rigidezza variabile che riproducono il comportamento carico longitudinale / spostamento del binario in funzione dei carichi verticali applicati
- 6-Rigidezze equivalenti rappresentanti le fondazioni di pile e spalle

Armamenti

Nome	Tipologia	$F_{xs}$ [kN/m]	$\delta_{xs}$ [m]	$F_{xc}$ [kN/m]	$\delta_{xc}$ [m]	$F_{ys}$ [kN/m]	$\delta_{ys}$ [m]	$F_{yc}$ [kN/m]	$\delta_{yc}$ [m]	$K_v$ [kN/m/m]	$W_{bs}$ [kN/m]	$W_{bc}$ [kN/m]	$F_v$ [kN/m]	$d$ [m]	$s$ [m]
Rilevato	Ballast	12.5	0.002	60	0.002	12.5	0.002	60	0.002	300000	5	85	6.5	0.24	0.35
Impalcato	Ballast	20	0.002	60	0.002	20	0.002	60	0.002	300000	5	85	6.5	0.24	0.35
Attacco_Elastico	Attacco Diretto	13	0.0005	35	0.0005	13	0.0005	35	0.0005	1000000	5	85	100	0.24	
Attacco_K	Attacco Diretto	50	0.0005	80	0.0005	50	0.0005	80	0.0005	1000000	5	85	100	0.24	



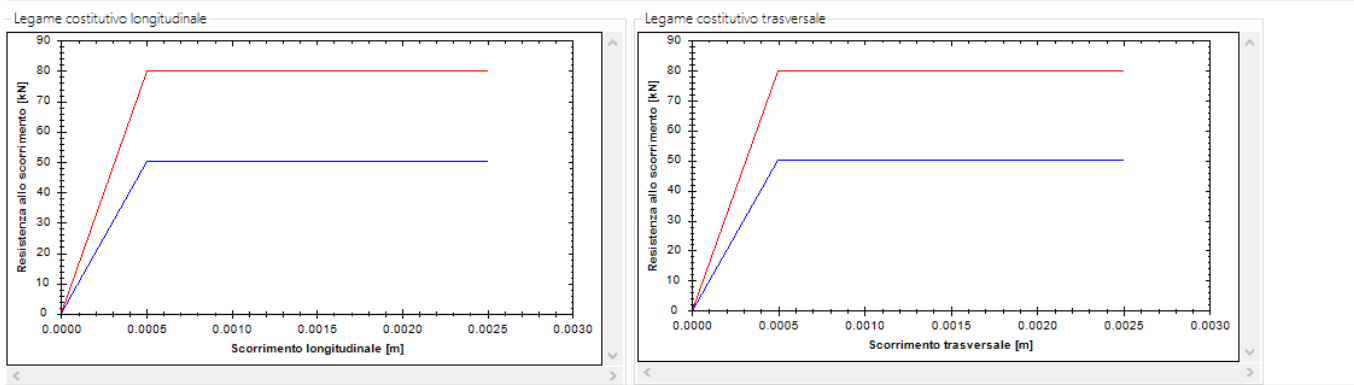


Fig. 2.24 – Legame costitutivo dell’attacco elastico e dell’attacco di tipo “K”

Tutte le caratteristiche geometrico meccaniche del “ballast” sono riportate nelle Fig. 2.24.



## 2.7 VARIAZIONI TERMICHE

Per il calcolo degli effetti di interazione statica binario-struttura, si considerano i seguenti effetti termici sul binario:

- nelle analisi in assenza di apparecchi di dilatazione del binario, è stata considerata nulla la variazione termica nel binario, essendo essa ininfluente ai fini della valutazione delle reazioni nei vincoli fissi e delle tensioni aggiuntive nelle rotaie e non generando essa scorrimenti relativi binario-impalcato.

Nel caso di impalcato in acciaio esse vanno applicate contemporaneamente alle variazioni termiche dell'impalcato e con lo stesso segno, come previsto nelle NTC 2018 § 5.2.2.5.2.

Caso	Variazione termica degli impalcati [°C]	Variazione termica della rotaia [°C]
1	-25	0
2	25	0

**2.8 CARICHI APPLICATI**

Per determinare le condizioni di carico più sfavorevoli, che producono i valori massimi delle grandezze d’interesse (tensione nella rotaia, reazioni nelle pile e nelle spalle, deformazioni e spostamenti), sono state effettuate delle analisi preliminari facendo percorrere il viadotto separatamente dai tre tipi di treno. Le medesime analisi preliminari sono state condotte non considerando l’inflessione verticale dell’impalcato per il calcolo degli spostamenti relativi binario-impalcato o binario-piattaforma sotto le sole azioni di frenatura/avviamento per il solo treno LM71 (Analisi monodimensionali). Anche per le analisi di solo transito è stato utilizzato il solo treno LM71.

Simulazione	Descrizione
Tb_-25_Tr_0	Variazione termica negativa sul ponte (-25°C)
Tb_25_Tr_0	Variazione termica positiva sul ponte (25°C)
M_T1_LM71_P_T	Analisi monodimensionale con LM71 viaggiante verso le progressive crescenti in avviamento
M_T1_LM71_P_B	Analisi monodimensionale con LM71 viaggiante verso le progressive crescenti in frenatura
M_T1_LM71_N_T	Analisi monodimensionale con LM71 viaggiante verso le progressive decrescenti in avviamento
M_T1_LM71_N_B	Analisi monodimensionale con LM71 viaggiante verso le progressive decrescenti in frenatura
T_T1_LM71_P	Analisi con LM71 viaggiante verso le progressive crescenti in solo transito
T_T1_LM71_N	Analisi con LM71 viaggiante verso le progressive decrescenti in solo transito
3D_T1_LM71_P_T	Analisi con LM71 viaggiante verso le progressive crescenti in avviamento
3D_T1_LM71_P_B	Analisi con LM71 viaggiante verso le progressive crescenti in frenatura
3D_T1_LM71_N_T	Analisi con LM71 viaggiante verso le progressive decrescenti in avviamento
3D_T1_LM71_N_B	Analisi con LM71 viaggiante verso le progressive decrescenti in frenatura
3D_T1_SW0_P_T	Analisi con SW0 viaggiante verso le progressive crescenti in avviamento
3D_T1_SW0_P_B	Analisi con SW0 viaggiante verso le progressive crescenti in frenatura
3D_T1_SW0_N_T	Analisi con SW0 viaggiante verso le progressive decrescenti in avviamento
3D_T1_SW0_N_B	Analisi con SW0 viaggiante verso le progressive decrescenti in frenatura
3D_T1_SW2_P_T	Analisi con SW2 viaggiante verso le progressive crescenti in avviamento
3D_T1_SW2_P_B	Analisi con SW2 viaggiante verso le progressive crescenti in frenatura
3D_T1_SW2_N_T	Analisi con SW2 viaggiante verso le progressive decrescenti in avviamento
3D_T1_SW2_N_B	Analisi con SW2 viaggiante verso le progressive decrescenti in frenatura

Fig. 2.25 – Condizioni di carico singole

Legenda:

Tb = variazione termica del ponte; Tr= variazione termica della rotaia;

M = Analisi monodimensionali; T = Transiti; 3D = Analisi tridimensionali con avv./fren.

P = verso di percorrenza positivo (prog. crescenti); N = verso di percorrenza negativo (prog. decrescenti);

B = Frenatura (Braking); T = Avviamento (Traction)

Delle analisi sopra elencate si effettuano le combinazioni lineari degli effetti (termica, ove previsto + un transito del treno), alla ricerca delle condizioni più gravose, per le caratteristiche di tensione, sollecitazione e deformazione richieste. Individuate le condizioni più penalizzanti si ripetono le analisi non lineari che ripropongono le combinazioni lineari più gravose, in cui per ciascun tipo di treno è individuata la posizione che rende massime contemporaneamente le sollecitazioni di interesse sulla struttura. Nelle analisi finali la

posizione raggiunta dal treno, unitamente alla variazione termica più sfavorevole è tale da massimizzare l'effetto in esame.

Combinazioni

ID	Tipologia analisi	Binario 1	Termica
1	Mono-dimensionale	M_TI_LM71_P_T	Tb,-25,Tp,0
2	Mono-dimensionale	M_TI_LM71_P_B	Tb,-25,Tp,0
3	Mono-dimensionale	M_TI_LM71_N_T	Tb,-25,Tp,0
4	Mono-dimensionale	M_TI_LM71_N_B	Tb,-25,Tp,0
5	Mono-dimensionale	M_TI_LM71_P_T	Tb,25,Tp,0
6	Mono-dimensionale	M_TI_LM71_P_B	Tb,25,Tp,0
7	Mono-dimensionale	M_TI_LM71_N_T	Tb,25,Tp,0
8	Mono-dimensionale	M_TI_LM71_N_B	Tb,25,Tp,0
9	Transito	T_TI_LM71_P	
10	Transito	T_TI_LM71_N	
11	Tri-dimensionale	3D_TI_LM71_P_T	Tb,-25,Tp,0
12	Tri-dimensionale	3D_TI_LM71_P_B	Tb,-25,Tp,0
13	Tri-dimensionale	3D_TI_LM71_N_T	Tb,-25,Tp,0
14	Tri-dimensionale	3D_TI_LM71_N_B	Tb,-25,Tp,0
15	Tri-dimensionale	3D_TI_SW0_P_T	Tb,-25,Tp,0
16	Tri-dimensionale	3D_TI_SW0_P_B	Tb,-25,Tp,0
17	Tri-dimensionale	3D_TI_SW0_N_T	Tb,-25,Tp,0
18	Tri-dimensionale	3D_TI_SW0_N_B	Tb,-25,Tp,0
19	Tri-dimensionale	3D_TI_SW2_P_T	Tb,-25,Tp,0
20	Tri-dimensionale	3D_TI_SW2_P_B	Tb,-25,Tp,0
21	Tri-dimensionale	3D_TI_SW2_N_T	Tb,-25,Tp,0
22	Tri-dimensionale	3D_TI_SW2_N_B	Tb,-25,Tp,0
23	Tri-dimensionale	3D_TI_LM71_P_T	Tb,25,Tp,0
24	Tri-dimensionale	3D_TI_LM71_P_B	Tb,25,Tp,0
25	Tri-dimensionale	3D_TI_LM71_N_T	Tb,25,Tp,0
26	Tri-dimensionale	3D_TI_LM71_N_B	Tb,25,Tp,0
27	Tri-dimensionale	3D_TI_SW0_P_T	Tb,25,Tp,0
28	Tri-dimensionale	3D_TI_SW0_P_B	Tb,25,Tp,0
29	Tri-dimensionale	3D_TI_SW0_N_T	Tb,25,Tp,0
30	Tri-dimensionale	3D_TI_SW0_N_B	Tb,25,Tp,0
31	Tri-dimensionale	3D_TI_SW2_P_T	Tb,25,Tp,0
32	Tri-dimensionale	3D_TI_SW2_P_B	Tb,25,Tp,0
33	Tri-dimensionale	3D_TI_SW2_N_T	Tb,25,Tp,0
34	Tri-dimensionale	3D_TI_SW2_N_B	Tb,25,Tp,0

Fig. 2.26 – Combinazioni di carico

**3 RISULTATI DELLE ANALISI PRELIMINARI**

Si riportano di seguito gli involuipi delle caratteristiche di tensione, sollecitazioni e spostamento ottenute nelle analisi preliminari.

