

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA
TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

VI01 - Viadotto su Torrente Bottasano 2 VIADOTTI AFFIANCATI SB

Relazione di calcolo impalcato VI01

SCALA:

-

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

I V 0 1 0 0 D 0 9 C L V I 0 1 0 8 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	G.Grimaldi 	Feb. 2022	D.Guerci 	Feb. 2022	G.Fadda 	Feb. 2022	A. Vitozzi Dott. Ing. Angelo Vitozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Genova N° A20783

File: IV0100D09CLVI0108001A.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>	19
4.4.4	<i>Forza centrifuga</i>	20
4.4.5	<i>Serpeggio</i>	22
4.4.6	<i>Avviamento e frenatura</i>	23
4.5	AZIONI AMBIENTALI	24
4.5.1	<i>Variazione termica uniforme</i>	24
4.5.2	<i>Variazione termica non uniforme</i>	24
4.5.3	<i>Vento</i>	24
4.6	AZIONI AEREODINAMICI ASSOCIATI AL PASSAGGIO DEI CONVOGLI	33
4.7	AZIONI ECCEZIONALI.....	34

4.7.1	Azioni dovute al deragliamento.....	34
4.8	AZIONI INDIRETTE	37
4.8.1	Ritiro.....	37
4.8.2	Viscosità	40
4.8.3	Resistenze passive dei vincoli.....	45
4.9	AZIONI SISMICHE	45
4.9.1	Inquadramento sismico	45
5	FASI COSTRUTTIVE E MODELLAZIONE	48
5.1	MODELLAZIONE: GENERALITÀ.....	49
5.1.1	Modello fase 0	49
5.1.2	Modello fase 1	50
5.1.3	Modello fase 2	51
5.1.4	Modello fase 3	55
5.2	COMBINAZIONI DI CARICO	58
6	EFFETTI GLOBALI - IMPALCATO.....	62
6.1	STATO LIMITE DI ESERCIZIO - SLE.....	62
6.1.1	Sollecitazioni	64
6.1.2	Verifiche tensionali.....	77
6.1.3	Verifiche a fessurazione	89
6.2	STATO LIMITE ULTIMO - SLU	90
6.2.1	Verifiche a presso-flessione.....	91
7	TRAVERSI PRECOMPRESSI	93
7.1	SOLLECITAZIONI.....	93
7.2	CARATTERISTICHE DELLA SEZIONE	96
7.2.1	Sezione iniziale.....	96
7.2.2	Sezione composta – breve termine.....	97

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	4 di 131

7.2.3	Sezione composta – lungo termine	98
7.3	VERIFICHE STATO LIMITE DI ESERCIZIO – SLE.....	99
7.3.1	Verifiche tensionali.....	99
7.3.2	Verifica a fessurazione	105
7.3.3	Verifica a sollevamento	106
7.4	VERIFICHE STATO LIMITE ULTIMO - SLU.....	108
7.4.1	Verifiche a presso-flessione.....	108
7.4.2	Verifica a taglio.....	109
8	EFFETTI LOCALI.....	111
8.1	SOLETTA.....	111
8.1.1	Modellazione	111
8.1.2	Sollecitazioni	113
8.1.3	Verifiche sezione in mezzeria	117
8.1.4	Verifiche sezione sullo sbalzo.....	121
9	VERIFICA DEFORMAZIONI TORSIONALI (SGHEMBO).....	125
10	SCARICHI IMPALCATO	126
10.1	VALUTAZIONE DELL'AZIONE SUGLI APPOGGI	126
11	VARCHI E GIUNTI.....	130
12	VALUTAZIONE DELLA ACCETTABILITA' DEI RISULTATI OTTENUTI (RIF.PAR.10.2 DM 17/01/2018)	131

1 GENERALITA'

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

Il viadotto è costituito da due viadotti a singolo binario, uguali, ed affiancati. L'opera si colloca tra le progressive 69+453.965 e 69+478.967 per il binario dispari e tra le progressive 69+476.197 e 69+501.197 per il binario pari.

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 9.90 m.

L'impalcato è costituito da due 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 2.48 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 2.44 m.

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

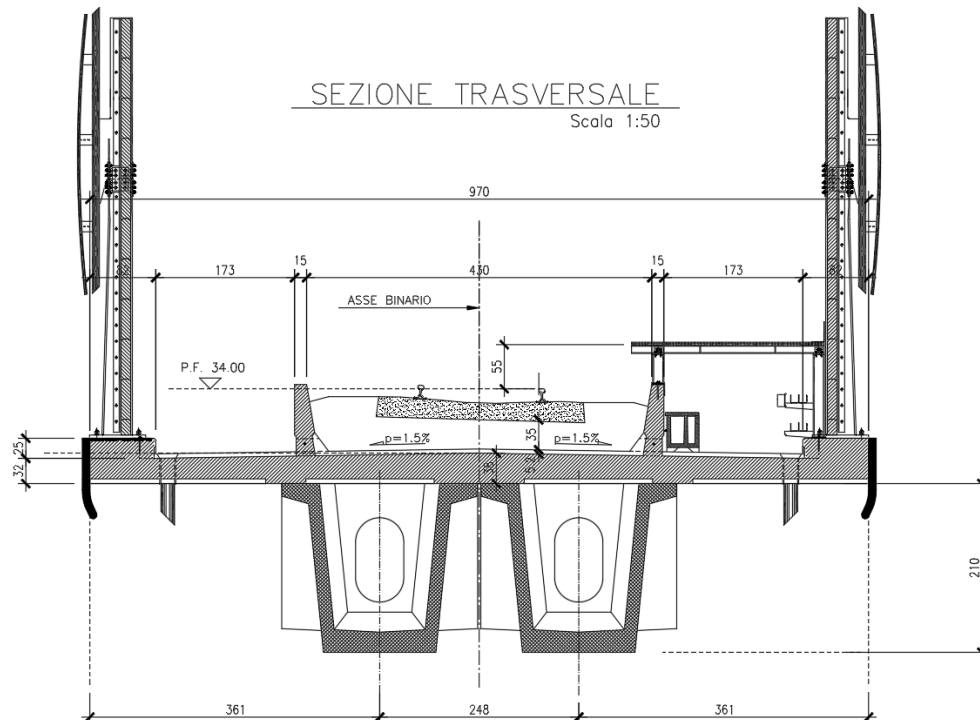


Figura 1 – Sezione trasversale di campata dell'impalcato

PIANTA IMPALCATO (Quota intradosso soletta)
Scala 1:50

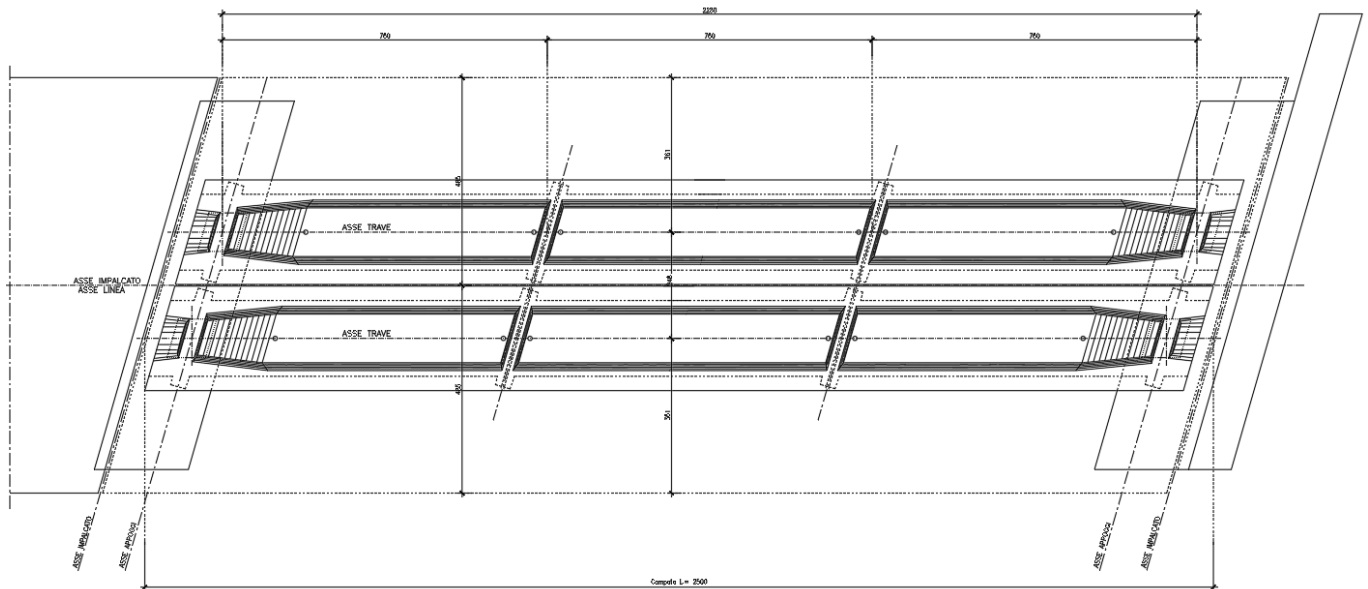


Figura 2 – Pianta dell'impalcato (quota intradosso soletta)

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 VI01</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0108 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 7 di 131</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	VI0108 001	A	8 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

2.1 Elaborati di riferimento

Viadotto su Torrente Bottasano 2 VIADOTTI AFFIANCATI SB da 69+468 Km a Km 69+638																						
Relazione di calcolo spalle	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	1	0	4	0	0	1	A
Relazione di calcolo impalcato	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	1	0	8	0	0	1	A
Relazione di calcolo opere provvisionali	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	1	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	1	0	3	0	0	2	A
Relazione descrittiva viadotto VI01		I	V	0	I	0	0	D	0	9	R	H	V	I	0	1	0	0	0	0	1	B
Planimetria generale dell'intervento	1:200	I	V	0	I	0	0	D	0	9	P	9	V	I	0	1	0	0	0	0	1	B
Profilo longitudinale	1:100	I	V	0	I	0	0	D	0	9	A	Z	V	I	0	1	0	0	0	0	1	B
pianta fondazioni	1:100	I	V	0	I	0	0	D	0	9	A	A	V	I	0	1	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	1	0	3	0	0	1	B
Opere provvisionali		I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	1	0	0	0	0	1	A
Fasi realizzative e opere provvisionali		I	V	0	I	0	0	D	0	9	P	Z	V	I	0	1	0	0	0	0	1	A
Carpenteria spalla A tav.1/2	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	1	0	4	0	0	1	A
Carpenteria spalla A tav.2/2	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	1	0	4	0	0	2	A
Carpenteria spalla B tav.1/2	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	1	0	4	0	0	3	A
Carpenteria spalla B tav.2/2	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	1	0	4	0	0	4	A
Carpenteria impalcato in c.a.p. L=25	1:50	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	1	0	8	0	0	1	B
Particolari, dettagli e finiture	VARIE	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	1	0	0	0	0	2	B
carpenteria trave	VARIE	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	1	0	8	0	0	1	B
Schema di vincolo appoggi e giunti		I	V	0	I	0	0	D	0	9	D	Z	V	I	0	1	0	7	0	0	1	A

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	9 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

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

3.2 Calcestruzzo per getti in opera impalcato

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	10 di 131

$G_c = 14199$ MPa Modulo elastico Tangenziale di progetto

3.3 Acciaio per c.a.

B450C

$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk} \geq$	540	MPa	tensione caratteristica di rottura
$(f_i/f_y)_{k \geq}$	1,15		
$(f_i/f_y)_{k <}$	1,35		
$g_s =$	1,15	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$f_{yd} =$	391,3	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$E_s =$	200000	MPa	Modulo elastico di progetto
$\epsilon_{yd} =$	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	VI0108 001	A	11 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

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	$L_r = 0.7$	m
sviluppo carpenteria	$L' = 24.2$	m
sviluppo ringrosso appoggi	$L_1 = 0.94$	m
sviluppo transizione	$L_2 = 1.56$	m
Area sezione in mezzeria	$A_{mez} = 1.13$	m ²
Area sezione in appoggio	$A_{ap} = 1.97$	m ²
numero di travi	$n_1 = 2$	m
larghezza traverso mezzeria	$d_{mez} = 0.25 - 0.40$	m
larghezza traverso appoggio	$d_{ap} = 0.35 - 0.48$	m
area foro	$A_f = 0.55$	m ²
area della trave al di sotto del traverso	$A_{es} = 0.38$	m
lunghezza del traverso	$L = 4.92$	m
altezza traverso	$h = 1.85$	m
numero di traversi in mezzeria	$n_2 = 2$	

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	12 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

4.2 Peso proprio (G1)

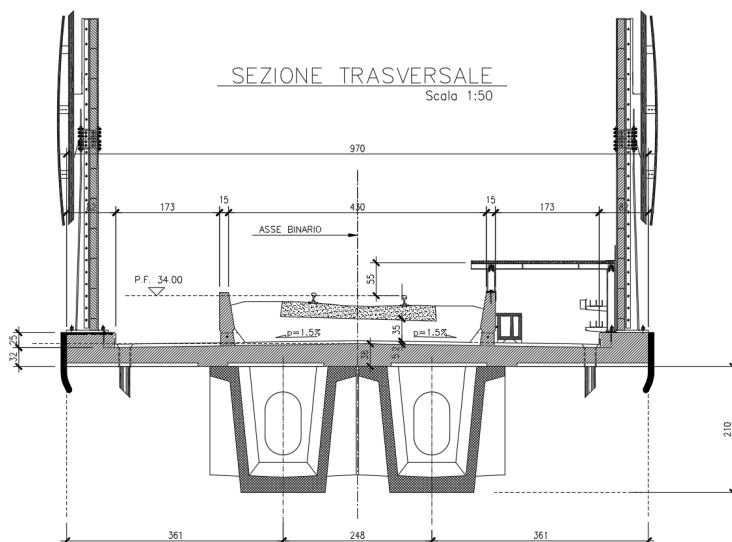
Il peso proprio delle strutture viene considerato automaticamente dal software di calcolo utilizzato. Il carico delle strutture in c.a. e c.a.p. viene valutato considerando un peso di volume pari a 25 kN/mc.

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	$q_{pp1} = 1.97 \text{ mq} \times 25 \text{ kN/mc} = 49.25 \text{ kN/m}$
travi sezione variabile	$q_{pp2} = 1.53 \text{ mq} \times 25 \text{ kN/mc} = 38.25 \text{ kN/m}$
traversi di testata	$w_t = 0.415 \text{ m} \times 5.058 \text{ mq} \times 25 \text{ kN/mc} = 52.48 \text{ kN}$
traversi intermedi	$w_{t2} = 0.325 \text{ m} \times 6.818 \text{ mq} \times 25 \text{ kN/mc} = 55.40 \text{ kN}$
soletta (su ogni trave)	$q_{pp3} = 0.345 \text{ m} \times 4.85 \text{ m} \times 25 \text{ kN/mc} = 41.83 \text{ kN/m}$

4.3 Carichi permanenti non strutturali (G2)

Nel seguito si riportano i carichi permanenti portati considerati.



Impermeabilizzazione	$1.75 \text{ m} \times 1.30 \text{ kN/mq}$	$= 2.28 \text{ kN/m}$	a trave
Muretti paraballast	$0.25 \text{ m} \times 0.89 \text{ m} \times 25 \text{ kN/mc}$	$= 5.56 \text{ kN/m}$	a trave

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	13 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

Canalette portacavi		= 1.50 kN/m	a trave
Cordolo laterale	0.26 m x 0.82 m x 25 kN/mc	= 5.33 kN/m	a trave
Velette		= 1.30 kN/m	a trave
Barriera antirumore		= 15 kN/m	a trave
Parapetto		= 1.00 kN/m	a trave
Ballast	(4.30 m /2) x 0.80 m x 18 kN/mc	= 30.96 kN/m	a trave

Totale carichi permanenti (su ogni trave) = 62.80 kN/m a trave

Totale carichi permanenti (intero impalcato) 2 x 62.80 kN/m = 125.60 kN/m (totale)

4.4 Azioni variabili

4.4.1 Coefficienti di amplificazione dinamica e di adattamento

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

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

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

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

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

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

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

Dove alla lunghezza caratteristica L_Φ si attribuisce il valore più gravoso tra:

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

$$L_\Phi = 2 \times L_c = 2 \times 2.48 = 4.96 \text{ m} \quad (L_c = 2.48 = \text{interasse cassoni})$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

4.4.2 Treni di carico

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

Tabella 1 - coefficienti α per modelli di carico

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

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

4.4.2.1 Treno di carico LM71

Il Treno di carico LM71 è schematizzato nella figura seguente.

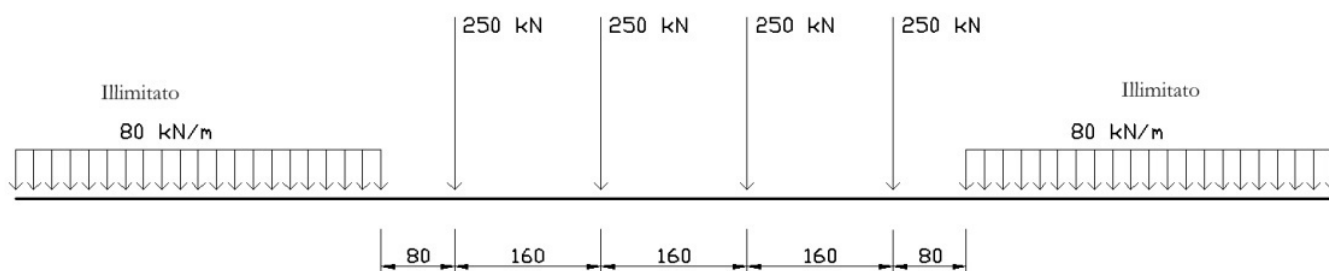


Figura 3 – Treno di carico LM71

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

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 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 VI01</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0108 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 16 di 131</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 VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

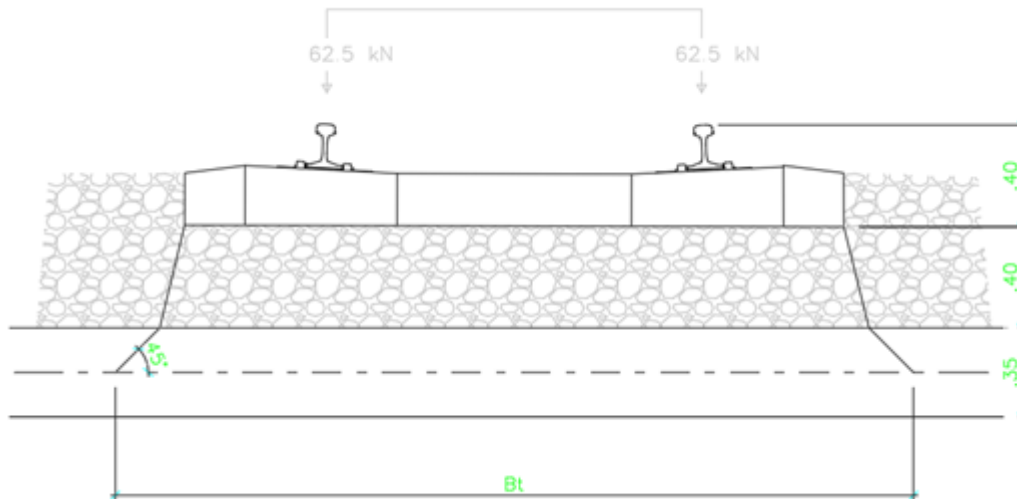


Figura 5 – meccanismo di ripartizione trasversale per mezzo di traversa e ballast

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

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

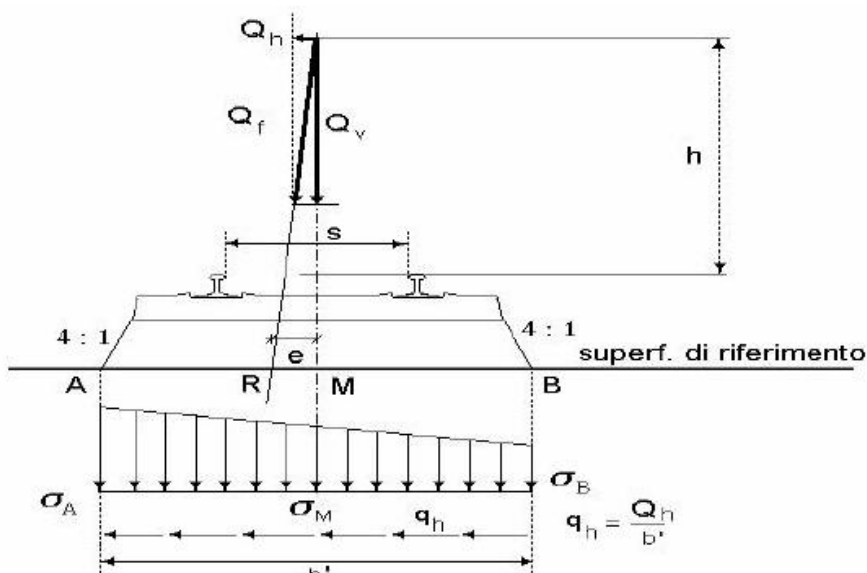


Figura 6 – meccanismo di ripartizione trasversale per mezzo di traversa e ballast

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:

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

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

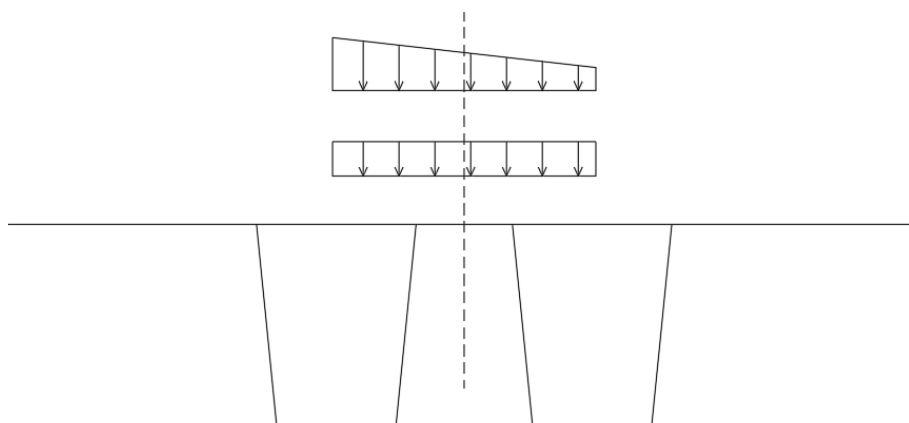


Figura 7 - configurazione di carico modello locale con e senza eccentricità

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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

4.4.4 Forza centrifuga

La forza centrifuga si considera agente verso l'esterno della curva, in direzione orizzontale ed applicata alla quota di 1,80 m al di sopra del P.F.

Le azioni centrifughe sono state valutate secondo le seguenti espressioni:

$$Q_{ik} = \frac{v^2}{g \cdot r} (f \cdot Q_{vk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} (f \cdot Q_{vk})$$

$$q_{ik} = \frac{v^2}{g \cdot r} (f \cdot q_{vk}) = \frac{V^2}{127 \cdot r} (f \cdot q_{vk})$$

Le azioni centrifughe sono state valutate secondo quanto riportato nella seguente tabella.

Valore di α	Massima velocità della linea [Km/h]	Azione centrifuga basata su:				traffico verticale associato
		V	α	f		
SW/2	≥ 100	100	1	1	$1 \times 1 \times SW/2$	$\Phi \times 1 \times SW/2$
	< 100	V	1	1	$1 \times 1 \times SW/2$	
LM71 e SW/0	> 120	V	1	f	$1 \times f \times (LM71'' + SW/0)$	$\Phi \times 1 \times 1 \times (LM71'' + SW/0)$
		120	α	1	$\alpha \times 1 \times (LM71'' + SW/0)$	$\Phi \times \alpha \times 1 \times (LM71'' + SW/0)$
	≤ 120	V	α	1	$\alpha \times 1 \times (LM71'' + SW/0)$	

Tabella 3 – Parametri per determinazione della forza centrifuga

Si assumono i seguenti di valori per velocità di progetto e raggio di curvatura:

velocità di progetto	V	200	km/h
raggio di curvatura	R	2250	m
accelerazione orizzontale	a_{cent}	2.17	m/sq
eccentricità convoglio dal p.f	ev	1.8	m
eccentricità orizzontale	eo	0.08	m
lunghezza complessiva impalcato	Limp	25	m
lunghezza di influenza del binario	Lf	22.8	m

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

Si ottengono quindi i seguenti valori caratteristici dell'azione centrifuga. I valori massimi sono impiegati nelle analisi.

	Qv kN	fi -	V km/h	a -	f -	Qo kN	qo kN/m
LM71 a	3000	1.202	120	1.1	1	199.9	8.0
LM71 b	3000	1.202	200	1	0.70	547.6	14.1
SW/0	3325	1.202	100	1.1	1	153.9	6.2
SW/2	3750	1.202	100	1	1	157.7	6.3

4.4.4.1 Ripartizione locale del carico

Considerando la stessa legge di ripartizione utilizzata per i carichi verticali concentrati si ottiene la seguente azione orizzontale indotta dagli assi del convoglio LM71:

$$q_{tk,a} = 120^2 / (127 \times 2250) \times 1 \times 354.9 = 17.9 \text{ kN/m}$$

$$q_{tk,b} = 200^2 / (127 \times 2250) \times 0.482 \times 354.9 = 34.8 \text{ kN/m}$$

Considerando un sovralzato massimo e una distanza PF-Estradosso soletta pari a 0.80 m si ottiene la quota di applicazione dell'azione centrifuga rispetto al piano medio della soletta ed il momento da applicare al modello locale:

$$h_1 = 1.8 + 0.16/2 + 0.35/2 + 0.8 = 2.86 \text{ m}$$

$$M_{tk} = 34.8 \times 2.86 = 99.27 \text{ kN/m}$$

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:

$$q_{F,max} = q_{tk} / Bt = 12.4 \text{ kN/mq}$$

$$q_{M,max} = 6 \times M_{tk} / Bt^2 = 76.0 \text{ kN/mq}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

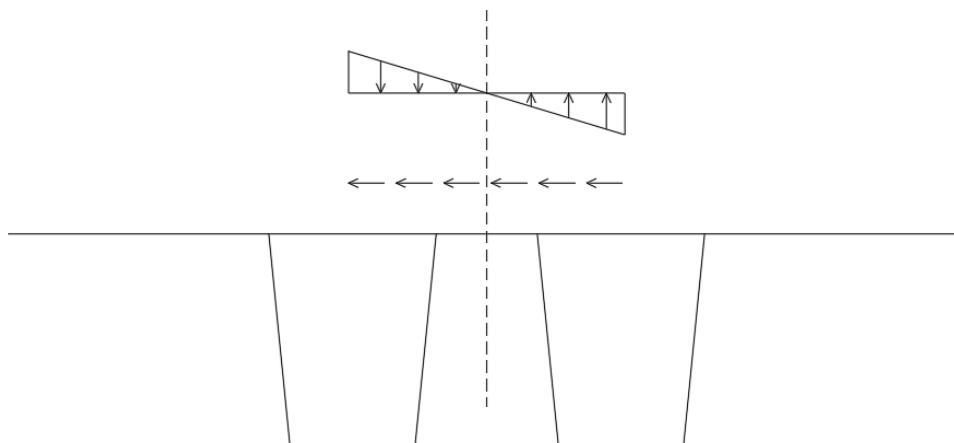


Figura 8 - condizione di carico locale centrifuga

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:

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	23 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

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

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

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

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

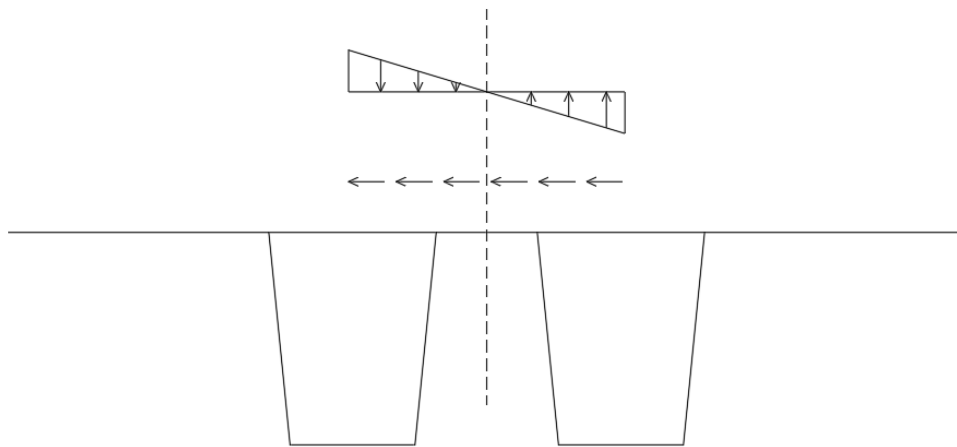


Figura 9 - condizione di carico locale serpeggio

4.4.6 Avviamento e frenatura

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

Si considerano i seguenti valori delle azioni:

Avviamento

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

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

Frenatura

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

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

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.

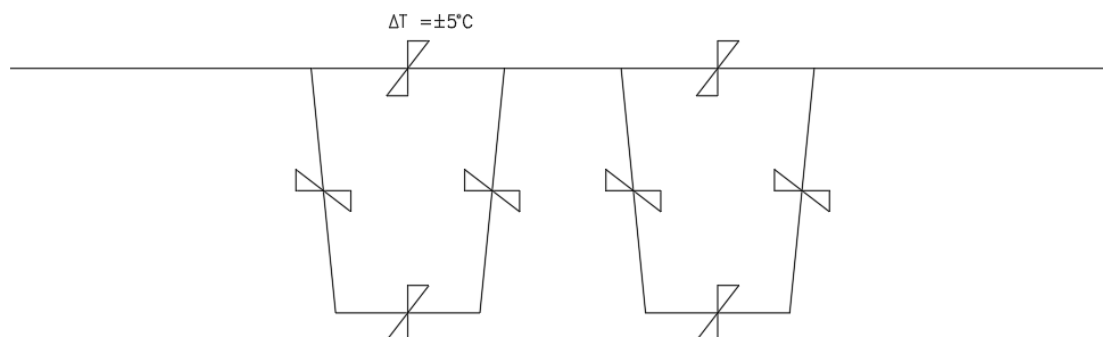


Figura 10 - Condizione di carico: variazioni termiche (+/-),(-/+)

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;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

- 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

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

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

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

La pressione cinetica di picco è pertanto pari a:

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

con

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

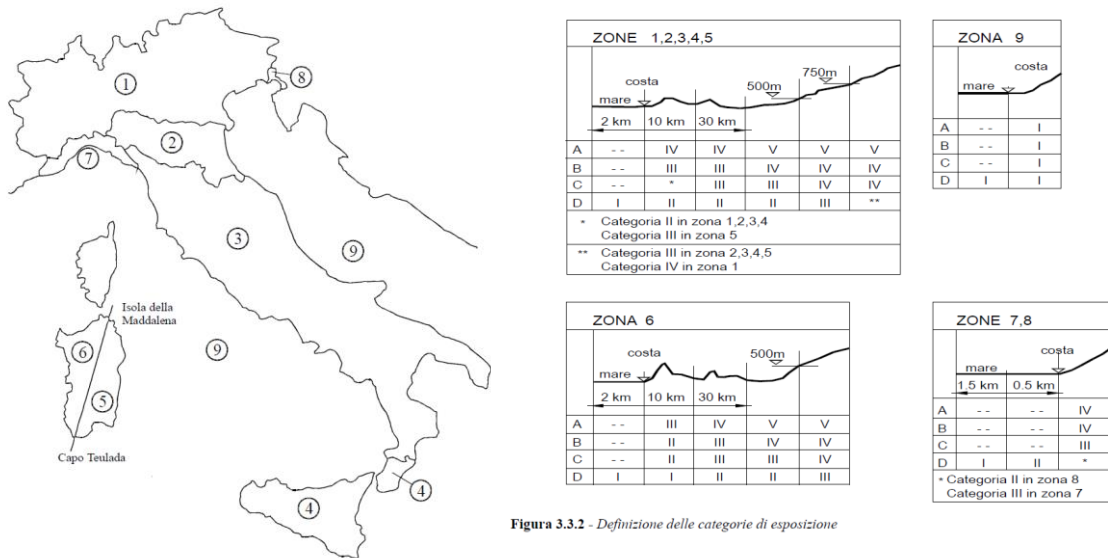


Figura 3.3.2 - Definizione delle categorie di esposizione

Tabella 3.3.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 11 - 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 ".

