

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DEFINITIVO

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

VI05 - Viadotto su Torrente Rio Carenda da km 83+644 e 83+667

Relazione di calcolo impalcato VI05

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 5 0 8 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	G.Grimaldi 	Feb. 2022	D.Guerci 	Feb. 2022	G.Fadda 	Feb. 2022	A. Vittozzi

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti
Dott. Ing. Angelo Vittozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Genova
N° A20783

File: IV0100D09CLVI0508001A.doc

n. Elab.: X

INDICE

1	GENERALITA'	5
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	7
2.1	ELABORATI DI RIFERIMENTO	8
3	MATERIALI	9
3.1	CALCESTRUZZO PER TRAVI IN C.A.P. E TRAVERSI.....	9
3.2	CALCESTRUZZO PER GETTI IN OPERA IMPALCATO.....	9
3.3	ACCIAIO PER C.A.....	10
3.4	ACCIAIO PER C.A.P.....	10
4	ANALISI DEI CARICHI	11
4.1	CARPENTERIA DI BASE.....	11
4.2	PESO PROPRIO (G1)	12
4.3	CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI (G2).....	12
4.4	AZIONI VARIABILI.....	13
4.4.1	<i>Coefficienti di amplificazione dinamica e di adattamento</i>	13
4.4.2	<i>Treni di carico</i>	14
4.4.3	<i>Carichi sui marciapiedi</i>	20
4.4.4	<i>Forza centrifuga</i>	21
4.4.5	<i>Serpeggio</i>	21
4.4.6	<i>Avviamento e frenatura</i>	22
4.5	AZIONI AMBIENTALI	22
4.5.1	<i>Variazione termica uniforme</i>	22
4.5.2	<i>Variazione termica non uniforme</i>	23
4.5.3	<i>Vento</i>	23
4.6	AZIONI AERODINAMICI ASSOCIATI AL PASSAGGIO DEI CONVOGLI	31
4.7	AZIONI ECCEZIONALI.....	32

4.7.1	Azioni dovute al deragliamento.....	32
4.8	AZIONI INDIRETTE	35
4.8.1	Ritiro.....	35
4.8.2	Viscosità	38
4.8.3	Resistenze passive dei vincoli.....	43
4.9	AZIONI SISMICHE	43
4.9.1	Inquadramento sismico	44
5	FASI COSTRUTTIVE E MODELLAZIONE	46
5.1	MODELLAZIONE: GENERALITÀ.....	47
5.1.1	Modello fase 0	47
5.1.2	Modello fase 1	48
5.1.3	Modello fase 2	50
5.1.4	Modello fase 3	55
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
6.1.3	Verifiche a fessurazione	93
6.2	STATO LIMITE ULTIMO - SLU	93
6.2.1	Verifiche a presso-flessione.....	94
7	TRAVERSI PRECOMPRESSI	96
7.1	SOLLECITAZIONI.....	96
7.2	CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE	99
7.2.1	Sezione iniziale.....	99
7.2.2	Sezione composta – breve termine.....	100

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A	FOGLIO 4 di 136

7.2.3	Sezione composta – lungo termine	101
7.3	VERIFICHE STATO LIMITE DI ESERCIZIO – SLE.....	102
7.3.1	Verifiche tensionali.....	102
7.3.2	Verifica a fessurazione	108
7.3.3	Verifica a sollevamento	109
7.4	VERIFICHE STATO LIMITE ULTIMO - SLU.....	110
7.4.1	Verifiche a presso-flessione.....	110
7.4.2	Verifica a taglio.....	112
8	EFFETTI LOCALI.....	114
8.1	SOLETTA.....	114
8.1.1	Modellazione	114
8.1.2	Sollecitazioni	116
8.1.3	Verifiche sezione corrente	120
8.1.4	Verifiche sezione sullo sbalzo.....	125
9	VERIFICA DEFORMAZIONI TORSIONALI (SGHEMBO).....	130
10	SCARICHI IMPALCATO	131
10.1	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SUGLI APPOGGI	131
11	VARCHI E GIUNTI.....	135
12	VALUTAZIONE DELLA ACCETTABILITA' DEI RISULTATI OTTENUTI (RIF.PAR.10.2 DM 17/01/2018)	136

1 GENERALITA'

Oggetto della presente relazione e' il calcolo delle sollecitazioni e le conseguenti verifiche di resistenza dell'impalcato del viadotto sul Torrente su Rio Carenda, da costruirsi per il raddoppio della linea Genova - Ventimiglia, nella tratta Finale Ligure - Andora.

Il viadotto è a doppio binario. L'opera si colloca tra le progressive 83+644 e 83+667 in asse appoggi.

Trattasi di ponte a singola campata, con luce tra gli assi giunti di 25.00 m e interasse appoggi pari a 22.8 m; la larghezza totale dell'impalcato, comprensiva delle velette prefabbricate, è pari a 13.90 m.

L'impalcato è costituito da quattro travi in CAP a cassoncino prefabbricate solidarizzate con quattro traversi (2 sull'asse appoggi e due in campata) prefabbricati insieme alle travi e da una soletta superiore in C.A. gettata in opera di spessore variabile da 31 a 38 cm.

Le travi a cassone sono posti ad interasse di 2.72 m; in prossimità degli appoggi hanno sezione ringrossata ed in corrispondenza del traverso sono dotate di passo d'uomo.

I cassoncini hanno un'altezza pari a 2.10 m e larghezza massima pari a 2.70 m.

Nella seguente figura è riportata la sezione trasversale dell'impalcato in campata.

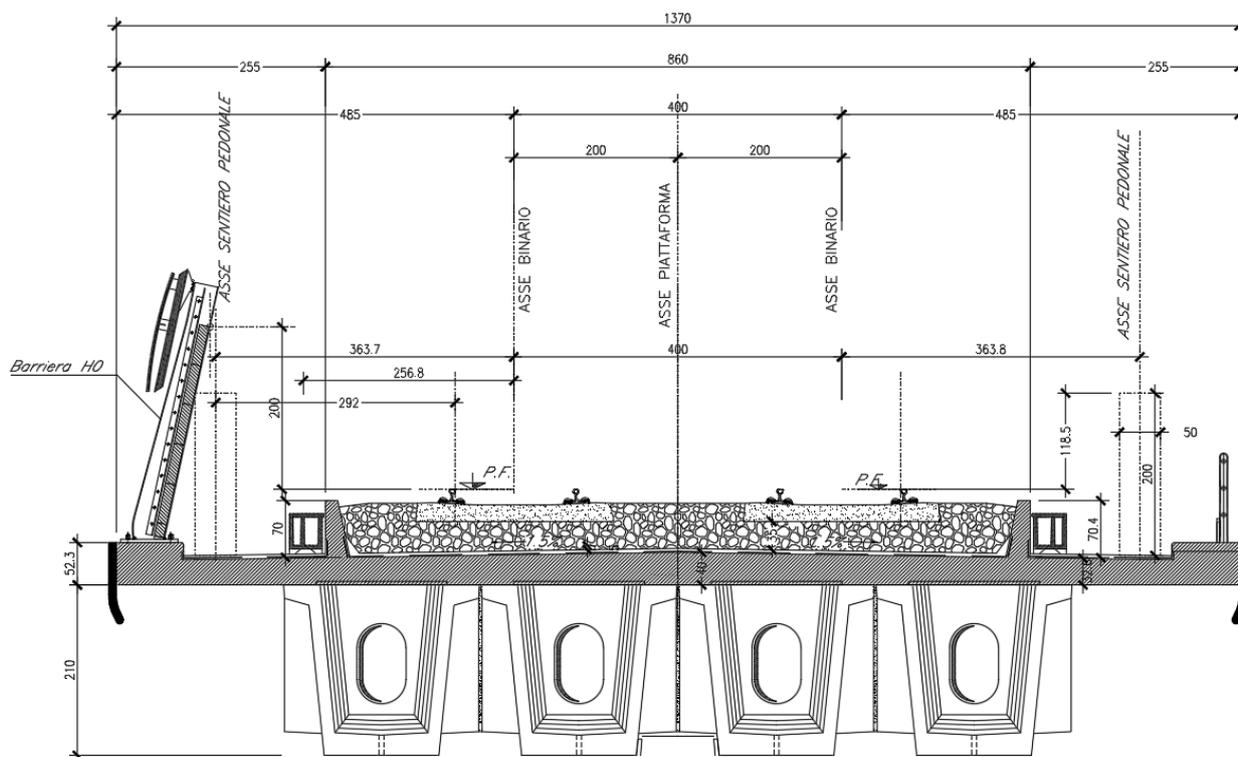


Figura 1 – Sezione trasversale di campata dell'impalcato

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	6 di 136

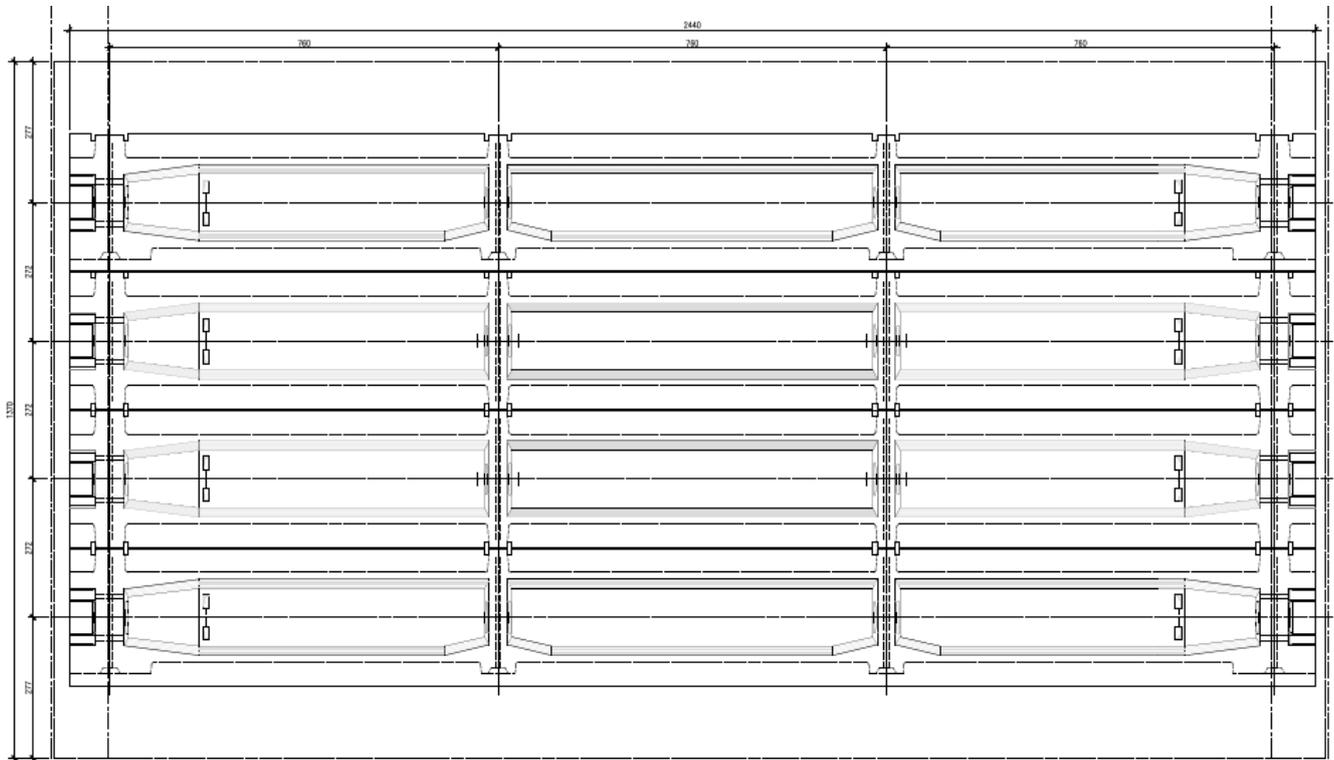


Figura 2 – Pianta dell'impalcato (quota intradosso soletta)

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 VI05</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0508 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 7 di 136</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
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	8 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

2.1 Elaborati di riferimento

Viadotto su Torrente Rio Carenda da Km 83+649 al Km 83+667																						
Relazione descrittiva viadotto VI05		I	V	0	I	0	0	D	0	9	R	H	V	I	0	5	0	0	0	0	1	B
Relazione di calcolo spalla	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	5	0	4	0	0	1	A
Relazione di calcolo opere provvisionali	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	5	0	3	0	0	1	A
Relazione geotecnica e di calcolo fondazioni		I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	5	0	3	0	0	2	A
Relazione di calcolo impalcato in c.a.p. L=25m	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	5	0	8	0	0	1	A
Planimetria generale dell'intervento	1:200	I	V	0	I	0	0	D	0	9	P	9	V	I	0	5	0	0	0	0	1	B
Prospetto e Sezione longitudinale	1:100	I	V	0	I	0	0	D	0	9	A	Z	V	I	0	5	0	0	0	0	1	B
Planimetria scavi ed opere provvisionali	1:100	I	V	0	I	0	0	D	0	9	P	A	V	I	0	5	0	3	0	0	2	B
Planimetria opere di fondazione		I	V	0	I	0	0	D	0	9	P	A	V	I	0	5	0	3	0	0	1	B
Carpenteria spalla A tav.1/2	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	5	0	4	0	0	1	A
Carpenteria spalla A tav.2/2		I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	5	0	4	0	0	2	A
Carpenteria spalla B tav.1/2		I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	5	0	4	0	0	3	A
Carpenteria spalla B tav.2/2		I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	5	0	4	0	0	4	A
Carpenteria trave in c.a.p. tipo 2	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	5	0	8	0	0	1	B
Carpenteria trave in c.a.p. S.B. L=25 m tipo 2	varie	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	5	0	8	0	0	2	B
Carpenteria impalcato in c.a.p. L=25m	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	5	0	8	0	0	1	B
Fasi realizzative e opere provvisionali	varie	I	V	0	I	0	0	D	0	9	P	Z	V	I	0	5	0	0	0	0	1	A
Opere provvisionali		I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	5	0	3	0	0	1	A
Particolari, dettagli e finiture	varie	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	5	0	0	0	0	1	B
Schema di vincolo appoggi e giunti		I	V	0	I	0	0	D	0	9	D	Z	V	I	0	5	0	7	0	0	1	A

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 traversi

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
$\alpha_{cc} =$	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
$f_{ctfm} =$	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
$\nu =$	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
$\alpha_{cc} =$	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
$f_{ctfm} =$	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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	10 di 136

$\nu = 0.2$ Coefficiente di Poisson
 $G_c = 14199$ 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
 $(f_t/f_y)_k \geq 1,15$
 $(f_t/f_y)_k < 1,35$
 $g_s = 1,15$ - coefficiente parziale di sicurezza SLU
 $f_{yd} = 391,3$ MPa tensione caratteristica di snervamento
 $E_s = 200000$ MPa Modulo elastico di progetto
 $\epsilon_{yd} = 0,196\%$ deformazione di progetto a snervamento
 $\epsilon_{uk} = (A_{gt})_k 7,50\%$ 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
 $\epsilon_{uk} = 3,50\%$ - 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
 $\epsilon_{ypd} = f_{pd} / E_p 0,75\%$ deformazione di progetto a snervamento
 $\epsilon_{ud} = 0,9 \times \epsilon_{uk} 3,15\%$ deformazione caratteristica ultima

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	11 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

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	$L_1 = 1.15$	m
sviluppo transizione	$L_2 = 1.39$	m
Area sezione in mezzeria	$A_{mez} = 1.13$	m ²
Area sezione in appoggio	$A_{ap} = 2.01$	m ²
numero di travi	$n_1 = 4$	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

Relazione di calcolo impalcato VI05

IV01 00 D 09 CL VI0508 001 A 12 di 136

4.2 Peso proprio (G1)

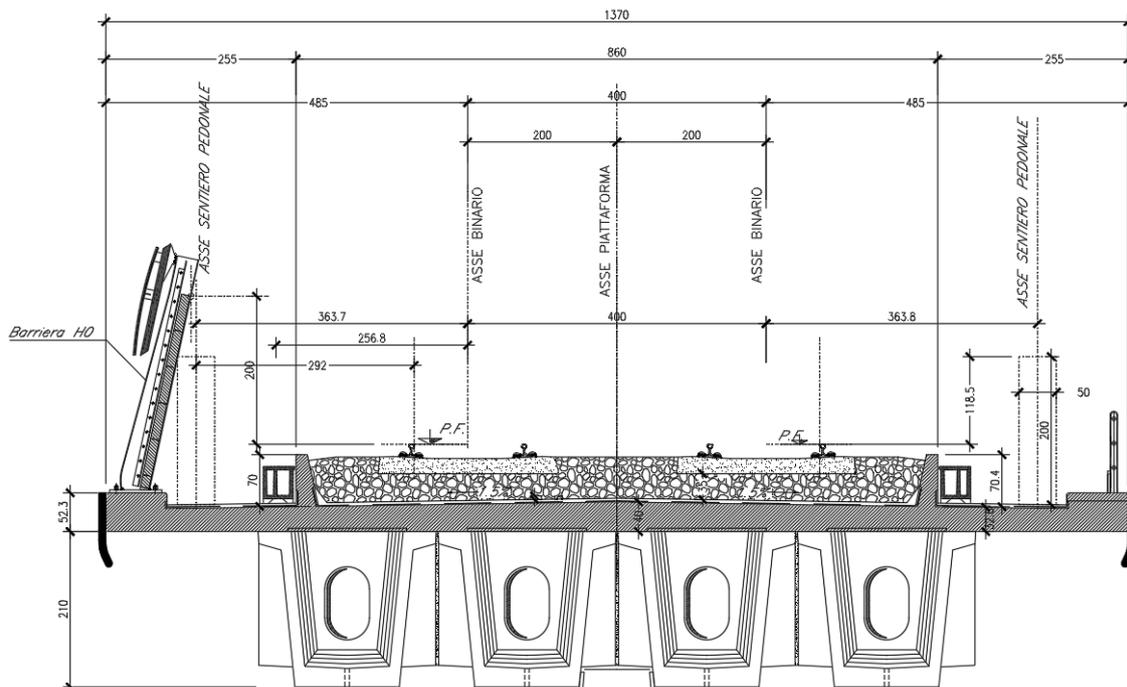
Il peso proprio delle strutture viene considerato automaticamente dal software di calcolo utilizzato. Il carico delle strutture in c.a. e c.a.p. viene valutato considerando un peso di volume pari a 25 kN/mc.

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 (travi centrali)	$q_{pp3} = 0.345 \text{ m} \times 2.72 \text{ m} \times 25 \text{ kN/mc} = 23.46 \text{ kN/m}$
soletta (travi esterne)	$q_{pp3} = 0.345 \text{ m} \times 4.13 \text{ m} \times 25 \text{ kN/mc} = 35.62 \text{ kN/m}$

4.3 Carichi permanenti non strutturali (G2)

Nel seguito si riportano i carichi permanenti portati considerati.



PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	13 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

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	tr. esterne
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	(1.41) x 0.80 m x 18 kN/mc	= 20.30 kN/m	tr. esterne
Ballast	(2.72) x 0.80 m x 18 kN/mc	= 39.17 kN/m	tr. interne

Totale carichi permanenti (su travi esterne) = 52.14 kN/m a trave

Totale carichi permanenti (su travi centrali) = 39.17 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

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	14 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

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

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:

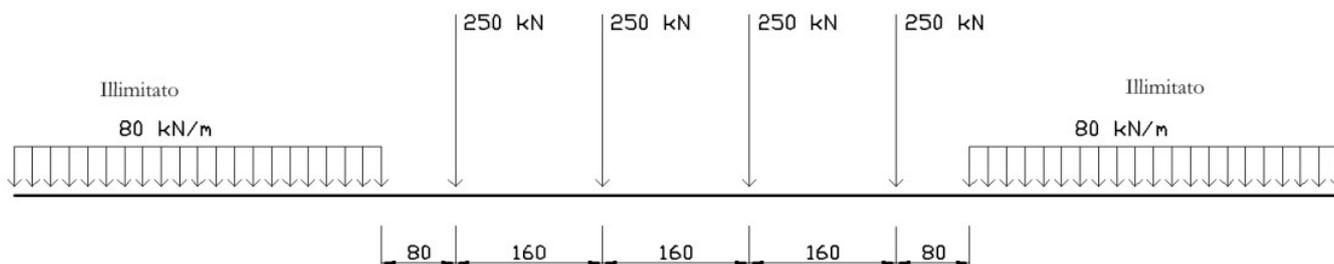
Tabella 1 - coefficienti α per modelli di carico

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.



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A

Figura 3 – Treno di carico LM71

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 4 – 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

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A	FOGLIO 16 di 136

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 VI05</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0508 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 17 di 136</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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A

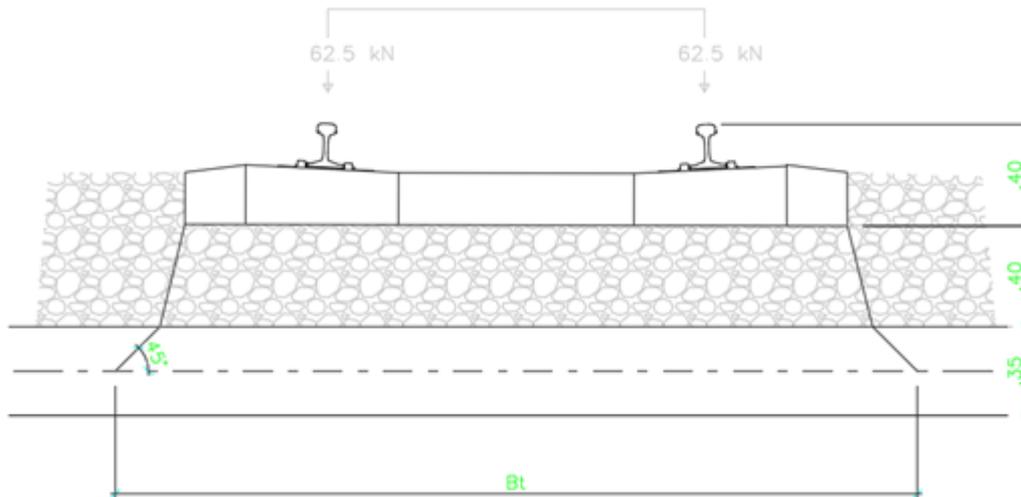


Figura 5 – meccanismo di ripartizione trasversale per mezzo di traversa e ballast

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

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

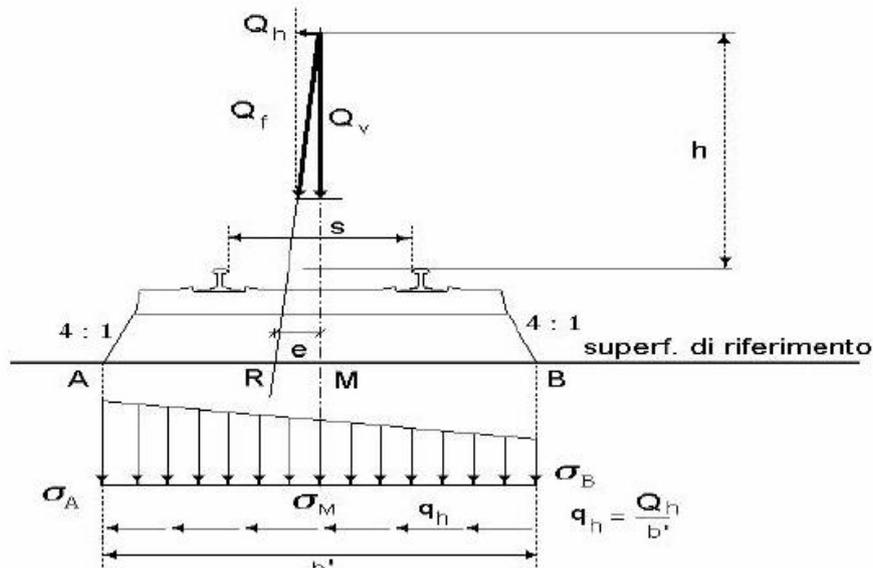


Figura 6 – meccanismo di ripartizione trasversale per mezzo di traversa e ballast

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:

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

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

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

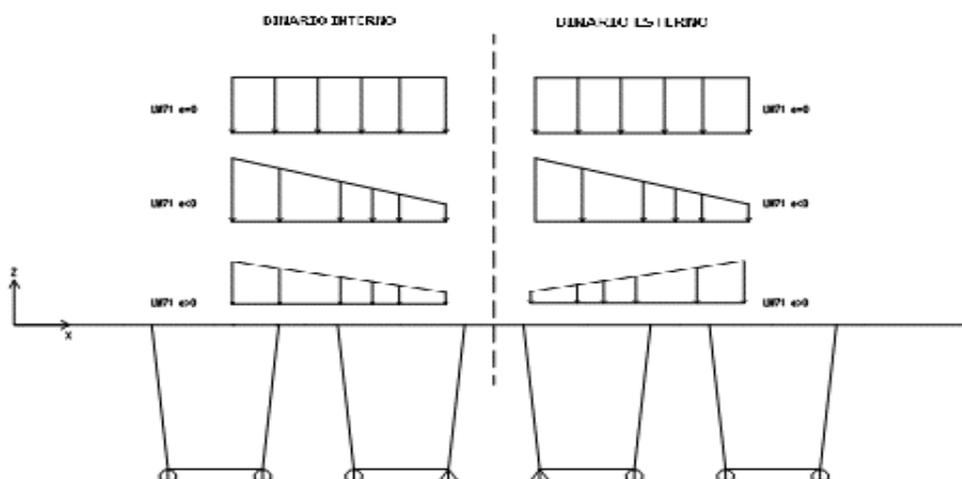


Figura 7 - configurazione di carico modello locale con e senza eccentricità

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.

 <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 VI05</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0508 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 21 di 136</p>

4.4.4 Forza centrifuga

Per l'opera in esame, trattasi di tracciato rettilineo, per cui la forza centrifuga non è stata considerata.

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.

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

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

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:

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

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

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

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

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A

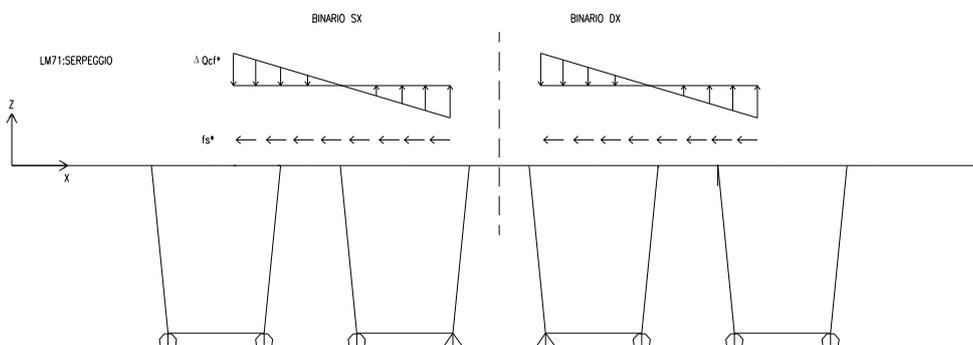


Figura 8 - condizione di carico locale serpeggio

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

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

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

Frenatura

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

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

Come previsto dalla normativa, si considerano due treni in transito in versi opposti, uno in fase di avviamento, l'altro in fase di frenatura. Le azioni di frenatura ed avviamento si combinano con i relativi carichi da traffico verticali.

4.5 Azioni ambientali

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.

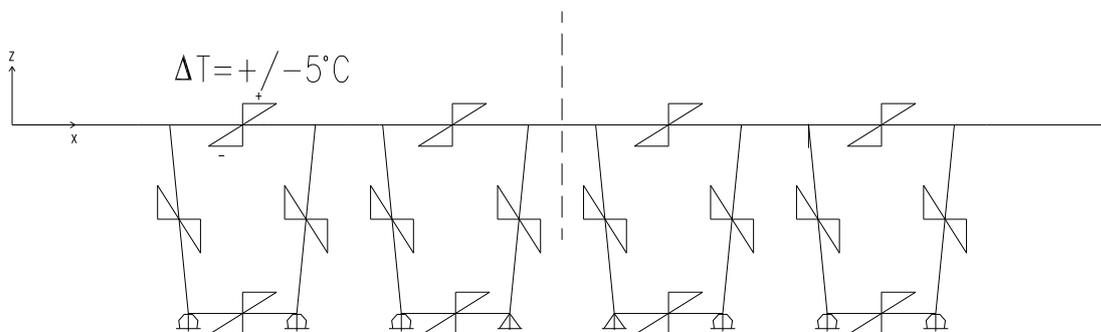


Figura 9 - Condizione di carico: variazioni termiche (+/-),(-/+)

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.

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

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	24 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

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 + 3.3 m + 4 m, per un' altezza massima di riferimento di 13.10 m ($>z_{min}$). Il valore del coefficiente di esposizione è pertanto pari a:

$$c_e = k_r^2 \times c_t \times \ln(z/z_0) \times [7 + c_t \times \ln(z/z_0)] \cong 2.32$$

La pressione cinetica di picco è pertanto pari a:

$$q_p = 1/2 \times \rho \times v_r^2 \times c_e(z) \times c_r \cong 1.137 \text{ kPa};$$

con

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

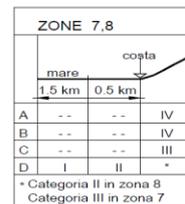
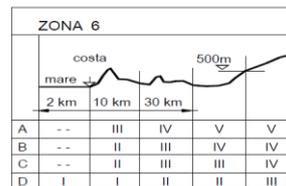
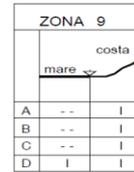
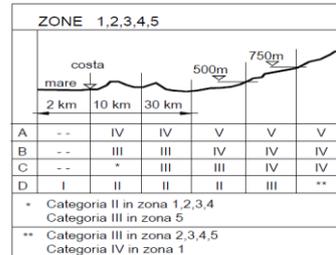
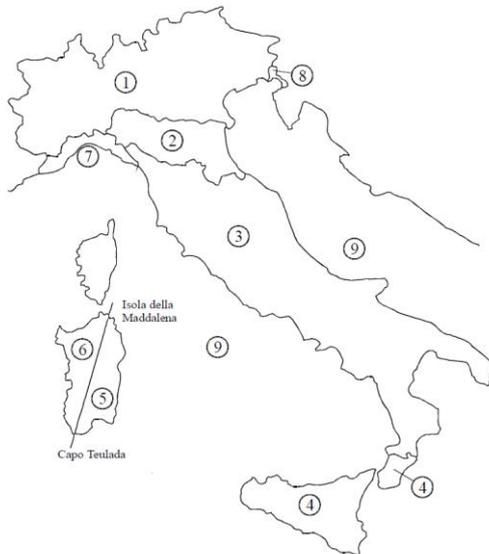


Figura 3.3.2 - Definizione delle categorie di esposizione

Tabella 3.3.I - 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 10 - 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 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 ".

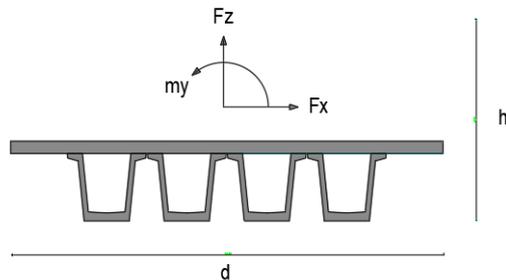


Figura 11 - sistema di riferimento ed azioni del vento

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:

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

$$b = 13.90 \text{ m};$$

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 $c_{fx,0}$

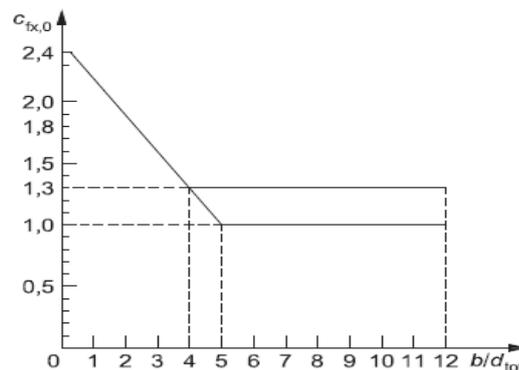


Figura 12 - Fattore di forza trasversale - Eurocodice 1991-1-4

$$c_{t,x} = c_{fx,0}$$

dove:

$c_{fx,0}$ 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

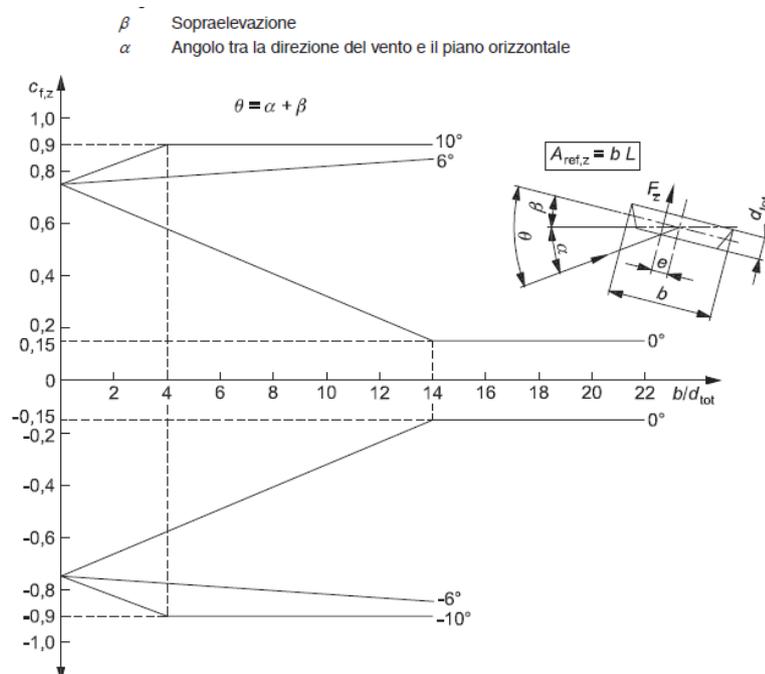
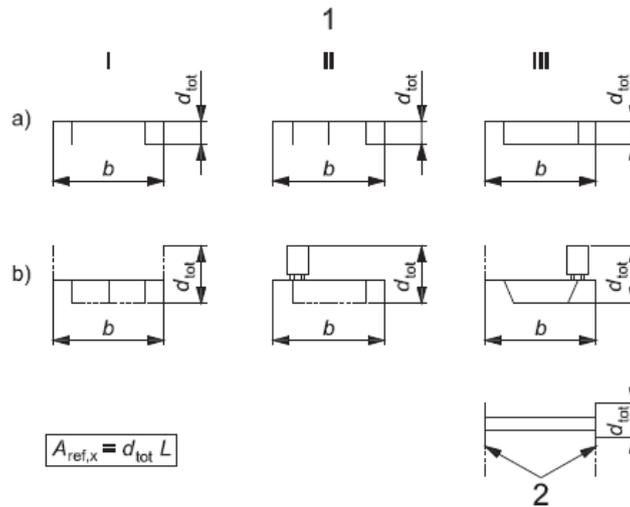


Figura 13 – Area effettiva e coefficiente di forza verticale - Eurocodice 1991-1-4

$c_{fX} = 1.95$

$[b/d_{tot}=1.917]$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A

$$c_{fY} = 0.90.$$

Le forze sull'impalcato sono pari a:

$$f_X = q_p(z) \times d_{tot} \times c_{fX} \cong 16.07 \text{ kN/m};$$

$$f_Y = q_p(z) \times b \times c_{fY} \cong 14.02 \text{ kN/m};$$

$$m_Z = f_X \times e \cong 39.37 \text{ kN}\times\text{m/m}.$$

dove l'eccentricità è tra il baricentro dell'impalcato e l'altezza della risultante orizzontale. ($e \cong 2.45 \text{ m}$)

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:

tab. 3.3.I	Zona	7	
tab.3.3.II	Categoria	III	
tab. 3.3.III	Classe rug	D	
velocità di base di riferimento slm	Vbo	28	m/s
parametro di quota	ao	1000	m
altitudine sul livello del mare	as	10	m
coefficiente di altitudine	ca	1	
velocità di base di riferimento	Vb	28	m/s
tempo di ritorno azione del vento	Tr	50.0	anni
coefficiente di ritorno	cr	1.00	
velocità di riferimento	Vr	28	m/s
fattore di terreno	kr	0.20	
lunghezza di rugosità	zo	0.10	m
altezza minima	Zmin	5	m

ponete carico

altezza spalla	z1	5.40	m
altezza baggioli e app. appoggio	z2	0.50	m

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	29 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

altezza all'intradosso	Zintradosso	5.80	m
altezza di riferimento	\underline{z}	13.10	m
coefficiente di topografia	ct	1	
coefficiente di esposizione	ce	2.32	
densità dell'aria convenzionale	ro	1.25	kg/m ³
pressione statica di riferimento	qr	0.49	kN/m ²
pressione statica di picco	qpicco	1.137	kN/m ²
lunghezza totale impalcato	Limp	25	m
larghezza impalcato	d	13.90	m
altezza impalcato+soletta	z3	2.45	m
armamento	z4	0.80	m
altezza treno	z5a	4	m
altezza barriere	z5b	4	m
altezza di impatto treno o barriere	htot	7.25	m
eccentricità verticale	e	2.45	m
angolo di inclinazione forza	ϑ	26.6	gradi
	b/d _{tot}	1.917	
coefficiente di forza trasversale	c _{fx}	1.95	
coefficiente di forza trasversale	c _{fz}	0.90	
pressione del vento	q	2.22	kN/m ²
forza trasversale	f _x	16.07	kN/m
forza verticale	f _z	14.02	kN/m
braccio del vento - G to d/2	e	2.45	m
momento trasversale	my	39.37	kN/m m
<i><u>ponte scarico</u></i>			
altezza di impatto treno o barriere	htot	6.45	m
rapporto geometrico	d/h	2.12	
coefficiente di forza trasversale	c _{fx}	1.88	

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	30 di 136

coefficiente di forza verticale	C_{fz}	0.90	
forza trasversale	f_x	13.36	kN/m
forza verticale	f_z	14.02	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

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	9.64	kN/m
eccentricità della risultante	e_z	2.175	m

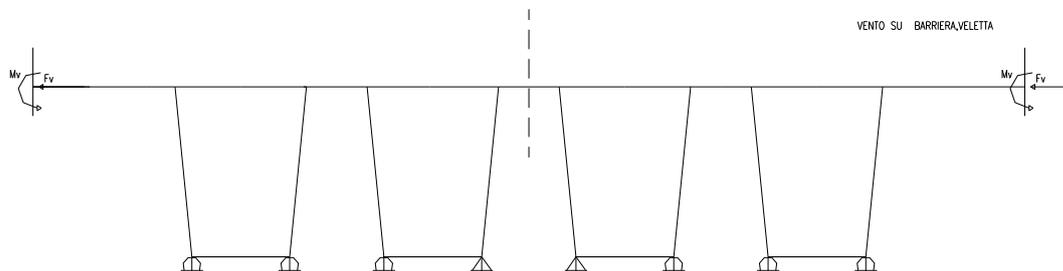


Figura 14 - Condizione di carico locale – barriere

Vento sul convoglio ferroviario

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A

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	9.64	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
estremo farfalla equivalente	Δf_z	22.8	kN/mq

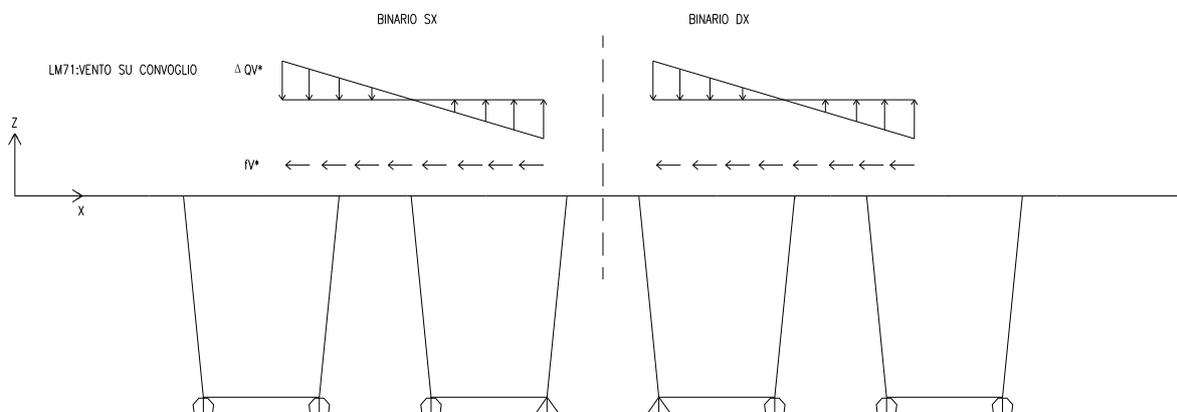


Figura 15 - Condizione di carico locale – convogli

4.6 Azioni Aereodinamiche 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:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A

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.

