

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DEFINITIVO

**RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA
TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

VI04 - Viadotto su Torrente Varatello da km 77+516 e 77+616





Relazione di calcolo impalcato VI04

SCALA:

-

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

I V 0 I 0 0 D 0 9 C L V I 0 4 0 8 0 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	G.Grimaldi 	Feb. 2022	D.Guerci 	Feb. 2022	G.Fadda 	Feb. 2022	A. Vitozzi  ITALFERR S.p.A. U.O. Opere Civili e gestione delle varianti Dott. Ing. Angelo Vitozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Genova N° A20783

File: IV0100D09CLVI0408002A.doc

n. Elab.: X

INDICE

1	GENERALITA'	5
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	9
2.1	ELABORATI DI RIFERIMENTO	10
3	MATERIALI	11
3.1	CALCESTRUZZO PER TRAVI IN C.A.P. E TRAVERSI.....	11
3.2	CALCESTRUZZO PER GETTI IN OPERA IMPALCATO.....	11
3.3	ACCIAIO PER C.A.....	12
3.4	ACCIAIO PER C.A.P.....	12
4	ANALISI DEI CARICHI	13
4.1	CARPENTERIA DI BASE.....	13
4.2	PESO PROPRIO (G1)	14
4.3	CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI (G2).....	14
4.4	AZIONI VARIABILI.....	15
4.4.1	<i>Coefficienti di amplificazione dinamica e di adattamento</i>	15
4.4.2	<i>Treni di carico</i>	16
4.4.3	<i>Carichi sui marciapiedi</i>	21
4.4.4	<i>Forza centrifuga</i>	22
4.4.5	<i>Serpeggio</i>	22
4.4.6	<i>Avviamento e frenatura</i>	23
4.5	AZIONI AMBIENTALI	23
4.5.1	<i>Variatione termica uniforme</i>	24
4.5.2	<i>Variatione termica non uniforme</i>	24
4.5.3	<i>Vento</i>	24
4.6	AZIONI AEREODINAMICI ASSOCIATI AL PASSAGGIO DEI CONVOGLI	33
4.7	AZIONI ECCEZIONALI.....	34

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	3 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

4.7.1	Azioni dovute al deragliamento.....	34
4.8	AZIONI INDIRETTE	37
4.8.1	Ritiro.....	37
4.8.2	Viscosità	40
4.8.3	Resistenze passive dei vincoli.....	45
4.9	AZIONI SISMICHE	45
4.9.1	Inquadramento sismico	45
5	FASI COSTRUTTIVE E MODELLAZIONE	48
5.1	MODELLAZIONE: GENERALITÀ.....	49
5.1.1	Modello fase 0	49
5.1.2	Modello fase 1	50
5.1.3	Modello fase 2	52
5.1.4	Modello fase 3	56
5.2	COMBINAZIONI DI CARICO	60
6	EFFETTI GLOBALI - IMPALCATO.....	64
6.1	STATO LIMITE DI ESERCIZIO - SLE.....	64
6.1.1	Sollecitazioni	66
6.1.2	Verifiche tensionali.....	79
6.2	STATO LIMITE ULTIMO – SLU.....	107
6.2.1	Verifiche a presso-flessione trave centrale.....	107
6.2.2	Verifiche a presso-flessione trave di riva.....	110
7	TRAVERSI PRECOMPRESSI	113
7.1	SOLLECITAZIONI.....	113
7.2	CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE	116
7.2.1	Sezione iniziale.....	116
7.2.2	Sezione composta – breve termine.....	117

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0408 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 4 di 153</p>

7.2.3	Sezione composta – lungo termine	118
7.3	VERIFICHE STATO LIMITE DI ESERCIZIO – SLE.....	119
7.3.1	Verifiche tensionali.....	119
7.3.2	Verifica a fessurazione	126
7.3.3	Verifica a sollevamento	127
7.4	VERIFICHE STATO LIMITE ULTIMO - SLU.....	129
7.4.1	Verifiche a presso-flessione.....	129
7.4.2	Verifica a taglio.....	130
8	EFFETTI LOCALI.....	132
8.1	SOLETTA.....	132
8.1.1	Modellazione	132
8.1.2	Sollecitazioni	134
8.1.3	Verifiche sezione in mezzeria	138
8.1.4	Verifiche sezione sullo sbalzo.....	143
9	VERIFICA DEFORMAZIONI TORSIONALI (SGHEMBO).....	146
10	SCARICHI IMPALCATO	147
10.1	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SUGLI APPOGGI	147
11	VARCHI E GIUNTI.....	151
12	VALUTAZIONE DELLA ACCETTABILITA' DEI RISULTATI OTTENUTI (RIF.PAR.10.2 DM 17/01/2018)	152

1 GENERALITA'

Oggetto della presente relazione e' il calcolo delle sollecitazioni e le conseguenti verifiche di resistenza dell'impalcato del viadotto sul Torrente Varatello, da costruirsi per il raddoppio della linea Genova - Ventimiglia, nella tratta Finale Ligure - Andora tra le progressive chilometriche 77+516 e 77+616.

Il viadotto in esame si sviluppa su 4 campate di luce pari a 25.00 m. Delle 4 campate 2 sono risolte con due impalcati a singolo binario mentre le altre 2 sono risolte con un impalcato a doppio binario.

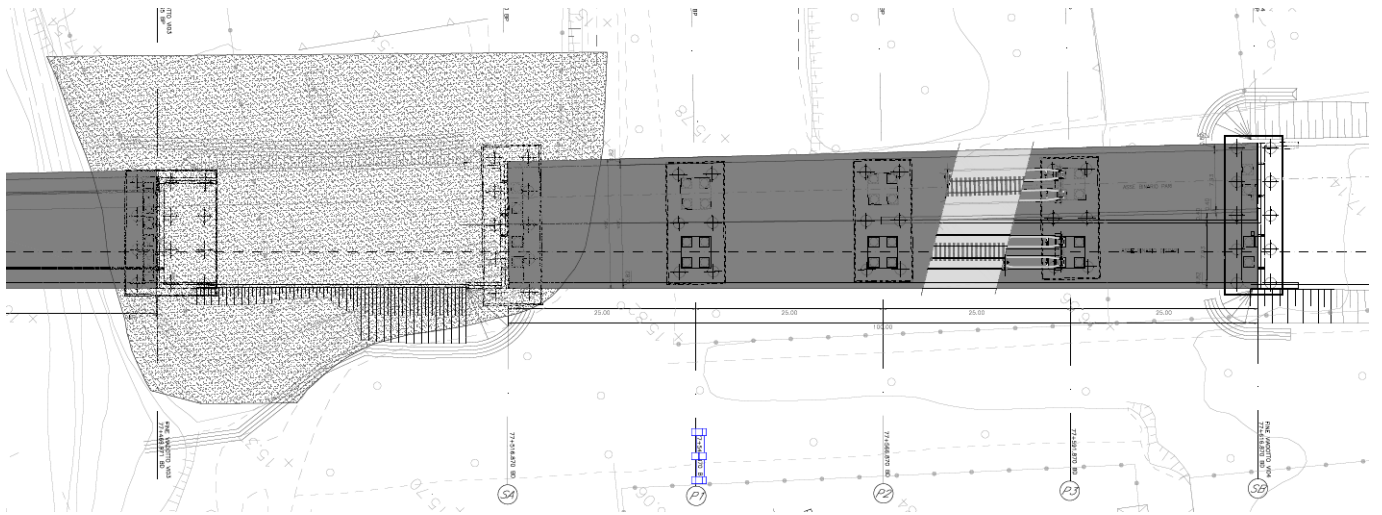


Figura 1: planimetria generale

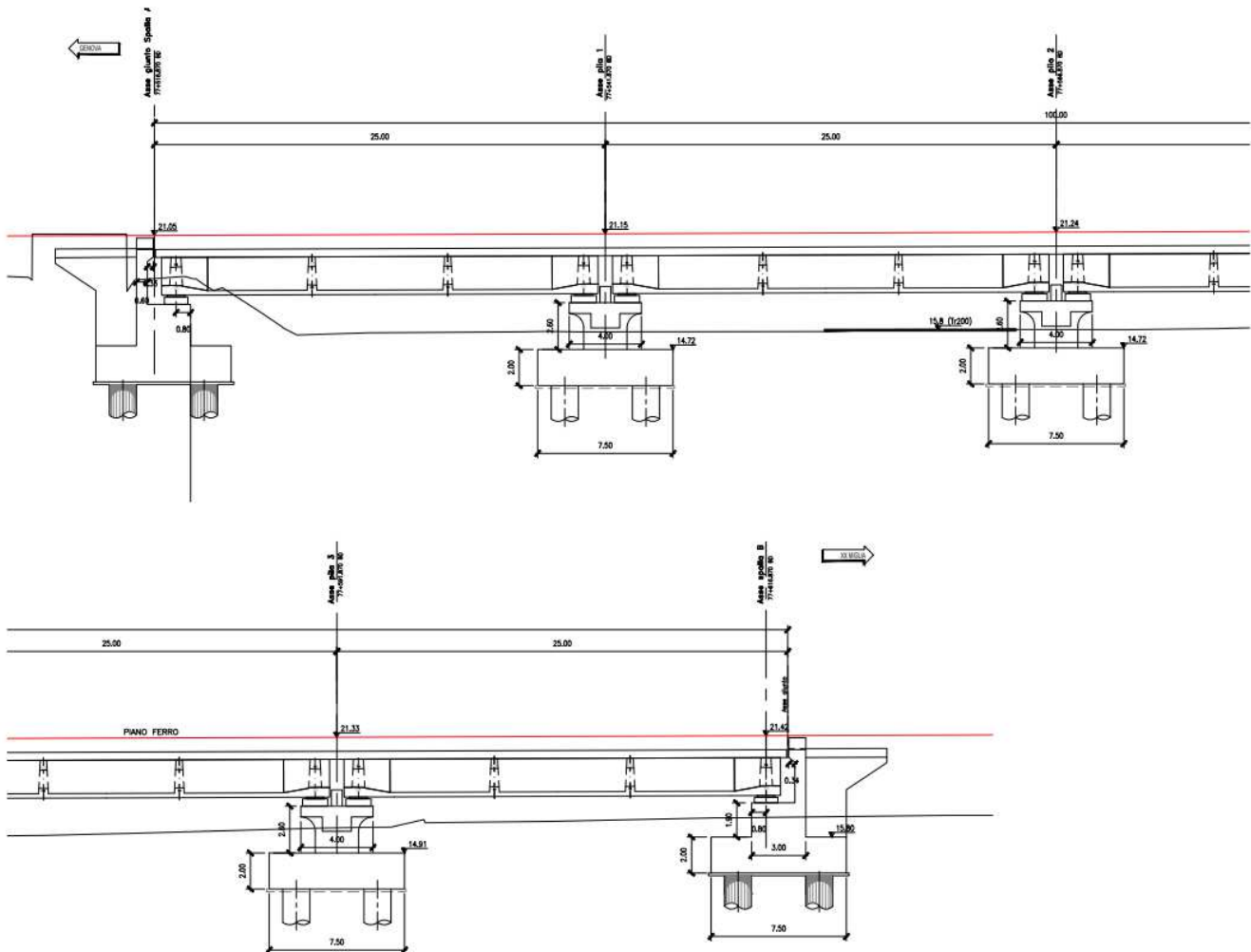


Figura 2: Profilo longitudinale

La luce di 25.00 m viene superata mediante impalcato in cemento armato precompresso. Ciascun impalcato a singolo binario da 25.00 m è costituito da 2 travi in C.A.P. a cassoncino prefabbricate solidarizzate da 4 traversi, rispettivamente due di testata e due di campata, prefabbricati anch'essi e una soletta superiore in C.A. gettata in opera, mentre quelli a doppio binario sono realizzati con la stessa modalità fatta eccezione per il numero di travi che passa a quattro. Ogni impalcato è caratterizzato da un armamento di tipo tradizionale su ballast.

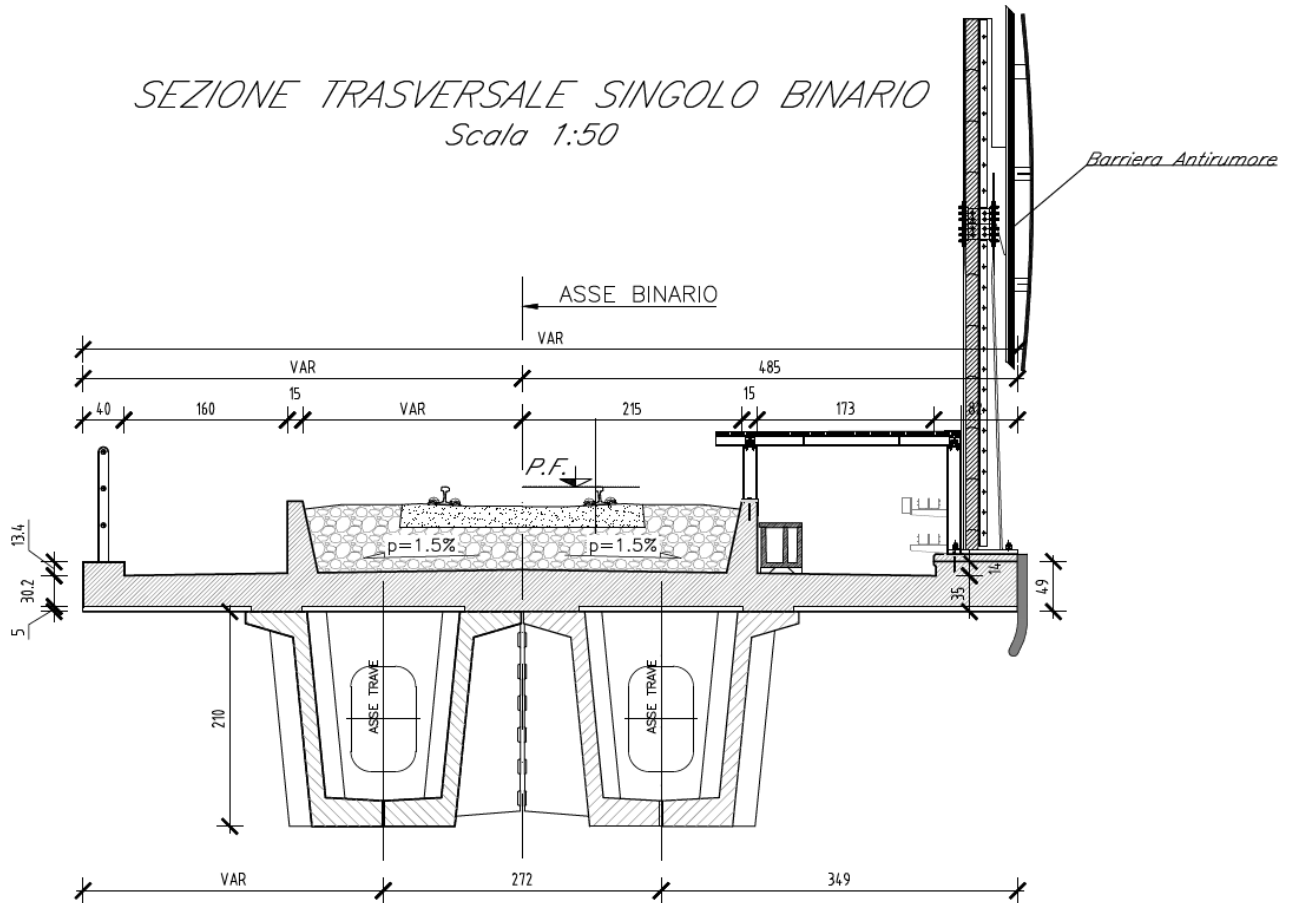


Figura 3: sezione tipo impalcato singolo binario

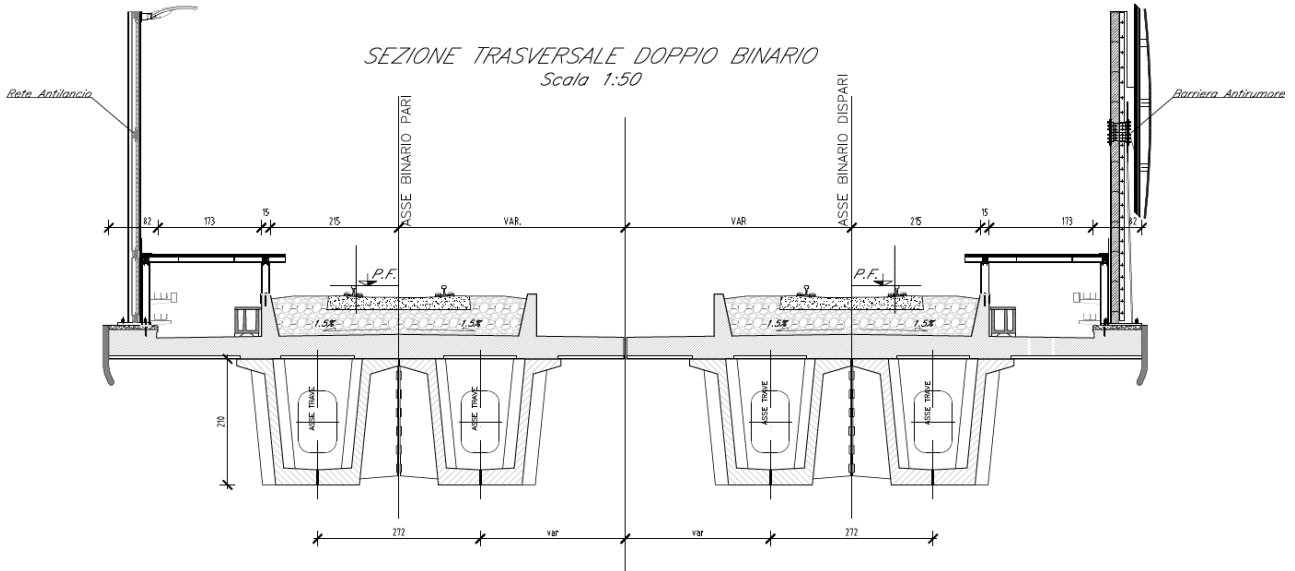


Figura 3: sezione tipo impalcato doppio binario

Unità di misura

- lunghezza [m]
- forze [kN]
- angoli [rad]
- tensioni [N/mm²]

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0408 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 9 di 153</p>

2 **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

- Rif. [1] Ministero delle Infrastrutture, DM 17 gennaio 2018, «Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”»
- Rif. [2] Ministero delle Infrastrutture e Trasporti, circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP., Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.
- Rif. [3] Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 001 - Specifica per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario
- Rif. [4] Istruzione RFI DTC INC CS SP IFS 001 - Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- Rif. [5] Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 002 - Specifica per la progettazione e l’esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali sulla sede ferroviaria
- Rif. [6] Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 003 - Specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari
- Rif. [7] Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 005 - Specifica per il progetto, la produzione, il controllo della produzione e la posa in opera dei dispositivi di vincolo e dei coprigiunti degli impalcati ferroviari e dei cavalcavia
- Rif. [8] Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture, Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento (UNI EN 1991-1-4)
- Rif. [9] Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione europea
- Rif. [10] EC2-1-1-2005_Eurocodice 2 Progettazione delle strutture di calcestruzzo

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO

Relazione di calcolo impalcato VI04

IV01 00 D 09 CL VI0408 002 A 10 di 153

2.1 Elaborati di riferimento

Viadotto su Torrente Varatello da Km 77+389 a Km 77+619																						
Relazione descrittiva viadotto VI04	-	I	V	0	1	0	0	D	0	9	R	H	V	I	0	4	0	0	0	0	1	B
Relazione di calcolo spalla A	-	I	V	0	1	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	4	0	4	0	0	1	A
Relazione di calcolo spalla B	-	I	V	0	1	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	4	0	4	0	0	2	A
Relazione di calcolo pila tipo	-	I	V	0	1	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	4	0	5	0	0	1	A
Relazione geotecnica e di calcolo fondazioni	-	I	V	0	1	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	4	0	5	0	0	2	A
Relazione di calcolo impalcato c.a.p. binario singolo L=25m (P3-SPB)	-	I	V	0	1	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	4	0	8	0	0	2	A
Relazione di calcolo opere provvisionali	-	I	V	0	1	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	4	0	3	0	0	1	A
Carpenteria impalcato c.a.p. binario singolo L=25m (P3-SPB)	1:50	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	4	0	8	0	0	1	B
Carpenteria spalla A TAV.1/2	1:50	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	4	0	0	1	A
Carpenteria spalla A TAV.2/2	1:50	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	4	0	0	2	A
Carpenteria spalla B TAV.1/2	1:50	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	4	0	0	3	A
Carpenteria spalla B TAV.2/2	1:50	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	4	0	0	4	A
Carpenteria pila P1	1:50	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	4	0	5	0	0	1	A
Carpenteria pila P2	1:50	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	4	0	5	0	0	2	A
Carpenteria pila P3	1:50	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	4	0	5	0	0	3	A
Opere provvisionali	1:100	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	3	0	0	1	A
Particolari, dettagli e finiture	varie	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	0	0	0	1	B
Schema di vincolo appoggi e giunti	1:100	I	V	0	1	0	0	D	0	9	D	Z	V	I	0	4	0	7	0	0	1	A
Prospetto longitudinale BINARIO DISPARI	1:100	I	V	0	1	0	0	D	0	9	A	Z	V	I	0	4	0	0	0	0	1	B
Prospetto longitudinale BINARIO PARI	1:100	I	V	0	1	0	0	D	0	9	A	Z	V	I	0	4	0	0	0	0	2	B
Planimetria generale dell'intervento	1:200	I	V	0	1	0	0	D	0	9	P	9	V	I	0	4	0	0	0	0	1	B
Planimetria opere di fondazione	1:100	I	V	0	1	0	0	D	0	9	P	A	V	I	0	4	0	3	0	0	1	B
Planimetria scavi ed opere provvisionali	1:100	I	V	0	1	0	0	D	0	9	P	A	V	I	0	4	0	3	0	0	2	B
Carpenteria trave in c.a.p.	varie	I	V	0	1	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	4	0	8	0	0	1	B

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	11 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

3 MATERIALI

Si riportano di seguito i materiali previsti per la realizzazione delle strutture, suddivisi per elemento costruttivo.

3.1 Calcestruzzo per travi in c.a.p. e trasversi

Classe	C45/55		
R_{ck} =	55	MPa	resistenza caratteristica cubica
f_{ck} =	45	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
f_{cm} =	53	MPa	valor medio resistenza cilindrica
α_{cc} =	0,85		coef. rid. Per carichi di lunga durata
g_M =	1,5	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
f_{cd} =	25,50	MPa	resistenza di progetto
f_{ctm} =	3,80	MPa	resistenza media a trazione semplice
f_{cfm} =	4,55	MPa	resistenza media a trazione per flessione
f_{ctk} =	2,66	MPa	valore caratteristico resistenza a trazione
E_{cm} =	36283	MPa	Modulo elastico di progetto
ν =	0,2		Coefficiente di Poisson
G_c =	15118	MPa	Modulo elastico Tangenziale di progetto

3.2 Calcestruzzo per getti in opera impalcato

Classe	C35/45		
R_{ck} =	45	MPa	resistenza caratteristica cubica
f_{ck} =	35	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
f_{cm} =	43	MPa	valor medio resistenza cilindrica
α_{cc} =	0.85		coef. rid. Per carichi di lunga durata
g_M =	1.5	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
f_{cd} =	19.83	MPa	resistenza di progetto
f_{ctm} =	3.21	MPa	resistenza media a trazione semplice
f_{cfm} =	3.85	MPa	resistenza media a trazione per flessione
f_{ctk} =	2.25	MPa	valore caratteristico resistenza a trazione
E_{cm} =	34077	MPa	Modulo elastico di progetto
ν =	0.2		Coefficiente di Poisson

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	12 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

$G_c = 14199$ MPa Modulo elastico Tangenziale di progetto

3.3 Acciaio per c.a.

B450C

$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk} \geq$	540	MPa	tensione caratteristica di rottura
$(f_i/f_y)_{k \geq}$	1,15		
$(f_i/f_y)_{k <}$	1,35		
$g_s =$	1,15	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$f_{yd} =$	391,3	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$E_s =$	200000	MPa	Modulo elastico di progetto
$\varepsilon_{yd} =$	0,196%		deformazione di progetto a snervamento
$\varepsilon_{uk} = (A_{gt})_k$	7,50%		deformazione caratteristica ultima

3.4 Acciaio per c.a.p.

Trefoli $\Phi 0.6'' A=139$ mmq

$f_{pk} \geq$	1860	MPa	tensione caratteristica di rottura
$f_{p(0,1)k} \geq$	-	MPa	tensione caratteristica allo 0,1% di def. Residua
$f_{p(1)k} \geq$	1670	MPa	tensione caratteristica allo 1% di def. Totale
$\varepsilon_{uk} =$	3,50%	-	Allung. per carico max.
$E_p =$	195.000	MPa	Modulo elastico di progetto
$\gamma_s =$	1,15	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$f_{pd} =$	1456	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$\varepsilon_{ypd} = f_{pd} / E_p$	0,75%		deformazione di progetto a snervamento
$\varepsilon_{ud} = 0,9 \times \varepsilon_{uk}$	3,15%		deformazione caratteristica ultima

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	13 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

4 ANALISI DEI CARICHI

Nel presente paragrafo si descrivono i carichi agenti sull'impalcato, utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni agenti negli elementi strutturali dell'impalcato.

4.1 Carpenteria di base

La trave prefabbricata a cassone presenta diverse sezioni, nello specifico si distinguono una sezione corrente, una sezione ringrossata agli appoggi e una sezione di raccordo a spessori variabili.

sviluppo totale impalcato	$L = 25$	m
luce appoggio-appoggio	$L_0 = 22.8$	m
asse giunto/asse appoggi	$d = 1.1$	m
retrotrave	$L_r = 0.8$	m
sviluppo carpenteria	$L' = 24.4$	m
sviluppo ringrosso appoggi	$L_1 = 1.07$	m
sviluppo transizione	$L_2 = 1.48$	m
Area sezione in mezzeria	$A_{mez} = 1.13$	m ²
Area sezione in appoggio	$A_{ap} = 2.01$	m ²
numero di travi	$n_1 = 2 / 4$	m
larghezza traverso mezzeria	$d_{mez} = 0.25 - 0.40$	m
larghezza traverso appoggio	$d_{ap} = 0.35 - 0.48$	m
area foro	$A_f = 0.55$	m ²
area della trave al di sotto del traverso	$A_{es} = 0.38$	m
lunghezza del traverso	$L = 4.92$	m
altezza traverso	$h = 1.85$	m
numero di traversi in mezzeria	$n_2 = 2$	

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	14 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

4.2 Peso proprio (G1)

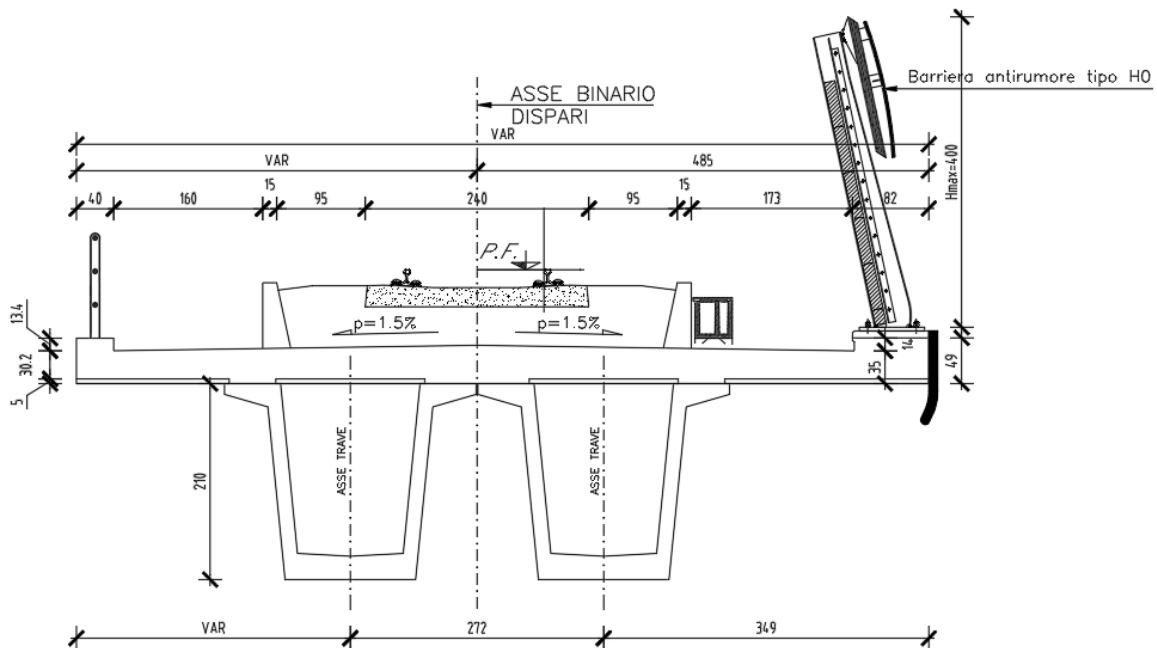
Il peso proprio delle strutture viene considerato automaticamente dal software di calcolo utilizzato. Il carico delle strutture in c.a. e c.a.p. viene valutato considerando un peso di volume pari a 25 kN/mc.

Di seguito si riporta la stima dei pesi propri considerati.

travi sezione corrente	$q_{pp} = 1.13 \text{ mq} \times 25 \text{ kN/mc} = 28.25 \text{ kN/m}$
travi sezione appoggio	$q_{pp1} = 2.01 \text{ mq} \times 25 \text{ kN/mc} = 50.25 \text{ kN/m}$
travi sezione variabile	$q_{pp2} = 1.57 \text{ mq} \times 25 \text{ kN/mc} = 39.25 \text{ kN/m}$
traversi di testata	$w_t = 0.415 \text{ m} \times 5.058 \text{ mq} \times 25 \text{ kN/mc} = 52.48 \text{ kN}$
traversi intermedi	$w_{t2} = 0.325 \text{ m} \times 6.818 \text{ mq} \times 25 \text{ kN/mc} = 55.40 \text{ kN}$
soletta (su travi interne)	$q_{pp3} = 0.345 \text{ m} \times 3.26 \text{ m} \times 25 \text{ kN/mc} = 28.12 \text{ kN/m}$
soletta (su travi esterne)	$q_{pp3} = 0.345 \text{ m} \times 4.85 \text{ m} \times 25 \text{ kN/mc} = 41.83 \text{ kN/m}$

4.3 Carichi permanenti non strutturali (G2)

Nel seguito si riportano i carichi permanenti portati considerati.



PROGETTO DEFINITIVO
Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	15 di 153

Impermeabilizzazione	1.75 m x 1.30 kN/mq	= 2.28 kN/m	tr.esterne
Muretti paraballast	0.25 m x 0.89 m x 25 kN/mc	= 5.56 kN/m	a trave
Canalette portacavi		= 1.50 kN/m	tr.esterne
Cordolo laterale	0.26 m x 0.82 m x 25 kN/mc	= 5.33 kN/m	tr.esterne
Velette		= 1.30 kN/m	tr.esterne
Barriera antirumore		= 15 kN/m	tr.esterne
Parapetto		= 1.00 kN/m	tr.esterne
Ballast	2.075 x 0.80 m x 18 kN/mc	= 29.88 kN/m	a trave

Totale carichi permanenti (tr.esterne) = 61.85 kN/m a trave

Totale carichi permanenti (tr.interne) = 35.44 kN/m a trave

4.4 Azioni variabili

4.4.1 Coefficienti di amplificazione dinamica e di adattamento

La linea in esame è a normale standard manutentivo, per cui il coefficiente di amplificazione è pari a:

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L_\Phi} - 0.2} + 0.73 = 1.202 \quad \text{per la verifica delle travi } (L_\Phi = 22.8 \text{ m})$$

L'infrastruttura in esame è di categoria "A", per cui il coefficiente di adattamento α è stato assunto pari a:

$\alpha=1.1$ per i modelli di carico LM71 e SW/0

$\alpha=1$ per il modello di carico SW/2.

Per il calcolo dei traversi e della soletta (effetti locali) si ha

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L_\Phi} - 0.2} + 0.73 = 1.867 \quad \text{per effetti locali - traversi e soletta}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

Dove alla lunghezza caratteristica L_{ϕ} si attribuisce il valore più gravoso tra:

$$L_{\phi} = 3 \times L_c = 3 \times 1.47 = 4.41 \text{ m} \quad (L_c = 1.47 = \text{interasse nervature cassone})$$

$$L_{\phi} = 2 \times L_c = 2 \times 2.72 = 5.44 \text{ m} \quad (L_c = 2.72 = \text{interasse cassoni})$$

4.4.2 Treni di carico

I carichi verticali sono definiti per mezzo dei modelli di carico elencati nella seguente tabella. I valori caratteristici dei carichi attribuiti ai modelli di carico debbono moltiplicarsi per il coefficiente " α " che deve assumersi come da tabella seguente:

Tabella 1 - coefficienti α per modelli di carico

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE " α "
LM71	1.1
SW/0	1.1
SW/2	1.0

Non si considera il modello di carico SW/0 perché l'impalcato non è continuo.

4.4.2.1 Treno di carico LM71

Il Treno di carico LM71 è schematizzato nella figura seguente.

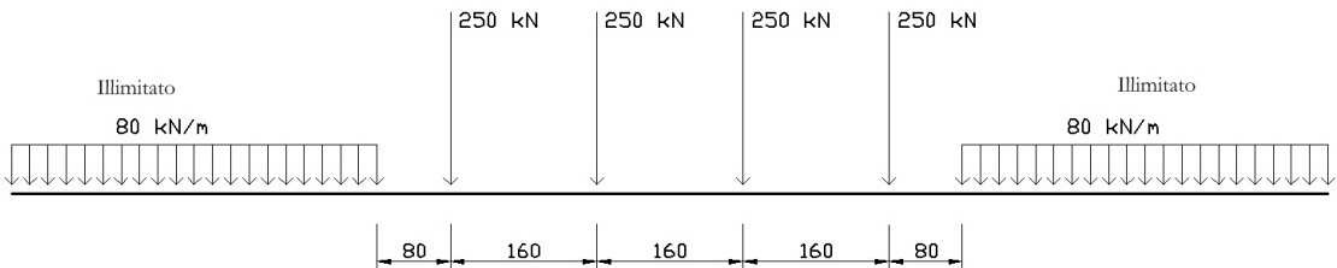


Figura 2 – Treno di carico LM71

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

Per questo modello di carico è prevista una eccentricità del carico rispetto all'asse del binario pari a $s/18$, con $s=1435$ mm. Quindi, l'eccentricità considerata nel modo più sfavorevole per le strutture è pari a: $e = \sim 80$ mm

4.4.2.2 Treno di carico SW

Il Treno di carico SW/2 è schematizzato nella figura seguente.

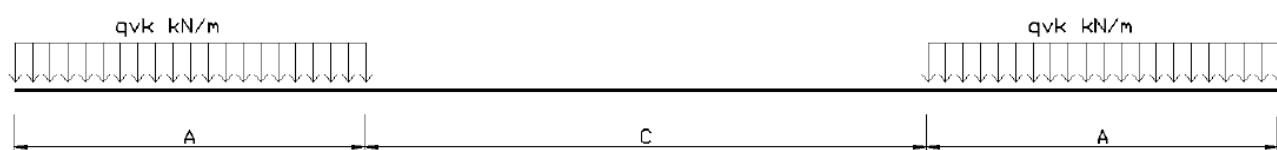


Figura 3 – Treno di carico SW

Tabella 2 - caratterizzazione treni di carico SW

Tipo di carico	Qvk [kN/m]	A [m]	C [m]
SW/0	133	15.0	5.3
SW/2	150	25.0	7.0

Nel presente documento, si è considerato solo il modello di carico SW/2.

4.4.2.3 Treno scarico

Alcuni scenari di carico prevedono l'impiego del treno scarico, convenzionalmente costituito da un carico uniformemente distribuito pari a 10.00 kN/m.

4.4.2.4 Ripartizione locale dei carichi

La condizione di carico più sfavorevole ai fini delle verifiche locali sulla soletta è data dalla presenza del locomotore LM71.

La diffusione longitudinale e trasversale dei carichi è stata effettuata, a partire dall'intradosso della traversa, nell'ipotesi di ripartizione nel ballast e nella soletta rispettivamente nei rapporti 4:1 e 1:1. Lo spessore della soletta è stato valutato in corrispondenza dell'asse binario – che risulta coerente con il valore medio dell'analisi globale – mentre a favore di sicurezza è stato assunto lo spessore minimo del ballast sotto la traversa.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0408 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 18 di 153</p>

4.4.2.5 Ripartizione longitudinale

Nelle analisi si sono considerati i seguenti meccanismi di ripartizione longitudinale dei carichi.

La superficie di riferimento è la superficie di appoggio del ballast.

Nel caso specifico, la ripartizione viene valutata a partire dai seguenti parametri medi:

Profondità traversine: $B = 0.30 \text{ m}$

Interasse traversine: $i = 0.60 \text{ m}$

Altezza di diffusione: $h = 0.40 \text{ m}$

Larghezza di diffusione: $b = B + 2 \times h/4 = 0.50 \text{ m} < i$

Il valore appena calcolato per la larghezza di diffusione sarà impiegato per la valutazione degli effetti locali trasversali.

Nello specifico Il carico complessivo Q agente su una striscia di soletta di lunghezza unitaria vale:

$$Q_{vk} = \alpha \times \Phi \times (125 + 2 \times 62.5 \times 0.325/0.85) / 1 = 354.9 \text{ kN/m}$$

4.4.2.6 Ripartizione trasversale

Il carico appena valutato si ripartisce trasversalmente per una larghezza valutata, a favore di sicurezza, trascurando lo spessore strutturale della soletta.

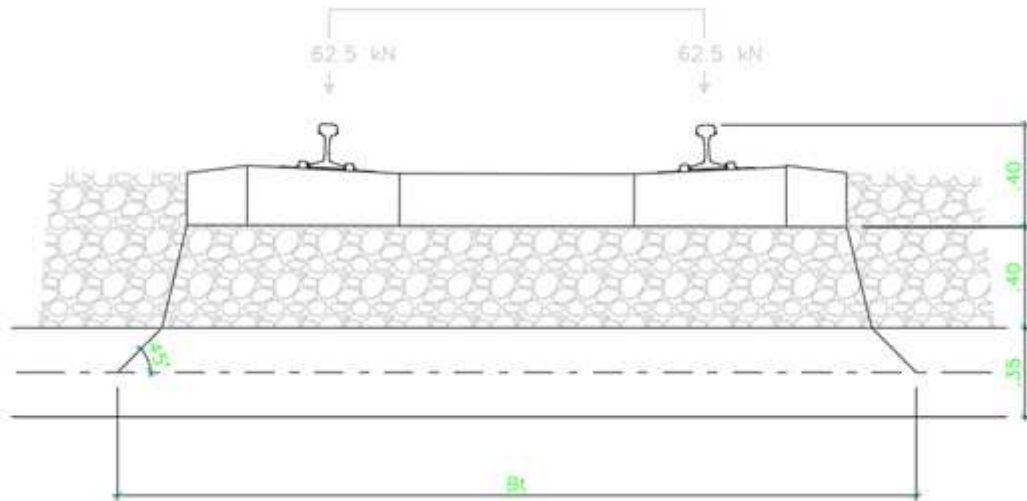


Figura 4 – meccanismo di ripartizione trasversale per mezzo di traversa e ballast

Larghezza trasversine: $L = 2.60 \text{ m}$

Altezza di diffusione: $h = 0.40 \text{ m}$

Larghezza di diffusione: $B_t = L + 2 \times h/4 = 2.80 \text{ m}$

Il carico verticale unitario diffuso trasversalmente vale:

$$q_{vk} = 354.9 / 2.8 = 126.7 \text{ kN/mq}$$

In presenza del traffico pesante i valori dei carichi unitari verticali risultano:

$$q_{vk} = \alpha \times \Phi \times 150/2.8 = 100.01 \text{ kN/mq} < q_{vk(LM71)}$$

$$q_{vk} = \alpha \times \Phi \times 133/2.8 = 88.68 \text{ kN/mq} < q_{vk(LM71)}$$

Il coefficiente di incremento dinamico vale 1.867 così come esplicitato nel calcolo degli effetti locali nei paragrafi successivi.

4.4.2.7 Eccentricità

L'applicazione dei carichi accidentali sugli elementi strutturali dell'impalcato dipende trasversalmente dall'eccentricità di questi rispetto all'asse impalcato. L'eccentricità considerata per il carico è pari a

$$e = 143.5/18 = 0.08 \text{ m}$$

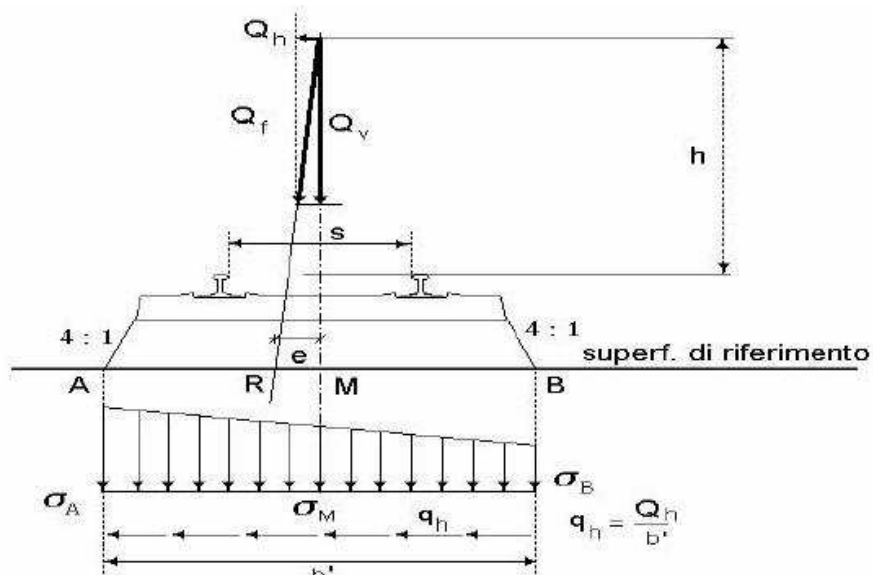


Figura 5 – meccanismo di ripartizione trasversale per mezzo di traversa e ballast

Nel modello di calcolo si è provveduto a traslare i carichi per effetto dell'eccentricità. Sono stati considerati due diverse configurazioni di carico, corrispondenti alla posizione centrata e a quella con eccentricità massima:

carico senza eccentricità

$$Q_v = 126.7 \text{ kN/mq}$$

carico con eccentricità massima:

$$\Delta\theta = \pm 6 \Delta M / Bt^2 = \pm 6[Qvk \times Bt] e / Bt^2 = \pm 21.7 \text{ kN/mq}$$

$$Qvk_{\max} = 148.4 \text{ kN/mq}$$

$$Qvk_{\min} = 105.0 \text{ kN/mq}$$

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A	FOGLIO 21 di 153

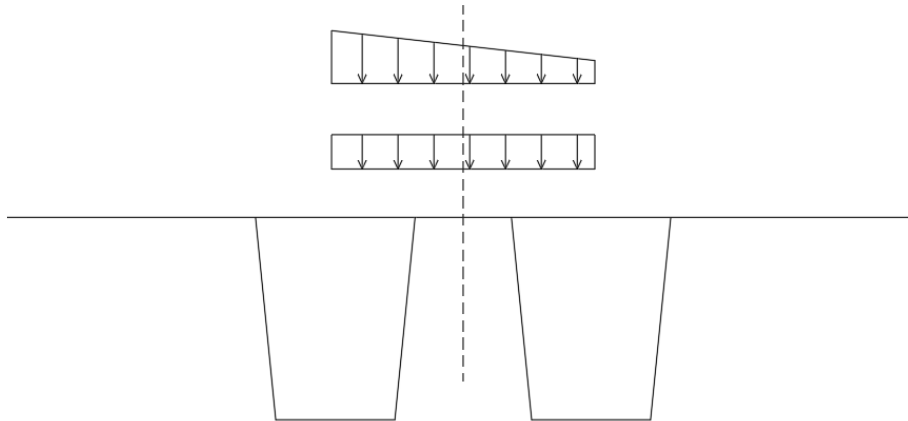


Figura 6 - configurazione di carico modello locale con e senza eccentricità

4.4.3 Carichi sui marciapiedi

I marciapiedi non aperti al pubblico sono utilizzati solo dal personale autorizzato. I carichi accidentali sono schematizzati da un carico uniformemente ripartito del valore di 10 kN/mq.

Questo carico non deve considerarsi contemporaneo al transito dei convogli ferroviari e deve essere applicato sopra i marciapiedi in modo da dare luogo agli effetti locali più sfavorevoli. Per questo tipo di carico distribuito non deve applicarsi l'incremento dinamico.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

4.4.4 Forza centrifuga

Il tracciato della ferrovia è rettilineo in corrispondenza del viadotto. Pertanto, la forza centrifuga non è applicabile.

4.4.5 Serpeggio

La forza laterale indotta dal serpeggio si considera come una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario. Tale azione si applicherà sia in rettilineo che in curva.

Il valore caratteristico di tale forza è stato assunto pari a $Q_{sk}=100$ kN. Tale valore deve essere moltiplicato per α , ma non per il coefficiente di incremento dinamico.

Questa forza laterale deve essere sempre combinata con i carichi verticali.

4.4.5.1 Ripartizione locale del carico

Localmente l'azione orizzontale indotta dal serpeggio, applicata alla sommità della rotaia più alta, viene assorbita dalla soletta attraverso il ballast e produce effetti ai fini delle verifiche locali della soletta in direzione trasversale. Tale azione viene presa in conto considerando una diffusione della forza laterale a partire dal piano di intradosso delle traverse e su una lunghezza longitudinale di tre traverse.

$$BL = 2it + bt + 2 \times (sb/4 + ss/2) = 2.08 \text{ m}$$

$$hS = 0.16 + 0.35/2 + 0.8 = 1.135 \text{ m}$$

Gli effetti sulla sezione trasversale di larghezza unitaria equivalgono ad un'azione orizzontale e ad una verticale distribuita con andamento lineare a farfalla a risultante verticale nulla e valutata considerando la diffusione dalla traversa fino al piano medio della soletta:

$$f_0 = Q_{sk} / BL = 48.1 \text{ kN/m}$$

$$M = f_0 hS = 54.6 \text{ kN/m m}$$

$$f^* = f_0 / Bt = 17.18 \text{ kN/mq}$$

$$\Delta\theta^* = 6 M^* / Bt^2 = 41.79 \text{ kN/mq}$$

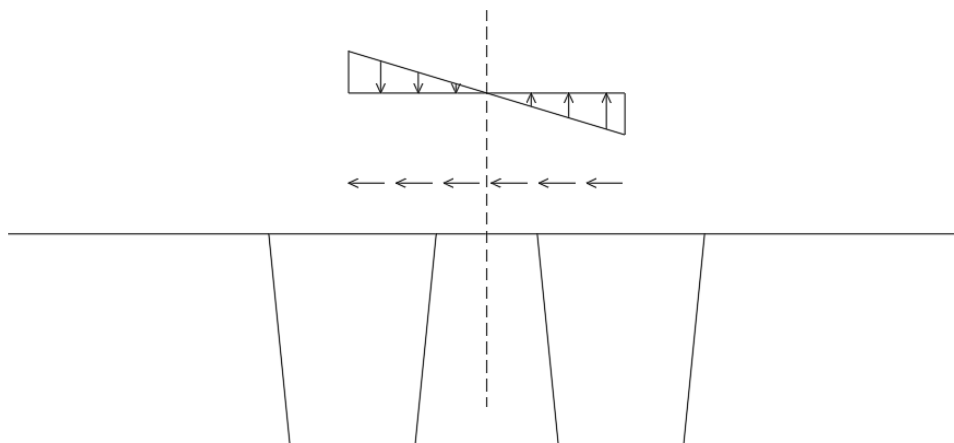


Figura 7 - condizione di carico locale serpeggio

4.4.6 Avviamento e frenatura

Le forze di frenatura e di avviamento si considera come azione agente sulla sommità del binario, nella direzione longitudinale dello stesso, come carico uniformemente distribuito. A vantaggio di sicurezza si trascurano gli effetti di interazione binario struttura.

Si considerano i seguenti valori delle azioni:

Avviamento

$$Q_{1a} = 33 \times 25 \times 1.1 = 907.5 \text{ kN} < 1000 \text{ kN} \quad \text{per LM71}$$

$$Q_{1a} = 33 \times 25 \times 1 = 825 \text{ kN} < 1000 \text{ kN} \quad \text{per SW/2}$$

Frenatura

$$Q_{1b} = 20 \times 25 \times 1.1 = 550 \text{ kN} < 6000 \text{ kN} \quad \text{per LM71}$$

$$Q_{1b} = 20 \times 25 \times 1 = 875 \text{ kN} < 6000 \text{ kN} \quad \text{per SW/2}$$

Le azioni di frenatura ed avviamento si combinano con i relativi carichi da traffico verticali.

4.5 Azioni ambientali

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

4.5.1 *Variazione termica uniforme*

Si considera una variazione termica uniforme pari a $\pm 15^{\circ}\text{C}$. Per il calcolo delle escursioni dei giunti e degli apparecchi d'appoggio si considera una variazione di temperatura incrementata del 50 %.

4.5.2 *Variazione termica non uniforme*

In aggiunta alla variazione termica uniforme, si considera un gradiente di temperatura di 5°C fra soletta e travi prefabbricate, considerando i due casi di intradosso a temperatura superiore ed inferiore rispetto all'estradosso.

4.5.2.1 Variazione termica non uniforme locale

Nella valutazione degli effetti locali, si è considerato un gradiente termico lineare di 5°C nello spessore delle pareti tra esterno ed interno dei cassoncini.