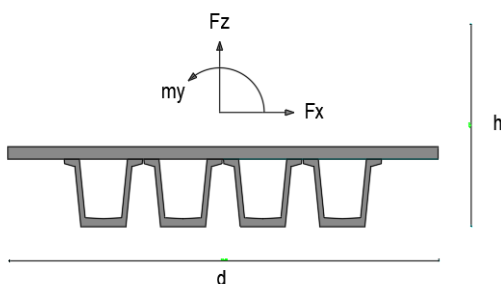


Figura 12 - sistema di riferimento ed azioni del vento

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

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

$$b = 9.90 \text{ m};$$

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 $c_{fx,0}$

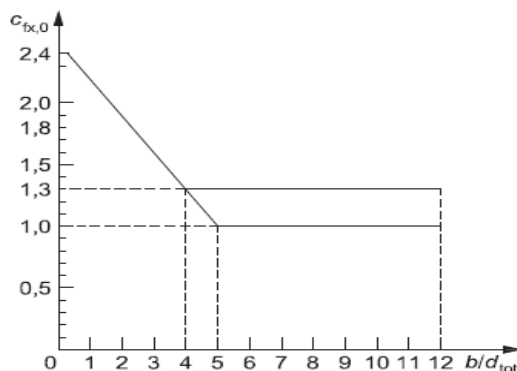


Figura 13 - Fattore di forza trasversale - Eurocodice 1991-1-4

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
----------	-------	----------	-----------	------	--------

Relazione di calcolo impalcato VI01

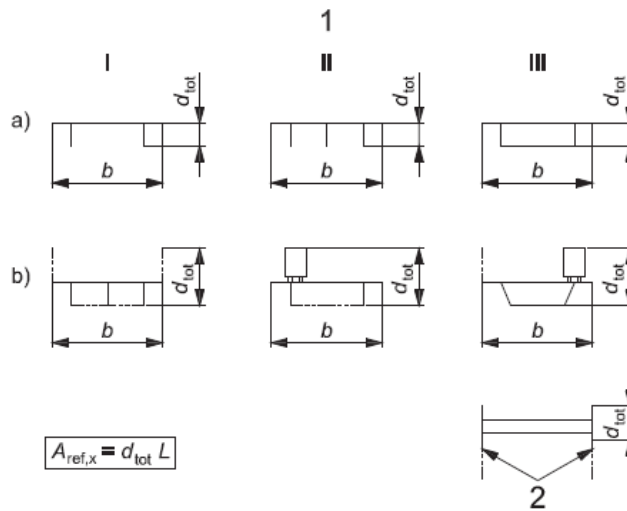
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	28 di 131
------	----	---------	------------	---	-----------

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

dove:

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

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



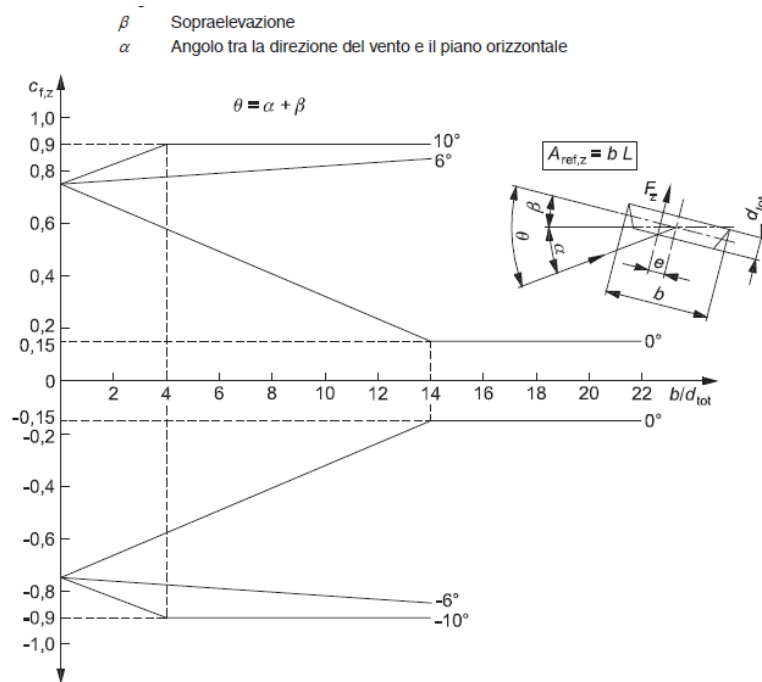


Figura 14 – Area effettiva e coefficiente di forza verticale - Eurocodice 1991-1-4

$$c_{fX} = 2.10 \quad [b/d_{tot}=1.366]$$

$$c_{fY} = 0.90.$$

Le forze sull'impalcato sono pari a:

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

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

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

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

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

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	30 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

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
 <i>ponete carico</i>			
altezza spalla	z1	6.82	m
altezza baggioli e app. appoggio	z2	0.5	m
altezza all'intradosso	Zintradosso	7.22	m
altezza di riferimento	z	11.22	m
coefficiente di topografia	ct	1	
coefficiente di esposizione	ce	2.38	
densità dell'aria convenzionale	ro	1.25	kg/m ³
pressione statica di riferimento	qr	0.49	kN/m ²
pressione statica di picco	qpikko	1.166	kN/m ²
lunghezza totale impalcato	Limp	25	m
larghezza impalcato	d	9.70	m
altezza impalcato+soletta	z3	2.45	m
armamento	z4	0.80	m
altezza treno	z5a	4	m
altezza barriere	z5b	4	m

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	31 di 131

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

ponete scarico

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

4.5.3.1 Ripartizione locale del carico

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

Vento su barriere antirumore

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

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

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

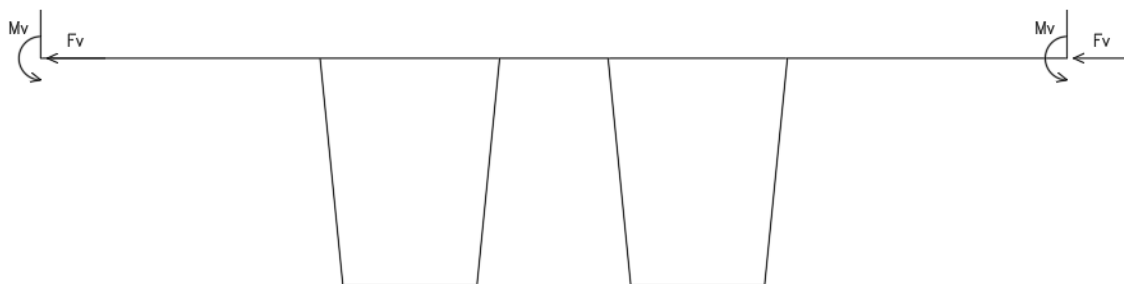


Figura 15 - Condizione di carico locale – barriere


Vento sul convoglio ferroviario

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

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

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

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

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA				
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001

estremo farfalla equivalente

Δf_z **22.8** kN/mq

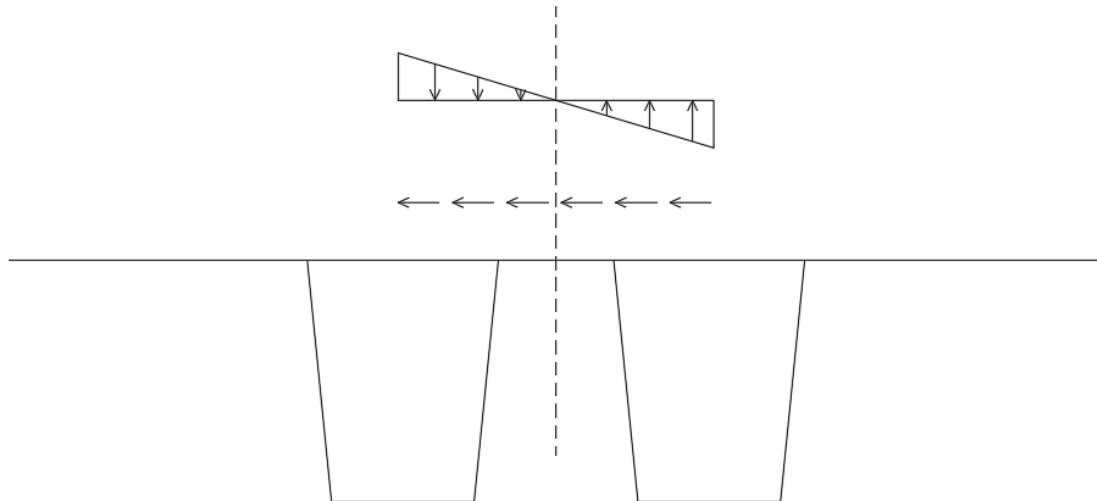


Figura 16 - Condizione di carico locale – convogli

4.6 Azioni Aereodinamici associati al passaggio dei convogli

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

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

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

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

4.7 Azioni eccezionali

4.7.1 Azioni dovute al deragliamento

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

Caso 1

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

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

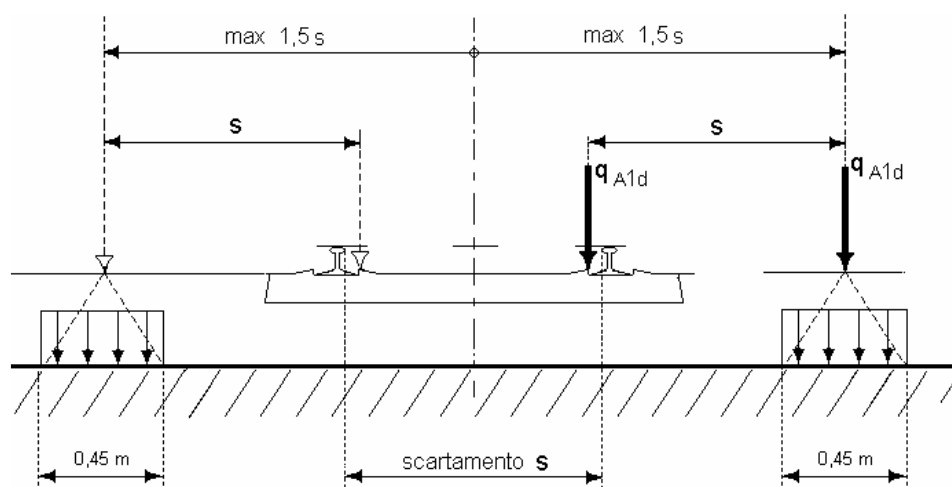


Figura 17 – posizione azioni da deragliamento – caso 1

Caso 2

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

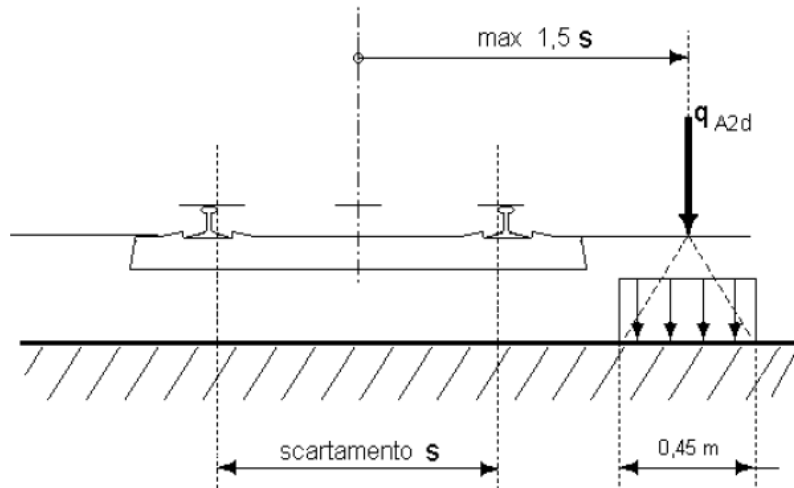


Figura 18 – posizione azioni da deragliamento – caso 2

4.7.1.1 Ripartizione locale del carico

Caso 1

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

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

Diffusione trasversale del carico deragliato

$Bt = 0.45 + 0.35/2 = 0.625$ m
 $q = q_{A1d} / Bt = 96$ 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:

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

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

$$\Delta q = 6 M / Bt^2 = 6 (qA1d e) / Bt^2 = 32.83 \quad \text{kN/mq}$$

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

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

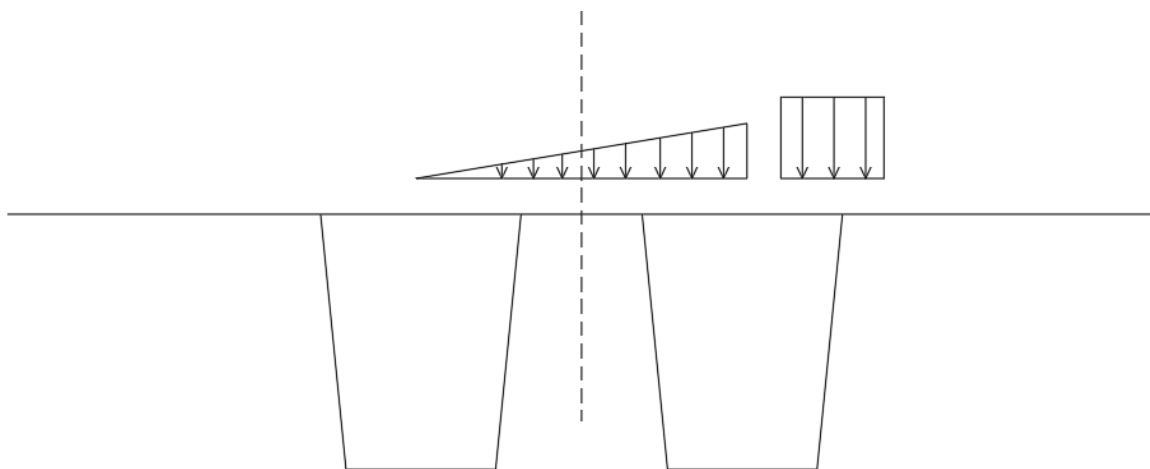


Figura 19 – Condizione di carico per deragliamento – caso 1

Caso 2

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

Diffusione trasversale del carico deragliato

$$q = qA1d / Bt = 179.2 \text{ kN/mq}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

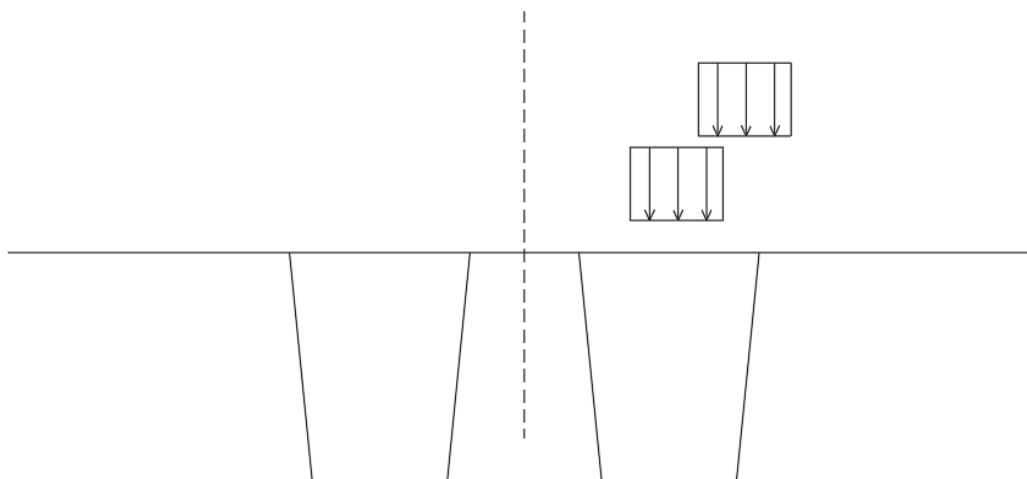


Figura 20 - Condizione di carico per deragliamento – caso 2

4.8 Azioni indirette

4.8.1 Ritiro

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

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

4.8.1.1 Ritiro della trave in C.A.P.

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

Ritiro Cassoncino

perimetro di cls esposto all'aria	u	11846.6	mm
dimensione fittizia pari a $2A_c/u$	h_0	200.0	mm
umidità relativa	UR	70	%

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	38 di 131

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 calcestruzzo	f_{ck}	45	MPa
valore medio della deformazione per ritiro autogeno	ϵ_{ca}	-8.8E-05	
deformazione totale per ritiro	$\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd}(t) + \epsilon_{ca}$	-3.3E-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	$\Delta\sigma_{rit}(t_{\infty})$	-64.8	Mpa

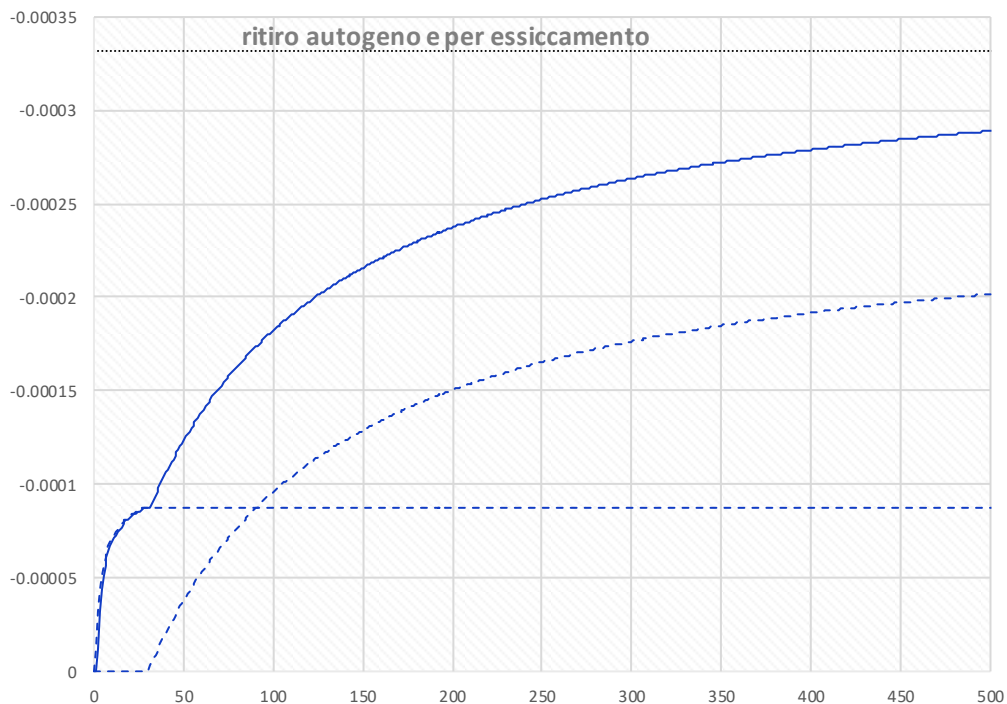


Figura 21 – Andamento del ritiro della trave in C.A.P.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	39 di 131

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

4.8.1.2 Ritiro della soletta gettata

età del calcestruzzo per la quali inizia

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

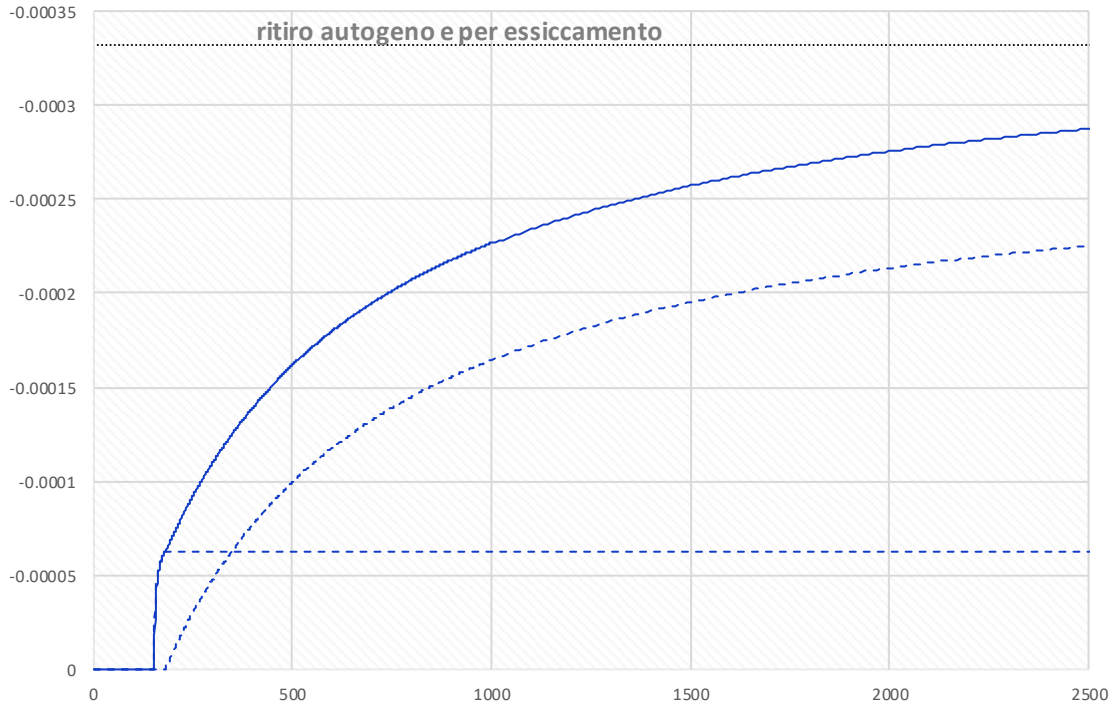
Ritiro Soletta

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

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

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

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


Figura 22 - Andamento del ritiro della soletta

4.8.2 Viscosità

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

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

Per quanto riguarda le caratteristiche inerziali della sezione si identificano i coefficienti di omogeneizzazione a lungo termine in funzione del coefficiente viscoso $\phi_{t_{00}}$ di seguito, ovvero mediante il modulo di elasticità ridotto:

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	41 di 131

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	200.0	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	503.1	
coef. Che descrive l'evoluzione viscosa	$\beta(t, t_0)$	0.99	
coef. Per tenere conto della resistenza del cls	α_3	0.81	
coef. Per tenere conto della resistenza del cls	α_2	0.92	
coef. Per tenere conto della resistenza del cls	α_1	0.75	
coef. Funzione dell'umidità relativa	φ_{RH}	1.353	
coefficiente normale di viscosità	φ_0	1.982	
coefficiente di viscosità	$\varphi_0(t, t_0)$	1.863	

coefficiente di viscosità a tempo infinito

$\varphi_0(t_{\infty}, t_0)$ **1.863**

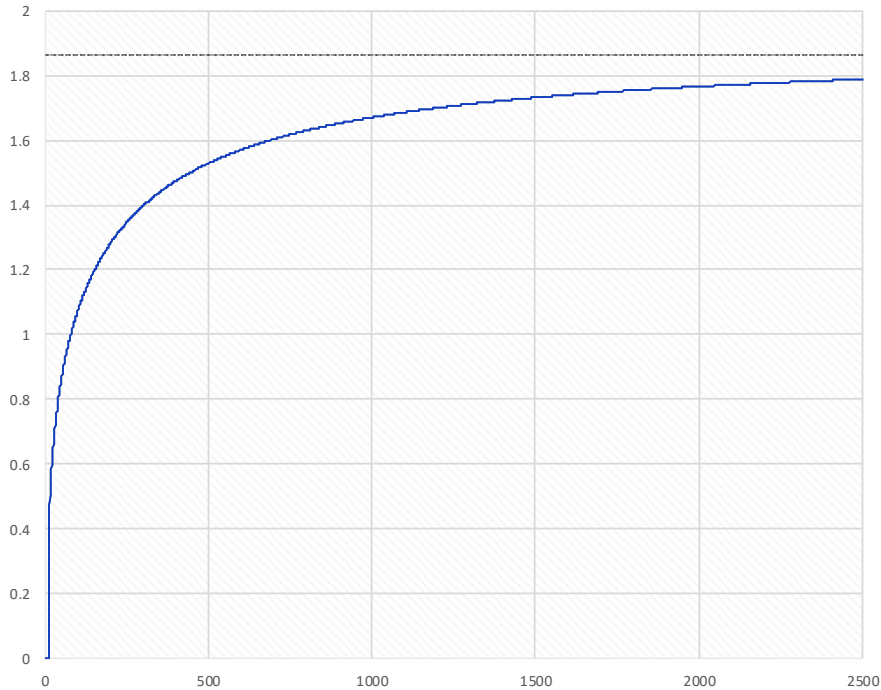


Figura 23 - Andamento del coefficiente di viscosità della trave in C.A.P.

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

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

dimensione fittizia pari a $2A_c/u$ A_c

h_0 **600.0** mm

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

tempo equivalente di applicazione del carico

t_0 **20.00** giorni

coef. Funzione della maturazione del cls

$\beta(t_0)$ 0.52

tempo di carico

170 giorni

coefficiente di viscosità

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

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**

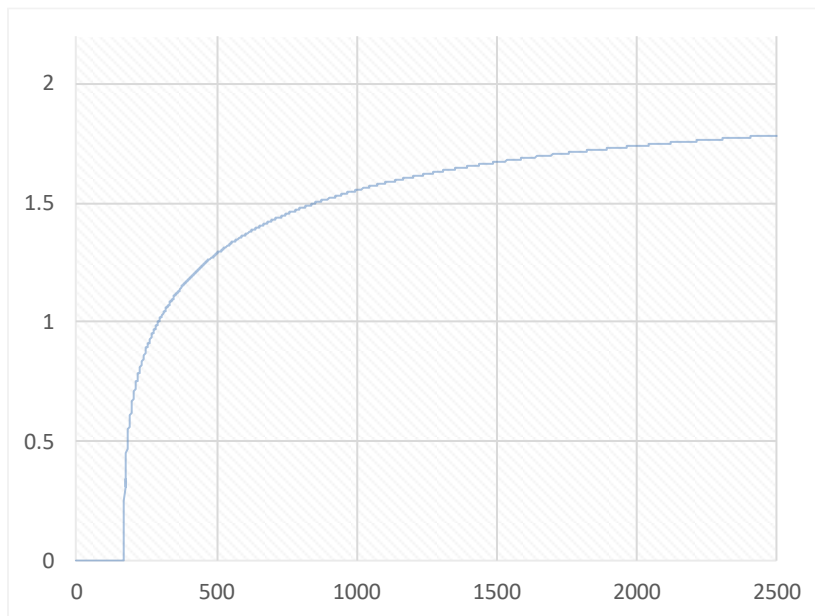


Figura 24 - Andamento coefficiente di viscosità della soletta

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

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	44 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

$$\text{Classe 1 } \frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 5,39 \rho_{1\,000} e^{5,7\mu} \left(\frac{t}{1\,000}\right)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$$

$$\text{Classe 2 } \frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 0,66 \rho_{1\,000} e^{9,1\mu} \left(\frac{t}{1\,000}\right)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$$

$$\text{Classe 3 } \frac{\Delta\sigma_{pr}}{\sigma_{pi}} = 1,98 \rho_{1\,000} e^{8\mu} \left(\frac{t}{1\,000}\right)^{0,75(1-\mu)} 10^{-5}$$

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;

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

ovvero:

$$\Delta\sigma_{pr,i} = 0,66 \rho_{1\,000} e^{9,09\mu} \left(\frac{t_e + \Delta t_i}{1\,000}\right)^{0,75(1-\mu)} \left\{ \sigma_{pi} + \sum_1^{i-1} \Delta\sigma_{pr,j} \right\} 10^{-5} - \sum_1^{i-1} \Delta\sigma_{pr,j}$$

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	$\Delta\sigma_1$	-75.40	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	$\Delta\sigma_{e+v,2}$	-232.83	MPa
tempo di riferimento	t_2	23000	giorni
percentuale di perdita a 1000h	ρ_{1000}	2.50	%
rapporto tra valore carat. e tensione	μ	0.78	
perdite per rilassamento a tempo t	$\Delta\sigma_{pr}(t)$	75.11	MPa
perdita per rilassamento al tempo t4	$\Delta\sigma_{pr}(t_4)$	0.00	MPa

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

perdite per rilassamento a tempo t_{oo} $\Delta\sigma_{pr} (t_{oo})$ **75.11** MPa

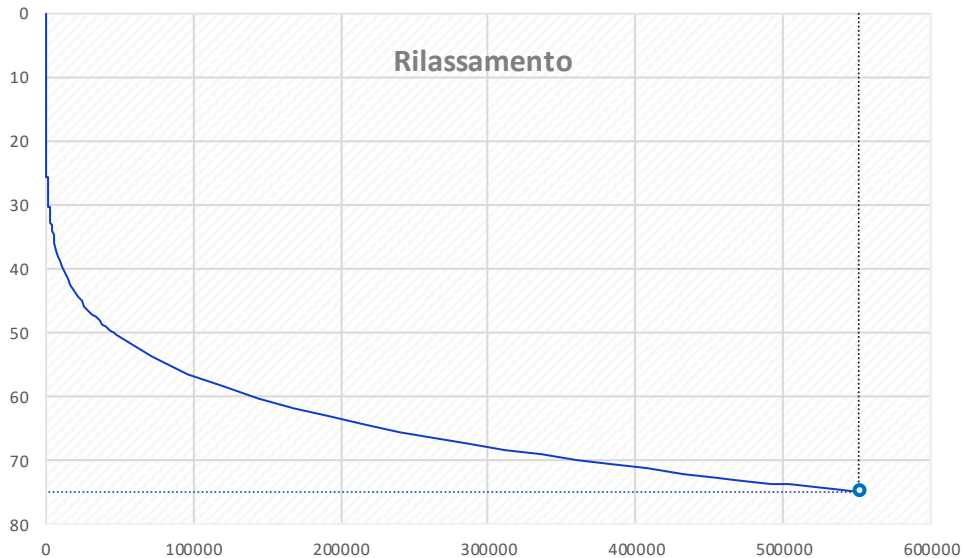


Figura 25 - Andamento delle perdite per rilassamento del cavo

4.8.3 Resistenze passive dei vincoli

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

4.9 Azioni sismiche

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

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

4.9.1 Inquadramento sismico

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

Longitudine: 8.298503

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

Latitudine: 44.16994

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	0.033	2.552	0.208
SLD	113	0.043	2.540	0.237
SLV	1068	0.121	2.514	0.306
SLC	2193	0.163	2.520	0.319

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

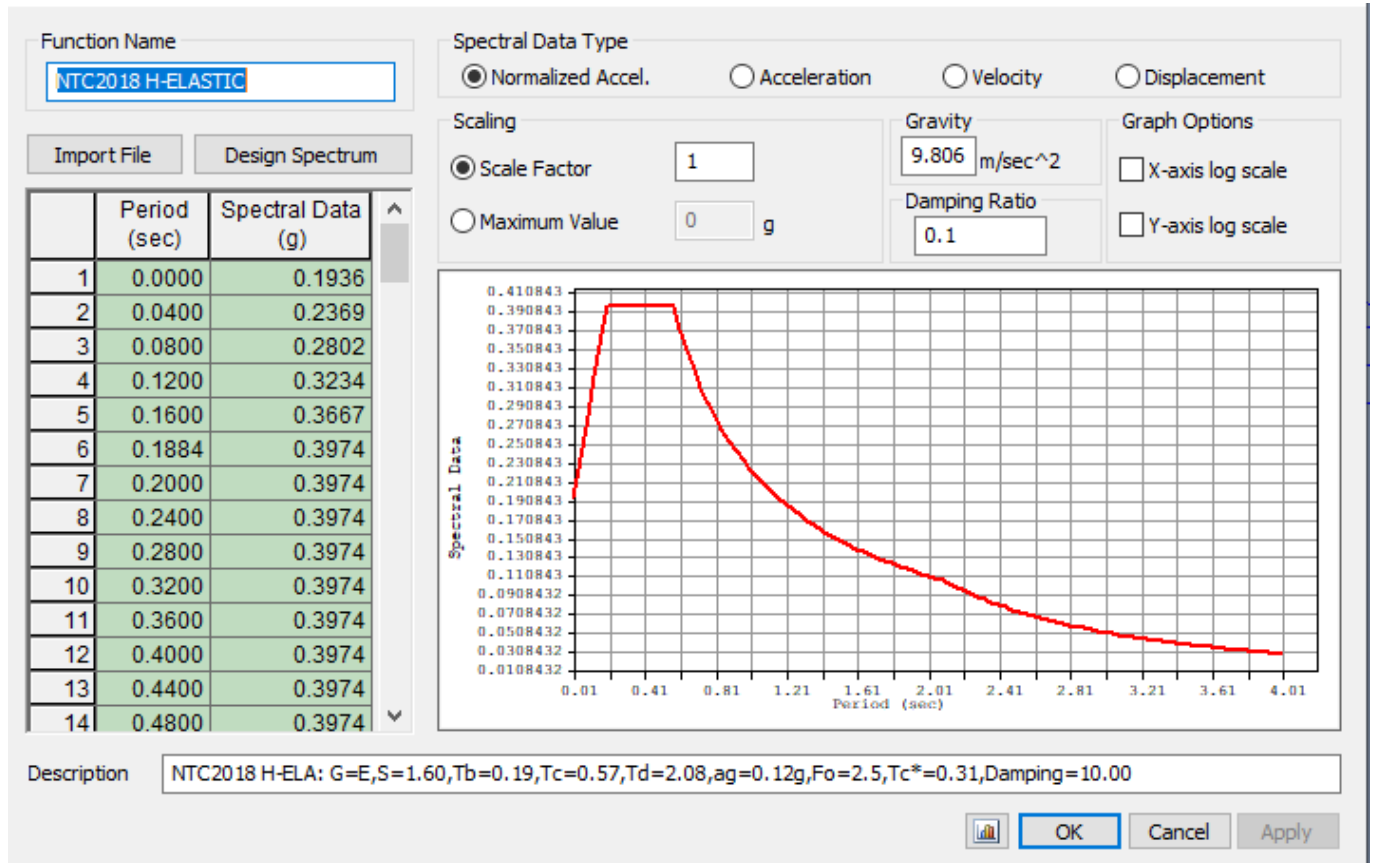


Figura 26: Spettro di risposta orizzontale e verticale allo SLV

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A	FOGLIO 48 di 131

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 VI01</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0108 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 49 di 131</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 VI01</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0108 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 50 di 131</p>

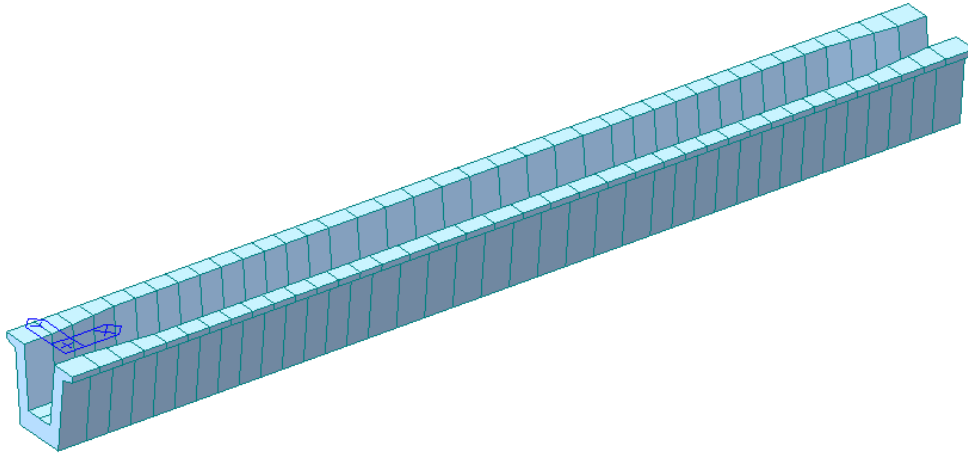



Figura 27 – modello di calcolo f.e.m. fase 0

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.

