

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DEFINITIVO

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

VI03 - Viadotto su Torrente Varatello da Km 77+427 a Km 77+473

Relazione di calcolo impalcato in acc/cls L=46m – VI03

SCALA:

-

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

I V 0 I 0 0 D 0 9 C L V I 0 3 0 9 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	G.Grimaldi	Feb. 2022	R. Bonifacio	Feb. 2022	G.Fadda	Feb. 2022	A. Vittozzi data

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e gestione delle varianti
Dott. Ing. Andrea Vittozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° 420783

File: IV0100D09CLVI0309001A.doc

n. Elab.: X

INDICE

1	GENERALITA'	5
1.1	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA	5
1.2	DESCRIZIONE IMPALCATI	7
1.3	DESCRIZIONE DELLE SPALLE	8
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	10
2.1	ELABORATI DI RIFERIMENTO	11
3	MATERIALI	12
3.1	CALCESTRUZZO PER GETTI IN OPERA IMPALCATO.....	12
3.2	ACCIAIO PER C.A.....	12
3.3	ACCIAIO DA CARPENTERIA METALLICA	13
3.3.1	<i>Travi, traversi, profilati e piastre</i>	13
3.3.2	<i>Unioni bullonate</i>	13
4	ANALISI DEI CARICHI	14
4.1	CARICHI PERMANENTI STRUTTURALI (G1).....	14
4.1.1	<i>Peso acciaio</i>	14
4.1.2	<i>Peso getto</i>	14
4.2	CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI (G2).....	14
4.2.1	<i>Peso impermeabilizzazione camminamenti laterali</i>	14
4.2.2	<i>Peso muretti paraballast</i>	14
4.2.3	<i>Peso cavidotti</i>	14
4.2.4	<i>Peso cordoli laterali</i>	14
4.2.5	<i>Peso barriere antirumore</i>	15
4.2.6	<i>Velette</i>	15
4.3	CARICO BALLAST (B)	15
4.4	AZIONI VERTICALI DA TRAFFICO (Q)	15

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	3 di 83

Relazione di calcolo impalcato VI03

4.4.1	<i>Coefficienti di amplificazione dinamica e di adattamento</i>	15
4.4.2	<i>Treno di carico LM71</i>	16
4.4.3	<i>Treno di carico SW/2</i>	16
4.4.4	<i>Contemporaneità dei treni</i>	17
4.4.5	<i>Treno scarico</i>	17
4.5	AZIONI ORIZZONTALI DA TRAFFICO (Q)	17
4.5.1	<i>Forza centrifuga</i>	17
4.5.2	<i>Serpeggio</i>	19
4.5.3	<i>Avviamento e frenatura</i>	19
4.6	AZIONI CLIMATICHE (QI)	19
4.6.1	<i>Temperatura</i>	19
4.6.2	<i>Vento</i>	20
4.7	AZIONI AERODINAMICI ASSOCIATI AL PASSAGGIO DEI CONVOGLI	26
4.8	AZIONI INDIRETTE (P)	28
4.8.1	<i>Ritiro</i>	28
4.8.2	<i>Viscosità</i>	29
4.9	AZIONE SISMICA (E)	29
5	COMBINAZIONE DEI CARICHI	32
6	MODELLO DI CALCOLO	36
7	TRAVI PRINCIPALI - VERIFICHE DI RESISTENZA	39
7.1	RESISTENZE DI CALCOLO DEI MATERIALI	39
7.2	CONVENZIONI SEGNI SOLLECITAZIONI E TENSIONI	39
7.3	SOLLECITAZIONI AGENTI SULLE TRAVI	40
7.4	RIASSUNTO TENSIONI MASSIME	43
8	TRAVI PRINCIPALI - VERIFICHE A FATICA	48
8.1	COEFFICIENTE DI SICUREZZA PER LE VERIFICHE A FATICA	48

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	4 di 83

Relazione di calcolo impalcato VI03

8.2	CLASSE DEI DETTAGLI	48
8.3	VERIFICA A DANNEGGIAMENTO.....	50
8.4	RISULTATI DELLE VERIFICHE A FATICA.....	53
9	VERIFICHE SOLETTA D'IMPALCATO	58
9.1	VERIFICHE SEZIONE SUGLI SBALZI (IN CORRISPONDENZA DELLE TRAVI ESTERNE).....	63
9.2	VERIFICHE SEZIONE IN MEZZERIA (IN CORRISPONDENZA DELLE TRAVI INTERNE)	66
10	VERIFICHE CONTROVENTI.....	69
11	VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ E VIBRAZIONI	76
11.1	DEFORMABILITÀ PARTE IN ACCIAIO.....	76
11.2	INFLESSIONE NEL PIANO VERTICALE DELL'IMPALCATO	77
11.3	STATI LIMITE PER IL COMFORT DEI PASSEGGERI	78
11.4	VERIFICA DEFORMAZIONI TORSIONALI (SGHEMBO)	79
12	REAZIONI SUGLI APPOGGI	80
13	VARCHI E GIUNTI.....	82
14	VALUTAZIONE DELLA ACCETTABILITÀ DEI RISULTATI OTTENUTI (RIF.PAR.10.2 DM 17/01/2018)	83

1 GENERALITA'

La presente relazione ha per oggetto il viadotto ferroviario a doppio binario sul torrente Varatello previsto dal progetto definitivo di raddoppio della linea Genova-Ventimiglia tratta Finale Ligure-Andora tra le progressive chilometriche 77+427 e 77+473.

1.1 Descrizione Generale Dell'opera

Il viadotto in esame si sviluppa su una campata a doppio binario di luce pari a 46 m. Essendo il viadotto a ridosso del torrente Varatello, per il quale viene prevista un'opportuna sistemazione idraulica, e stato necessario prevedere adeguate opere provvisorie per la realizzazione delle spalle.

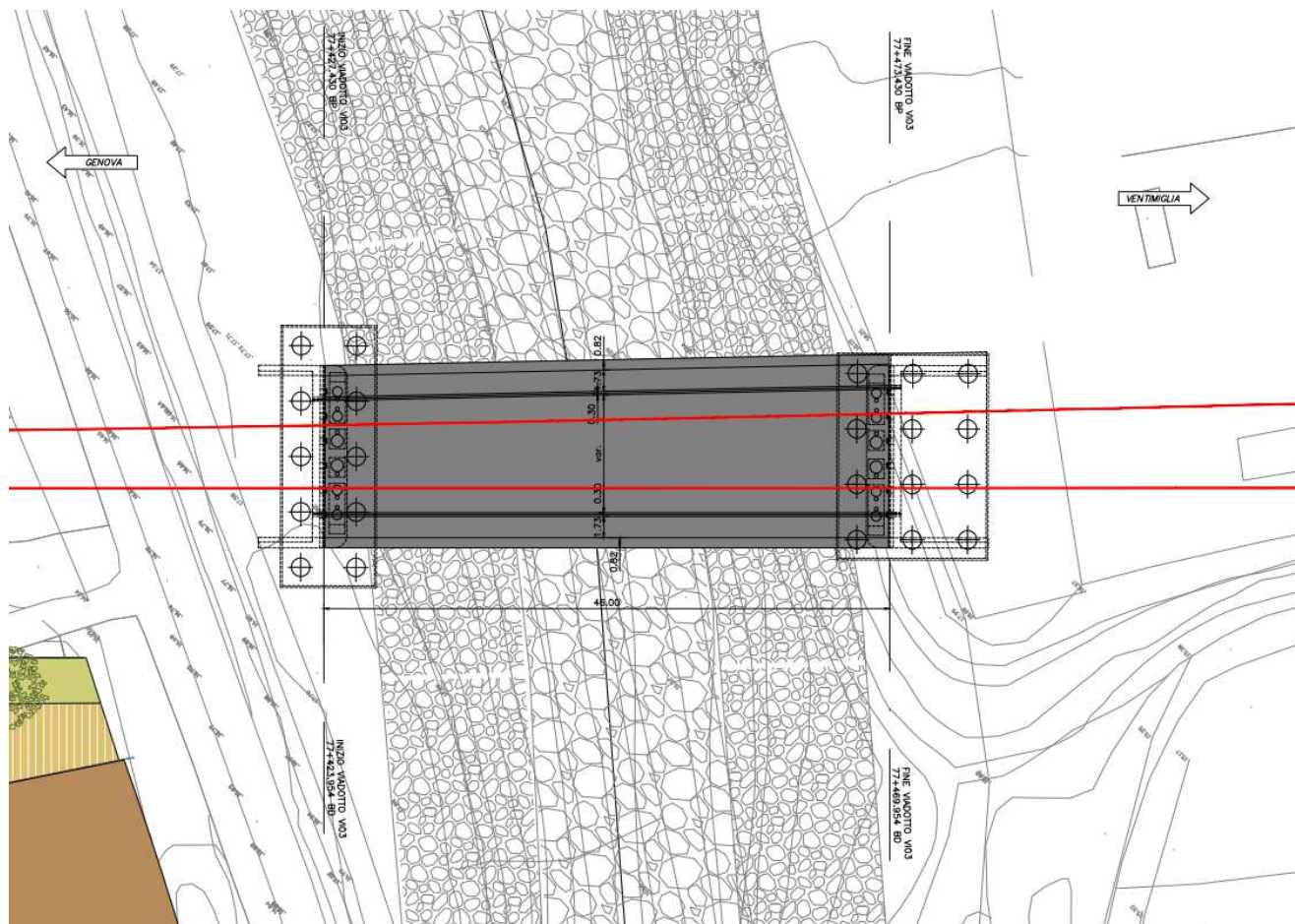


Figura 1: planimetria generale

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	6 di 83

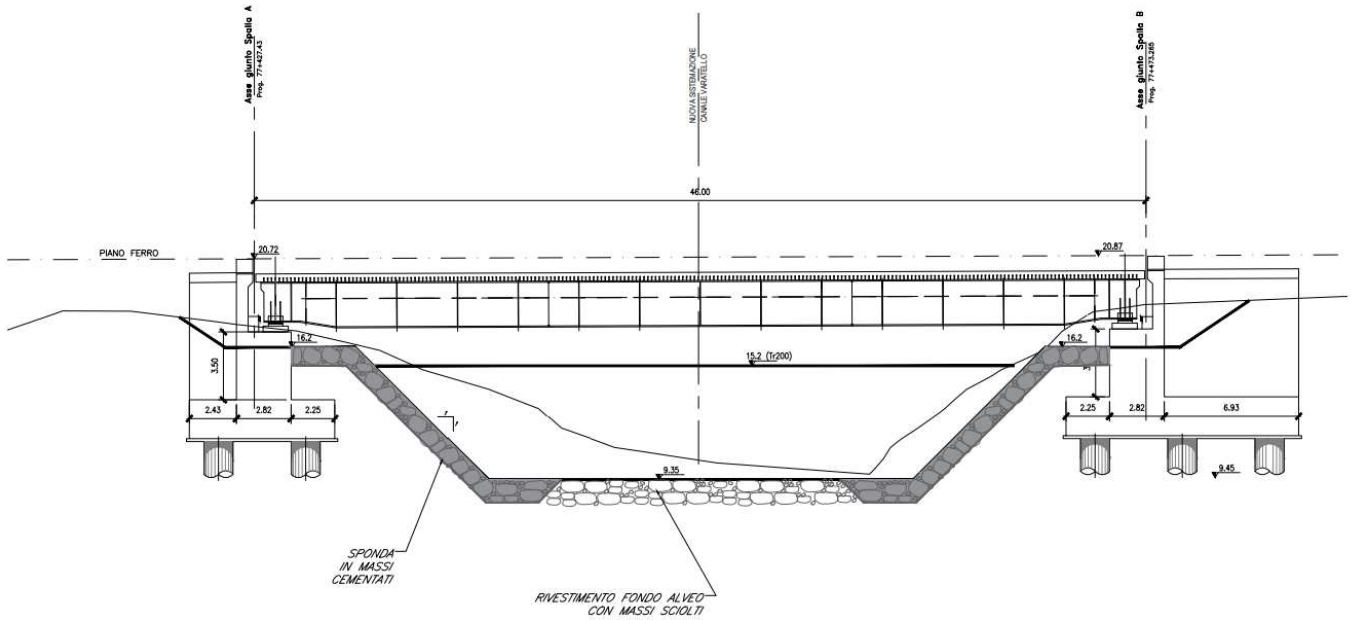


Figura 2: Profilo longitudinale

1.2 Descrizione Impalcati

La luce di 46.00 m viene superata mediante un impalcato in struttura mista acciaio-calcestruzzo realizzato da sei travi in acciaio a doppio T collaboranti con una soletta di calcestruzzo per mezzo di connettori a taglio disposti sulla piattabanda superiore. Le travi hanno un'altezza di 2.37 m che si riduce a 2.07 m in corrispondenza degli appoggi. La singola trave è realizzata mediante la giunzione di tre conci. Per migliorare la ripartizione trasversale dei carichi le sei travi sono collegate da diaframmi reticolari. La controventatura di piano posta in corrispondenza della piattabanda superiore ha lo scopo di assicurare la stabilità delle travi durante le fasi di varo e di getto della soletta. A maturazione avvenuta la soletta completa con la controventatura inferiore la rigidità torsionale dell'impalcato. L'ispezionabilità è consentita mediante la posa di grigliati sulle piattabande inferiori delle travi e la predisposizione di passi d'uomo sui diaframmi a parete piena. Il sollevamento dell'impalcato per l'eventuale sostituzione degli appoggi può essere eseguito mediante martinetti posti in corrispondenza del diaframma di testata che, a tale scopo, presenta opportuni irrigidimenti. L'impalcato a doppio binario è caratterizzato da un armamento di tipo tradizionale su ballast.

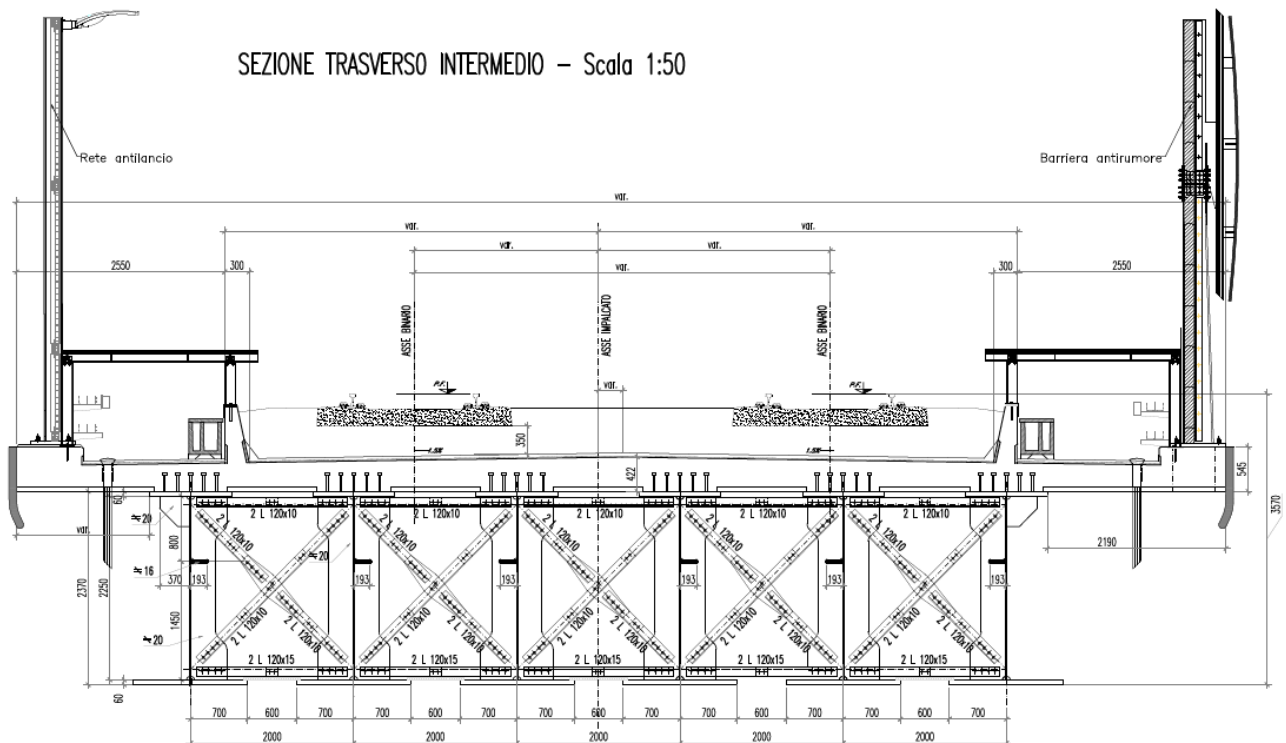


Figura 3: sezione tipo impalcato

1.3 Descrizione delle Spalle

La spalla A su cui poggia l'impalcato in struttura mista acciaio-calcestruzzo ha un plinto di fondazione a pianta rettangolare di dimensioni pari a 7.50 x 21.00 m e spessore 2.00 m. Il muro di testata spesso 2.82m è alto 3.50. Il muro paraghia è spesso 0.60 m, mentre i muri andatori hanno spessore 0.80 m. La spalla è fondata su dieci pali.

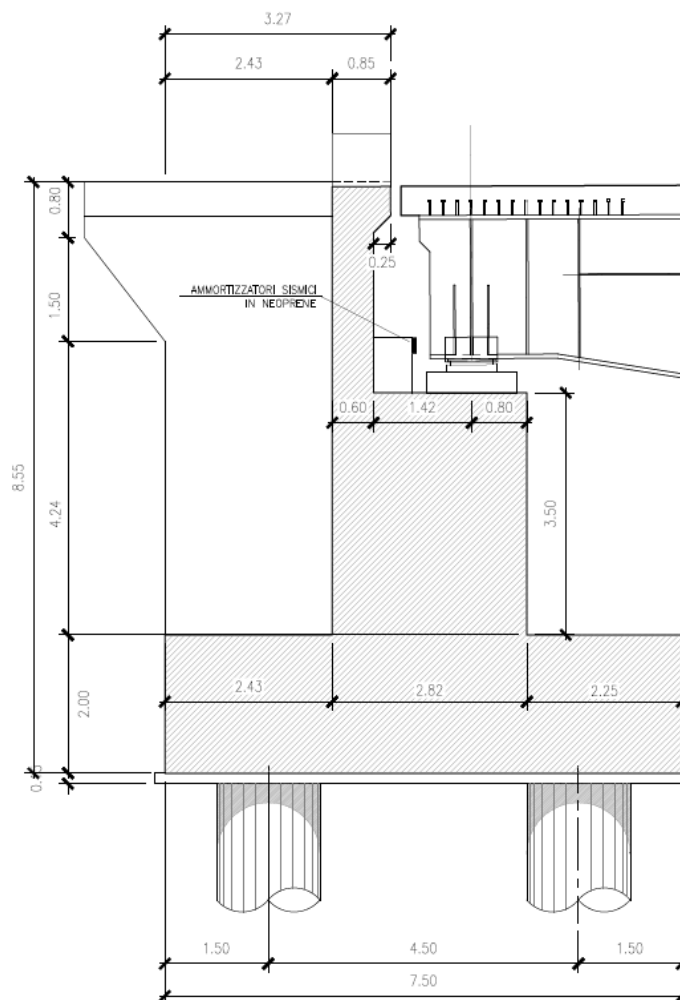


Figura 4: Spalla A

La spalla B su cui poggia l'impalcato in struttura mista acciaio-calcestruzzo ha un plinto di fondazione a pianta rettangolare di dimensioni pari a 12.00 x 16.50m e spessore 2.00 m. Il muro di testata spesso 2.82m è alto 3.50. Il muro paraghiaia è spesso 0.60 m, mentre i muri andatori hanno spessore 0.80 m. La spalla è fondata su dodici pali.

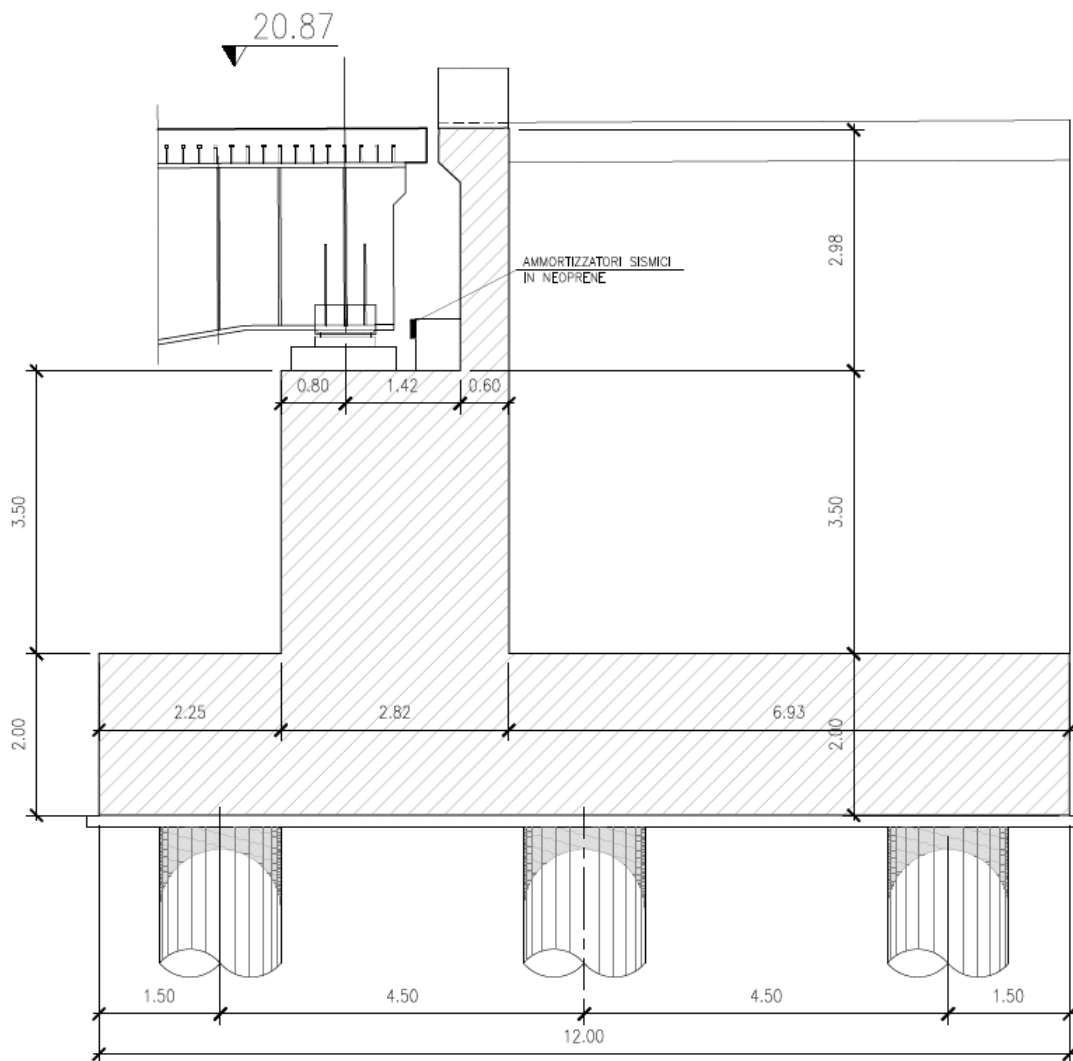


Figura 5: Spalla B

 <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 VI03</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0309 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 10 di 83</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	VI0309 001	A	11 di 83

