

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

OPERE PRINCIPALI – SOTTOVIA E SOTTOPASSI

SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto

Relazione di calcolo sottovia ferroviario

SCALA:

-

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

I V 0 I 0 0 D 2 6 C L S L 0 5 0 0 0 0 1 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	K. Petrucci	Gen. 2022	M. Severi	Gen. 2022	G. Fadda	Gen. 2022	F. Arduini Giugno 2024
B	Emissione esecutiva	K. Petrucci	Giugno 2024	G. Nitti	Giugno 2024	M. Firpo	Giugno 2024	ITALFERR S.p.A. Direzione Tecnica Infrastrutture Centro Dot. Ing. Fabrizio Arduini Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma n° 18302 del 1/11/19

File: IV0I00D26CLSL0500001B.docx

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

INDICE

1. PREMESSA	3
2. DESCRIZIONE	4
3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	5
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	6
4.1 Calcestruzzo per magrone di sottofondazione	6
4.2 Calcestruzzo per strutture scatolari	6
4.3 Acciaio ordinario per calcestruzzo armato	7
5. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI	9
5.1 Profondità della falda	9
6. ANALISI DEI CARICHI	10
6.1 Pesì propri	10
6.2 Permanenti non strutturali	10
6.3 Carichi mobili (traffico ferroviario)	11
6.4 Azione di avviamento / frenatura	14
6.5 Azione di serpeggio	14
6.6 Azione del sisma	14
6.7 Ritiro del calcestruzzo	16
6.8 Variazione termica	16
6.9 Spinta statica del terreno	17
6.10 Spinta dovuta al sovraccarico accidentale	18
6.11 Incremento di Spinta in condizione sismiche	18
7. COMBINAZIONE DEI CARICHI	19
8. VERIFICHE STRUTTURALI	21
8.1 Verifiche per gli stati limite ultimi a flessione-pressoflessione	21
8.2 Verifica agli stati limite ultimi a taglio	21
8.3 Verifica agli stati limite d'esercizio	23

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

9. ANALISI STRUTTURALE	24
9.1 Modellazione strutturale : Scatolare	24
9.2 Analisi dei carichi	26
9.3 Combinazioni.....	37
9.4 Sollecitazioni	41
9.5 Verifiche strutturali.....	45
9.5.1 Riepilogo armature.....	45
9.5.2 Verifica soletta superiore.....	46
9.5.3 Verifica piedritti	51
9.5.4 Verifica soletta inferiore.....	56
9.6 Inflessione nel piano verticale dell’impalcato	61
10.INCIDENZA SCATOLARE	63
11.DICHIARAZIONI SECONDO D.M. 17/01/2018 (P.TO 10.2)	64
11.1 Tipo di analisi svolte.....	64
11.2 Origine e caratteristiche dei Codici di Calcolo.....	64
11.3 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati.....	64

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

1. PREMESSA

Nel presente documento, emesso nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici relativi al progetto definitivo del raddoppio della linea Genova – Ventimiglia nella tratta Finale Ligure – Andora, è riportato il calcolo strutturale del sottovia SL05 al km 77+661.

L'ubicazione dell'opera lungo la tratta in questione è indicata in Figura 1.

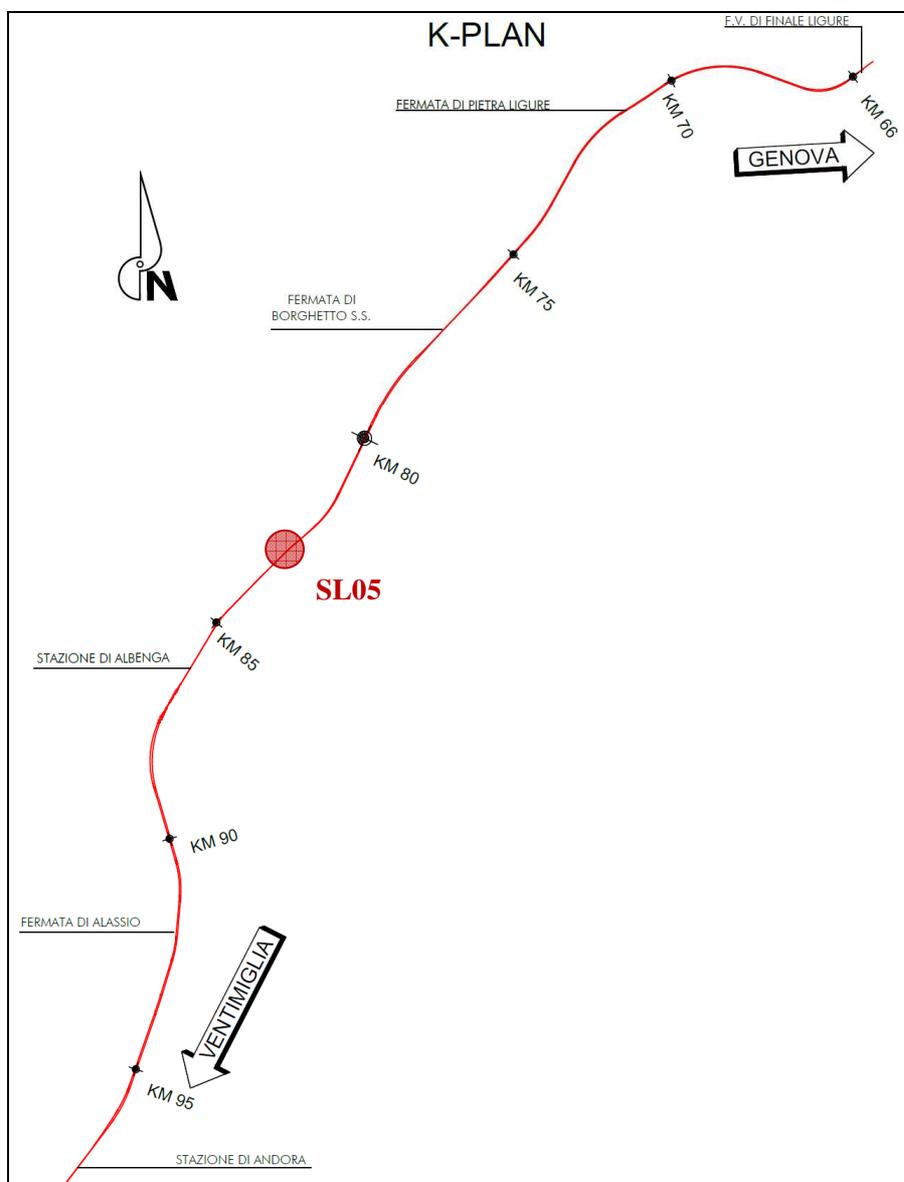


Figura 1: Raddoppio tratta Finale L. - Andora. Inquadramento dell'opera

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

2. DESCRIZIONE

La presente relazione ha per oggetto la verifica della sezione trasversale dell'opera scatolare utilizzabile per attraversamenti ferroviari, avente le caratteristiche riportate nella seguente tabella:

Ricoprimento				
Spessore ballast+armamento	Hb		0.80	m
Spessore medio traversina+binario	Ht		0.40	m
Spessore ballast sotto la traversina			0.40	m
Spessore del rinterro	Hr		0.25	m
Geometria				
Spessore soletta superiore	Ss		1.40	m
Spessore soletta di fondazione	Sf		1.40	m
Spessore piedritti	Sp		1.50	m
Altezza netta	Hint		6.10	m
Larghezza netta	Lint		15.00	m
Lunghezza risvolti sol. inf.	Lr		0.00	m
Lunghezza dello scatolare	L		19.36	m

La struttura sarà realizzata in c.a. gettato in opera senza giunti intermedi.

Si trascura a favore di sicurezza la presenza del riempimento interno.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Il dimensionamento e la verifica degli elementi strutturali sono stati condotti nel rispetto delle seguenti normative:

- Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018: Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni;
- 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 D.M. 17 gennaio 2018;
- Circolare 15 ottobre 1996, n.252 AA.GG./S.T.C.: Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche” di cui al decreto ministeriale 9 gennaio 1996;
- UNI EN 1992-1-1 “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1. Regole generali e regole per gli edifici”.
- UNI EN 1993-1-1 “Progettazione delle strutture in acciaio – Parte 1-1. Regole generali e regole per gli edifici”.
- UNI EN 1997-1 “Progettazione geotecnica – Parte 1. Regole generali”.
- UNI EN 1998-1: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1. Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici”.
- UNI EN 1998-5: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”.
- UNI EN 206-1:2014: “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- UNI 11104: “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1”.
- “Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP.”.
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 E -- Manuale di progettazione delle Opere Civili RFI - Parte II – Sezione 2 – Ponti e Strutture
- RFI DTC SI PS SP IFS 001 E – Capitolato generale tecnico delle Opere Civili RFI – Parte II – Sezione 6 – Opere in conglomerato cementizio e acciaio

Riferimenti STI:

– 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, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

4.1 Calcestruzzo per magrone di sottofondazione

MAGRONE - C12/15				
Descrizione	Simbolo	Formula	Unità di misura	Valore
Resistenza cubica a compressione	R_{ck}		N/mm ²	15
Contenuto minimo cemento			kg/m ³	150

4.2 Calcestruzzo per strutture scatolari

CALCESTRUZZO				
I calcestruzzi impiegati devono essere conformi alla UNI EN 206-1 ed alla UNI 11104 e rispondere alle seguenti prestazioni:				
Campo d'impiego				Scatolari
Classe di esposizione ambientale				XC4
Classe di resistenza calcestruzzo				C32/40
Classe di consistenza				S4
Rapporto acqua cemento massimo	a/c max	[-]		0.50
Tipo di cemento	CEM	[-]		III, IV, V
Contenuto minimo cemento		[kg/m ³]		340
Contenuto minimo di aria		[%]		-
Diametro massimo dell'aggregato	D_{upper}	[mm]		25
Copriferro nominale	c_{nom}	[mm]		50
Resistenza caratteristica cubica a 28gg	R_{ck}	[MPa]		40
Resistenza caratteristica cilindrica a 28gg	f_{ck}	[MPa]		33.2
Resistenza cilindrica media	f_{cm}	[MPa]		41.2
Resistenza media a trazione semplice	f_{ctm}	[MPa]		3.1
Resistenza caratteristica a trazione (fratt. 5%)	f_{ctk}	[MPa]		2.2
Resistenza a trazione per flessione	f_{ctfm}	[MPa]		3.7
Modulo elastico istantaneo (secante a 0.4 f_{cm})	E_{cm}	[MPa]		33643
Coefficiente di dilatazione termica	α	[C ⁻¹]		1.0E-05
Coeff. per condizioni di aderenza	η_1	[-]		1.0
Coeff. \emptyset barre per aderenza	η_2	[-]		1.0
Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza	f_{bk}	[MPa]		4.9
Coeff. riduttivo resistenze di lunga durata	α_{cc}	[-]		0.85
Coeff. parziale di sicurezza	γ_c	[-]		1.50
Resistenza di progetto a compressione	f_{cd}	[MPa]		18.8
Resistenza di progetto a trazione	f_{ctd}	[MPa]		1.4
Resistenza tangenziale di aderenza di progetto	f_{bd}	[MPa]		3.3

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

4.3 Acciaio ordinario per calcestruzzo armato

È ammesso esclusivamente l'impiego di acciai saldabili in barre ad aderenza migliorata e rispondente alle seguenti prescrizioni:

Tipo di acciaio			B450C
Tensione caratteristica di snervamento (min.)	f_{yk}	[MPa]	450
Tensione caratteristica a carico massimo (min.)	f_{tk}	[MPa]	540
Rapporto di sovreresistenza	$k=(f_t/f_y)_k$	[-]	1.20
Massa volumica media	ρ_s	[kg/m ³]	7850
Modulo elastico	E_s	[MPa]	200000
Deformazione caratteristica a carico massimo	$\epsilon_{uk}=(A_{gt})_k$	[%]	7.50
Coefficiente di dilatazione termica	α	[C ⁻¹]	1.2E-05
Coeff. parziale di sicurezza	γ_s	[-]	1.15
Resistenza di progetto	f_{yd}	[MPa]	391.3
Deformazione di progetto allo snervamento	ϵ_{yd}	[%]	0.2
Deformazione di progetto a carico massimo	ϵ_{ud}	[%]	6.75

Con riferimento al punto 4.1.6.1.3 delle NTC, al fine della protezione delle armature dalla corrosione il valore minimo dello strato di ricoprimento di calcestruzzo (copriferro) deve rispettare quanto indicato nella tabella C4.1.IV della Circolare 21.01.2019, riportata di seguito, nella quale sono distinte le tre condizioni ambientali di Tabella 4.1.III delle NTC.

			barre da c.a.		barre da c.a.		cavi da c.a.p		cavi da c.a.p	
			elementi a piastra		altri elementi		elementi a piastra		altri elementi	
Cmin	Co	ambiente	C≥Co	Cmin≤C<Co	C≥Co	Cmin≤C<Co	C≥Co	Cmin≤C<Co	C≥Co	Cmin≤C<Co
C25/30	C35/45	ordinario	15	20	20	25	25	30	30	35
C30/37	C40/50	aggressivo	25	30	30	35	35	40	40	45
C35/45	C45/55	molto ag.	35	40	40	45	45	50	50	50

In relazione all'aggressività ambientale e alla sensibilità dell'acciaio, l'apertura limite delle fessure è riportato nel prospetto seguente:

Classe di esposizione: XC4

Copriferro di progetto: 50 mm

Condizioni ambientali: Aggressive

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

L'apertura convenzionale delle fessure, calcolata con la combinazione caratteristica RARA per gli SLE dovrà risultare:

- a) $\delta_f \leq w_1$ per strutture in condizioni ambientali aggressive e molto aggressive, così come identificate nel par. 4.1.2.2.4.2 del DM 17.01.2018, per tutte le strutture a permanente contatto con il terreno e per le zone non ispezionabili di tutte le strutture;
- b) $\delta_f \leq w_2$ per strutture in condizioni ambientali ordinarie secondo il citato paragrafo del DM 17.01.2018.

Con δ_f apertura delle fessure e w_1 valore limite dell'apertura delle fessure.

$w_1 = 0.2 \text{ mm}$

$w_2 = 0.3 \text{ mm}$

$w_3 = 0.4 \text{ mm}$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

5. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI

Si prende a riferimento la relazione geotecnica generale, alla quale si rimanda per maggiori dettagli..

Sulla base delle indagini svolte, sintetizzate nei profili geotecnici lungo linea, in corrispondenza della progressiva si evince la seguente stratigrafia:

INDICAZIONI INTEGRATIVE OOPP - VALIDE PER QUOTE SUPERIORI A QUOTA TESTA PALO									
Unità	Profondità m slm		γ kN/mc	ϕ °	c' kPa	c_u kPa	E MPa	V_s m/s	v -
1	+15,8 ÷ TOP**		19	28	0	-	10	-	0.3
** testa palo									
Unità	Descrizione	Prof top m TOP*	γ kN/mc	ϕ °	c' kPa	c_u kPa	E MPa	V_s m/s	v -
2	Ghiaia eterometrica sabbiosa localmente limosa, sabbia e ghiaia in matrice limosa, da mediamente addensata a addensata, con presenza di clasti poligenici	0	19.5	31	0	-	30	220	0.3
3	Limo da debolmente sabbioso o limo argilloso sabbioso, localmente ghiaioso, da mediamente consistente a consistente	6.5	19	26	10	100	20	220	0.3
CMV	Conglomerati costituiti prevalentemente da sabbia limosa debolmente ghiaiosa e limo sabbioso debolmente ghiaioso, molto addensati	11.5	20.5	33	5	-	40	400	0.3
ORV	Argilla limosa e limo argilloso, debolmente sabbioso, consistente e con intercalazioni sabbiose	28	20	31	15	140	>50	600	0.25
* m da testa palo									

Nel caso in cui il terreno spingente a tergo dei piedritti fosse il rilevato ferroviario si utilizzano i seguenti parametri geotecnici per determinarne l'azione:

$$\phi' = 38^\circ \text{ (angolo di attrito)}$$

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3 \text{ (peso specifico)}$$

5.1 Profondità della falda

Ai fini dell'analisi dell'opera non si è considerata la presenza della falda idrica in quanto il livello di falda è posto al di sotto del piano di fondazione dell'opera.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

6. ANALISI DEI CARICHI

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari che agiscono sulla struttura in oggetto. Tali azioni sono definite secondo le normative e sono utilizzate per la generazione delle combinazioni di carico nell'ambito delle verifiche di resistenza, in esercizio e in presenza dell'evento sismico. Tutti i carichi elementari si riferiscono a un concio longitudinale di larghezza unitaria, pertanto sono tutti definiti rispetto all'unità di lunghezza.

6.1 Pesì propri

Il peso dei differenti elementi strutturali viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato.

- Soletta di copertura;
- Soletta di fondazione;
- Piedritti.

Per i materiali si assumono i seguenti pesi specifici:

Calcestruzzo armato:	$\gamma_{c.a.}$	= 25.00 kN/m ³
Rilevato:	γ_{ril}	= 20.00 kN/m ³
Ballast + armamento:	$\gamma_{ballast}$	= 18.00 kN/m ³

6.2 Permanenti non strutturali

Il peso dei carichi permanenti in copertura è stato calcolato considerando i differenti spessori di ballast e supercompattato, ciascuno per il suo peso dell'unità di volume:

$$q_{pp} = h_b \gamma_b + h_{sc} \gamma_{sc}$$

dove:

- h_b = spessore del ballast;
- γ_b = peso specifico del ballast;
- H_{sc} = spessore del super compattato;
- γ_b = peso specifico del super compattato.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

6.3 Carichi mobili (traffico ferroviario)

Per quanto attiene il sovraccarico ferroviario si applica il peggiore tra il carico verticale dovuto al treno SW/2 pari a 150 kN/m x 1 e il carico verticale dovuto al treno LM71 pari a 250 kN / 1.6 m x 1.1 = 172.0 kN/m uniformemente distribuito su una larghezza trasversale di calcolo fino a livello del piano d'asse della soletta di copertura.

Per ponti di categoria A si hanno i seguenti valori del coefficiente di adattamento.

MODELLO DI CARICO	COEFFICIENTE "α"	
	PONTI CAT. "A"	PONTI CAT. "B"
LM 71	1.1	0.83
SW / 0	1.1	0.83
SW / 2	1.0	0.83

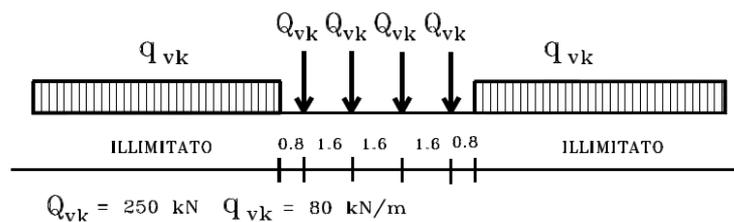
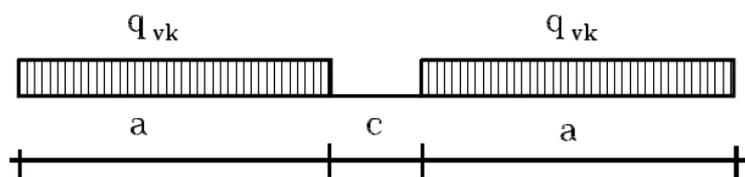


Figura 6.1 – Treno di carico LM71



Tipo di Carico	q_{vk} [kN/m]	a [m]	c [m]
SW/0	133	15,0	5,3
SW/2	150	25,0	7,0

Figura 6.2– Treno di carico SW

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

Coefficiente di amplificazione dinamica Φ :

Le sollecitazioni e gli spostamenti determinati sulle strutture dall'applicazione statica dei treni di carico debbono essere incrementati per tener conto della natura dinamica del transito dei convogli.

Per linee a ridotto standard manutentivo Φ sarà:

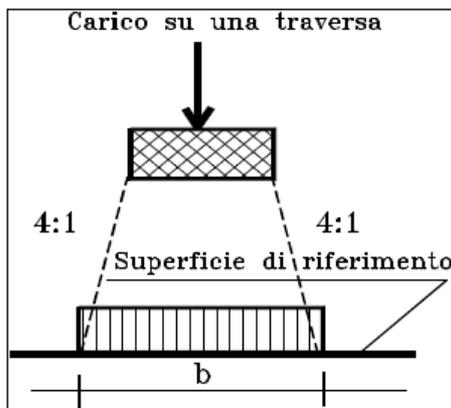
$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi - 0,2}} + 0,73 \quad \text{con la limitazione } 1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00$$

Dove:

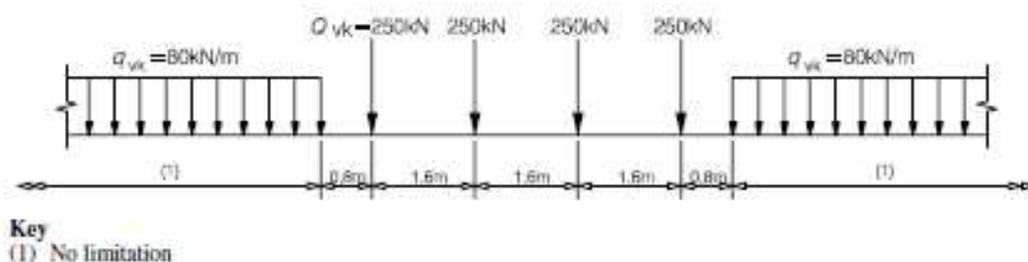
L_Φ rappresenta la lunghezza "caratteristica" in metri.

