

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

Relazione di calcolo

INTERAZIONE STATICA TRENO – BINARIO – STRUTTURA

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I A 5 F 0 1 D 0 9 C L V I 0 5 0 0 0 0 4 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato
A	Emissione Esecutiva	L. Genca <i>L. Genca</i>	Luglio 2019	F. Bonifacio <i>F. Bonifacio</i>	Luglio 2019	F. Gernone <i>F. Gernone</i>	Luglio 2019	A. V. ... <i>A. V. ...</i>

ITALFERR S.p.A.
U.D. Opere Civili e Gestione delle Varianti
Dott. Ing. Angelo Vitozzoni
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° A20783

File: IA5F01D09CLVI0500004A.docx

n. Elab.:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i> <i>Interazione statica treno-binario-struttura</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0500004	REV. A

INDICE

1	PREMESSA	2
2	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	2
3	VIADOTTO BRADANO	3
4	CRITERI DI MODELLAZIONE	5
4.1	ARMAMENTO.....	7
4.2	IMPALCATO IN C.A.P.	8
4.3	IMPALCATO METALLICO	9
4.4	SCHEMA APPOGGI	11
4.5	SOTTOSTRUTTURE	11
5	ANALISI	13
5.1	AZIONI APPLICATE	13
5.1.1	<i>In assenza di giunto di binario</i>	13
5.1.2	<i>Con giunto di binario</i>	15
5.2	COMBINAZIONE DEI CARICHI	16
5.2.1	<i>In assenza di giunto di binario</i>	16
5.2.2	<i>Con giunto di binario</i>	17
5.3	RISULTATI	18
5.3.1	<i>In assenza di giunto di binario</i>	18
5.3.2	<i>Con giunto di binario</i>	22
5.3.3	<i>Con due giunti di binario</i>	25
6	CONCLUSIONI.....	28

	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i> <i>Interazione statica treno-binario-struttura</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0500004	REV. A

1 PREMESSA

La presente relazione descrive gli effetti dovuti all'interazione statica treno-binario-struttura sul viadotto Bradano della linea Ferrandina – Matera.

Tale valutazione si inquadra nell'ambito della progettazione degli interventi di risanamento/manutenzione straordinaria e miglioramento sismico del viadotto in esame.

Trattandosi di opera esistente, per tali interventi, non è prevista variazione dei carichi di esercizio rispetto a quelli del progetto originario, il cui quadro di riferimento normativo, però, non forniva una metodologia di calcolo in merito agli effetti dell'interazione treno – binario – struttura.

Per la sicurezza della circolazione, data la complessità del viadotto in oggetto, le analisi sono state comunque condotte, ma con riferimento al quadro normativo attuale. Pertanto, sono da ritenersi valide esclusivamente per la valutazione delle tensioni di rotaia e degli spostamenti relativi binario – impalcato.

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

- [1] RFI DTC SI PS MA IFS 001 C - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II - Sezione 2 – Ponti e Strutture

3 VIADOTTO BRADANO

Il viadotto ferroviario in esame è a singolo binario ed è costituito da una travata reticolare metallica di luce $L=109.8$ m centrale, e due travate in CAP, di luce compresa tra 23 m e 28 m per ciascun lato della travata metallica.

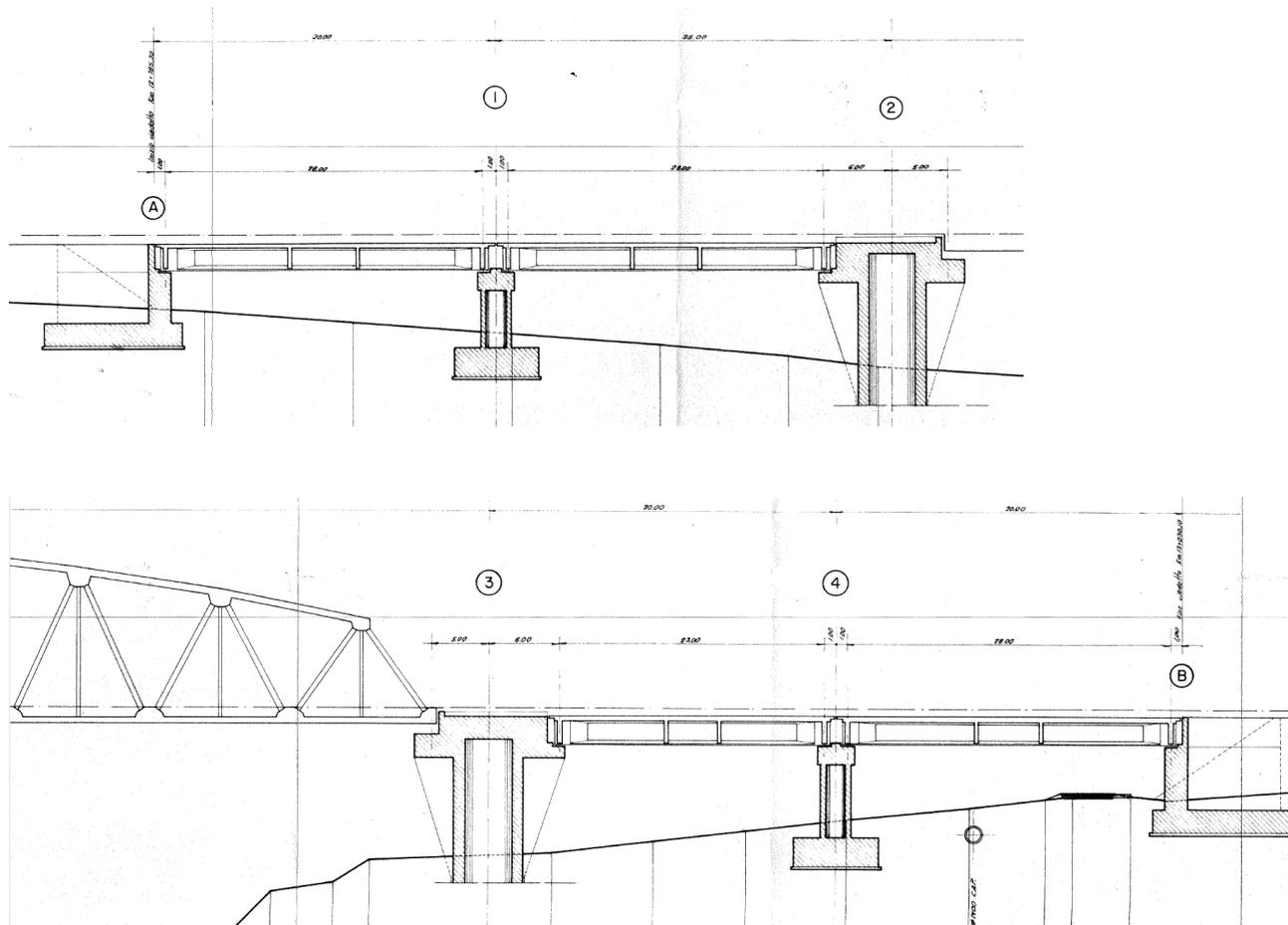


Figura 1_Prospetto VI Bradano

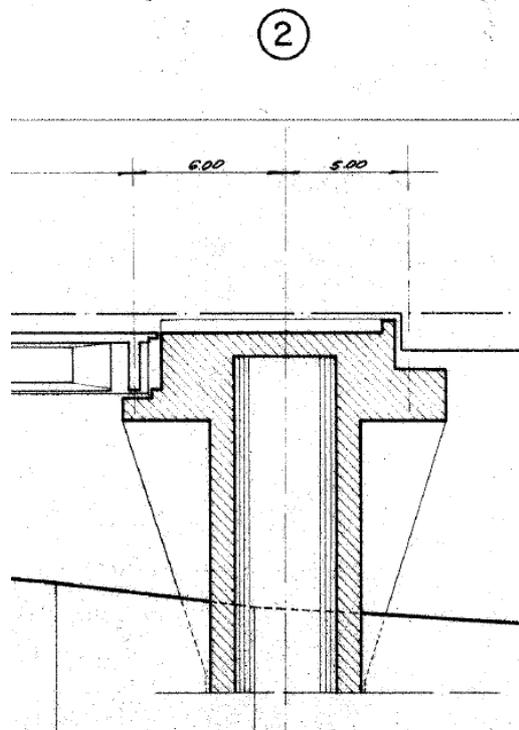


Figura 2_ Dettaglio transizione

La scansione delle campate, riprodotta nel modello di calcolo, tiene conto della presenza di una zona di transizione tra le campate in c.a.p. e la travata reticolare, di lunghezza pari a 9m (11m tra gli interassi appoggi), costituita dal pulvino della pila sottostante largo.

Indicata con “x” la direzione longitudinale del viadotto, da sinistra verso destra, la scansione risulta la seguente:

	xi	xf	x app sx	x app dx	Lt	TIPOLOGIA	ARMAMENTO	SCHEMA APP
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]			
RILEVATO	0	100			100	RILEVATO	BALLAST	
SP A - P1	100	130	101	129	28	imp. CAP	BALLAST	F-M
P1 - P2	130	165	131	159	28	imp. CAP	BALLAST	F-M
P2 - P3	165	285	170	279.8	110	RETIC.	ATTACCO DIRETTO	F-M
P3 - P4	285	315	290.8	313.8	23	imp. CAP	BALLAST	M-F
P4 - SP B	315	345	315.8	343.8	28	imp. CAP	BALLAST	M-F
RILEVATO	345	445			100	RILEVATO	BALLAST	

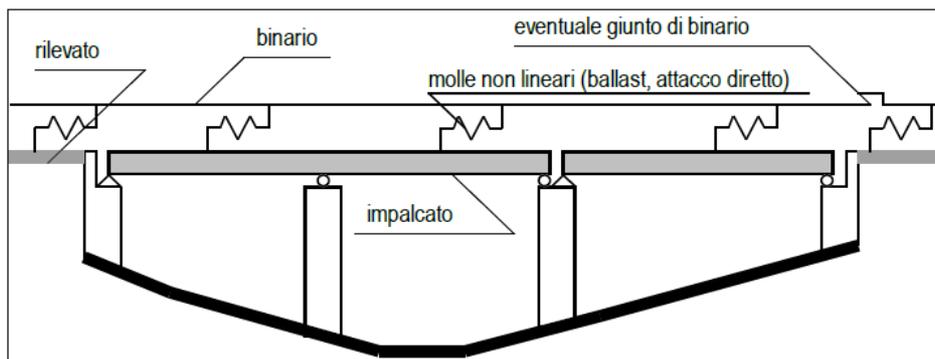
X app sx/dx= posizione dei dispositivi di vincolo a inizio e fine della campata;

Sono modellati, in accordo alle prescrizioni normative [1], 100m di rilevato prima e dopo il viadotto.

	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo <i>Interazione statica treno-binario-struttura</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0500004	REV. A

4 CRITERI DI MODELLAZIONE

Per la determinazione delle grandezze in esame, relative all'interazione statica treno-binario-struttura, viene sviluppato un modello agli elementi finiti nel rispetto dello schema seguente:



Per la sottostruttura, per l'impalcato e per le rotaie si assume un comportamento di tipo elastico mentre per l'interfaccia binario-struttura (ballast o attacco diretto) si assume una legge di tipo elasto-plastico a rigidità e soglia, v. figura seguente, variabile in funzione del carico verticale applicato, in accordo a quanto riportato nel [1].