Relazione di calcolo impalcato VI03
2.1 Elaborati di riferimento

Viadotto su Torrente Varatello da Km 77+389 a Km 77+619																						
Relazione tecnico descrittiva	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	R	H	V	I	0	3	0	0	0	0	1	B
Relazione geotecnica e di calcolo fondazioni		I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	3	0	3	0	0	1	A
Relazione di calcolo spalla A	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	3	0	4	0	0	1	A
Relazione di calcolo spalla B	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	3	0	4	0	0	2	A
Planimetria generale dell'intervento	1:200	I	V	0	I	0	0	D	0	9	P	9	V	I	0	3	0	0	0	0	1	B
Prospetto e Sezione longitudinale bin. Dispari	1:100	I	V	0	I	0	0	D	0	9	A	Z	V	I	0	3	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	3	0	3	0	0	2	B
pianta fondazioni		I	V	0	I	0	0	D	0	9	P	A	V	I	0	3	0	3	0	0	1	B
Carpenteria spalla A tav.1/2	varie	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	3	0	4	0	0	1	A
Carpenteria spalla A tav. 2/2		I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	3	0	4	0	0	2	A
Carpenteria spalla B tav.1/2		I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	3	0	4	0	0	3	A
Carpenteria spalla B tav. 2/2		I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	3	0	4	0	0	4	A
Opere provvisionali		I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	3	0	3	0	0	1	A
Particolari, dettagli e finiture 1 di 2	varie	I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	Z	V	I	0	3	0	0	0	0	1	B
Fasi realizzative e opere provvisionali	varie	I	V	0	I	0	0	D	0	9	P	Z	V	I	0	3	0	0	0	0	1	A
Schema di vincolo appoggi e giunti		I	V	0	I	0	0	D	0	9	D	Z	V	I	0	3	0	7	0	0	1	A
Schema di montaggio e varo		I	V	0	I	0	0	D	0	9	D	Z	V	I	0	3	0	0	0	0	1	A
Relazione di calcolo impalcato in acc/cls L=46m (SPA-SPB)	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	3	0	9	0	0	1	A
Relazione di calcolo opere provvisionali	-	I	V	0	I	0	0	D	0	9	C	L	V	I	0	3	0	3	0	0	1	A
Carpenteria impalcato acc/cls		I	V	0	I	0	0	D	0	9	B	B	V	I	0	3	0	9	0	0	1	B

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	12 di 83

Relazione di calcolo impalcato VI03

3 MATERIALI

3.1 Calcestruzzo per getti in opera impalcato

Classe	C35/45		
$R_{ck} =$	45	MPa	resistenza caratteristica cubica
$f_{ck} =$	35	MPa	resistenza caratteristica cilindrica
$f_{cm} =$	43	MPa	valor medio resistenza cilindrica
$\alpha_{cc} =$	0.85		coef. rid. Per carichi di lunga durata
$g_M =$	1.5	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$f_{cd} =$	19.83	MPa	resistenza di progetto
$f_{ctm} =$	3.21	MPa	resistenza media a trazione semplice
$f_{ctm} =$	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
$\nu =$	0.2		Coefficiente di Poisson
$G_c =$	14199	MPa	Modulo elastico Tangenziale di progetto

3.2 Acciaio per c.a.

B450C			
$f_{yk} \geq$	450	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$f_{tk} \geq$	540	MPa	tensione caratteristica di rottura
$(f_t/f_y)_k \geq$	1,15		
$(f_t/f_y)_k <$	1,35		
$g_s =$	1,15	-	coefficiente parziale di sicurezza SLU
$f_{yd} =$	391,3	MPa	tensione caratteristica di snervamento
$E_s =$	200000	MPa	Modulo elastico di progetto
$\epsilon_{yd} =$	0,196%		deformazione di progetto a snervamento
$\epsilon_{uk} = (A_{gt})_k$	7,50%		deformazione caratteristica ultima

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	13 di 83

Relazione di calcolo impalcato VI03

3.3 Acciaio da carpenteria metallica

3.3.1 Travi, traversi, profilati e piastre

Si utilizza un acciaio strutturale tipo **S355 J0 / J2** (ex Fe510), conforme alle norme UNI EN 10025, con le seguenti caratteristiche meccaniche:

Modulo elastico	E =	210000 N/mm ²
Tensione caratteristica di snervamento (t ≤ 40 mm)	f _{yk} =	355.00 N/mm ²
Tensione caratteristica di rottura (t ≤ 40 mm)	f _{tk} =	510.00 N/mm ²
Coefficiente di sicurezza per resistenza membrature	γ _{M0} =	1.05 --
Coefficiente di sicurezza per instabilità nei ponti	γ _{M1} =	1.10 --
Resistenza di calcolo membrature (t ≤ 40 mm)	f _d =	338.10 N/mm ²
Resistenza di calcolo per instabilità (t ≤ 40 mm)	f _d =	322.73 N/mm ²

3.3.2 Unioni bullonate

Si utilizzano bulloni ad alta resistenza di **classe 8.8**.

Per le caratteristiche meccaniche si fa riferimento a quanto riportato nel paragrafo 11.3.4.6.1 del D.M. 17/01/2018.

 <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 VI03</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0309 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 14 di 83</p>

4 ANALISI DEI CARICHI

4.1 Carichi permanenti strutturali (G1)

4.1.1 *Peso acciaio*

Il peso dell'acciaio è calcolato in maniera automatica dal programma di calcolo sulla base del peso specifico dell'acciaio e dell'area delle sezioni degli elementi strutturali. Il peso dovuto alle bullonature e agli irrigidimenti è stato considerato applicando una maggiorazione del peso dell'acciaio pari al 15% del peso degli elementi modellati.

4.1.2 *Peso getto*

Il peso del getto di calcestruzzo (spessore complessivo variabile da 32 cm a 42 cm) è stato considerato costante sull'intera larghezza dell'impalcato e pari al peso del getto di uno spessore medio di $(32+42) = 37$ cm, ossia 9.25 kN/mq.

4.2 Carichi permanenti non strutturali (G2)

4.2.1 *Peso impermeabilizzazione camminamenti laterali*

Il peso dell'impermeabilizzazione è stato considerato pari a 1.3 kN/mq per una larghezza totale dei camminamenti pari a $2 \times 1.70 \text{ m} = 3.40 \text{ m}$.

Nel modello il carico è stato inserito mediante carichi uniformemente distribuito.

4.2.2 *Peso muretti paraballast*

Il peso dei muretti paraballast è pari a $0.70 \text{ m} \times 0.25 \text{ m} \times 1.00 \text{ m} \times 25 \text{ kN/mc} = 4.38 \text{ kN/m}$.

Nel modello il carico è stato inserito mediante carichi nodali valutati in base all'interasse dei nodi.

4.2.3 *Peso cavidotti*

Il peso dei cavidotti è stato considerato pari a 1.50 kN/m.

Nel modello il carico è stato inserito mediante un carico uniformemente distribuito.

4.2.4 *Peso cordoli laterali*

Il peso dei cordoli laterali è pari a $0.82 \text{ m} \times 0.21 \text{ m} \times 1.00 \text{ m} \times 25 \text{ kN/mc} = 4.305 \text{ kN/m}$.

Nel modello il carico è stato inserito mediante carichi nodali valutati in base all'interasse dei nodi.

 <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 VI03</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0309 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 15 di 83</p>

4.2.5 *Peso barriere antirumore*

Il peso di ciascuna barriera antirumore è stato considerato pari a 15kN/m.

Nel modello il carico è stato inserito mediante carichi uniformemente distribuiti.

4.2.6 *Velette*

Il peso di ciascuna veletta è stato considerato pari a 1.30kN/m.

Nel modello il carico è stato inserito mediante carichi nodali valutati in base all'interasse dei nodi.

4.3 **Carico ballast (B)**

Il peso del ballast è stato calcolato considerando una larghezza media tra i muretti paraballast di 9.70 m, uno spessore di 0.80m e un peso specifico di 18kN/mc.

Nel modello il carico è stato applicato mediante un carico uniforme.

4.4 **Azioni verticali da traffico (Q)**

4.4.1 *Coefficienti di amplificazione dinamica e di adattamento*

Considerando quella in oggetto una linea a normale standard manutentivo il coefficiente di amplificazione è pari a:

$$\Phi_3 = \frac{2.16}{\sqrt{L_\Phi} - 0.2} + 0.73$$

$$\Phi_3 = 1.066 \quad \text{per la verifica delle travi in acciaio (} L_\Phi = 43.82\text{m)}$$

Considerando quella in oggetto un'infrastruttura di categoria "A" il coefficiente di adattamento α è stato assunto pari a:

$$\alpha = 1.1 \quad \text{per il modello di carichi LM71}$$

$$\alpha = 1 \quad \text{per il modello di carico SW/2.}$$


 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI03	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0309 001	REV. A

Tabella 1 - coefficienti α per modelli di carico

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

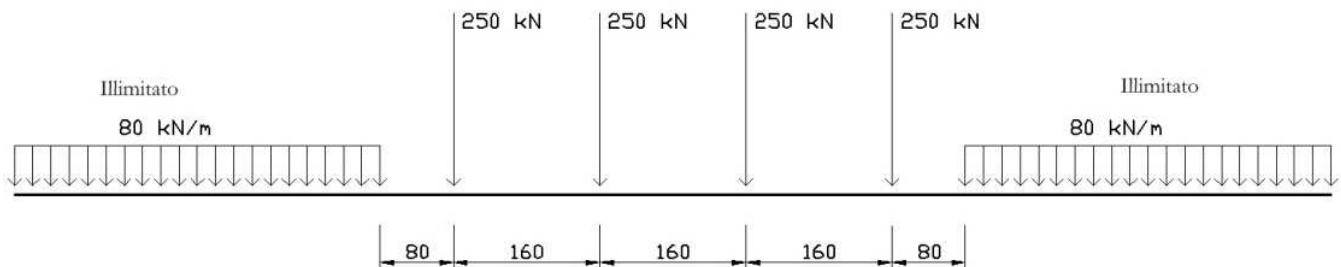
4.4.2 Treno di carico LM71

$$Q_{vk}=250 \times \alpha=275 \text{ kN}$$

$$q_{vk}=80 \times \alpha=88 \text{ kN/m}$$

Tale treno di carico è stato considerato segmentabile con una eccentricità trasversale pari a $s/18 = 0.08 \text{ m}$

In base all'elemento strutturale da verificare il carico è stato successivamente maggiorato mediante il coefficienti di amplificazione dinamica.



4.4.3 Treno di carico SW/2

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

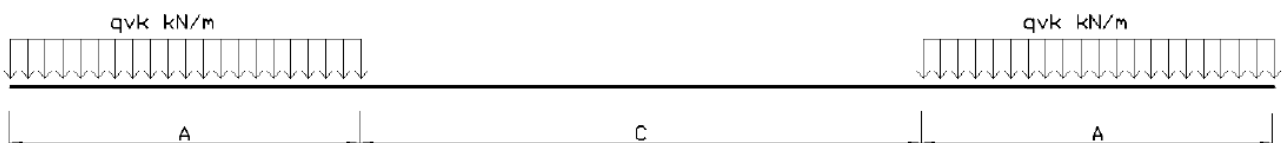


Figura 2 – Treno di carico SW

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI03	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0309 001	REV. A

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.

4.4.4 Contemporaneità dei treni

Nei confronti del momento flettente in mezzzeria risultano più gravosi i treni LM71 e SW/2. Per massimizzare tale effetto, pertanto, è stata considerata la situazione di traffico pesante che prevede il treno SW/2 sul primo binario e il treno LM71 sul secondo binario.

4.4.5 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.

4.5 Azioni orizzontali da traffico (Q)

4.5.1 Forza centrifuga

Uno dei due binari si trova su un tratto di curva con raggio R=2350 m e, pertanto, è stata considerata un'azione centrifuga applicata alla quota di 1.80m 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.

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	18 di 83

Relazione di calcolo impalcato VI03

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	2350	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	48	m
lunghezza di influenza del binario	Lf	43.82	m

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	4168	1.066	120	1.1	1	235.9	5.1
LM71 b	4168	1.066	200	1	0.654	389.5	8.5
SW/0	5850	1.066	100	1	1	209.0	4.5
SW/2	4168	1.066	120	1.1	1	235.9	5.1

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI03	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0309 001	REV. A

4.5.2 Serpeggio

Tale azione è stata considerata come una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia perpendicolarmente all'asse del binario. Il valore caratteristico di tale forza è stato assunto pari a $Q_{sk} = 100$ kN per ciascun binario. Tale azione è moltiplicata per il coefficiente di adattamento α .

Per i treni che massimizzano i momenti flettenti l'azione è stata applicata in corrispondenza della sezione di mezzeria. Per i treni che massimizzano i tagli l'azione è stata applicata in prossimità degli appoggi.

$$LM71: \quad F=1.1 \times 100=110 \text{ kN}$$

$$SW/0: \quad F=1 \times 100=100 \text{ kN}$$

4.5.3 Avviamento e frenatura

Sono state considerate delle forze agenti sulla sommità del binario, nella direzione longitudinale dello stesso. I valori caratteristici considerati sono:

$$\text{Avviamento: } Q_{1a,k} = 33 [\text{kN/m}] \quad \text{per tutti i modelli di carico}$$

$$\text{Frenatura: } Q_{1b,k} = 20 [\text{kN/m}] \quad \text{per tutti i modelli di carico}$$

Tali azioni vanno moltiplicate per il coefficiente di adattamento α .

$$LM71 \quad L=46.00 \text{ m} \quad \text{frenatura} \quad F=46.00 \times 20 \times 1.1=1012 \text{ kN}$$

$$LM71 \quad L=46.00 \text{ m} \quad \text{avviamento} \quad F=46.00 \times 33 \times 1.1=1669.8 \text{ kN} > 1000 \text{ kN} \rightarrow 1000 \text{ kN}$$

$$SW/2 \quad L=46.00 \text{ m} \quad \text{frenatura} \quad F=46.00 \times 20=920 \text{ kN}$$

$$SW/2 \quad L=46.00 \text{ m} \quad \text{avviamento} \quad F=46.00 \times 33=1518 \text{ kN} > 1000 \text{ kN} \rightarrow 1000 \text{ kN}$$

Nel modello di calcolo l'azione di frenatura/avviamento è stata modellata mediante un carico orizzontale uniformemente distribuito applicato sulle travi.

4.6 Azioni climatiche (Q_i)

4.6.1 Temperatura

Esclusivamente per il calcolo delle escursioni dei giunti e degli apparecchi d'appoggio la variazione termica uniforme volumetrica è stata assunta pari a $\pm 15^\circ \text{C} \times 1.5 = \pm 22.5^\circ \text{C}$.

 <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 VI03</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0309 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 20 di 83</p>

Variatione termica non uniforme di $\pm 5^{\circ}\text{C}$ tra travi e soletta. Esclusivamente per la verifica della deformazione verticale dell'impalcato si è considerata una variazione termica non uniforme di $\pm 10^{\circ}\text{C}$ tra estradosso e intradosso.

Differenza di temperatura di 5°C tra la soletta in calcestruzzo e le travi in acciaio.

4.6.2 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'implacato, ovvero si valutano le azioni aerodinamiche di picco esercitate dal vento sull'impalcato;
- valutazione delle azioni statiche equivalenti.

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

Si considerano i dati seguenti

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	21 di 83

Relazione di calcolo impalcato VI03

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)	$\left\{ \begin{array}{l} a_0 \\ k_a \end{array} \right.$	1000 m
		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

Considerando il massimo tra l'altezza della barriera antirumore (4.90 m) e l'altezza della sagoma 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 8.10 m + 2.37 m + 1 m + 4.9 m, per un'altezza massima di riferimento di 16.37 m (> z_{min}). Il valore del coefficiente di esposizione è pertanto pari a:

$$c_e = k_r^2 \times c_t \times \ln(z/z_0) \times [7 + c_t \times \ln(z/z_0)] \cong 2.46$$

La pressione cinetica di picco è pertanto pari a:

$$q_p = 1/2 \times \rho \times v_r^2 \times c_e(z) \times c_r \cong 1.205 \text{ kPa};$$

con

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

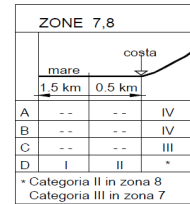
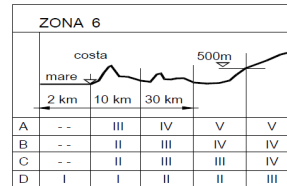
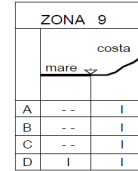
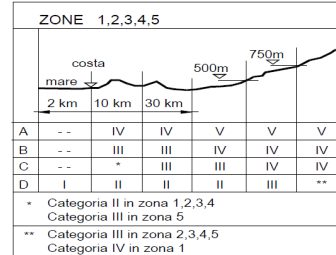
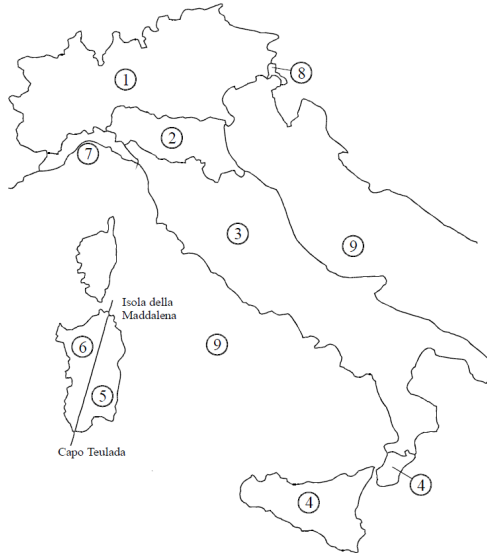


Figura 3.3.2 - Definizione delle categorie di esposizione

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 3 - 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 "fx", a una forza verticale "fz" e ad un momento intorno alla linea d'asse "my".

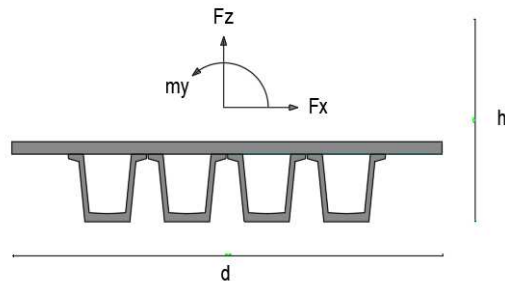


Figura 4 - sistema di riferimento ed azioni del vento

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:

$$d_{tot} \cong (2.37+1.00+4.90) \cong 8.27 \text{ m}$$

$$b = 15.00 \text{ m};$$

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 $c_{fx,0}$

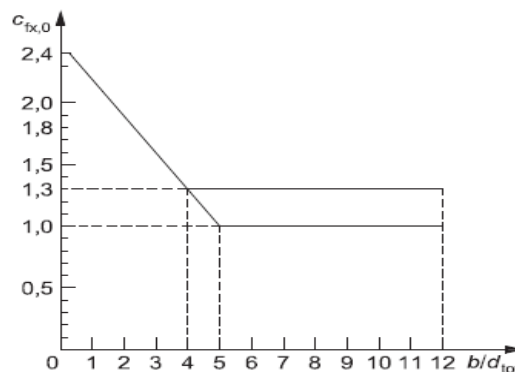


Figura 5 - Fattore di forza trasversale - Eurocodice 1991-1-4

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

dove:

$c_{fx,0}$ indica il coefficiente di forza relativo all’impalcato in assenza di flusso di estremità libera

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

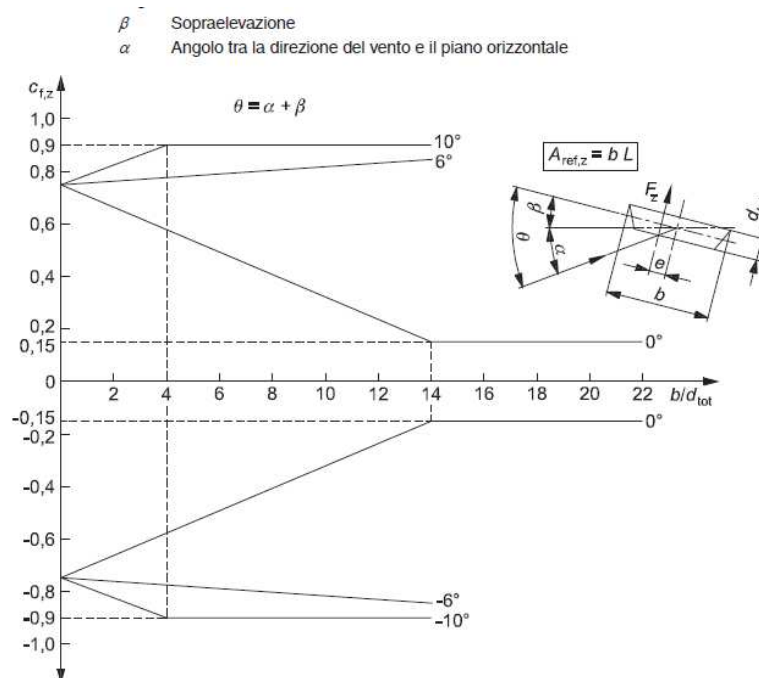
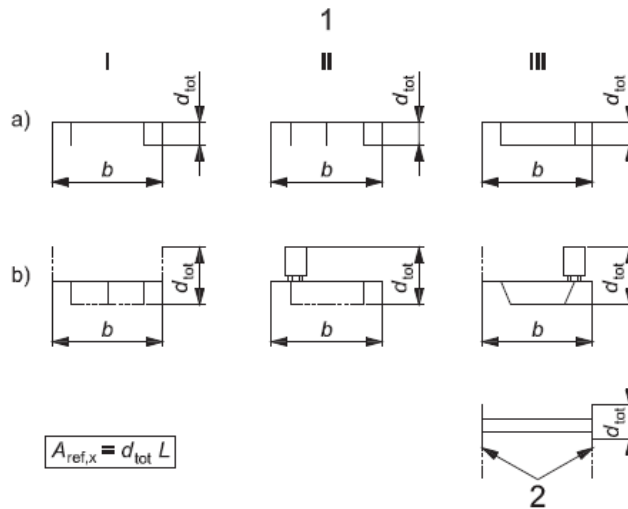


Figura 6 – Area effettiva e coefficiente di forza verticale - Eurocodice 1991-1-4

$c_{fX} = 1.96$

$[b/d_{tot}=1.814]$

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO

Relazione di calcolo impalcato VI03

IV01 00 D 09 CL VI0309 001 A 25 di 83

$$c_{FY} = 0.90.$$

Le forze sull'impalcato sono pari a:

$$f_X = q_p(z) \times d \text{ tot} \times c_{FX} \cong 19.54 \text{ kN/m};$$

$$f_Y = q_p(z) \times b \times c_{FY} \cong 16.27 \text{ kN/m};$$

$$m_Z = f_X \times e \cong 57.74 \text{ kN}\times\text{m/m}.$$

 dove l'eccentricità è tra il baricentro dell'impalcato e l'altezza della risultante orizzontale. ($e \cong 2.96 \text{ m}$)

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

tab. 3.3.I	Zona	7	
tab.3.3.II	Categoria	III	
tab. 3.3.III	Classe rug	D	
velocità di base di riferimento slm	Vbo	28	m/s
parametro di quota	ao	1000	m
altitudine sul livello del mare	as	10	m
coefficiente di altitudine	ca	1	
velocità di base di riferimento	Vb	28	m/s
tempo di ritorno azione del vento	Tr	50.0	anni
coefficiente di ritorno	cr	1.00	
velocità di riferimento	Vr	28	m/s
fattore di terreno	kr	0.20	
lunghezza di rugosità	zo	0.10	m
altezza minima	Zmin	5	m
altezza spalla	z1	7.60	m
altezza baggioli e app. appoggio	z2	0.50	m
altezza all'intradosso	Zintradosso	8.10	m

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	26 di 83

Relazione di calcolo impalcato VI03

altezza di riferimento	z	16.37	m
coefficiente di topografia	ct	1	
coefficiente di esposizione	ce	2.46	
densità dell'aria convenzionale	ro	1.25	kg/m ³
pressione statica di riferimento	qr	0.49	kN/m ²
pressione statica di picco	qp_{picco}	1.205	kN/m ²
lunghezza totale impalcato	L_{imp}	45.85	m
larghezza impalcato	d	15.00	m
altezza impalcato+soletta	$z3$	2.37	m
armamento	$z4$	1.00	m
altezza treno	$z5a$	4.00	m
altezza barriere	$z5b$	4.90	m
altezza di impatto treno o barriere	h_{tot}	8.27	m
angolo di inclinazione forza	ϑ	26.6	gradi
	d/h	1.814	
coefficiente di forza trasversale	c_{fx}	1.96	
coefficiente di forza trasversale	c_{fz}	0.90	
pressione del vento	q	2.363	kN/m ²
forza trasversale	f_x	19.54	kN/m
forza verticale	f_z	16.27	kN/m
braccio del vento - G to d/2	e	2.96	m
momento trasversale	my	57.74	kN/m m

4.7 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

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	27 di 83

Relazione di calcolo impalcato VI03

distanza parate verticale asse binario
tipologia di convoglio

a_g **4.45** m

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/m²

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”.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI03	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0309 001	REV. A

4.8 Azioni indirette (P)

4.8.1 Ritiro

In assenza di sperimentazione il ritiro del cls può essere determinato sulla base della seguente formula (che tiene conto del ritiro per essiccamento e del ritiro autogeno):

$$\varepsilon_{cs} = k_h \cdot \varepsilon_{c0} \cdot \beta_{ds}(t - t_0) - 2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6}$$

Si ricavano pertanto i seguenti parametri:

<i>Area di soletta competente a tutte le travi</i>	A_c	=	5.18 m ²
<i>Perimetro bagnato</i>	u	=	15.50 m
<i>Dimensione fittizia ($h_0 = 2 \cdot A_c / u$)</i>	h_0	=	668 mm
<i>Coefficiente per ritiro a tempo infinito</i>	k_h	=	0.70 -
<i>Deformazione da ritiro per essiccamento (u.r. 70%)</i>	ε_{c0}	=	-0.32 x 10 ⁻³
<i>Compressione cilindrica caratteristica del cls</i>	f_{ck}	=	37.35 N/mm ²
<i>Deformazione totale per ritiro</i>	ε_{cs}	=	-2.93 x 10 ⁻⁴ -

Le azioni assiali da ritiro sulla singola trave i-esima vengono pertanto calcolate con la seguente formula:

$$N_{rit,i} = \frac{\varepsilon_{cs} \cdot E_c \cdot A_{c,i}}{n}$$

dove: $A_{c,i}$ area di soletta dell'elemento i-esimo;

E_c modulo elastico del cls;

n fattore di riduzione del modulo elastico del cls a lungo termine (pari a 2).

