

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA

OPERE PRINCIPALI – SOTTOVIA E SOTTOPASSI

SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64

Relazione di calcolo scatolare

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 2 0 0 0 0 1 A

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	A. Perego Gen. 2022

File: IV0100D26CLSL0200001A.doc

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA												
SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IV01</td> <td>00D26</td> <td>CL</td> <td>SL0200001</td> <td>A</td> <td>2 di 73</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IV01	00D26	CL	SL0200001	A	2 di 73
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IV01	00D26	CL	SL0200001	A	2 di 73								

9. VERIFICHE GEOTECNICHE	24
10.ANALISI STRUTTURALE	25
10.1 Modellazione strutturale : Scatolare	25
10.2 Analisi dei carichi	27
10.3 Combinazioni.....	45
10.4 Sollecitazioni	49
10.5 Verifiche strutturali.....	55
10.5.1 Riepilogo armature	55
10.5.2 Verifica soletta superiore.....	56
10.5.3 Verifica piedritti	61
10.5.4 Verifica soletta inferiore.....	66
11.INCIDENZA SCATOLARE	71
12.DICHIARAZIONI SECONDO D.M. 17/01/2018 (P.TO 10.2)	72
12.1 Tipo di analisi svolte.....	72
12.2 Origine e caratteristiche dei Codici di Calcolo.....	72
12.3 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati.....	72

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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 SL02 in adiacenza alla spalla lato Ventimiglia del VI01.

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

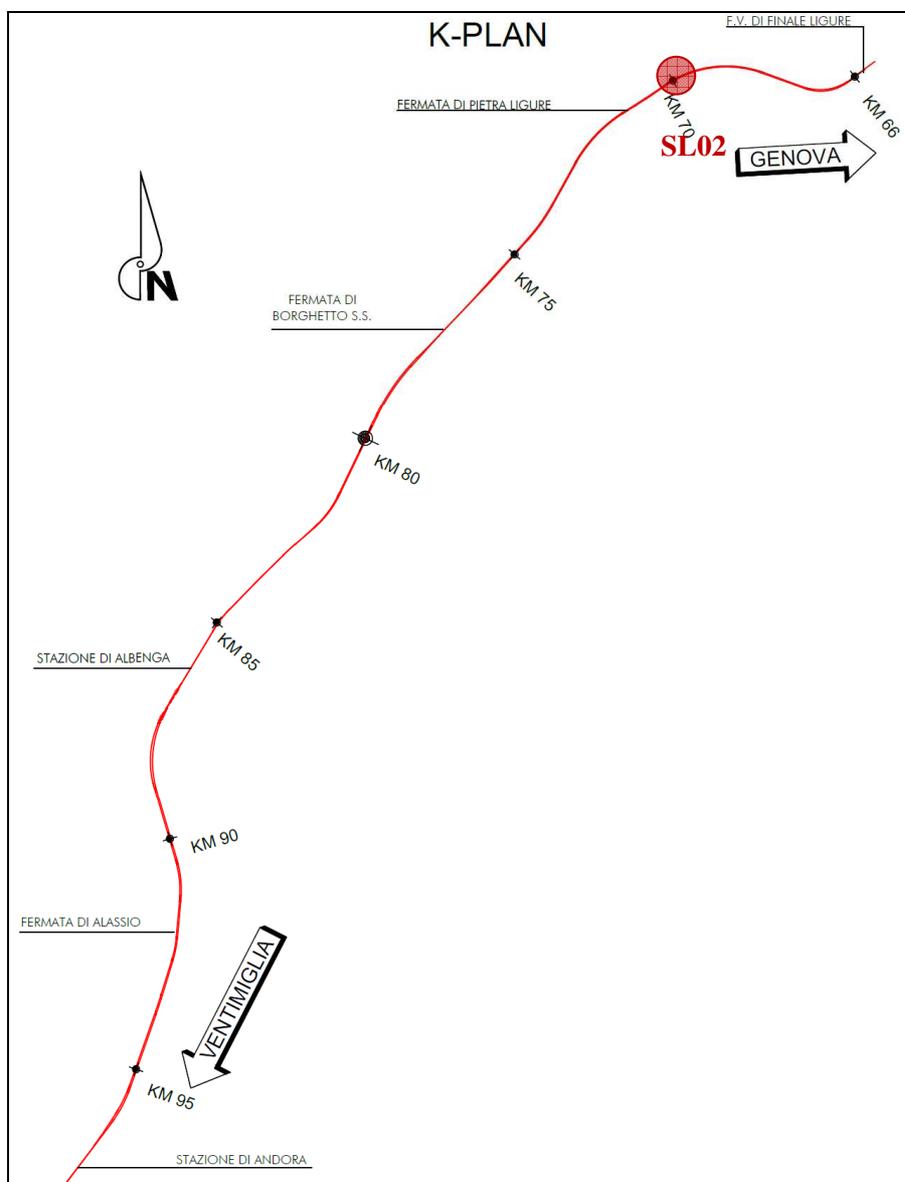


Figura 1: Raddoppio tratta Finale L. - Andora. Inquadramento dell'opera

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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		0.10	m
Geometria				
Spessore soletta superiore	Ss		0.70	m
Spessore soletta di fondazione	Sf		0.70	m
Spessore piedritti	Sp		0.70	m
Altezza netta	Hint		5.10	m
Larghezza netta	Lint		5.40	m
Lunghezza risvolti sol. inf.	Lr		0.00	m
Lunghezza dello scatolare	L		31.93	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.