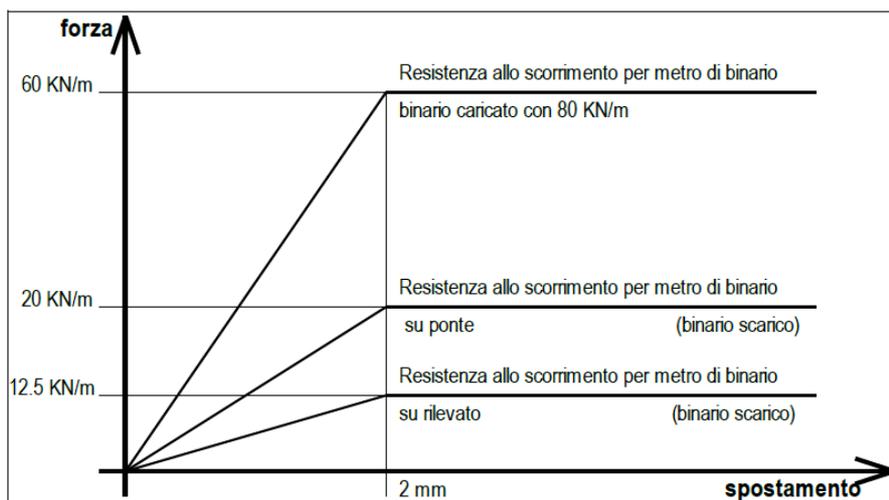


Fig. 2.5.1.4.5.3-5 - Legame forza-spostamento del ballast in direzione longitudinale

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo <i>Interazione statica treno-binario-struttura</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0500004	REV. A

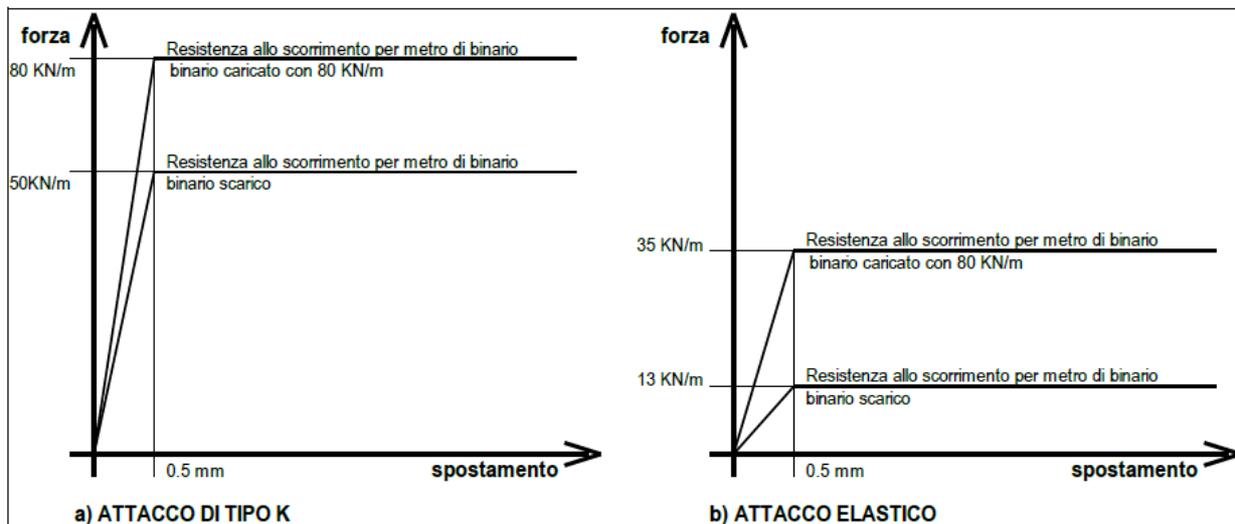
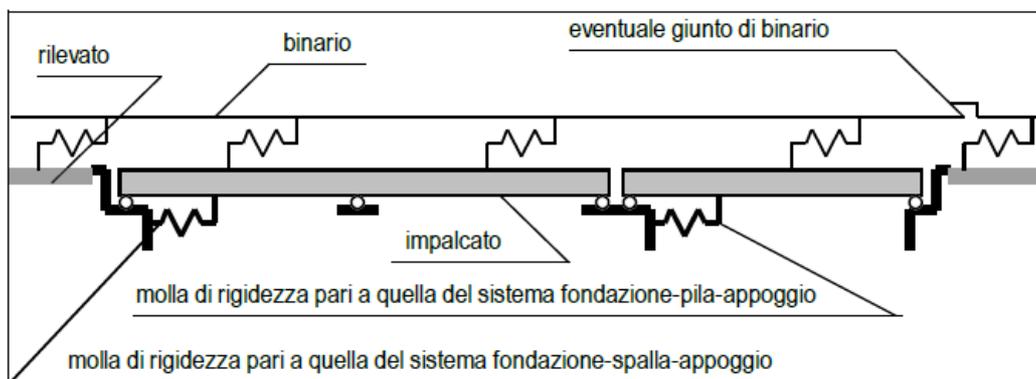


Fig. 2.5.1.4.5.3-6 - Resistenza allo scorrimento nel caso di posa diretta con attacco indiretto di tipo tradizionale e con attacco elastico con interasse nominale delle traverse di 0,60 m

Nella modellazione della sottostruttura si dovrà considerare il contributo alla deformabilità fornito da tutti i suoi componenti e precisamente dalla fondazione, dalla struttura della pila o della spalla, dall'apparecchio di appoggio.

Ai fini della semplificazione del modello, la rigidezza e la resistenza globale di ciascun sistema di sottostruttura, fondazione-pila-appoggio o fondazione-spalla-appoggio, alle azioni orizzontali in direzione longitudinale, possono essere rappresentati (vedi fig. 2.5.1.4.5.3-3 da [1], riportata di seguito) con un unico elemento elastico (o elastoplastico, per tener conto dell'attrito nel caso di appoggio scorrevole) le cui caratteristiche sono ricavate sulla base della rigidezza e della resistenza dell'insieme.



In particolare, nel caso di un sistema fondazione - pila - appoggio, denominata con H la forza orizzontale applicata sull'apparecchio di appoggio, la rigidezza complessiva K dovrà valutarsi come:

$$K = H / \sum \delta_i$$

$\sum \delta_i = \delta_p + \delta_\varphi + \delta_h + \delta_a =$ spostamento totale prodotto dalla forza H;

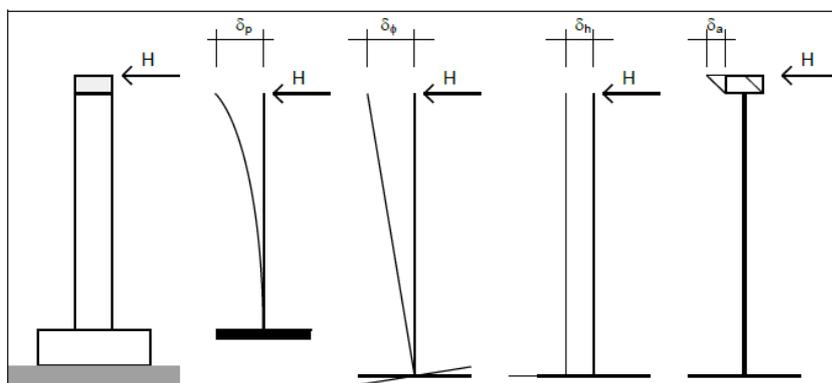
$\delta_p =$ spostamento determinato dalla deformabilità elastica della pila;

$\delta_\varphi =$ spostamento determinato dalla deformabilità alla rotazione della fondazione;

$\delta_h =$ spostamento determinato dalla deformabilità alla traslazione orizzontale della fondazione;

$\delta_a =$ spostamento determinato dalla deformabilità dell'apparecchio d'appoggio,

tenuto conto degli eventuali giochi e tolleranze negli apparecchi di appoggio fissi.



Il sistema di viadotti uniti dalla lunga rotaia saldata è modellato con il software di calcolo 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.

4.1 ARMAMENTO

Come descritto nel precedente paragrafo il legame costitutivo che contraddistingue il link tra rotaia e impalcato è di tipo elasto – plastico:

Armamenti											
	Nome	Tipologia	Fxs [kN/m]	δxs [m]	Fxc [kN/m]	δxc [m]	Fys [kN/m]	δys [m]	Fyc [kN/m]	δyc [m]	
▶	Rilevato	Ballast	12.5	0.002	60	0.002	12.5	0.002	60	0.002	
	Impalcato	Ballast	20	0.002	60	0.002	20	0.002	60	0.002	
	ATTACCO K	Attacco Diretto	50	0.0005	80	0.0005	50	0.0005	80	0.0005	
	ATTACCO EL	Attacco Diretto	13	0.0005	35	0.0005	13	0.0005	35	0.0005	

L'attacco diretto per travate metalliche è così realizzato:

- A partire dall'appoggio fisso e per 0.15L, sono disposti attacchi indiretti di tipo K.
- Nella parte restante dell'impalcato, dunque 0.85L, sono disposti attacchi elastici.

4.2 IMPALCATO IN C.A.P.

Si riportano di seguito le sezioni degli impalcanti in c.a.p. con le relative caratteristiche geometriche e inerziali:

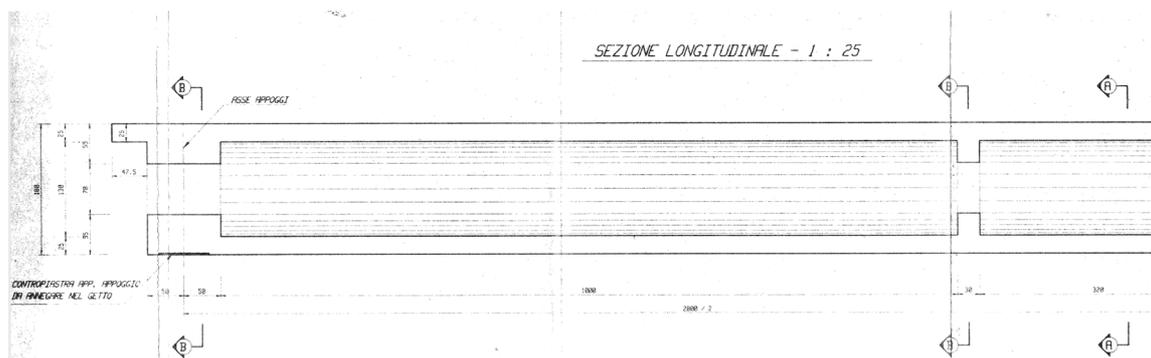


Figura 3_ Sezione longit. imp. c.a.p.

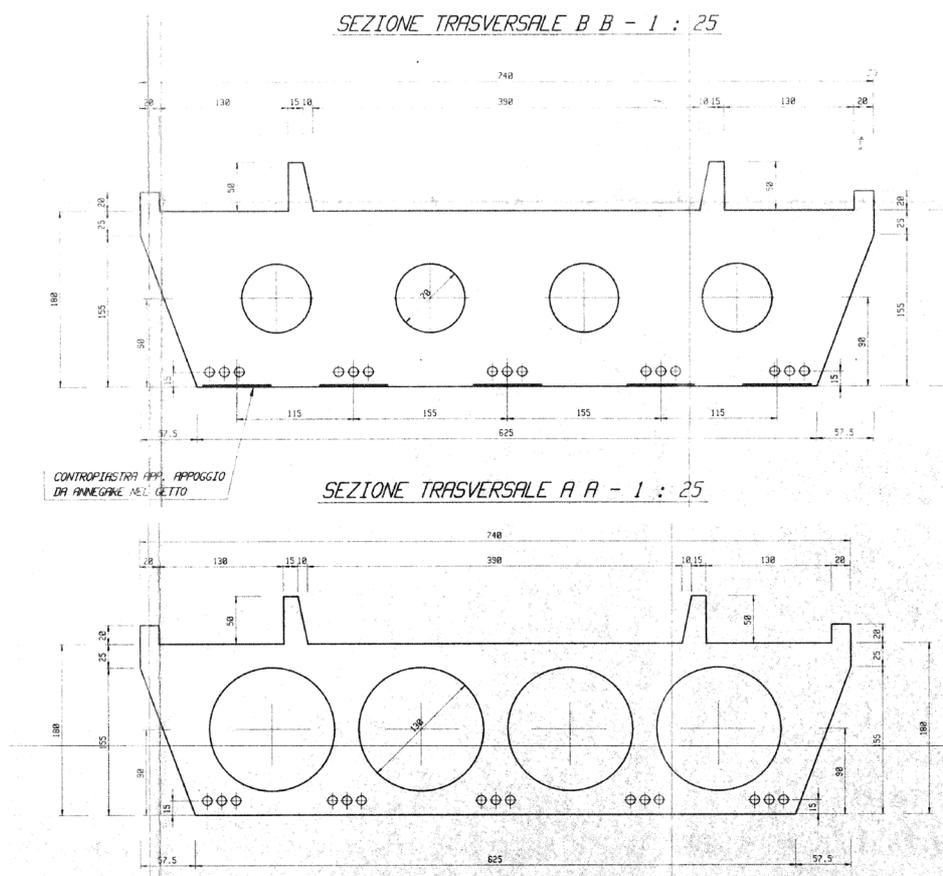


Figura 4_ Sezioni trasversali imp. c.a.p.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i> <i>Interazione statica treno-binario-struttura</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0500004	REV. A