Per il calcolo delle coazioni si determinano i momenti flettenti da applicare alle estremità di ciascun frame per ogni tipo di concio ($M_{rit,i}$), in base alle distanze fra baricentro della soletta e il baricentro sezione omogeneizzata (i momenti saranno differenti visto che ogni concio presenta baricentro ad altezza diversa).

La disposizione dei carichi sui conci è evidenziata nell'illustrazione seguente:



Allo schema corrispondente all'applicazione di un $N_{rit,soletta}$ di trazione sulla soletta, si sovrappone lo schema corrispondente all'applicazione di $N_{rit,i}$ di compressione e $M_{rit,i}$ su ogni frame della sezione completa (trave + soletta).

Nel modello di calcolo è stata applicata una coazione termica equivalente all'azione da ritiro sopra descritta:

$$\Delta T_{unif,i} = \frac{N_{rit,i}}{E_s \cdot A_{omog,i} \cdot \alpha_s} \quad ; \quad \frac{\Delta T_{var,i}}{h_i} = \frac{N_{rit,i} \cdot e_i}{E_s \cdot J_{X-omog,i} \cdot \alpha_s}$$

dove: $N_{rit,i}$ azione da ritiro sulla singola trave nella sezione i-esima

E_s modulo elastico acciaio da carpenteria

$A_{omog,i}$ area della sezione omogeneizzata i-esima

$J_{X-omog,i}$ momento d'inerzia della sezione omogeneizzata i-esima

e_i distanza baricentro soletta-baricentro sezione omogeneizzata i-esima

h_i altezza totale sezione i-esima

Tale coazione ha permesso di ricavare le sollecitazioni iperstatiche sull'intero impalcato (cui in fase di verifica viene sovrapposto l'effetto isostatico).

4.8.2 Viscosità

Il valore del coefficiente di viscosità è stato calcolato utilizzando le relazioni fornite dall'EC2 (§3.1.4) o grafici figura 3.1 ed utilizzando come parametri di input quelli utilizzati per il calcolo della contrazione finale da ritiro.

$$\phi(\infty, t_0 = 1) = 2.92$$

4.9 Azione sismica (E)

Non essendo dimensionante per l'impalcato, l'azione sismica in esame è stata considerata allo scopo esclusivo del dimensionamento dei dispositivi d'appoggio.

 <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 VI03</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0309 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 30 di 83</p>

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

Longitudine: 8.230525

Latitudine: 44.118776

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

Vita nominale $V_N = 75$ anni

Classe d'uso: III

Coefficiente d'uso $C_U = 1.5$

Categoria di suolo: C

Condizione topografica: T1

Smorzamento 10%

L'azione sismica è stata calcolata per mezzo del tool integrato di Midas Gen per il calcolo dello spettro elastico imponendo uno smorzamento del 10%.

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	31 di 83

Design Spectrum : NTC2018

Spectrum Type : Horizontal Elastic Spectrum

Ground Type : C

Spectrum Parameters

T1 T2 T3
 T4 User Defined

Soil Factor (S)	Tb	Tc	Td
1.470476	0.156565	0.469708	2.22

Maximum Horizontal Acc. (ag) : 0.155 g

Amplification Factor (Fo) : 2.468

Period of constant Hor.Acc. (Tc*) : 0.301

Viscous Damping Ratio (xi) : 10 %

Max. Period : 2.5 (Sec)

Function Name: NTC2018 H-ELASTIC

Spectral Data Type: Normalized Accel. Acceleration Velocity Displacement

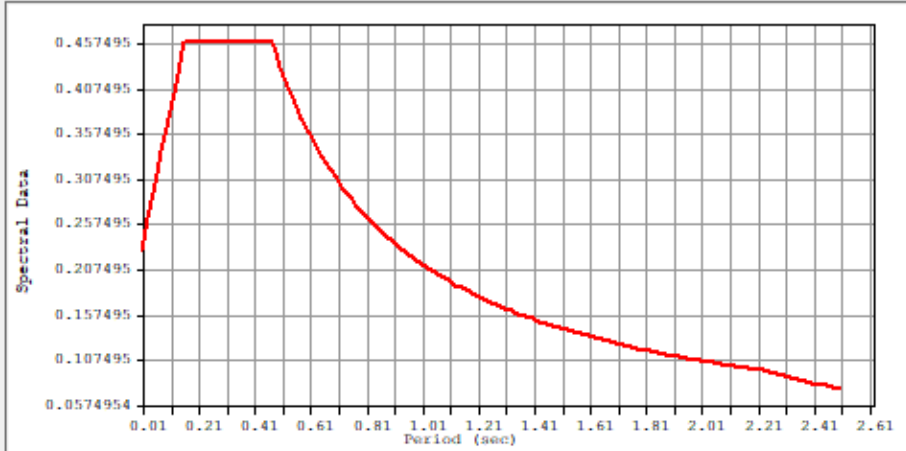
Scaling: Scale Factor (1) Maximum Value (0) g

Gravity: 9.806 m/sec²

Damping Ratio: 0.1

Graph Options: X-axis log scale Y-axis log scale

Period (sec)	Spectral Data (g)	
1	0.0000	0.2279
2	0.0250	0.2649
3	0.0500	0.3018
4	0.0750	0.3388
5	0.1000	0.3757
6	0.1250	0.4126
7	0.1500	0.4496
8	0.1566	0.4593
9	0.1750	0.4593
10	0.2000	0.4593
11	0.2250	0.4593
12	0.2500	0.4593
13	0.2750	0.4593
14	0.3000	0.4593



PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO

Relazione di calcolo impalcato VI03

IV01 00 D 09 CL VI0309 001 A 32 di 83

5 COMBINAZIONE DEI CARICHI

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

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

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

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

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

I valori campiti in grigio rappresentano l'azione dominante.

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

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	33 di 83

Relazione di calcolo impalcato VI03
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	VI0309 001	A	34 di 83

Relazione di calcolo impalcato VI03

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	35 di 83

Relazione di calcolo impalcato VI03

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

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

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

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI03</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0309 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 36 di 83</p>

6 MODELLO DI CALCOLO

È stato implementato un modello di calcolo facendo ricorso al software ad elementi finiti Midas Gen. La modellazione ha impiegato i seguenti tipi di elementi finiti:

- Elementi beam per le travi di impalcato
- Elementi truss per i controventi
- La soletta è stata modellata insieme con la trave in acciaio come sezione mista acciaio cls
- Il collegamento tra l'asse della trave e l'affettiva posizione dei controventi di impalcato è stato fatto tramite elastic link di tipo rigid

I vincoli assegnati ricalcano lo schema appoggi rappresentato negli elaborati progettuali.

Complessivamente il modello è formato da:

270 nodi

216 elementi monodimensionali (truss)

106 elementi monodimensionali (beam)

Nelle seguenti figure sono riportate le numerazione degli elementi che formano il modello di calcolo utilizzato.

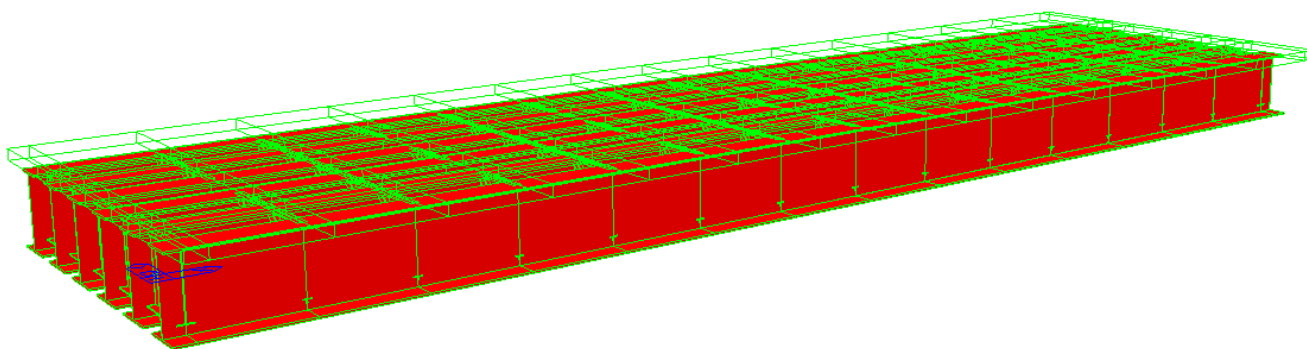


Figura 7 – Vista tridimensionale del modello

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	37 di 83

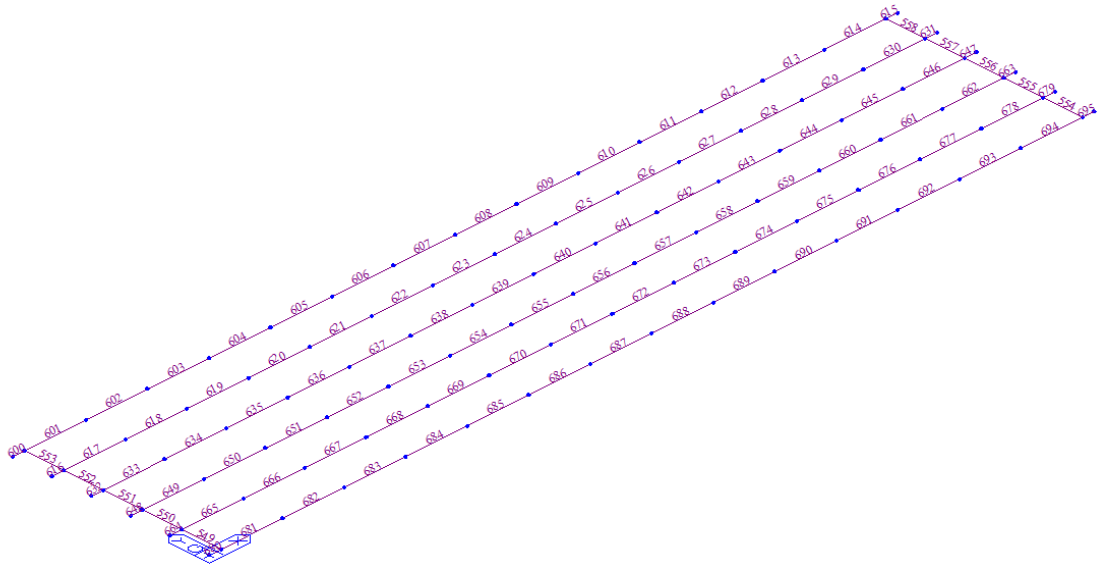


Figura 8 – Numerazione elementi beam

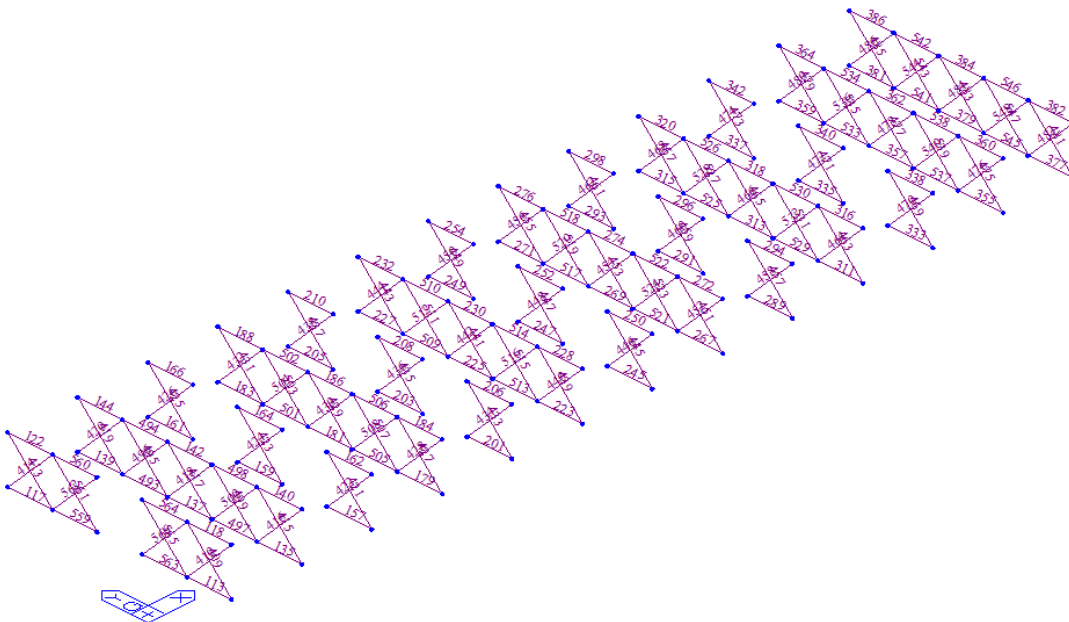


Figura 9 – Numerazione elementi truss

 <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 VI03</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0309 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 38 di 83</p>

I diversi schemi di calcolo durante le fasi esecutive, la differente omogeneizzazione delle sezioni miste acciaio-calcestruzzo ed i differenti tempi di applicazione dei carichi comportano l'utilizzo di specifici modelli di calcolo di seguito descritti.

Fase 1: Considera il peso proprio della struttura metallica, il peso delle lastre prefabbricate e del getto fluido della soletta (che in questa fase non è ancora reagente).

La sezione resistente corrisponde alla sola parte in acciaio ($n = \infty$).

Fase 2: Considera il peso dei successivi carichi permanenti applicati alla struttura (pavimentazione, cordoli, barriere di sicurezza, velette prefabbricate in cls, parapetti metallici), i carichi dovuti al ritiro del cls ed eventuali cedimenti vincolari.

La sezione resistente è completamente reagente. Per tenere in considerazione i fenomeni lenti che accompagnano questa fase, imputabili alla viscosità del calcestruzzo, si adotta un valore del modulo elastico del calcestruzzo pari al 50% del suo valore medio istantaneo, come previsto dal D.M.

17/01/2018 al paragrafo 4.3.2.2.1 ($n = \frac{E_{\text{acciaio}}}{0.50 \cdot E_{\text{cls}}}$).

La larghezza della soletta collaborante è calcolata in accordo con la medesima normativa (paragrafo 4.3.2.3).

Fase 3: Considera il transito dei carichi mobili (comprese le azioni centrifughe e di avviamento/frenamento ad essi imputabili), l'azione del vento, le azioni sismiche e l'effetto della differenza di temperatura tra la soletta in cls e le travi metalliche.

La sezione resistente è completamente reagente; le sue caratteristiche statiche sono calcolate con modulo istantaneo ($n = \frac{E_{\text{acciaio}}}{E_{\text{cls}}}$) in virtù della breve durata delle sollecitazioni.

La larghezza della soletta collaborante è calcolata in accordo con la medesima normativa (paragrafo 4.3.2.3).

 <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 VI03</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0309 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 39 di 83</p>

7 TRAVI PRINCIPALI - VERIFICHE DI RESISTENZA

7.1 Resistenze di calcolo dei materiali

Le resistenze di calcolo dei materiali sono pari a $f_d = f_k / \gamma_M$ dove f_k è la resistenza caratteristica del materiale e

$\gamma_M = \gamma_C = 1.5$ per il calcestruzzo

$\gamma_M = \gamma_{M0} = 1.05$ per l'acciaio da carpenteria per verifiche di resistenza di sezioni lorde

$\gamma_M = \gamma_{M2} = 1.25$ per l'acciaio da carpenteria per verifiche di resistenza di sezioni nette

$\gamma_M = \gamma_{M1} = 1.1$ per l'acciaio da carpenteria per verifiche di instabilità

$\gamma_M = \gamma_S = 1.15$ per l'acciaio d'armatura

$\gamma_M = \gamma_V = 1.25$ per le connessioni

Nelle verifiche agli SLE si è assunto $\gamma_M = 1$.

Per il calcestruzzo il valore di calcolo è ulteriormente ridotto del fattore $\alpha_{cc} = 0.85$.

7.2 Convenzioni segni sollecitazioni e tensioni

$N > 0$ vuol dire sforzo normale di trazione.

$M > 0$ vuol dire momento flettente che tende le fibre inferiori dell'elemento.

$\sigma > 0$ vuol dire tensione di trazione.

7.3 Sollecitazioni agenti sulle travi

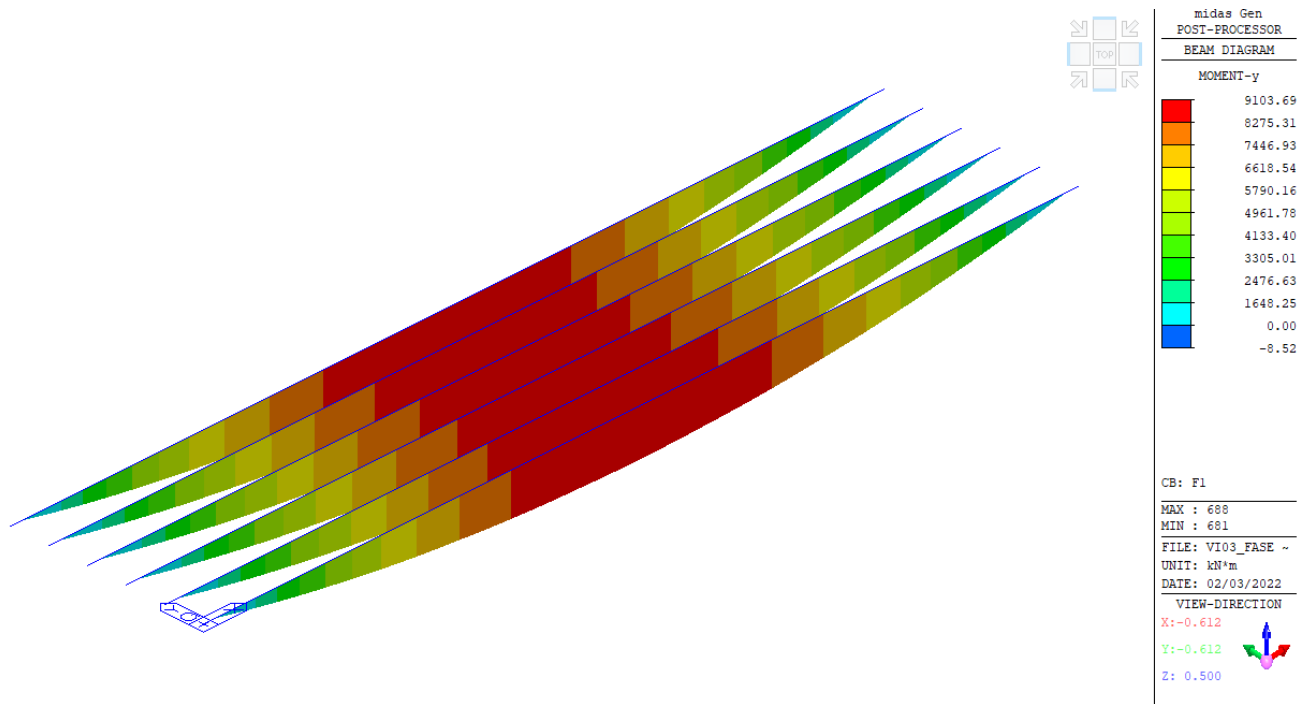


Figura 10 – Momento flettente travi fase 1 (peso proprio+soletta)

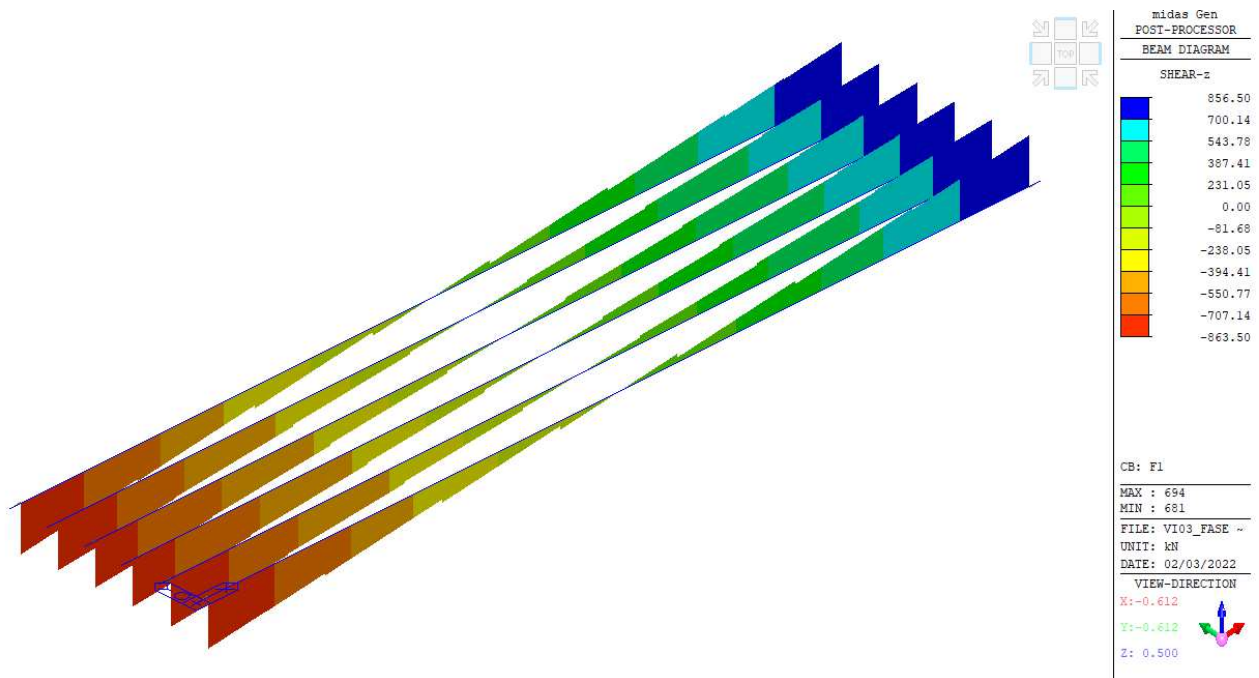



Figura 11 – Taglio travi fase 1

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI03	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0309 001	REV. A

