

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O OPERE CIVILI

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA

TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

VI08_VIADOTTO SU TORRENTE MERULA DA KM 97+025 A KM 97+175

Relazione di calcolo – Spalla B

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 8 0 4 0 0 2 A

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

File: IV0100D09CLVI0804002A.doc

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	4
1.1	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA.....	4
1.2	GEOMETRIA DELLA SPALLA B	5
2	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	7
3	MATERIALI	8
3.1	CALCESTRUZZO	8
3.2	ACCIAIO PER C.A	8
4	ANALISI DEI CARICHI	9
4.1	CARICHI PERMANENTI – G ₁	9
4.1.1	<i>Peso proprio degli elementi strutturali.....</i>	9
4.1.2	<i>Spinta del terreno</i>	9
4.1.3	<i>Peso del terreno.....</i>	10
4.2	CARICHI PERMANENTI NON STRUTTURALI O PORTATI G ₂	10
4.2.1	<i>Carichi permanenti trasmessi dall'impalcato</i>	10
4.2.2	<i>Peso del ballast e dell'armamento del piano del ferro.....</i>	10
4.3	CARICHI VARIABILI DA TRAFFICO FERROVIARIO	11
4.3.1	<i>Modello di carico LM71.....</i>	11
4.3.2	<i>Modello di carico SW/2.....</i>	12
4.3.3	<i>Azione laterale di serpeggio.....</i>	13
4.4	AZIONE DEL VENTO	13
4.4.1	<i>Azione del vento sulla sagoma del treno</i>	13
4.4.2	<i>Azione del vento sulla sottostruttura</i>	13
4.5	CARICHI SISMICI – E	15
4.5.1	<i>Azione sismica</i>	15

4.5.2	<i>Sovrappinta sismica</i>	17
4.5.3	<i>Forze inerziali</i>	18
5	COMBINAZIONI DI CARICO	19
6	MODELLO DI CALCOLO.....	26
6.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO.....	26
7	SOLLECITAZIONI.....	27
8	VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI	35
8.1	VERIFICA DEL PLINTO	36
8.2	VERIFICA DEI MURI ANDATORI	41
8.3	VERIFICA DEL MURO PARAGHIAIA	46
8.4	VERIFICA DEL MURO FRONTALE	49
9	VALUTAZIONE DI ACCETTABILITA' DEI RISULTATI OTTENUTI (RIF.PAR.10.2 DM 17/01/2018)	53

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto il calcolo delle sollecitazioni e le conseguenti verifiche di resistenza della spalla B (lato Ventimiglia) che fa parte della sottostruttura del viadotto ferroviario sul Torrente Merula, denominato VI08 e ubicato tra le progressive chilometriche 97+025 e 97+175, previsto dal progetto definitivo di raddoppio della linea Genova-Ventimiglia tratta Finale Ligure-Andora.

La spalla B si colloca nella progressiva 97+175.

1.1 Descrizione generale dell'opera

Il viadotto in esame si compone da due campate ciascuna di luce pari a 75.00 m coperte mediante due travate reticolari metalliche a doppio binario.

La spalla A (lato Genova), spalla fissa, è costituita da un manufatto scatolare in c.a. fondato su pali di diametro 1.50 m per garantire il transito della viabilità sulla sponda sinistra del Torrente Merula.

La spalla B (lato Ventimiglia), spalla mobile, di transizione tra la travata reticolare e il rilevato ferroviario è costituita da una struttura in c.a composta da un plinto fondato su pali, muro frontale e due muri andatori.

La pila in c.a. è costituita da un plinto a sezione circolare fondato su pali di diametro 1.50 m, un unico fusto a sezione circolare piena costante e pulvino a pianta rettangolare di altezza costante.

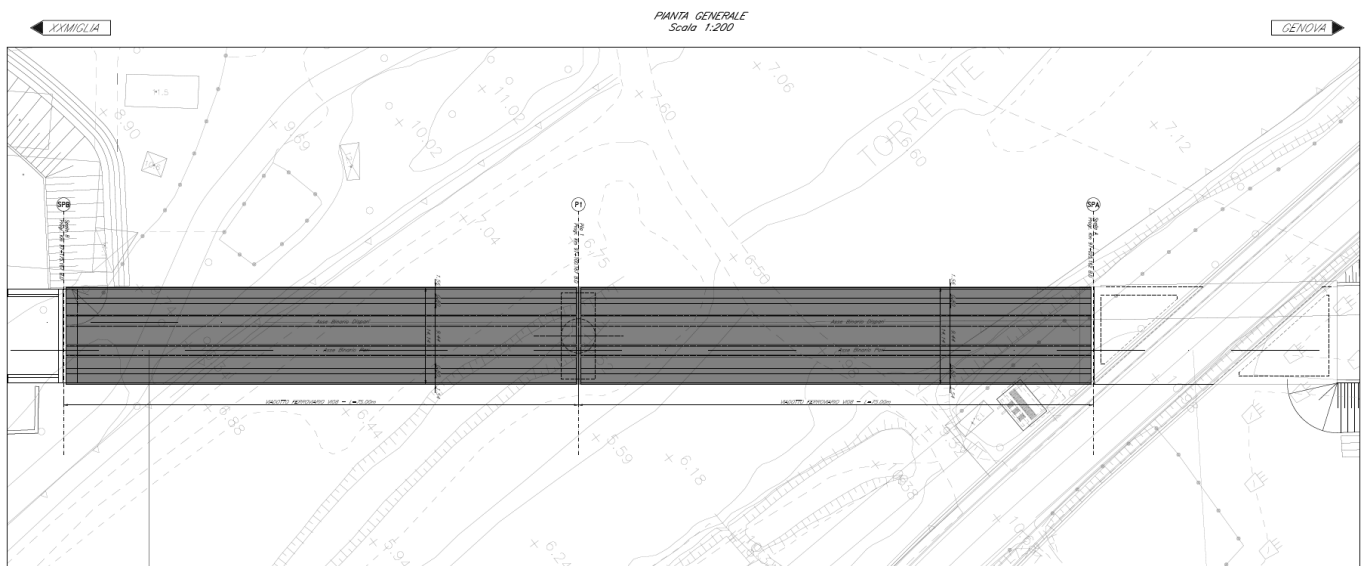


Figura 1 - Vista in pianta del viadotto VI08

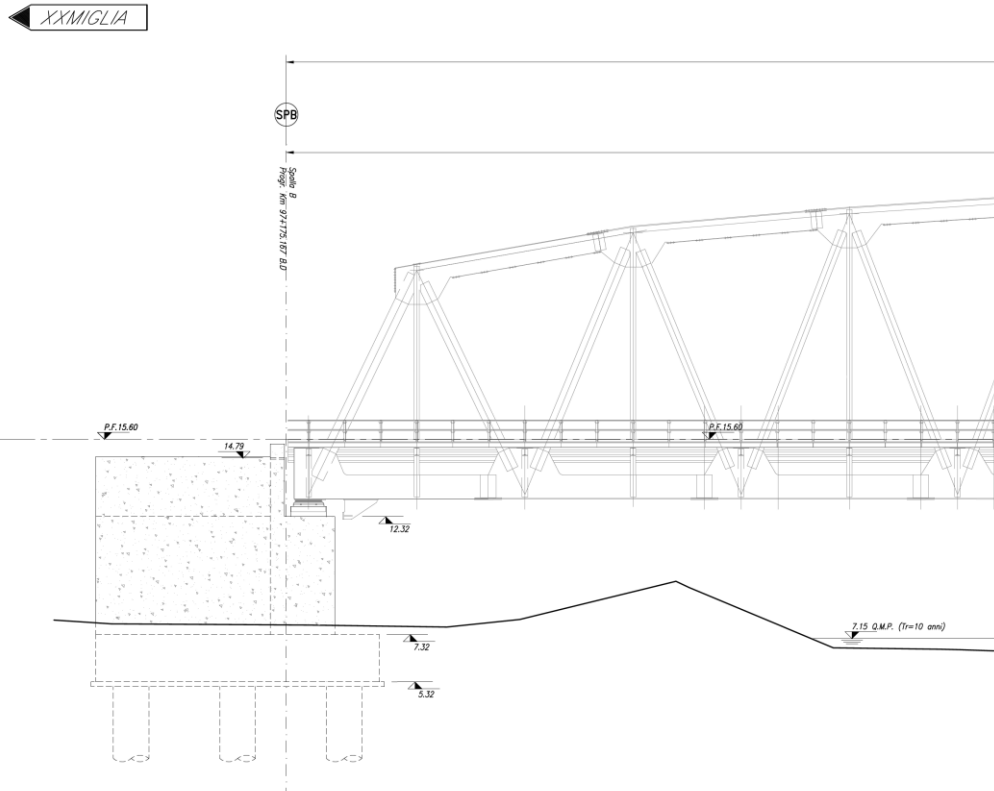


Figura 2 – Prospetto longitudinale della Spalla B del viadotto VI08

1.2 Geometria della spalla B

La spalla B (lato Ventimiglia), su cui poggia una delle travate metalliche a doppio binario, presenta una soletta di fondazione a pianta rettangolare di dimensioni 12.00 x 16.50 m e spessore pari a 2.00 m. L'elevazione della spalla è caratterizzata da un muro frontale di testata di dimensioni 13.70 x 5.00 m e spessore pari a 2.72 m, un muro paraghiaia di dimensioni 13.7 x 2.47 m (variabile) e spessore pari a 0.60 m e due muri andatori che presentano spessore variabile con l'altezza, ovvero 1.20m per i primi 5.00m di altezza e 0.82m per il tratto superiore di dimensione 2.55m, con una lunghezza pari a 7.38m.

La spalla è fondata su dodici pali di diametro pari a Ø1.50 m.

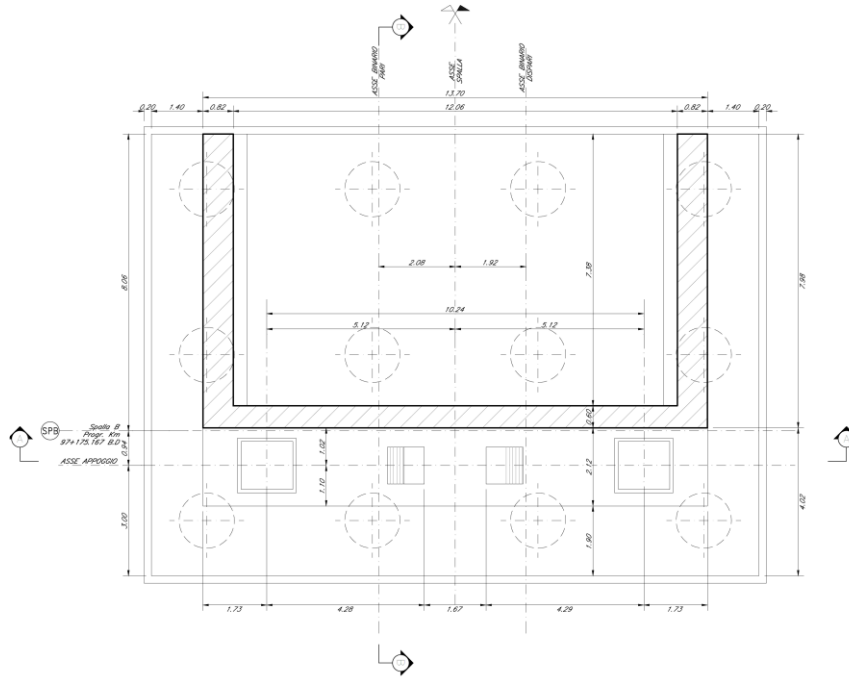


Figura 3: Vista in pianta della spalla B – Lato Ventimiglia

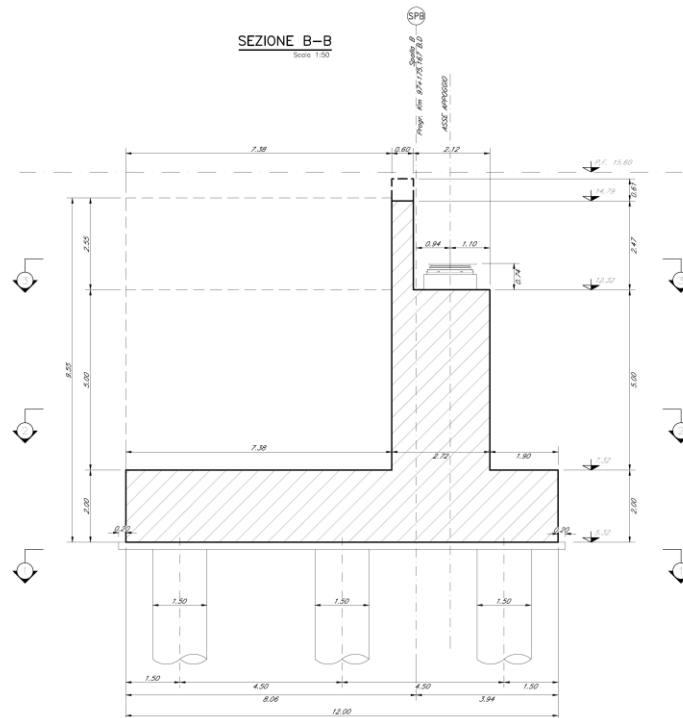


Figura 4: Sezione longitudinale B-B della spalla B – Lato Ventimiglia

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Nell'esecuzione dei calcoli si fa riferimento alla legislazione vigente con particolare riferimento alle seguenti normative:

- Ministero delle Infrastrutture, DM 17 gennaio 2018, «Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”»
- 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.
- 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
- Istruzione RFI DTC INC CS SP IFS 001 - Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 002 - Specifica per la progettazione e l'esecuzione di cavalcavia e passerelle pedonali sulla sede ferroviaria
- Istruzione RFI DTC INC PO SP IFS 003 - Specifica per la verifica a fatica dei ponti ferroviari
- 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
- Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture, Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento (UNI EN 1991-1-4)
- 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
- EC2-1-1-2005 Eurocodice 2 Progettazione delle strutture di calcestruzzo

3 MATERIALI

3.1 CALCESTRUZZO

Per le strutture in elevazione (spalle) e per il plinto di fondazione si utilizza un calcestruzzo C32/40 le cui caratteristiche sono riassunte nel seguito:

- Classe calcestruzzo C32/40
- Resistenza caratteristica cubica $R_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica cilindrica $f_{ck} \approx 32 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione $f_{cd} = 18.13 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a trazione $f_{ctm} = 3.02 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza a trazione di progetto $f_{ctd} = 1.41 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico secante $E_{cm} = 33345 \text{ N/mm}^2$

Inoltre:

- Classe di esposizione ambientale XC4/XS1 (spalle)
- Classe di esposizione ambientale XC2 (plinto)
- Classe cemento CEM III-V
- Classe di consistenza S4
- Copriferro minimo plinto 40mm
- Copriferro minimo fusto e pulvino 50mm

3.2 ACCIAIO PER C.A

Per le strutture in c.a. si utilizza un acciaio tipo B450C le cui caratteristiche sono riassunte nel seguito:

- Tensione caratteristica a rottura $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$
- Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$
- Tensione di snervamento di progetto $f_{yd} \approx 391 \text{ N/mm}^2$
- Modulo elastico $E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$

4 ANALISI DEI CARICHI

Il seguente capitolo include una descrizione delle azioni considerate nell'analisi strutturale della spalla.