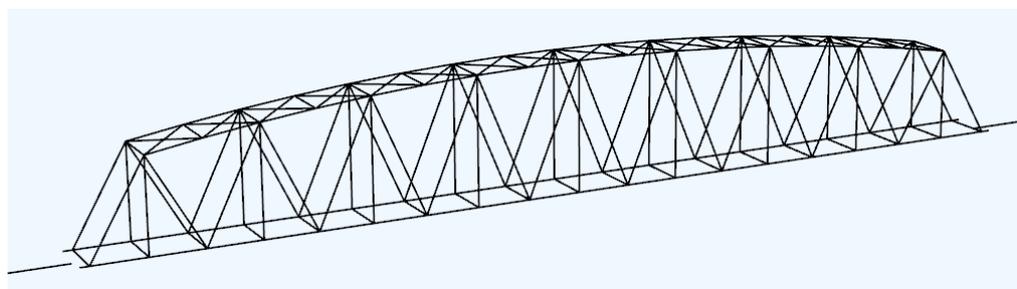
Section Name		imp cap sez AA			
Properties					
Cross-section (axial) area	7.1656	Section modulus about 3 axis	3.0081		
Moment of Inertia about 3 axis	2.7922	Section modulus about 2 axis	9.0201		
Moment of Inertia about 2 axis	33.3818	Plastic modulus about 3 axis	4.1277		
Product of Inertia about 2-3	0.0133	Plastic modulus about 2 axis	13.3362		
Shear area in 2 direction	3.9062	Radius of Gyration about 3 axis	0.6242		
Shear area in 3 direction	4.8114	Radius of Gyration about 2 axis	2.1584		
Torsional constant	8.4828	Shear Center Eccentricity (x3)	0.		

Section Name		imp cap sez BB			
Properties					
Cross-section (axial) area	12.1437	Section modulus about 3 axis	3.9559		
Moment of Inertia about 3 axis	3.672	Section modulus about 2 axis	13.5917		
Moment of Inertia about 2 axis	50.3005	Plastic modulus about 3 axis	8.568		
Product of Inertia about 2-3	0.0148	Plastic modulus about 2 axis	30.6573		
Shear area in 2 direction	8.8609	Radius of Gyration about 3 axis	0.5499		
Shear area in 3 direction	9.8275	Radius of Gyration about 2 axis	2.0352		
Torsional constant	12.1079	Shear Center Eccentricity (x3)	0.		

Tali proprietà sono state assegnate all'elemento frame, monofilare, che modella tale impalcato.

4.3 IMPALCATO METALLICO

La travata reticolare, è stata modellata, invece, in 3D introducendo tutti gli elementi che la costituiscono (briglie, montanti, trasversi,...), per la cui geometria si rimanda agli elaborati di progetto.



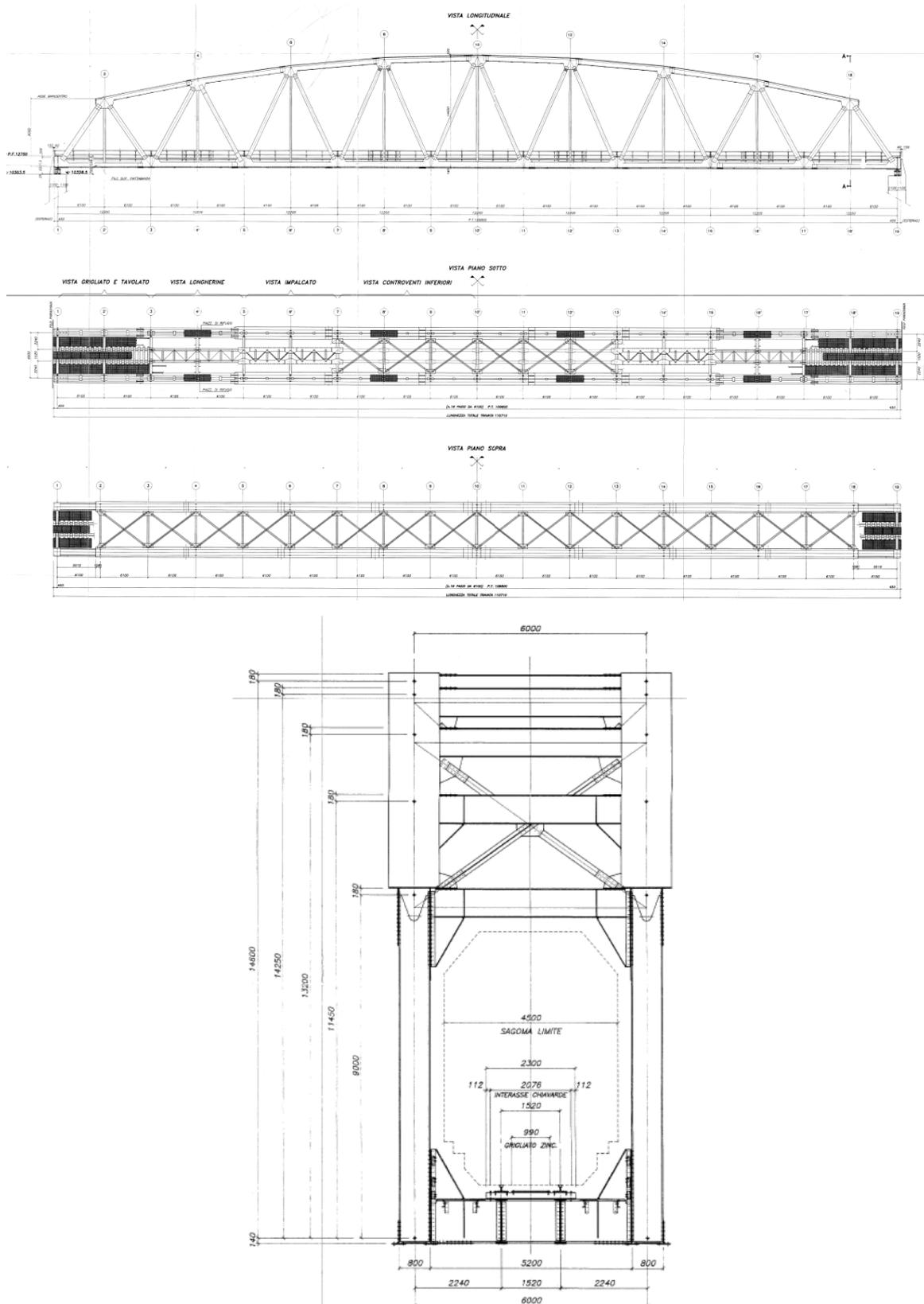
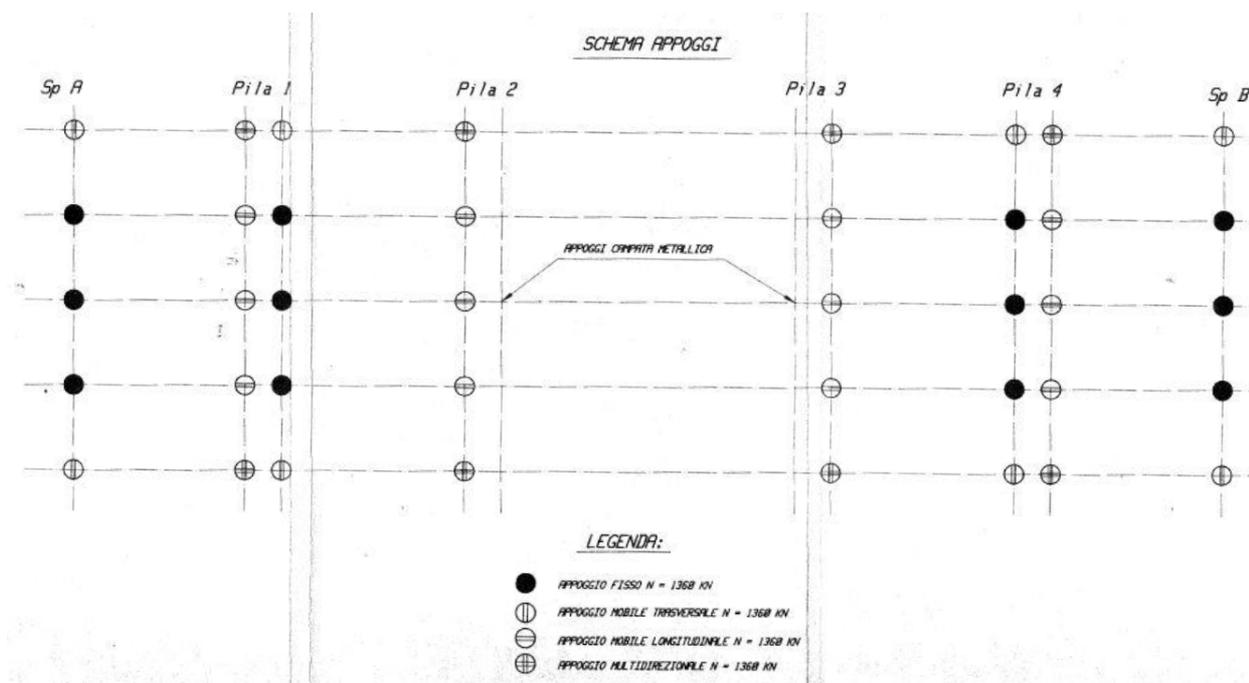


Figura 5_Impalcato metallico

4.4 SCHEMA APPOGGI

Le campate in c.a.p., hanno uno schema statico di semplice appoggio, simmetrico rispetto alla travata reticolare centrale: su entrambe le spalle vengono posizionati i vincoli fissi.



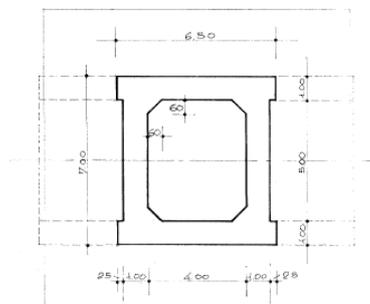
La travata reticolare, anch'essa in semplice appoggio, avrà un appoggio fisso e un uni-trasversale sulla pila lato Ferrandina (pila 2) e un appoggio uni-longitudinale e uno multidirezionale sulla pila lato Matera (pila 3).

4.5 SOTTOSTRUTTURE

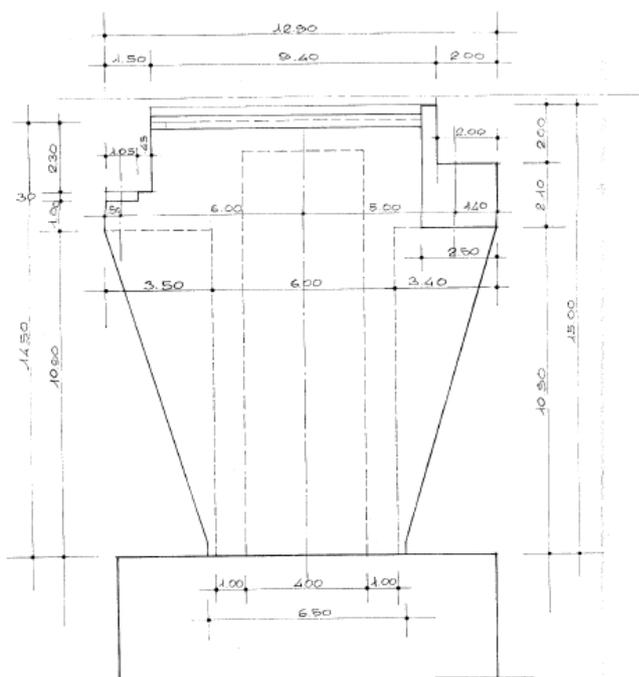
Le pile 2 e 3, in corrispondenza della travata metallica, vengono modellate per consentire la corretta definizione del tratto di transizione tra le due tipologie d'impalcato.