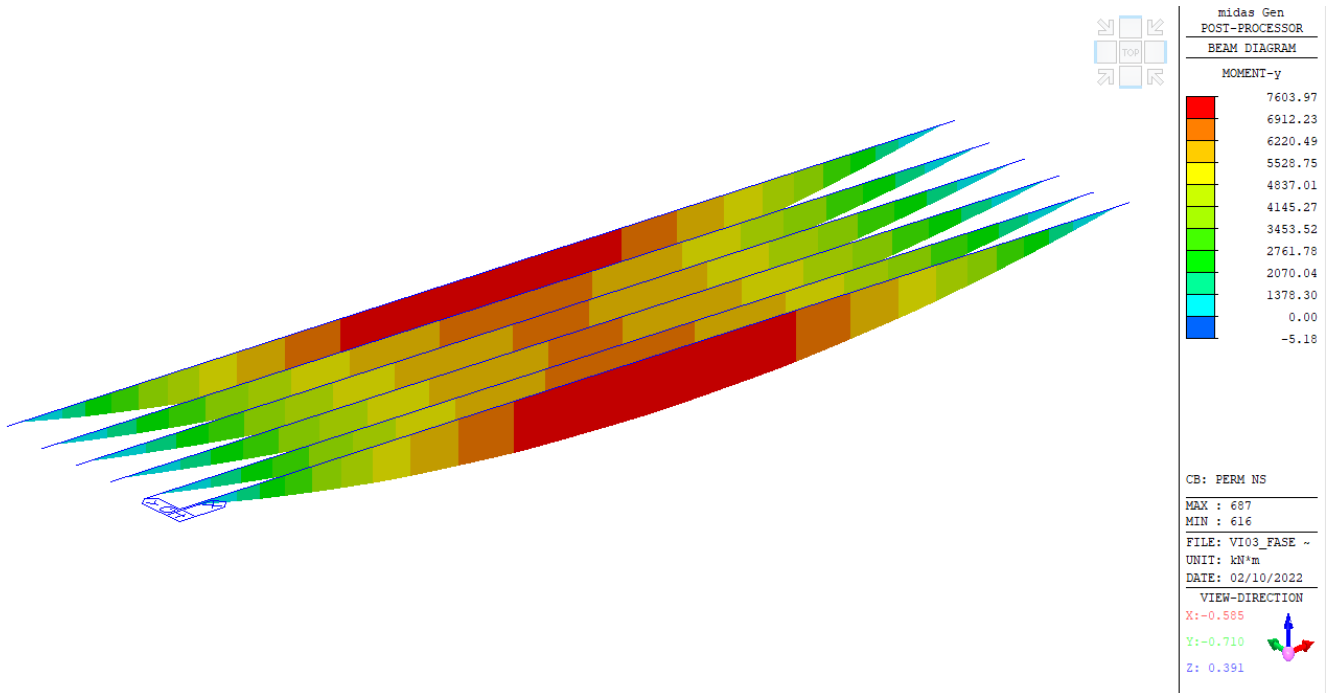


Figura 12 – Momento flettente travi Carichi permanenti NS

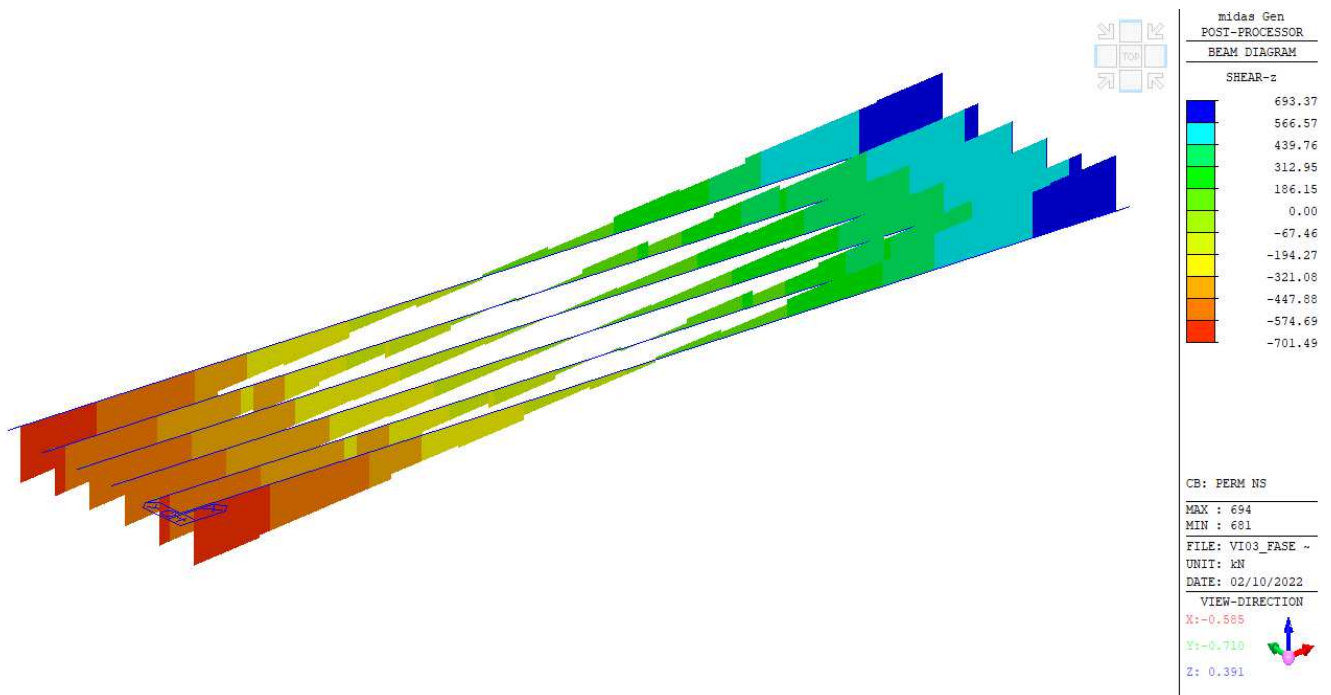


Figura 13 – Taglio travi Carichi permanenti NS

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	42 di 83

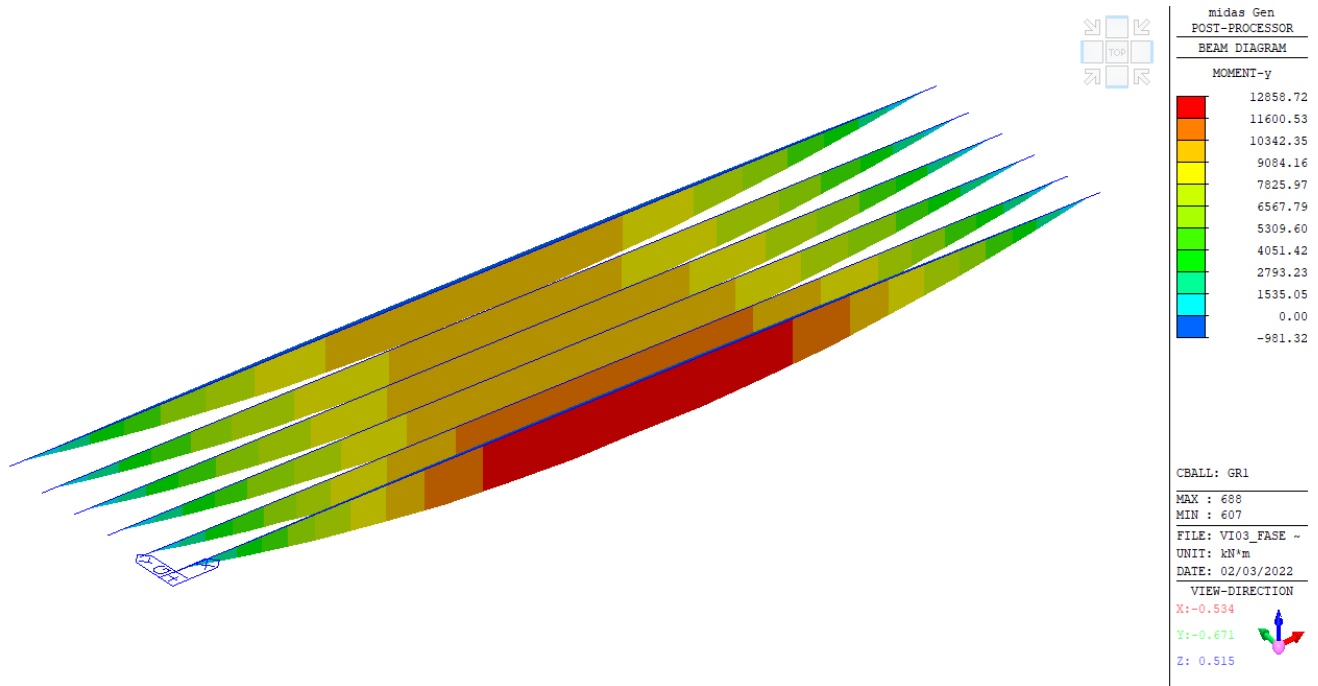


Figura 14 – Momento flettente Carichi da traffico Gr1

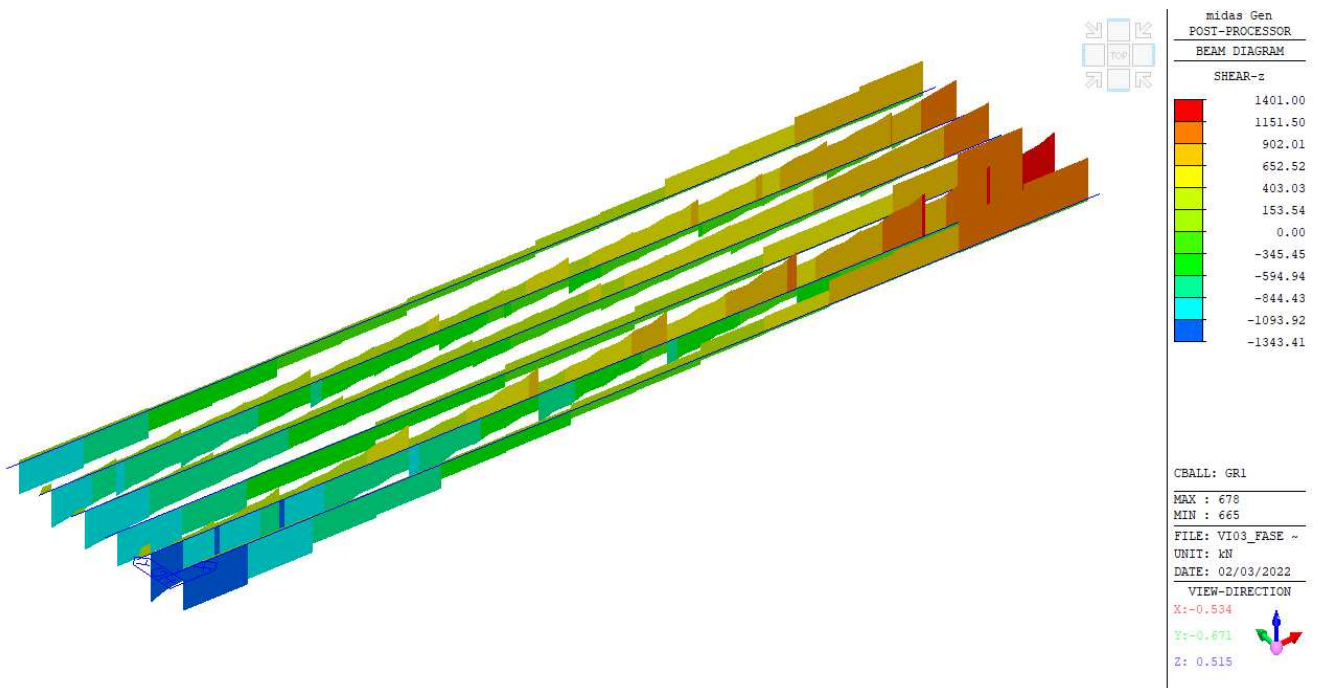


Figura 15 – Taglio travi Carichi da traffico Gr1

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI03	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0309 001	REV. A

7.4 Riassunto tensioni massime

Si riportano nel presente paragrafo i risultati dell'analisi statica in termini di sforzi massimi per le combinazioni di carico più gravose tra quelle precedentemente specificate.

Per ciascuna condizione di carico gli sforzi sono calcolati in base al relativo coefficiente di omogeneizzazione.

Nel caso in cui la soletta risulti tesa (viene superata al lembo superiore la resistenza del calcestruzzo) le sollecitazioni sulla trave sono calcolate con riferimento ad una sezione priva dell'elemento di calcestruzzo (soletta), ma con la presenza delle barre di armatura (omogeneizzate con coefficiente 1 rispetto alle membrature in acciaio).

Le tabelle riassuntive degli sforzi propongono nell'ordine:

<i>Simbolo</i>	<i>Descrizione</i>	<i>u.m.</i>
FRAME	Indice i dell'asta corrispondente alla massima sollecitazione considerata	-
σ_{max}	Compressione massima travi in acciaio	N/mm ²
σ_{min}	Trazione massima travi in acciaio	N/mm ²
σ_{id}	Tensione ideale massima travi in acciaio	N/mm ²
τ_{max}	Sforzo di taglio massimo trave in acciaio	N/mm ²
$\sigma_{cls,max}$	Compressione massima nel calcestruzzo (per soletta reagente)	N/mm ²

Si eseguono le verifiche di resistenza sovrapponendo gli effetti delle singole condizioni di carico in termini di sforzo (non in termini di sollecitazioni) secondo la tabella delle combinazioni riportata in precedenza. Per brevità, nel paragrafo riassuntivo globale si riportano solamente i valori delle tensioni complessive relative alle combinazioni di carico più gravose.

PROGETTO DEFINITIVO

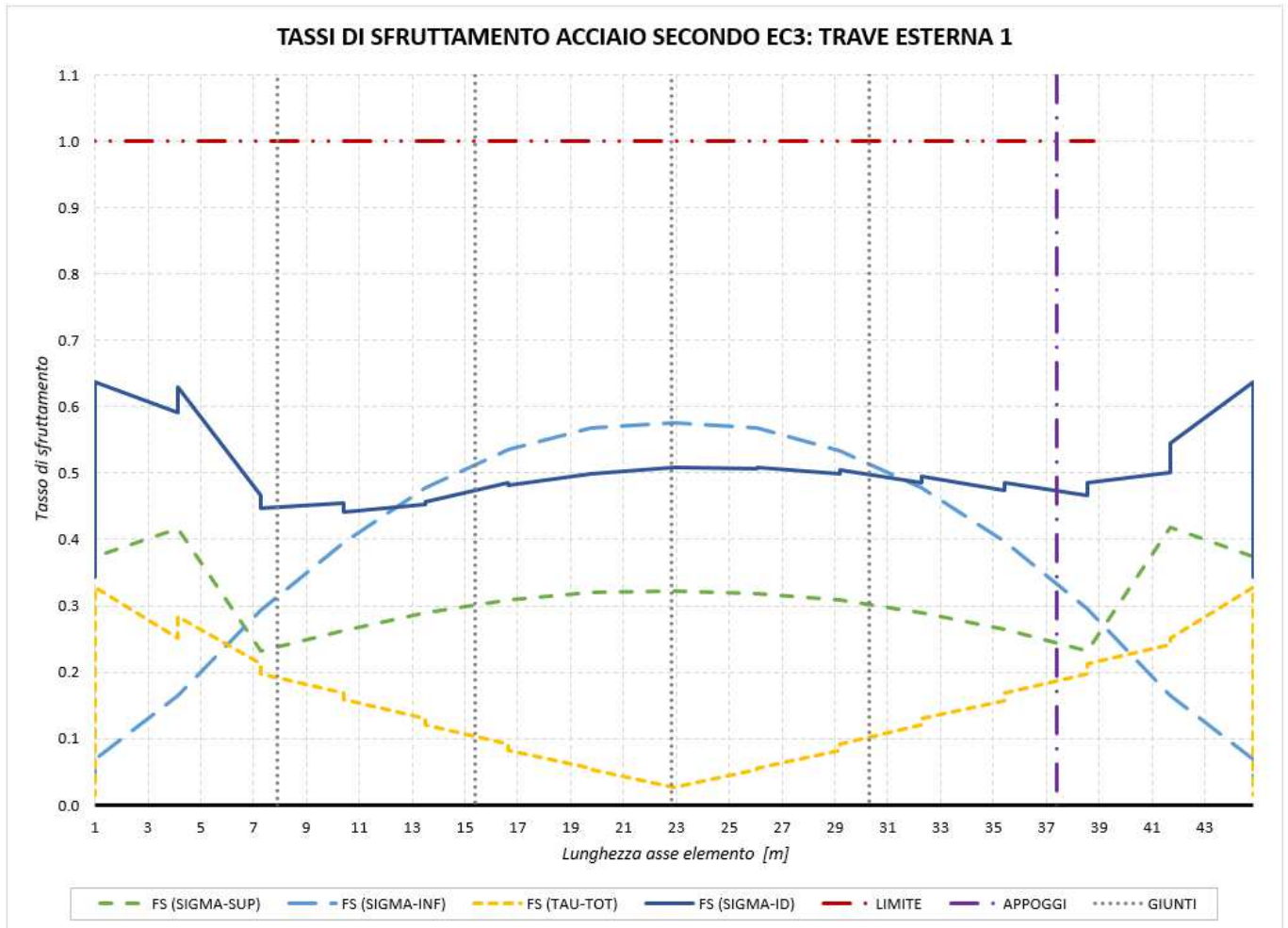
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	44 di 83

Relazione di calcolo impalcato VI03

<i>COMB</i>	σ_{max}		σ_{min}		σ_{id}	
	[N/mm ²]	[asta]	[N/mm ²]	[asta]	[N/mm ²]	[asta]
SLU_17	137.04	TB008	-109.17	TA008	160.49	TC002
SLU_02	179.00	TB008	-182.24	TA008	215.32	TA015
SLU_43	176.36	TB008	-186.62	TC008	207.69	TA015
SLU_17	169.08	TC014	-101.10	TB008	239.38	TC002
SLU_19	179.00	TB008	-182.24	TA008	215.32	TA015
SLU_17	167.54	TB008	-180.81	TA008	196.56	TA015

<i>COMB</i>	τ_{max}		$\sigma_{cls,max}$	
	[N/mm ²]	[asta]	[N/mm ²]	[asta]
SLU_17	91.13	TC002	1.62	TB008
SLU_02	111.00	TA015	7.53	TB009
SLU_21	105.96	TA015	6.95	TB009
SLU_21	99.23	TA002	-0.17	TB009
SLU_19	111.00	TA015	7.53	TB009

Per una lettura immediata dei livelli di sollecitazione, si riportano nei grafici a seguire tutte le informazioni salienti (per le combinazioni di carico più gravose indicate nella precedente tabella).

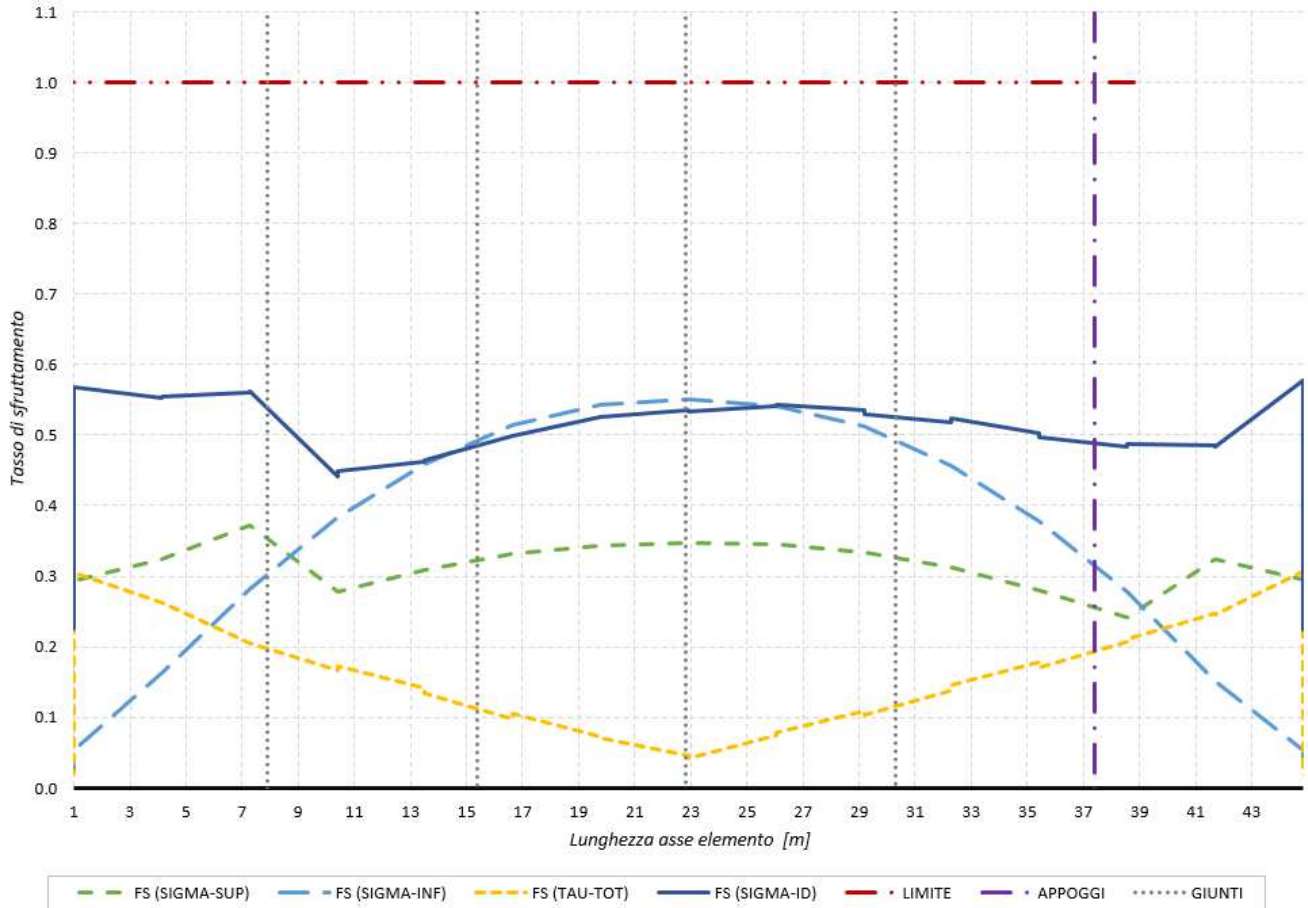


PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	46 di 83

TASSI DI SFRUTTAMENTO ACCIAIO SECONDO EC3: TRAVI INTERMEDIE

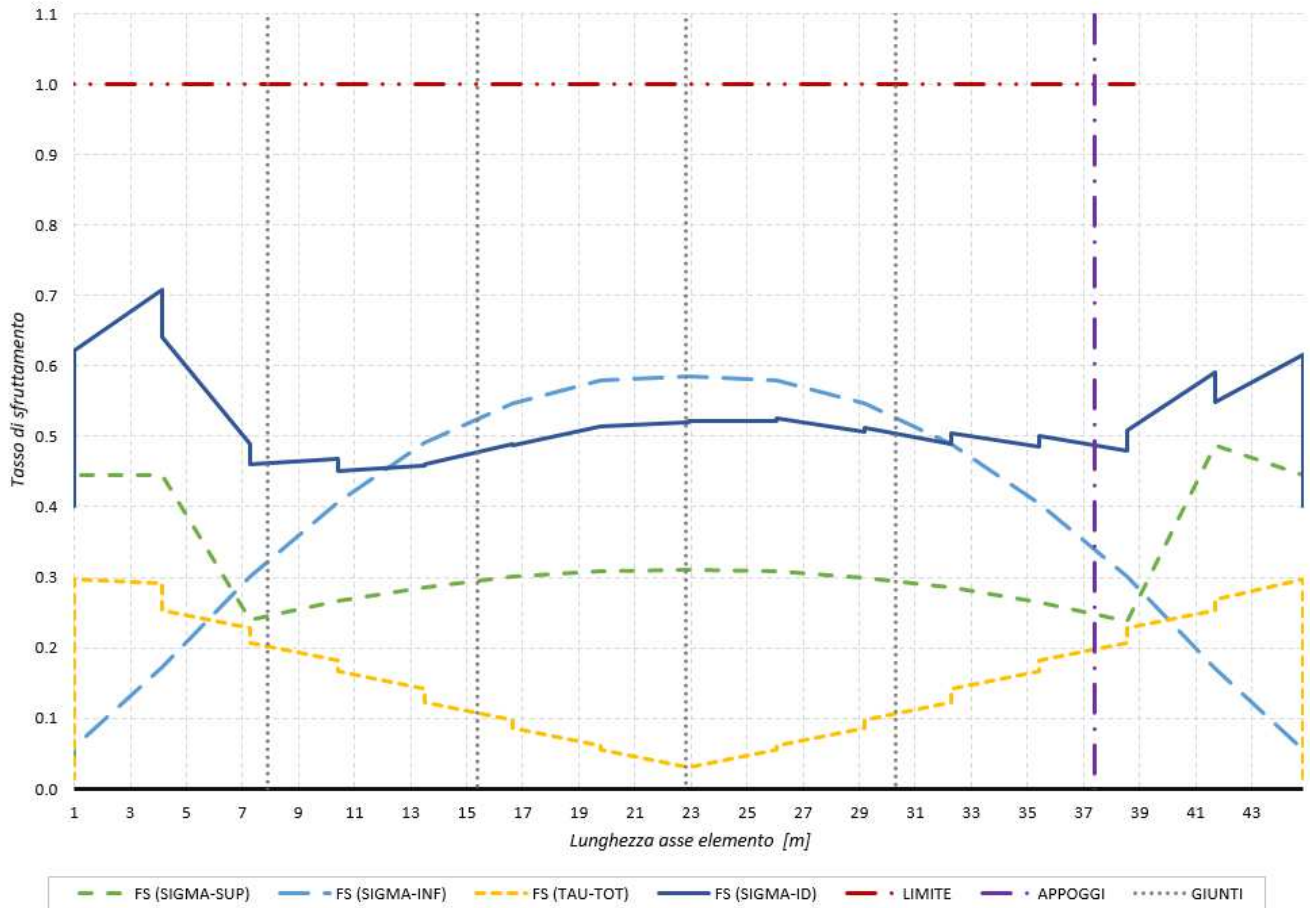



PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	47 di 83

TASSI DI SFRUTTAMENTO ACCIAIO SECONDO EC3: TRAVE ESTERNA 2



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI03	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0309 001	REV. A

8 TRAVI PRINCIPALI - VERIFICHE A FATICA

Nei sotto-paragrafi seguenti si riportano degli accenni teorici e normativi sulle modalità di verifica seguite.