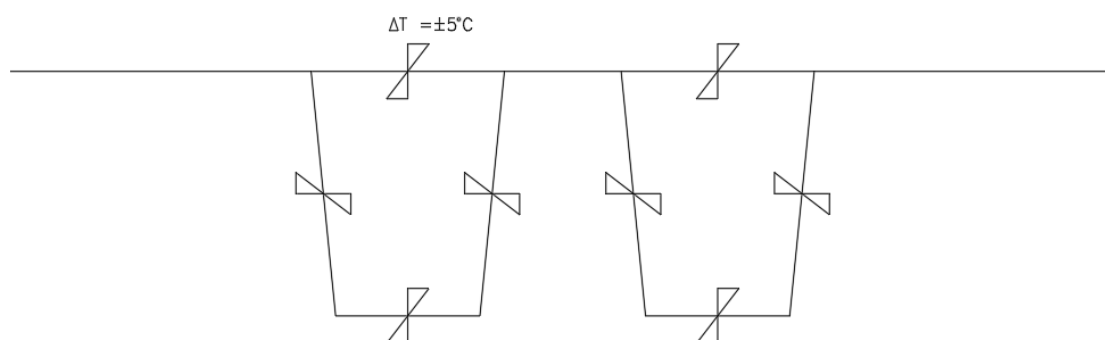


Figura 8 - Condizione di carico: variazioni termiche (+/-),(-/+)

4.5.3 *Vento*

L'azione del vento è valutata in accordo alla normativa vigente NTC18, secondo quanto riportato nel Eurocodice 1991-1-4 ed in linea con il MdP. La valutazione delle azioni e degli effetti del vento sull'impalcato in esame procede secondo il seguente schema:

- definizione delle caratteristiche del sito ove sorge l'opera valutando quindi la velocità di progetto e la pressione cinetica di picco del vento;
- definizione della forma, dimensioni e l'orientamento dell'impalcato, ovvero si valutano le azioni aerodinamiche di picco esercitate dal vento sull'impalcato;
- valutazione delle azioni statiche equivalenti.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

La risposta dinamica alle azioni del vento, le azioni e gli effetti dinamici e aeroelastici dovuti al distacco dei vortici e altri fenomeni aeroelastici non caratterizzano l'opera in esame e sono pertanto ritenuti trascurabili in relazione alla tipologia strutturale in esame di impalcato "standard" con un peso ragguardevole, sagoma "tozza" e staticamente ben vincolata.

Si considerano i dati seguenti

INPUT DATI DI PROGETTO		
Proprietà della costruzione	Costruzione ordinaria	
Zona di riferimento	Zona 7	
Classe di rugosità	Classe D	
Categoria di esposizione	Categoria III	
Altitudine del sito	(valore massimo: 1500)	a_s 10 m.s.l.m.
Coefficiente di topografia	(valore consigliato: 1)	c_t 1.00
Coefficiente dinamico	(valore consigliato: 1)	c_d 1.00
CALCOLO DELL'AZIONE DEL VENTO		
Periodo di ritorno	T_R	50 anni
Vita nominale della costruzione	V_N	50 anni
Velocità base di riferimento al livello del mare	$v_{b,0}$	28.00 m/s
Parametri (funzione della zona geografica)	a_0	1000 m
	k_a	0.54 s ⁻¹
Coefficiente di altitudine	c_a	1.00
Velocità di base di riferimento	v_b	28.00 m/s
Coefficiente di ritorno	c_r	1.00
Velocità di riferimento del vento	v_r	28.00 m/s
Fattore di terreno (dip. da categoria di esposizione)	k_r	0.20
Lunghezza di rugosità (dip. da categoria di esposizione)	z_0	0.10 m
Altezza minima (dip. da categoria di esposizione)	z_{min}	5.00 m
Densità media di massa dell'aria	ρ	1.25 kg/m ³
Pressione cinetica di riferimento	q_r	0.49 kN/m ²

Assumendo una sagoma limite dei mezzi transitanti sul ponte pari a 4.0 m e considerando la dislocazione dell'opera rispetto al P.C. circostante si assume cautelativamente una altezza massima di 7.25 m + 10.5 m, per un' altezza media di riferimento di 14.13 m (> z_{min}). Il valore del coefficiente di esposizione è pertanto pari a:

$$c_e = k_r^2 \times c_t \times \ln(z/z_0) \times [7 + c_t \times \ln(z/z_0)] \cong 2.38$$

La pressione cinetica di picco è pertanto pari a:

$$q_p = 1/2 \times \rho \times v_r^2 \times c_e(z) \times c_r \cong 1.166 \text{ kPa};$$

con

$$\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3 - \text{densità media dell'aria.}$$

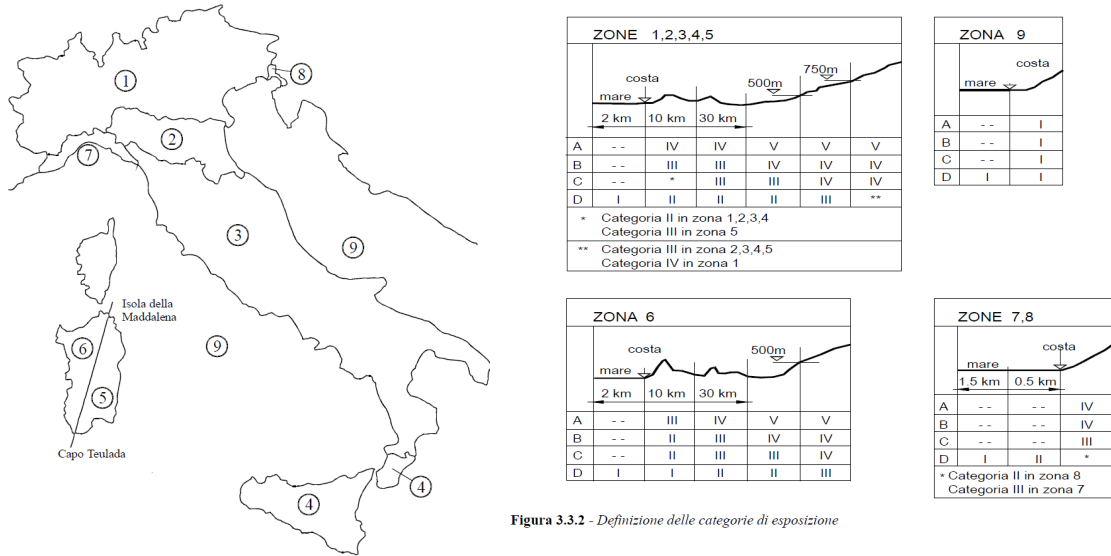


Figura 3.3.2 - Definizione delle categorie di esposizione

Tabella 3.3.1 - Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_s

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s [1/s]
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0.010
2	Emilia Romagna	25	750	0.015
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0.020
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0.020
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0.015
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0.020
7	Liguria	28	1000	0.015
8	Provincia di Trieste	30	1500	0.010
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0.020

Tabella 3.3.III - Classi di rugosità del terreno

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

Figura 9 - parametri e mappa del territorio italiano per la determinazione dell'azione del vento (NTC18 - 3.3.)

Si assume che il vento agisca in direzione prevalentemente orizzontale, ortogonalmente all'asse dell'impalcato: esercita nel piano della sezione un sistema di azioni aerodinamiche per unità di lunghezza riconducibili ad una

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

forza parallela alla direzione del vento “ f_x ”, a una forza verticale “ f_z ” e ad un momento intorno alla linea d’asse “ m_y ”.

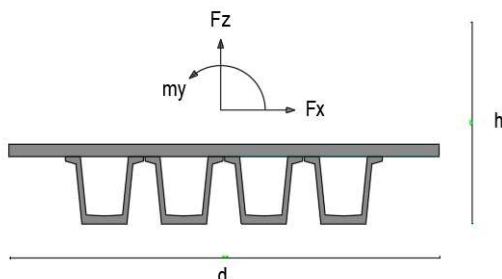


Figura 10 - sistema di riferimento ed azioni del vento

Tali azioni sono quantificate mediante una coppia di *coefficienti di forza* “ c_{fx} ” e “ c_{fz} ” e mediante un *coefficiente di momento* “ c_{my} ”. Le azioni aerodinamiche f_x , f_z e m_y si considerano simultanee e combinate con i segni che producono gli effetti più onerosi. Considerando che in presenza di traffico l’altezza h_{tot} deve comprendere la sagoma dei convogli in transito, nel caso in esame si ha:

$$d_{tot} \cong (2.45+0.80+4) \cong 7.25 \text{ m}$$

$$b = 9.20 \text{ m};$$

Per la valutazione dei coefficienti di forza e di momento per unità di lunghezza si fa riferimento ai diagrammi e formulazioni del Eurocodice 1991-1-4:

Illustrazione del fattore di forza $c_{fx,0}$

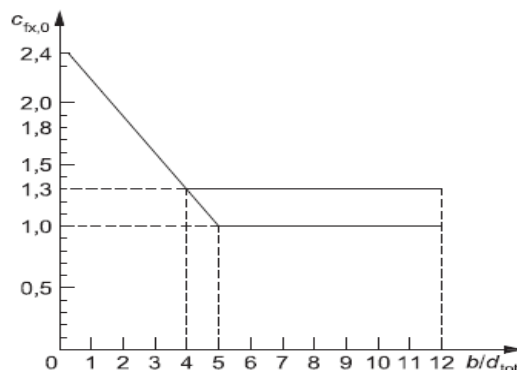


Figura 11 - Fattore di forza trasversale - Eurocodice 1991-1-4

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	28 di 153

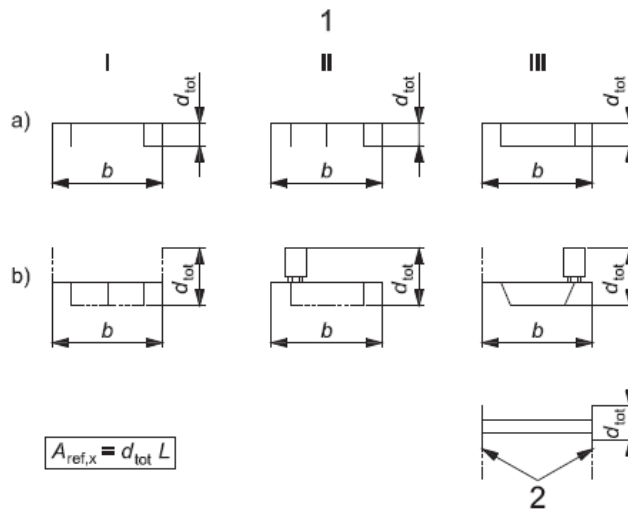
Relazione di calcolo impalcato VI04

$$C_{t,x} = C_{t,x,0}$$

dove:

$C_{t,x,0}$ indica il coefficiente di forza relativo all'impalcato in assenza di flusso di estremità libera

- a) Fase di costruzione, parapetti aperti (aperti più del 50%) e barriere di sicurezza aperte
 - b) Parapetti solidi, barriere antirumore, barriere di sicurezza solide o traffico
- 1 Tipo di ponte
 - 2 Travi reticolari separatamente



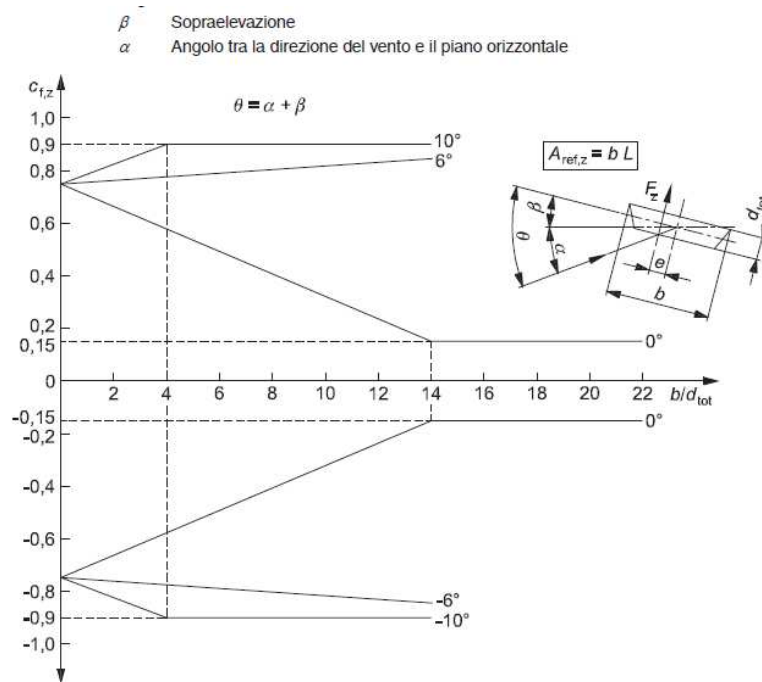


Figura 12 – Area effettiva e coefficiente di forza verticale - Eurocodice 1991-1-4

$$c_{fX} = 2.10 \quad [b/d_{tot}=1.27]$$

$$c_{fY} = 0.90.$$

Le forze sull'impalcato sono pari a:

$$f_X = q_p(z) \times d_{tot} \times c_{fX} \cong 17.75 \text{ kN/m};$$

$$f_Y = q_p(z) \times b \times c_{fY} \cong 10.18 \text{ kN/m};$$

$$m_Z = f_X \times e \cong 34.61 \text{ kN}\times\text{m/m}.$$

dove l'eccentricità è tra il baricentro dell'impalcato e l'altezza della risultante orizzontale pari a $e = 1.95 \text{ m}$.

Secondo quanto prescritto nel capitolo 5.2.3.2.2 delle norme tecniche, l'azione risultante, compresa degli effetti aerodinamici, dovrà essere maggiore di un valore di 1.50 kN/mq . Di seguito i calcoli che hanno portato alle forze sovrastanti:

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	30 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

 tab. 3.3.I
 tab.3.3.II
 tab. 3.3.III

Zona	7
Categoria	III
Classe rug	D

 velocità di base di riferimento slm
 parametro di quota
 altitudine sul livello del mare
 coefficiente di altitudine
 velocità di base di riferimento

Vbo	28	m/s
ao	1000	m
as	10	m
ca	1	
Vb	28	m/s

 tempo di ritorno azione del vento
 coefficiente di ritorno
 velocità di riferimento

Tr	50.0	anni
cr	1.00	
Vr	28	m/s

 fattore di terreno
 lunghezza di rugosità
 altezza minima

kr	0.20	
zo	0.10	m
Zmin	5	m

ponete carico

 altezza spalla
 altezza baggioli e app. appoggio

z1	6.82	m
z2	0.5	m

 altezza all'intradosso
 altezza di riferimento

Zintradosso	7.22	m
z	11.22	m

 coefficiente di topografia
 coefficiente di esposizione

ct	1	
ce	2.38	

 densità dell'aria convenzionale
 pressione statica di riferimento
 pressione statica di picco

ro	1.25	kg/m ³
qr	0.49	kN/m ²
qpicco	1.166	kN/m ²

 lunghezza totale impalcato
 larghezza impalcato
 altezza impalcato+soletta
 armamento
 altezza treno
 altezza barriere

Limp	25	m
d	9.70	m
z3	2.45	m
z4	0.80	m
z5a	4	m
z5b	4	m

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	31 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

altezza di impatto treno o barriere	h_{tot}	7.25	m
eccentricità verticale	e	2.40	m
angolo di inclinazione forza	ϑ	26.6	gradi
	d/h	1.338	
coefficiente di forza trasversale	c_{fx}	2.10	
coefficiente di forza trasversale	c_{fz}	0.90	
pressione del vento	q	2.44	kN/m ²
forza trasversale	f_x	18.13	kN/m
forza verticale	f_z	10.18	kN/m
braccio del vento - G to d/2	e	1.95	m
momento trasversale	my	35.35	kN/m m

ponte scarico

altezza di impatto treno o barriere	h_{tot}	6.45	m
rapporto geometrico	d/h	1.50	
coefficiente di forza trasversale	c_{fx}	2.05	
coefficiente di forza verticale	c_{fz}	0.90	
forza trasversale	f_x	16.13	kN/m
forza verticale	f_z	10.18	kN/m

4.5.3.1 Ripartizione locale del carico

L'azione del vento è stata valutata considerando una pressione statica precedentemente individuata e considerando, in condizioni di carico distinte, il vento agente sulla struttura scarica, con e senza barriere antirumore, e in presenza dei convogli ferroviari.

Vento su barriere antirumore

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

Si considera la pressione del vento sulle barriere antirumore di altezza 4.0 m dal piano della soletta e si valutano le azioni equivalenti in corrispondenza del piano medio della soletta nella sezione di estremità:

altezza di impatto totale - barriere	h_{tot}	4.35	m
diffusione longitudinale dell'azione	B_L	1	m
forza trasversale sulla barriera	f_x	10.88	kN/m
eccentricità della risultante	e_z	2.175	m

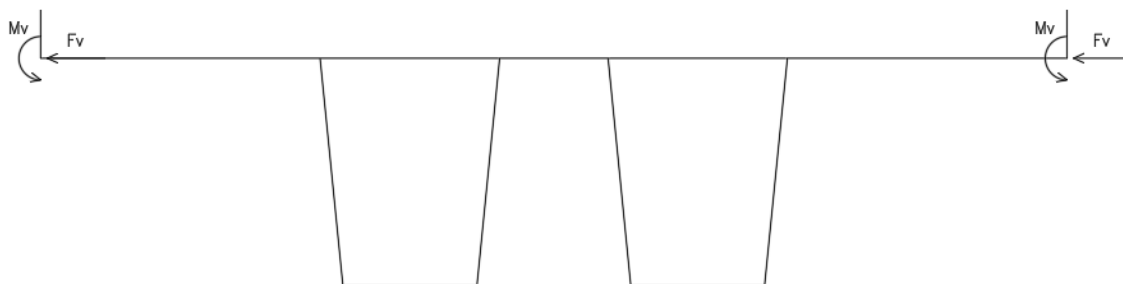


Figura 13 - Condizione di carico locale – barriere

Vento sul convoglio ferroviario

Si considera la pressione del vento su una superficie esposta di altezza 4.0 m dal piano del ferro e si valutano le azioni equivalenti in corrispondenza del piano medio della soletta in asse al binario caricato:

altezza di impatto totale - convogli	h_{tot}	4	m
forza trasversale sul convoglio	f_x	10.00	kN/m
eccentricità della risultante	e_z	2.98	m

Gli effetti sulla sezione trasversale di larghezza unitaria equivalgono ad un'azione orizzontale e ad una verticale distribuita con andamento lineare a farfalla a risultante verticale nulla e valutata considerando la diffusione dalla traversa fino al piano medio della soletta:

larghezza trasversale di ripartizione	B_T	2.80	m
forza trasversale ripartita	f_x	3.57	kN/mq

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA				
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002

estremo farfalla equivalente

Δf_z **22.8** kN/mq

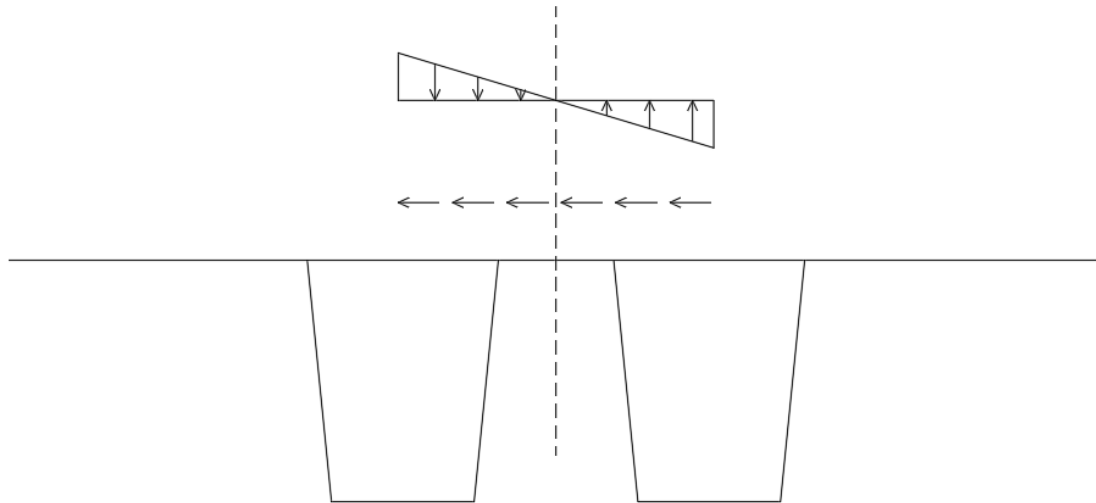


Figura 14 - Condizione di carico locale – convogli

4.6 Azioni Aereodinamici associati al passaggio dei convogli

Gli effetti aerodinamici associati al passaggio dei treni agenti sulle barriere antirumore sono analoghi a quelli del vento su struttura scarica per la determinazione degli effetti locali. La determinazione dei carichi equivalenti associati alle pressioni indotte sulle barriere avviene secondo le seguenti ipotesi:

velocità della linea	V	200	km/h
distanza parate verticale asse binario	a_g	4.45	m
tipologia di convoglio	treni aerodinamici		
coefficiente di forma convoglio	K_1	0.6	
coeff di forma elemento strutturale	K_2	1	
azione caratteristica del vento	q_{k1}	0.353	kN/m ²

Tali azioni sono quindi già state tenute in conto secondo quanto prescritto dal capitolo 5.2.3.2 del MdP:

“Il valore minimo della risultante della combinazione del vento e dell’azione aerodinamica si assumerà pari a 1.50 KN/m per linee percorse a velocità $V \leq 200$ Km/h e pari a 2,50 KN/m per linee percorse a velocità $V > 200$ Km/h”.

4.7 Azioni eccezionali

4.7.1 Azioni dovute al deragliamento

In alternativa ai modelli di carico verticale da traffico ferroviario, ai fini della verifica della struttura si dovrà tenere conto della possibilità che un locomotore o un carro pesante deragli. La normativa propone due diverse situazioni di progetto;

Caso 1

Si considerano due carichi verticali lineari $q_{A1d} = 60$ kN/m (comprensivo dell'effetto dinamico) ciascuno. Trasversalmente i carichi distano fra loro di S (scartamento del binario) e possono assumere tutte le posizioni comprese entro i limiti indicati in Fig. 5.2.12.

Per questa condizione sono tollerati danni locali, purché possano essere facilmente riparati, mentre sono da evitare danneggiamenti delle strutture portanti principali.

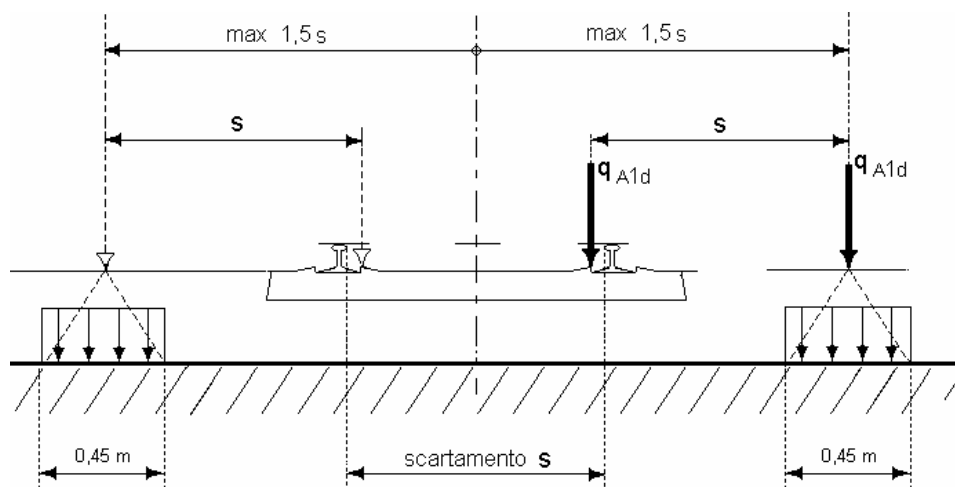


Figura 15 – posizione azioni da deragliamento – caso 1

Caso 2

Si considera un unico carico lineare $q_{A2d}=80 \times 1.4$ kN/m esteso per 20 m e disposto con una eccentricità massima, lato esterno, di 1.5 s rispetto all'asse del binario. Tale caso deve essere applicato solo per effetti globali.

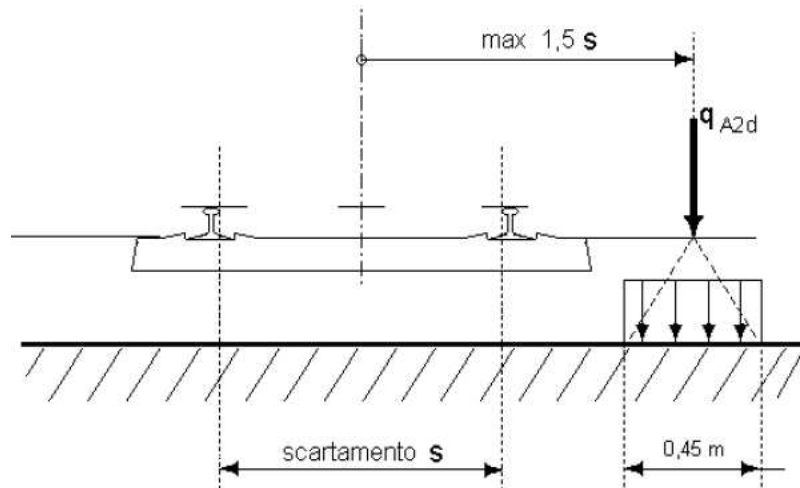


Figura 16 – posizione azioni da deragliamento – caso 2

4.7.1.1 Ripartizione locale del carico

Caso 1

È stata considerata la situazione che massimizza le azioni flettenti in mezzzeria della campata centrale.

carichi verticali lineari	$q_{A1d} =$	60	kN/m
spostamento massimo dall'asse binario	$d =$	2.15	m

Diffusione trasversale del carico deragliato

$$B_t = 0.45 + 0.35/2 = 0.625 \text{ m}$$

$$q = q_{A1d} / B_t = 96 \text{ kN/mq}$$

Diffusione trasversale del carico su traversa

Le azioni indotte dal secondo carico lineare q_{A1d} che si diffonde a partire dalla traversa sono:

$B_t =$	2.80	m
$q = q_{A1d} / B_t =$	21.43	kN/mq

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	36 di 153

$$e = d - s = 0.72 \quad \text{m}$$

$$\Delta q = 6 M / B t^2 = 6 (q A 1 d e) / B t^2 = 32.83 \quad \text{kN/mq}$$

$$q_{d,max} = 54.26 \quad \text{kN/mq}$$

$$q_{d,min} = -11.4 \quad \text{kN/mq}$$

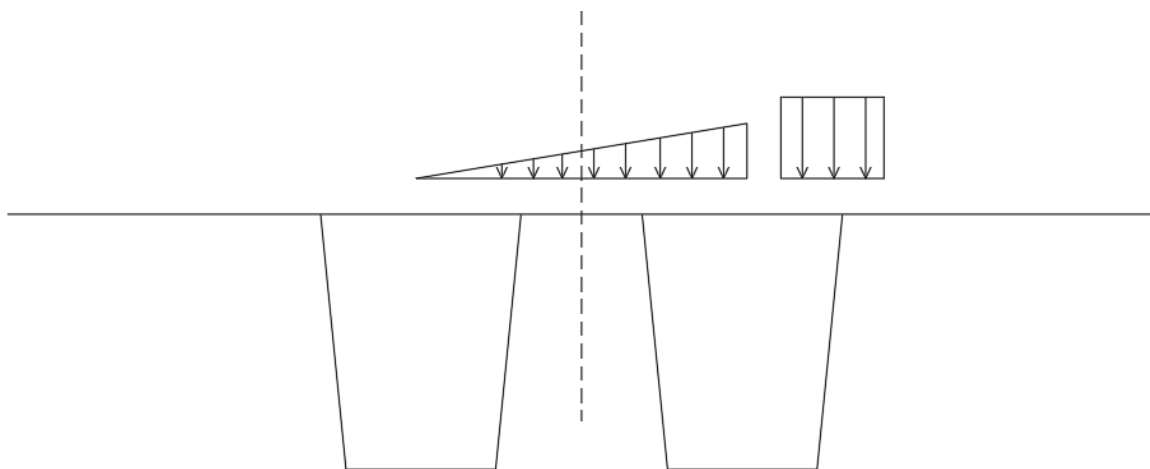



Figura 17 – Condizione di carico per deragliamento – caso 1

Caso 2

Si considera un unico carico lineare $q_{A2d}=80 \times 1.4 \text{ kN/m}$ esteso per 20 m e disposto con una eccentricità massima, lato esterno, di 1.5 s rispetto all'asse del binario. Tale caso deve essere applicato solo per effetti globali.

Diffusione trasversale del carico deragliato

$$q = q A 1 d / B t = 179.2 \text{ kN/mq}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

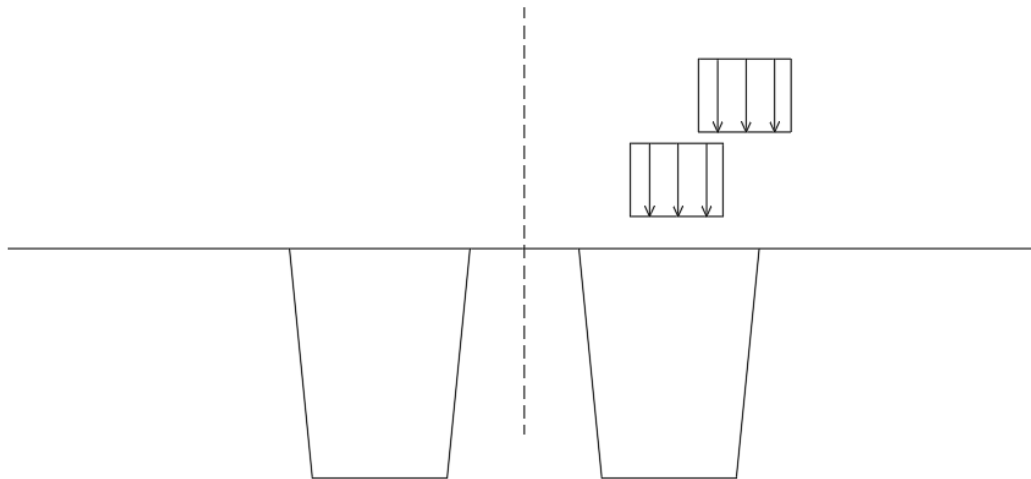


Figura 18 - Condizione di carico per deragliamento – caso 2

4.8 Azioni indirette

4.8.1 Ritiro

Di seguito si valutano le deformazioni da ritiro della trave, sulla base della sua geometria, nell'ipotesi di una umidità relativa pari al 70%. Sotto l'ipotesi progettuale di assenza di additivi speciali, il ritiro del calcestruzzo può essere valutato come da Norme Tecniche delle Costruzioni 2018.

Per la valutazione del ritiro è stata considerata la geometria della sezione corrente ed è stato considerato cautelativamente come istante iniziale del ritiro autogeno il giorno del getto delle travi ($t=0$), mentre per quello indotto dall'essiccamento il 30esimo giorno dal getto.

4.8.1.1 Ritiro della trave in C.A.P.

giorno attuali	t	150	giorni
età del calcestruzzo per la quali inizia l'essiccamento	t_s	30	giorni
percentuale di umidità relativa	RH	70	%
ritiro differito nel tempo o tutto insieme?		tutto insieme	
giorno attuali di calcolo	t	10000.0	giorni

Ritiro Cassoncino

perimetro di cls esposto all'aria	u	11846.6	mm
dimensione fittizia pari a $2A_c/u$	h_0	198.1	mm
umidità relativa	UR	70	%

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	38 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

deformazione massima per essiccamento	ϵ_{c0}	-0.0002938	
parametro per calcolo deformazione a tempo ∞	k_h	0.853	
deformazione per ritiro da essiccamento a tempo ∞	$\epsilon_{cd\infty}$	-0.00025	
coefficiente di calcolo per lo sviluppo temporale	$\beta_{ds}(t, t_s)$	0.989	
deformazione per ritiro da essiccamento a tempo t	$\epsilon_{cd}(t)$	-2.5E-04	
resistenza caratteristica del calcestruzzo	f_{ck}	45	MPa
valore medio della deformazione per ritiro autogeno	ϵ_{ca}	-8.8E-05	
deformazione totale per ritiro	$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd}(t) + \epsilon_{ca}$	-3.4E-04	
deform. totale per ritiro a tempo infinito	$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd}(t_{\infty}) + \epsilon_{ca}$	-3.3E-04	
Perdite fase 1 per ritiro	$\Delta\sigma_{rit}(t_1)$	-71.6	MPa
Perdite fase 4 per ritiro	$\Delta\sigma_{rit}(t_3)$	0.0	MPa
Perdite totali per ritiro	$\Delta\sigma_{rit}(t_{\infty})$	-64.9	Mpa

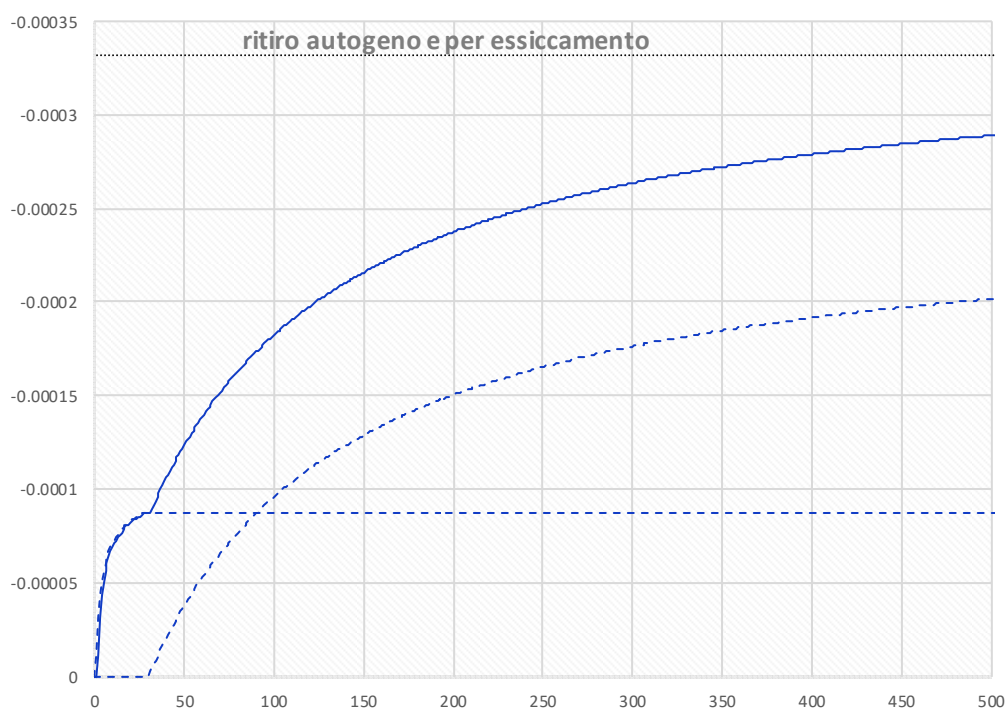


Figura 19 – Andamento del ritiro della trave in C.A.P.

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	39 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

A vantaggio di sicurezza, si considera completamente esaurito il ritiro della trave prefabbricata all'atto del getto della soletta. Di seguito si calcola il ritiro della soletta gettata in opera a tempo infinito (5000 gg), coincidente con il ritiro differenziale soletta-travi.

4.8.1.2 Ritiro della soletta gettata

età del calcestruzzo per la quali inizia

l'essiccamento	t_s	180.0	giorni
giorno attuali	t	170	giorni
giorno attuali di calcolo	t	5000.0	giorni

Ritiro Soletta

perimetro di cls esposto all'aria	u	4850.00	mm
dimensione fittizia pari a $2A_c/u$ Ac	h_0	600.0	mm

deformazione massima per essiccamento	ϵ_{c0}	-0.0003313
parametro per calcolo deformazione a tempo ∞	k_h	0.7
deformazione per ritiro da essiccamento a tempo ∞	$\epsilon_{cd\infty}$	-0.00028
coefficiente di calcolo	$\beta_{ds}(t, t_s)$	0.891
deformazione per ritiro da essiccamento a tempo t	$\epsilon_{cd}(t)$	-2.5E-04

resistenza caratteristica del calcestruzzo	f_{ck}	35	MPa
valore m della deformazione per ritiro autogeno	ϵ_{ca}	-6.3E-05	

deformazione totale per ritiro	$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd}(t) + \epsilon_{ca}$	-3.1E-04
deform. totale per ritiro a tempo infinito	$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd}(t_{\infty}) + \epsilon_{ca}$	-3.1E-04

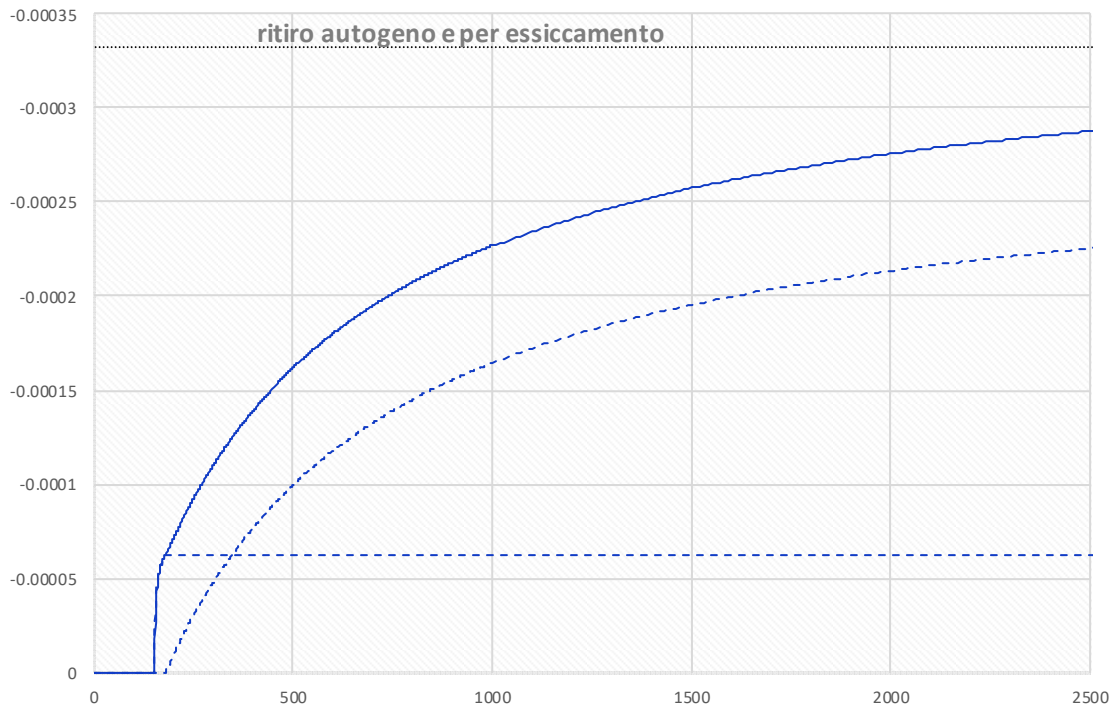


Figura 20 - Andamento del ritiro della soletta

4.8.2 Viscosità

Gli effetti conseguenti alla viscosità del calcestruzzo per azioni di lunga durata (sovraccarichi permanenti, ritiro, ecc.) possono essere in diversi modi tra cui l'analisi più accurata prevede la sovrapposizione al passo (SPP), partendo proprio dalla curva di viscosità. L'unica ipotesi necessaria è l'indipendenza della deformazione viscosa dalla variazione tensionale antecedente. Allora, la deformazione all'istante considerato è fornita dall'espressione:

$$\varepsilon_{(t_i; t_0)} = \frac{\sigma_0}{E_{t0}} [1 + \phi_{(t_i; t_0)}] + \sum_j^t \frac{\Delta \sigma_j}{E_T} [1 + \phi_{(t_i; \tau_j)}]$$

Per quanto riguarda le caratteristiche inerziali della sezione si identificano i coefficienti di omogeneizzazione a lungo termine in funzione del coefficiente viscoso $\phi_{t_0,0}$ di seguito, ovvero mediante il modulo di elasticità ridotto:

$$E_c^* = E_c / (1 + \phi) \quad \text{modulo di elasticità ridotto}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

Di seguito è riportata la valutazione del coefficiente di viscosità ridotto per la valutazione degli effetti della viscosità sulle perdite di precompressione.

tempo di messa in carico del cassoncino	t_0	9	giorni
età del calcestruzzo al momento considerato	t_1	150	giorni
percentuale di umidità relativa	RH	70	%
dimensione fittizia pari a $2A_c/u$ A_c	h_0	198.1	mm
coefficiente di invecchiamento	$\chi(t, t_0)$	0.80	
viscosità reale o tutta insieme?		tutta insieme	
tipo di cemento		Classe N	

Viscosità lineare NTC

coefficiente di viscosità a tempo infinito	$\varphi(t, \infty)$	2.85
--	----------------------	-------------

Viscosità lineare EC2-1-1-2005 appendice B

si utilizza il coefficiente fornito dall'EC perché funzione del tempo

effetto del tipo di cemento sulla viscosità	α	0	
tempo equivalente di applicazione del carico	t_0	9.00	giorni
età del calcestruzzo al momento considerato	t_1	10000	giorni
coef. Funzione della resistenza del cls	$\beta(f_{cm})$	2.31	
resistenza media del calcestruzzo	f_{cm}	53.00	N/mm ²
coef. Funzione della maturazione del cls	$\beta(t_0)$	0.61	
coef. Funzione dell u.r. e di h_0	β_H	500.3	
coef. Che descrive l'evoluzione viscosa	$\beta(t, t_0)$	0.99	
coef. Per tenere conto della resistenza del cls	α_3	0.81	
coef. Per tenere conto della resistenza del cls	α_2	0.92	
coef. Per tenere conto della resistenza del cls	α_1	0.75	
coef. Funzione dell'umidità relativa	φ_{RH}	1.354	
coefficiente normale di viscosità	φ_0	1.982	
coefficiente di viscosità	$\varphi_0(t, t_0)$	1.864	

coefficiente di viscosità a tempo infinito

$\varphi_0(t_{\infty}, t_0)$ **1.864**

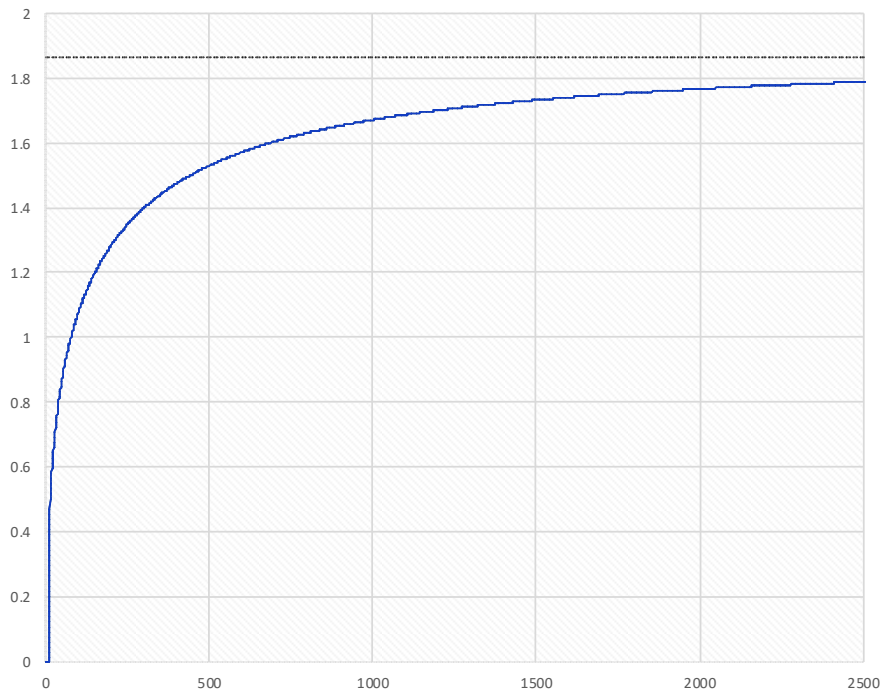


Figura 21 - Andamento del coefficiente di viscosità della trave in C.A.P.

4.8.2.1 Viscosità per la valutazione delle caratteristiche della sezione composta a $t = \text{inf}$ e sollecitazione per ritiro differenziato

Si identifica la curva di viscosità della soletta per il calcolo dell'effetto differenziato del ritiro.

dimensione fittizia pari a $2A_c/u$ A_c

h_0 **600.0** mm

ipotizzo che una volta gettata la soletta passino pochi giorni prima dell'applicazione dei carichi

tempo equivalente di applicazione del carico

t_0 **20.00** giorni

coef. Funzione della maturazione del cls

$\beta(t_0)$ 0.52

tempo di carico

170 giorni

coefficiente di viscosità

$\varphi_0(t, t_0)$ **0.000**

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	43 di 153

tempo di carico

90 giorni

coefficiente di viscosità

$\varphi_0(t, t_0)$ **0.000**

coef. di visc. a tempo infinito

$\varphi_k(t_{\infty}, t_0)$ **1.945**

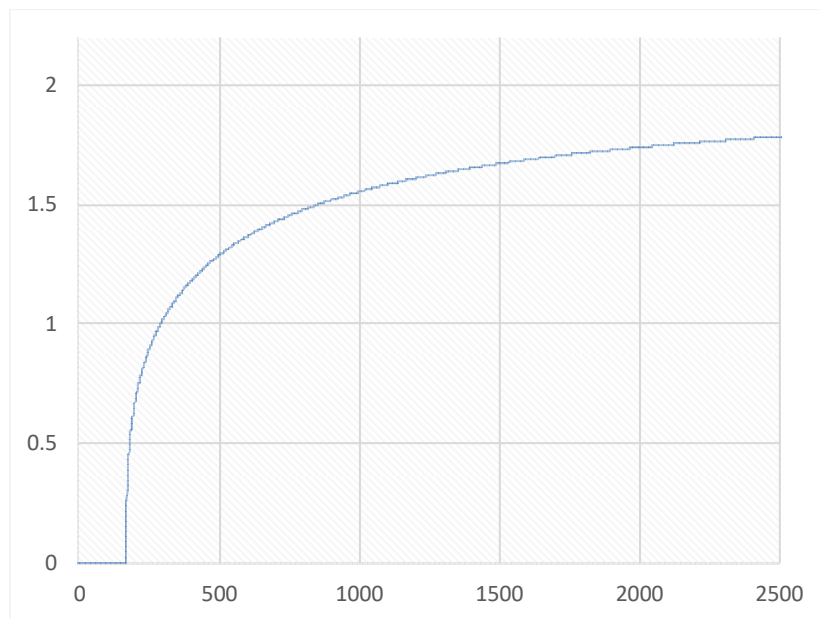


Figura 22 - Andamento coefficiente di viscosità della soletta

Per quanto riguarda il fenomeno della viscosità dell'acciaio si parla di perdita di tensione per rilassamento e nel caso specifico si è adottato il metodo del tempo equivalente del EC2-1-1, per il quale la perdita per rilassamento totale è la somma delle perdite di rilassamento ai vari intervalli di tempo finzione dell'espressione *rilassamento-tempo*:

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	44 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

$$\text{Classe 1 } \frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pl}} = 5,39 \rho_{1000} e^{5,7\mu} \left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$$

$$\text{Classe 2 } \frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pl}} = 0,66 \rho_{1000} e^{9,1\mu} \left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$$

$$\text{Classe 3 } \frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pl}} = 1,98 \rho_{1000} e^{8\mu} \left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$$

dove:

$\Delta\sigma_{pr}$ è il valore assoluto delle perdite per rilassamento;

σ_{pl} per le armature post-tese σ_{pl} è il valore assoluto della tensione iniziale $\sigma_{pl} = \sigma_{pm0}$ [vedere anche punto 5.10.3 (2)].

Per le armature pre-tese σ_{pl} è la massima tensione di trazione applicata al cavo meno le perdite immediate che si verificano durante il procedimento di messa in tensione, vedere comma (i) del punto 5.10.4(1);

t è il tempo dopo la messa in tensione (in ore);

$\mu = \sigma_{pl}/f_{pk}$, dove f_{pk} è il valore caratteristico della resistenza a trazione dell'acciaio da precompressione;

ρ_{1000} è il valore della perdita per rilassamento (in percentuale) a 1 000 h dopo la messa in tensione e a una temperatura media di 20 °C.

ovvero:

$$\Delta\sigma_{pr,i} = 0,66 \rho_{1000} e^{9,09\mu} \left(\frac{t_e + \Delta t_i}{1000}\right)^{0,75(1-\mu)} \left\{ \sigma_{p,i} + \sum_1^{i-1} \Delta\sigma_{pr,i} \right\} 10^{-5} - \sum_1^{i-1} \Delta\sigma_{pr,i}$$

Di seguito è riportata la valutazione della curva di rilassamento e delle perdite associate.

tensione iniziale del cavo	σ_1	1,380	MPa
tensione nel cavo per def. elastica cls	$\Delta\sigma_1$	-69.49	MPa
tempo di riferimento	t_1	0	giorni
variazione di tensione nel cavo per ritiro	$\Delta\sigma_{r,2}$	-71.62	MPa
variazione di ten per def visco-elastica	$\Delta\sigma_{e+v,2}$	-205.25	MPa
tempo di riferimento	t_2	23000	giorni
percentuale di perdita a 1000h	ρ_{1000}	2.50	%
rapporto tra valore carat. e tensione	μ	0.78	
perdite per rilassamento a tempo t	$\Delta\sigma_{pr}(t)$	75.45	MPa
perdita per rilassamento al tempo t4	$\Delta\sigma_{pr}(t_4)$	0.00	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	45 di 153

perdite per rilassamento a tempo t_{00} $\Delta\sigma_{pr (t_{00})}$ **75.45** MPa

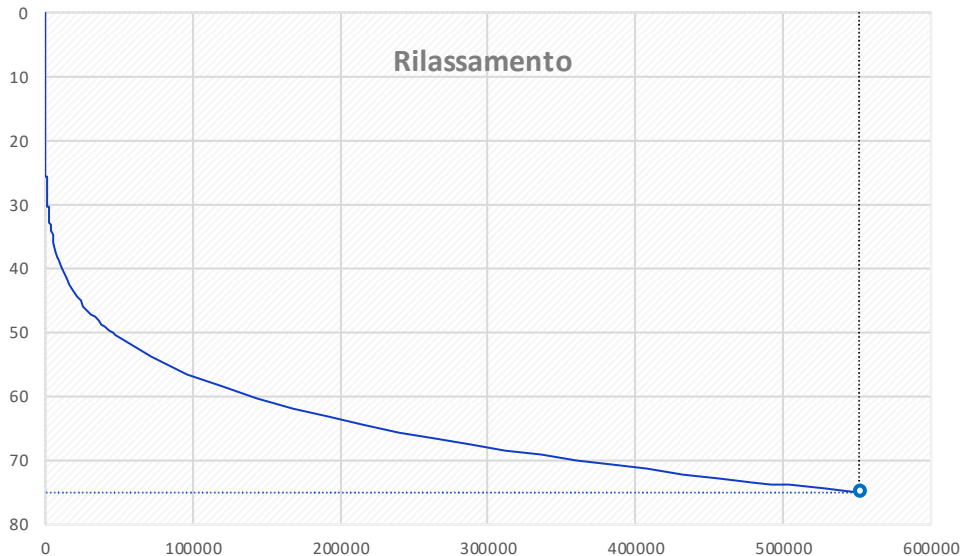


Figura 23 - Andamento delle perdite per rilassamento del cavo

4.8.3 Resistenze passive dei vincoli

Per la valutazione delle coazioni generate all'atto dello scorrimento dei vincoli, è stato considerato un coefficiente d'attrito pari al 4% applicato alle azioni verticali agenti sugli apparecchi d'appoggio.