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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 sovrarresistenza	$k=(f_t/f_y)_k$	[-]	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. elementi a piastra		barre da c.a. altri elementi		cavi da c.a.p elementi a piastra		cavi da c.a.p 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

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A	FOGLIO 8 di 73

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	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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	Prof top		γ	ϕ	c'	E	Vs	v	
-	m slm		kN/mc	°	kPa	MPa	m/s	-	
1	+25 ÷ +23		19	28	0	10	-	0.3	
2	+23 ÷ TOP***		18.5	34	0	20-30	300	0.3	
*** testa palo									
Unità	Descrizione	Prof top	γ	ϕ	c'	E	Vs	v	σ_{cm}
-	-	m TOP*	kN/mc	°	kPa	MPa	m/s	-	MPa
2	Ghiaia eterometrica, talora sabbiosa e limosa	0	18.5	34	0	30-50 per z<10m TOP 50 per z>10m TOP	300	0.3	-
SPM	Alternanza di calcari e dolomie grigie di San Pietro dei Monti	15**	28	33	400	2500	1000	0.2	9
* 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	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA												
SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">COMMESSA</th> <th style="text-align: left;">LOTTO</th> <th style="text-align: left;">CODIFICA</th> <th style="text-align: left;">DOCUMENTO</th> <th style="text-align: left;">REV.</th> <th style="text-align: left;">FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">IV01</td> <td style="text-align: center;">00D26</td> <td style="text-align: center;">CL</td> <td style="text-align: center;">SL0200001</td> <td style="text-align: center;">A</td> <td style="text-align: center;">10 di 73</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IV01	00D26	CL	SL0200001	A	10 di 73
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IV01	00D26	CL	SL0200001	A	10 di 73								

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	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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

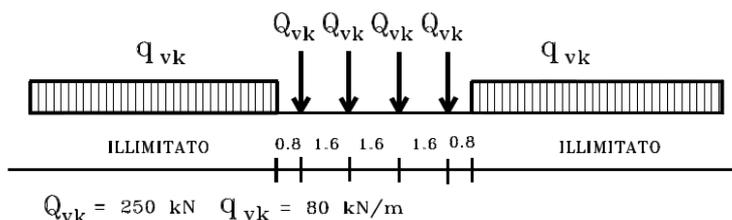
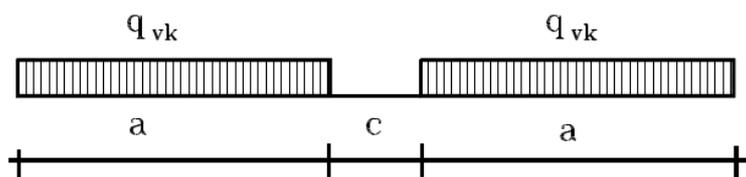


Figura 6.1 – Treno di carico LM71



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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scotolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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:

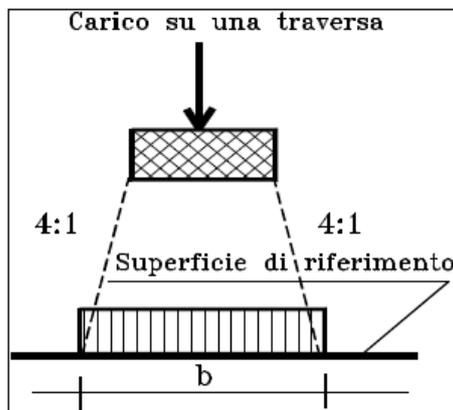
$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi - 0,2}} + 0,73 \quad \text{con la limitazione } 1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00$$

Dove:

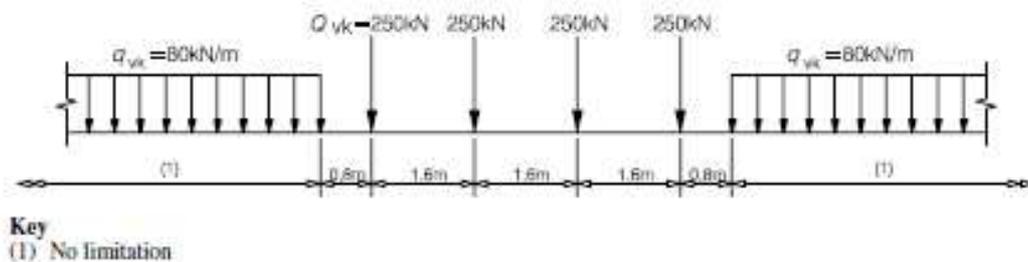
L_Φ rappresenta la lunghezza "caratteristica" in metri.

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.

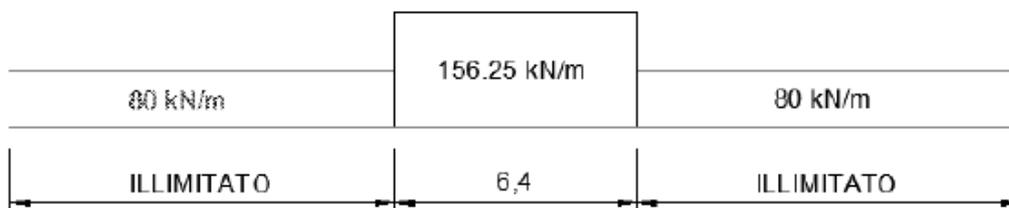


Il carico equivalente si ricava dalla ripartizione trasversale e longitudinale dei carichi per effetto delle traverse e del ballast previsti dalla stessa norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

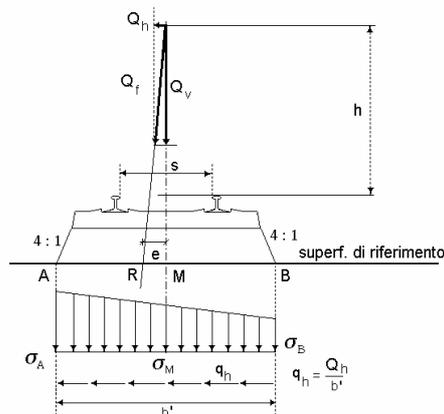
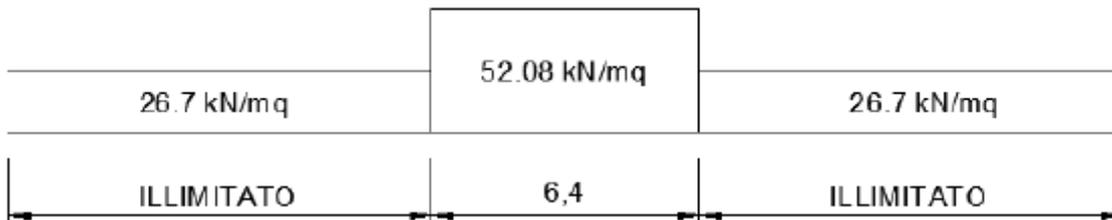
	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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.