Determinazione delle larghezze di diffusione dei carichi mobili:

La diffusione dei carichi attraverso ballast avviene con pendenza 4:1, attraverso il ricoprimento con angolo di attrito mentre, nella soletta in cls con pendenza 1:1.



Il modello di carico LM71 citato dalle S.T.I. è definito nella norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

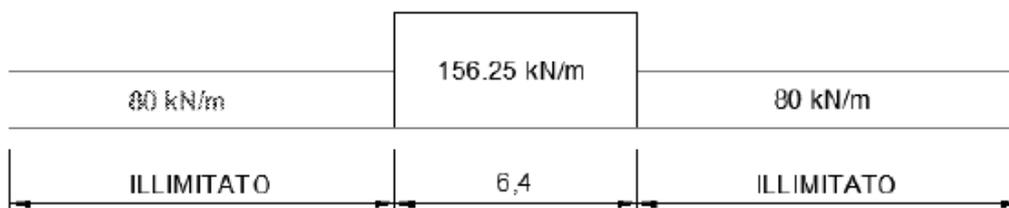


Il carico equivalente si ricava dalla ripartizione trasversale e longitudinale dei carichi per effetto delle traverse e del ballast previsti dalla stessa norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

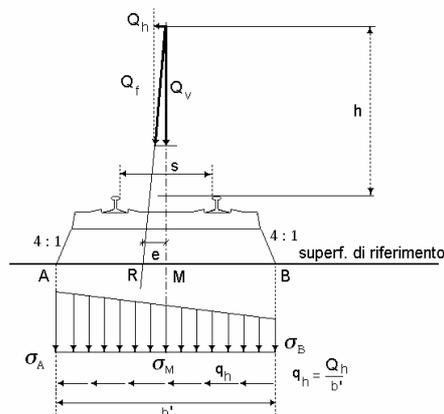
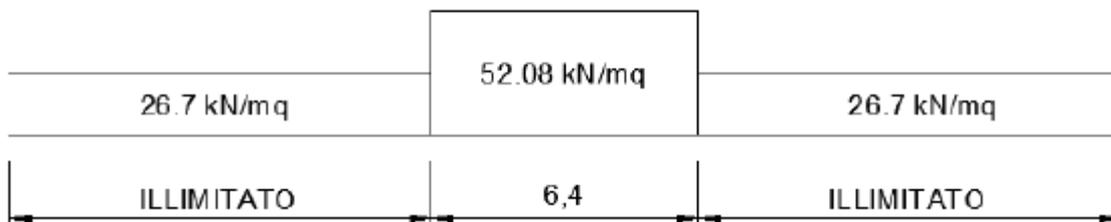
	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

Considerando i 4 carichi assiali da 250 kN e la relativa distribuzione longitudinale, il carico verticale equivalente a metro lineare agente alla quota della piattaforma ferroviaria (convenzionalmente a 70 cm dal piano del ferro) risulta pari a:

$$p = \frac{4 \times 250}{4 \times 1.60} = 156.25 \text{ kN/m}$$



Considerando la distribuzione trasversale dei carichi su una larghezza di 3.0 m secondo quanto previsto da EN 1991 – 2:2003/AC:2010, si ricava il carico equivalente unitario agente alla quota della piattaforma ferroviaria:



La lunghezza di ripartizione trasversale verrà meglio esplicitata al §9.2.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

6.4 Azione di avviamento / frenatura

Per ogni treno di carico si associano le azioni di avviamento e frenatura agenti sulla sommità del binario, nella direzione longitudinale dello stesso. Dette forze si considerano uniformemente distribuite sulla lunghezza di binario.

I valori caratteristici considerati sono i seguenti:

- Avviamento $Q_{1a,k} = 33 \text{ [kN/m]} * L \text{ [m]}$ per LM71 ed SW2
- Frenatura $Q_{1b,k} = 20 \text{ [kN/m]} * L \text{ [m]}$ per LM71
- $Q_{2b,k} = 35 \text{ [kN/m]} * L \text{ [m]}$ per SW/2

6.5 Azione di serpeggio

La forza laterale indotta dal serpeggio si considera come una forza concentrata agente orizzontalmente, applicata alla sommità della rotaia più alta, perpendicolarmente all'asse del binario. Tale azione si applicherà sia in rettilineo che in curva. Il valore caratteristico di tale forza sarà assunto pari a $Q_{sk}=100 \text{ kN}$. Tale valore deve essere moltiplicato per a , (se $a>1$), ma non per il coefficiente F . Questa forza laterale deve essere sempre combinata con i carichi verticali.

Tale azione viene trascurata in quanto con un modello piano non si possono considerare gli effetti trasversali.

6.6 Azione del sisma

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

- Classe d'uso: III
- Coefficiente d'uso $C_U = 1.5$
- Vita nominale $V_N = 75$ anni
- Categoria di suolo: C
- Condizione topografica: T1
- Fattore di struttura $q = 1$

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

I parametri per la determinazione dei punti dello spettro di risposta orizzontale e verticale sono riportati :

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:

LATITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE:

PROVINCIA:

COMUNE:

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Reticolo di riferimento

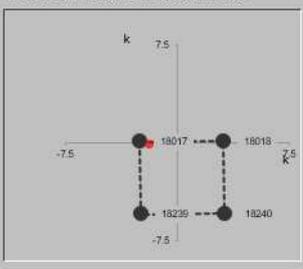


Controllo sul:

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

superficie

Nodi del reticolo intorno al sito



La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - c_U info

Valori di

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	68
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	113
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	1068
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	2193

Elaborazioni

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie - - - ■ - - - Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

Di seguito si riportano i parametri di definizione dell'azione:

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.156 g
F_o	2.468
T_C^*	0.301 s
S_S	1.469
C_C	1.561
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.469
η	1.000
T_B	0.156 s
T_C	0.469 s
T_D	2.225 s

6.7 Ritiro del calcestruzzo

Gli effetti del ritiro del calcestruzzo sono valutati in accordo al §2.5.1.6.2 del Manuale di Progettazione, in particolare: “Per tali effetti si riporta il contenuto del §5.2.2.10.2 del DM 17.01.2018. I coefficienti di ritiro e viscosità finali, salvo sperimentazione diretta, sono quelli indicati rispettivamente nei §§ 11.2.10.6 e 11.2.10.7”. Per cui ai fini delle verifiche sono stati impiegati i coefficienti indicati al punto 11.2.10.6 delle NTC 2018. La deformazione totale da ritiro è data dalla somma della deformazione per ritiro da essiccamento e della deformazione da ritiro autogeno. Il ritiro è stato applicato mediante una variazione termica equivalente pari a 10° , ed un umidità relativa del 75% a 7 gg.

Il fenomeno del ritiro è stato applicato solo alla soletta di copertura nel caso dello scatolare mentre viene trascurato nel muro.

6.8 Variazione termica

La variazione termica applicata sulla struttura è pari a $\Delta T = +15^\circ C$, con un variazione termica aggiuntiva a farfalla pari a $\Delta T = +5^\circ C$ applicata sulla soletta di copertura. Per ricoprimenti superiori ad 1,5m non si applica alcuna variazione termica.

Per il coefficiente di dilatazione termica si assume:

$$\alpha = 10 \times 10^{-6} = 0.00001$$

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

6.9 Spinta statica del terreno

Le spinte del terreno a monte degli elementi verticali sono calcolate con la teoria di Rankine, con distribuzione triangolare delle tensioni e conseguente risultante della spinta al metro pari a $S=1/2 \cdot k_0 \cdot \gamma \cdot H^2$, applicata ad 1/3 dal basso.

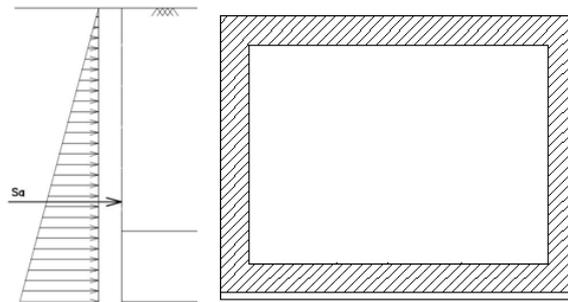


Figura 6.3 – Schema per il calcolo degli effetti della spinta statica del terreno

La spinta in condizioni di esercizio viene calcolata con il coefficiente di spinta a riposo $k_0=1-\sin\varphi'$, dove φ' è l'angolo di attrito assunto. In caso di falda il peso specifico del terreno è stato sostituito da quello efficace.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

6.10 Spinta dovuta al sovraccarico accidentale

Per considerare la presenza di un sovraccarico da traffico gravante a tergo, si considera un carico uniformemente distribuito. Il valore della spinta risultante al metro è dunque pari a $S=k_0 \cdot q \cdot H$, con punto di applicazione posizionato a metà dell'altezza dell'elemento su cui insiste.

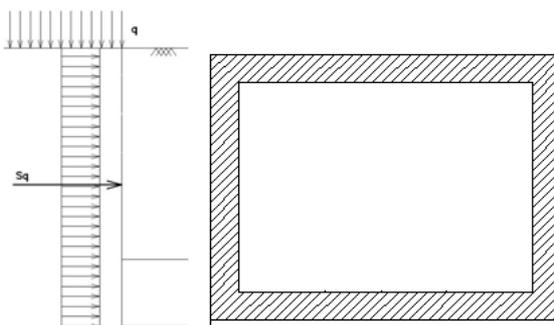


Figura 6.4– Schema per il calcolo degli effetti della spinta dovuta al sovraccarico accidentale

6.11 Incremento di Spinta in condizione sismiche

In condizione sismica si considera un incremento della spinta del terreno rispetto alla condizione statica in esercizio. La sovraspinta sismica è calcolata con la teoria di Wood, risultando in un valore di spinta al metro, distribuito uniformemente sull'intera altezza del piedritto, da applicare ad una quota pari ad $H/2$.

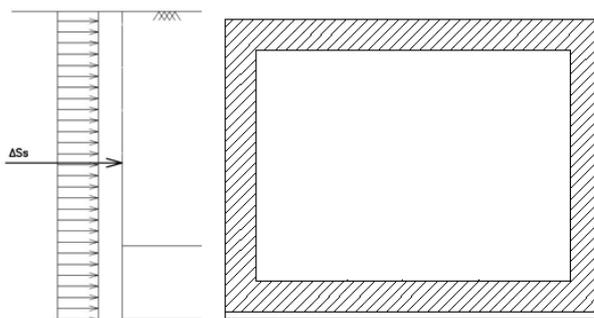


Figura 6.5– Schema per il calcolo degli effetti della sovraspinta sismica

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

7. COMBINAZIONE DEI CARICHI

In linea con quanto riportato nel quadro normativo vigente, le azioni descritte nei paragrafi precedenti, sono combinate nel modo seguente:

combinazione fondamentale (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

combinazione sismica:

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

combinazione eccezionale:

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

combinazione Rara (SLE irreversibile):

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

combinazione Frequente (SLE reversibile):

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

combinazione Quasi Permanente (SLE per gli effetti a lungo termine):

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

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 tabella seguente.

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,00	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,00	0,00	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,00	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

Azione dominante
 (1) Includendo tutti i fattori ad essi relativi (Φ, α , ecc...)
 (2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

Tab. 1 – Valutazione dei carichi da traffico

Per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali ed i coefficienti di combinazione ψ delle tabelle seguenti.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti 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⁾ Aliquota di carico da traffico da considerare.
⁽⁶⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁷⁾ 1,20 per effetti locali

Tab. 2 – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, Eccezionali e Sismica

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	gr3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr4	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.

Tab. 3 – Coefficienti di combinazione ψ delle azioni

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

8. VERIFICHE STRUTTURALI

Le verifiche di resistenza delle sezioni sono eseguite secondo il metodo semiprobabilistico agli stati limite. I coefficienti di sicurezza adottati sono i seguenti:

- coefficiente parziale di sicurezza per il calcestruzzo: 1.50;
- coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio in barre: 1.15.

Il paragrafo in oggetto illustra nel dettaglio i criteri generali adottati per le verifiche strutturali e geotecniche condotte nel progetto. Ulteriori dettagli di carattere specifico, laddove impiegati, sono dichiarati e motivati nelle relative risultanze delle verifiche.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

- verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione;
- verifiche per gli stati limite ultimi a taglio;
- verifiche per gli stati limite di esercizio.

8.1 Verifiche per gli stati limite ultimi a flessione-presso-flessione

Allo stato limite ultimo, le verifiche a flessione o presso-flessione sono condotte confrontando (per le sezioni più significative) le resistenze ultime e le sollecitazioni massime agenti, valutando di conseguenza il corrispondente fattore di sicurezza.

8.2 Verifica agli stati limite ultimi a taglio

La verifica allo stato limite ultimo per azioni di taglio è condotta secondo quanto prescritto dal DM17/01/2018, per elementi con armatura a taglio verticali.

Si fa, pertanto, riferimento i seguenti valori della resistenza di calcolo:

- Resistenza di progetto dell'elemento privo di armatura a taglio:

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[0.18 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} / \gamma_c + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right] b_w \cdot d; (v_{min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}$$

- Resistenza di progetto a "taglio trazione":

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

- Resistenza di progetto a "taglio compressione":

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot v f_{cd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) / (1 + \cot^2 \theta)$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

Nelle espressioni precedenti i simboli hanno i seguenti significati:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \text{ con } d \text{ in mm};$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0.02;$$

A_{sl} è l'area dell'armatura tesa;

b_w è la larghezza minima della sezione in zona tesa;

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0.2 \cdot f_{cd};$$

N_{Ed} è la forza assiale nella sezione dovuta ai carichi;

A_c è l'area della sezione di calcestruzzo;

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2};$$

$1 \leq \cot \vartheta \leq 2.5$ è l'inclinazione dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave

A_{sw} è l'area della sezione trasversale dell'armatura a taglio;

s è il passo delle staffe;

α è l'angolo d'inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;

$v f_{cd}$ è la resistenza di progetto a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ($v=0.5$);

$\alpha_c = 1$ coefficiente maggiorativo per membrature non compresse.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

8.3 Verifica agli stati limite d'esercizio

Si effettuano le seguenti verifiche agli stati limite di esercizio:

- stato limite delle tensioni in esercizio;
- stato limite di fessurazione.

Nel primo caso, si esegue il controllo delle tensioni nei materiali supponendo una legge costitutiva tensioni-deformazioni di tipo lineare. In particolare si controlla la tensione massima di compressione del calcestruzzo e di trazione dell'acciaio, verificando che:

$$\sigma_c < 0.55 f_{ck} \text{ per combinazione di carico caratteristica (rara);}$$

$$\sigma_c < 0.40 f_{ck} \text{ per combinazione di carico quasi permanente;}$$

$$\sigma_s < 0.75 f_{yk} \text{ per combinazione di carico caratteristica (rara).}$$

Nel secondo caso, si verifica che le aperture delle fessure siano inferiori al valore limite dell'apertura delle fessure nella combinazione caratteristica Rara. I valori nominali di riferimento sono:

$$w_1 = 0.2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0.3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0.4 \text{ mm}$$

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

9. ANALISI STRUTTURALE

Le analisi sono state condotte mediante l'ausilio del SAP2000, un Codice di calcolo F.E.M. (Finite Element Method) capace di gestire analisi lineari e non lineari ed analisi sismiche con integrazione al passo delle equazioni nel tempo. Dal modello sono state dedotte, per le combinazioni di calcolo statiche e sismiche descritte in precedenza, le sollecitazioni complessive agenti sugli elementi strutturali al fine di procedere con le verifiche di sicurezza previste dalle Normative di riferimento.

Il calcolo della struttura è stato effettuato considerando una striscia di calcolo pari ad 1m disposta ortogonalmente all'asse longitudinale dello scatolare. In caso di obliquità \emptyset dello scatolare rispetto alla linea ferroviaria il calcolo è stato eseguito analizzando sempre una striscia di larghezza unitaria ortogonale all'asse longitudinale dello scatolare, ipotizzando una coerente disposizione delle armature di forza trasversali.

Convenzione assi

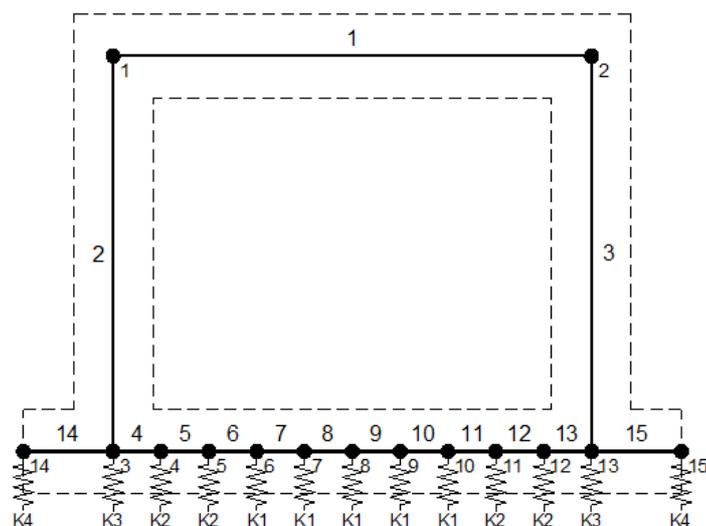
x = asse trasversale dello scatolare

y = asse longitudinale dello scatolare

z = asse verticale dello scatolare

9.1 Modellazione strutturale : Scatolare

Il modello di calcolo attraverso il quale viene discretizzata la struttura è quello di telaio chiuso. Per simulare il comportamento del terreno di fondazione vengono inserite molle alla Winkler.



La soletta inferiore viene divisa in elementi per poter schematizzare, tramite molle applicate, l'interazione terreno- struttura.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

Per la definizione delle precedenti costanti si è fatto riferimento alla caratterizzazione geotecnica a disposizione.

I valori di resistenza del terreno assunti nei calcoli che seguono sono quelli riferiti al primo strato della tabella riportata al paragrafo 5.

Per la rigidità delle molle, nell'opera in esame si considera un modulo di reazione verticale Kw pari a 3129 kN/m³. Tale valore viene valutato tramite la teoria di Bowles, note le dimensioni della fondazione dell'opera e il modulo elastico del terreno di fondazione:

$$k_s = \frac{E}{(1-\nu^2) \cdot B \cdot c_t}$$

Dove:

E	modulo elastico del terreno
ν	coefficiente di Poisson
B	larghezza della fondazione
L	lato maggiore della fondazione
c_t	fattore di forma (Bowles, 1960)
Kw	coefficiente di sottofondo alla Winkler

Con questo valore si ricavano i valori delle singole molle:

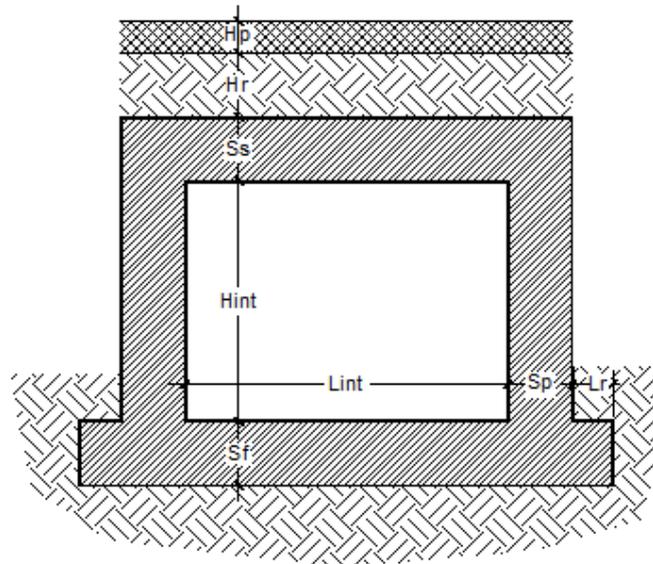
Rigidezze molle verticali				
Modulo elastico del terreno	E_t		10.00	N/mm ²
Coefficiente di Poisson	ν		0.30	-
Larghezza della fondazione	B	$B = L_r + S_0 + L_{int} + S_0 + L_r$	18.00	m
Lato maggiore della fondazione	L		19.36	m
Fattore di forma	c_t		0.89	-
Terreno di fondazione - Costante di sottofondo	K_w	$K_w = E_t / (1-\nu^2) \cdot B \cdot c_t$	684	kN/m ³
Interasse molle	i	$i = (S_0/2 + L_{int} + S_0/2) / 10$	1.65	m
Molle centrali	K1	$K_1 = K_w \cdot i$	1 129	kN/m
Molle intermedie	K2	$K_2 = 1.50 \cdot K_w \cdot i$	1 694	kN/m
Molle laterali	K3	$K_3 = 2.00 \cdot K_w \cdot (i/2 + S_0/2)$	2 156	kN/m
Molle risolto	K4	$K_4 = 1.50 \cdot K_w \cdot L_r$	0	kN/m

La rigidità delle molle in corrispondenza dei piedritti è stata aumentata, seguendo le indicazioni riportate nella letteratura tecnica, al fine di tenere in conto l'irrigidimento apportato dai piedritti al solettone di fondo.