4.9 Azioni sismiche

Le azioni sismiche non sono dimensionanti ai fini delle verifiche relative all'impalcato e non vengono quindi considerate nelle analisi dello stesso. Le azioni sismiche considerate per la progettazione delle sottostrutture (pile, spalle e fondazioni) sono riportate nelle corrispondenti relazioni di calcolo.

La valutazione delle azioni sismiche qui riportate è valida per la progettazione dei dispositivi di appoggio.

4.9.1 Inquadramento sismico

La pericolosità sismica di base è stata definita sulla base delle coordinate geografiche del sito di realizzazione del viadotto e sono pari a:

Longitudine: 8.186776

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	46 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

Latitudine: 44.074091

I parametri utilizzati per la definizione dell'azione sismica sono riportati di seguito.

Classe d'uso: III

 Coefficiente d'uso $C_U = 1.5$

 Vita nominale $V_N = 75$ anni

Categoria di suolo: C

Condizione topografica: T1

 Fattore di struttura componente orizzontale $q = 1$

 Fattore di struttura componente verticale $q = 1$

Smorzamento critico 10%

L'azione sismica è stata calcolata per mezzo del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3 messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

I parametri per la determinazione dei punti dello spettro di risposta sono:

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	68	0.041	2.574	0.223
SLD	113	0.056	2.559	0.243
SLV	1068	0.179	2.461	0.300
SLC	2193	0.238	2.485	0.316

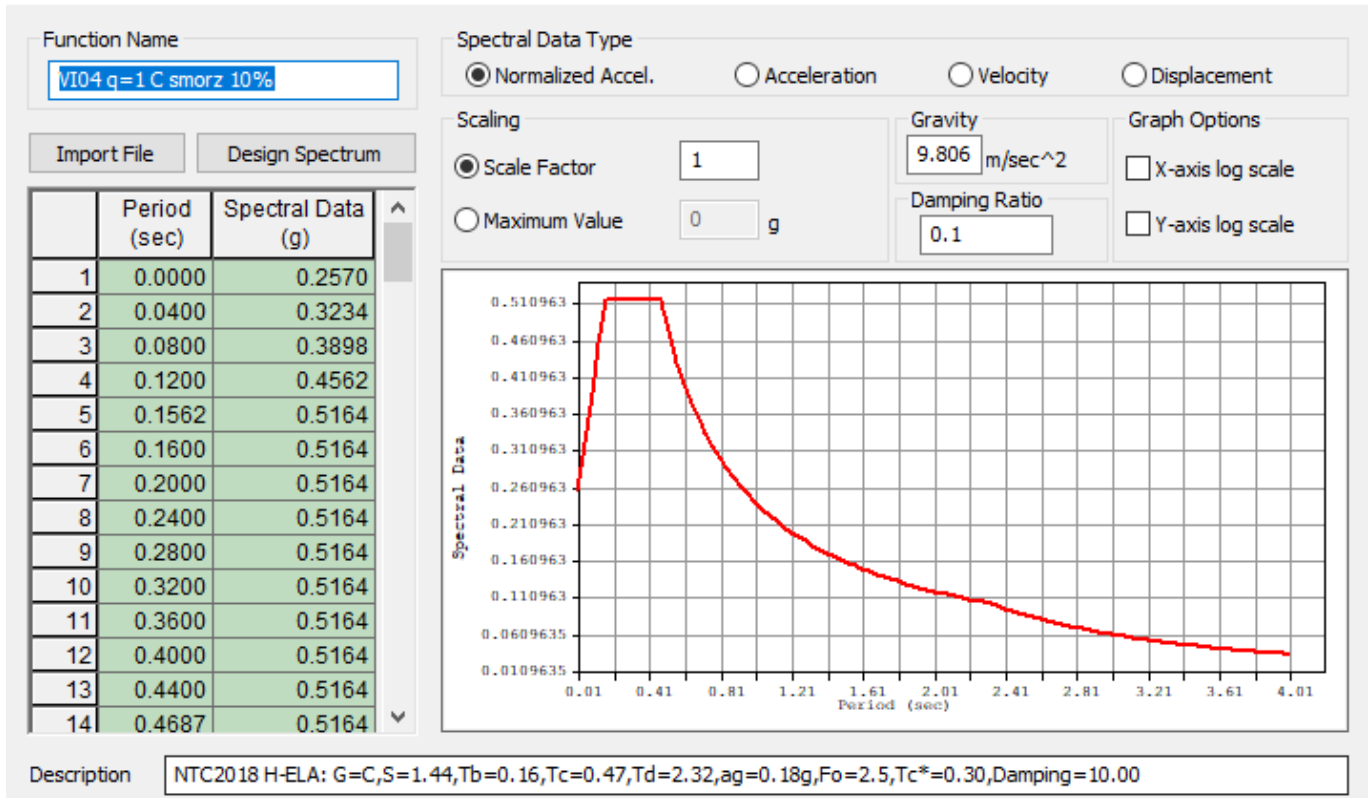


Figura 24: Spettro di risposta orizzontale e verticale allo SLV

Le masse considerate sono quelle dovute a tutti i carichi permanenti e al 20% dei carichi da traffico.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

5 FASI COSTRUTTIVE E MODELLAZIONE

L'analisi delle sollecitazioni è stata effettuata considerando le fasi costruttive descritte di seguito.

Fase 0: condizione a vuoto

In questa fase si verifica la condizione della trave prefabbricata alla tesatura in stabilimento, secondo le seguenti ipotesi.

- Azione di precompressione alla tesatura.
- Peso proprio della trave prefabbricata agente con schema statico di trave appoggiata sui lembi estremi della trave ($L = L_{trave}$).
- Sezione resistente della sola trave prefabbricata.

Fase 1: getto della soletta e valutazione effetti di ritiro e viscosità del cassoncino

In questa fase si verifica la condizione della trave prefabbricata al getto della soletta di impalcato, secondo le seguenti ipotesi.

- Precompressione a perdite per rilassamento e ritiro completamente esaurite.
- Perdite per rilassamento del cavo completamente esaurite.
- Peso proprio trave prefabbricata e del getto della soletta agenti con schema statico di trave appoggiata sugli appoggi finali ($L = l_{appoggi}$).
- Sezione resistente della sola trave.

Fase 2: carichi permanenti e valutazione degli effetti di ritiro differenziale

In questa fase si verifica la condizione della trave prefabbricata (ora collaborante con la soletta di impalcato) soggetta all'effetto dei carichi permanenti, secondo le seguenti ipotesi.

- Carichi permanenti agenti con schema statico di trave appoggiata sugli appoggi finali ($L = L_{appoggi}$).
- Sezione resistente trave+soletta.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0408 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 49 di 153</p>

- Valutazione degli effetti di ritiro differenziale e viscosità.

Fase 3: condizione di servizio a breve termine

In questa fase si verifica la condizione della trave prefabbricata (collaborante con la soletta di impalcato) soggetta all'effetto dei carichi di servizio, secondo le seguenti ipotesi.

- Carichi di servizio agenti con schema statico di trave appoggiata sugli appoggi finali ($L = L_{\text{appoggi}}$).
- Sezione resistente trave+soletta.

Fase 4: condizione di servizio a lungo termine

In questa fase si verifica la condizione della trave prefabbricata (collaborante con la soletta di impalcato) soggetta all'effetto dei carichi di servizio, secondo le seguenti ipotesi.

- Carichi di servizio agenti con schema statico di trave appoggiata sugli appoggi finali ($L = L_{\text{appoggi}}$).
- Caratteristiche meccaniche della sezione modificate dal coefficiente di omogeneizzazione.
- Sezione resistente trave+soletta.

5.1 Modellazione: Generalità

Le sollecitazioni relative ad ogni fase sono state valutate con adeguati modelli e combinate secondo quanto previsto dalla normativa. In riferimento alle verifiche tensionali previste dalla normativa, gli effetti sugli elementi resistenti sono stati valutati e verificati ad ogni fase e cumulati ove necessario.

L'analisi delle sollecitazioni è stata effettuata con l'ausilio di modelli di calcolo realizzati con il software Midas Gen 2021 v3.1.

Sono state realizzati diversi modelli per valutare le fasi costruttive dell'impalcato per valutare adeguatamente le sezioni reagenti e la ripartizione dei carichi.

5.1.1 Modello fase 0

Il modello replica l'elemento prefabbricato, appoggiato alle estremità della trave stessa.

I carichi applicati sono relativi al peso proprio e sono definiti automaticamente dal software, una volta definito il peso di volume del materiale. Di seguito si riporta una vista del modello di calcolo.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0408 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 50 di 153</p>

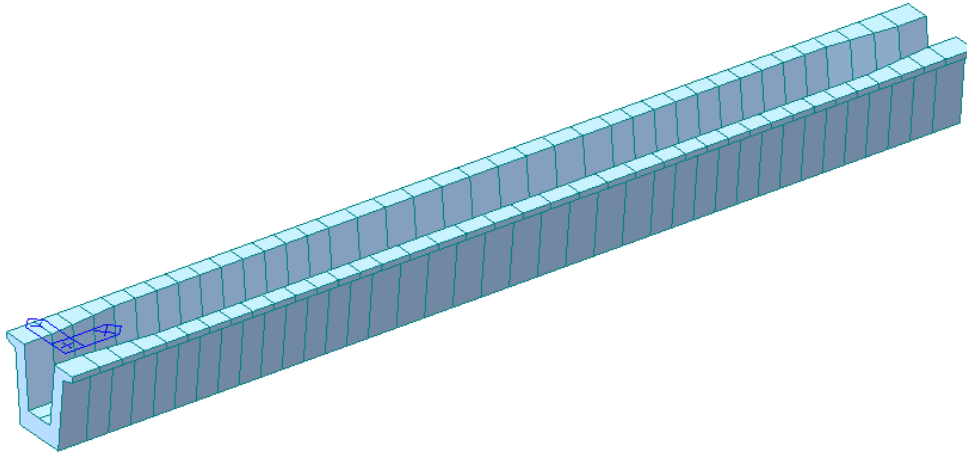


Figura 25 – modello di calcolo f.e.m. fase 0

5.1.2 *Modello fase 1*

Il modello replica l'elemento prefabbricato, comprensivo dei traversi, appoggiato in corrispondenza degli appoggi previsti per l'impalcato. La sezione è stata modellata in modo tale da poter differire l'entrata della propria parte di soletta, sia in termini di peso che di rigidità. Questo è equivalente ad inserire un carico uniformemente ripartito su ciascuna trave con il criterio dell'area di influenza.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	51 di 153

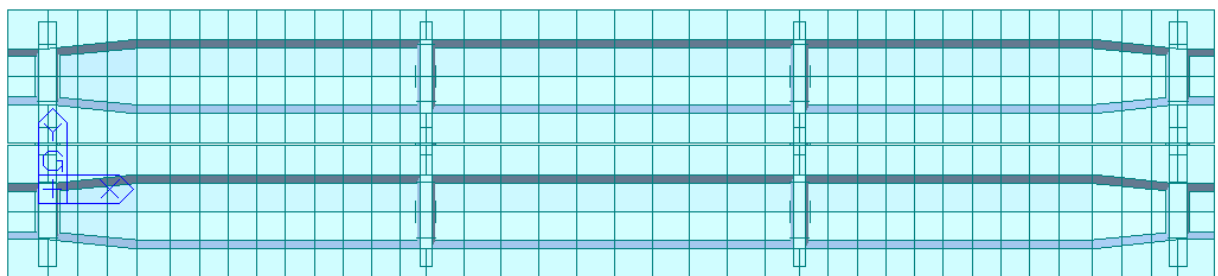
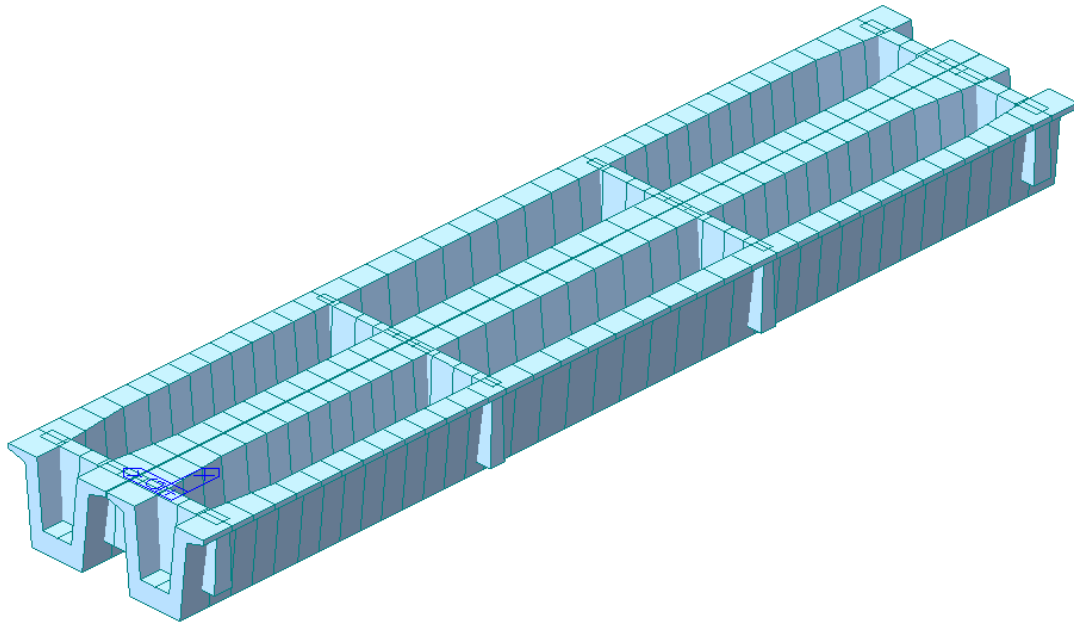


Figura 26 – modello di calcolo f.e.m. fase 1

5.1.3 Modello fase 2

Il modello replica l'impalcato, comprensivo di travi, traversi e soletta, appoggiato in corrispondenza degli appoggi previsti per l'impalcato. I carichi applicati sono quelli relativi ai sovraccarichi permanenti, valutati in coerenza con quanto definito nell'analisi dei carichi.

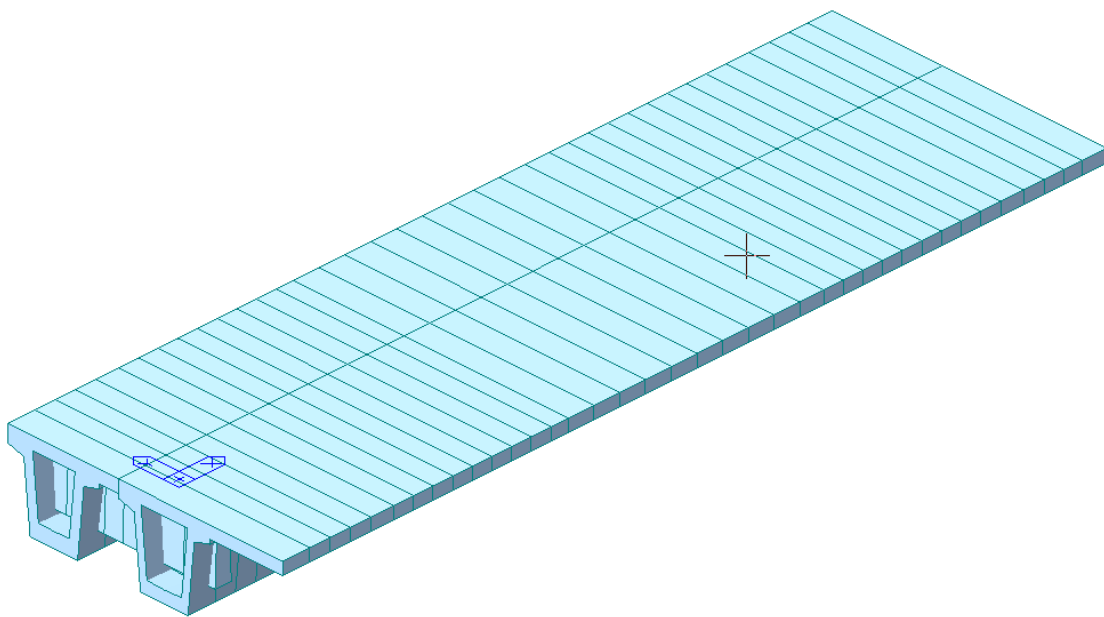
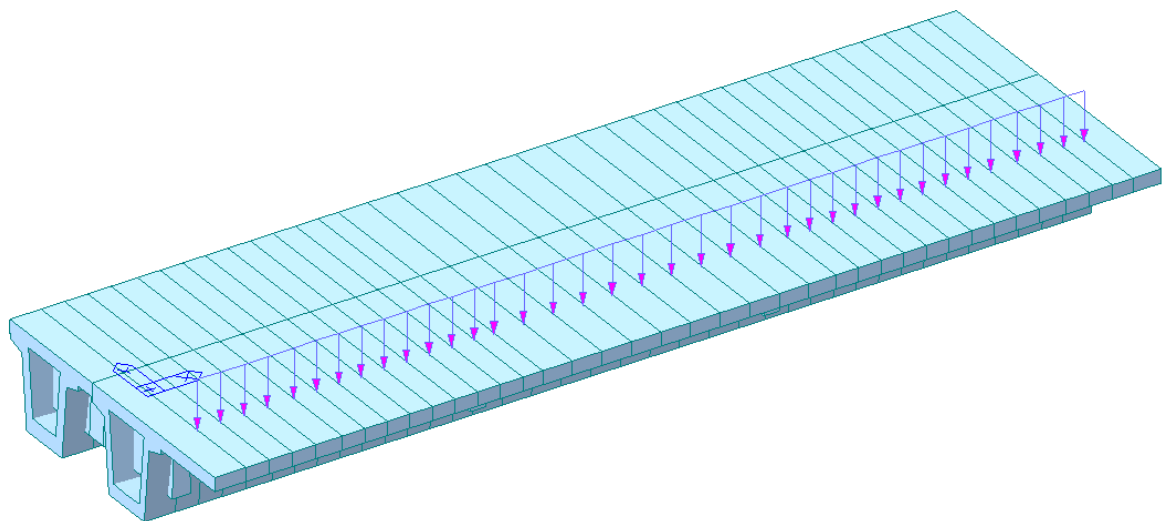


Figura 27 – Modello di calcolo f.e.m. fase 2




 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0408 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 53 di 153</p>

Figura 28 – Modello fase 2 – carico impermeabilizzazione

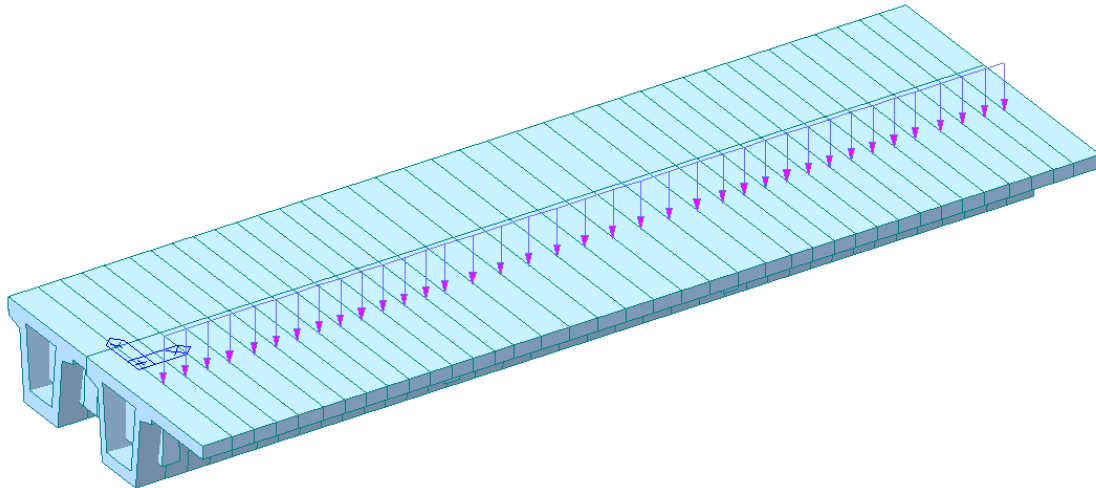


Figura 29 – Modello fase 2 – carico muretti parballast

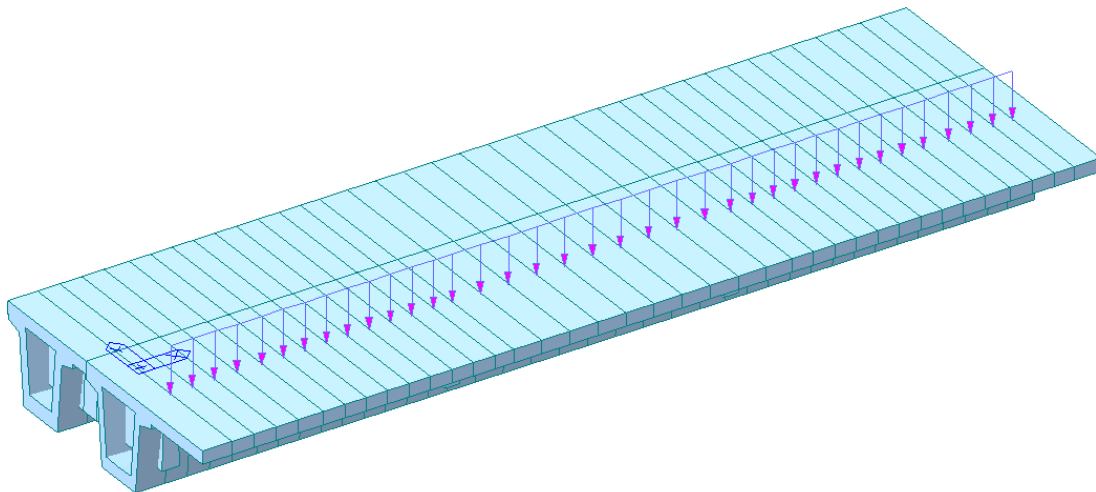


Figura 30 – Modello fase 2 – carico canalette prefabbricate

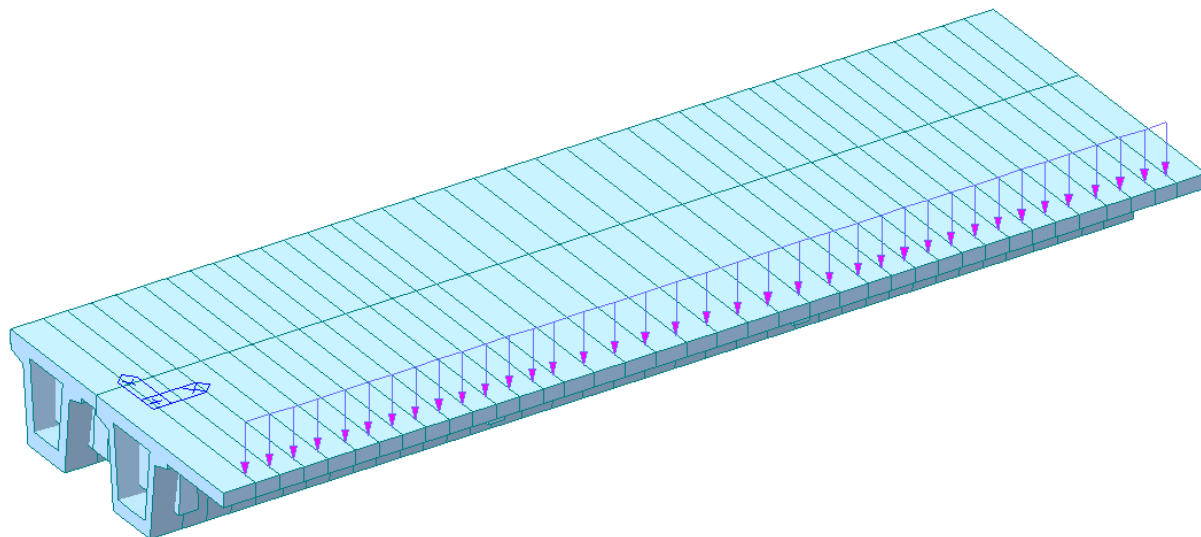


Figura 31 – Modello fase 2 – carico cordoli laterali

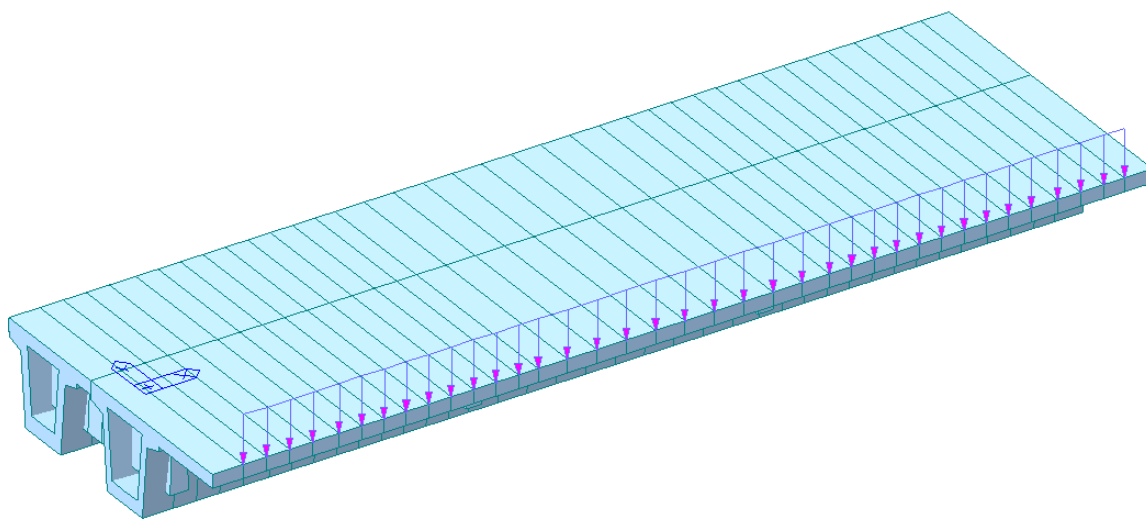


Figura 32 – Modello fase 2 – carico velette prefabbricate

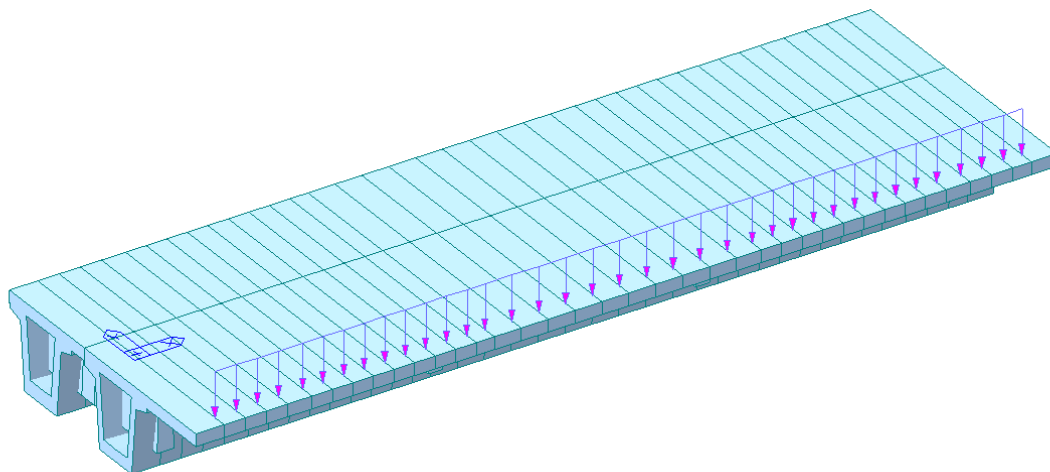


Figura 33 – Modello fase 2 – carico barriere antirumore

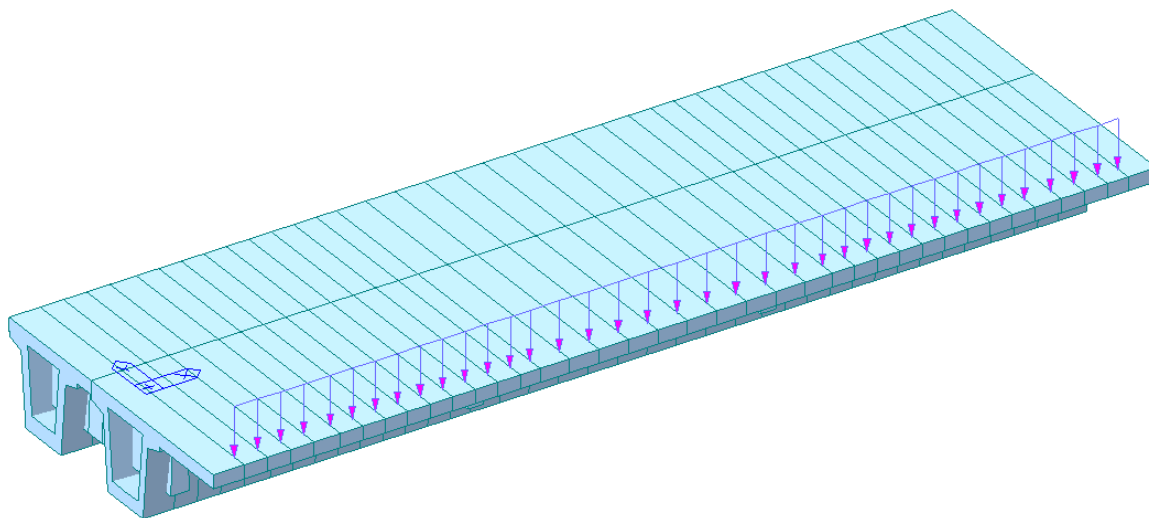



Figura 34 – Modello fase 2 – carico parapetti

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

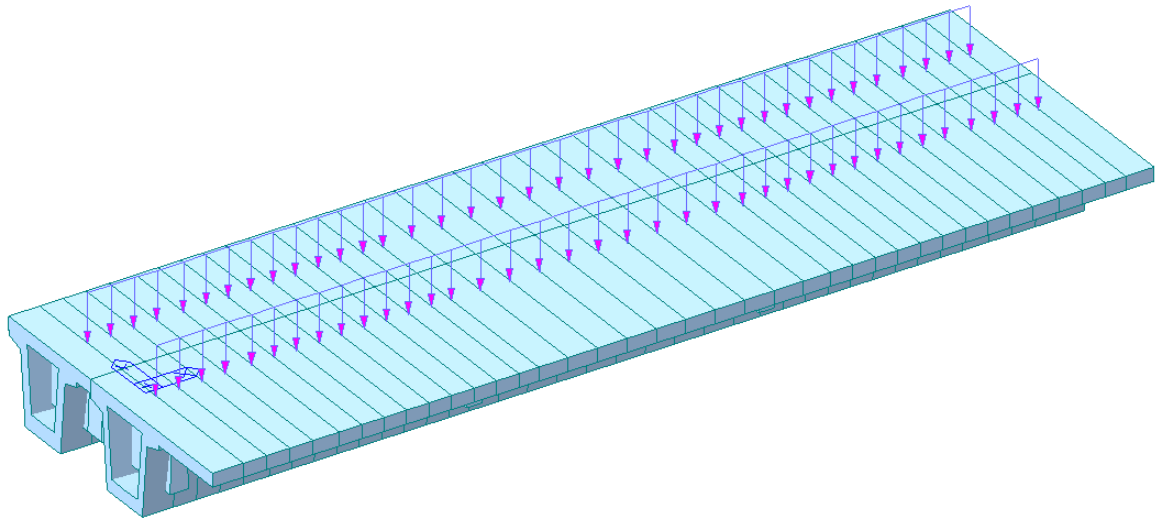


Figura 35 – Modello fase 2 – carico ballast

5.1.4 *Modello fase 3*

Il modello replica l'impalcato, comprensivo di travi, traversi e soletta, appoggiato in corrispondenza degli appoggi previsti per l'impalcato. I carichi applicati sono quelli relativi ai carichi di servizio, valutati in coerenza con quanto definito nell'analisi dei carichi (traffico, vento, termica).

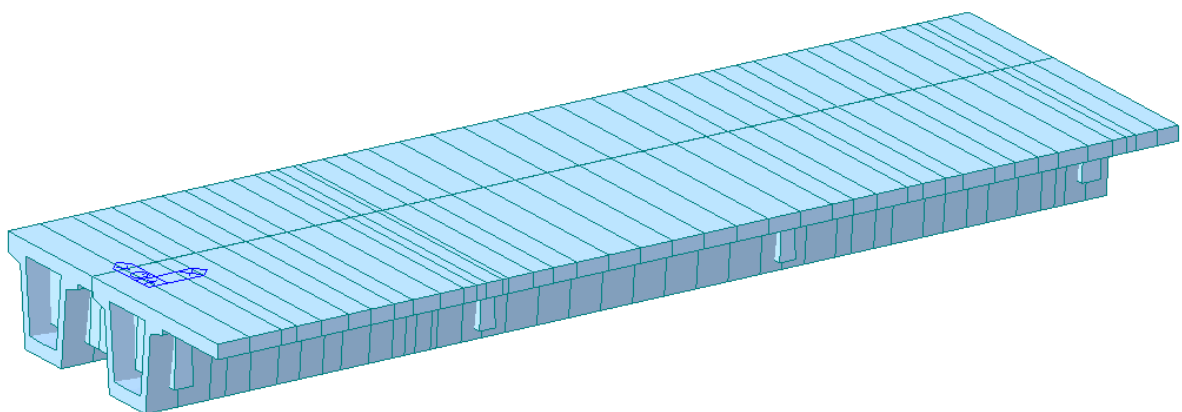


Figura 36 – modello di calcolo f.e.m. fase 3

I carichi da traffico ferroviario sono applicati al modello mediante linee di carico.

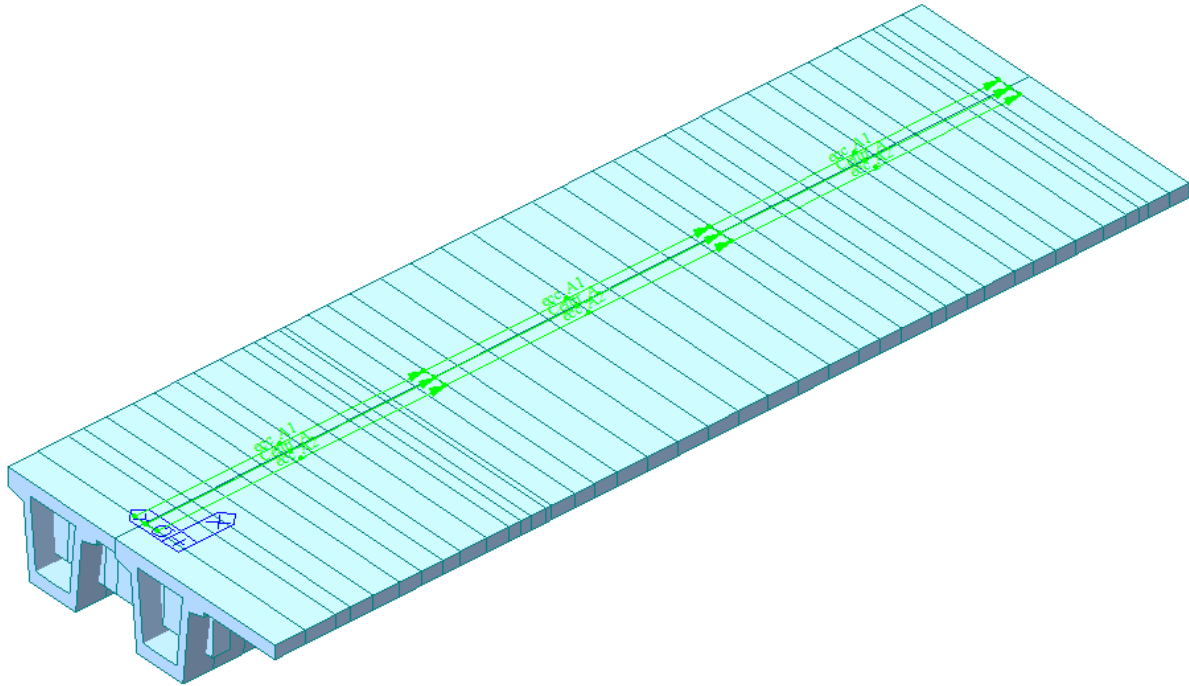


Figura 37 - Linee di carico ferroviario

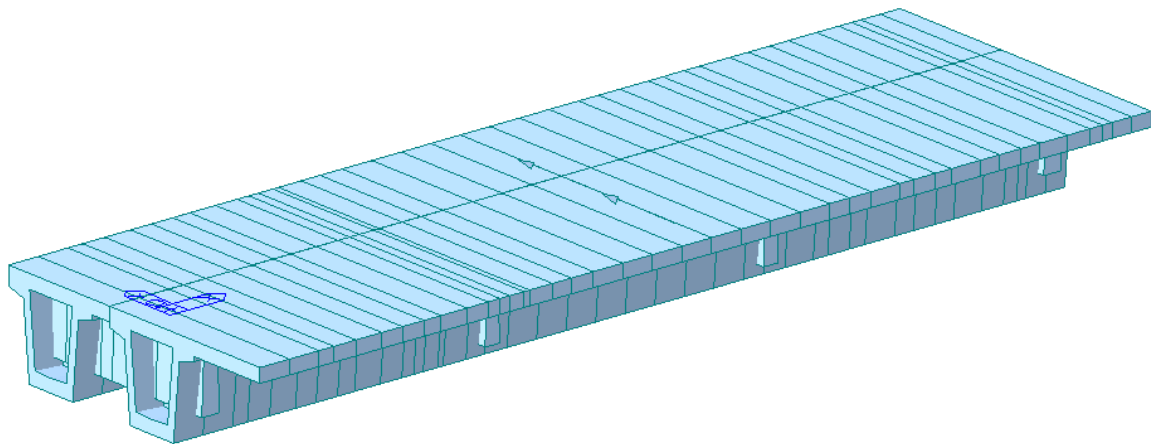


Figura 38 – modello fase 3 – Serpeggio

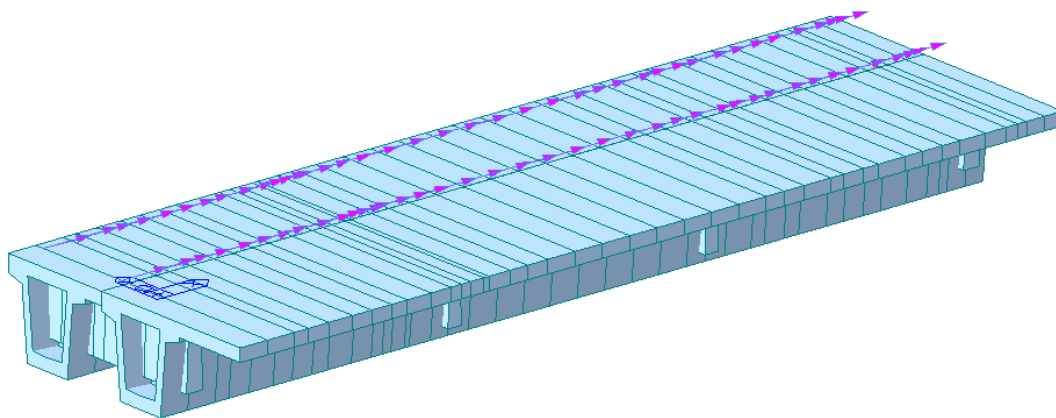


Figura 39 – modello fase 3 – Forze di avviamento e frenatura

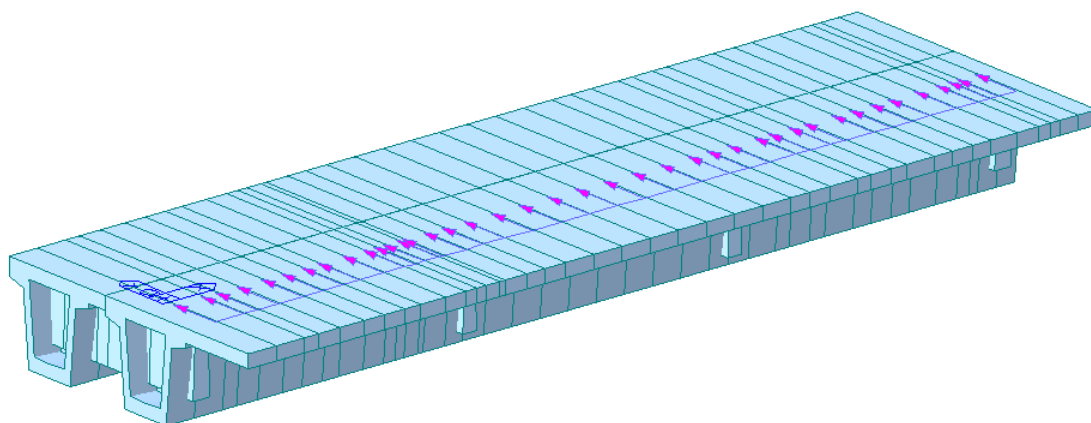


Figura 40 - Vento trasversale

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	59 di 153

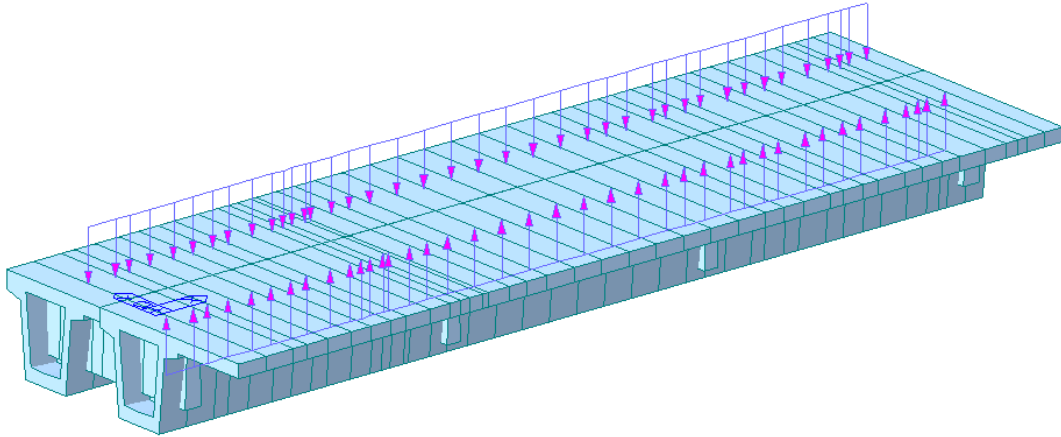


Figura 41 - Vento di rollio

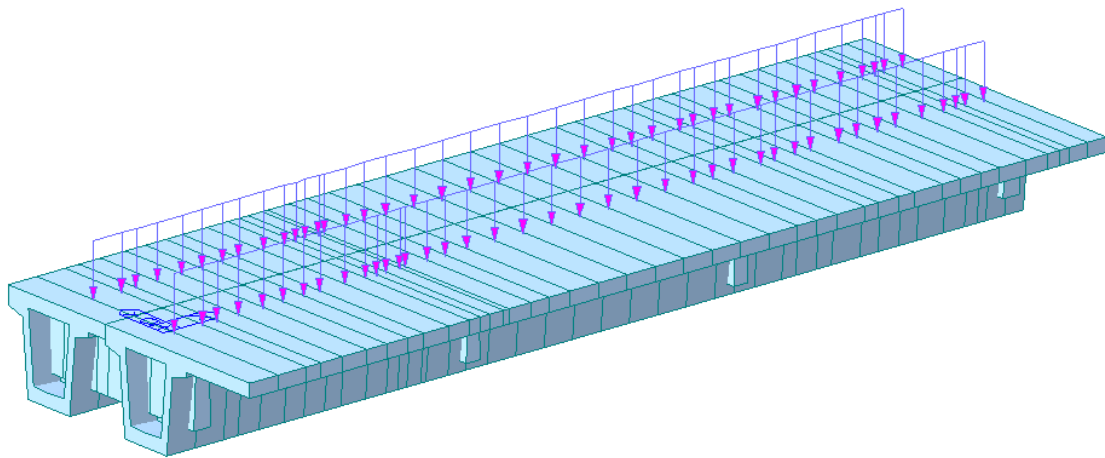


Figura 42 - Vento verticale

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO

Relazione di calcolo impalcato VI04

IV01 00 D 09 CL VI0408 002 A 60 di 153

5.2 Combinazioni di carico

Gli effetti dei carichi verticali dovuti alla presenza dei convogli vanno sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti indicati nella seguente tabella:

Tab. 5.2.IV - *Valutazione dei carichi da traffico*

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,0	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,0	0,0	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,0	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6;0,4)	-	0,8 (0,6;0,4)	0,8 (0,6;0,4)	0,8 (0,6;0,4)	Fessurazione

(1) Includendo tutti i valori (F; a; etc..)

(2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1.0), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1,2 e 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali

I valori campiti in grigio rappresentano l'azione dominante.

Il gruppo 4 è da considerarsi esclusivamente per le verifiche a fessurazione. I valori indicati fra parentesi si assumeranno pari a: (0,6) per impalcato con 2 binari caricati e (0,4) per impalcato con tre o più binari caricati.

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	61 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04
Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁵⁾	1,00 ⁽⁶⁾	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{Ce}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione Ψ delle azioni

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr_1	0,80 ⁽¹⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr_2	0,80 ⁽¹⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	gr_3	0,80 ⁽¹⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr_4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

⁽¹⁾ 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

⁽²⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Tabella 3 - Valutazione dei carichi da traffico (da “Istruzioni per la progettazione e l’esecuzione dei font ferroviari”)

Le azioni di cui ai paragrafi precedenti sono combinate tra loro, al fine di ottenere le sollecitazioni di progetto relative agli elementi strutturali di volta in volta considerati in base a quanto prescritto dal D.M. 17 Gennaio 2018 ai paragrafi § 2.5.3 e §5.2.3.

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	62 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

– Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.1]$$

– Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.2]$$

– Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.3]$$

– Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots \quad [2.5.4]$$

– Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.5]$$

– Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots \quad [2.5.6]$$

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj} \quad [2.5.7]$$

L'analisi ragionata delle combinazioni di carico previste dalla normativa ha consentito di ridurre il numero di combinazioni considerate. Nella tabella seguente si riportano i valori di combinazioni adottati per analisi e verifiche. I valori riportati in tabella considerano già i coefficienti di combinazione previsti dalla normativa.

Tipo Combinazione	Azione principale	G1	G2	gr_traffico	Fw_Vento	Tk_ΔT	Ritiro	Viscosità	P_Precompr
SLU	gr1	1.35	1.5	1.45	0.9	0.9	1.2	1.2	1
SLU	gr2	1.35	1.5	1.45	0.9	0.9	1.2	1.2	1
SLU	gr3	1.35	1.5	1.45	0.9	0.9	1.2	1.2	1
SLU	Fw	1.35	1.5	1.16	1.5	0.9	1.2	1.2	1
SLU	Fw	1.35	1.5	1.16	1.5	0.9	1.2	1.2	1
SLU	Fw	1.35	1.5	1.16	1.5	0	1.2	1.2	1
SLU	Fw	1.35	1.5	1.16	1.5	0.9	1.2	1.2	1
SLU	Tk	1.35	1.5	1.45	0.9	1.5	1.2	1.2	1
SLU	Tk	1.35	1.5	1.45	0.9	1.5	1.2	1.2	1

ECCEZIONALE	Der	1	1	1	0	0.5	1	1	1
-------------	-----	---	---	---	---	-----	---	---	---

RARA (Caratteristica)	gr1	1	1	1	0.6	0.6	1	1	1
RARA (Caratteristica)	gr2	1	1	1	0.6	0.6	1	1	1
RARA (Caratteristica)	gr3	1	1	1	0.6	0.6	1	1	1
RARA (Caratteristica)	gr4	1	1	1	0.6	0.6	1	1	1
RARA (Caratteristica)	Fw	1	1	0	1	0.6	1	1	1
RARA (Caratteristica)	Fw	1	1	0	1	0.6	1	1	1

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	63 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

RARA (Caratteristica)	Fw	1	1	0	1	0.6	1	1	1
RARA (Caratteristica)	Fw	1	1	1	1	0.6	1	1	1
RARA (Caratteristica)	Tk	1	1	0.8	0.6	1	1	1	1
RARA (Caratteristica)	Tk	1	1	0.8	0.6	1	1	1	1
RARA (Caratteristica)	Tk	1	1	0.8	0.6	1	1	1	1
RARA (Caratteristica)	Tk	1	1	1	0.6	1	1	1	1

FREQUENTE	gr1	1	1	0.6	0	0.5	1	1	1
FREQUENTE	gr2	1	1	0.6	0	0.5	1	1	1
FREQUENTE	gr3	1	1	0.6	0	0.5	1	1	1
FREQUENTE	Fw	1	1	0	0.5	0.5	1	1	1
FREQUENTE	Fw	1	1	0	0.5	0.5	1	1	1
FREQUENTE	Fw	1	1	0	0.5	0.5	1	1	1
FREQUENTE	Tk	1	1	0	0	0.6	1	1	1
FREQUENTE	Tk	1	1	0	0	0.6	1	1	1
FREQUENTE	Tk	1	1	0	0	0.6	1	1	1

QP	Tk	1	1	0	0	0.5	1	1	1
----	----	---	---	---	---	-----	---	---	---

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0408 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 64 di 153</p>

6 EFFETTI GLOBALI - IMPALCATO

6.1 Stato limite di esercizio - SLE

Per ogni fase sono state verificate le tensioni ai lembi superiore e inferiore della trave e, una volta che la soletta diventa collaborante, anche la tensione ai lembi superiore e inferiore della soletta stessa. I limiti tensionali per l'acciaio da precompressione e per il calcestruzzo nelle varie fasi sono definiti nel D.M. 17 Gennaio 2018 al §4.1.8.1 e nel Manuale di progettazione di opere civile – parte II al §2.5.1.8.3.2.1. I limiti tensionali considerati, tengono conto del livello di maturazione del cls, secondo quanto di seguito definito.