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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: B
- 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

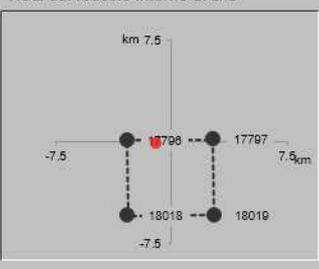
Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento



Controllo sul:

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

superficie riga

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 progetto

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 - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="68"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="113"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="1068"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="2193"/>

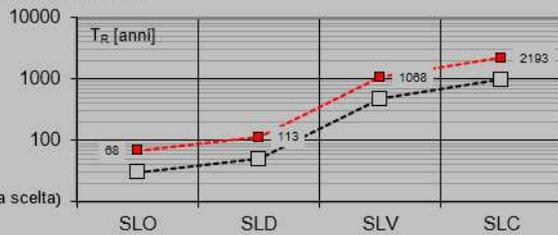
Elaborazioni

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	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_q	0.122 g
F_o	2.514
T_C^*	0.306 s
S_S	1.200
C_C	1.394
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.200
η	1.000
T_B	0.142 s
T_C	0.427 s
T_D	2.086 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 $\Delta T = +15^\circ\text{C}$, con un variazione termica a aggiuntiva a farfalla pari a $\Delta T = +5^\circ\text{C}$ 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:

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

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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.

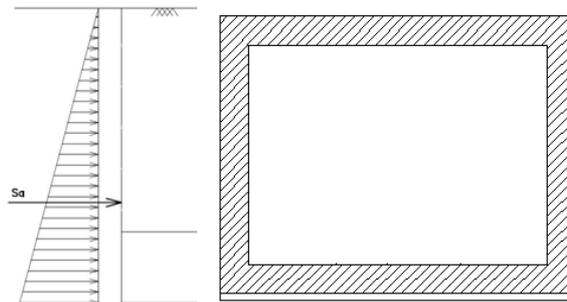


Figura 6.3 – Schema per il calcolo degli effetti della spinta statica del terreno

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.

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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.

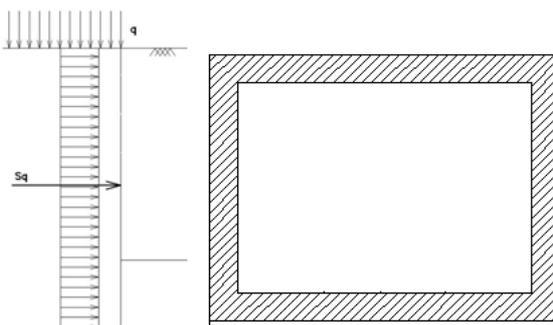


Figura 6.4– Schema per il calcolo degli effetti della spinta dovuta al sovraccarico accidentale

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 $H/2$.

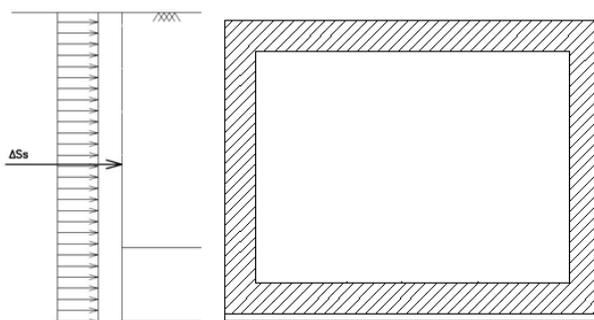


Figura 6.5– Schema per il calcolo degli effetti della sovraspinta sismica

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

		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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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.

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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:

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

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

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

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A	FOGLIO 24 di 73

9. VERIFICHE GEOTECNICHE

Le verifiche geotecniche sono state omesse in quanto in corrispondenza dello scatolare il terreno si trova in condizioni meno gravose delle zone limitrofe. Inoltre, lo scavo e la successiva costruzione di una struttura “vuota” sottopongono il terreno a tensioni inferiori a quelli precedentemente presenti.

10. 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

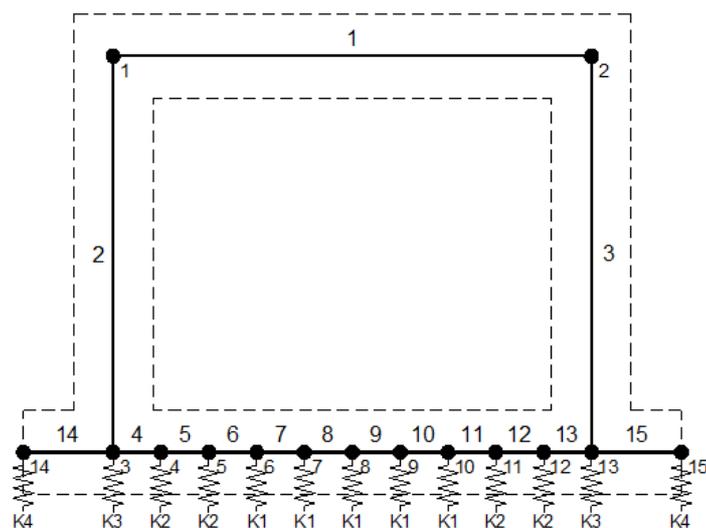
x = asse trasversale dello scatolare

y = asse longitudinale dello scatolare

z = asse verticale dello scatolare

10.1 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	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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:

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

Dove:

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

Con questo valore si ricavano i valori delle singole molle:

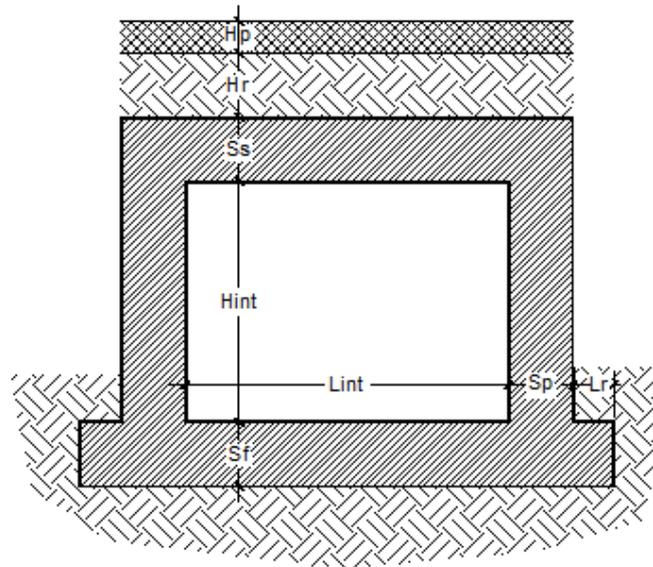
Rigidezze molle verticali				
Modulo elastico del terreno	E _t		10.00	N/mm ²
Coefficiente di Poisson	v		0.30	-
Larghezza della fondazione	B	B = L _r +S ₀ +L _{int} +S ₀ +L _r	6.80	m
Lato maggiore della fondazione	L		31.93	m
Fattore di forma	c _t		1.68	-
Terreno di fondazione - Costante di sottofondo	K _w	K _w = E _t /(1-ν ²)*B*c _t	963	kN/m ³
Interasse molle	i	i = (S ₀ /2+L _{int} +S ₀ /2)/10	0.61	m
Molle centrali	K1	K ₁ = K _w *i	587	kN/m
Molle intermedie	K2	K ₂ = 1.50*K _w *i	881	kN/m
Molle laterali	K3	K ₃ = 2.00*K _w *(i/2+S ₀ /2)	1 261	kN/m
Molle risolto	K4	K ₄ = 1.50*K _w *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.

10.2 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}	$0.83 \cdot 40 =$	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		20.0		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		0.10		m
Geometria					
Spessore soletta superiore	S_s		0.70		m
Spessore soletta di fondazione	S_f		0.70		m
Spessore piedritti	S_p		0.70		m
Altezza netta	H_{int}		5.10		m
Larghezza netta	L_{int}		5.40		m
Lunghezza risvolti sol. inf.	L_r		0.00		m
Lunghezza dello scatolare	L		31.93		m



Tab. 4: Geometria del modello

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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	$0.10 \cdot 20 =$		2.00	kN/m ²
Totale		$(Pr+Ps) \cdot r$		18.28	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}	$= 1.3 \cdot 1/3 \cdot (5.45 + 6.10 + 5.45)$		7.37	m
Coefficiente dinamico	Φ_3	$= 0.9 \cdot (2.16 / (\text{radq}(7.37) - 0.2) + 0.73)$		1.43	
Qvk					
Coefficiente di adattamento	α			1.10	
Larghezza traversa	Lt			2.40	m
Impronta di carico y	Ld1	$2.40 + 2 \times (0.40/4 + 0.10 \times \text{TAN}(38^\circ) + 0.70/2) =$		3.46	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)		$1.1 \cdot 1.43 \cdot 1000 / (3.46 \cdot 6.40) =$		71.12	kN/m²
qvk					
Carico qvk				80	kN/m
Carico qvk (ripartito)		$1.1 \cdot 1.43 \cdot 80 / 3.46 =$		36.41	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)		$1 \cdot 1.43 \cdot 150 / 3.46 =$		62.07	kN/m²
Avviamento e frenatura (Condizione AVV)					
Q1ak (= $\alpha \cdot 33 / Ld1$)		$\alpha \cdot 33 / 3.46 =$		10.50	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	$0.384 \cdot 18.00 =$		6.92	kN/m ²
Spinta in asse sol. sup.	p2	$0.384 \cdot (18.00 + 20 \cdot 0.70/2) =$		9.61	kN/m ²
Spinta in asse sol. inf.	p3	$0.384 \cdot [18.00 + 20 \cdot (0.70 + 5.10 + 0.70/2)] =$		54.19	kN/m ²
Spinta alla quota di intradosso sol. inf.	p4	$0.384 \cdot [18.00 + 20 \cdot (0.70 + 5.10 + 0.70)] =$		56.88	kN/m ²
Spinta semispessore sol. sup.	F1	$(6.92 + 9.61)/2 \cdot 0.70/2$		2.89	kN/m
Spinta semispessore sol. inf.	F2	$(54.19 + 56.88)/2 \cdot 0.70/2$		19.44	kN/m
Spinta del carico accidentale LM71 (Condizioni SPACCSX e SPACCDX)					
Spinta dovuta al q1	p	$0.384 \cdot 1.1 \cdot 1000 / (3.46 \cdot 6.40) =$		19.11	kN/m ²
Spinta del carico accidentale SW/2 (Condizioni SPACCSX e SPACCDX)					
Spinta dovuta al q1	p	$0.384 \cdot 1 \cdot 150 / (3.46 \cdot 6.40) =$		2.61	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			0.122	
Amplificazione spettrale	F_0			2.514	
Categoria sottosuolo		A, B, C, D, E		B	
Coeff. Amplificazione stratigrafica	S_s			1.200	
Coeff. Amplificazione topografica	S_t			1	
Coefficiente S	$S = S_s \cdot S_t$			1.200	
accelerazione orizzontale max	$a_{max}/g = a_g/g \cdot S$			0.146	
Fattore di struttura	q			1.00	
Coeff. sismico orizzontale	$k_h = a_{max}/g$			0.146	
Coeff. sismico verticale	$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$			0.073	
Carico accidentale totale gravante sulla cop.		$1.1 \cdot 1000 / (3.46 \cdot 6.40) \cdot 6.40 + 1.1 \cdot 80 / 3.46 \cdot 6.80 =$		491.4	kN/m
Forza orizz. sulla sol. di cop.	FHs	$0.146 \cdot (0.70 \cdot 25 + 18.28 + 0.2 \cdot 491.4 / 6.10) / 1.00 =$		7.60	kN/m ²
Forza orizz. sui piedritti	FHp	$0.146 \cdot (0.70 \cdot 25) / 1.00 =$		2.56	kN/m ²
Sisma verticale (Condizione SISMAV)					
Forza vert. sulla sol. di cop.	FVs	$0.073 \cdot (0.70 \cdot 25 + 18.28 + 0.2 \cdot 491.4 / 6.10) / 1.00 =$		3.80	kN/m ²
Spinta del terreno in fase sismica (Condizione SPSPDX)					
Risultante della spinta sismica	$\Delta S_E = (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot (H_{int} + S_s + S_f + H_b + H_r)^2 = 0.146 \cdot 20 \cdot 7.40^2$			160.3	kN/m
Pressione risultante	$\Delta p_E = \Delta S_E / H = 160.3 / 5.80$			27.64	kN/m ²