 <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 VI01</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0108 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 51 di 131</p>

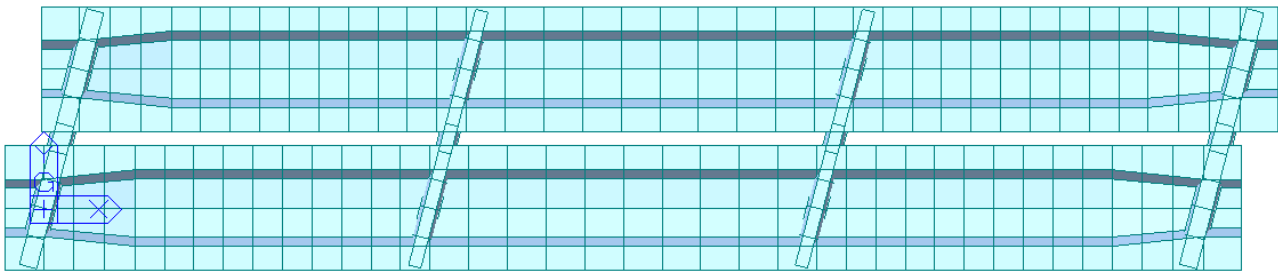
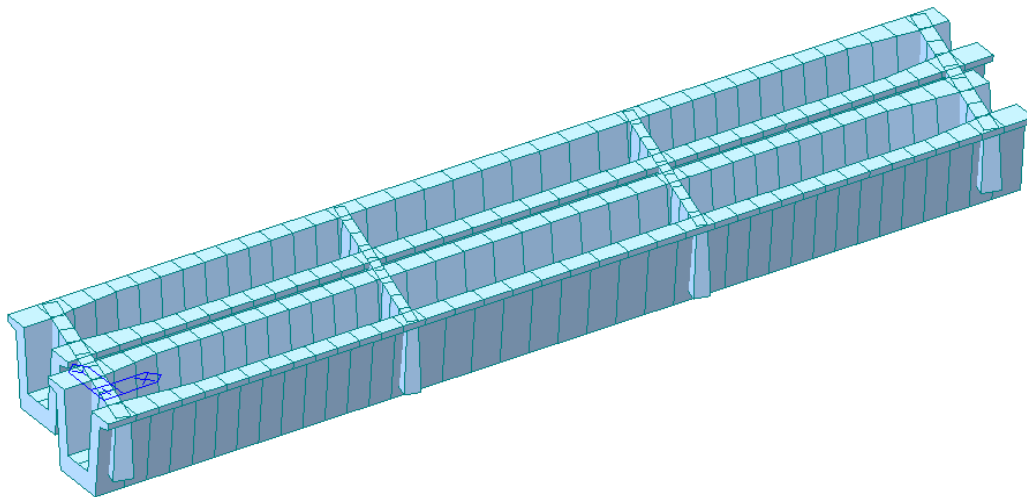


Figura 28 – modello di calcolo f.e.m. fase 1

5.1.3 *Modello fase 2*

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

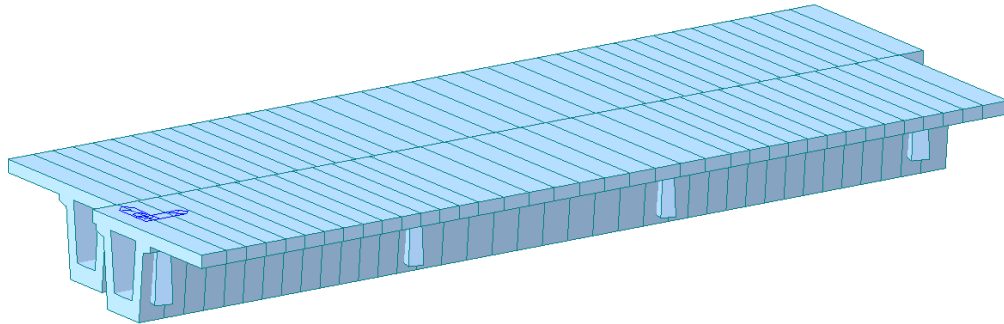


Figura 29 – Modello di calcolo f.e.m. fase 2

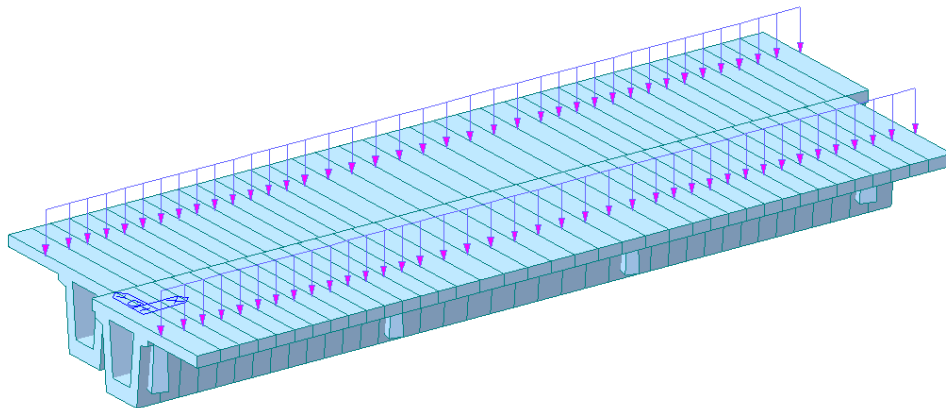


Figura 30 – Modello fase 2 – carico impermeabilizzazione

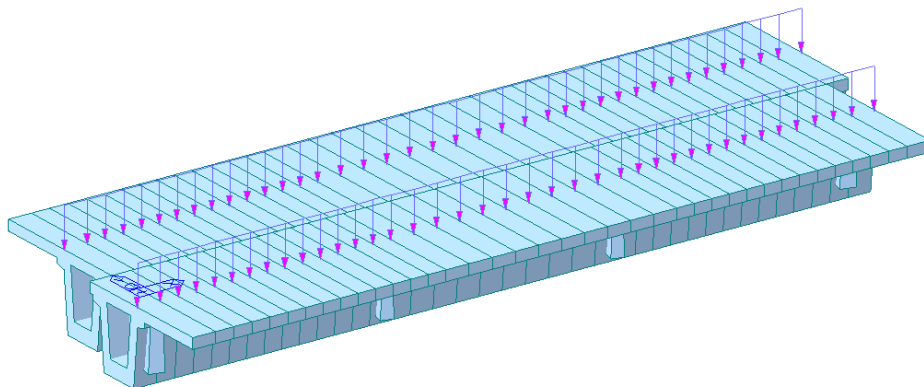


Figura 31 – Modello fase 2 – carico muretti paraballast

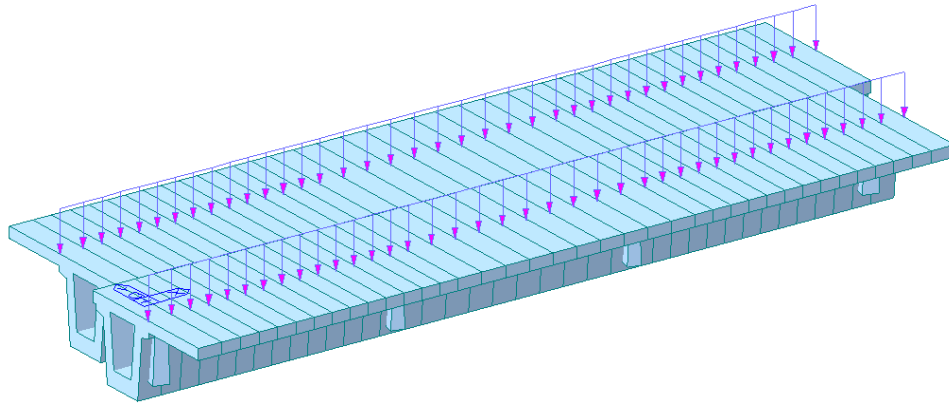


Figura 32 – Modello fase 2 – carico canalette prefabbricate

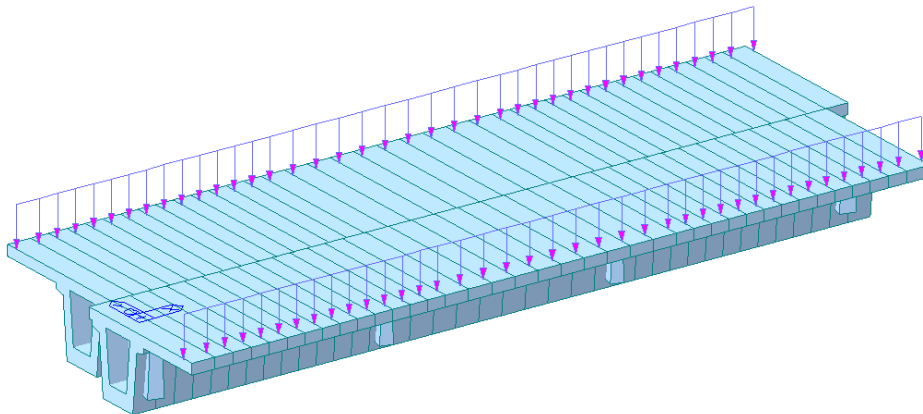


Figura 33 – Modello fase 2 – carico cordoli laterali

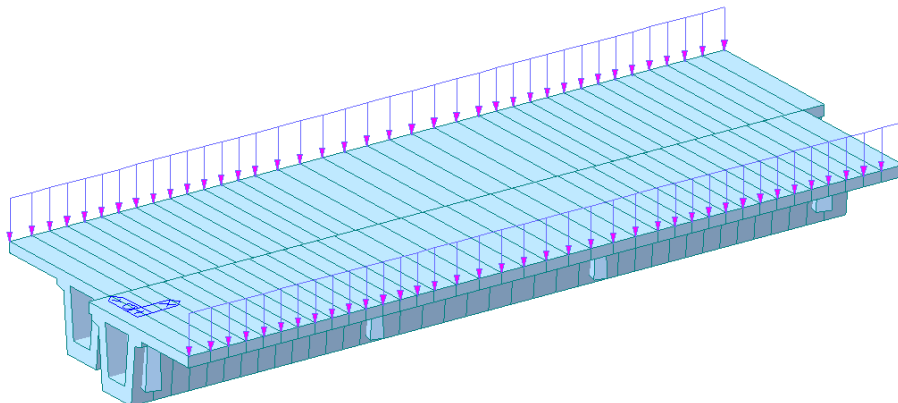


Figura 34 – Modello fase 2 – carico velette prefabbricate

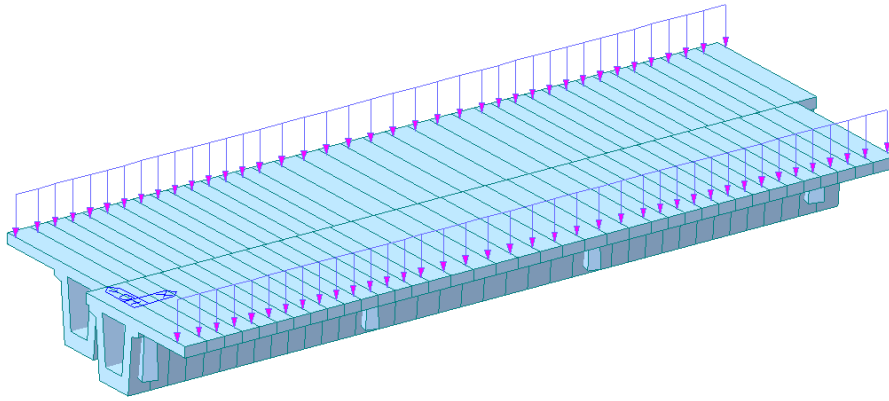


Figura 35 – Modello fase 2 – carico barriera antirumore

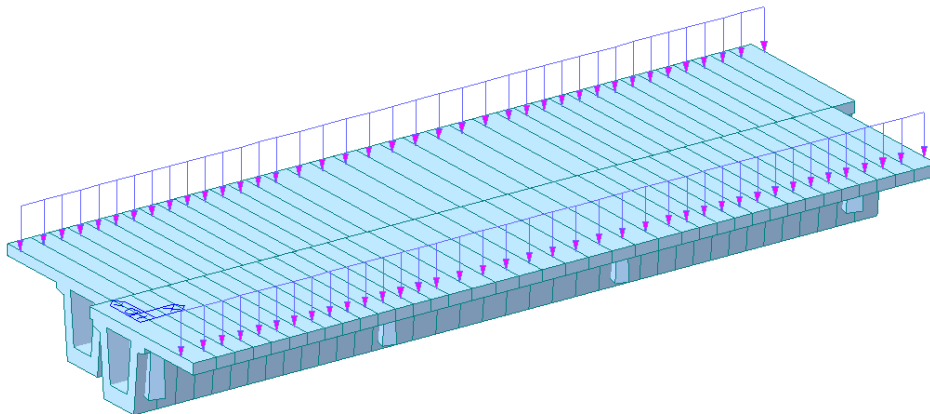


Figura 36 – Modello fase 2 – carico parapetti

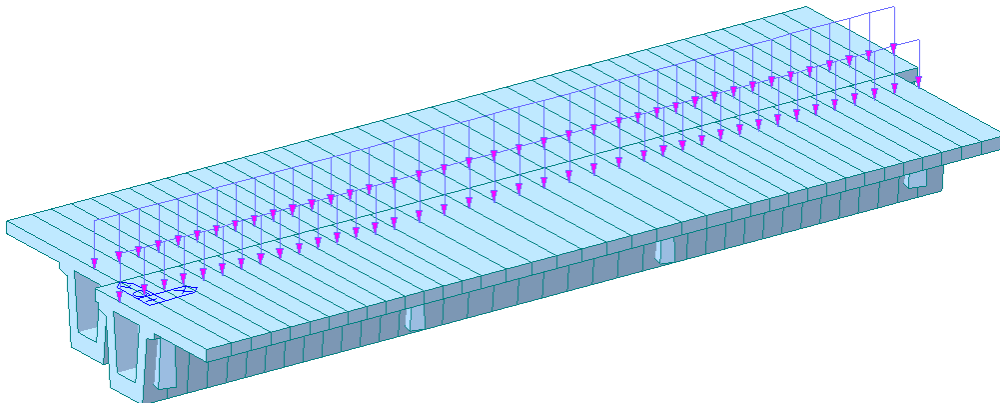


Figura 37 – Modello fase 2 – carico ballast

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A	FOGLIO 55 di 131

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).

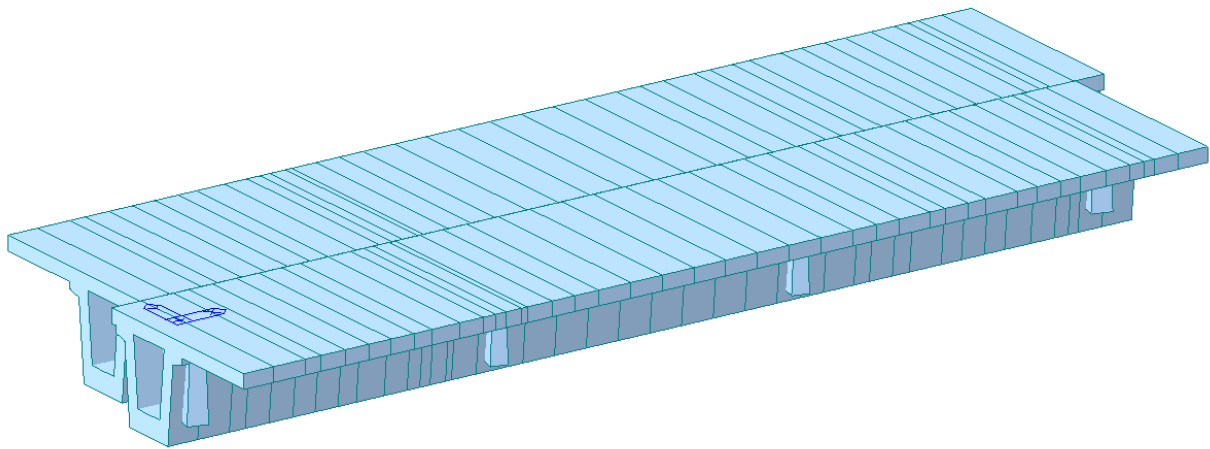


Figura 38 – modello di calcolo f.e.m. fase 3

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

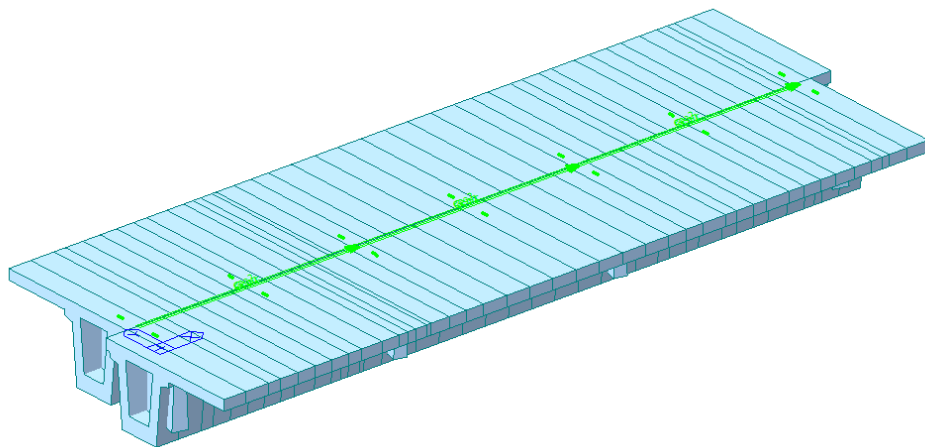


Figura 39 - Linee di carico ferroviario

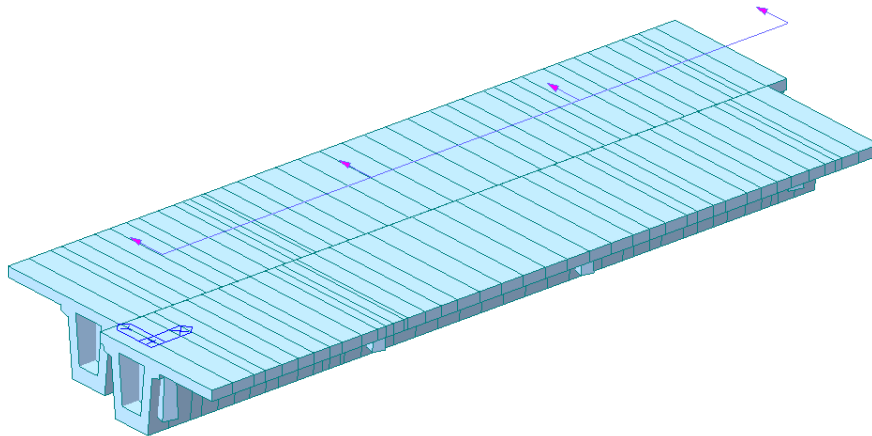


Figura 40 – modello fase 3 – Forza centrifuga

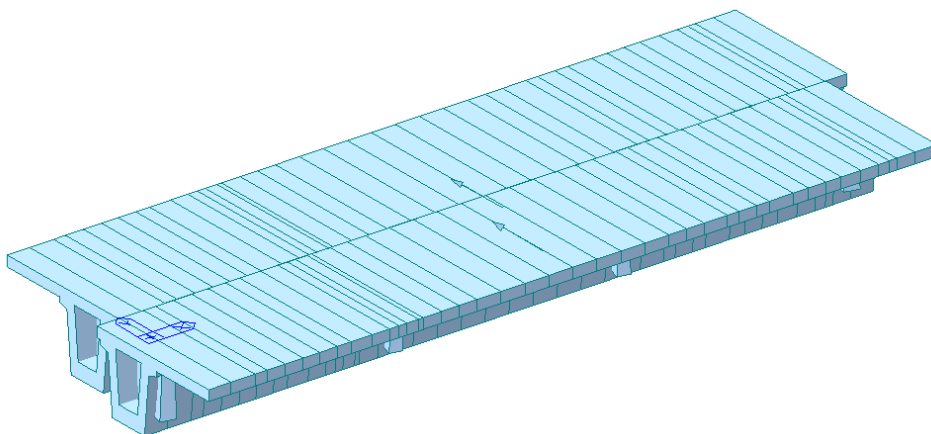


Figura 41 – modello fase 3 – Serpeggio

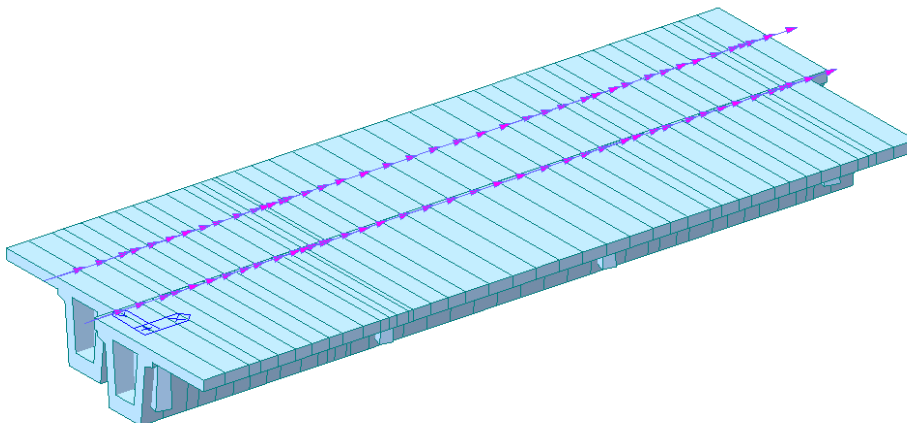


Figura 42 – modello fase 3 – Forze di avviamento e frenatura

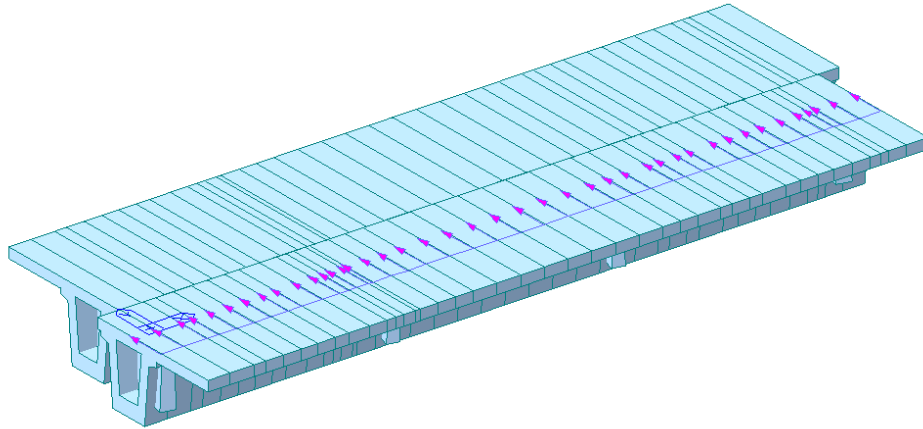


Figura 43 - Vento trasversale

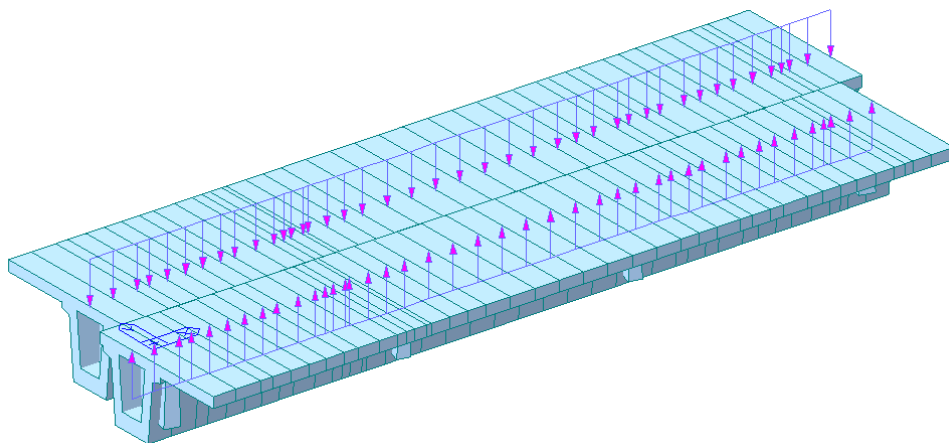


Figura 44 - Vento di rollio

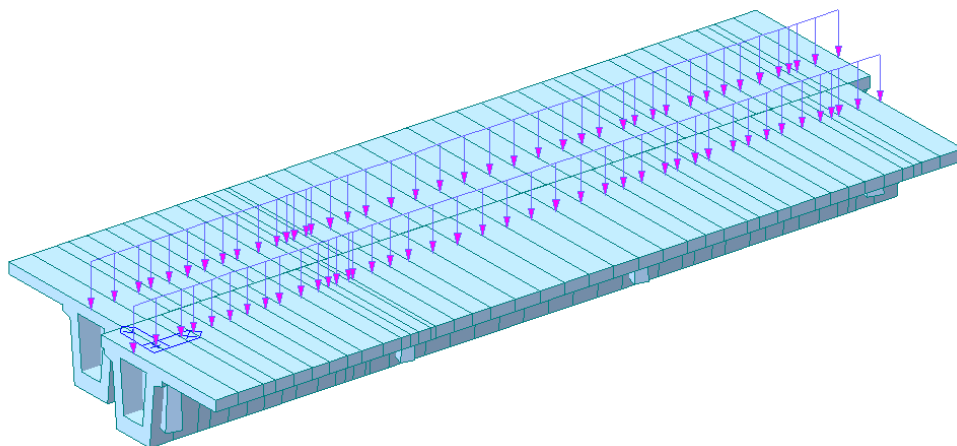


Figura 45 - Vento verticale

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO

Relazione di calcolo impalcato VI01

IV01 00 D 09 CL VI0108 001 A 58 di 131

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 impalcati con 2 binari caricati e (0,4) per impalcati con tre o più binari caricati.

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	59 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01
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 4 - 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	VI0108 001	A	60 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

- 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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	61 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

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
----	----	---	---	---	---	-----	---	---	---

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

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 VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 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), 76 trefoli
- Sezione 6: sezione corrente in mezzeria ($x=11.4$ m), 76 trefoli

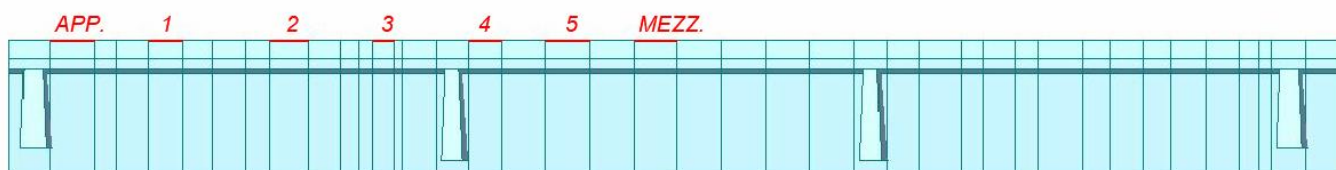



Figura 46 - Schema sezioni di calcolo

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 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

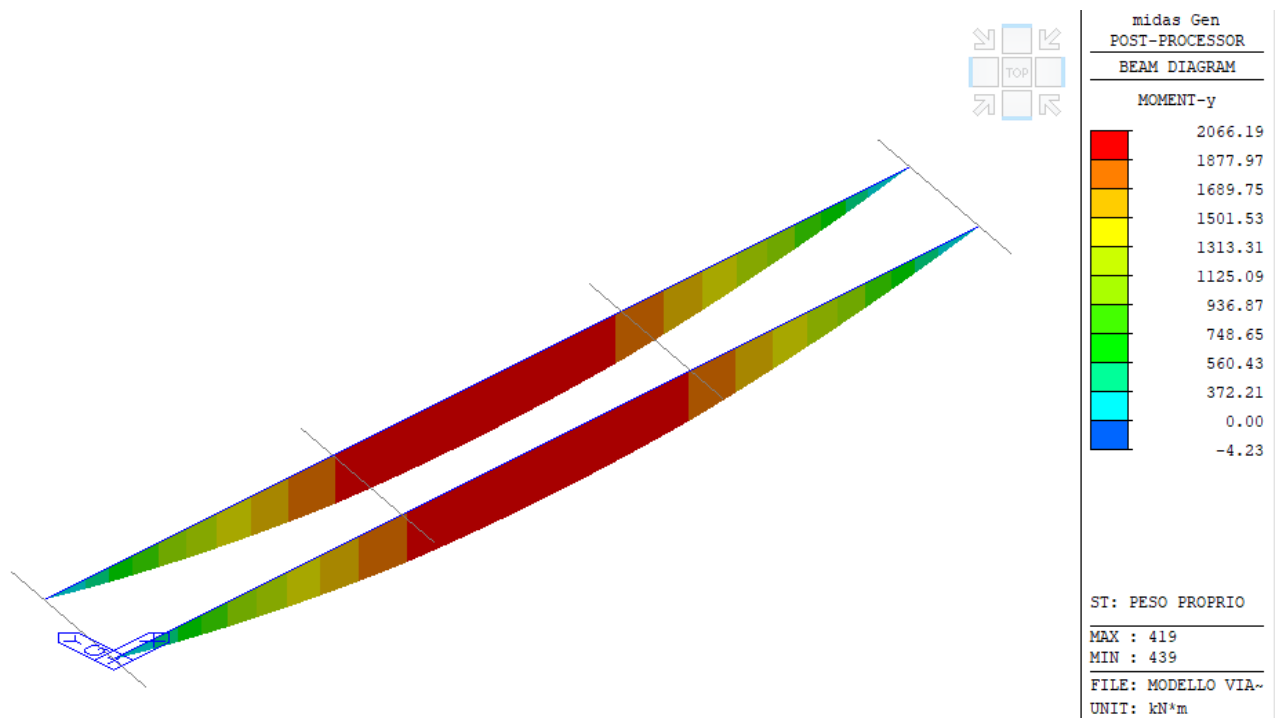


Figura 47 - Sollecitazione flessionale – peso proprio

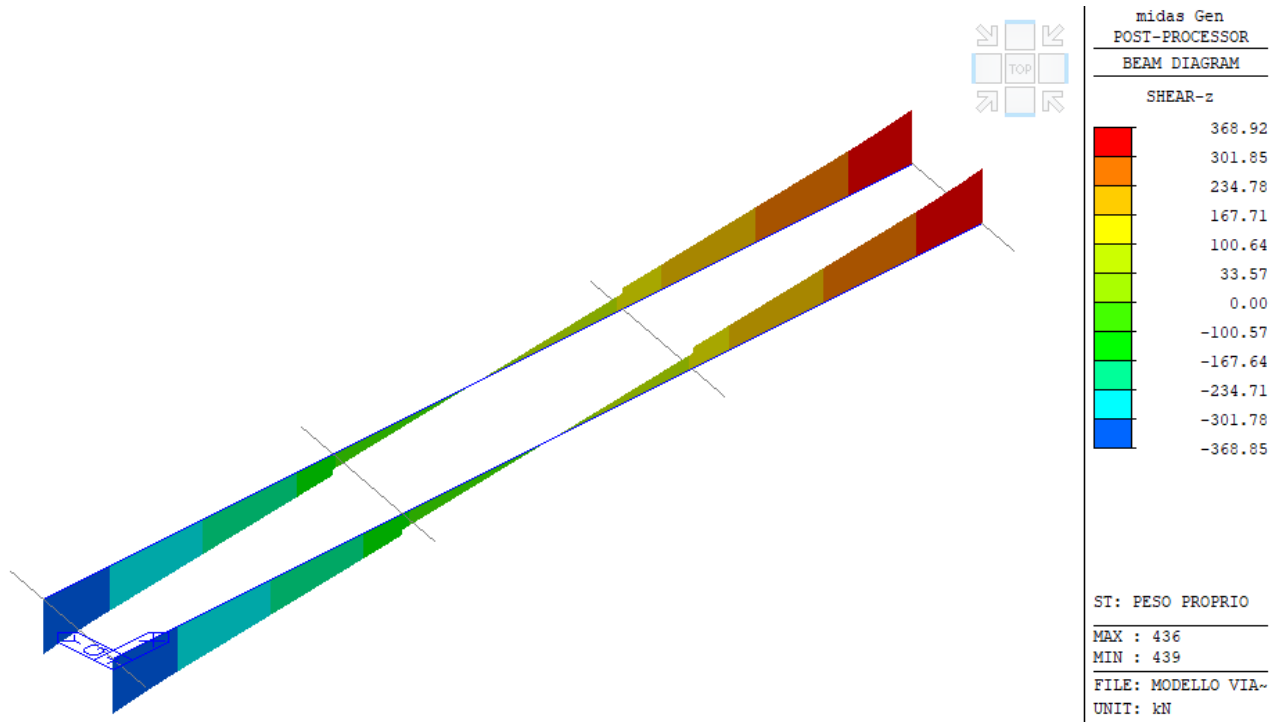


Figura 48 - Sollecitazione di taglio – peso proprio

	M (kN m)	T (kN)
appoggio	2	-368
sezione 1	596	-298
sezione 2	1073	-251
sezione 3	1581	-187
sezione 4	1865	-105
sezione 5	2033	-43
mezzeria	2066	-1