Fase 0 e 1:

- Il tempo di maturazione per il rilascio della post-tensione è imposta ad un minimo di 9 giorni
- Il tempo di maturazione per il sollevamento della trave è imposto ad un minimo di 12 giorni
- test cls sup. : si verifica che il lembo superiore della sezione non sia in trazione per i carichi considerati
- test cls inf. : si verifica che la tensione di compressione al lembo inferiore della sezione non sia superiore al limite $0.60 \times f_{ck}$
- test precompr. : si verifica che la tensione di trazione nell'armatura di precompressione non sia superiore al limite imposto dal minimo tra $0.90 \times f_{p(0,1)k}$ e $0.80 \times f_{ptk}$

Fase 2 e 3:

- per massimizzare gli effetti il tempo maturazione è imposto a 10'000 giorni
- test cls sup.soletta : si verifica che la tensione di compressione al lembo superiore della sezione non sia superiore al limite $0.55 \times f_{ck}$ per combinazioni rare, $0.40 \times f_{ck}$ per combinazioni quasi permanenti.
- test cls inf.soletta : si verifica che la tensione di compressione al lembo inferiore della sezione non sia superiore al limite $0.55 \times f_{ck}$ per combinazioni rare, $0.40 \times f_{ck}$ per combinazioni quasi permanenti.
- test cls inf.soletta : si verifica che il lembo inferiore della sezione della sezione non sia superiore al limite $f_{ctm} / 1.2$.
- test cls sup. : si verifica che la tensione di compressione al lembo superiore della sezione non sia superiore al limite $0.55 \times f_{ck}$ per combinazioni rare, $0.40 \times f_{ck}$ per combinazioni quasi permanenti.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

- test cls inf.compr. : si verifica che la tensione di compressione al lembo inferiore della sezione non sia superiore al limite $0.55 \times f_{ck}$ per combinazioni rare, $0.40 \times f_{ck}$ per combinazioni quasi permanenti.
- test cls inf.trazione. : si verifica che il lembo inferiore della sezione non sia in trazione per i carichi considerati.
- test precompr. : si verifica che la tensione di trazione nell'armatura di precompressione non sia superiore al limite $0.80 \times f_{p(0,1)k}$

Tali verifiche sono state effettuate, a partire dalla sezione di appoggio, circa ogni 2m fino alla sezione di mezzeria. Le principali informazioni possono essere riassunte:

- Sezione 0: sezione ringrossata all'appoggio ($x=0$ m), 40 trefoli
- Sezione 1: sezione corrente posta alla fine del tratto a sez. variabile ($x=1.80$ m), 40 trefoli
- Sezione 4: sezione corrente in corrispondenza del primo traverso intermedio ($x=7.6$ m), 70 trefoli
- Sezione 6: sezione corrente in mezzeria ($x=11.3$ m), 70 trefoli

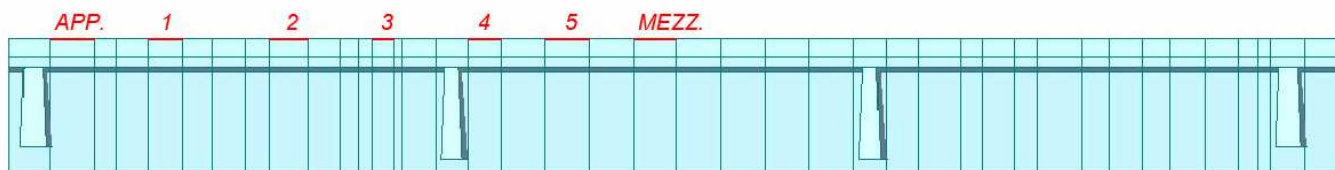



Figura 43 - Schema sezioni di calcolo

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

6.1.1 Sollecitazioni

Si riportano di seguito le sollecitazioni riscontrate nelle sezioni di verifica, dovute ai carichi elementari precedentemente descritti.

Fase 0 – condizione a vuoto – Peso Proprio

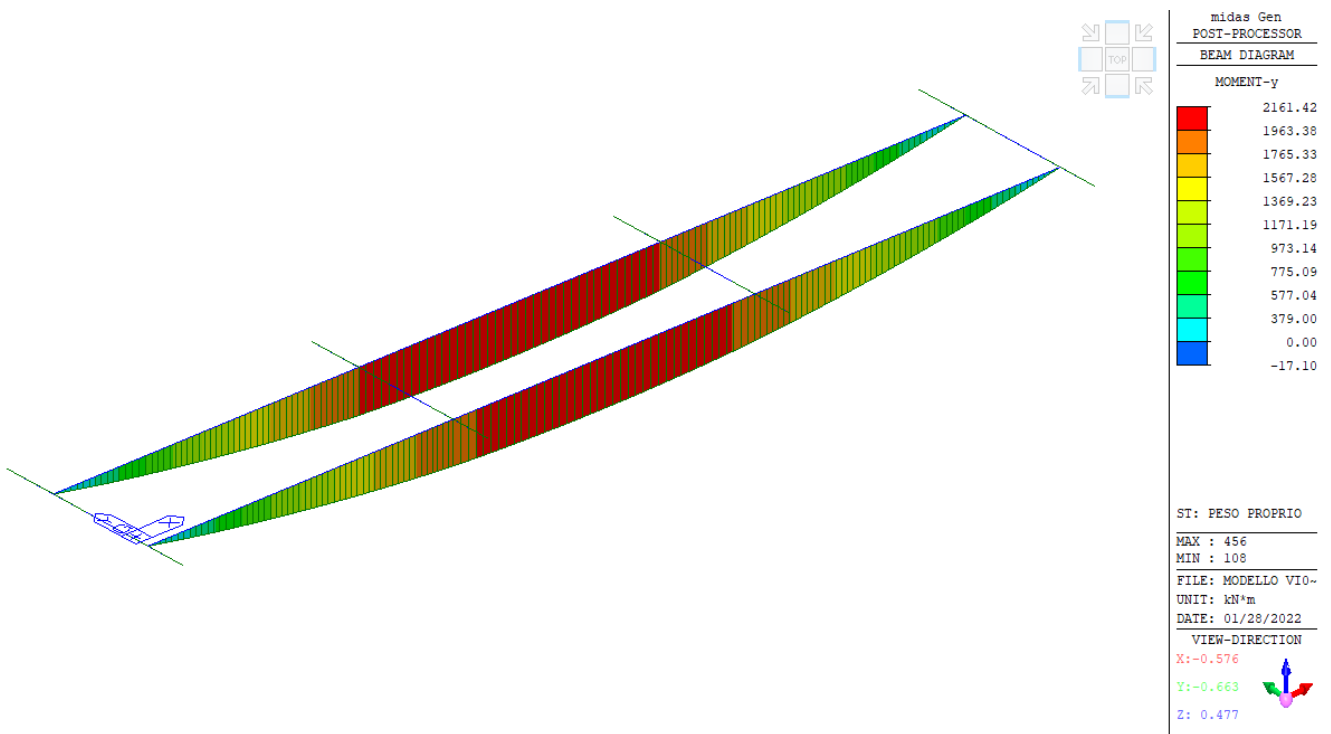



Figura 44 - Sollecitazione flessionale – peso proprio

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

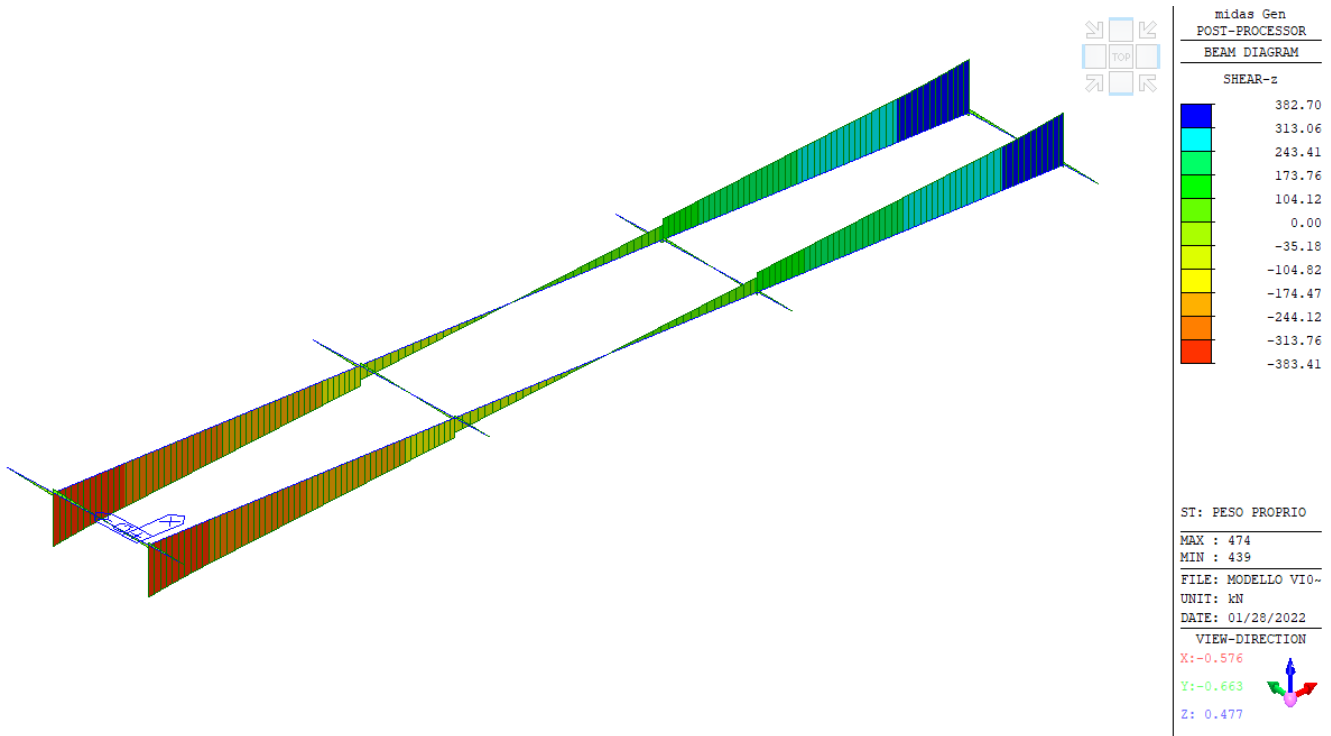


Figura 45 - Sollecitazione di taglio – peso proprio

	M (kN m)	T (kN)
appoggio	0	-383
sezione 1	620	-312
sezione 2	1147	-261
sezione 3	1676	-195
sezione 4	1961	-106
sezione 5	2130	-42
mezzeria	2161	1

Fase 1 – getto della soletta

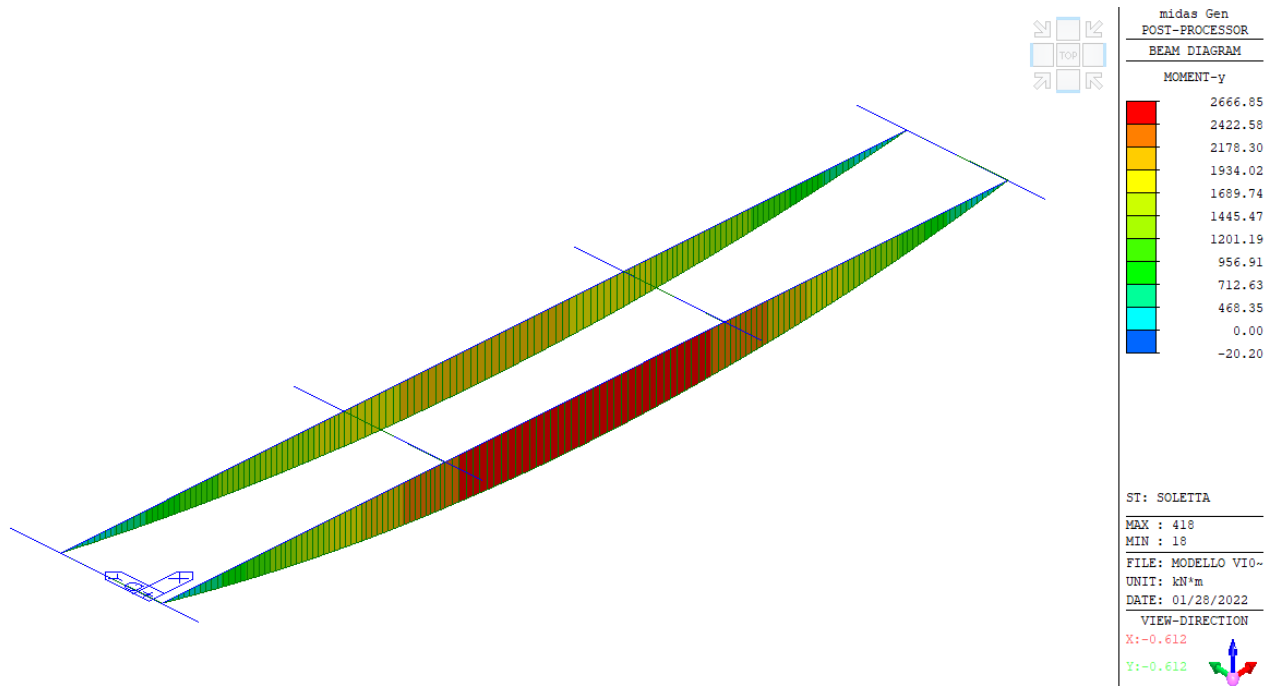


Figura 46 - Sollecitazione flessionale – Getto della soletta

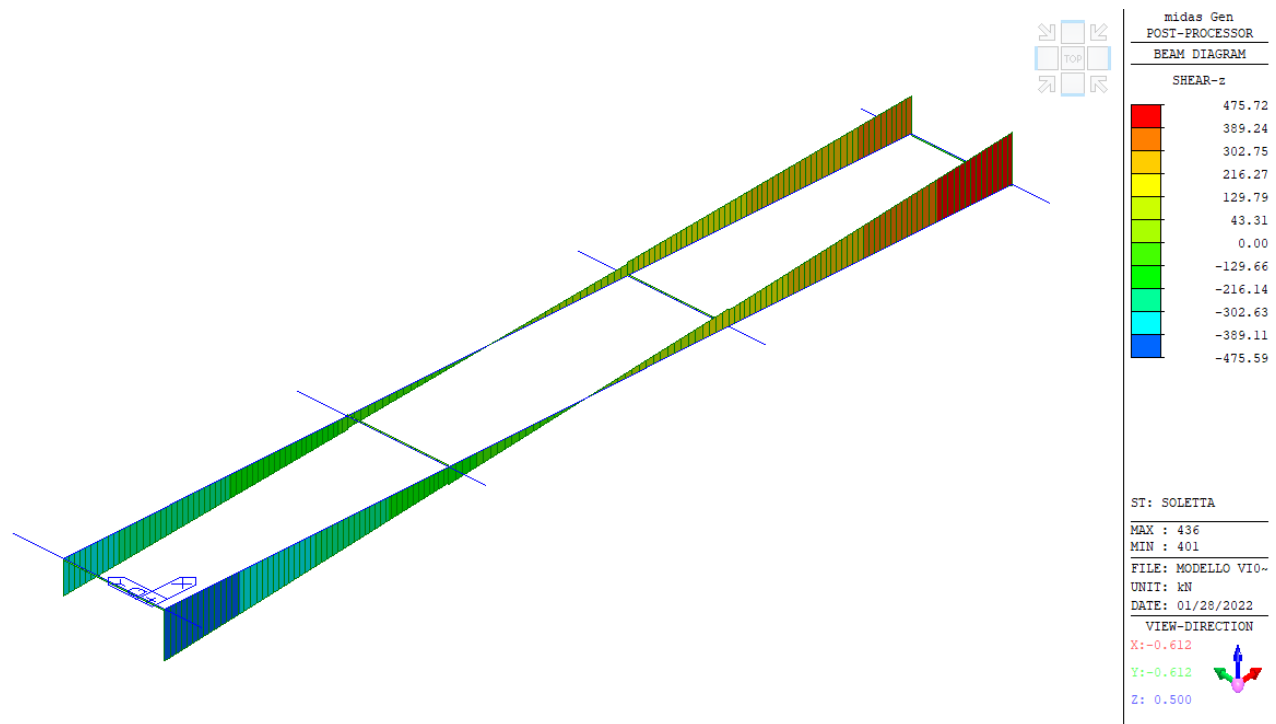


Figura 47 - Sollecitazione di taglio – Getto della soletta

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

Si riportano le sollecitazioni cumulative agenti sulle travi (Fase 1 = peso proprio + getto soletta) e quelle del solo getto della soletta.

	M (kN m)	T (kN)	M (kN m)	T (kN)
appoggio	-5	-852	-5	-468
sezione 1	1388	-703	768	-391
sezione 2	2562	-572	1415	-312
sezione 3	3698	-407	2022	-212
sezione 4	4268	-269	2307	-162
sezione 5	4695	-106	2565	-64
mezzeria	4774	2	2613	1

Fase 2 – carichi permanenti

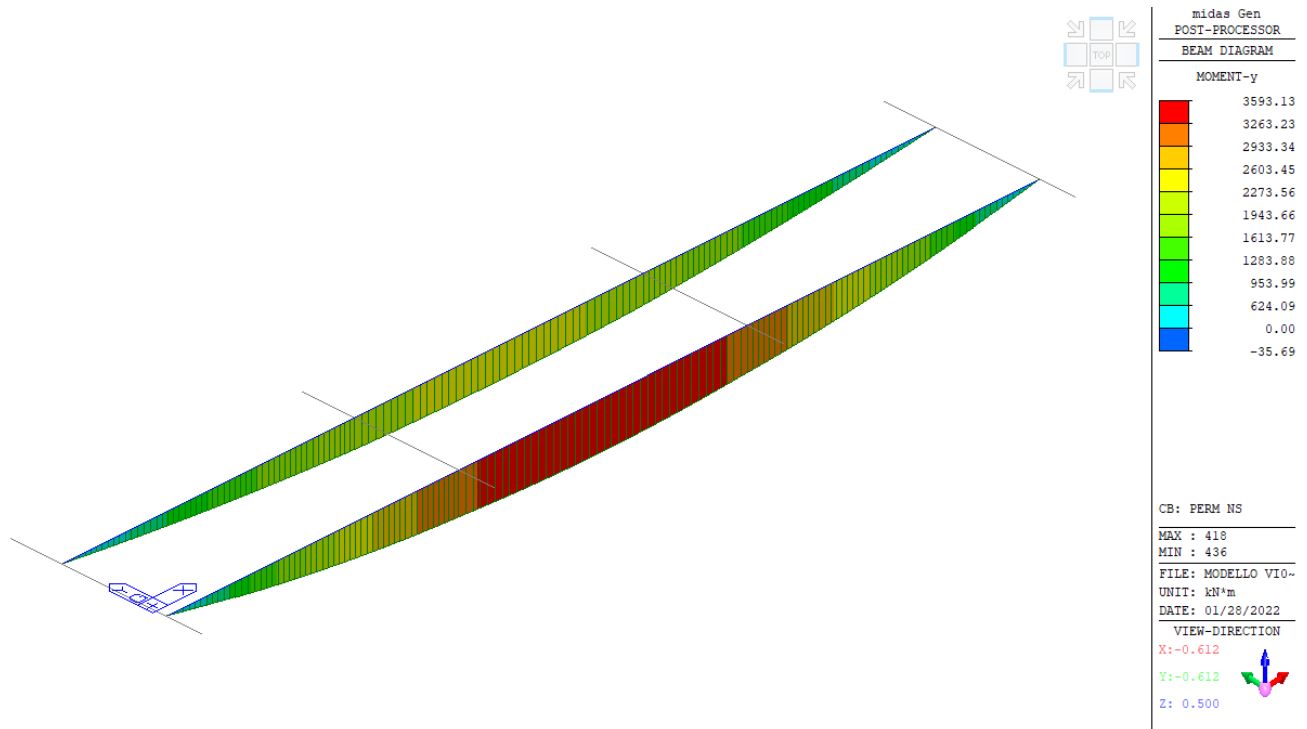


Figura 48 - Sollecitazione flessionale – carichi permanenti

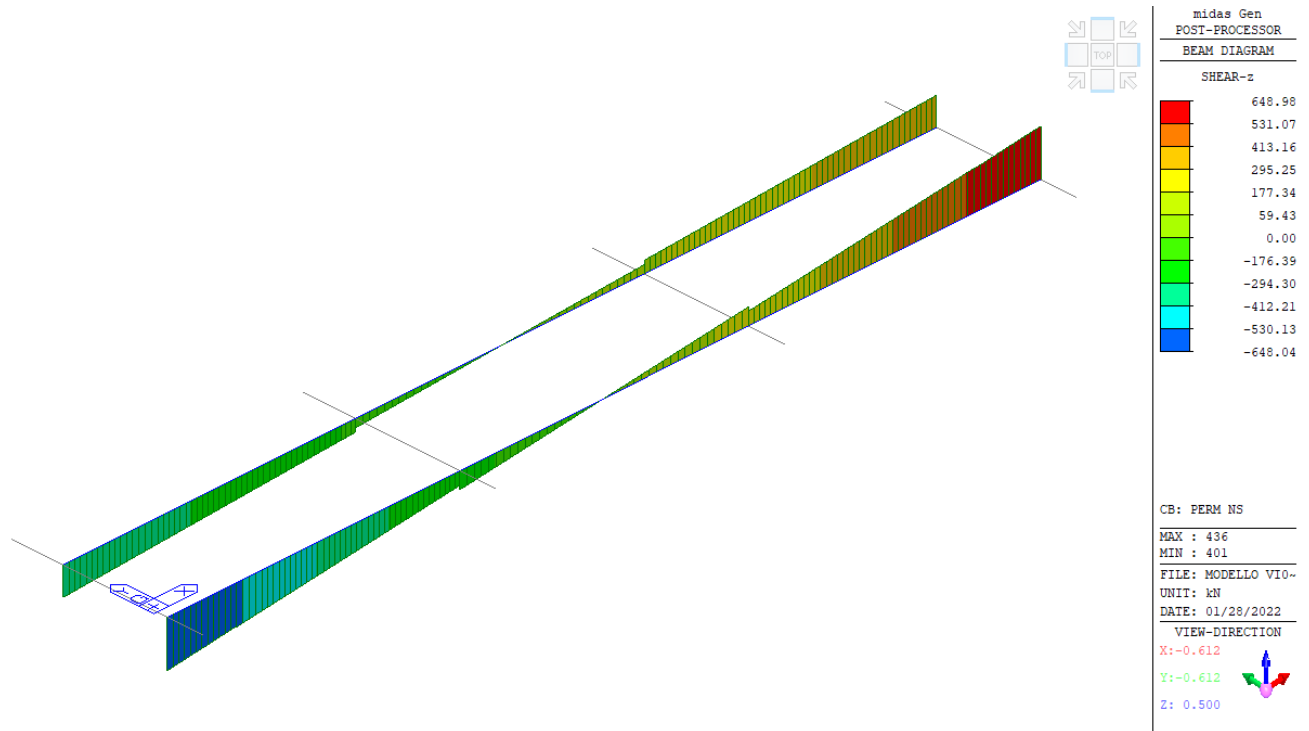



Figura 49 - Sollecitazione di taglio – carichi permanenti

Si riportano le sollecitazioni cumulative agenti sulle travi (Fase 2 = Fase 1 + carichi permanenti) e quelle dei soli carichi permanenti.

	M (kN m)	T (kN)	M (kN m)	T (kN)
appoggio	-36	-1500	-31	-648
sezione 1	2452	-1243	1064	-540
sezione 2	4515	-999	1953	-426
sezione 3	6473	-690	2776	-283
sezione 4	7424	-501	3156	-232
sezione 5	8221	-198	3525	-92
mezzeria	8367	4	3593	2

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione di calcolo impalcato VI04</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IV01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>VI0408 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>

Fase 3: condizione di servizio

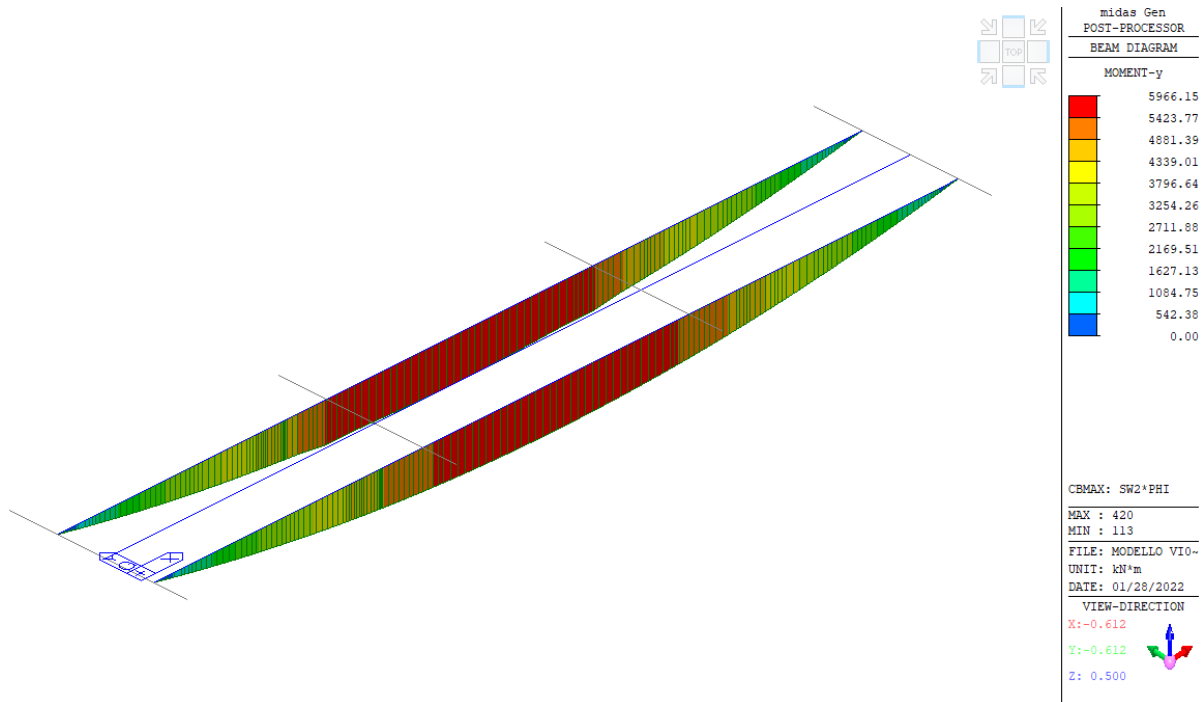


Figura 50 - Sollecitazione flessionale - involucro carichi da traffico – max tra SW2 e LM71

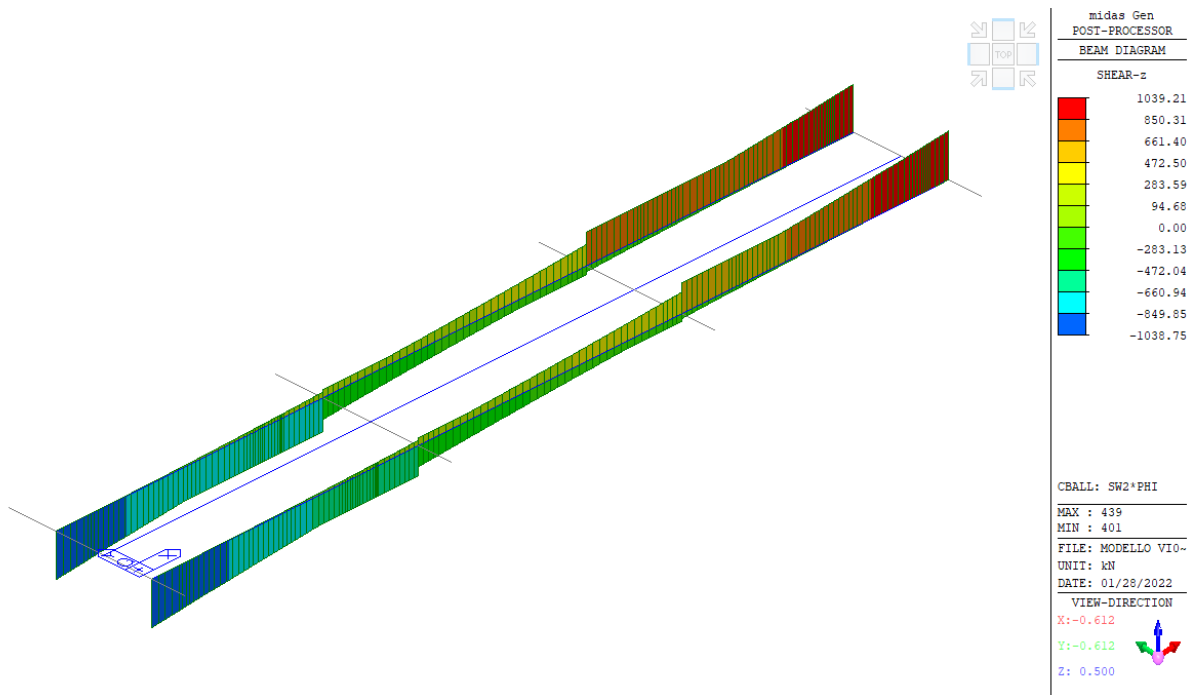



Figura 51 - Sollecitazione di taglio - involucro carichi da traffico – max tra SW2 e LM71

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Relazione di calcolo impalcato VI04</p>	<p>COMMESSA</p> <p>IV01</p>	<p>LOTTO</p> <p>00</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>VI0408 002</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>

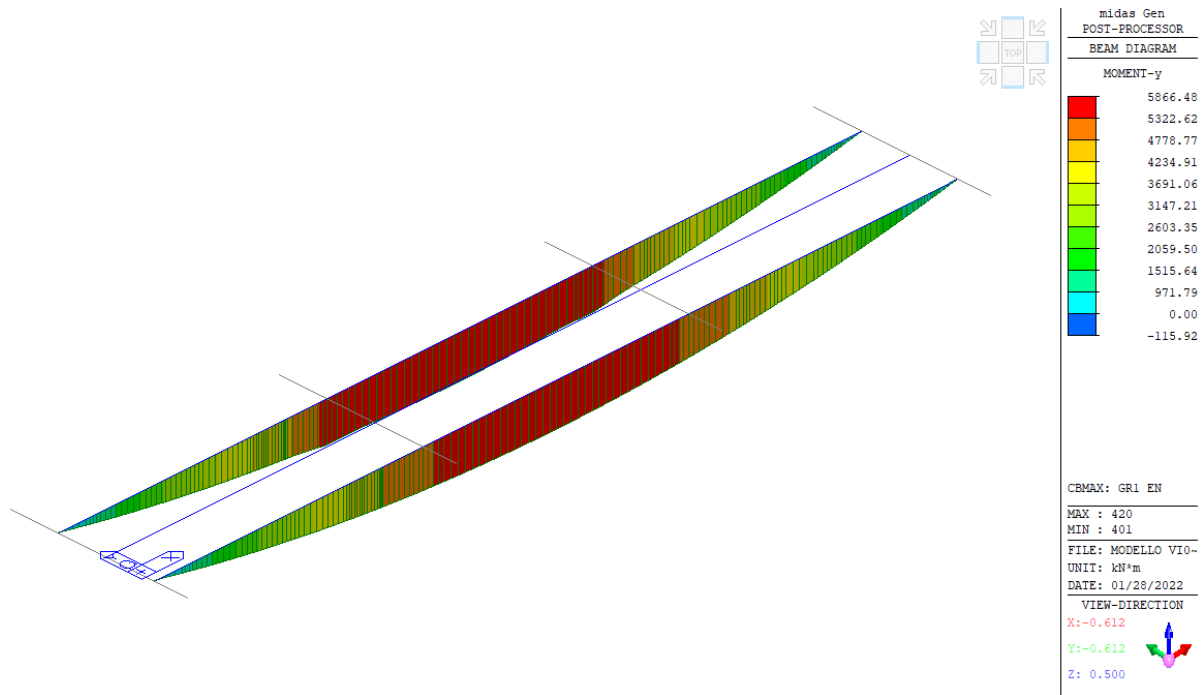


Figura 52 - Sollecitazione flessionale - involucro carichi da traffico – Gruppo 1

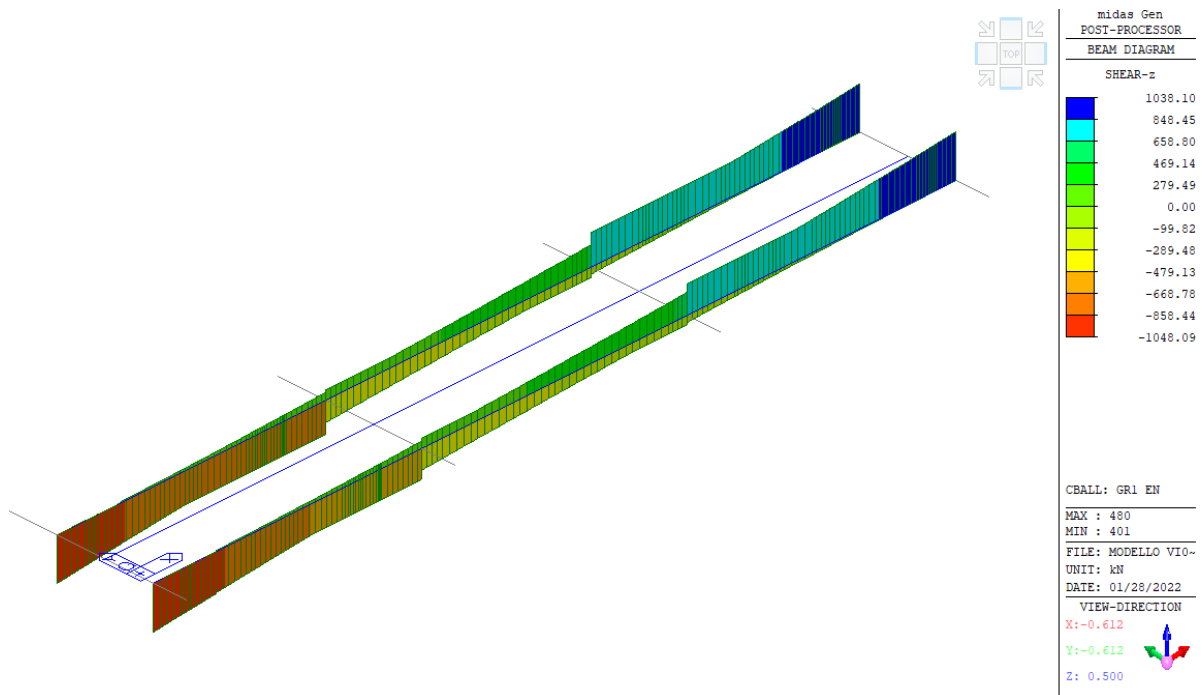



Figura 53 - Sollecitazione di taglio - involucro carichi da traffico – Gruppo 1

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

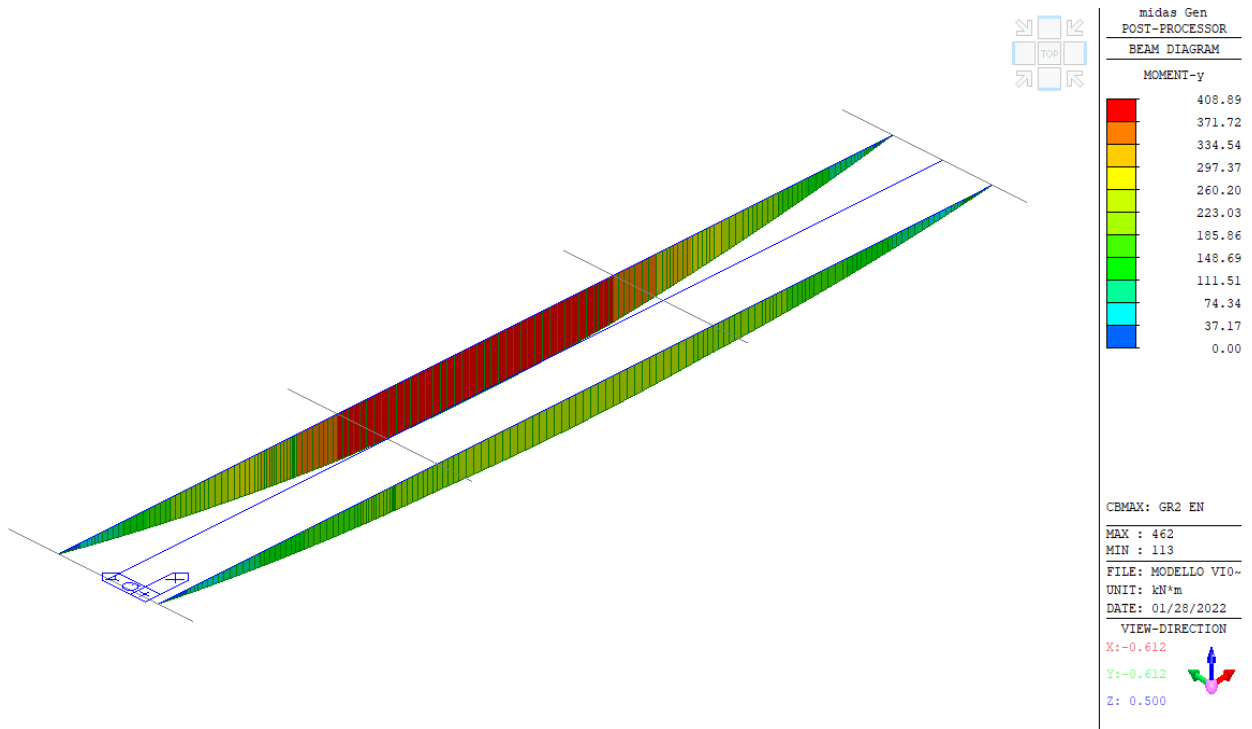


Figura 54 - Sollecitazione flessionale - involucro carichi da traffico – Gruppo 2

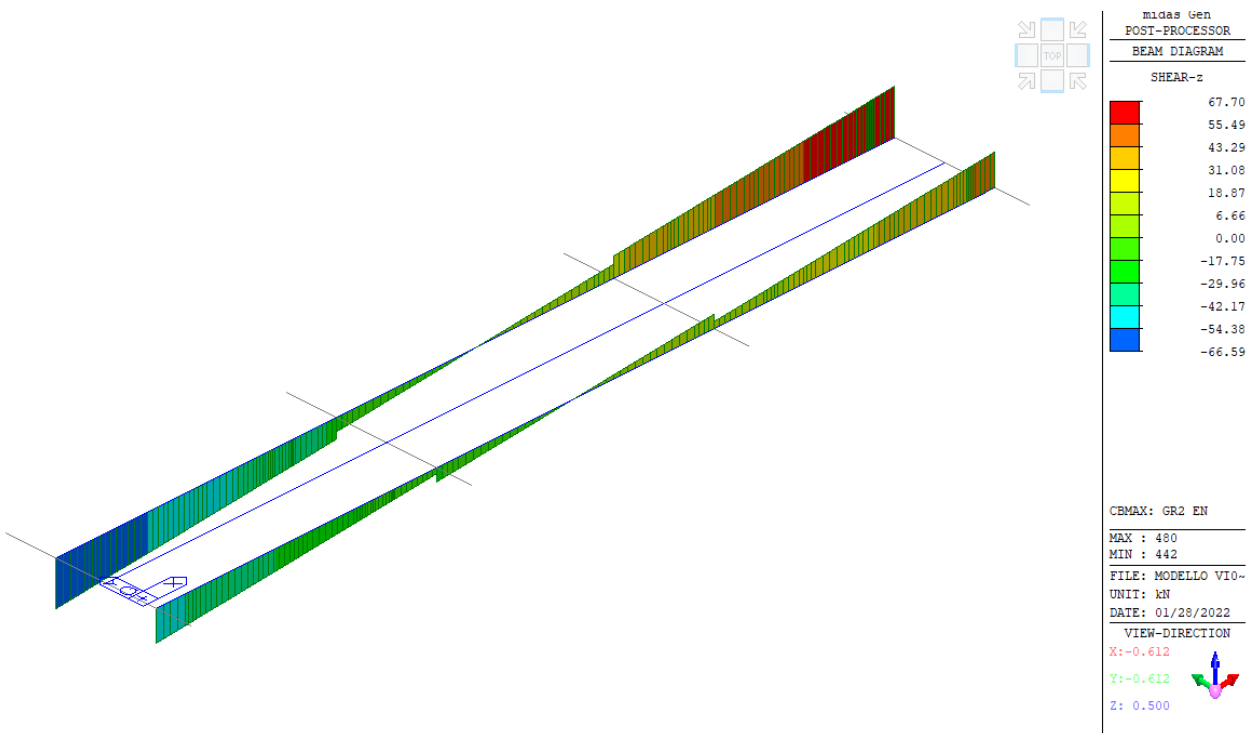


Figura 55 - Sollecitazione di taglio - involucro carichi da traffico – Gruppo 2

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	74 di 153

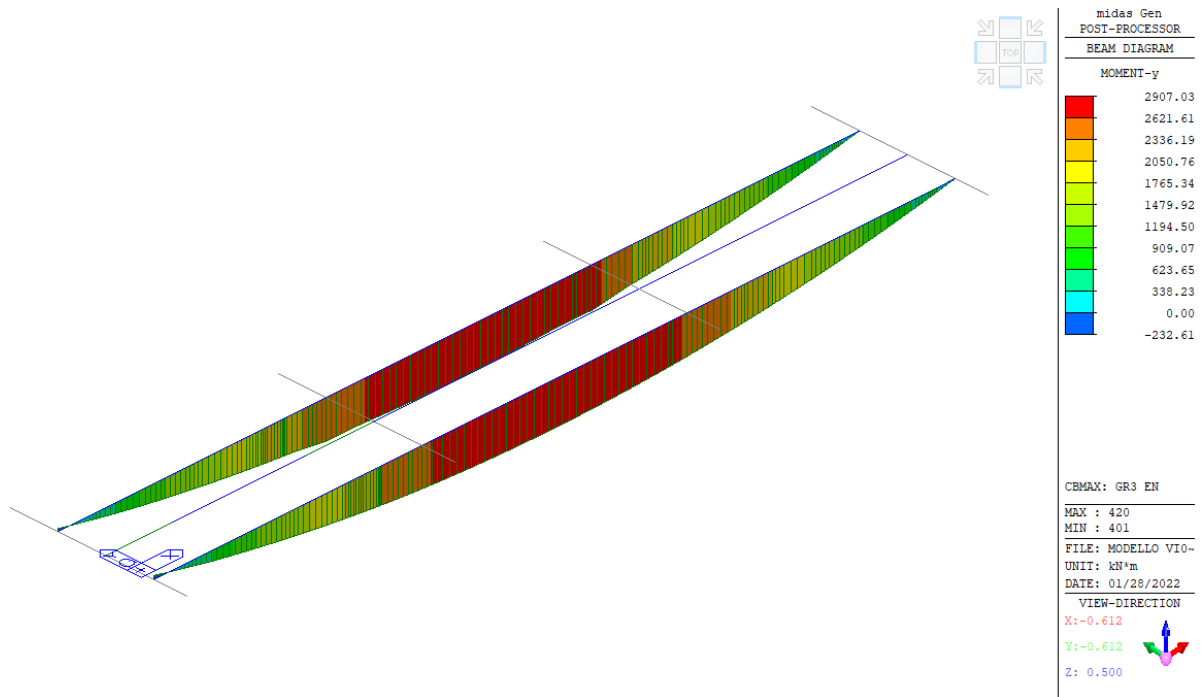


Figura 56 - Sollecitazione flessionale - involucro carichi da traffico – Gruppo 3

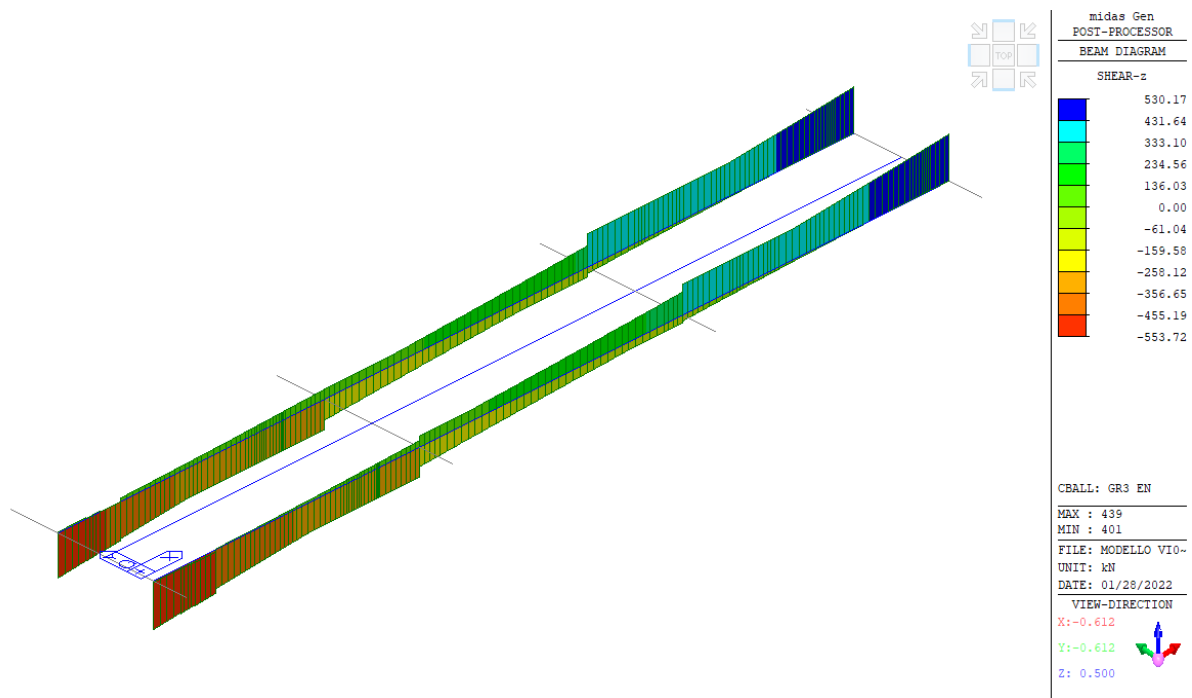


Figura 57 - Sollecitazione di taglio - involucro carichi da traffico – Gruppo 3

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	75 di 153

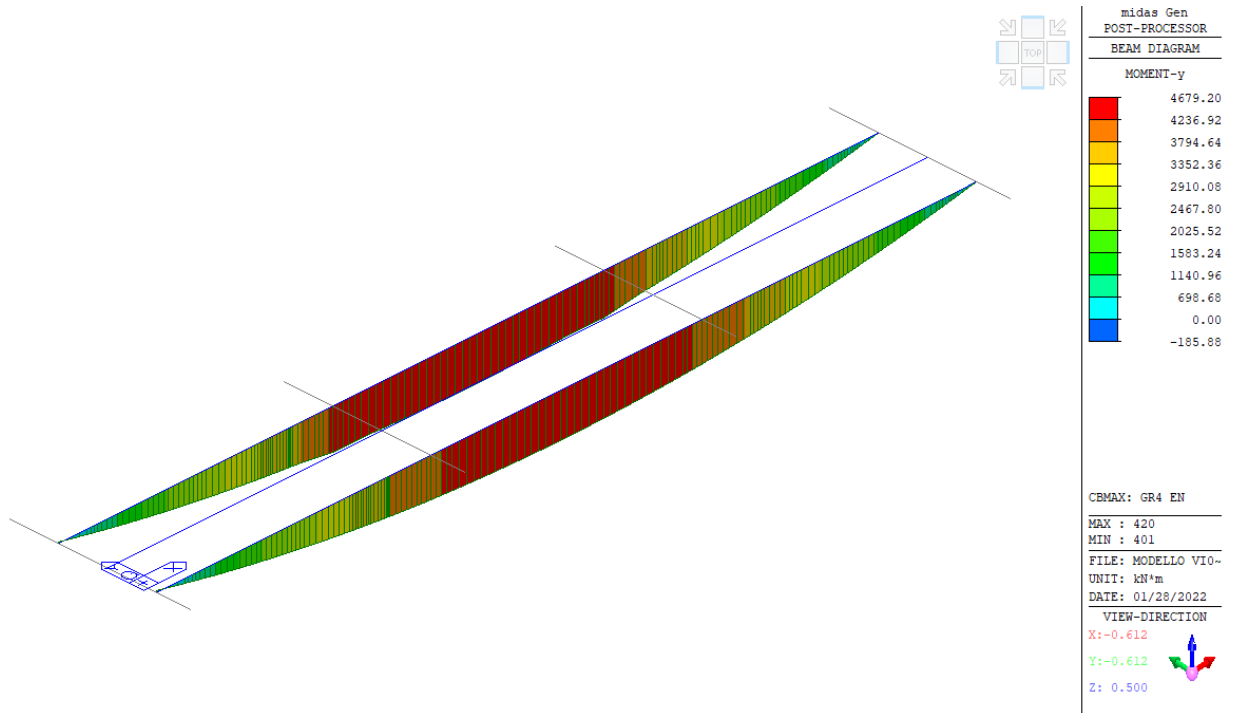


Figura 58 - Sollecitazione flessionale - involucro carichi da traffico – Gruppo 4