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

Seguono le schermate di applicazione dei principali carichi al modello:

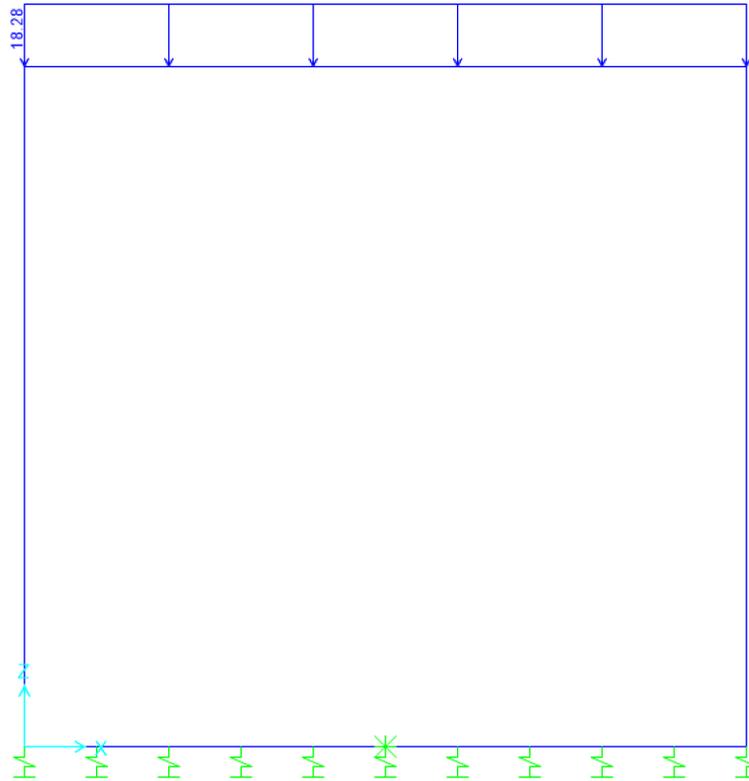


Figura 6: Condizione di carico PERM (kN/m/m)

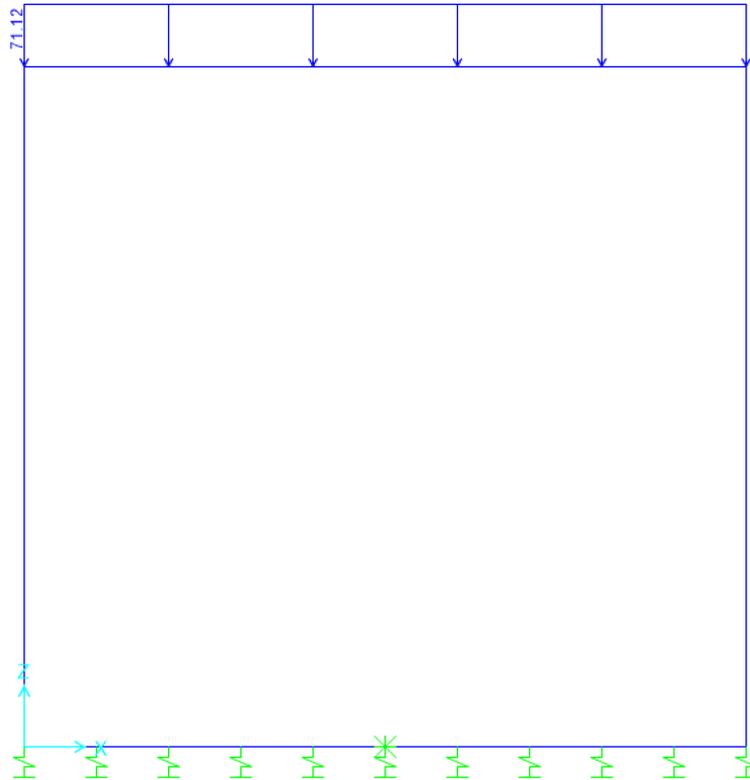


Figura 7: Condizione ACC-LM71- $M(kN/m/m)$

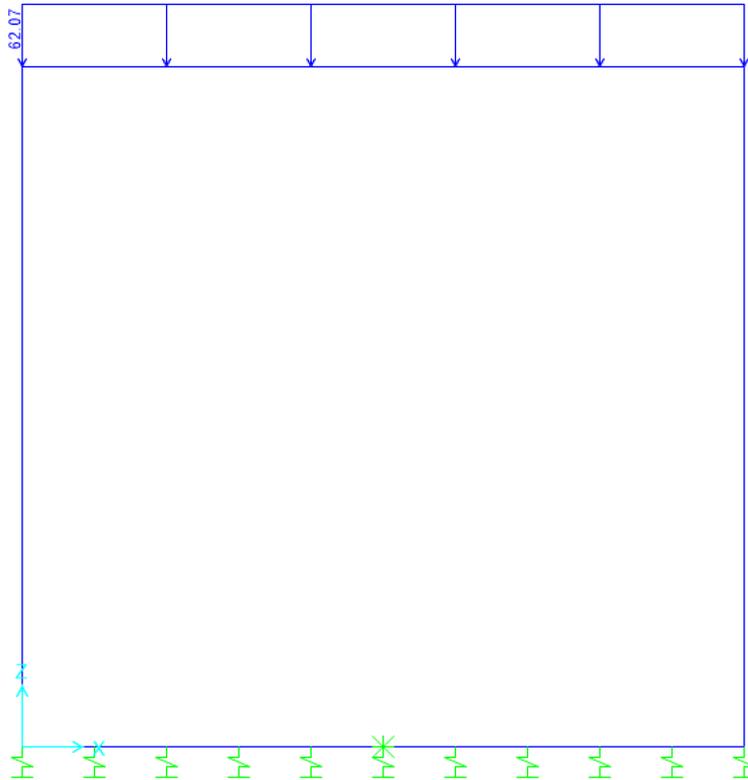


Figura 8: Condizione ACC-SW (kN/m/m)