**3.1 BINARIO PARI**

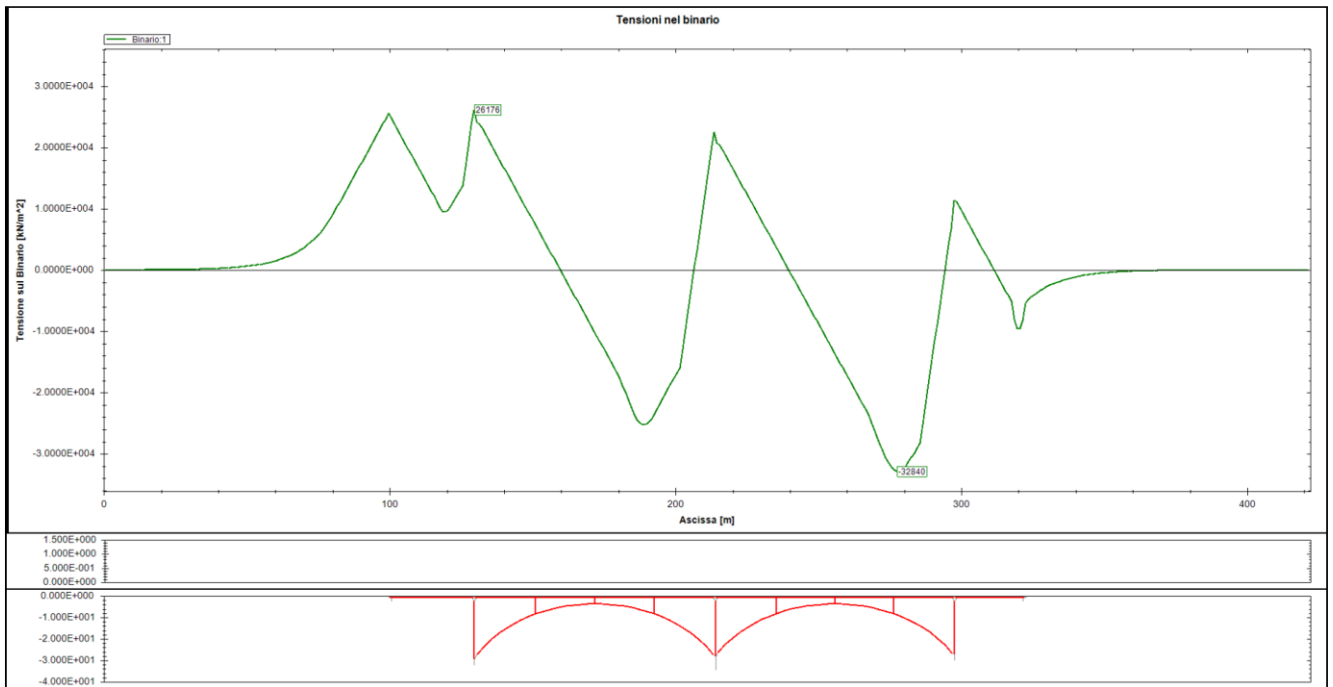


Fig. 3.1 – Tensioni sulla rotaia per sola variazione termica negativa del ponte(-25°C)

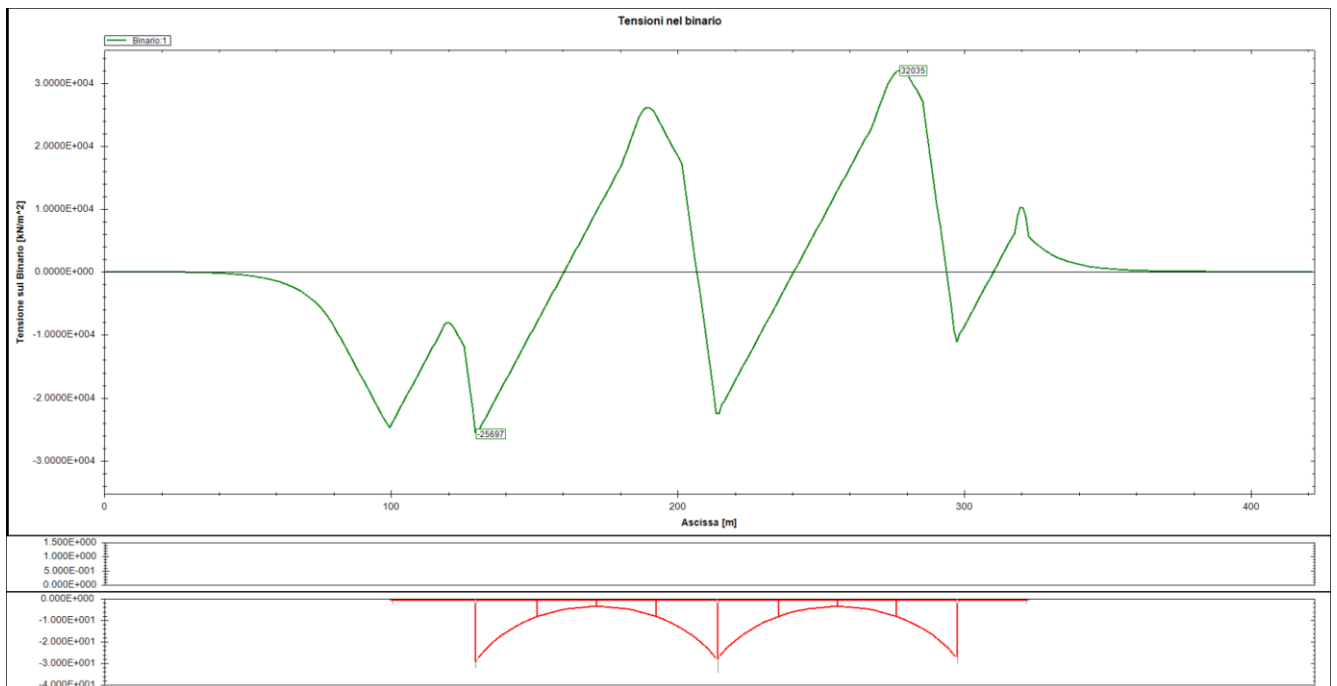


Fig. 3.2 – Tensioni sulla rotaia per sola variazione termica positiva del ponte(25°C)

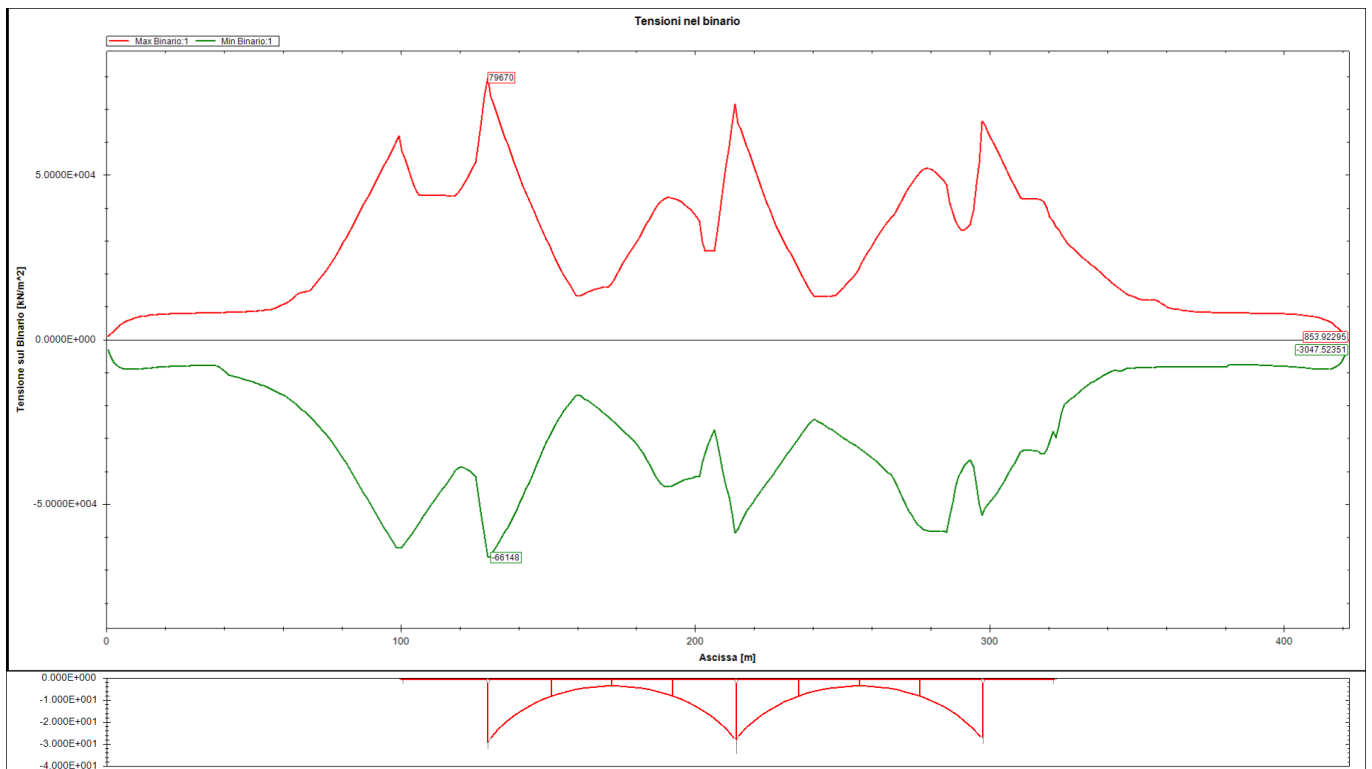


Fig. 3.3 – Involuppo tensioni sulla rotaia (di tutte le combinazioni)

Il valore massimo di trazione sulla rotaia è pari a 79.67 MPa nella combinazione 12.