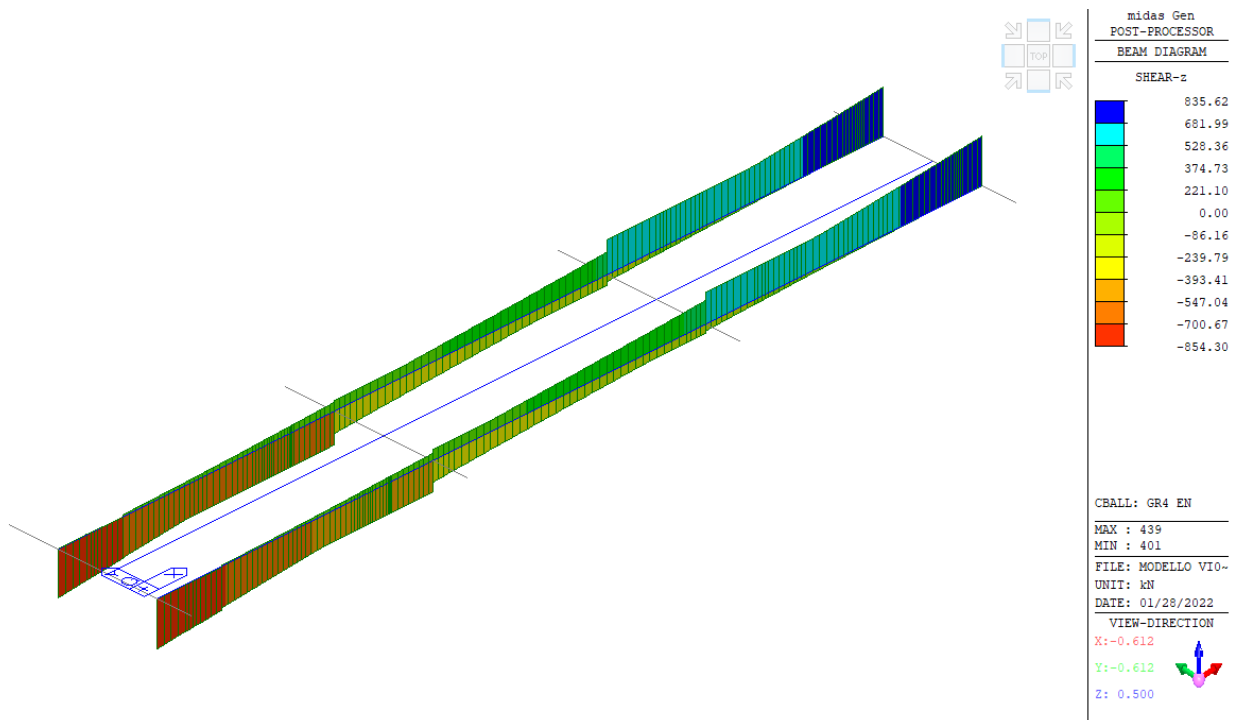


Figura 59 – Sollecitazione di taglio - involucro carichi da traffico – Gruppo 4

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	76 di 153

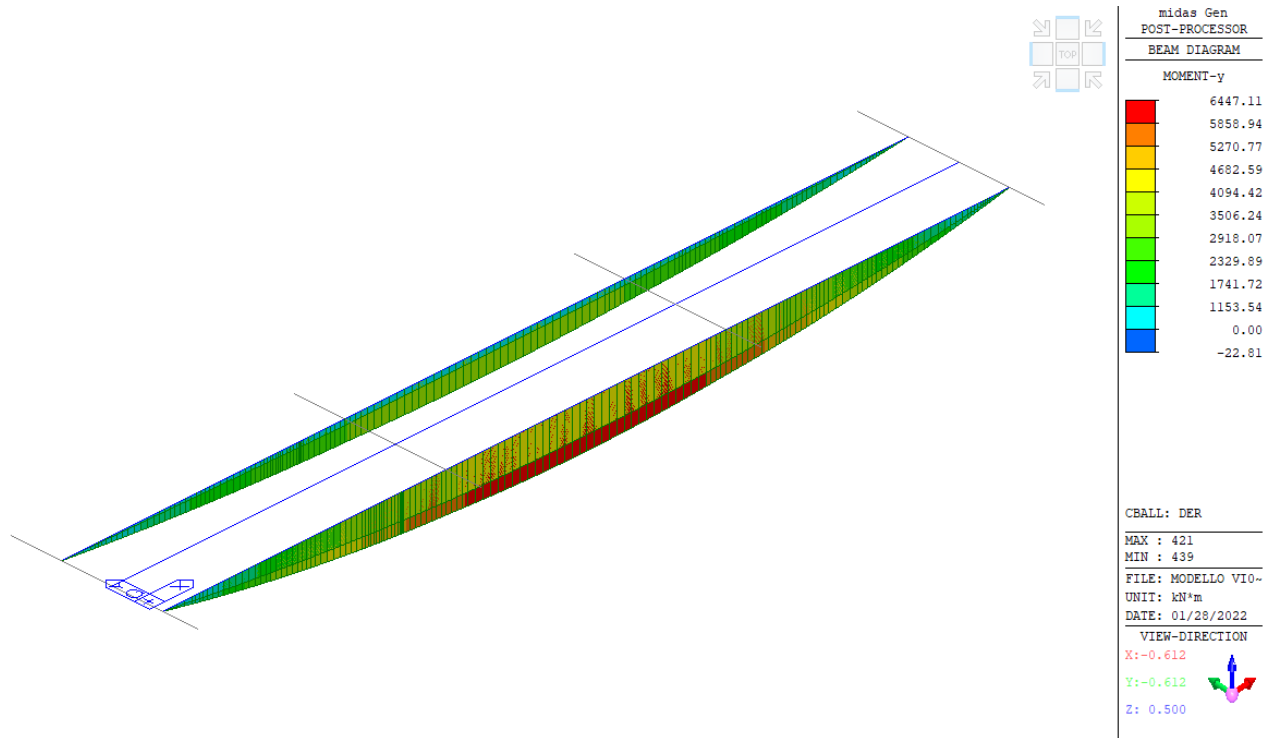


Figura 60 - Sollecitazione flessionale - involucro Deragliamento

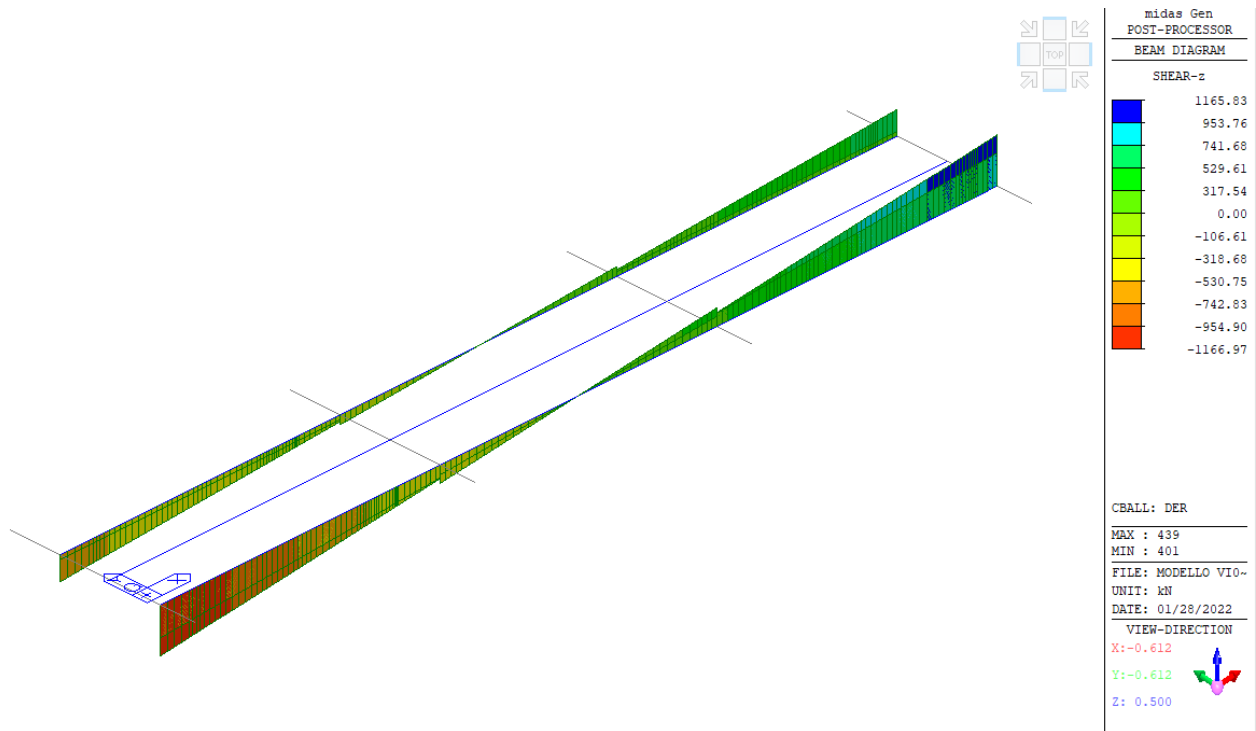


Figura 61 - Sollecitazione di taglio - involucro Deragliamento

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	77 di 153

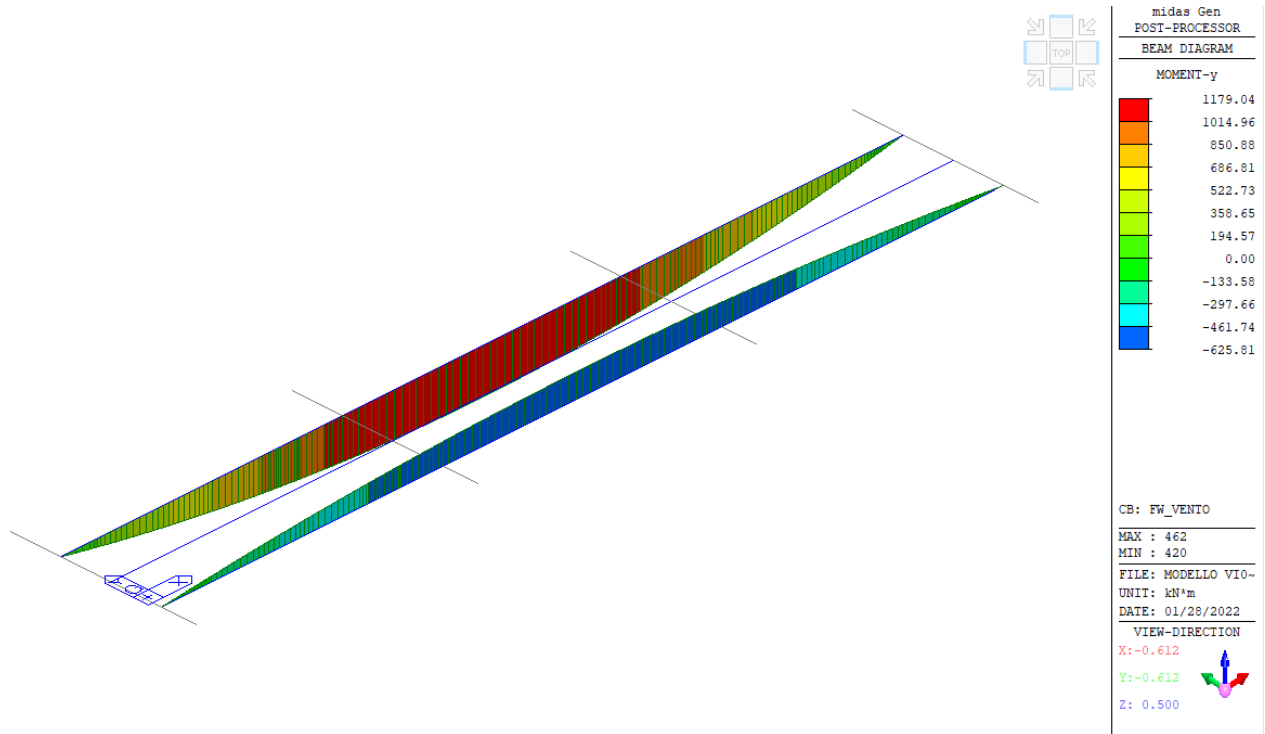


Figura 62 - Sollecitazione flessionale – carico da vento

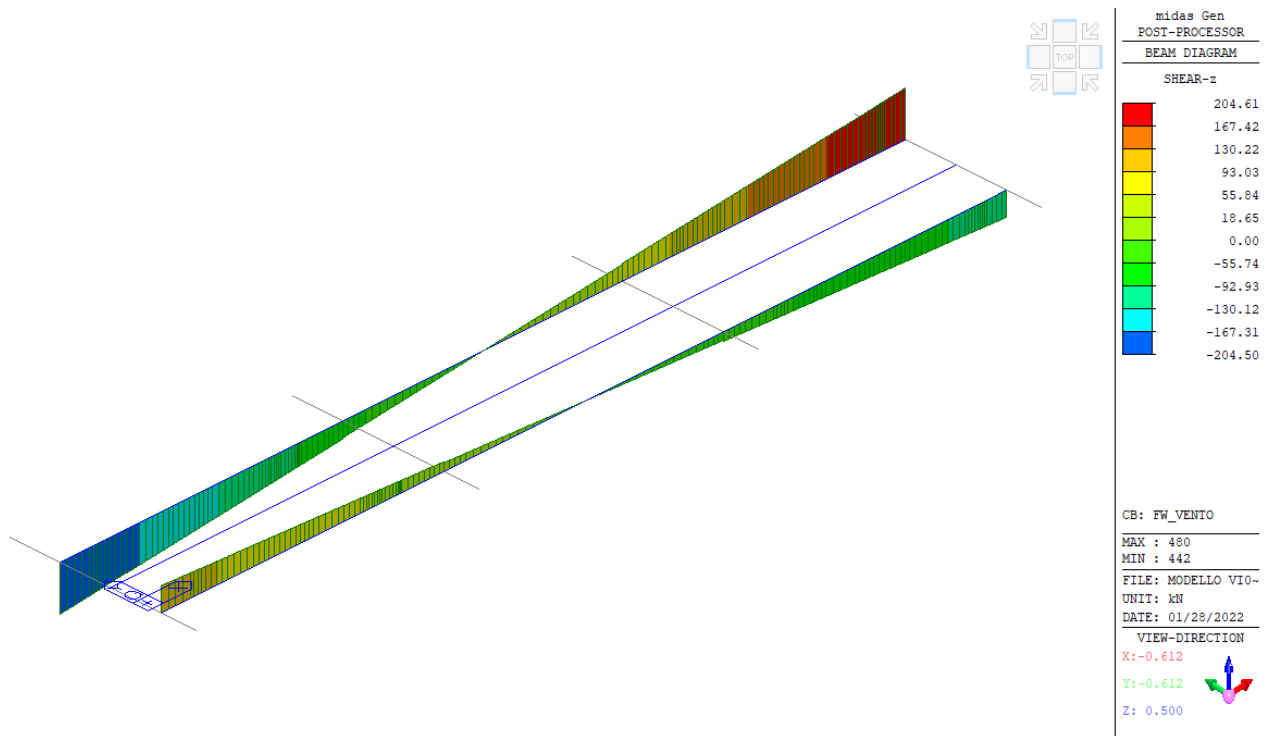


Figura 63 - Sollecitazione di taglio – carico da vento

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	78 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

Si riportano le sollecitazioni cumulative agenti sulle travi (Fase 3) in combinazione rara e frequente, e quelle dei soli carichi variabili.

Combinazione rara

	Mmax (kN m)	Tmax (kN)	Mmax (kN m)	Tmax (kN m)
appoggio	-251	-2670	-215	-1171
sezione 1	4292	-2226	1840	-983
sezione 2	8349	-1775	3834	-776
sezione 3	11531	-1409	5058	-719
sezione 4	13281	-1011	5856	-510
sezione 5	14511	-624	6290	-427
mezzeria	14942	320	6575	316

Combinazione frequente

	Mmax (kN m)	Tmax (kN)	Mmax (kN m)	Tmax (kN)
appoggio	-165	-2128	-129	-629
sezione 1	3433	-1771	981	-527
sezione 2	6566	-1417	2051	-418
sezione 3	9181	-1085	2707	-395
sezione 4	10559	-783	3135	-282
sezione 5	11588	-439	3368	-241
mezzeria	11888	194	3521	189

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

6.1.2 Verifiche tensionali

Si riportano di seguito le verifiche tensionali previste per gli SLE. Nello specifico si esplicitano i calcoli per la sezione di mezzeria della trave interna e della trave di riva, mentre per le sezioni intermedie si mostrano solo i risultati in forma grafica.

6.1.2.1 Verifiche trave centrale

6.1.2.1.1 Caratteristiche delle sezioni

Cassoncino

area della sezione in calcestruzzo	A_{cls}	11310	cm ²
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xCLS, G}$	6.35E+07	cm ⁴
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xCLS, hom1}$	6.36E+07	cm ⁴
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xCLS, G}$	1076930	cm ³

Armatura tesa

coefficiente di omogenizzazione	n_{acc}	5.37	
coefficiente di omogenizzazione di calcolo	n_{acc}	4.37	
area totale armatura tesa	A_S	97.3	cm ²
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xS, G}$	2.52E+05	cm ⁴
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xS, hom1}$	4.60E+05	cm ⁴
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xS, G}$	4601	cm ³

Sezione Netta

area netta del calcestruzzo	A_{cls}	11213	cm ²
baricentro sezione	x_G	0	cm
baricentro sezione	y_G	95.21927	cm
inerzia sezione netta	I_{xG}	6.31E+07	cm ⁴
momento statico sezione netta	S_x	1.07E+06	cm ³

Sezione

Omogenizzata1

area omogenizzata al calcestruzzo	A_{hom1}	11736	cm ²
baricentro sezione omogenizzata	x_G	0.00	cm
baricentro sezione omogenizzata	y_G	93.48	cm

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	80 di 153

inerzia sezione omogenizzata I_{xG} 6.56E+07 cm⁴
 momento statico sezione omogenizzata S_x 1.10E+06 cm³

Sezione di Calcolo

area omogenizzata al calcestruzzo Ahom1 11735.63 cm²
 baricentro sezione omogenizzata xG 0 cm
 baricentro sezione omogenizzata yG 93.48082 cm
 inerzia sezione omogenizzata I_{xG} 6.56E+07 cm⁴
 momento statico sezione omogenizzata S_x 1.10E+06 cm³

6.1.2.1.1.1 Sezione iniziale

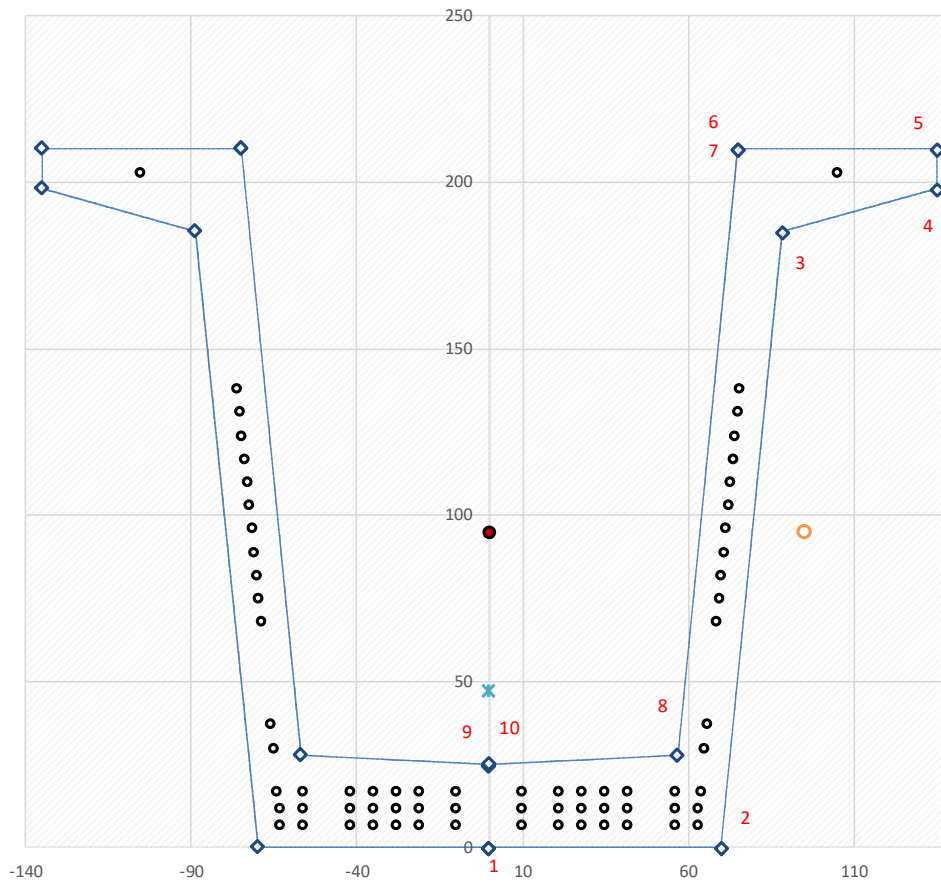


Figura 64 - Sezione iniziale

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	81 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

6.1.2.1.1.2 Sezione composta – breve termine

Cassoncino

area della sezione in calcestruzzo	A_{cls}	11310	cm ²
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xcls, G}$	6.35E+07	cm ⁴
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xcls, hom2}$	9.43E+07	cm ⁴
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xcls, G}$	1076930	cm ³

Soletta

coefficiente di omogenizzazione di calcolo	n_{sol}	0.94	
area della sezione in calcestruzzo	A_{sol}	8160	cm ²
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xsol, G}$	6.12E+05	cm ⁴
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xsol, hom2}$	5.63E+07	cm ⁴
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xsol, G}$	1.88E+06	cm ³

Armatura tesa

coefficiente di omogenizzazione	n_{acc}	5.37	
coefficiente di omogenizzazione di calcolo	n_{acc}	4.37	
area totale armatura tesa	A_S	97.30	cm ²
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xS, G}$	2.52E+05	cm ⁴
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xS, hom2}$	1.23E+06	cm ⁴
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xS, G}$	4601	cm ³

Sezione omogenizzata2

area omogenizzata al calcestruzzo	A_{hom2}	19399	cm ²
baricentro sezione omogenizzata	X_G	0.00	cm
baricentro sezione omogenizzata	Y_G	147.41	cm
inerzia sezione omogenizzata	I_{xG}	1.53E+08	cm ⁴
momento statico sezione omogenizzata	S_x	2.86E+06	cm ³

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	82 di 153

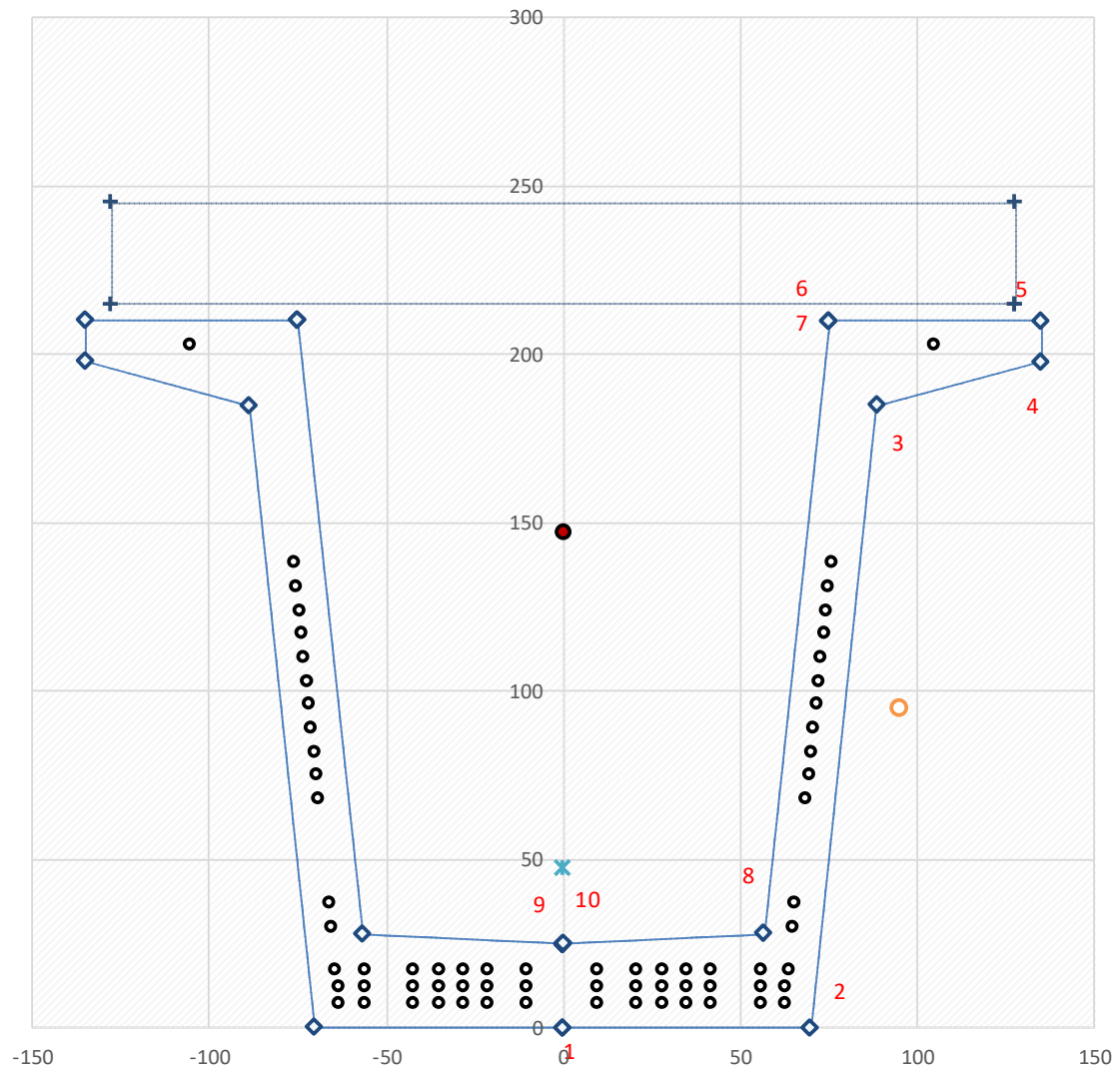


Figura 65 - Sezione omogenizzata - breve termine

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

6.1.2.1.1.3 Sezione composta – lungo termine

coefficiente di viscosità a tempo infinito cassone	$\varphi_{00}(t, t_{00})$	1.864
coefficiente di viscosità a tempo infinito soletta	$\varphi_{00}(t, t_{00})$	1.945
coefficiente di omogenizzazione di calcolo	n_{sol}	0.91
coefficiente di omogenizzazione di calcolo	n_{acc}	12.53

Sezione omogenizzata3

area omogenizzata al calcestruzzo	A_{hom3}	19983	cm ²
baricentro sezione omogenizzata	x_G	0.00	cm
baricentro sezione omogenizzata	y_G	142.57	cm
inerzia sezione omogenizzata	I_{xG}	1.61E+08	cm ⁴
momento statico sezione omogenizzata	S_x	2.85E+06	cm ³

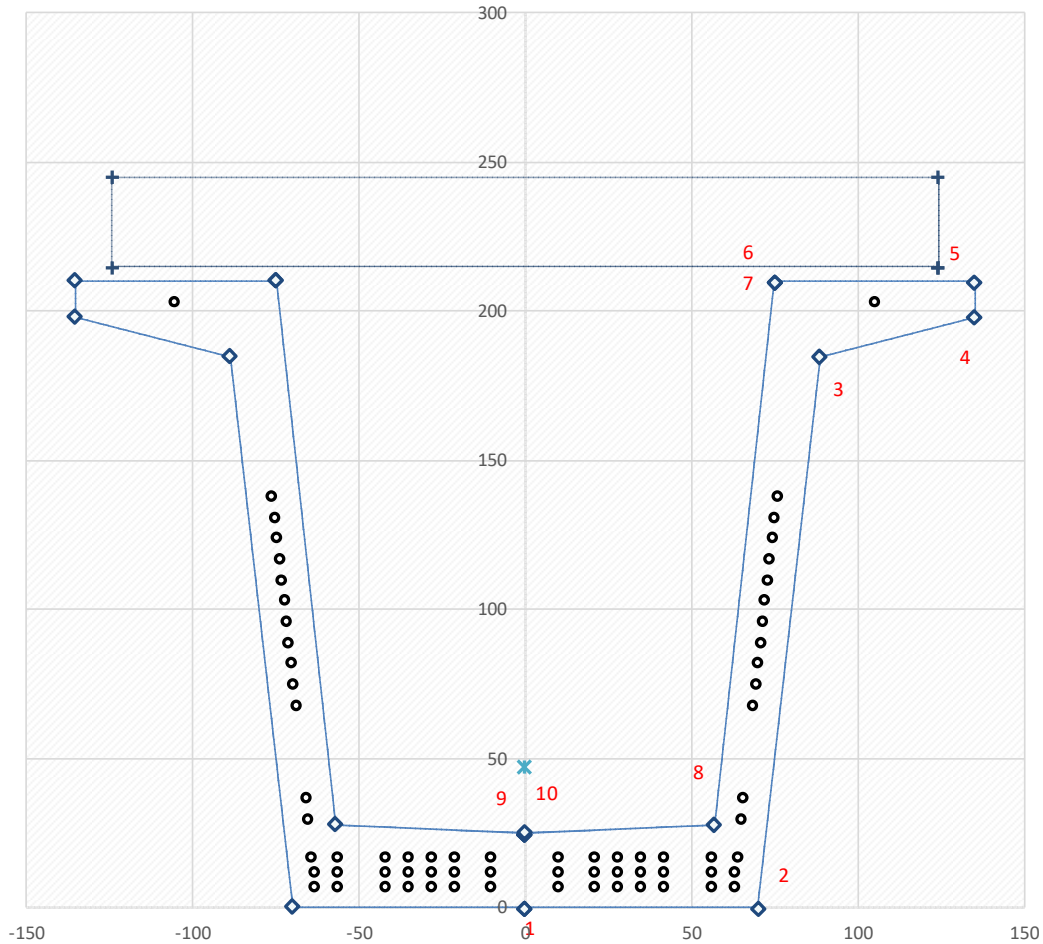


Figura 66 - Sezione omogenizzata - lungo termine

6.1.2.1.2 Fase 0 – Rilascio precompressione e PP

Limitazioni tensionali alla tesatura

tensione massima sull'armatura in fase di tesatura	$\sigma_{t,0 \max}$	1488	MPa
ten. max al martinetto garantendo il $\pm 5\%$ di precisione	$\sigma_{t',0 \max}$	1572	MPa
ten. max sull'armatura in esercizio (perdite avvenute)	$\sigma_{t,1 \max}$	1336	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	85 di 153

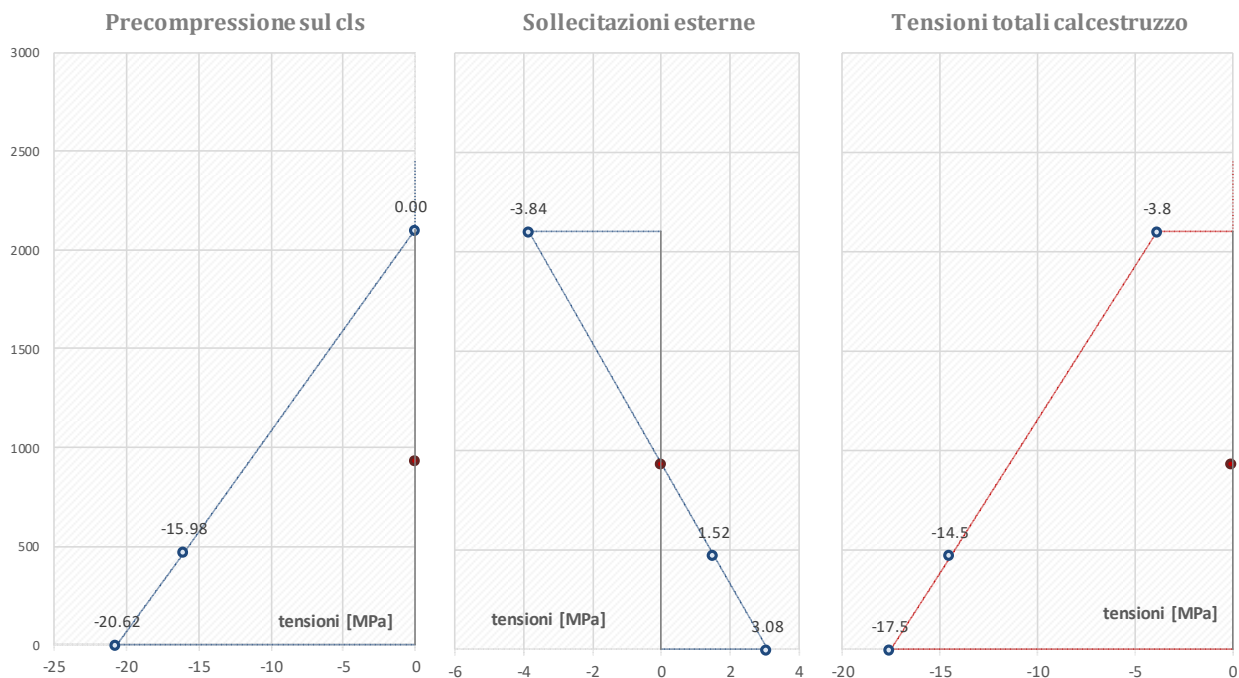
Relazione di calcolo impalcato VI04

tensione del cavo sul banco di tiraggio	$\sigma_{t,0}$	1,380	MPa
forza di precompressione sulla pista di tensione	P_0	13,427	KN
distanza tra il baricentro della sezione e il cavo	y	479	mm
area dei cavi precompressi	A_t	9,730	mm ²
modulo elastico del calcestruzzo al tempo t	E	34,658	MPa
coefficiente di omogenizzazione	n	4.37	
area della sezione omogenizzata	A_{hom1}	1.17E+06	mm ²
inerzia della sezione omogenizzata	I_{hom1}	6.56E+11	mm ⁴
forza di prec. al momento del taglio (perdite elastiche)	P_1	12,751	KN
tensione del cavo al momento del taglio (perdite elastiche)	$\sigma_{t,1}$	1,311	MPa
perdita di tensione nel cavo per def. elastica cls	$\Delta\sigma_{t,1}$	69.5	MPa
perdite istantanee di precompressione		5.0%	
spostamento del cavo all'atto della tesatura	∂o	7.1E-03	mm/ m
spostamento adimens del calcestruzzo	∂c	3.6E-11	mm/ m
spostamento adimens dell'acciaio	∂s	5.3E-10	mm/ m
Forza rimanente dopo il recupero del cavo	P_1	12,570	KN
perdite istantanee di precompressione	$\Delta\sigma_{t,1}$	88.1	MPa
		6.4%	
momento dovuto al peso proprio della trave	$M_{pp,trave}$	2161	kN m
tensione nel cavo a fine fase 0	$\sigma_{t,F0}$	1,299	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	86 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04



Limitazioni tensionali del calcestruzzo

tensione limite all'atto della precompressione
tensione limite di esercizio a cadute avvenute

$\sigma_{t,1 \max}$	22.49	MPa
$\sigma_{t,0 \max}$	24.75	MPa

tensione del calcestruzzo nel lembo superiore
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore
tensione nel cavo a fine fase 0

$\sigma_{cls,1}$	-3.85	> -22.49	MPa
$\sigma_{cls',1}$	-14.45	> -22.49	MPa
$\sigma_{cls'',1}$	-17.54	> -22.49	MPa
$\sigma_{t,F0}$	1,299	< 1336	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	87 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

6.1.2.1.3 Fase 1 – Getto della soletta

<i>momento dovuto al peso della soletta</i>	<i>M_{sol, trave}</i>	2010	kN m
<i>Ritiro</i>			
giorno attuale per calcolo ritiro del cassoncino	t	10000	giorni
perimetro di cls esposto all'aria	u	11846.6	mm
dimensione fittizia pari a 2A _c /u A _c	h ₀	198.1	mm
umidità relativa	UR	70	%
deformazione massima per essiccamento	ε _{c0}	-0.000294	
parametro per calcolo deformazione a tempo ∞	k _h	0.853	
deformazione per ritiro da essiccamento a tempo ∞	ε _{cd∞}	-0.000251	
coefficiente di calcolo	β _{ds(t, t_s)}	0.9895912	
deformazione per ritiro da essiccamento a tempo t	ε _{cd(t)}	-0.00028	
resistenza caratteristica del calcestruzzo	f _{ck}	45	MPa
valore m della deformazione per ritiro autogeno	ε _{ca}	-8.75E-05	
deformazione totale per ritiro	ε _{cs} = ε _{cd(t)} + ε _{ca}	-3.67E-04	
variazione tensionale nel caso per effetto del ritiro	Δσ _{cs} = -E _s ε _{cs}	-71.62	MPa
<i>Viscosità</i>			
effetto del tipo di cemento sulla viscosità	α	0	
tempo equivalente di applicazione del carico	t ₀	9	giorni
coef. Funzione della resistenza del cls	β(f _{cm})	2.31	
resistenza media del calcestruzzo	f _{cm}	53.00	N/mm ²
coef. Funzione della maturazione del cls	β(t ₀)	0.61	
coef. Funzione dell u.r. e di h ₀	β _H	500.3	
coef. Che descrive l'evoluzione viscosa	β(t, t ₀)	0.99	
coef. Per tenere conto dell resistenza del cls	α ₃	0.813	
coef. Per tenere conto dell resistenza del cls	α ₂	0.920	
coef. Per tenere conto dell resistenza del cls	α ₁	0.748	

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	88 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

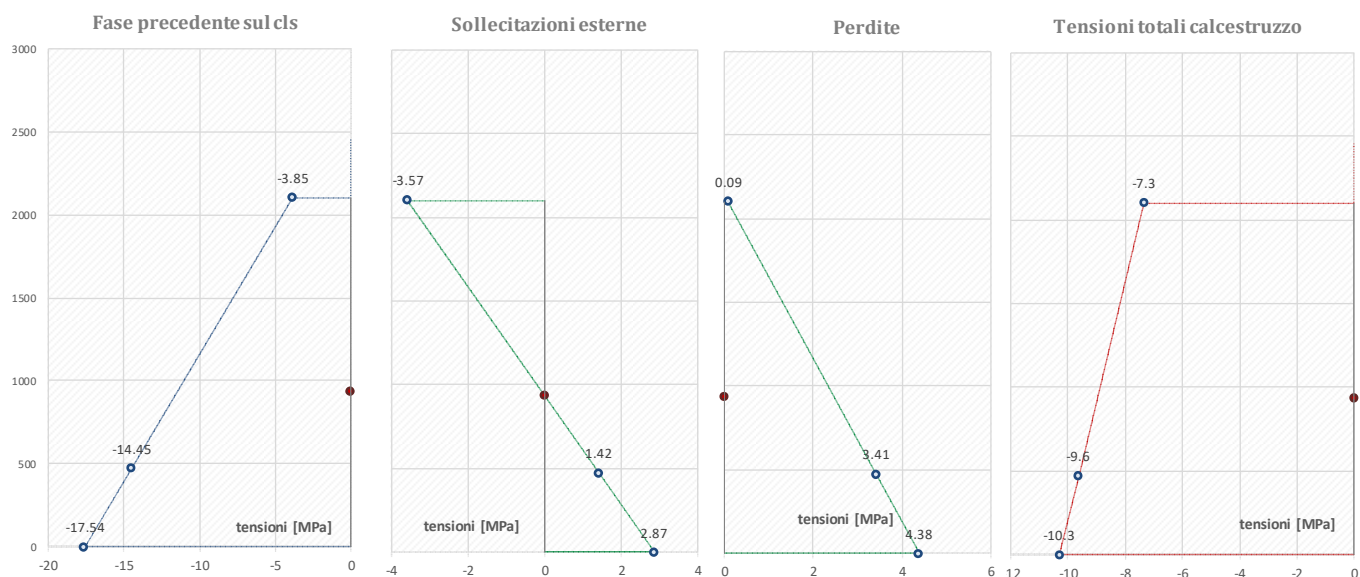
coef. Funzione dell'umidità relativa	φ_{RH}	1.354	
coefficiente normale di viscosità	φ_0	1.982	
coefficiente di viscosità al tempo t0	$\varphi_0(t, t_0)$	1.864	
coefficiente di viscosità al tempo t1	$\varphi_0(t, t_1)$	1.856	
		viscosità lineare	
controllo tensione massima CLS <0.45fcm =>			
coefficiente di viscosità di riferimento al tempo t	$\varphi_0(t, t_0)$	1.864	
coefficiente di viscosità di riferimento al tempo t	$\varphi_0(t, t_1)$	1.856	
modulo del calcestruzzo al tempo t0	E_{t0}	36283	MPa
funzione di fluage iniziale - (della sola parte viscosa)	$J(t, t_0)$	5.4E-05	
coefficiente di invecchiamento	$\chi(t, t_0)$	0.80	
funzione di fluage incremento di carico - (della sola parte viscosa)	$J(t, t_1)$	4.3E-05	
deformazione totale indotta dalla viscosità Gcavo	$\varepsilon_v = \sigma_{t0} J_{t0} + \Delta\sigma_{t1} J_{t1}$	-1.05E-03	
variazione tensionale nel caso per effetto della viscosità	$\Delta\sigma_v = -E_s \varepsilon_v$	-205.25	MPa
Rilassamento			
classe di armatura di precompressione		Classe 2	
percentuale di perdita a 1000h	ρ_{1000}	2.50	%
rapporto tra valore carat. e tensione	μ	0.78	
perdite per rilassamento a tempo t	$\Delta\sigma_{ril(t)}$	-75.45	MPa
inerzia della sezione in cls	I_{cls}	6.56E+07	cm ⁴
area della sezione in cls	A_{cls}	11213	cm ²
eccentricità del cavo rispetto al baricentro cls	e	47.93	cm
perdita totale di precompressione nel cavo al tempo t	$\Delta\sigma_{pr(t)}$	-297.98	cm
perdita di precompressione (corrisponde a trazione nel cls)	$\Delta N_{pr(t)}$	2899	kN

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	89 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

coefficiente di omogenizzazione	n	4.37	
area della sezione omogenizzata	A_{hom1}	1.17E+06	mm ²
inerzia della sezione omogenizzata	I_{hom1}	6.56E+11	mm ⁴
tensione nel cavo a fine fase 1	$\sigma_{t,1}$	1006.76	MPa



6.1.2.1.4 Fase 2 – Permanenti non strutturali

momento dovuto al peso dei non strutturali	MG2	2347	kN m
giorno attuale per calcolo delle perdite lente	t	170	giorni

Effetto del ritiro differenziale

variazione di deformazione per effetto del ritiro differenziale	$\Delta\epsilon_{ri}$	-3.1E-04	
tensione da ritiro propria della soletta	σ_{ri}	-10.59	MPa

coefficiente di viscosità al tempo t2 della soletta	$\varphi_0(t, t_2)$	1.95	
modulo elastico soletta la tempo t2	$E_s(t)$	33704.59	MPa
tensione nella soletta per ritiro differenziale (viscosità)	σ_{vi}	-3.60	MPa

Si ipotizza che la forza di compressione trasmessa al cassoncino sia proprio uguale alla tensione media da ritiro

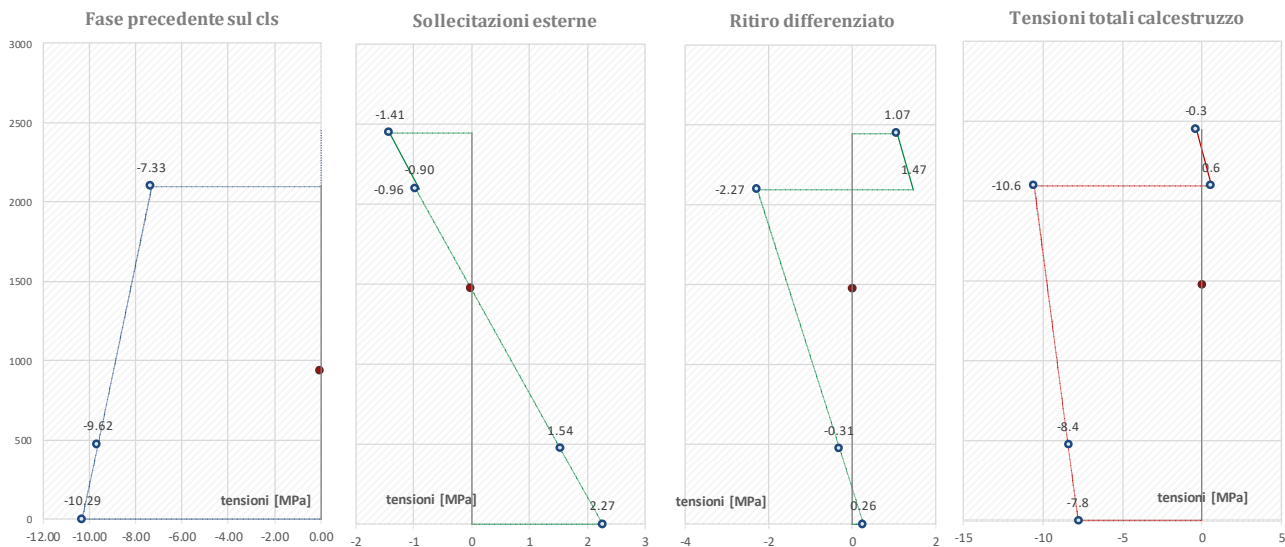
quindi la forza di compressione

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	90 di 153

sforzo di compressione sul cassoncino	N_{ri}	-2935	kN
distanza superficie di contatto baricentro sezione	e	625.9	mm
eccentricità del cavo rispetto al baricentro della sezione	e	100.13	cm
perdita totale di precompressione nel cavo al tempo t	$\Delta\sigma_{pr(t)}$	0.00	cm
perdita di precompressione (corrisponde a trazione nel cls)	$\Delta N_{pr(t)}$	0	kN
coefficiente di omogenizzazione soletta	n	0.94	
coefficiente di omogenizzazione acciaio	n	4.37	
area della sezione omogenizzata	A_{hom2}	1.94E+06	mm ²
inerzia della sezione omogenizzata	I_{hom2}	1.53E+12	mm ⁴
tensione nel cavo a fine fase 2	$\sigma_{t,2}$	1012.15	MPa



tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta	$\sigma_{cls,3}$	-0.34	> -18.39	MPa
tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta	$\sigma_{cls',3}$	0.56	< 2.57	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

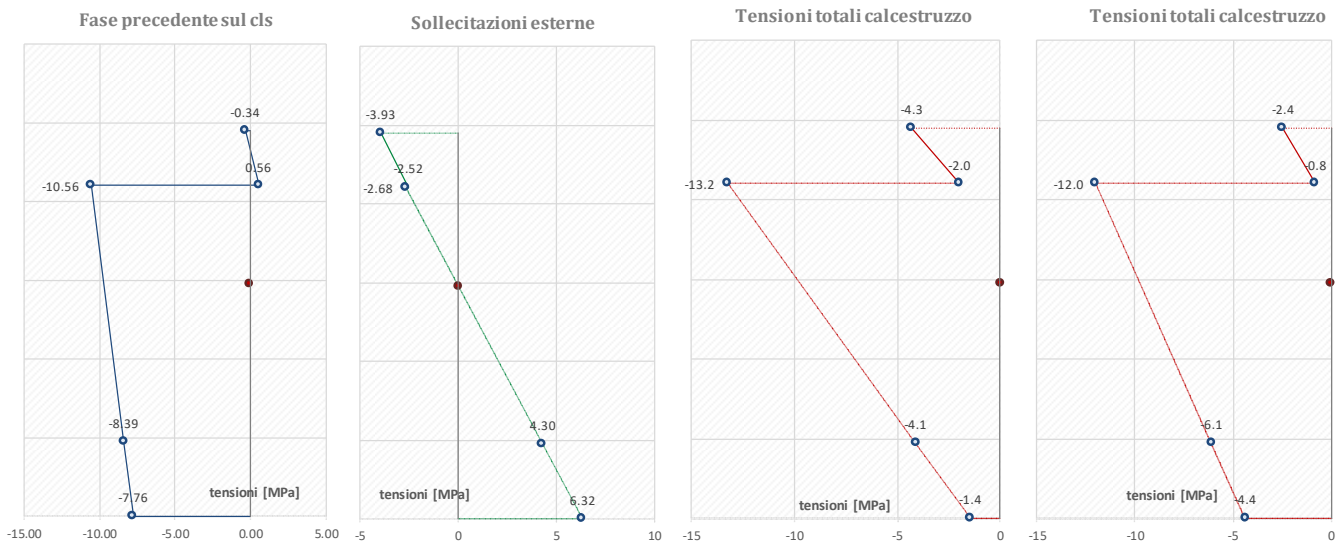
Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	91 di 153

6.1.2.1.5 Fase 3 – Carichi variabili

momento dovuto ai carichi da traffico
tensione nel cavo a fine fase

M_Q 6544 kN m
 σ_{t3} **1030.94** MPa



Comb. rara

tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta	$\sigma_{cls,3}$	-4.27	> -19.25	MPa
tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta	$\sigma_{cls',3}$	-1.96	> -19.25	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore	$\sigma_{cls,1}$	-13.24	> -24.75	MPa
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo	$\sigma_{cls',1}$	-4.09	> -24.75	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore	$\sigma_{cls'',1}$	-1.44	> -24.75	MPa
tensione nel cavo a fine fase 3	$\sigma_{t,F3}$	1,031	< 1336	MPa

Comb. frequente

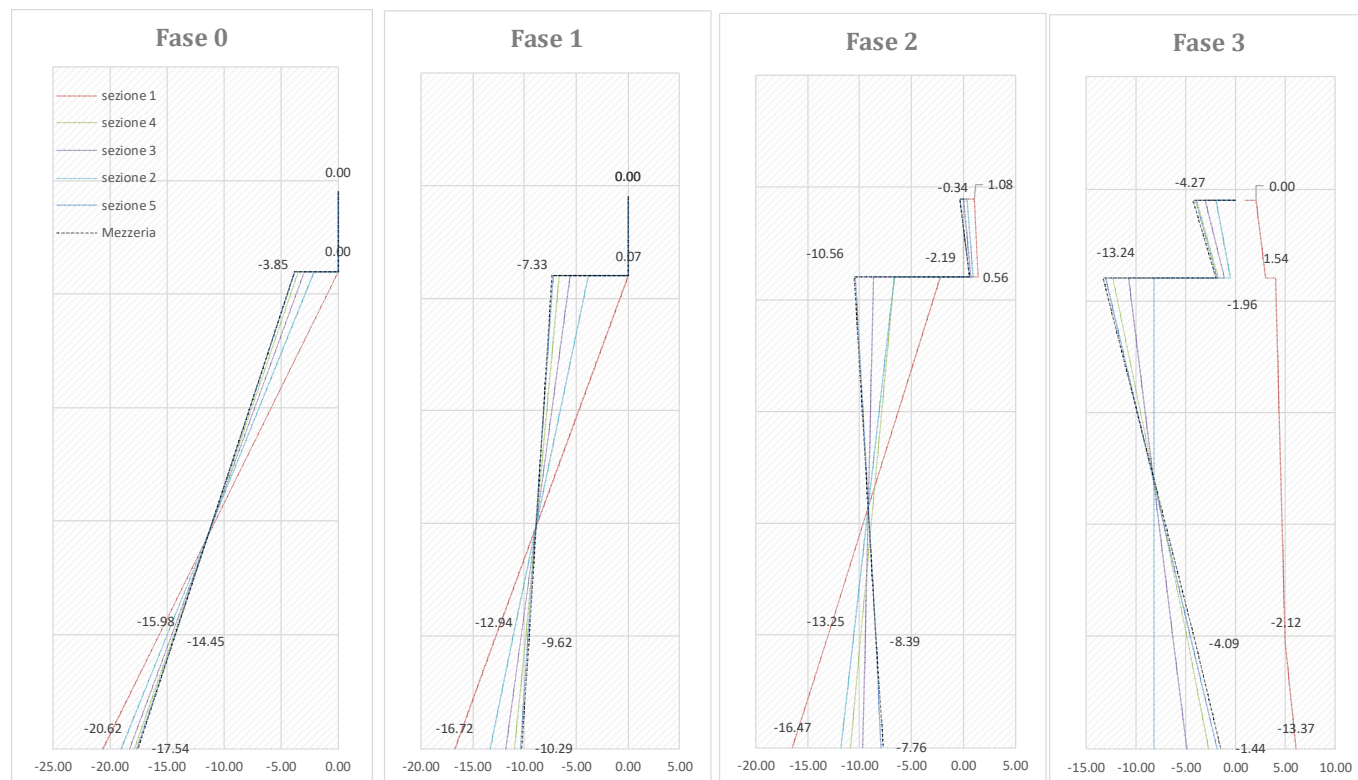
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta	$\sigma_{cls,3}$	-2.4	> -14	MPa
tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta	$\sigma_{cls',3}$	-0.8	> -14	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore	$\sigma_{cls,1}$	-12.0	> -18	MPa
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo	$\sigma_{cls',1}$	-6.1	> -18	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore	$\sigma_{cls'',1}$	-4.4	> -18	MPa
tensione nel cavo a fine fase 3	$\sigma_{t,F3}$	1,002	< 1336	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	92 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

Riassunto verifiche sezioni intermedie



6.1.2.1.6 Verifiche a fessurazione

Secondo il §4.1.2.2.4 delle Norme Tecniche lo stato limite di formazione delle fessure si ha quando la tensione massima di trazione della sezione supera

$$f_{ctm} / 1.2 = 3.16 \text{ MPa}$$

È stato verificato che che il lembo inferiore della sezione non sia in trazione per i carichi considerati. Pertanto, le verifiche a fessurazione sono soddisfatte.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