9.2 Analisi dei carichi

Geometria

Caratteristiche materiali e terreno					
Calcestruzzo armato - Peso specifico	γ		25		kN/m ³
Calcestruzzo armato - Tipo			C32/40		
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cubica	R _{ck}		40		N/mm ²
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cilindrica	f _{ck}	0.83 · 40 =	33.2		N/mm ²
Calcestruzzo armato - Modulo elastico	E		33600		N/mm ²
Ballast - Peso specifico	γ _b		18		kN/m ³
Terreno del rilevato - Peso specifico	γ		20		kN/m ³
Terreno del rilevato - Angolo di attrito	φ		38		°
Terreno di riempimento laterale - Peso specifico	γ		20		kN/m ³
Terreno di riempimento laterale - Angolo di attrito	φ		38		°
Condizioni ambientali per ver. a fessurazione			aggressive		
Ricoprimento					
Spessore ballast+armamento	H _b		0.80		m
Spessore medio traversina+binario	H _t		0.40		m
Spessore ballast sotto la traversina			0.40		m
Spessore del rinterro	H _r		0.25		m
Geometria					
Spessore soletta superiore	S _s		1.40		m
Spessore soletta di fondazione	S _f		1.40		m
Spessore piedritti	S _p		1.50		m
Altezza netta	H _{int}		6.10		m
Larghezza netta	L _{int}		15.00		m
Lunghezza risvolti sol. inf.	L _r		0.00		m
Lunghezza dello scatolare	L		19.36		m



Tab. 4: Geometria del modello

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

Azioni elementari applicate

Carichi permanenti (Condizione PERM)				
Soletta superiore				
Peso ballast	Ps	$0.80 \cdot 18 =$	14.40	kN/m ²
Peso del rinterro	Pr	$0.25 \cdot 20 =$	5.00	kN/m ²
Totale		$(Pr+Ps)*r$	21.16	kN/m²
Risvolti soletta inferiore				
Peso ballast	Ps	-	0.00	kN/m ²
Peso del rinterro	Pr	-	0.00	kN/m ²
Totale			0.00	kN/m²
Carichi accidentali sulla copertura LM71 (Condizioni ACC-M71 e ACC-T71)				
Coefficiente dinamico				
Lunghezza caratteristica per coeff. din.	L_{ϕ}	$= 1.3 \cdot 1/3 \cdot (6.80 + 16.50 + 6.80)$	13.04	m
Coefficiente dinamico	Φ_3	$= 0.9 \cdot (2.16 / (\text{radq}(13.04) - 0.2) + 0.73)$	1.23	
Qvk				
Coefficiente di adattamento	α		1.10	
Larghezza traversa	Lt		2.40	m
Impronta di carico y	Ld1	$2.40 + 2 \times (0.40/4 + 0.25 \times \text{TAN}(38^\circ) + 1.40/2) =$	4.39	m
Impronta di carico x	Ld2	$0.8 + 1.6 + 1.6 + 1.6 + 0.8 =$	6.40	m
Carico Qvk (totale)			1000	kN
Carico Qvk (ripartito)		$1.1 \cdot 1.23 \cdot 1000 / (4.39 \cdot 6.40) =$	48.03	kN/m²
qvk				
Carico qvk			80	kN/m
Carico qvk (ripartito)		$1.1 \cdot 1.23 \cdot 80 / 4.39 =$	24.59	kN/m²
Carichi accidentali sulla copertura SW/2 (Condizioni ACC-MSW e ACC-TSW)				
Coefficiente di adattamento	α		1.00	
Carico qvk			150	kN/m
Carico qvk (ripartito)		$1 \cdot 1.23 \cdot 150 / 4.39 =$	41.91	kN/m²
Avviamento e frenatura (Condizione AVV)				
Q1ak (= $\alpha \cdot 33 / Ld1$)		$\alpha \cdot 33 / 4.39 =$	8.27	kN/m²

Per il calcolo della lunghezza caratteristica si fa riferimento al Manuale di Progettazione Caso 5.4 della tabella 2.5.1.4.2.5.3-1 Parte II - Sezione II – Ponti.

Azione termica (Condizione TERM)					
Variazione termica uniforme	ΔT_U			15	°
Variazione termica a farfalla	ΔT_F			5	°
Variazione termica uniforme di calcolo	ΔT_{U*}	$15 / 2 =$		7.50	°
Variazione termica a farfalla di calcolo	ΔT_{F*}	$5 / 2 =$		2.50	°
Ritiro (Condizione RITIRO)					
Ritiro applicato alla sol. Superiore	ΔT_R			-10	°
Coefficienti di spinta statici del terreno					
Grado di sovraconsolidazione	OCR			1	-
Coefficiente dipendente dall'OCR	m			0.5	-
Angolo di attrito - terreno ai lati dei piedritti	ϕ			38.00	°
Coefficiente di spinta a riposo	K_0	$K_0 = [1 - \text{sen}(\phi_i)] * \text{OCR}^m$		0.38	-
Angolo di attrito terreno-muro	δ			25.3	°
Inclinazione del piano campagna rispetto all'orizzontale	β			0	°
Inclinazione piedritto rispetto alla verticale	α			90	°
Coefficiente di spinta attiva	K_a			0.22	-
Spinta del terreno (Condizioni SPTSX e SPTDX)					
K01		$1 - \text{sen}(38^\circ) =$		0.384	
K02		$1 - \text{sen}(38^\circ) =$		0.384	
Spinta alla quota di estradosso sol. sup.	p1	$0.384 \cdot 21.00 =$		8.07	kN/m ²
Spinta in asse sol. sup.	p2	$0.384 \cdot (21.00 + 20 \cdot 1.40/2) =$		13.45	kN/m ²
Spinta in asse sol. inf.	p3	$0.384 \cdot [21.00 + 20 \cdot (1.40 + 6.10 + 1.40/2)] =$		71.10	kN/m ²
Spinta alla quota di intradosso sol. inf.	p4	$0.384 \cdot [21.00 + 20 \cdot (1.40 + 6.10 + 1.40)] =$		76.48	kN/m ²
Spinta semispessore sol. sup.	F1	$(8.07 + 13.45)/2 \cdot 1.40/2$		7.53	kN/m
Spinta semispessore sol. inf.	F2	$(71.10 + 76.48)/2 \cdot 1.40/2$		51.66	kN/m
Spinta del carico accidentale LM71 (Condizioni SPACCSX e SPACCDX)					
Spinta dovuta al q1	p	$0.384 \cdot 1.1 \cdot 1000 / (4.39 \cdot 6.40) =$		15.05	kN/m ²
Spinta del carico accidentale SW/2 (Condizioni SPACCSX e SPACCDX)					
Spinta dovuta al q1	p	$0.384 \cdot 1 \cdot 150 / (4.39 \cdot 6.40) =$		2.05	kN/m ²
Sisma orizzontale (Condizione SISMAH)					
Stato limite		Salvaguardia della vita - SLU -		SLV	
Vita nominale	V_N			75	anni
Classe d'uso				III	
Coefficiente C_U	C_U			1.5	
Periodo di riferimento	V_R			112.5	anni
Accelerazione orizzontale	a_g/g			0.156	
Amplificazione spettrale	F_0			2.468	
Categoria sottosuolo		A, B, C, D, E		C	
Coeff. Amplificazione stratigrafica	S_s			1.469	
Coeff. Amplificazione topografica	S_t			1	
Coefficiente S	$S = S_s \cdot S_t$			1.469	
accelerazione orizzontale max	$a_{max}/g = a_g/g \cdot S$			0.229	
Fattore di struttura	q			1.00	
Coeff. sismico orizzontale	$k_h = a_{max}/g$			0.229	
Coeff. sismico verticale	$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$			0.115	
Carico accidentale totale gravante sulla cop.		$1.1 \cdot 1000 / (4.39 \cdot 6.40) \cdot 6.40 + 1.1 \cdot 80 / 4.39 \cdot 18.00 =$		611.3	kN/m
Forza orizz. sulla sol. di cop.	FHs	$0.229 \cdot (1.40 \cdot 25 + 21.16 + 0.2 \cdot 611.3 / 16.50) / 1.00 =$		14.57	kN/m ²
Forza orizz. sui piedritti	FHp	$0.229 \cdot (1.50 \cdot 25) / 1.00 =$		8.59	kN/m ²
Sisma verticale (Condizione SISMAV)					
Forza vert. sulla sol. di cop.	FVs	$0.115 \cdot (1.40 \cdot 25 + 21.16 + 0.2 \cdot 611.3 / 16.50) / 1.00 =$		7.28	kN/m ²
Spinta del terreno in fase sismica (Condizione SPSPDX)					
Risultante della spinta sismica	$\Delta S_E = (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot (Hint + S_s + S_f + H_b + H_r)^2 = 0.229 \cdot 20 \cdot 9.95^2$			453.8	kN/m
Pressione risultante	$\Delta p_E = \Delta S_E / H = 453.8 / 7.50$			60.50	kN/m ²

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

Seguono le schermate di applicazione dei principali carichi al modello:

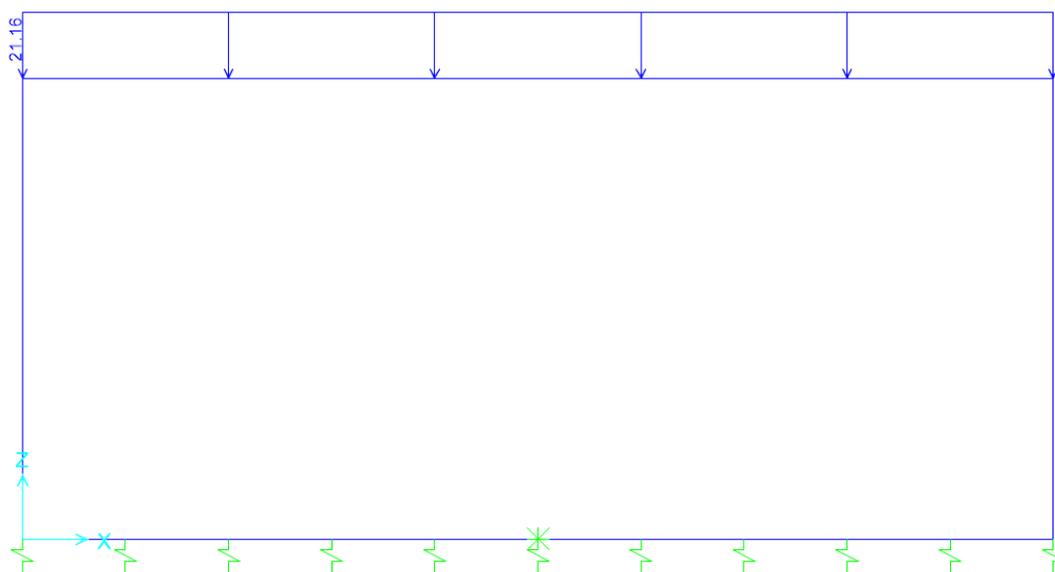


Figura 6: Condizione di carico PERM (kN/m/m)

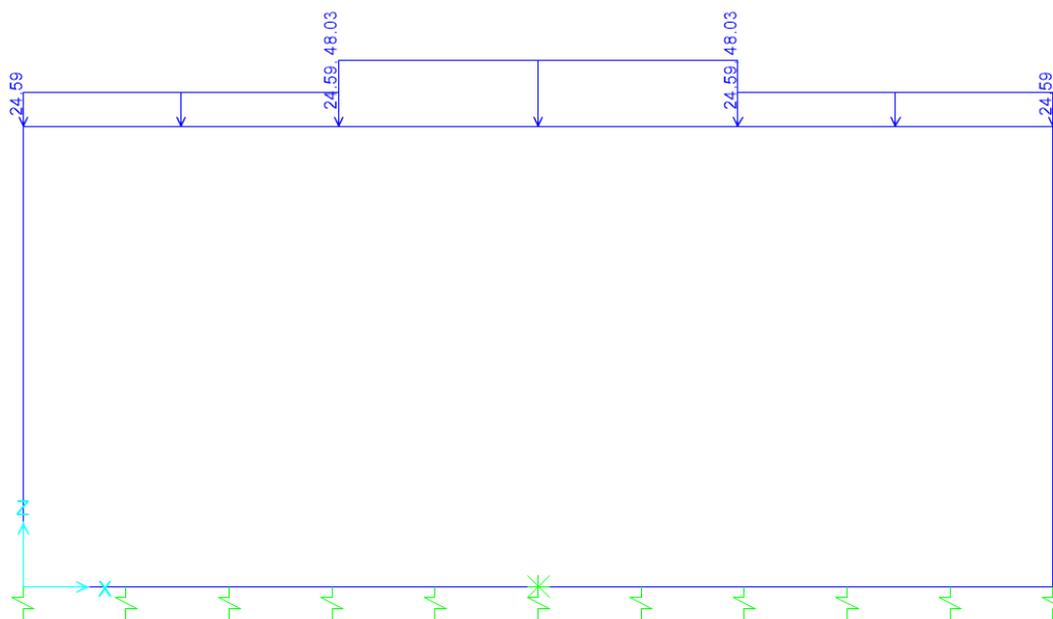


Figura 7: Condizione ACC-LM71- M(kN/m/m)

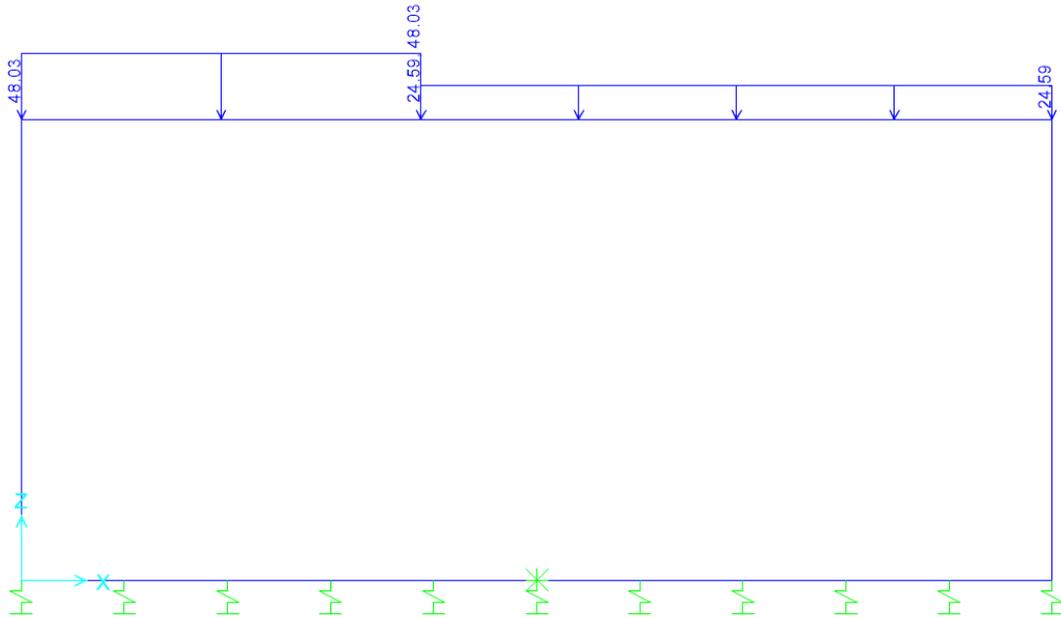


Figura 8: Condizione ACC-LM71- T(kN/m/m)

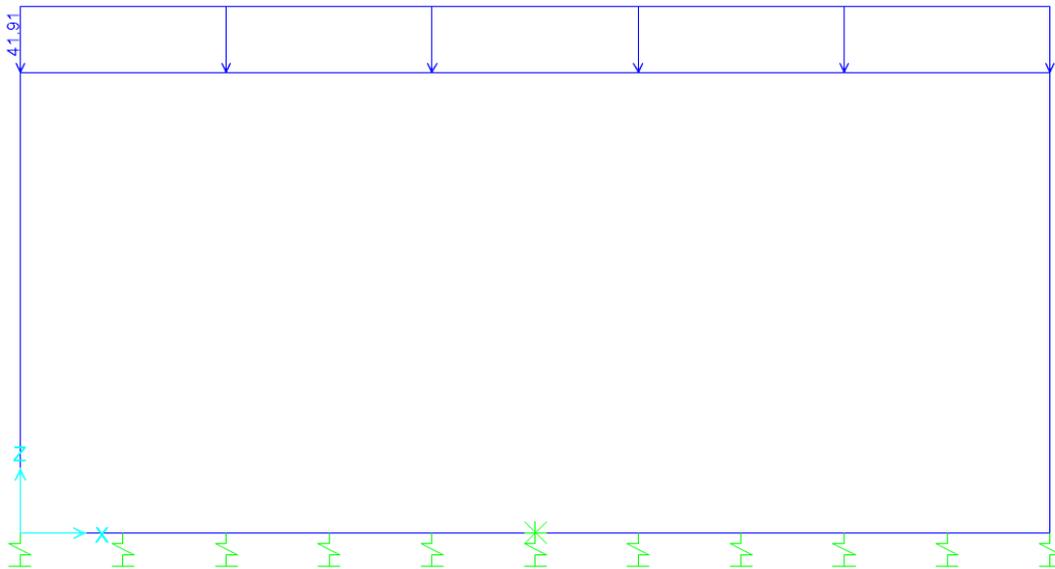


Figura 9: Condizione ACC-SW (kN/m/m)

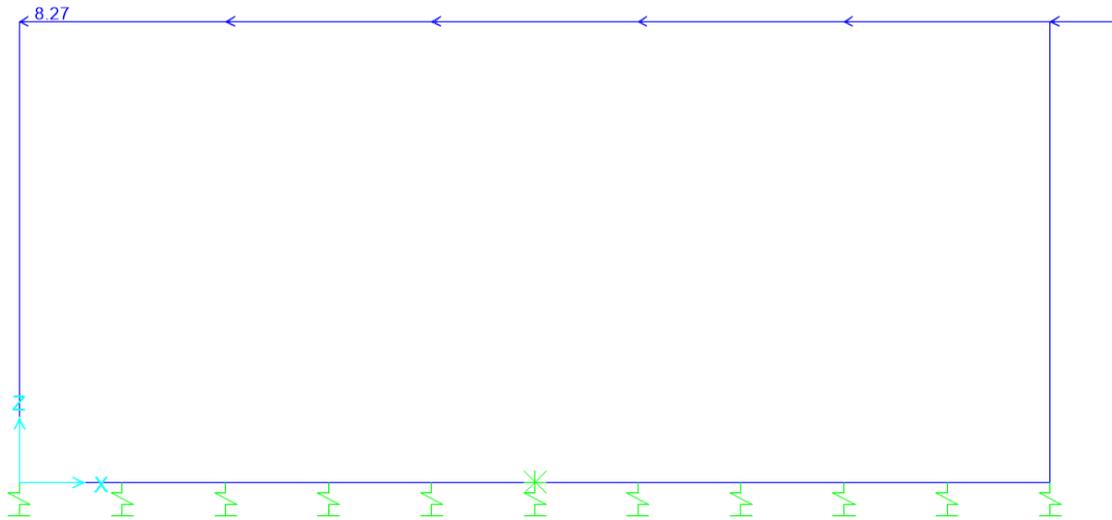


Figura 10: Condizione AVV (kN/m/m)

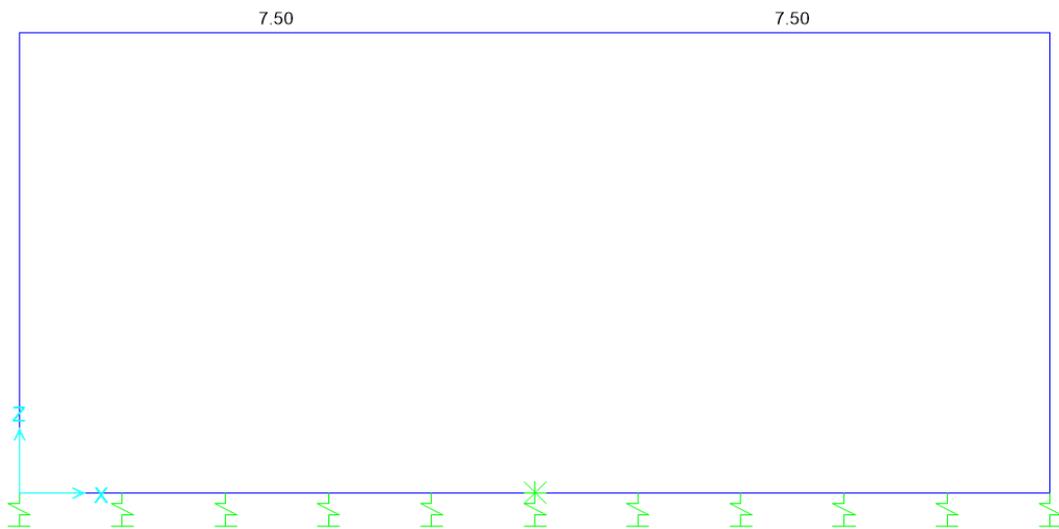


Figura 11: Condizione TERM (°C)