Fase 1 – getto della soletta

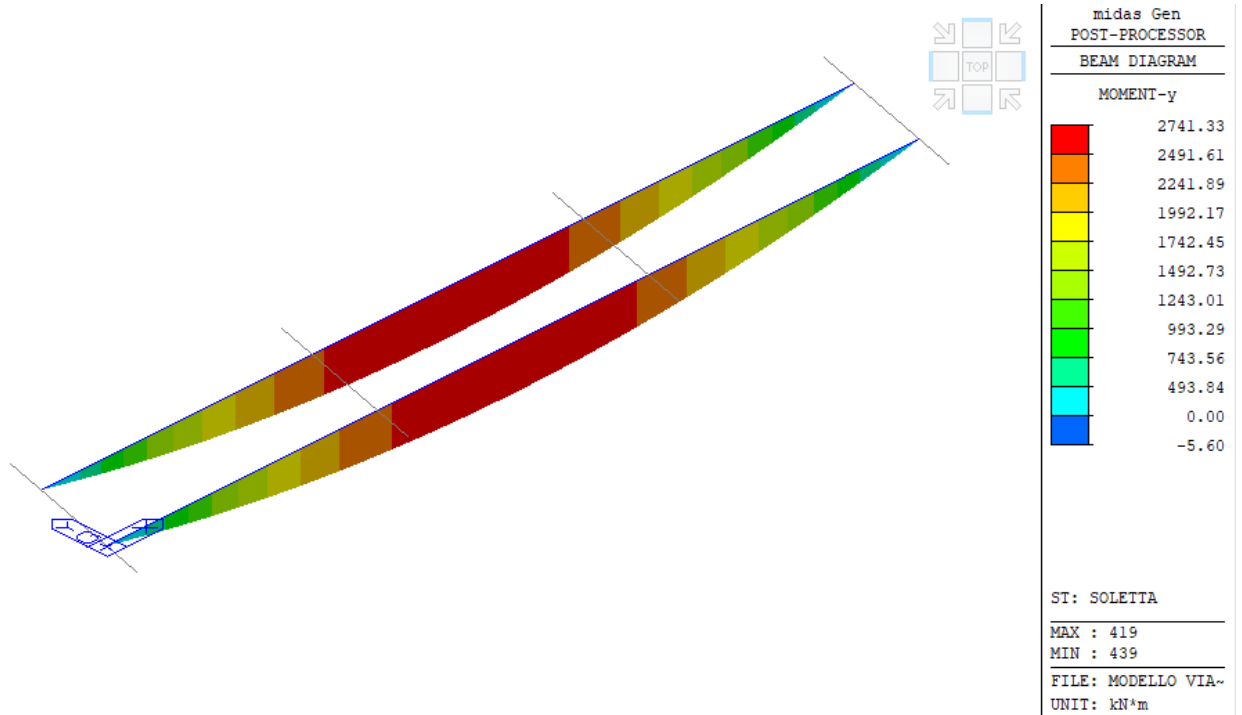


Figura 49 - Sollecitazione flessionale – Getto della soletta

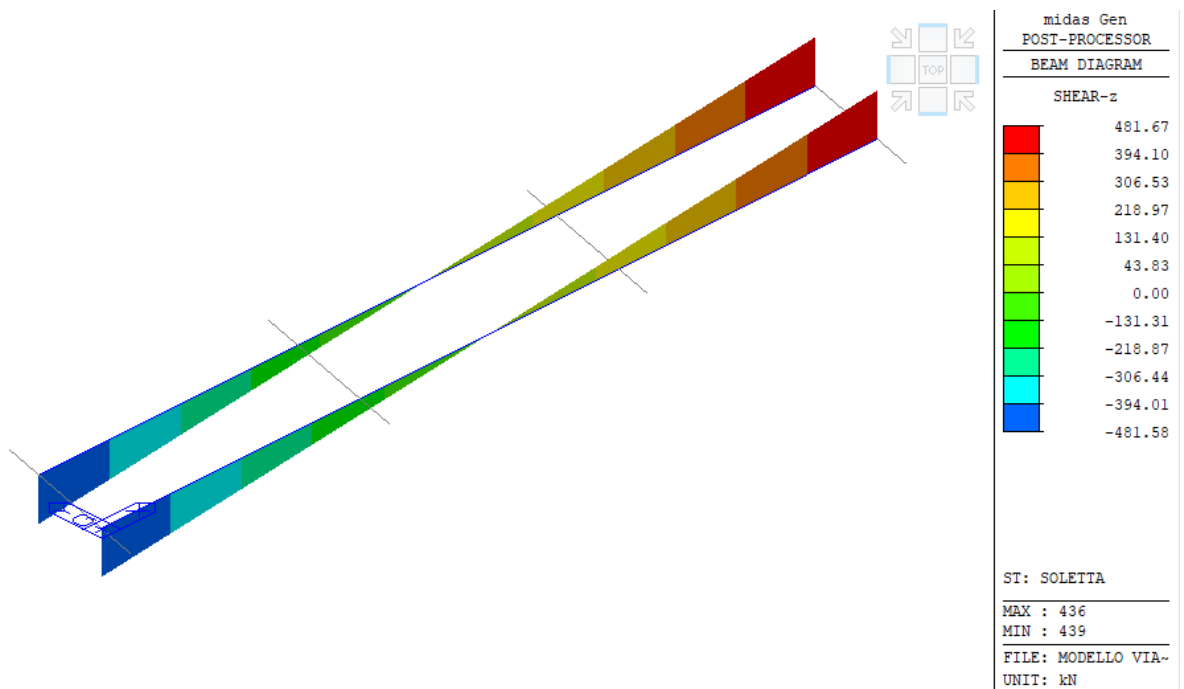



Figura 50 - Sollecitazione di taglio – Getto della soletta

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

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

	M (kN m)	T (kN)	M (kN m)	T (kN)
appoggio	5	-848	3	-480
sezione 1	1395	-702	799	-404
sezione 2	2511	-581	1438	-331
sezione 3	3673	-420	2092	-233
sezione 4	4296	-267	2431	-162
sezione 5	4723	-108	2690	-66
mezzeria	4808	-2	2741	-1

Fase 2 – carichi permanenti

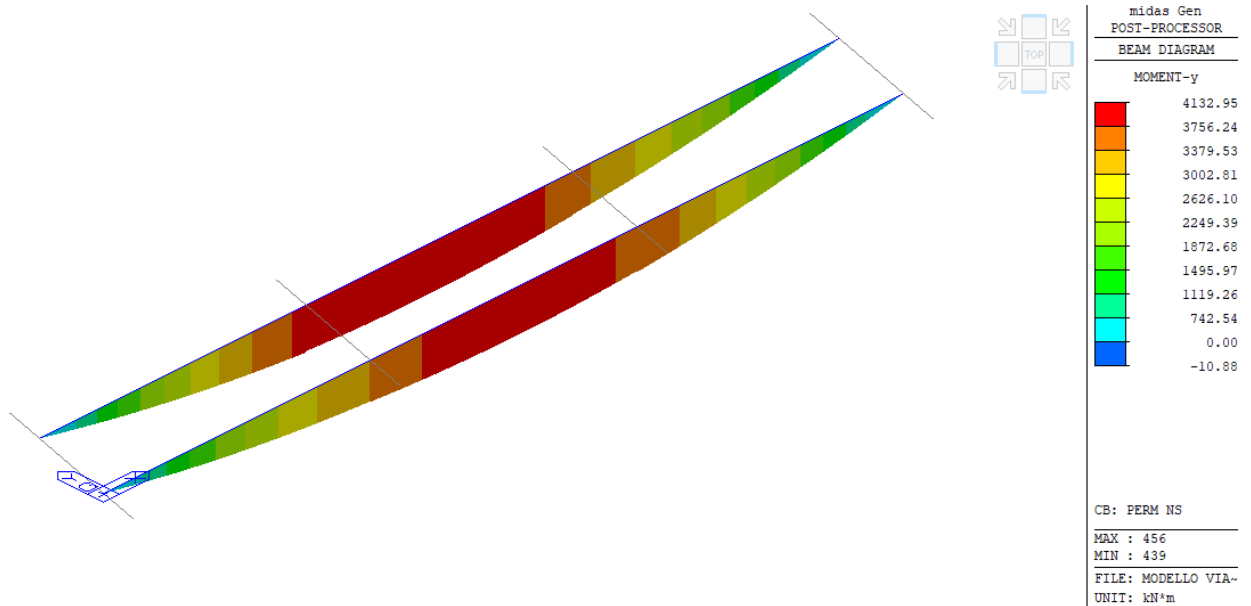


Figura 51 - Sollecitazione flessionale – carichi permanenti

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

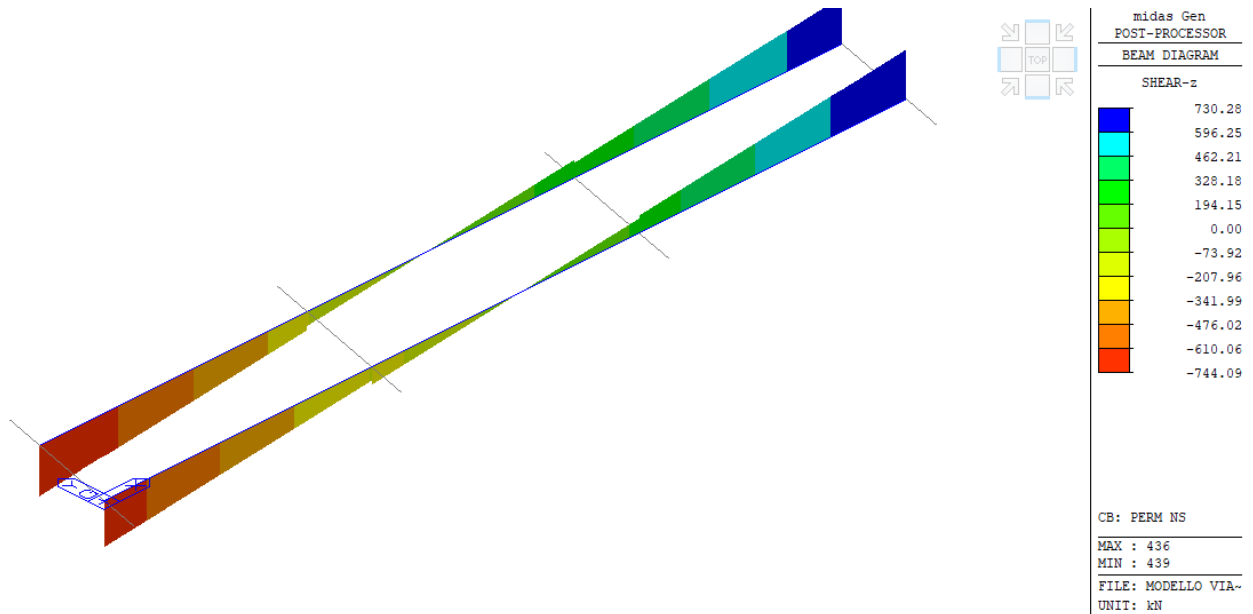


Figura 52 - Sollecitazione di taglio – carichi permanenti

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

	M (kN m)	T (kN)	M (kN m)	T (kN)
appoggio	-2	-1533	-7	-685
sezione 1	2533	-1271	1139	-569
sezione 2	4545	-1041	2034	-460
sezione 3	6604	-734	2931	-314
sezione 4	7728	-533	3432	-266
sezione 5	8600	-231	3876	-123
mezzeria	8799	-30	3991	-28

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

Fase 3: condizione di servizio

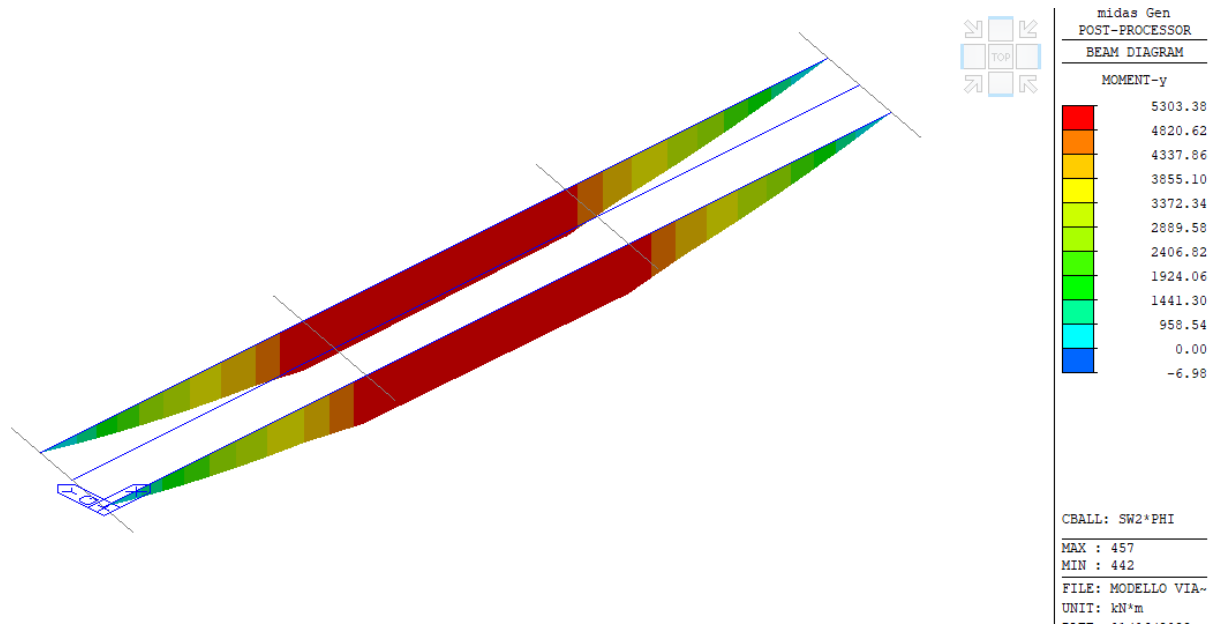


Figura 53 - Sollecitazione flessionale - involucro carichi da traffico – max tra SW2 e LM71

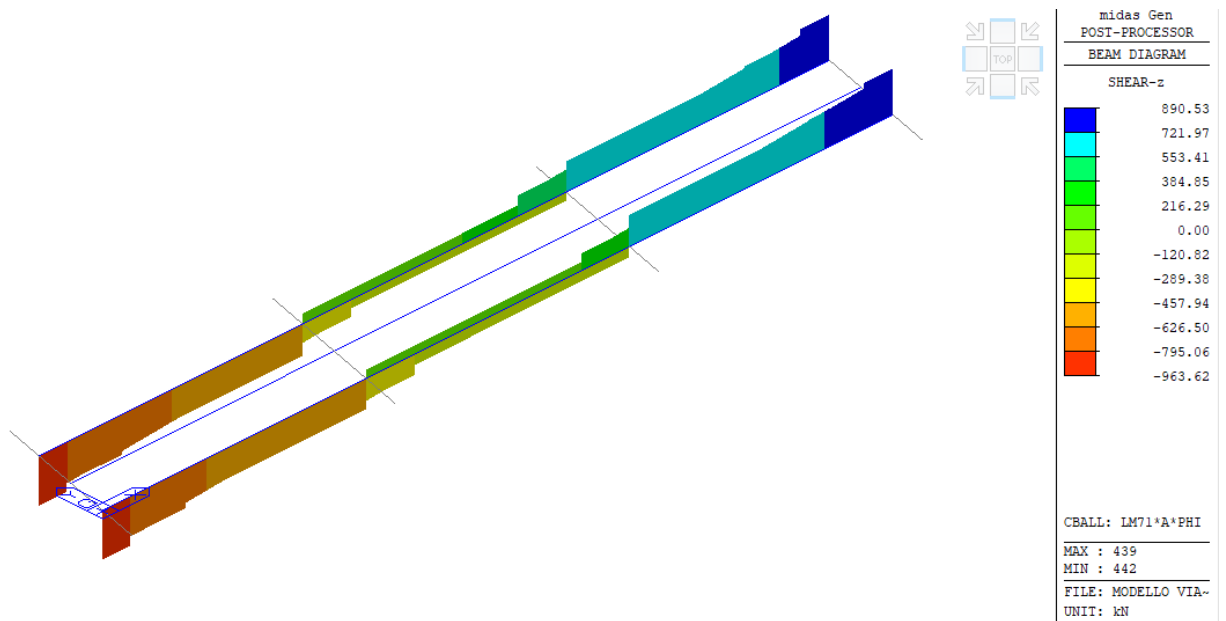



Figura 54 - Sollecitazione di taglio - involucro carichi da traffico – max tra SW2 e LM71

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

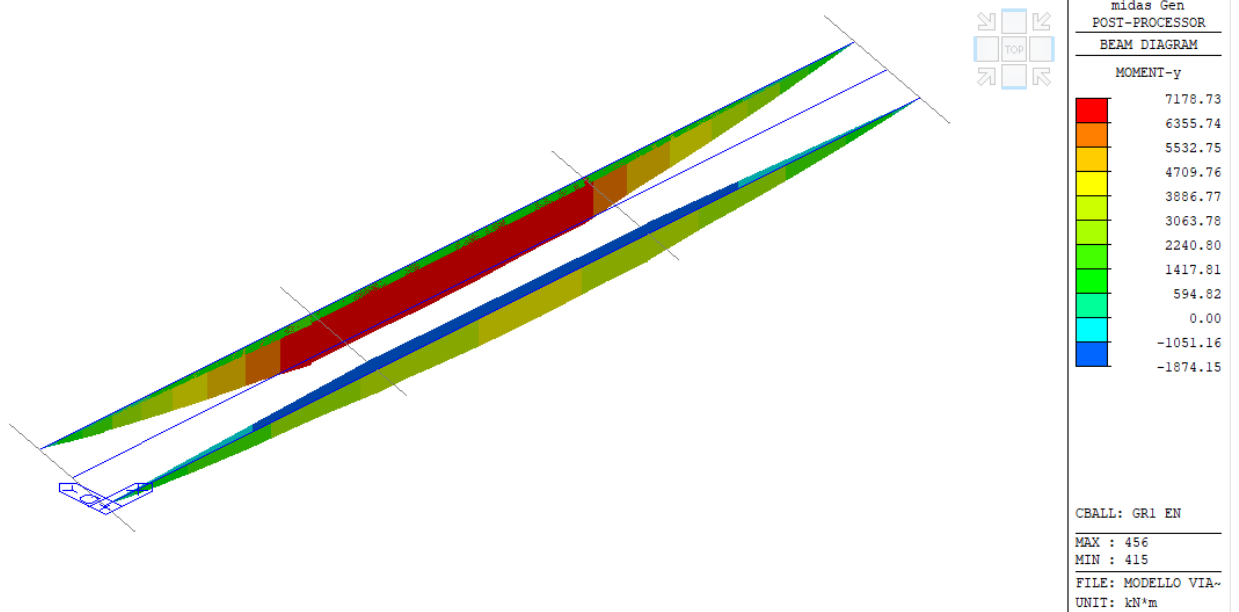


Figura 55 - Sollecitazione flessionale - involucro carichi da traffico – Gruppo 1

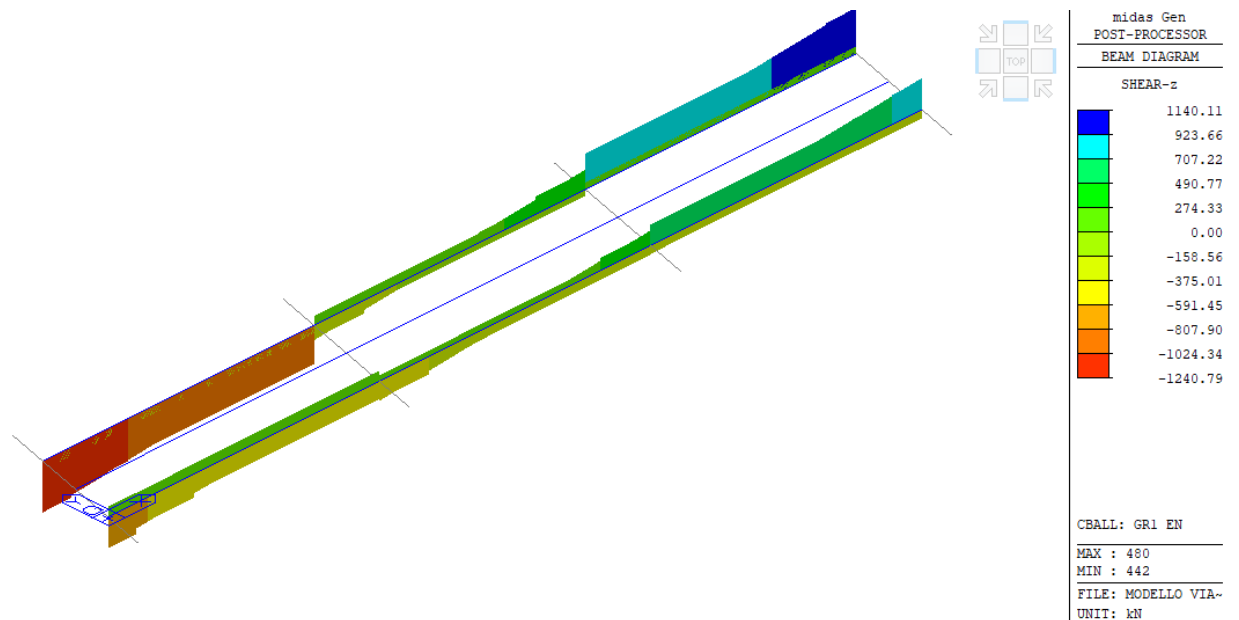


Figura 56 - Sollecitazione di taglio - involucro carichi da traffico – Gruppo 1

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	71 di 131

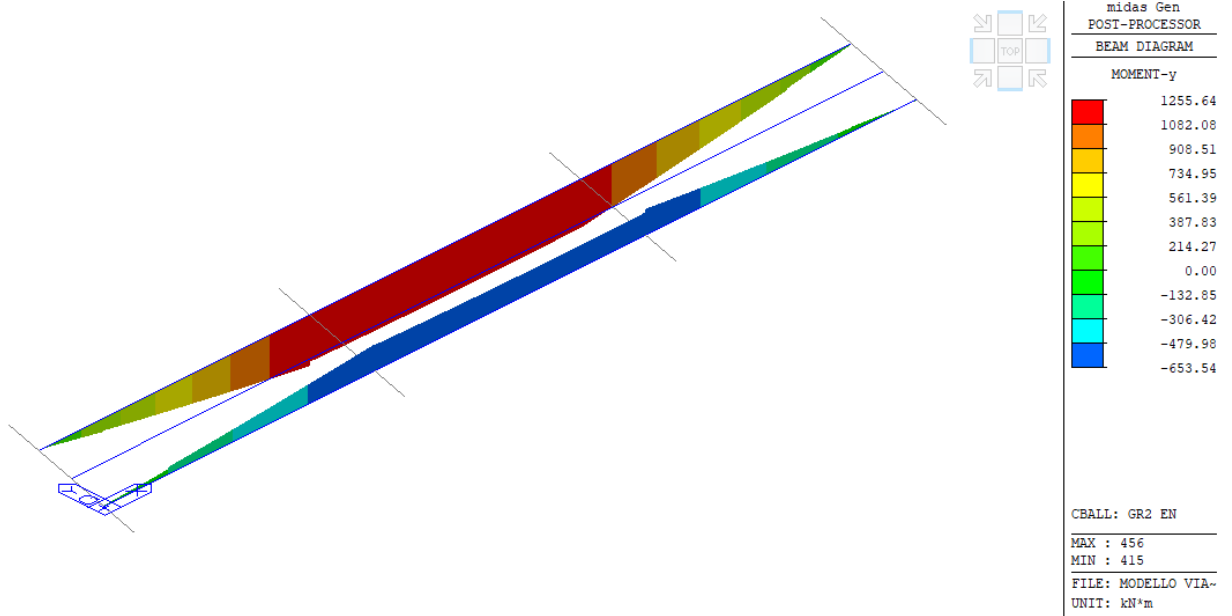


Figura 57 - Sollecitazione flessionale - involucro carichi da traffico – Gruppo 2

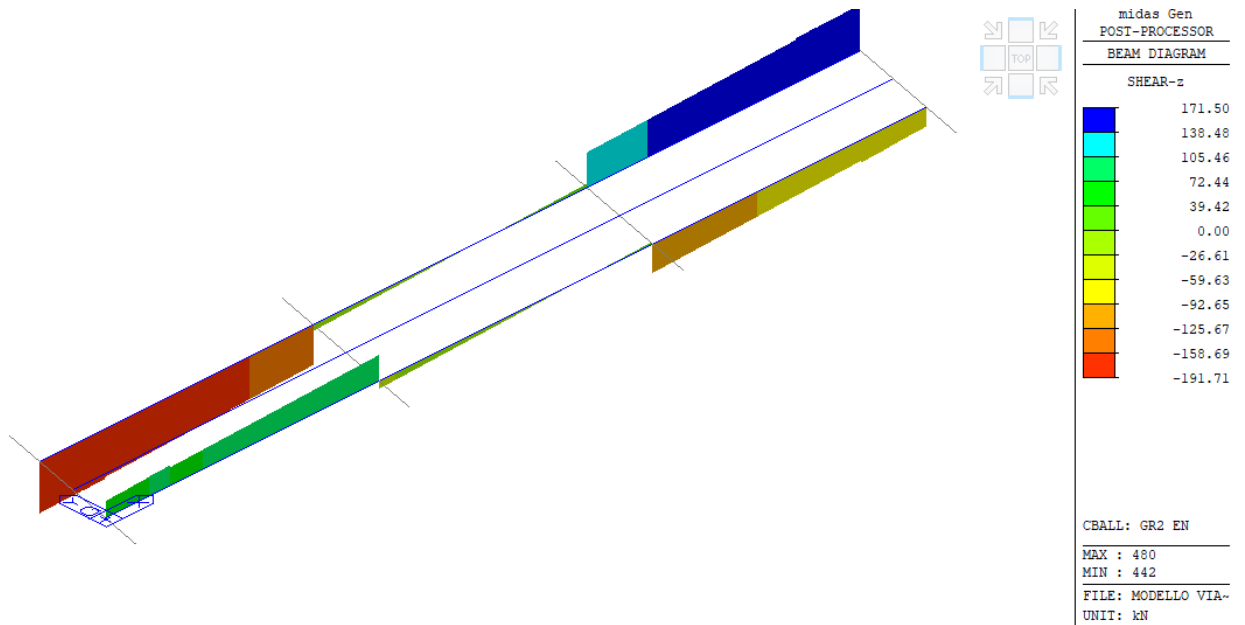


Figura 58 - Sollecitazione di taglio - involucro carichi da traffico – Gruppo 2

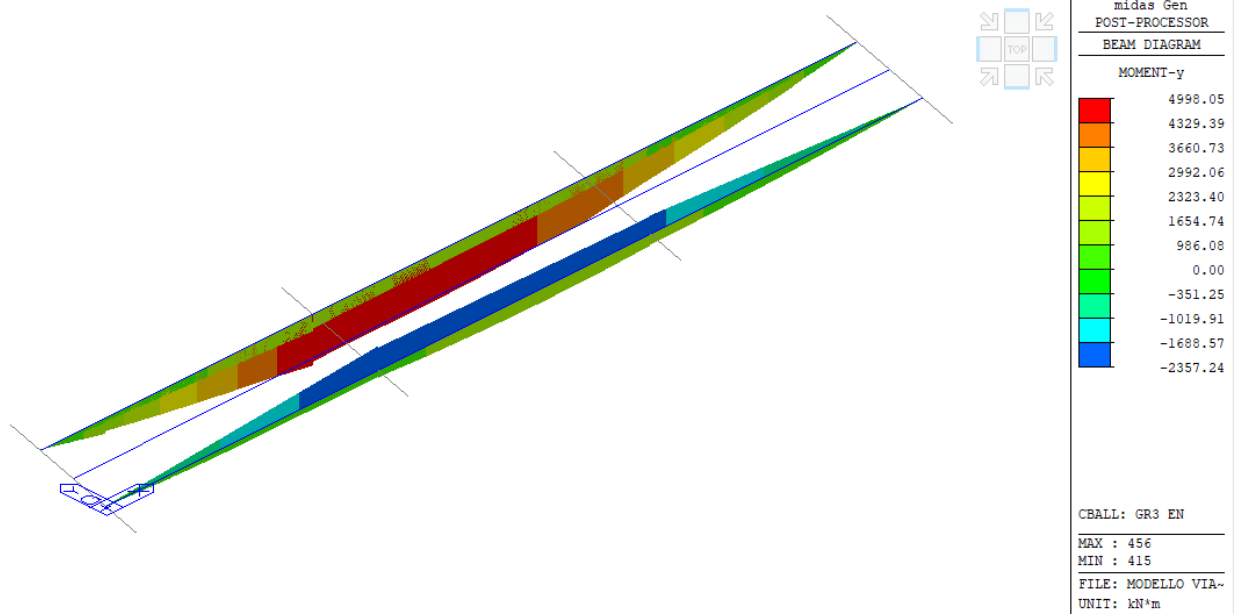


Figura 59 - Sollecitazione flessionale - involucro carichi da traffico – Gruppo 3

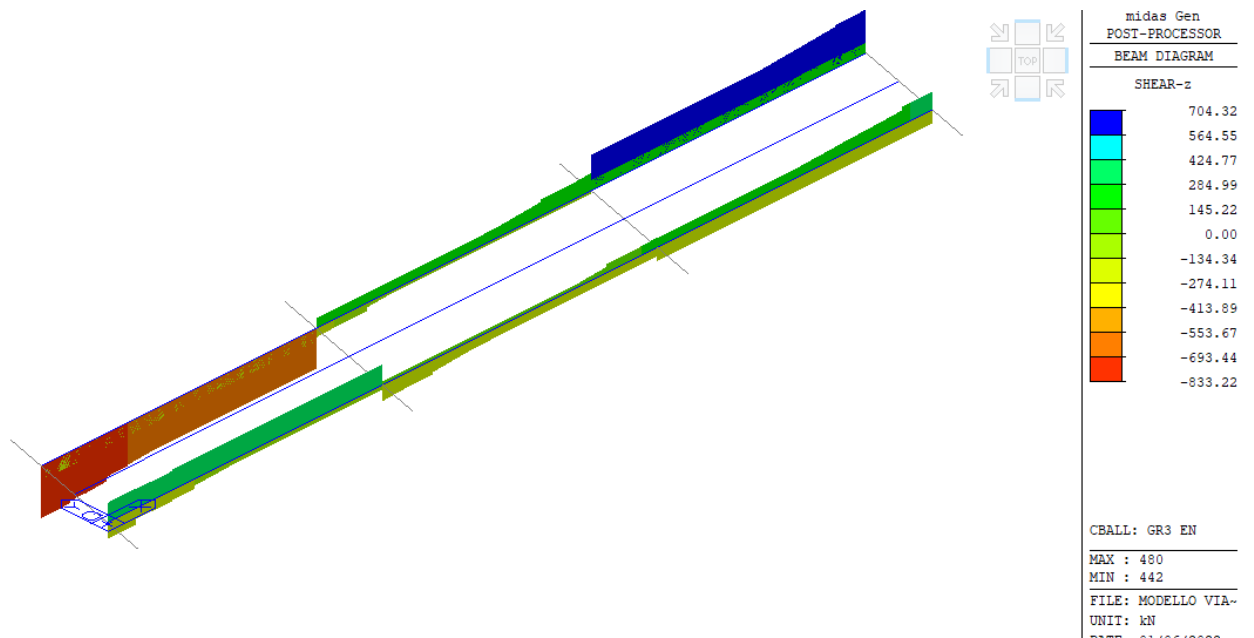


Figura 60 - Sollecitazione di taglio - involucro carichi da traffico – Gruppo 3

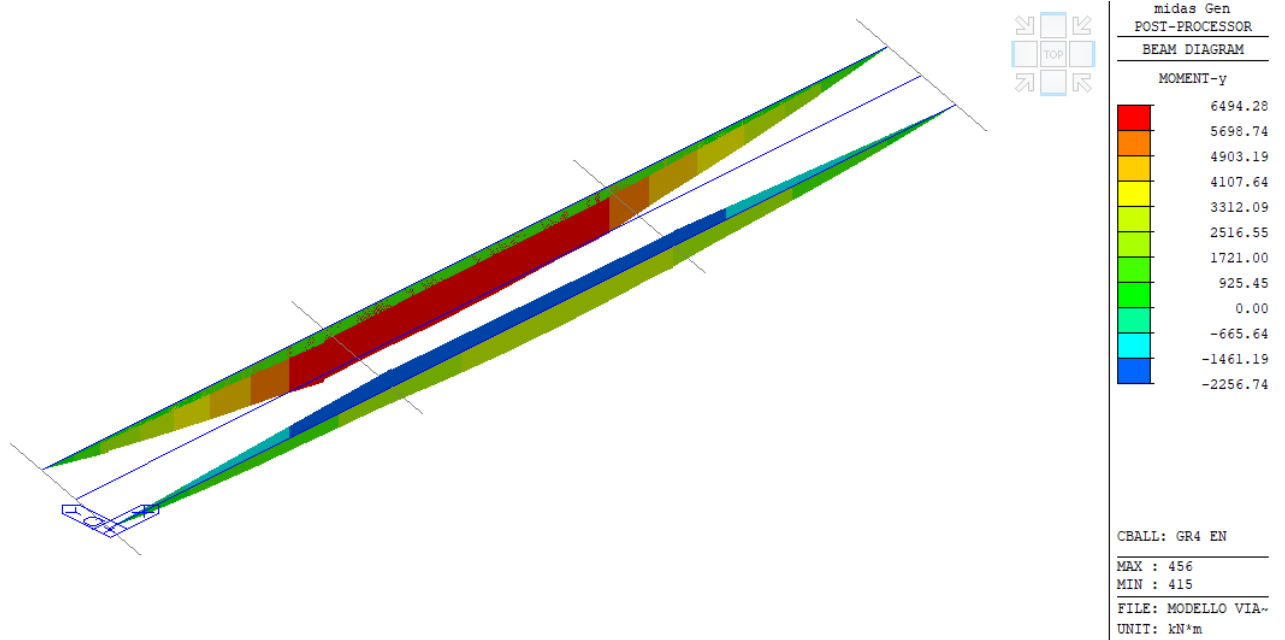


Figura 61 - Sollecitazione flessionale - involucro carichi da traffico – Gruppo 4