Il valore massimo di compressione sulla rotaia è pari a -66.148 MPa nella combinazione 26.

Poiché i valori delle combinazioni lineari superano i valori di norma sia in trazione, sia in compressione, si eseguono le analisi con applicazione contemporanea della variazione termica e delle azioni da traffico ferroviario per tener conto della riduzione delle sollecitazioni dovuta al comportamento non lineare.

Fondazione	Label	Step	Comb. Fx	Fx [kN]	Passo Fx	Comb. Fy	Fy [kN]	Passo Fy	Comb. Fz	Fz [kN]	Passo Fz	Comb. Mx	Mx [kN/m]	Passo Mx	Comb. My	My [kN/m]	Passo My	Comb. Mz	Mz [kN/m]	Passo Mz
P1	1	MAX	34	4875.6	556_7	34	48.18	676_7	20	5798.2	238_7	14	340.8	607_7	26	34070.2	835_7	20	1406.3	103_7
P1	1	MIN	20	-1078.1	112_7	22	-17.56	520_7	24	-22.7	1177_7	34	-662.3	677_7	20	-30550.1	196_7	26	-223.5	574_7
P2	2	MAX	34	4288.6	304_7	33	14.35	427_7	11	7425.6	589_7	14	441.8	355_7	14	39787.9	835_7	20	1259.7	358_7
P2	2	MIN	20	-4627.7	328_7	22	-16.08	265_7	26	-14.1	1411_7	34	-641.0	547_7	32	-48750.5	340_7	34	-369.3	326_7
P3	3	MAX	14	1340.7	1142_7	22	13.29	259_7	22	5748.6	229_7	34	1495.9	103_7	14	36167.0	766_7	20	1247.1	610_7
P3	3	MIN	32	-5799.1	580_7	34	-39.31	85_7	26	-47.0	1345_7	22	-489.3	301_7	24	-56293.0	835_7	34	-121.5	433_7

Fig. 3.4 – Inviluppo risultanti reazioni sulle Fondazioni

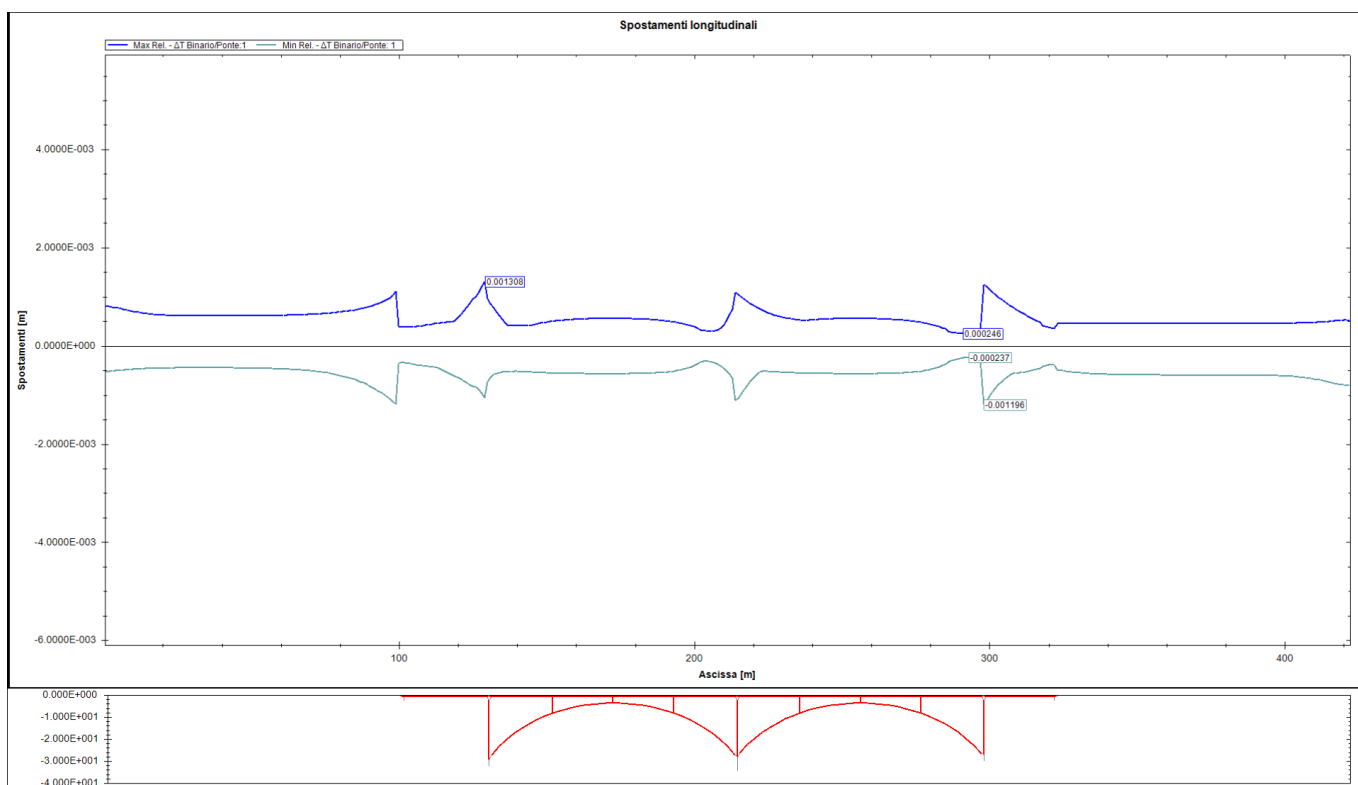


Fig. 3.5 – Inviluppo spostamenti relativi tra binario ed impalcato per sole azioni di avviamento/frenatura

L’inviluppo dello spostamento relativo massimo positivo tra binario ed impalcato per sole azioni di avviamento/frenatura è pari a 1.31 mm nella combinazione 2.

L’inviluppo dello spostamento relativo massimo negativo tra binario ed impalcato per sole azioni di avviamento/frenatura è pari a 1.20 mm nella combinazione 4.

3.2 BINARIO DISPARI

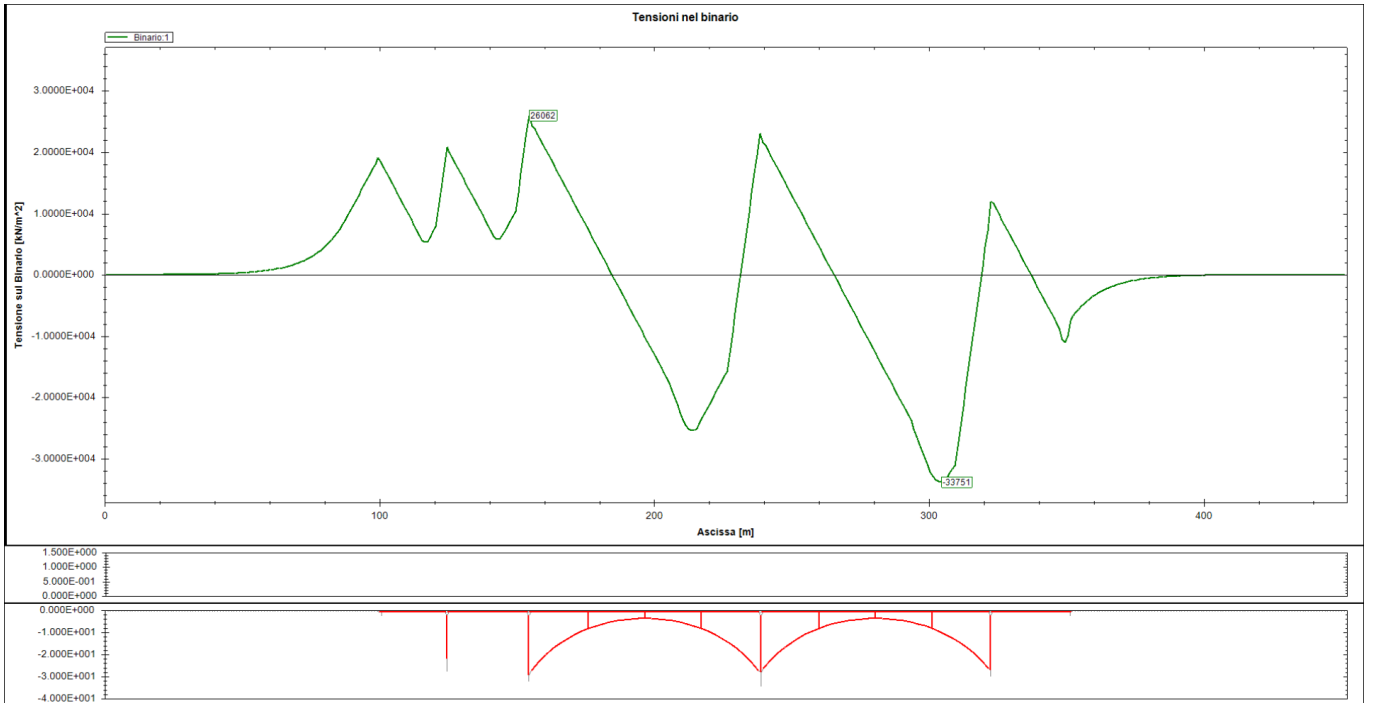


Fig. 3.6 – Tensioni sulla rotaia per sola variazione termica negativa del ponte(-25°C)