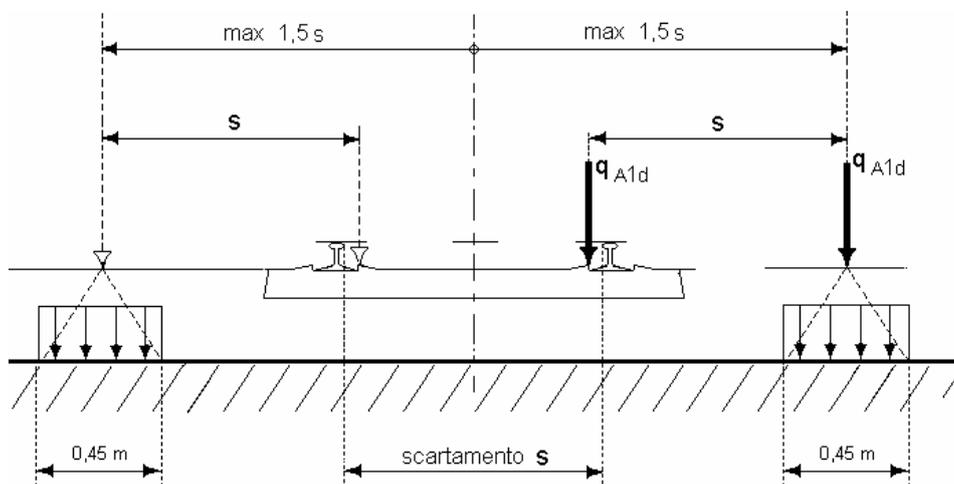


Figura 16 – posizione azioni da deragliamenti – caso 1

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.

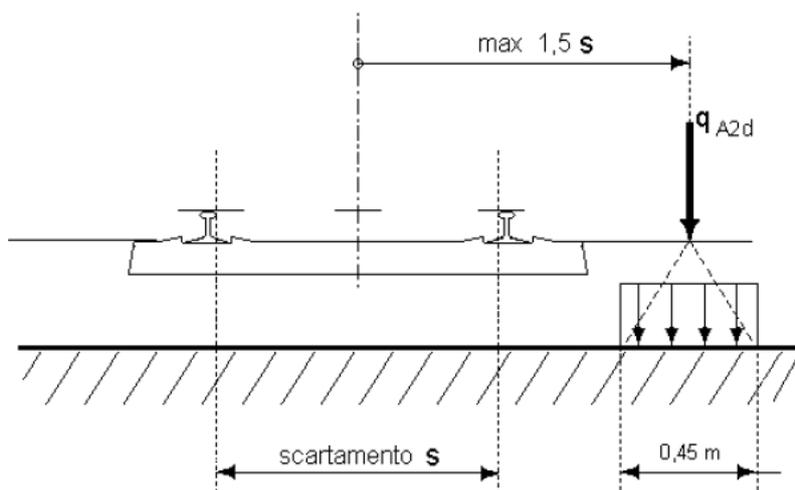


Figura 17 – posizione azioni da deragliamenti – caso 2

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.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	34 di 136

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:

$$B_t = 2.80 \text{ m}$$

$$q = q_{A1d} / B_t = 21.43 \text{ kN/mq}$$

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

$$\Delta q = 6 M / B_t^2 = 6 (q_{A1d} e) / B_t^2 = 32.83 \text{ kN/mq}$$

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

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

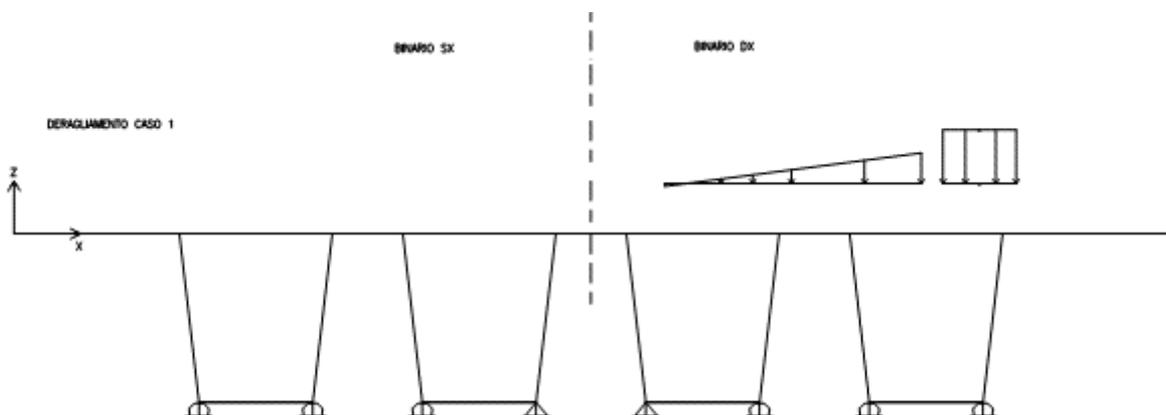


Figura 18 – Condizione di carico per deragliamento – caso 1

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA				
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001

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

$$q = q_{A1d} / Bt = 179.2 \text{ kN/mq}$$

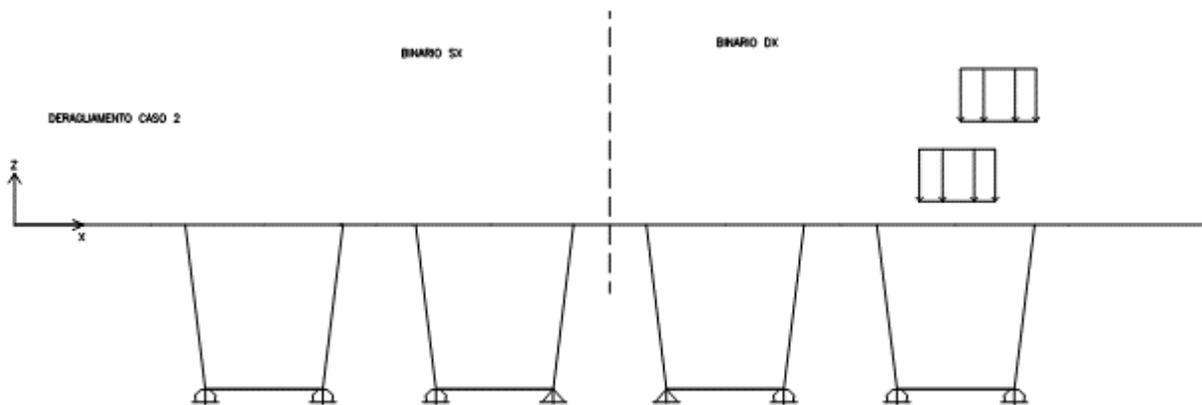


Figura 19 - Condizione di carico per deragliamento – caso 2

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	%

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	36 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

ritiro differito nel tempo o tutto insieme?

giorno attuali di calcolo

t

**tutto
insieme**

10000.0

giorni

Ritiro Cassoncino

perimetro di cls esposto all'aria

u

11846.6

mm

dimensione fittizia pari a $2A_c/u$

h_0

200.0

mm

umidità relativa

UR

70

%

deformazione massima per essiccamento

ϵ_{c0}

-0.0002938

parametro per calcolo deformazione a tempo ∞

k_h

0.8515

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 cacestruzzo

f_{ck}

45

MPa

valore medio della deformazione per ritiro autogeno

ϵ_{ca}

-8.8E-05

deformazione totale per ritiro

$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd}(t) + \epsilon_{ca}$

-3.3E-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

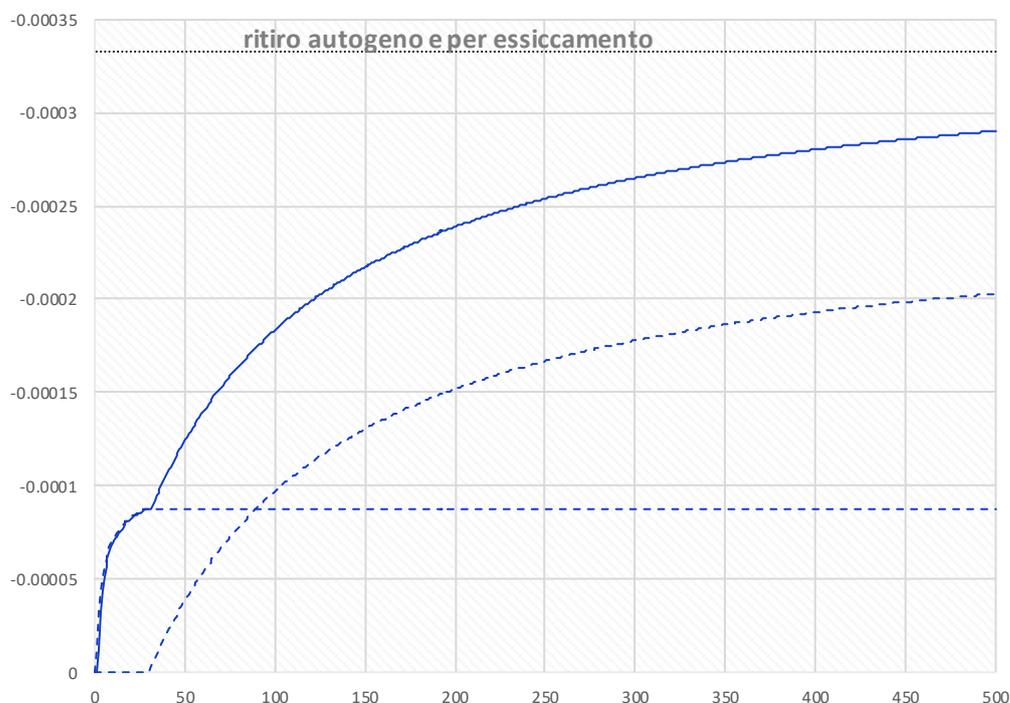


Figura 20 – Andamento del ritiro della trave in C.A.P.

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 $2A_c/u$ A_c

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	38 di 136

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 $\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd}(t_{oo}) + \epsilon_{ca}$ **-3.1E-04**

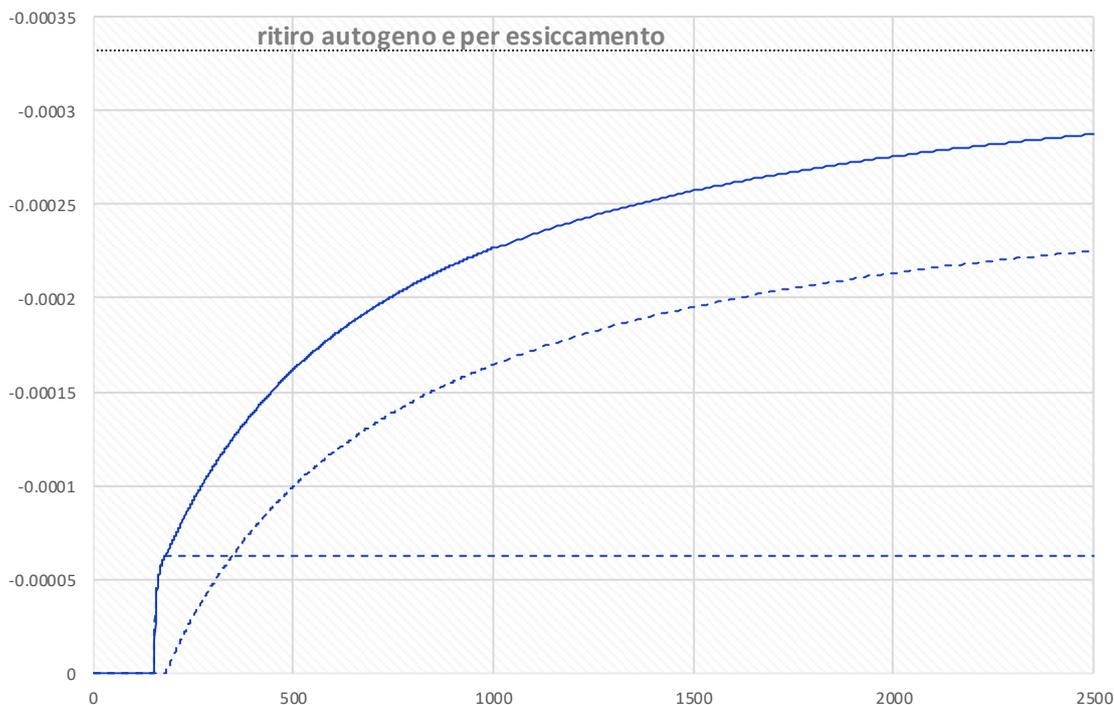


Figura 21 - Andamento del ritiro della soletta

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:

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	39 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

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

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:

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

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	197.9	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	500.0	
coef. Che descrive l'evoluzione viscosa	$\beta(t, t_0)$	0.99	

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	40 di 136

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	$\varphi_0(t, t_0)$	1.865
coefficiente di viscosità a tempo infinito	$\varphi_0(t_{\infty}, t_0)$	1.865

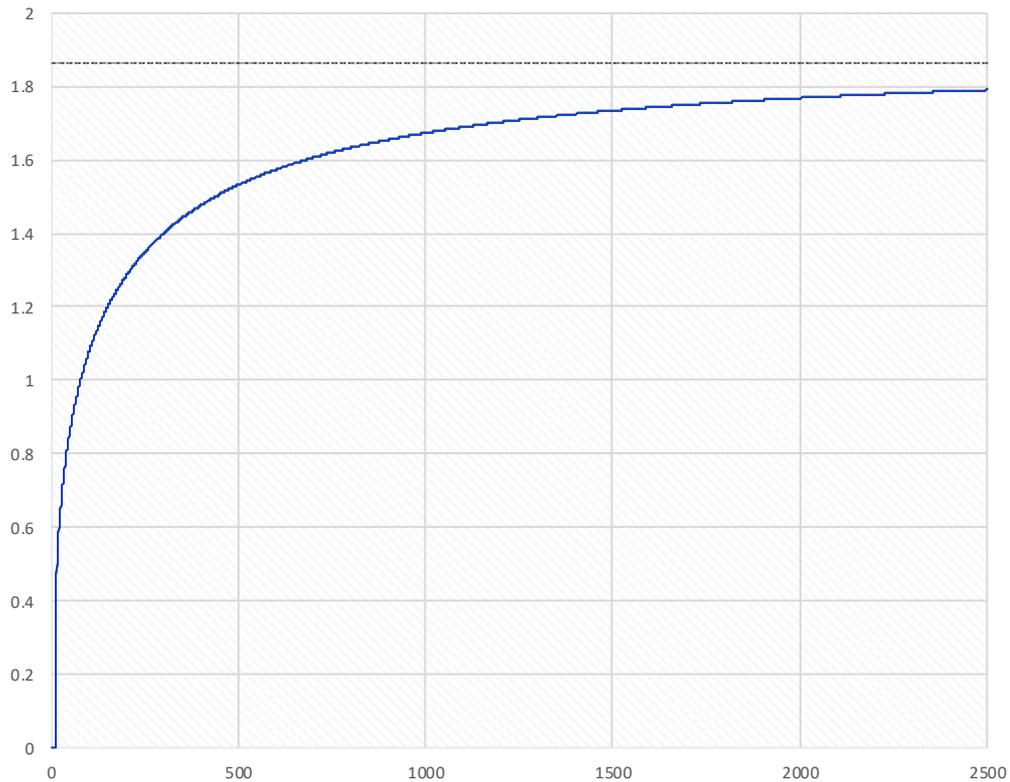


Figura 22 - Andamento del coefficiente di viscosità della trave in C.A.P.

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	41 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

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**

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**

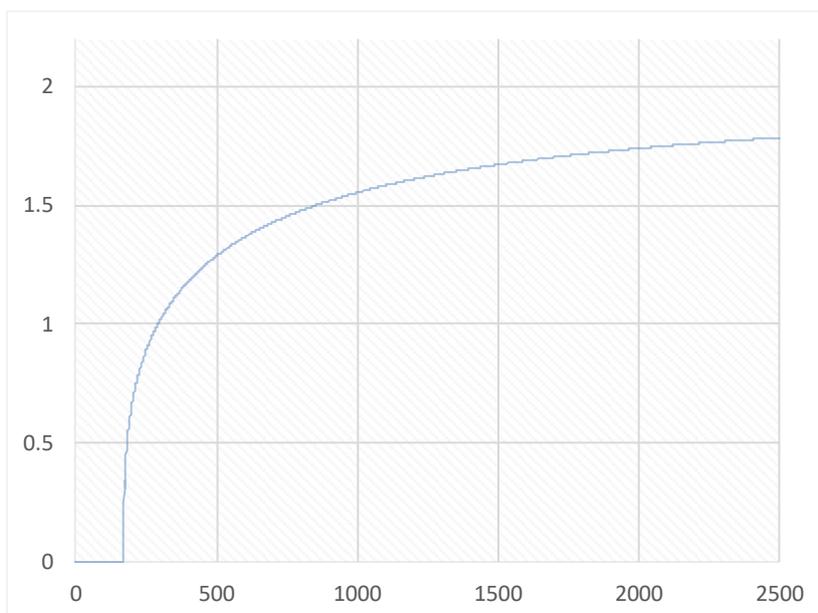


Figura 23 - Andamento coefficiente di viscosità della soletta

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	42 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

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*:

$$\text{Classe 1 } \frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 5,39 \rho_{1000} e^{6,7\mu} \left(\frac{t}{1000}\right)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$$

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

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

dove:

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

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

Per le armature pre-tese σ_{pi} 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);

$\mu = \sigma_{pi}/f_{pk}$, 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 1000 h dopo la messa in tensione e a una temperatura media di 20 °C.

ovvero:

$$\Delta\sigma_{pr,j} = 0,66 \rho_{1000} e^{9,09\mu} \left(\frac{t_e + \Delta t_1}{1000}\right)^{0,75(1-\mu)} \left\{ \sigma_{pi,j} + \sum_1^{i-1} \Delta\sigma_{pr,j} \right\} 10^{-5} - \sum_1^{i-1} \Delta\sigma_{pr,j}$$

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	$\Delta\sigma_1$	-66.92	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	$\Delta\sigma_{e+v,2}$	-199.27	MPa
tempo di riferimento	t_2	23000	giorni
percentuale di perdita a 1000h	ρ_{1000}	2.50	%

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	43 di 136

rapporto tra valore carat. e tensione	μ	0.78	
perdite per rilassamento a tempo t	$\Delta\sigma_{pr(t)}$	75.60	MPa
perdita per rilassamento al tempo t4	$\Delta\sigma_{pr(t4)}$	0.00	MPa
perdite per rilassamento a tempo too	$\Delta\sigma_{pr(too)}$	75.60	MPa

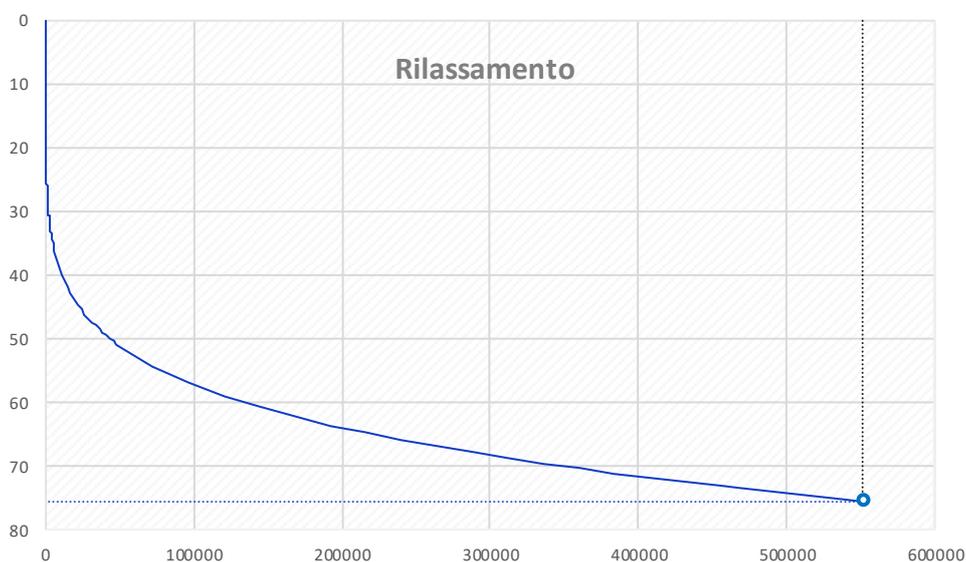


Figura 24 - Andamento delle perdite per rilassamento del cavo

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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A

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: 8.173959

Latitudine: 44.06403

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: E

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_o [-]	T_C^* [s]
SLO	68	0.042	2.573	0.225
SLD	113	0.058	2.560	0.244
SLV	1068	0.184	2.461	0.300
SLC	2193	0.245	2.485	0.316

 <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 VI05</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>VI0508 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>

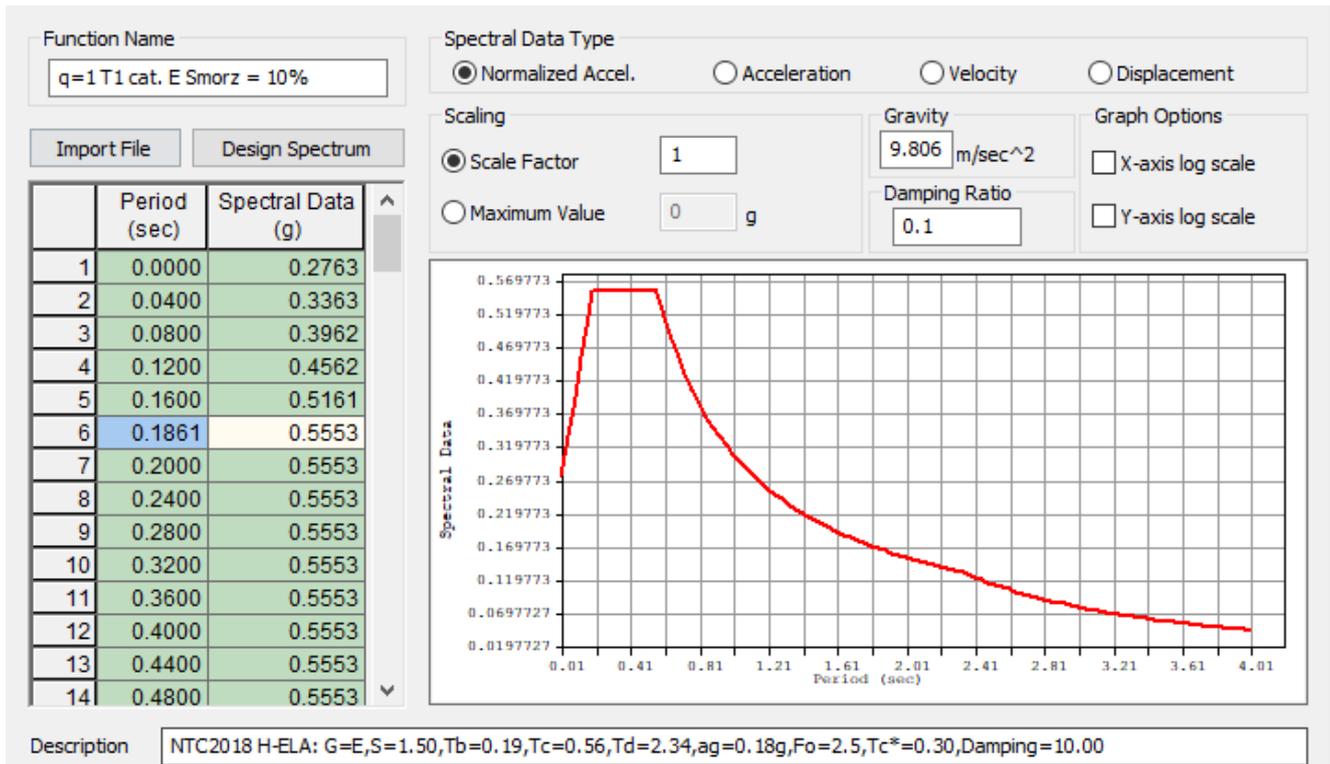


Figura 25: Spettro di risposta orizzontale e verticale allo SLV

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

 <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 VI05</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>VI0508 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>46 di 136</p>

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 VI05</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0508 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 47 di 136</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 VI05</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0508 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 48 di 136</p>

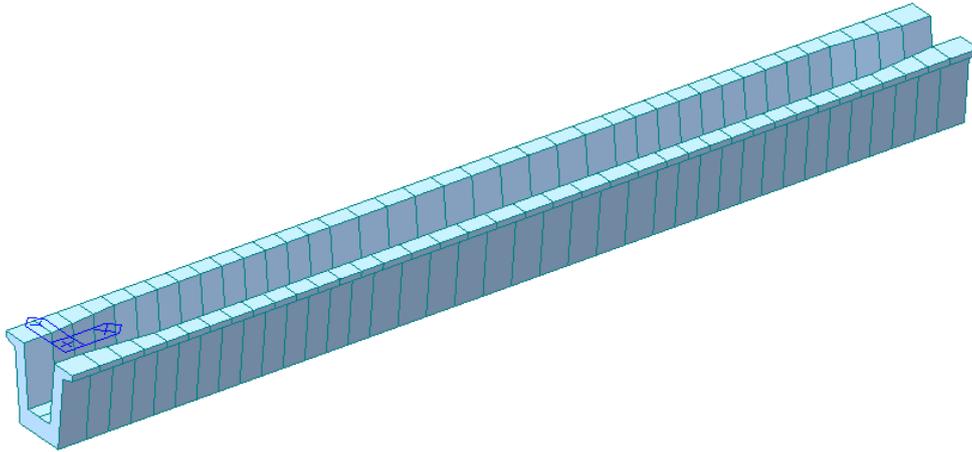


Figura 26 – modello di calcolo f.e.m. fase 0

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 VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	49 di 136

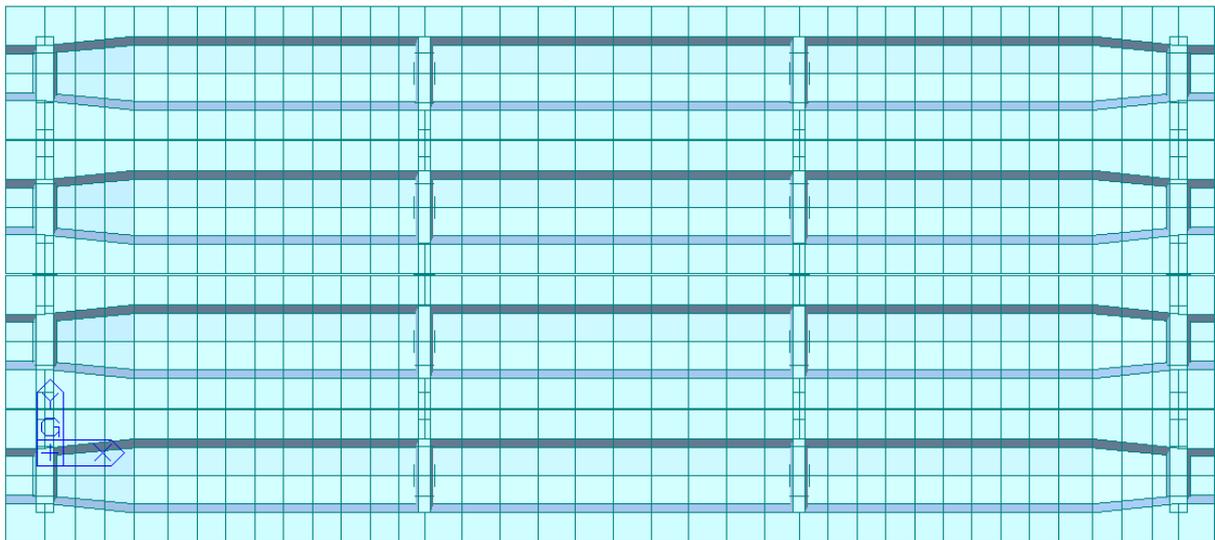
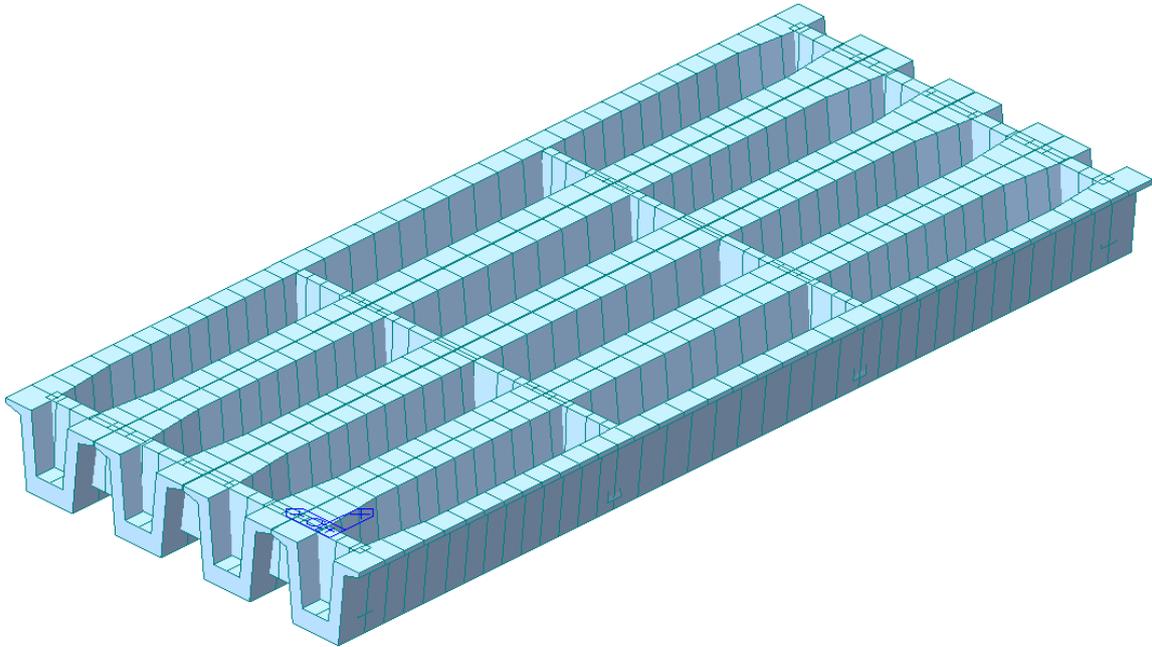


Figura 27 – modello di calcolo f.e.m. fase 1

 <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 VI05</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0508 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 50 di 136</p>

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.