Di seguito, si riportano le sezioni.

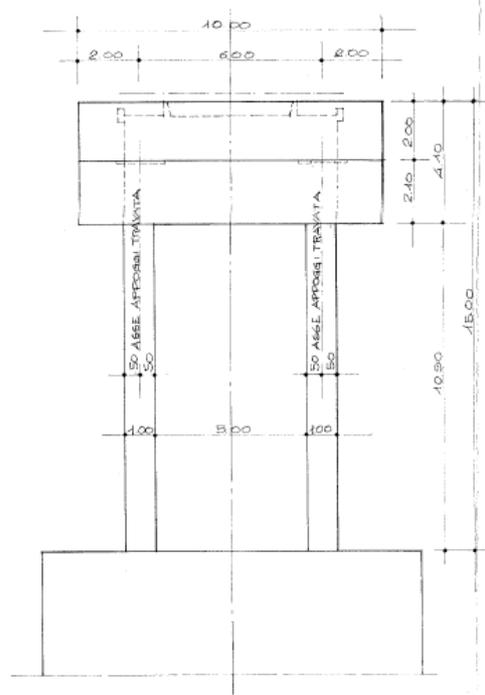
PIANTA ALLA RISEGA
DI FONDAZIONE



PROSPETTO LATERALE



PROSPETTO LATO TRAVE
METALLICA



Le pile 1 e 4 sono modellate come molle equivalenti la cui rigidità è definita come descritto al cap.5. Si riporta di seguito la rigidità di tali sottostrutture, avendo considerato le stesse incastrate al piede, e nulli i giochi degli apparecchi d'appoggio, in favore di sicurezza:

	Kx	Ky
	kN/m/m	kN/m/m
PILA 1	1883239	4524887
PILA 4	1166861	2840909

	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	PROGETTO DEFINITIVO					
<i>Relazione di calcolo</i> <i>Interazione statica treno-binario-struttura</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0500004	REV. A	FOGLIO 13 di 31

5 ANALISI

Le analisi effettuate sono non lineari; il software, registra lo stato tenso-deformativo di ciascun passo di carico per tenerne conto nei passi successivi, mentre il legame costitutivo delle molle non lineari tra binario e struttura varia opportunamente a seconda del caso scarico/carico. Lo stato di sollecitazione negli elementi del modello tiene conto dell'applicazione successiva delle varie azioni e delle interazioni degli effetti da esse prodotti. Sarà pertanto necessario applicare le variazioni termiche e i carichi accidentali, verticali e longitudinali, successivamente nella stessa analisi.

5.1 AZIONI APPLICATE

Si ricorda che l'azione termica 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 ininfluenza ai fini della valutazione delle reazioni nei vincoli fissi e delle tensioni aggiuntive nelle rotaie e non generando scorrimenti relativi binario-impalcato;

- nelle analisi in presenza di apparecchi di dilatazione del binario, sono state assunte variazioni termiche del binario pari a +30 °C e -40 °C rispetto alla temperatura di regolazione del binario stesso.

Nel caso di impalcato in acciaio esse vanno applicate contemporaneamente alle variazioni termiche dell'impalcato e con lo stesso segno, mentre nel caso di impalcato in c.a.p. o misti in acciaio calcestruzzo, vanno applicate tra le due seguenti, la condizione più sfavorevole nella combinazione con le altre azioni: nella prima è nulla la variazione termica nell'impalcato e massima (positiva o negativa) quella nella rotaia, nella seconda è nulla la variazione termica nella rotaia e massima (positiva o negativa) quella nell'impalcato.

5.1.1 In assenza di giunto di binario

Le azioni in gioco saranno, dunque:

- ΔT : Variazione termica (relativa impalcato-binario) = $\pm 15^\circ\text{C}$ (c.a.p.) e $\pm 25^\circ\text{C}$ (travata metallica).
- T/B: Avviamento/frenatura per il modello di carico treno LM71 o SW/2.

Vengono definite nel software di calcolo come di seguito:

Simulazione	Descrizione
Tb_-15_Tr_0	Variazione termica negativa sul ponte (-15°C sul c.a.p. e -25 sul ponte in acciaio)
Tb_15_Tr_0	Variazione termica positiva sul ponte (-15°C sul c.a.p. e -25 sul ponte in acciaio)
M_T1_LM71_P_T	Analisi monodim. con LM71 viaggiante sul binario 1 verso le progressive crescenti in avviamento
M_T1_LM71_P_B	Analisi monodim. con LM71 viaggiante sul binario 1 verso le progressive crescenti in frenatura
M_T1_LM71_N_T	Analisi monodim. con LM71 viaggiante sul binario 1 verso le progressive decrescenti in avviamento
M_T1_LM71_N_B	Analisi monodim. con LM71 viaggiante sul binario 1 verso le progressive decrescenti in frenatura
3D_T1_LM71_P_T	Analisi con LM71 viaggiante sul binario 1 verso le progressive crescenti in avviamento
3D_T1_LM71_P_B	Analisi con LM71 viaggiante sul binario 1 verso le progressive crescenti in frenatura
3D_T1_LM71_N_T	Analisi con LM71 viaggiante sul binario 1 verso le progressive decrescenti in avviamento
3D_T1_LM71_N_B	Analisi con LM71 viaggiante sul binario 1 verso le progressive decrescenti in frenatura
3D_T1_SW2_P_T	Analisi con SW2 viaggiante sul binario 1 verso le progressive crescenti in avviamento
3D_T1_SW2_P_B	Analisi con SW2 viaggiante sul binario 1 verso le progressive crescenti in frenatura
3D_T1_SW2_N_T	Analisi con SW2 viaggiante sul binario 1 verso le progressive decrescenti in avviamento
3D_T1_SW2_N_B	Analisi con SW2 viaggiante sul binario 1 verso le progressive decrescenti in frenatura

Legenda:

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

M = Analisi monodimensionali; 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)

T1=binario1 (in questo caso unico binario)

La variazione di temperatura applicata sul binario è nulla (in assenza di giunto di rotaia), così che essa non contribuisca agli effetti di interazione; vanno, invece, considerati i valori massimi e minimi che interessano l'impalcato.

Va considerata l'alternanza del segno (\pm) per la variazione di temperatura e transito dei treni, in avviamento o frenatura, in entrambe le direzioni di marcia.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i> <i>Interazione statica treno-binario-struttura</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0500004	REV. A

5.1.2 Con giunto di binario

Le azioni in gioco saranno, dunque:

- ΔT : Variazione termica (relativa impalcato-binario) = $\pm 15^{\circ}\text{C}$ (c.a.p.) e $\pm 25^{\circ}\text{C}$ (travata metallica).
- $\Delta T = +30^{\circ}\text{C}$ e $\Delta T = -40^{\circ}\text{C}$ (sul binario) rispetto alla temperatura di regolazione del binario;
- T/B: Avviamento/frenatura per il modello di carico treno LM71 o SW/2.

Vengono definite nel software di calcolo come di seguito:

Simulazione	Descrizione
Tb_-15_Tr_0	Variazione termica negativa sul ponte (-15°C sul c.a.p. e -25 sul ponte in acciaio)
Tb_15_Tr_0	Variazione termica positiva sul ponte (-15°C sul c.a.p. e -25 sul ponte in acciaio)
M_T1_LM71_P_T	Analisi monodim. con LM71 viaggiante sul binario 1 verso le progressive crescenti in avviamento
M_T1_LM71_P_B	Analisi monodim. con LM71 viaggiante sul binario 1 verso le progressive crescenti in frenatura
M_T1_LM71_N_T	Analisi monodim. con LM71 viaggiante sul binario 1 verso le progressive decrescenti in avviamento
M_T1_LM71_N_B	Analisi monodim. con LM71 viaggiante sul binario 1 verso le progressive decrescenti in frenatura
3D_T1_LM71_P_T	Analisi con LM71 viaggiante sul binario 1 verso le progressive crescenti in avviamento
3D_T1_LM71_P_B	Analisi con LM71 viaggiante sul binario 1 verso le progressive crescenti in frenatura
3D_T1_LM71_N_T	Analisi con LM71 viaggiante sul binario 1 verso le progressive decrescenti in avviamento
3D_T1_LM71_N_B	Analisi con LM71 viaggiante sul binario 1 verso le progressive decrescenti in frenatura
3D_T1_SW2_P_T	Analisi con SW2 viaggiante sul binario 1 verso le progressive crescenti in avviamento
3D_T1_SW2_P_B	Analisi con SW2 viaggiante sul binario 1 verso le progressive crescenti in frenatura
3D_T1_SW2_N_T	Analisi con SW2 viaggiante sul binario 1 verso le progressive decrescenti in avviamento
3D_T1_SW2_N_B	Analisi con SW2 viaggiante sul binario 1 verso le progressive decrescenti in frenatura
Tb_-15_Tr_-40	Variazione termica negativa sul ponte (-15°C sul c.a.p. e -25 sul ponte in acciaio) e negativa sulla rotaia (-40°C)
Tb_15_Tr_30	Variazione termica positiva sul ponte (15°C sul c.a.p. e 25 sul ponte in acciaio) e positiva sulla rotaia (30°C)
Tb_0_Tr_-40	Variazione termica nulla sul ponte e negativa sulla rotaia (-40°C)
Tb_0_Tr_30	Variazione termica nulla sul ponte e positiva sulla rotaia (30°C)

Legenda:

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

M = Analisi monodimensionali; 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)

T1=binario1 (in questo caso unico binario)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i> <i>Interazione statica treno-binario-struttura</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0500004	REV. A

5.2 COMBINAZIONE DEI CARICHI

Delle analisi sopra elencate si effettuano le combinazioni lineari degli effetti, alla ricerca delle condizioni più gravose, per le caratteristiche di tensione 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 posizione del treno più gravosa unitamente alla variazione termica più sfavorevole è tale da massimizzare l'effetto in esame.

5.2.1 In assenza di giunto di binario

- Combinazioni

ID	Tipologia analisi	Binario 1	Termica
1	Mono-dimensionale	M_T1_LM71_P_T	
2	Mono-dimensionale	M_T1_LM71_P_B	
3	Mono-dimensionale	M_T1_LM71_N_T	
4	Mono-dimensionale	M_T1_LM71_N_B	
5	Transito	T_T1_LM71_P	
6	Transito	T_T1_LM71_N	
7	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_P_T	Tb_15_Tr_0
8	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_P_B	Tb_15_Tr_0
9	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_N_T	Tb_15_Tr_0
10	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_N_B	Tb_15_Tr_0
11	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_P_T	Tb_15_Tr_0
12	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_P_B	Tb_15_Tr_0
13	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_N_T	Tb_15_Tr_0
14	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_N_B	Tb_15_Tr_0
15	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_P_T	Tb_-15_Tr_0
16	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_P_B	Tb_-15_Tr_0
17	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_N_T	Tb_-15_Tr_0
18	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_N_B	Tb_-15_Tr_0
19	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_P_T	Tb_-15_Tr_0
20	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_P_B	Tb_-15_Tr_0
21	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_N_T	Tb_-15_Tr_0
22	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_N_B	Tb_-15_Tr_0