4.1 Carichi permanenti – G_1

4.1.1 *Peso proprio degli elementi strutturali*

Peso proprio del manufatto - $G_{1,P.P.}$

Il peso proprio della struttura viene calcolato automaticamente dal software FEM utilizzato.

$$\gamma_{c.a.} \text{ [kN/m}^3\text{]} = 25.0$$

$$\gamma_{Acciaio} \text{ [kN/m}^3\text{]} = 78.5$$

Peso proprio dell'impalcato - $G_{1,IMP.}$

Il carico permanente strutturale proveniente dagli impalcati (acciaio + cls) corrisponde a 190 kN/m.

$$\text{Carico distribuito [kN/m]} = 190.00$$

$$\text{Lunghezza afferente [m]} = 37.50$$

$$\text{N. di appoggi} = 2$$

$$G_{1,IMP.} \text{ [kN]} = 3562.50 \quad \text{Carico concentrato verticale da applicare su ogni appoggio.}$$

4.1.2 *Spinta del terreno*

La componente statica della spinta del terreno è stata calcolata secondo la teoria di spinte a riposo di Rankine.

Stratigrafia Strato n.	Quote [m]		Parametri Geotecnici		Coeff. Spinta K0
	Estradosso	Intradosso	γ [kN/m ³]	ϕ [°]	
1	15.6	6.3	20.00	38.00	0.217

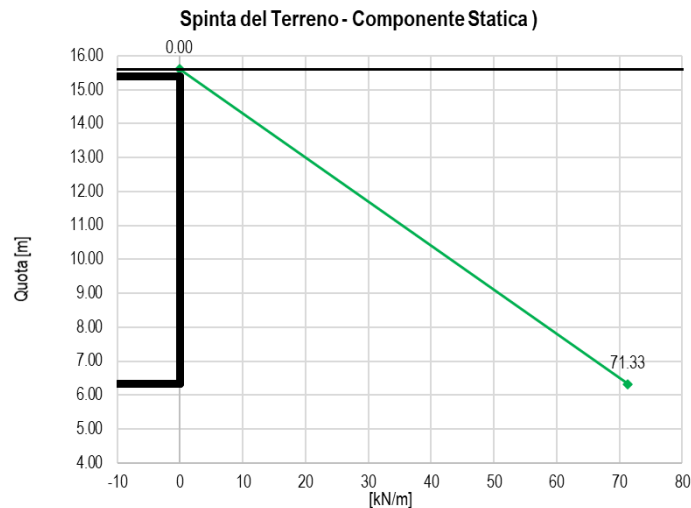


Figura 5 - Spinta del terreno

4.1.3 *Peso del terreno*

Il peso del terreno è stato valutato considerando il peso specifico del terreno (secondo la stratigrafia) e lo spessore di ricoprimento del terreno stesso.

$$G_{1,2,2} \text{ [kN/mq]} = 160.00 \quad \text{Carico superficiale verticale - Peso del terreno a quota estradosso plinto.}$$

4.2 **Carichi permanenti non strutturali o portati G_2**

4.2.1 *Carichi permanenti trasmessi dall'impalcato*

Il carico permanente portato proveniente dagli impalcato corrisponde a 181 kN/m.

$$\text{Carico distribuito [kN/m]} = 181.00$$

$$\text{Lunghezza afferente [m]} = 37.50$$

$$\text{N. di appoggi} = 2$$

$$G_{2,IMP.} \text{ [kN]} = 3393.75 \quad \text{Carico concentrato verticale da applicare su ogni appoggio}$$

4.2.2 *Peso del ballast e dell'armamento del piano del ferro*

Carichi relativi al peso della massicciata, dell'armamento e della impermeabilizzazione. §5.2.2.1.1 NTC2018.

$$\gamma \text{ [kN/m}^3\text{]} = 18.00$$

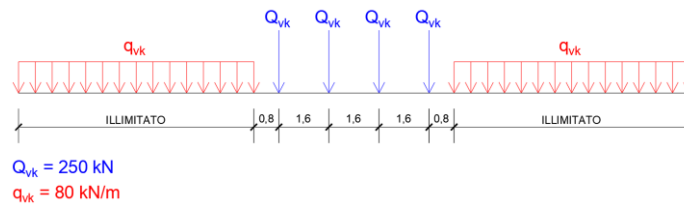
$$h \text{ [m]} = 0.80$$

$$G_{2,1} \text{ [kN/mq]} = 14.40 \quad \text{Carico superficiale verticale - Peso del ballast e dell'armamento ferroviario}$$

4.3 Carichi variabili da traffico ferroviario

L'opera è progettata considerando le sollecitazioni dovute al carico da traffico ferroviario considerando i modelli di carico LM71 e SW/2.

4.3.1 Modello di carico LM71



$Q_{vk} \text{ [kN]} =$	250.0	$s \text{ [mm]} =$	1435	Scartamento
$q_{vk} \text{ [kN/m]} =$	80.0	$e \text{ (s/18) [mm]} =$	80	Eccentricità

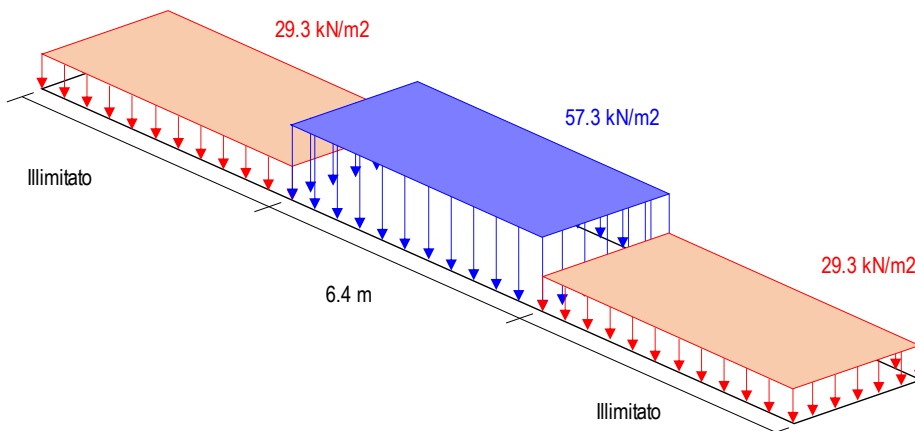
Figura 6 - Modello di carico ferroviario normale LM71

Tipologia = Ferrovia ordinaria
 $\alpha [-] = 1.1$ Coefficiente di adattamento.

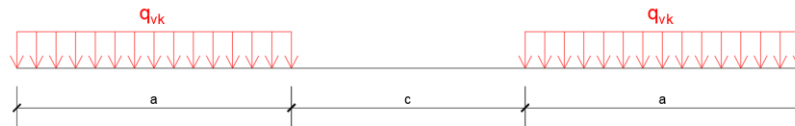
$Q_v \text{ [kN]} = 275.0$ Carico amplificato per il coefficiente di adattamento.
 $q_v \text{ [kN/m]} = 88.0$ Carico amplificato per il coefficiente di adattamento.

Distribuzione dei carichi verticali per i rilevati a tergo delle spalle. Larghezza [m]= 3.0

$Q_{1,LM71} \text{ [kN/mq]} = 57.3$ Carico superficiale verticale - LM71 sezione centrale.
 $Q_{1,LM71} \text{ [kN/mq]} = 29.3$ Carico superficiale verticale - LM71 estremi.



4.3.2 Modello di carico SW/2



Per SW/0:
 $q_{vk} = 133.0 \text{ kN/m}$; $a = 15.0 \text{ m}$; $c = 5.3 \text{ m}$
 Per SW/2:
 $q_{vk} = 150.0 \text{ kN/m}$; $a = 25.0 \text{ m}$; $c = 7.0 \text{ m}$

Figura 7 - Modello di carico ferroviario pesante SW/2

Il modello di carico SW/2 schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante.

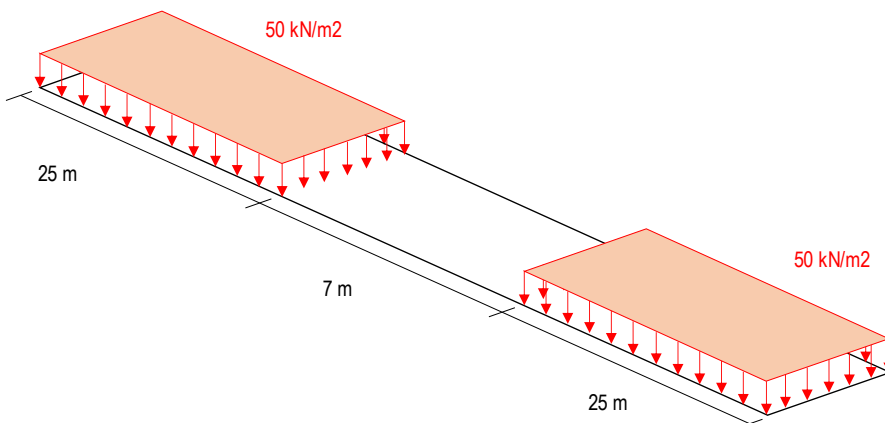
$q_{vk} \text{ [kN/m]} = 150.0$
 $a \text{ [m]} = 25.0$
 $c \text{ [m]} = 7.0$

Tipologia = Ferrovia ordinaria
 $\alpha \text{ [-]} = 1.0$ Coefficiente di adattamento

$q_v \text{ [kN/m]} = 150.0$ Carico amplificato per il coefficiente di adattamento.

Distribuzione dei carichi verticali per i rilevati a tergo delle spalle. Larghezza [m]= 3.0

$Q_{1,SW/2} \text{ [kN/mq]} = 50.0$ Carico superficiale verticale - LM71 sezione centrale.



4.3.3 Azione laterale di serpeggio

La forza laterale indotta dal serpeggio si considera come una forza concentrata agente orizzontalmente e applicata alla sommità della rotaia più alta perpendicolarmente all'asse del binario.

$$Q_{1,sk} \text{ [kN]} = \quad \mathbf{100.0} \quad \text{Carico concentrato orizzontale perpendicolare a ogni binario.}$$

4.4 Azione del vento

4.4.1 Azione del vento sulla sagoma del treno

Per considerare la azione del vento sul treno, il proprio viene individuato come una superficie piana continua alta 4m dal P.F.

$$v_{b,0} \text{ [m/s]} = \quad 28.0 \quad \text{Velocità base di riferimento a livello mare}$$

$$c_a = \quad 1.0 \quad \text{Coefficiente di altitudine}$$

$$v_b \text{ [m/s]} = \quad 28.0 \quad \text{Velocità base di riferimento}$$

$$T_R \text{ [anni]} = \quad 50.0 \quad \text{Tempo di ritorno}$$

$$c_r = \quad 1.0 \quad \text{Coefficiente di ritorno}$$

$$v_r \text{ [m/s]} = \quad 28.0 \quad \text{Velocità di riferimento del vento}$$

$$\rho \text{ [kg/m}^3\text{]} = \quad 1.25 \quad \text{Densità dell'aria}$$

$$q_r \text{ [kN/mq]} = \quad 0.49 \quad \text{Pressione cinetica di riferimento}$$

$$c_e = \quad 2.5 \quad \text{Coefficiente di esposizione}$$

$$c_p = \quad 0.7 \quad \text{Coefficiente di pressione}$$

$$c_d = \quad 1.0 \quad \text{Coefficiente dinamico}$$

$$p \text{ [kN/mq]} = \quad 0.86 \quad \text{Presione del vento}$$

$$l \text{ [m]} = \quad 37.5 \quad \text{Larghezza afferente}$$

$$h \text{ [m]} = \quad 4.0 \quad \text{Altezza della sagoma del treno}$$

$$A \text{ [mq]} = \quad 150 \quad \text{Area di pressione}$$

$$Q_{3,1} \text{ [kN]} = \quad \mathbf{128.8} \quad \text{Carico concentrato orizzontale perpendicolare all'asse longitudinale}$$

4.4.2 Azione del vento sulla sottostruttura

Si riporta la stima della pressione del vento agente sulle strutture.

$$v_{b,0} \text{ [m/s]} = \quad 28.0 \quad \text{Velocità base di riferimento a livello mare}$$

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	14 di 53

$c_a = 1.0$ *Coefficiente di altitudine*

$v_b [m/s] = 28.0$ *Velocità base di riferimento*

$T_R [anni] = 50.0$ *Tempo di ritorno*

$c_r = 1.0$ *Coefficiente di ritorno*

$v_r [m/s] = 28.0$ *Velocità di riferimento del vento*

$\rho [kg/m^3] = 1.25$ *Densità dell'aria*

$q_r [kN/mq] = 0.49$ *Pressione cinetica di riferimento*

$c_e = 2.5$ *Coefficiente di esposizione*

$c_p = 0.7$ *Coefficiente di pressione*

$c_d = 1.0$ *Coefficiente dinamico*

$p [kN/mq] = 0.86$ *Presione del vento*

4.5 Carichi sismici – E

4.5.1 Azione sismica

Nel seguente paragrafo è riportata la valutazione dei parametri di pericolosità sismica utili alla determinazione delle azioni sismiche di progetto dell'opera cui si riferisce il presente documento.

Pericolosità sismica

Tipo costruzione (Art. 2.4.1) Tipo 2 (Vn >=50 anni) Classe d'uso (Art. 2.4.2) Classe III Cur: 1.50

Vita Nominale di progetto Vn (anni): 75.00

Periodo di rif. calcolato: $V_R = \max(V_n \cdot C_u, V_{iMin}) = \max(112.50, 75.00) = 112.50$ anni Vr: 112.50

Livello di sicurezza %: 100.00

Ricalcola >

Posizione del sito: Comune: Andora - (SV)

Longitudine: 8.1416
Latitudine: 43.9616

Cerca con Google Map

Isola: Sardegna

Nodi intorno al sito

ID	Longitudine	Latitudine	Dist. sito (Km)
18682	8.1398	43.9640	0.3036
18904	8.1442	43.9140	5.3020
18905	8.2135	43.9170	7.6056
18683	8.2092	43.9670	5.4487

Parametri di pericolosità sismica

	ag (g/10)	F0 (adim)	TC*(sec)
SLO	0.44380824	2.58250924	0.22822043
SLD	0.62725469	2.55265081	0.24283635
SLV	1.98739836	2.46367909	0.30189953
SLC	2.63715082	2.48619411	0.31732934

N.B. Dal valore tabellato, per ottenere ag in (g), dividerlo per 10; per ottenerlo in m/sec², moltiplicarlo per 0.9806

Figura 8 - Parametri di pericolosità sismica.