A seguire, vengono esposti i risultati in forma sintetica delle verifiche effettuate.

8.1 Coefficiente di sicurezza per le verifiche a fatica

In accordo col §2.7.1.1.4 del MDP-RFI [2], la struttura è da considerarsi come “sensibile alla rottura per fatica”. Inoltre, per le travi di impalcato e gli elementi di connessione quali le saldature anima-piattabanda e i connettori a piolo trave-soletta, si assumono “conseguenza significative alla rottura”. In accordo con la Tabella 5, si è dunque assunto $\gamma_{Mf}=1.35$.

	Conseguenze della rottura	
	Conseguenze moderate	Conseguenze significative
Strutture poco sensibili alla rottura per fatica	$\gamma_{Mf} = 1,00$	$\gamma_{Mf} = 1,15$
Strutture sensibili alla rottura per fatica	$\gamma_{Mf} = 1,15$	$\gamma_{Mf} = 1,35$

Tabella 5 – Coefficienti di sicurezza da assumere per le verifiche a fatica (Tab.4.2.XI NTC2008)

8.2 Classe dei dettagli

I dettagli considerati nelle verifiche sono indicati nelle figure seguenti.

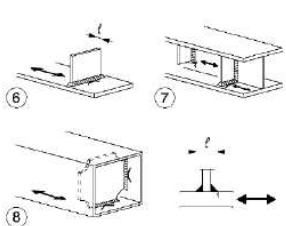
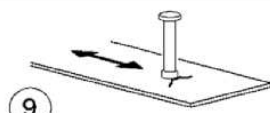
80 (a) 71 (b)		Attacchi trasversali 6) Saldati a una piastra 7) Nervature verticali saldate a un profilo o a una trave composta 8) Diagrammi di travi a cassone composte, saldati all'anima o alla piattabanda (a) $l \leq 50$ mm (b) $50 < l \leq 80$ mm Le classi sono valide anche per nervature anulari	6) e 7) Le parti terminali delle saldature devono essere molate accuratamente per eliminare tutte le rientranze presenti 7) Se la nervatura termina nell'anima, $\Delta\sigma$ deve essere calcolato usando le tensioni principali
80		9) Effetto della saldatura del piolo sul materiale base della piastra	

Figura 16 – Dettaglio 80 per attacchi e irrigiditori saldati ($\Delta\sigma$)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI03	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0309 001	REV. A


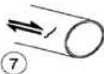
Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
100	 	6) e 7) Prodotti laminati e estrusi (come quelli di tabella C4.2.XVI.a) soggetti a tensioni tangenziali	$\Delta\tau$ calcolati con $\Delta\tau = \frac{\Delta V \cdot S(t)}{I \cdot t}$

Figura 17 – Dettaglio 100 per pannelli d’anima ($\Delta\tau$)



Classe del dettaglio	Dettaglio costruttivo	Descrizione	Requisiti
80	 	8) Cordoni d'angolo continui soggetti a sforzi di sconnesione, quali quelli di composizione tra anima e piattabanda in travi composte saldate 9) Giunzioni a sovrapposizione a cordoni d'angolo soggette a tensioni tangenziali	8) $\Delta\tau$ deve essere calcolato in riferimento alla sezione di gola del cordone 9) $\Delta\tau$ deve essere calcolato in riferimento alla sezione di gola del cordone, considerando la lunghezza totale del cordone, che deve terminare a più di 10 mm dal bordo della piastra

Figura 18 – Dettaglio 80 saldature direttamente sollecitate ($\Delta\tau$)

Si riportano nella tabella seguente le escursioni limite sui diversi dettagli in verifica.

VERIFICHE A FATICA	
ESCURSIONI LIMITE SUI DETTAGLI	
Dettaglio 80 per σ su piattabande e anima	
$\Delta\sigma$ c	[MPa] 80
$\Delta\sigma$ d	[MPa] -
$\Delta\sigma$ c / γM_f	[MPa] 59.3

Dettaglio 100 per τ anima	
$\Delta\tau$ c	[MPa] 100
$\Delta\tau$ d	[MPa] -
$\Delta\sigma$ c / γM_f	[MPa] 74.1

Dettaglio 80 per τ su saldature	
$\Delta\tau$ c	[MPa] 80
$\Delta\tau$ d	[MPa] -
$\Delta\sigma$ c / γM_f	[MPa] 59.3

$\Delta\sigma$ c : resistenza a fatica per $N=2 \cdot 10^6$ cicli	
$\Delta\sigma$ d : limite di fatica ad ampiezza costante	

Tabella 6 – Escursioni limite nei dettagli per le verifiche a fatica

 <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 VI03</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0309 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 50 di 83</p>

8.3 Verifica a danneggiamento

Per la struttura in progetto sono state eseguite delle verifiche a danneggiamento.

In particolare, si è fatto ricorso al metodo dei coefficienti λ , esposto nella UNI-EN 1993-1-9 e, più nel dettaglio per i ponti, nella UNI EN 1993-2. Tale approccio è indicato anche nel §2.7.1.2 del MDP.

Il metodo λ può essere sintetizzato nei seguenti punti:

- si calcola la massima variazione di tensione prodotta dal modello di carico LM71, opportunamente incrementato coi i coefficienti Φ e α , nel modello di calcolo:

$$\Delta\sigma_{71} = |\sigma_{71,max} - \sigma_{71,min}|$$

- sulla base del volume di traffico, delle linee di influenza degli elementi strutturali, della vita utile dell'opera e della probabilità di incrocio di due treni in impalcato a doppio binario, si definisce uno spettro di tensione equivalente, ad ampiezza costante, in grado di produrre in 2×10^6 cicli lo stesso danneggiamento prodotto dallo spettro di progetto. Tale ampiezza è pari a:

$$\Delta\sigma_{E,d} = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4 \Delta\sigma_{71} = \lambda \Delta\sigma_{71} \leq \lambda_{max} \Delta\sigma_{71}$$

- si confronta quindi l'ampiezza di tensione equivalente di progetto $\Delta\sigma_{E,d}$, con la classe del dettaglio opportunamente ridotta tramite il coefficiente di sicurezza γ_{Mf} :

$$\Delta\sigma_{E,d} \leq \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$$

Quanto indicato vale chiaramente anche in termini di tensioni tangenziali.

Calcolo dei coefficienti di danneggiamento λ

Il coefficiente λ_1 dipende dalla linea di influenza nella sezione considerata ed è stato calcolato come indicato in Tabella 7, dove L è la lunghezza di influenza per gli elementi verificati, pari a **43.8 m**.

Si ha dunque:

$$\lambda_1 = 0.64$$

Il coefficiente λ_2 dipende dal volume di traffico che caratterizza la linea, come indicato in Tabella 8.

In mancanza di specifiche indicazioni sul traffico, in accordo con quanto indicato al §2.7.1.2.2 del MDP RFI [2], si è assunto un traffico annuo pari a $25 \cdot 10^6$ t/anno/binario. Per cui si ha:

$$\lambda_2 = 1.00$$

Il coefficiente λ_3 dipende dalla vita utile dell'opera, come indicato in Tabella 9. Poiché la vita utile è pari a 100 anni si ha:

$$\lambda_3 = 1.00$$

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	51 di 83

Relazione di calcolo impalcato VI03

L [m]	λ_1
0,5	1,60
1,0	1,60
1,5	1,60
2,0	1,46
2,5	1,38
3,0	1,35
3,5	1,17
4,0	1,07
4,5	1,02
5,0	1,03
6,0	1,03
7,0	0,97
8,0	0,92
9,0	0,88
10,0	0,85
12,5	0,82
15,0	0,76
17,5	0,70
20,0	0,67
25,0	0,66
30,0	0,65
35,0	0,64
40,0	0,64
45,0	0,64
50,0	0,63
60,0	0,63
70,0	0,62
80,0	0,61
90,0	0,61
100,0	0,60

Tabella 7 – Tabella la valutazione del coefficiente λ_1

Traffico annuo [10 ⁶ t/ binario]	5	10	15	20	25	30	35	40	50
λ_2	0,72	0,83	0,90	0,96	1,00	1,04	1,07	1,10	1,15

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI03	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0309 001	REV. A

Tabella 8 – Tabella la valutazione del coefficiente λ_2

Vita utile a fatica [anni]	50	60	70	80	90	100	120
λ_3	0,87	0,90	0,93	0,96	0,98	1,00	1,04

Tabella 9 – Tabella la valutazione del coefficiente λ_3

Il coefficiente λ_4 tiene conto della possibilità di incrocio di due treni e si calcola come:

$$\lambda_4 = \sqrt[5]{n + [1 - n] \cdot [a^5 + (1 - a)^5]}$$

dove

$$a = \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\sigma_{1+2}}$$

In cui:

$\Delta\sigma_1$ è l'intervallo di tensione nella sezione da verificare ottenuta con il modello di carico su un solo binario;

$\Delta\sigma_{1+2}$ è l'intervallo di tensione nella stessa sezione ottenuta con il modello di carico su due binari qualsiasi;

n è uguale alla percentuale dei treni che si incrociano sul ponte, la quale è stata assunta, in accordo con quando indicato da FERROVIE (§2.7.1.2.4 del MDP RFI) pari al 33,3%.

Per i valori di λ_4 si rimanda ai tabulati di verifica.

Il coefficiente λ_{\max} è invece pari a:

$$\lambda_{\max} = 1.40$$

In definitiva si ha:

$$\lambda_1 = 0.64; \lambda_2 = 1.00; \lambda_3 = 1.00; \lambda_{\max} = 1.40$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA				
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI03	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0309 001

8.4 Risultati delle verifiche a fatica

Di seguito si riportano in forma grafica e tabellare le verifiche a fatica effettuate.

I risultati si riportano come confronto tra le variazioni di tensione massime $\Delta\sigma_{ed}$ e $\Delta\tau_{ed}$ e le variazioni ammissibili dal dettaglio $\Delta\sigma_c/\gamma_{Mf}$ e $\Delta\tau_c/\gamma_{Mf}$.

La tensione tangenziale sull'anima è stata valutata come $\tau_m = V_{ed}/A_{taglio}$.

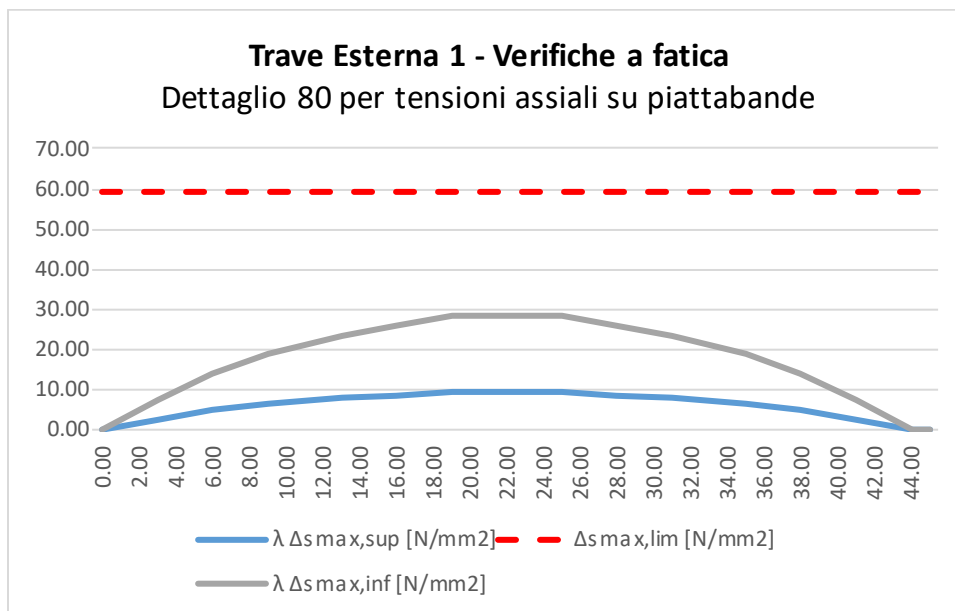


Figura 19 – Trave n°1. Verifiche a fatica delle piattabande per tensioni assiali

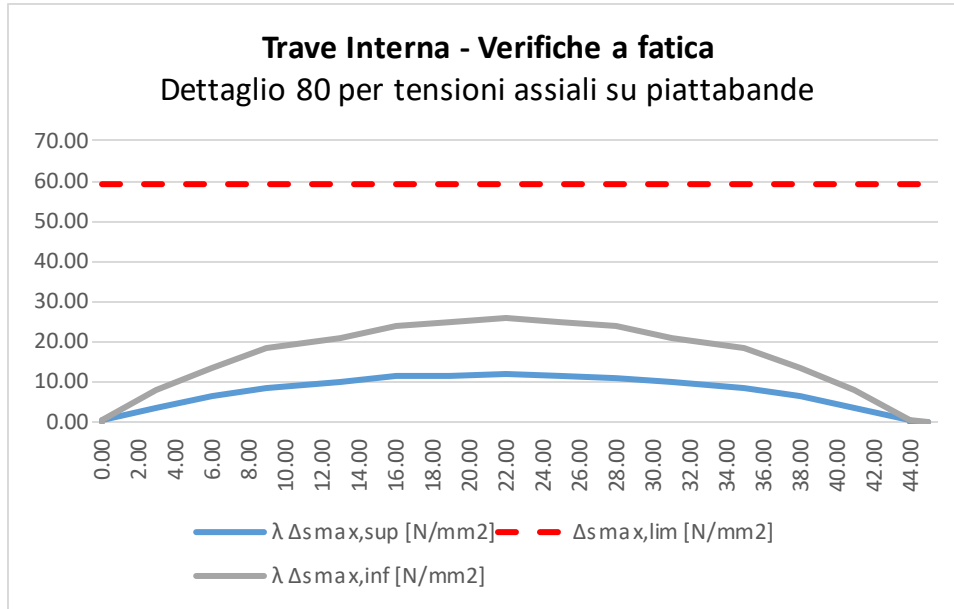


Figura 20 – Trave n°2. Verifiche a fatica delle piattabande per tensioni assiali

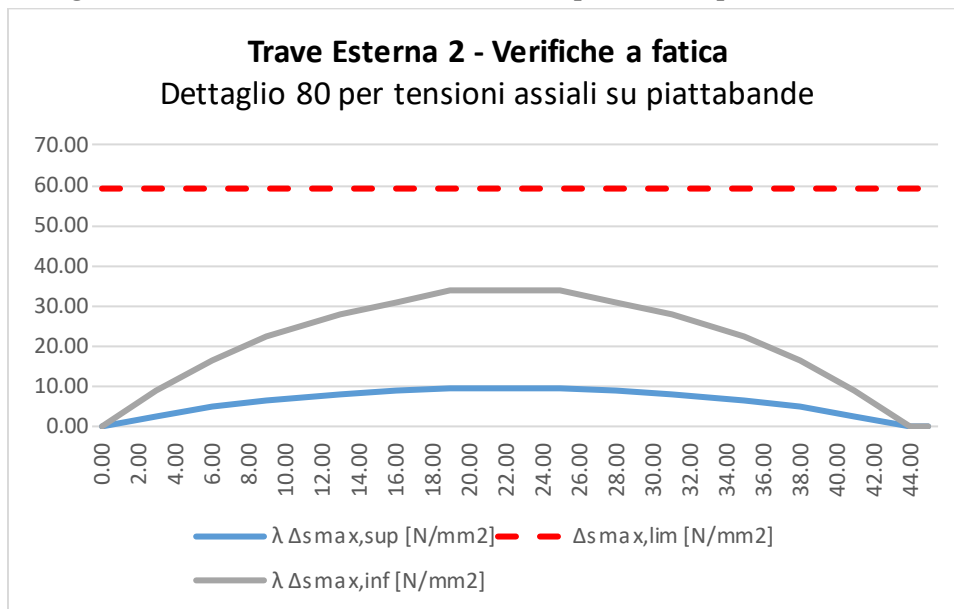


Figura 21 – Trave n°3. Verifiche a fatica delle piattabande per tensioni assiali

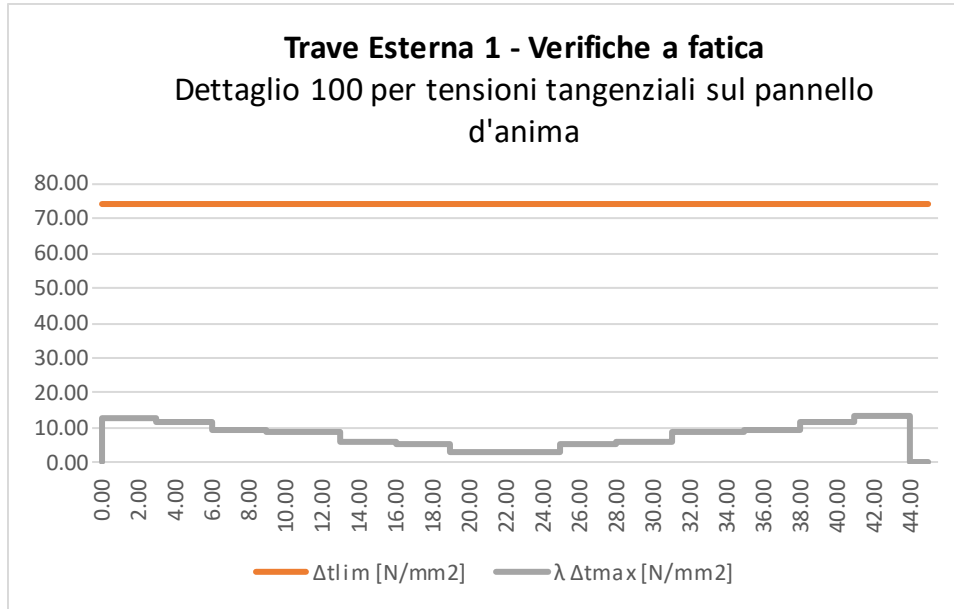


Figura 22 – Trave n°1. Verifiche a fatica dei pannelli d’anima per tensioni tangenziali

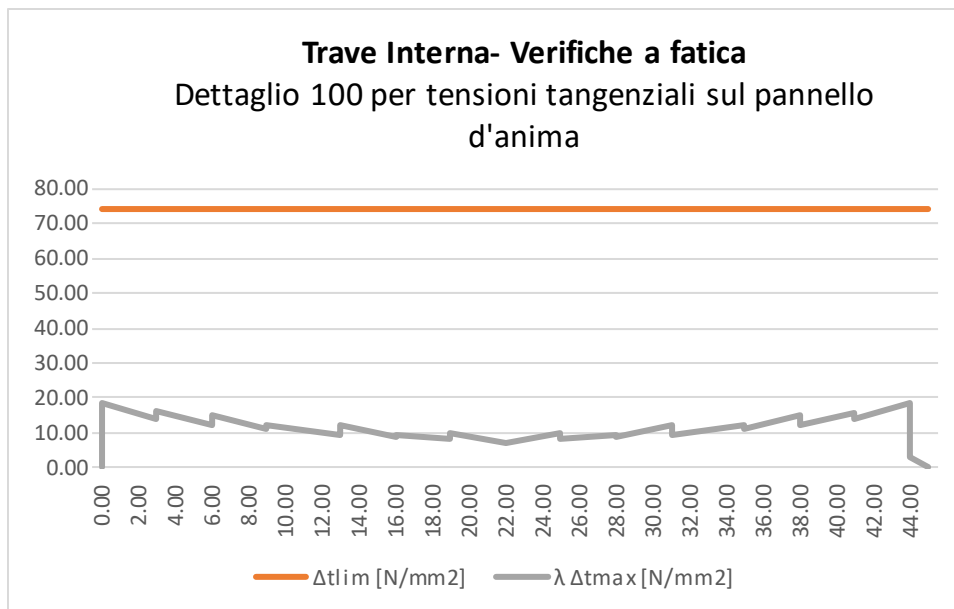


Figura 23 – Trave n°2. Verifiche a fatica dei pannelli d’anima per tensioni tangenziali

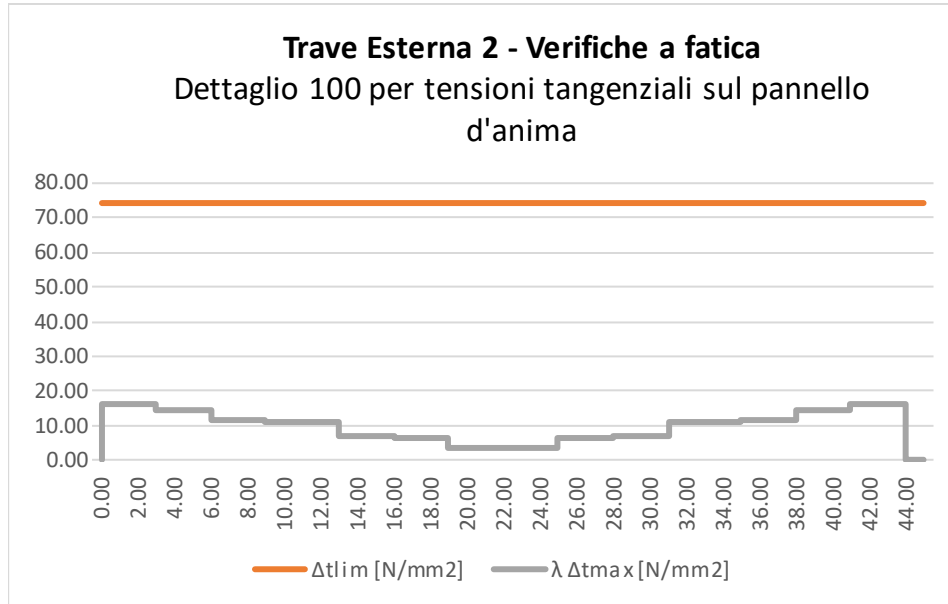


Figura 24 – Trave n°3. Verifiche a fatica dei pannelli d’anima per tensioni tangenziali

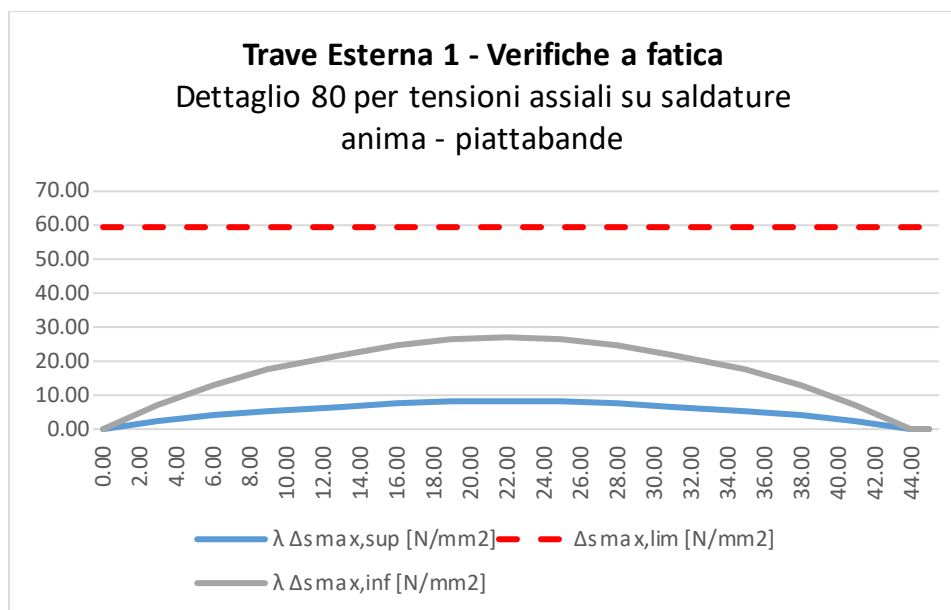


Figura 25 – Trave n°1. Verifiche a fatica delle saldature anima-piattabande inferiore