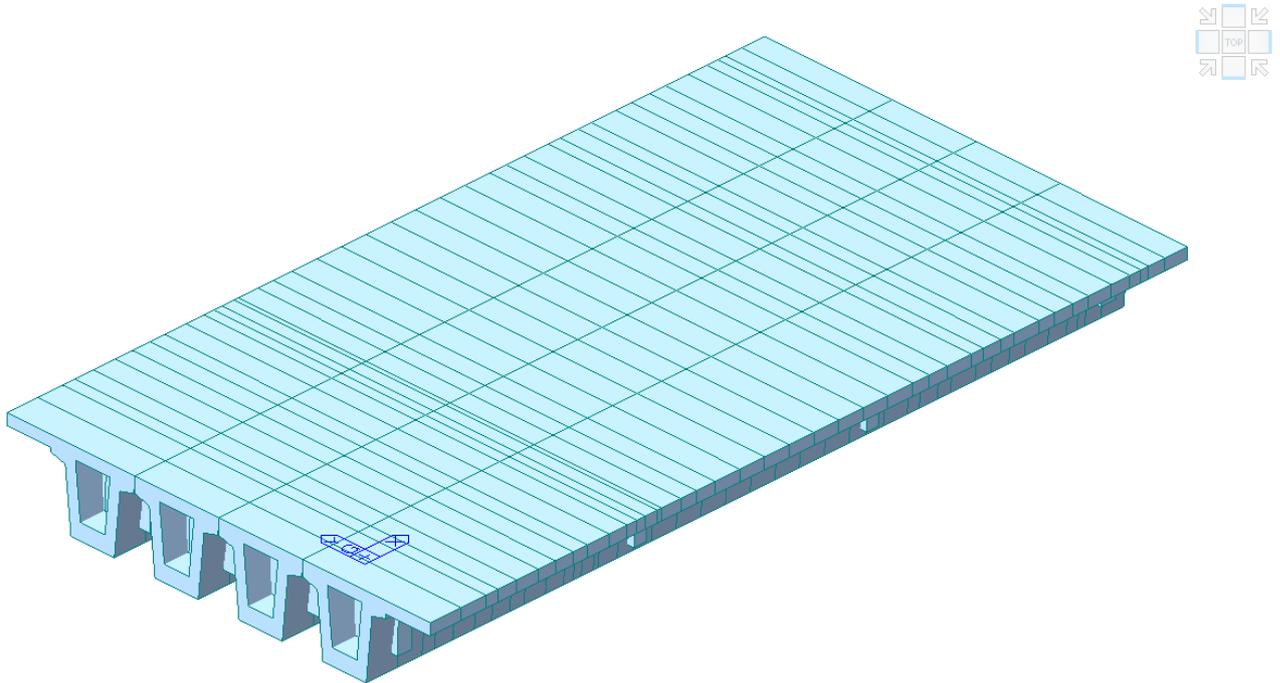


Figura 28 – Modello di calcolo f.e.m. fase 2

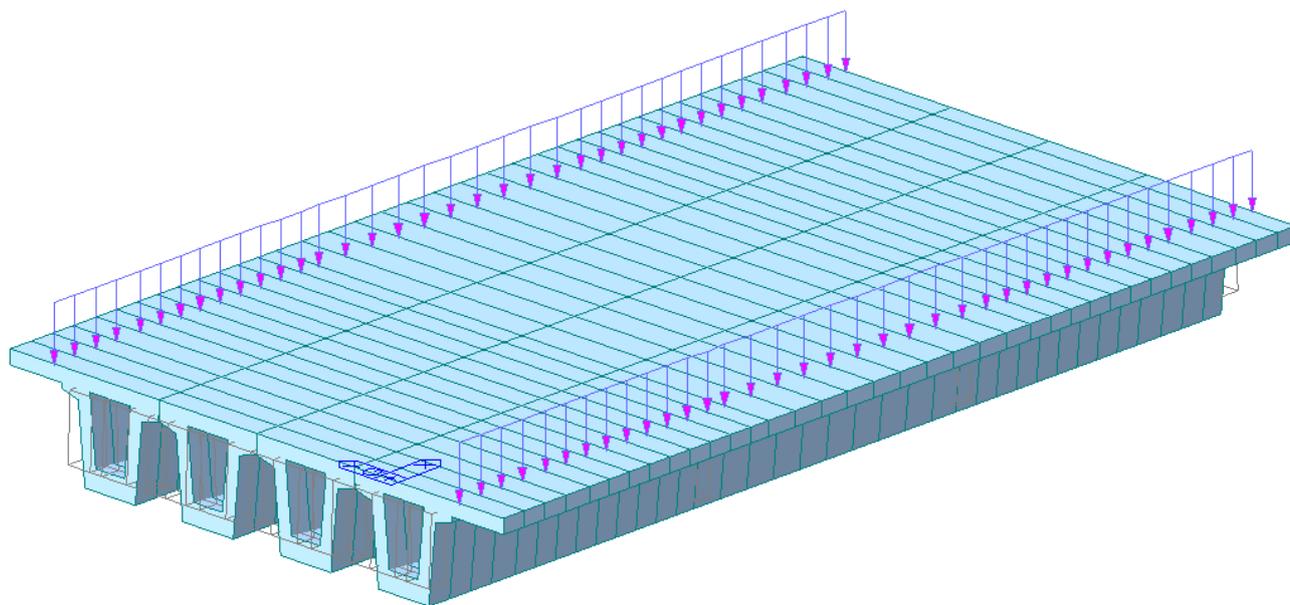


Figura 29 – Modello fase 2 – carico impermeabilizzazione

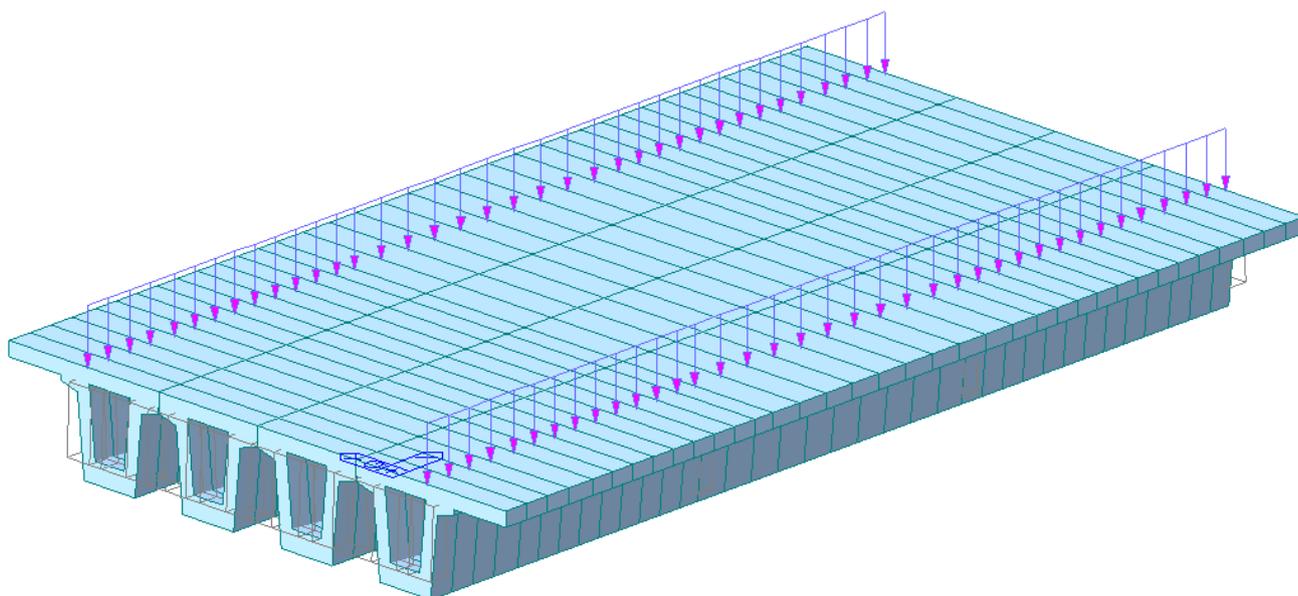


Figura 30 – Modello fase 2 – carico muretti paraballast

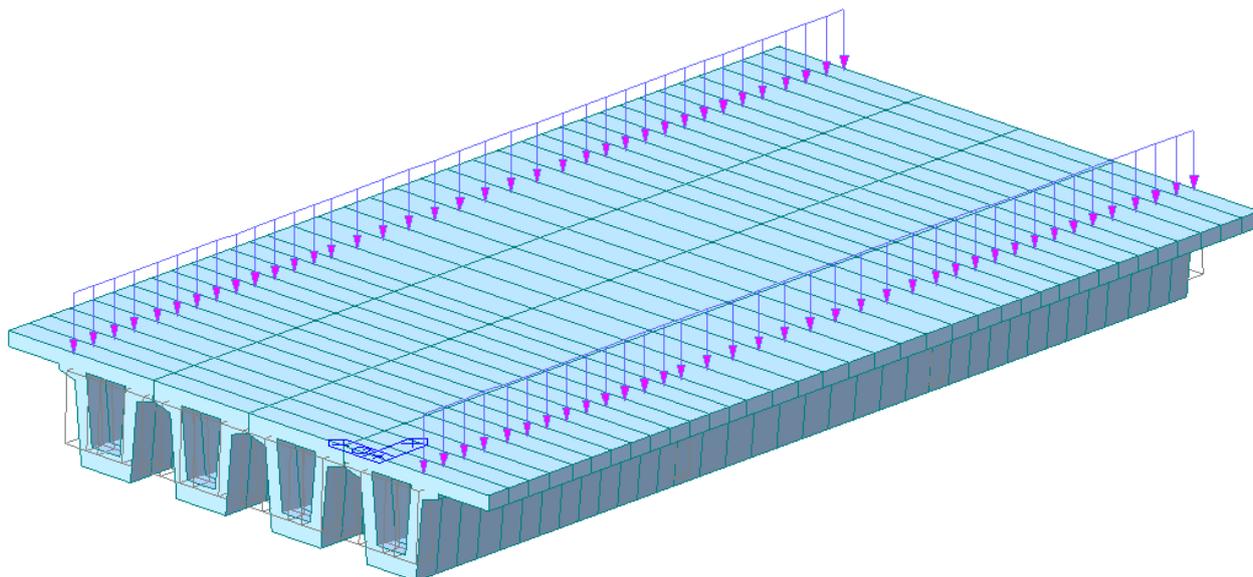


Figura 31 – Modello fase 2 – carico canalette prefabbricate

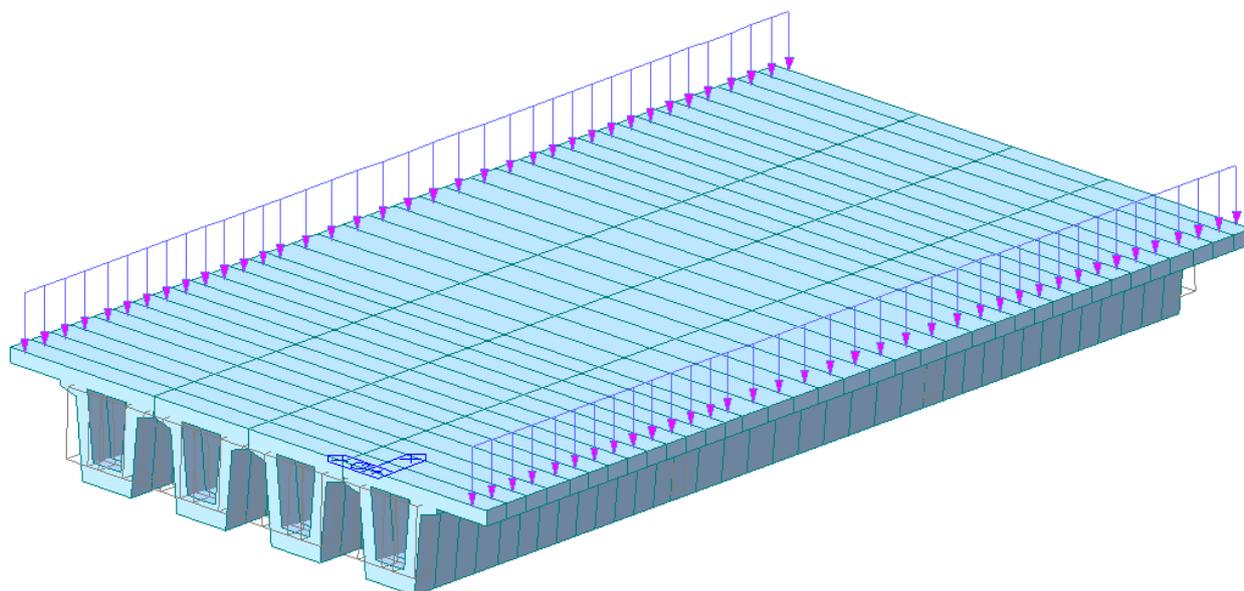


Figura 32 – Modello fase 2 – carico cordoli laterali

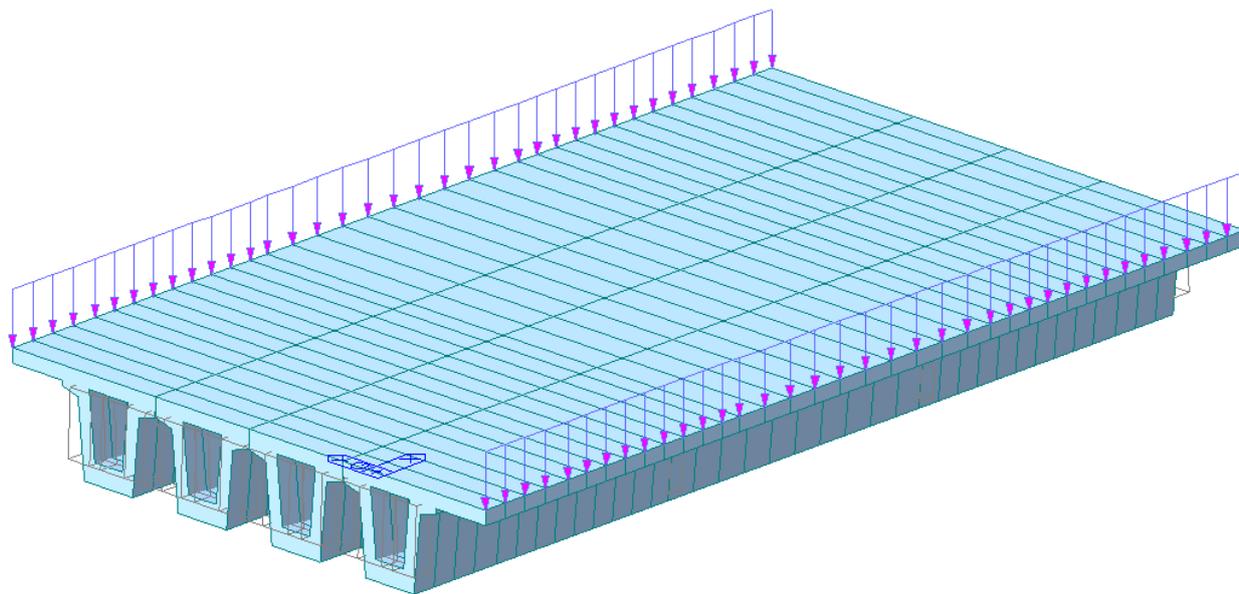


Figura 33 – Modello fase 2 – carico velette prefabbricate

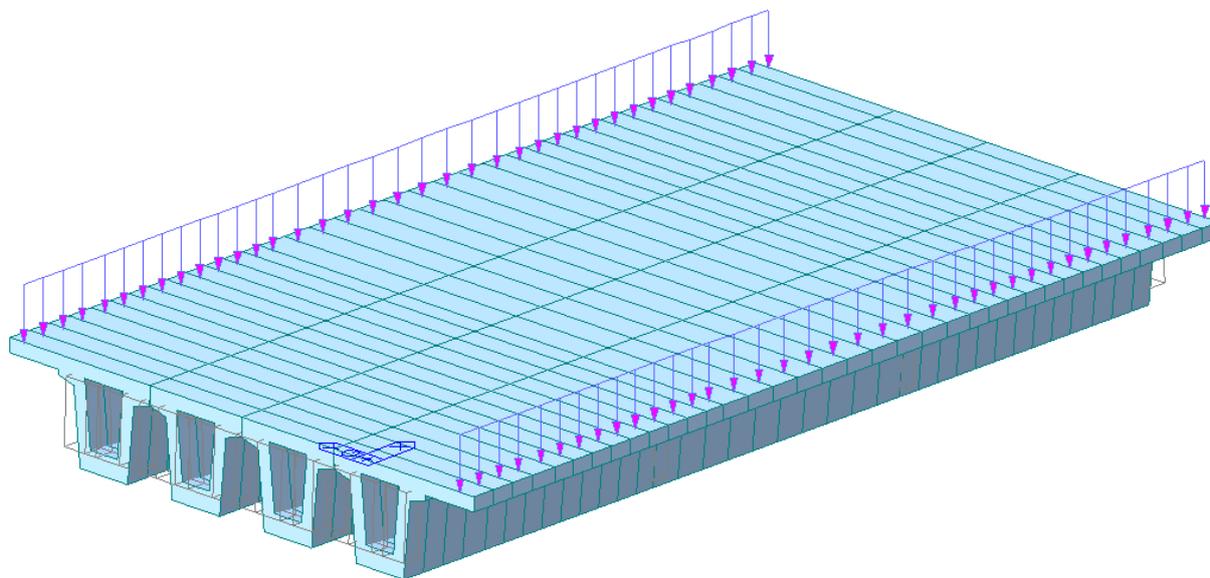


Figura 34 – Modello fase 2 – carico barriere antirumore

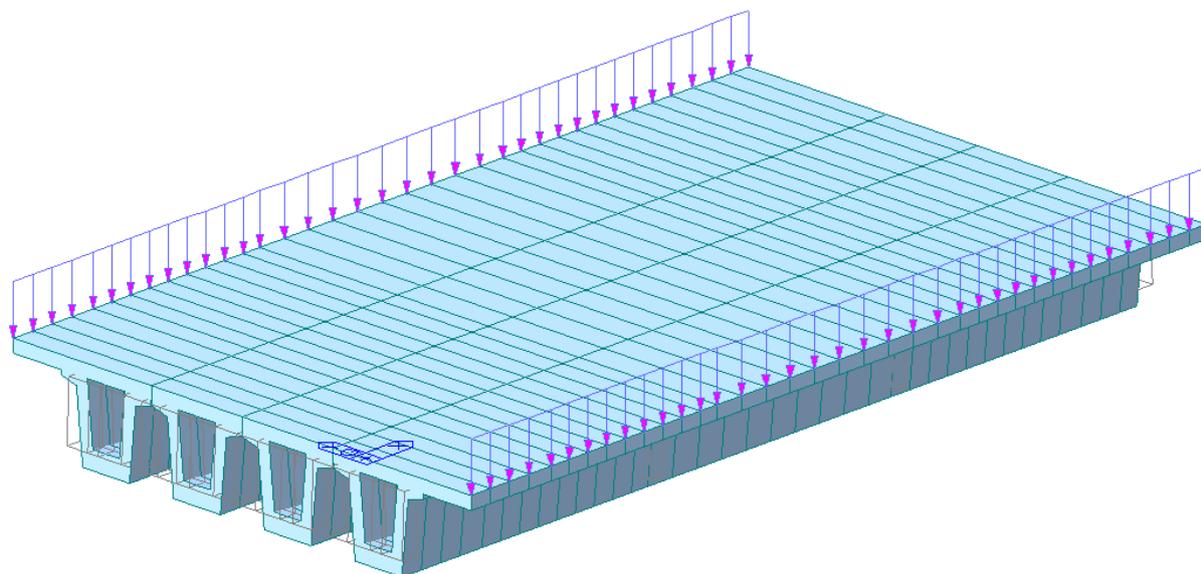


Figura 35 – Modello fase 2 – carico parapetti

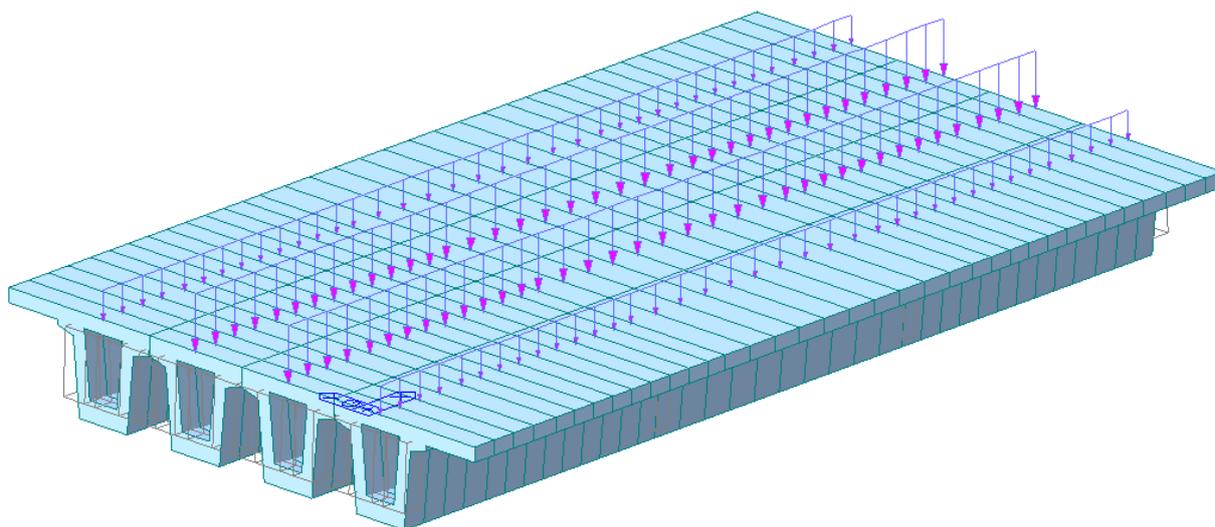


Figura 36 – Modello fase 2 – carico ballast

 <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 VI05</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0508 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 55 di 136</p>

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).

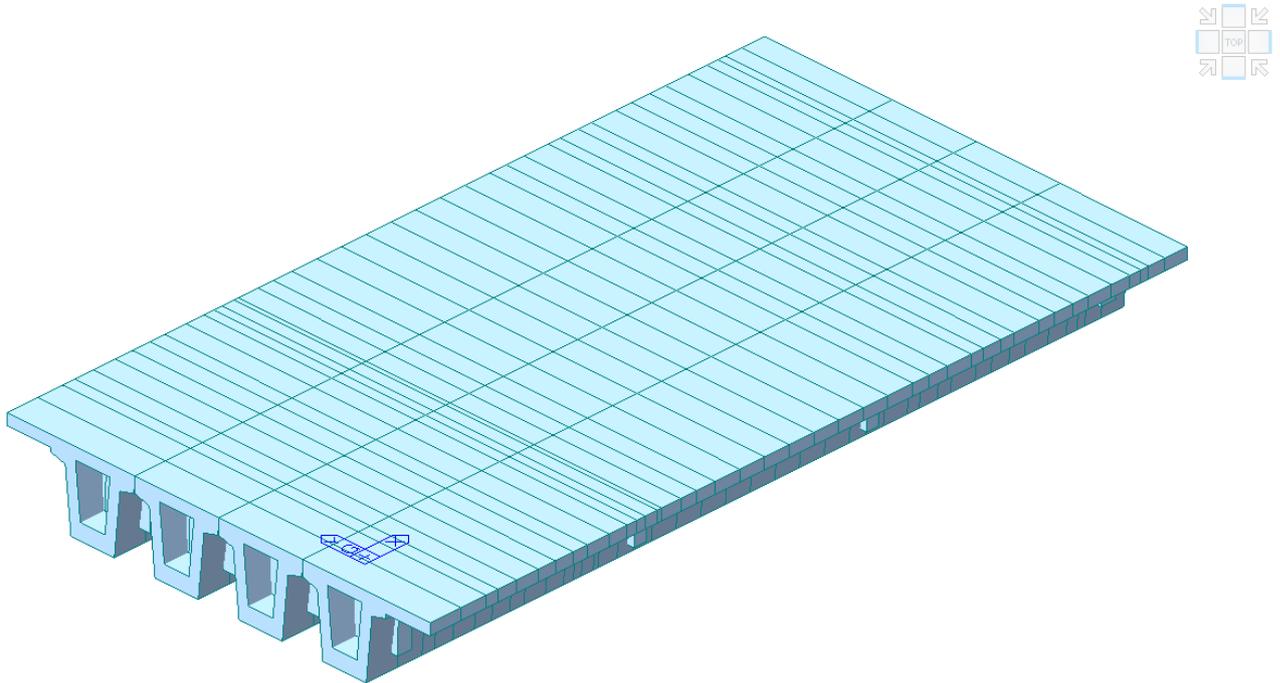


Figura 37 – modello di calcolo f.e.m. fase 3

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

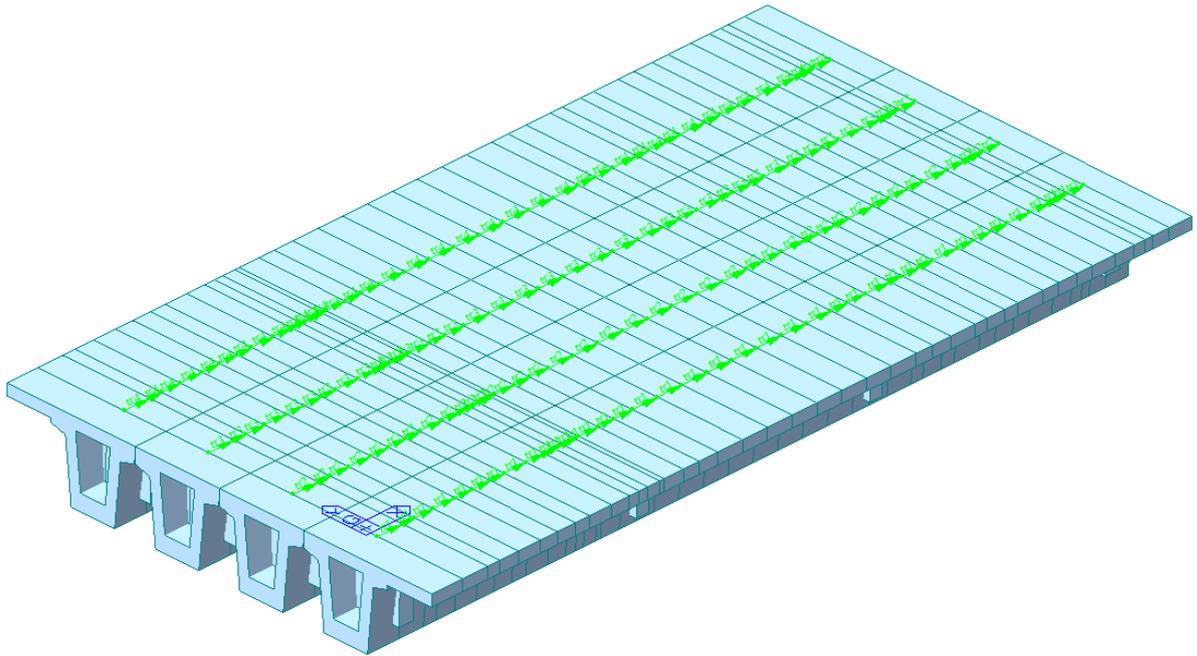


Figura 38 - Linee di carico ferroviario

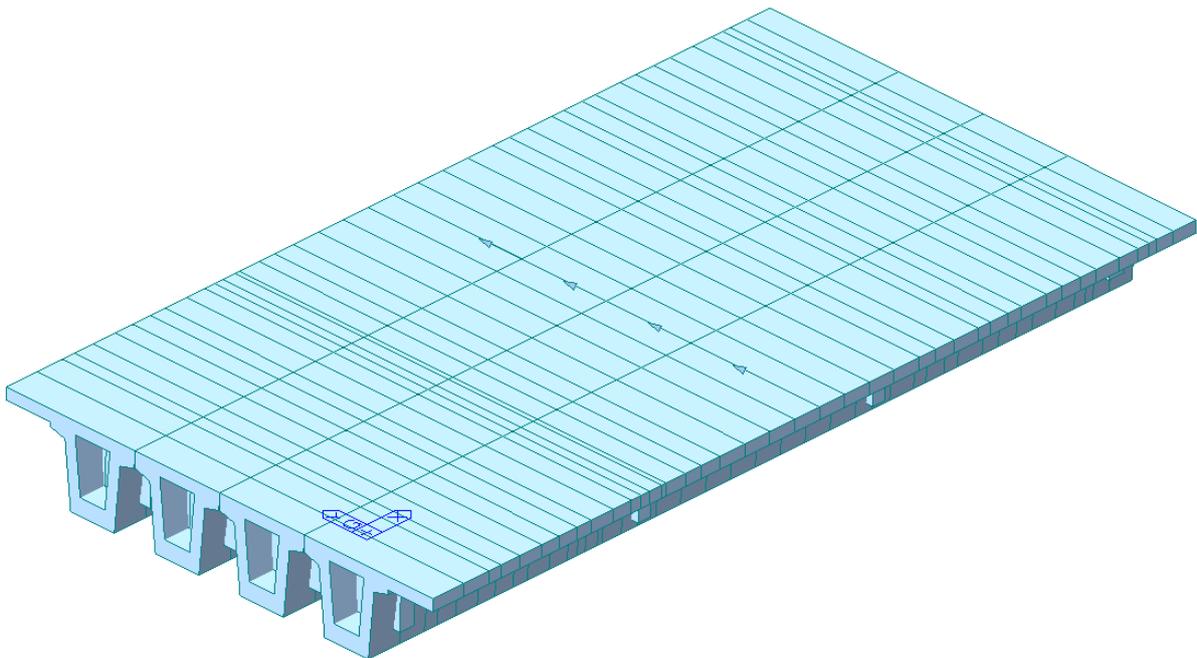


Figura 39 – modello fase 3 – Serpeggio

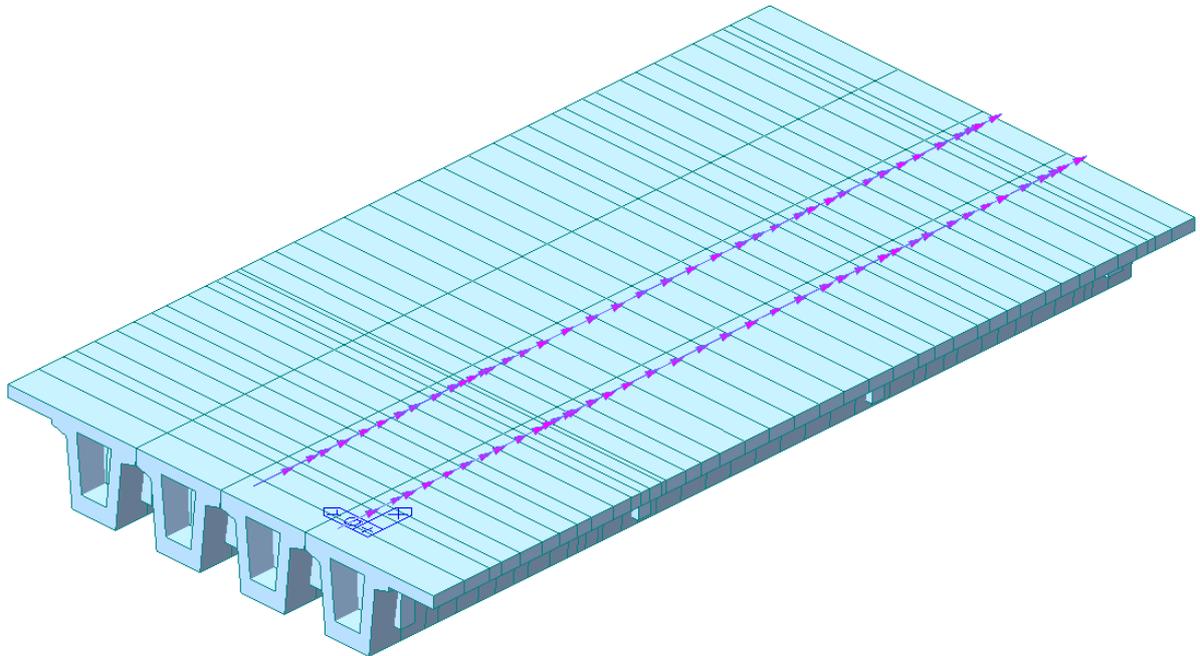


Figura 40 – modello fase 3 – Forze di avviamento

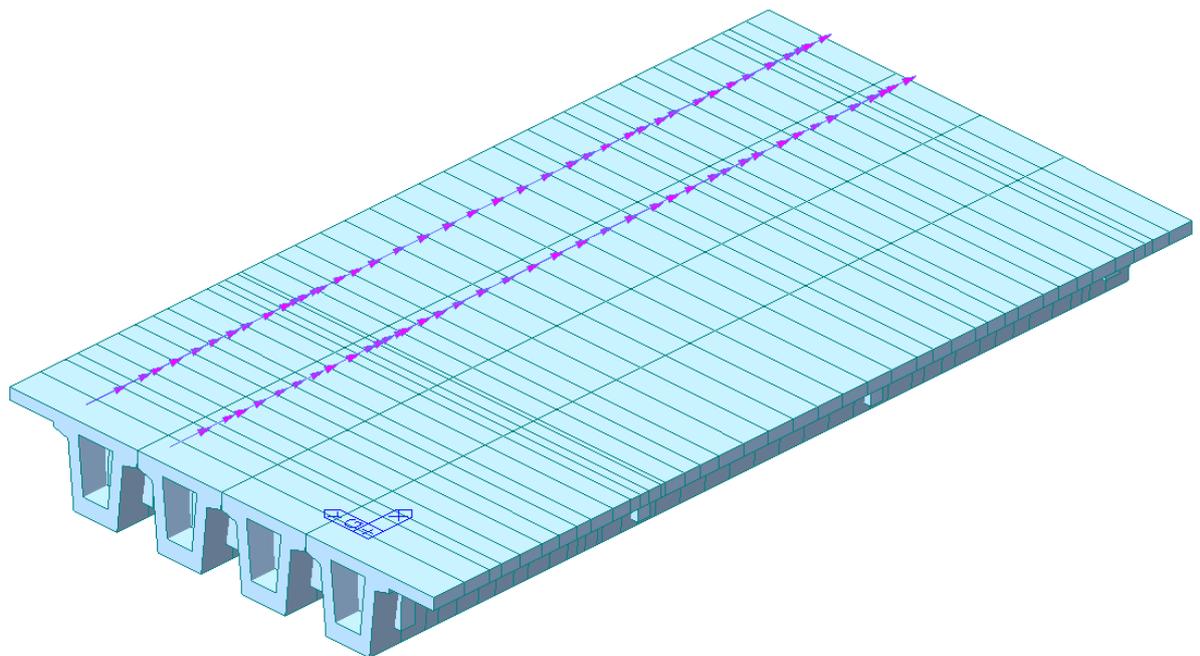


Figura 41 – modello fase 3 – Forze di frenatura

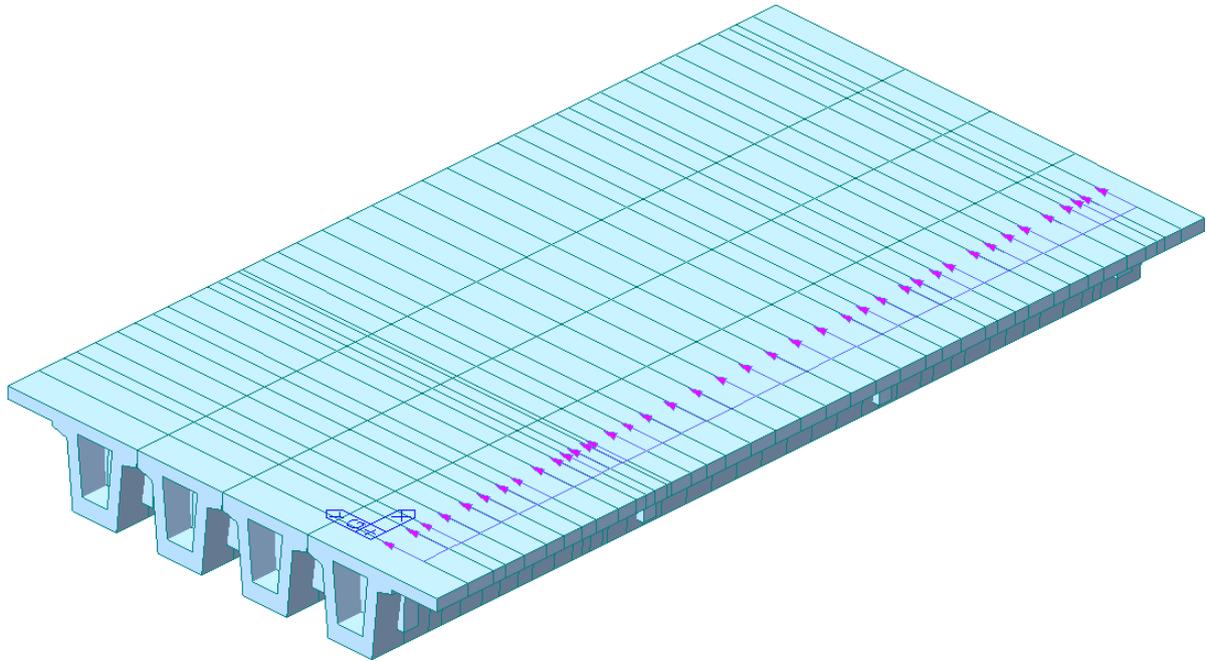


Figura 42 - Vento trasversale

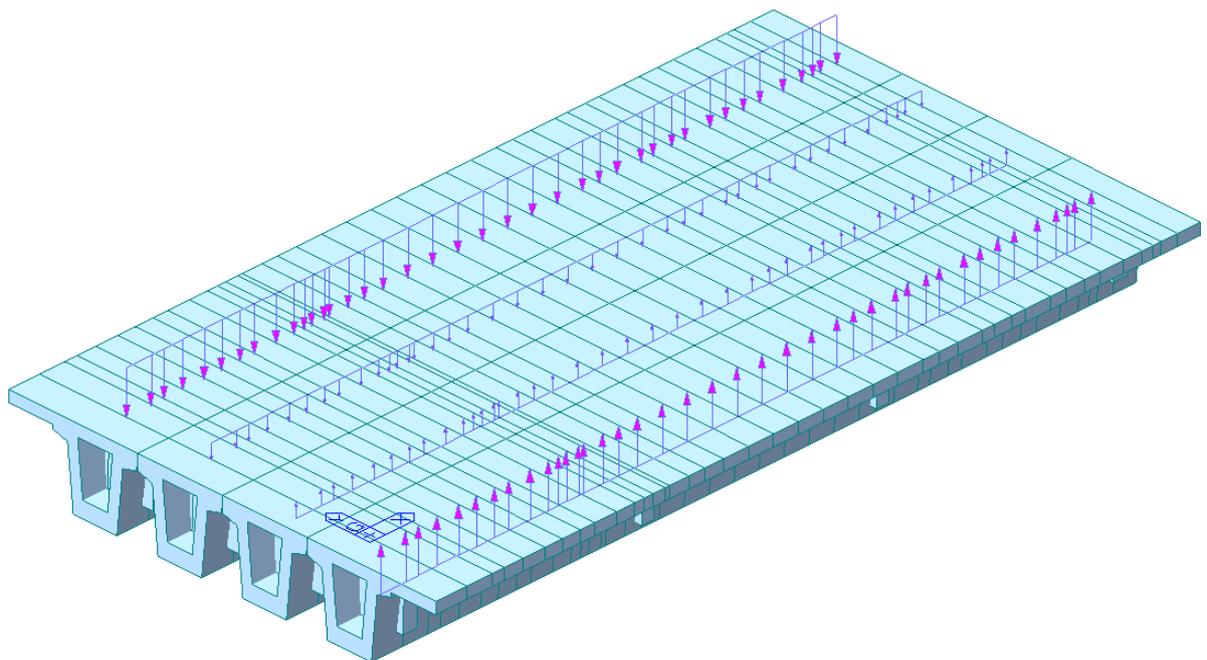


Figura 43 - Vento di rollio

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	59 di 136

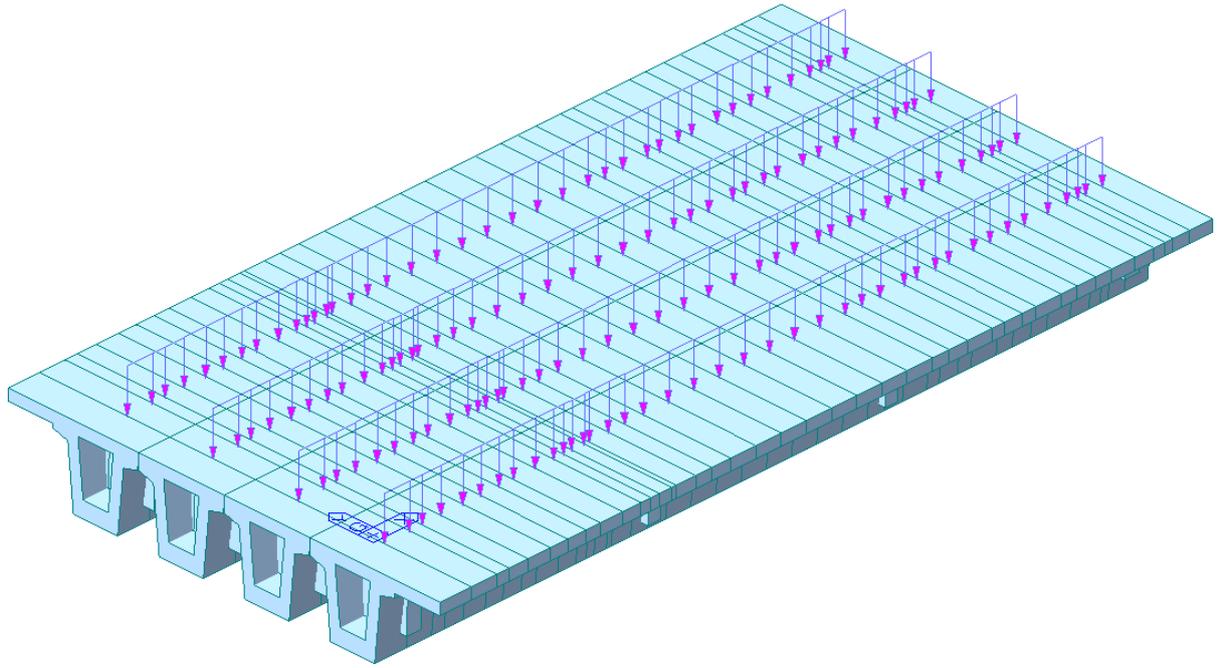


Figura 44 - Vento verticale

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO

Relazione di calcolo impalcato VI05

IV01 00 D 09 CL VI0508 001 A 60 di 136

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 carichi e (0,4) per impalcato con tre o più binari carichi.