Parametri sismici

Categoria di sottosuolo (Art. 3.2.2) C Categoria topografica (Art. 3.2.2) T1

Rapporto h/H altezza pendio: 1.00 Coeff. amplif. topografica St: 1.00

Coeff. smorzamento (%) ξ_s : 5.00 $\Rightarrow \eta = 1.000$

Parametri spettri orizzontali e Fv

	S	TB	TC	TD	Fv	Cc	Ss
SLO	1.500	0.130	0.390	1.778	0.734	1.710	1.500
SLD	1.500	0.136	0.407	1.851	0.863	1.675	1.500
SLV	1.406	0.157	0.471	2.395	1.483	1.559	1.406
SLC	1.307	0.162	0.487	2.655	1.724	1.534	1.307

Ricalcola =>

Parametri spettri verticali

Ss	TB	TC	TD
1.000	0.050	0.150	1.000

Tipo comportamento: Non dissipativo Dissipativo

Classe di duttilità: Alta (CD'A') Media (CD'B')

Fattori di comportamento q (par. 7.3 NTC)

	SLO	SLD	SLV	SLC
Direz. X1	1	1	1	1
Direz. Y1	1	1	1	1
Direz. Z	1	1	1	1

Calcola q per SLV

Calcola q per SLV

Regolarità edificio: In pianta In altezza

< Indietro

Figura 9 - Parametri sismici.

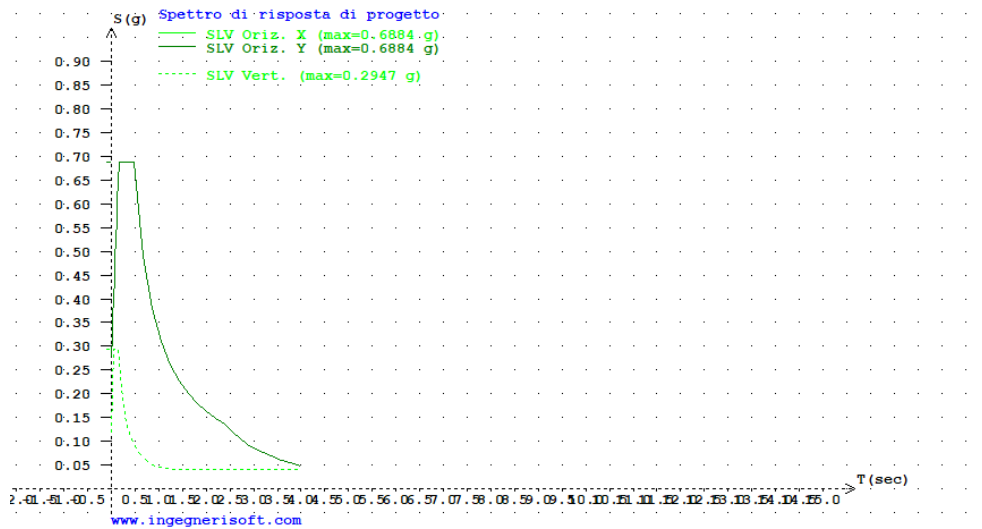


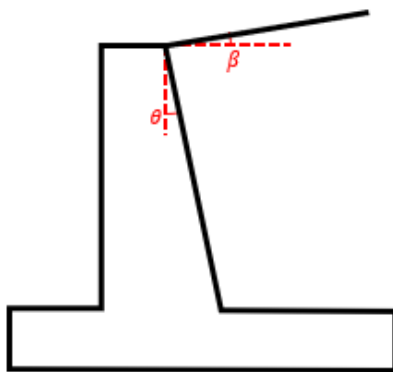
Figura 10 - Spettri di risposta.

Il calcolo delle azioni sismiche è effettuato attraverso un'analisi pseudostatica. Il valore dell'accelerazione utilizzato per la componente orizzontale è pari a 0.286g. Per la componente verticale è stata utilizzata una accelerazione pari a 0.122g.

Nell'analisi sismica è stato considerato un fattore di struttura (q) pari a 1.

4.5.2 Sovrappinta sismica

L'incremento di spinta del terreno viene valutato secondo la teoria di Mononobe-Okabe (Estensione della teoria di Coulomb) per $q=1$.



φ : Angolo di attrito del terreno

δ : Angolo di attrito terreno - muro

$$\delta = \frac{1}{2}\varphi + \frac{2}{3}\varphi$$

ψ : Angolo sismico

$$\psi = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$$

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = 0.5 \cdot k_h$$

β [°] 0.0

θ [°] 0.0

	(+kv)	(-kv)
ψ [rad]	0.24	0.32

Stratigrafia

Quote [m]

Parametri Geotecnici

Coeff. Spinta

Strato n.

Estradosso

Intradosso

γ [kN/m³]

φ [°]

$K_{a,E MAX} - K_a$

1

15.60

6.32

20

38.00

0.263

L'incremento dinamico della spinta del terreno corrisponde alla linea rossa della seguente figura:

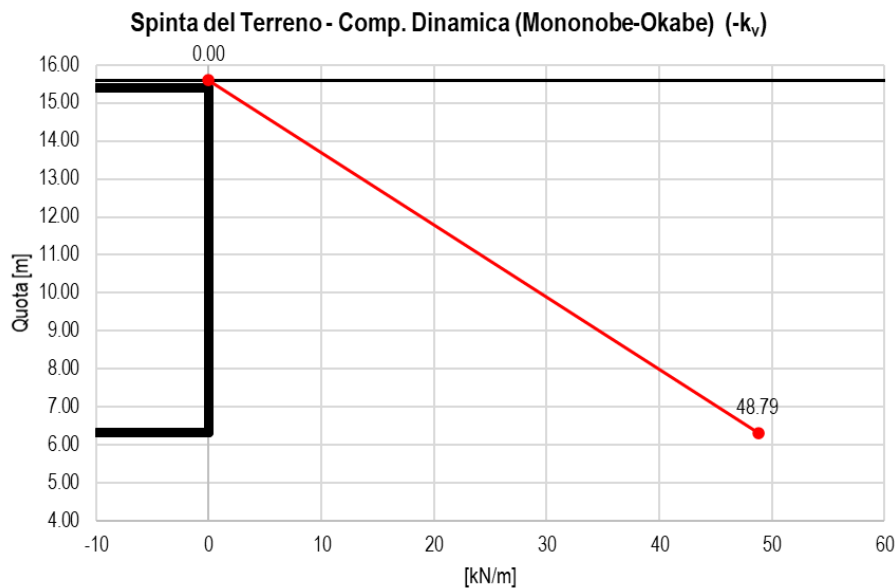


Figura 11 - Sovrappinta sismica del terreno



U.O OPERE CIVILI
PROGETTO DEFINITIVO
RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.
ANDORA

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	18 di 53

4.5.3 Forze inerziali

In fase sismica si devono considerare le azioni orizzontali e verticali agenti sulla spalla dovute all'inerzia delle parti in conglomerato armato. Le risultanti orizzontali e verticali sono rispettivamente pari ad $F_h = k_h \cdot W$ e $F_v = k_v \cdot W$, dove i coefficienti k_h e k_v sono calcolati come esposto al paragrafo 7.11.6.2.1 delle NTC18 risultando pari a $k_h = \beta_m \cdot a_{max}/g$, $k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$ con $a_{max} = S \cdot S_T \cdot a_g$. Il coefficiente β_m è stato considerato unitario, non essendo la spalla libera di traslare rispetto al terreno.

Risulta dunque:

$$E = (G1 + G2 + \psi_{2j} Q_{kj}) \cdot k_h$$

Con:

$$\psi_{2,1} = 0.20 \quad \text{Per accidentali ferroviari.}$$

5 COMBINAZIONI DI CARICO

Ai fini delle verifiche agli Stati Limite si definiscono le seguenti combinazioni delle azioni.

- 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:

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

Nella progettazione dei ponti si considera l'eventuale contemporaneità di più treni, secondo quanto previsto dalla tab 5.2.III di seguito riportata:

Tab. 5.2.III - Carichi mobili in funzione del numero di binari presenti sul ponte

Numero di binari	Binari Carichi	Traffico normale		Traffico pesante ⁽²⁾
		caso a ⁽¹⁾	caso b ⁽¹⁾	
1	Primo	1,0 (LM 71''+"SW/0)	-	1,0 SW/2
2	Primo	1,0 (LM 71''+"SW/0)	-	1,0 SW/2
	secondo	1,0 (LM 71''+"SW/0)	-	1,0 (LM 71''+"SW/0)
≥3	Primo	1,0 (LM 71''+"SW/0)	0,75 (LM 71''+"SW/0)	1,0 SW/2
	secondo	1,0 (LM 71''+"SW/0)	0,75 (LM 71''+"SW/0)	1,0 (LM 71''+"SW/0)
	Altri	-	0,75 (LM 71''+"SW/0)	-

⁽¹⁾ LM71 ''+" SW/0 significa considerare il più sfavorevole fra i treni LM 71, SW/0

⁽²⁾ Salvo i casi in cui sia esplicitamente escluso

Gli effetti dei carichi verticali dovuti alla presenza dei convogli sono combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti indicati nella tabella 5.2.IV:

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	20 di 53

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.

Per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i coefficienti parziali riportati nella tabella 5.2.V e i coefficienti γ della tabella 5.2.VI:

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

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

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

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	21 di 53

⁽²⁾Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

⁽³⁾Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

⁽⁴⁾Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.

⁽⁵⁾1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁶⁾1,20 per effetti locali

Nella Tab. 5.2.V il significato dei simboli è il seguente:

γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;

γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

γ_B coefficiente parziale del peso proprio del ballast;

γ_Q coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;

γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili

γ_P coefficiente parziale delle azioni di precompressione

γ_{Ced} coefficiente parziale delle azioni di ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente.

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
	gr ₁	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
Gruppi di	gr ₂	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
carico	gr ₃	0,80 ⁽²⁾	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	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
neve	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.

Si riportano le combinazioni di carico adottate per la valutazione delle sollecitazioni:

Load Case

G1,P.P.

G1,IMP.

G1,2.1

G1,2.2

G1,3.1

G1,3.2

G2,IMP.

G2,1

G2,2

Qv,MAN (+X)

Q1_LM71_C1_BP

Q1_LM71_C1_BD

Description

Peso proprio del manufatto

Peso proprio degli impalcati

Spinta statica del terreno

Peso del terreno

Spinta idrostatica

Sottospinta idrostatica

Carichi portati dagli impalcati

Ballast

Pavimentazione stradale

Vento sul manufatto nella direzione +X

Vert. LM71_Caso 1_BP

Vert. LM71_Caso 1_BD

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	23 di 53

COMB.	G1,P.P.	G1,IMP.	G1,2.1	G1,2.2	G1,3.1	G1,3.2	G2,IMP.	G2,1	G2,2	Qv,MAN (+X)	Q1_LM71_C1_BP	Q1_LM71_C1_BD	Q1_LM71_C2_BP	Q1_LM71_C2_BD	Q1_SW2_C1_BP	Q1_SW2_C1_BD	Q1_SW2_C2_BP	Q1_SW2_C2_BD	Q1,sk	Q3,1_Vento
G3_SLER1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.6	1	1							0.5	
G3_SLER2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.6			1	1					0.5	
G3_SLER3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.6		1			1				0.5	
G3_SLER4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.6	1					1			0.5	
G3_SLER5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.6				1			1		0.5	
G3_SLER6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.6			1					1	0.5	
G3_SLER7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1										
SLEQP1	1	1	1	1	1	1	1	1	1											
G4_SLEFR1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.36	0.36							0.8	
G4_SLEFR2	1	1	1	1	1	1	1	1	1				0.36	0.36					0.8	
G4_SLEFR3	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.36			0.48				0.8	
G4_SLEFR4	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.36					0.48			0.8	
G4_SLEFR5	1	1	1	1	1	1	1	1	1					0.36			0.48		0.8	
G4_SLEFR6	1	1	1	1	1	1	1	1	1				0.36					0.48	0.8	
G4_SLEFR7	1	1	1	1	1	1	1	1	1											0.5
G1_A2_SLU1	1	1	1	1	1	1	1.3	1.3	1.3		1.25	1.25							1.25	0.78
G1_A2_SLU2	1	1	1	1	1	1	1.3	1.3	1.3				1.25	1.25					1.25	0.78
G1_A2_SLU3	1	1	1	1	1	1	1.3	1.3	1.3			1.25			1.25				1.25	0.78
G1_A2_SLU4	1	1	1	1	1	1	1.3	1.3	1.3		1.25					1.25			1.25	0.78
G1_A2_SLU5	1	1	1	1	1	1	1.3	1.3	1.3					1.25			1.25		1.25	0.78
G1_A2_SLU6	1	1	1	1	1	1	1.3	1.3	1.3				1.25					1.25	1.25	0.78
G1_A2_SLU7	1	1	1	1	1	1		1												1.3
G3_A2_SLU1	1	1	1	1	1	1	1.3	1.3	1.3	0.78	1.25	1.25							0.63	
G3_A2_SLU2	1	1	1	1	1	1	1.3	1.3	1.3	0.78			1.25	1.25					0.63	
G3_A2_SLU3	1	1	1	1	1	1	1.3	1.3	1.3	0.78		1.25			1.25				0.63	
G3_A2_SLU4	1	1	1	1	1	1	1.3	1.3	1.3	0.78	1.25					1.25			0.63	
G3_A2_SLU5	1	1	1	1	1	1	1.3	1.3	1.3	0.78				1.25			1.25		0.63	
G3_A2_SLU6	1	1	1	1	1	1	1.3	1.3	1.3	0.78			1.25					1.25	0.63	
G3_A2_SLU7	1	1	1	1	1	1		1		1.3										

COMB.	G1,P.P.	G1,IMP.	G1,2.1	G1,2.2	G1,3.1	G1,3.2	G2,IMP.	G2,1	G2,2	Q1_LM71_C1_BP	Q1_LM71_C1_BD	Q1_LM71_C2_BP	Q1_LM71_C2_BD	Q1_SW2_C1_BP	Q1_SW2_C1_BD	Q1_SW2_C2_BP	Q1_SW2_C2_BD	Q1,sk	E_SLV X+	E_SLV X-	E_SLV Y+	E_SLV Y-	E_SLV Z+	E_SLV Z-
SLV1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2	1		0.3		0.3	
SLV2	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2	1		0.3		0.3	
SLV3	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2	1		0.3		0.3	
SLV4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2				0.2				0.2	1		0.3		0.3	
SLV5	1	1	1	1	1	1	1	1	1				0.2			0.2		0.2	1		0.3		0.3	
SLV6	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2	1		0.3		0.3	
SLV7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2		1	0.3		0.3	
SLV8	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2		1	0.3		0.3	
SLV9	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2		1	0.3		0.3	
SLV10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2		1	0.3		0.3	
SLV11	1	1	1	1	1	1	1	1	1				0.2			0.2		0.2		1	0.3		0.3	
SLV12	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2		1	0.3		0.3	