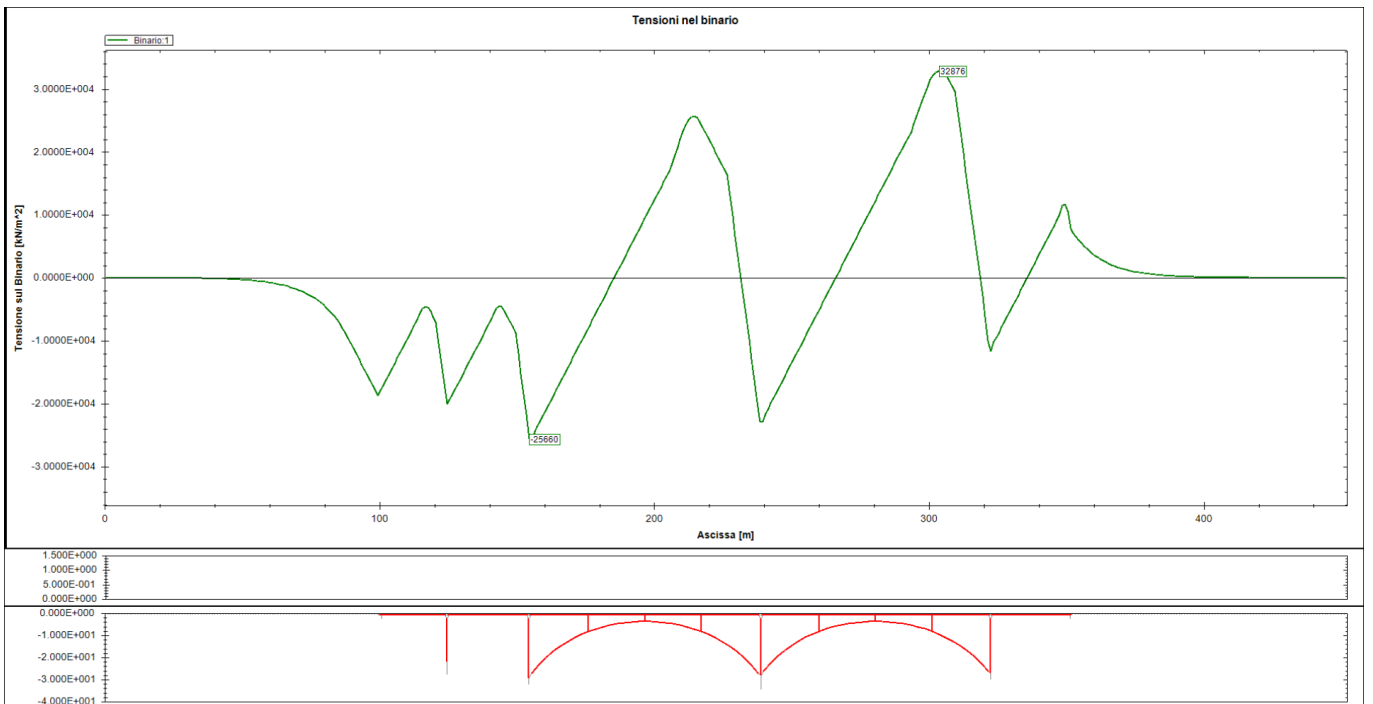


Fig. 3.7 – Tensioni sulla rotaia per sola variazione termica positiva del ponte (25°C)

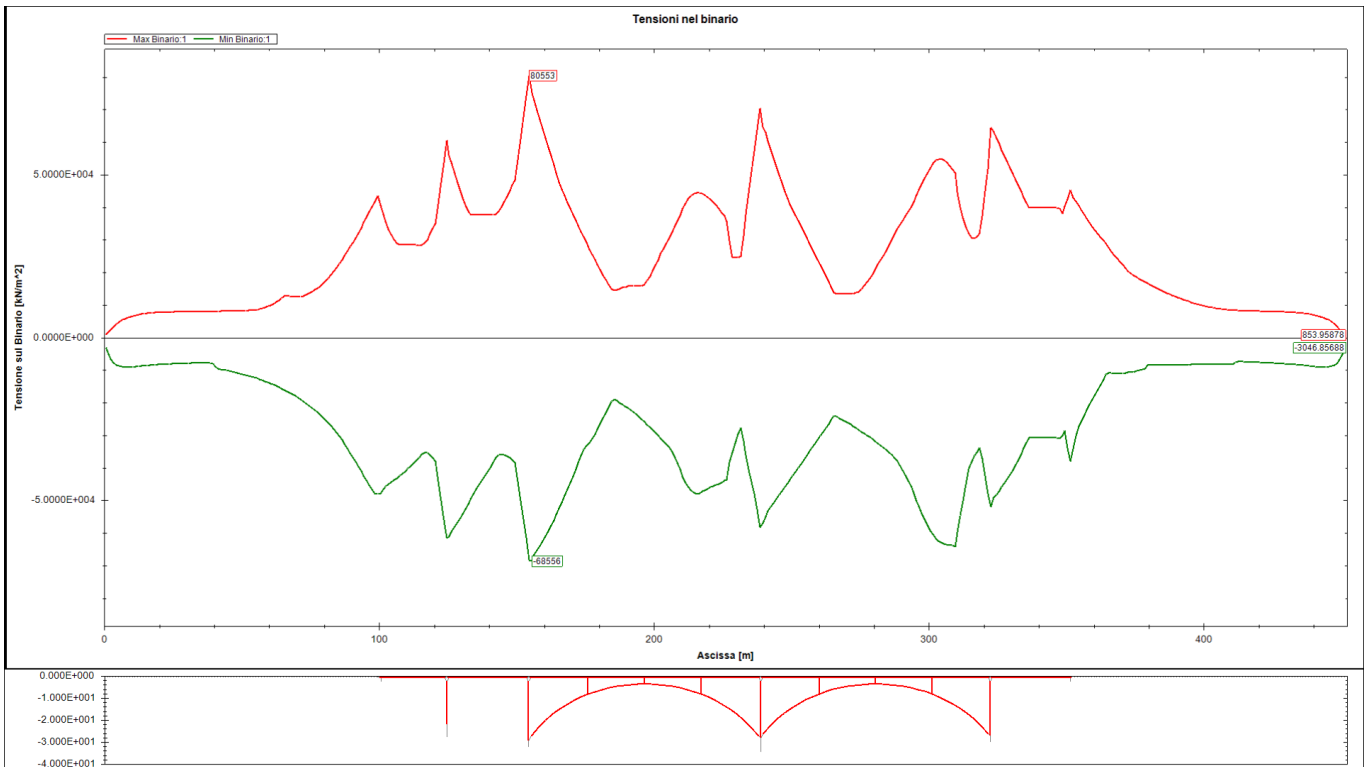


Fig. 3.8 – Involuppo tensioni sulla rotaia (di tutte le combinazioni)

Il valore massimo di trazione sulla rotaia è pari a 80.553 MPa nella combinazione 12.

Il valore massimo di compressione sulla rotaia è pari a -68.556 MPa nella combinazione 26.

Poiché i valori delle combinazioni lineari superano i valori di norma sia in trazione, sia in compressione, si eseguono le analisi con applicazione contemporanea della variazione termica e delle azioni da traffico ferroviario per tener conto della riduzione delle sollecitazioni dovuta al comportamento non lineare.

Fondazione	Label	Step	Comb. Fx	Fx [kN]	Passo Fx	Comb. Fy	Fy [kN]	Passo Fy	Comb. Fz	Fz [kN]	Passo Fz	Comb. Mx	Mx [kN/m]	Passo Mx	Comb. My	My [kN/m]	Passo My	Comb. Mz	Mz [kN/m]	Passo Mz
P1	1	MAX	26	593.2	848_7	34	38.71	691_7	33	3326.4	757_7	19	246.5	76_7	26	15068.7	848_7	26	101.7	619_7
P1	1	MIN	12	-797.0	701_7	19	-38.85	97_7	20	-34.3	350_7	34	-1558.8	706_7	12	-19813.8	701_7	20	-1190.2	184_7
P2	2	MAX	34	4236.9	571_7	22	17.43	535_7	20	5660.4	313_7	34	593.7	694_7	26	24807.3	838_7	26	290.5	589_7
P2	2	MIN	20	-806.7	187_7	34	-46.83	787_7	34	-27.9	871_7	14	-364.1	622_7	20	-21865.2	271_7	20	-1418.7	178_7
P3	3	MAX	22	4028.5	319_7	22	15.75	283_7	14	7445.2	592_7	34	634.3	565_7	14	43925.4	838_7	26	354.3	346_7
P3	3	MIN	32	-4404.1	403_7	33	-13.09	442_7	34	-9.2	781_7	14	-450.5	373_7	32	-48389.2	427_7	20	-1270.9	433_7
P4	4	MAX	14	983.23	1157_7	34	56.75	100_7	22	5667	241_7	34	516.44	316_7	14	36229.9	838_7	34	166.24	449_7
P4	4	MIN	32	-5079.7	655_7	22	-10.47	277_7	26	-46.5	1248_7	22	-1839.8	112_7	24	-42729.6	685_7	20	-1305.8	682_7