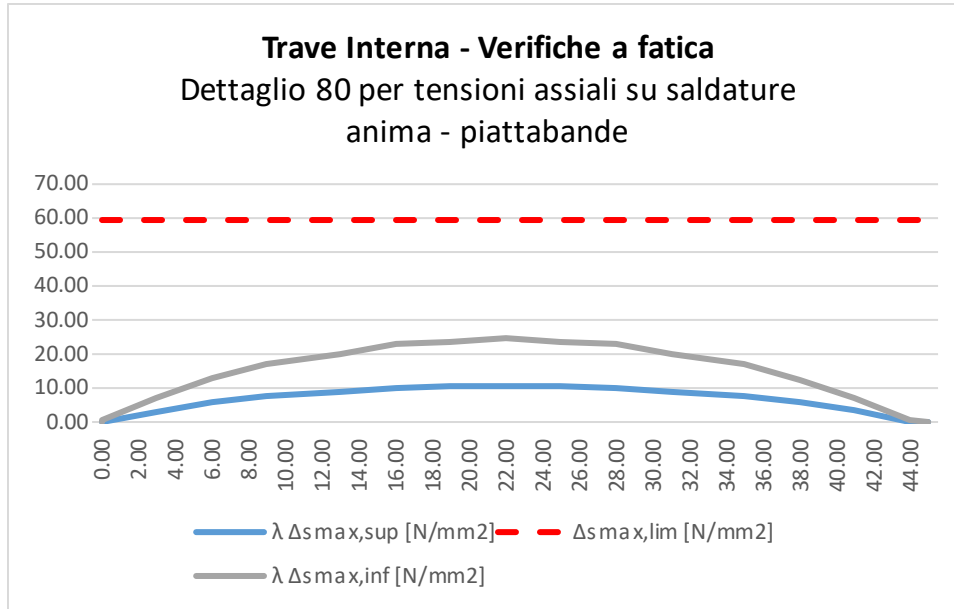


Figura 26 – Trave n°2. Verifiche a fatica delle saldature anima-piattabande inferiore

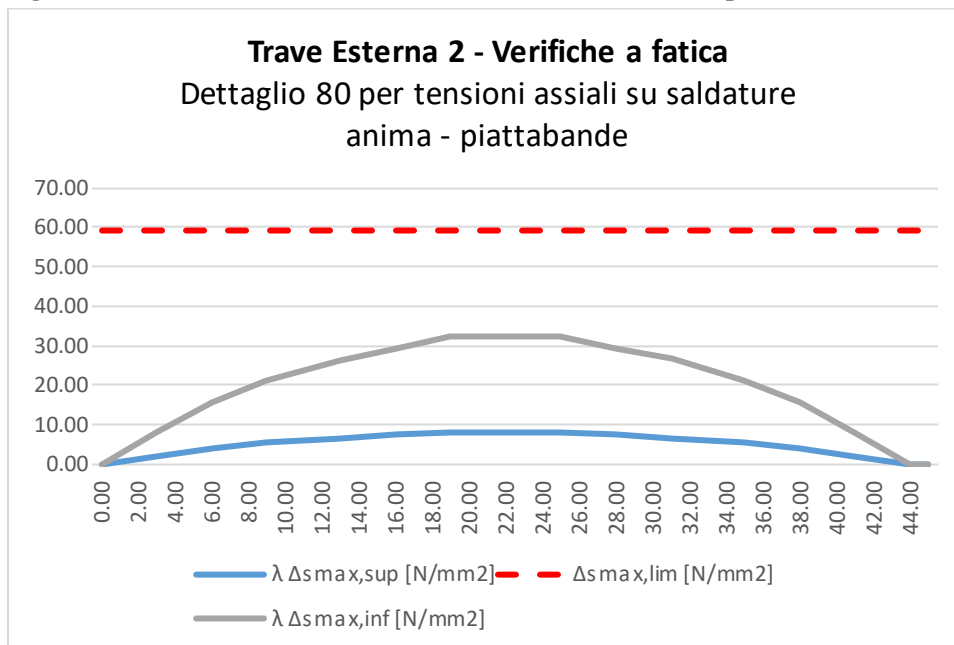



Figura 27 – Trave n°3. Verifiche a fatica delle saldature anima-piattabande inferiore

 <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 VI03</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0309 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 58 di 83</p>

9 VERIFICHE SOLETTA D'IMPALCATO

In questo capitolo si riporta la verifica della soletta in c.a. in direzione trasversale, la verifica è stata eseguita creando un modello ad elementi finiti separato, modellando una sezione di soletta di larghezza 1 m, e applicando i carichi verticali di progetto.

La soletta è stata considerata appoggiata in corrispondenza delle travi principali.

A favore di sicurezza è stata verificata la sezione di altezza minima in corrispondenza degli appoggi.

Si riportano di seguito le sollecitazioni agenti sulla soletta nei casi elementari e nelle combinazioni di carico.