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	24 di 53

COMB.	G1,P.P.	G1,IMP.	G1,2.1	G1,2.2	G1,3.1	G1,3.2	G2,IMP.	G2,1	G2,2	Q1_LM71_C1_BP	Q1_LM71_C1_BD	Q1_LM71_C2_BP	Q1_LM71_C2_BD	Q1_SW2_C1_BP	Q1_SW2_C1_BD	Q1_SW2_C2_BP	Q1_SW2_C2_BD	Q1,sk	E_SLV X+	E_SLV X-	E_SLV Y+	E_SLV Y-	E_SLV Z+	E_SLV Z-
SLV13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2	1			0.3	0.3	
SLV14	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2	1			0.3	0.3	
SLV15	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2	1			0.3	0.3	
SLV16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2	1			0.3	0.3	
SLV17	1	1	1	1	1	1	1	1	1				0.2			0.2		0.2	1			0.3	0.3	
SLV18	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2	1			0.3	0.3	
SLV19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2		1		0.3	0.3	
SLV20	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2		1		0.3	0.3	
SLV21	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2		1		0.3	0.3	
SLV22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2		1		0.3	0.3	
SLV23	1	1	1	1	1	1	1	1	1				0.2			0.2		0.2		1		0.3	0.3	
SLV24	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2		1		0.3	0.3	
SLV25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2	1		0.3			0.3
SLV26	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2	1		0.3			0.3
SLV27	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2	1		0.3			0.3
SLV28	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2	1		0.3			0.3
SLV29	1	1	1	1	1	1	1	1	1				0.2			0.2		0.2	1		0.3			0.3
SLV30	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2	1		0.3			0.3
SLV31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2		1	0.3			0.3
SLV32	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2		1	0.3			0.3
SLV33	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2		1	0.3			0.3
SLV34	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2		1	0.3			0.3
SLV35	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2			0.2		0.2		1	0.3			0.3
SLV36	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2		1	0.3			0.3
SLV37	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2	1		0.3			0.3
SLV38	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2	1		0.3			0.3
SLV39	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2	1		0.3			0.3
SLV40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2	1		0.3			0.3
SLV41	1	1	1	1	1	1	1	1	1				0.2			0.2		0.2	1		0.3			0.3
SLV42	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2	1		0.3			0.3
SLV43	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2		1	0.3			0.3
SLV44	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2		1	0.3			0.3
SLV45	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2		1	0.3			0.3
SLV46	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2		1	0.3			0.3
SLV47	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2			0.2		0.2		1	0.3			0.3
SLV48	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2		1	0.3			0.3
SLV49	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2	0.3		1	0.3		0.3
SLV50	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2	0.3		1	0.3		0.3
SLV51	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2	0.3		1	0.3		0.3
SLV52	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2	0.3		1	0.3		0.3
SLV53	1	1	1	1	1	1	1	1	1				0.2			0.2		0.2	0.3		1	0.3		0.3
SLV54	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2	0.3		1	0.3		0.3
SLV55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2		0.3	1	0.3		0.3
SLV56	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2		0.3	1	0.3		0.3
SLV57	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2		0.3	1	0.3		0.3
SLV58	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2		0.3	1	0.3		0.3
SLV59	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2			0.2		0.2		0.3	1	0.3		0.3
SLV60	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2		0.3	1	0.3		0.3
SLV61	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2	0.3		1	0.3		0.3
SLV62	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2	0.3		1	0.3		0.3
SLV63	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2	0.3		1	0.3		0.3
SLV64	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2	0.3		1	0.3		0.3
SLV65	1	1	1	1	1	1	1	1	1				0.2			0.2		0.2	0.3		1	0.3		0.3
SLV66	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2	0.3		1	0.3		0.3
SLV67	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2		0.3	1	0.3		0.3
SLV68	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2		0.3	1	0.3		0.3
SLV69	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2		0.3	1	0.3		0.3
SLV70	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2		0.3	1	0.3		0.3
SLV71	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2				0.2		0.2		0.3	1	0.3		0.3
SLV72	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2		0.3	1	0.3		0.3

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IV01 00 D 09 CL VI0804002 A 25 di 53

COMB.	G1.P.P.	G1.IMP.	G1.2.1	G1.2.2	G1.3.1	G1.3.2	G2.IMP.	G2.1	G2.2	Q1_LM71_C1_BP	Q1_LM71_C1_BD	Q1_LM71_C2_BP	Q1_LM71_C2_BD	Q1_SW2_C1_BP	Q1_SW2_C1_BD	Q1_SW2_C2_BP	Q1_SW2_C2_BD	Q1_sk	E_SLV X+	E_SLV X-	E_SLV Y+	E_SLV Y-	E_SLV Z+	E_SLV Z-
SLV73	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2	0.3		1			0.3
SLV74	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2	0.3		1			0.3
SLV75	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2	0.3		1			0.3
SLV76	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2				0.2				0.2	0.3		1			0.3
SLV77	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2				0.2		0.2	0.3		1			0.3
SLV78	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2	0.3		1			0.3
SLV79	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2	0.3	0.3	1			0.3
SLV80	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2	0.3	0.3	1			0.3
SLV81	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2	0.3	0.3	1			0.3
SLV82	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2	0.3	0.3	1			0.3
SLV83	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2				0.2		0.2	0.3	0.3	1			0.3
SLV84	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2	0.3	0.3	1			0.3
SLV85	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2	0.3			1		0.3
SLV86	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2	0.3			1		0.3
SLV87	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2	0.3			1		0.3
SLV88	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2	0.3			1		0.3
SLV89	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2				0.2		0.2	0.3			1		0.3
SLV90	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2	0.3			1		0.3
SLV91	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2	0.3			1		0.3
SLV92	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2	0.3	0.3	1			0.3
SLV93	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2	0.3			1		0.3
SLV94	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2	0.3			1		0.3
SLV95	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2				0.2		0.2	0.3	0.3	1			0.3
SLV96	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2	0.3			1		0.3
SLV97	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2	0.3		0.3			1
SLV98	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2	0.3		0.3			1
SLV99	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2	0.3		0.3			1
SLV100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2	0.3		0.3			1
SLV101	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2				0.2		0.2	0.3		0.3			1
SLV102	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2	0.3		0.3			1
SLV103	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2	0.3	0.3	0.3			1
SLV104	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2	0.3	0.3	0.3			1
SLV105	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2	0.3	0.3	0.3			1
SLV106	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2	0.3	0.3	0.3			1
SLV107	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2				0.2		0.2	0.3	0.3	0.3			1
SLV108	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2	0.3	0.3	0.3			1
SLV109	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2	0.3			0.3		1
SLV110	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2	0.3			0.3		1
SLV111	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2	0.3			0.3		1
SLV112	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2	0.3			0.3		1
SLV113	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2				0.2		0.2	0.3			0.3		1
SLV114	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2	0.3			0.3		1
SLV115	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2	0.3	0.3	0.3			1
SLV116	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2	0.3	0.3	0.3			1
SLV117	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2	0.3	0.3	0.3			1
SLV118	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2	0.3	0.3	0.3			1
SLV119	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2				0.2		0.2	0.3	0.3	0.3			1
SLV120	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2	0.3			0.3		1
SLV121	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2	0.3		0.3			1
SLV122	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2	0.3		0.3			1
SLV123	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2	0.3		0.3			1
SLV124	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2	0.3		0.3			1
SLV125	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2				0.2		0.2	0.3		0.3			1
SLV126	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2	0.3			0.3		1
SLV127	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2	0.3	0.3	0.3			1
SLV128	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2	0.3	0.3	0.3			1
SLV129	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2	0.3	0.3	0.3			1
SLV130	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2	0.3	0.3	0.3			1
SLV131	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2				0.2		0.2	0.3	0.3	0.3			1
SLV132	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2	0.3	0.3	0.3			1
SLV133	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2	0.3			0.3		1
SLV134	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2	0.3			0.3		1
SLV135	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2			0.2			0.2	0.3			0.3		1
SLV136	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2	0.3			0.3		1
SLV137	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2				0.2		0.2	0.3			0.3		1
SLV138	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2	0.3			0.3		1
SLV139	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2	0.2							0.2	0.3	0.3	0.3			1
SLV140	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2	0.2					0.2	0.3		0.3			1
SLV141	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0.2			0.2				0.2	0.3		0.3			1
SLV142	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.2					0.2			0.2	0.3		0.3			1
SLV143	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2				0.2		0.2	0.3		0.3			1
SLV144	1	1	1	1	1	1	1	1	1			0.2					0.2	0.2	0.3		0.3			1

6 MODELLO DI CALCOLO

6.1 Descrizione del modello di calcolo

Il modello FEM rappresenta tridimensionalmente la struttura in oggetto ed è stato realizzato mediante il software agli elementi finiti MidasGen 2021.

La spalla è stata modellata attraverso due tipologie di elementi:

- Elementi monodimensionali “beam”: Pali.
- Elementi bidimensionali “plate/shell”: Plinto e muri.

La geometria della struttura è stata definita in conformità alle tavole progettuali. Gli elementi sono stati modellati facendo riferimento all’asse medio dell’elemento stesso.

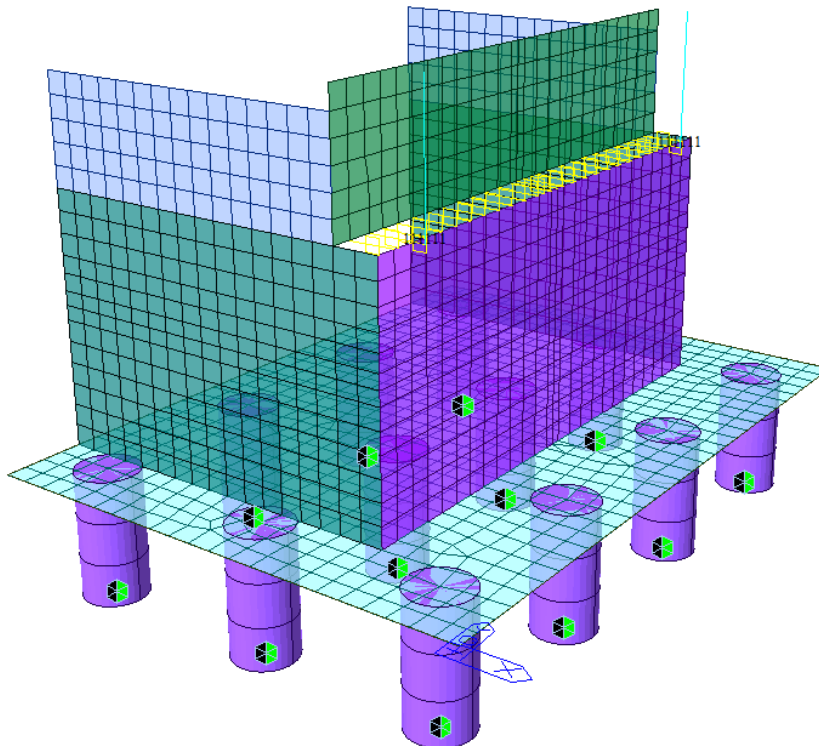


Figura 12. Vista 3D del modello FEM - Spalla B

7 SOLLECITAZIONI

Di seguito vengono riportati i principali risultati dell'analisi del modello FEM per gli involuipi delle combinazioni SLU/SLV, SLE Caratteristica e SLE Quasi-permanente:

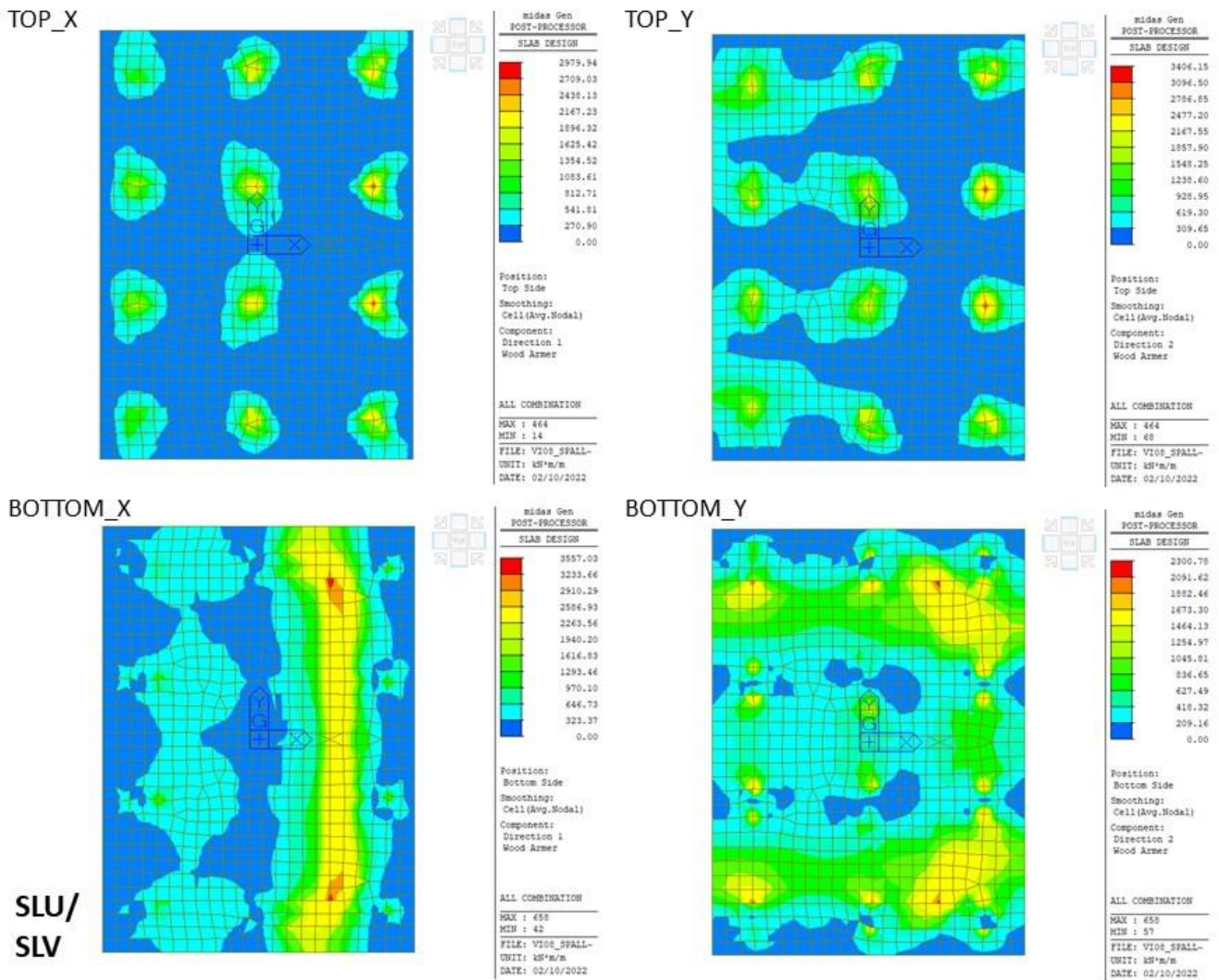


Figura 13. Plinto - Momento flettente Mxx e Myy - SLU/SLV

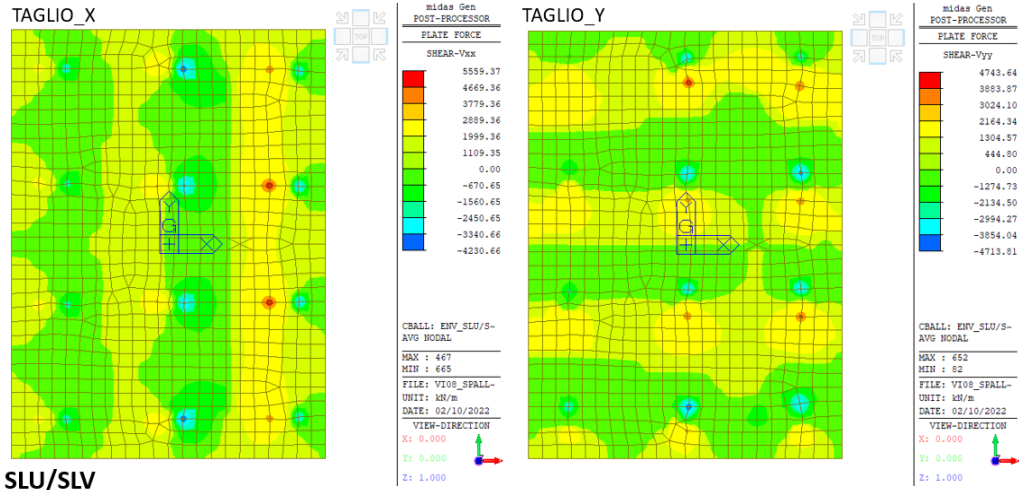


Figura 14. Plinto - Taglio Vxx e Vyy - SLU/SLV

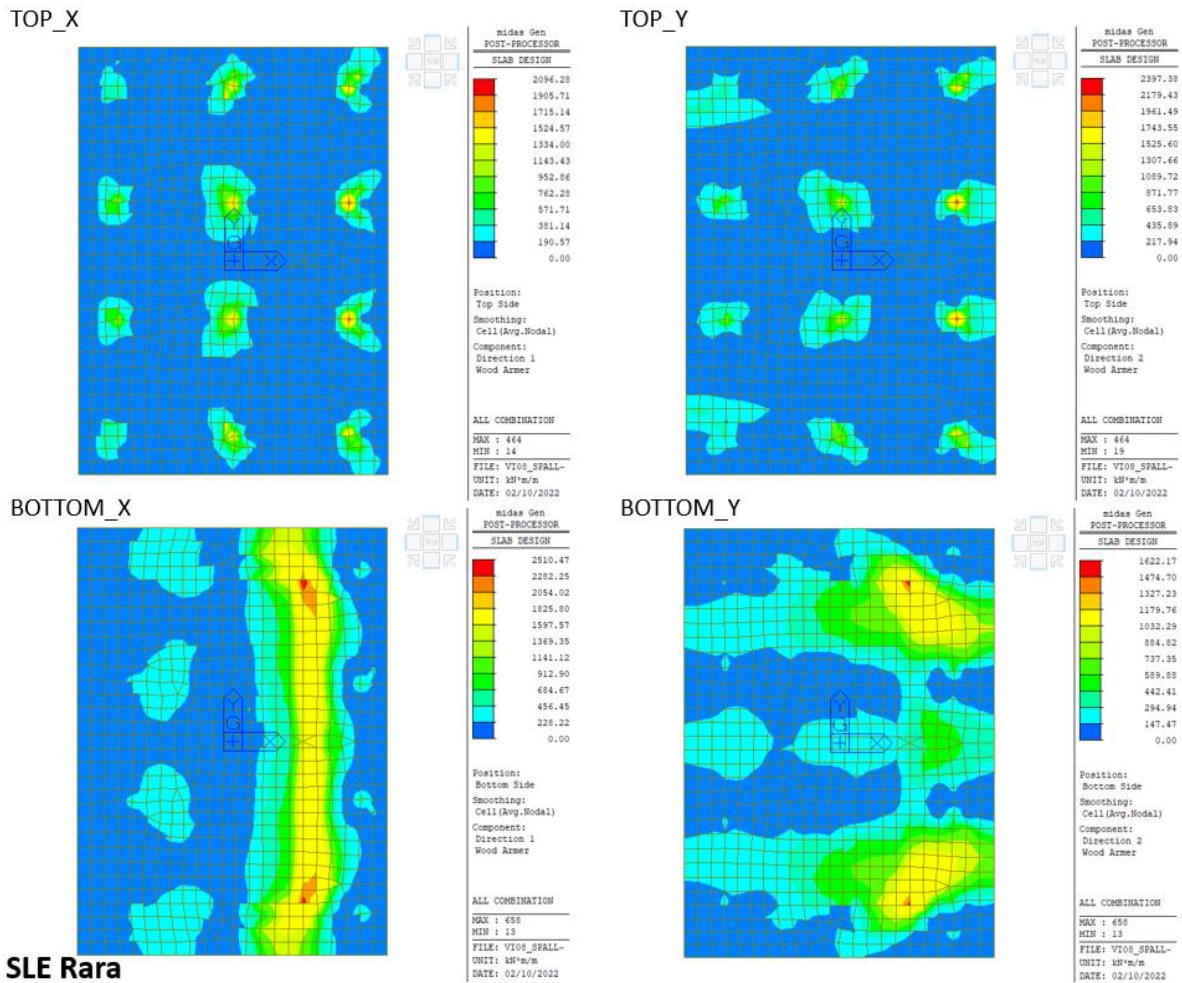
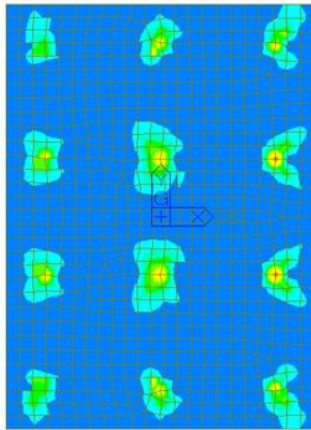


Figura 15. Plinto - Momento flettente Mxx e Myy – SLE Caratteristica

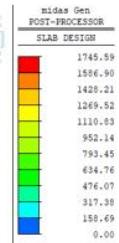
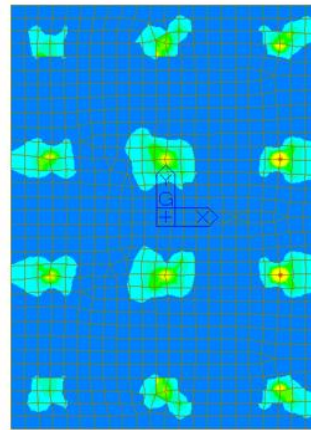
TOP_X



Position:
Top Side
Smoothing:
Cell (Avg,Model)
Component:
Direction 1
Wood Armer

ALL COMBINATION
MAX : 264
MIN : 14
FILE: VI08_SPALL-
UNIT: kN*m/m
DATE: 02/10/2022

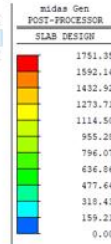
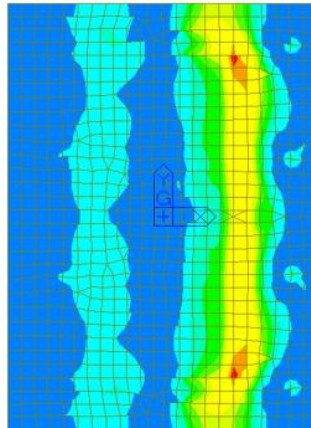
TOP_Y



Position:
Top Side
Smoothing:
Cell (Avg,Model)
Component:
Direction 2
Wood Armer

ALL COMBINATION
MAX : 464
MIN : 19
FILE: VI08_SPALL-
UNIT: kN*m/m
DATE: 02/10/2022

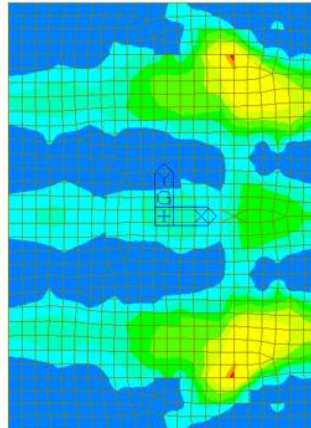
BOTTOM_X



Position:
Bottom Side
Smoothing:
Cell (Avg,Model)
Component:
Direction 1
Wood Armer

ALL COMBINATION
MAX : 658
MIN : 13
FILE: VI08_SPALL-
UNIT: kN*m/m
DATE: 02/10/2022

BOTTOM_Y



Position:
Bottom Side
Smoothing:
Cell (Avg,Model)
Component:
Direction 2
Wood Armer