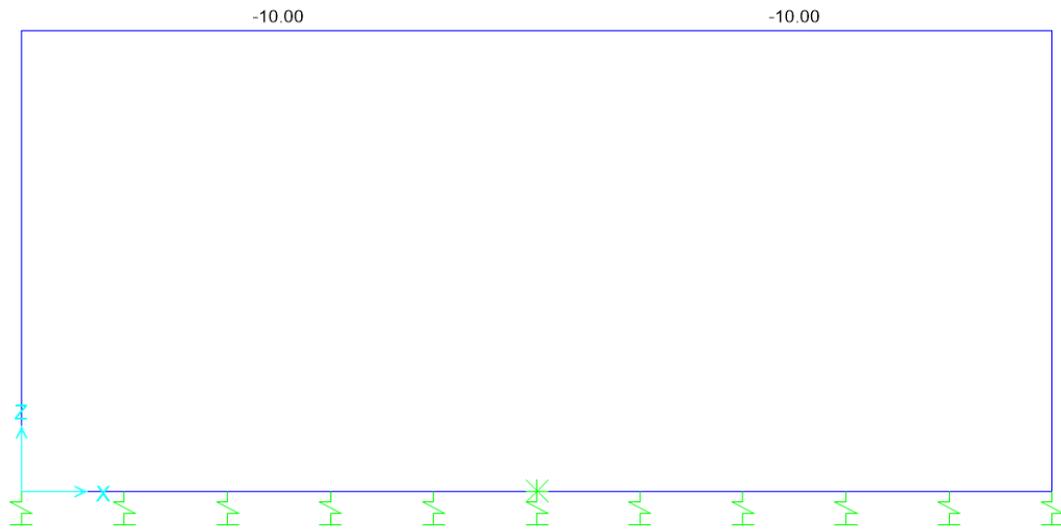


Figura 12: Condizione RITIRO ($^{\circ}\text{C}$)

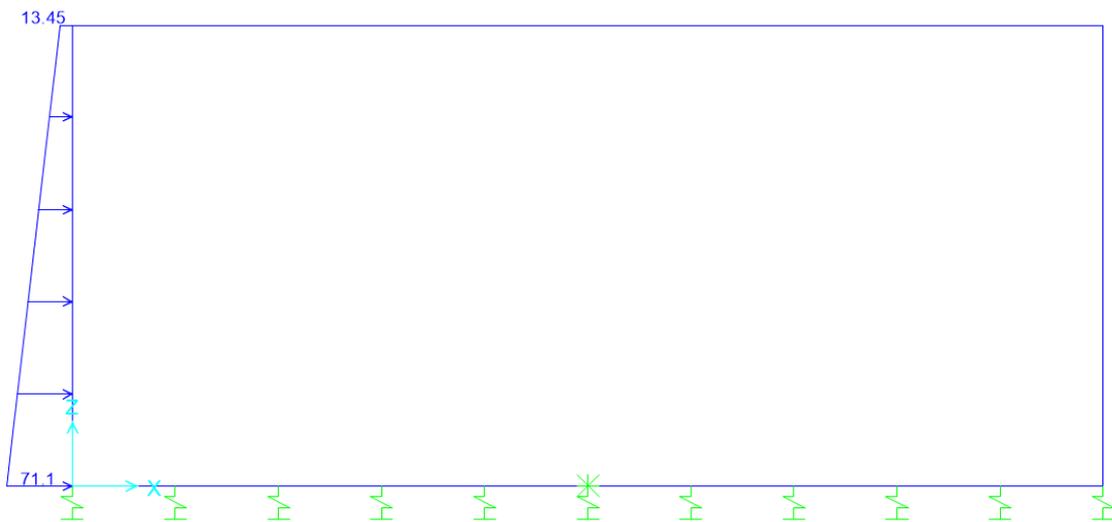


Figura 13: Condizione SPTSX (kN/m/m)

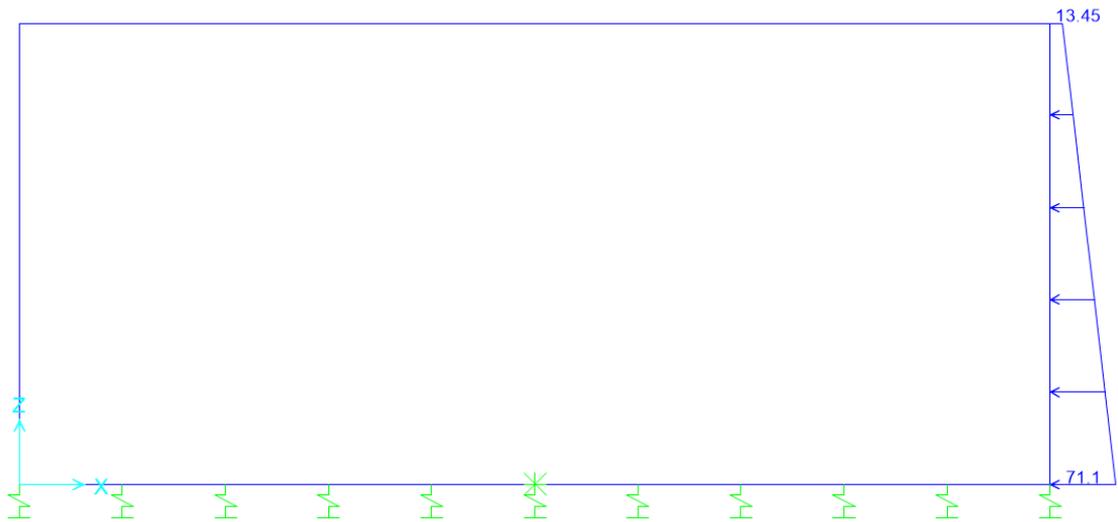


Figura 14: Condizione SPTDX (kN/m/m)

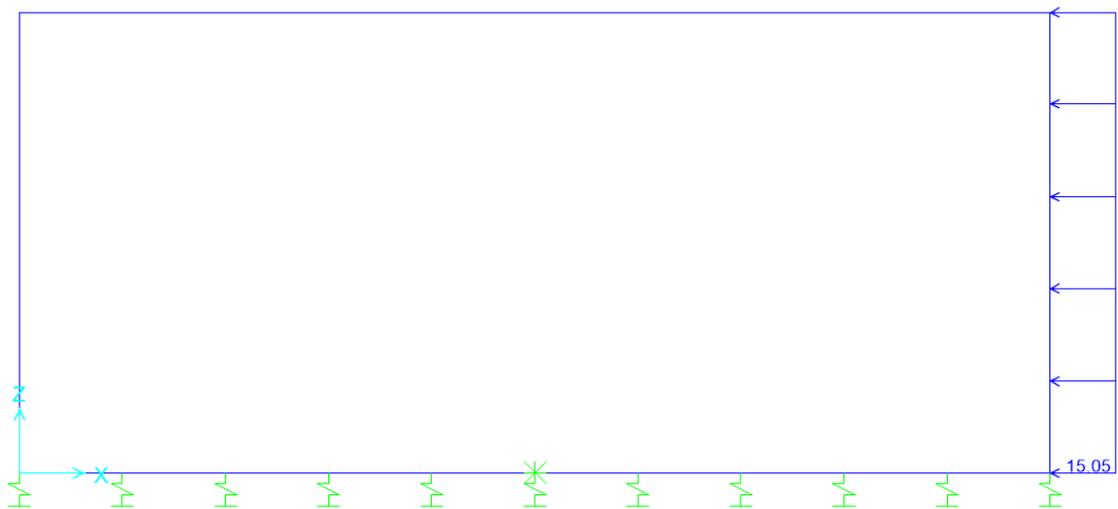


Figura 15: Condizione SPQDX71 (kN/m/m)

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

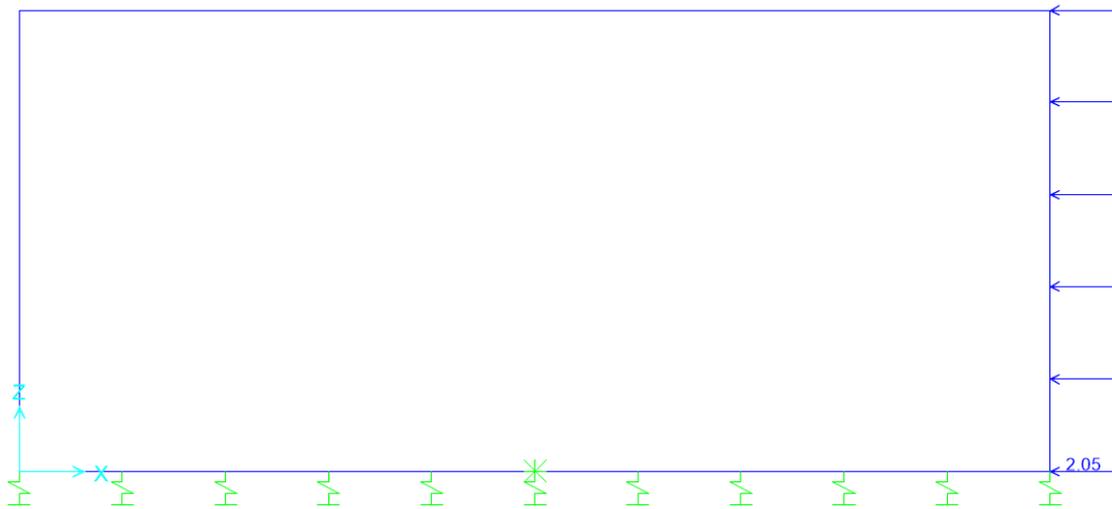


Figura 16: Condizione SPQDXSW (kN/m/m)

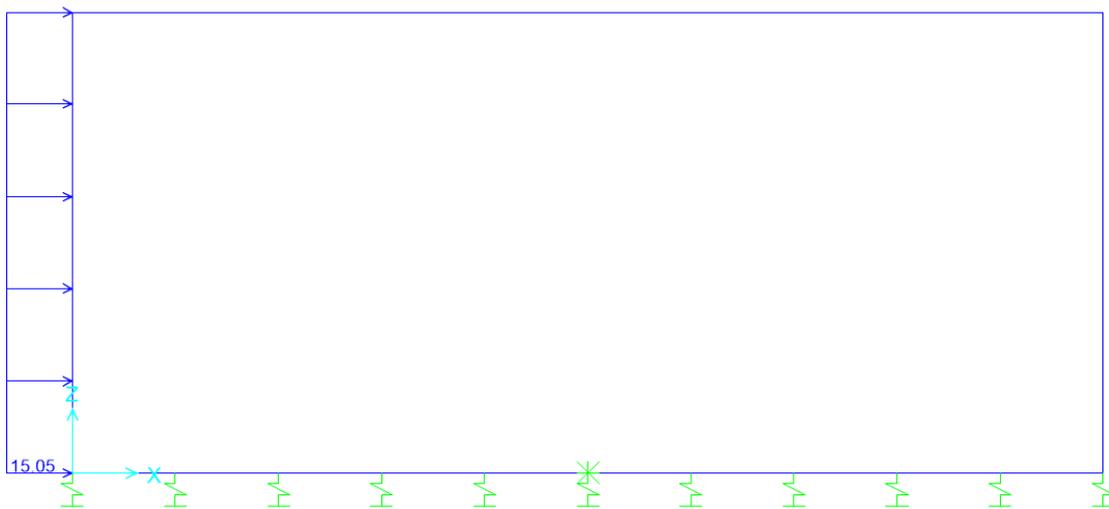


Figura 17: Condizione SPQSX71 (kN/m/m)

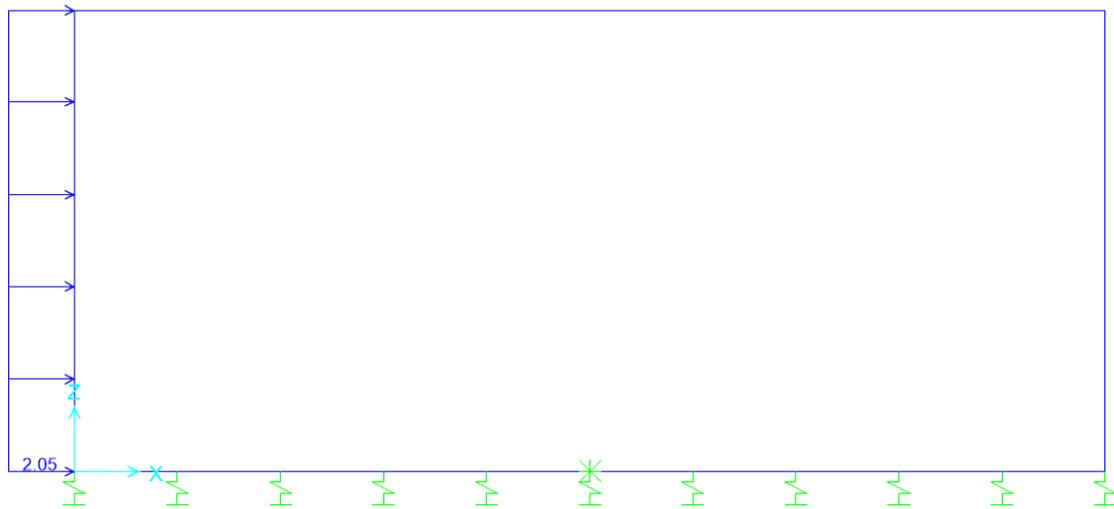


Figura 18: Condizione SPQSXSW (kN/m/m)

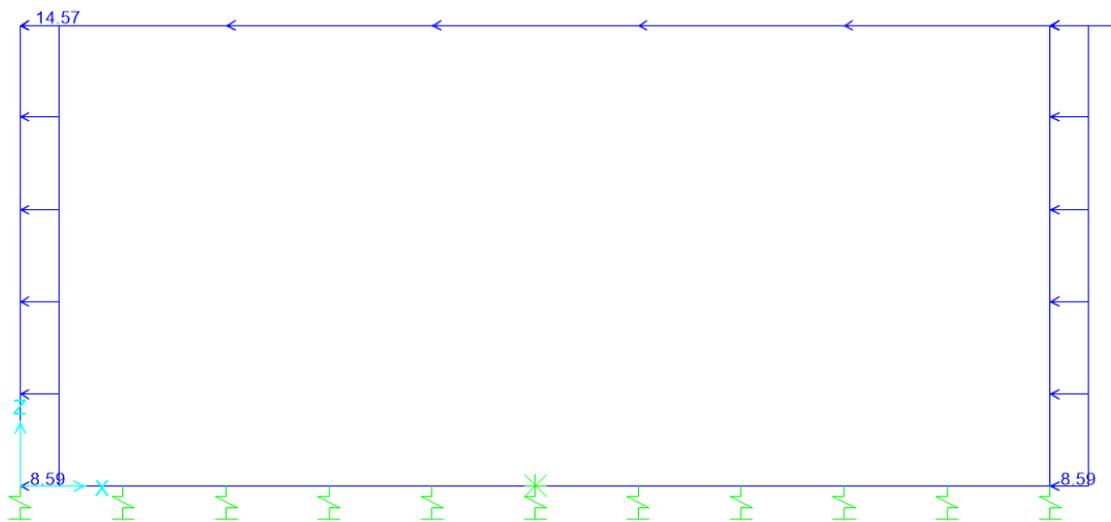


Figura 19: Condizione SISMAH (kN/m/m)

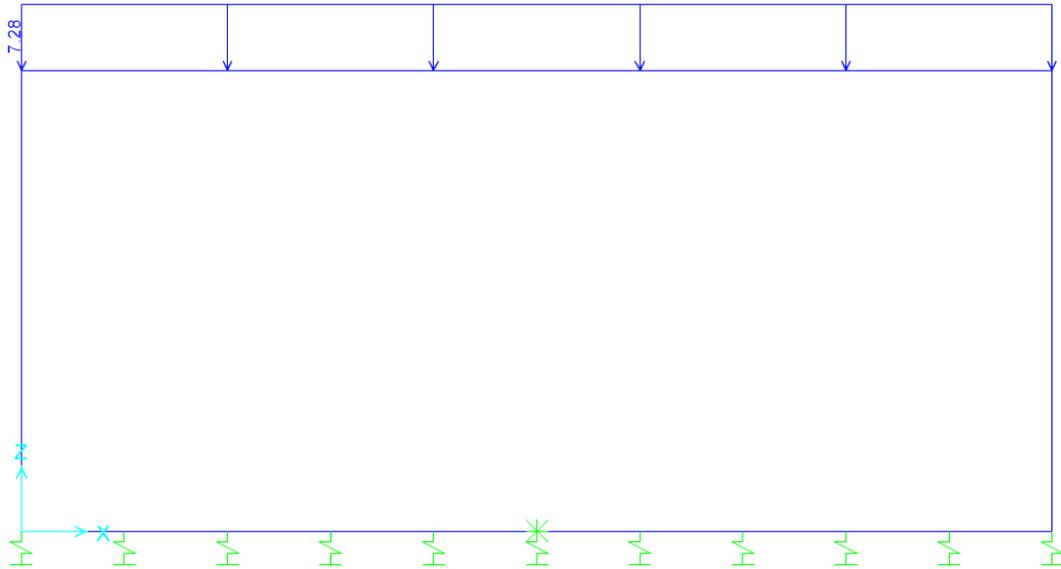


Figura 20: Condizione SISMAV (kN/m/m)

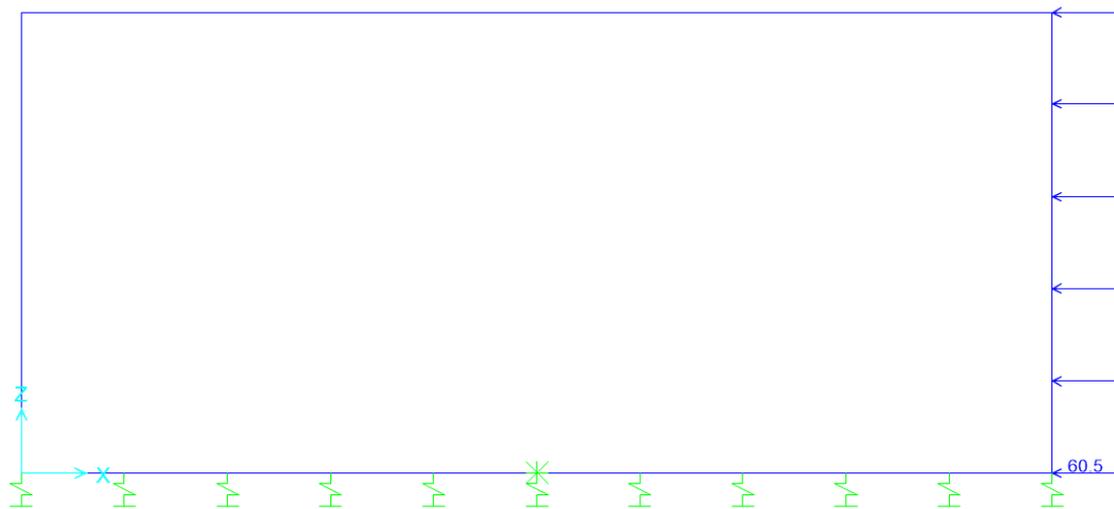


Figura 21: Condizione SPSDX (kN/m²)