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	61 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05
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_{Ced}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole		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	VI0508 001	A	62 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

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

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.1]
 - Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.2]
 - Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.3]
 - Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$
 [2.5.4]
 - Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [2.5.5]
 - Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$
 [2.5.6]
- Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:
- $$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$$
- [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	1.16	0.9	1.5	1.2	1.2	1
SLU	Tk	1.35	1.5	1.16	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

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	63 di 136

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 VI05</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0508 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 64 di 136</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 VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	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), 68 trefoli
- Sezione 6: sezione corrente in mezzeria ($x=11.4$ m), 68 trefoli

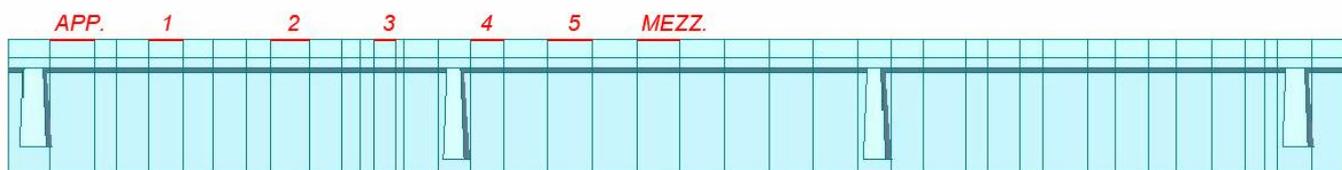


Figura 45 - Schema sezioni di calcolo

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	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

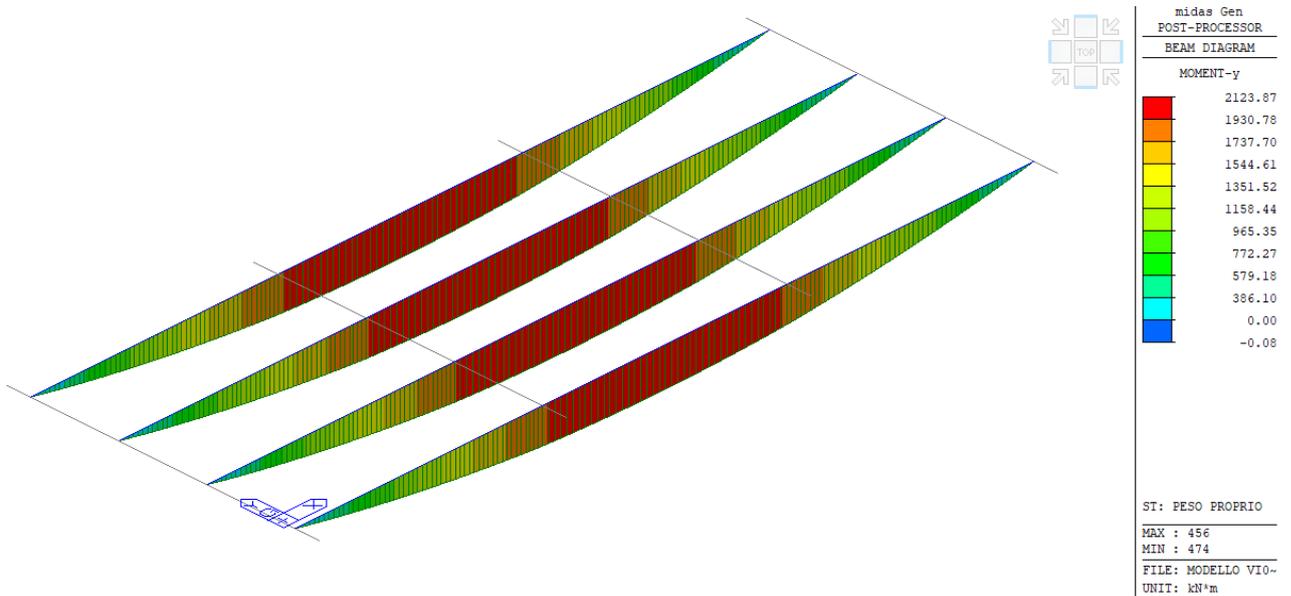


Figura 46 - Sollecitazione flessionale – peso proprio

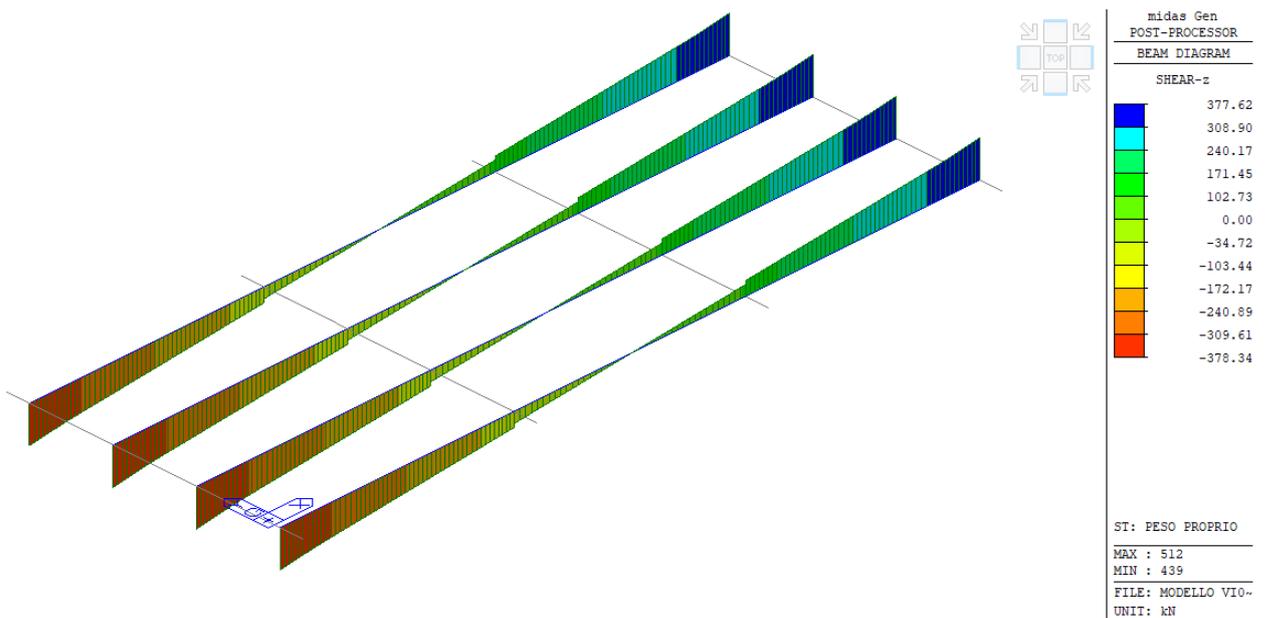


Figura 47 - Sollecitazione di taglio – peso proprio

	M (kN m)	T (kN)
appoggio	0	-378
sezione 1	611	-307
sezione 2	1129	-255
sezione 3	1646	-190
sezione 4	1923	-106
sezione 5	2093	-42
mezzeria	2124	1

Fase 1 – getto della soletta

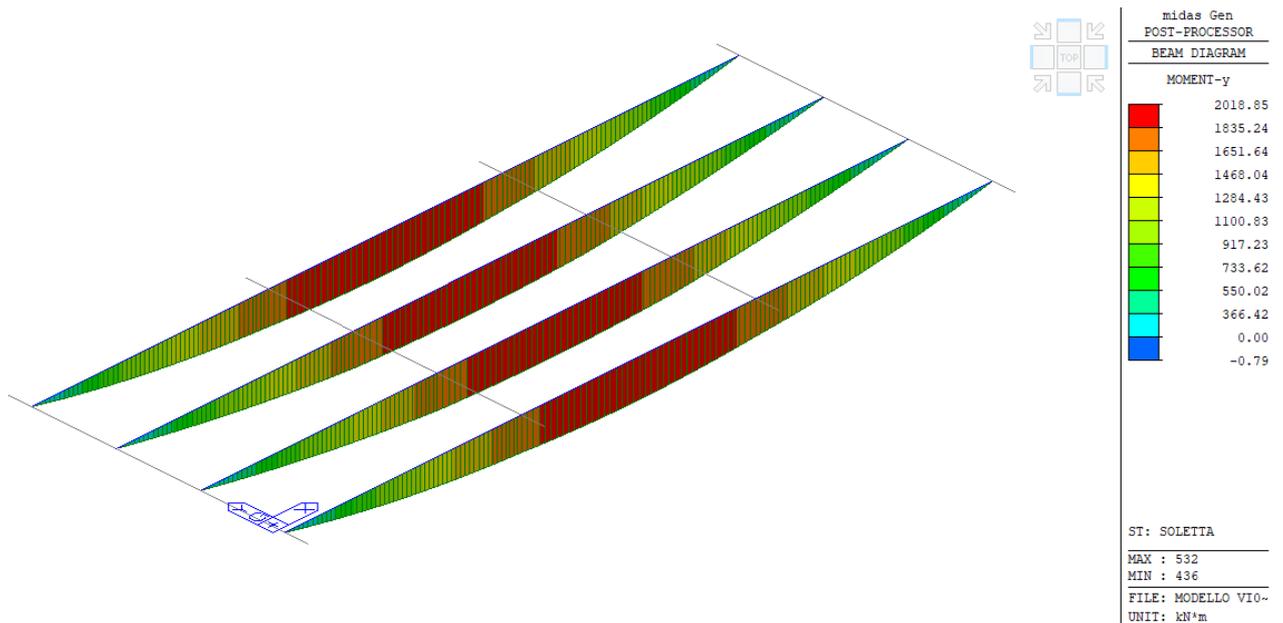


Figura 48 - Sollecitazione flessionale – Getto della soletta

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A

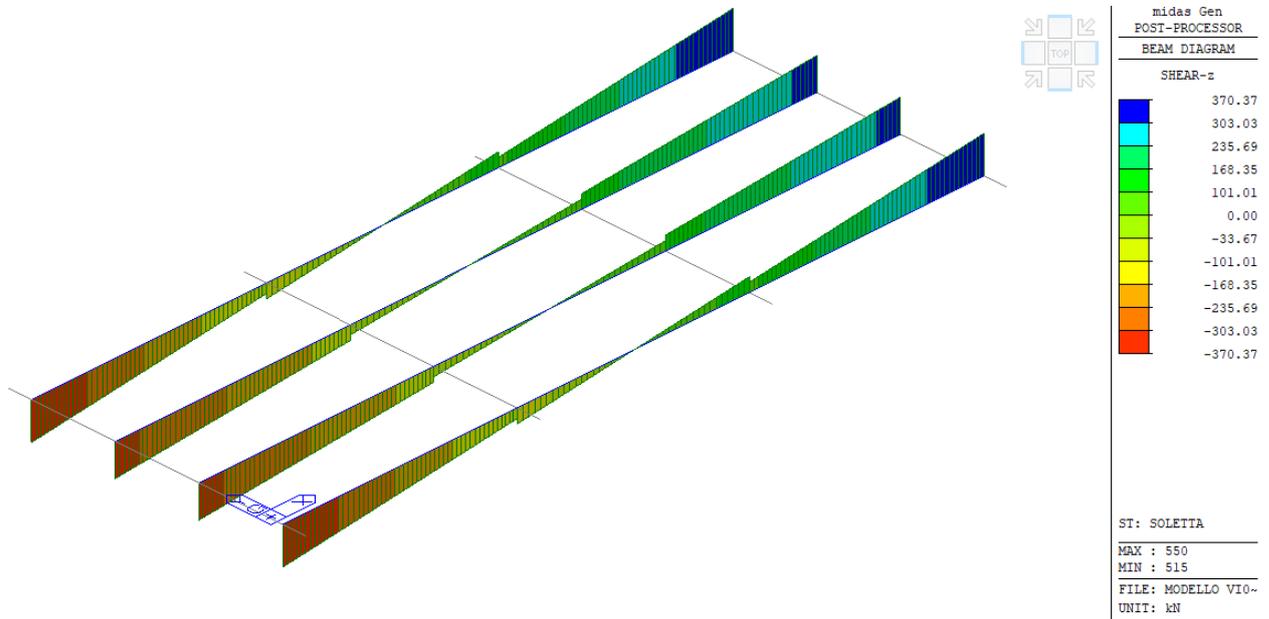


Figura 49 - Sollecitazione di taglio – Getto della soletta

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

Le sollecitazioni sotto riportate sono relative alle travi di bordo che sono quelle maggiormente sollecitate.

	M (kN m)	T (kN)	M (kN m)	T (kN)
appoggio	-1	-749	-1	-370
sezione 1	1218	-612	607	-305
sezione 2	2234	-493	1105	-237
sezione 3	3202	-342	1557	-152
sezione 4	3682	-245	1758	-138
sezione 5	4071	-97	1978	-55
mezzeria	4143	2	2019	1

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	69 di 136

Fase 2 – carichi permanenti

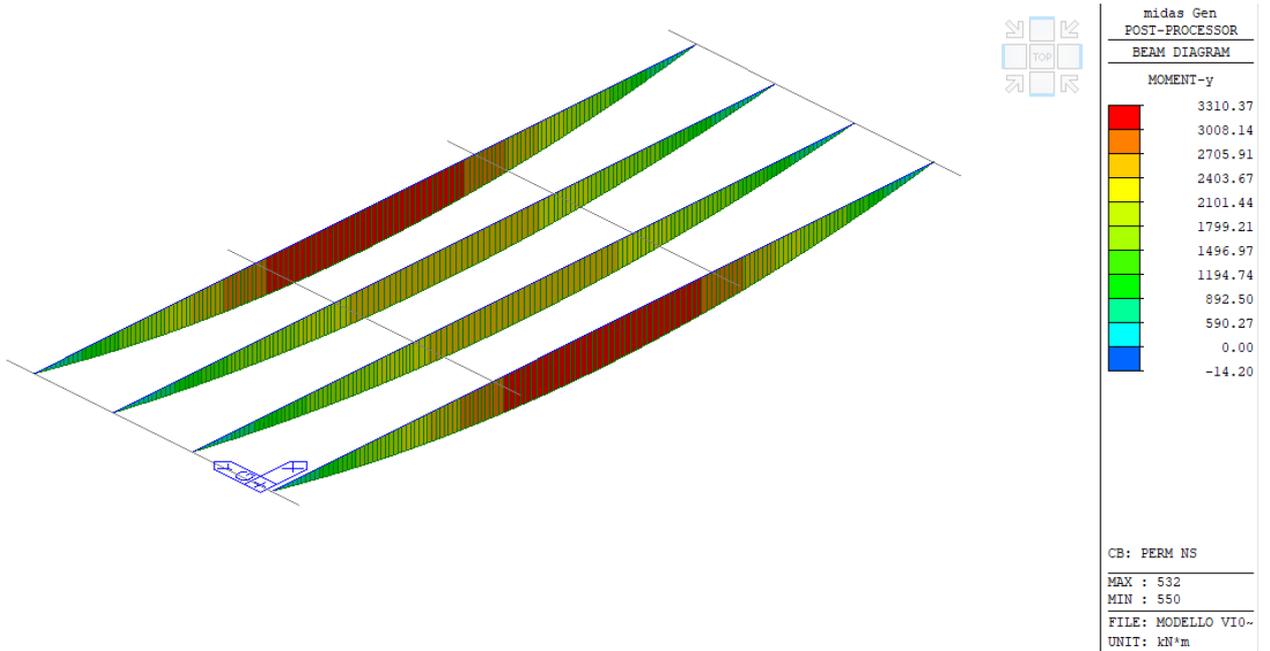


Figura 50 - Sollecitazione flessionale – carichi permanenti

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A

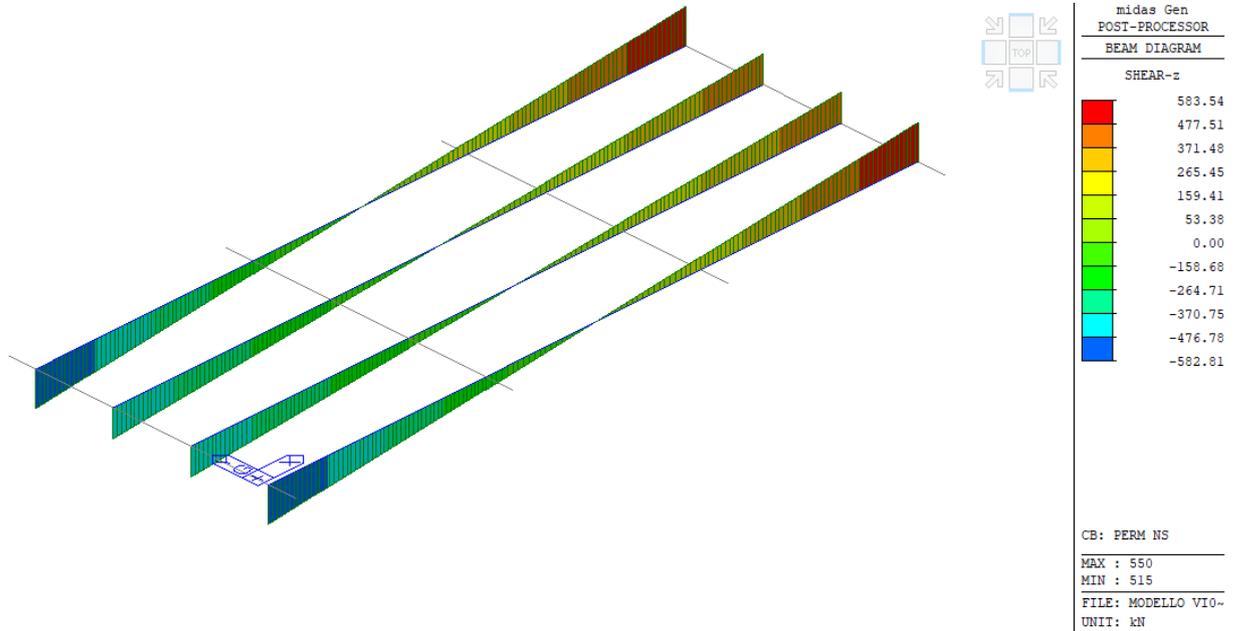


Figura 51 - Sollecitazione di taglio – carichi permanenti

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

Le sollecitazioni sotto riportate sono relative alle travi di bordo che sono quelle maggiormente sollecitate.

	M (kN m)	T (kN)	M (kN m)	T (kN)
appoggio	-12	-1332	-11	-583
sezione 1	2183	-1103	965	-491
sezione 2	4015	-888	1781	-395
sezione 3	5760	-616	2557	-274
sezione 4	6623	-441	2941	-196
sezione 5	7324	-174	3253	-77
mezzeria	7453	4	3310	2

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A

Fase 3: condizione di servizio

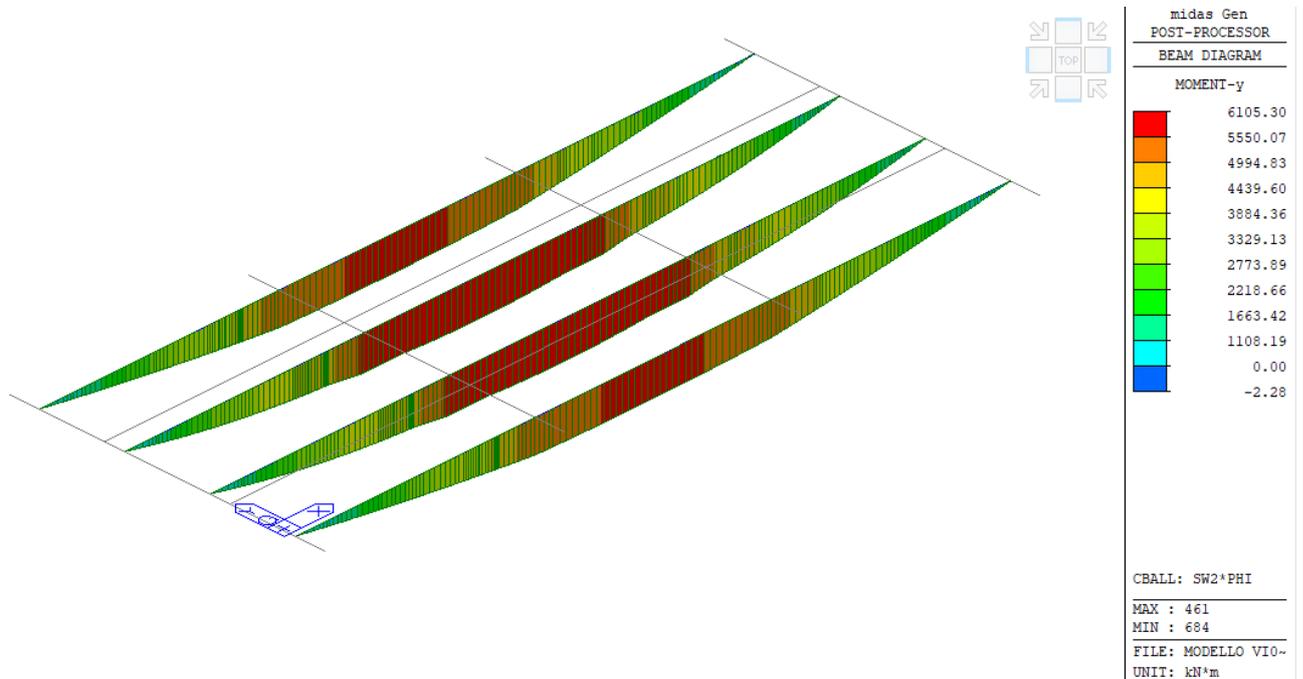


Figura 52 - Sollecitazione flessionale - involucro carichi da traffico – max tra SW2 e LM71

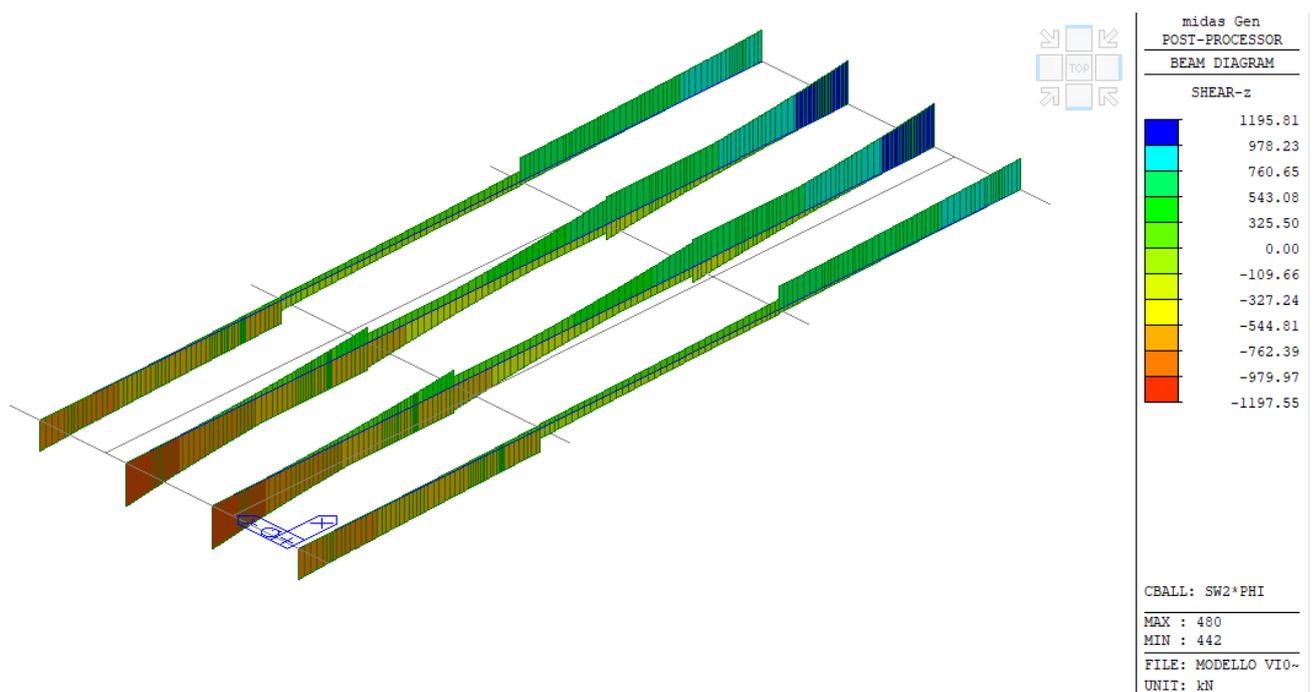


Figura 53 - Sollecitazione di taglio - involucro carichi da traffico – max tra SW2 e LM71

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A

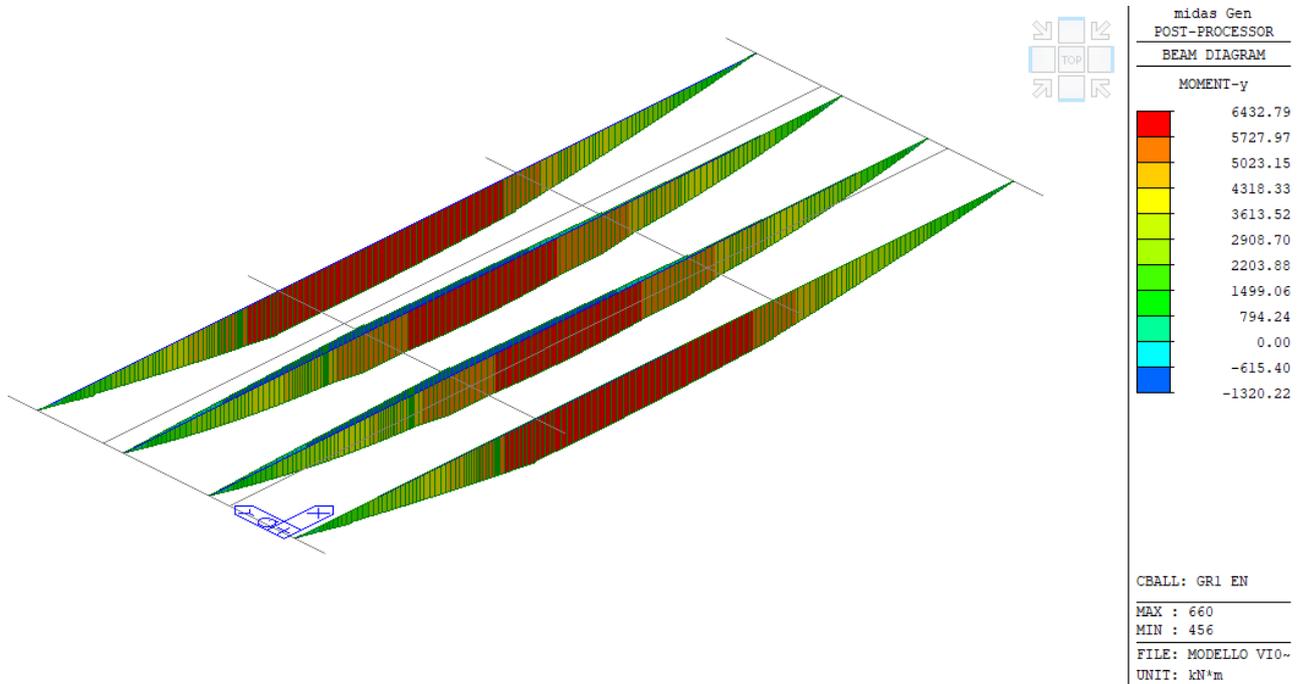


Figura 54 - Sollecitazione flessionale - involucro carichi da traffico – Gruppo 1

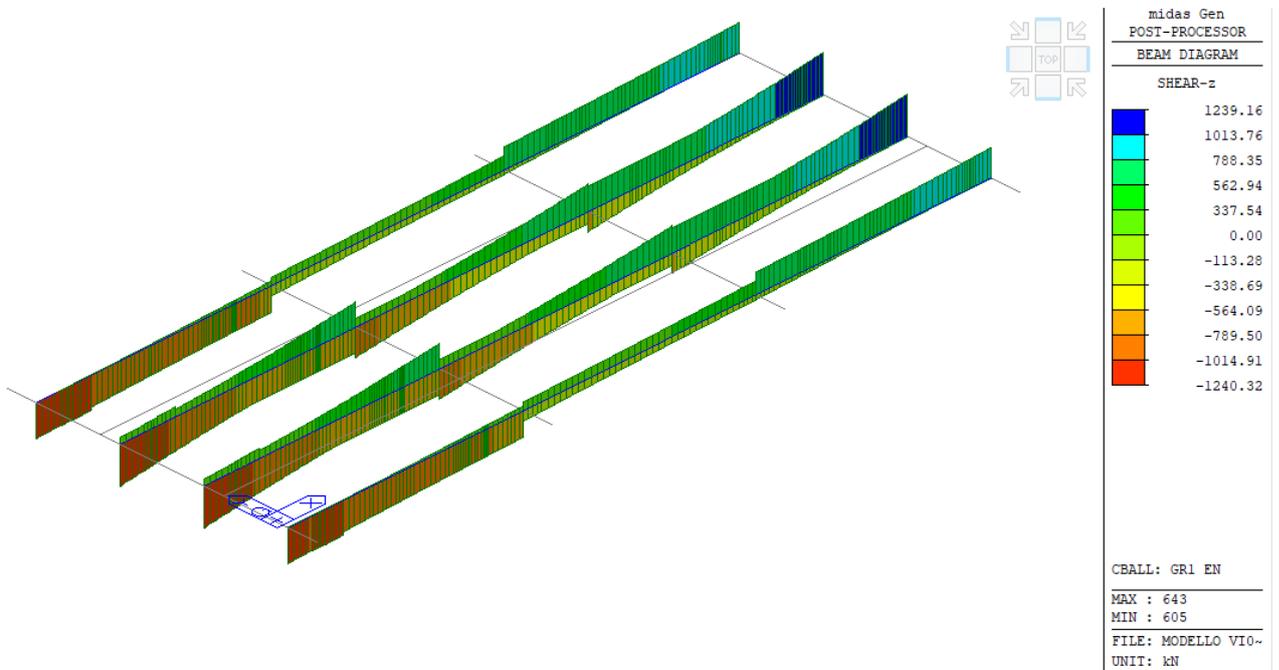


Figura 55 - Sollecitazione di taglio - involucro carichi da traffico – Gruppo 1

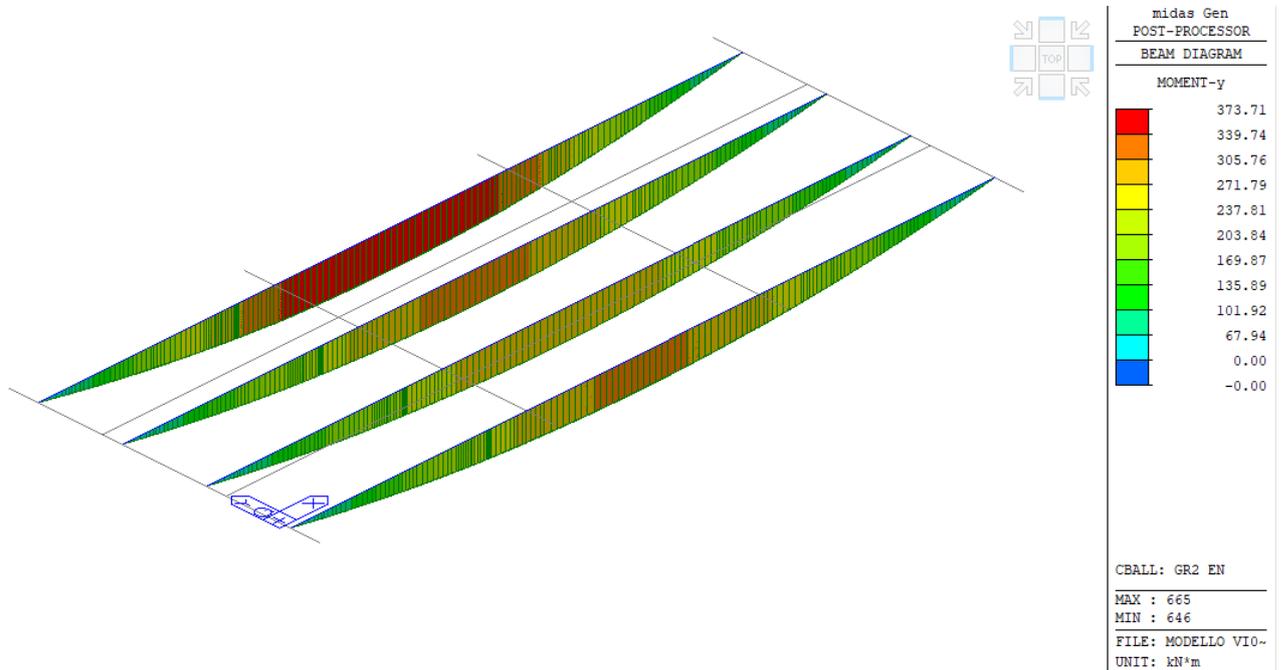


Figura 56 - Sollecitazione flessionale - involucro carichi da traffico – Gruppo 2

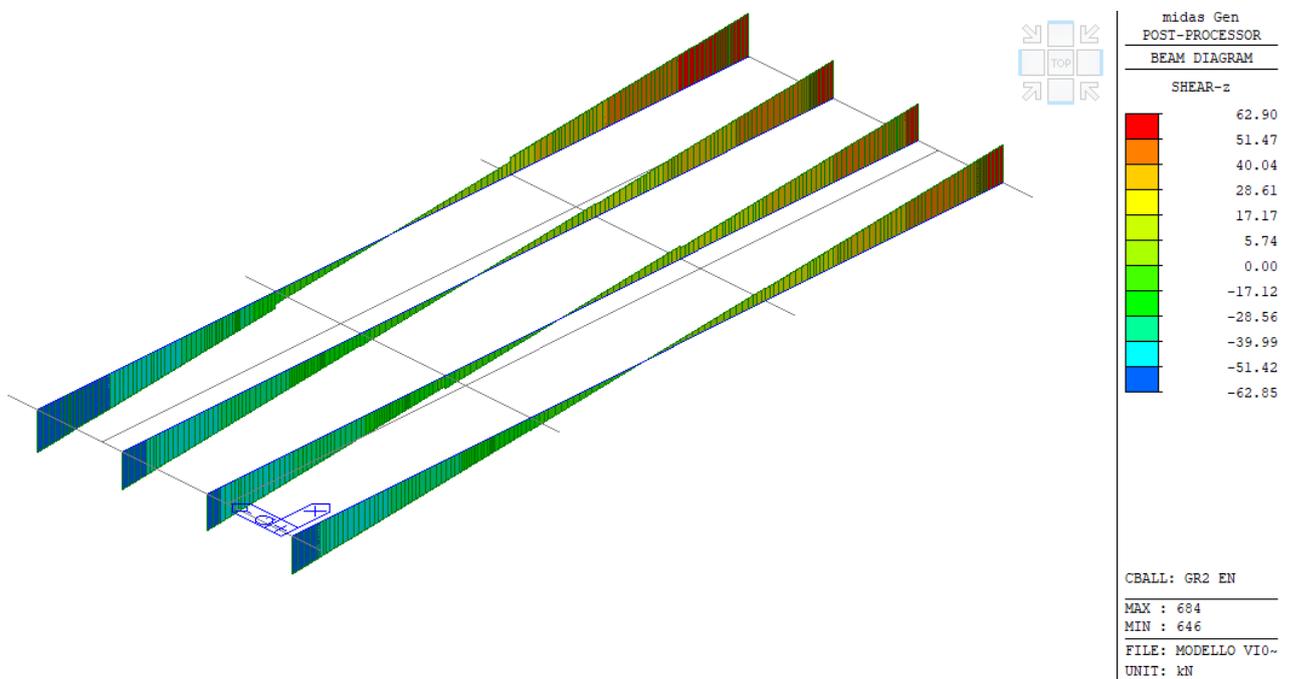


Figura 57 - Sollecitazione di taglio - involucro carichi da traffico – Gruppo 2

 <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 VI05</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>VI0508 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>

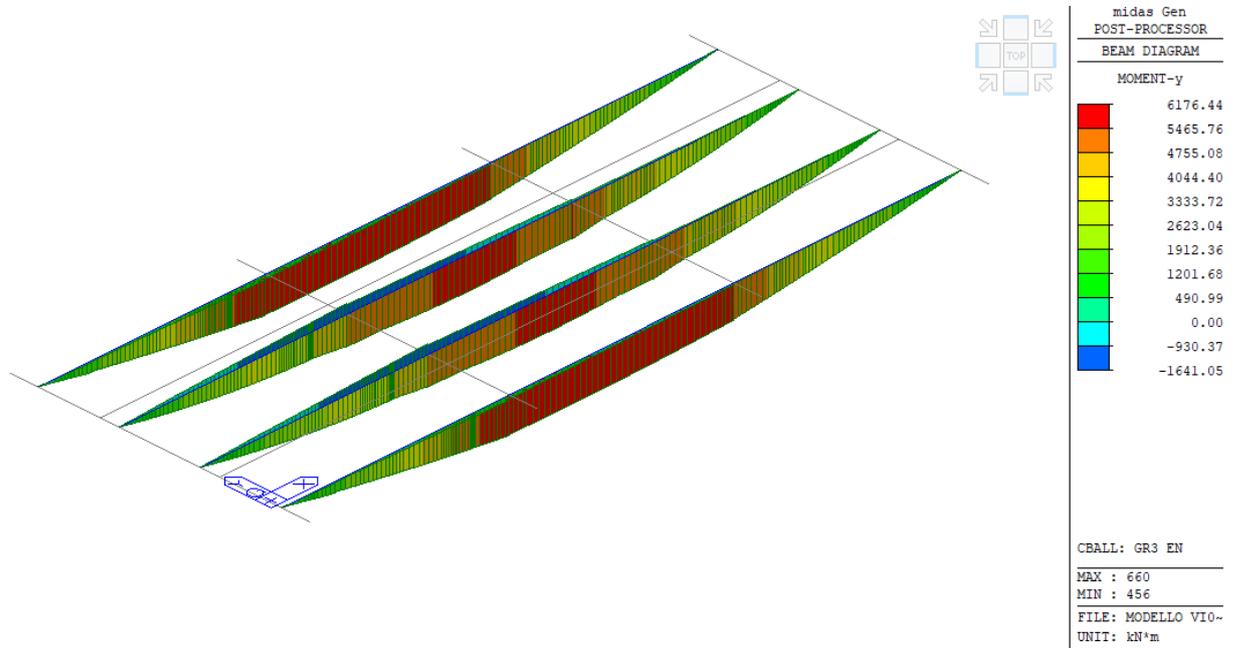


Figura 58 - Sollecitazione flessionale - involucro carichi da traffico – Gruppo 3