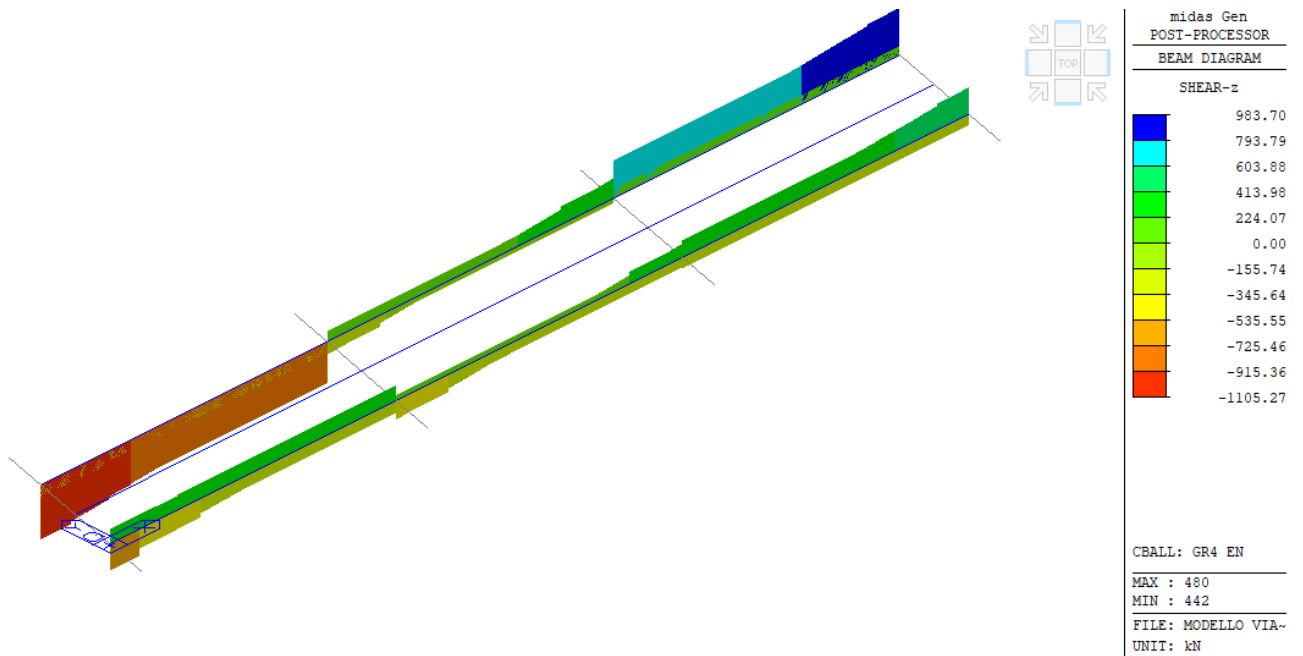


Figura 62 – Sollecitazione di taglio - involucro carichi da traffico – Gruppo 4

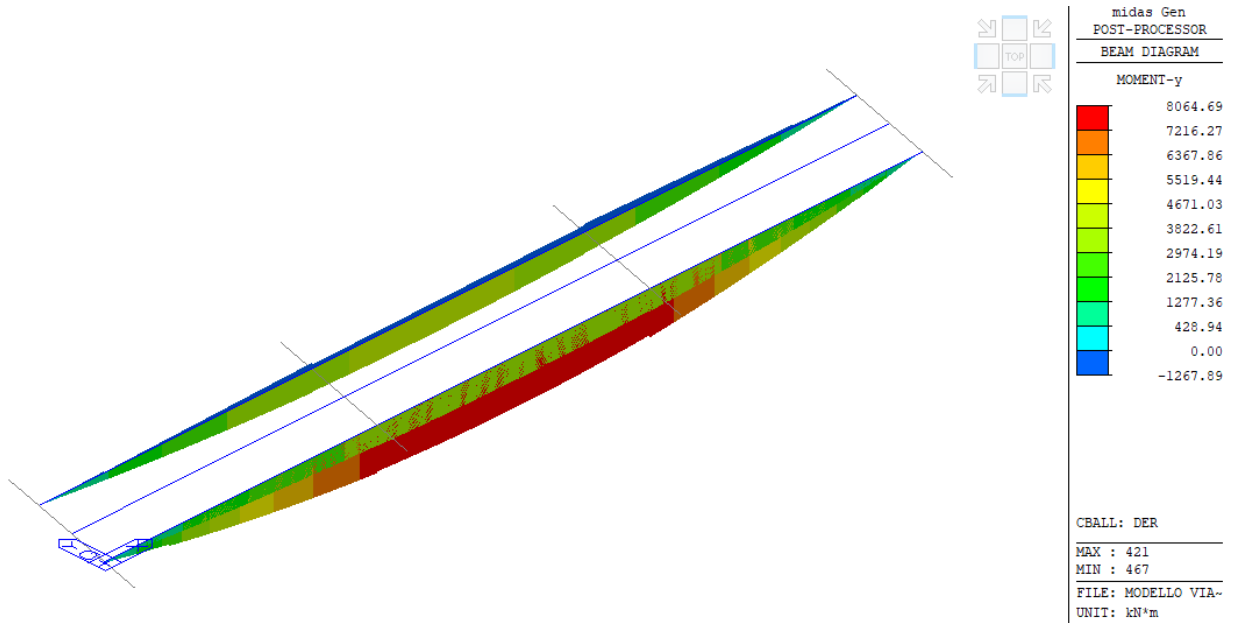


Figura 63 - Sollecitazione flessionale - involucro Deragliamento

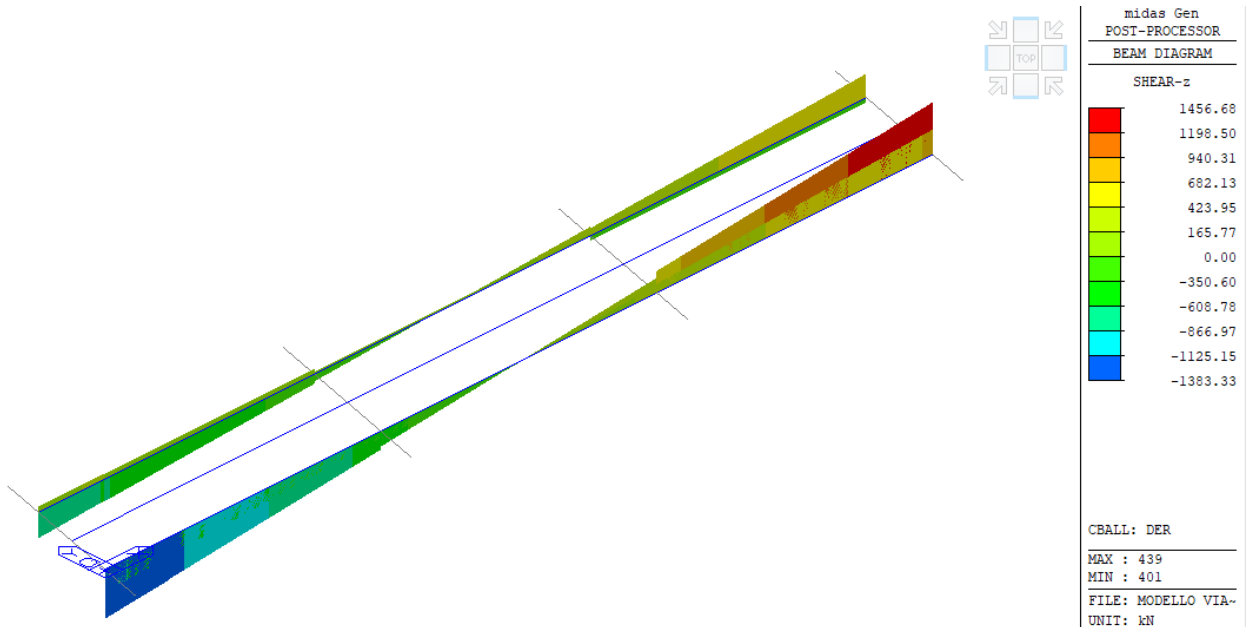


Figura 64 – Sollecitazione di taglio - involucro Deragliamento

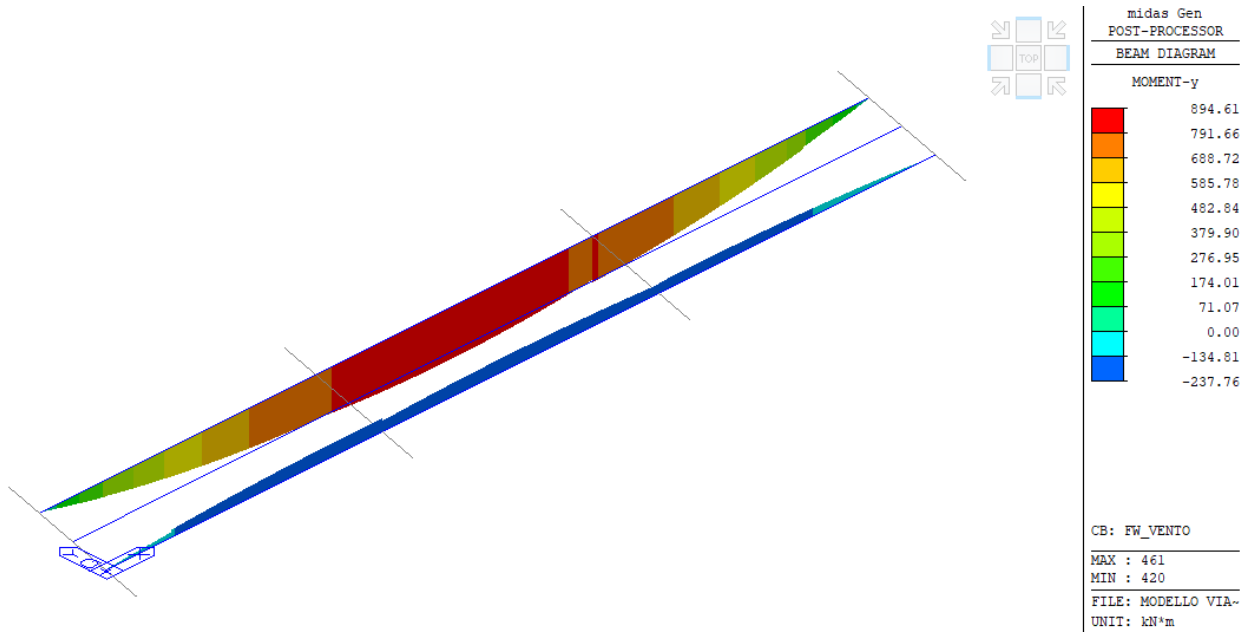


Figura 65 - Sollecitazione flessionale – carico da vento

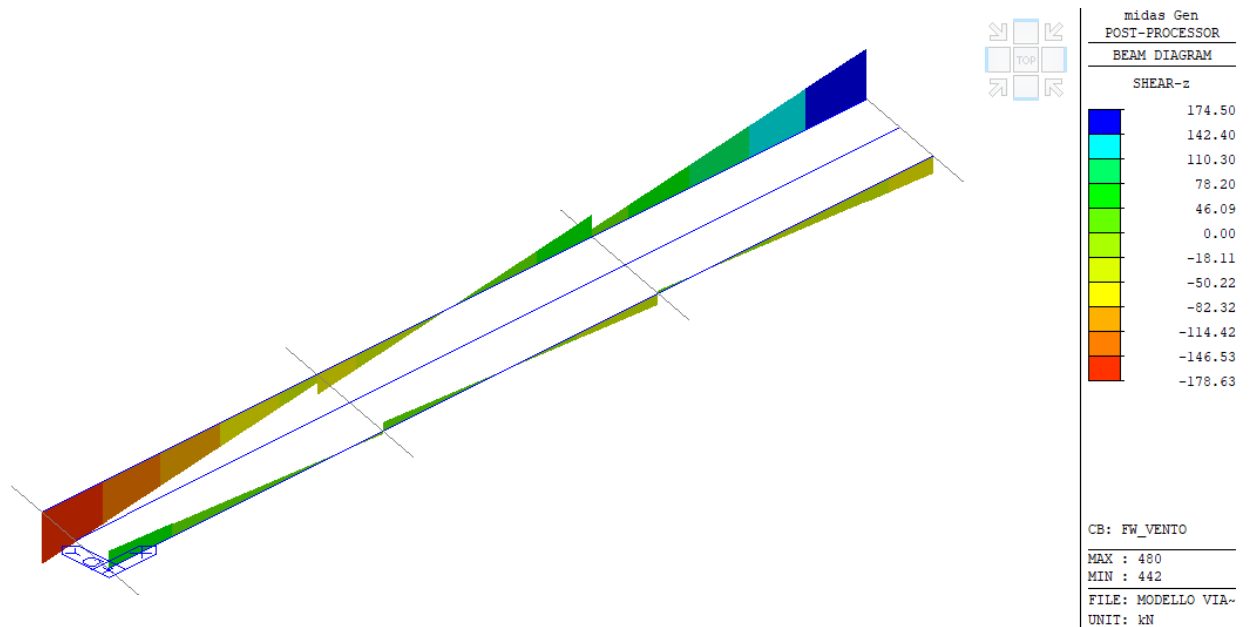


Figura 66 - Sollecitazione di taglio – carico da vento

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	76 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

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

Combinazione rara

	Mmax (kN m)	Tmax (kN)	Mmax (kN m)	Tmax (kN m)
appoggio	-76	-2870	-73	-1337
sezione 1	4700	-2407	2167	-1135
sezione 2	9041	-2035	4496	-994
sezione 3	12686	-1706	6081	-972
sezione 4	15218	-1041	7489	-508
sezione 5	16051	-597	7451	-366
mezzeria	16445	-249	7646	-219

Combinazione frequente

	Mmax (kN m)	Tmax (kN)	Mmax (kN m)	Tmax (kN)
appoggio	-42	-2268	-39	-736
sezione 1	3739	-1899	1206	-627
sezione 2	7058	-1599	2513	-557
sezione 3	10018	-1292	3414	-557
sezione 4	11971	-810	4242	-277
sezione 5	12786	-432	4187	-201
mezzeria	13078	-157	4280	-127

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

6.1.2 Verifiche tensionali

Si riportano di seguito le verifiche tensionali previste per gli SLE. Nello specifico si esplicitano i calcoli per la sezione di mezzeria, 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}	11384	cm ²
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xCLS, G}$	6.06E+07	cm ⁴
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xCLS, hom1}$	6.07E+07	cm ⁴
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xCLS, G}$	1047421	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	105.64	cm ²
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xS, G}$	2.62E+05	cm ⁴
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xS, hom1}$	4.82E+05	cm ⁴
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xS, G}$	4701	cm ³

Sezione Netta

area netta del calcestruzzo	A_{cls}	11278	cm ²
baricentro sezione	x_G	0	cm
baricentro sezione	y_G	92.00976	cm
inerzia sezione netta	I_{xG}	6.01E+07	cm ⁴
momento statico sezione netta	S_x	1.04E+06	cm ³

Sezione

Omogenizzata1

area omogenizzata al calcestruzzo	A_{hom1}	11846	cm ²
baricentro sezione omogenizzata	x_G	0.00	cm
baricentro sezione omogenizzata	y_G	90.16	cm
inerzia sezione omogenizzata	I_{xG}	6.28E+07	cm ⁴
momento statico sezione omogenizzata	S_x	1.07E+06	cm ³

Sezione di Calcolo

area omogenizzata al calcestruzzo	Ahom1	11845.91	cm ²
baricentro sezione omogenizzata	xG	0	cm
baricentro sezione omogenizzata	yG	90.1564	cm
inerzia sezione omogenizzata	IxG	6.28E+07	cm ⁴
momento statico sezione omogenizzata	Sx	1.07E+06	cm ³

6.1.2.1.1 Sezione iniziale

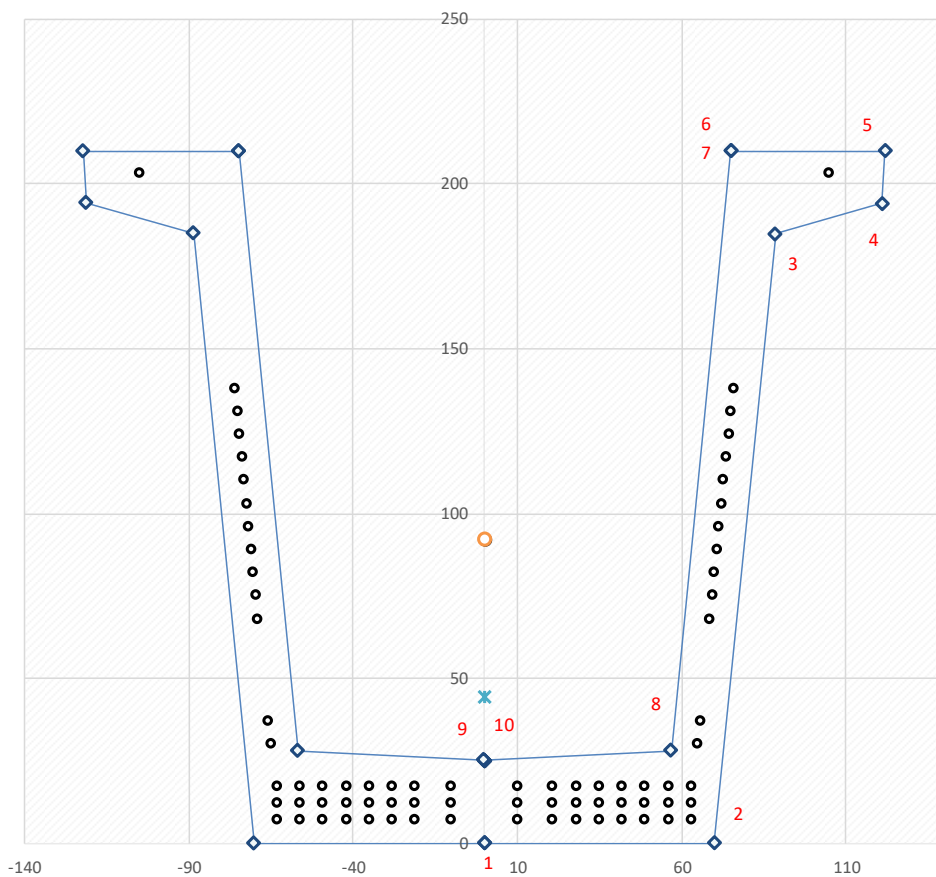


Figura 67 - Sezione iniziale

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	79 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

6.1.2.1.2 Sezione composta – breve termine

Cassoncino

area della sezione in calcestruzzo	A_{cls}	11384	cm ²
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xcls, G}$	6.06E+07	cm ⁴
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xcls, hom2}$	1.21E+08	cm ⁴
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xcls, G}$	1047421	cm ³

Soletta

coefficiente di omogenizzazione di calcolo	n_{sol}	0.94	
area della sezione in calcestruzzo	A_{sol}	14550	cm ²
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xsol, G}$	1.09E+06	cm ⁴
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xsol, hom2}$	6.24E+07	cm ⁴
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xsol, G}$	3.35E+06	cm ³

Armatura tesa

coefficiente di omogenizzazione	n_{acc}	5.37	
coefficiente di omogenizzazione di calcolo	n_{acc}	4.37	
area totale armatura tesa	A_S	105.64	cm ²
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xS, G}$	2.62E+05	cm ⁴
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xS, hom2}$	1.80E+06	cm ⁴
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xS, G}$	4701	cm ³

Sezione omogenizzata2

area omogenizzata al calcestruzzo	A_{hom2}	25511	cm ²
baricentro sezione omogenizzata	x_G	-63.48	cm
baricentro sezione omogenizzata	y_G	165.06	cm
inerzia sezione omogenizzata	I_{xG}	1.88E+08	cm ⁴
momento statico sezione omogenizzata	S_x	4.21E+06	cm ³

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	80 di 131

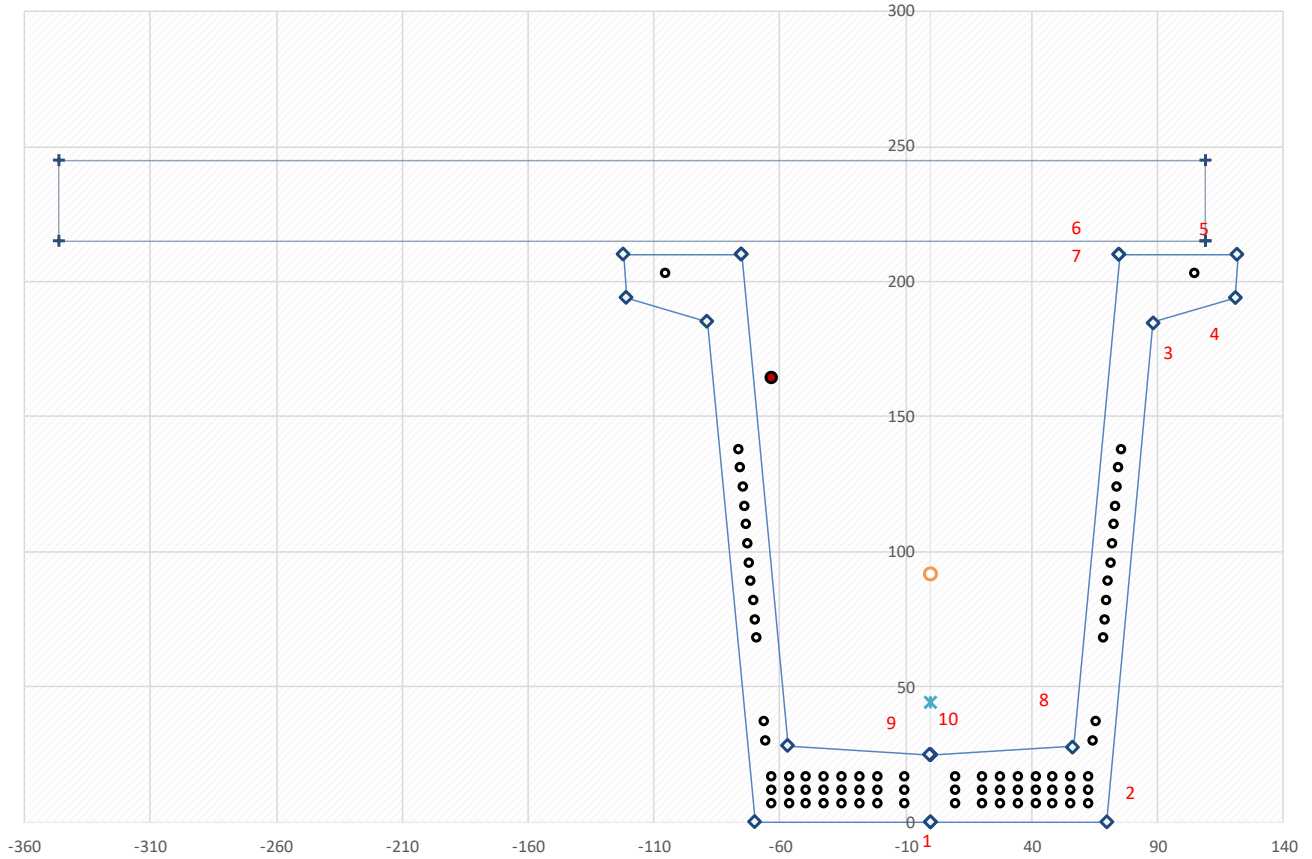


Figura 68 - Sezione omogenizzata - breve termine

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	81 di 131

6.1.2.1.3 Sezione composta – lungo termine

coefficiente di viscosità a tempo infinito cassone	$\varphi_{00}(t, t_{00})$	1.863
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}	12.52

Sezione omogenizzata3

area omogenizzata al calcestruzzo	A_{hom3}	25990	cm ²
baricentro sezione omogenizzata	X_G	-61.70	cm
baricentro sezione omogenizzata	Y_G	160.12	cm
inerzia sezione omogenizzata	I_{xG}	2.00E+08	cm ⁴
momento statico sezione omogenizzata	S_x	4.16E+06	cm ³

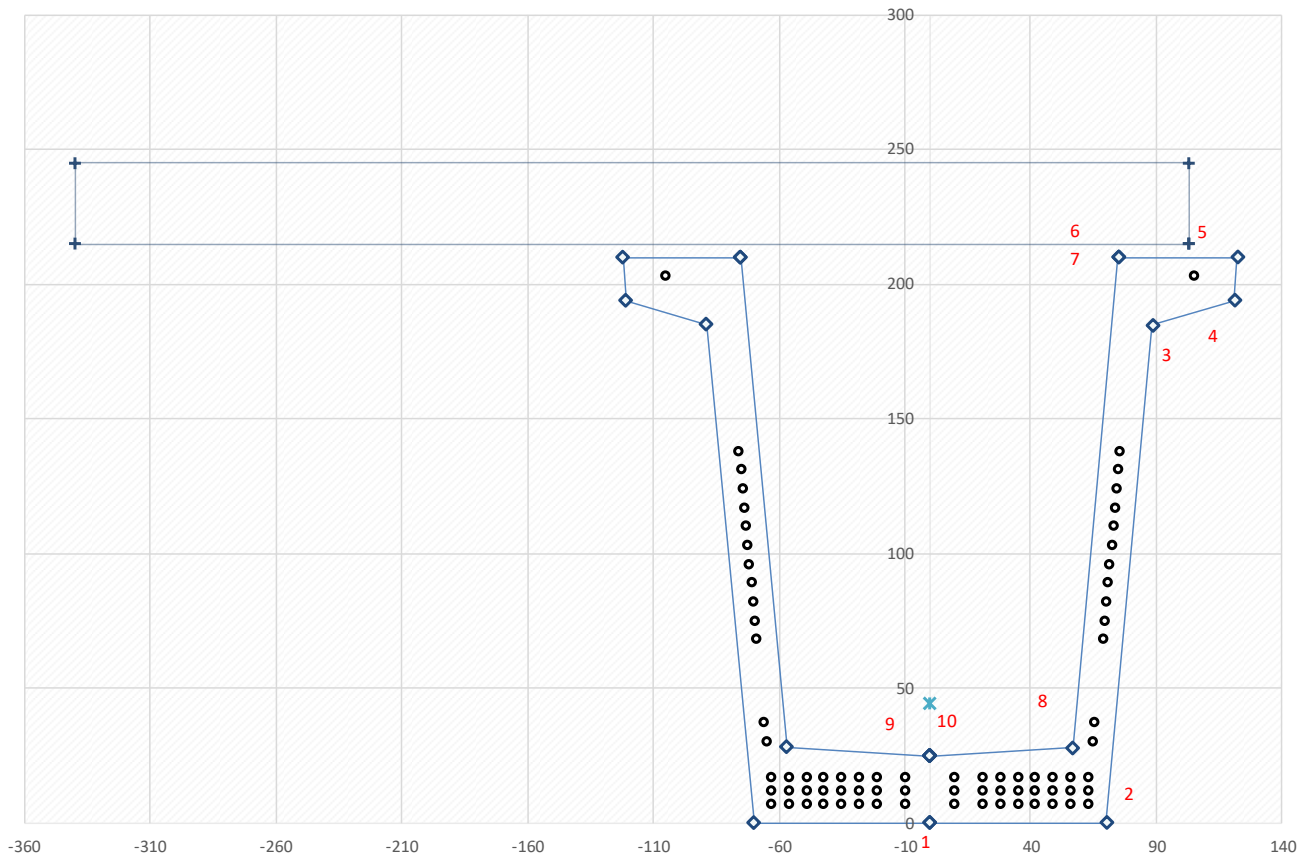


Figura 69 - Sezione omogenizzata - lungo termine

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	82 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01
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	14,578	KN

distanza tra il baricentro della sezione e il cavo	y	475	mm
area dei cavi precompressi	A_t	10,564	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}	1.18E+06	mm ²
inerzia della sezione omogenizzata	I_{hom1}	6.28E+11	mm ⁴

forza di prec. al momento del taglio (perdite elastiche)	P_1	13,782	KN
tensione del cavo al momento del taglio (perdite elastiche)	$\sigma_{t,1}$	1,305	MPa
perdita di tensione nel cavo per def. elastica cls	$\Delta\sigma_{t,1}$	75.4	MPa
perdite istantanee di precompressione		5.5%	

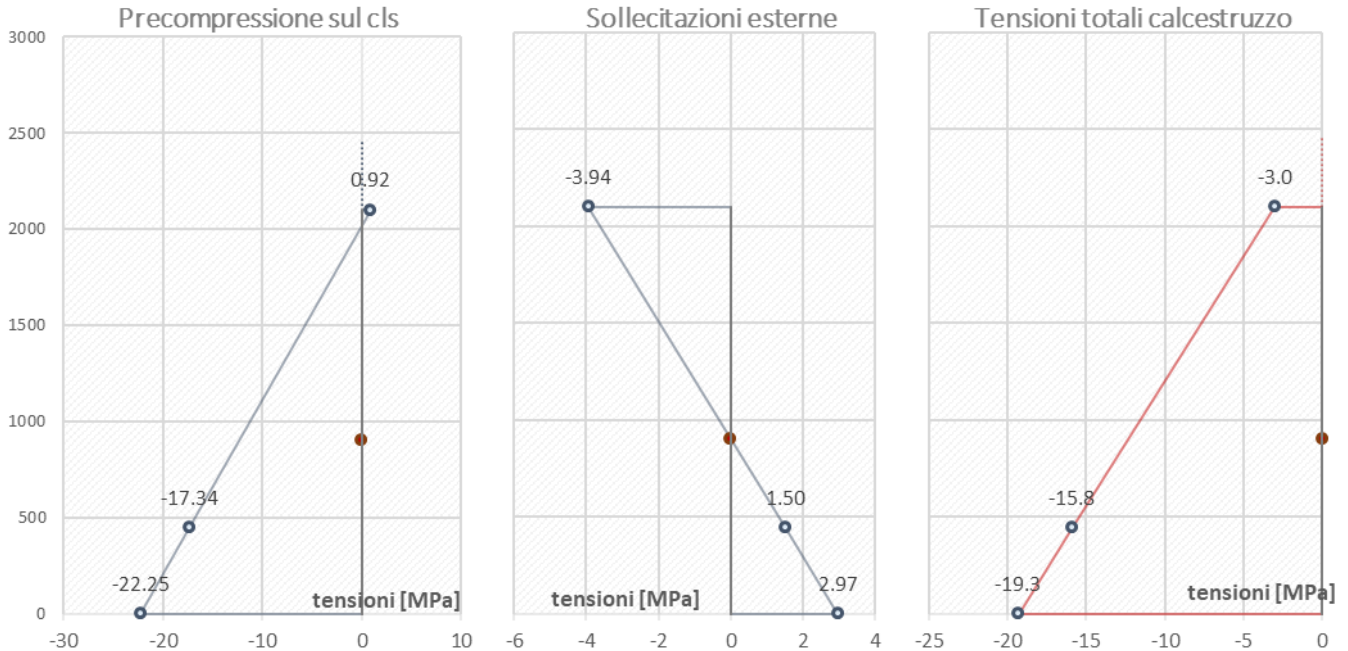
spostamento del cavo all'atto della tesatura	∂o	7.1E-03	mm/ m
spostamento adimens del calcestruzzo	∂c	3.6E-11	mm/ m
spostamento adimens dell'acciaio	∂s	4.9E-10	mm/ m
Forza rimanente dopo il recupero del cavo	P_1	13,570	KN
perdite istantanee di precompressione	$\Delta\sigma_{t,1}$	95.5	MPa
		6.9%	

momento dovuto al peso proprio della trave	$M_{pp,trave}$	2066	kN m
tensione nel cavo a fine fase 0	$\sigma_{t,F0}$	1,291	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	83 di 131



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	$\sigma_{cls,1}$	-3.03	> -22.49 MPa
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo	$\sigma_{cls',1}$	-15.84	> -22.49 MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore	$\sigma_{cls'',1}$	-19.29	> -22.49 MPa
tensione nel cavo a fine fase 0	$\sigma_{t,F0}$	1,291	< 1336 MPa

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

6.1.2.3 Fase 1 – Getto della soletta

momento dovuto al peso della soletta $M_{sol, trave}$ 2741 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 $2A_c/u$ h_0 200.0 mm

umidità relativa UR 70 %

deformazione massima per essiccamento ϵ_{c0} -0.000294

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 $\beta_{ds}(t, t_s)$ 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

Viscosità

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/mm²

coef. Funzione della maturazione del cls $\beta(t_0)$ 0.61

coef. Funzione dell u.r. e di h_0 β_H 503.1

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	VI0108 001	A	85 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

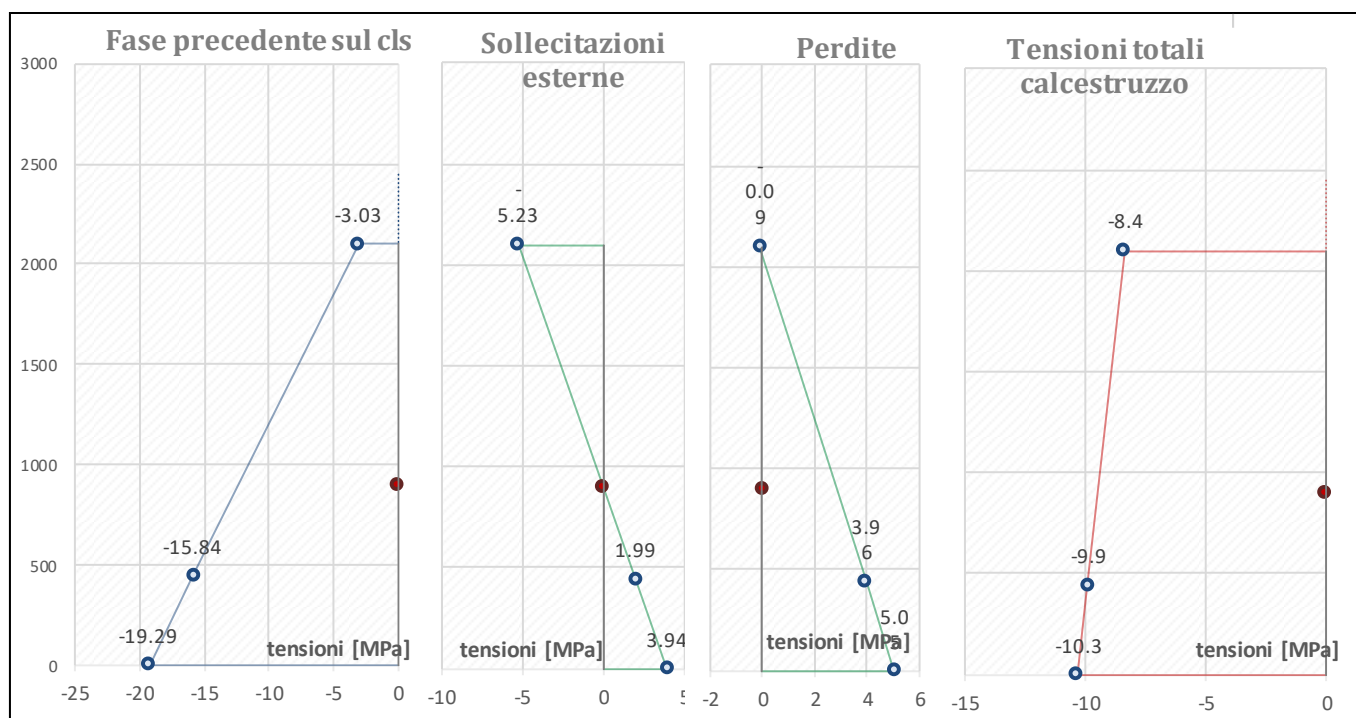
coef. Funzione dell'umidità relativa	φ_{RH}	1.353	
coefficiente normale di viscosità	φ_0	1.982	
coefficiente di viscosità al tempo t0	$\varphi_0(t, t_0)$	1.863	
coefficiente di viscosità al tempo t1	$\varphi_0(t, t_1)$	1.855	
		viscosità lineare	
controllo tensione massima CLS <0.45fcm =>			
coefficiente di viscosità di riferimento al tempo t	$\varphi_0(t, t_0)$	1.863	
coefficiente di viscosità di riferimento al tempo t	$\varphi_0(t, t_1)$	1.855	
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	$\varepsilon_v = \sigma_{t0} J_{t0} + \Delta\sigma_{t1} J_{t1}$	-1.19E-03	
variazione tensionale nel cavo per effetto della viscosità	$\Delta\sigma_v = -E_s \varepsilon_v$	-232.83	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	$\Delta\sigma_{ril(t)}$	-75.11	MPa
inerzia della sezione in cls	I_{cls}	6.28E+07	cm ⁴
area della sezione in cls	A_{cls}	11278	cm ²
eccentricità del cavo rispetto al baricentro cls	e	47.51	cm
perdita totale di precompressione nel cavo al tempo t	$\Delta\sigma_{pr(t)}$	-318.82	cm

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	86 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

perdita di precompressione (corrisponde a trazione nel cls)	$\Delta N_{pr(t)}$	3368	kN
coefficiente di omogenizzazione	n	4.37	
area della sezione omogenizzata	A_{hom1}	1.18E+06	mm ²
inerzia della sezione omogenizzata	I_{hom1}	6.28E+11	mm ⁴
tensione nel cavo a fine fase 1	$\sigma_{t,1}$	980.99	MPa