ALL COMBINATION
MAX : 658
MIN : 13
FILE: VI08_SPALL-
UNIT: kN*m/m
DATE: 02/10/2022

SLE QP

Figura 16. Plinto - Momento flettente Mxx e Myy – SLE Quasi-permanente

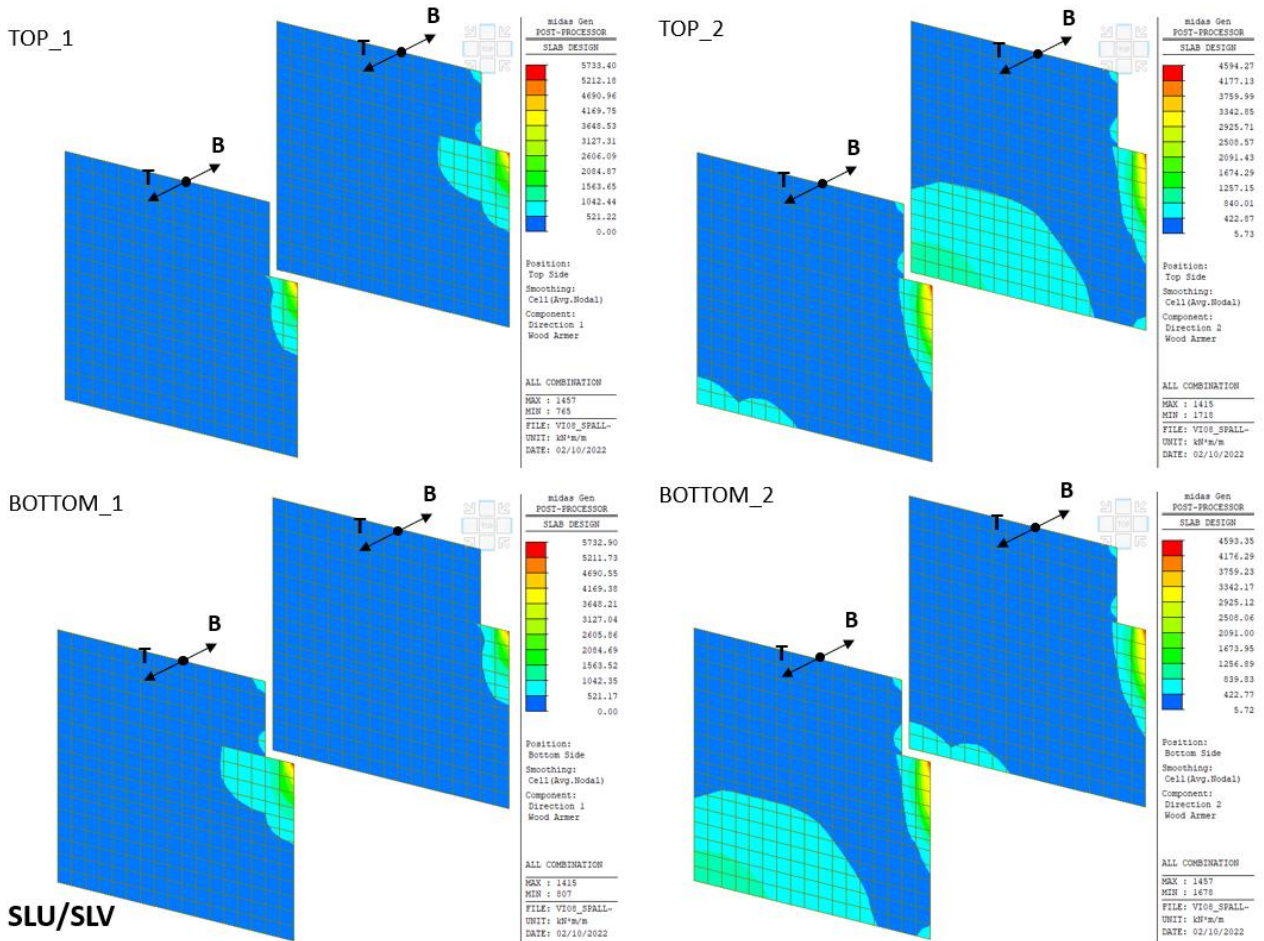


Figura 17. Muri andatori - Momento flettente M11(Or.) e M22(Ver.) - SLU/SLV

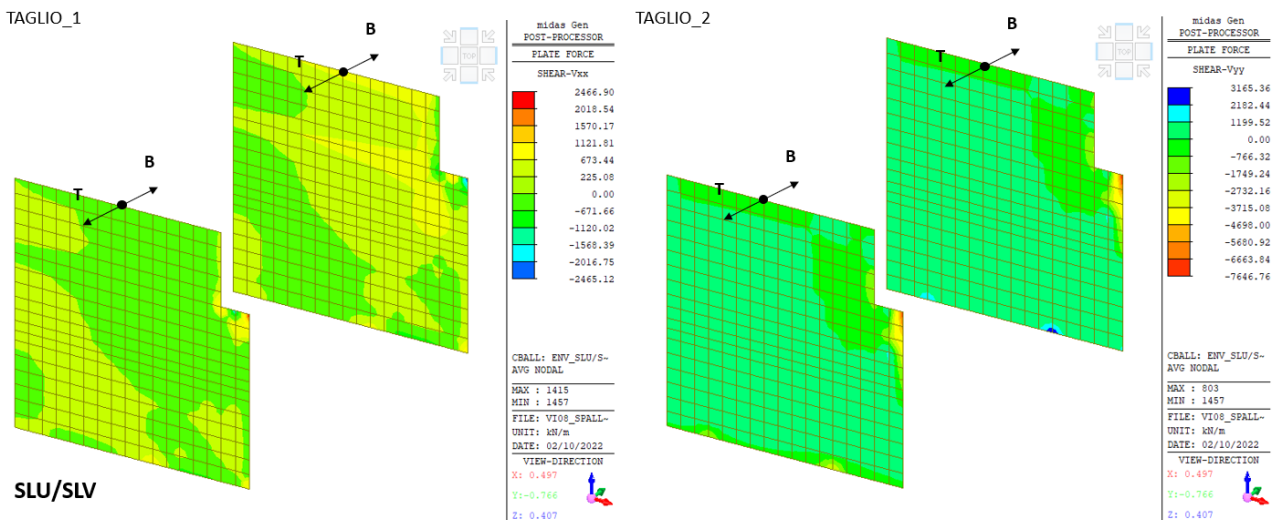


Figura 18. Muri andatori - Taglio Vxx (Or.) e Vyy (Ver.) - SLU/SLV

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	31 di 53

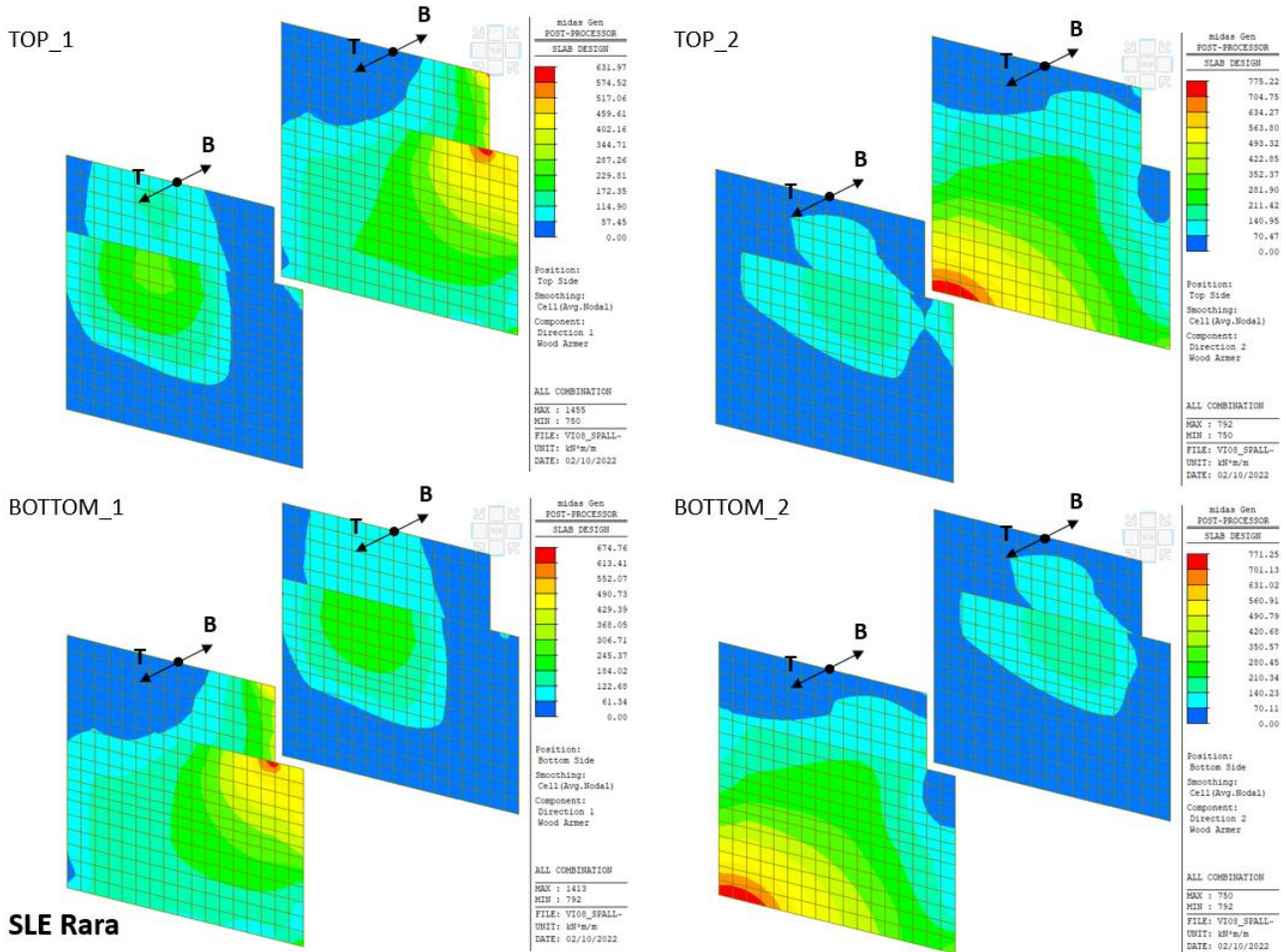


Figura 19. Muri andatori - Momento flettente M11(Or.) e M22(Ver.) - SLE Caratteristica

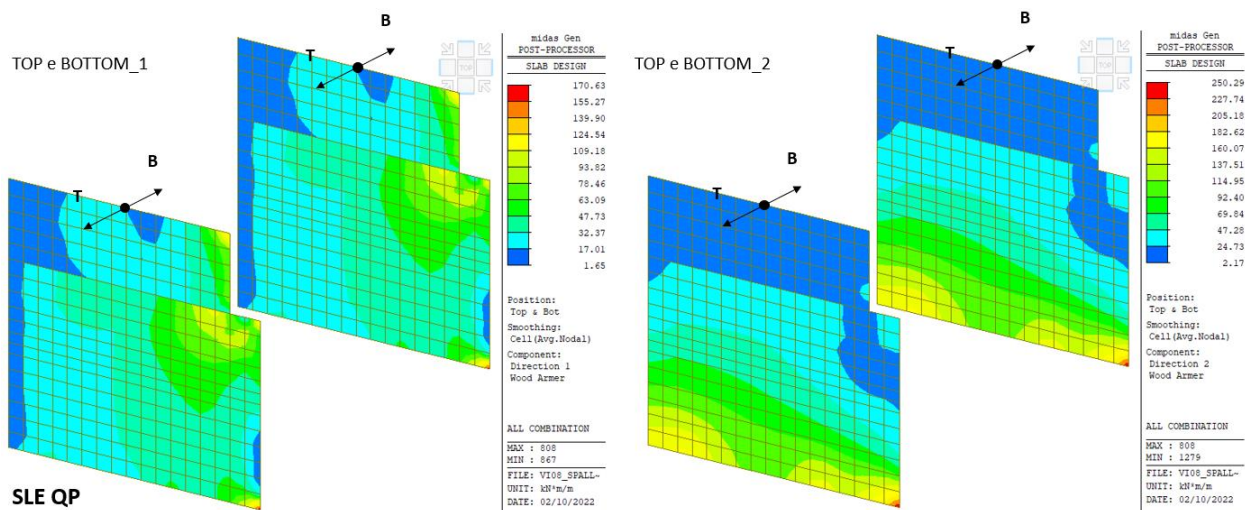


Figura 20. Muri andatori - Momento flettente M11(Or.) e M22(Ver.) - SLE Quasi-permanente

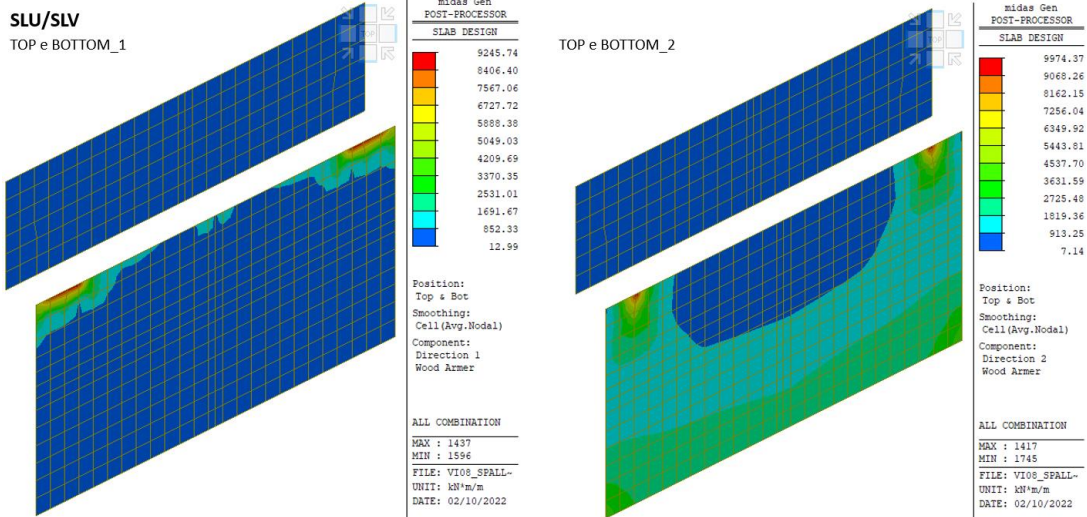


Figura 21. Muro frontale e paraghiaia - Momento flettente M11(Or.) e M22(Ver.) - SLU/SLV

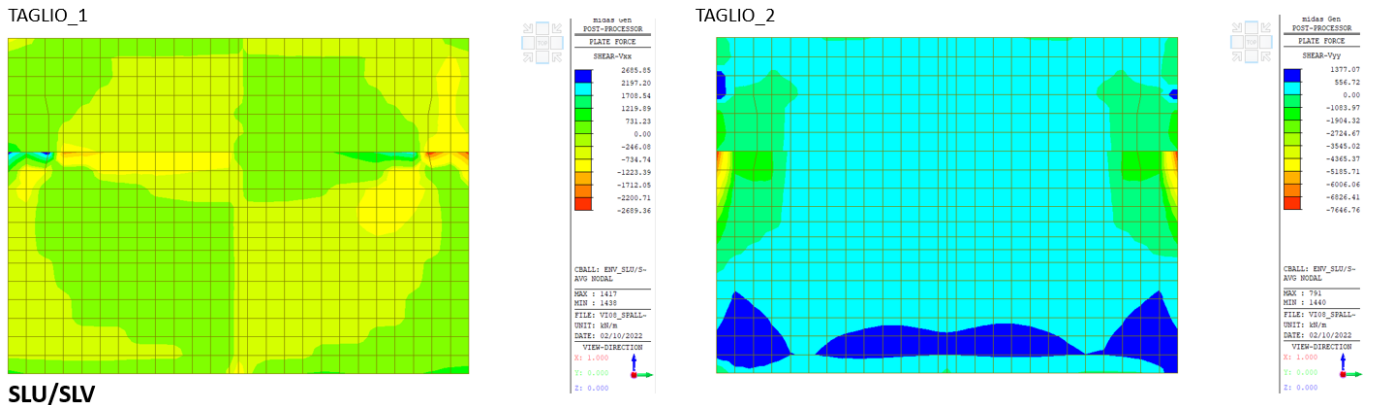


Figura 22. Muro frontale e paraghiaia - Taglio Vxx (Or.) e Vyy (Ver.) - SLU/SLV

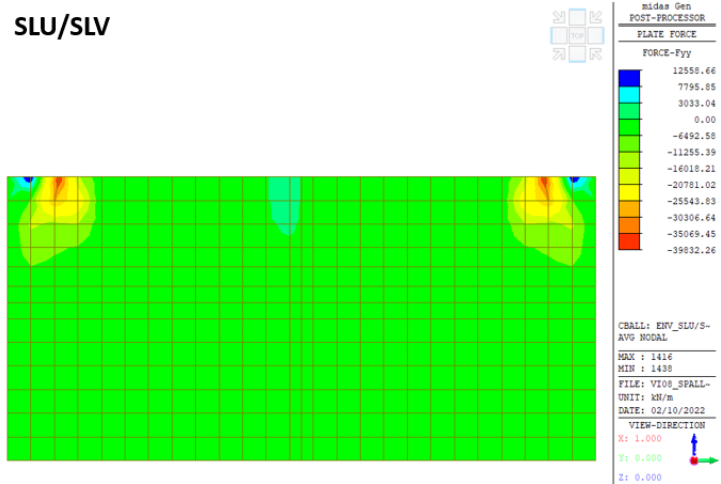
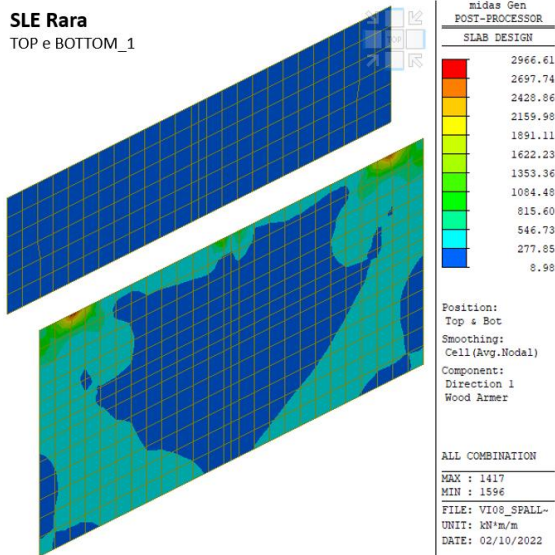


Figura 23. Muro frontale – Azione Assiale Fyy (Ver.) - SLU/SLV

SLE Rara
TOP e BOTTOM_1



TOP e BOTTOM_2

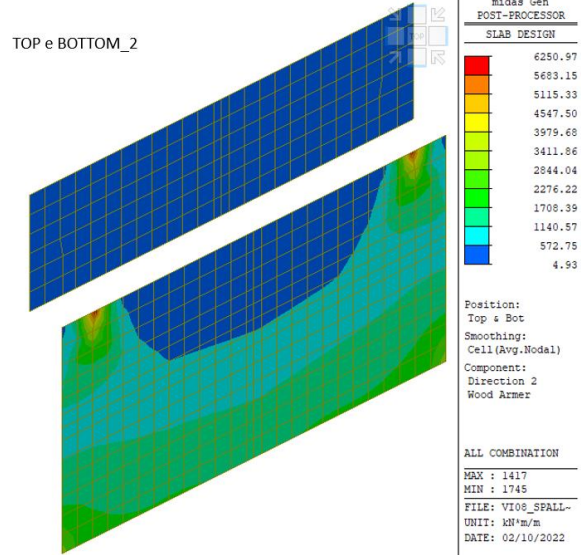
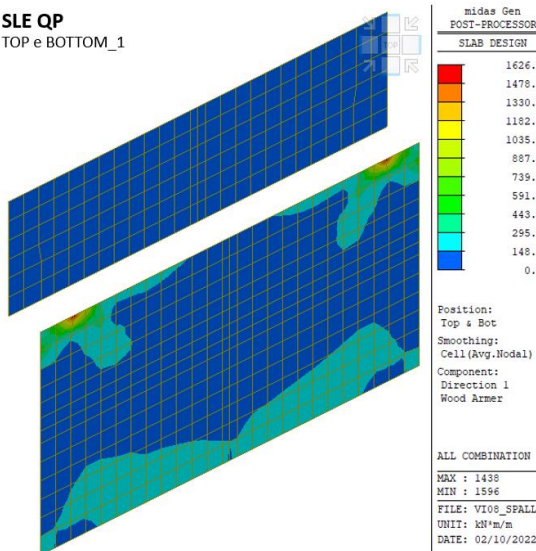


Figura 24. Muro frontale e paraghiaia - Momento flettente M11(Or.) e M22(Ver.) - SLE Caratteristica

SLE QP
TOP e BOTTOM_1



TOP e BOTTOM_2

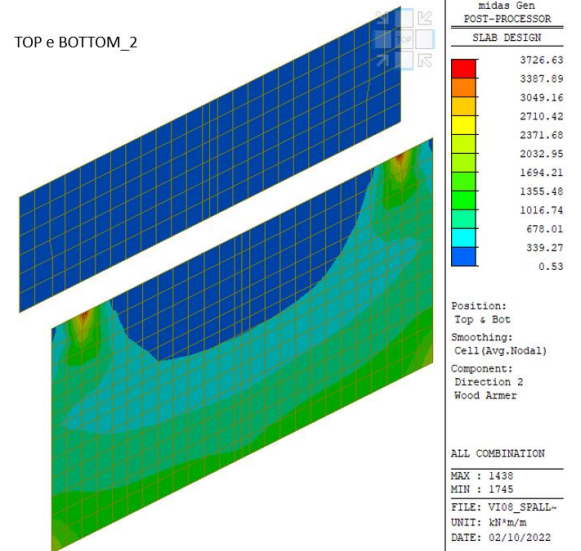


Figura 25. Muro frontale e paraghiaia - Momento flettente M11(Or.) e M22(Ver.) - SLE Quasi-permanente

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	34 di 53

Di seguito si presenta una tabella riassuntiva con le sollecitazioni massime ricavate dal modello agli elementi finiti della struttura nel cui sono state considerate tutte le combinazioni di carico precedentemente presentate.