Figura 6_Combinazioni dei carichi senza giunto di binario

5.2.2 Con giunto di binario

Combinazioni				
ID	Tipologia analisi	Binario 1		Termica
1	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_P_T		Tb_-15_Tr_0
2	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_P_B		Tb_-15_Tr_0
3	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_N_T		Tb_-15_Tr_0
4	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_N_B		Tb_-15_Tr_0
5	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_P_T		Tb_-15_Tr_0
6	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_P_B		Tb_-15_Tr_0
7	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_N_T		Tb_-15_Tr_0
8	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_N_B		Tb_-15_Tr_0
9	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_P_T		Tb_15_Tr_0
10	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_P_B		Tb_15_Tr_0
11	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_N_T		Tb_15_Tr_0
12	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_N_B		Tb_15_Tr_0
13	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_P_T		Tb_15_Tr_0
14	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_P_B		Tb_15_Tr_0
15	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_N_T		Tb_15_Tr_0
16	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_N_B		Tb_15_Tr_0
17	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_P_T		Tb_-15_Tr_-40
18	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_P_B		Tb_-15_Tr_-40
19	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_N_T		Tb_-15_Tr_-40
20	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_N_B		Tb_-15_Tr_-40
21	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_P_T		Tb_-15_Tr_-40
22	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_P_B		Tb_-15_Tr_-40
23	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_N_T		Tb_-15_Tr_-40
24	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_N_B		Tb_-15_Tr_-40
25	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_P_T		Tb_15_Tr_30
26	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_P_B		Tb_15_Tr_30
27	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_N_T		Tb_15_Tr_30
28	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_N_B		Tb_15_Tr_30
29	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_P_T		Tb_15_Tr_30
30	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_P_B		Tb_15_Tr_30
31	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_N_T		Tb_15_Tr_30
32	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_N_B		Tb_15_Tr_30
33	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_P_T		Tb_0_Tr_30
34	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_P_B		Tb_0_Tr_30
35	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_N_T		Tb_0_Tr_30
36	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_N_B		Tb_0_Tr_30
37	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_P_T		Tb_0_Tr_30
38	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_P_B		Tb_0_Tr_30
39	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_N_T		Tb_0_Tr_30
40	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_N_B		Tb_0_Tr_30
41	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_P_T		Tb_0_Tr_-40
42	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_P_B		Tb_0_Tr_-40
43	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_N_T		Tb_0_Tr_-40
44	Tri-dimensionale	3D_T1_LM71_N_B		Tb_0_Tr_-40
45	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_P_T		Tb_0_Tr_-40
46	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_P_B		Tb_0_Tr_-40
47	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_N_T		Tb_0_Tr_-40
48	Tri-dimensionale	3D_T1_SW2_N_B		Tb_0_Tr_-40

Figura 7_ Combinazioni dei carichi con giunto di binario

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	Relazione di calcolo <i>Interazione statica treno-binario-struttura</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0500004	REV. A

5.3 RISULTATI

5.3.1 In assenza di giunto di binario

Dai risultati di inviluppo di tutte le combinazioni di carico lineari si determinano le configurazioni più gravose.

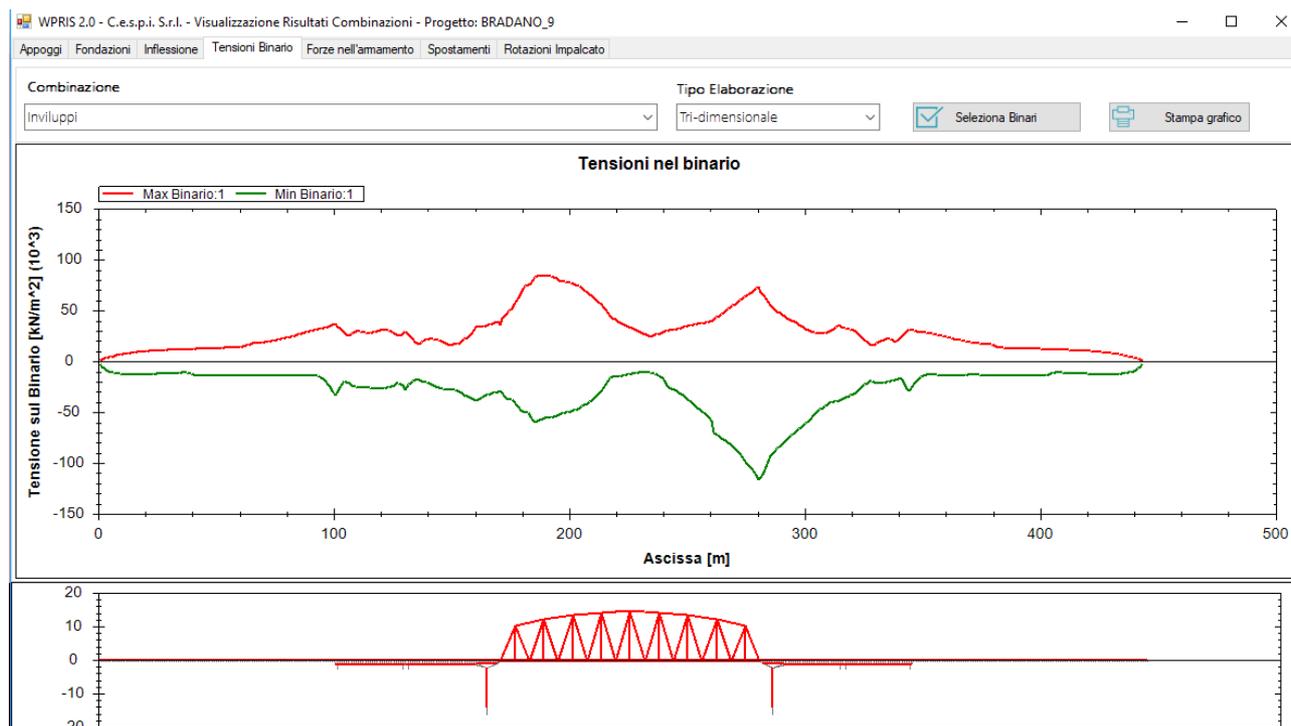


Figura 8_Inviluppo lineare tensioni_senza giunto

Il valore massimo di trazione nella rotaia si manifesta in corrispondenza della Pila 2, lato appoggio fisso della travata metallica ed il valore massimo di compressione nella rotaia si manifesta in corrispondenza della Pila 3, lato appoggio mobile della travata metallica, laddove avviene la transizione tra le due tipologie di impalcato e di armamento, ovvero un significativo salto di rigidità globale.

Il valore massimo di trazione sulla rotaia è pari a 84 MPa.

Il valore massimo di compressione sulla rotaia è pari a 116.6 MPa.

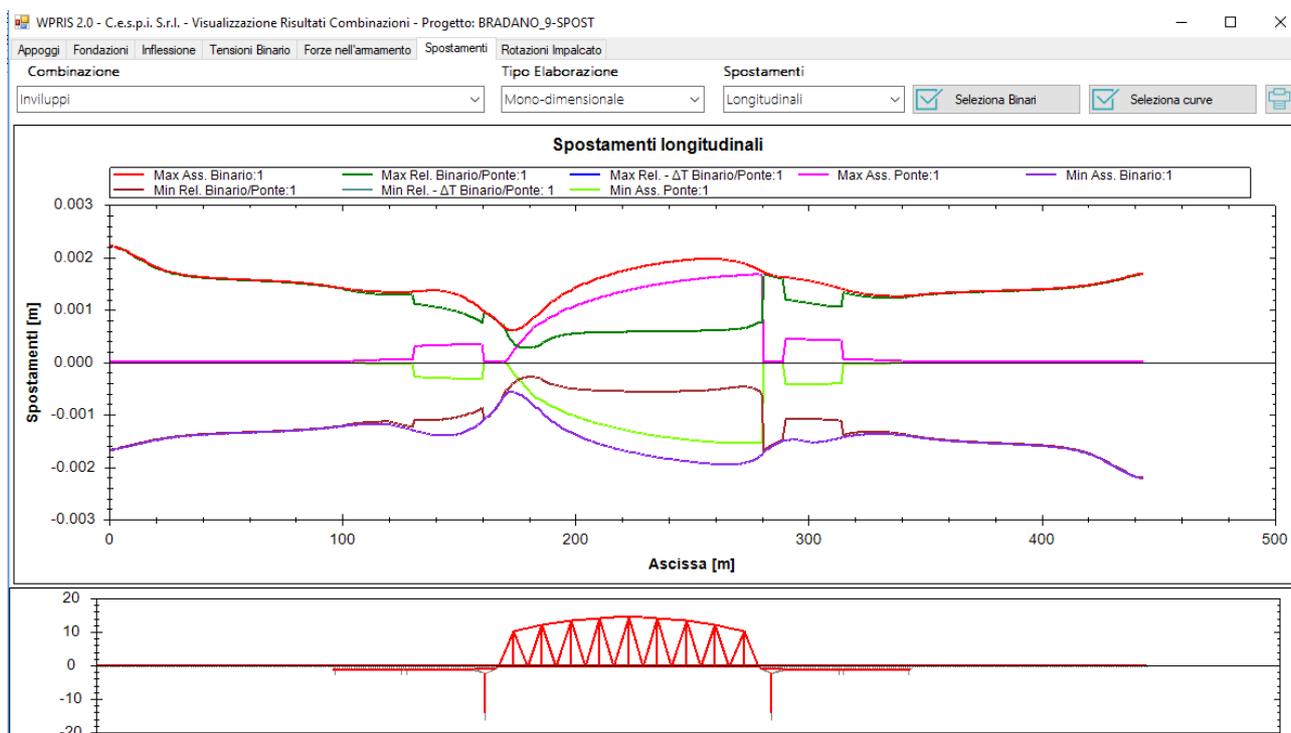


Figura 9_Inviluppo lineare spostamenti_senza giunto

L'involuppo dello spostamento relativo massimo positivo tra binario ed impalcato per sole azioni di avviamento/frenatura è pari a 1.7 mm.

L'involuppo dello spostamento relativo massimo negativo tra binario ed impalcato per sole azioni di avviamento/frenatura è pari a 1.7 mm.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i> <i>Interazione statica treno-binario-struttura</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0500004	REV. A

Si effettuano a questo punto le analisi non lineari per le combinazioni, più gravose, così individuate.