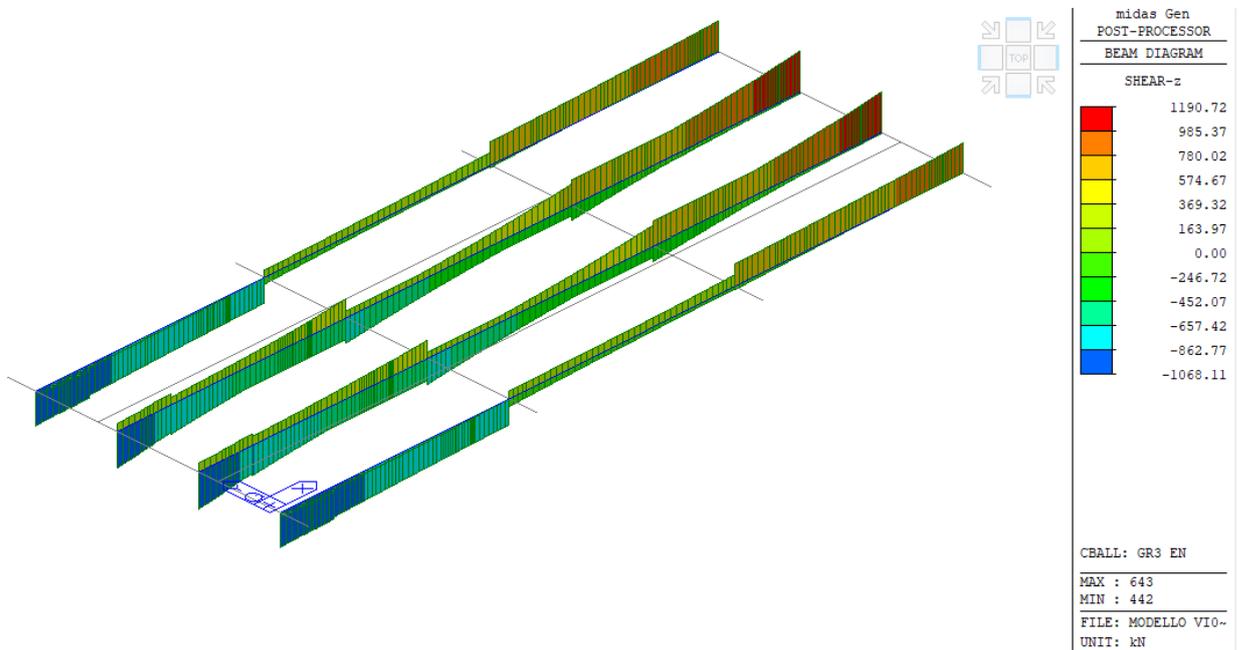


Figura 59 - Sollecitazione di taglio - involucro carichi da traffico – Gruppo 3

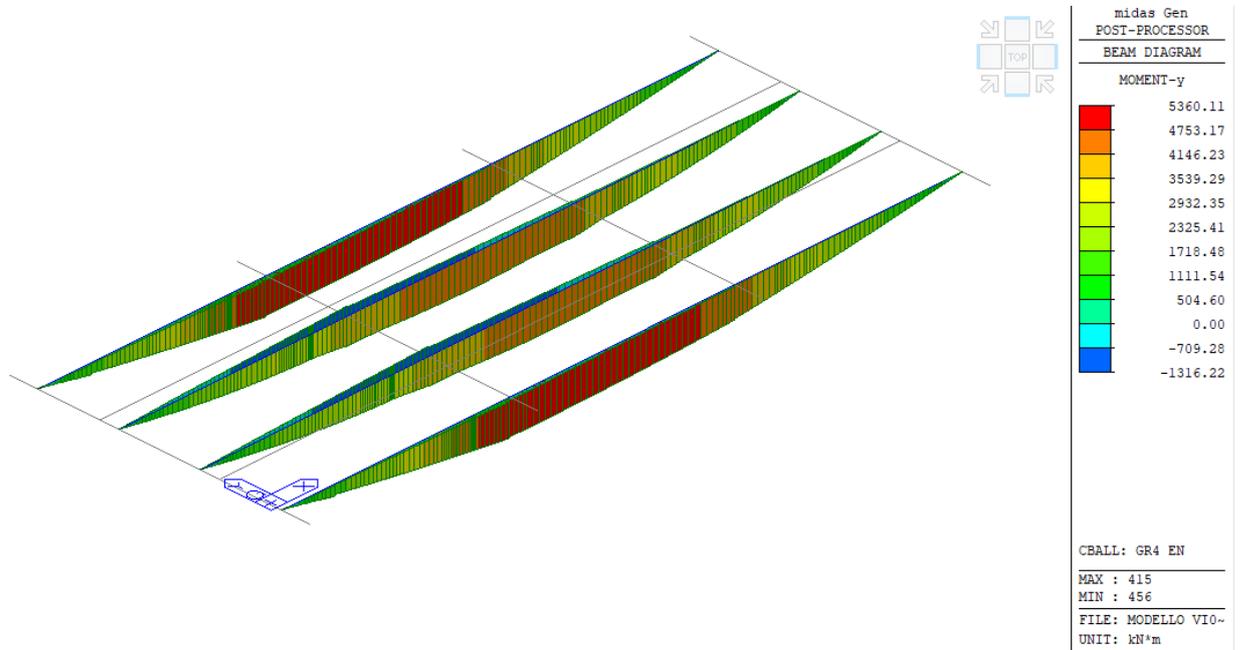


Figura 60 - Sollecitazione flessionale - inviluppo carichi da traffico – Gruppo 4

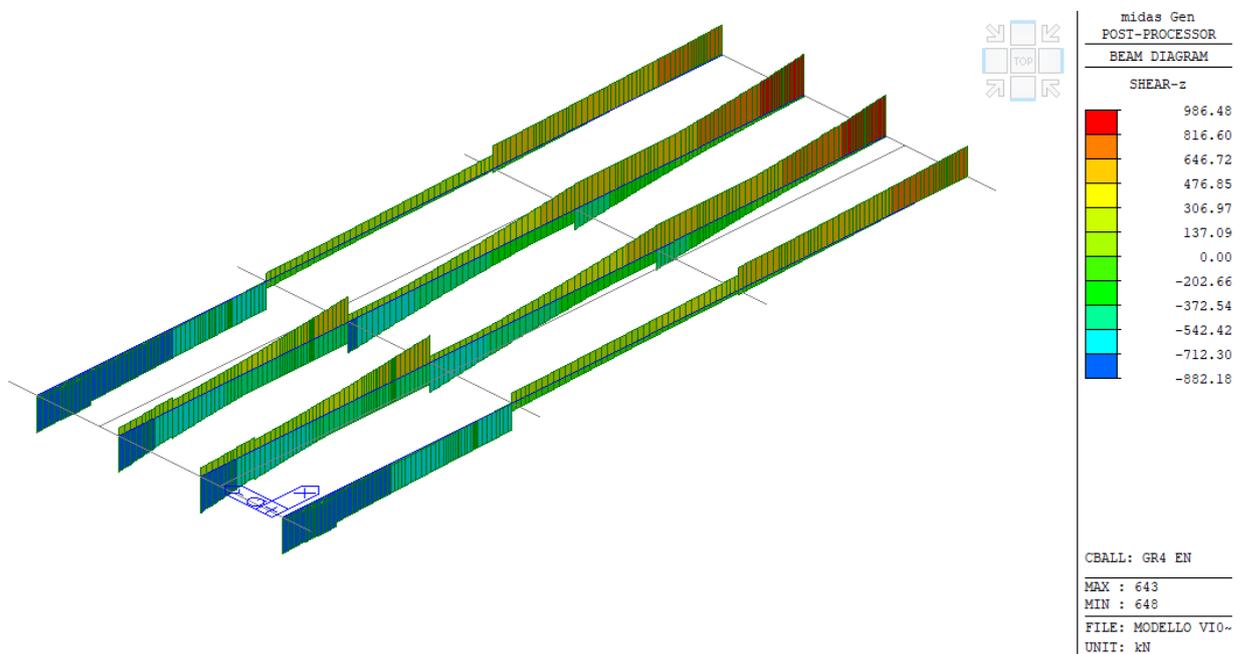


Figura 61 – Sollecitazione di taglio - inviluppo carichi da traffico – Gruppo 4

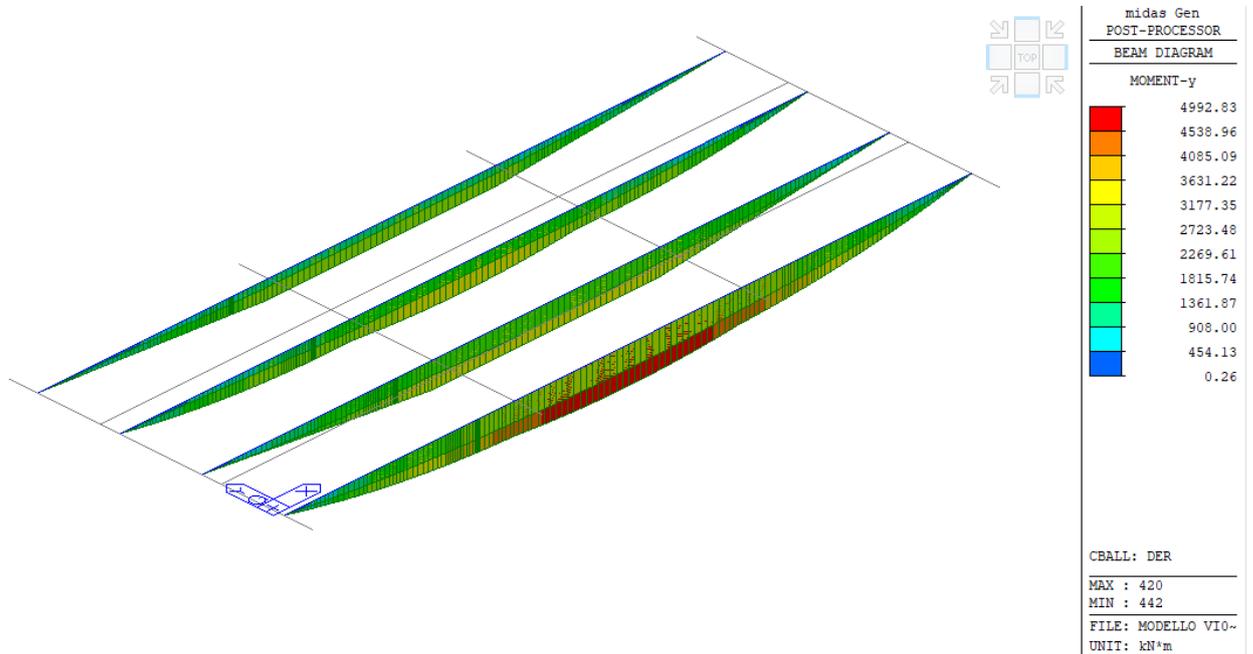


Figura 62 - Sollecitazione flessionale - involucro Deragliamento

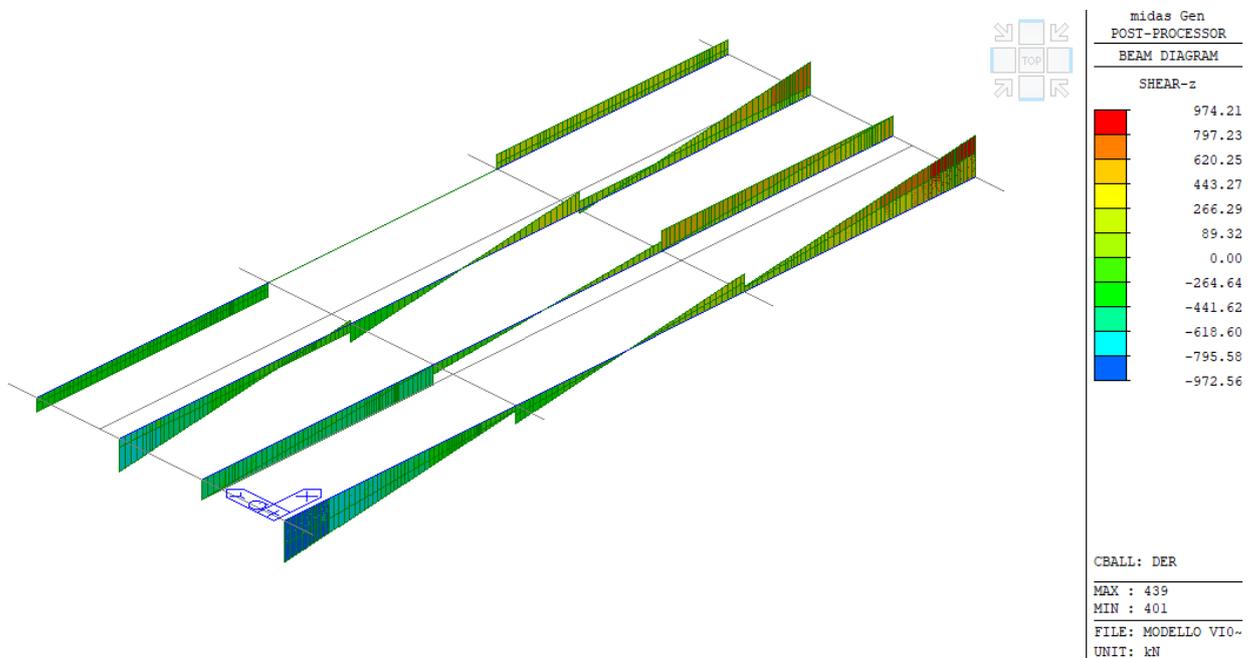


Figura 63 – Sollecitazione di taglio - involucro Deragliamento

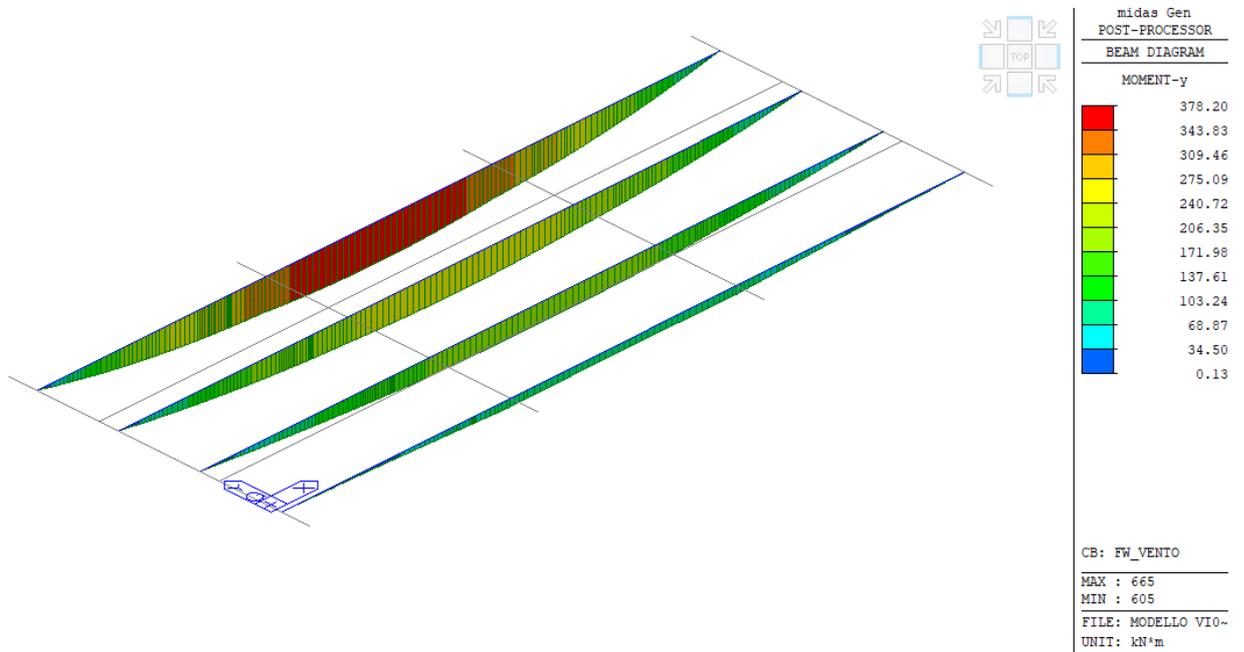


Figura 64 - Sollecitazione flessionale – carico da vento

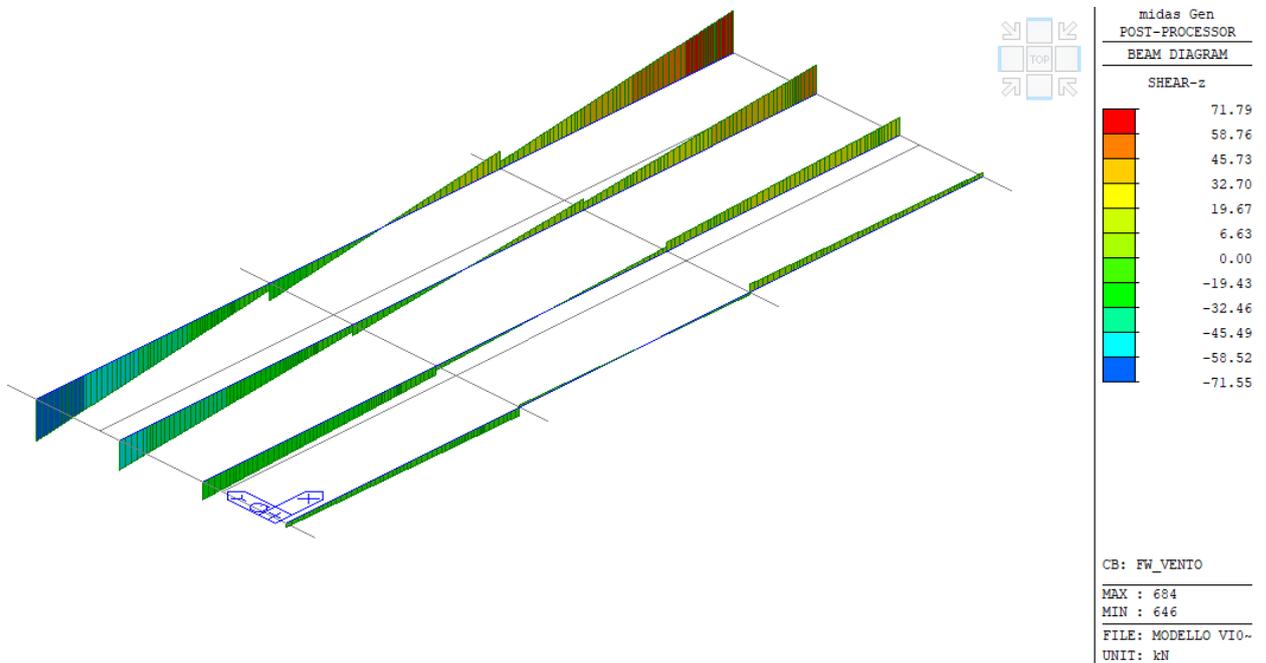


Figura 65 - Sollecitazione di taglio – carico da vento

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	78 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

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

Le sollecitazioni sotto riportate sono relative alle travi di bordo che sono quelle maggiormente sollecitate.

Combinazione rara

	Mmax (kN m)	Tmax (kN)	Mmax (kN m)	Tmax (kN m)
appoggio	-71	-2422	-59	-1091
sezione 1	3962	-2067	1779	-964
sezione 2	7909	-1768	3894	-880
sezione 3	11182	-1442	5422	-826
sezione 4	13102	-768	6479	-327
sezione 5	13891	-454	6568	-280
mezzeria	13957	312	6504	308

Combinazione frequente

	Mmax (kN m)	Tmax (kN)	Mmax (kN m)	Tmax (kN)
appoggio	-47	-1959	-35	-628
sezione 1	3210	-1660	1027	-557
sezione 2	6273	-1401	2258	-513
sezione 3	8914	-1102	3155	-486
sezione 4	10401	-626	3778	-185
sezione 5	11143	-335	3819	-161
mezzeria	11226	189	3773	185

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	79 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

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 centrale, mentre per le sezioni intermedie si mostrano solo i risultati in forma grafica.

6.1.2.1 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	94.52	cm ²
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xS, G}$	2.49E+05	cm ⁴
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xS, hom1}$	4.44E+05	cm ⁴
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xS, G}$	4554	cm ³

Sezione Netta

area netta del calcestruzzo	A_{cls}	11215	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}	11723	cm ²
baricentro sezione omogenizzata	x_G	0.00	cm
baricentro sezione omogenizzata	y_G	93.56	cm
inerzia sezione omogenizzata	I_{xG}	6.55E+07	cm ⁴
momento statico sezione omogenizzata	S_x	1.10E+06	cm ³

Sezione di Calcolo

area omogenizzata al calcestruzzo	Ahom1	11723.47	cm ²
baricentro sezione omogenizzata	xG	0	cm
baricentro sezione omogenizzata	yG	93.56015	cm
inerzia sezione omogenizzata	IxG	6.55E+07	cm ⁴
momento statico sezione omogenizzata	Sx	1.10E+06	cm ³

6.1.2.1.1 Sezione iniziale

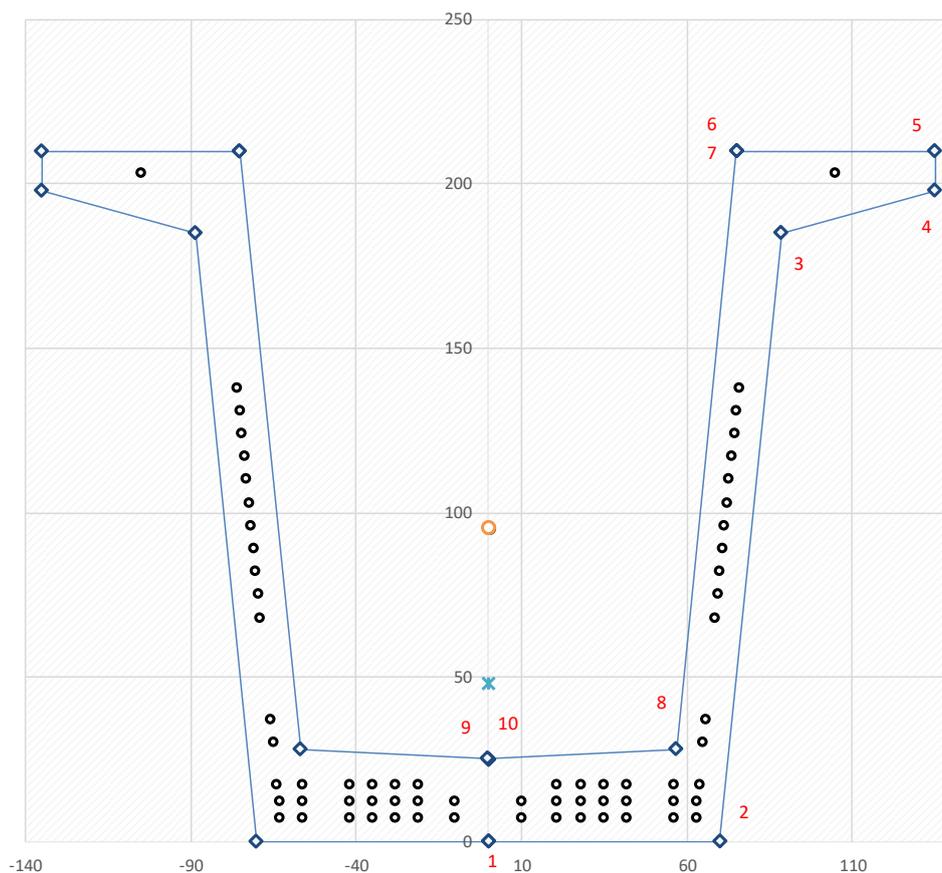


Figura 66 - Sezione iniziale

6.1.2.1.2 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	$I_{xcls, hom2}$	9.44E+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	$I_{xsol, hom2}$	5.62E+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	94.52	cm^2
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xS, G}$	2.49E+05	cm^4
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xS, hom2}$	1.18E+06	cm^4
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xS, G}$	4554	cm^3

Sezione omogenizzata2

area omogenizzata al calcestruzzo	A_{hom2}	19387	cm^2
baricentro sezione omogenizzata	x_G	0.00	cm
baricentro sezione omogenizzata	y_G	147.50	cm
inerzia sezione omogenizzata	I_{xG}	1.52E+08	cm^4
momento statico sezione omogenizzata	S_x	2.86E+06	cm^3

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	82 di 136

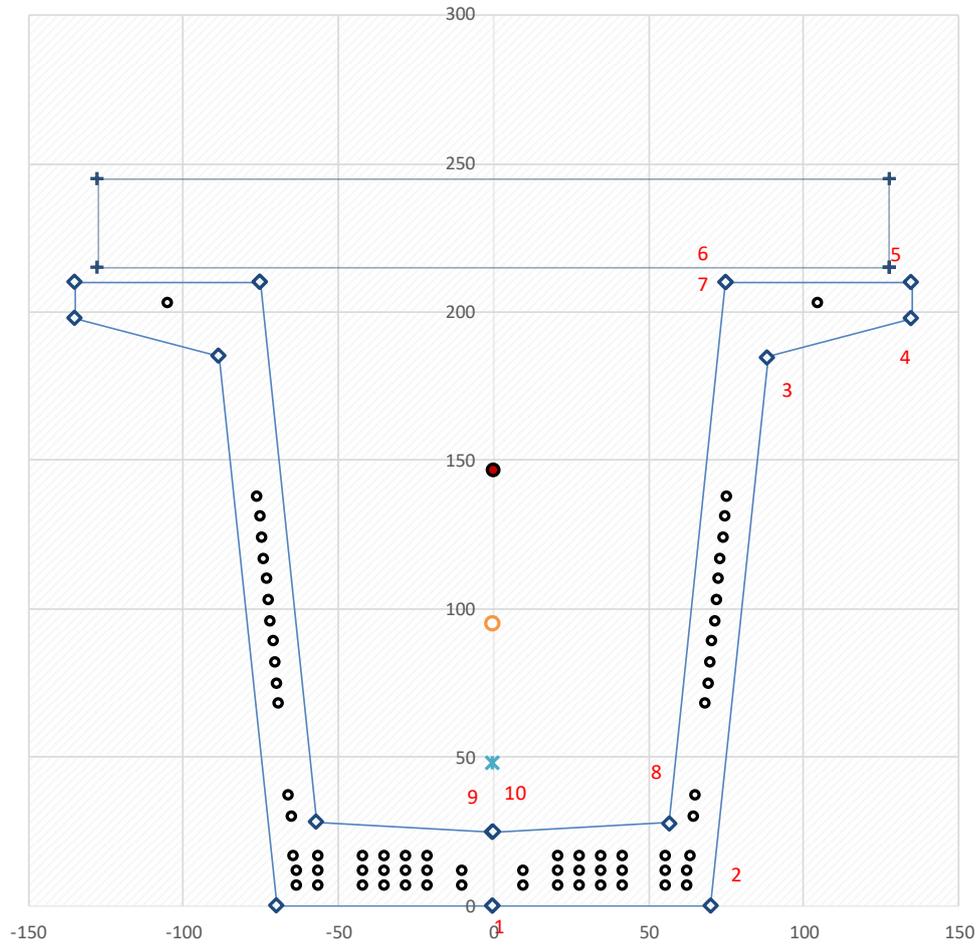


Figura 67 - Sezione omogenizzata - breve termine

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	83 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

6.1.2.1.3 Sezione composta – lungo termine

coefficiente di viscosità a tempo infinito cassone $\varphi_{00}(t, t_{00})$ 1.865

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} 19949 cm²

baricentro sezione omogenizzata X_G 0.00 cm

baricentro sezione omogenizzata Y_G 142.79 cm

inerzia sezione omogenizzata I_{xG} 1.60E+08 cm⁴

momento statico sezione omogenizzata S_x 2.85E+06 cm³

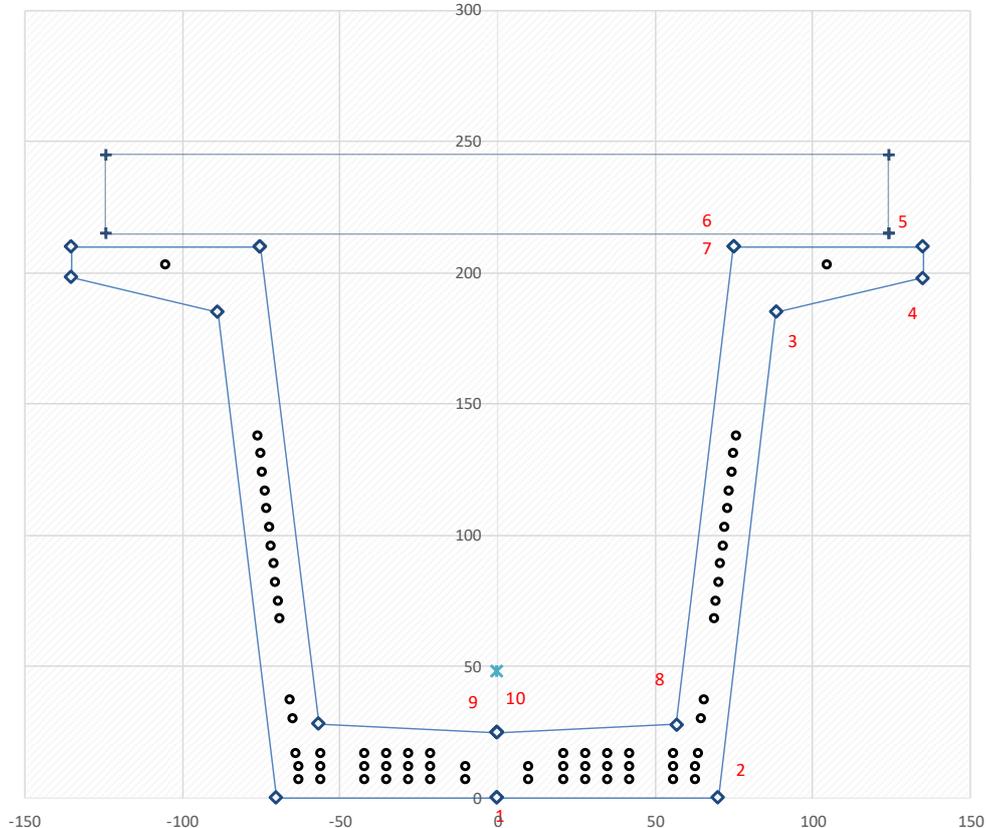


Figura 68 - Sezione omogenizzata - lungo termine

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	84 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05
6.1.2.2 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

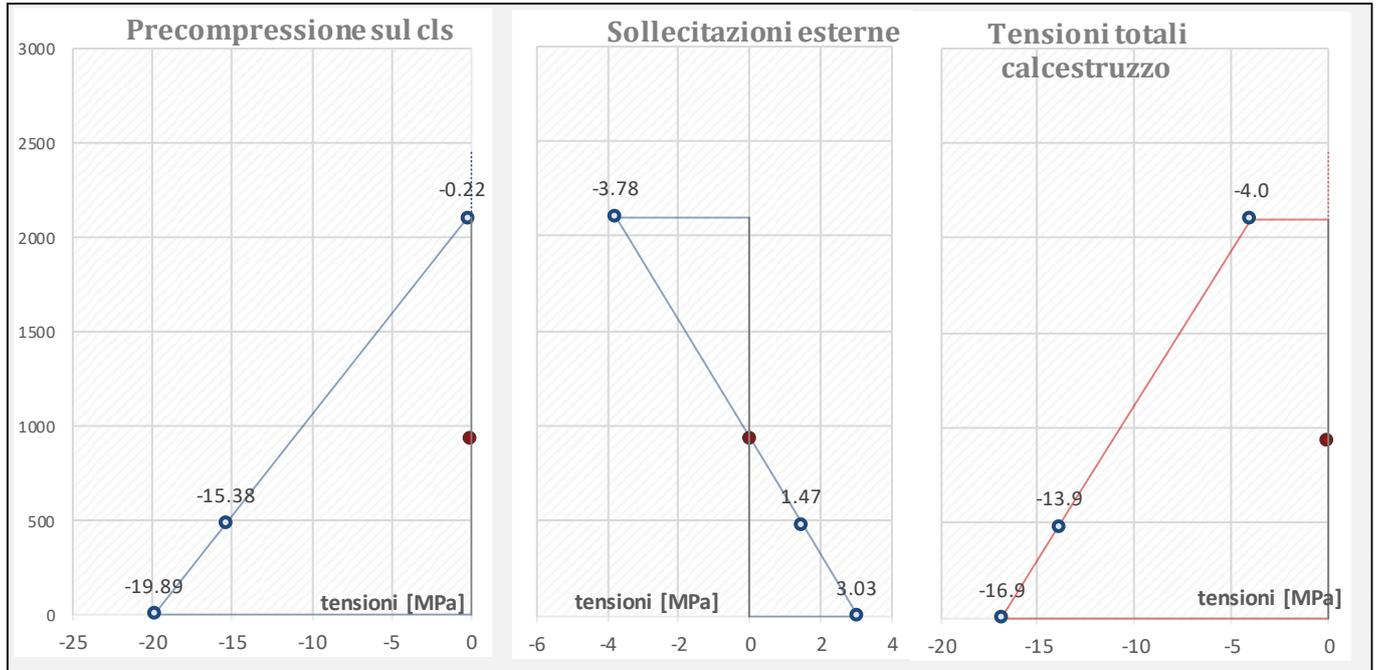
tensione del cavo sul banco di tiraggio	$\sigma_{t,0}$	1,380	MPa
forza di precompressione sulla pista di tensione	P_0	13,044	KN
distanza tra il baricentro della sezione e il cavo	y	470	mm
area dei cavi precompressi	A_t	9,452	mm ²
modulo elastico del calcestruzzo al tempo t	E	34,658	MPa
coefficiente di omogenizzazione	n	4.37	
area della sezione omogenizzata	A_{hom1}	1.17E+06	mm ²
inerzia della sezione omogenizzata	I_{hom1}	6.55E+11	mm ⁴
forza di prec. al momento del taglio (perdite elastiche)	P_1	12,411	KN
tensione del cavo al momento del taglio (perdite elastiche)	$\sigma_{t,1}$	1,313	MPa
perdita di tensione nel cavo per def. elastica cls	$\Delta\sigma_{t,1}$	66.9	MPa
perdite istantanee di precompressione		4.8%	

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	5.4E-10	mm/ m
Forza rimanente dopo il recupero del cavo	P_1	12,241	KN
perdite istantanee di precompressione	$\Delta\sigma_{t,1}$	84.9	MPa
		6.2%	
momento dovuto al peso proprio della trave	$M_{pp, trave}$	2124	kN m
tensione nel cavo a fine fase 0	$\sigma_{t,F0}$	1,302	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	85 di 136



Limitazioni tensionali del calcestruzzo

tensione limite all'atto della precompressione	$\sigma_{t,1 \max}$	22.49	MPa
tensione limite di esercizio a cadute avvenute	$\sigma_{t,0 \max}$	24.75	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore	$\sigma_{cls,1}$	-3.99	> -22.49 MPa
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo	$\sigma_{cls',1}$	-13.91	> -22.49 MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore	$\sigma_{cls'',1}$	-16.86	> -22.49 MPa
tensione nel cavo a fine fase 0	$\sigma_{t,F0}$	1,302	< 1336 MPa

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A

6.1.2.3 Fase 1 – Getto della soletta

momento dovuto al peso della soletta	$M_{sol, trave}$	1931	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 $2A_c/u$	h_0	197.9	mm
umidità relativa	UR	70	%
deformazione massima per essiccamento	ϵ_{c0}	-0.000294	
parametro per calcolo deformazione a tempo ∞	k_h	0.8545	
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	500.0	
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	
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	VI0508 001	A	87 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

coef. Funzione dell'umidità relativa	φ_{RH}	1.354	
coefficiente normale di viscosità	φ_0	1.982	
coefficiente di viscosità al tempo t0	$\varphi_0(t, t_0)$	1.865	
coefficiente di viscosità al tempo t1	$\varphi_0(t, t_1)$	1.857	
		viscosità lineare	
controllo tensione massima CLS <0.45fcm =>			
coefficiente di viscosità di riferimento al tempo t	$\varphi_0(t, t_0)$	1.865	
coefficiente di viscosità di riferimento al tempo t	$\varphi_0(t, t_1)$	1.857	
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	$\varepsilon_v = \sigma_{t0} J_{t0} + \Delta \sigma_{t1} J_{t1}$	-1.02E-03	
variazione tensionale nel cavo per effetto della viscosità	$\Delta \sigma_v = -E_s \varepsilon_v$	-199.27	MPa
<i>Rilassamento</i>			
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	$\Delta \sigma_{ril(t)}$	-75.60	MPa
inerzia della sezione in cls	I_{cls}	6.55E+07	cm ⁴
area della sezione in cls	A_{cls}	11215	cm ²
eccentricità del cavo rispetto al baricentro cls	e	47.04	cm
perdita totale di precompressione nel cavo al tempo t	$\Delta \sigma_{pr(t)}$	-294.12	cm
perdita di precompressione (corrisponde a trazione nel cls)	$\Delta N_{pr(t)}$	2780	kN
coefficiente di omogenizzazione	n	4.37	
area della sezione omogenizzata	A_{hom1}	1.17E+06	mm ²