9.3 Combinazioni

N	PERM	PERM-G2	ACC-M71	ACC-T71	AVV	SPTSX	SPTDX	SPOSX71	SPQDX71	TERM	RITIRO	SISMAH	SISMAV	SPSDX	ACC-SW	SPOSXSW	SPQDXSW	
01	01S1-11M	1.35	1.50	1.45	0	0.725	1.00	1.00	0	0	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
02	02S1-11T	1.35	1.50	0	1.45	0.725	1.00	1.00	0	0	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
03	03S1-12M	1.35	1.50	1.45	0	0.725	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
04	04S1-12T	1.35	1.50	0	1.45	0.725	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
05	05S1-13M	1.35	1.50	1.45	0	0.725	1.00	1.35	0	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
06	06S1-13T	1.35	1.50	0	1.45	0.725	1.00	1.35	0	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
07	07S1-14-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
08	08S1-15-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
09	09S1-16S	1.35	1.5	0	0	0.725	1.00	1.00	0.00	0.00	0.90	1.20	0.00	0.00	0.00	1.45	0	0
10	10S1-17S	1.35	1.5	0	0	0.725	1.35	1.35	0.00	0.00	0.90	1.20	0.00	0.00	0.00	1.45	1.45	1.45
11	11S1-18S	1.35	1.5	0	0	0.725	1.00	1.35	0.00	0.00	0.90	1.20	0.00	0.00	0.00	1.45	0	1.45
12	12S1-19S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.35	1.35	0.00	0.00	0.90	1.20	0.00	0.00	0.00	0	1.45	1.45
13	13S1-20S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.00	1.35	0.00	0.00	0.90	1.20	0.00	0.00	0.00	0	0	1.45
14	14S1-21M	1.35	1.50	1.45	0	0.725	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
15	15S1-21T	1.35	1.50	0	1.45	0.725	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
16	16S1-22M	1.35	1.50	1.45	0	0.725	1.35	1.35	1.45	1.45	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
17	17S1-22T	1.35	1.50	0	1.45	0.725	1.35	1.35	1.45	1.45	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
18	18S1-23M	1.35	1.50	1.45	0	0.725	1.00	1.35	0	1.45	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
19	19S1-23T	1.35	1.50	0	1.45	0.725	1.00	1.35	0	1.45	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
20	20S1-24-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.45	1.45	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
21	21S1-25-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.45	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
22	22S1-26S	1.35	1.5	0	0	0.725	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	1.45	0	0
23	23S1-27S	1.35	1.5	0	0	0.725	1.35	1.35	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	1.45	1.45	1.45
24	24S1-28S	1.35	1.5	0	0	0.725	1.00	1.35	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	1.45	0	1.45
25	25S1-29S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.35	1.35	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	0	1.45	1.45
26	26S1-30S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.00	1.35	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	1.45
27	27S1T11M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.00	0	0	1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
28	28S1T11T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.00	0	0	1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
29	29S1T12M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
30	30S1T12T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
31	31S1T13M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.35	0	1.16	1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
32	32S1T13T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.35	0	1.16	1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
33	33S1T14-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.16	1.16	1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
34	34S1T15-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.16	1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
35	35S1T16S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.00	0	0	1.5	1.2	0	0	0	1.16	0	0
36	36S1T17S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.35	1.35	0	0	1.5	1.2	0	0	0	1.16	1.16	1.16
37	37S1T18S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.35	0	0	1.5	1.2	0	0	0	1.16	0	1.16
38	38S1T19S	1.35	1.5	0	0	0	1.35	1.35	0	0	1.5	1.2	0	0	0	0.00	1.16	1.16
39	39S1T20S	1.35	1.5	0	0	0	1.00	1.35	0	0	1.5	1.2	0	0	0	0.00	0	1.16
40	40S1T21M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
41	41S1T21T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
42	42S1T22M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	-1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
43	43S1T22T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	-1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
44	44S1T23M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.35	0	1.16	-1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
45	45S1T23T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.35	0	1.16	-1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
46	46S1T24-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.16	1.16	-1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
47	47S1T25-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.16	-1.5	1.2	0	0	0	0.00	0.00	0.00
48	48S1T26S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.2	0	0	0	1.16	0	0
49	49S1T27S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.35	1.35	0	0	-1.5	1.2	0	0	0	1.16	1.16	1.16
50	50S1T28S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.35	0	0	-1.5	1.2	0	0	0	1.16	0	1.16
51	51S1T29S	1.35	1.5	0	0	0	1.35	1.35	0	0	-1.5	1.2	0	0	0	0	1.16	1.16
52	52S1T30S	1.35	1.5	0	0	0	1.00	1.35	0	0	-1.5	1.2	0	0	0	0	0	1.16
53	53S3-11M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.00	0	0	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
54	54S3-11T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.00	0	0	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
55	55S3-12M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
56	56S3-12T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
57	57S3-13M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.35	0	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
58	58S3-13T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.35	0	1.45	0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
59	59S3-14S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.00	0	0	0.9	1.2	0	0	0	1.45	0	0
60	60S3-15S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.35	1.35	0	0	0.9	1.2	0	0	0	1.45	1.45	1.45
61	61S3-16S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.35	0	0	0.9	1.2	0	0	0	1.45	0	1.45
62	62S3-21M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
63	63S3-21T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
64	64S3-22M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.35	1.35	1.16	1.16	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
65	65S3-22T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.35	1.35	1.16	1.16	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
66	66S3-23M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.35	0	1.16	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0
67	67S3-23T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.35	0	1.16	-0.9	1.2	0	0	0	0	0	0

68	68S3-24S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	1.45	0	0
69	69S3-25S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.35	1.35	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	1.45	1.16	1.16
70	70S3-26S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.35	0	0	-0.9	1.2	0	0	0	1.45	0	1.16
71	71SSS1--	1	1	0.2	0	0	1	1	0	0.2	0.5	1	1	0.3	1	0	0	0
72	72SSS2--	1	1	0.2	0	0	1	1	0	0.2	0.5	1	1	-0.3	1	0	0	0
73	73SSS3--	1	1	0.2	0	0	1	1	0	0.2	0.5	1	0.3	1	0.3	0	0	0
74	74SSS4--	1	1	0.2	0	0	1	1	0	0.2	0.5	1	0.3	-1	0.3	0	0	0
75	75SSS5--	1	1	0.2	0	0	1	1	0	0.2	-0.5	1	1	0.3	1	0	0	0
76	76SSS6--	1	1	0.2	0	0	1	1	0	0.2	-0.5	1	1	-0.3	1	0	0	0
77	77SSS7--	1	1	0.2	0	0	1	1	0	0.2	-0.5	1	0.3	1	0.3	0	0	0
78	78SSS8--	1	1	0.2	0	0	1	1	0	0.2	-0.5	1	0.3	-1	0.3	0	0	0
79	79SSS9S	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0.5	1	1	0.3	1	0.2	0	0.2
80	80SSS10S	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0.5	1	1	-0.3	1	0.2	0	0.2
81	81SSS11S	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0.5	1	0.3	1	0.3	0.2	0	0.2
82	82SSS12S	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0.5	1	0.3	-1	0.3	0.2	0	0.2
83	83SSS13S	1	1	0	0	0	1	1	0	0	-0.5	1	1	0.3	1	0.2	0	0.2
84	84SSS14S	1	1	0	0	0	1	1	0	0	-0.5	1	1	-0.3	1	0.2	0	0.2
85	85SSS15S	1	1	0	0	0	1	1	0	0	-0.5	1	0.3	1	0.3	0.2	0	0.2
86	86SSS16S	1	1	0	0	0	1	1	0	0	-0.5	1	0.3	-1	0.3	0.2	0	0.2
87	87R4-11M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	0	0	0
88	88R4-11T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	0	0	0
89	89R4-12M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	0.6	1	0	0	0	0	0	0
90	90R4-12T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	0.6	1	0	0	0	0	0	0
91	91R4-13M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0.8	0.6	1	0	0	0	0	0	0
92	92R4-13T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0.8	0.6	1	0	0	0	0	0	0
93	93R4-14S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	0.8	0	0
94	94R4-15S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
95	95R4-16S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	0.8	0	0.8
96	96R4-21M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
97	97R4-21T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
98	98R4-22M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
99	99R4-22T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
100	100R4-23M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
101	101R4-23T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
102	102R4-24S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0.8	0	0
103	103R4-25S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
104	104R4-26S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0.8	0	0.8
105	105R1T11M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
106	106R1T11T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
107	107R1T12M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0
108	108R1T12T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0
109	109R1T13M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0
110	110R1T13T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0
111	111R1T14S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0	0
112	112R1T15S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
113	113R1T16S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0	0.8
114	114R1T21M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
115	115R1T21T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
116	116R1T22M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
117	117R1T22T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
118	118R1T23M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
119	119R1T23T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
120	120R1T24S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0
121	121R1T25S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
122	122R1T26S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0.8

123	123R1-11M	1	1	1	0	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
124	124R1-11T	1	1	0	1	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
125	125R1-12M	1	1	1	0	0.5	1	1	1	1	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
126	126R1-12T	1	1	0	1	0.5	1	1	1	1	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
127	127R1-13M	1	1	1	0	0.5	1	1	0	1	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
128	128R1-13T	1	1	0	1	0.5	1	1	0	1	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
129	129R1-14S	1	1	0	0	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	0
130	130R1-15S	1	1	0	0	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	1	1	1
131	131R1-16S	1	1	0	0	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	1
132	132R1-21M	1	1	1	0	0.5	1	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
133	133R1-21T	1	1	0	1	0.5	1	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
134	134R1-22M	1	1	1	0	0.5	1	1	1	1	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
135	135R1-22T	1	1	0	1	0.5	1	1	1	1	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
136	136R1-23M	1	1	1	0	0.5	1	1	0	1	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
137	137R1-23T	1	1	0	1	0.5	1	1	0	1	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
138	138R1-24S	1	1	0	0	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	0
139	139R1-25S	1	1	0	0	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	1	1	1
140	140R1-26S	1	1	0	0	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	1
141	141R1T11M	1	1	0.8	0	0.4	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
142	142R1T11T	1	1	0	0.8	0.4	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
143	143R1T12M	1	1	0.8	0	0.4	1	1	0.8	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
144	144R1T12T	1	1	0	0.8	0.4	1	1	0.8	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
145	145R1T13M	1	1	0.8	0	0.4	1	1	0	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
146	146R1T13T	1	1	0	0.8	0.4	1	1	0	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
147	147R1T14S	1	1	0	0	0.4	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0	0
148	148R1T15S	1	1	0	0	0.4	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
149	149R1T16S	1	1	0	0	0.4	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0	0.8
150	150R1T21M	1	1	0.8	0	0.4	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
151	151R1T21T	1	1	0	0.8	0.4	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
152	152R1T22M	1	1	0.8	0	0.4	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
153	153R1T22T	1	1	0	0.8	0.4	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
154	154R1T23M	1	1	0.8	0	0.4	1	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
155	155R1T23T	1	1	0	0.8	0.4	1	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
156	156R1T24S	1	1	0	0	0.4	1	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0
157	157R1T25S	1	1	0	0	0.4	1	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
158	158R1T26S	1	1	0	0	0.4	1	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0.8
159	159R3-11M	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
160	160R3-11T	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
161	161R3-12M	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
162	162R3-12T	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
163	163R3-13M	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
164	164R3-13T	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
165	165R3-14S	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	0
166	166R3-15S	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	1	1	1
167	167R3-16S	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	1
168	168R3-21M	1	1	1	0	1	1	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
169	169R3-21T	1	1	0	1	1	1	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
170	170R3-22M	1	1	1	0	1	1	1	1	1	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
171	171R3-22T	1	1	0	1	1	1	1	1	1	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
172	172R3-23M	1	1	1	0	1	1	1	0	1	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
173	173R3-23T	1	1	0	1	1	1	1	0	1	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
174	174R3-24S	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	0
175	175R3-25S	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	1	1	1
176	176R3-26S	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	1
177	177R1T11M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
178	178R1T11T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
179	179R1T12M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
180	180R1T12T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
181	181R1T13M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
182	182R1T13T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
183	183R1T14S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0	0
184	184R1T15S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
185	185R1T16S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0	0.8
186	186R1T21M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
187	187R1T21T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
188	188R1T22M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
189	189R1T22T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
190	190R1T23M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
191	191R1T23T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
192	192R1T24S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0
193	193R1T25S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
194	194R1T26S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0.8

195	195F1-11M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0	0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
196	196F1-11T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0	0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
197	197F1-12M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
198	198F1-12T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
199	199F1-13M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0.8	0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
200	200F1-13T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0.8	0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
201	201F1-14S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0.5	1	0	0	0	0.8	0	0	0
202	202F1-15S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0.5	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8	0.8
203	203F1-16S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0.5	1	0	0	0	0.8	0	0.8	0.8
204	204F1-21M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0	-0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
205	205F1-21T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0	-0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
206	206F1-22M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	-0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
207	207F1-22T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	-0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
208	208F1-23M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0.8	-0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
209	209F1-23T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0.8	-0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
210	210F1-24S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-0.5	1	0	0	0	0.8	0	0	0
211	211F1-25S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-0.5	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8	0.8
212	212F1-26S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-0.5	1	0	0	0	0.8	0	0.8	0.8
213	213F3-11M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0	0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
214	214F3-11T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0	0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
215	215F3-12M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
216	216F3-12T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
217	217F3-13M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0.8	0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
218	218F3-13T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0.8	0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
219	219F3-14S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0.5	1	0	0	0	0.8	0	0	0
220	220F3-15S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0.5	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8	0.8
221	221F3-16S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0.5	1	0	0	0	0.8	0	0.8	0.8
222	222F3-21M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0	-0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
223	223F3-21T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0	-0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
224	224F3-22M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	-0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
225	225F3-22T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	-0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
226	226F3-23M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0.8	-0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
227	227F3-23T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0.8	-0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
228	228F3-24S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-0.5	1	0	0	0	0.8	0	0	0
229	229F3-25S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-0.5	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8	0.8
230	230F3-26S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-0.5	1	0	0	0	0.8	0	0.8	0.8
231	231QPT1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0.5	1	0	0	0	0	0	0	0
232	232QPT2	1	1	0	0	0	1	1	0	0	-0.5	1	0	0	0	0	0	0	0

dove:

- PERM** : carichi permanenti
- PERM-G2** : carichi permanenti non strutturali
- ACC-M71** : carichi da traffico concentrato LM71 (disposizione per massimizzare il momento)
- ACC-T71** : carichi da traffico concentrato LM71(disposizione per massimizzare il taglio)
- ACC-SW** : carichi da traffico concentrato SW/2
- AVV** : avviamento
- SPTSx** : spinta del terreno sulla parete sx
- SPTDx** : spinta del terreno sulla parete dx
- SPQSx71** : spinta del carico accidentale LM71 sulla parete sx
- SPQDx71** : spinta del carico accidentale LM71 sulla parete dx
- TERM** : termica
- RITIRO** : ritiro
- SISMAH** : azione sismica
- SISDX** : incremento sismico della spinta del terreno
- SPQSxSW** : spinta del carico accidentale SW/2 sulla parete sx
- SPQDxSW** : spinta del carico accidentale SW/2 sulla parete dx

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

9.4 Sollecitazioni

Nella successiva figura vengono rappresentate le sezioni dimensionate e verificate dello scatolare.

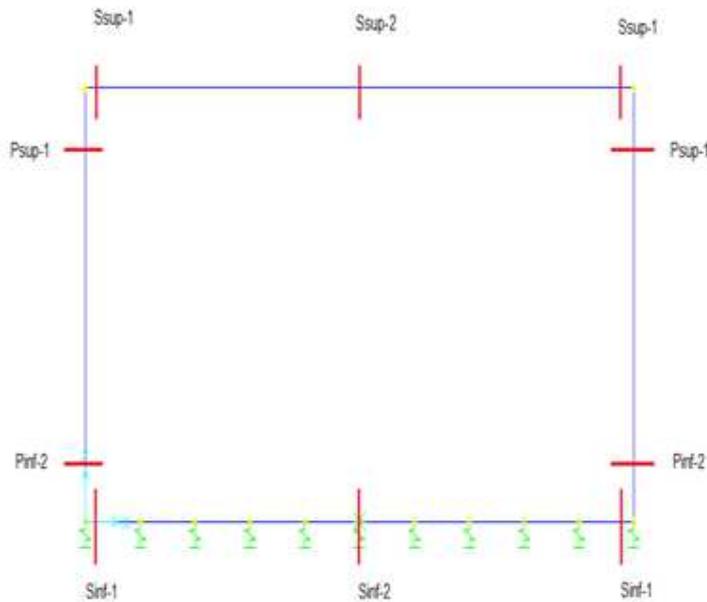


Figura 9.22 - Sezioni di verifica

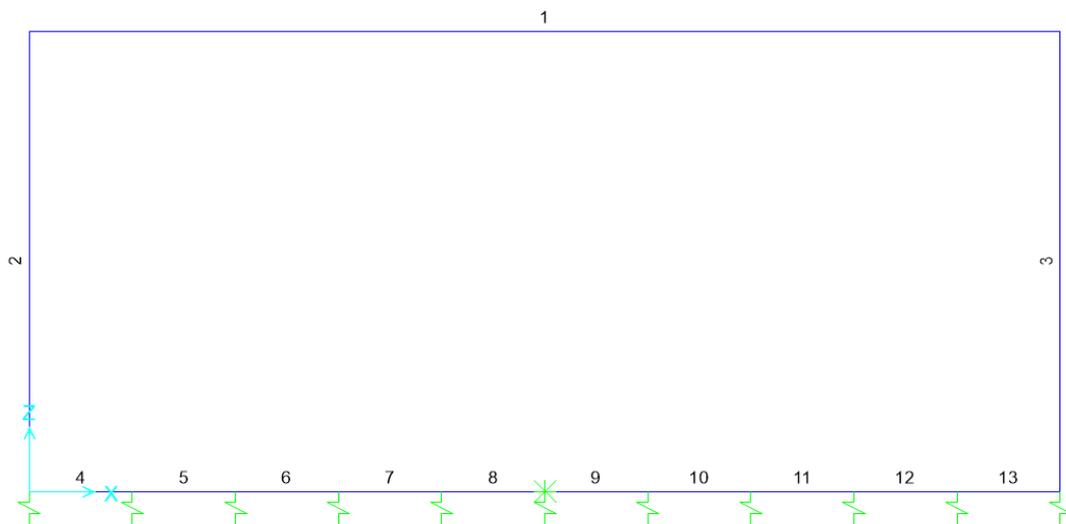


Figura 9.23 - Nomenclatura frame

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

Nelle successive immagini si riportano gli involuipi delle sollecitazioni ottenute dal modello di calcolo.

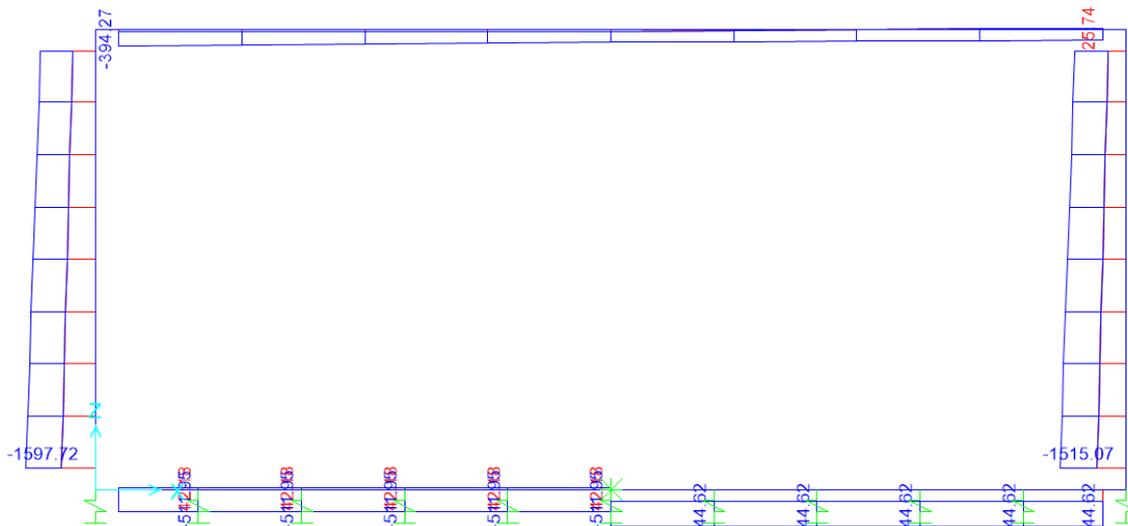


Figura 9.24 - Sforzo Normale – Involuppo SLU (KN)

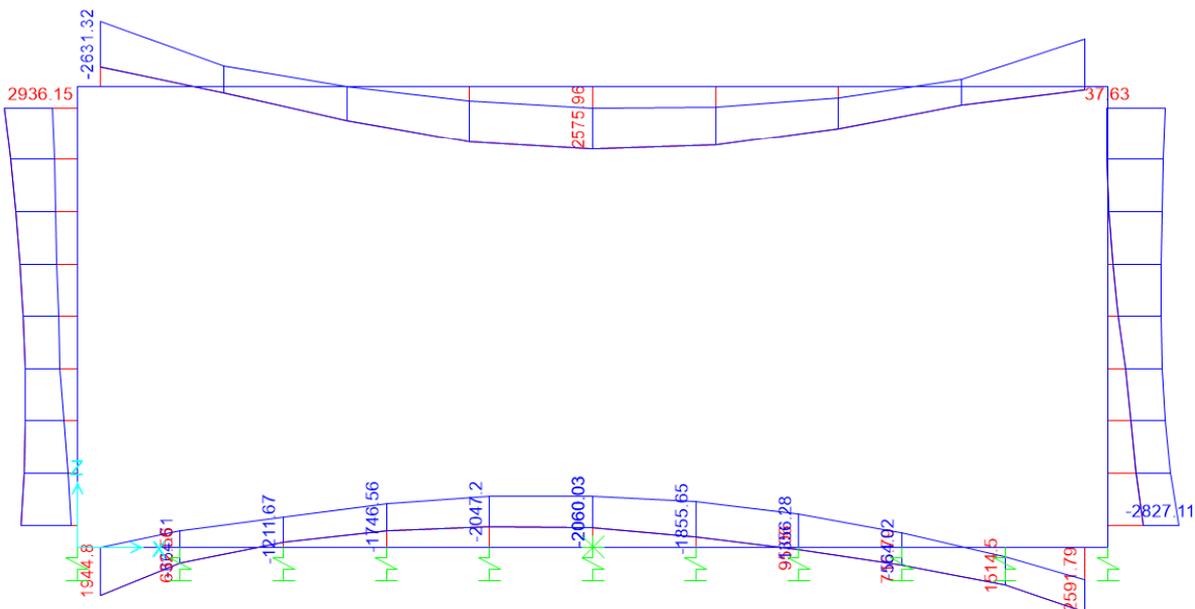


Figura 9.25 - Momento flettente – Involuppo SLU (KNm)