Fig. 3.9 – Involuppo risultante reazioni sulle sottostrutture



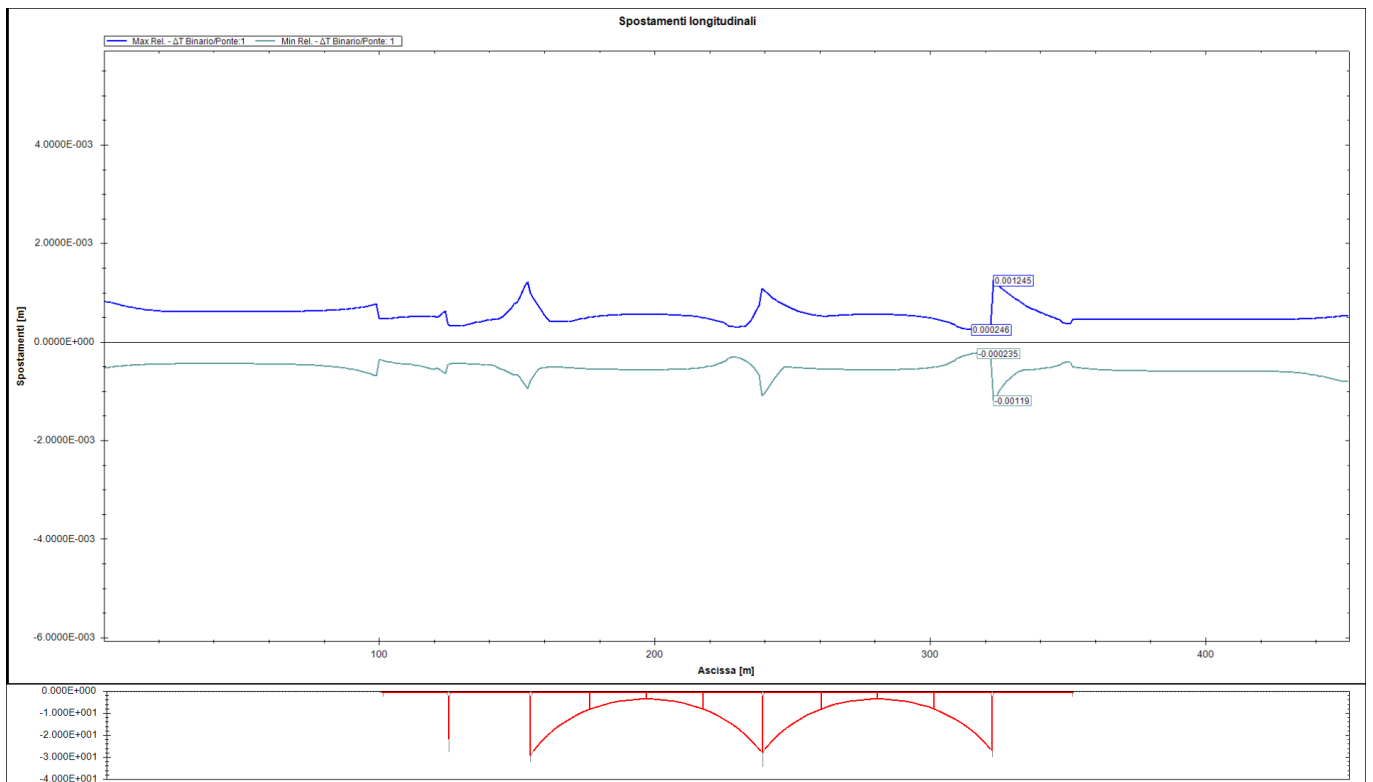


Fig. 3.10 – Inviluppo spostamenti relativi tra binario ed impalcato per sole azioni di avviamento/frenatura

L’inviluppo dello spostamento relativo massimo positivo tra binario ed impalcato per sole azioni di avviamento/frenatura è pari a 1.25 mm nella combinazione 2.

L’inviluppo dello spostamento relativo massimo negativo tra binario ed impalcato per sole azioni di avviamento/frenatura è pari a 1.19 mm nella combinazione 4.

4 RISULTATI DELLE ANALISI FINALI

Si riportano di seguito i risultati delle caratteristiche di tensione, sollecitazioni e spostamenti ottenute nelle analisi finali, con l'applicazione contemporanea delle variazioni termiche e del transito dei treni, sulla base delle combinazioni che massimizzano gli involuipi riportati al § 3.

4.1 BINARIO PARI

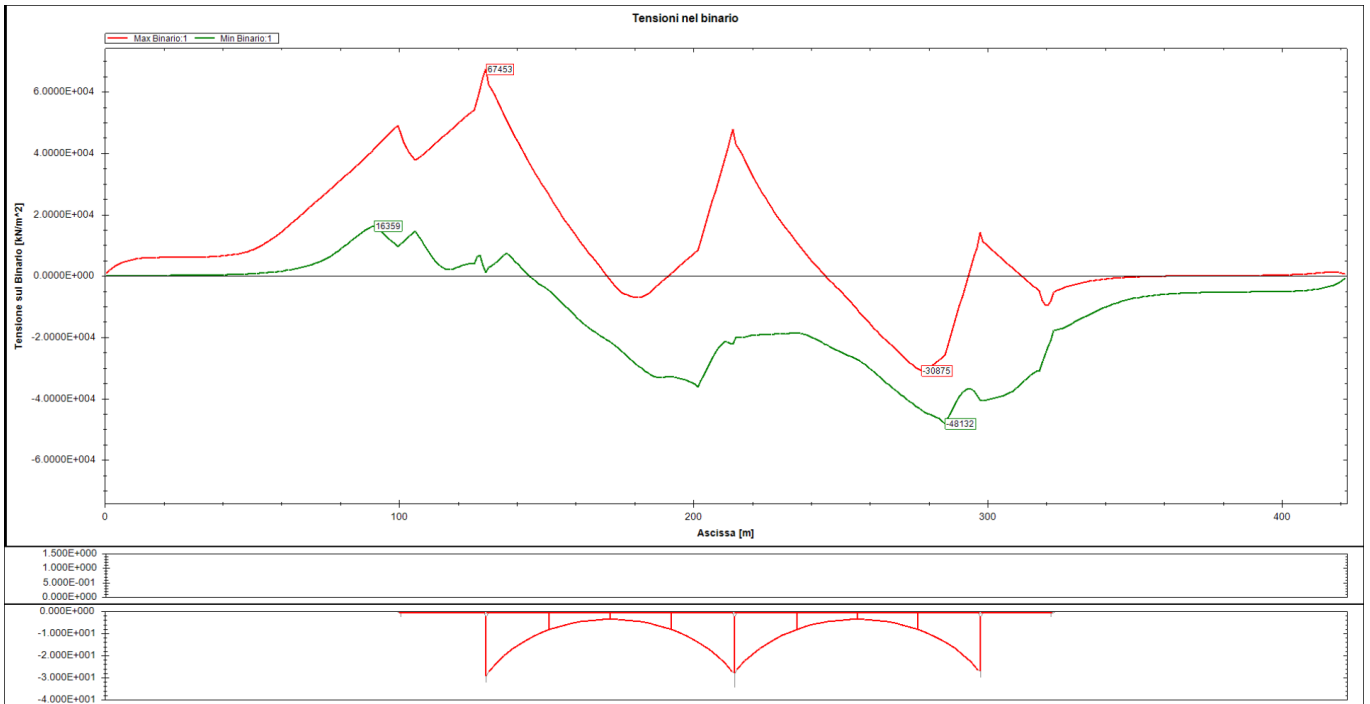


Fig. 4.1 – Tensioni massime di trazione sulla rotaia per effetti globali di interazione senza giunto

Il valore massimo di trazione sulla rotaia per l'analisi non lineare è pari a **67.45 MPa < 70 Mpa** al passo 921.

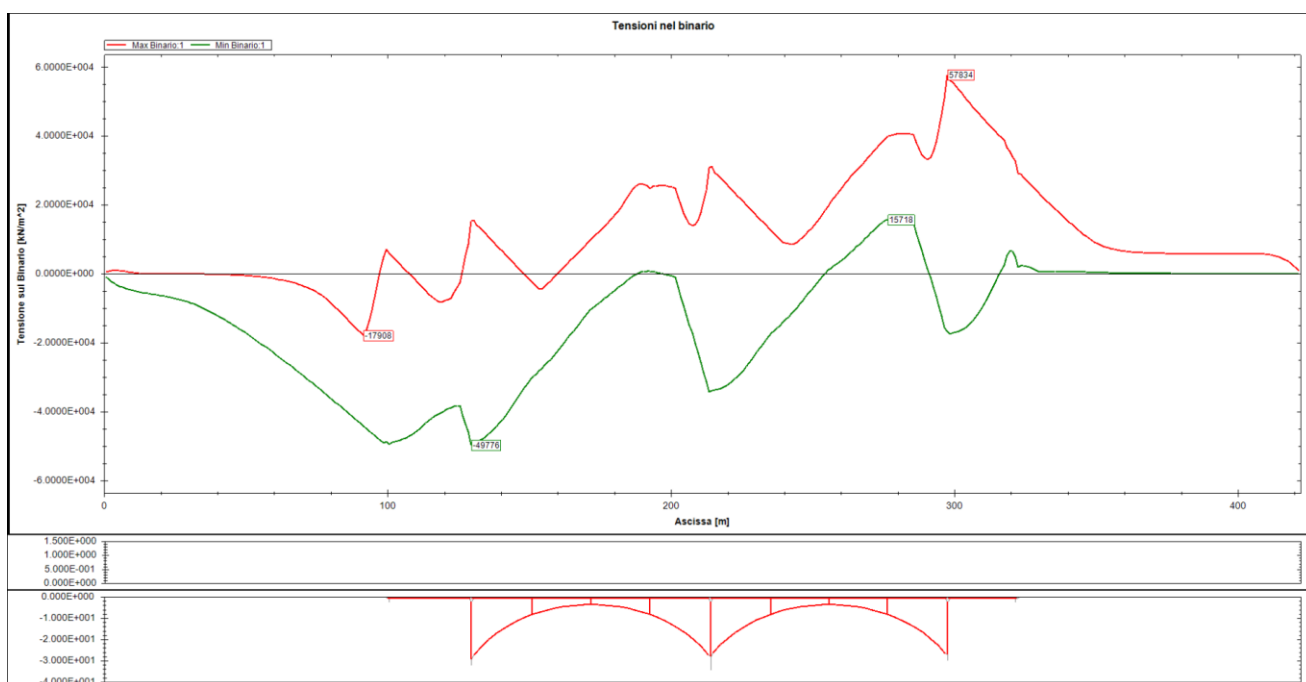


Fig. 4.2 – Tensioni massime di compressione sulla rotaia per effetti globali di interazione senza giunto

Il valore massimo di compressione sulla rotaia per l’analisi non lineare è pari a **-49.78 MPa > -60MPa** al passo 598.