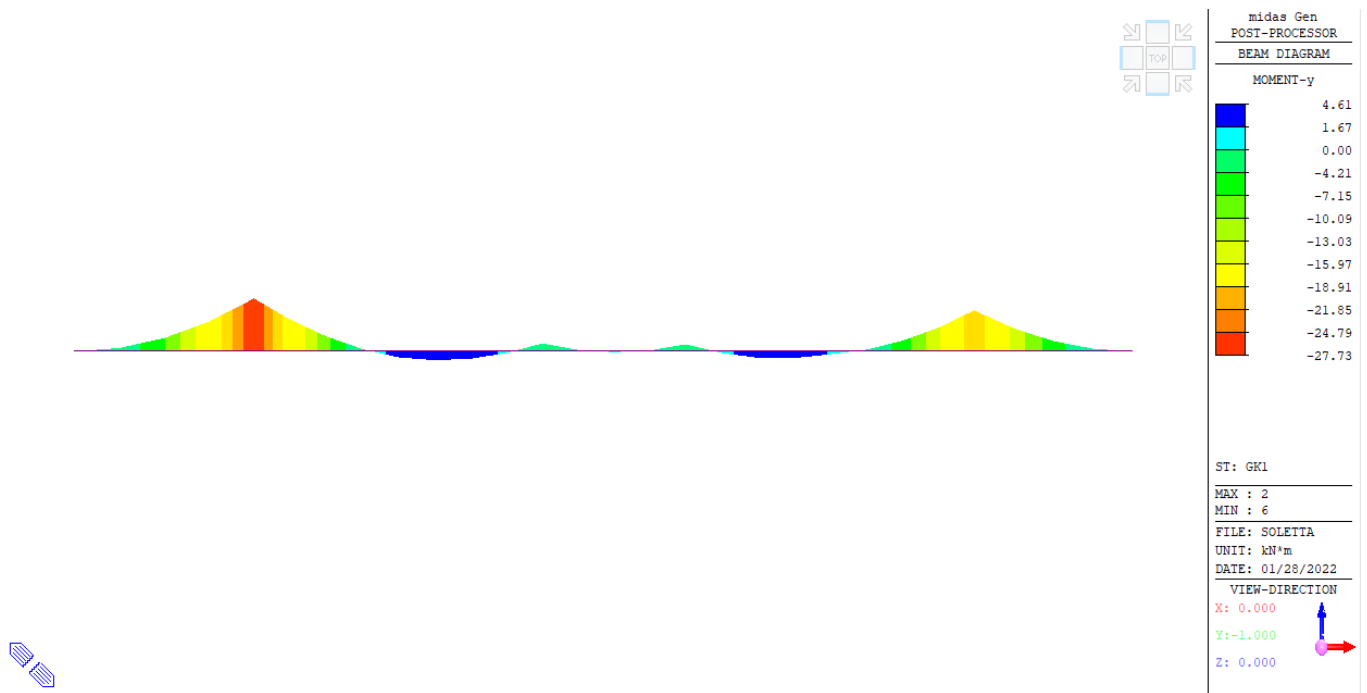


Figura 28 – Momento flettente Gk1

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	59 di 83

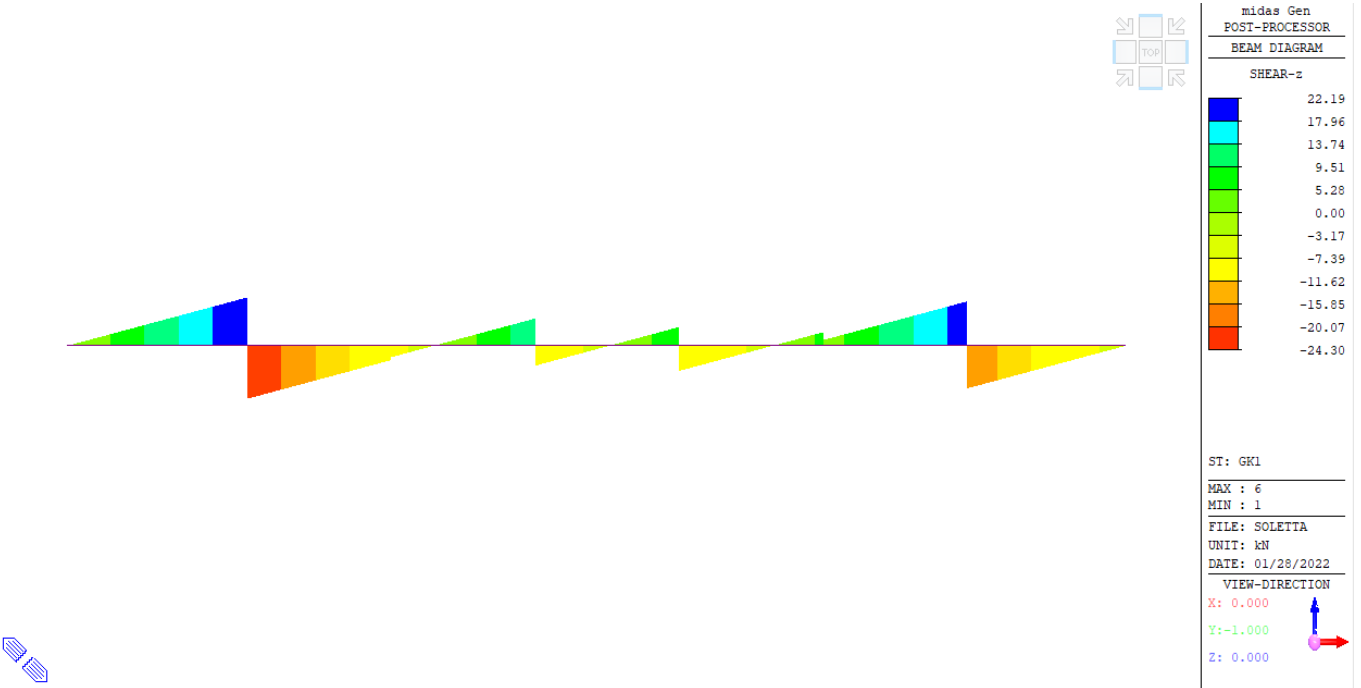


Figura 29 – Taglio Gk1

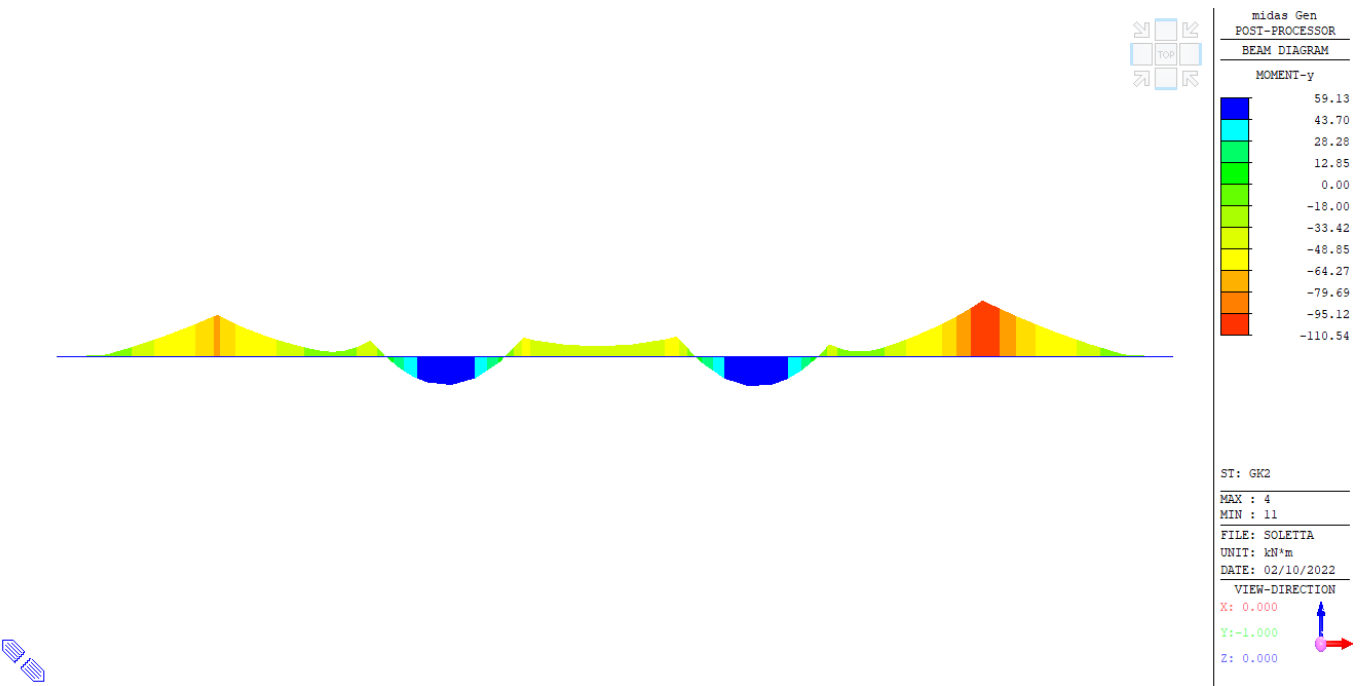


Figura 30 – Momento flettente Gk2

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	60 di 83

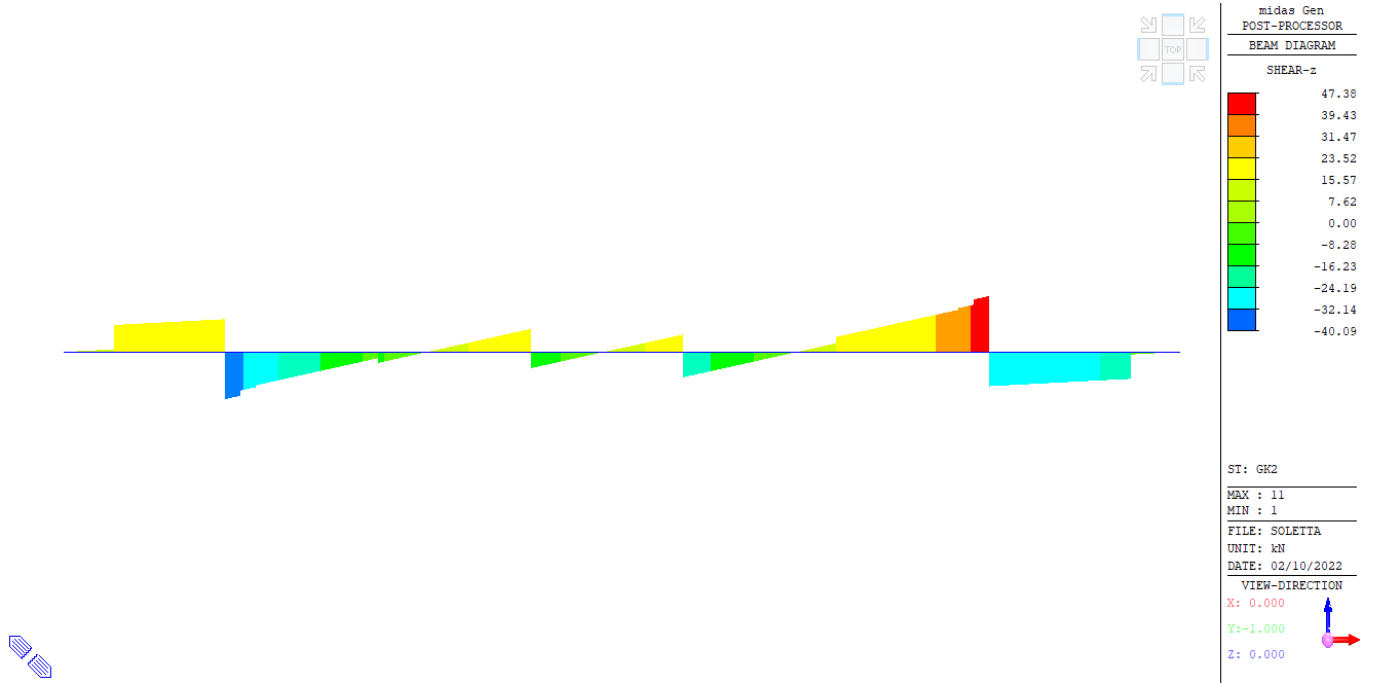


Figura 31 – Taglio Gk2

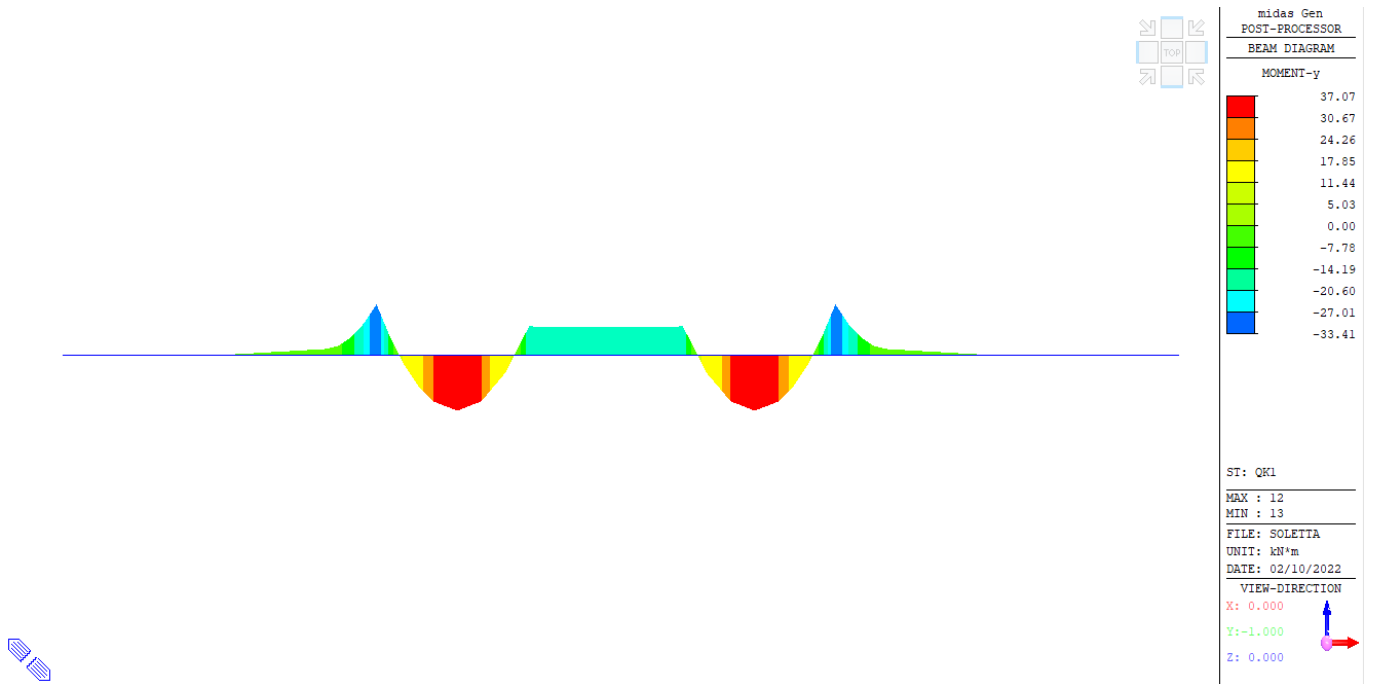


Figura 32 – Momento flettente Qk1

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	61 di 83

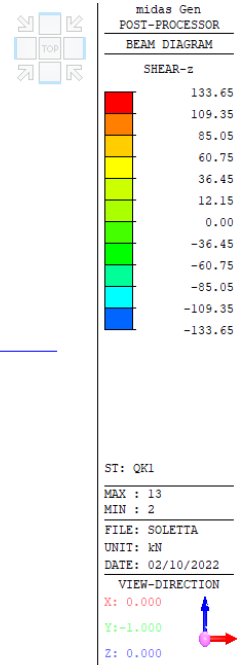


Figura 33 – Taglio Qk1

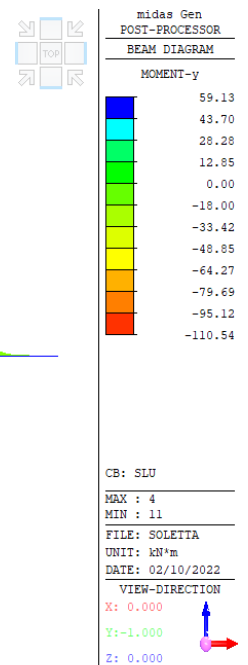


Figura 34 – Momento flettente allo SLU

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	62 di 83

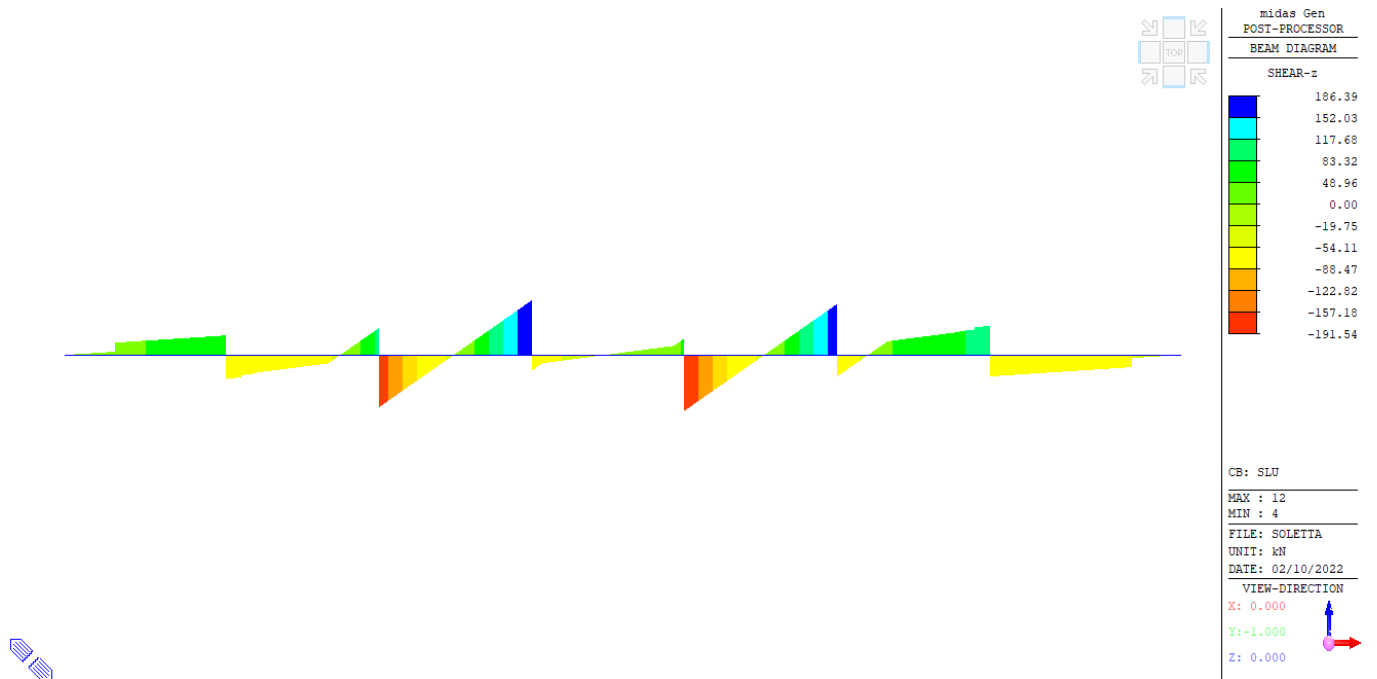


Figura 35 – Taglio allo SLU

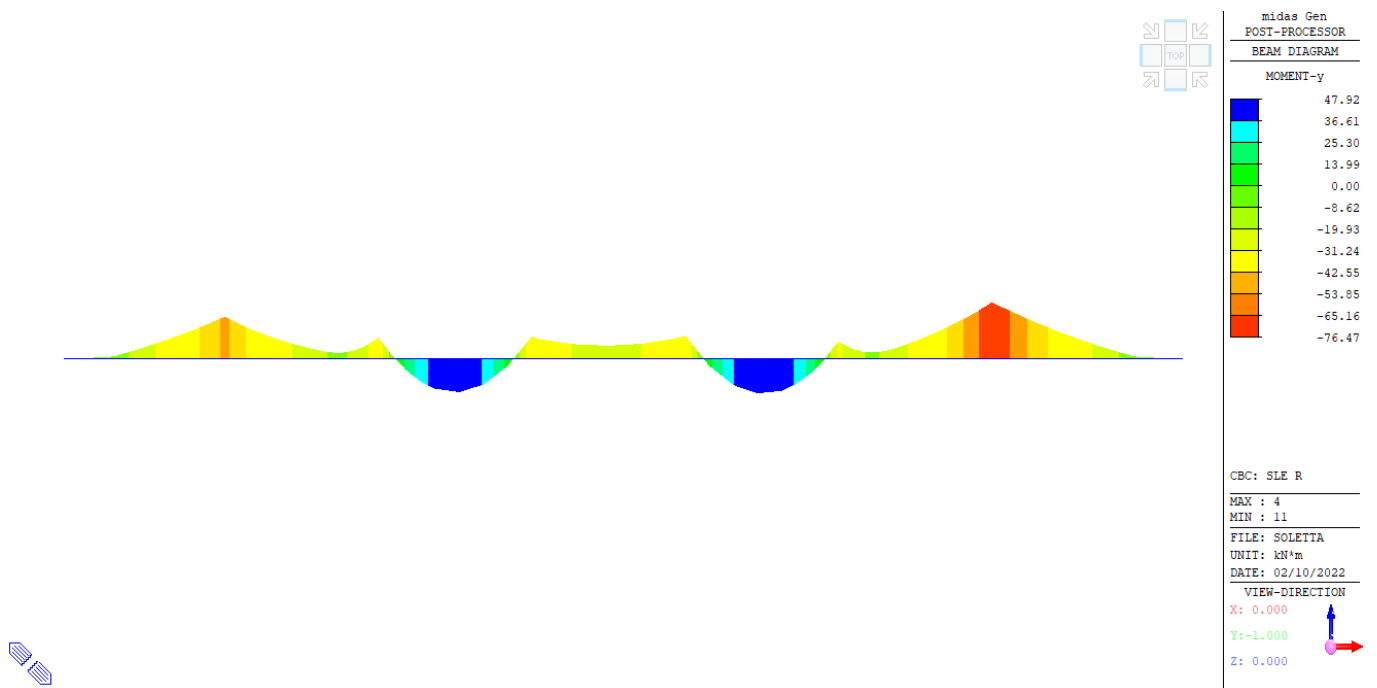


Figura 36 – Momento flettente allo SLE (comb. rara)

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	63 di 83

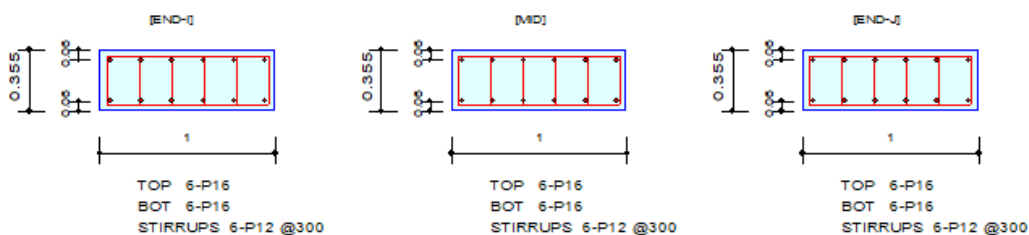
9.1 Verifiche sezione sugli sbalzi (in corrispondenza delle travi esterne)

Si riporta di seguito il risultato del report di calcolo ottenuto dal software per la verifica della sezione in c.a. armata con $\Phi 16/15$ su entrambi i lembi. A taglio si utilizzano spilli $\Phi 12$ maglia 15 x 30.

Verifiche allo SLU

1. Design Information

Design Code	Eurocode2:04 & NTC2018	Unit System	kN, m
Material Data	$f_{ck} = 28000$, $f_{yk} = 450000$, $f_{yw} = 450000$ KPa		
Section Property	Soletta (No : 1)	Beam Span	1.85m



2. Bending Moment Capacity

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	1	1	1
Moment (M_{Ed})	110.54	105.54	110.54
Factored Strength (M_{Rd})	135.87	135.87	135.87
Check Ratio (M_{Ed}/M_{Rd})	0.8136	0.7768	0.8136
Neutral Axis (x/d)	0.1699	0.1699	0.1699
(+) Load Combination No.	1	1	1
Moment (M_{Ed})	0.00	0.00	0.00
Factored Strength (M_{Rd})	135.87	135.87	135.87
Check Ratio (M_{Ed}/M_{Rd})	0.0000	0.0000	0.0000
Neutral Axis (x/d)	0.1699	0.1699	0.1699
Using Rebar Top (A_{s_top})	0.0012	0.0012	0.0012
Using Rebar Bot (A_{s_bot})	0.0012	0.0012	0.0012

PROGETTO DEFINITIVO
Relazione di calcolo impalcato VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	64 di 83

3. Shear Capacity

	END-I	MID	END-J
Load Combination No.	1	1	1
Factored Shear Force (V _{Ed})	95.87	99.23	100.91
V _{Rdc}	145.47	145.47	145.47
V _{Rds}	558.55	558.55	558.55
V _{Rdmax}	752.45	752.45	752.45
Using Shear Reinf. (Asw)	0.0023	0.0023	0.0023
Using Stirrups Spacing	6-P12 @300	6-P12 @300	6-P12 @300
V _{Ed} / V _{Rdc}	0.6590	0.6821	0.6937
V _{Ed} / min(V _{Rds} , V _{Rdmax})	0.1716	0.1777	0.1807
Check Ratio	0.6590	0.6821	0.6937

Verifiche allo SLE

2. Stress Check

	END-I		MID		END-J	
	Concrete	Rebar	Concrete	Rebar	Concrete	Rebar
(-) Load Combination No.	4(Q)	4(Q)	3(F)	3(F)	4(Q)	4(Q)
Stress(s)	3.30	27.08	3.16	25.87	3.30	27.08
Allowable Stress(sa)	16.80	360.00	16.80	360.00	16.80	360.00
Stress Ratio(s/sa)	0.1967	0.0752	0.1879	0.0719	0.1967	0.0752
(+) Load Combination No.	4(Q)	4(Q)	4(Q)	4(Q)	4(Q)	4(Q)
Stress(s)	0.46	3.80	0.31	2.54	0.22	1.84
Allowable Stress(sa)	16.80	360.00	16.80	360.00	16.80	360.00
Stress Ratio(s/sa)	0.0276	0.0105	0.0184	0.0071	0.0134	0.0051

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	65 di 83

4. Crack Control

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	4(Q)	3(F)	4(Q)
Crack Width(w)	0.03	0.03	0.03
Allowable Crack Width(wa)	0.20	0.20	0.20
Check Ratio(w/wa)	0.1565	0.1495	0.1565
(+) Load Combination No.	4(Q)	4(Q)	4(Q)
Crack Width(w)	0.00	0.00	0.00
Allowable Crack Width(wa)	0.20	0.20	0.20
Check Ratio(w/wa)	0.0219	0.0147	0.0106

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	66 di 83

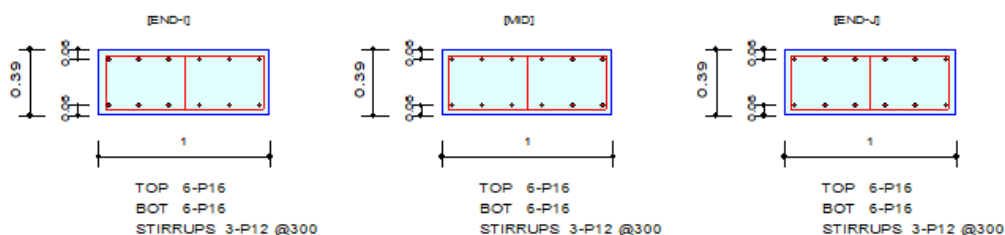
Relazione di calcolo impalcato VI03

9.2 Verifiche sezione in mezzeria (in corrispondenza delle travi interne)

Si riporta di seguito il risultato del report di calcolo ottenuto dal software per la verifica della sezione in c.a. armata con $\Phi 16/15$ su entrambi i lembi. A taglio si utilizzano spilli $\Phi 12$ maglia 30×30 .

1. Design Information

Design Code	Eurocode2:04 & NTC2018	Unit System	kN, m
Material Data	$f_{ck} = 28000$, $f_{yk} = 450000$, $f_{yw} = 450000$ KPa		
Section Property	100x39 (No : 2)	Beam Span	1.72m



2. Bending Moment Capacity

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	1	1	1
Moment (M_{Ed})	39.99	38.12	39.99
Factored Strength (M_{Rd})	152.19	152.19	152.19
Check Ratio (M_{Ed}/M_{Rd})	0.2628	0.2505	0.2628
Neutral Axis (x/d)	0.1519	0.1519	0.1519
(+) Load Combination No.	1	1	1
Moment (M_{Ed})	56.63	59.13	59.13
Factored Strength (M_{Rd})	152.19	152.19	152.19
Check Ratio (M_{Ed}/M_{Rd})	0.3721	0.3885	0.3885
Neutral Axis (x/d)	0.1519	0.1519	0.1519
Using Rebar Top (A_{s_top})	0.0012	0.0012	0.0012
Using Rebar Bot (A_{s_bot})	0.0012	0.0012	0.0012

PROGETTO DEFINITIVO
Relazione di calcolo impalcato VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	67 di 83

3. Shear Capacity

	END-I	MID	END-J
Load Combination No.	1	1	1
Factored Shear Force (V _{Ed})	191.54	146.45	186.39
V _{Rdc}	152.90	152.90	152.90
V _{Rds}	312.41	312.41	312.41
V _{Rdmax}	841.72	841.72	841.72
Using Shear Reinf. (Asw)	0.0011	0.0011	0.0011
Using Stirrups Spacing	3-P12 @300	3-P12 @300	3-P12 @300
V _{Ed} / V _{Rdc}	1.2527	0.9578	1.2190
V _{Ed} / min(V _{Rds} , V _{Rdmax})	0.6131	0.4688	0.5966
Check Ratio	0.6131	0.9578	0.5966

Verifiche allo SLE

2. Stress Check

	END-I		MID		END-J	
	Concrete	Rebar	Concrete	Rebar	Concrete	Rebar
(-) Load Combination No.	3(F)	3(F)	3(F)	3(F)	3(F)	3(F)
Stress(s)	1.12	9.64	1.07	9.21	1.12	9.64
Allowable Stress(sa)	16.80	360.00	16.80	360.00	16.80	360.00
Stress Ratio(s/sa)	0.0669	0.0268	0.0639	0.0256	0.0669	0.0268
(+) Load Combination No.	3(F)	3(F)	3(F)	3(F)	3(F)	3(F)
Stress(s)	1.65	14.18	1.72	14.71	1.72	14.71
Allowable Stress(sa)	16.80	360.00	16.80	360.00	16.80	360.00
Stress Ratio(s/sa)	0.0985	0.0394	0.1022	0.0409	0.1022	0.0409

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO

Relazione di calcolo impalcato VI03


IV01 00 D 09 CL VI0309 001 A 68 di 83

3. Check Linear Creep

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	4(Q)	4(Q)	4(Q)
Stress(s)	0.43	0.39	0.43
Allowable Stress(sa)	12.60	12.60	12.60
Stress Ratio(s/sa)	0.0337	0.0313	0.0337
Result	Linear Creep	Linear Creep	Linear Creep
(+) Load Combination No.	4(Q)	4(Q)	4(Q)
Stress(s)	0.51	0.51	0.49
Allowable Stress(sa)	12.60	12.60	12.60
Stress Ratio(s/sa)	0.0402	0.0402	0.0387
Result	Linear Creep	Linear Creep	Linear Creep

4. Crack Control

	END-I	MID	END-J
(-) Load Combination No.	3(F)	3(F)	3(F)
Crack Width(w)	0.01	0.01	0.01
Allowable Crack Width(wa)	0.20	0.20	0.20
Check Ratio(w/wa)	0.0590	0.0563	0.0590
(+) Load Combination No.	3(F)	3(F)	3(F)
Crack Width(w)	0.02	0.02	0.02
Allowable Crack Width(wa)	0.20	0.20	0.20
Check Ratio(w/wa)	0.0868	0.0900	0.0900

 <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 VI03</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0309 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 69 di 83</p>

10 VERIFICHE CONTROVENTI

La verifica dei controventi è fatta considerando le seguenti sollecitazioni sollecitazioni:

- G1 (travi+soletta) ricavate dal modello di fase 1
- G2 (permanenti non strutturali) ricavate dal modello di fase 2
- Q (variabili) ricavati dal modello di fase 3

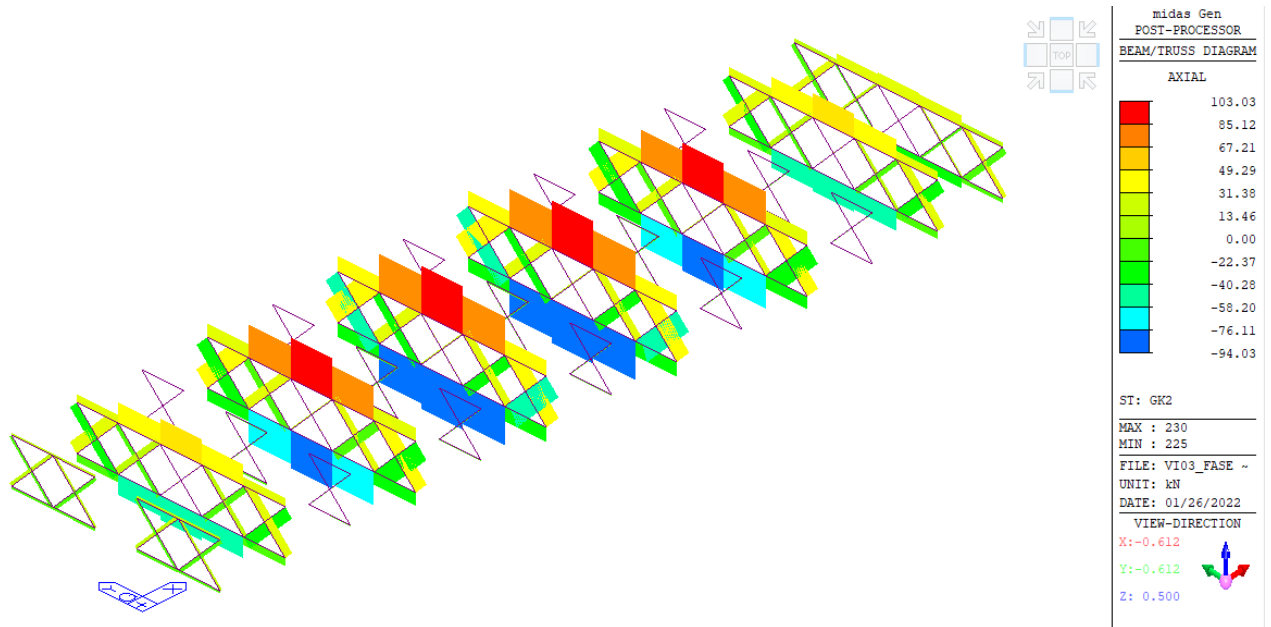


Figura 37 – Azione assiale controventi fase 1

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	70 di 83

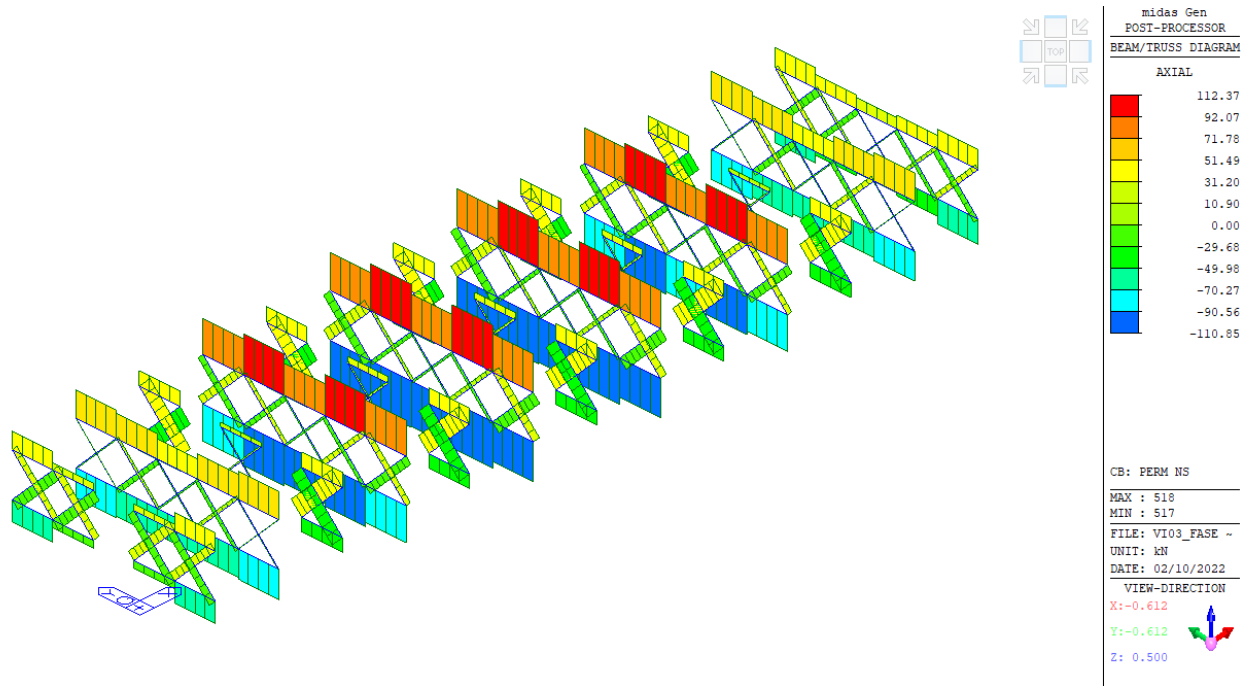


Figura 38 – Azione assiale controventi fase 2

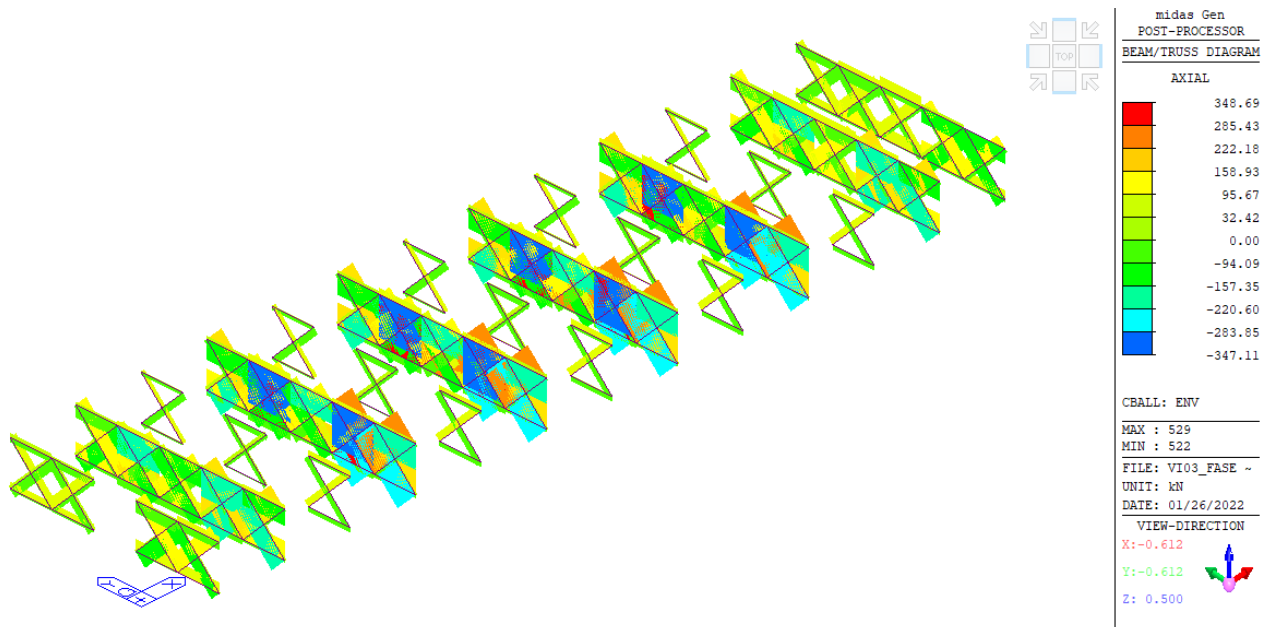


Figura 39 – Azione assiale controventi fase 3

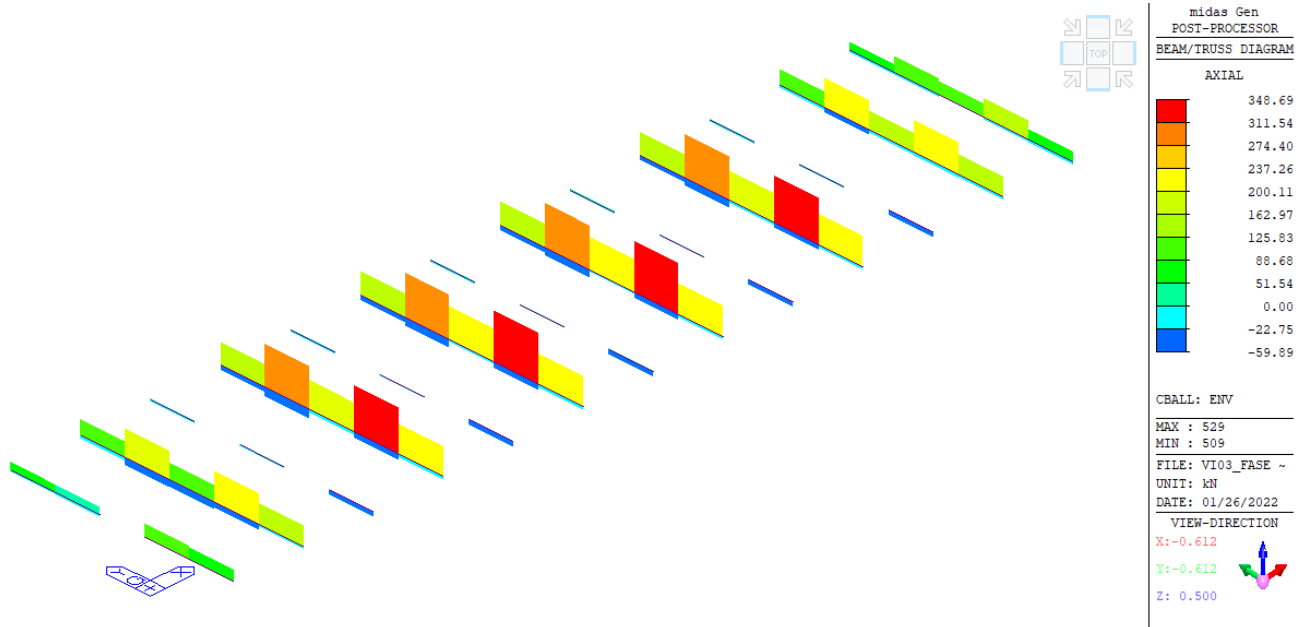


Figura 40 – Azione assiale controventi fase 3 – controventi inferiori

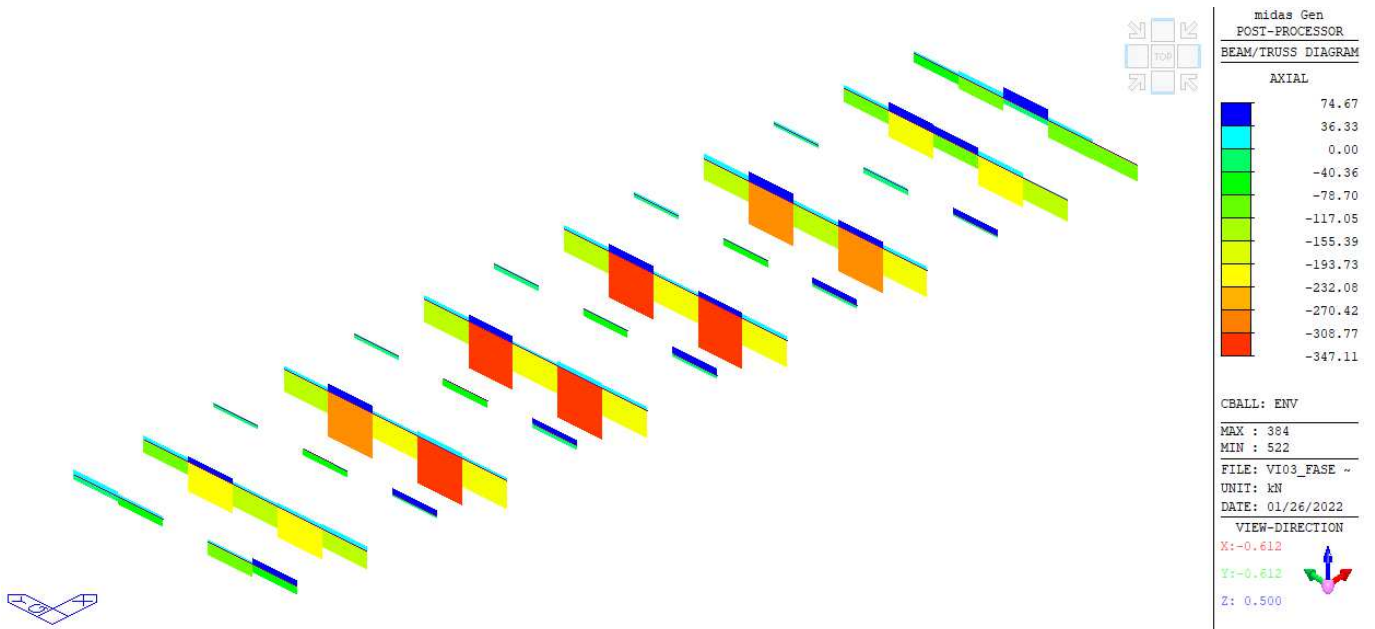


Figura 41 – Azione assiale controventi fase 3 – controventi superiori

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI03

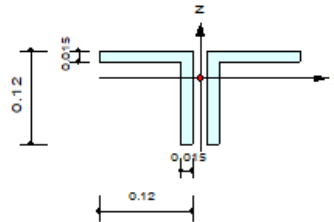
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	72 di 83