6.1.2.4 Fase 2 – Permanenti non strutturali

momento dovuto al peso dei non strutturali	M_{G2}	3991	kN m
giorno attuale per calcolo delle perdite lente	t	170	giorni

Effetto del ritiro differenziale

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

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

PROGETTO DEFINITIVO

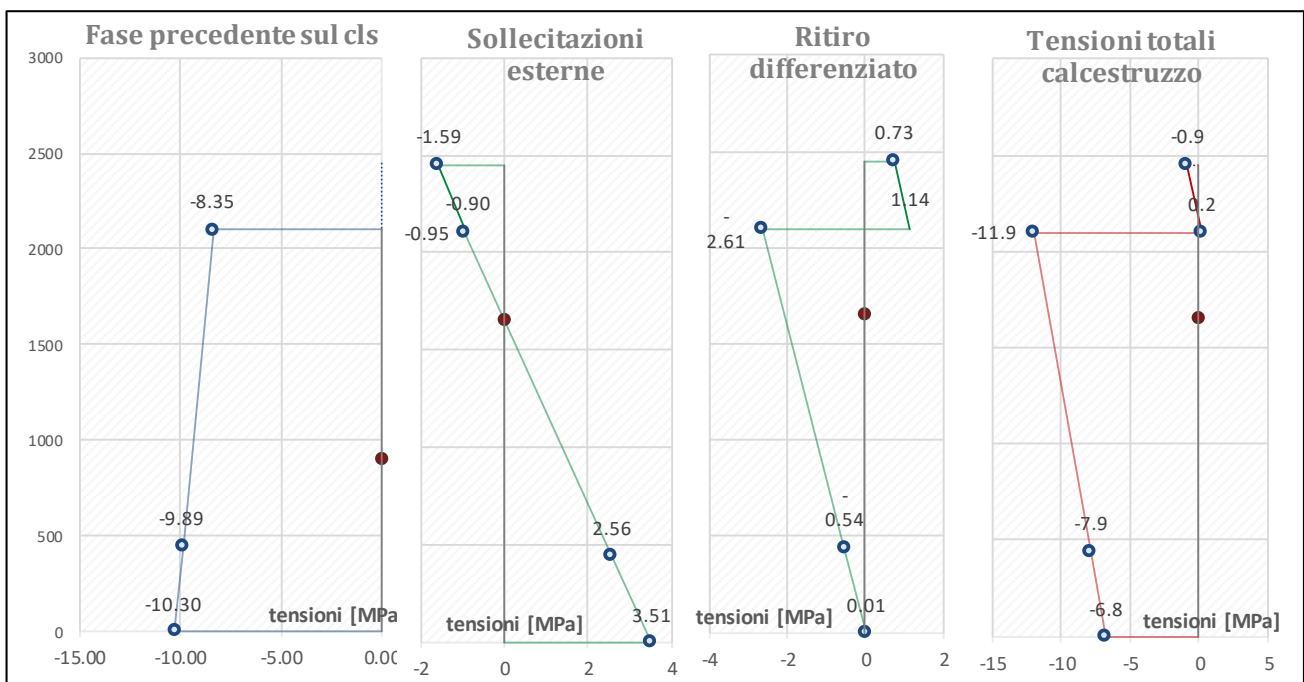
Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	87 di 131

coefficiente di viscosità al tempo t2 della soletta	$\phi_0(t,t_2)$	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}	-5233	kN
distanza superficie di contatto baricentro sezione	e	449.4	mm
eccentricità del cavo rispetto al baricentro della sezione	e	120.56	cm
perdita totale di precompressione nel cavo al tempo t	$\Delta\sigma_{pr(t)}$	0.00	cm
perdita di precompressione (corrisponde a trazione nel cls)	$\Delta N_{pr(t)}$	0	kN
coefficiente di omogenizzazione soletta	n	0.94	
coefficiente di omogenizzazione acciaio	n	4.37	
area della sezione omogenizzata	A_{hom2}	2.55E+06	mm ²
inerzia della sezione omogenizzata	I_{hom2}	1.88E+12	mm ⁴
tensione nel cavo a fine fase 2	$\sigma_{t,2}$	989.82	MPa



PROGETTO DEFINITIVO

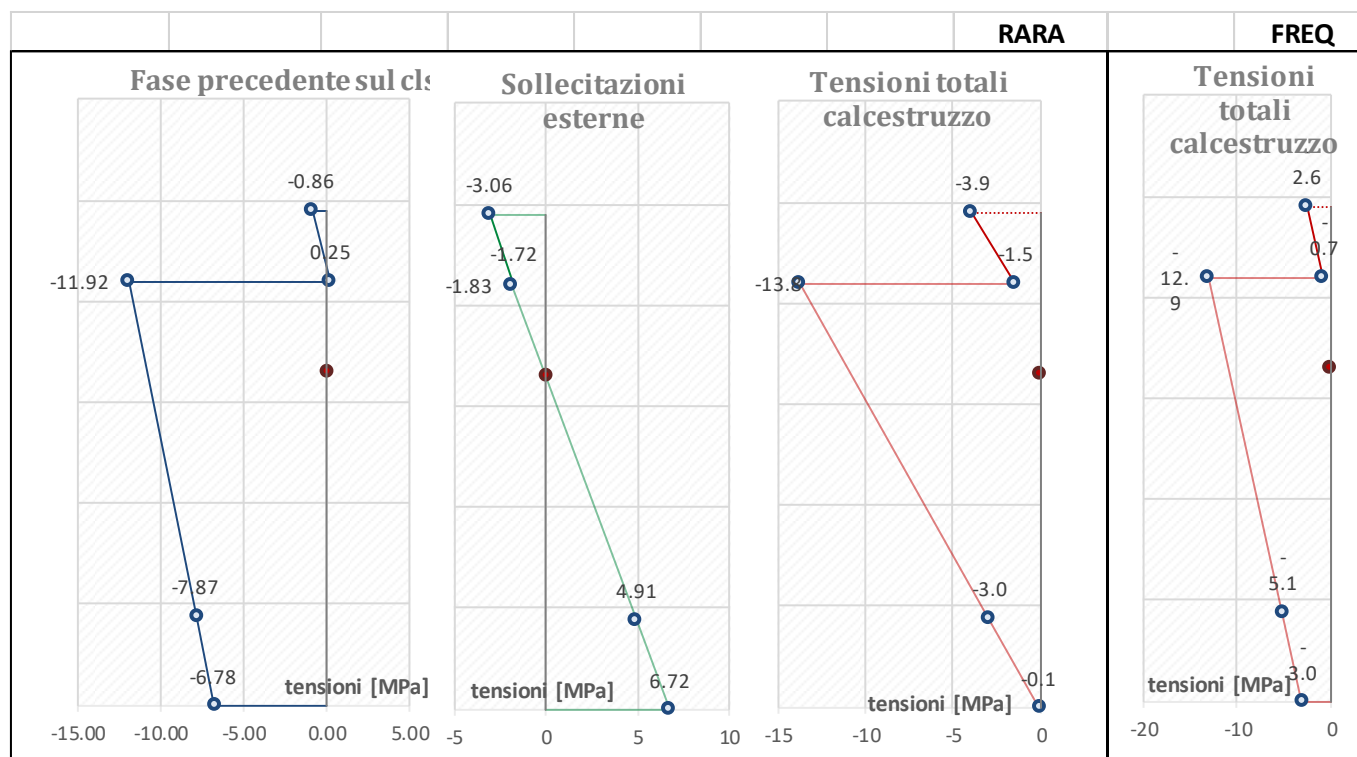
Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	88 di 131

tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta	$\sigma_{cls,3}$	-0.86	> -18.39	MPa
tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta	$\sigma_{cls',3}$	0.25	< 2.57	MPa

6.1.2.5 Fase 3 – Carichi variabili

momento dovuto ai carichi da traffico	M_Q	7646	kN m
tensione nel cavo a fine fase	σ_{t3}	1011.28	MPa



Comb. rara

tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta	$\sigma_{cls,3}$	-3.92	> -19.25	MPa
tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta	$\sigma_{cls',3}$	-1.47	> -19.25	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore	$\sigma_{cls,1}$	-13.75	> -24.75	MPa
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo	$\sigma_{cls',1}$	-2.96	> -24.75	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore	$\sigma_{cls'',1}$	-0.06	> -24.75	MPa
tensione nel cavo a fine fase 3	$\sigma_{t,F3}$	1,011	< 1336	MPa

Comb. frequente

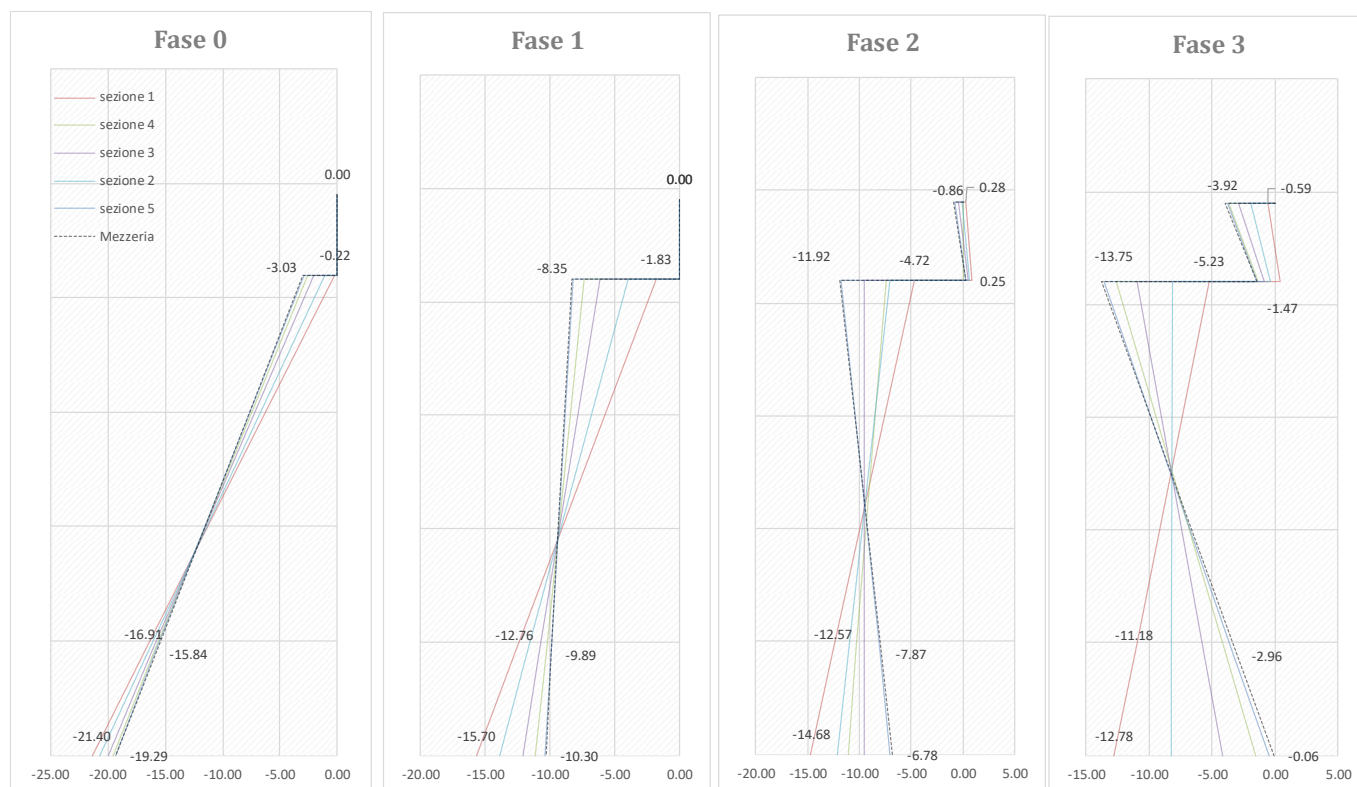
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	89 di 131

tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta	$\sigma_{cls,3}$	-2.6	> -14	MPa
tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta	$\sigma_{cls',3}$	-0.7	> -14	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore	$\sigma_{cls,1}$	-12.9	> -18	MPa
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo	$\sigma_{cls',1}$	-5.1	> -18	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore	$\sigma_{cls'',1}$	-3.0	> -18	MPa
tensione nel cavo a fine fase 3	$\sigma_{t,F3}$	1,002	< 1336	MPa

Riassunto verifiche sezioni intermedie



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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

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}	4808	kN m
taglio della trave e della soletta	V_{perm}	848	kN
sforzo assiale della trave e della soletta	N_{perm}	0	kN
coefficiente amplificativo	γ_{G1}	1.35	
momento dei pesi portati	M_{pp}	3991	kN m
taglio dei pesi portati	V_{pp}	685	kN
sforzo assiale dei pesi portati	N_{pp}	0	kN
coefficiente amplificativo	γ_{G2}	1.5	

Carichi variabili (combinati)

		SLU	
sforzo assiale dedotto dall'inviluppo allo SLU	$N_{Traffico}$	554	kN
taglio massimo dedotto dall'inviluppo allo SLU	$V_{Traffico}$	1939	kN
momento massimo dedotto dall'inviluppo allo SLU	$M_{Traffico}$	11087	kN m
torsione massima dedotta dall'inviluppo SLU	$T_{Traffico}$	2645	kN m

Effetti a lungo termine

momento dovuto al ritiro differenziale	$M_{rit dif}$	2351	kN m
sforzo assiale dovuto al ritiro differenziale	$N_{rit dif}$	5233	kN
coefficiente amplificativo	γ_{rit}	1.2	
resistenza passiva dei vincoli	$N_{rit dif}$	102.8	kN
eccentricità dal baricentro	e	165.10	cm
coefficiente amplificativo	γ_Q	1.5	

Precompressione

tensione iniziale del cavo	σ_0	1,380	Mpa
perdite totale di tensione	$\Delta\sigma_{pr}$	-414.3	Mpa
recupero tensionale indotto dai pesi	$\Delta\sigma_G$	45.6	Mpa
tensione del cavo risultante per calcolo SLU	$\sigma_{c.v}$	1011	Mpa

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

$$M_{SLU} = 11087 + 12477 + 3076 = 26640 \text{ KN m} \quad \text{In mezzeria}$$

$$N_{SLU} = -553.9 + 0 + 6125 = 5571.1 \text{ KN}$$

$$V_{SLU} = 1938.65 + 1145 + 1027.275 = 4110.925 \text{ kN} \quad \text{in appoggio}$$

$$T_{SLU} = 2644.8 \text{ kN m}$$

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 relativa ai cassoni centrali e omogenizzata a lungo termine, senza considerare l'armatura lenta. Le verifiche sono state condotte con il software VCA-SLU.

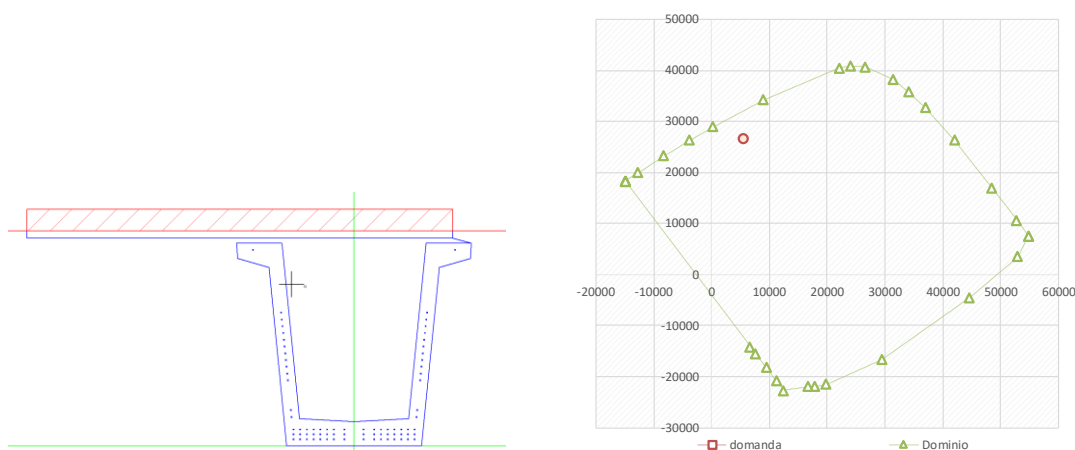


Figura 70 - Sezione e Dominio di resistenza

Momento agente = 26640 kN m

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	92 di 131

Momento resistente = 32254 kN m

Coefficiente di sicurezza = 0.83 < 1

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

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

Titolo: _____

N° Vertici Zoom N° barre Zoom

N°	x [cm]	y [cm]
1	122	210
2	75	210
3	56.8	28
4	0	25
5	-56.8	28
6	-75	210

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]
1	0	0	0

Sollecitazioni S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 0 kN
M_{xEd} 0 kNm
M_{yEd} 0

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

Tipo rottura Lato calcestruzzo - Cavo snervato

M_{xRd} kN m

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

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

Armatura Precompressione N° cavi Zoom

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

Calcola MRd Dominio M-N
L₀ cm Col. modello

Precompresso

Tipo cavo


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

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

Materiali

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

Figura 71 - Schermata di calcolo

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

7 TRAVERSI PRECOMPRESSI

Vengono di seguito riportate le verifiche dei traversi. La precompressione viene effettuata con due cavi da 7 trefoli 0.6" post-tesi ad una tensione di 1116 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

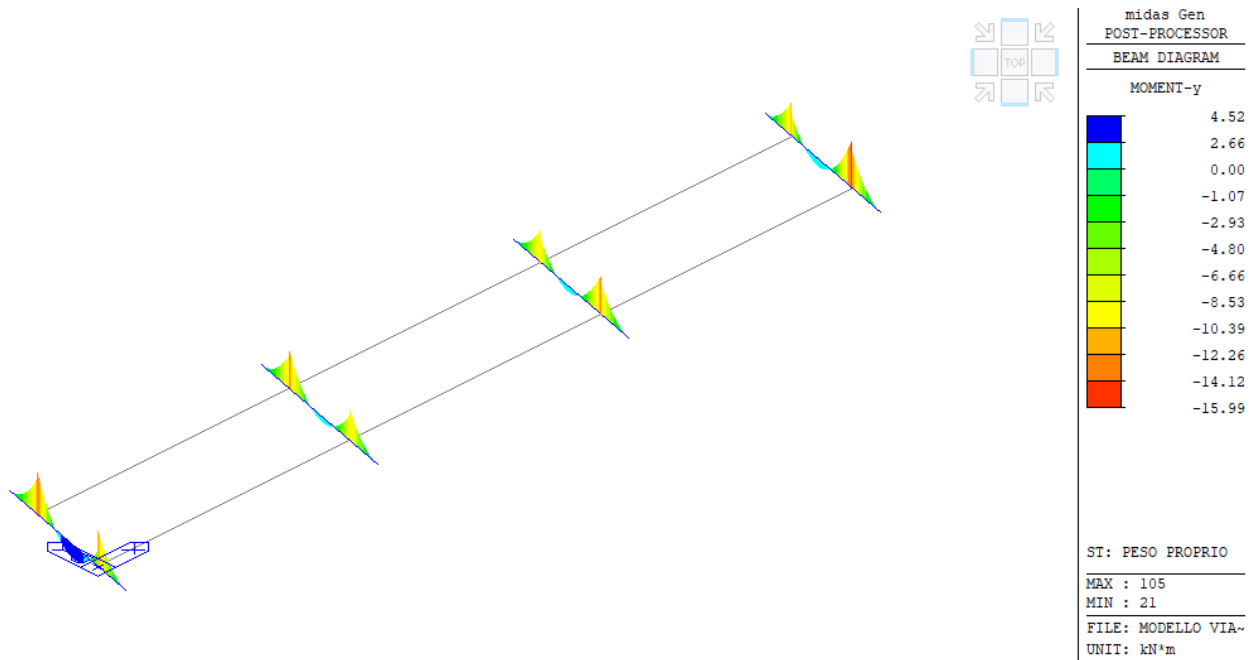


Figura 72 - Sollecitazione flessionale – peso proprio travi e traversi

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	94 di 131

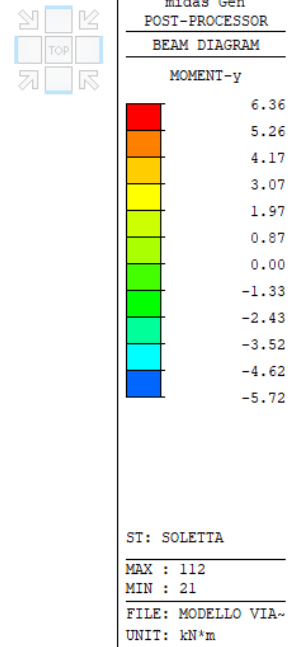
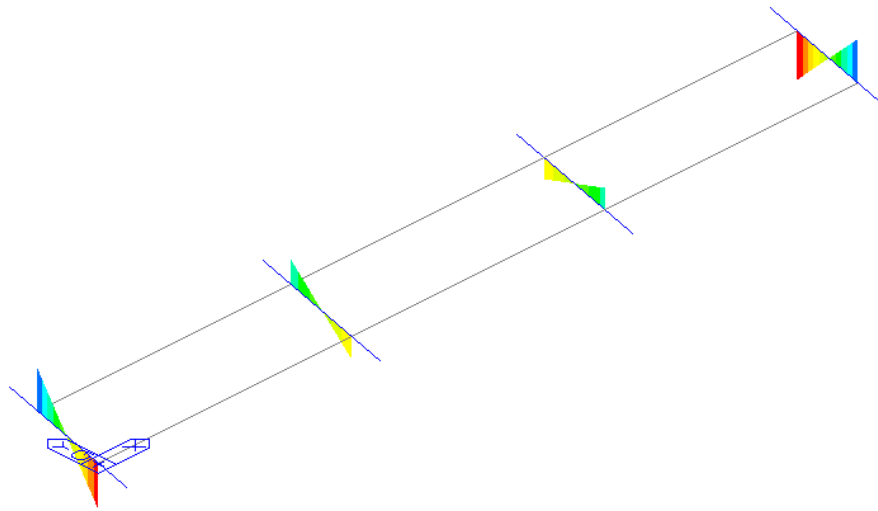


Figura 73 - Sollecitazione flessionale – peso soletta

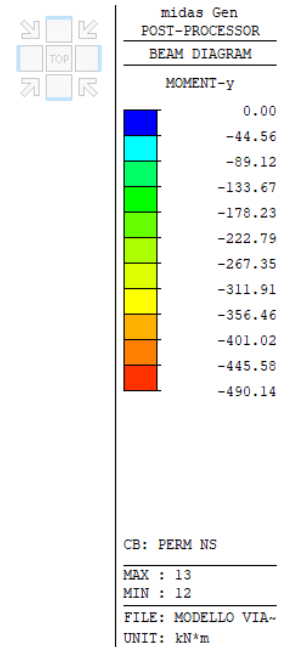
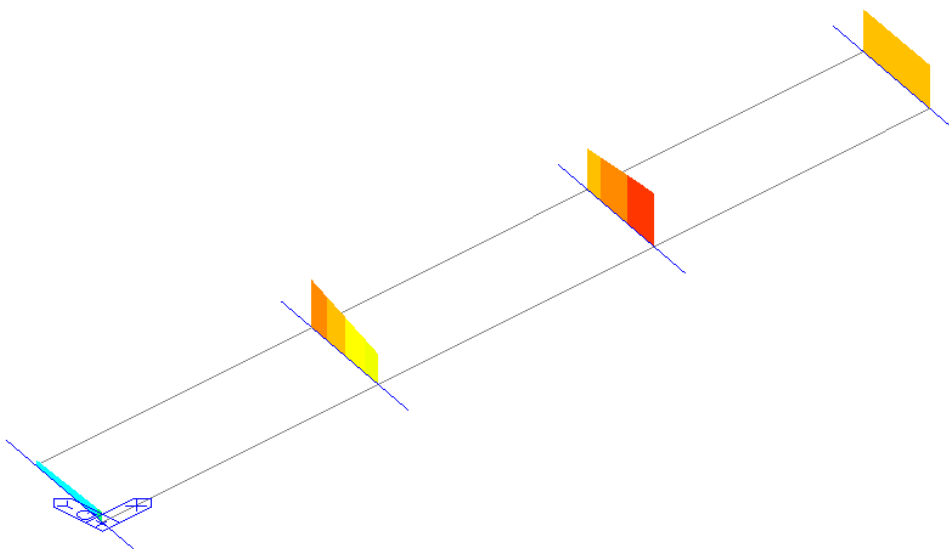


Figura 74 - Sollecitazione flessionale – carichi permanenti non strutturali

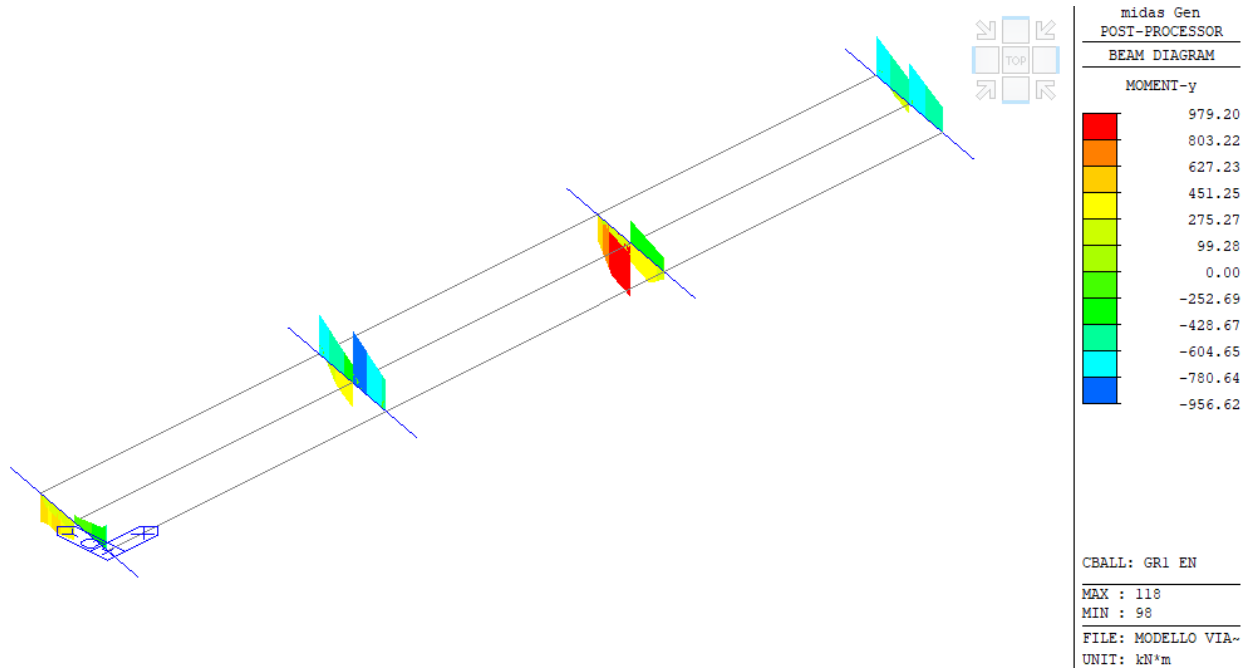


Figura 75 – Involuppo Sollecitazione flessionale – carichi da traffico

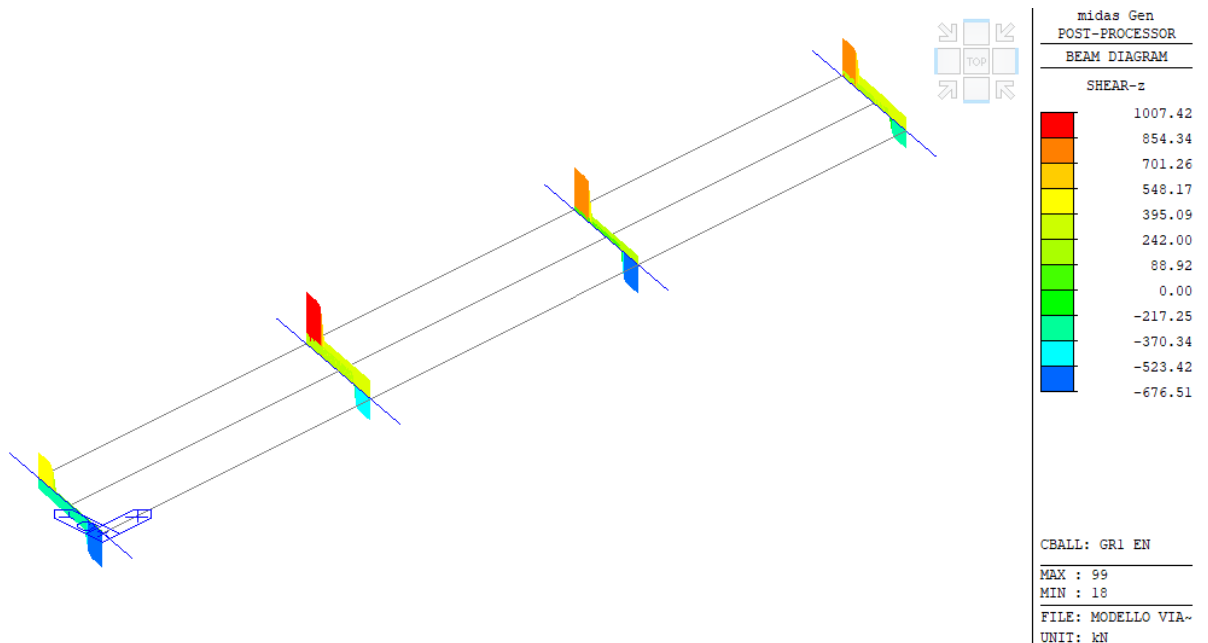


Figura 76 – Involuppo Sollecitazione di taglio – carichi da traffico

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	96 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

7.2 Caratteristiche della sezione

7.2.1 Sezione iniziale

Traverso

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

Armatura tesa

coefficiente di omogenizzazione	n_{acc}	5.79	
coefficiente di omogenizzazione di calcolo	n_{acc}	4.79	
area totale armatura tesa	A_s	19.46	cm ²
inerzia rispetto al proprio baricentro	$I_{xs, G}$	8.22E+04	cm ⁴
inerzia rispetto al baricentro omogenizzato	$I_{xs, hom1}$	8.26E+04	cm ⁴
momento statico rispetto all'asse x	$S_{xs, G}$	1751	cm ³

Sezione di Calcolo

area netta del calcestruzzo	A_{cls}	5993.04	cm ²
baricentro sezione	x_G	0	cm
baricentro sezione	y_G	85.38462	cm
inerzia sezione netta	I_{xG}	1.68E+07	cm ⁴
momento statico sezione netta	S_x	5.12E+05	cm ³

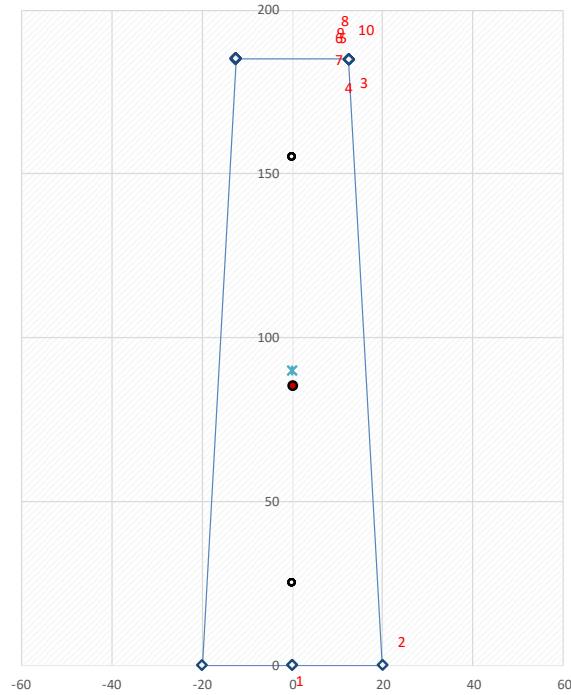


Figura 77 – Traverso - Sezione iniziale

7.2.2 Sezione composta – breve termine

Soletta

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

Sezione omogenizzata2

area omogenizzata al calcestruzzo	A_{hom2}	8360	cm ²
baricentro sezione omogenizzata	x_G	0.00	cm
baricentro sezione omogenizzata	y_G	117.69	cm
inerzia sezione omogenizzata	I_{xG}	4.09E+07	cm ⁴
momento statico sezione omogenizzata	S_x	9.84E+05	cm ³

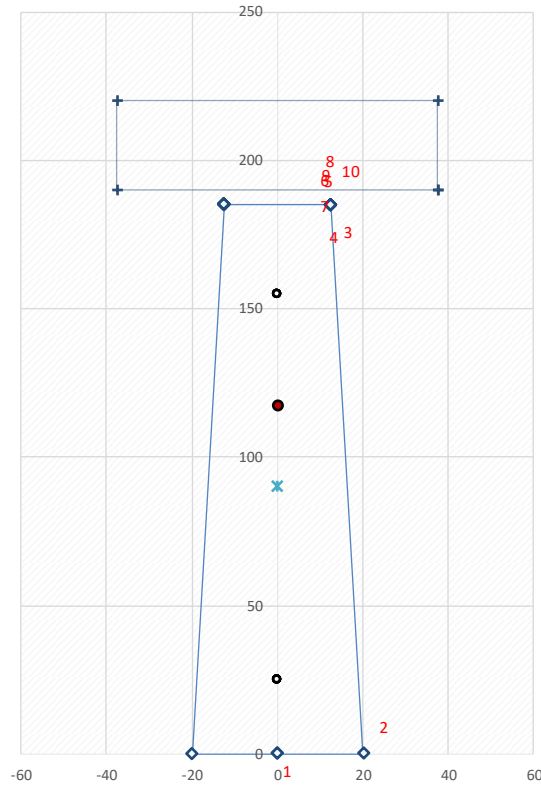


Figura 78 - sezione omogenizzata - breve termine

7.2.3 Sezione composta – lungo termine

coefficiente di viscosità a tempo infinito cassone	$\phi_{00}(t,t_{00})$	1.995
coefficiente di viscosità a tempo infinito soletta	$\phi_{00}(t,t_{00})$	1.945
coefficiente di omogenizzazione di calcolo	n_{sol}	0.96
coefficiente di omogenizzazione di calcolo	n_{acc}	14.34