		Superiore X		Inferiore X		Superiore Y		Inferiore Y	
		M [kN-m]	V [kN]	M [kN-m]	V [kN]	M [kN-m]	V [kN]	M [kN-m]	V [kN]
Plinto	SLU	2167	2451	2587	2451	2477	2164	1673	2164
	SLE_Rara	1525	-	1826	-	1744	-	1180	-
	SLE_QP	1118	-	1274	-	1270	-	798	-

		Orizzontale		Verticale	
		M [kN-m]	V [kN]	M [kN-m]	V [kN]
Muri Andatori Sp. 120 cm	SLU	1564	1122	1257	1258
	SLE_Rara	675	-	775	-
	SLE_QP	171	-	250	-
		M [kN-m]	V [kN]	M [kN-m]	V [kN]
Muri Andatori Sp. 82 cm	SLU	521	673	423	766
	SLE_Rara	402	-	211	-
	SLE_QP	125	-	47	-
		M [kN-m]	V [kN]	M [kN-m]	V [kN]
Muro Paraghiaia	SLU	852	735	913	1084
	SLE_Rara	278	-	573	-
	SLE_QP	148	-	339	-

		Orizzontale		Verticale		
		M [kN-m]	V [kN]	M [kN-m]	V [kN]	N [kN]
Muro Frontale	SLU	3370	1709	6350	4365	-6493
	SLE_Rara	1353	-	3980	-	-
	SLE_QP	887	-	2372	-	-

8 VERIFICHE DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI

Per tutti gli elementi strutturali della spalla vengono svolte le seguenti verifiche:

- verifiche di resistenza (flessione, pressoflessione e/o taglio) per le combinazioni allo stato limite ultimo (SLU).
- verifiche tensionali per le combinazioni rare e quasi permanenti (SLE).
- verifiche a fessurazione per le combinazioni rara (SLE).

Di seguito vengono presentati i valori limite di riferimento per le verifiche agli SLE (tensioni e apertura delle fessure) i cui sono stati calcolate secondo le sezioni §2.5.1.8.3.2.1 e §2.5.1.8.3.2.4 del “Manuale di progettazione delle opere civili. Parte II – Sezione 2 – Ponti e strutture”. Questi valori limite risultano più cautelative nel confronto dei valori limiti definiti secondo le prescrizioni del D.M. 17/01/2018 e la Circolare 21/01/2019.

Limiti Tensionali

Tensione Calcestruzzo		Plinto	Muri	Solette
$s_{c,max}$ [Mpa]	Caratteristica	17.60	17.60	19.25
	Quasi-permanente	12.80	12.80	14.00

Tensione Acciaio		Plinto	Muri	Solette
$s_{s,max}$ [Mpa]	Caratteristica	337.5	337.5	337.5

Limiti Fessurativi

Apertura Fessure		Plinto	Muri	Solette
w [mm]	Caratteristica	0.3	0.2	0.2



U.O OPERE CIVILI
PROGETTO DEFINITIVO
RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.
ANDORA

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	36 di 53

8.1 Verifica del plinto

Il plinto di fondazione della struttura con spessore pari a 200 cm è stato progettato con la seguente armatura:

Armatura in X (Direzione longitudinale al treno):

- $\Phi 30/20$ (1mo strato) + $\Phi 30/20$ (2do strato).

Armatura in Y (Direzione trasversale al treno):

- $\Phi 30/20$ (1mo strato) + $\Phi 30/20$ (2do strato).

Armatura a taglio

- Spilli $\Phi 16/20 \times 20$

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	37 di 53

Verifica lato superiore – Direzione X:

SEZIONE

Tipo	Rettangolare			
Base	100 cm			
Altezza	200 cm			
Copriferro:	Lato compr.	5 cm	Lato teso	5 cm
Armatura:	Lato compr.	70.69 cm ²	Lato teso	70.69 cm ²
	1° strato:	5 ø 30	1° strato:	5 ø 30
	2° strato:	5 ø 30	2° strato:	5 ø 30
Staffe:	passo	20 cm	n. braccia	5
	diametro	16 mm		

MATERIALI

Acciaio	B450C
Calcestruzzo	C32/40

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Flessione

Momento sollecitante	2167 kN-m	
Momento resistente	5023 kN-m	Rottura lato cls - acciaio snervato
Fattore di sicurezza Fs	2.32 >1	

Taglio

Taglio sollecitante	2451 kN	
Taglio resistente	3342 kN	<i>resistenza con armatura a taglio</i>
Fattore di sicurezza Fs	1.36 >1	

Trazione all'appoggio

Trazione sollecitante	2451 kN
Trazione resistente	2766 kN
Fattore di sicurezza Fs	1.13 >1

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Fessurazione - Apertura delle fessure

Condizione rara

w di calcolo	0.16 mm	<	0.20	mm
--------------	---------	---	------	----

Tensioni in esercizio

Calcestruzzo compresso

Condizione rara	2.75 MPa	<	17.60	MPa
Condizione quasi perm.	2.02 MPa	<	12.80	MPa

Acciaio teso

Condizione rara	126.25 MPa	<	337.50	MPa
-----------------	------------	---	--------	-----

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	38 di 53

Verifica lato inferiore – Direzione X:

SEZIONE

Tipo	Rettangolare			
Base	100 cm			
Altezza	200 cm			
Copriferro:	Lato comp	5 cm	Lato teso	5 cm
Armatura:	Lato compr	70.69 cm ²	Lato teso	70.69 cm ²
	1° strato:	5 ø 30	1° strato:	5 ø 30
	2° strato:	5 ø 30	2° strato:	5 ø 30
Staffe:	passo	20 cm	n. braccia	5
	diametro	16 mm		

MATERIALI

Acciaio	B450C
Calcestruzzo	C32/40

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Flessione

Momento sollecitante	2587 kN-m	
Momento resistente	5023 kN-m	Rottura lato cls - acciaio snervato
Fattore di sicurezza Fs	1.94 >1	

Taglio

Taglio sollecitante	2451 kN	
Taglio resistente	3342 kN	<i>resistenza con armatura a taglio</i>
Fattore di sicurezza Fs	1.36 >1	

Trazione all'appoggio

Trazione sollecitante	2451 kN
Trazione resistente	2766 kN
Fattore di sicurezza Fs	1.13 >1

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Fessurazione - Apertura delle fessure

Condizione rara

w di calcolo	0.19 mm	<	0.20	mm
--------------	---------	---	------	----

Tensioni in esercizio

Calcestruzzo compresso

Condizione rara	3.30 MPa	<	17.60	MPa
Condizione quasi perm	2.30 MPa	<	12.80	MPa

Acciaio teso

Condizione rara	151.19 MPa	<	337.50	MPa
-----------------	------------	---	--------	-----

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	39 di 53

Verifica lato superiore – Direzione Y:

SEZIONE

Tipo	Rettangolare			
Base	100 cm			
Altezza	200 cm			
Copriferro: Lato comp	8 cm	Lato teso	8 cm	
Armatura: Lato compr	70.69 cm ²	Lato teso	70.69 cm ²	
1° strato:	5 ø 30	1° strato:	5 ø 30	
2° strato:	5 ø 30	2° strato:	5 ø 30	
Staffe: passo	20 cm	n. braccia	5	
diametro	16 mm			

MATERIALI

Acciaio	B450C
Calcestruzzo	C32/40

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Flessione

Momento sollecitante	1858 kN-m	
Momento resistente	5011 kN-m	Rottura lato cls - acciaio snervato
Fattore di sicurezza Fs	2.70 >1	

Taglio

Taglio sollecitante	2164 kN	
Taglio resistente	3289 kN	<i>resistenza con armatura a taglio</i>
Fattore di sicurezza Fs	1.52 >1	

Trazione all'appoggio

Trazione sollecitante	2164 kN
Trazione resistente	2766 kN
Fattore di sicurezza Fs	1.28 >1

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Fessurazione - Apertura delle fessure

Condizione rara

w di calcolo	0.19 mm	<	0.20	mm
--------------	---------	---	------	----

Tensioni in esercizio

Calcestruzzo compresso

Condizione rara	2.47 MPa	<	17.60	MPa
Condizione quasi perm	1.79 MPa	<	12.80	MPa

Acciaio teso

Condizione rara	110.74 MPa	<	337.50	MPa
-----------------	------------	---	--------	-----

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	40 di 53

Verifica lato inferiore – Direzione Y:

SEZIONE

Tipo	Rettangolare			
Base	100 cm			
Altezza	200 cm			
Copriferro: Lato comp	5 cm	Lato teso	5 cm	
Armatura: Lato compr	70.69 cm ²	Lato teso	70.69 cm ²	
1° strato:	5 ø 30	1° strato:	5 ø 30	
2° strato:	5 ø 30	2° strato:	5 ø 30	
Staffe: passo	20 cm	n. braccia	5	
diametro	16 mm			

MATERIALI

Acciaio	B450C
Calcestruzzo	C32/40

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Flessione

Momento sollecitante	1673 kN-m	
Momento resistente	5023 kN-m	Rottura lato cls - acciaio snervato
Fattore di sicurezza Fs	3.00 >1	

Taglio

Taglio sollecitante	2164 kN	
Taglio resistente	3342 kN	<i>resistenza con armatura a taglio</i>
Fattore di sicurezza Fs	1.54 >1	

Trazione all'appoggio

Trazione sollecitante	2164 kN
Trazione resistente	2766 kN
Fattore di sicurezza Fs	1.28 >1

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Fessurazione - Apertura delle fessure

Condizione rara

w di calcolo	0.12 mm	<	0.20	mm
--------------	---------	---	------	----

Tensioni in esercizio

Calcestruzzo compresso

Condizione rara	2.13 MPa	<	17.60	MPa
Condizione quasi perm	1.44 MPa	<	12.80	MPa

Acciaio teso

Condizione rara	97.70 MPa	<	337.50	MPa
-----------------	-----------	---	--------	-----

8.2 Verifica dei muri andatori

Per la parte dei muri andatori con uno spessore pari a 120 cm è stata progettata la seguente armatura:

Armatura verticale (Principale):

- $\Phi 26/10$ (lato esterno e interno).

Armatura orizzontale:

- $\Phi 26/10$ (lato esterno e interno).

Armatura a taglio

- Spilli $\Phi 16/20 \times 20$ dove è necessario.
- Minima: n. 9 spilli $\Phi 10/\text{mq}$.

D'altra parte, per i muri andatori con uno spessore pari a 82 cm è stata progettata la seguente armatura:

Armatura verticale (Principale):

- $\Phi 24/20$ (lato esterno e interno).

Armatura orizzontale:

- $\Phi 24/20$ (lato esterno e interno).

Armatura a taglio

- Spilli $\Phi 16/20 \times 20$ dove è necessario.
- Minima: n. 9 spilli $\Phi 10/\text{mq}$.

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	42 di 53

Verifica – Direzione Verticale – Muro Sp. 120cm:

SEZIONE

Tipo	Rettangolare			
Base	100 cm			
Altezza	120 cm			
Copriferro:	Lato comp	5 cm	Lato teso	5 cm
Armatura:	Lato compr	53.09 cm ²	Lato teso	53.09 cm ²
	1° strato:	10 ø 26	1° strato:	10 ø 26
	2° strato:		2° strato:	
Staffe:	passo	20 cm	n. braccia	5
	diametro	16 mm		

MATERIALI

Acciaio	B450C
Calcestruzzo	C32/40

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Flessione

Momento sollecitante	1257 kN·m	
Momento resistente	2206 kN·m	Rottura lato cls - acciaio snervato
Fattore di sicurezza Fs	1.76 >1	

Taglio

Taglio sollecitante	1258 kN	
Taglio resistente	1983 kN	<i>resistenza con armatura a taglio</i>
Fattore di sicurezza Fs	1.58 >1	

Trazione all'appoggio

Trazione sollecitante	1258 kN
Trazione resistente	2078 kN
Fattore di sicurezza Fs	1.65 >1

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Fessurazione - Apertura delle fessure

Condizione rara

w di calcolo	0.17 mm	<	0.20	mm
--------------	---------	---	------	----

Tensioni in esercizio

Calcestruzzo compresso

Condizione rara	3.56 MPa	<	17.60	MPa
Condizione quasi perm.	1.15 MPa	<	12.80	MPa

Acciaio teso

Condizione rara	142.39 MPa	<	337.50	MPa
-----------------	------------	---	--------	-----

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	43 di 53

Verifica – Direzione Orizzontale – Muro Sp. 120cm:

SEZIONE

Tipo	Rettangolare			
Base	100 cm			
Altezza	120 cm			
Copriferro:	Lato comp	7.5 cm	Lato teso	7.5 cm
Armatura:	Lato compr	53.09 cm ²	Lato teso	53.09 cm ²
	1° strato:	10 ø 26	1° strato:	10 ø 26
	2° strato:		2° strato:	
Staffe:	passo	20 cm	n. braccia	5
	diametro	16 mm		

MATERIALI

Acciaio	B450C
Calcestruzzo	C32/40

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Flessione

Momento sollecitante	1042 kN-m	
Momento resistente	2167 kN-m	Rottura lato cls - acciaio snervato
Fattore di sicurezza Fs	2.08 >1	

Taglio

Taglio sollecitante	1122 kN	
Taglio resistente	1939 kN	<i>resistenza con armatura a taglio</i>
Fattore di sicurezza Fs	1.73 >1	

Trazione all'appoggio

Trazione sollecitante	1122 kN
Trazione resistente	2078 kN
Fattore di sicurezza Fs	1.85 >1

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Fessurazione - Apertura delle fessure

Condizione rara

w di calcolo	0.19 mm	<	0.20	mm
--------------	---------	---	------	----

Tensioni in esercizio

Calcestruzzo compresso

Condizione rara	3.30 MPa	<	17.60	MPa
Condizione quasi perm	0.84 MPa	<	12.80	MPa

Acciaio teso

Condizione rara	127.92 MPa	<	337.50	MPa
-----------------	------------	---	--------	-----

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	44 di 53

Verifica – Direzione Verticale – Muro Sp. 82cm:

SEZIONE

Tipo	Rettangolare			
Base	100 cm			
Altezza	82 cm			
Copriferro:	Lato comp	5 cm	Lato tes	5 cm
Armatura:	Lato compr	22.62 cm ²	Lato tes	22.62 cm ²
	1° strato:	5 ø 24	1° strato:	5 ø 24
	2° strato:		2° strato:	
Staffe:	passo	20 cm	n. braccia	5
	diametro	16 mm		

MATERIALI

Acciaio	B450C
Calcestruzzo	C32/40

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Flessione

Momento sollecitante	423 kN-m	
Momento resistente	649 kN-m	Rottura lato cls - acciaio snervato
Fattore di sicurezza Fs	1.53 >1	

Taglio

Taglio sollecitante	1258 kN	
Taglio resistente	1313 kN	<i>resistenza con armatura a taglio</i>
Fattore di sicurezza Fs	1.04 >1	