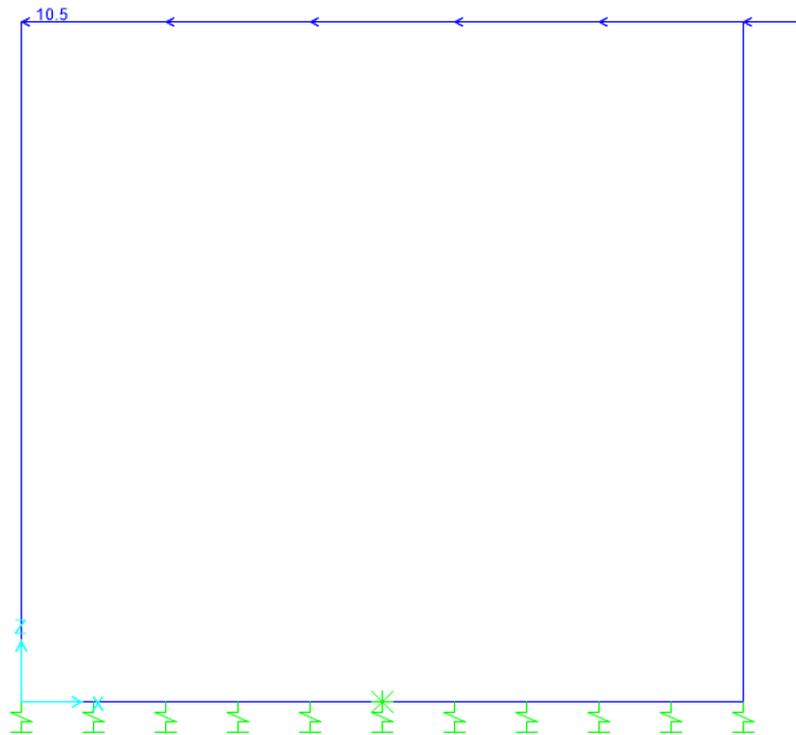


Figura 9: Condizione AVV (kN/m/m)

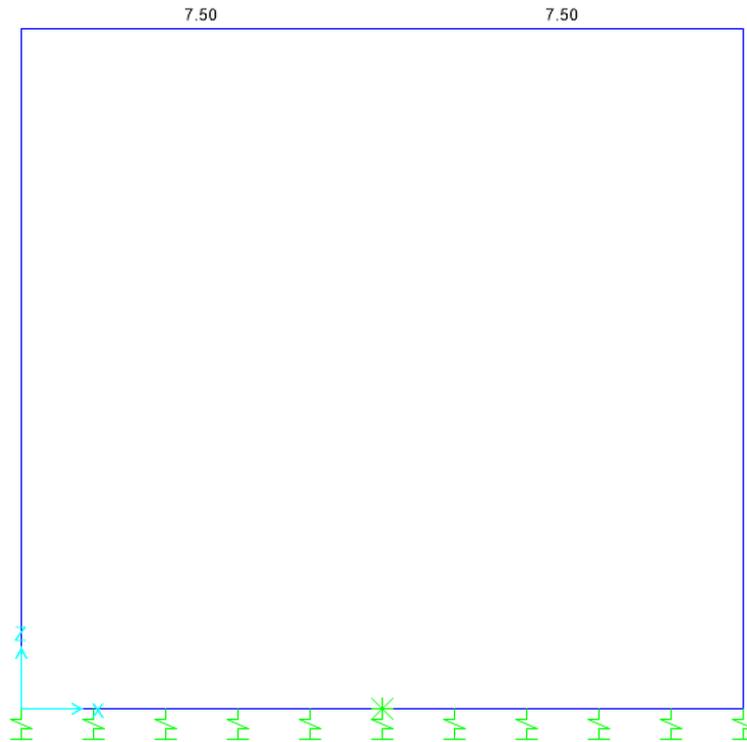


Figura 10: Condizione TERM (°C)

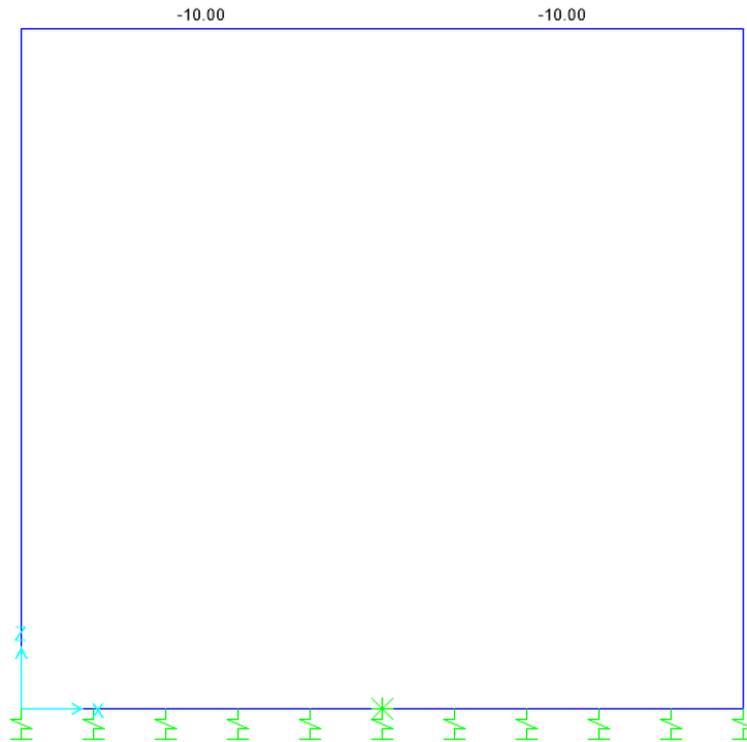


Figura 11: Condizione RITIRO (°C)