▪ **Tensioni massime di trazione da analisi non lineare:**

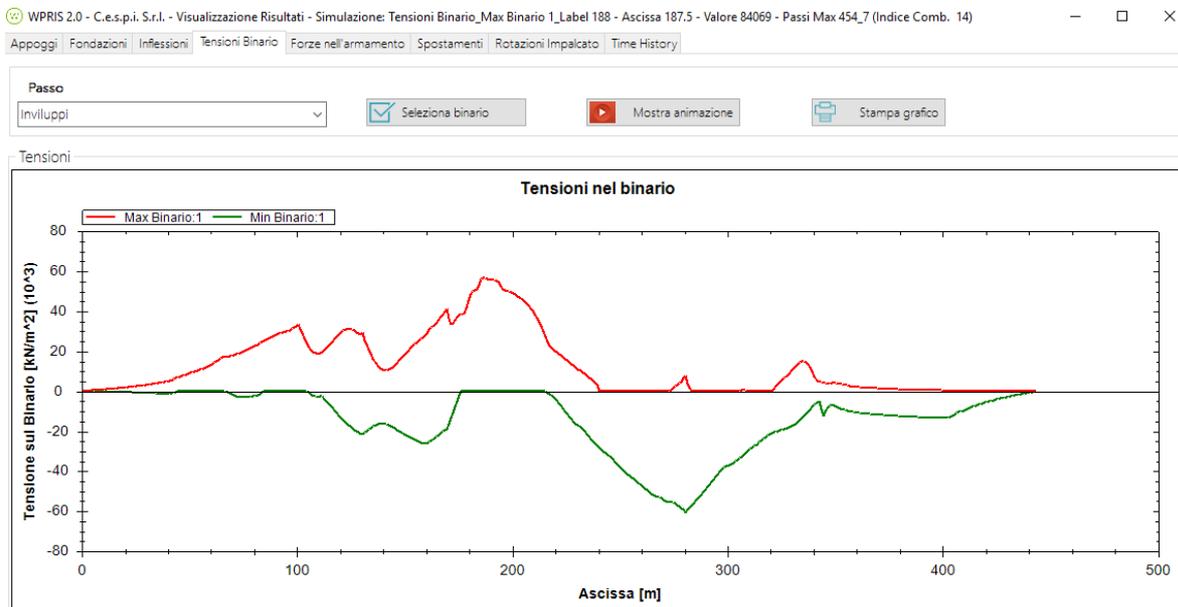


Figura 10_Tensioni massime_analisi non lineare_senza giunto

$$\sigma_{max,T} = 57 \text{ MPa} < \sigma_{lim,T} = 70 \text{ MPa}$$

▪ **Tensioni massime di compressione da analisi non lineare:**

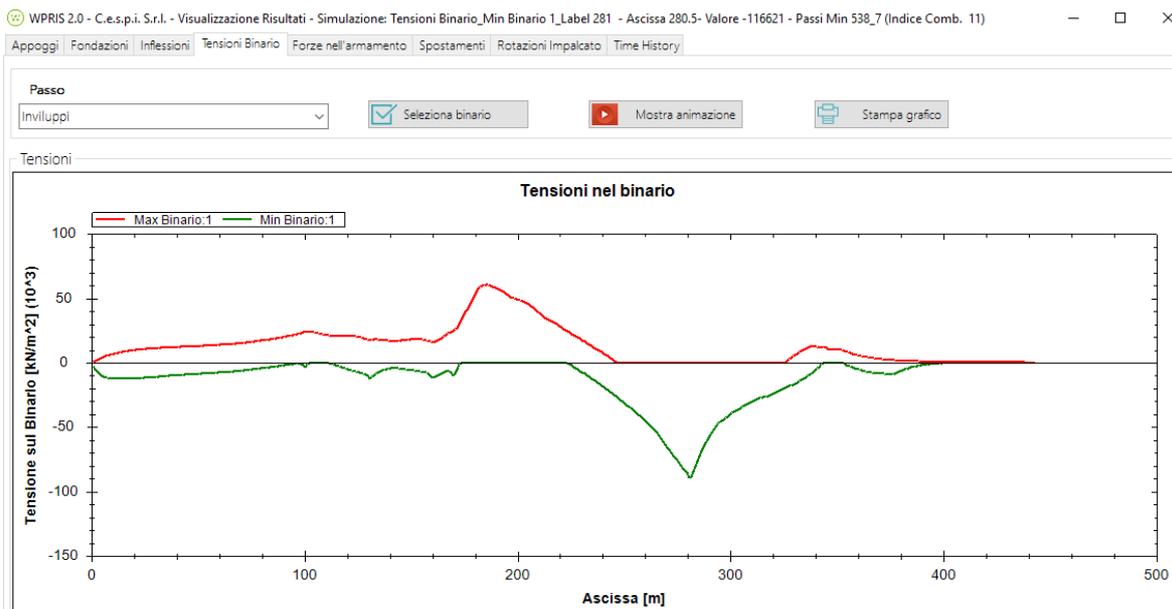


Figura 11_Tensioni minime_analisi non lineare_senza giunto

$$\sigma_{max,C} = 89.6 \text{ MPa} > \sigma_{lim,C} = 60 \text{ MPa} \rightarrow \text{La verifica non risulta soddisfatta.}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i> <i>Interazione statica treno-binario-struttura</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0500004	REV. A

▪ **Spostamenti relativi massimi e minimi da analisi non lineare:**

Gli spostamenti relativi orizzontali massimi/minimi tra rotaie e impalcato sottostante vanno invece determinati tenendo conto delle **sole azioni di avviamento e frenatura**.

Di seguito i risultati ottenuti dalle analisi.

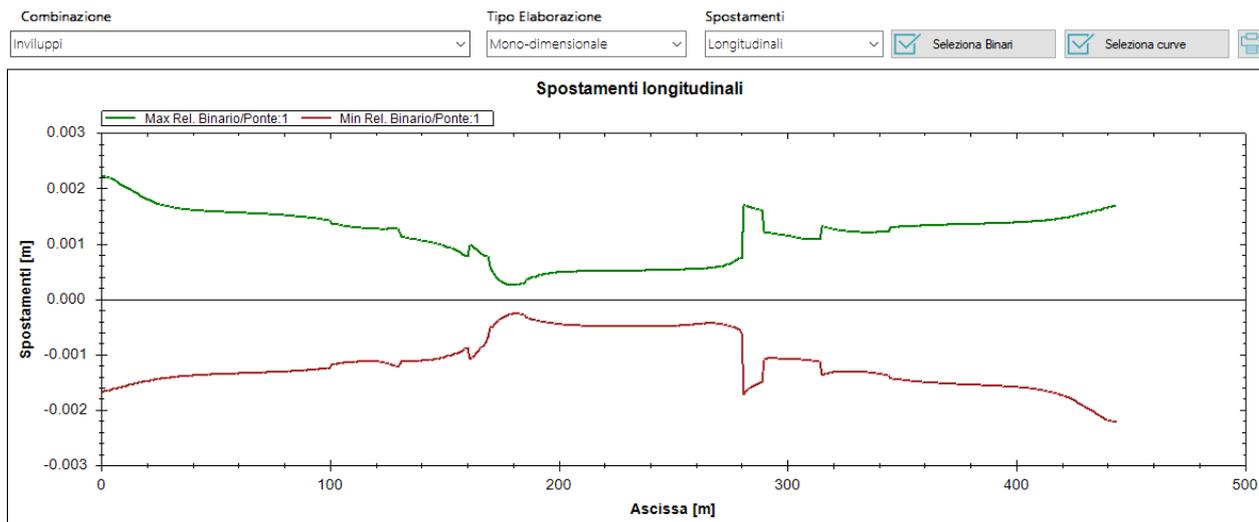


Figura 12_Spostamenti long. max e min_analisi non lineare_senza giunto

$$\Delta\delta_{\text{rel max, long}} = 1.7\text{mm} < \Delta\delta_{\text{rel lim}} = 5\text{mm}$$

$$\Delta\delta_{\text{rel min, long}} = 1.7\text{mm} < \Delta\delta_{\text{rel lim}} = 5\text{mm}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i> <i>Interazione statica treno-binario-struttura</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0500004	REV. A

5.3.2 Con giunto di binario

Si introduce nel modello un giunto di binario in corrispondenza del valore massimo di compressione che supera il valore limite di normativa, lato appoggio mobile della travata metallica.

Le combinazioni lineari dei carichi portano i seguenti risultati, comprensivi della termica di rotaia:

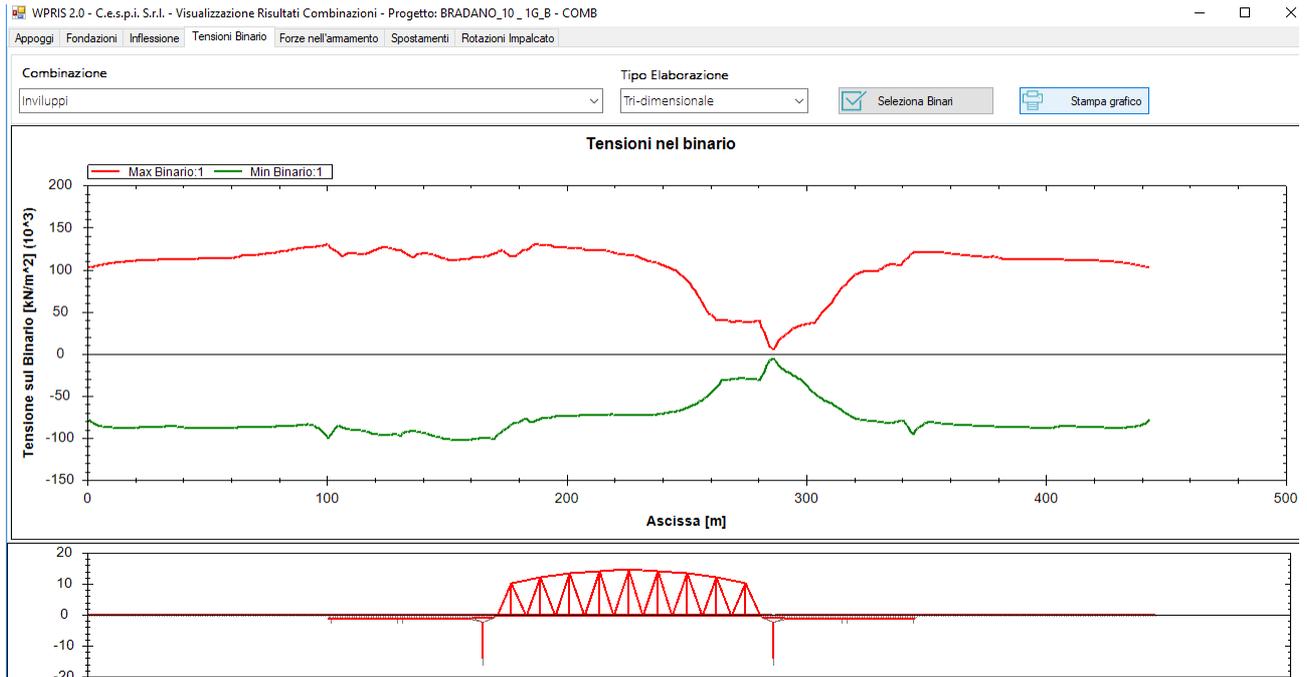


Figura 13_Inviluppo lineare tensioni_con giunto

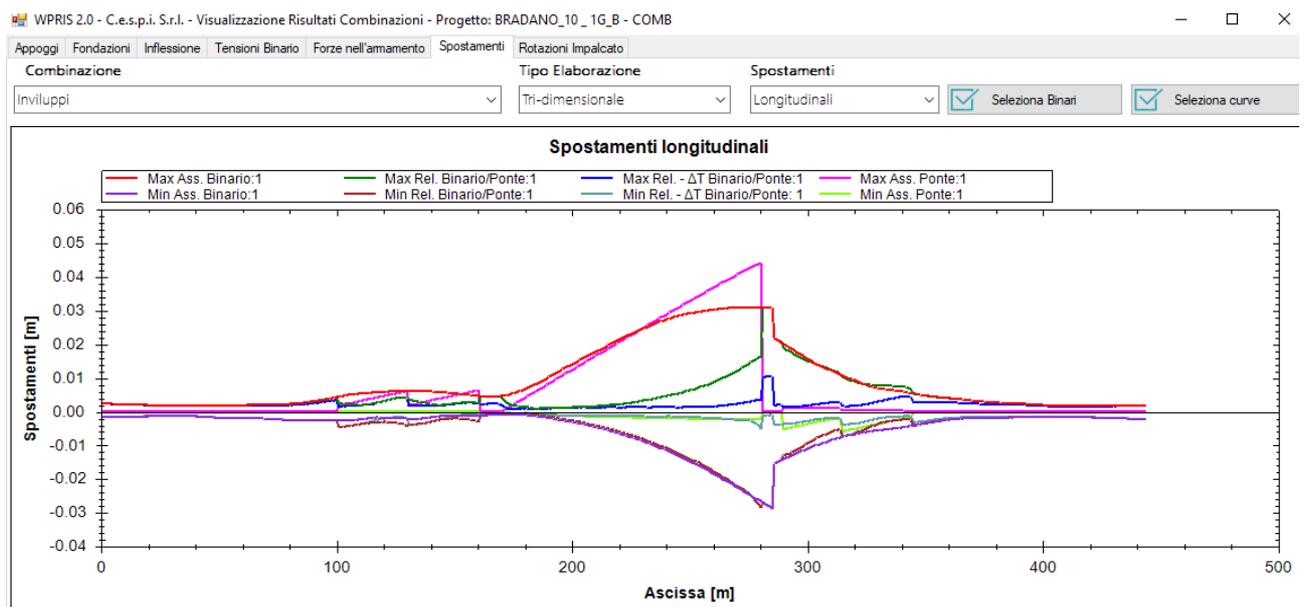


Figura 14_Inviluppo lineare spostamenti_con giunto

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i> <i>Interazione statica treno-binario-struttura</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0500004	REV. A

Si effettuano a questo punto le analisi non lineari per le combinazioni, più gravose, così individuate.

Si riportano i risultati di quelle che non comprendono la termica (+30°, -40°) per la verifica dei limiti tensionali, mentre si prende l'involuppo di tutte le combinazioni per la valutazione della massima escursione del giunto.