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

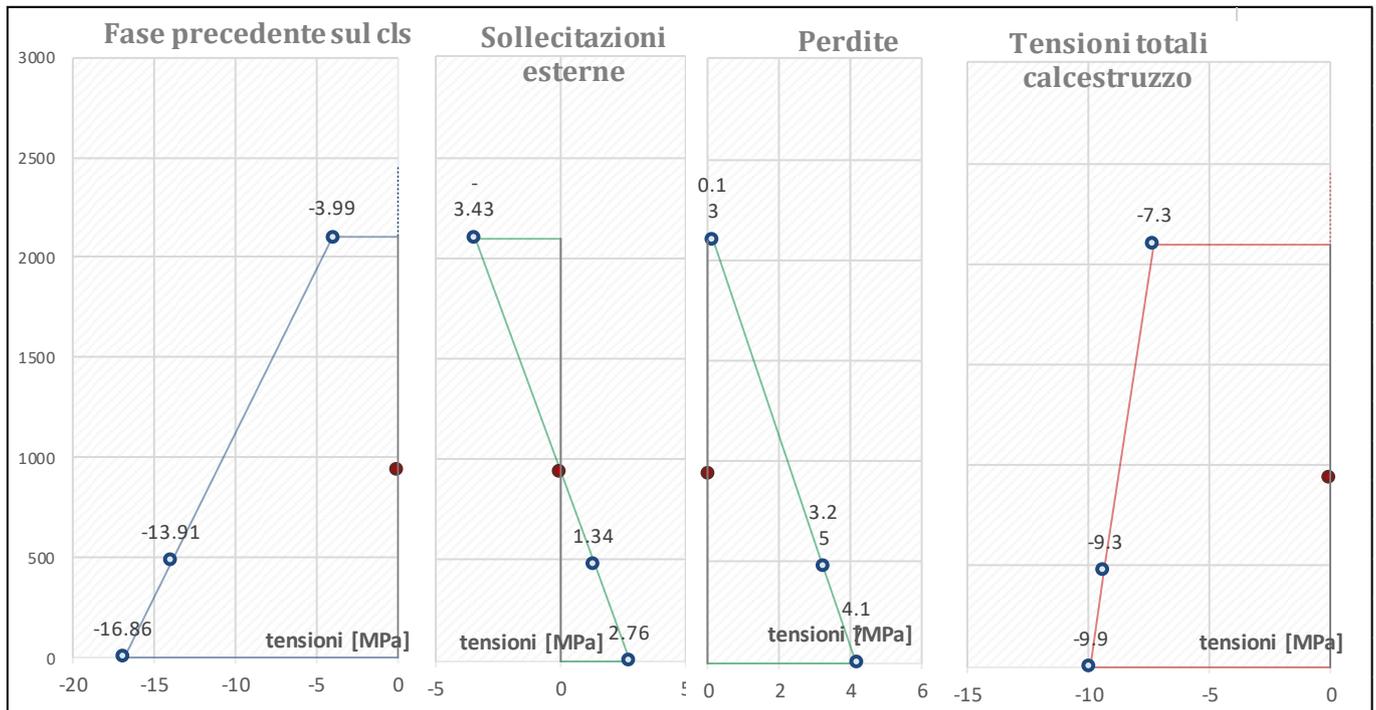
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	88 di 136

inerzia della sezione omogenizzata

I_{hom1} 6.55E+11 mm⁴

tensione nel cavo a fine fase 1

$\sigma_{t,1}$ 1013.28 MPa



6.1.2.4 Fase 2 – Permanenti non strutturali

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

M_{G2} 2615 kN m
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
tensione da ritiro propria della soletta

$\Delta \epsilon_{ri}$ -3.1E-04
 σ_{ri} -10.59 MPa

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	89 di 136

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

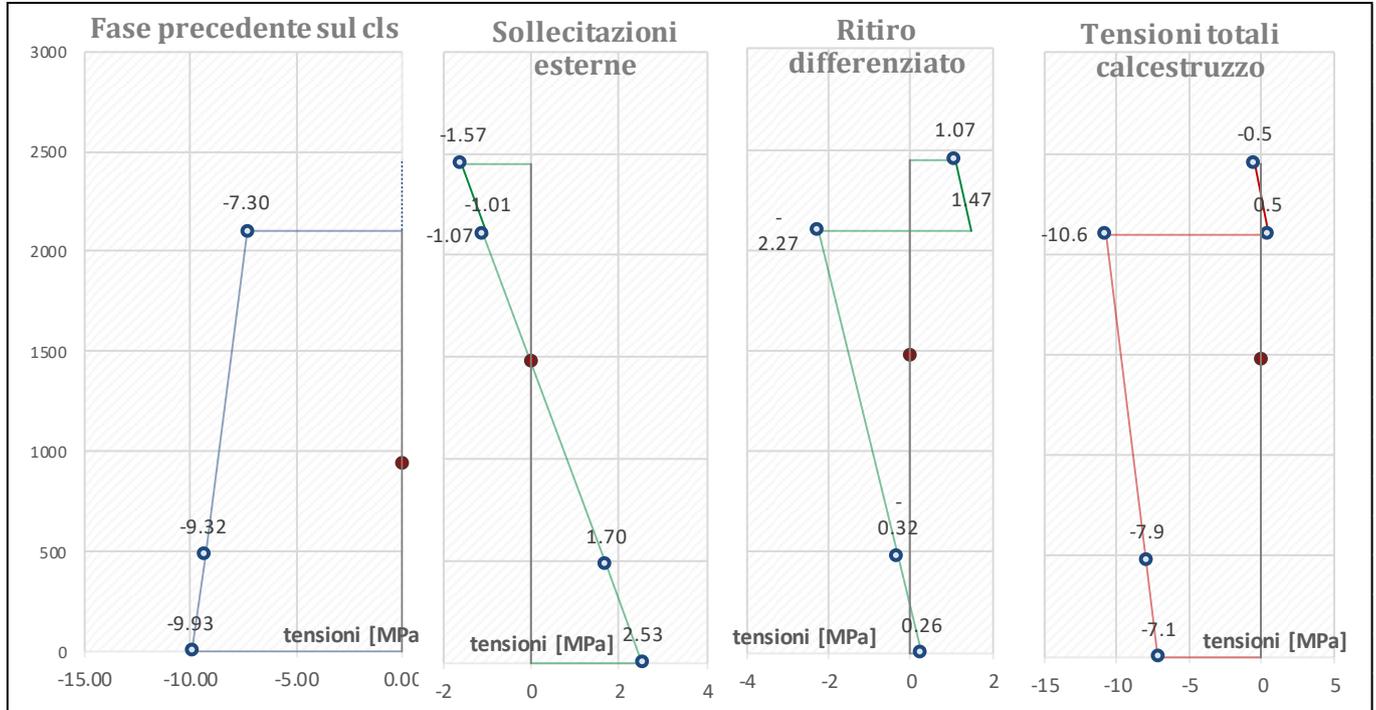
quindi la forza di compressione

sforzo di compressione sul cassoncino	N_{ri}	-2935	kN
distanza superficie di contatto baricentro sezione	e	625.0	mm
eccentricità del cavo rispetto al baricentro della sezione	e	99.32	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}	1.52E+12	mm ⁴
tensione nel cavo a fine fase 2	$\sigma_{t,2}$	1019.35	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	90 di 136



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

$\sigma_{cls,3}$	-0.50	> -18.39	MPa
$\sigma_{cls',3}$	0.46	< 2.57	MPa

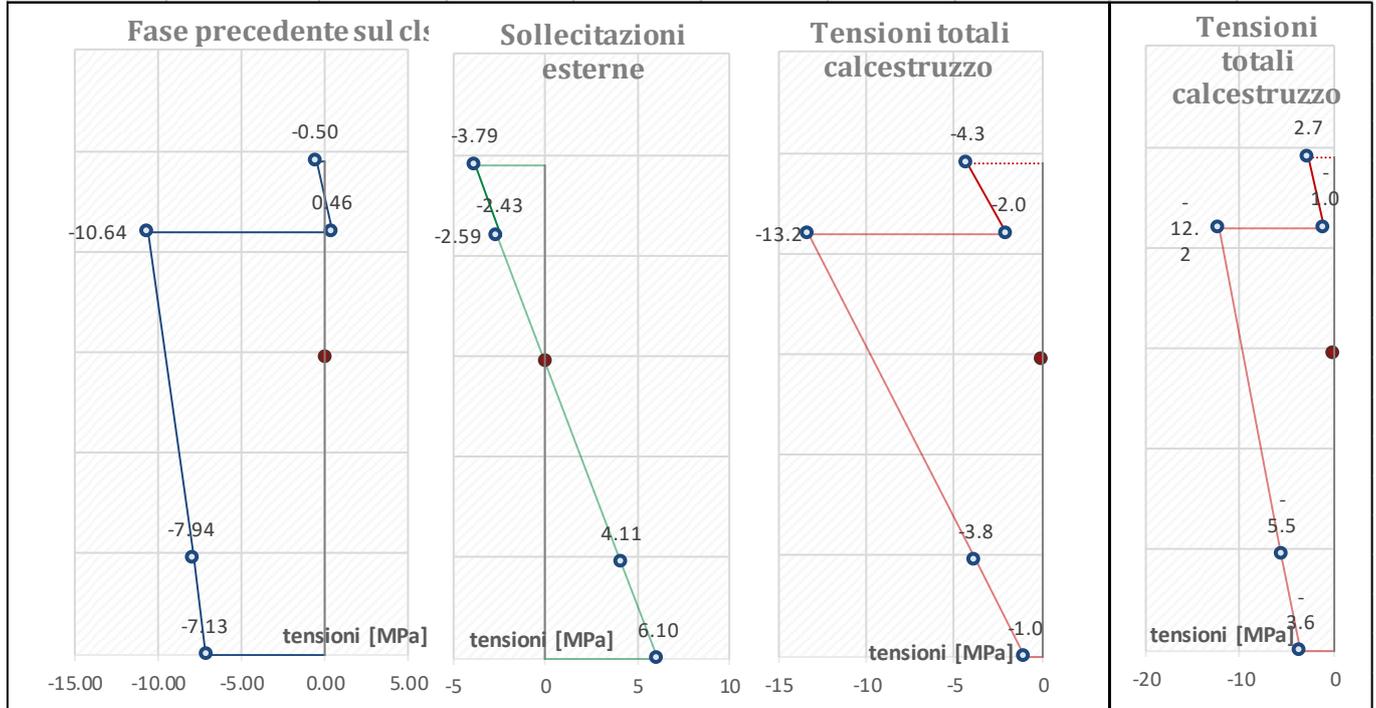
6.1.2.5 Fase 3 – Carichi variabili

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

M_Q	6304	kN m
σ_{t3}	1037.32	MPa

RARA

FREQ



Comb. rara

tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta	$\sigma_{cls,3}$	-4.29	> -19.25	MPa
tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta	$\sigma_{cls',3}$	-1.97	> -19.25	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore	$\sigma_{cls,1}$	-13.22	> -24.75	MPa
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo	$\sigma_{cls',1}$	-3.83	> -24.75	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore	$\sigma_{cls'',1}$	-1.03	> -24.75	MPa
tensione nel cavo a fine fase 3	$\sigma_{t,F3}$	1,037	< 1336	MPa

Comb. frequente

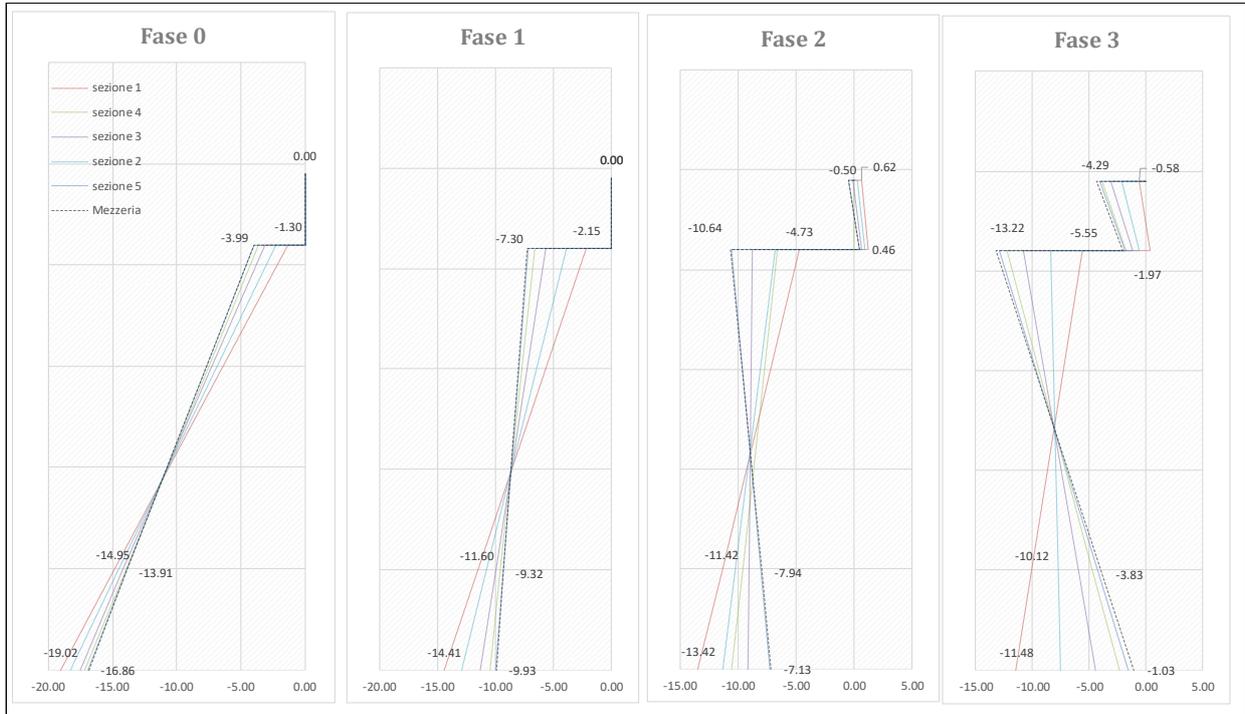
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta	$\sigma_{cls,3}$	-2.7	> -14	MPa
tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta	$\sigma_{cls',3}$	-1.0	> -14	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore	$\sigma_{cls,1}$	-12.2	> -18	MPa
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo	$\sigma_{cls',1}$	-5.5	> -18	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore	$\sigma_{cls'',1}$	-3.6	> -18	MPa
tensione nel cavo a fine fase 3	$\sigma_{t,F3}$	1,030	< 1336	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

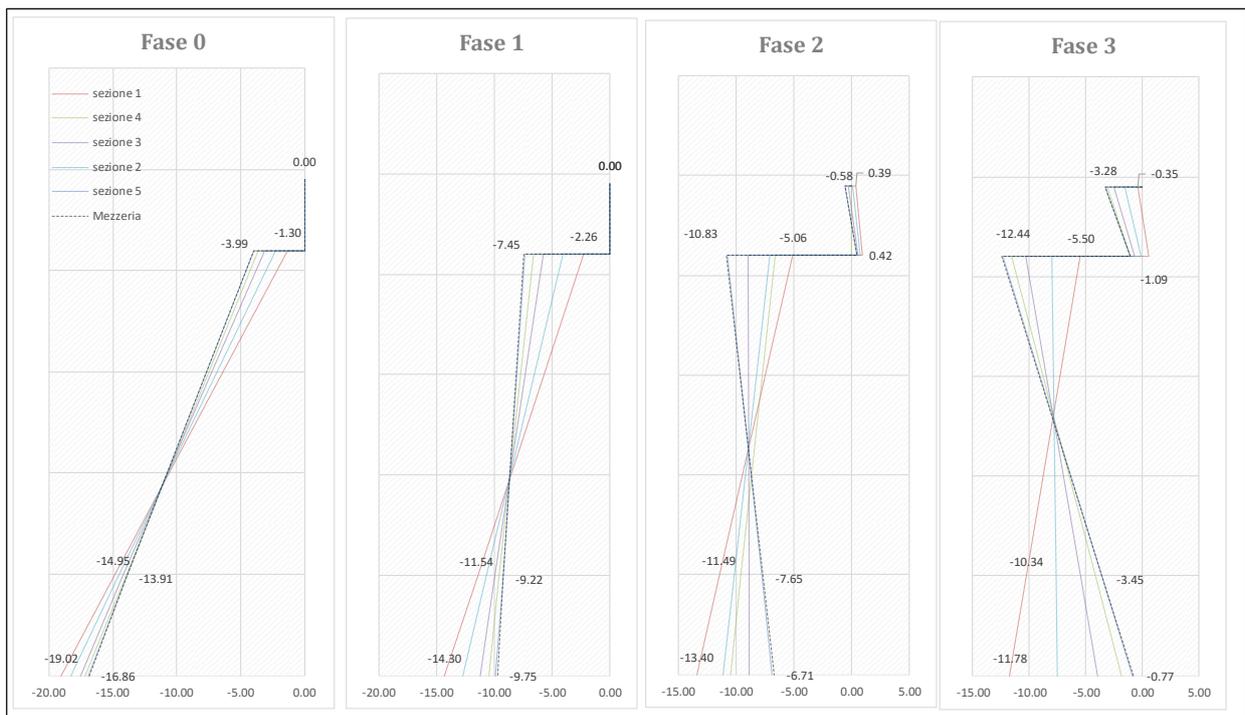
Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	92 di 136

Riassunto verifiche sezioni intermedie



Riassunto verifiche sezioni travi di bordo



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A

6.1.3 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.

6.2 Stato limite ultimo - SLU

Si riporta di seguito la verifica allo SLU per presso-flessione retta per la sezione di mezzzeria della trave più sollecitata.

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}	4055	kN m
taglio della trave e della soletta	V_{perm}	701	kN
sforzo assiale della trave e della soletta	N_{perm}	0	kN
coefficiente amplificativo	γ_{G1}	1.35	
momento dei pesi portati	M_{pp}	2615	kN m
taglio dei pesi portati	V_{pp}	456	kN
sforzo assiale dei pesi portati	N_{pp}	0	kN
coefficiente amplificativo	γ_{G2}	1.5	

Carichi variabili (combinati)

		SLU	
sforzo assiale dedotto dall'involuppo allo SLU	$N_{Traffico}$	824	kN
taglio massimo dedotto dall'involuppo allo SLU	$V_{Traffico}$	1836	kN
momento massimo dedotto dall'involuppo allo SLU	$M_{Traffico}$	9141	kN m
torsione massima dedotta dall'involuppo SLU	$T_{Traffico}$	1266	kN m

Effetti a lungo termine

momento dovuto al ritiro differenziale	$M_{rit dif}$	1834	kN m
--	---------------	------	------

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	94 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

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	147.50	cm
coefficiente amplificativo	γ_Q	1.5	

Precompressione

tensione iniziale del cavo	σ_0	1,380	Mpa
perdite totale di tensione	$\Delta\sigma_{pr}$	-379.0	Mpa
recupero tensionale indotto dai pesi	$\Delta\sigma_G$	36.3	Mpa
tensione del cavo risultante per calcolo SLU	$\sigma_{c.v}$	1037	Mpa

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

$$\begin{aligned}
 M_{SLU} &= 9141 + 9397 + 2429 = 20967 \text{ KN m} && \text{In mezzeria} \\
 N_{SLU} &= -823.6 + 0 + 3368 = 2544.4 \text{ KN} \\
 V_{SLU} &= 1835.7 + 946 + 684.21 = 3465.91 \text{ kN} && \text{in appoggio} \\
 T_{SLU} &= 1265.85 \text{ kN m}
 \end{aligned}$$

6.2.1 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 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 omogenizzata a lungo termine, senza considerare l'armatura lenta. Le verifiche sono state condotte con il software VCA-SLU.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	95 di 136

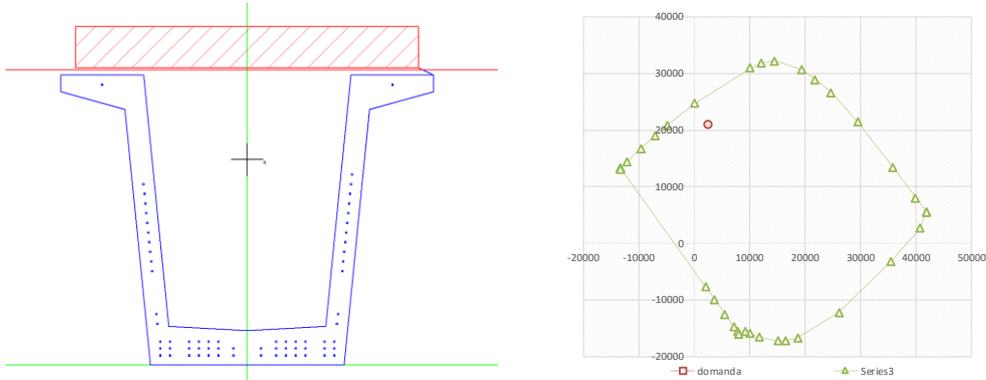


Figura 69 - Sezione e Dominio di resistenza

Momento agente = 20967 kN m

Momento resistente = 26484 kN m

Coefficiente di sicurezza = 0.79 < 1

Verifica C.A. S.L.U. - File: VI05 Sez-Mezzeria-senza-barre

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

Titolo: _____

N° Vertici: 24 Zoom N° barre: 1 Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	135	210
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}	2544	0	kN
M _{xEd}	20967	0	kNm
M _{yEd}	0	0	

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Cavo snervato

M_{xRd}: 26,484 kN m

Materiali: B450C C45/55

ε _{su}	67.5	ε _{c2}	2
f _{yd}	391.3	ε _{cu}	3.5
E _s	200,000	f _{cd}	25.5
E _s /E _c	15	f _{cc} /f _{cd}	0.8
ε _{syd}	1.957	σ _{c,adm}	9.75
σ _{s,adm}	255	τ _{co}	0.6
		τ _{cl}	1.829

σ_c: -25.5 N/mm²
σ_s: 391.3 N/mm²
ε_c: 3.5 ‰
ε_s: 24.22 ‰
d: 245 cm
x: 30.93 x/d: 0.1263
δ: 0.7

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

Armatura Precompressione: N° cavi: 68 Zoom

N°	As [cm ²]	x [cm]	y [cm]	σ _{su} [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: Trefolo

ε_{su}: 67.5 ‰
f_{yd}: 1,409 N/mm²
E_s/E_c: 6
ε_{syd}: 7.045 ‰
σ_{s,adm}: 1080 N/mm²

σ_{sp}: 1,409 N/mm²
ε_{sp}: 28.43 ‰ compressa pref.

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

Tipo flessione: Retta Deviata

N° rett.: 100
Calcola MRd Dominio M-N
L₀: 0 cm Col. modello

Precompresso

Figura 70 - Schermata di calcolo

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A

7 TRAVERSI PRECOMPRESSI

Vengono di seguito riportate le verifiche dei traversi. La precompressione viene effettuata un cavo da 7 trefoli 0.6'' al lembo inferiore più un cavo da 9 trefoli 0.6'' al lembo superiore, post-tesi ad una tensione di 1335 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

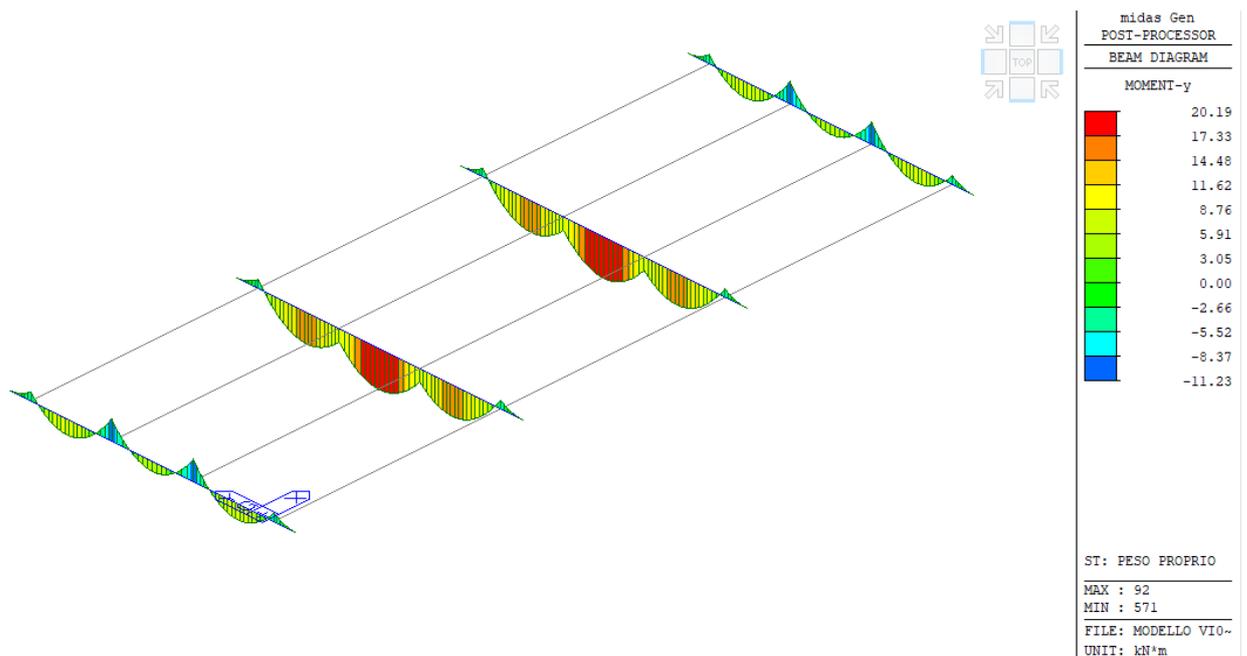


Figura 71 - Sollecitazione flessionale – peso proprio travi e traversi

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	97 di 136

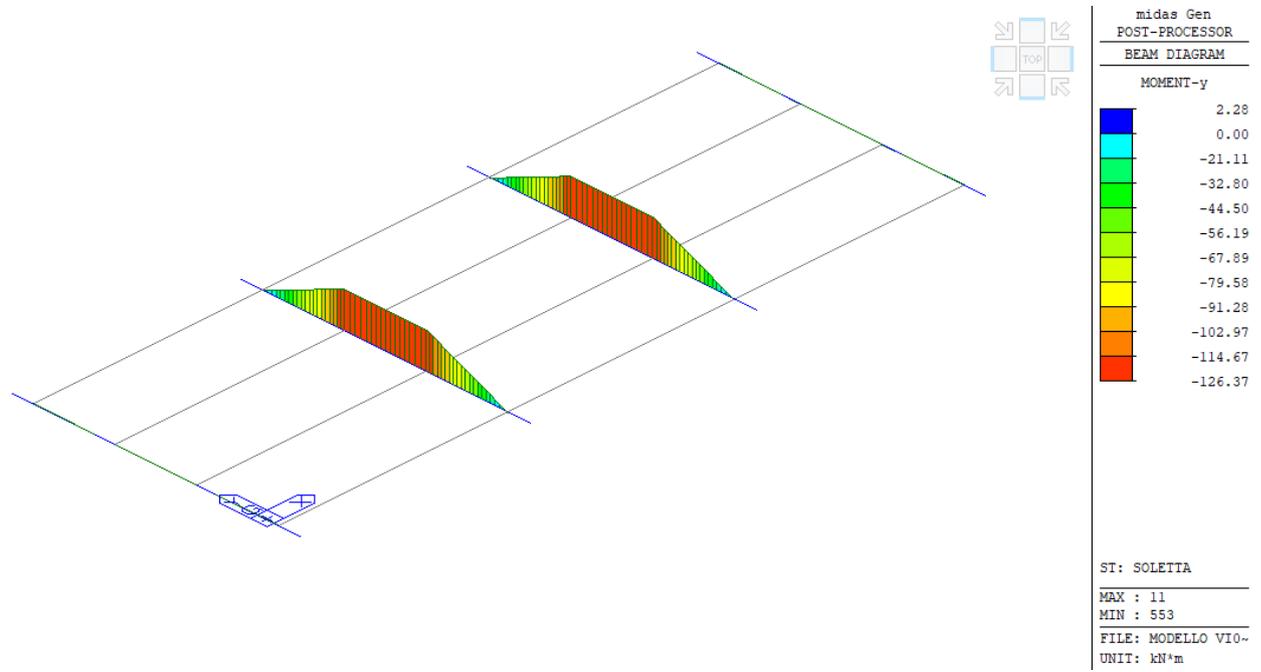


Figura 72 - Sollecitazione flessionale – peso soletta

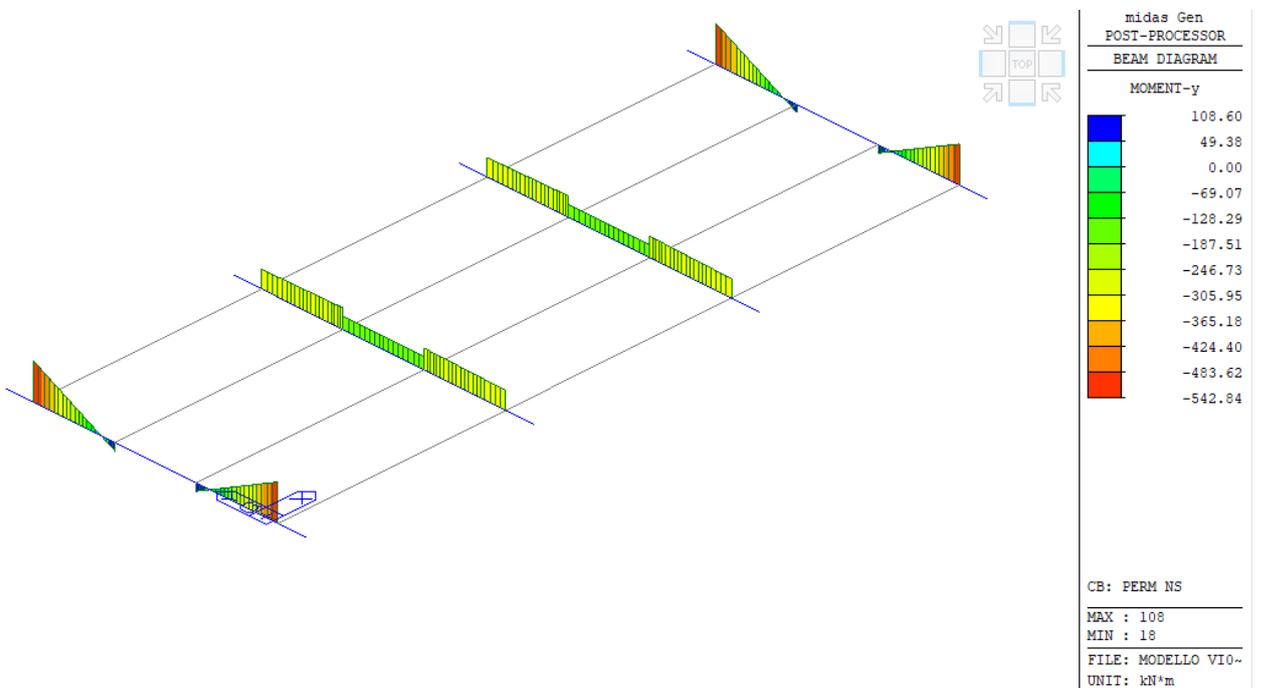


Figura 73 - Sollecitazione flessionale – carichi permanenti non strutturali

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	98 di 136

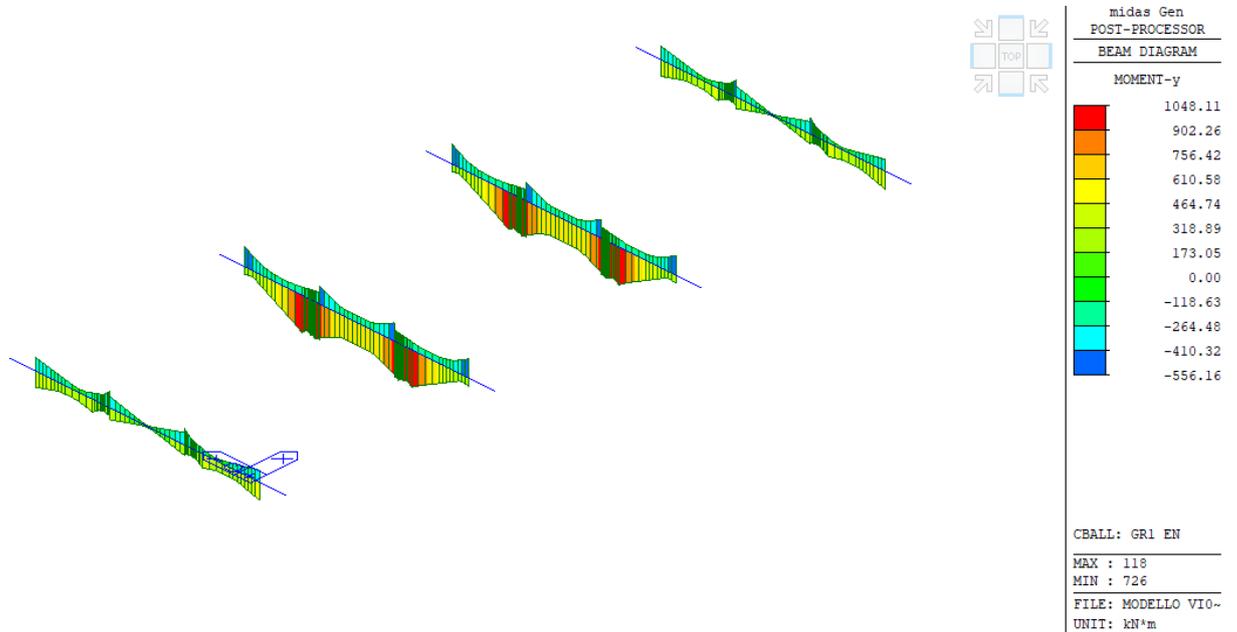


Figura 74 – Involuppo Sollecitazione flessionale – carichi da traffico

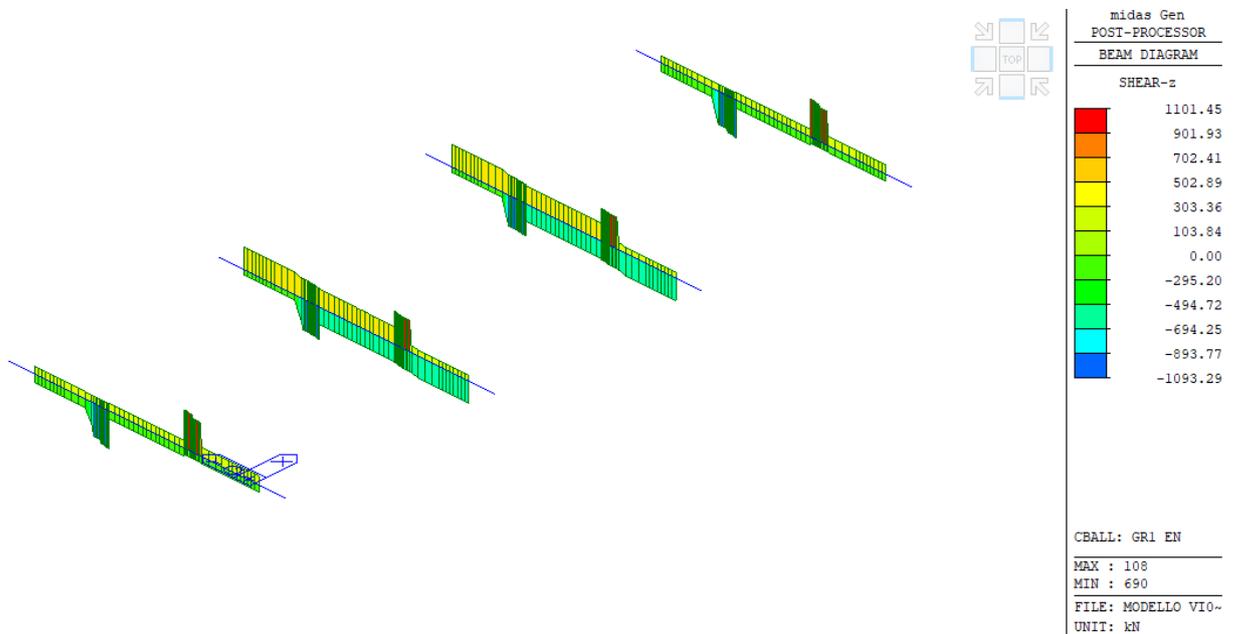


Figura 75 – Involuppo Sollecitazione di taglio – carichi da traffico

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	99 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

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}	5.37	
coefficiente di omogenizzazione di calcolo	n_{acc}	4.37	
area totale armatura tesa	A_s	22.24	cm^2
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xs, G}$	9.25E+04	cm^4
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xs, hom1}$	9.60E+04	cm^4
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xs, G}$	2182	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

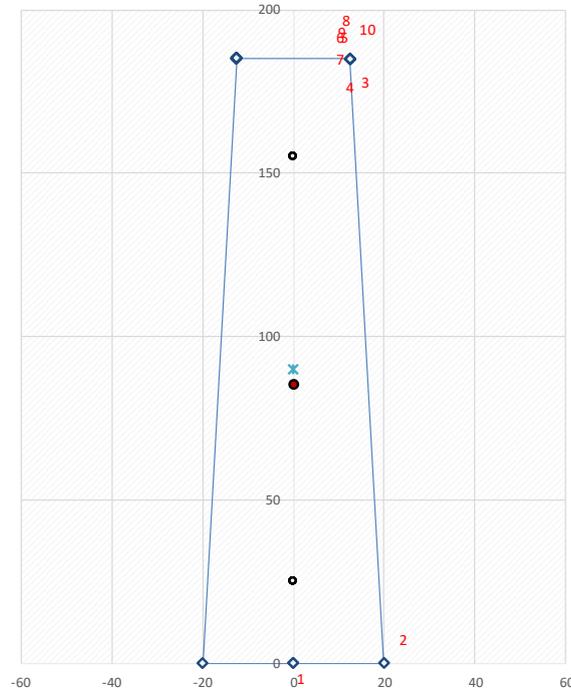


Figura 76 – Traverso - Sezione iniziale

7.2.2 Sezione composta – breve termine

Soletta

coefficiente di omogenizzazione di calcolo	n_{sol}	0.94	
area della sezione in calcestruzzo	A_{sol}	2640	cm ²
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{x_{sol}, G}$	1.98E+05	cm ⁴
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{x_{sol}, hom2}$	1.92E+07	cm ⁴
momento statico rispetto all'asse x	$S_{x_{sol}, G}$	5.41E+05	cm ³

Sezione omogenizzata2

area omogenizzata al calcestruzzo	A_{hom2}	8589	cm ²
baricentro sezione omogenizzata	x_G	0.00	cm
baricentro sezione omogenizzata	y_G	120.06	cm
inerzia sezione omogenizzata	I_{xG}	4.26E+07	cm ⁴
momento statico sezione omogenizzata	S_x	1.03E+06	cm ³