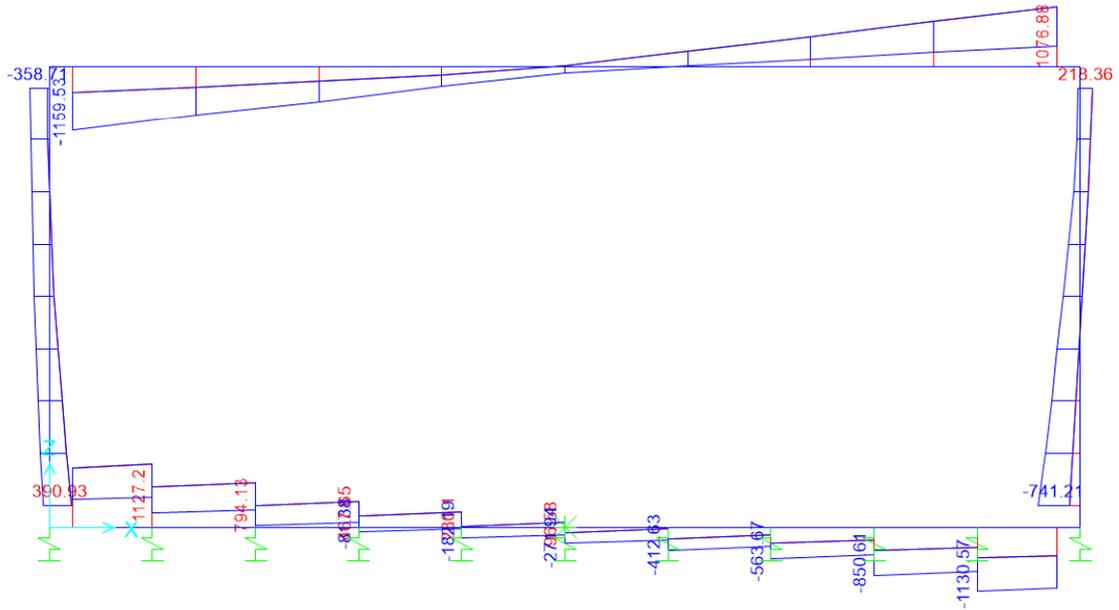


Figura 9.26 - Taglio – Inviluppo SLU (kN)

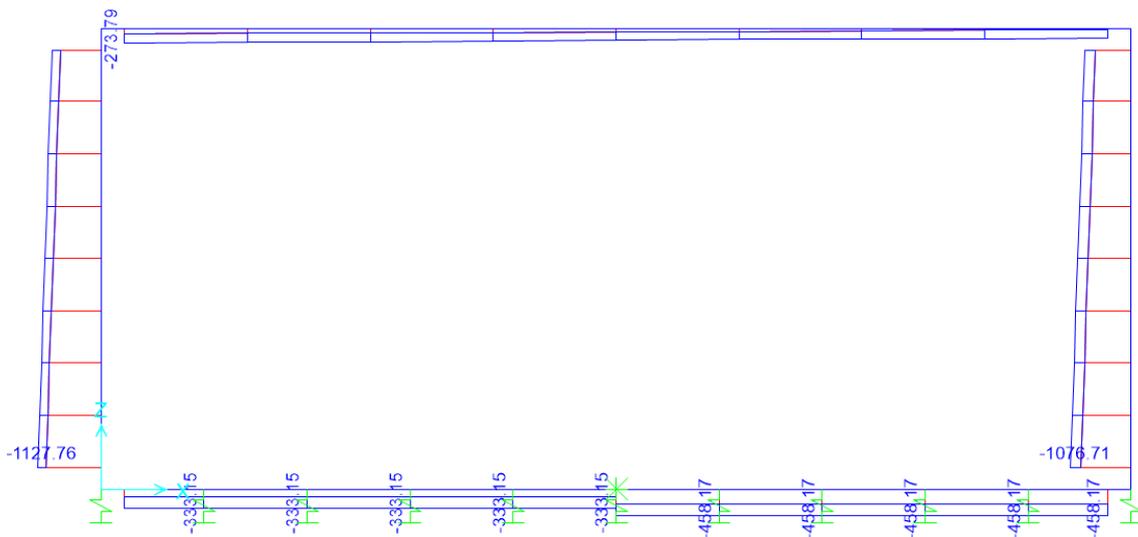


Figura 9.27 - Sforzo Normale – Inviluppo SLE – Rara (kN)

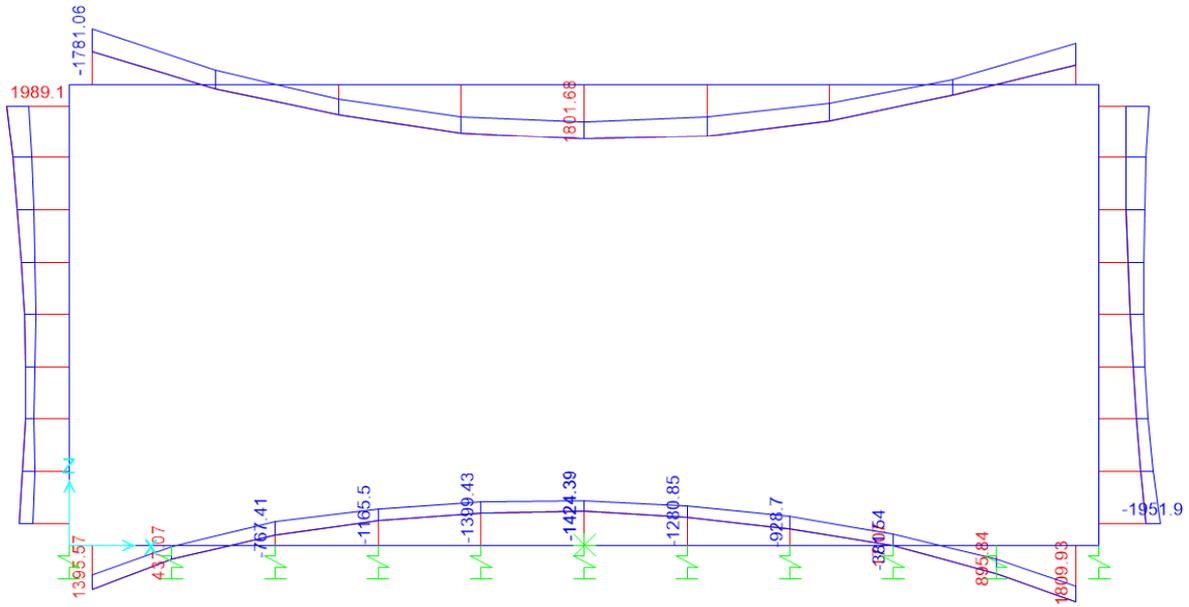


Figura 9.28 - Momento flettente – Inviluppo SLE – Rara (kNm)

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

9.5 Verifiche strutturali

9.5.1 Riepilogo armature

La tabella seguente mostra le armature di forza adottate nello scatolare con riferimento ad una striscia di 1m.

	Arm. tesa		Arm. comp.	
	1° strato	2° strato	1° strato	2° strato
Soletta superiore - Campata	10 Ø26	5 Ø26	5 Ø26	-
Soletta superiore - Appoggio	10 Ø26	5 Ø26	5 Ø26	-
Piedritto - Spiccato	10 Ø26	5 Ø16	10 Ø26	-
Piedritto - Sommità	10 Ø26	5 Ø16	10 Ø26	-
Soletta inferiore - Campata	10 Ø26	5 Ø16	5 Ø26	-
Soletta inferiore - Appoggio	10 Ø26	5 Ø26	5 Ø26	-

L'armatura a taglio, laddove prevista, è indicata nella corrispondente verifica.

9.5.2 Verifica soletta superiore

- Verifica a pressoflessione campata (Solsup-Camp)

Acciaio	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm ²
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$ N/mm ²
Modulo elastico	$E_s = 205000$ N/mm ²
	$\epsilon_{yd} = 0.00191$

Calcestruzzo	
Tipo	C32/40
R _{ck}	40 N/mm ²
f _{ck}	33.2 N/mm ²
γ _c	1.5
f _{cd}	22.1 N/mm ²
f _{cc}	18.8 N/mm ²

copriferro	50	mm
staffe	10	mm
armat. sec.	14	mm

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	h = 140 cm
Base della sezione	b = 100 cm
Copriferro	d' = 8.7 cm
Altezza utile della sezione	d = 131.3 cm

Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
10	26	53.09	cm ²
5	26	26.55	cm ²
		0.00	cm ²
			79.64 cm²

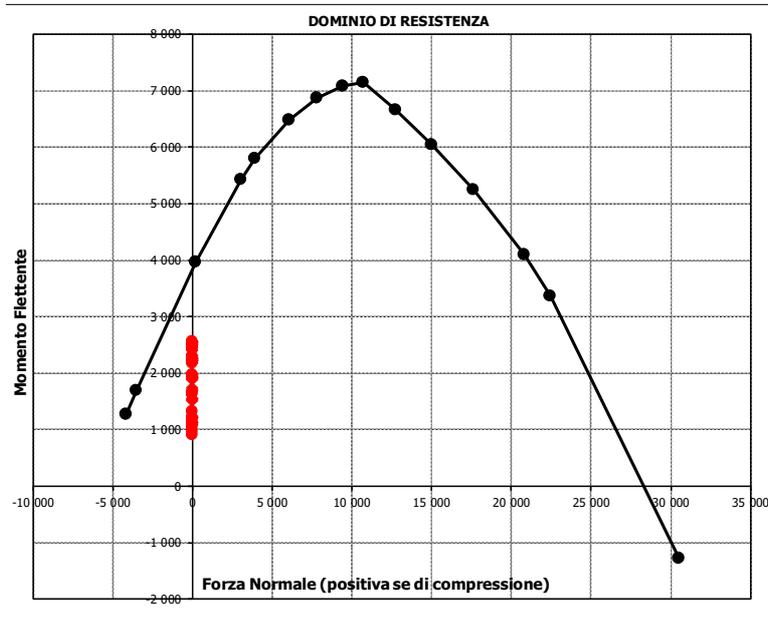
Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm ²
0	0	0.00	cm ²
		0.00	cm ²
			26.55 cm²

Caratteristiche di sollecitazione		
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]

(Mmax)	22S1-26S	0	2576
(Mmin)	74SSS4--	0	913

Caratteristiche di sollecitazione					
Comb.	Nsd	Msd	Comb.	Nsd	Msd

01S1-11M	0	2229	44S1T23M	0	2437
02S1-11T	0	1993	45S1T23T	0	2248
03S1-12M	0	2182	46S1T24-	0	1633
04S1-12T	0	1946	47S1T25-	0	1654
05S1-13M	0	2205	48S1T26S	0	2481
06S1-13T	0	1969	49S1T27S	0	2459
07S1-14-	0	1203	50S1T28S	0	2470
08S1-15-	0	1226	51S1T29S	0	1653
09S1-16S	0	2257	52S1T30S	0	1664
10S1-17S	0	2235	53S3-11M	0	2229
11S1-18S	0	2246	54S3-11T	0	1993
12S1-19S	0	1227	55S3-12M	0	2182
13S1-20S	0	1239	56S3-12T	0	1946
14S1-21M	0	2548	57S3-13M	0	2205
15S1-21T	0	2312	58S3-13T	0	1969
16S1-22M	0	2501	59S3-14S	0	2257
17S1-22T	0	2264	60S3-15S	0	2235
18S1-23M	0	2524	61S3-16S	0	2246
19S1-23T	0	2288	62S3-21M	0	2548
20S1-24-	0	1521	63S3-21T	0	2312
21S1-25-	0	1545	64S3-22M	0	2506
22S1-26S	0	2576	65S3-22T	0	2270
23S1-27S	0	2553	66S3-23M	0	2527
24S1-28S	0	2565	67S3-23T	0	2291
25S1-29S	0	1546	68S3-24S	0	2576
26S1-30S	0	1557	69S3-25S	0	2554
27S1T11M	0	1927	70S3-26S	0	2565
28S1T11T	0	1738	71SSS1--	0	1042
29S1T12M	0	1885	72SSS2--	0	970
30S1T12T	0	1697	73SSS3--	0	1154
31S1T13M	0	1906	74SSS4--	0	913
32S1T13T	0	1717	75SSS5--	0	1219
33S1T14-	0	1102	76SSS6--	0	1147
34S1T15-	0	1123	77SSS7--	0	1331
35S1T16S	0	1950	78SSS8--	0	1090
36S1T17S	0	1928	79SSS9S	0	1048
37S1T18S	0	1939	80SSS10S	0	975
38S1T19S	0	1122	81SSS11S	0	1160
39S1T20S	0	1133	82SSS12S	0	918
40S1T21M	0	2458	83SSS13S	0	1225
41S1T21T	0	2269	84SSS14S	0	1153
42S1T22M	0	2417	85SSS15S	0	1337
43S1T22T	0	2228	86SSS16S	0	1096



• **Verifica a pressoflessione appoggio (Solsup-App)**

Acciaio	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm ²
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$ N/mm ²
Modulo elastico	$E_s = 205000$ N/mm ²
	$\epsilon_{yd} = 0.00191$

Calcestruzzo	
Tipo	C32/40
R_{ck}	40 N/mm ²
f_{ck}	33.2 N/mm ²
γ_c	1.5
f_{cd}	22.1 N/mm ²
f_{ctc}	18.8 N/mm ²

copriferro	50	mm
staffe	10	mm
armat. sec.	14	mm

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 140$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copri ferro	$d' = 8.7$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 131.3$ cm

Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
10	26	53.09	cm ²
5	26	26.55	cm ²
		0.00	cm ²
		79.64	cm²

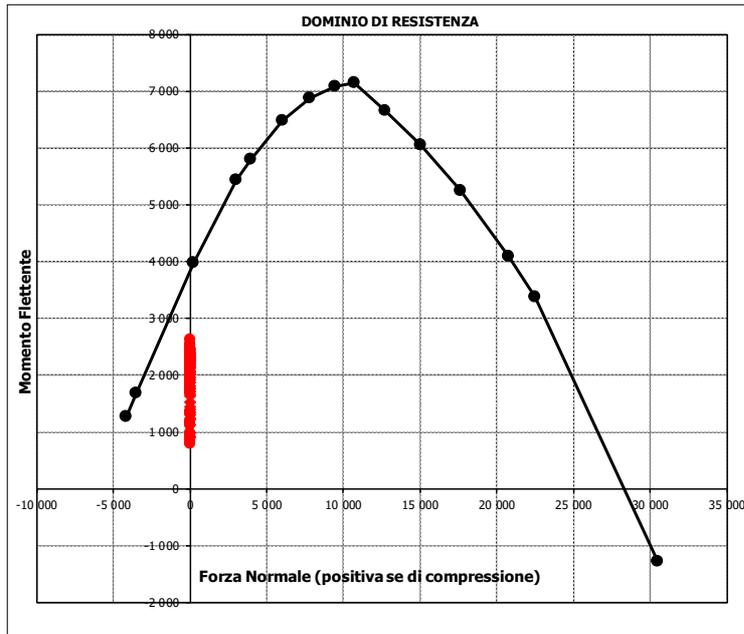
Armatura compressa		
N° ferri	Diametro	Area
5	26	26.55
0	0	0.00
		0.00
		26.55
		cm²

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	

(Mmax)	57S3-13M	0	2631
(Mmin)	51S1T29S	0	797

Caratteristiche di sollecitazione					
Comb.	Nsd	Msd	Comb.	Nsd	Msd

01S1-11M	0	2196	44S1T23M	0	1936
02S1-11T	0	2080	45S1T23T	0	1843
03S1-12M	0	2243	46S1T24-	0	816
04S1-12T	0	2127	47S1T25-	0	989
05S1-13M	0	2444	48S1T26S	0	1776
06S1-13T	0	2328	49S1T27S	0	1798
07S1-14-	0	1247	50S1T28S	0	1872
08S1-15-	0	1448	51S1T29S	0	797
09S1-16S	0	2264	52S1T30S	0	871
10S1-17S	0	2286	53S3-11M	0	2383
11S1-18S	0	2364	54S3-11T	0	2267
12S1-19S	0	1222	55S3-12M	0	2430
13S1-20S	0	1300	56S3-12T	0	2314
14S1-21M	0	1877	57S3-13M	0	2631
15S1-21T	0	1761	58S3-13T	0	2515
16S1-22M	0	1924	59S3-14S	0	2451
17S1-22T	0	1808	60S3-15S	0	2474
18S1-23M	0	2125	61S3-16S	0	2552
19S1-23T	0	2009	62S3-21M	0	2064
20S1-24-	0	928	63S3-21T	0	1948
21S1-25-	0	1129	64S3-22M	0	2106
22S1-26S	0	1945	65S3-22T	0	1990
23S1-27S	0	1968	66S3-23M	0	2278
24S1-28S	0	2046	67S3-23T	0	2162
25S1-29S	0	904	68S3-24S	0	2132
26S1-30S	0	982	69S3-25S	0	2154
27S1T11M	0	2252	70S3-26S	0	2228
28S1T11T	0	2160	71SSS1--	0	1946
29S1T12M	0	2294	72SSS2--	0	1883
30S1T12T	0	2201	73SSS3--	0	1354
31S1T13M	0	2467	74SSS4--	0	1144
32S1T13T	0	2374	75SSS5--	0	1769
33S1T14-	0	1347	76SSS6--	0	1706
34S1T15-	0	1520	77SSS7--	0	1177
35S1T16S	0	2307	78SSS8--	0	967
36S1T17S	0	2329	79SSS9S	0	1935
37S1T18S	0	2403	80SSS10S	0	1872
38S1T19S	0	1328	81SSS11S	0	1343
39S1T20S	0	1402	82SSS12S	0	1133
40S1T21M	0	1721	83SSS13S	0	1758
41S1T21T	0	1629	84SSS14S	0	1695
42S1T22M	0	1763	85SSS15S	0	1166
43S1T22T	0	1670	86SSS16S	0	956



- Verifica a taglio

La verifica a taglio viene condotta nel seguente modo:

1. Verifica della sezione senza armatura al taglio → se $V_{Ed} < V_{Rd1}$ la verifica è soddisfatta;
2. Altrimenti si verifica la sezione con armatura a taglio → se $V_{Ed} < V_{Rd2}$ la verifica è soddisfatta.