▪ **Tensioni massime di trazione da analisi non lineare:**

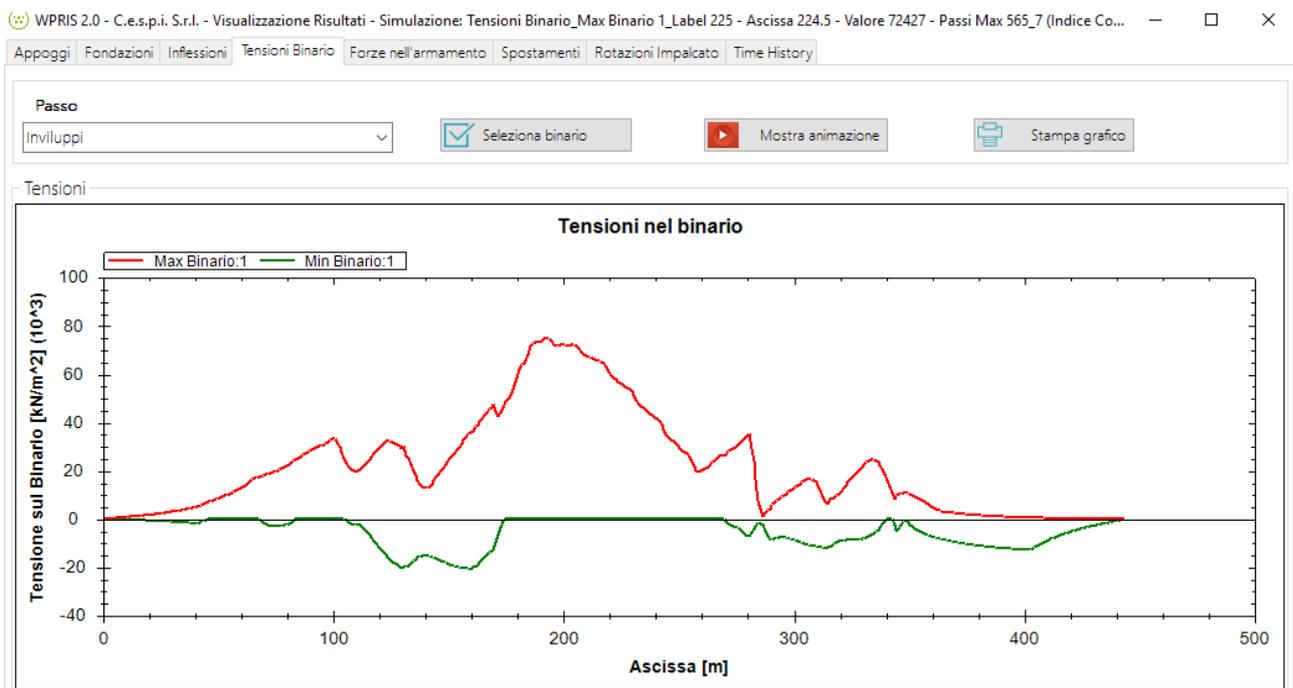


Figura 15_Tensioni massime_analisi non lineare_con giunto

$$\sigma_{\max,T} = 75 \text{ MPa} > \sigma_{\lim,T} = 70 \text{ MPa}$$

▪ ***Tensioni massime di compressione da analisi non lineare:***

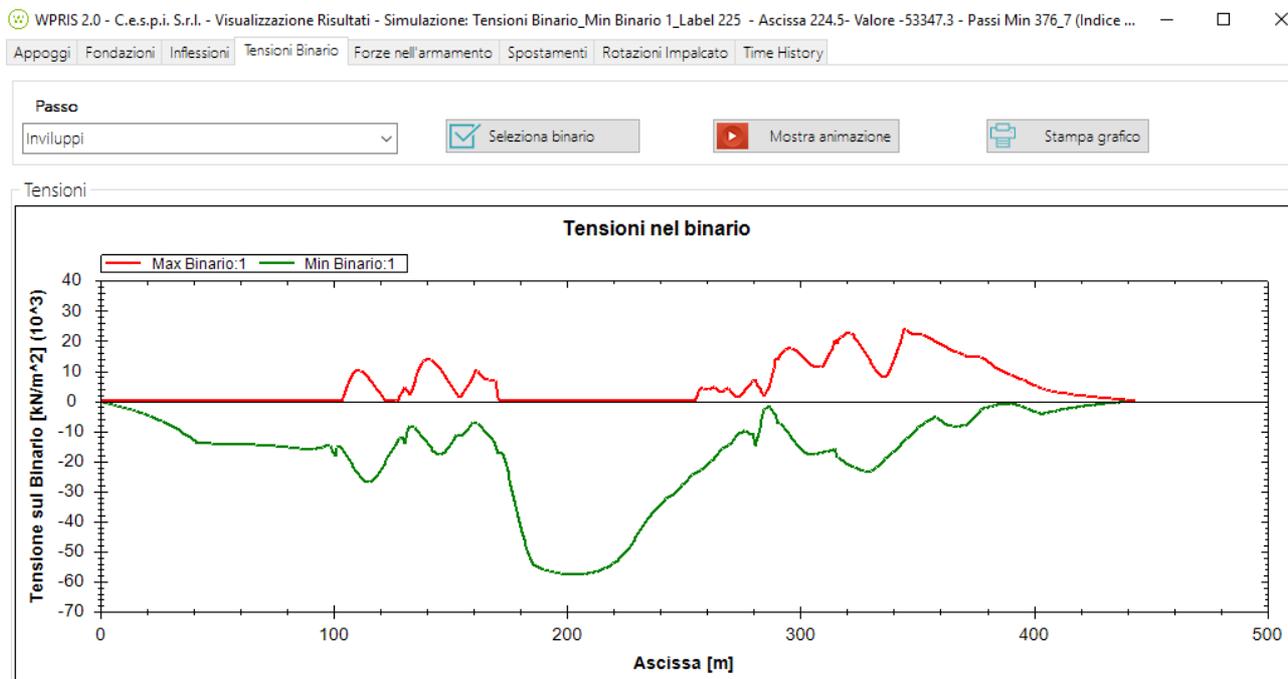


Figura 16_ Tensioni minime_ analisi non lineare_ con giunto

$$\sigma_{\max,C} = 57.7 \text{ MPa} < \sigma_{\lim,C} = 60 \text{ MPa}$$

le verifiche in termini di massime tensioni sulle rotaie **non risultano soddisfatte.**

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i> <i>Interazione statica treno-binario-struttura</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0500004	REV. A

5.3.3 Con due giunti di binario

Si introduce nel modello un secondo giunto di binario in corrispondenza dell'appoggio fisso della travata metallica, in posizione simmetrica rispetto al primo giunto.

Le combinazioni lineari dei carichi portano i seguenti risultati, comprensivi della termica di rotaia:

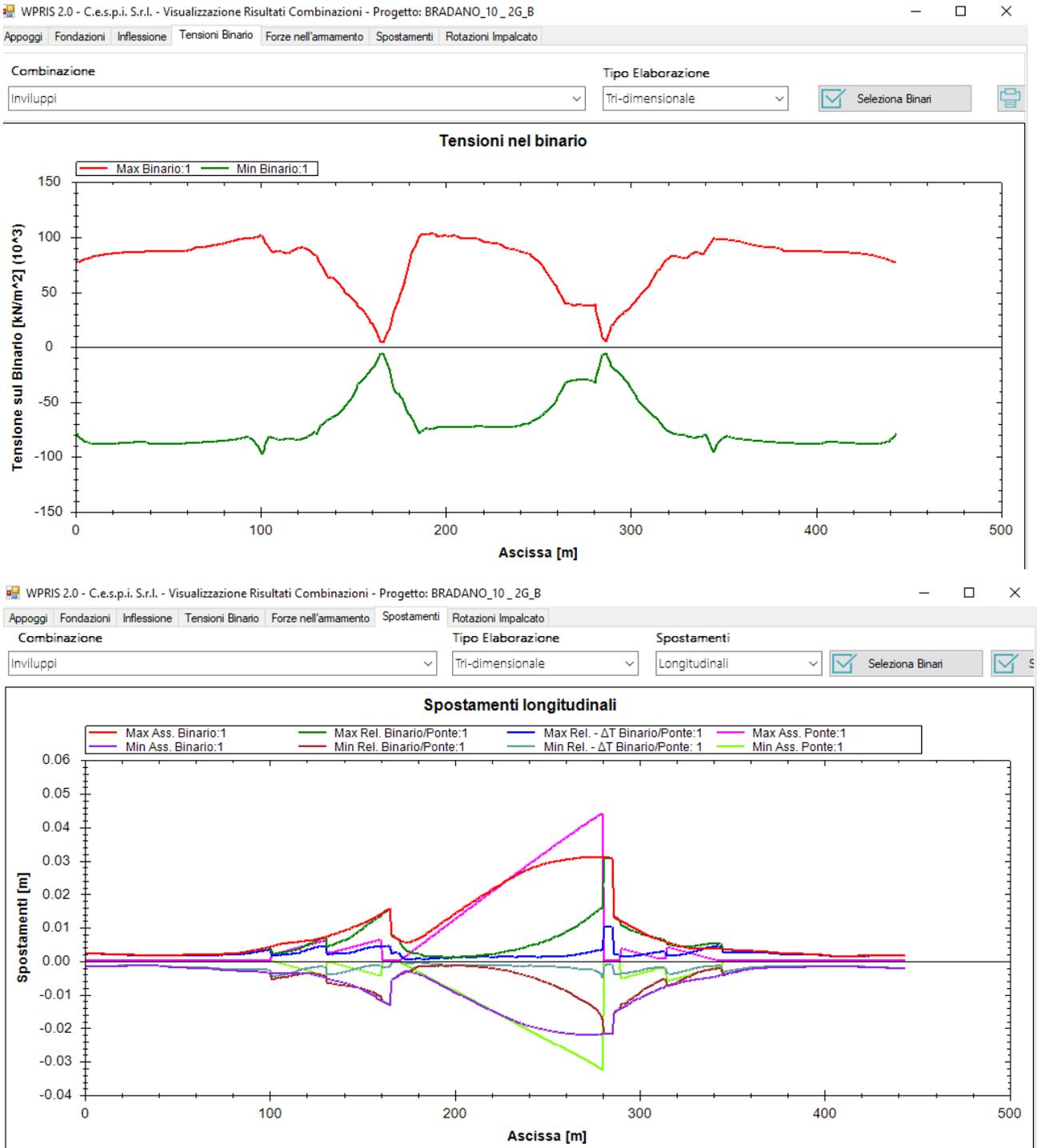


Figura 17_Inviluppo lineare tensioni e spostamenti_con 2giunti

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i> <i>Interazione statica treno-binario-struttura</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0500004	REV. A

Si effettuano a questo punto le analisi non lineari per le combinazioni, più gravose, così individuate.

Si riportano i risultati di quelle che non comprendono la termica (+30°, -40°) per la verifica dei limiti tensionali, mentre si prende l'involuppo di tutte le combinazioni per la valutazione della massima escursione del giunto.