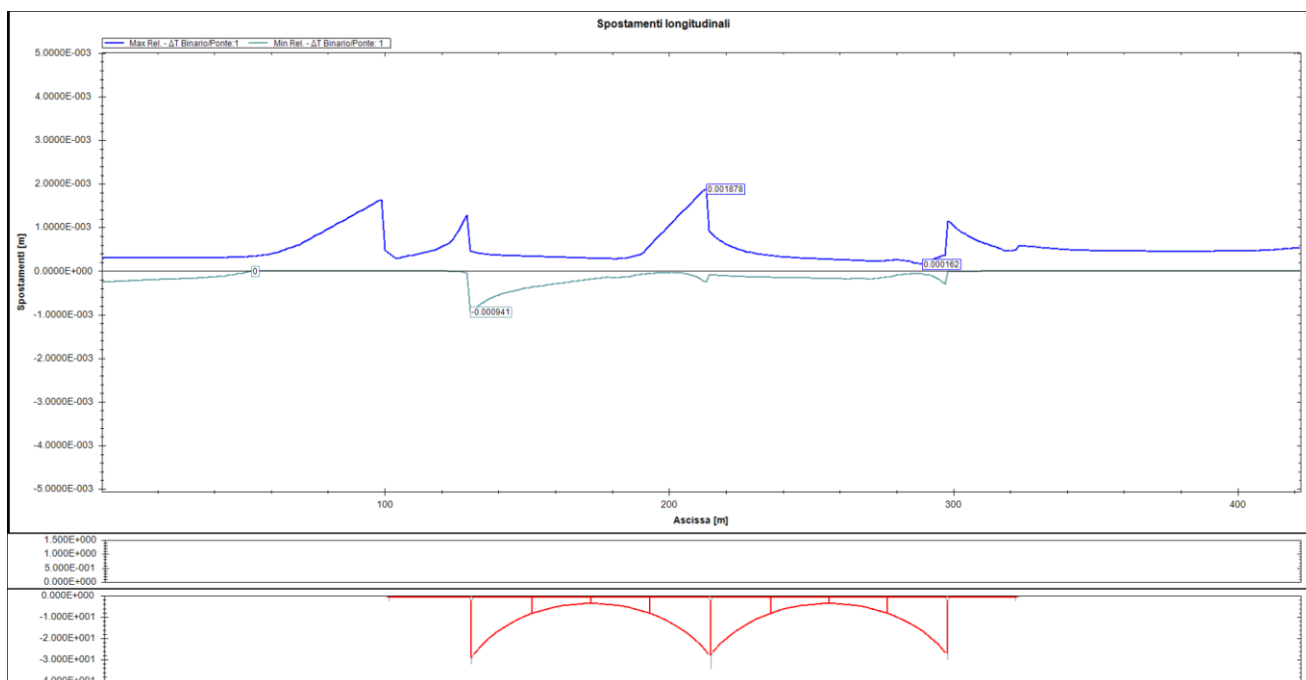


Fig. 4.3 – Massimo spostamento relativo tra binario ed impalcato per soli effetti di frenatura/avviamento per effetti globali di interazione senza giunto

Il massimo valore dello spostamento relativo tra binario ed impalcato per l’analisi non lineare è pari a **1.878 mm** al passo 1177.

4.2 BINARIO DISPARI

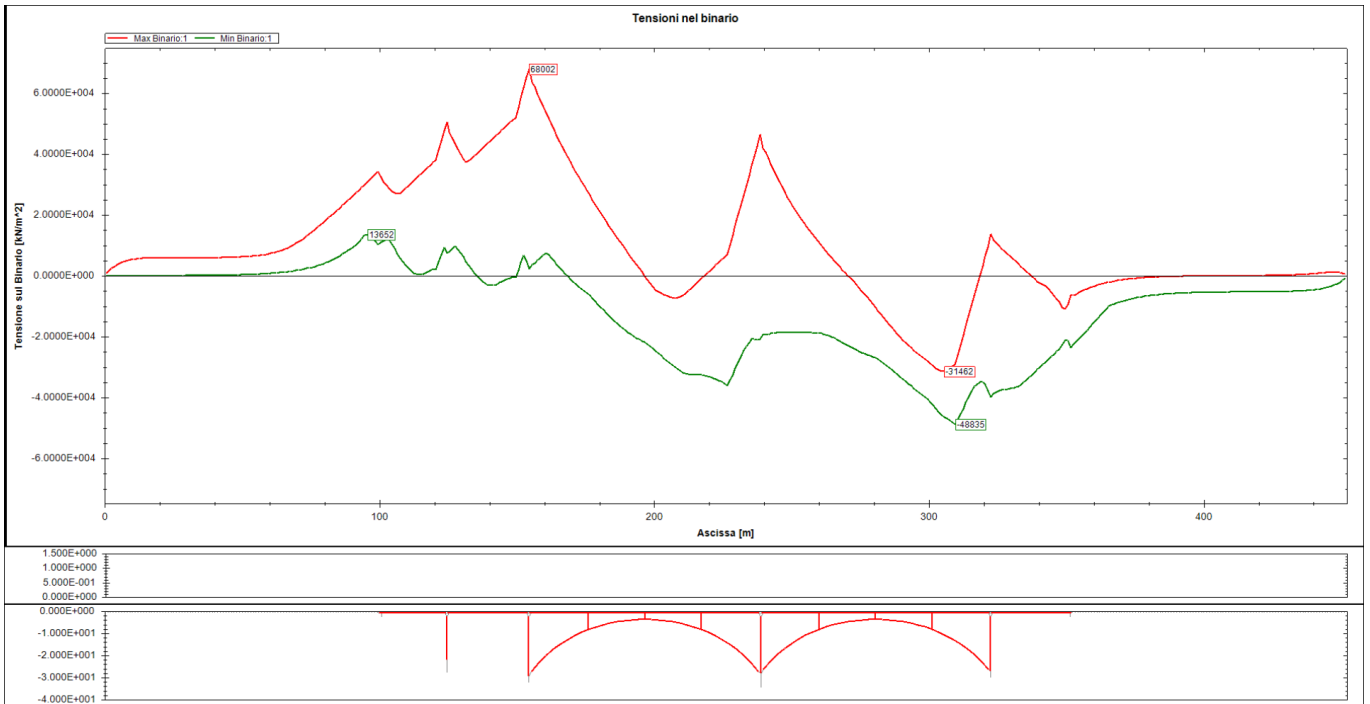


Fig. 4.4 – Tensioni massime di trazione sulla rotaia per effetti globali di interazione con giunto

Il valore massimo di trazione sulla rotaia per l’analisi non lineare è pari a **68 MPa < 70 MPa** al passo 998.

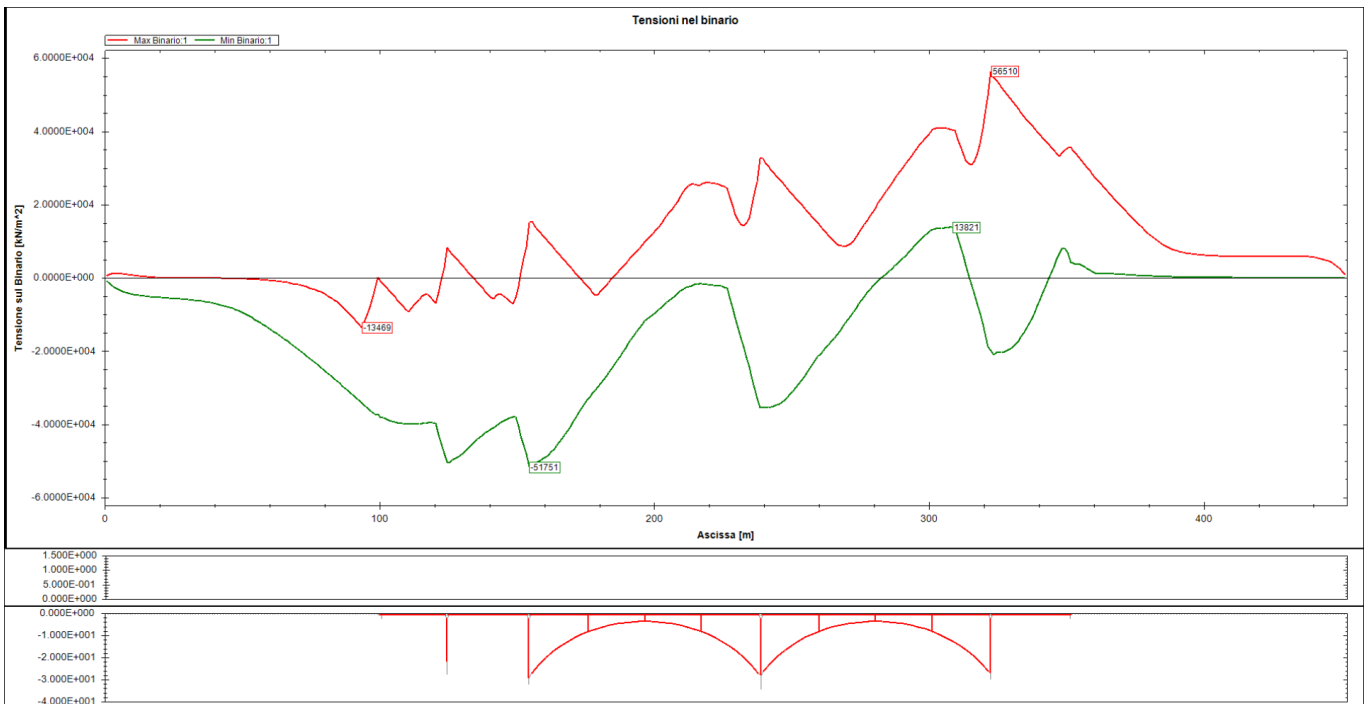
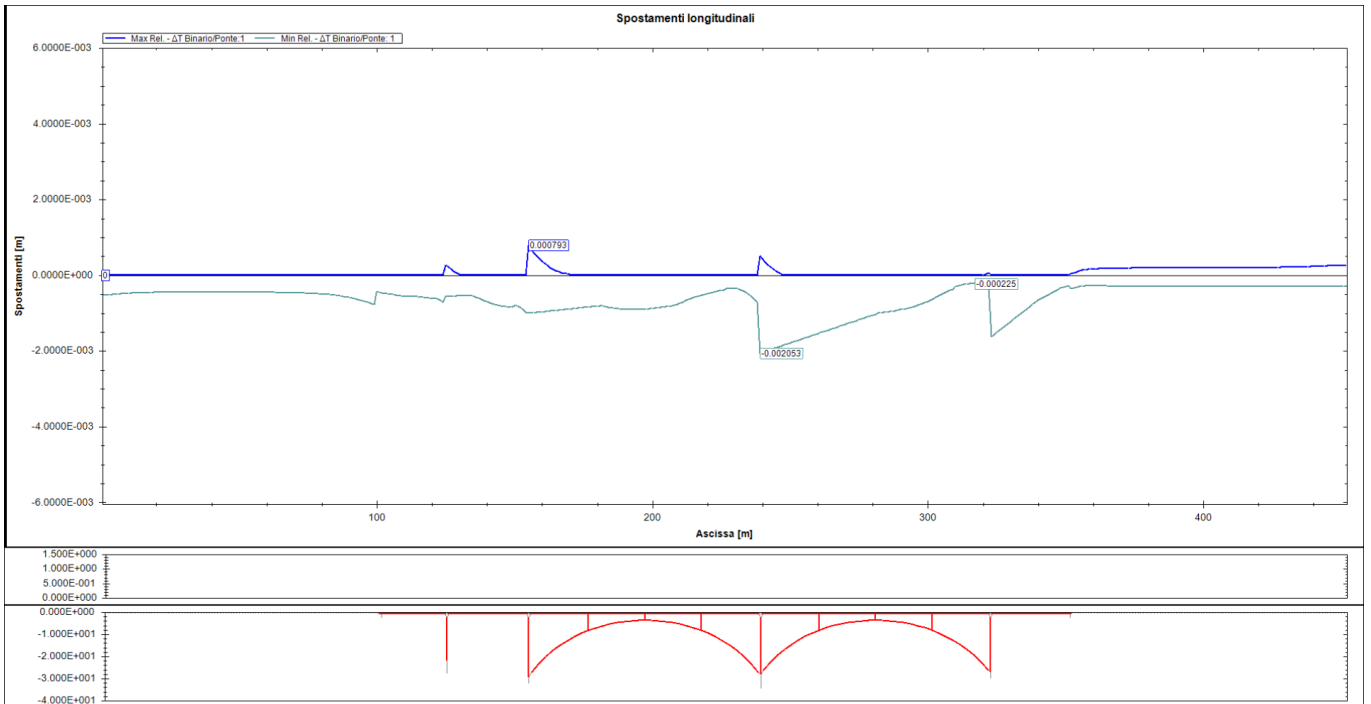