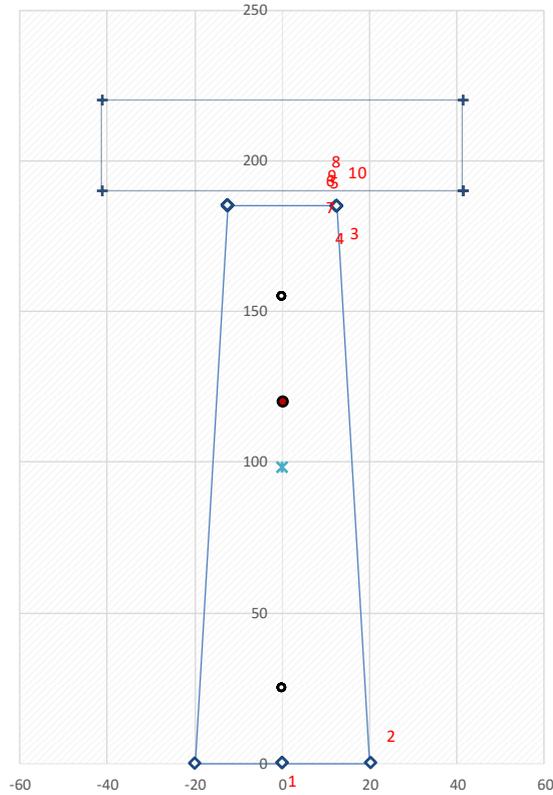


Figura 77 - sezione omogenizzata - breve termine

7.2.3 Sezione composta – lungo termine

coefficiente di viscosità a tempo infinito cassone $\varphi_{00}(t, t_{00})$ 1.995

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

coefficiente di omogenizzazione di calcolo n_{sol} 0.96

coefficiente di omogenizzazione di calcolo n_{acc} 13.10

Sezione omogenizzata3

area omogenizzata al calcestruzzo A_{hom3} 8826 cm²

baricentro sezione omogenizzata x_G 0.00 cm

baricentro sezione omogenizzata y_G 119.98 cm

inerzia sezione omogenizzata I_{xG} 4.38E+07 cm⁴

momento statico sezione omogenizzata S_x 1.06E+06 cm³

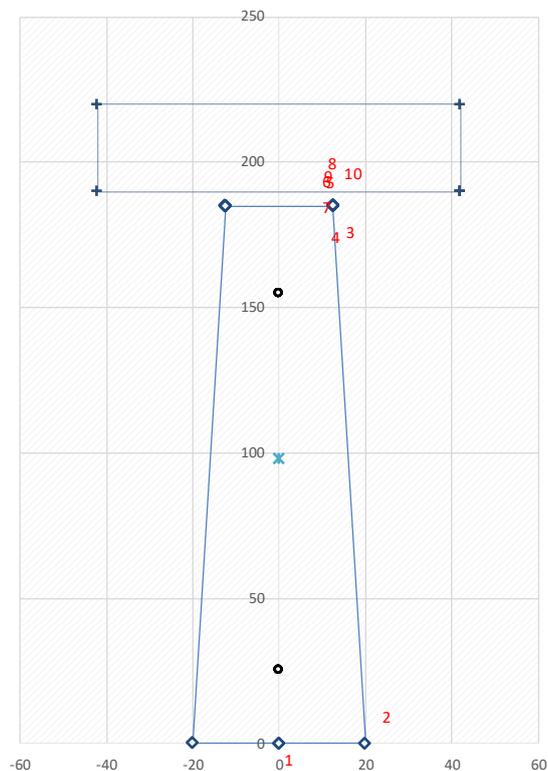


Figura 78 - sezione omogeneizzata - lungo termine

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
tensione del cavo a fine tesatura

P_1	2,969	KN
$\sigma_{t,1}$	1,335	MPa

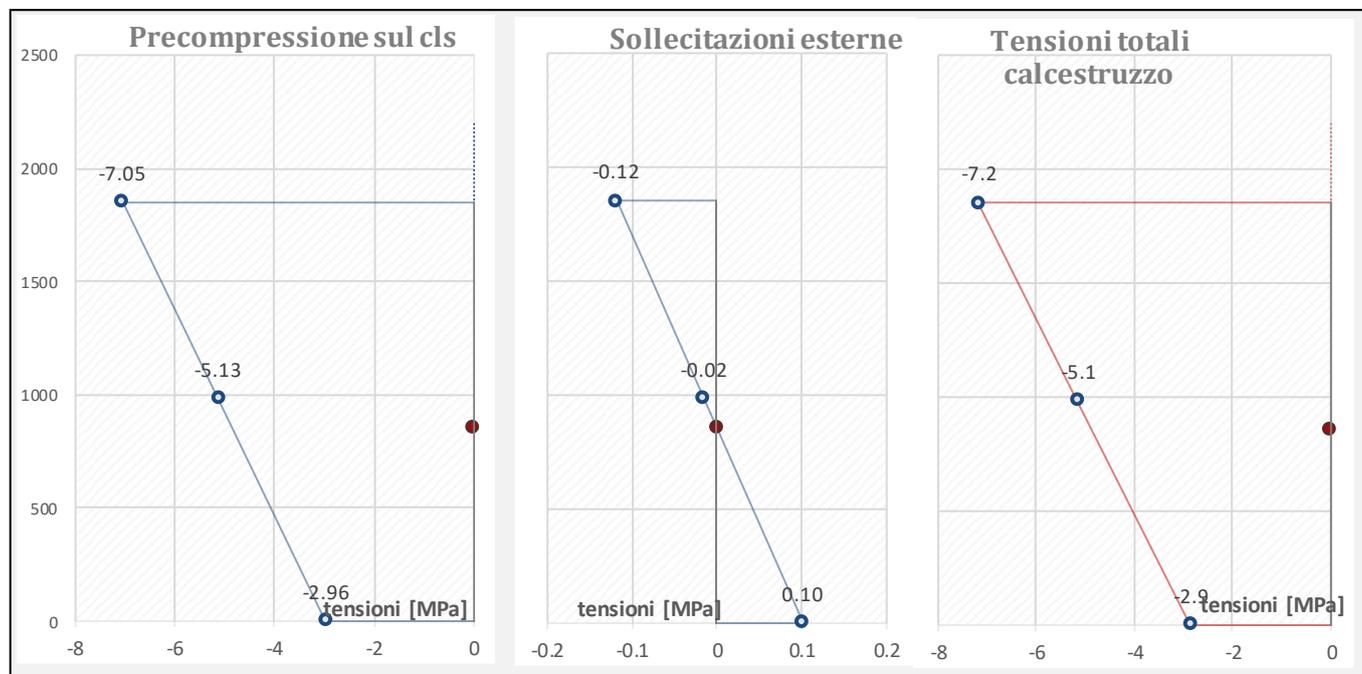
momento dovuto al peso proprio della trave
tensione nel cavo a fine fase 0

$M_{pp,trave}$	20	kN m
$\sigma_{t,F0}$	1,335	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	103 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05



Limitazioni tensionali del calcestruzzo

tensione limite all'atto della precompressione	$\sigma_{t,1 \max}$	22.49	MPa
tensione limite di esercizio a cadute avvenute	$\sigma_{t,0 \max}$	24.75	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore	$\sigma_{cls,1}$	-7.17	> -22.49 MPa
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo	$\sigma_{cls',1}$	-5.15	> -22.49 MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore	$\sigma_{cls'',1}$	-2.86	> -22.49 MPa
tensione nel cavo a fine fase 0	$\sigma_{t,F0}$	1,335	< 1336 MPa

7.3.1.2 Fase 2 – Getto della soletta

momento dovuto al peso della soletta	$M_{sol, trave}$	-126	kN m
--------------------------------------	------------------	------	------

Ritiro

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	101.1	mm
---	-------	-------	----

umidità relativa	UR	70	%
------------------	----	----	---

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	104 di 136

deformazione massima per essiccamento	ϵ_{c0}	-0.000294	
parametro per calcolo deformazione a tempo ∞	k_h	0.9985	
deformazione per ritiro da essiccamento a tempo ∞	$\epsilon_{cd\infty}$	-0.000293	
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	354.9	
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	
coef. Per tenere conto dell resistenza del cls	α_1	0.748	
coef. Funzione dell'umidità relativa	φ_{RH}	1.443	
coefficiente normale di viscosità	φ_0	1.982	
coefficiente di viscosità al tempo t_0	$\varphi_0(t, t_0)$	1.995	
coefficiente di viscosità al tempo t_1	$\varphi_0(t, t_1)$	1.987	
		viscosità lineare	
controllo tensione massima CLS <0.45 f_{cm} =>			
coefficiente di viscosità di riferimento al tempo t	$\varphi_0(t, t_0)$	1.995	

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

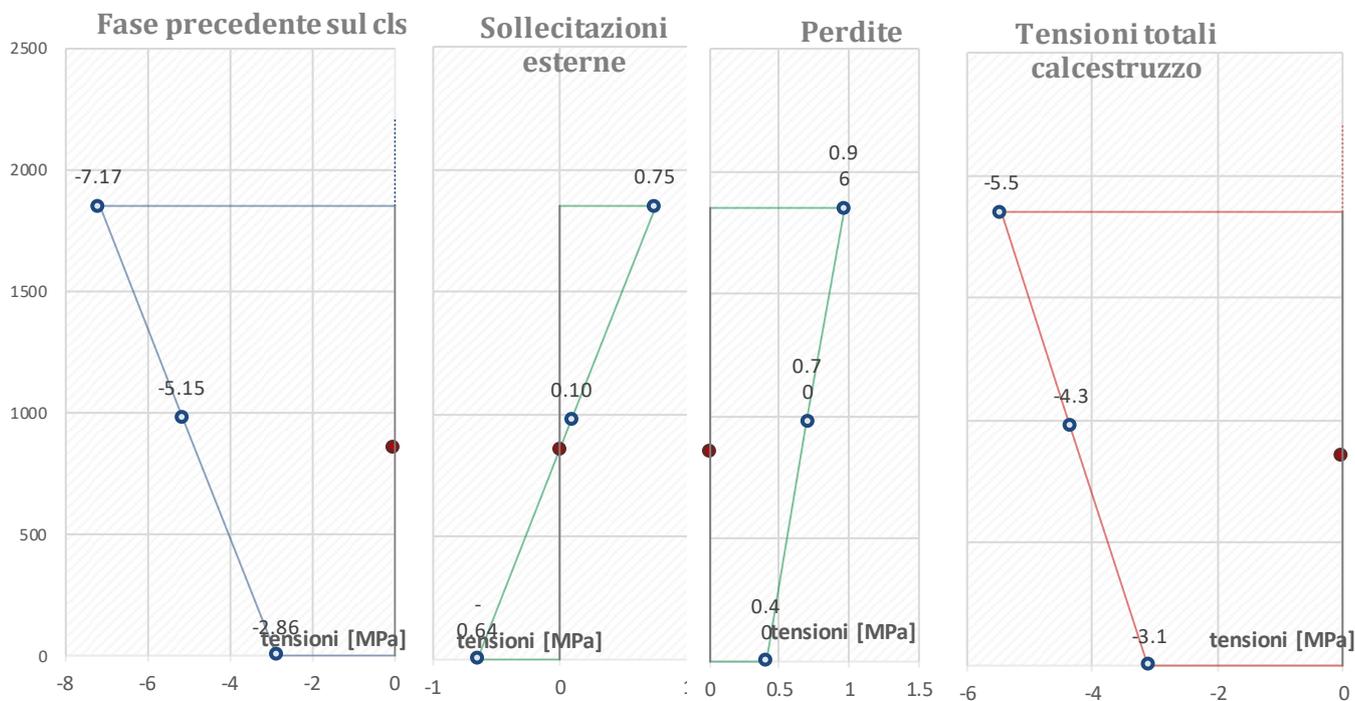
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	105 di 136

coefficiente di viscosità di riferimento al tempo t	$\varphi_0(t, t_1)$	1.987	
modulo del calcestruzzo al tempo t_0	E_{t_0}	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	$\varepsilon_v = \sigma_{t_0} J_{t_0} + \Delta\sigma_{t_1} J_{t_1}$	-2.74E-04	
variazione tensionale nel caso per effetto della viscosità	$\Delta\sigma_v = -E_s \varepsilon_v$	-53.35	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	$\Delta\sigma_{ril(t)}$	-76.86	MPa

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	-12.74	cm
perdita totale di precompressione nel cavo al tempo t	$\Delta\sigma_{pr(t)}$	-178.51	cm
perdita di precompressione (corrisponde a trazione nel cls)	$\Delta N_{pr(t)}$	397	kN
coefficiente di omogenizzazione	n	4.37	
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	$\sigma_{t,1}$	1156.84	MPa



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}	-282	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

deformazione totale per ritiro

$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd}(t) + \epsilon_{ca}$	-3.1E-04
--	-----------------

sforzo di compressione sul cassoncino
distanza superficie di contatto baricentro sezione

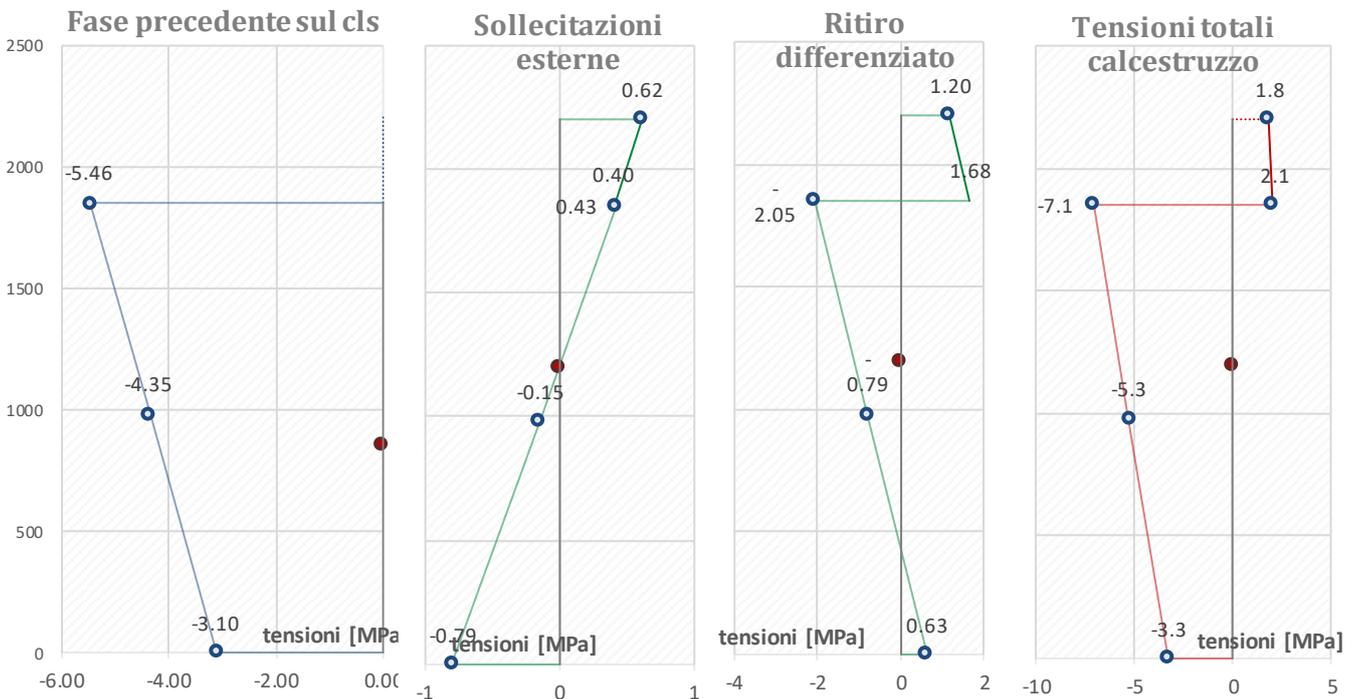
N_{ri}	-949	kN
e	649.4	mm

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	107 di 136

eccentricità del cavo rispetto al baricentro della sezione	e	21.93	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 netta di calcestruzzo	A_{hom2}	8.59E+05	mm ²
inerzia della sezione netta di calcestruzzo	I_{hom2}	4.26E+11	mm ⁴
tensione nel cavo a fine fase 2	$\sigma_{t,2}$	1152.76	MPa



tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta	$\sigma_{cls,3}$	1.82	< 2.57	MPa
tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta	$\sigma_{cls',3}$	2.08	< 2.57	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

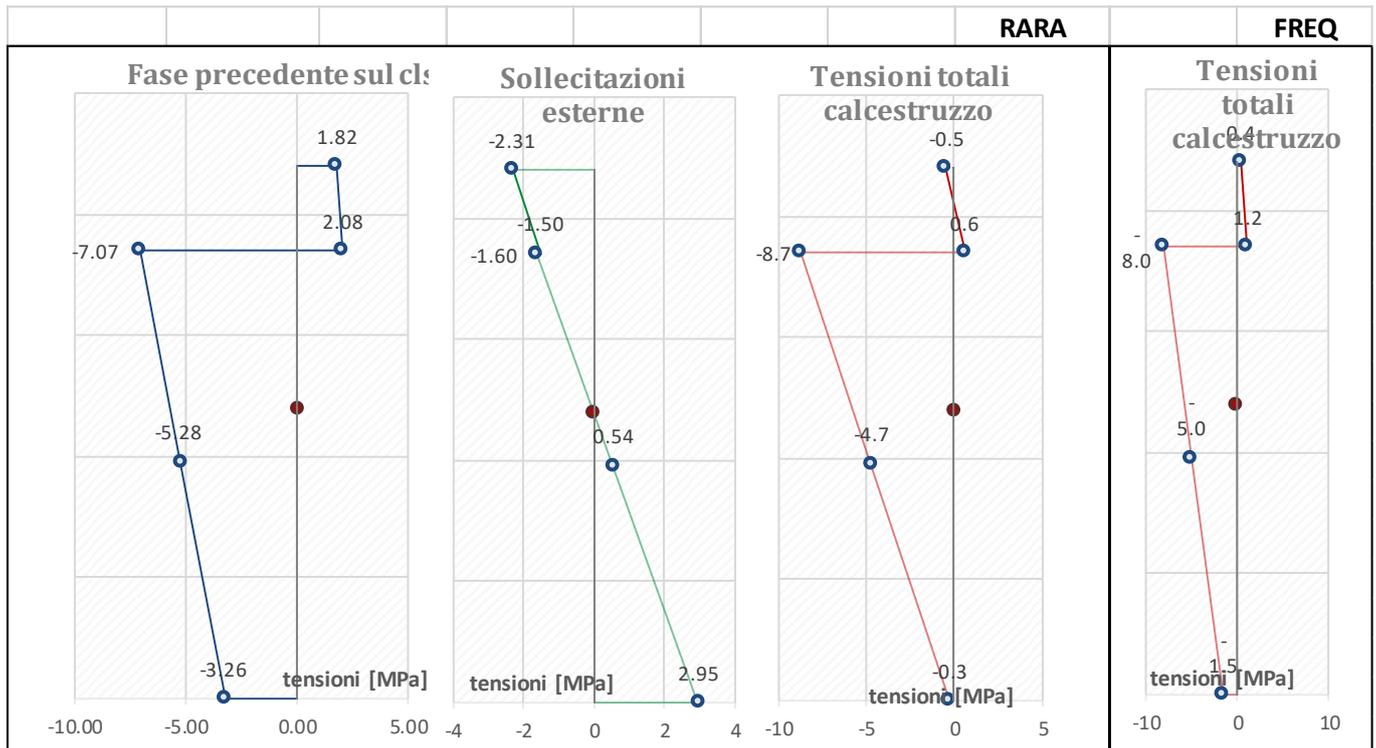
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	108 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

7.3.1.4 Fase 3 – Carichi variabili

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

M_Q 1048 kN m
 $\sigma_{t,3}$ **1155.12** MPa



tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta	$\sigma_{cls,3}$	-0.49	> -19.25	MPa
tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta	$\sigma_{cls',3}$	0.58	< 2.67	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore	$\sigma_{cls,1}$	-8.67	> -24.75	MPa
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo	$\sigma_{cls',1}$	-4.74	> -24.75	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore	$\sigma_{cls'',1}$	-0.31	> -24.75	MPa
tensione nel cavo a fine fase 3	$\sigma_{t,F3}$	1,155	< 1336	MPa

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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A

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. Considerando lo schema riportato di seguito, si valutano le sollecitazioni e si verifica lo stato tensionale del traverso in appoggio secondo i precedenti capitoli.

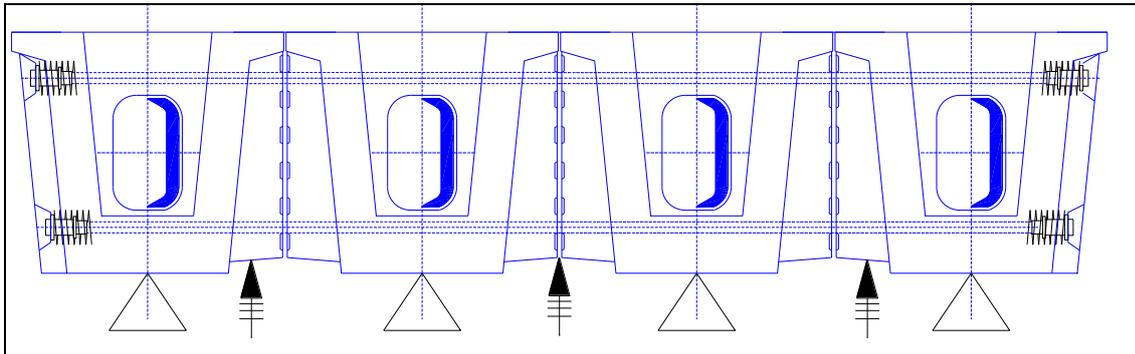


Figura 79: Schema sollevamento impalcato

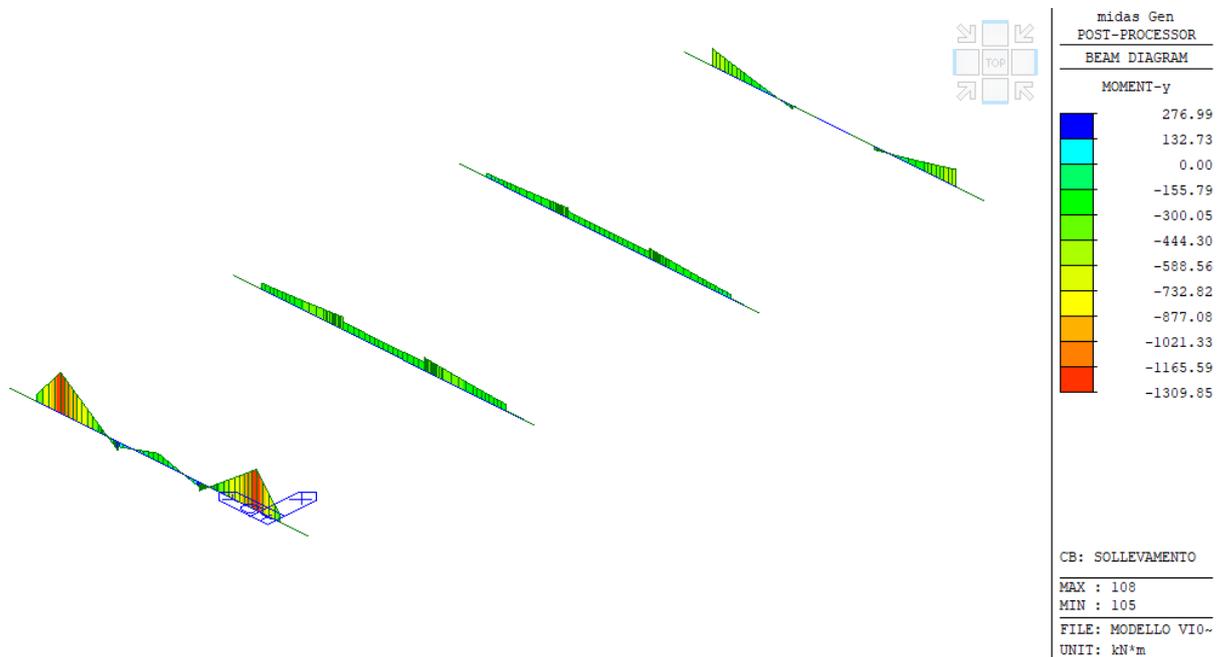
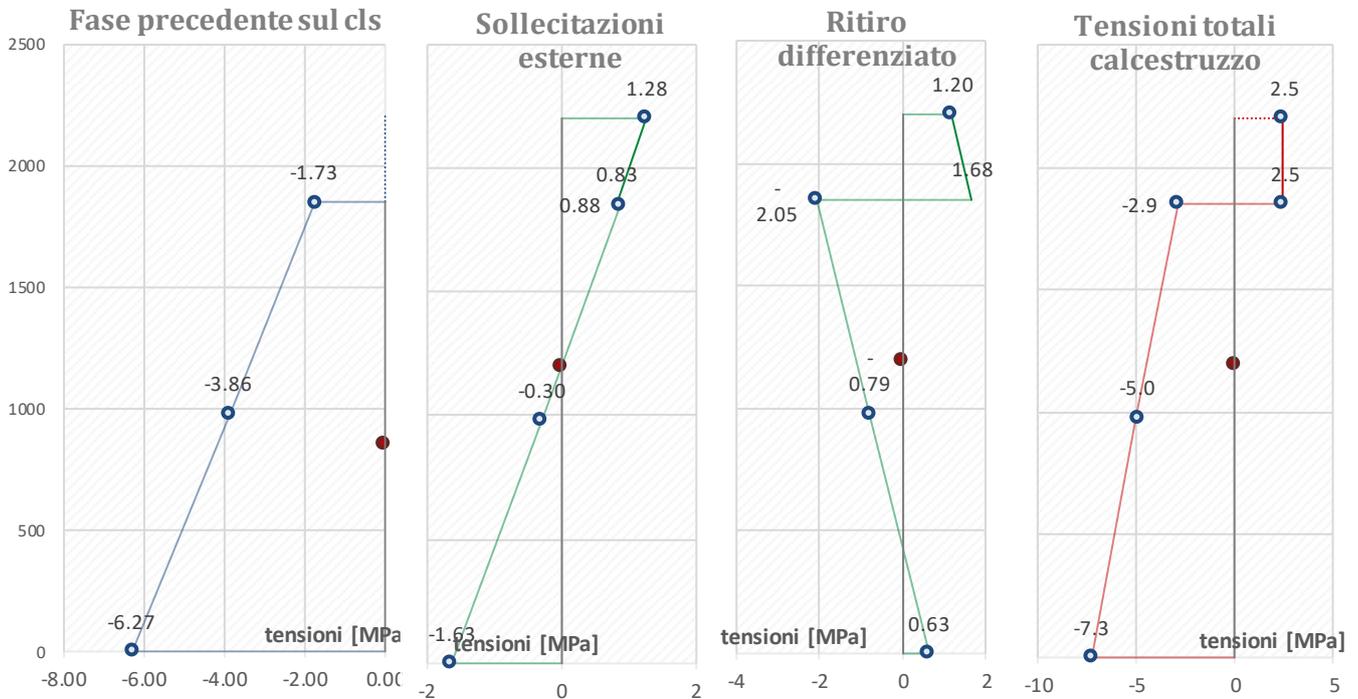


Figura 80: Sollecitazione flessionale sollevamento

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	110 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05


tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta	$\sigma_{cls,3}$	2.48	< 2.67	MPa
tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta	$\sigma_{cls',3}$	2.51	< 2.67	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore	$\sigma_{cls,1}$	-2.89	> -24.75	MPa
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo	$\sigma_{cls',1}$	-4.95	> -24.75	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore	$\sigma_{cls'',1}$	-7.28	> -24.75	MPa
tensione nel cavo a fine fase 3	$\sigma_{t,F3}$	1,152	< 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.

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	111 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

Verifica C.A. S.L.U. - File: Sez-Traverso-mezzeria

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

Titolo : _____

N° Vertici Zoom N° barre 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

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]
12	1.39	0	155	1152
13	1.39	0	155	1152
14	1.39	0	155	1152
15	1.39	0	155	1152
16	1.39	0	155	1152

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

Materiali

 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} ‰ $\sigma_{c,adm}$ ‰
 $\sigma_{s,adm}$ N/mm² τ_{co} ‰
 τ_{c1} ‰

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 predef.

Calcola MRd Dominio M-N
 L₀ cm Col. modello
 Precompresso

Figura 81 - Schema di calcolo

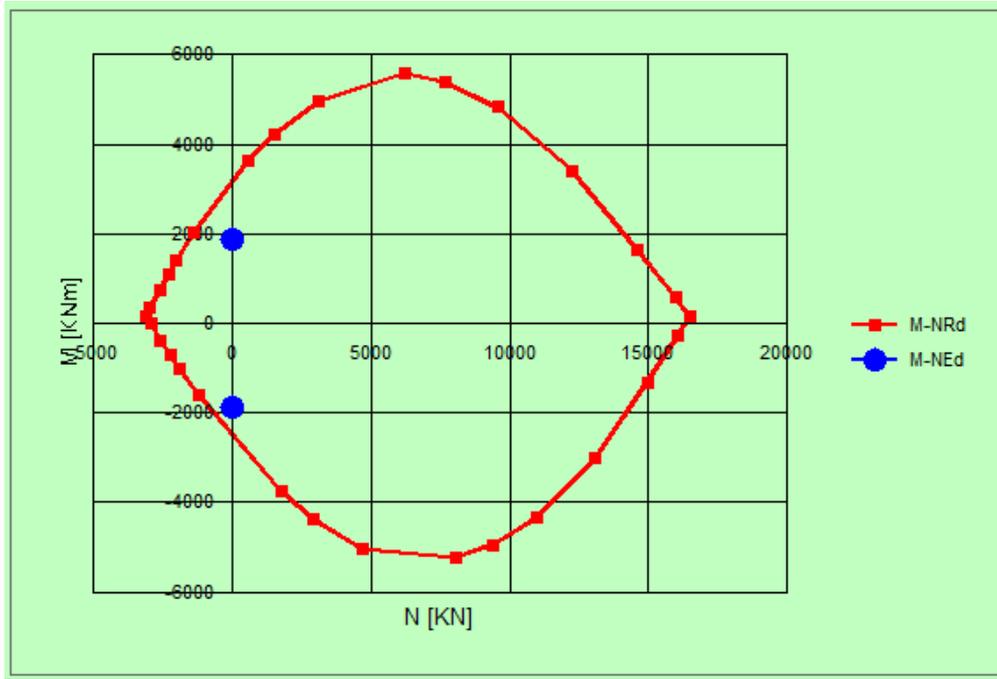


Figura 82 - Dominio della sezione

7.4.2 Verifica a taglio

L'armatura a taglio prevista per il traverso è 4 bracci $\Phi 16 / 20$ cm.

Caratteristiche dei materiali:

Resistenza caratteristica a compressione cubica cls	R_{ck}	=	55	N/mm ²
Resistenza caratteristica a compressione cilindrica cls	f_{ck}	=	46	N/mm ²
Resistenza di calcolo a compressione del cls	f_{cd}	=	25.87	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}	=	1971.00	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	=	1750	mm
Larghezza minima della sezione	b_w	=	250	mm

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	113 di 136

Armatura della sezione in zona tesa:

Diametro ferri longitudinali	\emptyset	=	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	\emptyset_{sw}	=	16	mm
Numero dei bracci in sezione trasversale	n_{sw}	=	4	--
Passo in direzione asse elemento	s	=	200	mm
Area totale di armatura a taglio	A_{sw}	=	804	mm ²

Fattori di resistenza a compressione:

Controllo duttilità (SI = duttile)	6.29	<	12.93	SI
Angolo di inclinazione dei puntoni di cls	θ	=	44.23	°
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}	=	2545.48	kN
Resistenza di calcolo a "taglio compressione" del cls	V_{Rcd}	=	2545.48	kN
Resistenza ultima a taglio	V_{Rd}	=	2545.48	kN

VERIFICA SODDISFATTA.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A	FOGLIO 114 di 136

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 31.0 cm ai bordi fino a 38.0 cm in mezzeria per garantire la pendenza trasversale del 1.5% e presenta uno spessore medio del getto in opera di 34.5 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.

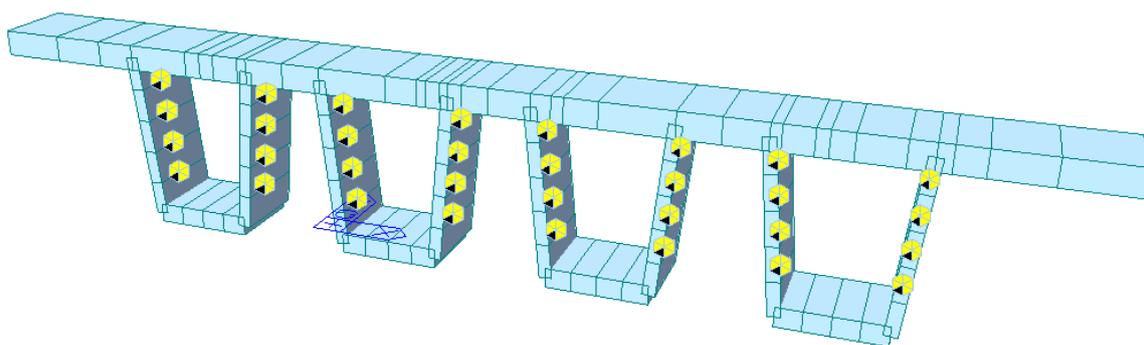


Figura 83 - Sezione trasversale dell'impalcato

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	115 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

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:

$$f \approx 0.46 \text{ mm.}$$

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

$$K_y = 400 / 0.46 = 869.57 \text{ kN/mm.}$$

Poiché si opera con 32 molle (nodi presenti nelle nervature) si assume:

$$K_{y,i} = 869.57 / 32 = 27.2 \text{ kN/mm.}$$

Sempre nei nodi si inseriscono molle orizzontali:

$$K_{x,i} = 20 \times K_{y,i} = 543.5 \text{ kN/mm,}$$

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

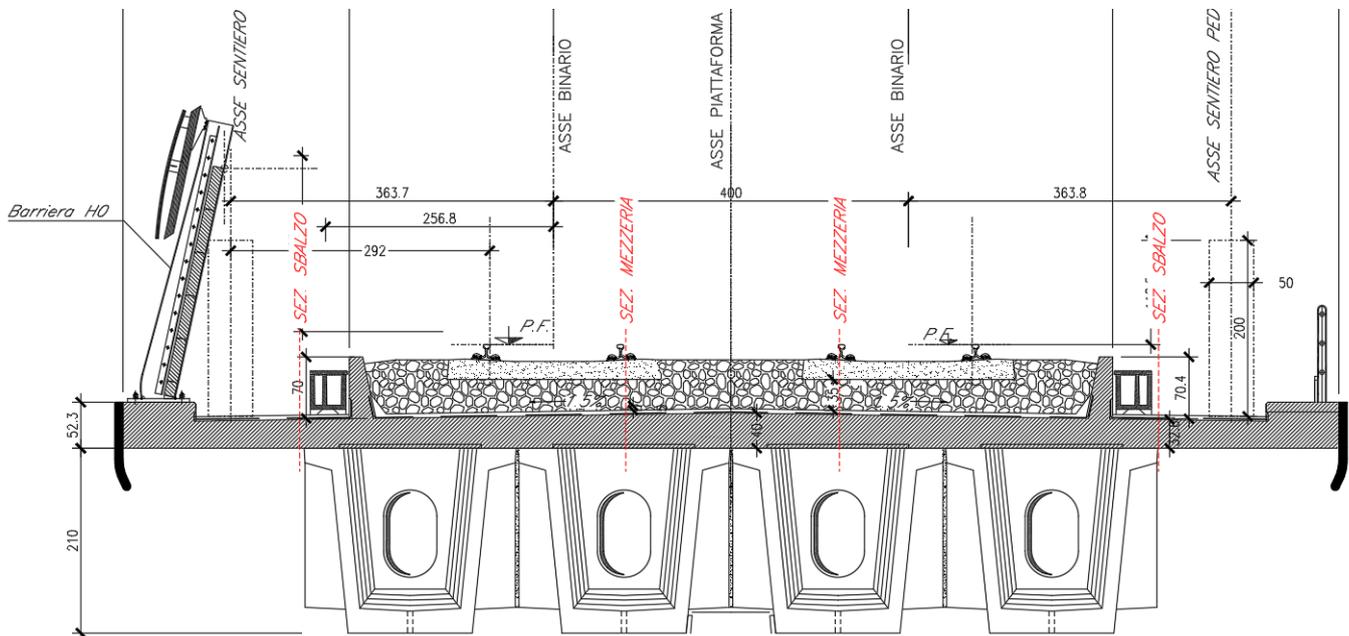


Figura 84 - Schema sezioni di verifica

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	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.