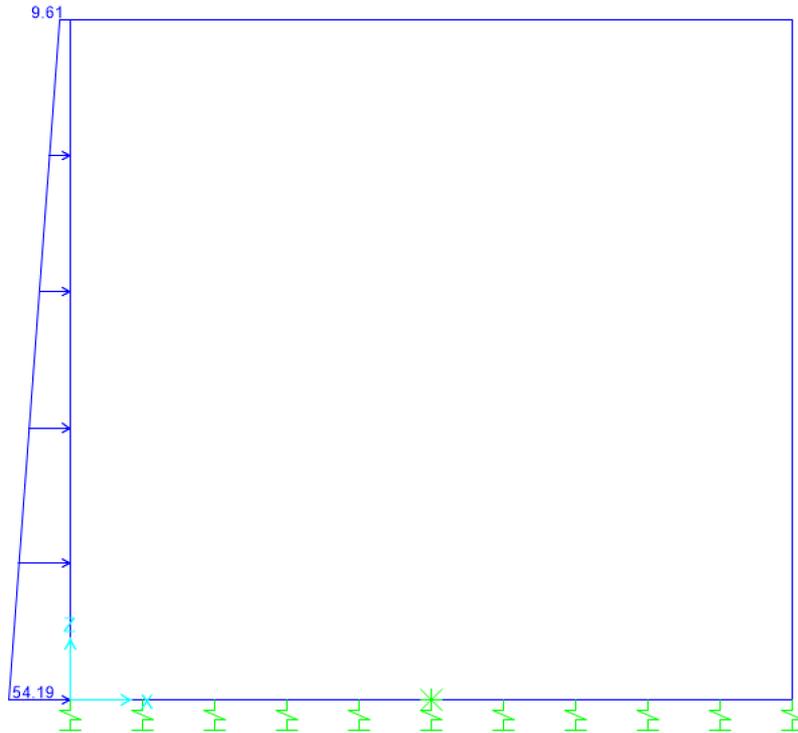


Figura 12: Condizione SPTSX (kN/m/m)

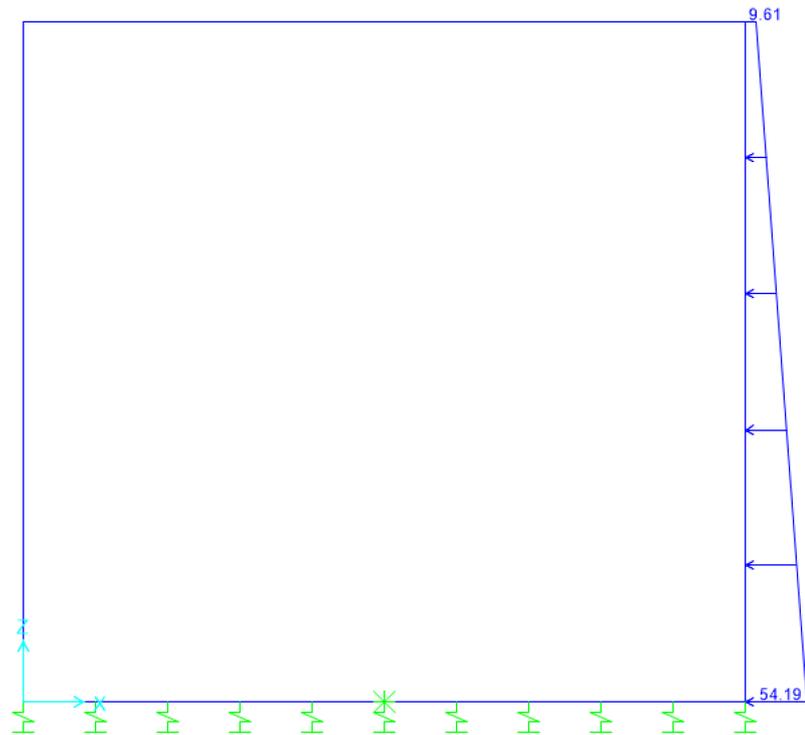


Figura 13: Condizione SPTDX (kN/m/m)

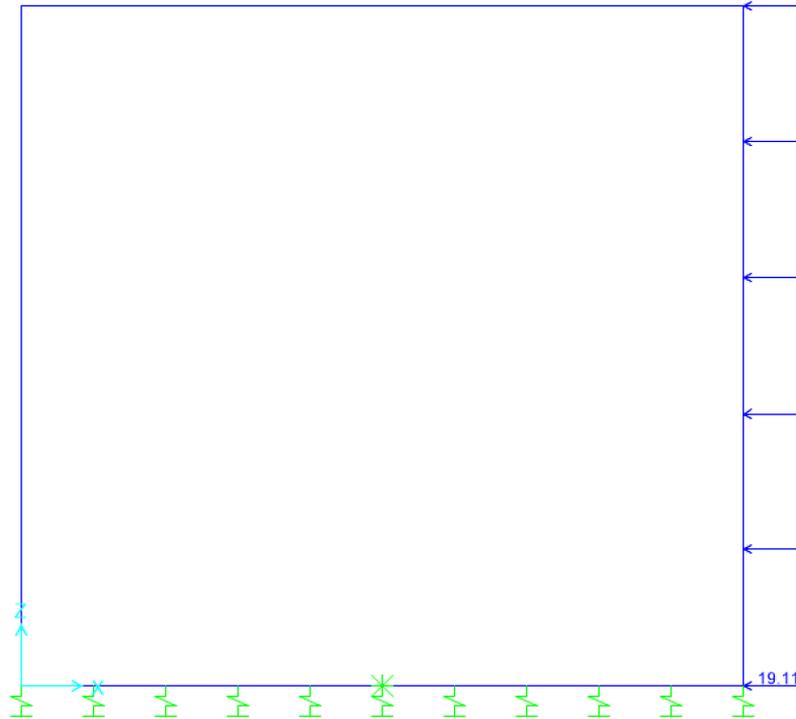


Figura 14: Condizione SPQDX71 (kN/m/m)