Fig. 4.5 – Tensioni massime di compressione sulla rotaia per effetti globali di interazione senza giunto

Il valore massimo di compressione sulla rotaia per l'analisi non lineare è pari a **-51.75 Mpa > -60 MPa** al passo 613.



*Fig. 4.6 – Massimo spostamento relativo tra binario ed impalcato per soli effetti di frenatura/avviamento per effetti globali di interazione con giunto*

Il massimo valore dello spostamento relativo tra binario ed impalcato per l'analisi non lineare è pari a 2.053 mm al passo 1180.

Infine si riportano, per confronto con il modello di calcolo della struttura, nel solo caso relativo al binario dispari, i valori della freccia verticale massima misurata in asse al binario per effetto 1) delle variazioni termiche 2) del transito dei convogli LM71, SW0 e SW2 3).

Inoltre si riporta la deformazione longitudinale dell'impalcato per effetto delle sole azioni di frenatura del treno LM71.

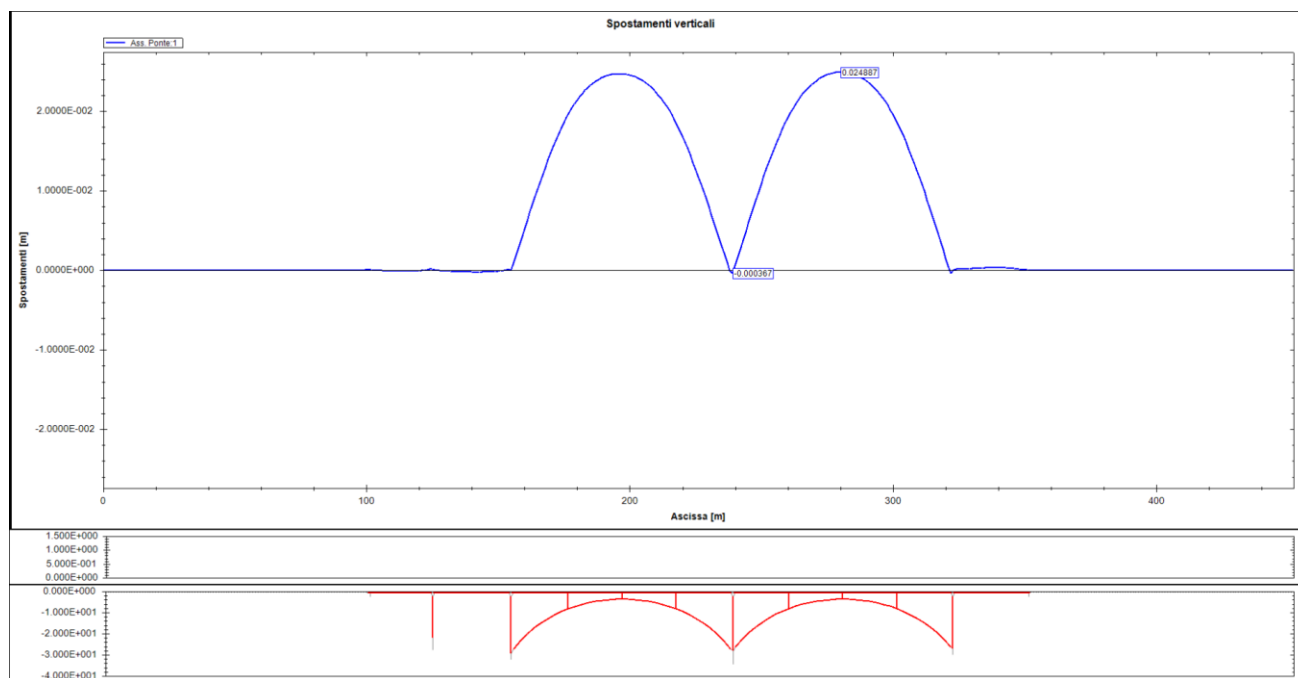


Fig. 4.7 – Freccia verticale dovuta alla variazione termica della struttura (+/-25°C)