6.1.2.2 Verifiche trave di riva

6.1.2.2.1 Caratteristiche delle sezioni

Cassoncino

area della sezione in calcestruzzo	A_{cls}	11310	cm ²
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xCLS, G}$	6.35E+07	cm ⁴
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xCLS, hom1}$	6.36E+07	cm ⁴
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xCLS, G}$	1076930	cm ³

Armatura tesa

coefficiente di omogenizzazione	n_{acc}	5.37	
coefficiente di omogenizzazione di calcolo	n_{acc}	4.37	
area totale armatura tesa	A_S	97.3	cm ²
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xS, G}$	2.52E+05	cm ⁴
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xS, hom1}$	4.60E+05	cm ⁴
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xS, G}$	4601	cm ³

Sezione Netta

area netta del calcestruzzo	A_{cls}	11213	cm ²
baricentro sezione	x_G	0	cm
baricentro sezione	y_G	95.21927	cm
inerzia sezione netta	I_{xG}	6.31E+07	cm ⁴
momento statico sezione netta	S_x	1.07E+06	cm ³

Sezione

Omogenizzata1

area omogenizzata al calcestruzzo	A_{hom1}	11736	cm ²
baricentro sezione omogenizzata	x_G	0.00	cm
baricentro sezione omogenizzata	y_G	93.48	cm
inerzia sezione omogenizzata	I_{xG}	6.56E+07	cm ⁴
momento statico sezione omogenizzata	S_x	1.10E+06	cm ³

Sezione di Calcolo

area omogenizzata al calcestruzzo	A_{hom1}	11735.63	cm ²
baricentro sezione omogenizzata	x_G	0	cm

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	94 di 153

baricentro sezione omogenizzata	yG	93.48082	cm
inerzia sezione omogenizzata	IxG	6.56E+07	cm ⁴
momento statico sezione omogenizzata	Sx	1.10E+06	cm ³

6.1.2.2.1.1 Sezione iniziale

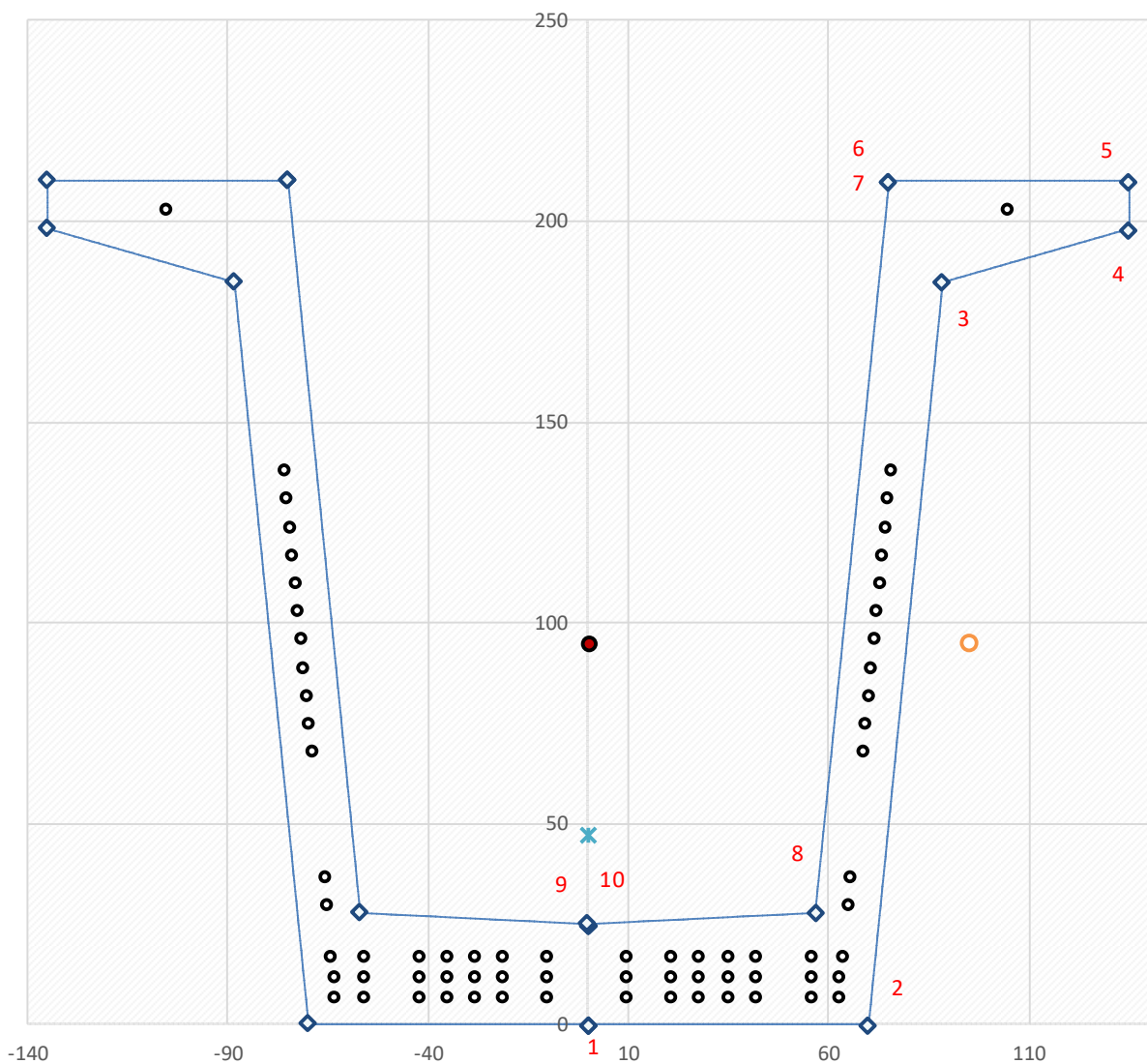


Figura 67 - Sezione iniziale

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	95 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04
6.1.2.2.1.2 Sezione composta – breve termine
Cassoncino

area della sezione in calcestruzzo	A_{cls}	11310	cm ²
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xcls, G}$	6.35E+07	cm ⁴
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xcls, hom2}$	1.22E+08	cm ⁴
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xcls, G}$	1076930	cm ³

Soletta

coefficiente di omogenizzazione di calcolo	n_{sol}	0.94	
area della sezione in calcestruzzo	A_{sol}	14550	cm ²
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xsol, G}$	1.09E+06	cm ⁴
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xsol, hom2}$	5.90E+07	cm ⁴
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xsol, G}$	3.35E+06	cm ³

Armatura tesa

coefficiente di omogenizzazione	n_{acc}	5.37	
coefficiente di omogenizzazione di calcolo	n_{acc}	4.37	
area totale armatura tesa	A_S	97.30	cm ²
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xS, G}$	2.52E+05	cm ⁴
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xS, hom2}$	1.64E+06	cm ⁴
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xS, G}$	4601	cm ³

Sezione omogenizzata2

area omogenizzata al calcestruzzo	A_{hom2}	25401	cm ²
baricentro sezione omogenizzata	X_G	-57.30	cm
baricentro sezione omogenizzata	Y_G	166.93	cm
inerzia sezione omogenizzata	I_{xG}	1.84E+08	cm ⁴
momento statico sezione omogenizzata	S_x	4.24E+06	cm ³

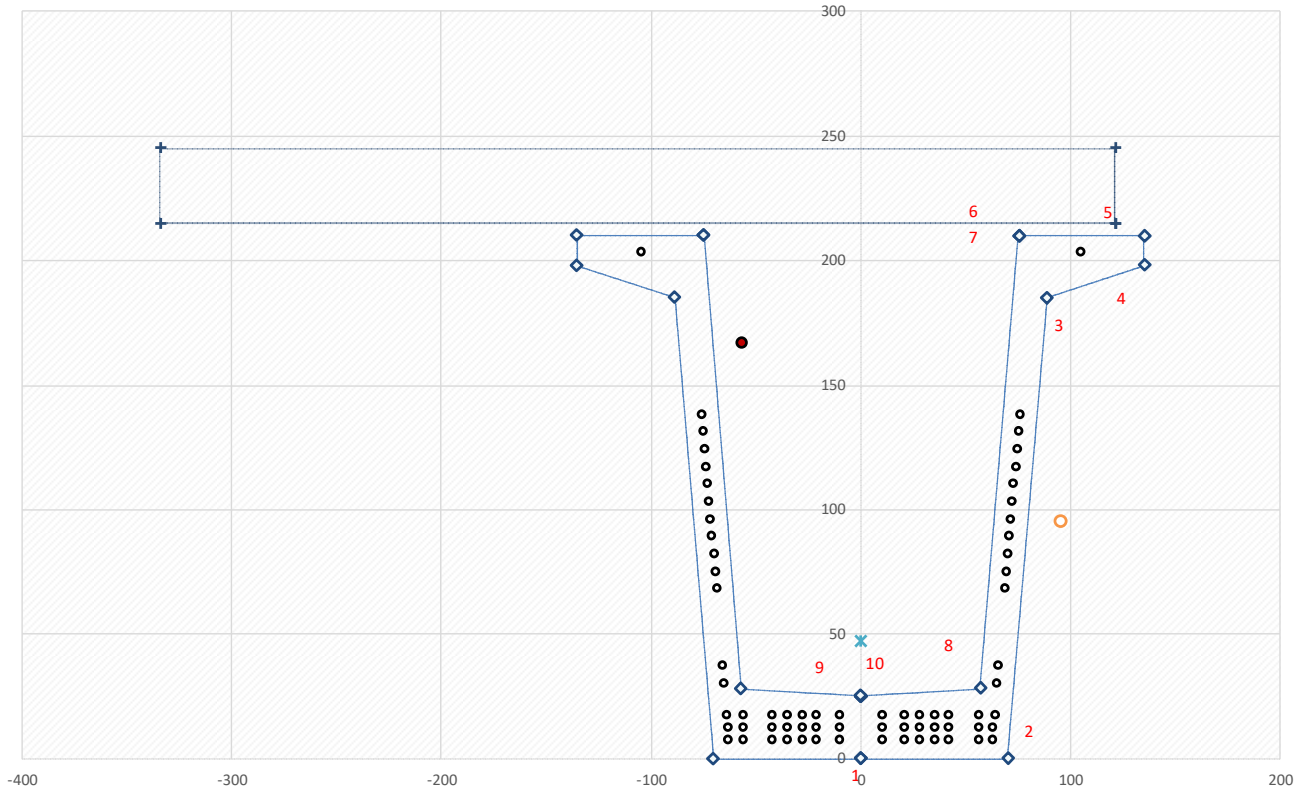


Figura 68 - Sezione omogenizzata - breve termine

6.1.2.2.1.3 Sezione composta – lungo termine

coefficiente di viscosità a tempo infinito cassone $\varphi_{00}(t, t_{00})$ 1.864

coefficiente di viscosità a tempo infinito soletta $\varphi_{00}(t, t_{00})$ 1.945

coefficiente di omogenizzazione di calcolo n_{sol} 0.91

coefficiente di omogenizzazione di calcolo n_{acc} 12.53

Sezione omogenizzata3

area omogenizzata al calcestruzzo A_{hom3} 25820 cm²

baricentro sezione omogenizzata x_G -55.73 cm

baricentro sezione omogenizzata y_G 162.33 cm

inerzia sezione omogenizzata I_{xG} 1.96E+08 cm⁴

momento statico sezione omogenizzata

S_x 4.19E+06 cm³

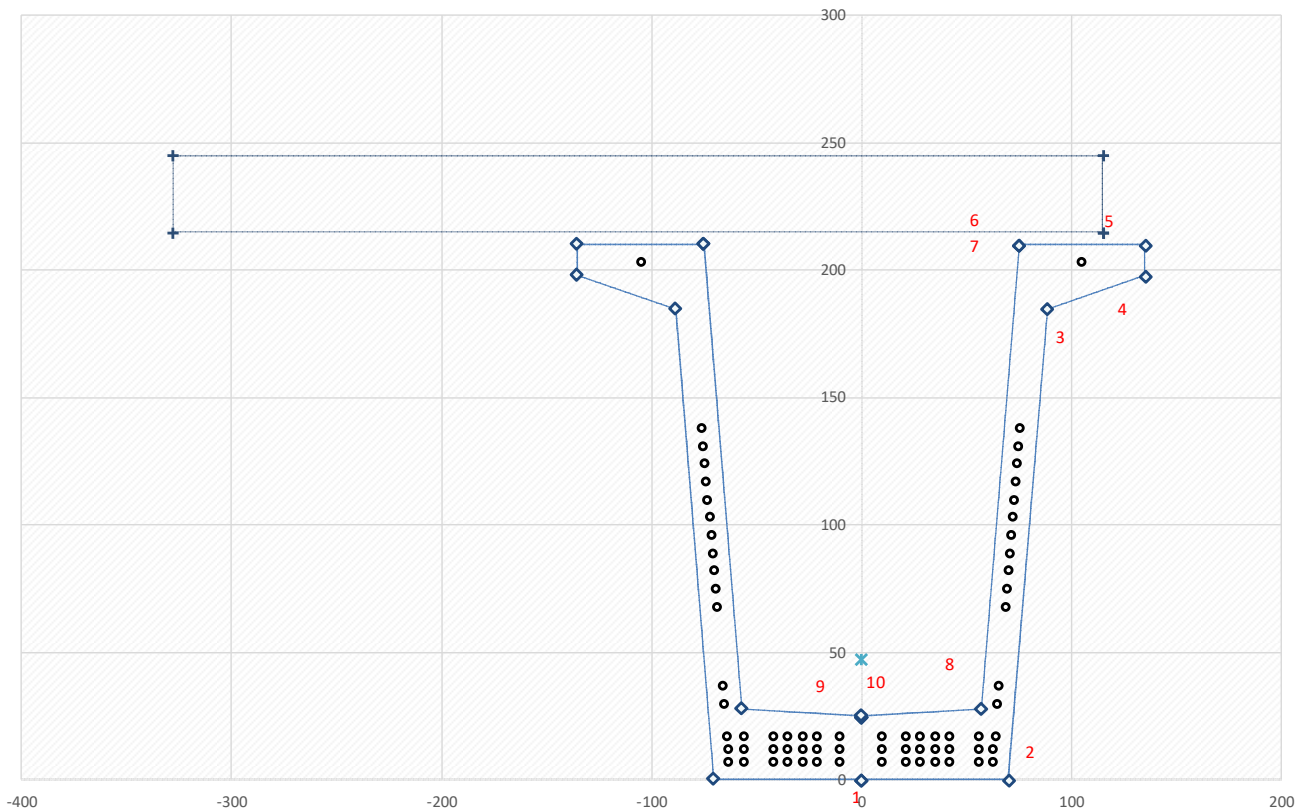


Figura 69 - Sezione omogenizzata - lungo termine

6.1.2.2.2 Fase 0 – Rilascio precompressione e PP

Limitazioni tensionali alla tesatura

tensione massima sull'armatura in fase di tesatura
 ten. max al martinetto garantendo il $\pm 5\%$ di precisione
 ten. max sull'armatura in esercizio (perdite avvenute)

$\sigma_{t,0}$ max	1488	MPa
$\sigma_{t',0}$ max	1572	MPa
$\sigma_{t,1}$ max	1336	MPa

tensione del cavo sul banco di tiraggio

$\sigma_{t,0}$ **1,380** MPa

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	98 di 153

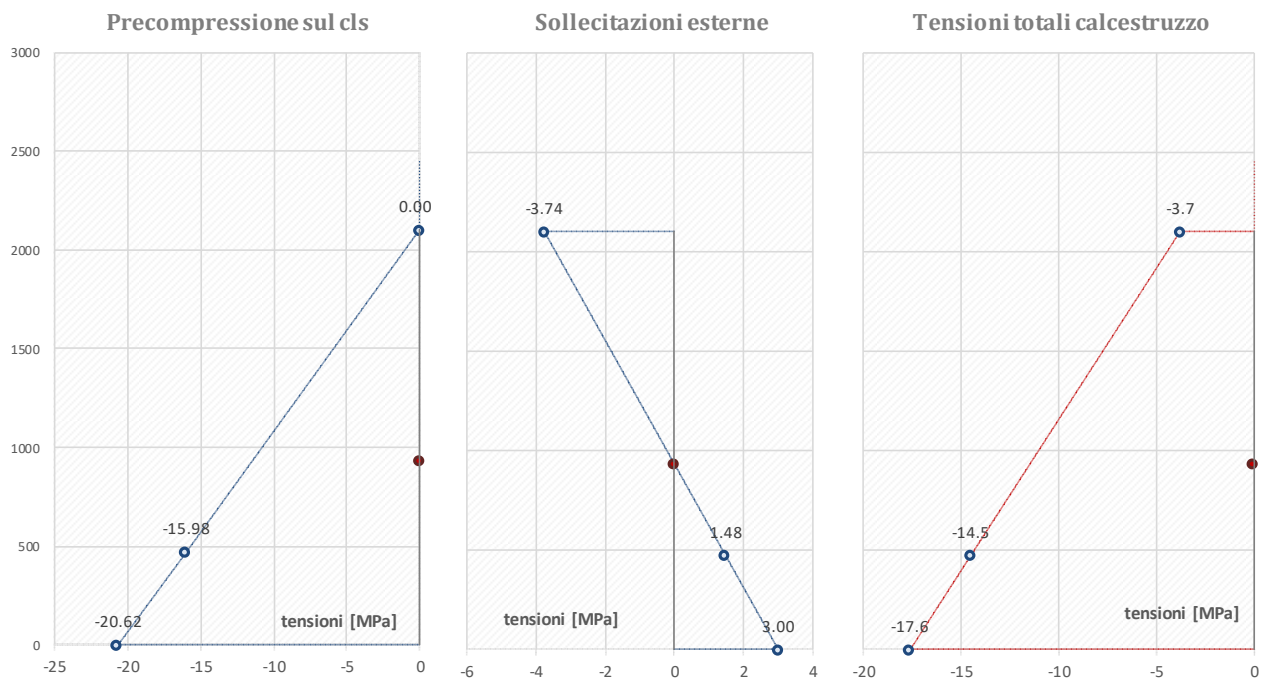
Relazione di calcolo impalcato VI04

forza di precompressione sulla pista di tensione	P_0	13,427	KN
distanza tra il baricentro della sezione e il cavo	y	479	mm
area dei cavi precompressi	A_t	9,730	mm ²
modulo elastico del calcestruzzo al tempo t	E	34,658	MPa
coefficiente di omogenizzazione	n	4.37	
area della sezione omogenizzata	A_{hom1}	1.17E+06	mm ²
inerzia della sezione omogenizzata	I_{hom1}	6.56E+11	mm ⁴
forza di prec. al momento del taglio (perdite elastiche)	P_1	12,751	KN
tensione del cavo al momento del taglio (perdite elastiche)	$\sigma_{t,1}$	1,311	MPa
perdita di tensione nel cavo per def. elastica cls	$\Delta\sigma_{t,1}$	69.5	MPa
perdite istantanee di precompressione		5.0%	
spostamento del cavo all'atto della tesatura	∂o	7.1E-03	mm/ m
spostamento adimens del calcestruzzo	∂c	3.6E-11	mm/ m
spostamento adimens dell'acciaio	∂s	5.3E-10	mm/ m
Forza rimanente dopo il recupero del cavo	P_1	12,570	KN
perdite istantanee di precompressione	$\Delta\sigma_{t,1}$	88.1	MPa
		6.4%	
momento dovuto al peso proprio della trave	$M_{pp,trave}$	2107	kN m
tensione nel cavo a fine fase 0	$\sigma_{t,F0}$	1,298	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	99 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04



Limitazioni tensionali del calcestruzzo

tensione limite all'atto della precompressione
tensione limite di esercizio a cadute avvenute

$\sigma_{t,1 \max}$	22.49	MPa
$\sigma_{t,0 \max}$	24.75	MPa

tensione del calcestruzzo nel lembo superiore
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore
tensione nel cavo a fine fase 0

$\sigma_{cls,1}$	-3.75	> -22.49	MPa
$\sigma_{cls',1}$	-14.49	> -22.49	MPa
$\sigma_{cls'',1}$	-17.61	> -22.49	MPa
$\sigma_{t,F0}$	1,298	< 1336	MPa

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

6.1.2.2.3 Fase 1 – Getto della soletta

momento dovuto al peso della soletta	$M_{sol, trave}$	2667	kN m
<i>Ritiro</i>			
giorno attuale per calcolo ritiro del cassoncino	t	10000	giorni
perimetro di cls esposto all'aria	u	11846.6	mm
dimensione fittizia pari a $2A_c/u$ Ac	h_0	198.1	mm
umidità relativa	UR	70	%
deformazione massima per essiccamento	ϵ_{c0}	-0.000294	
parametro per calcolo deformazione a tempo ∞	k_h	0.853	
deformazione per ritiro da essiccamento a tempo ∞	$\epsilon_{cd\infty}$	-0.000251	
coefficiente di calcolo	$\beta_{ds}(t, t_s)$	0.9895912	
deformazione per ritiro da essiccamento a tempo t	$\epsilon_{cd}(t)$	-0.00028	
resistenza caratteristica del calcestruzzo	f_{ck}	45	MPa
valore m della deformazione per ritiro autogeno	ϵ_{ca}	-8.75E-05	
deformazione totale per ritiro	$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd}(t) + \epsilon_{ca}$	-3.67E-04	
variazione tensionale nel caso per effetto del ritiro	$\Delta\sigma_{cs} = -E_s \epsilon_{cs}$	-71.62	MPa
<i>Viscosità</i>			
effetto del tipo di cemento sulla viscosità	α	0	
tempo equivalente di applicazione del carico	t_0	9	giorni
coef. Funzione della resistenza del cls	$\beta(f_{cm})$	2.31	
resistenza media del calcestruzzo	f_{cm}	53.00	N/mm ²
coef. Funzione della maturazione del cls	$\beta(t_0)$	0.61	
coef. Funzione dell u.r. e di h_0	β_H	500.3	
coef. Che descrive l'evoluzione viscosa	$\beta(t, t_0)$	0.99	
coef. Per tenere conto dell resistenza del cls	α_3	0.813	
coef. Per tenere conto dell resistenza del cls	α_2	0.920	

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	101 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

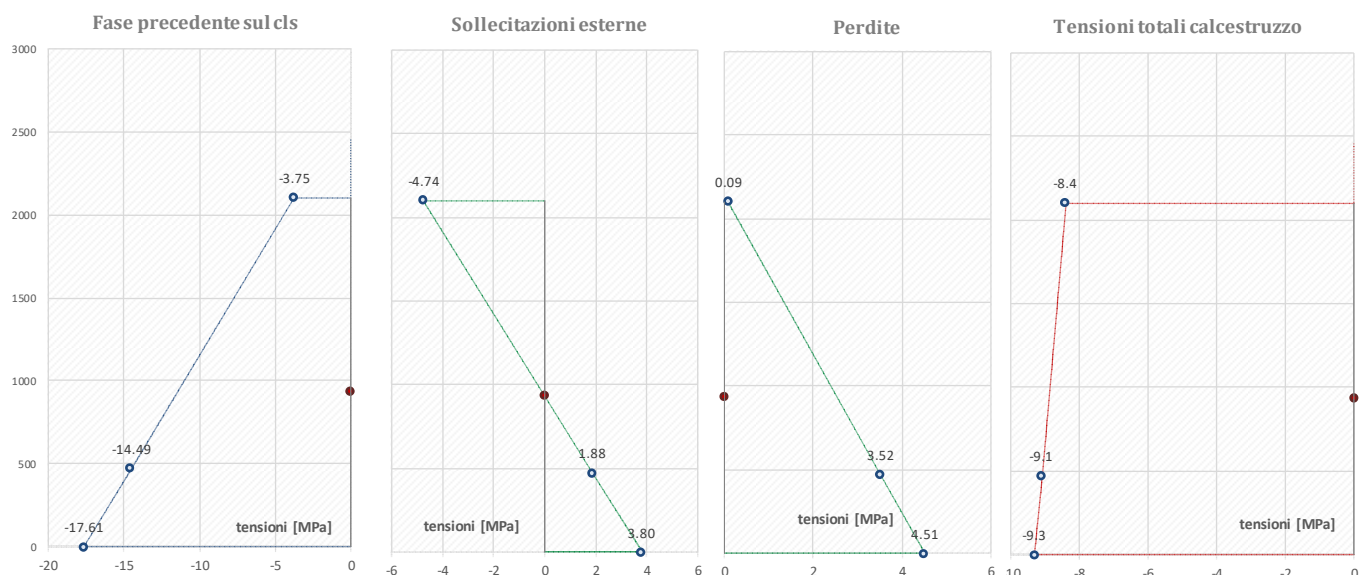
coef. Per tenere conto dell resistenza del cls	α_1	0.748	
coef. Funzione dell'umidità relativa	φ_{RH}	1.354	
coefficiente normale di viscosità	φ_0	1.982	
coefficiente di viscosità al tempo t0	$\varphi_0(t, t_0)$	1.864	
coefficiente di viscosità al tempo t1	$\varphi_0(t, t_1)$	1.856	
		viscosità lineare	
controllo tensione massima CLS <0.45fcm =>			
coefficiente di viscosità di riferimento al tempo t	$\varphi_0(t, t_0)$	1.864	
coefficiente di viscosità di riferimento al tempo t	$\varphi_0(t, t_1)$	1.856	
modulo del calcestruzzo al tempo t0	E_{t0}	36283	MPa
funzione di fluage iniziale - (della sola parte viscosa)	$J(t, t_0)$	5.4E-05	
coefficiente di invecchiamento	$\chi(t, t_0)$	0.80	
funzione di fluage incremento di carico - (della sola parte viscosa)	$J(t, t_1)$	4.3E-05	
deformazione totale indotta dalla viscosità Gcavo	$\varepsilon_v = \sigma_{t0} J_{t0} + \Delta \sigma_{t1} J_{t1}$	-1.10E-03	
variazione tensionale nel caso per effetto della viscosità	$\Delta \sigma_v = -E_s \varepsilon_v$	-215.44	MPa
Rilassamento			
classe di armatura di precompressione		Classe 2	
percentuale di perdita a 1000h	ρ_{1000}	2.50	%
rapporto tra valore carat. e tensione	μ	0.78	
perdite per rilassamento a tempo t	$\Delta \sigma_{ril(t)}$	-75.45	MPa
inerzia della sezione in cls	I_{cls}	6.56E+07	cm ⁴
area della sezione in cls	A_{cls}	11213	cm ²
eccentricità del cavo rispetto al baricentro cls	e	47.93	cm

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	102 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

perdita totale di precompressione nel cavo al tempo t	$\Delta\sigma_{pr(t)}$	-306.98	cm
perdita di precompressione (corrisponde a trazione nel cls)	$\Delta N_{pr(t)}$	2987	kN
coefficiente di omogenizzazione	n	4.37	
area della sezione omogenizzata	A_{hom1}	1.17E+06	mm ²
inerzia della sezione omogenizzata	I_{hom1}	6.56E+11	mm ⁴
tensione nel cavo a fine fase 1	$\sigma_{t,1}$	999.62	MPa


6.1.2.2.4 Fase 2 – Permanenti non strutturali

momento dovuto al peso dei non strutturali	M_{G2}	3593	kN m
giorno attuale per calcolo delle perdite lente	t	170	giorni

Effetto del ritiro differenziale

il ritiro differenziale induce uno stato di compressione sulla trave ed di trazione sulla soletta.

variazione di deformazione per effetto del ritiro differenziale	$\Delta\epsilon_{ri}$	-3.1E-04	
tensione da ritiro propria della soletta	σ_{ri}	-10.59	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	103 di 153

coefficiente di viscosità al tempo t2 della soletta	$\varphi_0(t,t_2)$	1.95	
modulo elastico soletta la tempo t2	$E_s(t)$	33704.59	MPa
tensione nella soletta per ritiro differenziale (viscosità)	σ_{vi}	-3.60	MPa

Si ipotizza che la forza di compressione trasmessa al cassoncino sia proprio uguale alla tensione media da ritiro

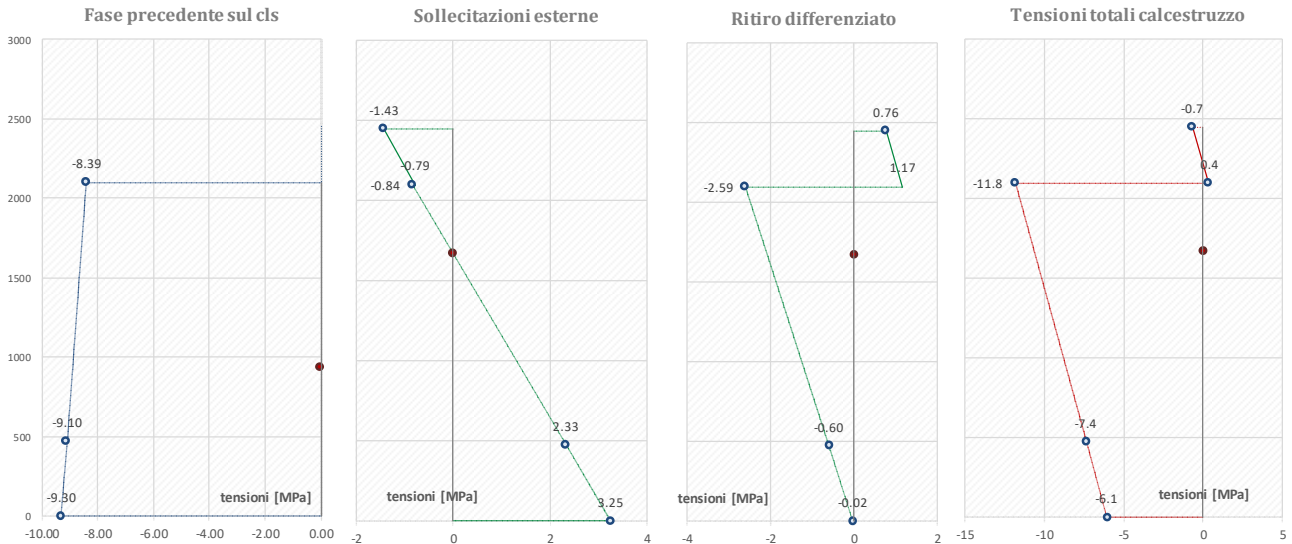
quindi la forza di compressione

sforzò di compressione sul cassoncino	N_{ri}	-5233	kN
distanza superficie di contatto baricentro sezione	e	430.7	mm
eccentricità del cavo rispetto al baricentro della sezione	e	119.64	cm
perdita totale di precompressione nel cavo al tempo t	$\Delta\sigma_{pr(t)}$	0.00	cm
perdita di precompressione (corrisponde a trazione nel cls)	$\Delta N_{pr(t)}$	0	kN
coefficiente di omogenizzazione soletta	n	0.94	
coefficiente di omogenizzazione acciaio	n	4.37	
area della sezione omogenizzata	A_{hom2}	2.54E+06	mm ²
inerzia della sezione omogenizzata	I_{hom2}	1.84E+12	mm ⁴
tensione nel cavo a fine fase 2	$\sigma_{t,2}$	1007.21	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	104 di 153



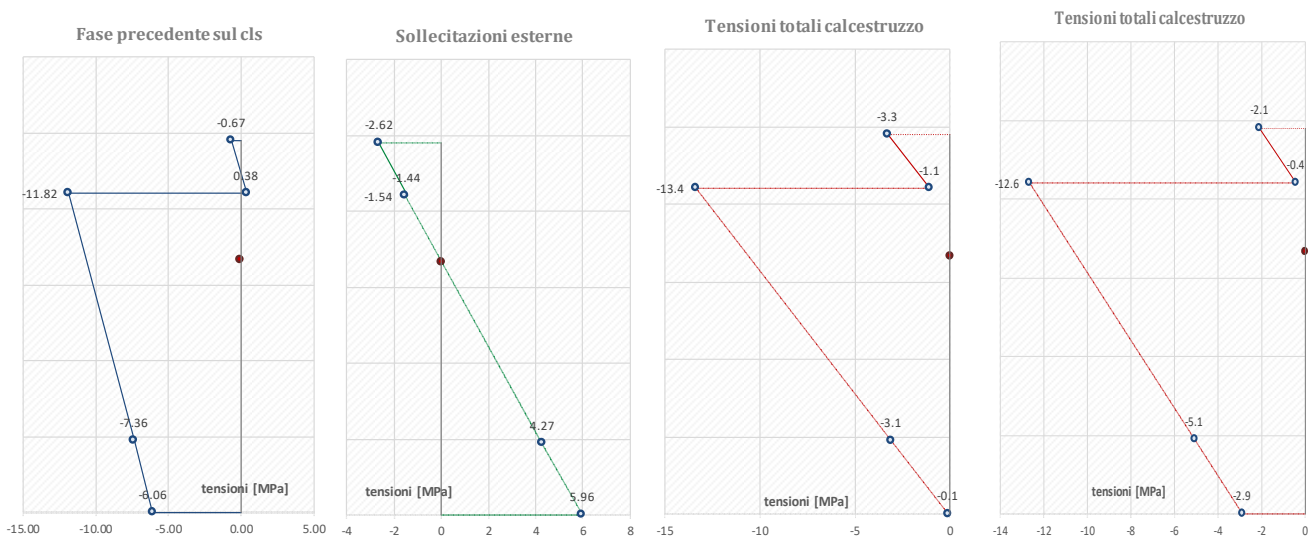
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta
tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta

$\sigma_{cls,3}$	-0.67	> -18.39	MPa
$\sigma_{cls',3}$	0.38	< 2.57	MPa

6.1.2.2.5 Fase 3 – Carichi variabili

momento dovuto ai carichi da traffico
tensione nel cavo a fine fase

M_Q	6575	kN m
σ_{t3}	1025.89	MPa



Comb. rara

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	105 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta	$\sigma_{cls,3}$	-3.28	> -19.25	MPa
tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta	$\sigma_{cls',3}$	-1.07	> -19.25	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore	$\sigma_{cls,1}$	-13.36	> -24.75	MPa
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo	$\sigma_{cls',1}$	-3.09	> -24.75	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore	$\sigma_{cls'',1}$	-0.11	> -24.75	MPa
tensione nel cavo a fine fase 3	$\sigma_{t,F3}$	1,026	< 1336	MPa

Comb. frequente

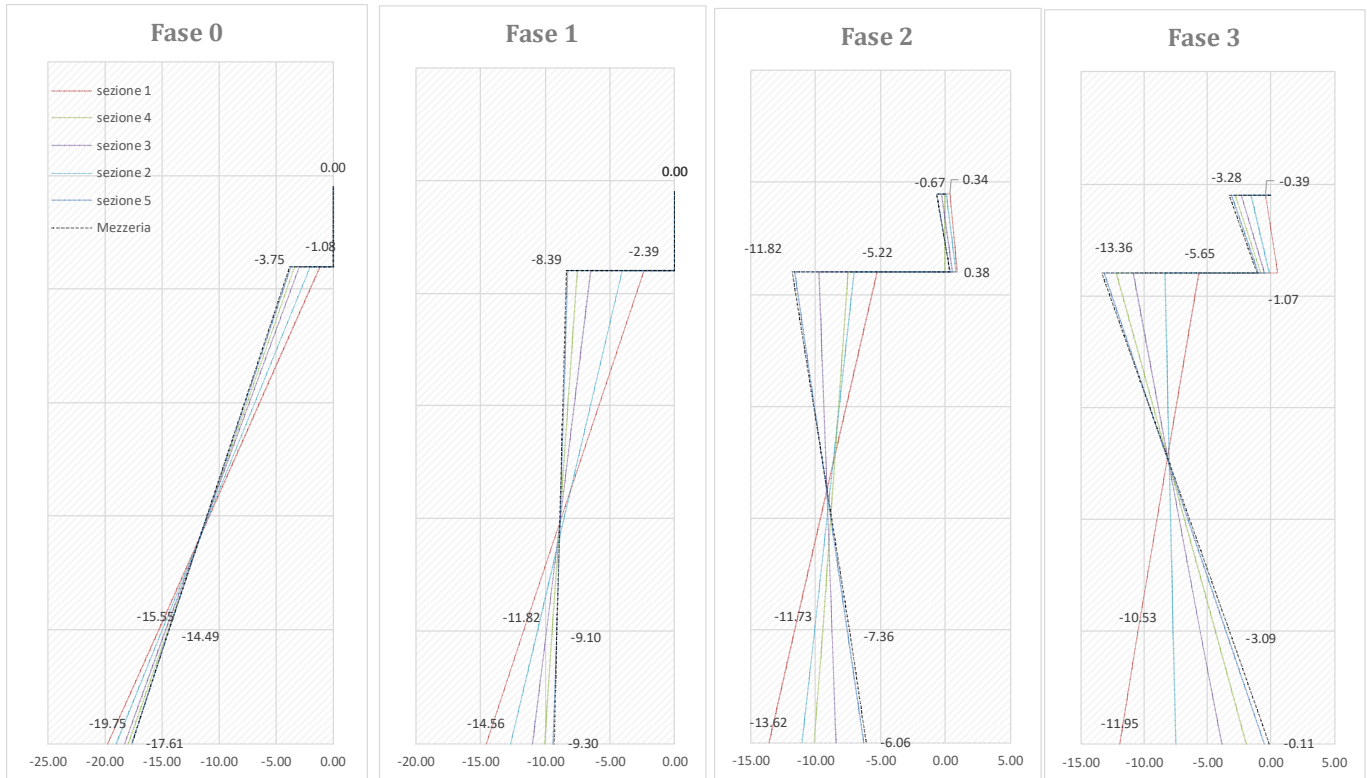
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta	$\sigma_{cls,3}$	-2.1	> -14	MPa
tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta	$\sigma_{cls',3}$	-0.4	> -14	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore	$\sigma_{cls,1}$	-12.6	> -18	MPa
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo	$\sigma_{cls',1}$	-5.1	> -18	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore	$\sigma_{cls'',1}$	-2.9	> -18	MPa
tensione nel cavo a fine fase 3	$\sigma_{t,F3}$	1,017	< 1336	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	106 di 153

Riassunto verifiche sezioni intermedie



6.1.2.2.6 Verifiche a fessurazione

Secondo il §4.1.2.2.4 delle Norme Tecniche lo stato limite di formazione delle fessure si ha quando la tensione massima di trazione della sezione supera

$$f_{ctm} / 1.2 = 3.16 \text{ MPa}$$

È stato verificato che che il lembo inferiore della sezione non sia in trazione per i carichi considerati. Pertanto, le verifiche a fessurazione sono soddisfatte.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

6.2 Stato limite ultimo – SLU

6.2.1 Verifiche a presso-flessione trave centrale

Si riporta di seguito la verifica allo SLU per presso-flessione retta per la sezione di mezzeria della trave centrale.

Si riporta inoltre la verifica dove si tiene conto dei fenomeni locali successivamente riportati.

Pesi propri e portati

momento della trave e della soletta	M_{perm}	4171	kN m
taglio della trave e della soletta	V_{perm}	852	kN
sforzo assiale della trave e della soletta	N_{perm}	0	kN
coefficiente amplificativo	γ_{G1}	1.35	

momento dei pesi portati	M_{pp}	2347	kN m
taglio dei pesi portati	V_{pp}	648	kN
sforzo assiale dei pesi portati	N_{pp}	0	kN
coefficiente amplificativo	γ_{G2}	1.5	

sforzo assiale dedotto dall'inviluppo allo SLU	$N_{Traffico}$	682	kN
taglio massimo dedotto dall'inviluppo allo SLU	$V_{Traffico}$	1575	kN
momento massimo dedotto dall'inviluppo allo SLU	$M_{Traffico}$	9276	kN m
torsione massima dedotta dall'inviluppo SLU	$T_{Traffico}$	5322	kN m

Effetti a lungo termine

momento dovuto al ritiro differenziale	$M_{rit dif}$	1837	kN m
sforzo assiale dovuto al ritiro differenziale	$N_{rit dif}$	2935	kN
coefficiente amplificativo	γ_{rit}	1.2	

resistenza passiva dei vincoli	$N_{rit dif}$	102.8	kN
eccentricità dal baricentro	e	147.40	cm
coefficiente amplificativo	γ_Q	1.5	

Perdite di precompressione

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	108 di 153

tensione iniziale del cavo	σ_0	1,380	Mpa
perdite totale di tensione	$\Delta\sigma_{pr}$	-386.1	Mpa
recupero tensionale indotto dai pesi	$\Delta\sigma_G$	37.0	Mpa
tensione del cavo risultante per calcolo SLU	$\sigma_{c.v}$	1031	Mpa

Riassumendo, le sollecitazioni nella condizione più gravosa (mezzeria e appoggio) per le verifiche in resistenza risultano:

$$M_{SLU} = 9276 + 9151 + 2431 = 20858 \text{ KN m} \quad \text{In mezzeria}$$

$$N_{SLU} = -681.5 + 0 + 3368 = 2686.5 \text{ KN}$$

$$V_{SLU} = 1574.7 + 1150 + 972.06 = 3696.76 \text{ kN} \quad \text{in appoggio}$$

$$T_{SLU} = 5321.5 \text{ kN m}$$

Si riportano di seguito le verifiche tensionali previste per gli SLU. La sezione è stata modellata per intero considerando cavi di pre-tensione aderenti al calcestruzzo. In questo modo si è potuto valutare il dominio reale di resistenza della sezione e confrontarlo con le sollecitazioni precedentemente individuate. A favore di sicurezza la sezione della soletta è relativa ai cassoni centrali e omogenizzata a lungo termine, senza considerare l'armatura lenta. Le verifiche sono state condotte con il software VCA-SLU.

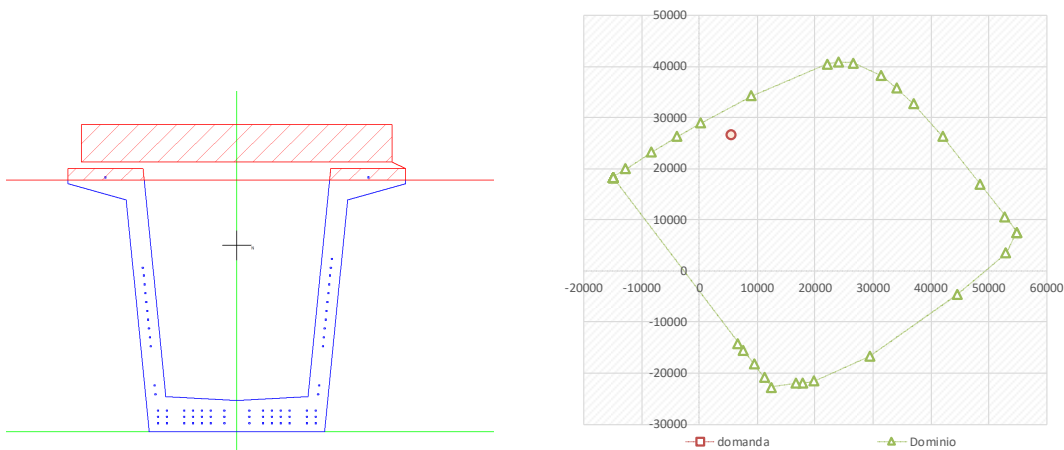


Figura 70 - Sezione e Dominio di resistenza

Momento agente = 20858 kN m

Momento resistente = 27379 kN m

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	109 di 153

Coefficiente di sicurezza = $0.76 < 1$

Verifica C.A. S.L.U. - File: VI04 Sez-Mezzeria

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: _____

N° Vertici Zoom N° barre Zoom

N°	x [cm]	y [cm]	N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	135	210	1	0	0	0
2	75	210				
3	56.8	28				
4	0	25				
5	-56.8	28				
6	-75	210				

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
M_{xEd} kNm
M_{yEd} kNm

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Cavo snervato

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²
σ_s N/mm²
ε_c ‰
ε_s ‰
d cm
x x/d
δ

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

N° rett.
L₀ cm Col. modello

Precompresso

Armatura Precompressione
N° cavi Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]	σ _{sp} [MPa]
1	1.39	-63	7	1000.3
2	1.39	-63	12	1000.3
3	1.39	-63	17	1000.3
4	1.39	-56	17	1000.3
5	1.39	-56	12	1000.3
6	1.39	-56	7	1000.3

Tipo cavo

ε_{su} ‰
f_{yd} N/mm²
E_s/E_c
ε_{syd} ‰
σ_{s,adm} N/mm²

σ_{sp} N/mm²
ε_{sp} ‰ compresa predef.

Materiali

B450C C45/55

ε_{su} ‰ ε_{c2} ‰
f_{yd} N/mm² ε_{cu} ‰
E_s N/mm² f_{cd} ‰
E_s/E_c f_{cc}/f_{cd} ?
ε_{syd} ‰ σ_{c,adm}
σ_{s,adm} N/mm² τ_{co}
τ_{c1}

Figura 71 - Schermata di calcolo

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

6.2.2 Verifiche a presso-flessione trave di riva

Si riporta di seguito la verifica allo SLU per presso-flessione retta per la sezione di mezzeria della trave di riva.

Si riporta inoltre la verifica dove si tiene conto dei fenomeni locali successivamente riportati.

Pesi propri e portati

momento della trave e della soletta	M_{perm}	4774	kN m
taglio della trave e della soletta	V_{perm}	0	kN
sforzo assiale della trave e della soletta	N_{perm}	0	kN
coefficiente amplificativo	γ_{G1}	1.35	
momento dei pesi portati	M_{pp}	3593	kN m
taglio dei pesi portati	V_{pp}	0	kN
sforzo assiale dei pesi portati	N_{pp}	0	kN
coefficiente amplificativo	γ_{G2}	1.5	

Carichi variabili

sforzo assiale dedotto dall'involuppo allo SLU	$N_{Traffico}$	326	kN
taglio massimo dedotto dall'involuppo allo SLU	$V_{Traffico}$	1698	kN
momento massimo dedotto dall'involuppo allo SLU	$M_{Traffico}$	9534	kN m
torsione massima dedotta dall'involuppo SLU	$T_{Traffico}$	305	kN m

Effetti a lungo termine

momento dovuto al ritiro differenziale	$M_{rit dif}$	2254	kN m
sforzo assiale dovuto al ritiro differenziale	$N_{rit dif}$	5233	kN
coefficiente amplificativo	γ_{rit}	1.2	
resistenza passiva dei vincoli	$N_{rit dif}$	102.8	kN
eccentricità dal baricentro	e	166.90	cm
coefficiente amplificativo	γ_Q	1.5	

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	111 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

Perdite di precompressione

tensione iniziale del cavo	σ_0	1,380	Mpa
perdite totale di tensione	$\Delta\sigma_{pr}$	-395.1	Mpa
recupero tensionale indotto dai pesi	$\Delta\sigma_G$	41.0	Mpa
tensione del cavo risultante per calcolo SLU	$\sigma_{c.v}$	1026	Mpa

Riassumendo, le sollecitazioni nella condizione più gravosa (mezzeria e appoggio) per le verifiche in resistenza risultano:

$$M_{SLU} = 9534 + 11835 + 2962 = 24331 \text{ KN m} \quad \text{In mezzeria}$$

$$N_{SLU} = -326.25 + 0 + 6125 = 5798.75 \text{ KN}$$

$$V_{SLU} = 1697.95 + 0 + 0 = 1697.95 \text{ kN} \quad \text{in appoggio}$$

$$T_{SLU} = 304.5 \text{ kN m}$$

Si riportano di seguito le verifiche tensionali previste per gli SLU. La sezione è stata modellata per intero considerando cavi di pre-tensione aderenti al calcestruzzo. In questo modo si è potuto valutare il dominio reale di resistenza della sezione e confrontarlo con le sollecitazioni precedentemente individuate. A favore di sicurezza la sezione della soletta è relativa ai cassoni centrali e omogenizzata a lungo termine, senza considerare l'armatura lenta. Le verifiche sono state condotte con il software VCA-SLU.

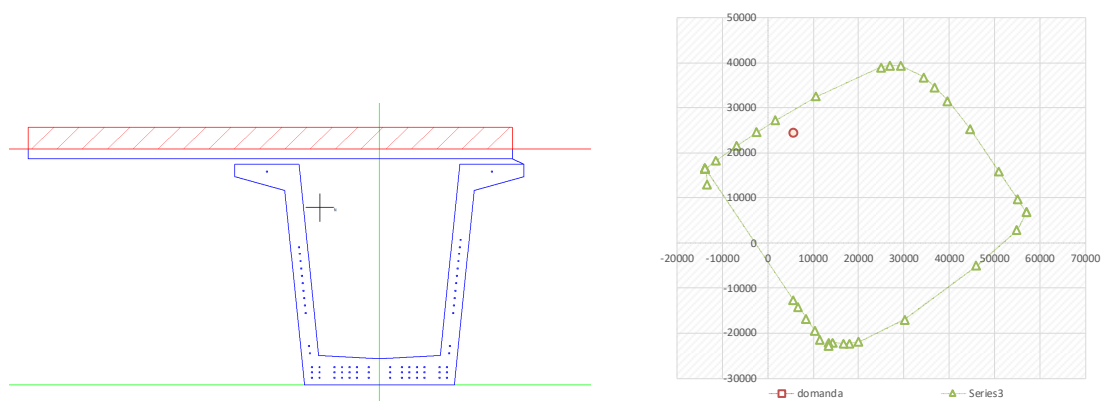


Figura 72 - Sezione e Dominio di resistenza

Momento agente = 24331 kN m

Momento resistente = 29701 kN m

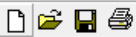
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	112 di 153

Coefficiente di sicurezza = $0.82 < 1$

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?



Titolo : _____

N° Vertici Zoom

N° barre Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
18	124.2	215
19	124.2	245
20	-328	245
21	-328	245
22	-328	215
23	124.2	215

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0	0	0

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Armatura Precompressione

N° cavi Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]	σ_{sp} [MPa]
1	1.39	-63	7	1000.3
2	1.39	-63	12	1000.3
3	1.39	-63	17	1000.3
4	1.39	-56	17	1000.3
5	1.39	-56	12	1000.3
6	1.39	-56	7	1000.3

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	5798.75	0	kN
M _{xEd}	24331	0	kNm
M _{yEd}	0	0	

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Tipo rottura

Lato calcestruzzo - Cavo snervato

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione

Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd

L_o cm

Precompresso

Materiali

ϵ_{su}	67.5	%	ϵ_{c2}	2	%
f_{yd}	391.3	N/mm²	ϵ_{cu}	3.5	
E_s	200,000	N/mm²	f_{cd}	25.5	
E_s/E_c	15		f_{cc}/f_{cd}	0.8	?
ϵ_{syd}	1.957	%	$\sigma_{c,adm}$	9.75	
$\sigma_{s,adm}$	255	N/mm²	τ_{co}	0.6	
			τ_{c1}	1.829	

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²

σ_s N/mm²

ϵ_c %

ϵ_s %

d cm

x x/d

δ

Tipo cavo

ϵ_{su} %

f_{yd} N/mm²

E_s/E_c

ϵ_{syd} %

$\sigma_{s,adm}$ N/mm²

σ_{sp} N/mm²

ϵ_{sp} % compressa prefef.