Calcestruzzo

Tipo	C32/40	
R_{ck}	40	N/mm ²
f_{ck}	33.2	N/mm ²
γ_c	1.5	
α_{cc}	0.85	
f_{cd}	18.8	N/mm ²

Acciaio

f_{tk}	540	N/mm ²
f_{yk}	450	N/mm ²
γ_s	1.15	
f_{yd}	391	N/mm ²

Sollecitazioni

V_{Ed}	kN	1160
N_{Ed}	kN	0

Soletta sup

Armatura a taglio

Diametro	mm	10
Numero barre		5
A_{sw}	cm ²	3.93
Passo s	cm	20
Angolo α	°	90

Armatura longitudinale

n_1		10
\varnothing_1	mm	26
n_2		5
\varnothing_2	mm	26
A_{sl}	cm ²	79.64

Sezione

b_w	cm	100
H	cm	140
c	cm	8.7
d	cm	131.3
k	N/mm ²	1.39
v_{min}	N/mm ²	0.33
ρ		0.0061
σ_{cp}	N/mm ²	0.00
α_c		1.00

Resistenza senza armatura a taglio

V_{Rd}	kN	596
V_{Rd}	kN	NECESSITA ARMATURA A TAGLIO

Resistenza con armatura a taglio

$\cot\alpha$		0.5
v		0.5
ω_{sw}		0.04
$\cot\theta$		2.50
Inclinazione puntone θ	°	21.8
V_{RSd}	kN	2270
V_{RCd}	kN	3833
V_{Rd}	kN	2270
V_{Rd}	kN	VERIFICATO

• Verifica a fessurazione campata (Solsup-Camp)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	1802	kN m
Sforzo normale	N	0	kN

Materiali

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	R_{ck}	40	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	f_{ck}	33.2	N/mm ²
Modulo elastico del calcestruzzo	E_{cm}	33642.78	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{amm}	18.3	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.5	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.4	N/mm ²
Tensione di snervamento acciaio	f_{yk}	450.00	N/mm ²
Modulo elastico dell'acciaio	E_s	205000.00	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{amm}	337.5	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	140	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armadura compressa (1° strato)	AS_1'	26.55	cm ²	5 Ø 26	$c_{s1} = \text{8.7}$ cm
Armadura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	0 Ø 0	$c_{s2} = \text{10.0}$ cm
Armadura tesa (2° strato)	AS_2	26.55	cm ²	5 Ø 26	$c_{t2} = \text{11.3}$ cm
Armadura tesa (1° strato)	AS_1	53.09	cm ²	10 Ø 26	$c_{t1} = \text{8.7}$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	6.3	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	195.4	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	∞	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	42.7	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	15487	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	28727630.81	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id}^*	12252186.26	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	995	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	1421	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	∞	cm	
	u (M_{fess})	∞	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	5.0		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	154.1	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	42.7	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	32.43	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.1	-	
Armadura nell'area efficace	AS_{eff}	79.64	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	3242.75	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0246	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.000300675	-	
Copriferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K_1	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K_2	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	K_3	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K_4	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	ϕ_{eq}	26.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs_{max}	349.9733495	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs_m	205.8666762	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.06	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.11	mm	

• Verifica a fessurazione appoggio (Solsup-App)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	1781	kN m
Sforzo normale	N	0	kN

Materiali

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	R_{ck}	40	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	f_{ck}	33.2	N/mm ²
Modulo elastico del calcestruzzo	E_{cm}	33642.78	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{amm}	18.3	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.5	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.4	N/mm ²
Tensione di snervamento acciaio	f_{yk}	450.00	N/mm ²
Modulo elastico dell'acciaio	E_s	205000.00	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	337.5	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	140	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	26.55	cm ²	5 Ø 26	$C_{s1} = \text{8.7}$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	0 Ø 0	$C_{s2} = \text{10.0}$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	26.55	cm ²	5 Ø 26	$C_{t2} = \text{11.3}$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	53.09	cm ²	10 Ø 26	$C_{t1} = \text{8.7}$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	6.2	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	193.2	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	∞	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	42.7	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	15487	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	28727630.81	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id+}	12252186.26	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	995	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	1421	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	∞	cm	
	u (M_{fess})	∞	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	5.0		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	154.1	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	42.7	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	32.43	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	79.64	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	3242.75	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0246	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.000300675	-	
Copriferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K_1	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K_2	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	K_3	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K_4	0.425	-	
Diametro equivalente delle barre di armatura	ϕ_{eq}	26.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	ΔS_{max}	349.9733495	mm	
Distanza media tra le fessure	ΔS_m	205.8666762	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.06	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.11	mm	

9.5.3 Verifica piedritti

- Verifica a pressoflessione spiccato (Pied-Spicc)

Acciaio	
Tensione car. di rottura	$f_{ik} = 540$ N/mm ²
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$ N/mm ²
Modulo elastico	$E_s = 205000$ N/mm ²
	$\epsilon_{yd} = 0.00191$

Calcestruzzo	
Tipo	C32/40
R _{ck}	40 N/mm ²
f _{ck}	33.2 N/mm ²
γ_c	1.5
f _{cd}	22.1 N/mm ²
f _{cc}	18.8 N/mm ²

copriferro	50	mm
staffe	10	mm
armat. sec.	14	mm

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 150$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 8.7$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 141.3$ cm

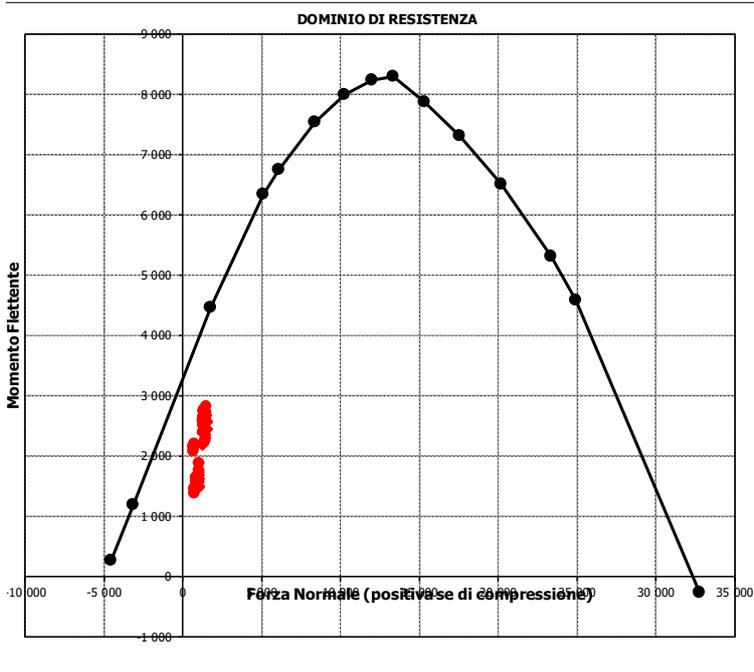
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
10	26	53.09	cm ²
5	16	10.05	cm ²
		0.00	cm ²
63.15 cm²			

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
10	26	53.09	cm ²
0	0	0.00	cm ²
		0.00	cm ²
53.09 cm²			

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax) 09S1-16S	1515	2451	
(Nmin) 72SS2--	667	2090	
(Mmax) 70S3-26S	1480	2827	
(Mmin) 74SS4--	705	1394	

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	1417	2294	44S1T23M	1297	2641
02S1-11T	1344	2252	45S1T23T	1239	2607
03S1-12M	1417	2293	46S1T24-	1037	1675
04S1-12T	1344	2251	47S1T25-	1013	1892
05S1-13M	1388	2543	48S1T26S	1401	2551
06S1-13T	1316	2501	49S1T27S	1401	2549
07S1-14-	1037	1514	50S1T28S	1390	2649
08S1-15-	1009	1764	51S1T29S	1037	1674
09S1-16S	1515	2451	52S1T30S	1027	1774
10S1-17S	1515	2449	53S3-11M	1393	2451
11S1-18S	1504	2553	54S3-11T	1321	2409
12S1-19S	1037	1513	55S3-12M	1393	2450
13S1-20S	1026	1618	56S3-12T	1321	2408
14S1-21M	1417	2415	57S3-13M	1364	2700
15S1-21T	1344	2373	58S3-13T	1292	2658
16S1-22M	1417	2414	59S3-14S	1491	2608
17S1-22T	1344	2372	60S3-15S	1491	2606
18S1-23M	1388	2664	61S3-16S	1480	2711
19S1-23T	1316	2622	62S3-21M	1393	2572
20S1-24-	1037	1635	63S3-21T	1321	2530
21S1-25-	1009	1885	64S3-22M	1393	2571
22S1-26S	1515	2572	65S3-22T	1321	2529
23S1-27S	1515	2570	66S3-23M	1368	2787
24S1-28S	1504	2674	67S3-23T	1296	2745
25S1-29S	1037	1634	68S3-24S	1491	2730
26S1-30S	1026	1739	69S3-25S	1491	2727
27S1T11M	1322	2224	70S3-26S	1480	2827
28S1T11T	1264	2190	71SSS1--	703	2145
29S1T12M	1322	2223	72SSS2--	667	2090
30S1T12T	1264	2189	73SSS3--	826	1580
31S1T13M	1297	2439	74SSS4--	705	1394
32S1T13T	1239	2405	75SSS5--	703	2213
33S1T14-	1037	1474	76SSS6--	667	2157
34S1T15-	1013	1690	77SSS7--	826	1648
35S1T16S	1401	2350	78SSS8--	705	1461
36S1T17S	1401	2347	79SSS9S	719	2147
37S1T18S	1390	2447	80SSS10S	682	2091
38S1T19S	1037	1473	81SSS11S	841	1582
39S1T20S	1027	1573	82SSS12S	721	1396
40S1T21M	1322	2426	83SSS13S	719	2214
41S1T21T	1264	2392	84SSS14S	682	2158
42S1T22M	1322	2424	85SSS15S	841	1649
43S1T22T	1264	2391	86SSS16S	721	1463



• Verifica a pressoflessione sommità (Pied-Sommità)

Acciaio	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm ²
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$ N/mm ²
Modulo elastico	$E_s = 205000$ N/mm ²
	$\epsilon_{yd} = 0.00191$

Calcestruzzo	
Tipo	C32/40
R_{ck}	40 N/mm ²
f_{ck}	33.2 N/mm ²
γ_c	1.5
f_{cd}	22.1 N/mm ²
f_{cc}	18.8 N/mm ²

coprifermo	50 mm
staffe	10 mm
armat. sec.	14 mm

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 150$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Coprifermo	$d' = 8.7$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 141.3$ cm

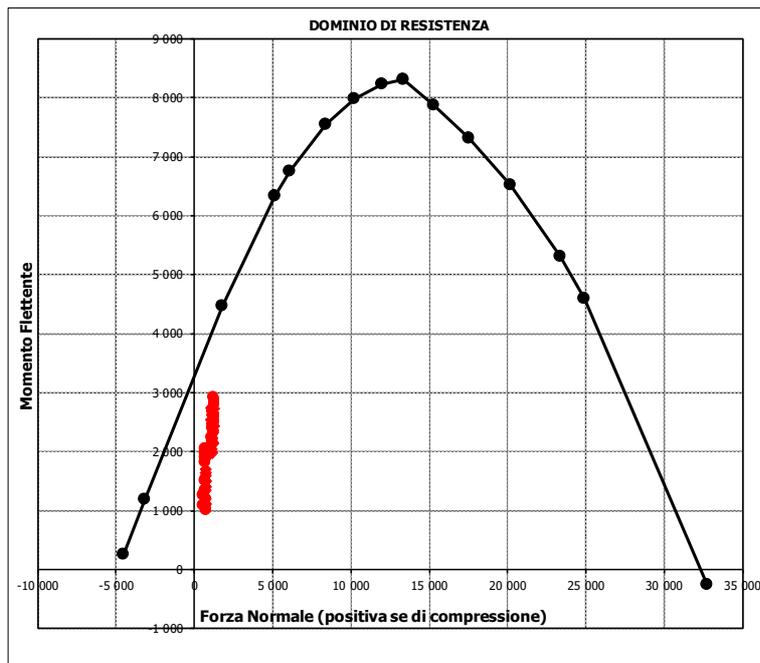
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
10	26	53.09	cm ²
5	16	10.05	cm ²
		0.00	cm ²
63.15 cm²			

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
10	26	53.09	cm ²
0	0	0.00	cm ²
		0.00	cm ²
53.09 cm²			

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)	6153-16S	1253	-2902
(Nmin)	74SS4--	525	-1266
(Mmax)	57S3-13M	1172	2936
(Mmin)	51S1T29S	693	1011

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	1120	2523	44S1T23M	1078	2248
02S1-11T	1192	2439	45S1T23T	1136	2181
03S1-12M	1120	2528	46S1T24-	693	1012
04S1-12T	1192	2444	47S1T25-	718	1209
05S1-13M	1148	2757	48S1T26S	1132	2131
06S1-13T	1221	2673	49S1T27S	1132	2135
07S1-14-	693	1409	50S1T28S	1143	2221
08S1-15-	722	1637	51S1T29S	693	1011
09S1-16S	1218	2629	52S1T30S	704	1097
10S1-17S	1218	2633	53S3-11M	1144	2702
11S1-18S	1230	2724	54S3-11T	1216	2618
12S1-19S	693	1408	55S3-12M	1144	2707
13S1-20S	705	1498	56S3-12T	1216	2623
14S1-21M	1120	2226	57S3-13M	1172	2936
15S1-21T	1192	2142	58S3-13T	1245	2852
16S1-22M	1120	2231	59S3-14S	1242	2808
17S1-22T	1192	2147	60S3-15S	1242	2812
18S1-23M	1148	2460	61S3-16S	1253	2902
19S1-23T	1221	2376	62S3-21M	1144	2405
20S1-24-	693	1111	63S3-21T	1216	2321
21S1-25-	722	1340	64S3-22M	1144	2410
22S1-26S	1218	2332	65S3-22T	1216	2326
23S1-27S	1218	2336	66S3-23M	1168	2607
24S1-28S	1230	2426	67S3-23T	1241	2523
25S1-29S	693	1111	68S3-24S	1242	2511
26S1-30S	705	1201	69S3-25S	1242	2515
27S1T11M	1054	2541	70S3-26S	1253	2601
28S1T11T	1112	2474	71SS1--	684	2066
29S1T12M	1054	2546	72SS2--	648	1991
30S1T12T	1112	2479	73SS3--	645	1516
31S1T13M	1078	2743	74SS4--	525	1266
32S1T13T	1136	2676	75SS5--	684	1901
33S1T14-	693	1507	76SS6--	648	1826
34S1T15-	718	1704	77SS7--	645	1351
35S1T16S	1132	2626	78SS8--	525	1100
36S1T17S	1132	2630	79SS9S	696	2062
37S1T18S	1143	2716	80SS10S	659	1986
38S1T19S	693	1507	81SS11S	657	1512
39S1T20S	704	1593	82SS12S	537	1261
40S1T21M	1054	2046	83SS13S	696	1896
41S1T21T	1112	1979	84SS14S	659	1821
42S1T22M	1054	2051	85SS15S	657	1347
43S1T22T	1112	1984	86SS16S	537	1096



- Verifica a taglio

La verifica a taglio viene condotta nel seguente modo:

1. Verifica della sezione senza armatura al taglio → se $V_{Ed} < V_{Rd1}$ la verifica è soddisfatta;
2. Altrimenti si verifica la sezione con armatura a taglio → se $V_{Ed} < V_{Rd2}$ la verifica è soddisfatta.

Calcestruzzo

Tipo	C32/40	
R_{ck}	40	N/mm ²
f_{ck}	33.2	N/mm ²
γ_c	1.5	
α_{cc}	0.85	
f_{cd}	18.8	N/mm ²

Acciaio

f_{tk}	540	N/mm ²
f_{yk}	450	N/mm ²
γ_s	1.15	
f_{yd}	391	N/mm ²

Sollecitazioni

V_{Ed}	kN	925
N_{Ed}	kN	0

Piedritto

Armatura a taglio

Diametro	mm	10
Numero barre		5
A_{sw}	cm ²	3.93
Passo s	cm	20
Angolo α	°	90

Armatura longitudinale

n_1		10
\varnothing_1	mm	26
n_2		5
\varnothing_2	mm	16
Asl	cm ²	63.15

Sezione

b_w	cm	100
H	cm	150
c	cm	8.7
d	cm	141.3
k	N/mm ²	1.38
v_{min}	N/mm ²	0.33
ρ		0.0045
σ_{cp}	N/mm ²	0.00
α_c		1.00

Resistenza senza armatura a taglio

V_{Rd}	kN	573
V_{Rd}	kN	NECESSITA ARMATURA A TAGLIO

Resistenza con armatura a taglio

$\cot\alpha$		0.5
v		0.5
ω_{sw}		0.04
$\cot\theta$		2.50
Inclinazione puntone θ	°	21.8
V_{RSd}	kN	2443
V_{RCd}	kN	4125
V_{Rd}	kN	2443
V_{Rd}	kN	VERIFICATO

- Verifica a fessurazione spiccato (Pied-Spicc)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	1952	kN m
Sforzo normale	N	1214	kN

Materiali

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	R_{ck}	40	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	f_{ck}	33.2	N/mm ²
Modulo elastico del calcestruzzo	E_{cm}	33642.78	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{amm}	18.3	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.5	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.4	N/mm ²
Tensione di snervamento acciaio	f_{yk}	450.00	N/mm ²
Modulo elastico dell'acciaio	E_s	205000.00	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	337.5	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	150	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	53.09	cm ²	10 Ø 26	$C_{s1} = \blacktriangledown$ 8.7 cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	0 Ø 0	$C_{s2} = \blacktriangledown$ 10.0 cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	10.05	cm ²	5 Ø 16	$C_{t2} = \blacktriangledown$ 10.8 cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	53.09	cm ²	10 Ø 26	$C_{t1} = \blacktriangledown$ 8.7 cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	6.5	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	157.8	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	160.8	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	85.8	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	54.2	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	16627	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	35747928.65	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id+}	14077572.1	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	1503	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	1998	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	164.6	cm	
	u (M_{fess})	89.6	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	6.7		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	163.3	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	53.7	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	32.09	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	63.15	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	3208.77	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0197	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.00031865	-	
Copriferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K_1	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K_2	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	K_3	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K_4	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr edi armatura	ϕ_{eq}	23.65	mm	
Distanza massima tra le fessure	ΔS_{max}	374.2767891	mm	
Distanza media tra le fessure	ΔS_m	220.1628171	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.07	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.12	mm	

- Verifica a fessurazione sommità (Pied-Sommità)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	1989	kN m
Sforzo normale	N	1297	kN

Materiali

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	R_{ck}	40	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	f_{ck}	33.2	N/mm ²
Modulo elastico del calcestruzzo	E_{cm}	33642.78	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{amm}	18.3	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.5	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.4	N/mm ²
Tensione di snervamento acciaio	f_{yk}	450.00	N/mm ²
Modulo elastico dell'acciaio	E_s	205000.00	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	337.5	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	150	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	53.09	cm ²	10 Ø 26	$C_{s1} = \blacktriangledown$ 8.7 cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	0 Ø 0	$C_{s2} = \blacktriangledown$ 10.0 cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	10.05	cm ²	5 Ø 16	$C_{t2} = \blacktriangledown$ 10.8 cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	53.09	cm ²	10 Ø 26	$C_{t1} = \blacktriangledown$ 8.7 cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	6.7	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	157.0	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	153.4	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	78.4	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	55.0	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	16627	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	35747928.65	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id+}	14257865.93	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	1527	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	2022	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	156.0	cm	
	u (M_{fess})	81.0	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	6.8		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	161.0	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	54.7	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	31.76	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	63.15	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	3176.26	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0199	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.000314072	-	
Copriferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K_1	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K_2	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	K_3	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K_4	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	ϕ_{eq}	23.65	mm	
Distanza massima tra le fessure	ΔS_{max}	372.2071363	mm	
Distanza media tra le fessure	ΔS_m	218.9453743	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.07	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.12	mm	

9.5.4 Verifica soletta inferiore

- Verifica a pressoflessione campata (Solinf-Camp)

Acciaio	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico	$E_s = 205000 \text{ N/mm}^2$
	$\epsilon_{yd} = 0.00191$

Calcestruzzo	
Tipo	C32/40
R_{ck}	40 N/mm ²
f_{ck}	33.2 N/mm ²
γ_c	1.5
f_{cd}	22.1 N/mm ²
f_{cc}	18.8 N/mm ²

copriferro	50 mm
staffe	10 mm
armat. sec.	14 mm

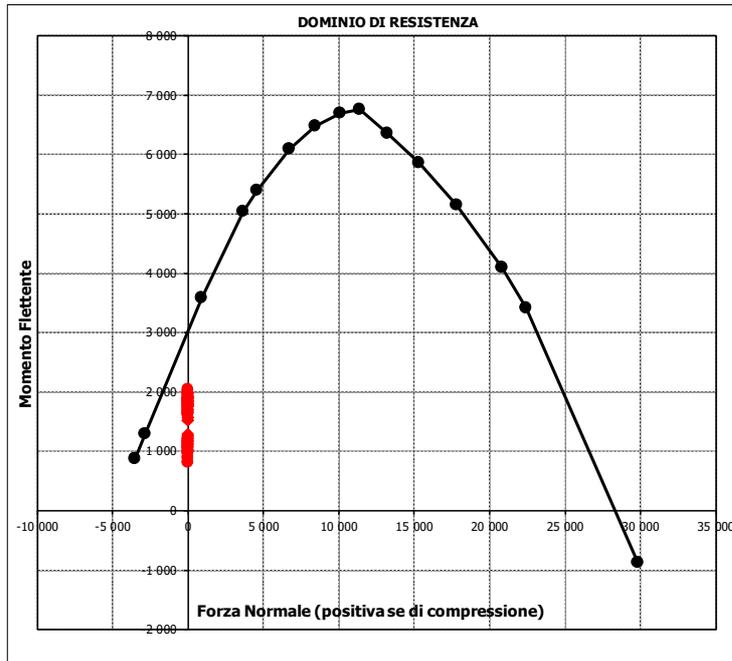
Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 140 \text{ cm}$
Base della sezione	$b = 100 \text{ cm}$
Copri ferro	$d' = 8.7 \text{ cm}$
Altezza utile della sezione	$d = 131.3 \text{ cm}$

Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
10	26	53.09 cm ²	
5	16	10.05 cm ²	
		63.15 cm²	

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55 cm ²	
0	0	0.00 cm ²	
		26.55 cm²	