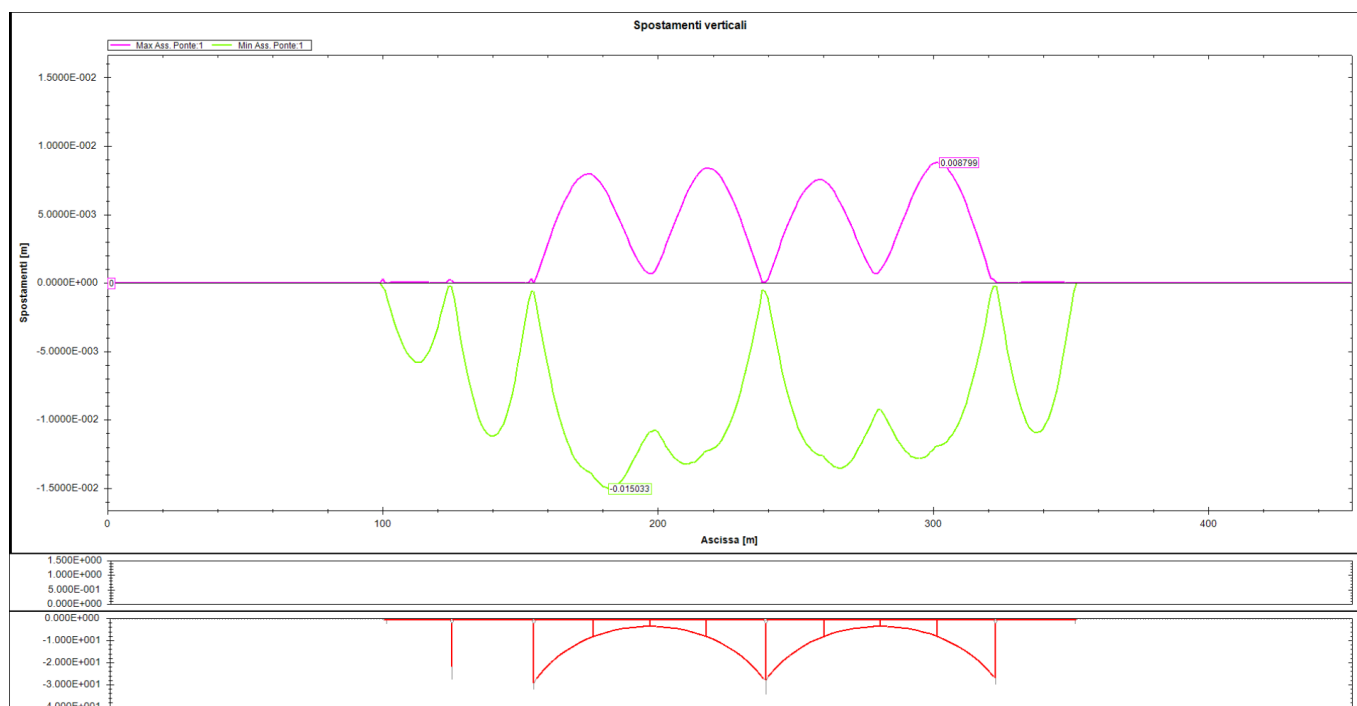


Fig. 4.8 – Freccia verticale dovuta al transito del treno LM71

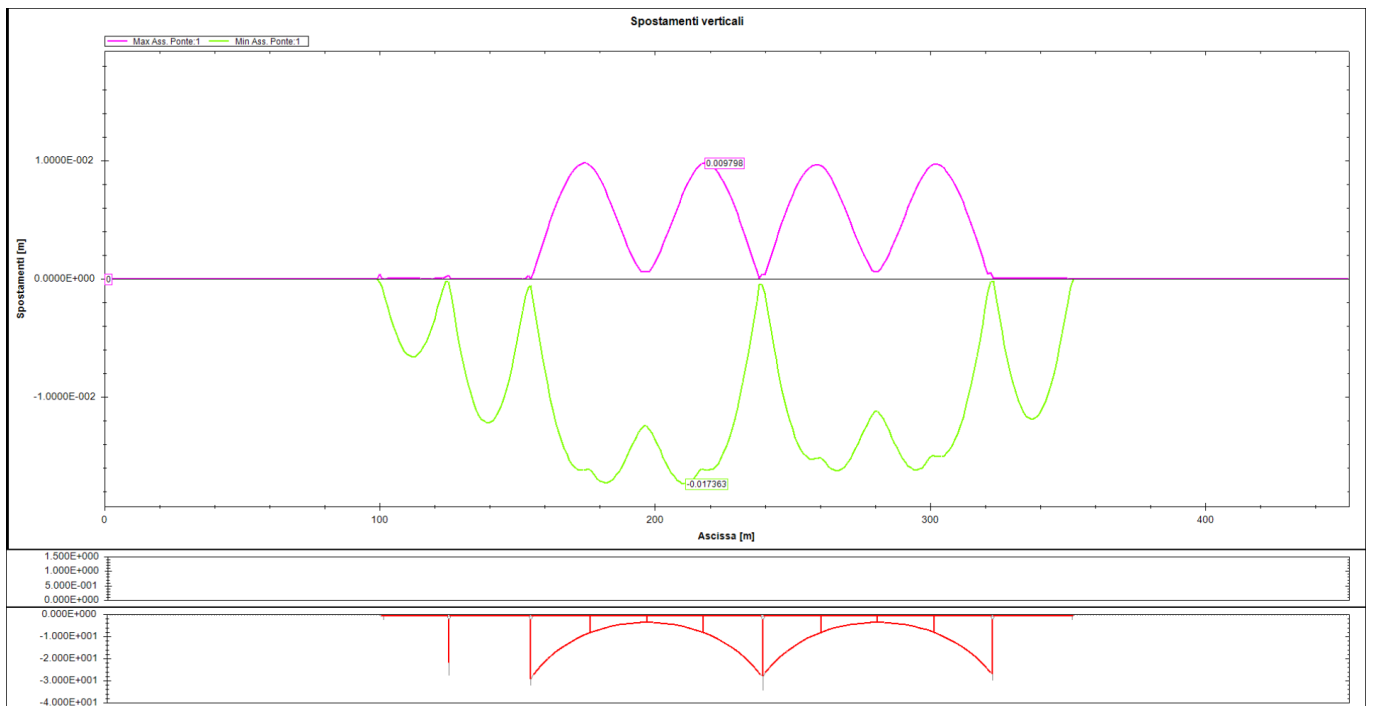


Fig. 4.9 – Freccia verticale dovuta al transito del treno SWO

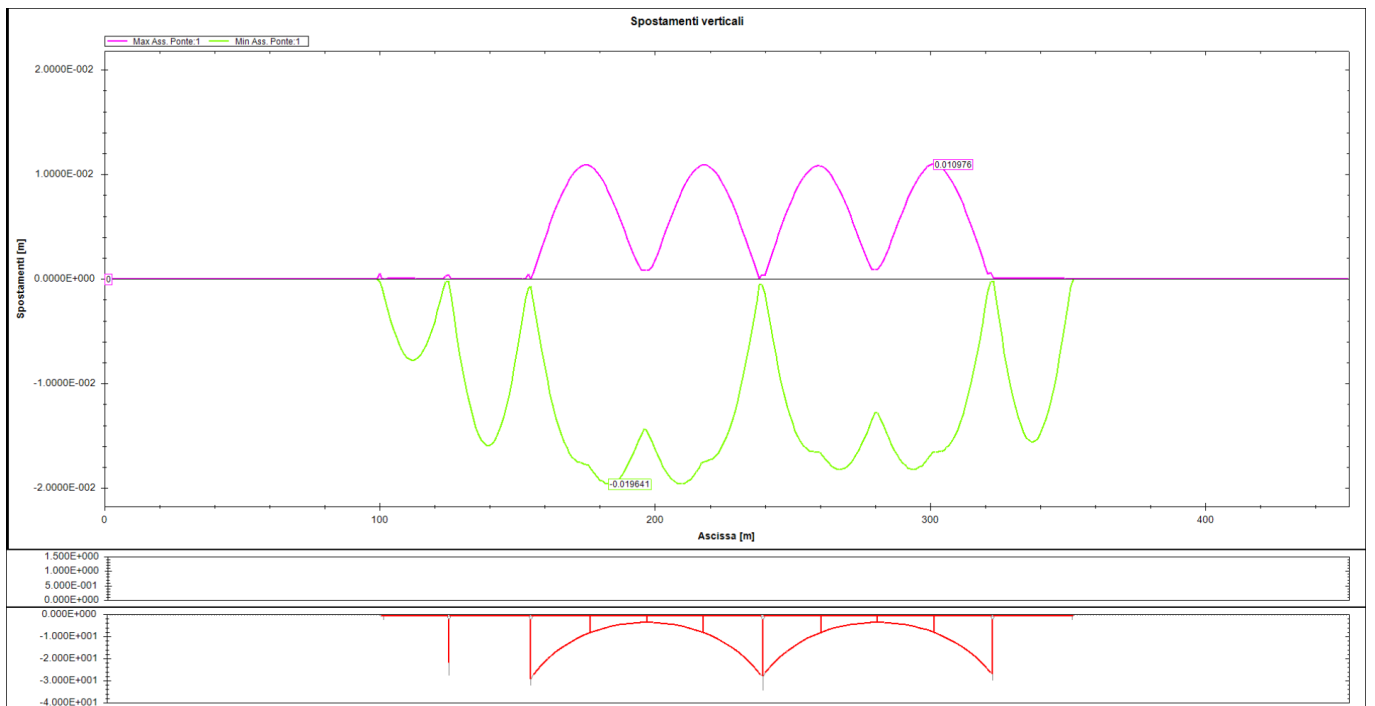


Fig. 4.10 – Freccia verticale dovuta al transito del treno SWO

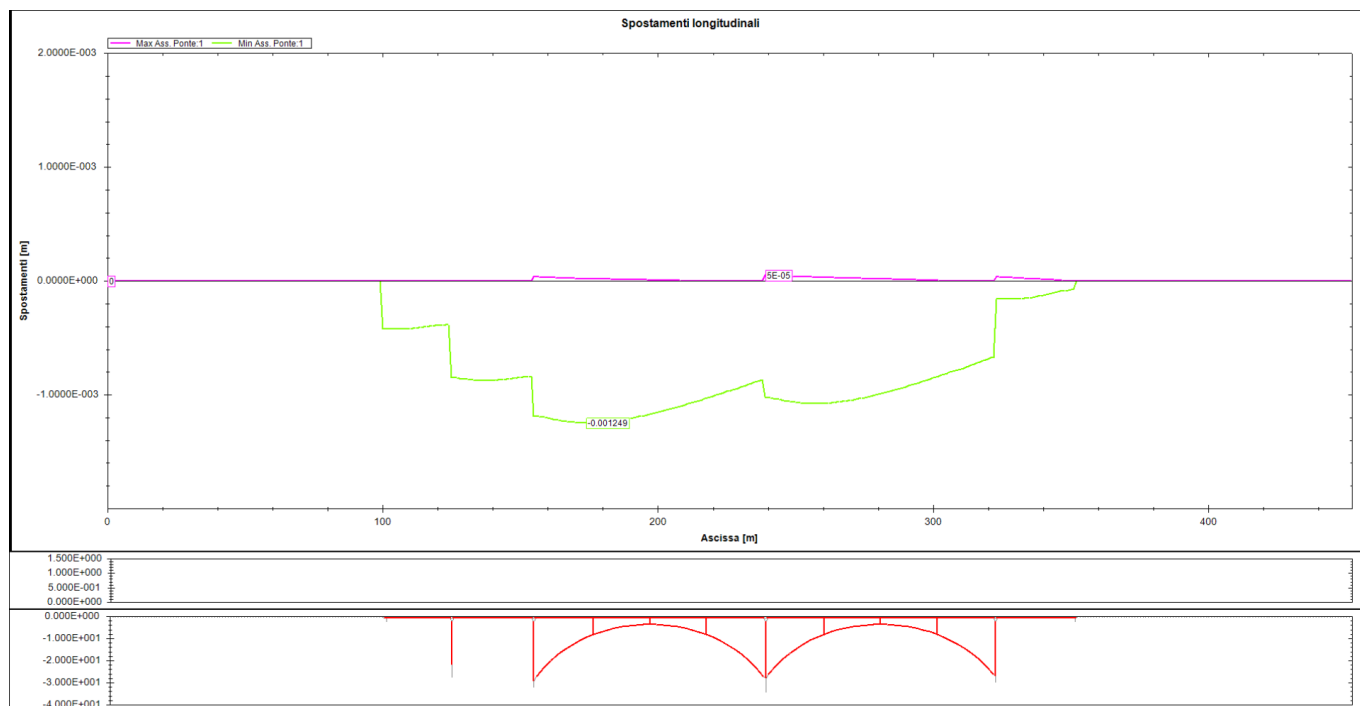


Fig. 4.11 – Deformazioni longitudinali per le sole azioni di frenatura del treno LM71



## 5 CONCLUSIONI

Le analisi effettuate non comportano il superamento del limite tensionale di trazione e di compressione sulla rotaia previsti dalla Normativa.

Lo spostamento relativo tra binario ed impalcato al livello del piano di regolamento è inferiore al limite previsto dalla normativa.

**6**    **NORMATIVE DI RIFERIMENTO**

RFI DTC SI PS MA IFS 001 E : MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI

D.M. 17 gennaio 2018. Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».