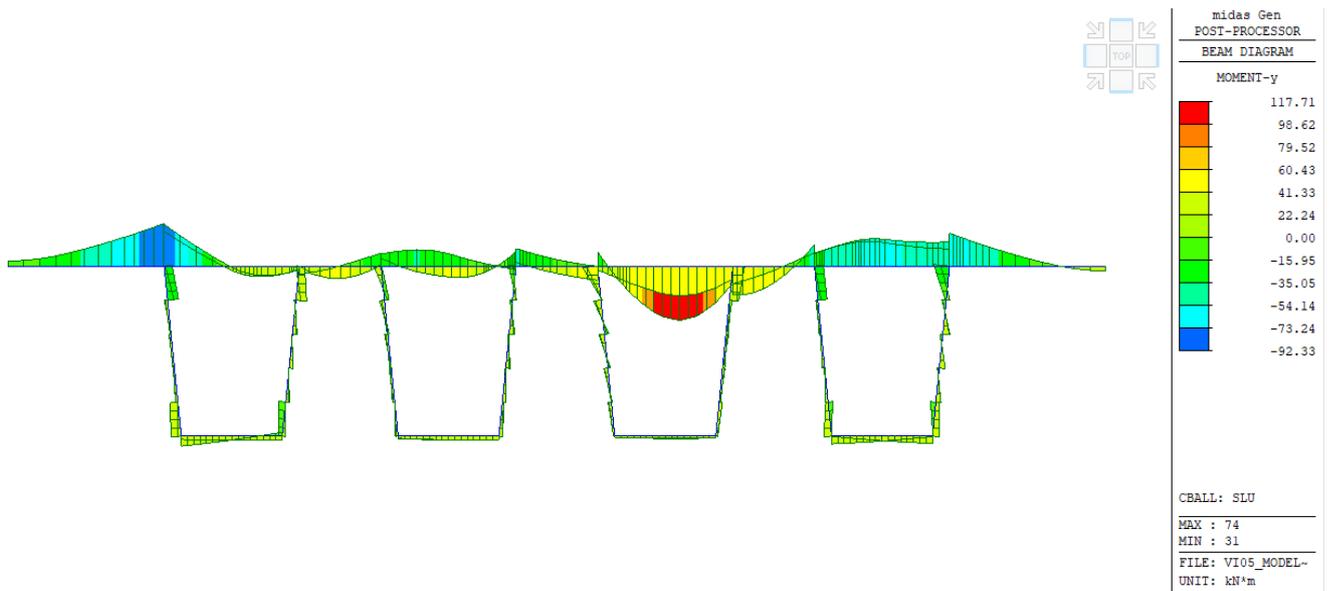


Figura 85 - Sollecitazione flessionale - SLU

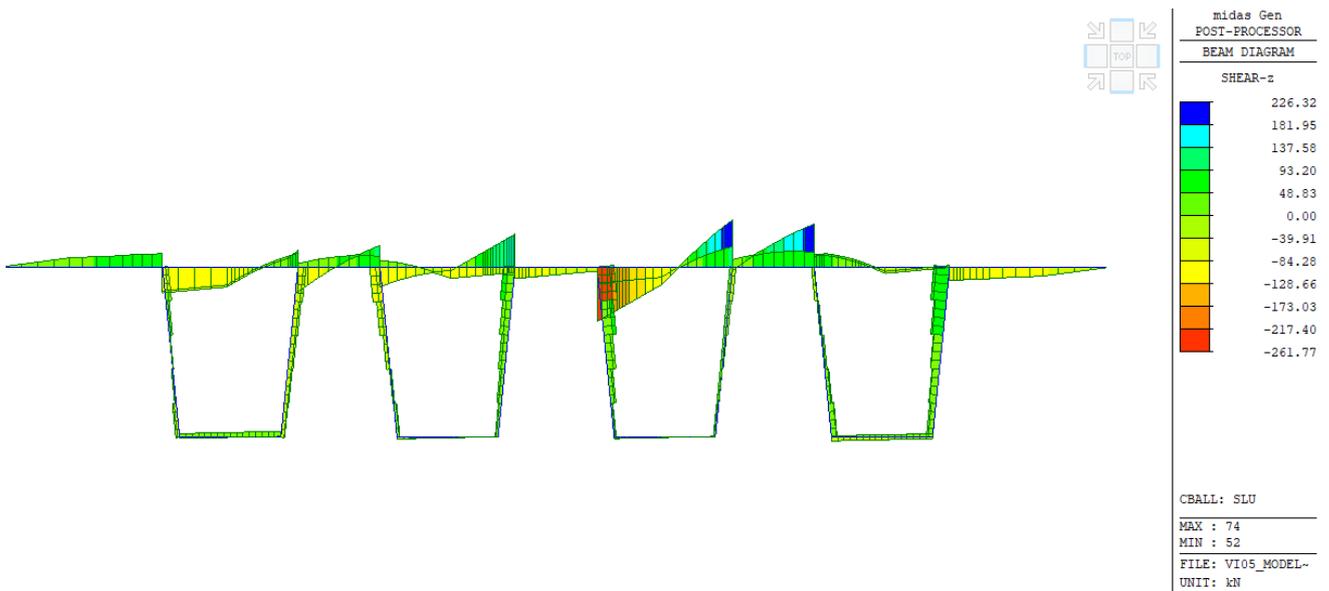


Figura 86 - Sollecitazione di taglio - SLU

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	117 di 136

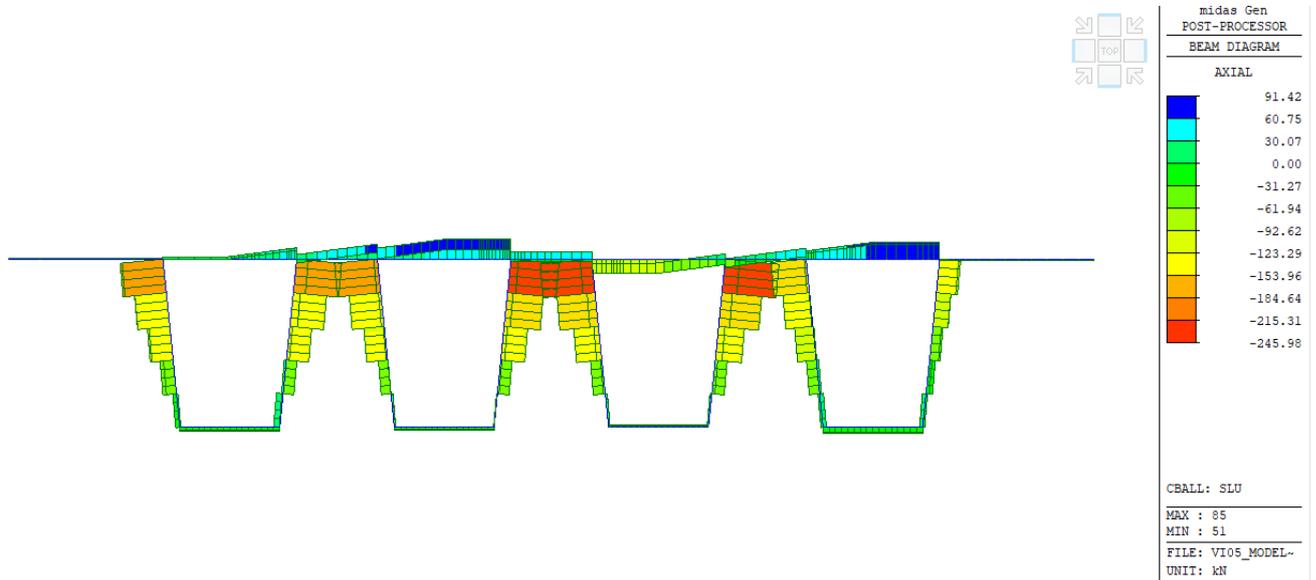


Figura 87 - Sollecitazione assiale – SLU

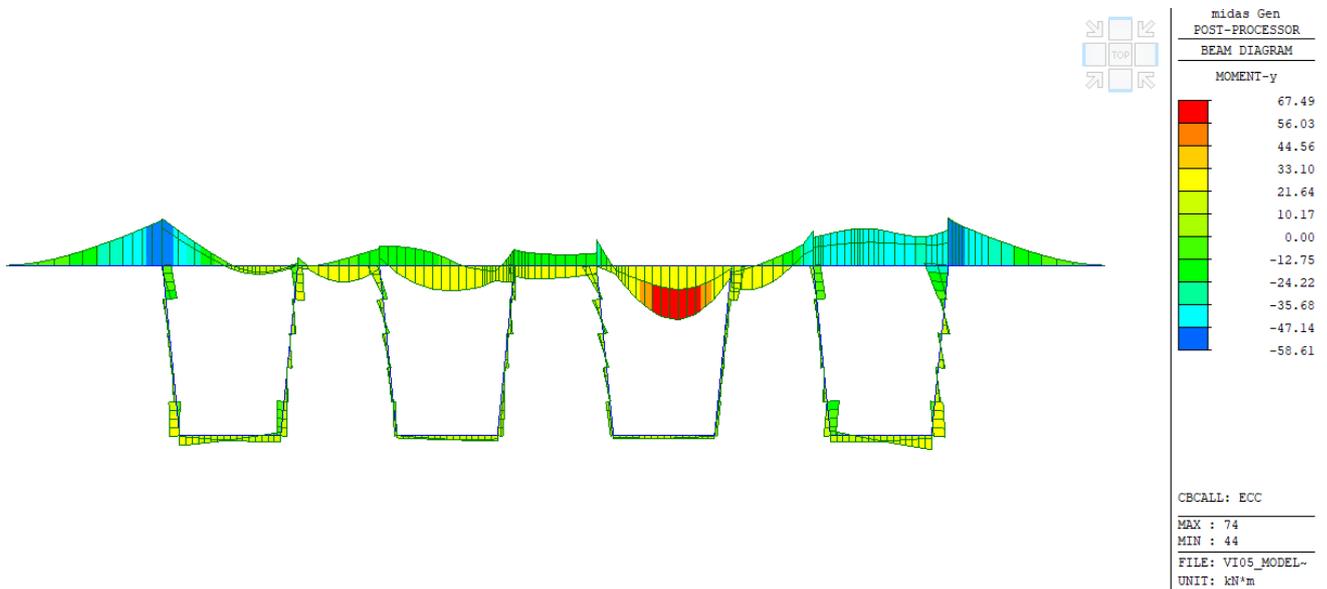


Figura 88 - Sollecitazione flessionale – comb. eccezionale

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	118 di 136

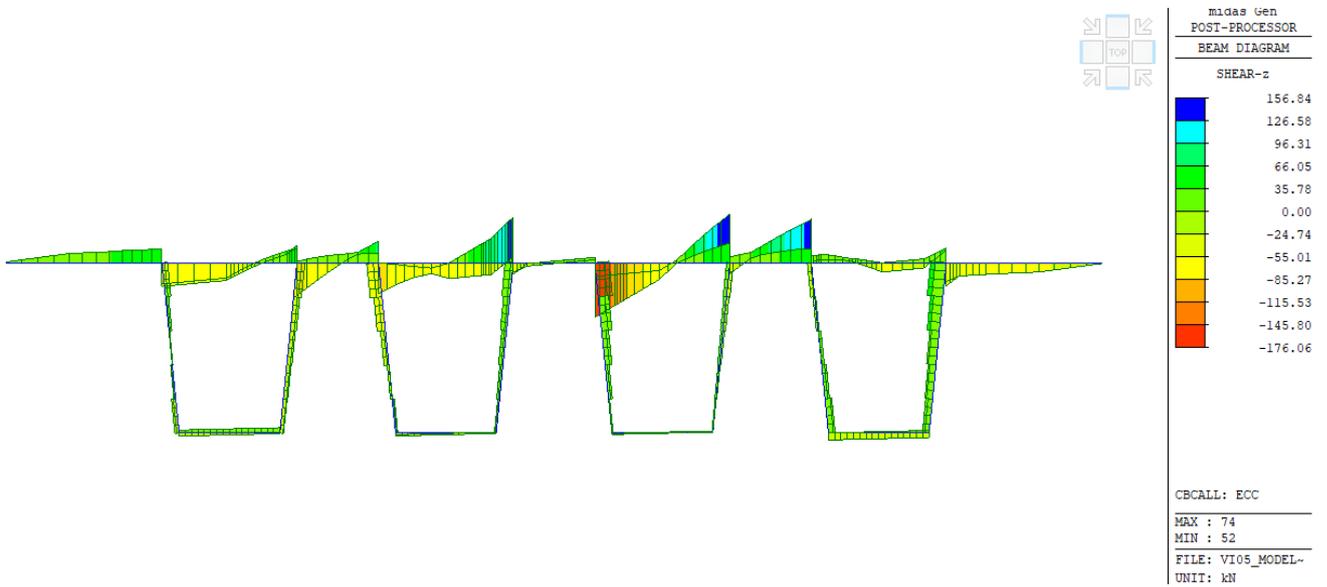


Figura 89 - Sollecitazione di taglio – comb. Eccezionale

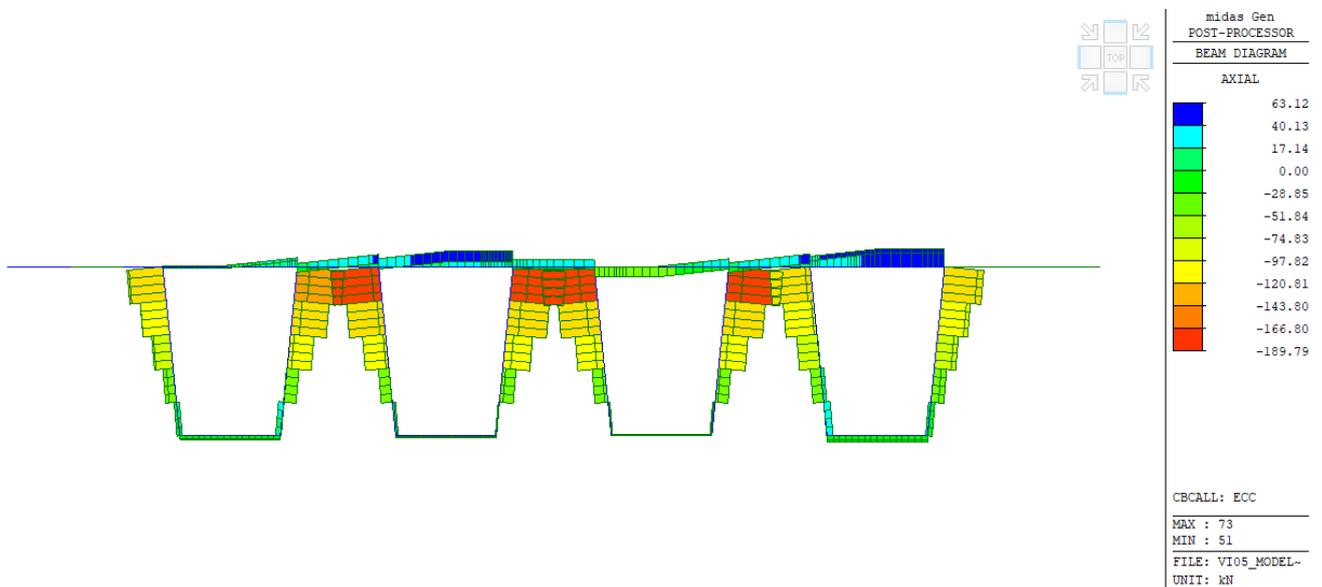


Figura 90 - Sollecitazione assiale – comb. Eccezionale

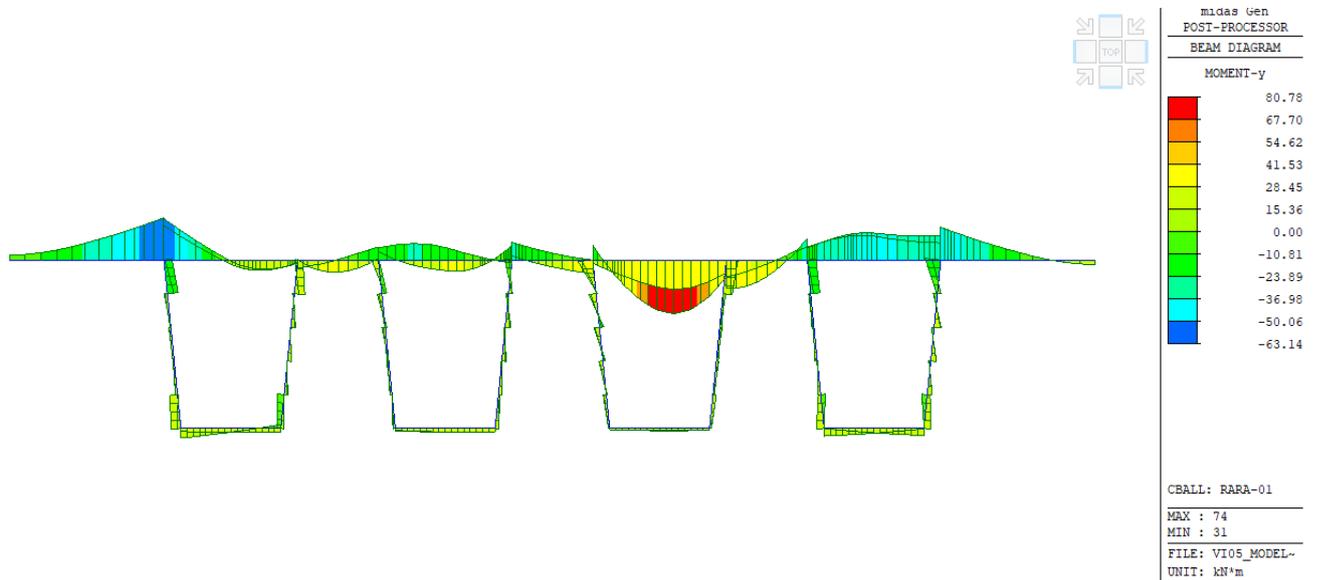


Figura 91 - Sollecitazione flessionale – combinazione rara

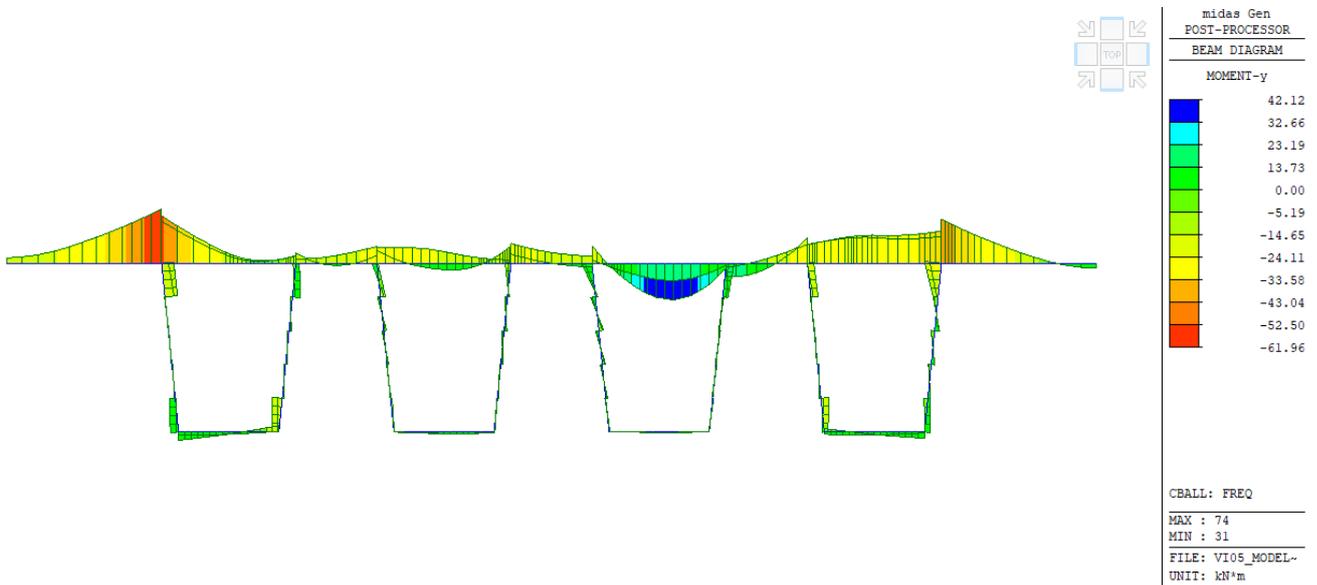


Figura 92 - Sollecitazione flessionale – combinazione frequente

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A

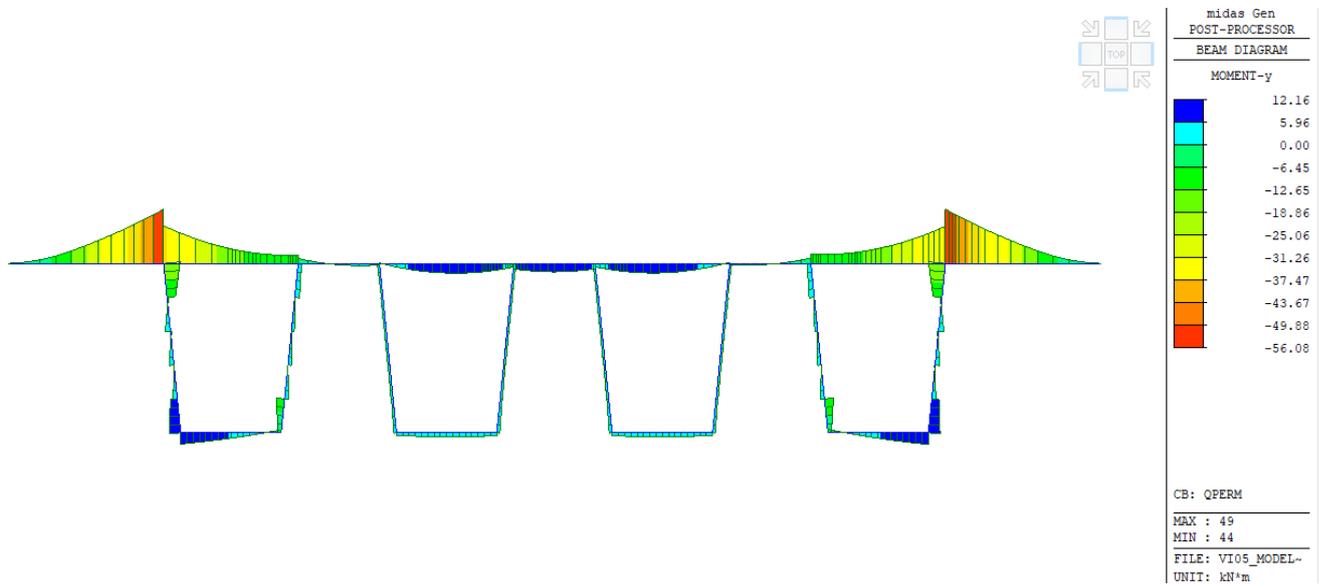


Figura 93 - Sollecitazione flessionale – combinazione quasipermanente

8.1.3 Verifiche sezione corrente

8.1.3.1 Verifica a pressoflessione

L'armatura ordinaria sulla soletta risulta essere:

- Ø16/20 strato sup.
- Ø16/20 strato inf. + 1 Ø12/ 40 nelle predalles

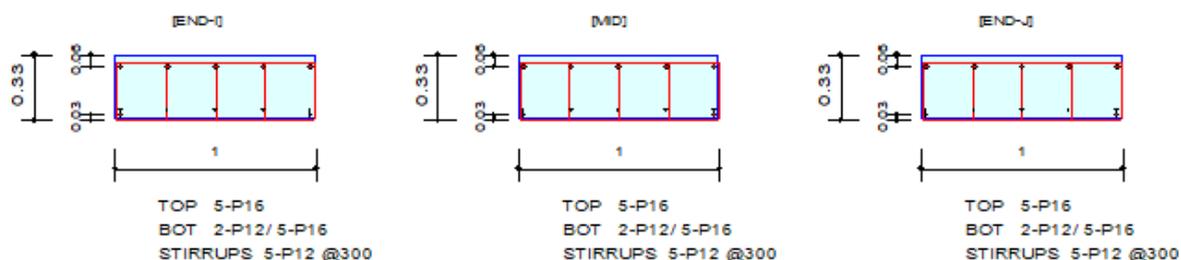
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	121 di 136

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	100x33 (No : 1)	Beam Span	0.888292m



2. Bending Moment Capacity

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	6-	6-	6-
Moment (M_{Ed})	58.64	58.98	62.23
Factored Strength (M_{Rd})	109.27	109.27	109.27
Check Ratio (M_{Ed}/M_{Rd})	0.5367	0.5397	0.5695
Neutral Axis (x/d)	0.1765	0.1765	0.1765
(+) Load Combination No.	6+	6+	6+
Moment (M_{Ed})	117.71	117.71	108.78
Factored Strength (M_{Rd})	126.29	126.29	126.29
Check Ratio (M_{Ed}/M_{Rd})	0.9321	0.9321	0.8614
Neutral Axis (x/d)	0.1792	0.1792	0.1792
Using Rebar Top (A_{s_top})	0.0010	0.0010	0.0010
Using Rebar Bot (A_{s_bot})	0.0012	0.0012	0.0012

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}	=	262.00	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

Armatura aggiuntiva resistente a taglio:

Angolo di inclinazione armatura trasv. su asse	α	=	90	°
--	----------	---	-----------	---

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	123 di 136

dell'elemento

Diametro ferri a taglio

Numero dei bracci in sezione trasversale

Passo in direzione asse elemento

Area totale di armatura a taglio

$$\begin{aligned} \varnothing_{sw} &= 12 \text{ mm} \\ n_{sw} &= 5 \text{ --} \\ s &= 300 \text{ mm} \\ A_{sw} &= 565 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Fattori di resistenza a compressione:

Controllo duttilità (SI = duttile)

Angolo di inclinazione dei puntoni di cls

Resistenza a compressione ridotta del cls d'anima

Tensione media di compressione nella sezione

Coefficiente maggiorativo per membrature compresse

$$\begin{aligned} 0.74 &< 10.58 \text{ SI} \\ \theta &= 22.00^\circ \\ f'_{cd} &= 10.58 \text{ N/mm}^2 \\ \sigma_{cp} &= 0.00 \text{ N/mm}^2 \\ \alpha_c &= 1.00 \text{ --} \end{aligned}$$

Resistenza di calcolo a "taglio trazione" dell'armatura

Resistenza di calcolo a "taglio compressione" del cls

Resistenza ultima a taglio

$$\begin{aligned} V_{Rsd} &= 525.32 \text{ kN} \\ V_{Rcd} &= 1058.58 \text{ kN} \\ V_{Rd} &= 525.32 \text{ kN} \end{aligned}$$

VERIFICA SODDISFATTA.

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	124 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

 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.	9(C)	9(C)	9(C)	9(C)	10(C)	10(C)
Stress(s)	2.04	15.96	2.05	16.05	2.13	16.70
Allowable Stress(sa)	18.00	360.00	18.00	360.00	18.00	360.00
Stress Ratio(s/sa)	0.1132	0.0443	0.1138	0.0446	0.1185	0.0464
(+) Load Combination No.	9(C)	9(C)	9(C)	9(C)	9(C)	9(C)
Stress(s)	11.48	262.99	11.48	262.99	10.57	243.10
Allowable Stress(sa)	18.00	360.00	18.00	360.00	18.00	360.00
Stress Ratio(s/sa)	0.6378	0.7305	0.6378	0.7305	0.5870	0.6753

3. Check Linear Creep

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	12(Q)
Stress(s)	1.78	1.47	1.78
Allowable Stress(sa)	13.50	13.50	13.50
Stress Ratio(s/sa)	0.1316	0.1091	0.1315
Result	Linear Creep	Linear Creep	Linear Creep
(+) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	12(Q)
Stress(s)	0.51	0.51	0.51
Allowable Stress(sa)	13.50	13.50	13.50
Stress Ratio(s/sa)	0.0381	0.0381	0.0380
Result	Linear Creep	Linear Creep	Linear Creep

4. Crack Control

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	12(Q)	11(F)	11(F)
Crack Width(w)	0.02	0.02	0.02
Allowable Crack Width(wa)	0.20	0.20	0.20
Check Ratio(w/wa)	0.0861	0.0858	0.1005
(+) Load Combination No.	11(F)	11(F)	11(F)
Crack Width(w)	0.01	0.01	0.01
Allowable Crack Width(wa)	0.20	0.20	0.20
Check Ratio(w/wa)	0.0538	0.0538	0.0499

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	REV. A	FOGLIO 125 di 136

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.

Ø 16/20 arm. inf.

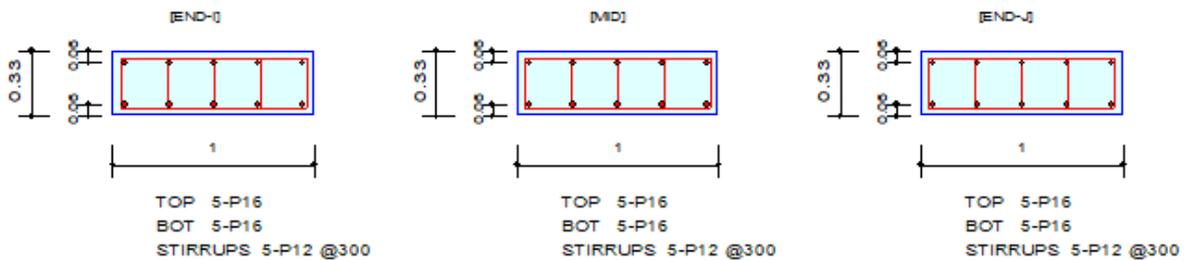
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	126 di 136

1. Design Information

Design Code	Eurocode2:04 & NTC2018	Unit System	kN, m
Material Data	$f_{ck} = 30000$, $f_{yk} = 450000$, $f_{yw} = 450000$ KPa	Beam Span	0.808292m
Section Property	100x33 (No : 1)		



2. Bending Moment Capacity

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	6-	6-	6-
Moment (M_{Ed})	90.07	84.45	92.33
Factored Strength (M_{Rd})	107.62	107.62	107.62
Check Ratio (M_{Ed}/M_{Rd})	0.8369	0.7847	0.8579
Neutral Axis (x/d)	0.1680	0.1680	0.1680
(+) Load Combination No.	8-	8-	6+
Moment (M_{Ed})	0.00	0.00	5.96
Factored Strength (M_{Rd})	107.62	107.62	107.62
Check Ratio (M_{Ed}/M_{Rd})	0.0000	0.0000	0.0554
Neutral Axis (x/d)	0.1680	0.1680	0.1680
Using Rebar Top (A_{s_top})	0.0010	0.0010	0.0010
Using Rebar Bot (A_{s_bot})	0.0010	0.0010	0.0010

8.1.4.2 Verifica a Taglio

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

Caratteristiche dei materiali:

Resistenza caratteristica a compressione cubica cls

$$R_{ck} = 45 \text{ N/mm}^2$$

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	127 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

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}	=	226.00	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	=	270	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	=	0.0037	--

VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO

Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione (≤ 2)	k	=	1.86	--
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	$V_{Rd,min}$	=	146.58	kN
Resistenza ultima a taglio ($V_{Rd} \geq V_{Rd,min}$)	V_{Rd}	=	146.58	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}	=	12	mm
Numero dei bracci in sezione trasversale	n_{sw}	=	5	--
Passo in direzione asse elemento	s	=	300	mm
Area totale di armatura a taglio	A_{sw}	=	565	mm ²

Fattori di resistenza a compressione:

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	128 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

Controllo duttilità (SI = duttile)	0.74	<	10.58	SI
Angolo di inclinazione dei puntoni di cls	θ	=	22.00	°
Resistenza a compressione ridotta del cls d'anima	f'_{cd}	=	10.58	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}	=	443.24	kN
Resistenza di calcolo a "taglio compressione" del cls	V_{Rcd}	=	893.17	kN
Resistenza ultima a taglio	V_{Rd}	=	443.24	kN

VERIFICA SODDISFATTA.

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	129 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

 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.	9(C)	9(C)	10(C)	10(C)	10(C)	10(C)
Stress(s)	3.14	24.35	2.94	22.76	3.21	24.91
Allowable Stress(sa)	18.00	360.00	18.00	360.00	18.00	360.00
Stress Ratio(s/sa)	0.1745	0.0677	0.1631	0.0632	0.1785	0.0692
(+) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	12(Q)	12(Q)	9(C)	9(C)
Stress(s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	1.63
Allowable Stress(sa)	0.00	0.00	0.00	0.00	18.00	360.00
Stress Ratio(s/sa)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0117	0.0045

3. Check Linear Creep

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	12(Q)
Stress(s)	2.85	2.76	2.85
Allowable Stress(sa)	13.50	13.50	13.50
Stress Ratio(s/sa)	0.2114	0.2044	0.2113
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)	11(F)	11(F)
Crack Width(w)	0.03	0.03	0.03
Allowable Crack Width(wa)	0.20	0.20	0.20
Check Ratio(w/wa)	0.1369	0.1380	0.1513
(+) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	12(Q)
Crack Width(w)	0.00	0.00	0.00
Allowable Crack Width(wa)	0.00	0.00	0.00
Check Ratio(w/wa)	0.0000	0.0000	0.0000

 <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 VI05</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>VI0508 001</p>	<p>REV.</p> <p>A</p>	<p>FOGLIO</p> <p>130 di 136</p>

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:

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

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

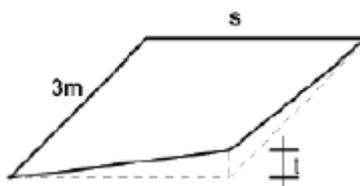


Figura 94 - Sghembo ammissibile

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 $120 < V_{\max} \leq 200 \text{ km/h}$.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI05

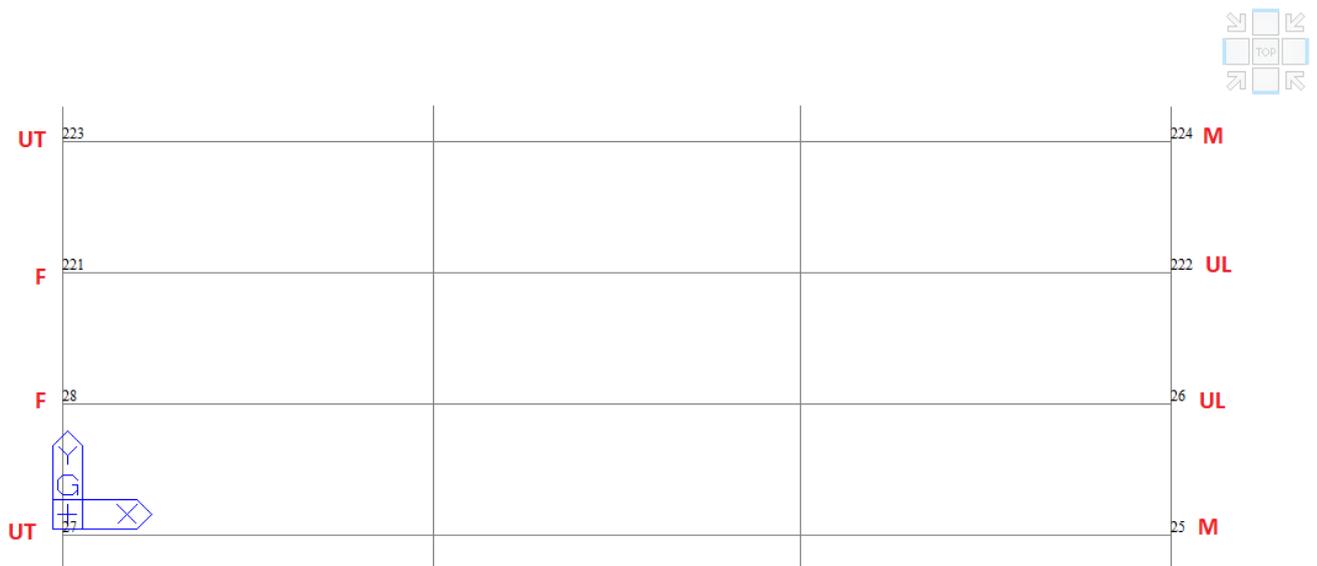
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	131 di 136

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.

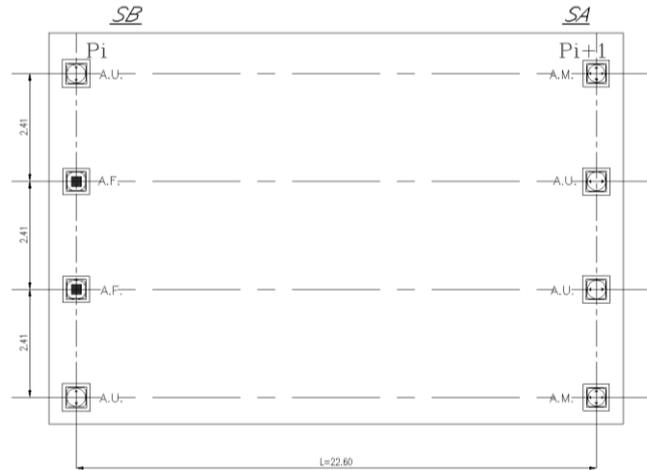


PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO

Relazione di calcolo impalcato VI05

IV01 00 D 09 CL VI0508 001 A 132 di 136


Figura 95 – Schema degli appoggi
Tabella 4 - Scarichi delle condizioni elementari – lato appoggi fissi

	28/221			27/223		
	Fisso			UT		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
Peso proprio	426	0	1	410	0	0
Soletta	321	1	0	372	1	0
Perm NS	216	11	3	825	11	0
Treno scarico	48	1	2	66	1	0
LM71*a*Phi(all)	1569	54	224	802	54	0
SW2*Phi(all)	1397	56	263	902	56	0
Marcia piedi	-44	16	30	135	16	0
Serp LM71	18	0	55	6	0	0
Serp SW/2	17	0	50	6	0	0
Avv LM71	1377	664	755	-1333	1140	0
Avv SW/2	1252	604	687	-1212	1037	0
Fren LM71	835	403	458	-808	691	0
Fren SW/2	759	366	416	-735	628	0
Fw_vento	75	2	105	91	3	0
Der	832	19	179	1252	28	0
Temperatura	227	7	1046	227	7	0

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	133 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05
Tabella 5 - Scarichi delle condizioni elementari – lato appoggi mobili

26/222			25/224		
UL			M		
N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
425	0	1	409	0	0
321	0	0	372	0	0
217	0	3	824	0	0
47	0	2	67	0	0
1566	0	223	805	0	0
1394	0	261	905	0	0
-43	0	29	135	0	0
18	0	55	6	0	0
17	0	50	6	0	0
-245	0	230	320	0	0
-223	0	209	291	0	0
-149	0	139	194	0	0
-135	0	127	176	0	0
75	0	104	92	0	0
825	0	179	1250	0	0
227	0	1046	227	0	0

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

	28/221		
	Fisso		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
EN SLU(all)	5575	971	2686
EN SLV(all)	4540	1567	2151

	27/223		
	UT		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
EN SLU(all)	3830	1662	0
EN SLV(all)	4545	2490	0

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0508 001	A	134 di 136

Relazione di calcolo impalcato VI05

26/222			
UL			
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
EN SLU(all)	3966	0	2144
EN SLV(all)	1858	0	1415

25/224			
M			
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
EN SLU(all)	4112	0	0
EN SLV(all)	2156	0	0

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI05	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0508 001	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 VI05</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0508 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 136 di 136</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.