Trazione all'appoggio

Trazione sollecitante	1258 kN
Trazione resistente	2078 kN
Fattore di sicurezza Fs	1.65 >1

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Fessurazione - Apertura delle fessure

Condizione rara

w di calcolo	0.15 mm	<	0.20	mm
--------------	---------	---	------	----

Tensioni in esercizio

Calcestruzzo compresso

Condizione rara	1.91 MPa	<	17.60	MPa
Condizione quasi perm	0.65 MPa	<	12.80	MPa

Acciaio tes

Condizione rara	91.09 MPa	<	337.50	MPa
-----------------	-----------	---	--------	-----

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	45 di 53

Verifica – Direzione Orizzontale – Muro Sp. 82cm:

SEZIONE

Tipo	Rettangolare			
Base	100 cm			
Altezza	82 cm			
Copriferro:	Lato comp	7.5 cm	Lato teso	7.5 cm
Armatura:	Lato compr	90.48 cm ²	Lato teso	90.48 cm ²
	1° strato:	20 ø 24	1° strato:	20 ø 24
	2° strato:		2° strato:	
Staffe:	passo	20 cm	n. braccia	5
	diametro	16 mm		

MATERIALI

Acciaio	B450C
Calcestruzzo	C32/40

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Flessione

Momento sollecitante	521 kN-m	
Momento resistente	2278 kN-m	Rottura lato cls - acciaio snervato
Fattore di sicurezza Fs	4.37 >1	

Taglio

Taglio sollecitante	673 kN	
Taglio resistente	1269 kN	<i>resistenza con armatura a taglio</i>
Fattore di sicurezza Fs	1.88 >1	

Trazione all'appoggio

Trazione sollecitante	673 kN
Trazione resistente	3540 kN
Fattore di sicurezza Fs	5.26 >1

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Fessurazione - Apertura delle fessure

Condizione rara

w di calcolo	0.08 mm	<	0.20	mm
--------------	---------	---	------	----

Tensioni in esercizio

Calcestruzzo compresso

Condizione rara	2.93 MPa	<	17.60	MPa
Condizione quasi perm	0.91 MPa	<	12.80	MPa

Acciaio teso

Condizione rara	71.52 MPa	<	337.50	MPa
-----------------	-----------	---	--------	-----



U.O OPERE CIVILI
PROGETTO DEFINITIVO
RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.
ANDORA

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	46 di 53

8.3 Verifica del muro paraghiaia

Il muro paraghiaia di spessore pari a 60 cm è stato progettato con la seguente armatura.

Armatura verticale (Principale):

- $\Phi 30/10$ (1mo strato) + $\Phi 22/20$ (2do strato) (lato esterno e interno).

Armatura orizzontale:

- $\Phi 26/10$ (lato esterno e interno).

Armatura a taglio:

- Spilli $\Phi 16/20 \times 10$ dove è necessario.
- Minima: n. 9 spilli $\Phi 10/\text{mq}$.

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	47 di 53

Verifica – Direzione Verticale:

SEZIONE

Tipo	Rettangolare			
Base	100 cm			
Altezza	60 cm			
Copriferro:	Lato comp	5 cm	Lato teso	5 cm
Armatura:	Lato compr	89.69 cm ²	Lato teso	89.69 cm ²
	1° strato:	10 ø 30	1° strato:	10 ø 30
	2° strato:	5 ø 22	2° strato:	5 ø 22
Staffe:	passo	10 cm	n. braccia	5
	diametro	16 mm		

MATERIALI

Acciaio	B450C
Calcestruzzo	C32/40

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Flessione

Momento sollecitante	913 kN·m	
Momento resistente	1527 kN·m	Rottura lato cls - acciaio snervato
Fattore di sicurezza Fs	1.67 >1	

Taglio

Taglio sollecitante	1084 kN	
Taglio resistente	1795 kN	<i>resistenza con armatura a taglio</i>
Fattore di sicurezza Fs	1.66 >1	

Trazione all'appoggio

Trazione sollecitante	1084 kN
Trazione resistente	3510 kN
Fattore di sicurezza Fs	3.24 >1

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Fessurazione - Apertura delle fessure

Condizione rara

w di calcolo	0.19 mm <	0.20 mm
--------------	-----------	---------

Tensioni in esercizio

Calcestruzzo compresso

Condizione rara	7.25 MPa <	17.60 MPa
Condizione quasi perm.	4.30 MPa <	12.80 MPa

Acciaio teso

Condizione rara	154.41 MPa <	337.50 MPa
-----------------	--------------	------------

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	48 di 53

Verifica – Direzione Orizzontale:

SEZIONE

Tipo	Rettangolare			
Base	100 cm			
Altezza	60 cm			
Copriferro:	Lato comp	8 cm	Lato teso	8 cm
Armatura:	Lato compr	53.09 cm ²	Lato teso	53.09 cm ²
	1° strato:	10 ø 26	1° strato:	10 ø 26
	2° strato:		2° strato:	
Staffe:	passo	10 cm	n. braccia	5
	diametro	16 mm		

MATERIALI

Acciaio	B450C
Calcestruzzo	C32/40

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Flessione

Momento sollecitante	852 kN·m	
Momento resistente	901 kN·m	Rottura lato cls - acciaio snervato
Fattore di sicurezza Fs	1.06 >1	

Taglio

Taglio sollecitante	735 kN	
Taglio resistente	1737 kN	<i>resistenza con armatura a taglio</i>
Fattore di sicurezza Fs	2.36 >1	

Trazione all'appoggio

Trazione sollecitante	735 kN
Trazione resistente	2078 kN
Fattore di sicurezza Fs	2.83 >1

VERIFICHE ALLO STATO LIMITE DI ESERCIZIO

Fessurazione - Apertura delle fessure

Condizione rara

w di calcolo	0.19 mm	<	0.20 mm
--------------	---------	---	---------

Tensioni in esercizio

Calcestruzzo compresso

Condizione rara	5.22 MPa	<	17.60 MPa
Condizione quasi perm.	2.79 MPa	<	12.80 MPa

Acciaio teso

Condizione rara	125.79 MPa	<	337.50 MPa
-----------------	------------	---	------------

8.4 Verifica del muro frontale

Il muro frontale di spessore pari a 272 cm è stato progettato con la seguente armatura.

Armatura verticale (Principale):

- $\Phi 26/10$ (1mo strato) + $\Phi 26/10$ (2do strato) (lato esterno e interno).

Armatura orizzontale:

- $\Phi 26/10$ (lato esterno e interno).

Armatura a taglio:

- Spilli $\Phi 16/20 \times 20$ dove è necessario.
- Minima: n. 9 spilli $\Phi 10/mq$.

Verifica – Direzione Verticale:

Titolo: Muro Frontale SpB_Vert

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 4 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]	N°	As [cm²]	d [cm]
1	100	272	1	53,09	7,5
			2	53,09	12,5
			3	53,09	259,5
			4	53,09	264,5

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} 6492 4328 kN
 M_{xEd} 3980 2653 kNm
 M_{yEd} 0 0

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

Materiali
 B450C C32/40
 ε_{su} 67,5 ‰ ε_{c2} 2 ‰
 f_{yd} 391,3 N/mm² ε_{cu} 3,5 ‰
 E_s 200.000 N/mm² f_{cd} 18,13
 E_s/E_c 15 f_{cc}/f_{cd} 0,8
 ε_{syd} 1,957 ‰ σ_{c,adm} 12,25
 σ_{s,adm} 255 N/mm² τ_{co} 0,7333
 τ_{c1} 2,114

M_{xRd} 18.104 kN m
 σ_c -18,13 N/mm²
 σ_s 391,3 N/mm²
 ε_c 3,5 ‰
 ε_s 17,44 ‰
 d 264,5 cm
 x 44,2 x/d 0,1671
 δ 0,7

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

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

Tipo flessione
 Retta Deviata

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

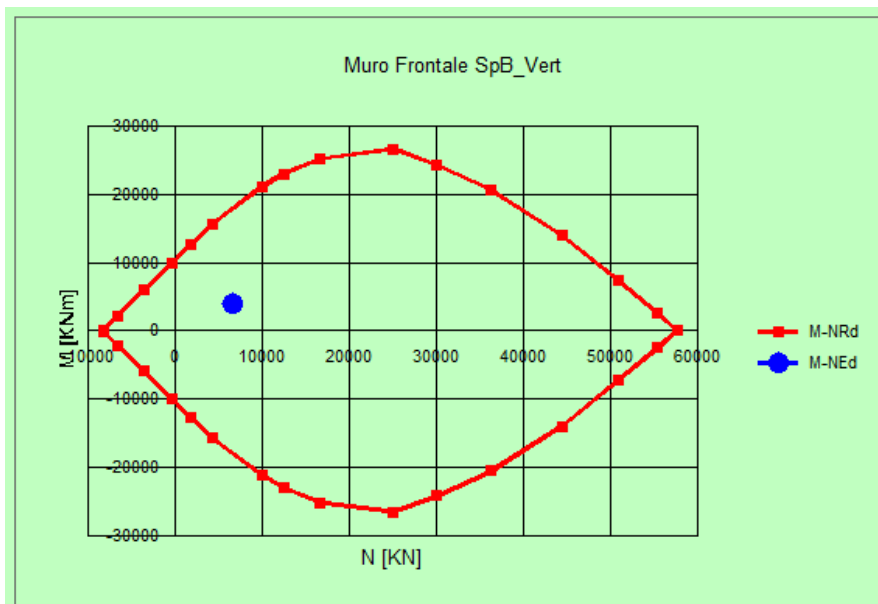


Figura 26: Verifica a presso-flessione SLU

Titolo: Muro Frontale SpB_Vert

N° figure elementari: 1 Zoom N° strati barre: 4 Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	272

N°	As [cm²]	d [cm]
1	53,09	7,5
2	53,09	12,5
3	53,09	259,5
4	53,09	264,5

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

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	6492	4328	kN
M _{xEd}	3980	2653	kNm
M _{yEd}	0	0	

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

Materiali
 B450C C32/40

ε _{su}	67,5	‰	ε _{c2}	2	‰
f _{yd}	391,3	N/mm²	ε _{cu}	3,5	‰
E _s	200.000	N/mm²	f _{cd}	18,13	N/mm²
E _s /E _c	15		f _{cc} /f _{cd}	0,8	?
ε _{syd}	1,957	‰	σ _{c,adm}	12,25	N/mm²
σ _{s,adm}	255	N/mm²	τ _{co}	0,7333	
			τ _{c1}	2,114	

σ_c -3,09 N/mm²
 σ_s 2,507 N/mm²
 ε_s 0,01253 ‰
 d 264,5 cm
 x 250,9 x/d 0,9487
 δ 1

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

Verifica
 N° iterazioni: 2

Precompresso

Fessurazione - Apertura delle fessure

Condizione rara

w di calcolo 0.19 mm < 0.20 mm

Figura 27: Verifica a presso-flessione SLE

RESISTENZA A TAGLIO - ELEMENTO PROVISTO DI ARMATURA A TAGLIO

Staffe

Diametro staffe	16	mm
s	200	mm
N° braccia	5	
α	90	°
A _{sw}	1005.31	mm²
v ₁	0.5	
α _{cw}	1.0	

Impostato

θ (°)	45.0	
θ (Rad)	0.79	
ctgθ	1.00	
V _{Rsd} [kN]	4657.45	
V _{Rcd} [kN]	10734.48	
V _{Rd} [kN]	4657.45	Resistenza a taglio con armatura a taglio
V _{Ed} [kN]	4365.00	Sollecitazione
V _{Ed} < VRd	OK	La verifica a taglio è soddisfatta

Verifica – Direzione Orizzontale:

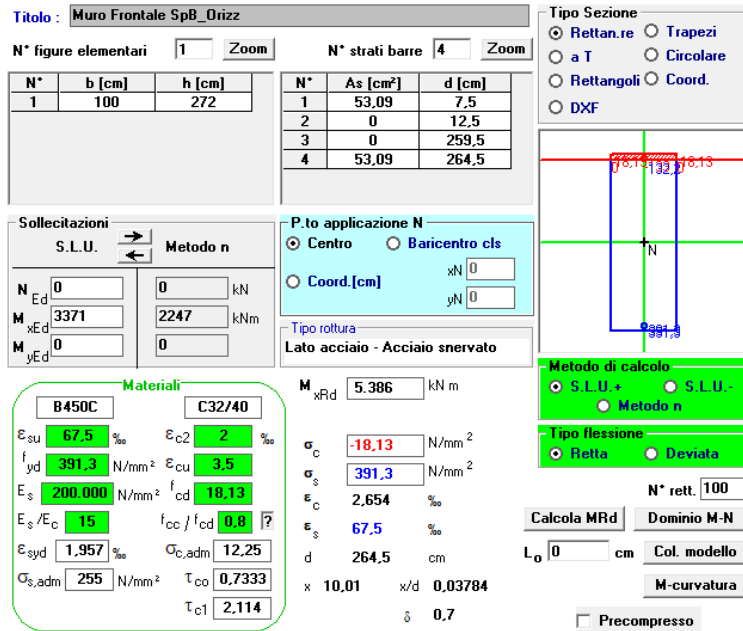
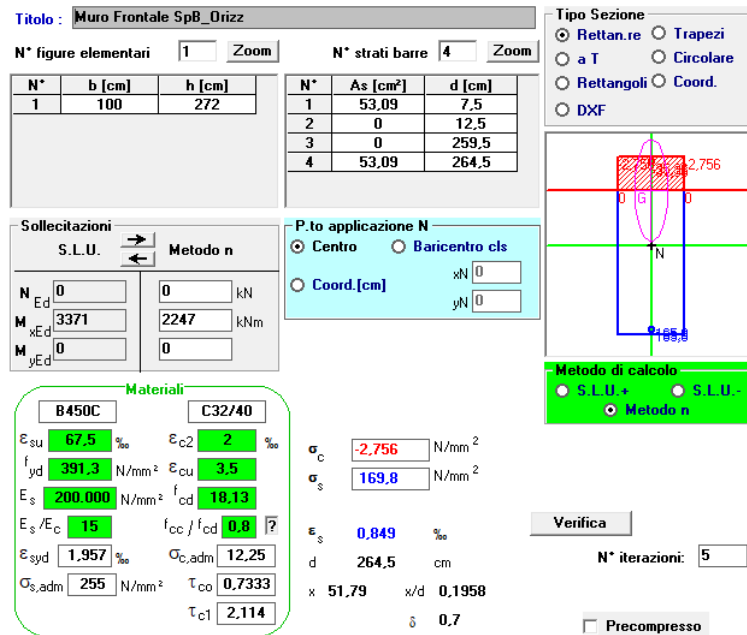


Figura 28: Verifica a flessione SLU



Fessurazione - Apertura delle fessure

Condizione rara

w di calcolo 0.17 mm < 0.20 mm

Figura 29: Verifica a flessione SLE



U.O OPERE CIVILI
PROGETTO DEFINITIVO
RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.
ANDORA

Relazione di calcolo – Spalla B

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 09 CL	VI0804002	A	53 di 53

9 VALUTAZIONE DI 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 Gen) e da fogli Excel di comprovata validità.

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.