Sezione omogenizzata3

area omogenizzata al calcestruzzo	A_{hom3}	8584	cm ²
baricentro sezione omogenizzata	x_G	0.00	cm
baricentro sezione omogenizzata	y_G	117.48	cm
inerzia sezione omogenizzata	I_{xG}	4.22E+07	cm ⁴
momento statico sezione omogenizzata	S_x	1.01E+06	cm ³

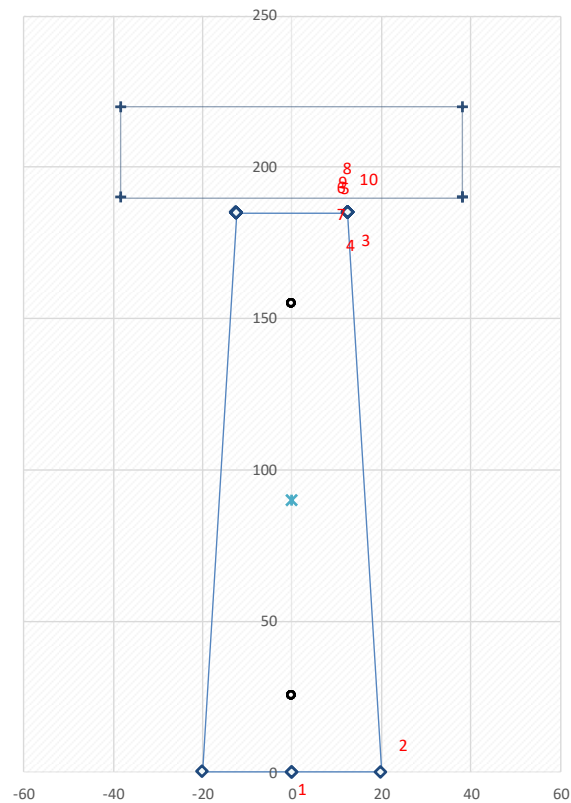


Figura 79 - sezione omogeneizzata - lungo termine

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	2,172	KN
$\sigma_{t,1}$	1,116	MPa

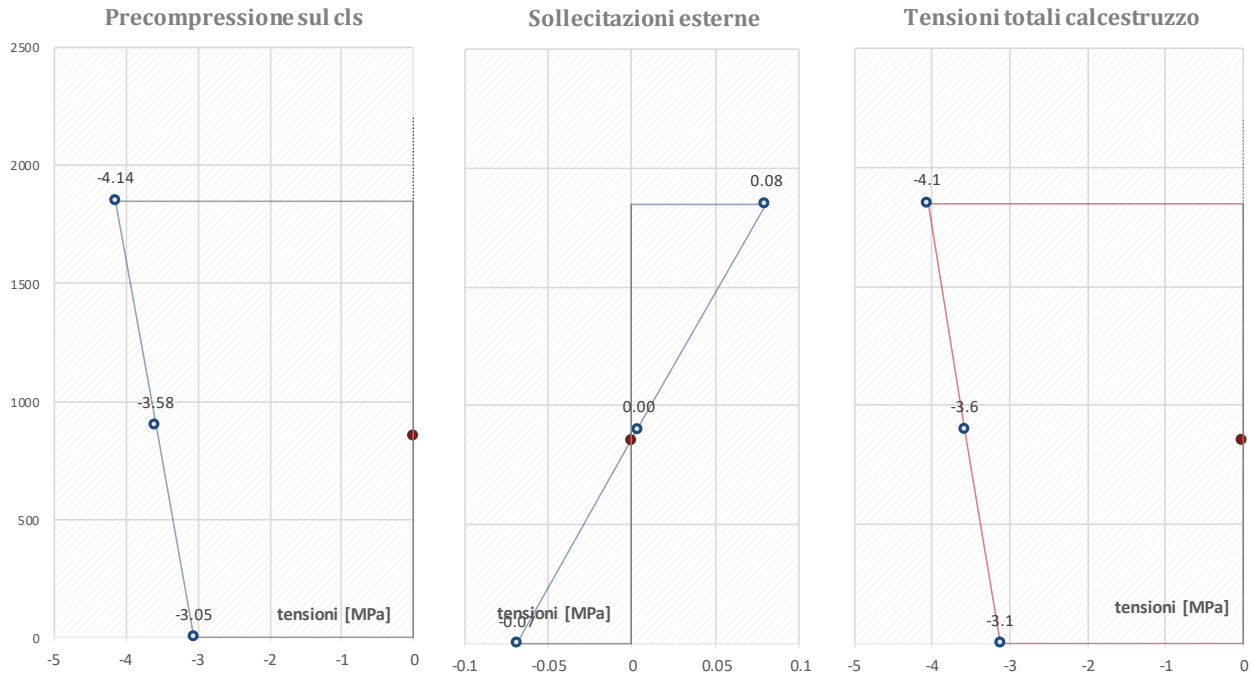
momento dovuto al peso proprio della trave
tensione nel cavo a fine fase 0

$M_{pp,trave}$	-13	kN m
$\sigma_{t,F0}$	1,116	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	100 di 131



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	$\sigma_{cls,1}$	-4.06	> -22.49 MPa
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo	$\sigma_{cls',1}$	-3.58	> -22.49 MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore	$\sigma_{cls'',1}$	-3.12	> -22.49 MPa
tensione nel cavo a fine fase 0	$\sigma_{t,F0}$	1,116	< 1336 MPa

7.3.1.2 Fase 2 – Getto della soletta

momento dovuto al peso della soletta $M_{sol, trave}$ -4 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 $2A_c/u$ Ac h_0 101.2 mm

umidità relativa UR 70 %

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	101 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

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	$\Delta\sigma_{cs} = -E_s \epsilon_{cs}$	-77.13	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 VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	102 di 131

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	$\varepsilon_v = \sigma_{t_0} J_{t_0} + \Delta \sigma_{t_1} J_{t_1}$	-1.79E-04	
variazione tensionale nel caso per effetto della viscosità	$\Delta \sigma_v = -E_s \varepsilon_v$	-37.55	MPa

Rilassamento

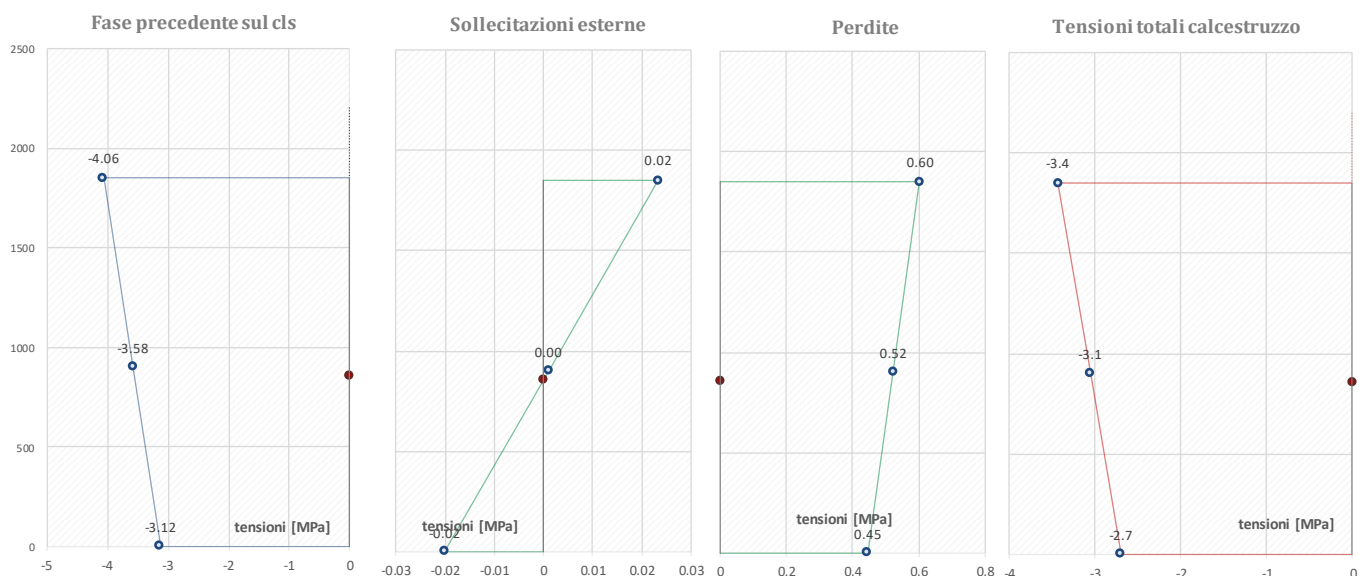
classe di armatura di precompressione		Classe 2	
percentuale di perdita a 1000h	ρ_{1000}	2.50	%
rapporto tra valore carat. e tensione	μ	0.78	
perdite per rilassamento a tempo t	$\Delta \sigma_{ril(t)}$	-64.25	MPa

inerzia della sezione in cls	I_{cls}	1.72E+07	cm ⁴
area della sezione in cls	A_{cls}	5993	cm ²
eccentricità del cavo rispetto al baricentro cls	e	-4.62	cm
perdita totale di precompressione nel cavo al tempo t	$\Delta \sigma_{pr(t)}$	-159.60	cm
perdita di precompressione (corrisponde a trazione nel cls)	$\Delta N_{pr(t)}$	311	kN
coefficiente di omogenizzazione	n	4.79	
area della sezione netta di calcestruzzo	A_{hom1}	5.99E+05	mm ²
inerzia della sezione netta di calcestruzzo	I_{hom1}	1.68E+11	mm ⁴
tensione nel cavo a fine fase 1	$\sigma_{t,1}$	956.42	MPa

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	103 di 131



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}	-490	kN m
t	170	giorni

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

u	800.00	mm
h_0	600.00	mm

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

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

deformazione totale per ritiro

sforzamento di compressione sul cassoncino
distanza superficie di contatto baricentro sezione

N_{ri}	-863	kN
e	673.1	mm

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

e	27.69	cm
$\Delta\sigma_{pr}(t)$	0.00	cm

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	104 di 131

perdita di precompressione (corrisponde a trazione nel cls)

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

coefficiente di omogenizzazione soletta

n 0.94

coefficiente di omogenizzazione acciaio

n 4.79

area della sezione netta di calcestruzzo

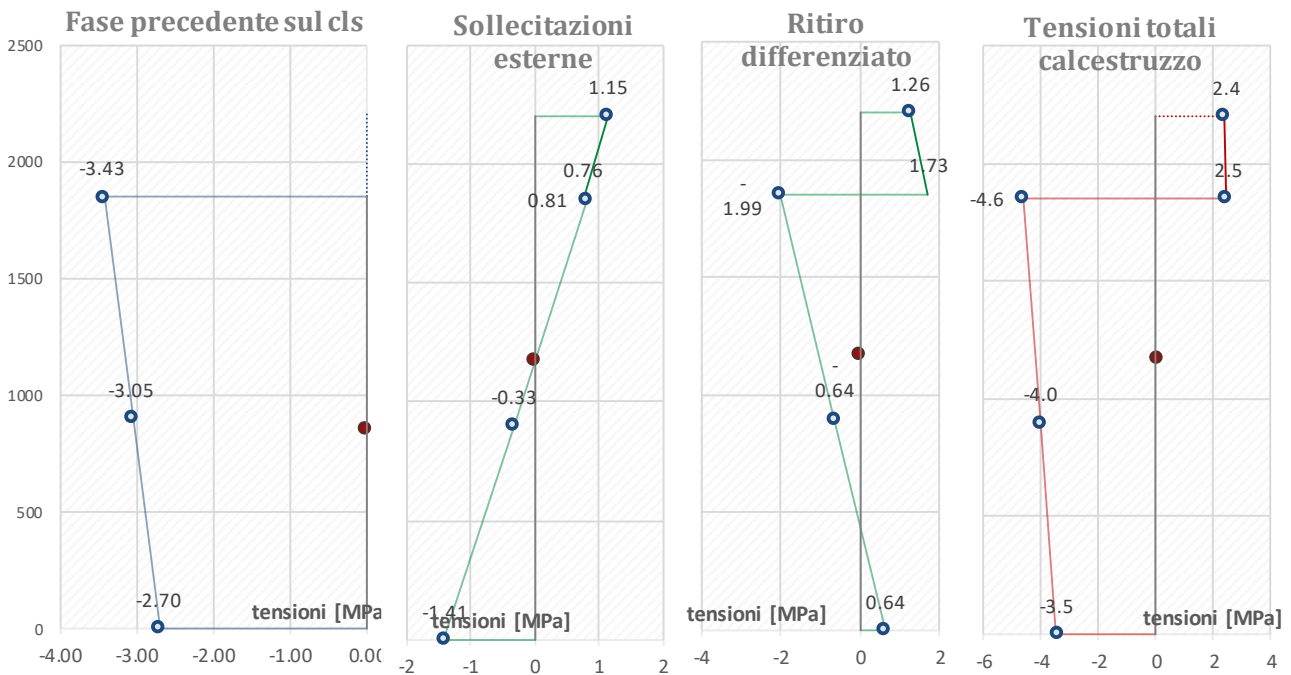
A_{hom2} 8.36E+05 mm²

inerzia della sezione netta di calcestruzzo

I_{hom2} 4.09E+11 mm⁴

tensione nel cavo a fine fase 2

$\sigma_{t,2}$ 951.78 MPa



tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta

$\sigma_{cls,3}$ 2.41 < 2.57 MPa

tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta

$\sigma_{cls',3}$ 2.49 < 2.57 MPa

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

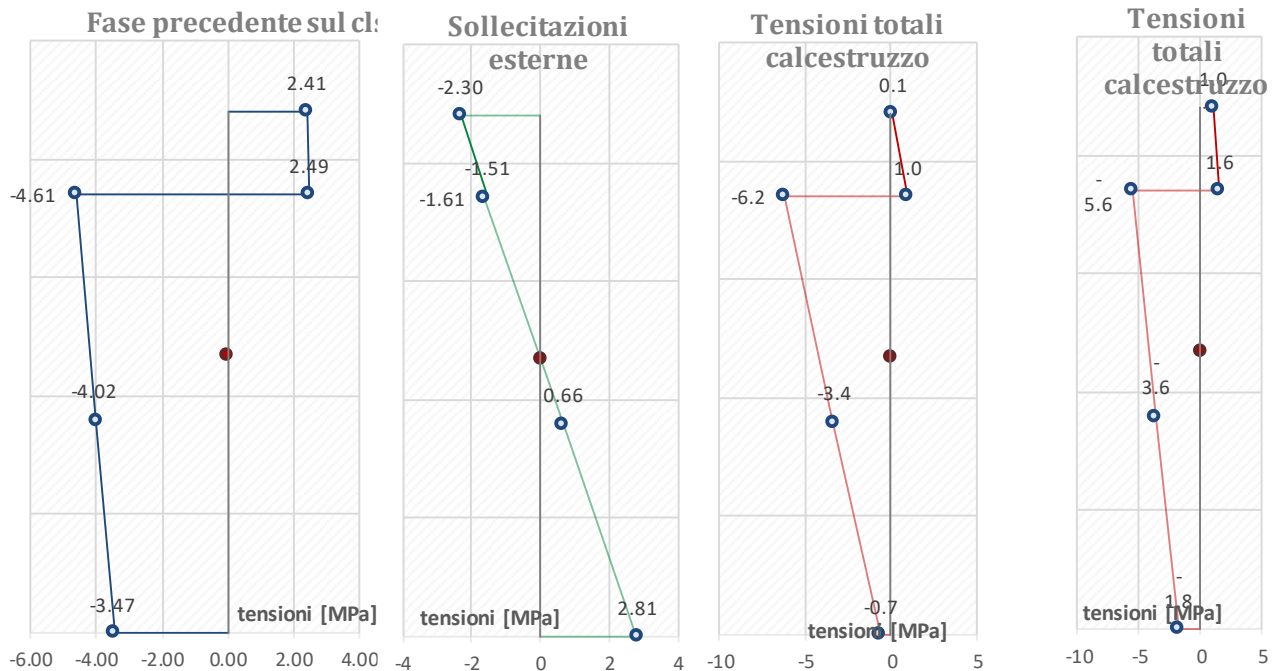
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	105 di 131

7.3.1.4 Fase 3 – Carichi variabili

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

M_Q 979 kN m

σ_{t3} **954.95** MPa




tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta	$\sigma_{cls,3}$	0.12	< 2.67	MPa
tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta	$\sigma_{cls',3}$	0.97	< 2.67	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore	$\sigma_{cls,1}$	-6.22	> -24.75	MPa
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo	$\sigma_{cls',1}$	-3.36	> -24.75	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore	$\sigma_{cls'',1}$	-0.65	> -24.75	MPa
tensione nel cavo a fine fase 3	$\sigma_{t,F3}$	955	< 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.

 <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 VI01</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0108 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 106 di 131</p>

7.3.3 Verifica a sollevamento

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

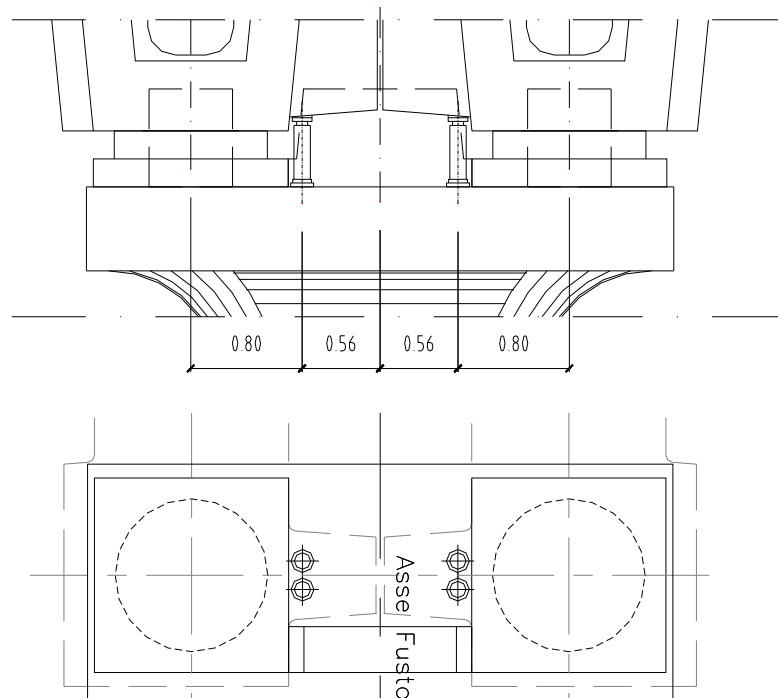


Figura 80: Schema sollevamento impalcato

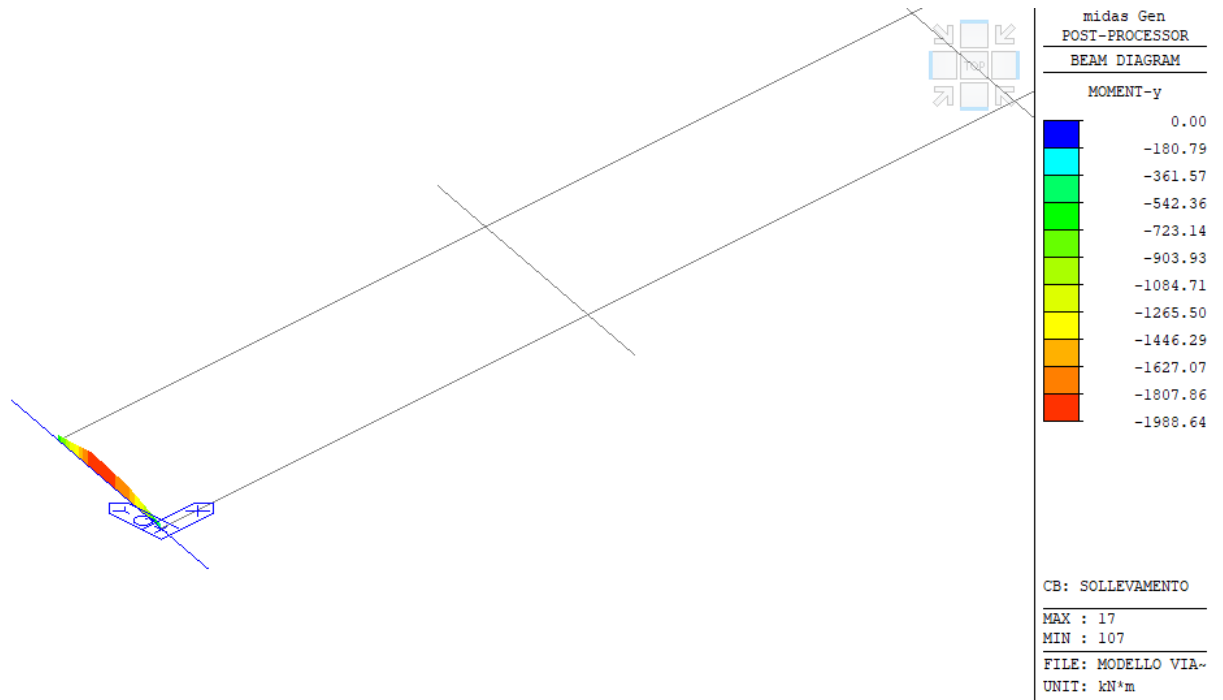
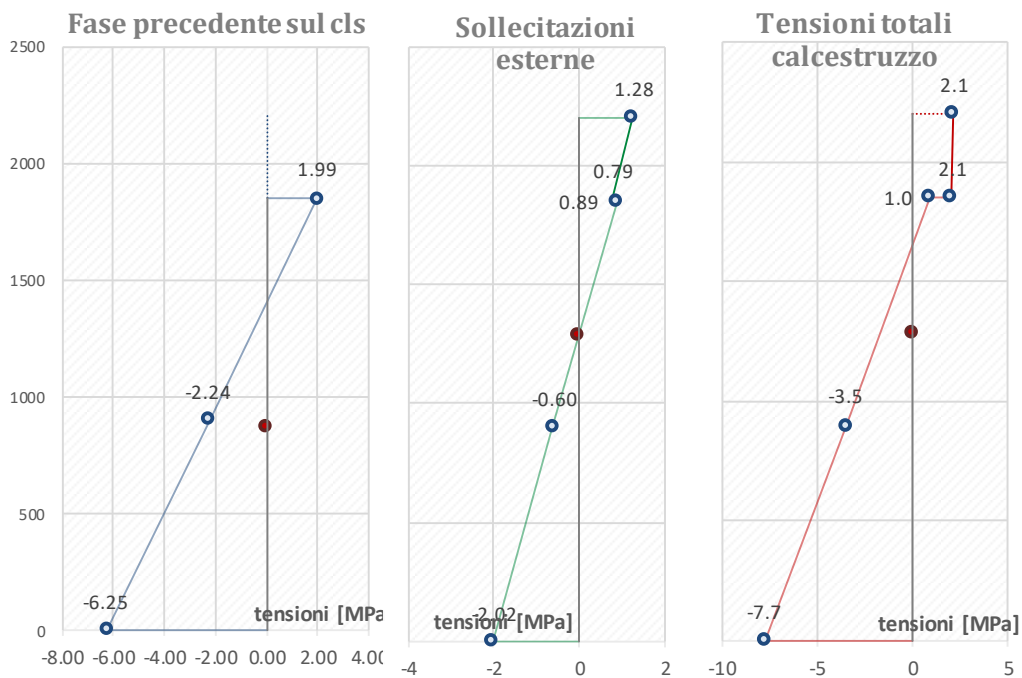


Figura 81: Sollecitazione flessionale sollevamento



PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	108 di 131

tensione del calcestruzzo nel lembo superiore soletta	$\sigma_{cls,3}$	2.13	< 2.3	MPa
tensione del calcestruzzo lembo inferiore soletta	$\sigma_{cls',3}$	2.05	< 2.3	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo superiore	$\sigma_{cls,1}$	0.98	< 2.71	MPa
tensione del calcestruzzo nel baricentro del cavo	$\sigma_{cls',1}$	-3.50	> -24.75	MPa
tensione del calcestruzzo nel lembo inferiore	$\sigma_{cls'',1}$	-7.75	> -24.75	MPa
tensione nel cavo a fine fase 3	$\sigma_{t,F3}$	960	< 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.

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

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

Titolo: _____

N° Vertici: 10 Zoom N° barre: 1 Zoom

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

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

Armatura Precompressione
 N° cavi: 14 Zoom

N°	As [cm²]	x [cm]	y [cm]	σ_{cs} [MPa]
1	1.39	0	25	1000.3
2	1.39	0	25	1000.3
3	1.39	0	25	1000.3
4	1.39	0	25	1000.3
5	1.39	0	25	1000.3
6	1.39	0	25	1000.3

Sollecitazioni: S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 0 kN
 M_{xEd}: 1541 kNm
 M_{yEd}: 0

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

Tipo rottura: Lato calcestruzzo - Cavo snervato

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

Tipo flessione:
 Retta Deviata

Materiali:
 B450C C45/55
 ϵ_{su} : 67.5% ϵ_{c2} : 2%
 f_{yd} : 391.3 N/mm² ϵ_{cu} : 3.5%
 E_s : 200,000 N/mm² f_{cd} : 25.5
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0.8
 ϵ_{syd} : 1.957% $\sigma_{c,adm}$: 9.75
 $\sigma_{s,adm}$: 255 N/mm² τ_{co} : 0.6
 τ_{c1} : 1.829

M_{xRd}: 3.146 kNm
 σ_c : -25.5 N/mm²
 σ_s : 391.3 N/mm²
 ϵ_c : 3.5%
 ϵ_s : 15.72%
 d: 220 cm
 x: 40.05 x/d: 0.1821
 δ : 0.7

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

Tipo cavo: Trefolo
 ϵ_{su} : 67.5%
 f_{yd} : 1,409 N/mm²
 E_s/E_c : 6
 ϵ_{syd} : 7.045%
 $\sigma_{s,adm}$: 1080 N/mm²

σ_{sp} : 1,409 N/mm²
 ϵ_{sp} : 18.54% compressa predef.

Precompresso

Figura 82 - Schema di calcolo

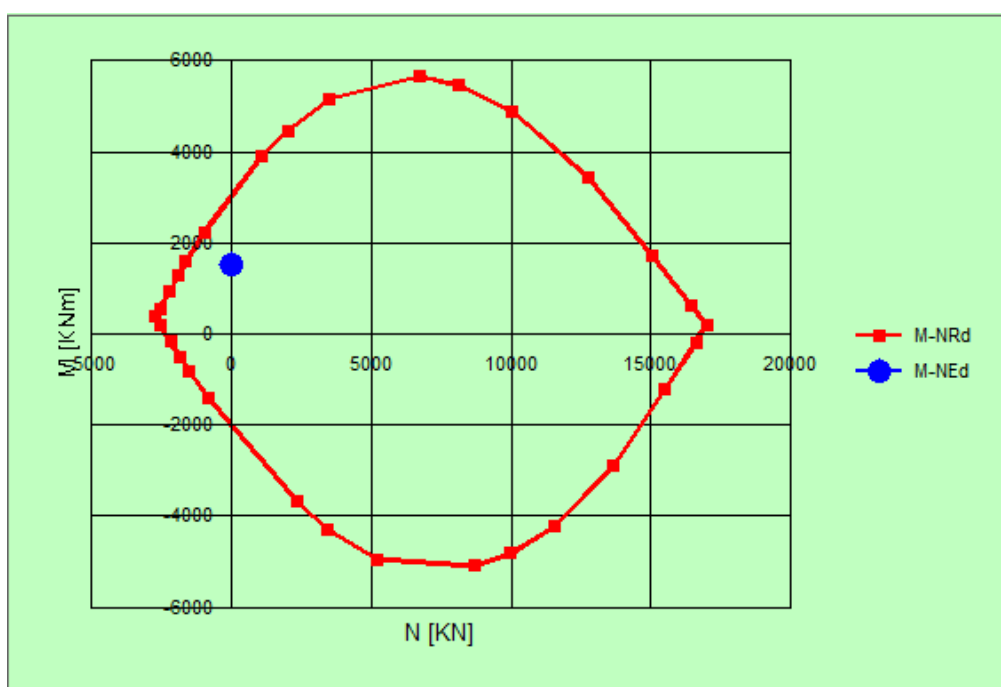


Figura 83 - Dominio della sezione

7.4.2 Verifica a taglio

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}	=	1460.00	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 VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	110 di 131

Armatura della sezione in zona tesa:

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

VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO

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

VERIFICA NON SODDISFATTA:

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

VERIFICA CON ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO

Armatura aggiuntiva resistente a taglio:

Angolo di inclinazione armatura trasv. su asse dell'elemento	α	=	90	°
Diametro ferri a taglio	\varnothing_{sw}	=	12	mm
Numero dei bracci in sezione trasversale	n_{sw}	=	2	--
Passo in direzione asse elemento	s	=	150	mm
Area totale di armatura a taglio	A_{sw}	=	226	mm ²

Fattori di resistenza a compressione:

Controllo duttilità (SI = duttile)	2.36	<	12.93	SI
Angolo di inclinazione dei puntoni di cls	θ	=	22.00	°
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}	=	2298.28	kN
Resistenza di calcolo a "taglio compressione" del cls	V_{Rcd}	=	1768.89	kN
Resistenza ultima a taglio	V_{Rd}	=	1768.89	kN

VERIFICA SODDISFATTA.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0108 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 111 di 131</p>

8 EFFETTI LOCALI

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

8.1 SOLETTA

8.1.1 Modellazione

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

La soletta ha uno spessore complessivo variabile da 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.

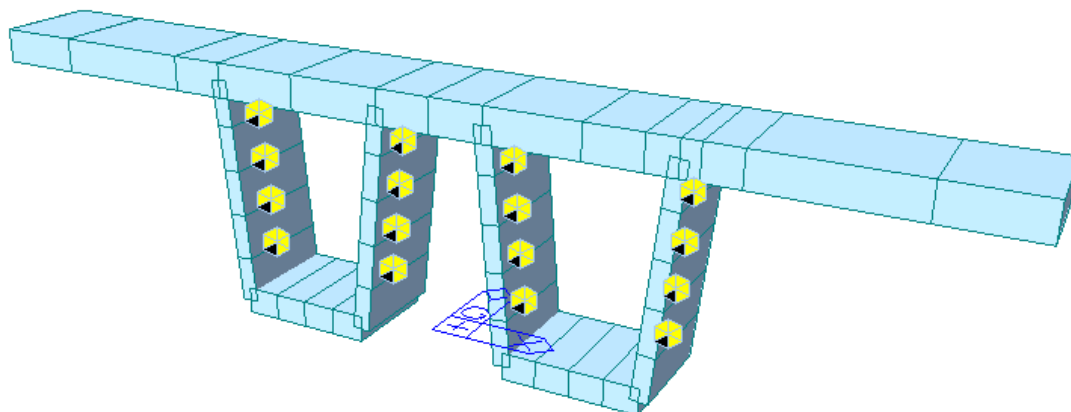


Figura 84 - Sezione trasversale dell'impalcato

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

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

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

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

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

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

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

Sempre nei nodi si inseriscono molle orizzontali:

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

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

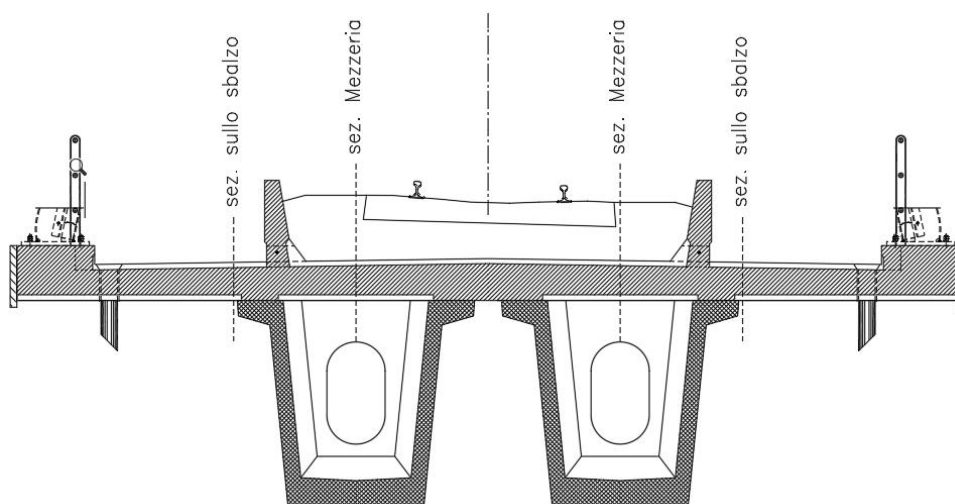



Figura 85 - Schema sezioni di verifica

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 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.