Si riportano di seguito i report di verifica prodotti con il verificatore automatico di Midas in accordo all'Eurocodice;

Verifica a Trazione

1. Design Information

Design Code	Eurocode3:05
Unit System	kN, m
Member No	1
Material	S355 (No:1) ($F_y = 355000$, $E_s = 210000000$)
Section Name	2L (No:1) (Built-up Section).
Member Length	: 2.00000



2. Member Forces

Axial Force	$F_{xx} = 776.850$ (LCB: 2, POS:1/2)
Bending Moments	$M_y = 0.00000$, $M_z = 0.00000$
End Moments	$M_{yi} = 0.00000$, $M_{yj} = 0.00000$ (for L_b) $M_{zi} = 0.00000$, $M_{zj} = 0.00000$ (for L_z)
Shear Forces	$F_{yy} = 0.00000$ (LCB: 1, POS:1/2) $F_{zz} = 0.00000$ (LCB: 1, POS:1/2)

Depth	0.12000	Web Thick	0.01500
Flg Width	0.12000	Flg Thick	0.01500
BTB Spacing 0.02000			
Area	0.00075	A_{sz}	0.00300
C_{yb}	0.00357	C_{zb}	0.00720
I_{yy}	0.00001	I_{zz}	0.00002
Y_{bar}	0.13000	Z_{bar}	0.08450
W_{ely}	0.00011	W_{elz}	0.00018
r_y	0.03053	r_z	0.05835

3. Design Parameters

Unbraced Lengths	$L_y = 2.00000$, $L_z = 2.00000$, $L_b = 2.00000$
Effective Length Factors	$K_y = 1.00$, $K_z = 1.00$
Equivalent Uniform Moment Factors	$C_{my} = 1.00$, $C_{mz} = 1.00$, $C_{mLT} = 1.00$

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo impalcato VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	73 di 83

4. Checking Result

Slenderness Ratio

$$L/r = 54.7 < 300.0 \text{ (Memb:1, LCB: 2)} \dots\dots\dots \text{O.K}$$

Axial Resistance

$$N_{Ed}/N_{t,Rd} = 776.85/2396.25 = 0.324 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

Bending Resistance

$$M_{Edy}/M_{Rdy} = 0.0000/68.2182 = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

$$M_{Edz}/M_{Rdz} = 0.000/109.029 = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

Combined Resistance

$$R.MNRd = \text{MAX}[M_{Edy}/M_{ny,Rd}, M_{Edz}/M_{nz,Rd}]$$

$$R.byN = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M0}), \quad R.byM = M_{Edy}/M_{y,Rd} + M_{Edz}/M_{z,Rd}$$

$$R_{max} = \text{MAX}[R.MNRd, (R.byN + R.byM)] = 0.324 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

Shear Resistance

$$V_{Edy}/V_{y,Rd} = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

$$V_{Edz}/V_{z,Rd} = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

PROGETTO DEFINITIVO

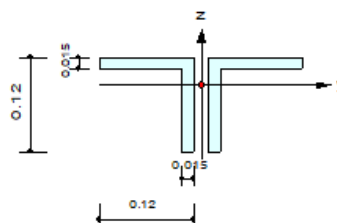
Relazione di calcolo impalcato VI03

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	74 di 83

Verifica a Compressione

1. Design Information

Design Code	Eurocode3:05
Unit System	kN, m
Member No	1
Material	S355 (No:1) ($F_y = 355000$, $E_s = 210000000$)
Section Name	2L (No:1) (Built-up Section).
Member Length	: 2.00000



2. Member Forces

Axial Force	$F_{xx} = -763.20$ (LCB: 2, POS:1/2)
Bending Moments	$M_y = 0.00000$, $M_z = 0.00000$
End Moments	$M_{yi} = 0.00000$, $M_{yj} = 0.00000$ (for Lb) $M_{zi} = 0.00000$, $M_{zj} = 0.00000$ (for Lz) $M_{zi} = 0.00000$, $M_{zj} = 0.00000$ (for Lz)
Shear Forces	$F_{yy} = 0.00000$ (LCB: 1, POS:1/2) $F_{zz} = 0.00000$ (LCB: 1, POS:1/2)

Depth	0.12000	Web Thick	0.01500
Flg Width	0.12000	Flg Thick	0.01500
BTB Spacing	0.02000		
Area	0.00675	A_{zz}	0.00300
C_{yb}	0.00357	C_{zb}	0.00720
I_{yy}	0.00001	I_{zz}	0.00002
Y_{bar}	0.13000	Z_{bar}	0.08450
W_{ely}	0.00011	W_{elz}	0.00018
r_y	0.03653	r_z	0.05835

3. Design Parameters

Unbraced Lengths	$L_y = 2.00000$, $L_z = 2.00000$, $L_b = 2.00000$
Effective Length Factors	$K_y = 1.00$, $K_z = 1.00$
Equivalent Uniform Moment Factors	$C_{my} = 1.00$, $C_{mz} = 1.00$, $C_{mLT} = 1.00$

PROGETTO DEFINITIVO

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

Relazione di calcolo impalcato VI03

IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	75 di 83
------	----	---------	------------	---	----------

4. Checking Result

Slenderness Ratio

$$KL/r = 54.7 < 200.0 \text{ (Memb:1, LCB: 2)} \dots\dots\dots \text{O.K}$$

Axial Resistance

$$N_{Ed}/\text{MIN}[N_{c,Rd}, N_{b,Rd}] = 763.20/1712.08 = 0.446 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

Bending Resistance

$$M_{Edy}/M_{Rdy} = 0.0000/68.2182 = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

$$M_{Edz}/M_{Rdz} = 0.000/109.029 = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

Combined Resistance

$$R_{.MNRd} = \text{MAX}[M_{Edy}/M_{ny_Rd}, M_{Edz}/M_{nz_Rd}]$$

$$R_{.byN} = N_{Ed}/(A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M0}), \quad R_{.byM} = M_{Edy}/M_{y_Rd} + M_{Edz}/M_{z_Rd}$$

$$R_{c.LT1} = N_{Ed}/(X_{iy} \cdot A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$$

$$R_{b.LT1} = (k_{yy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1}) + (k_{yz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$$

$$R_{c.LT2} = N_{Ed}/(X_{iz} \cdot A \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$$


$$R_{b.LT2} = (k_{zy} \cdot M_{Edy}) / (X_{i_LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1}) + (k_{zz} \cdot M_{Edz}) / (W_{plz} \cdot f_y / \text{Gamma}_{M1})$$

$$R_{max} = \text{MAX}[R_{.MNRd}, (R_{.byN} + R_{.byM}), \text{MAX}(R_{c.LT1} + R_{b.LT1}, R_{c.LT2} + R_{b.LT2})] = 0.446 < 1.000 \dots\dots \text{O.K}$$

Shear Resistance

$$V_{Edy}/V_{y_Rd} = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

$$V_{Edz}/V_{z_Rd} = 0.000 < 1.000 \dots\dots\dots \text{O.K}$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI03	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0309 001	REV. A

11 VERIFICHE DI DEFORMABILITÀ E VIBRAZIONI

11.1 Deformabilità parte in acciaio

Freccia dovuto al peso proprio della struttura metallica e della soletta d'impalcato è pari a:

$f_p=61.88\text{mm} < L/300=150\text{mm}$ verifica soddisfatta

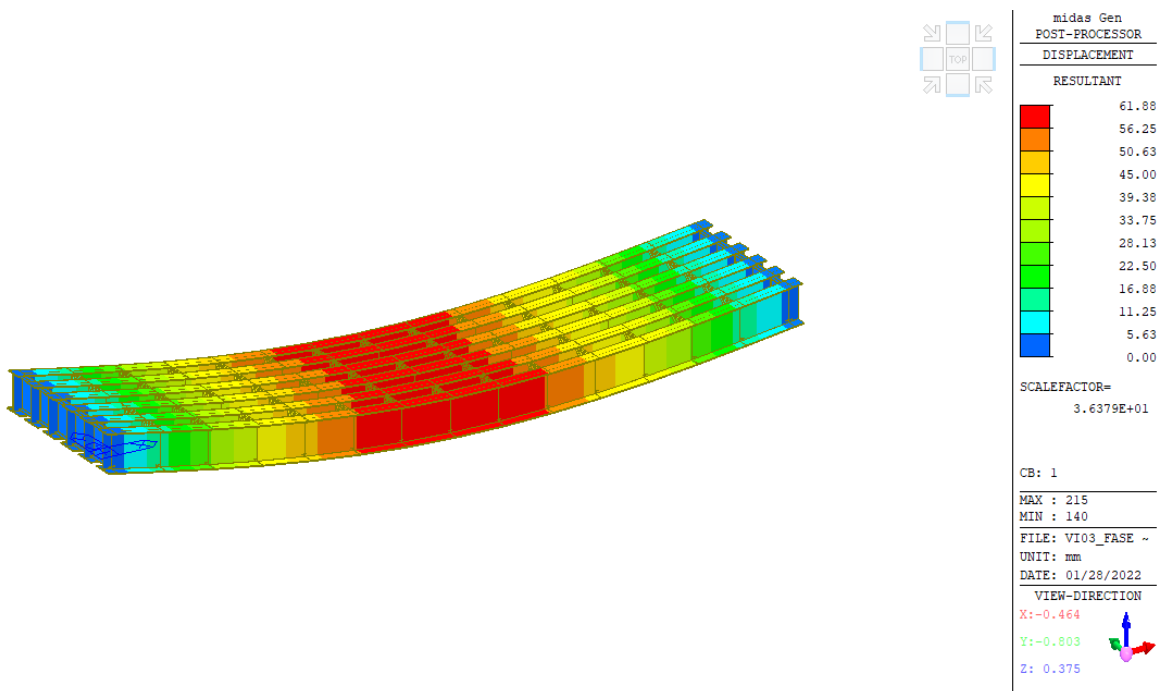



Figura 42 – Deformata della struttura in acciaio per effetto dei pesi dell'acciaio e del del calcestruzzo

 <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 VI03</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0309 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 77 di 83</p>

11.2 Inflessione nel piano verticale dell'impalcato

Considerando la presenza del treno SW/2 sul primo binario e del LM71 sul secondo binario, entrambi amplificati e posizionati in modo da massimizzare il momento in mezzeria (e quindi la freccia), si è calcolato un abbassamento in asse binario di $29.50 \text{ mm} < L/600=75.0 \text{ mm}$. Verifica soddisfatta.

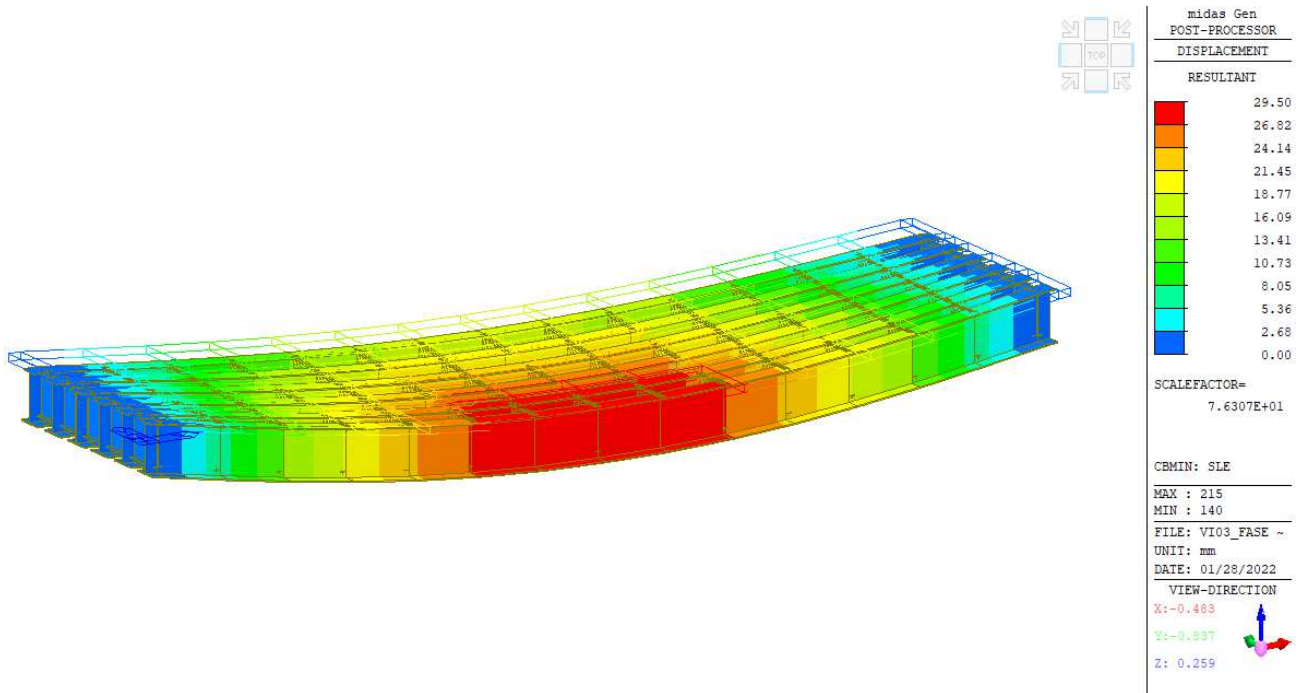



Figura 43 – Deformata dell'impalcato con LM71 e SW/2

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</p>					
<p>PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI03</p>	<p>COMMESSA IV01</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 09 CL</p>	<p>DOCUMENTO VI0309 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 78 di 83</p>

11.3 Stati limite per il comfort dei passeggeri

Considerando la presenza di un solo treno LM71 amplificato si è calcolato un abbassamento di 25.82 mm < $L/1400 = 31.3$ mm, limite valido per luce di 45m (cautelativamente) e velocità di 200km/h.

Verifica soddisfatta.

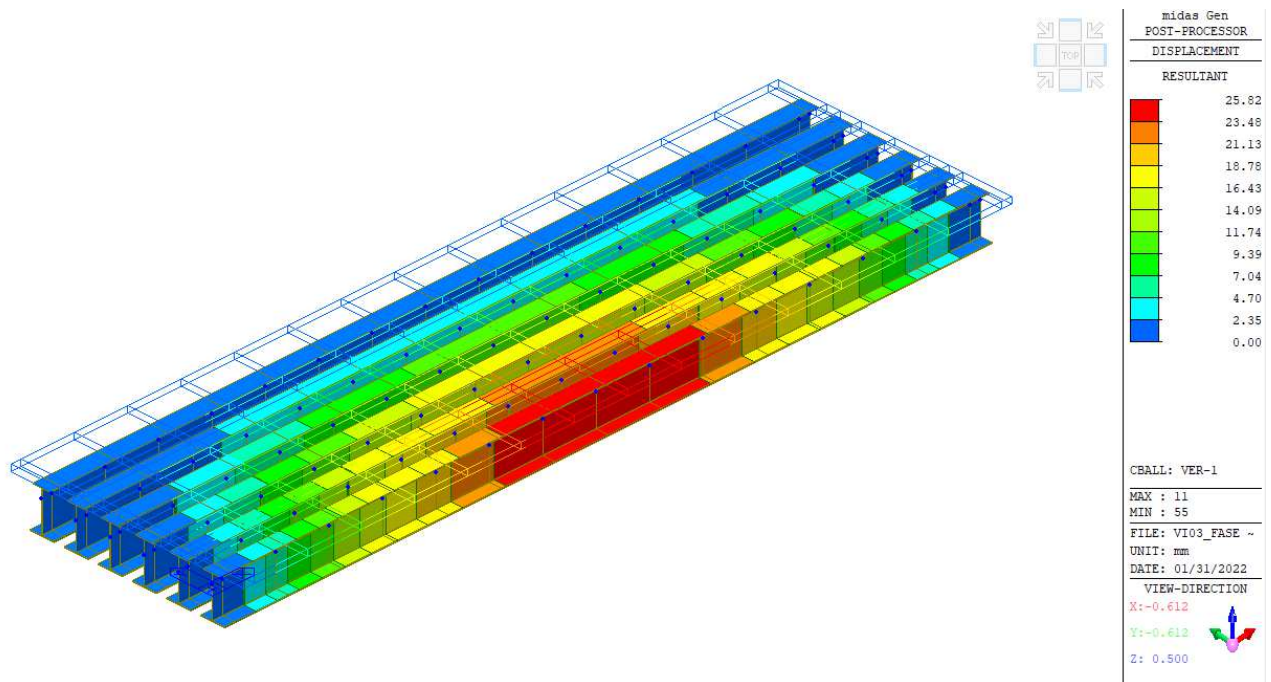


Figura 44 – Deformata dell’impalcato con LM71 su un solo binario

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI03	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0309 001	REV. A

11.4 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:

In appoggio

$$\delta_v = 3.72 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 1.38 \text{ mm}$$

In mezzeria

$$\delta_v = 10.294 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = 10.00 \text{ mm}$$

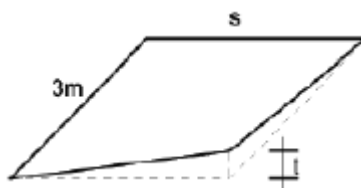


Figura 45 - Sghembo ammissibile

Lo sghembo, amplificato dinamicamente, è pari a:

$$\text{(appoggio)} \quad t \cong \Phi \times [(\delta_2 - \delta_1)] = 1.173 \times (3.72 - 1.38) = 2.745 \text{ mm / 3 m}$$

$$\text{(mezzeria)} \quad t \cong \Phi \times [(\delta_2 - \delta_1)] = 1.173 \times (10.294 - 10.00) = 0.344 \text{ mm / 3 m}$$

I valori di t appena calcolati sono inferiori al valore limite previsto dalla normativa e pari a 3 mm / 3m per il caso $120 < V_{\max} \leq 200 \text{ km/h}$.

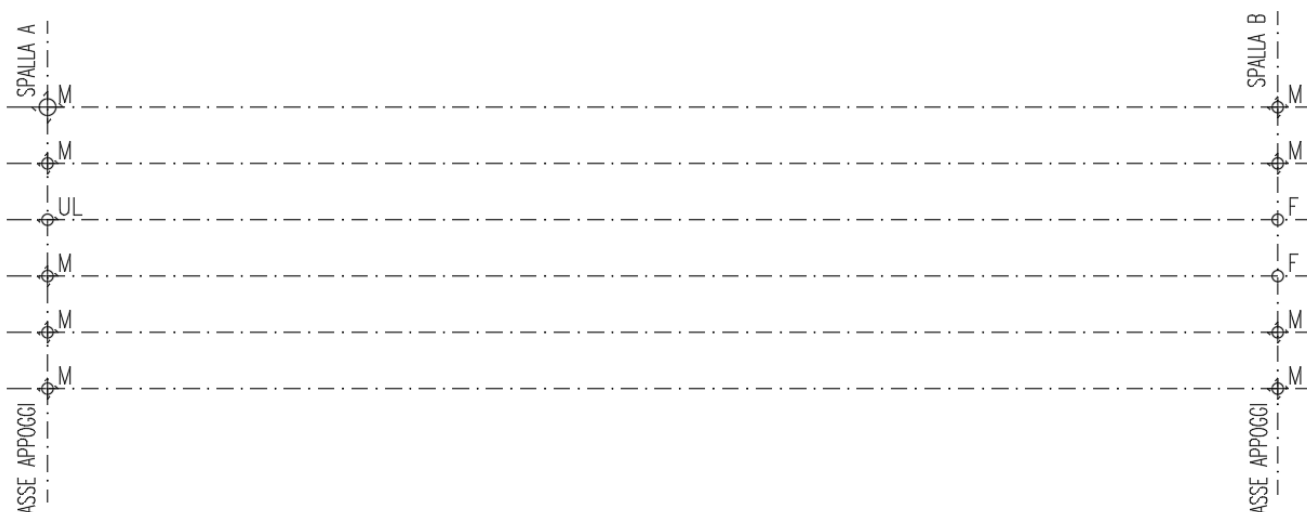
PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	80 di 83

Relazione di calcolo impalcato VI03

12 REAZIONI SUGLI APPOGGI

Lo schema appoggi dell'impalcato è riportato di seguito.



Nelle seguenti tabelle sono riportati i massimi valori delle reazioni degli appoggi per le combinazioni SLU e SLV.

Appoggi fissi (F)

	Fisso		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
EN SLU	3860	1488	1331
EN SLV	1761	3695	1887

Appoggi Uni-Longitudinali (UL)

	UL		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
EN SLU	3879	0	818
EN SLV	1754	0	3118

PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0309 001	A	81 di 83

Relazione di calcolo impalcato VI03

Appoggi Multidirezionali (M)

	M		
	N (kN)	T _{long} (kN)	T _{trasv} (kN)
EN SLU	4650	0	0
EN SLV	1950	0	0

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI03	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0309 001	REV. A

13 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 10 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)
46.0	179	115	100	110	120	20/220

Tabella 10 – Caratteristiche dei varchi e dei giunti

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
PROGETTO DEFINITIVO Relazione di calcolo impalcato VI03	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 CL	DOCUMENTO VI0309 001	REV. A	FOGLIO 83 di 83

14 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.