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	

(Mmax)	61S3-16S	0	2047
(Mmin)	78SSS8--	0	819



Caratteristiche di sollecitazione					
Comb.	Nsd	Msd	Comb.	Nsd	Msd

01S1-11M	0	1833	44S1T23M	0	1620
02S1-11T	0	1842	45S1T23T	0	1627
03S1-12M	0	1786	46S1T24-	0	1648
04S1-12T	0	1794	47S1T25-	0	1058
05S1-13M	0	1899	48S1T26S	0	1670
06S1-13T	0	1907	49S1T27S	0	1648
07S1-14-	0	1139	50S1T28S	0	1695
08S1-15-	0	1251	51S1T29S	0	980
09S1-16S	0	1966	52S1T30S	0	1026
10S1-17S	0	1943	53S3-11M	0	1888
11S1-18S	0	1992	54S3-11T	0	1897
12S1-19S	0	1163	55S3-12M	0	1841
13S1-20S	0	1212	56S3-12T	0	1850
14S1-21M	0	1695	57S3-13M	0	1954
15S1-21T	0	1704	58S3-13T	0	1962
16S1-22M	0	1648	59S3-14S	0	2021
17S1-22T	0	1656	60S3-15S	0	1998
18S1-23M	0	1761	61S3-16S	0	2047
19S1-23T	0	1769	62S3-21M	0	1750
20S1-24-	0	1001	63S3-21T	0	1759
21S1-25-	0	1113	64S3-22M	0	1709
22S1-26S	0	1828	65S3-22T	0	1717
23S1-27S	0	1805	66S3-23M	0	1807
24S1-28S	0	1854	67S3-23T	0	1815
25S1-29S	0	1025	68S3-24S	0	1883
26S1-30S	0	1074	69S3-25S	0	1861
27S1T11M	0	1794	70S3-26S	0	1908
28S1T11T	0	1801	71SSS1--	0	1203
29S1T12M	0	1752	72SSS2--	0	1151
30S1T12T	0	1759	73SSS3--	0	1070
31S1T13M	0	1850	74SSS4--	0	896
32S1T13T	0	1857	75SSS5--	0	1127
33S1T14-	0	1190	76SSS6--	0	1075
34S1T15-	0	1288	77SSS7--	0	993
35S1T16S	0	1900	78SSS8--	0	819
36S1T17S	0	1878	79SSS9S	0	1216
37S1T18S	0	1925	80SSS10S	0	1164
38S1T19S	0	1210	81SSS11S	0	1082
39S1T20S	0	1256	82SSS12S	0	909
40S1T21M	0	1564	83SSS13S	0	1140
41S1T21T	0	1571	84SSS14S	0	1087
42S1T22M	0	1522	85SSS15S	0	1006
43S1T22T	0	1529	86SSS16S	0	832

• Verifica a pressoflessione appoggio (Solinf-App)

Acciaio	
Tensione car. di rottura	$f_{tk} = 540$ N/mm ²
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$ N/mm ²
Modulo elastico	$E_s = 205000$ N/mm ²
	$\epsilon_{yd} = 0.00191$

Calcestruzzo	
Tipo	C32/40
R_{ck}	40 N/mm ²
f_{ck}	33.2 N/mm ²
γ_c	1.5
f_{cd}	22.1 N/mm ²
f_{ct}	18.8 N/mm ²

copriferro	50	mm
staffe	10	mm
armat. sec.	14	mm

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 140$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 8.7$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 131.3$ cm

Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
10	26	53.09	cm ²
5	26	26.55	cm ²
		0.00	cm ²
			79.64 cm ²

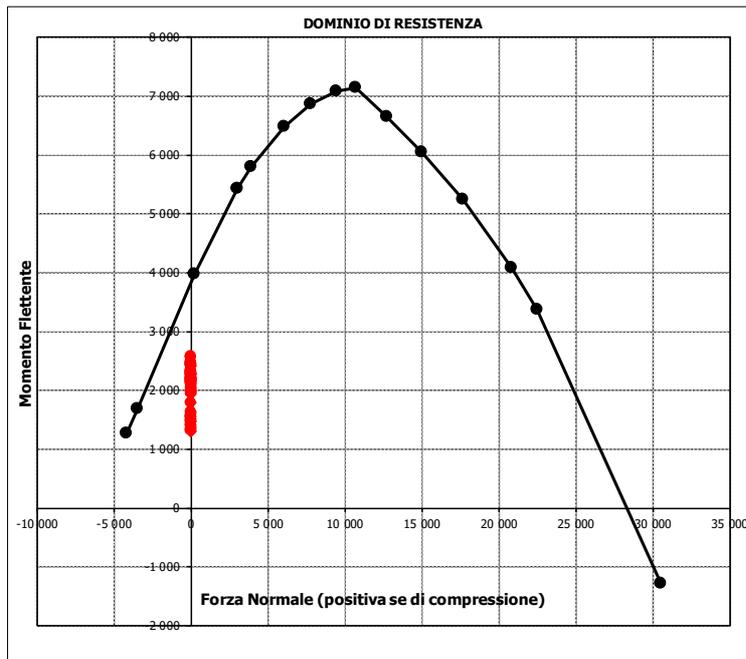
Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm ²
0	0	0.00	cm ²
		0.00	cm ²
			26.55 cm ²

Caratteristiche di sollecitazione		
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]

(Mmax)	66S3-23M	0	2592
(Mmin)	38S1T19S	0	1304

Caratteristiche di sollecitazione					
Comb.	Nsd	Msd	Comb.	Nsd	Msd

01S1-11M	0	1996	44S1T23M	0	2471
02S1-11T	0	1975	45S1T23T	0	2454
03S1-12M	0	2045	46S1T24-	0	1561
04S1-12T	0	2023	47S1T25-	0	1797
05S1-13M	0	2317	48S1T26S	0	2298
06S1-13T	0	2296	49S1T27S	0	2321
07S1-14-	0	1377	50S1T28S	0	2430
08S1-15-	0	1649	51S1T29S	0	1541
09S1-16S	0	2128	52S1T30S	0	1650
10S1-17S	0	2152	53S3-11M	0	2171
11S1-18S	0	2266	54S3-11T	0	2150
12S1-19S	0	1352	55S3-12M	0	2219
13S1-20S	0	1466	56S3-12T	0	2198
14S1-21M	0	2138	57S3-13M	0	2492
15S1-21T	0	2117	58S3-13T	0	2471
16S1-22M	0	2187	59S3-14S	0	2303
17S1-22T	0	2166	60S3-15S	0	2327
18S1-23M	0	2460	61S3-16S	0	2441
19S1-23T	0	2438	62S3-21M	0	2313
20S1-24-	0	1519	63S3-21T	0	2292
21S1-25-	0	1792	64S3-22M	0	2356
22S1-26S	0	2271	65S3-22T	0	2335
23S1-27S	0	2294	66S3-23M	0	2592
24S1-28S	0	2408	67S3-23T	0	2571
25S1-29S	0	1494	68S3-24S	0	2446
26S1-30S	0	1608	69S3-25S	0	2468
27S1T11M	0	1955	70S3-26S	0	2577
28S1T11T	0	1938	71SSS1--	0	2190
29S1T12M	0	1998	72SSS2--	0	2145
30S1T12T	0	1981	73SSS3--	0	1490
31S1T13M	0	2234	74SSS4--	0	1340
32S1T13T	0	2217	75SSS5--	0	2269
33S1T14-	0	1324	76SSS6--	0	2224
34S1T15-	0	1559	77SSS7--	0	1569
35S1T16S	0	2061	78SSS8--	0	1419
36S1T17S	0	2084	79SSS9S	0	2183
37S1T18S	0	2192	80SSS10S	0	2138
38S1T19S	0	1304	81SSS11S	0	1483
39S1T20S	0	1412	82SSS12S	0	1333
40S1T21M	0	2192	83SSS13S	0	2262
41S1T21T	0	2175	84SSS14S	0	2217
42S1T22M	0	2235	85SSS15S	0	1562
43S1T22T	0	2218	86SSS16S	0	1412



- Verifica a taglio

La verifica a taglio viene condotta nel seguente modo:

1. Verifica della sezione senza armatura al taglio → se $V_{Ed} < V_{Rd1}$ la verifica è soddisfatta;
2. Altrimenti si verifica la sezione con armatura a taglio → se $V_{Ed} < V_{Rd2}$ la verifica è soddisfatta.

Calcestruzzo

Tipo	C32/40	
R_{ck}	40	N/mm ²
f_{ck}	33.2	N/mm ²
γ_c	1.5	
α_{cc}	0.85	
f_{cd}	18.8	N/mm ²

Acciaio

f_{tk}	540	N/mm ²
f_{yk}	450	N/mm ²
γ_s	1.15	
f_{yd}	391	N/mm ²

Sollecitazioni

V_{Ed}	kN	702
N_{Ed}	kN	0

Soletta inf

Armatura a taglio

Diametro	mm	10
Numero barre		5
A_{sw}	cm ²	3.93
Passo s	cm	20
Angolo α	°	90

Armatura longitudinale

n_1		10
\varnothing_1	mm	26
n_2		5
\varnothing_2	mm	26
Asl	cm ²	79.64

Sezione

b_w	cm	100
H	cm	140
c	cm	8.7
d	cm	131.3
k	N/mm ²	1.39
v_{min}	N/mm ²	0.33
ρ		0.0061
σ_{cp}	N/mm ²	0.00
α_c		1.00

Resistenza senza armatura a taglio

V_{Rd}	kN	596
V_{Rd}	kN	NECESSITA ARMATURA A TAGLIO

Resistenza con armatura a taglio

$\cot\alpha$		0.5
v		0.5
ω_{sw}		0.04
$\cot\theta$		2.50
Inclinazione puntone θ	°	21.8
V_{RSd}	kN	2270
V_{RCd}	kN	3833
V_{Rd}	kN	2270
V_{Rd}	kN	VERIFICATO

• Verifica a fessurazione campata (Solinf-Camp)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	1399	kN m
Sforzo normale	N	0	kN

Materiali

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	R_{ck}	40	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	f_{ck}	33.2	N/mm ²
Modulo elastico del calcestruzzo	E_{cm}	33642.78	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{amm}	18.3	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.5	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.4	N/mm ²
Tensione di snervamento acciaio	f_{yk}	450.00	N/mm ²
Modulo elastico dell'acciaio	E_s	205000.00	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	337.5	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	140	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	26.55	cm ²	5 Ø 26	$C_{s1} = \text{8.7 cm}$
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	0 Ø 0	$C_{s2} = \text{10.0 cm}$
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	10.05	cm ²	5 Ø 16	$C_{t2} = \text{10.8 cm}$
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	53.09	cm ²	10 Ø 26	$C_{t1} = \text{8.7 cm}$

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	5.2	N/mm ²	<	σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	187.5	N/mm ²	<	σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	∞	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	38.8	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	15256	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	27884055.1	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id+}	10354282.38	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	965	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	1379	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	∞	cm	
	u (M_{fess})	∞	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	5.2		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	184.8	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	38.8	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	33.73	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	63.15	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	3373.07	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0187	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.000360582	-	
Copriferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K_1	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K_2	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	K_3	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K_4	0.425	-	
Diametro equivalente delle barre di armatura	ϕ_{eq}	23.65	mm	
Distanza massima tra le fessure	ΔS_{max}	384.74	mm	
Distanza media tra le fessure	ΔS_m	226.32	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.08	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.14	mm	

• Verifica a fessurazione appoggio (Solinf-App)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	1810	kN m
Sforzo normale	N	0	kN

Materiali

Resistenza caratteristica cubica calcestruzzo	R_{ck}	40	N/mm ²
Resistenza caratteristica cilindrica calcestruzzo	f_{ck}	33.2	N/mm ²
Modulo elastico del calcestruzzo	E_{cm}	33642.78	N/mm ²
Tensione ammissibile cls	σ_{amm}	18.3	N/mm ²
Res. media a trazione cls	f_{ctm}	3.5	N/mm ²
Res. caratteristica a trazione cls	f_{ctk}	2.4	N/mm ²
Tensione di snervamento acciaio	f_{yk}	450.00	N/mm ²
Modulo elastico dell'acciaio	E_s	205000.00	N/mm ²
Tensione ammissibile acciaio	σ_{samm}	337.5	N/mm ²
Coefficiente omog. acciaio-cls	n	15	

Caratteristiche geometriche

Altezza sezione	H	140	cm	
Larghezza sezione	B	100	cm	
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	26.55	cm ²	5 Ø 26 $c_{s1} = 8.7$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	0 Ø 0 $c_{s2} = 10.0$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	26.55	cm ²	5 Ø 26 $c_{t2} = 11.3$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	53.09	cm ²	10 Ø 26 $c_{t1} = 8.7$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	6.3	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	196.3	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	∞	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	42.7	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	15487	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	28727630.81	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id}^*	12252186.26	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	995	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	1421	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	∞	cm	
	u (M_{fess})	∞	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	5.0		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	154.1	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	42.7	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	32.43	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	79.64	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	3242.75	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0246	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.000300675	-	
Copriferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	K_1	0.80	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	K_2	0.50	-	
Coefficiente adimensionale	K_3	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	K_4	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	ϕ_{eq}	26.00	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs_{max}	349.9733495	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs_m	205.8666762	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.06	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.11	mm	

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

9.6 Inflessione nel piano verticale dell'impalcato

Nel presente paragrafo, si riporta la verifica di inflessione nel piano verticale dell'impalcato.

In accordo al § 2.5.1.85.3.2.2 del Manuale di Progettazione RFI DTC SI PS MA IFS 001 E, eccessive deformazioni e/o vibrazioni del ponte possono indurre inaccettabili variazioni di geometria al binario. Queste possono avere ripercussioni sui convogli ferroviari e ridurre il comfort ai passeggeri. In particolare, considerando la presenza dei treni di carico LM71, SW/0, SW/2, incrementati con il corrispondente coefficiente dinamico e con il coefficiente α il massimo valore di inflessione per effetto di tali carichi ferroviari non deve eccedere il valore $L/600$. Il numero di binari da caricare sarà secondo quanto riportato nella tabella in par. 5.2.1.8.2.2.

Nel caso specifico essendo l'interbinario pari a 10m e dato che il calcolo è effettuato considerando una striscia unitaria di scatolare si considera il carico di un solo binario.

Seguono le deformate determinate dal modello di calcolo descritto nei paragrafi precedenti:

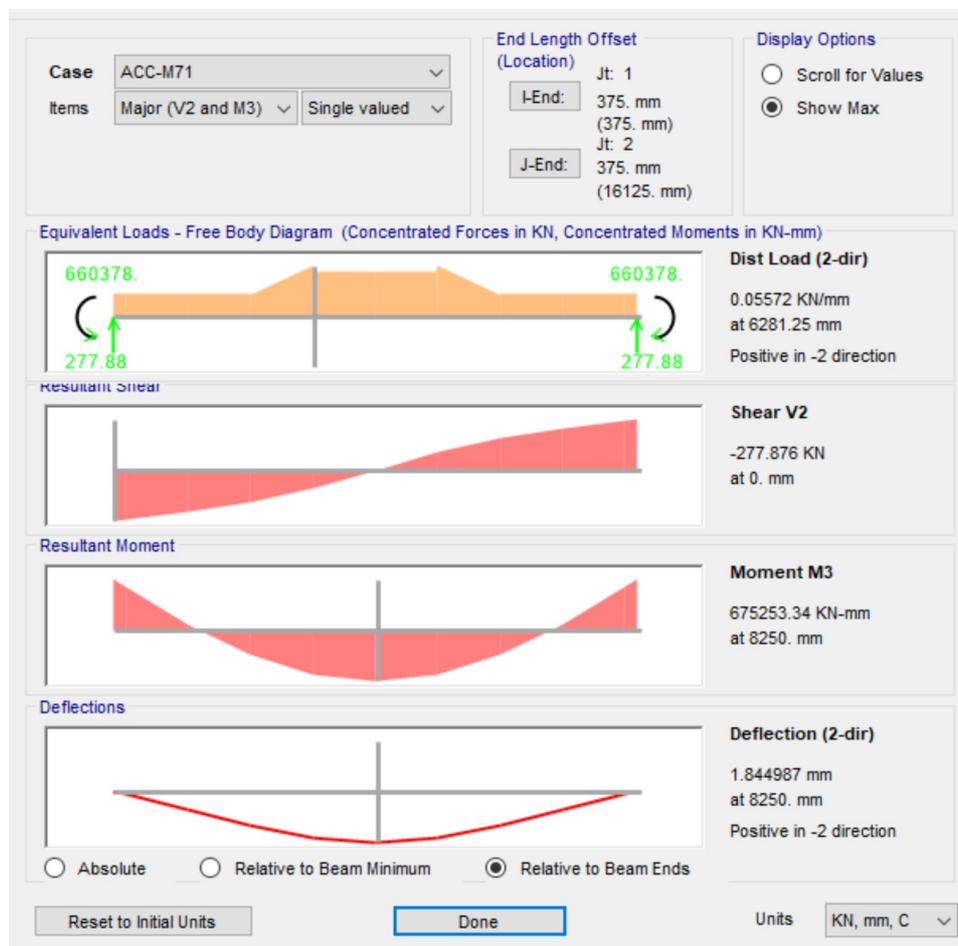


Figura 29: Inflessione della soletta superiore per carico LM71

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

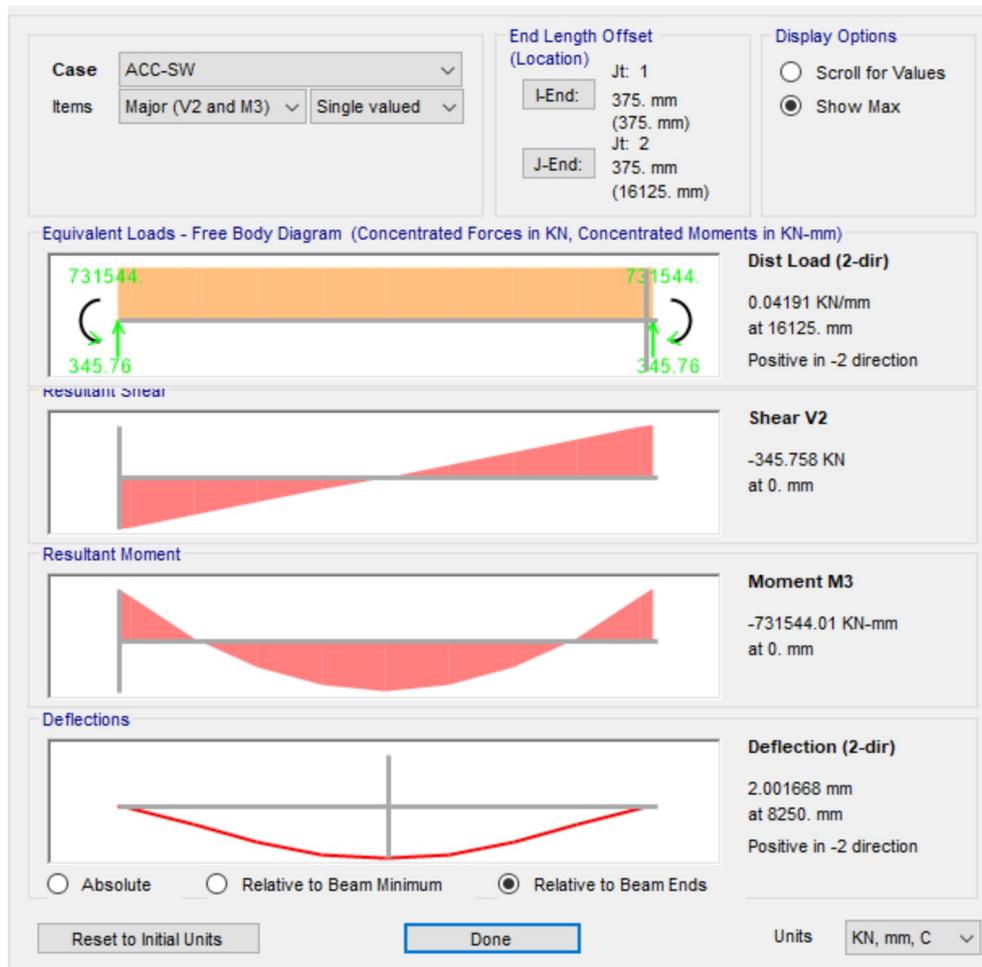


Figura 30: Inflessione della soletta superiore per carico SW2

SW2: $f=2.00\text{mm} < L/600$

LM71: $f=1.85\text{mm} < L/600$

La verifica dell'inflessione verticale dell'impalcato risulta pertanto soddisfatta.

Inoltre, poiché la freccia dovuta al carico LM71 $f=1.85\text{mm} < L/1000$, anche la verifica nei confronti dello stato limite per il confort dei passeggeri risulta verificata.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

10. INCIDENZA SCATOLARE

I valori delle incidenze di armatura lenta sono indicati nella seguente tabella:

Soletta superiore	90 kg/mc
Soletta inferiore	90 kg/mc
Piedritti	90 kg/mc

Come previsto dall' Eurocodice (UNI EN 1992-1-1) per le piastre a portanza unidirezionale si raccomanda di prevedere un'armatura secondaria in quantità non minore del 20% dell'armatura principale.

Pertanto nel calcolo è stata considerata un' armatura longitudinale diffusa $\phi 20/20$ ed un incremento del 15% per tener conto della presenza di legature e spille.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL05 – Sottopasso Toirano Bardinetto Relazione di calcolo sottovia ferroviario	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0500001	REV. B

11. DICHIARAZIONI SECONDO D.M. 17/01/2018 (P.TO 10.2)

11.1 Tipo di analisi svolte

L'analisi strutturale e le verifiche sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico. L'analisi strutturale è condotta con l'analisi statica, utilizzando il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato limite indotto dai carichi statici. L'analisi strutturale sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 17/01/2018.

L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti, schematizzando la struttura in elementi lineari e nodi. Le incognite del problema sono le componenti di spostamento in corrispondenza di ogni nodo (2 spostamenti e 1 rotazioni).

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è eseguita con il metodo degli Stati Limite. Le combinazioni di carico adottate sono esaustive relativamente agli scenari di carico più gravosi cui l'opera sarà soggetta.

11.2 Origine e caratteristiche dei Codici di Calcolo

Titolo: SAP2000 Ultimate

Versione: 21.0.2

Produttore: CSI Computers and Structures, Inc.

11.3 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a valutazione che ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali.

Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, si asserisce che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.