Figura 73 - Schermata di calcolo

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0408 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 113 di 153</p>

7 TRAVERSI PRECOMPRESSI

Vengono di seguito riportate le verifiche dei traversi. La precompressione viene effettuata con due cavi da 8 trefoli 0.6” post-tesi ad una tensione di 1300 MPa, prima del getto della soletta. Si mantengono le medesime ipotesi della progettazione e verifica della trave in c.a.p.

Viene riportata per intero la procedura di verifica del traverso più sollecitato con coefficienti di sicurezza più gravosi agli stati limiti elastici e ultimi.

7.1 Sollecitazioni

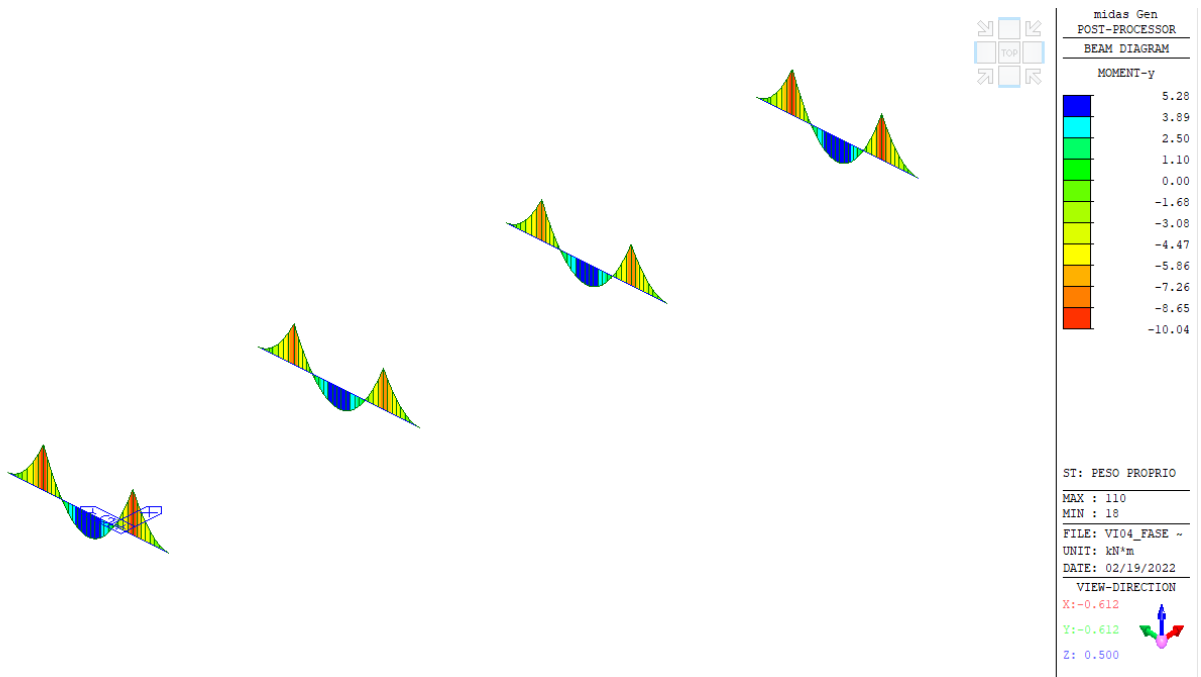


Figura 74 - Sollecitazione flessionale – peso proprio travi e traversi

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	114 di 153

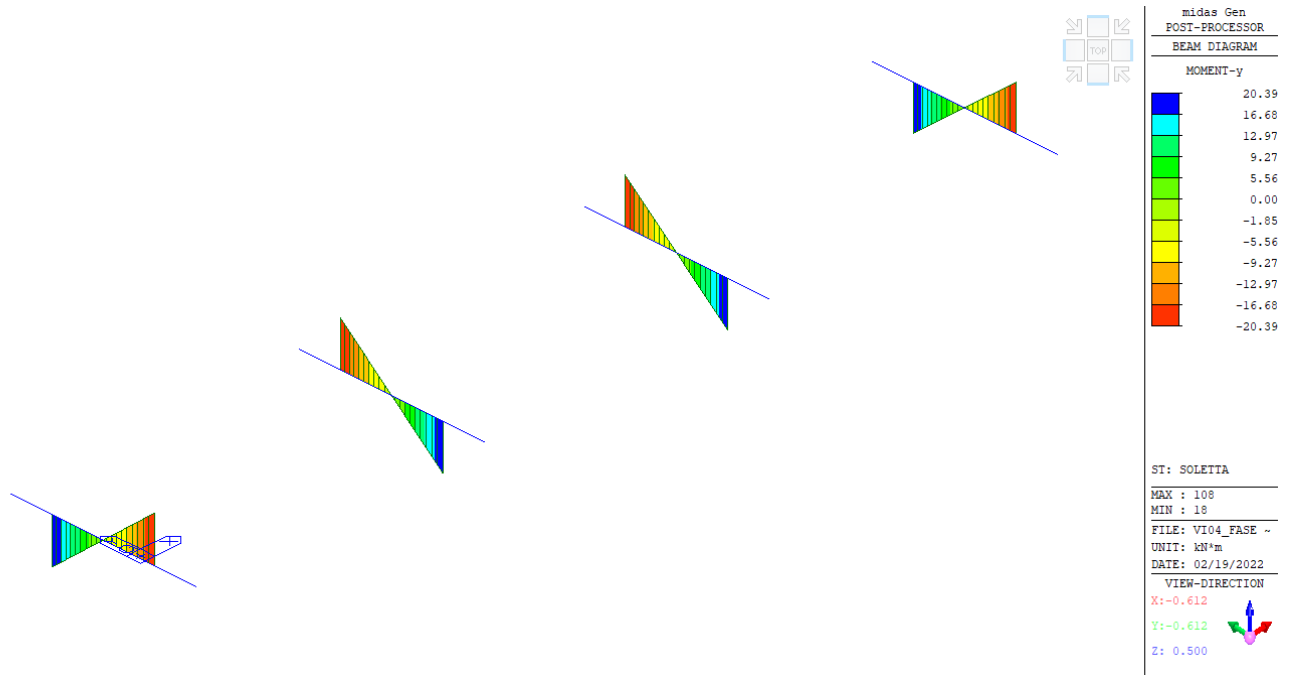


Figura 75 - Sollecitazione flessionale – peso soletta

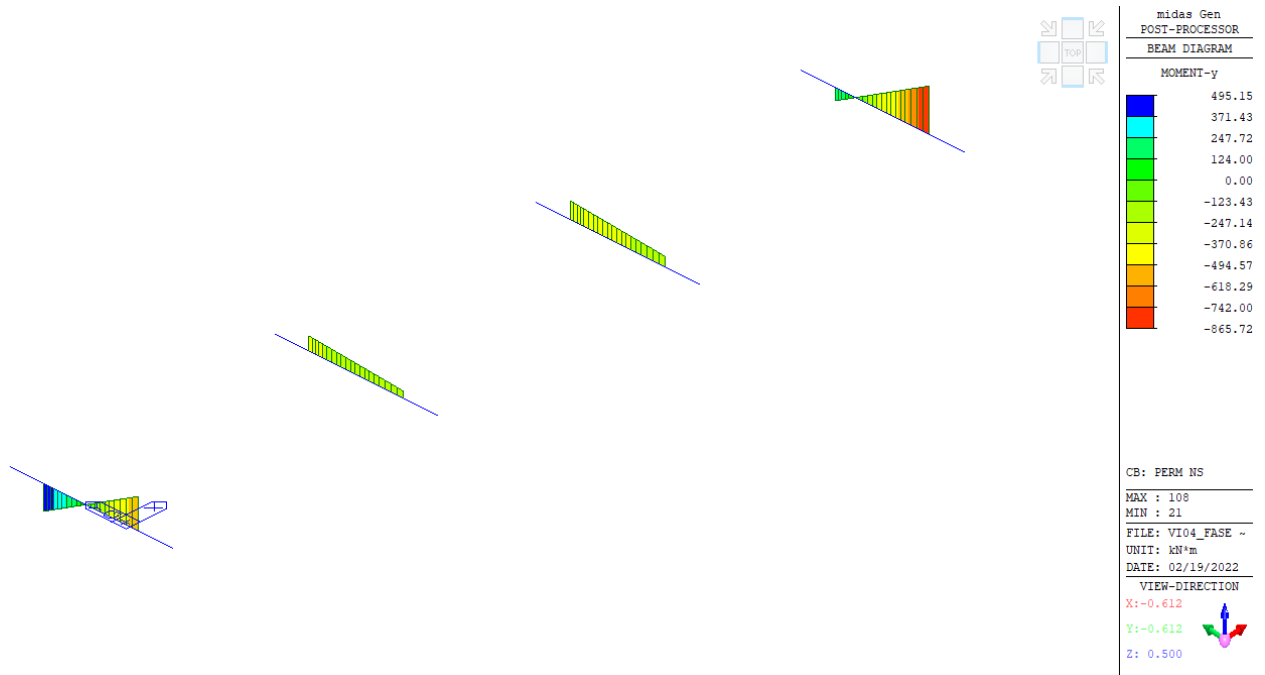


Figura 76 - Sollecitazione flessionale – carichi permanenti non strutturali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	115 di 153

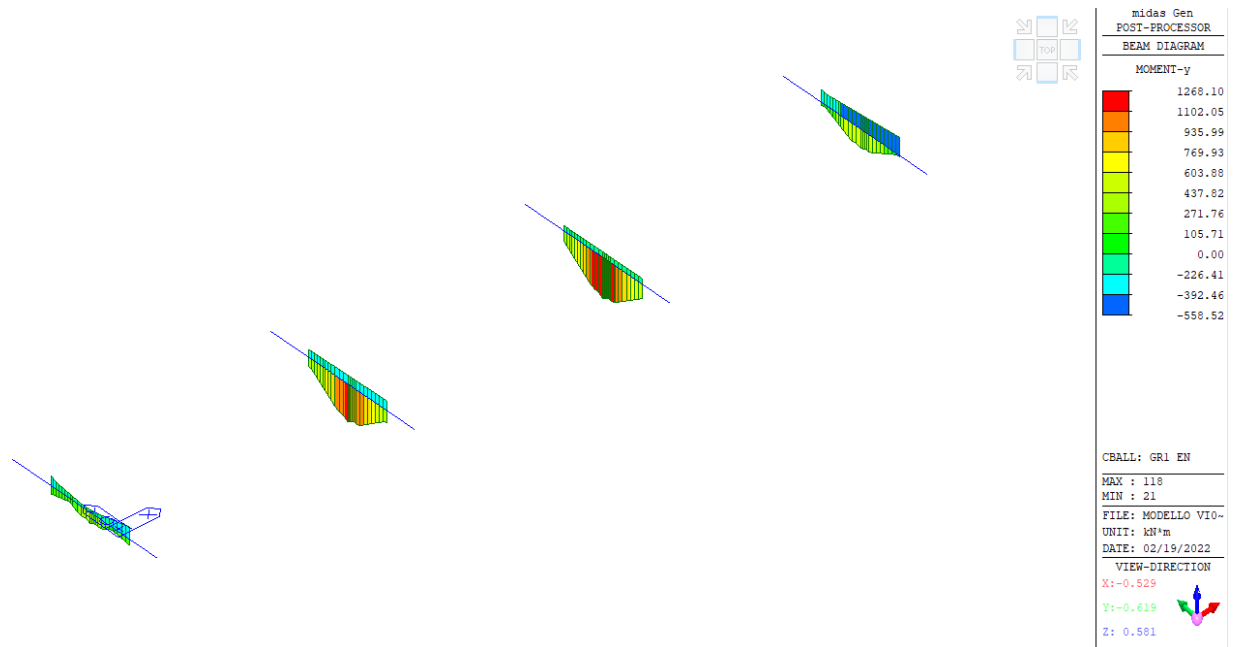


Figura 77 – Involuppo Sollecitazione flessionale – carichi da traffico

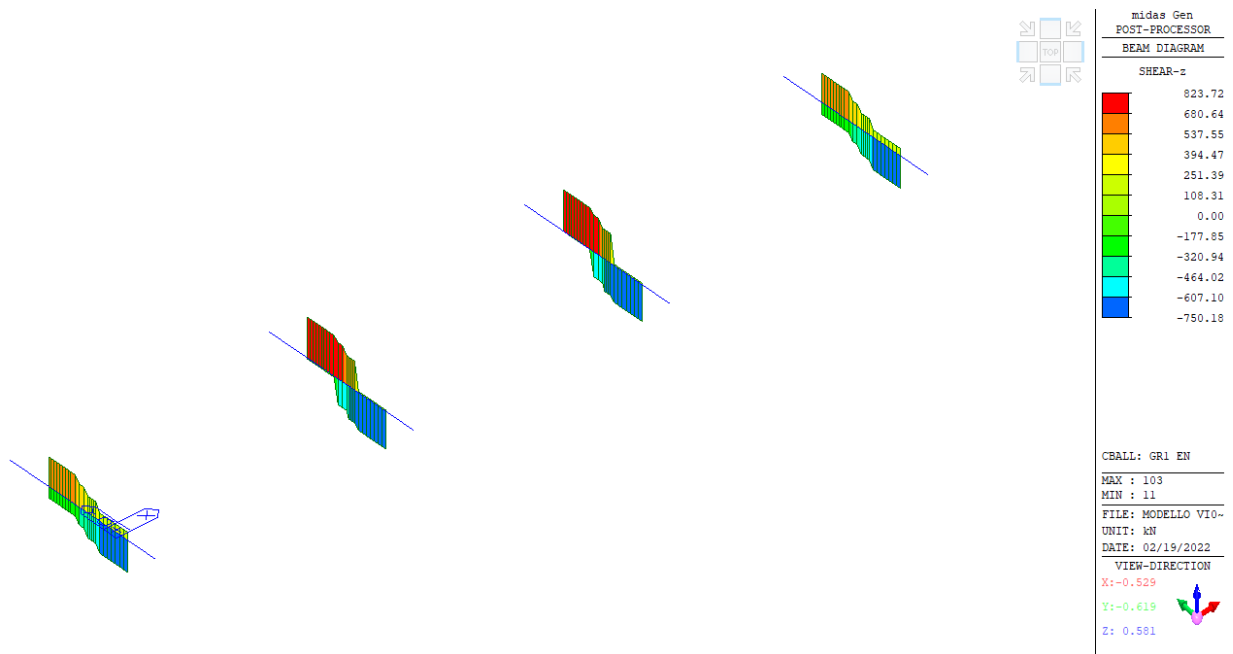


Figura 78 – Involuppo Sollecitazione di taglio – carichi da traffico

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	116 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

7.2 Caratteristiche della sezione

7.2.1 Sezione iniziale

Traverso

area della sezione in calcestruzzo	A_{cls}	6013	cm^2
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xCLS, G}$	1.68E+07	cm^4
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xCLS, hom1}$	1.68E+07	cm^4
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xCLS, G}$	513375	cm^3

Armatura tesa

coefficiente di omogenizzazione	n_{acc}	5.79	
coefficiente di omogenizzazione di calcolo	n_{acc}	4.79	
area totale armatura tesa	A_s	22.24	cm^2
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xs, G}$	9.40E+04	cm^4
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xs, hom1}$	9.44E+04	cm^4
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xs, G}$	2002	cm^3

Sezione di Calcolo

area netta del calcestruzzo	A_{cls}	5990.26	cm^2
baricentro sezione	x_G	0	cm
baricentro sezione	y_G	85.38462	cm
inerzia sezione netta	I_{xG}	1.67E+07	cm^4
momento statico sezione netta	S_x	5.11E+05	cm^3

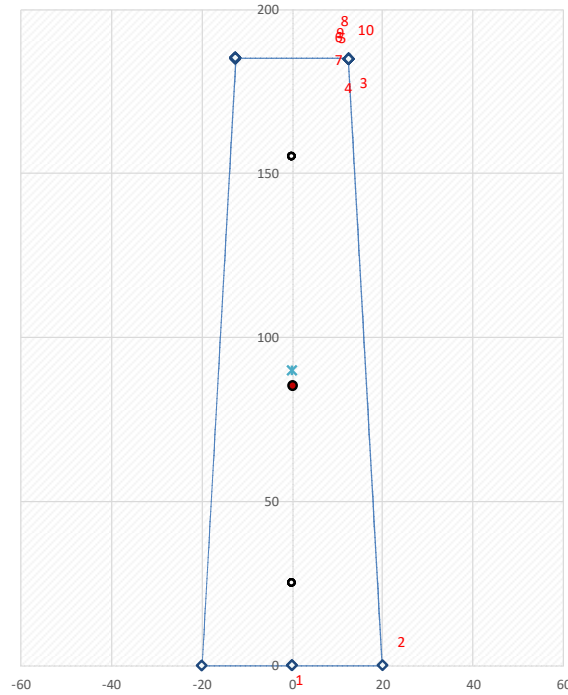


Figura 79 – Traverso - Sezione iniziale

7.2.2 Sezione composta – breve termine

Soletta

coefficiente di omogenizzazione di calcolo	n_{sol}	0.94	
area della sezione in calcestruzzo	A_{sol}	2400	cm ²
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{x_{sol}, G}$	1.80E+05	cm ⁴
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{x_{sol}, hom2}$	1.85E+07	cm ⁴
momento statico rispetto all'asse x	$S_{x_{sol}, G}$	4.92E+05	cm ³

Sezione omogenizzata2

area omogenizzata al calcestruzzo	A_{hom2}	8373	cm ²
baricentro sezione omogenizzata	x_G	0.00	cm
baricentro sezione omogenizzata	y_G	117.64	cm
inerzia sezione omogenizzata	I_{xG}	4.10E+07	cm ⁴
momento statico sezione omogenizzata	S_x	9.85E+05	cm ³

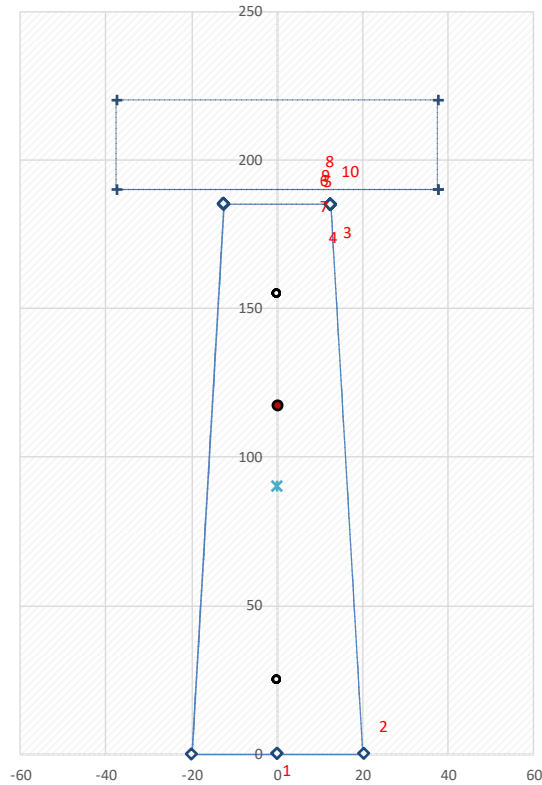


Figura 80 - sezione omogenizzata - breve termine

7.2.3 Sezione composta – lungo termine

coefficiente di viscosità a tempo infinito cassone

coefficiente di viscosità a tempo infinito soletta

coefficiente di omogenizzazione di calcolo

coefficiente di omogenizzazione di calcolo

Sezione omogenizzata3

area omogenizzata al calcestruzzo	A_{hom3}	8624	cm ²
baricentro sezione omogenizzata	x_G	0.00	cm
baricentro sezione omogenizzata	y_G	117.35	cm
inerzia sezione omogenizzata	I_{xG}	4.24E+07	cm ⁴
momento statico sezione omogenizzata	S_x	1.01E+06	cm ³

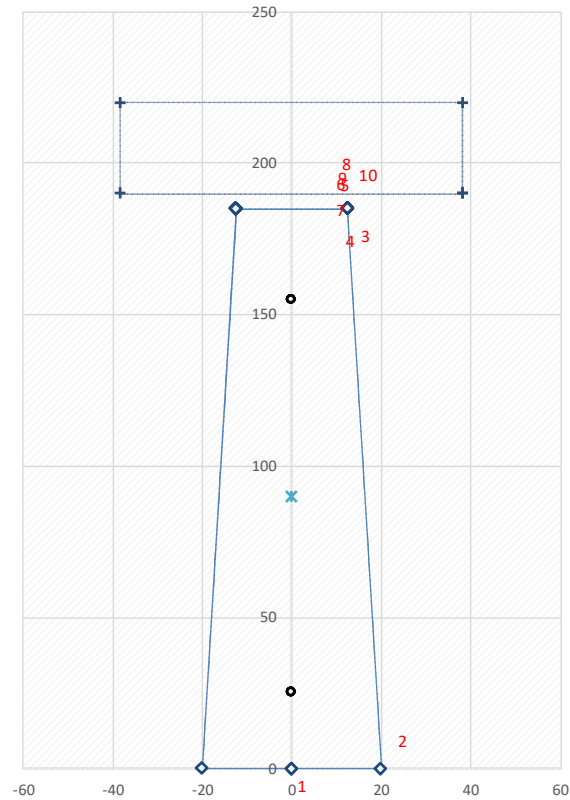


Figura 81 - sezione omogeneizzata - lungo termine

7.3 Verifiche stato limite di esercizio – SLE

7.3.1 Verifiche tensionali

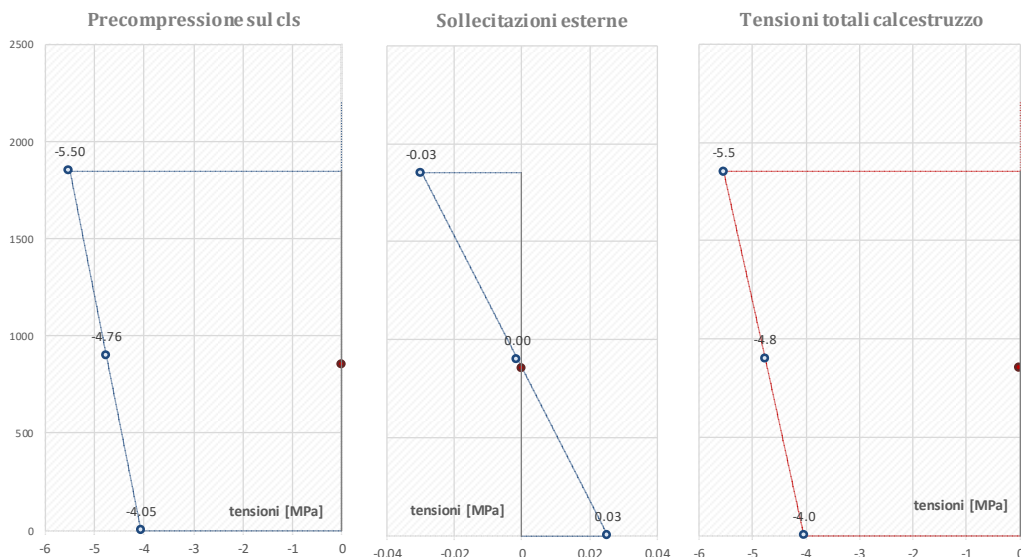
7.3.1.1 Fase 0 – Post-tensione

forza di precompressione a fine tesatura	P1	2,891	KN
tensione del cavo a fine tesatura	$\sigma_{t,1}$	1,300	MPa
momento dovuto al peso proprio della trave	$M_{pp,trave}$	5	kN m
tensione nel cavo a fine fase 0	$\sigma_{t,F0}$	1,300	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	120 di 153



Limitazioni tensionali del calcestruzzo

tensione limite all'atto della precompressione
tensione limite di esercizio a cadute avvenute

$\sigma_{t,1 \max}$	22.49	MPa
$\sigma_{t,0 \max}$	24.75	MPa

tensione del calcestruzzo nel lembo superiore
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore
tensione nel cavo a fine fase 0

$\sigma_{cls,1}$	-5.53	> -22.49	MPa
$\sigma_{cls',1}$	-4.76	> -22.49	MPa
$\sigma_{cls'',1}$	-4.03	> -22.49	MPa
$\sigma_{t,F0}$	1,300	< 1336	MPa


7.3.1.2 Fase 2 – Getto della soletta

momento dovuto al peso della soletta

Ritiro

giorno attuale per calcolo ritiro del cassoncino

perimetro di cls esposto all'aria
dimensione fittizia pari a $2A_c/u A_c$
umidità relativa

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0408 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 121 di 153</p>

deformazione massima per essiccamento
parametro per calcolo deformazione a tempo ∞
deformazione per ritiro da essiccamento a tempo ∞
coefficiente di calcolo
deformazione per ritiro da essiccamento a tempo t

resistenza caratteristica del calcestruzzo
valore m della deformazione per ritiro autogeno

deformazione totale per ritiro
variazione tensionale nel caso per effetto del ritiro

Viscosità

effetto del tipo di cemento sulla viscosità
tempo equivalente di applicazione del carico

coef. Funzione della resistenza del cls
resistenza media del calcestruzzo

coef. Funzione della maturazione del cls
coef. Funzione dell u.r. e di h_0
coef. Che descrive l'evoluzione viscosa

coef. Per tenere conto dell resistenza del cls
coef. Per tenere conto dell resistenza del cls
coef. Per tenere conto dell resistenza del cls

coef. Funzione dell'umidità relativa
coefficiente normale di viscosità
coefficiente di viscosità al tempo t_0
coefficiente di viscosità al tempo t_1

controllo tensione massima CLS $<0.45f_{cm} \Rightarrow$
coefficiente di viscosità di riferimento al tempo t
coefficiente di viscosità di riferimento al tempo t

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	122 di 153

modulo del calcestruzzo al tempo t_0
 funzione di fluage iniziale - (della sola parte viscosa)
 coefficiente di invecchiamento
 funzione di fluage incremento di carico - (della sola parte viscosa)
 deformazione totale indotta dalla viscosità G_{cavo}
 variazione tensionale nel caso per effetto della viscosità

Rilassamento

classe di armatura di precompressione
 percentuale di perdita a 1000h
 rapporto tra valore carat. e tensione

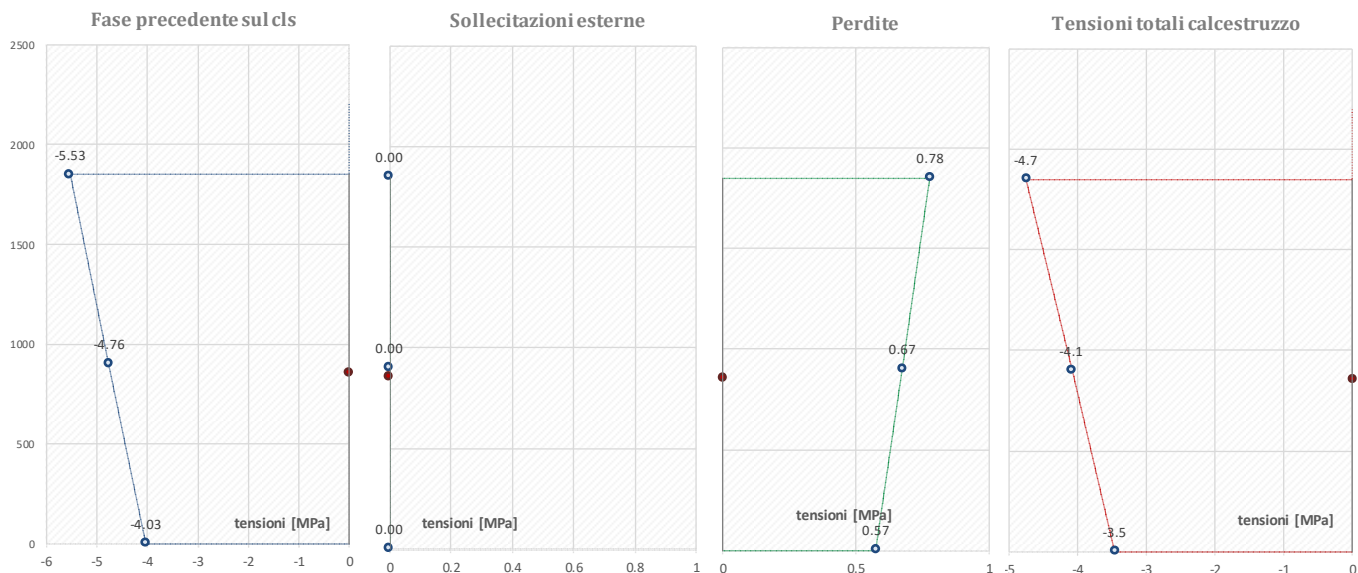
perdite per rilassamento a tempo t

inerzia della sezione in cls	I_{cls}	1.73E+07	cm ⁴
area della sezione in cls	A_{cls}	5990	cm ²
eccentricità del cavo rispetto al baricentro cls	e	-4.62	cm
perdita totale di precompressione nel cavo al tempo t	$\Delta\sigma_{pr(t)}$	-180.09	cm
perdita di precompressione (corrisponde a trazione nel cls)	$\Delta N_{pr(t)}$	401	kN
coefficiente di omogenizzazione	n	4.79	
area della sezione netta di calcestruzzo	A_{hom1}	5.99E+05	mm ²
inerzia della sezione netta di calcestruzzo	I_{hom1}	1.67E+11	mm ⁴
tensione nel cavo a fine fase 1	$\sigma_{t,1}$	1119.91	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	123 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04



7.3.1.3 Fase 2 – Permanenti non strutturali

momento dovuto al peso dei non strutturali
giorno attuale per calcolo delle perdite lente

M_{G2}	-383	kN m
t	170	giorni

perimetro di cls esposto all'aria
dimensione fittizia pari a $2A_c/u$ Ac

u	800.00	mm
h_0	600.00	mm

deformazione massima per essiccamento
parametro per calcolo deformazione a tempo ∞
deformazione per ritiro da essiccamento a tempo ∞
coefficiente di calcolo
deformazione per ritiro da essiccamento a tempo t
valore medio della deformazione per ritiro autogeno

ϵ_{c0}	-0.000331
k_h	0.7
$\epsilon_{cd\infty}$	-0.000282
$\beta_{ds}(t, t_s)$	0.8912924
$\epsilon_{cd}(t)$	-2.5E-04
ϵ_{ca}	-6.3E-05
$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd}(t) + \epsilon_{ca}$	-3.1E-04

deformazione totale per ritiro

sforzamento di compressione sul cassoncino
distanza superficie di contatto baricentro sezione

N_{ri}	-863	kN
e	673.6	mm

eccentricità del cavo rispetto al baricentro della sezione
perdita totale di precompressione nel cavo al tempo t

e	27.64	cm
$\Delta\sigma_{pr}(t)$	0.00	cm

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	124 di 153

perdita di precompressione (corrisponde a trazione nel cls)

$\Delta N_{pr(t)}$ 0 kN

coefficiente di omogenizzazione soletta

n 0.94

coefficiente di omogenizzazione acciaio

n 4.79

area della sezione netta di calcestruzzo

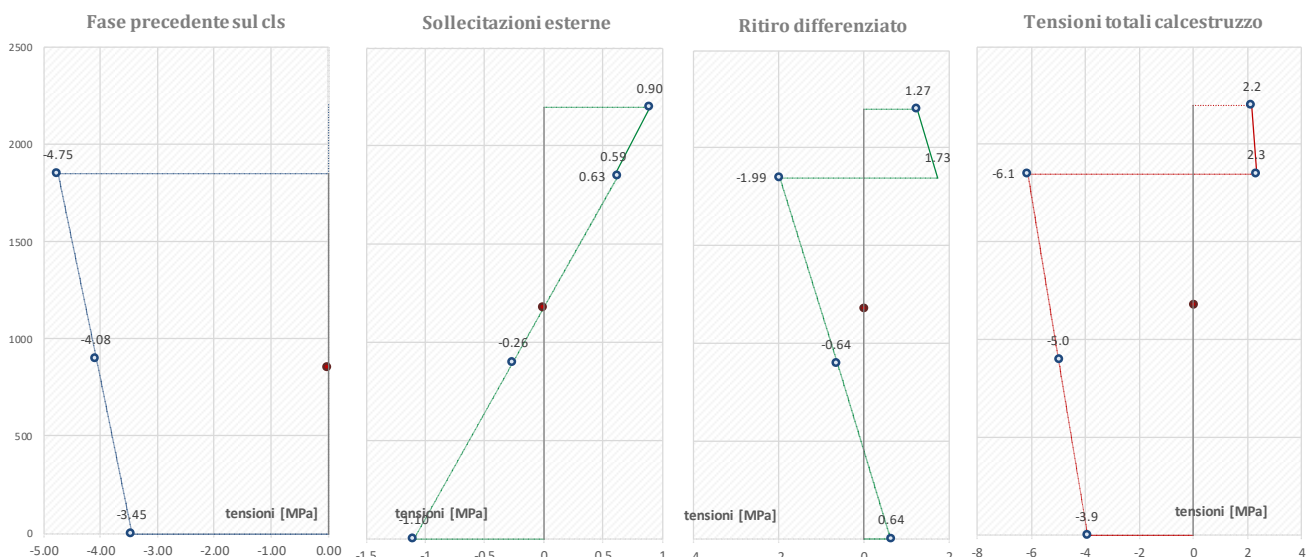
A_{hom2} 8.37E+05 mm²

inerzia della sezione netta di calcestruzzo

I_{hom2} 4.10E+11 mm⁴

tensione nel cavo a fine fase 2

$\sigma_{t,2}$ 1115.61 MPa



tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta

$\sigma_{cls,3}$ 2.16 < 2.57 MPa

tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta

$\sigma_{cls',3}$ 2.32 < 2.57 MPa

PROGETTO DEFINITIVO

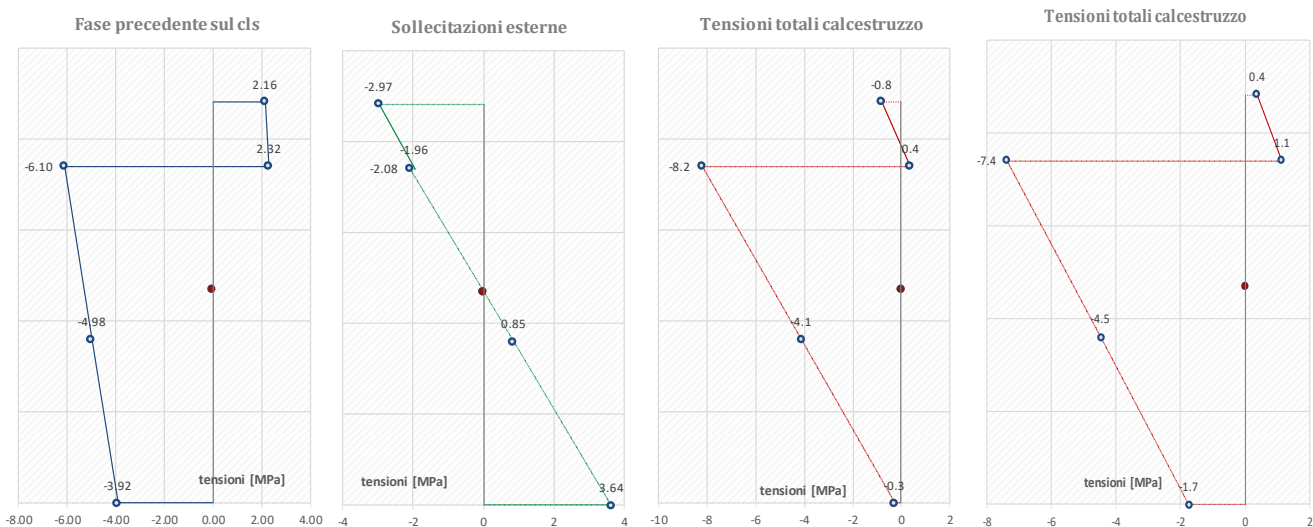
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	125 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

7.3.1.4 Fase 3 – Carichi variabili

momento dovuto ai carichi da traffico
tensione nel cavo a fine fase

M_Q 1268 kN m
 σ_{t3} **1119.70** MPa



Combinazione rara

tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta
tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore
tensione nel cavo a fine fase 3

$\sigma_{cls,3}$	-0.81	> -19.25	MPa
$\sigma_{cls',3}$	0.37	< 2.67	MPa
$\sigma_{cls,1}$	-8.19	> -24.75	MPa
$\sigma_{cls',1}$	-4.13	> -24.75	MPa
$\sigma_{cls'',1}$	-0.28	> -24.75	MPa
$\sigma_{t,F3}$	1,120	< 1336	MPa

Combinazione frequente

tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta
tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore
tensione nel cavo a fine fase 3

$\sigma_{cls,3}$	0.4	< 2.67	MPa
$\sigma_{cls',3}$	1.1	< 2.67	MPa
$\sigma_{cls,1}$	-7.4	> -18	MPa
$\sigma_{cls',1}$	-4.5	> -18	MPa
$\sigma_{cls'',1}$	-1.7	> -18	MPa
$\sigma_{t,F3}$	1,118	< 1336	MPa


	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A	FOGLIO 126 di 153

7.3.2 *Verifica a fessurazione*

Le combinazioni SLE Frequenti presentano sollecitazioni inferiori a quelle delle combinazioni Rare analizzate nelle verifiche tensionali sopra riportate.

Secondo il §4.1.2.2.4.1 delle Norme Tecniche lo stato limite di formazione delle fessure si ha quando la tensione massima di trazione della sezione supera $f_{ctm} / 1.2 = 3.16$ Mpa.

Si ha quindi che le combinazioni frequenti non portano mai alla formazione di fessure in quanto già nelle combinazioni RARE la tensione massima non supera il valore sopra riportato.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0408 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 127 di 153</p>

7.3.3 Verifica a sollevamento

Si esegue la verifica del traverso in condizioni di sollevamento necessario ai fini dell'eventuale sostituzione degli apparecchi d'appoggio. Durante tale operazione si considerano agenti i carichi dei pesi propri della trave, della soletta e i carichi permanenti portanti. Il sollevamento avviene mediante 4 martinetti. Considerando lo schema riportato di seguito, si valutano le sollecitazioni e si verifica lo stato tensionale del traverso in appoggio secondo i precedenti capitolo.

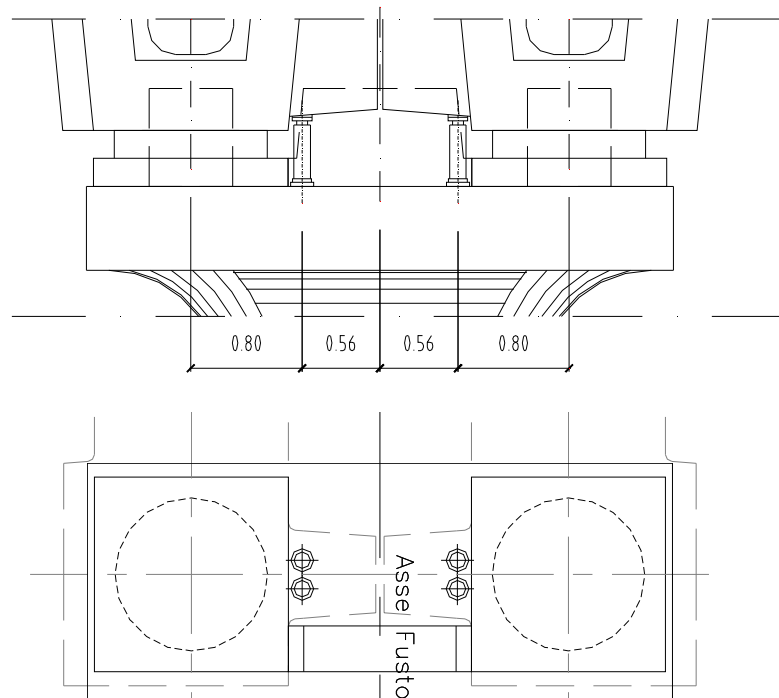


Figura 82: Schema sollevamento impalcato

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	128 di 153

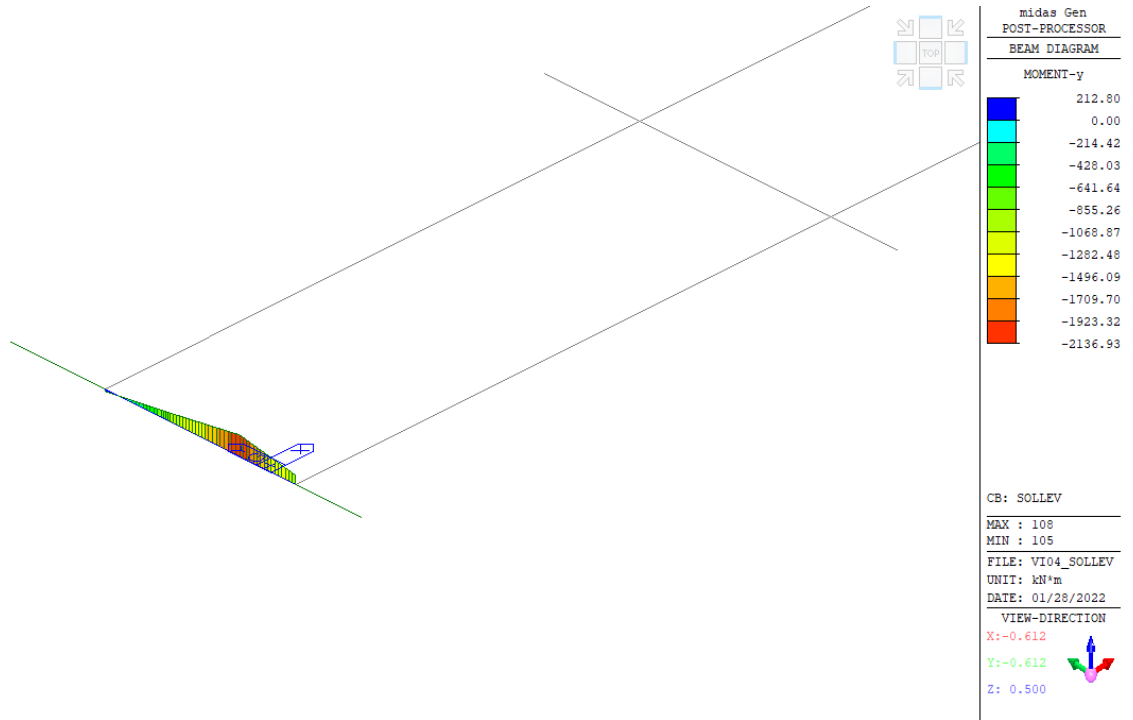
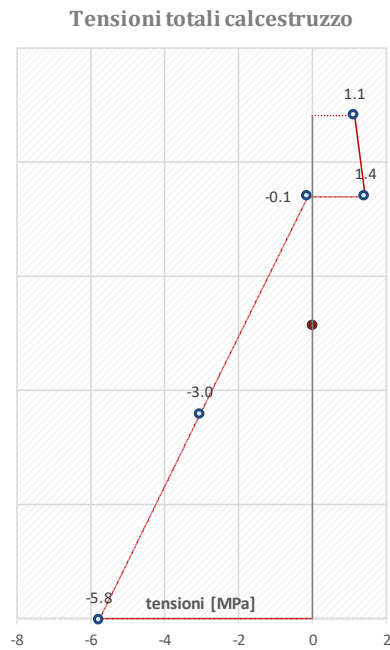


Figura 83: Sollecitazione flessionale sollevamento



PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	129 di 153

tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta	$\sigma_{cls,3}$	1.13	< 2.3	MPa
tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta	$\sigma_{cls',3}$	1.43	< 2.3	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore	$\sigma_{cls,1}$	-0.14	> -24.75	MPa
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo	$\sigma_{cls',1}$	-3.03	> -24.75	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore	$\sigma_{cls'',1}$	-5.76	> -24.75	MPa
tensione nel cavo a fine fase 3	$\sigma_{t,F3}$	958	< 1336	MPa

7.4 Verifiche stato limite ultimo - SLU

7.4.1 Verifiche a presso-flessione

Si riportano di seguito le verifiche tensionali previste per gli SLU. La sezione è stata modellata per intero considerando cavi di post-tensione aderenti al calcestruzzo.

File Materiali Opzioni Visualizza Progetto Sez. Rett. Sismica Normativa: NTC 2008 ?

Titolo: _____

N° Vertici: 10 Zoom N° barre: 1 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	12.5	185
2	20	0
3	-20	0
4	-12.5	185
5	-18	190
6	-18	220

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0	0	0

Armatura Precompressione

N° cavi: 16 Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]	σ_{sp} [MPa]
12	1.39	0	155	1155
13	1.39	0	155	1155
14	1.39	0	155	1155
15	1.39	0	25	1155
16	1.39	0	155	1155

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 881 kN
M_{xEd}: 2150 kNm
M_{yEd}: 0

P.to applicazione N: Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Cavo snervato

Metodo di calcolo: S.L.U.+ S.L.U.- Metodo n

Tipo flessione: Retta Deviata

Calcola MRd Dominio M-N L₀: 0 cm Col. modello

Precompresso

Materiali: B450C C45/55

ϵ_{su} : 67.5‰ ϵ_{c2} : 2‰
 f_{yd} : 391.3 N/mm² ϵ_{cu} : 3.5‰
 E_s : 200,000 N/mm² f_{cd} : 25.5
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0.8
 ϵ_{syd} : 1.957‰ $\sigma_{c,adm}$: 9.75
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm² τ_{co} : 0.6
 τ_{c1} : 1.829

M_{xRd}: 4.085 kN m
 σ_c : -25.5 N/mm²
 σ_s : 391.3 N/mm²
 ϵ_c : 3.5‰
 ϵ_s : 9.085‰
d: 220 cm
x: 61.18 x/d: 0.2781
 δ : 0.7876

Tipo cavo: Trefolo
 ϵ_{su} : 67.5‰
 f_{yd} : 1.409 N/mm²
 E_s/E_c : 6
 ϵ_{syd} : 7.045‰
 $\sigma_{s,adm}$: 1080 N/mm²
 σ_{sp} : 1.409 N/mm²
 ϵ_{sp} : 13.43‰ compresa predef.

Figura 84 - Schema di calcolo

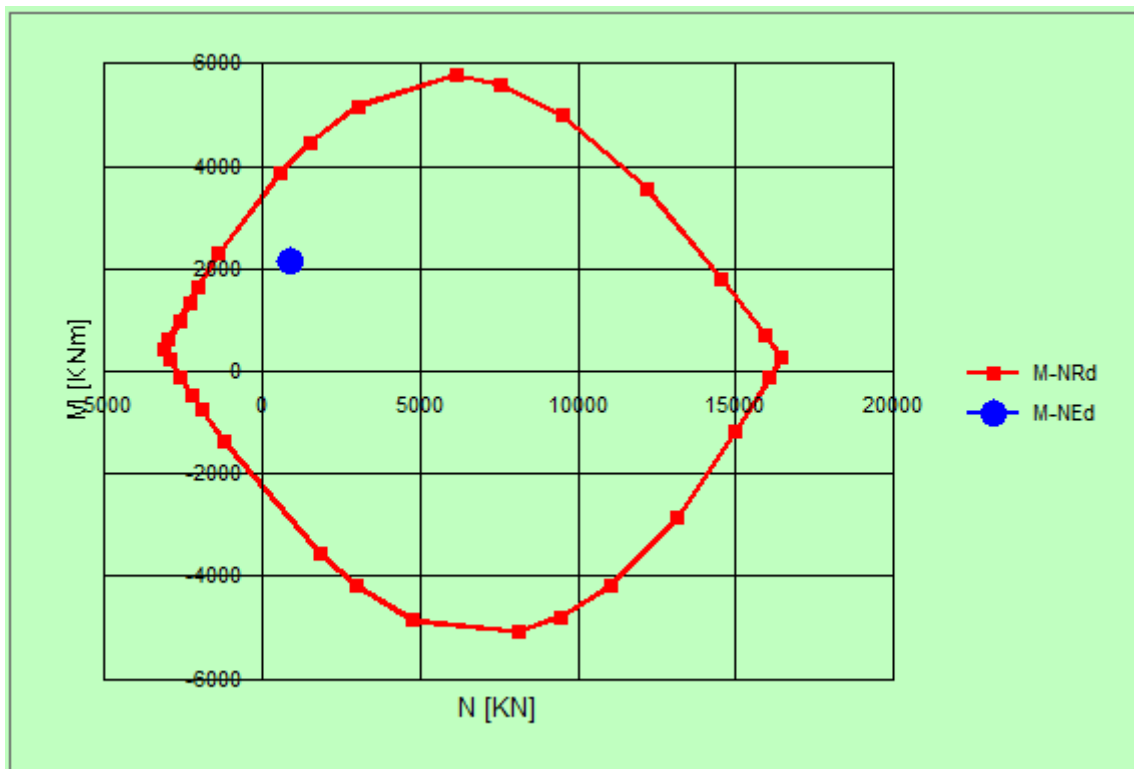


Figura 85 - Dominio della sezione

7.4.2 Verifica a taglio

Caratteristiche dei materiali:

Resistenza caratteristica a compressione cubica cls

$$R_{ck} = 55 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza caratteristica a compressione cilindrica cls

$$f_{ck} = 46 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza di calcolo a compressione del cls

$$f_{cd} = 25.87 \text{ N/mm}^2$$

Resistenza di calcolo a trazione dell'acciaio

$$f_{yd} = 391.30 \text{ N/mm}^2$$

Sollecitazioni di verifica (S.L.U.):

Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente

$$V_{Ed} = 1323.00 \text{ kN}$$

Valore di calcolo della forza assiale associata a V_{Ed}

$$N(V_{Ed}) = 0.00 \text{ kN}$$

Valore di calcolo del momento flettente associato a V_{Ed}

$$M(V_{Ed}) = 0.00 \text{ kNm}$$

Caratteristiche geometriche della sezione:

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	131 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

Altezza utile della sezione	d	=	1750	mm
Larghezza minima della sezione	b_w	=	250	mm

Armatura della sezione in zona tesa:

Diametro ferri longitudinali	\varnothing	=	10	mm
Numero tondini longitudinali utilizzati	n	=	22	--
Area totale di armatura longitudinale in zona tesa	A_{sl}	=	1738	mm ²
Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale (≤ 0.02)	ρ_l	=	0.0040	--

VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO

Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione (≤ 2)	k	=	1.34	--
Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls	v_{min}	=	0.37	N/mm ²
Tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0.2 \times f_{cd}$)	σ_{cp}	=	0.00	N/mm ²
Resistenza ultima a taglio minima	V_{Rd,min}	=	160.13	kN
Resistenza ultima a taglio ($V_{Rd} \geq V_{Rd,min}$)	V_{Rd}	=	184.56	kN

VERIFICA NON SODDISFATTA:

occorre procedere al dimensionamento dell'armatura trasversale resistente a taglio.