▪ ***Tensioni massime di trazione da analisi non lineare:***

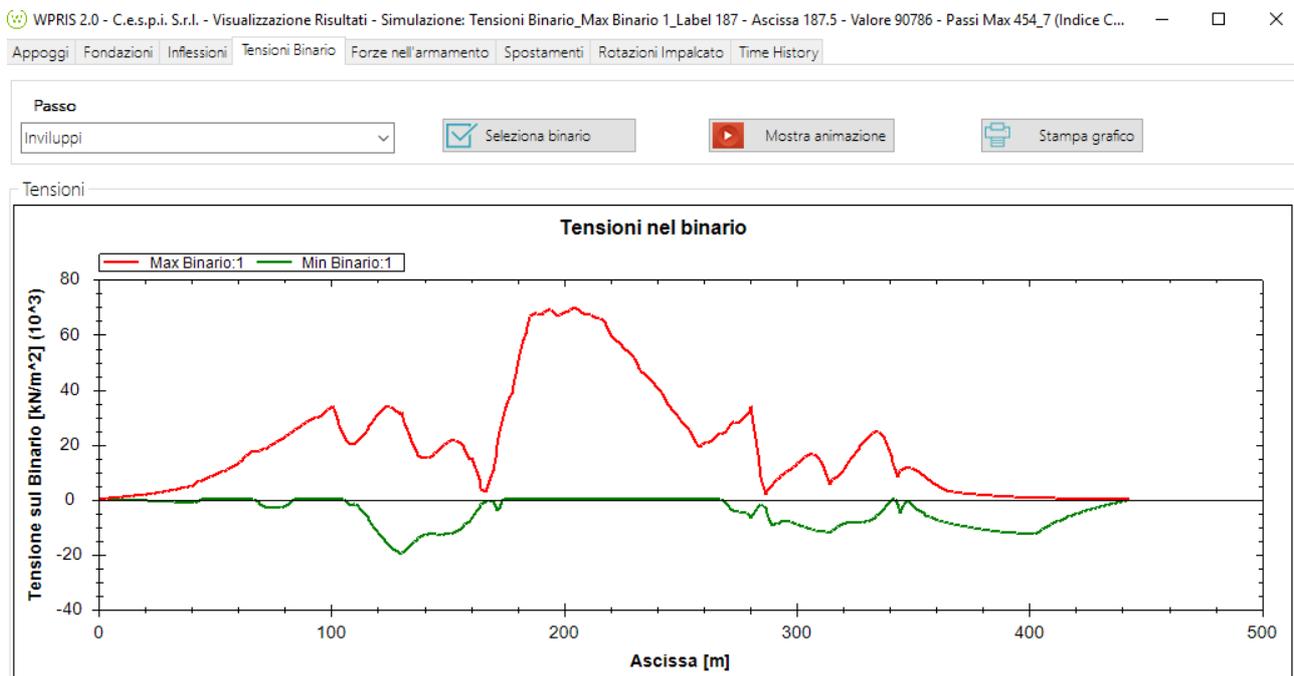


Figura 18_Tensioni massime_analisi non lineare_con 2giunti

$$\sigma_{\max,T} = 69 \text{ MPa} < \sigma_{\lim,T} = 70 \text{ MPa}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i> <i>Interazione statica treno-binario-struttura</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0500004	REV. A

▪ ***Tensioni massime di compressione da analisi non lineare:***

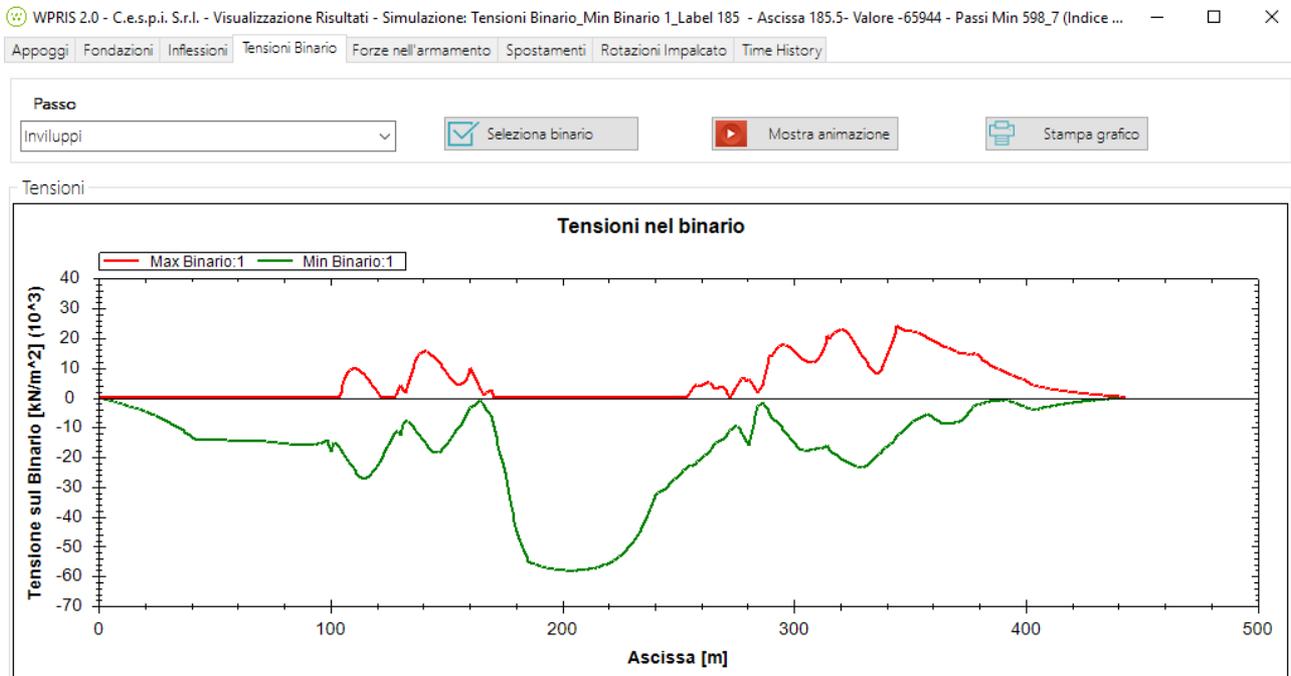


Figura 19_Tensioni minime_analisi non lineare_con 2giunti

$$\sigma_{\max,C} = 58.2 \text{ MPa} < \sigma_{\lim,C} = 60 \text{ MPa}$$

le verifiche in termini di massime tensioni sulle rotaie **risultano soddisfatte**.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i> <i>Interazione statica treno-binario-struttura</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0500004	REV. A

Dallo spostamento longitudinale massimo/minimo che subisce il binario nelle configurazioni di carico più gravose si determina:

▪ ***Escursione dei giunti***

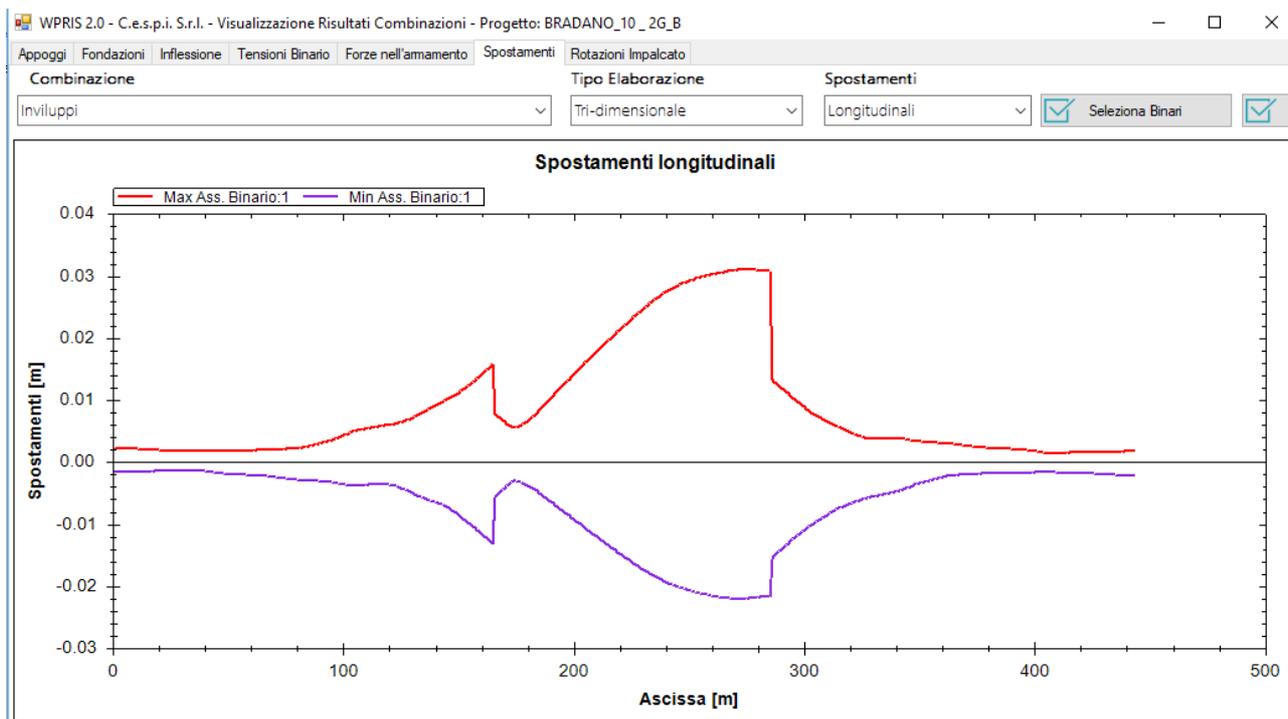


Figura 20_Spostamenti max e min di binario_con 2 giunti

Il valore di escursione del giunto lato pila fissa (P2): $-13 \text{ mm} < \Delta\delta_g < +16 \text{ mm}$

Il valore di escursione del giunto lato pila mobile (P3): $-22 \text{ mm} < \Delta\delta_g < +31 \text{ mm}$

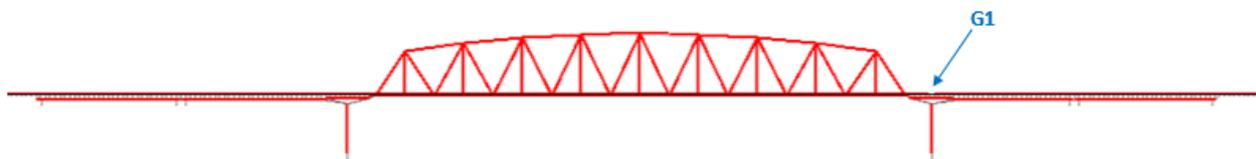
6 CONCLUSIONI

Si riporta il riepilogo, in forma tabellare, dei casi analizzati:

		SENZA GIUNTO	test	
		MAX		
σ [Mpa]	traction	57	< 70 MPa	OK
	compress.	89.6	> 60 MPa	verifica non soddisfatta
$\Delta\delta_{rel}$ [mm]	h +	1.7	< 5 mm	OK
	h -	1.7	< 5 mm	OK

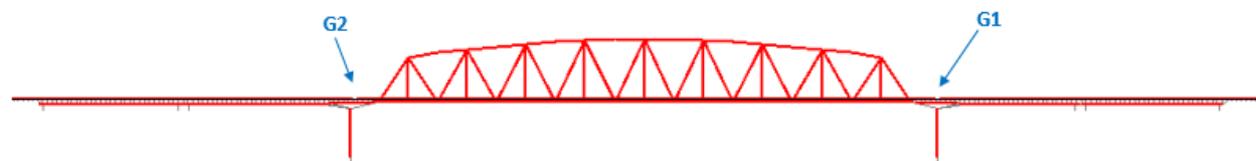
 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale PROGETTO DEFINITIVO					
	<i>Relazione di calcolo</i> <i>Interazione statica treno-binario-struttura</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0500004	REV. A

I limiti tensionali non risultano soddisfatti per cui si introduce un giunto di binario lato appoggio mobile della travata reticolare:



		UN GIUNTO	test	
		MAX		
σ [Mpa]	traction	75	>70 MPa	verifica non soddisfatta
	compress.	58	< 60 MPa	OK

Dai risultati emerge la necessità di introdurre un ulteriore giunto, simmetricamente al primo, sul pulvino della pila di transizione:



		DUE GIUNTI	test	
		MAX		
σ [Mpa]	traction	69	< 70 MPa	OK
	compress.	58	> -60 MPa	OK

I limiti tensionali risultano così soddisfatti. L'escursione dei giunti calcolata è la seguente:

ESCURSIONE G1 [mm]	h+	31.0
	h-	-22.0
ESCURSIONE G2 [mm]	h+	16.0
	h-	-13.0

I dispositivi andranno in corrispondenza delle Pile 2 e 3, a una distanza reciproca tale che la lunghezza di LRS*, tra i due dispositivi, sia minimo di 120m.

*LRS = lunga rotaia saldata.



Nuova linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

PROGETTO DEFINITIVO

<i>Relazione di calcolo</i> <i>Interazione statica treno-binario-struttura</i>	COMMESSA IA5F	LOTTO 01	CODIFICA CL	DOCUMENTO VI0500004	REV. A	FOGLIO 30 di 31
---	-------------------------	--------------------	-----------------------	-------------------------------	------------------	---------------------------