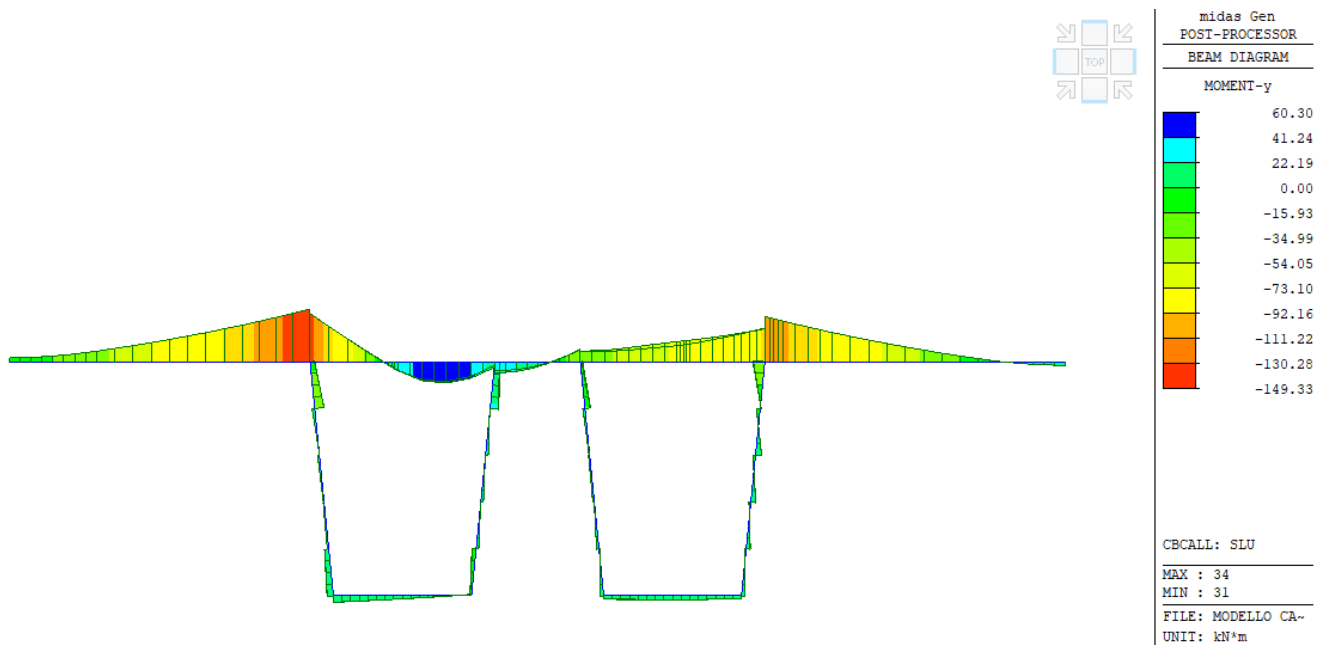


Figura 86 - Sollecitazione flessionale - SLU

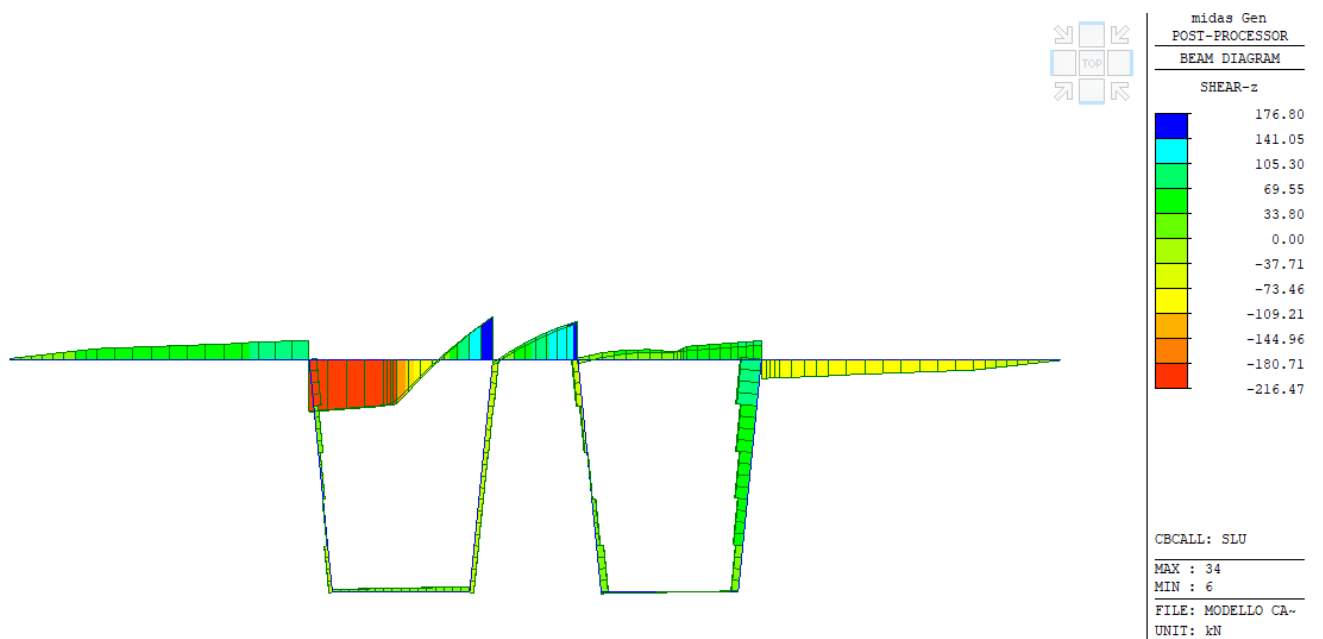


Figura 87 - Sollecitazione di taglio - SLU

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	114 di 131

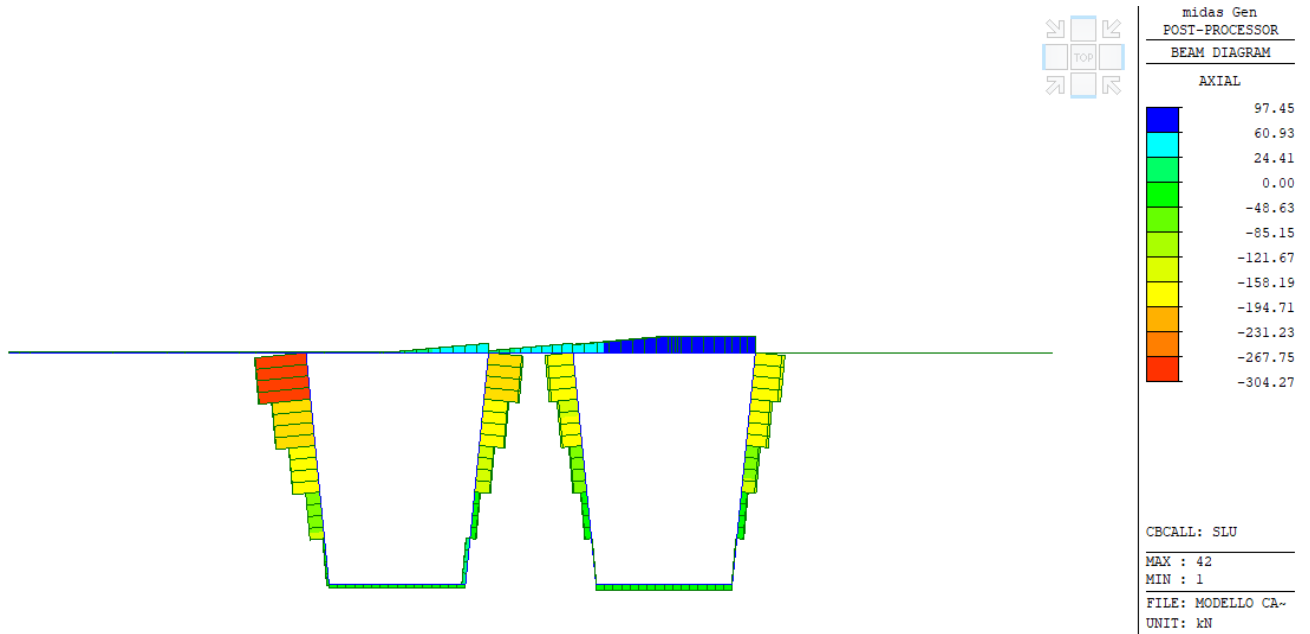


Figura 88 - Sollecitazione assiale – SLU

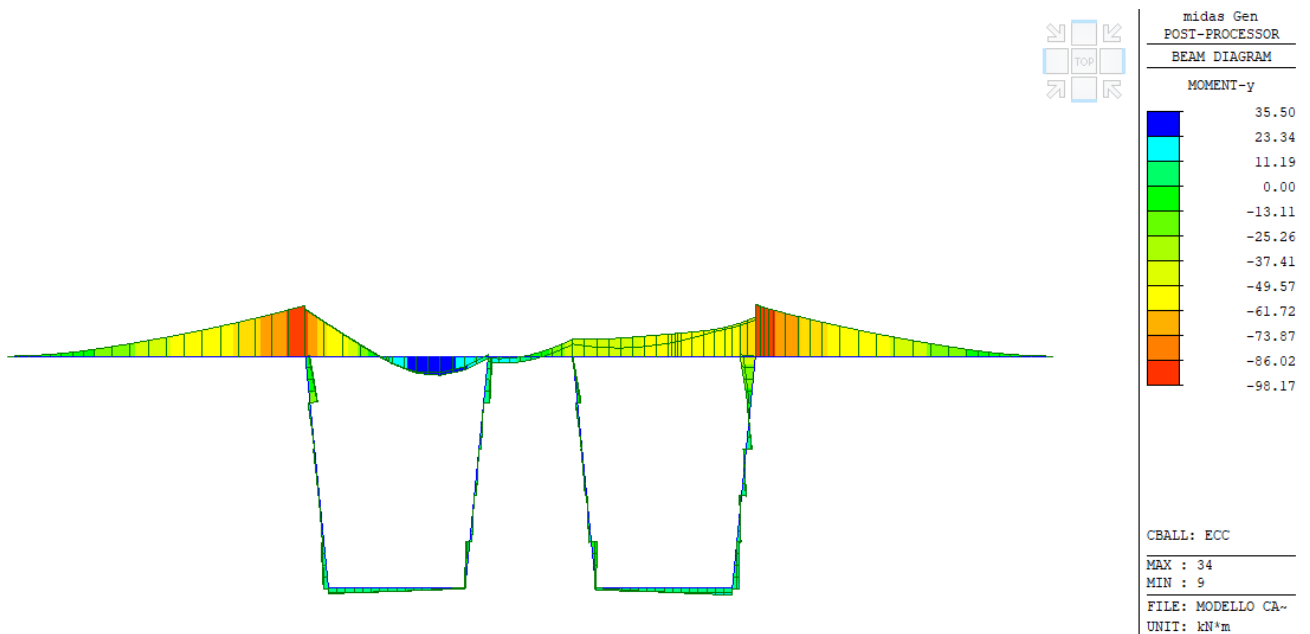


Figura 89 - Sollecitazione flessionale – comb. eccezionale

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	115 di 131

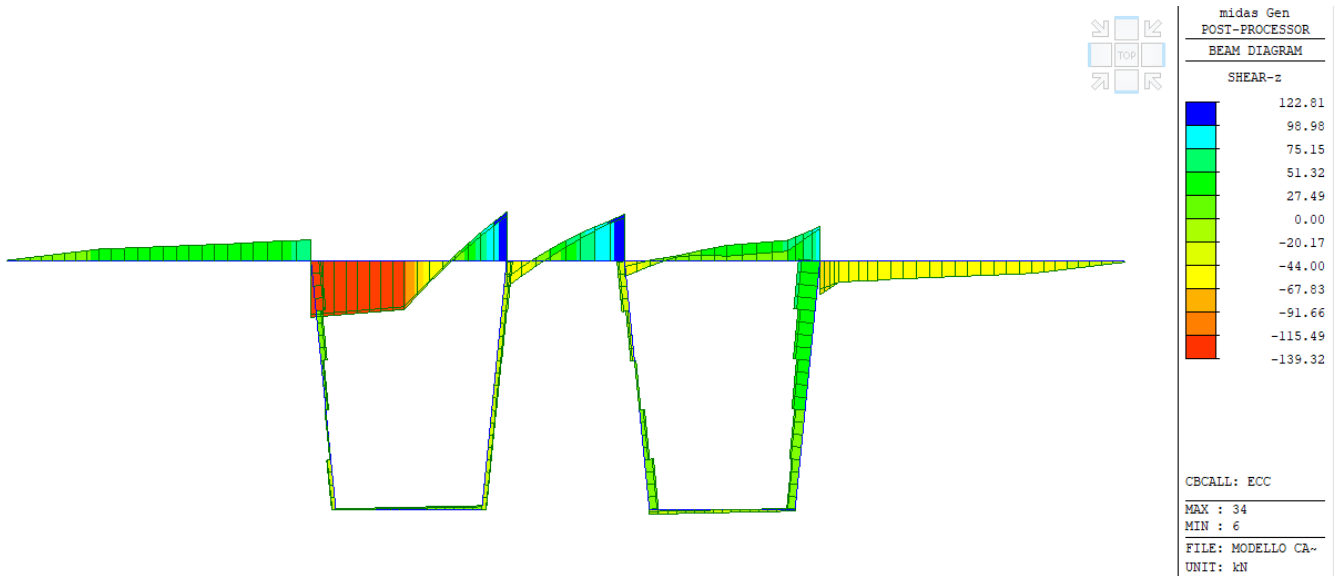


Figura 90 - Sollecitazione di taglio – comb. Eccezionale

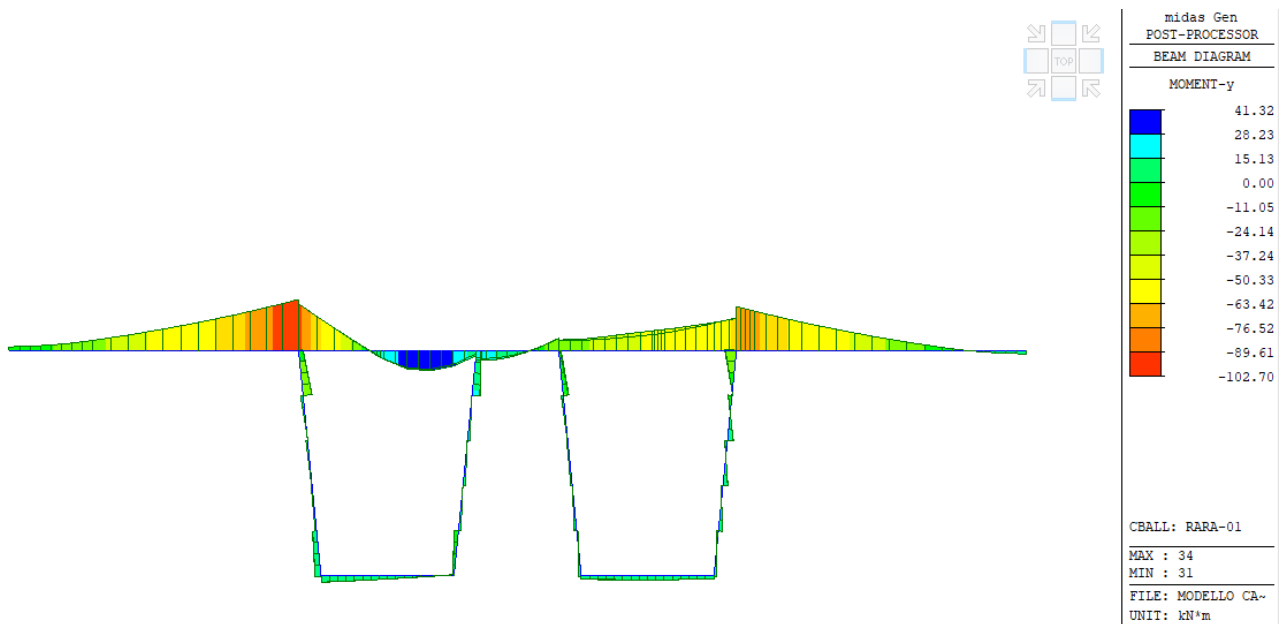


Figura 91 - Sollecitazione flessionale – combinazione rara

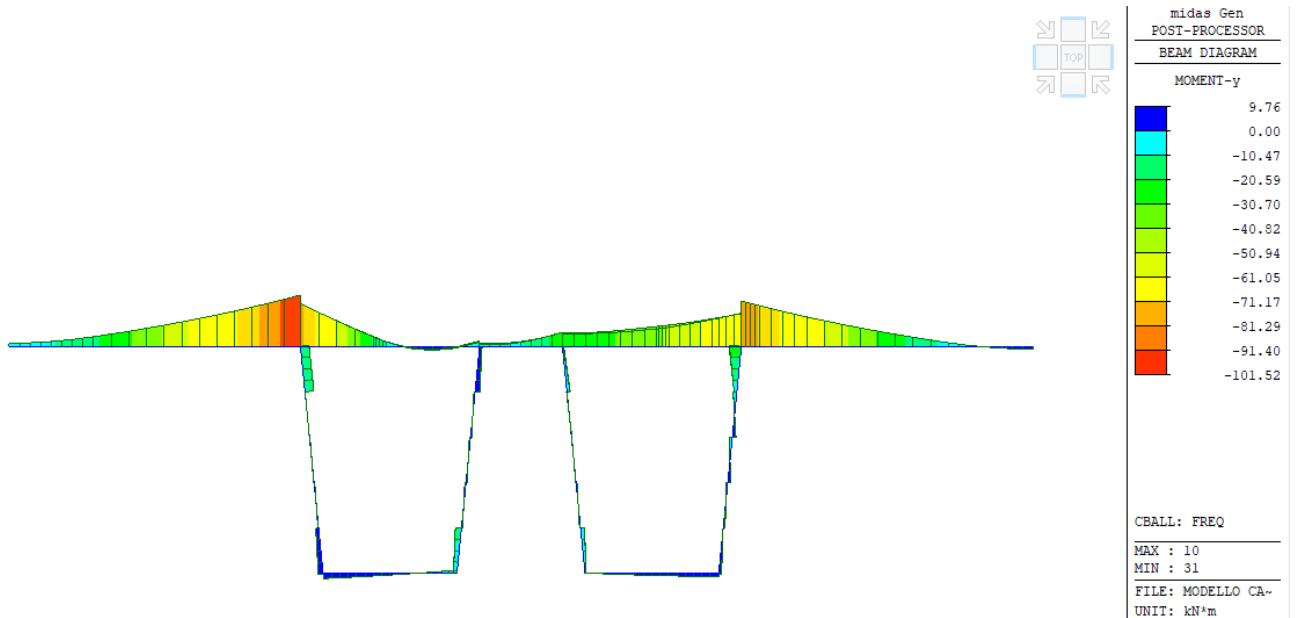


Figura 92 - Sollecitazione flessionale – combinazione frequente

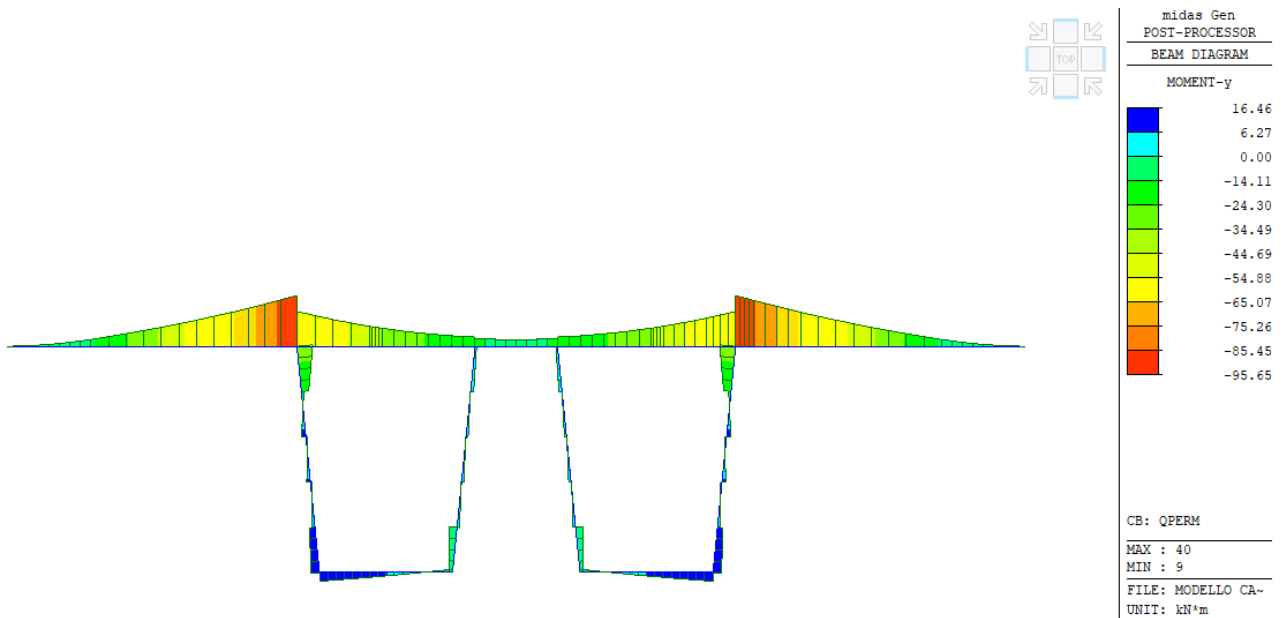


Figura 93 - Sollecitazione flessionale – combinazione quasipermanente

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	117 di 131

8.1.3 Verifiche sezione in mezzera

8.1.3.1 Verifica a pressoflessione

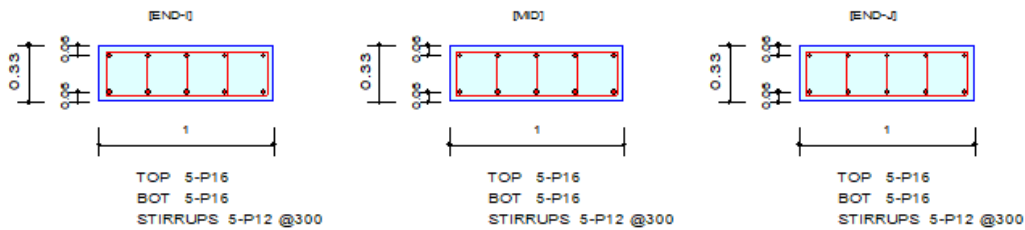
L'armatura ordinaria sulla soletta risulta essere:

Ø16/20 strato sup.

Ø16/20 strato inf.

1. Design Information

Design Code	Eurocode2:04 & NTC2018	Unit System	kN, m
Material Data	fck = 30000, fyk = 450000, fyw = 450000 KPa		
Section Property	100x33 (No : 1)	Beam Span	1.3425m



2. Bending Moment Capacity

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	6-	6-	6-
Moment (M _{Ed})	82.49	82.45	103.73
Factored Strength (M _{Rd})	107.62	107.62	107.62
Check Ratio (M _{Ed} /M _{Rd})	0.7665	0.7661	0.9638
Neutral Axis (x/d)	0.1680	0.1680	0.1680
(+) Load Combination No.	6+	6+	6+
Moment (M _{Ed})	53.63	60.30	46.89
Factored Strength (M _{Rd})	107.62	107.62	107.62
Check Ratio (M _{Ed} /M _{Rd})	0.4983	0.5603	0.4357
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

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	118 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

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}	=	184.00	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	=	300	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	=	0.0034	--

VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO

Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione (≤ 2)	k	=	1.82	--
Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls	v_{min}	=	0.52	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	$V_{Rd,min}$	=	157.10	kN
Resistenza ultima a taglio ($V_{Rd} \geq V_{Rd,min}$)	V_{Rd}	=	157.10	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

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	119 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

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

$$\begin{aligned} V_{Rsd} &= 492.49 \text{ kN} \\ V_{Rcd} &= 992.41 \text{ kN} \\ V_{Rd} &= 492.49 \text{ kN} \end{aligned}$$

VERIFICA SODDISFATTA.

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	120 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

8.1.3.3 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio

2. Stress Check

	END-I		MID		END-J	
	Concrete	Rebar	Concrete	Rebar	Concrete	Rebar
(-) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	10(C)	10(C)	10(C)	10(C)
Stress(s)	3.26	25.24	2.87	22.21	3.62	28.03
Allowable Stress(sa)	18.00	360.00	18.00	360.00	18.00	360.00
Stress Ratio(s/sa)	0.1809	0.0701	0.1592	0.0617	0.2008	0.0778
(+) Load Combination No.	9(C)	9(C)	9(C)	9(C)	9(C)	9(C)
Stress(s)	1.87	14.51	2.10	16.30	1.63	12.63
Allowable Stress(sa)	18.00	360.00	18.00	360.00	18.00	360.00
Stress Ratio(s/sa)	0.1040	0.0403	0.1168	0.0453	0.0905	0.0351

3. Check Linear Creep

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	12(Q)
Stress(s)	3.26	2.51	3.25
Allowable Stress(sa)	13.50	13.50	13.50
Stress Ratio(s/sa)	0.2412	0.1856	0.2410
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)	0.1562	0.1346	0.1706
(+) Load Combination No.	11(F)	11(F)	11(F)
Crack Width(w)	0.00	0.00	0.00
Allowable Crack Width(wa)	0.20	0.20	0.20
Check Ratio(w/wa)	0.0096	0.0195	0.0144

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI01

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	121 di 131

8.1.4 Verifiche sezione sullo sbalzo

8.1.4.1 Verifica a pressoflessione

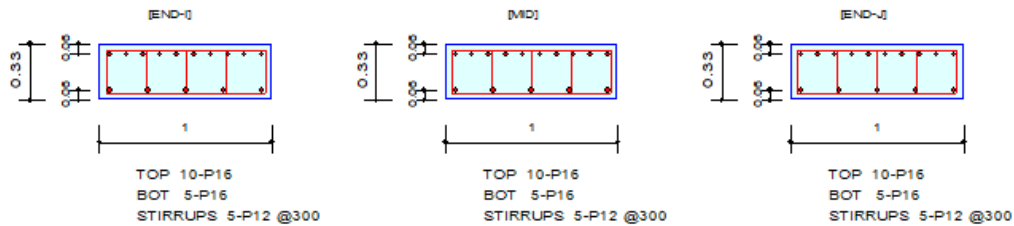
L'armatura ordinaria sulla soletta risulta essere:

Ø16/20 correnti + Ø16/20 di infittimento arm. sup.

Ø16/20 arm. inf.

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	0.688292m



2. Bending Moment Capacity

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	6-	6-	6-
Moment (M_{Ed})	136.70	137.34	149.33
Factored Strength (M_{Rd})	194.08	194.08	194.08
Check Ratio (M_{Ed}/M_{Rd})	0.7043	0.7076	0.7694
Neutral Axis (x/d)	0.2178	0.2178	0.2178
(+) Load Combination No.	6+	6+	6+
Moment (M_{Ed})	9.78	20.55	25.64
Factored Strength (M_{Rd})	109.21	109.21	109.21
Check Ratio (M_{Ed}/M_{Rd})	0.0895	0.1882	0.2348
Neutral Axis (x/d)	0.1846	0.1846	0.1846
Using Rebar Top (A_{s_top})	0.0020	0.0020	0.0020
Using Rebar Bot (A_{s_bot})	0.0010	0.0010	0.0010

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	122 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

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	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}	=	217.00	kN
Valore di calcolo della forza assiale associata a V_{Ed}	$N(V_{Ed})$	=	0.00	kN
Valore di calcolo del momento flettente associato a V_{Ed}	$M(V_{Ed})$	=	0.00	kNm

Caratteristiche geometriche della sezione:

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

Armatura della sezione in zona tesa:

Diametro ferri longitudinali	\emptyset	=	16	mm
Numero tondini longitudinali utilizzati	n	=	10	--
Area totale di armatura longitudinale in zona tesa	A_{sl}	=	2010	mm ²
Rapporto geometrico dell'armatura longitudinale (≤ 0.02)	ρ_l	=	0.0072	--

VERIFICA SENZA ARMATURA TRASVERSALE RESISTENTE A TAGLIO

Fattore dipendente dall'altezza utile della sezione (≤ 2)	k	=	1.85	--
Tensione dipendente dal fattore k e dalla resistenza del cls	v_{min}	=	0.54	N/mm ²
Tensione media di compressione nella sezione ($\leq 0.2 \times f_{cd}$)	σ_{cp}	=	0.00	N/mm ²
Resistenza ultima a taglio minima	$V_{Rd,min}$	=	150.11	kN
Resistenza ultima a taglio ($V_{Rd} \geq V_{Rd,min}$)	V_{Rd}	=	185.56	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	α	=	90	°
--	----------	---	-----------	---

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	123 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

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

$$\begin{aligned} V_{Rsd} &= 459.66 \text{ kN} \\ V_{Rcd} &= 926.25 \text{ kN} \\ V_{Rd} &= 459.66 \text{ kN} \end{aligned}$$

VERIFICA SODDISFATTA.

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	124 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

 8.1.4.3 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio

2. Stress Check

	END-I		MID		END-J	
	Concrete	Rebar	Concrete	Rebar	Concrete	Rebar
(-) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	10(C)	10(C)	10(C)	10(C)
Stress(s)	8.24	200.24	8.33	197.04	9.05	214.50
Allowable Stress(sa)	18.00	360.00	18.00	360.00	18.00	360.00
Stress Ratio(s/sa)	0.4578	0.5562	0.4630	0.5473	0.5029	0.5958
(+) Load Combination No.	9(C)	9(C)	9(C)	9(C)	9(C)	9(C)
Stress(s)	0.32	2.62	0.68	5.52	0.85	6.89
Allowable Stress(sa)	18.00	360.00	18.00	360.00	18.00	360.00
Stress Ratio(s/sa)	0.0178	0.0073	0.0376	0.0153	0.0470	0.0191

3. Check Linear Creep

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	12(Q)
Stress(s)	8.24	8.04	8.24
Allowable Stress(sa)	13.50	13.50	13.50
Stress Ratio(s/sa)	0.6104	0.5958	0.6102
Result	Linear Creep	Linear Creep	Linear Creep
(+) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	12(Q)
Stress(s)	0.00	0.00	0.00
Allowable Stress(sa)	0.00	0.00	0.00
Stress Ratio(s/sa)	0.0000	0.0000	0.0000
Result	Linear Creep	Linear Creep	Linear Creep

4. Crack Control

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	12(Q)	12(Q)	11(F)
Crack Width(w)	0.17	0.17	0.19
Allowable Crack Width(wa)	0.20	0.20	0.20
Check Ratio(w/wa)	0.8588	0.8355	0.9433
(+) 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 Relazione di calcolo impalcato VI01</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0108 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 125 di 131</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 $120 < V_{\max} \leq 200 \text{ km/h}$.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 001	REV. A

10 SCARICHI IMPALCATO

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

10.1 Valutazione dell'azione sugli appoggi

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

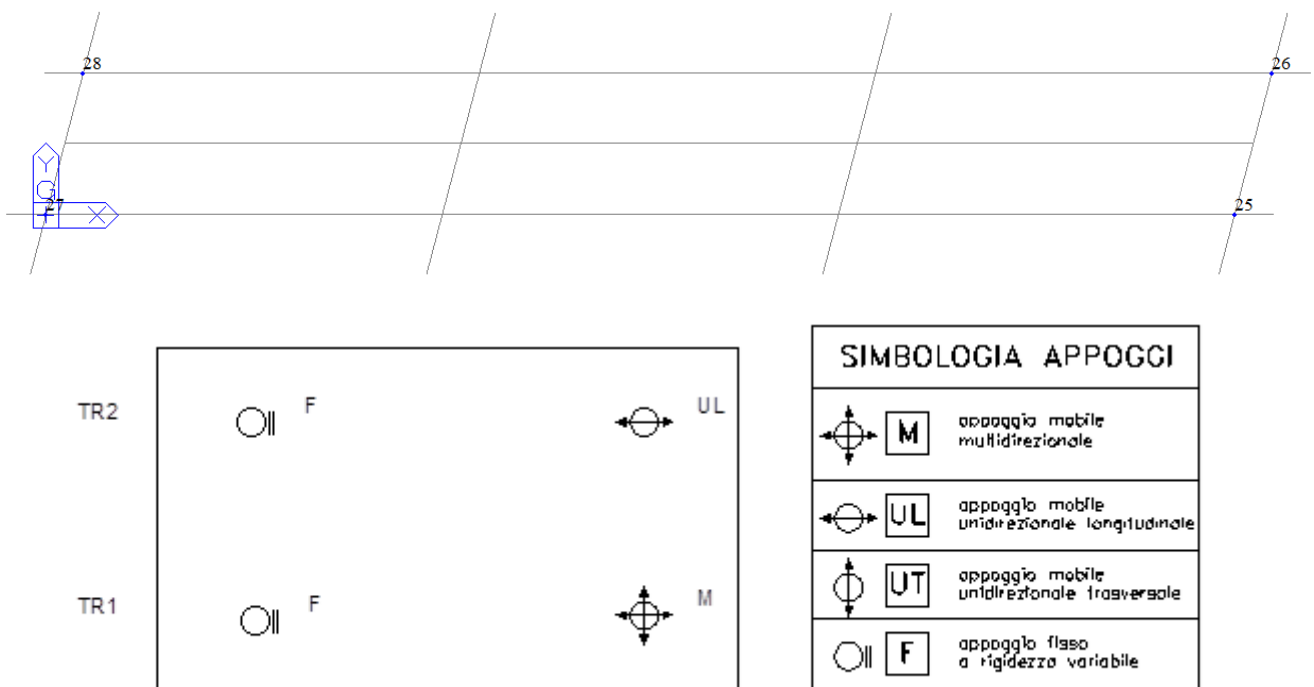


Figura 95 – Schema degli appoggi

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	127 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01
Tabella 5 - Scarichi delle condizioni elementari – lato appoggi fissi

	27			28		
	Fisso			Fisso		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
Peso proprio	405	8	1	414	-8	-1
Soletta	476	10	-1	487	-10	2
Perm NS	697	9	414	735	-9	-425
Treno scarico	54	0	22	60	0	-22
LM71*a*Phi	936	-41	303	1069	41	-311
SW2*Phi	936	-32	363	1119	32	-373
Marciapiedi	101	3	114	81	-3	-117
Centrifuga	-251	1	-321	265	-1	73
Serp LM71	1	0	-28	-1	0	-28
Serp SW/2	1	0	-26	-1	0	-25
Avv LM71	402	-376	-619	-431	-452	641
Avv SW/2	365	-342	-563	-392	-410	582
Fren LM71	243	-228	-375	-261	-274	388
Fren SW/2	387	-363	-597	-415	-435	618
Fw_vento	-138	11	-231	256	-11	21
Deragliamento	2113	56	1449	-885	-56	-1484
Temperatura	44	130	598	44	130	601

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	128 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01
Tabella 6 - Scarichi delle condizioni elementari – lato appoggi mobili

	26			25		
	UL			M		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
<i>Peso proprio</i>	405	0	-1	414	0	0
<i>Soletta</i>	476	0	-1	487	0	0
<i>Perm NS</i>	696	0	11	735	0	0
<i>Treno scarico</i>	54	0	1	60	0	0
<i>LM71*a*Phi</i>	933	0	8	1054	0	0
<i>SW2*Phi</i>	936	0	10	1119	0	0
<i>Marcia piedi</i>	101	0	3	81	0	0
<i>Centrifuga</i>	258	0	-252	-273	0	0
<i>Serp LM71</i>	1	0	-54	-1	0	0
<i>Serp SW/2</i>	1	0	-49	-1	0	0
<i>Avv LM71</i>	431	0	-22	-402	0	0
<i>Avv SW/2</i>	392	0	-20	-365	0	0
<i>Fren LM71</i>	261	0	-13	-243	0	0
<i>Fren SW/2</i>	415	0	-21	-387	0	0
<i>Fw_vento</i>	249	0	-203	-134	0	0
<i>Deragliamento</i>	-812	0	35	2138	0	0
<i>Temperatura</i>	44	0	3	44	0	0

Tabella 7 – Scarichi massimi di combinazione a seconda della tipologia di appoggio

	Fisso		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
EN SLU	4534	-666	2104

	Fisso		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
EN SLV	2932	1278	2689

	UL		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
EN SLU	4446	0	-652

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0108 001	A	129 di 131

Relazione di calcolo impalcato VI01

	UL		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
EN SLV	3027	0	1002

	M		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
EN SLU	4523	0	0

	M		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
EN SLV	3262	0	0

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI01	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0108 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 8 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 8 – 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 VI01</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0108 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 131 di 131</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.