VERIFICA CON ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO
Armatura aggiuntiva resistente a taglio:

Angolo di inclinazione armatura trasv. su asse dell'elemento	α	=	90	°
Diametro ferri a taglio	\varnothing_{sw}	=	16	mm
Numero dei bracci in sezione trasversale	n_{sw}	=	2	--
Passo in direzione asse elemento	s	=	150	mm
Area totale di armatura a taglio	A_{sw}	=	402	mm ²

Fattori di resistenza a compressione:

Controllo duttilità (SI = duttile)	4.19	<	12.93	SI
Angolo di inclinazione dei puntoni di cls	θ	=	34.71	°
Resistenza a compressione ridotta del cls d'anima	f'_{cd}	=	12.93	N/mm ²
Tensione media di compressione nella sezione	σ_{cp}	=	0.00	N/mm ²
Coefficiente maggiorativo per membrature compresse	α_c	=	1.00	--

Resistenza di calcolo a "taglio trazione" dell'armatura	V_{Rsd}	=	2384.05	kN
Resistenza di calcolo a "taglio compressione" del cls	V_{Rcd}	=	2384.05	kN
Resistenza ultima a taglio	V_{Rd}	=	2384.05	kN

VERIFICA SODDISFATTA.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0408 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 132 di 153</p>

8 EFFETTI LOCALI

L'analisi degli effetti locali è stata condotta su un modello di calcolo agli E.F. a telaio che discretizza un tronco di impalcato di larghezza unitaria in corrispondenza della sezione trasversale corrente.

8.1 SOLETTA

8.1.1 Modellazione

La soletta superiore in c.a. è formata in opera su predalle prefabbricate autoportanti disposte all'estradosso delle travi in c.a.p. in corrispondenza dei martelli superiori e su banchinaggio continuo alle estremità degli sbalzi.

La soletta ha uno spessore complessivo variabile da 35.0 cm ai bordi fino a 41.0 cm in mezzeria per garantire la pendenza trasversale del 1.5% e presenta uno spessore medio del getto in opera di 38 cm.

I tratti delle anime verticali comprese fra il raccordo inferiore e il martello superiore hanno uno spessore costante pari a 16 cm; la contro-soletta ha uno spessore variabile, che nella sezione di mezzeria, è pari a un minimo di 25.0 cm in asse alla trave, fino ad un valore massimo di 28.0 cm nelle zone di raccordo con le anime verticali.

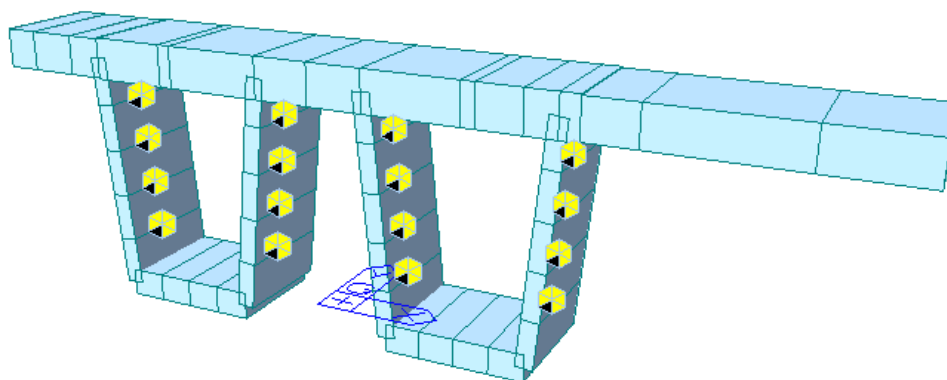


Figura 86 - Sezione trasversale dell'impalcato

I vincoli del modello sono costituiti da molle elastiche concentrate nei nodi dei frames che discretizzano le nervature dei cassoni prefabbricati; le molle elastiche ubicate in corrispondenza delle nervature fanno insorgere reazioni verticali in tutto simili alle azioni taglianti effettivamente agenti sul tronco di impalcato oggetto della discretizzazione strutturale. A tal scopo è stata preventivamente calcolata la freccia in mezzeria dell'impalcato sottoposto ad un puntuale di 400 kN; è risultato:

$$f \approx 0.85 \text{ mm.}$$

Se si ammette di operare con il tronco centrale dell'impalcato, la rigidezza complessiva delle molle elastiche vale:

$$K_y = 400 / 0.85 = 470.6 \text{ kN/mm.}$$

Poiché si opera con 16 molle (nodi presenti nelle nervature) si assume:

$$K_{y,i} = 470.6 / 16 = 29.4 \text{ kN/mm.}$$

Sempre nei nodi si inseriscono molle orizzontali:

$$K_{x,i} = 20 \times K_{y,i} = 588.2 \text{ kN/mm,}$$

che simulano un elevato (e fisicamente corretto) ritegno elastico trasversale del reticolo.

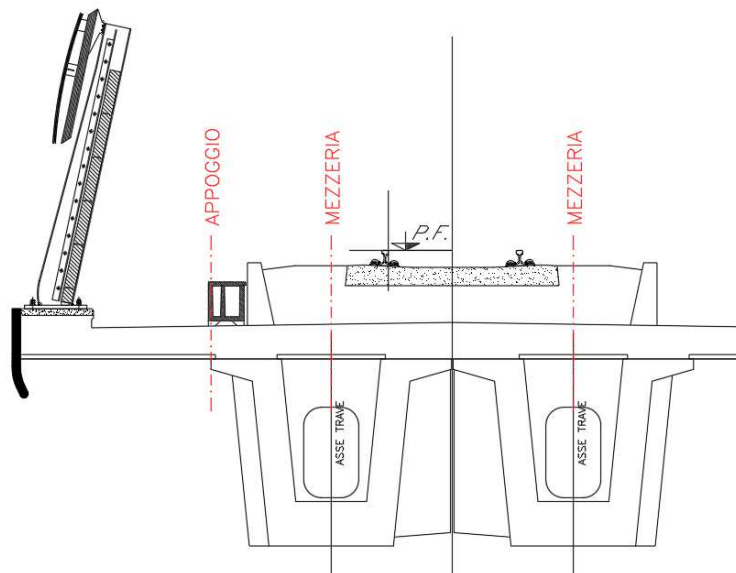



Figura 87 - Schema sezioni di verifica

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

8.1.2 Sollecitazioni

Si riportano di seguito gli involuipi delle sollecitazioni riscontrate nella sezione di verifica, dovute ai carichi elementari precedentemente descritti.

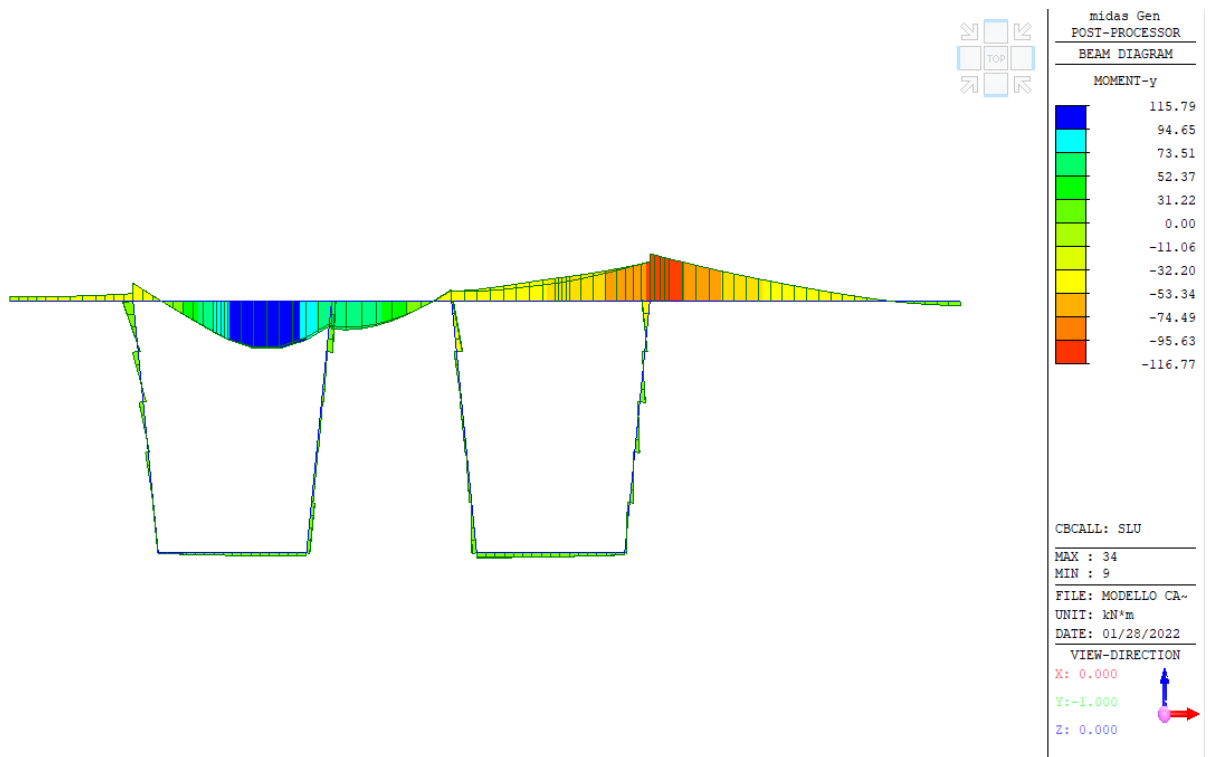


Figura 88 - Sollecitazione flessionale - SLU

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	135 di 153

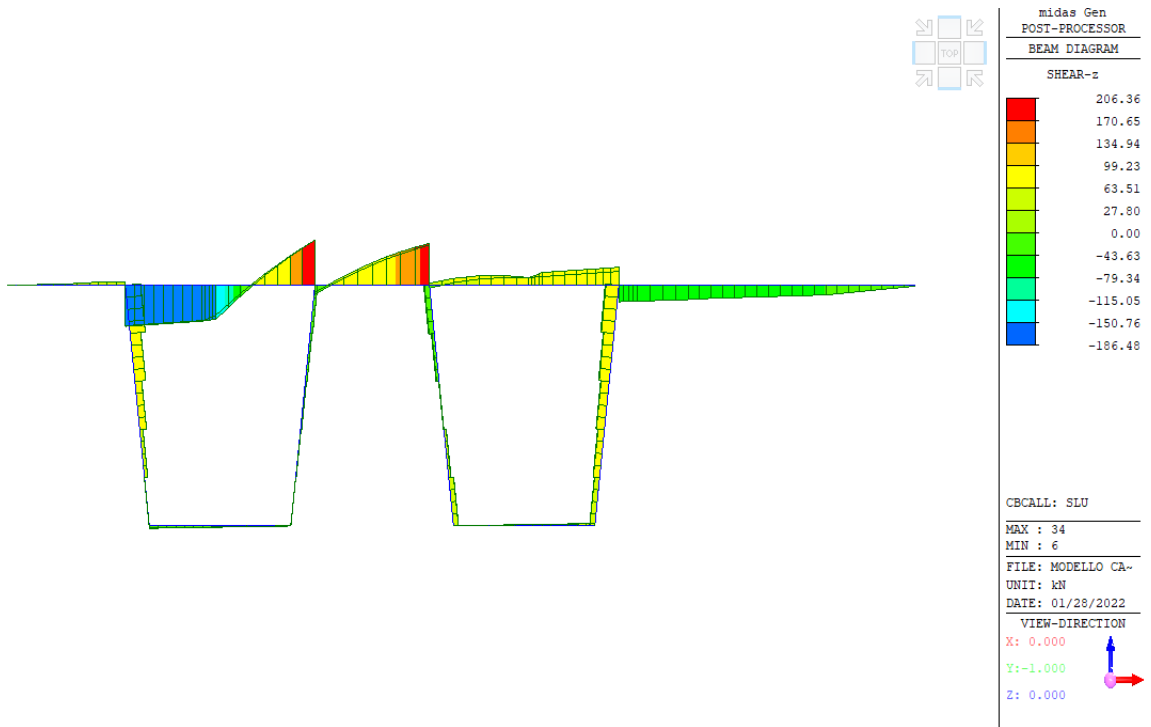


Figura 89 - Sollecitazione di taglio – SLU

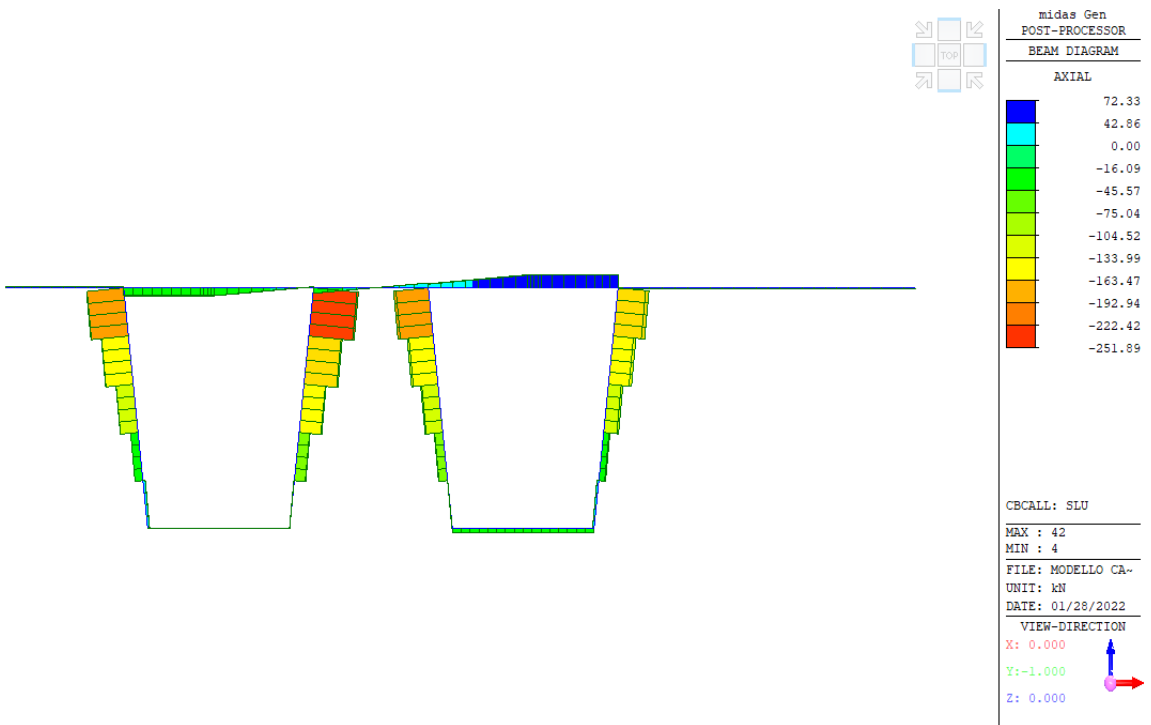


Figura 90 - Sollecitazione assiale – SLU

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	136 di 153

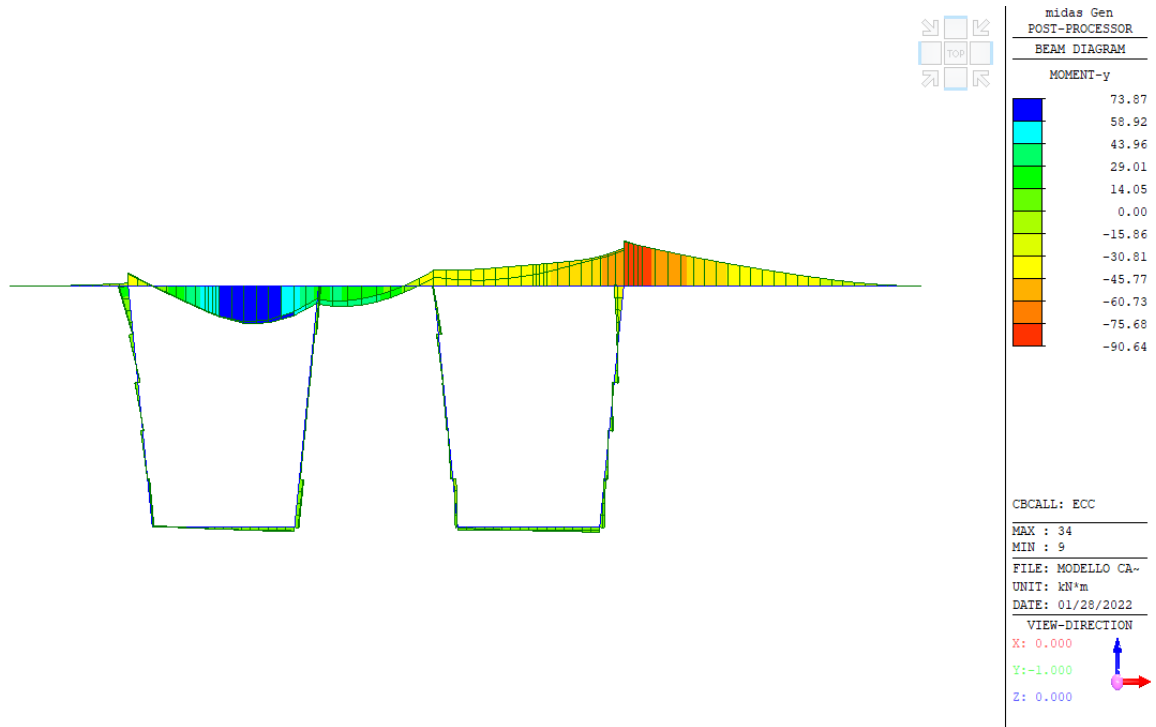


Figura 91 - Sollecitazione flessionale – comb. eccezionale

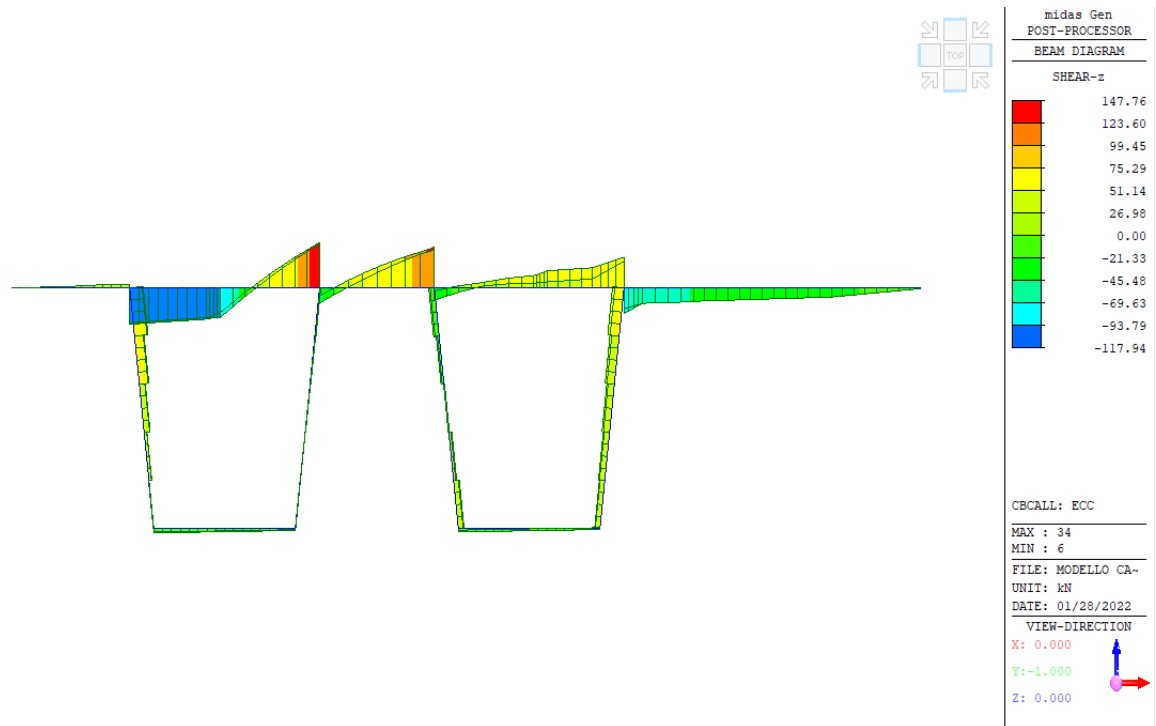


Figura 92 - Sollecitazione di taglio – comb. Eccezionale

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	137 di 153

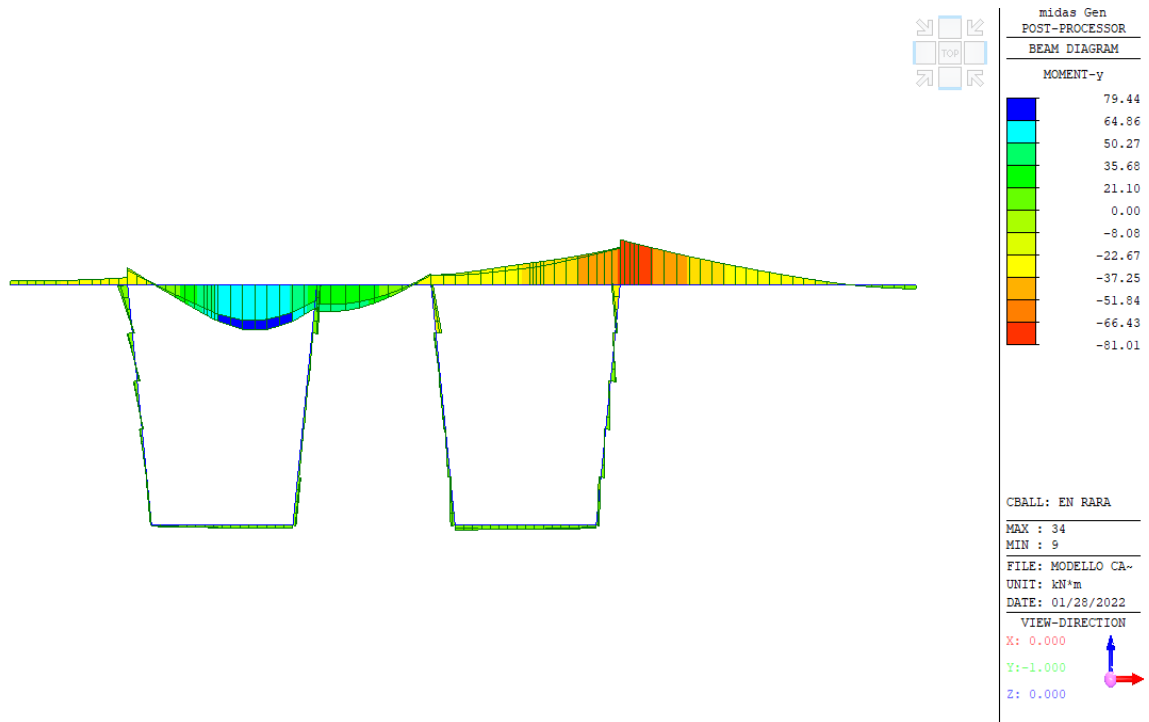


Figura 93 - Sollecitazione flessionale – combinazione rara

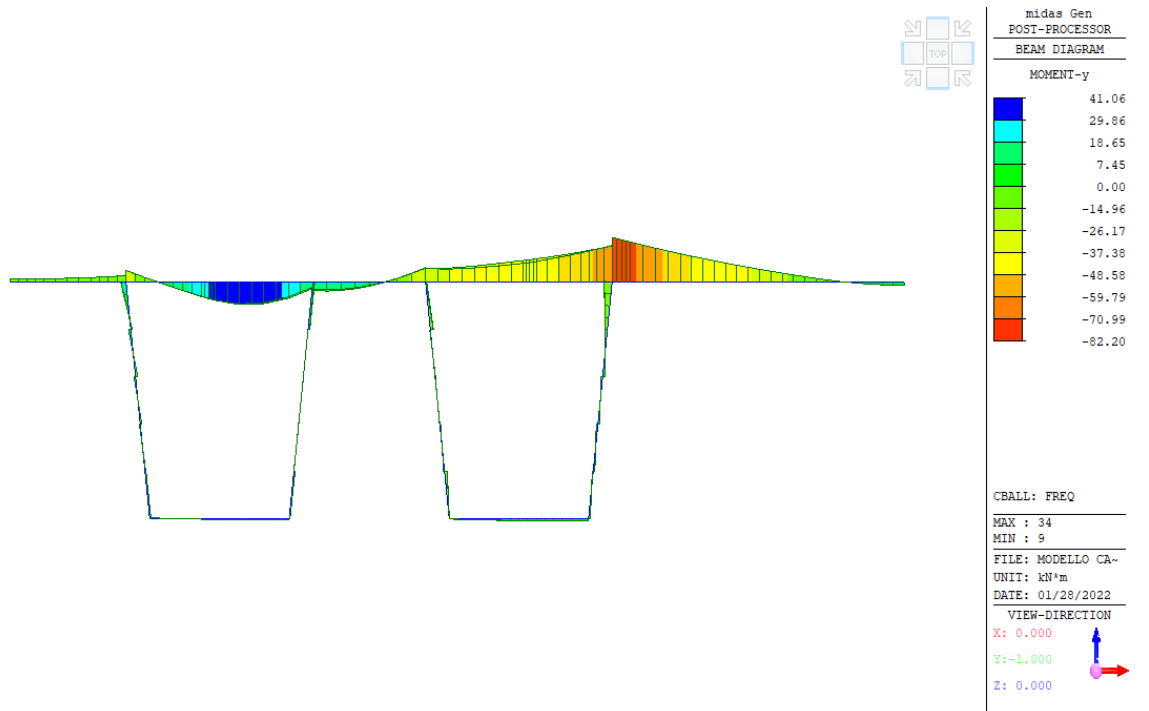


Figura 94 - Sollecitazione flessionale – combinazione frequente

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

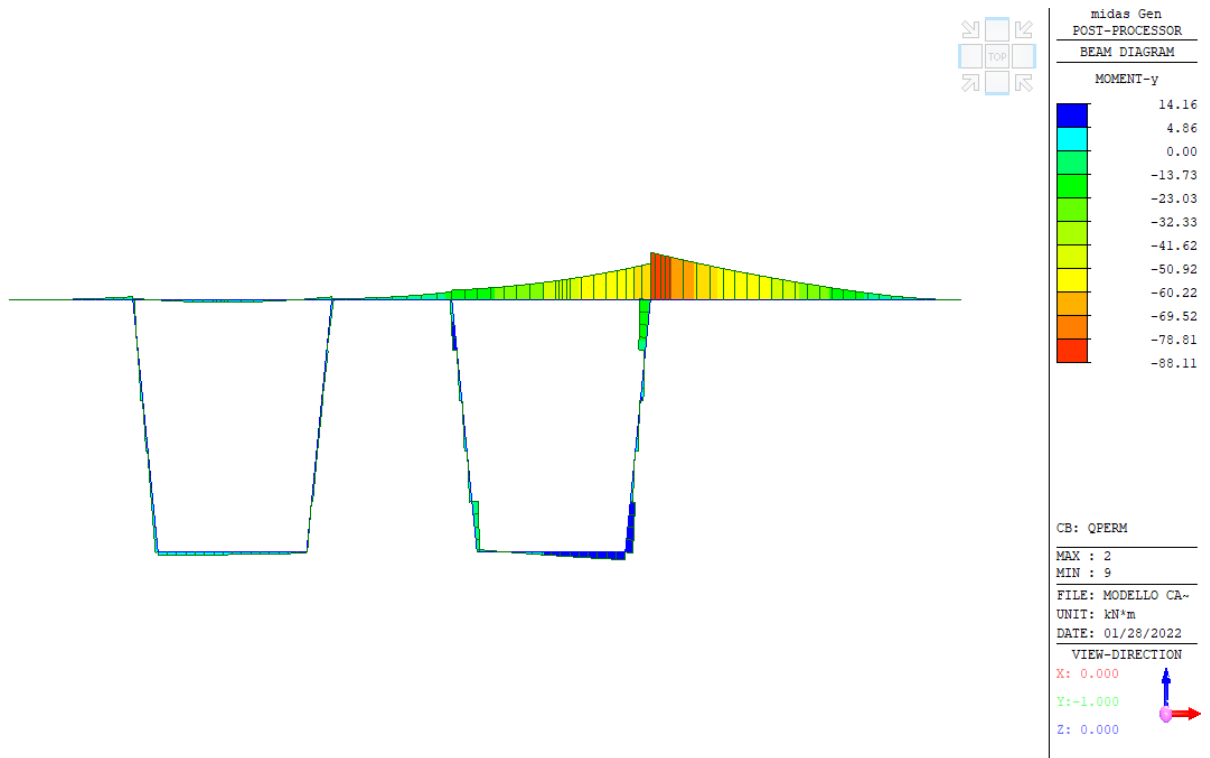


Figura 95 - Sollecitazione flessionale – combinazione quasipermanente

8.1.3 Verifiche sezione in mezzeria

8.1.3.1 Verifica a pressoflessione

L'armatura ordinaria sulla soletta risulta essere:

Ø16/20 strato sup.

Ø16/20 strato inf.

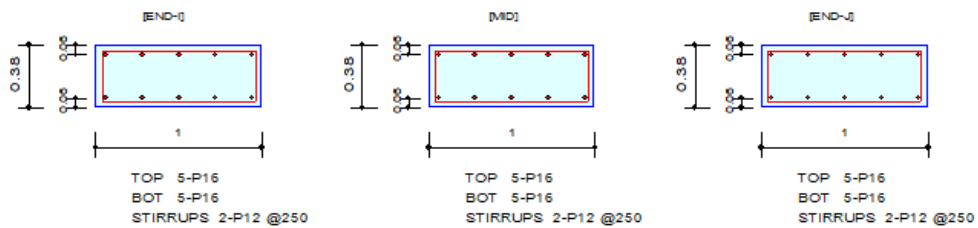
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	139 di 153

1. Design Information

Design Code	Eurocode2:04 & NTC2018	Unit System	kN, m
Material Data	$f_{ck} = 30000$, $f_{yk} = 450000$, $f_{yw} = 450000$ KPa		
Section Property	100x38 (No : 1)	Beam Span	0.888292m



2. Bending Moment Capacity

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	6-	6-	6-
Moment (M _{Ed})	116.77	113.65	107.50
Factored Strength (M _{Rd})	127.46	127.46	127.46
Check Ratio (M _{Ed} /M _{Rd})	0.9161	0.8916	0.8434
Neutral Axis (x/d)	0.1418	0.1418	0.1418
(+) Load Combination No.	6+	6+	6+
Moment (M _{Ed})	115.61	115.79	95.90
Factored Strength (M _{Rd})	127.46	127.46	127.46
Check Ratio (M _{Ed} /M _{Rd})	0.9070	0.9085	0.7524
Neutral Axis (x/d)	0.1418	0.1418	0.1418
Using Rebar Top (A _{s_top})	0.0010	0.0010	0.0010
Using Rebar Bot (A _{s_bot})	0.0010	0.0010	0.0010

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	140 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

8.1.3.2 Verifica a Taglio

Sono state inserite spille $\phi 12/20 \times 30$.

Caratteristiche dei materiali:

Resistenza caratteristica a compressione cubica cls	R_{ck}	=	45	N/mm ²
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica cls	f_{ck}	=	37	N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione del cls	f_{cd}	=	21.17	N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione dell'acciaio	f_{yd}	=	391.30	N/mm ²

Sollecitazioni di verifica (S.L.U.):

Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente	V_{Ed}	=	206.00	kN
Valore di calcolo della forza assiale associata a V_{Ed}	$N(V_{Ed})$	=	0.00	kN
Valore di calcolo del momento flettente associato a V_{Ed}	$M(V_{Ed})$	=	0.00	kNm

Caratteristiche geometriche della sezione:

Altezza utile della sezione	d	=	320	mm
Larghezza minima della sezione	b_w	=	1000	mm

Armatura della sezione in zona tesa:

Diametro ferri longitudinali	\emptyset	=	16	mm
Numero tondini longitudinali utilizzati	n	=	5	--
Area totale di armatura longitudinale in zona tesa	A_{sl}	=	1005	mm ²
Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale (≤ 0.02)	ρ_l	=	0.0031	--

VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO

Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione (≤ 2)	k	=	1.79	--
Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls	v_{min}	=	0.51	N/mm ²
Tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0.2 \times f_{cd}$)	σ_{cp}	=	0.00	N/mm ²
Resistenza ultima a taglio minima	$V_{Rd,min}$	=	164.00	kN
Resistenza ultima a taglio ($V_{Rd} \geq V_{Rd,min}$)	V_{Rd}	=	164.00	kN

VERIFICA NON SODDISFATTA:

occorre procedere al dimensionamento dell'armatura trasversale resistente a taglio.

VERIFICA CON ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	141 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

Armatura aggiuntiva resistente a taglio:

Angolo di inclinazione armatura trasv. su asse dell'elemento

$$\alpha = 90^\circ$$

Diametro ferri a taglio

$$\varnothing_{sw} = 12 \text{ mm}$$

Numero dei bracci in sezione trasversale

$$n_{sw} = 5 \text{ --}$$

Passo in direzione asse elemento

$$s = 300 \text{ mm}$$

Area totale di armatura a taglio

$$A_{sw} = 565 \text{ mm}^2$$

Fattori di resistenza a compressione:

Controllo duttilità (SI = duttile)

$$0.74 < 10.58 \text{ SI}$$

Angolo di inclinazione dei puntoni di cls

$$\theta = 22.00^\circ$$

Resistenza a compressione ridotta del cls d'anima

$$f'_{cd} = 10.58 \text{ N/mm}^2$$

Tensione media di compressione nella sezione

$$\sigma_{cp} = 0.00 \text{ N/mm}^2$$

Coefficiente maggiorativo per membrature compresse

$$\alpha_c = 1.00 \text{ --}$$

Resistenza di calcolo a "taglio trazione" dell'armatura

$$V_{Rsd} = 525.32 \text{ kN}$$

Resistenza di calcolo a "taglio compressione" del cls

$$V_{Rcd} = 1058.58 \text{ kN}$$

Resistenza ultima a taglio

$$V_{Rd} = 525.32 \text{ kN}$$

VERIFICA SODDISFATTA.

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	142 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

8.1.3.3 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio

2. Stress Check

	END-I		MID		END-J	
	Concrete	Rebar	Concrete	Rebar	Concrete	Rebar
(-) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	12(Q)	12(Q)	12(Q)	12(Q)
Stress(s)	3.38	28.17	3.30	27.48	3.13	26.10
Allowable Stress(sa)	18.00	360.00	18.00	360.00	18.00	360.00
Stress Ratio(s/sa)	0.1878	0.0783	0.1832	0.0763	0.1740	0.0725
(+) Load Combination No.	9(C)	9(C)	9(C)	9(C)	9(C)	9(C)
Stress(s)	3.05	25.38	3.05	25.40	2.52	21.00
Allowable Stress(sa)	18.00	360.00	18.00	360.00	18.00	360.00
Stress Ratio(s/sa)	0.1692	0.0705	0.1693	0.0706	0.1400	0.0583

3. Check Linear Creep

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	12(Q)
Stress(s)	3.38	3.30	3.13
Allowable Stress(sa)	13.50	13.50	13.50
Stress Ratio(s/sa)	0.2504	0.2442	0.2320
Result	Linear Creep	Linear Creep	Linear Creep
(+) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	12(Q)
Stress(s)	0.16	0.16	0.16
Allowable Stress(sa)	13.50	13.50	13.50
Stress Ratio(s/sa)	0.0121	0.0121	0.0121
Result	Linear Creep	Linear Creep	Linear Creep

4. Crack Control

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	12(Q)
Crack Width(w)	0.04	0.04	0.04
Allowable Crack Width(wa)	0.20	0.20	0.20
Check Ratio(w/wa)	0.1910	0.1863	0.1770
(+) Load Combination No.	11(F)	11(F)	11(F)
Crack Width(w)	0.02	0.02	0.01
Allowable Crack Width(wa)	0.20	0.20	0.20
Check Ratio(w/wa)	0.0890	0.0890	0.0725

PROGETTO DEFINITIVO
Relazione di calcolo impalcato V104

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	V10408 002	A	143 di 153

8.1.4 Verifiche sezione sullo sbalzo

8.1.4.1 Verifica a pressoflessione

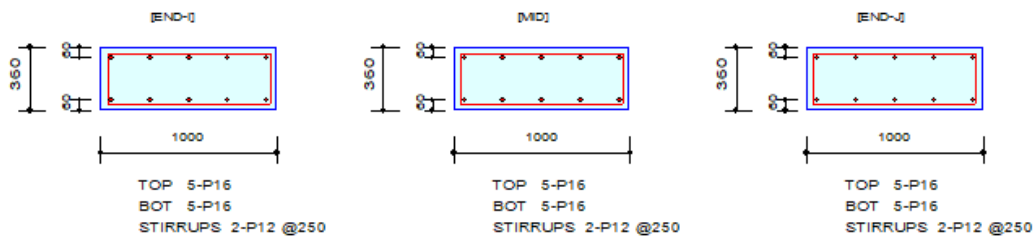
L'armatura ordinaria sulla soletta risulta essere:

Ø16/20 arm. sup.

Ø16/20 arm. inf.

1. Design Information

Design Code	Eurocode2:04 & NTC2018	Unit System	N, mm
Material Data	fck = 30, fyk = 450, fyw = 450 MPa		
Section Property	100x36 (No : 4)	Beam Span	1232.5mm



2. Bending Moment Capacity

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	6-	6-	6-
Moment (M _{Ed})	104460945.73	96428259.08	80959600.16
Factored Strength (M _{Rd})	119809051.77	119809051.77	119809051.77
Check Ratio (M _{Ed} /M _{Rd})	0.8719	0.8048	0.6757
Neutral Axis (x/d)	0.1514	0.1514	0.1514
(+) Load Combination No.	8-	6-	6-
Moment (M _{Ed})	0.00	8956500.00	10647000.00
Factored Strength (M _{Rd})	119809051.77	119809051.77	119809051.77
Check Ratio (M _{Ed} /M _{Rd})	0.0000	0.0748	0.0889
Neutral Axis (x/d)	0.1514	0.1514	0.1514
Using Rebar Top (As _{top})	1005.0000	1005.0000	1005.0000
Using Rebar Bot (As _{bot})	1005.0000	1005.0000	1005.0000

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	144 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

8.1.4.2 Verifica a Taglio

Caratteristiche dei materiali:

Resistenza caratteristica a compressione cubica cls	R_{ck}	=	45	N/mm ²
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica cls	f_{ck}	=	37	N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione del cls	f_{cd}	=	21.17	N/mm ²
Resistenza di calcolo a trazione dell'acciaio	f_{yd}	=	391.30	N/mm ²

Sollecitazioni di verifica (S.L.U.):

Valore di calcolo dello sforzo di taglio agente	V_{Ed}	=	72.00	kN
Valore di calcolo della forza assiale associata a V_{Ed}	$N(V_{Ed})$	=	0.00	kN
Valore di calcolo del momento flettente associato a V_{Ed}	$M(V_{Ed})$	=	0.00	kNm

Caratteristiche geometriche della sezione:

Altezza utile della sezione	d	=	280	mm
Larghezza minima della sezione	b_w	=	1000	mm

Armatura della sezione in zona tesa:

Diametro ferri longitudinali	\varnothing	=	16	mm
Numero tondini longitudinali utilizzati	n	=	5	--
Area totale di armatura longitudinale in zona tesa	A_{sl}	=	1005	mm ²
Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale (≤ 0.02)	ρ_l	=	0.0036	--

VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO

Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione (≤ 2)	k	=	1.85	--
Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls	v_{min}	=	0.54	N/mm ²
Tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0.2 \times f_{cd}$)	σ_{cp}	=	0.00	N/mm ²
Resistenza ultima a taglio minima	$V_{Rd,min}$	=	150.11	kN
Resistenza ultima a taglio ($V_{Rd} \geq V_{Rd,min}$)	V_{Rd}	=	150.11	kN

VERIFICA SODDISFATTA:

non occorre armatura trasversale resistente a taglio.

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	145 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

 8.1.4.3 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio

2. Stress Check

	END-I		MID		END-J	
	Concrete	Rebar	Concrete	Rebar	Concrete	Rebar
(-) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	12(Q)	12(Q)	12(Q)	12(Q)
Stress(s)	3.40	27.60	3.16	25.65	2.70	21.92
Allowable Stress(sa)	18.00	360.00	18.00	360.00	18.00	360.00
Stress Ratio(s/sa)	0.1888	0.0767	0.1755	0.0713	0.1499	0.0609
(+) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	10(C)	10(C)	10(C)	10(C)
Stress(s)	0.00	0.00	0.25	2.07	0.30	2.46
Allowable Stress(sa)	0.00	0.00	18.00	360.00	18.00	360.00
Stress Ratio(s/sa)	0.0000	0.0000	0.0141	0.0057	0.0169	0.0068

3. Check Linear Creep

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	12(Q)
Stress(s)	3.40	3.16	2.70
Allowable Stress(sa)	13.50	13.50	13.50
Stress Ratio(s/sa)	0.2517	0.2340	0.1999
Result	Linear Creep	Linear Creep	Linear Creep
(+) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	12(Q)
Stress(s)	0.00	0.00	0.00
Allowable Stress(sa)	0.00	0.00	0.00
Stress Ratio(s/sa)	0.0000	0.0000	0.0000
Result	Linear Creep	Linear Creep	Linear Creep

4. Crack Control

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	12(Q)
Crack Width(w)	0.04	0.03	0.03
Allowable Crack Width(wa)	0.20	0.20	0.20
Check Ratio(w/wa)	0.1805	0.1678	0.1433
(+) Load Combination No.	12(Q)	11(F)	11(F)
Crack Width(w)	0.00	0.00	0.00
Allowable Crack Width(wa)	0.00	0.20	0.20
Check Ratio(w/wa)	0.0000	0.0108	0.0134

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	146 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04

9 VERIFICA DEFORMAZIONI TORSIONALI (SGHEMBO)

La condizione più severa si realizza in corrispondenza della zona di appoggio dell'impalcato. Di seguito si riporta la verifica di sghembo, riferita agli abbassamenti massimi riscontrati nella soletta di impalcato. I valori degli abbassamenti massimi, rilevati in nodi posti in posizioni coerenti con quanto prevede la normativa per tale tipo di verifica, sono:

$$\delta_v = 1.91 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 0.56 \text{ mm}$$




Figura 96 - Sghembo ammissibile

Lo sghembo, amplificato dinamicamente, è pari a:

$$t \cong \Phi_2 \times [(\delta_2 - \delta_1)] = 1.569 \times (1.91 - 0.56) = 0.988 \text{ mm /3m}$$

Il valore di t appena calcolato è inferiore al valore limite previsto dalla normativa e pari a 3 mm /3m per il caso $120 < V_{\max} \leq 200 \text{ km/h}$.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

10 SCARICHI IMPALCATO

Di seguito si riporta la valutazione degli scarichi sui dispositivi di appoggio da impiegare per la tipologia di impalcato oggetto del presente documento e le relative escursioni.

10.1 Valutazione dell'azione sugli appoggi

Nel seguito si riepilogano i valori delle azioni sugli appoggi per effetto dei carichi descritti in precedenza. Ove opportuno, i valori delle singole azioni elementari sono state arrotondate per eccesso, a partire dai valori di calcolo derivati dagli scenari di carico considerati.

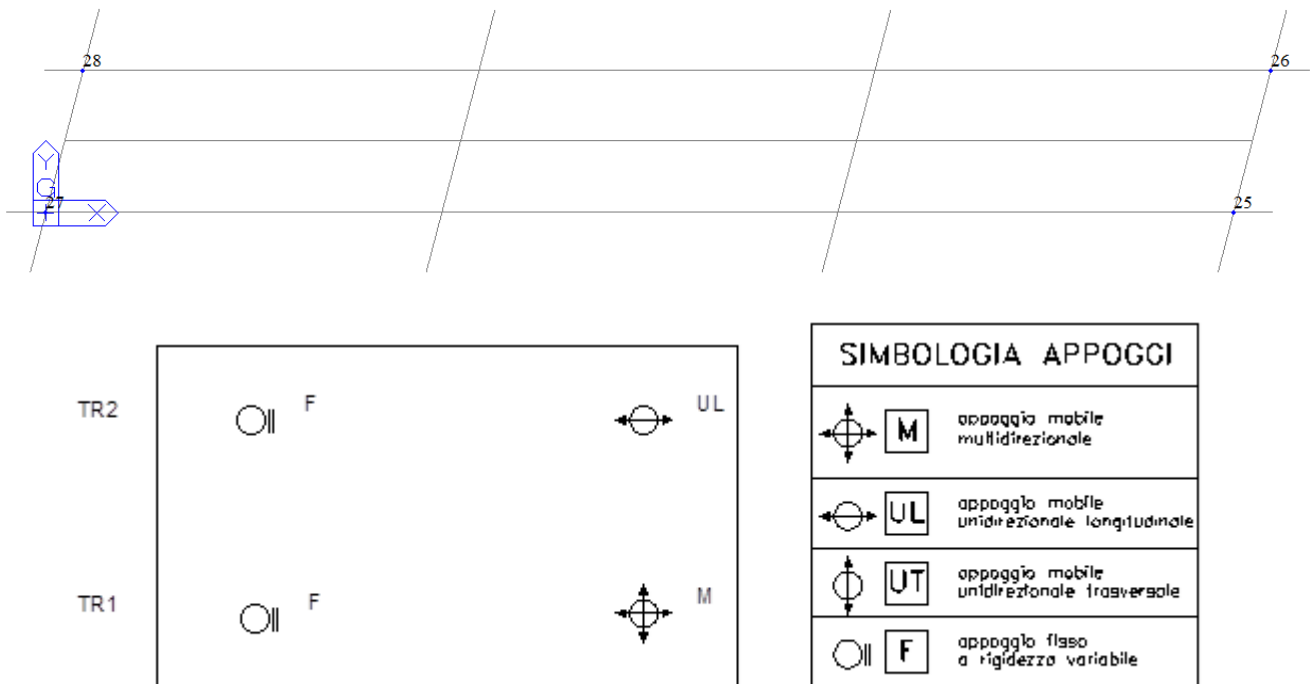


Figura 97 – Schema degli appoggi

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	148 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04
Tabella 4 - Scarichi delle condizioni elementari – lato appoggi fissi

	27			28		
	Fisso			Fisso		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
<i>Peso proprio</i>	409	0	1	433	0	-1
<i>Soletta</i>	491	-4	0	330	4	0
<i>Perm NS</i>	1058	18	340	-14	-18	-338
<i>Treno scarico</i>	62	0	19	52	0	-19
<i>LM71*a*Phi</i>	1161	-5	311	1161	5	-310
<i>SW2*Phi</i>	1264	3	340	1181	-3	-340
<i>Centrifuga</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Serp LM71</i>	0	0	-33	0	0	-22
<i>Serp SW/2</i>	0	0	-30	0	0	-20
<i>Avv LM71</i>	-17	-494	-92	-12	-334	86
<i>Avv SW/2</i>	-15	-449	-83	-11	-304	79
<i>Fren LM71</i>	-10	-299	-56	-7	-202	52
<i>Fren SW/2</i>	-9	-272	-51	-7	-184	48
<i>Fw_vento</i>	-101	-1	-115	198	1	-97
<i>Deragliament</i>	1338	12	270	527	-12	-269

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	149 di 153

Relazione di calcolo impalcato VI04
Tabella 5 - Scarichi delle condizioni elementari – lato appoggi mobili

	26			25		
	UL			M		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
Peso proprio	432	0	0	408	0	0
Soletta	330	0	0	490	0	0
Perm NS	-15	0	-2	1060	0	0
Treno scarico	52	0	0	62	0	0
LM71*a*Phi	1161	0	1	1161	0	0
SW2*Phi	1181	0	0	1265	0	0
Centrifuga	0	0	0	0	0	0
Serp LM71	0	0	-55	0	0	0
Serp SW/2	0	0	-50	0	0	0
Avv LM71	12	0	5	17	0	0
Avv SW/2	11	0	5	15	0	0
Fren LM71	7	0	3	10	0	0
Fren SW/2	7	0	3	9	0	0
Fw_vento	198	0	-212	-101	0	0
Deragliament	526	0	-1	1327	0	0

Tabella 6 – Scarichi massimi di combinazione a seconda della tipologia di appoggio

	Fisso		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
EN SLU	4394	-491	1524

	Fisso		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
EN SLV	2024	209	1065

	UL		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
EN SLU	3142	0	-383

	UL		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
EN SLV	1023	0	-1044

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI04

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0408 002	A	150 di 153

	M		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
EN SLU	4398	0	0

	M		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
EN SLV	2027	0	0

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0408 002	REV. A

11 VARCHI E GIUNTI

Per il calcolo dell'escursione totale dei giunti E_L sono stati assunti i valori minimi degli spostamenti indicati nel §2.3.2.1.5 del MDP RFI. Gli spostamenti ottenuti da calcolo sono infatti risultati minori.

$$E_L \geq 2.3 \cdot \frac{L}{1000} + 0.073 \text{ e } E_L \geq 0.10m \text{ per le zone classificate sismiche con } a_g(\text{SLV}) < 0.25 g$$

La corsa degli apparecchi d'appoggio mobili è stata calcolata come:

$$\pm (E_L/2 + E_L/8) \text{ con un minimo di } \pm (E_L/2 + 15 \text{ mm}).$$

Il giunto tra le testate deve dunque garantire un'escursione pari a:

$$\pm (E_L/2 + 10 \text{ mm})$$

Il varco previsto è pari a:

$$V \geq E_L/2 + V_o \quad \text{ove } V_o = 20 \text{ mm}$$

In Tabella 7 si riportano le caratteristiche dei varchi e dei giunti previsti.

Limp (m)	EL (mm)	Corsa appoggi (mm)	Escursione giunti (mm)	Varco soletta min (mm)	V assunto (mm)	min/max giunto (mm)
25.0	131	85	80	90	100	20/180

Tabella 7 – Caratteristiche dei varchi e dei giunti

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI04</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0408 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 152 di 153</p>

12 VALUTAZIONE DELLA ACCETTABILITA' DEI RISULTATI OTTENUTI (RIF.PAR.10.2 DM 17/01/2018)

Le analisi della struttura sono state condotte con un programma agli elementi finiti (MIDAS).

L'affidabilità del codice di calcolo è confermata dai test di validazione allegati alla release del programma e dalla sua ampia diffusione che lo pone tra i software specialistici standard previsti dalla specifica tecnica Italferr PPA.0002851.

I risultati ottenuti sono stati considerati attendibili dallo scrivente a fronte di verifiche condotte con metodi semplificati o con altri codici di calcolo nonché dal confronto critico con i risultati presentati dai documenti di progettazione definitiva.

Lo schema statico è di trave appoggiata e la tipologia di impalcato rientra negli standard tipologici adottata da RFI. Il calcolo a graticcio condotto è stato verificato con metodi semplificati di ripartizione trasversale dei carichi (metodo dei trasversi rigidi) applicabile in funzione dei rapporti geometrici dell'impalcato e del numero dei trasversi presenti.