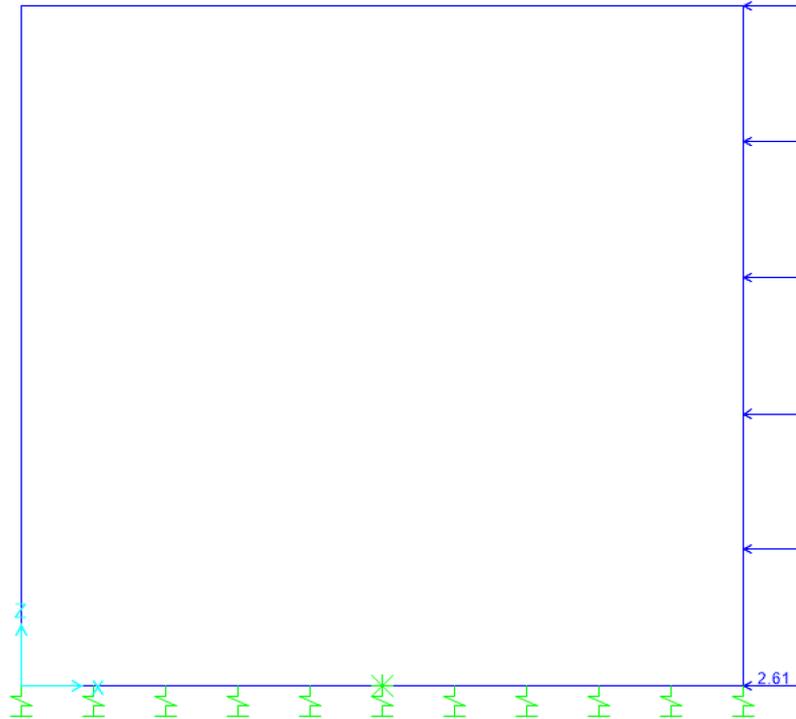


Figura 15: Condizione SPQDXSW (kN/m/m)

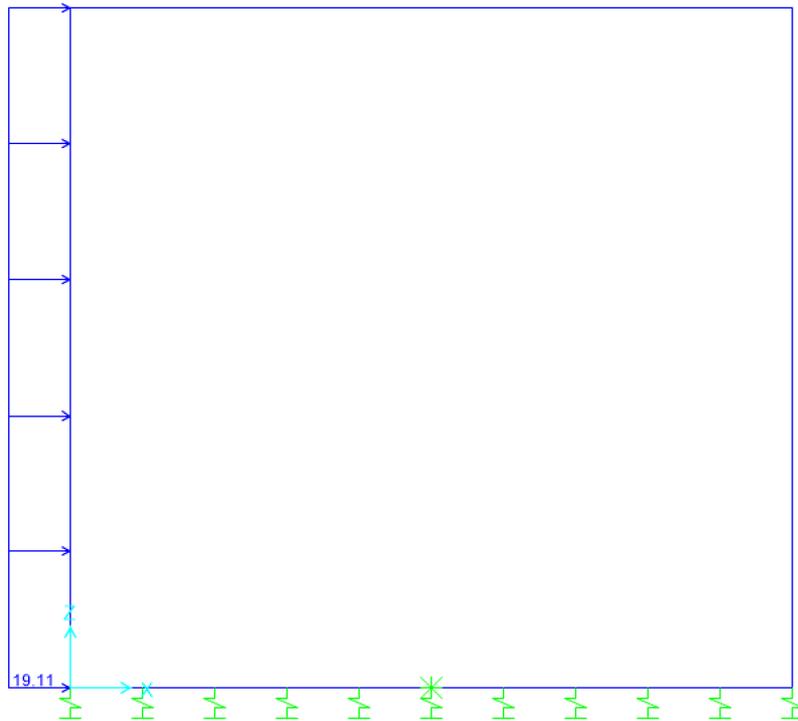


Figura 16: Condizione SPQSX71 (kN/m/m)

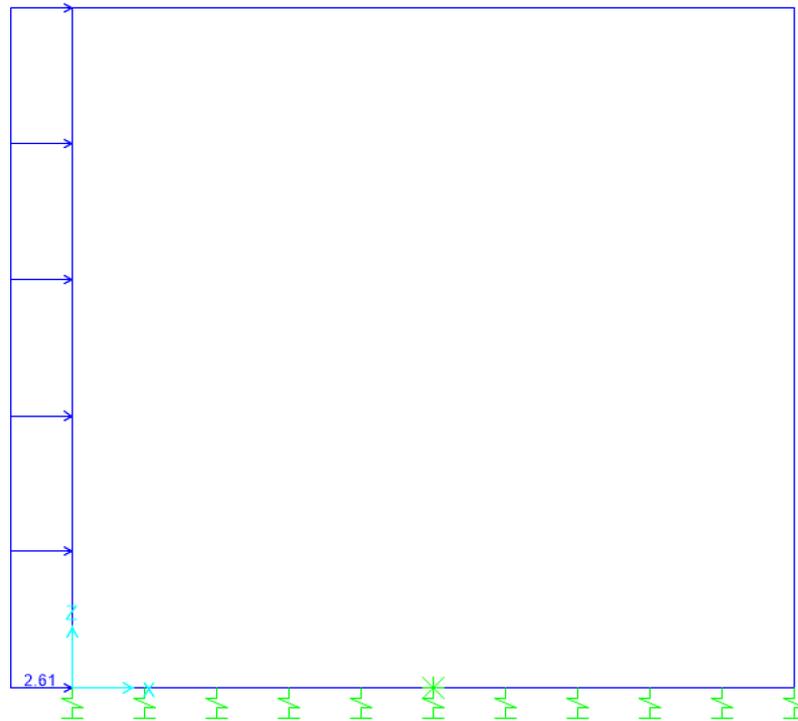


Figura 17: Condizione SPQSXS (kN/m/m)

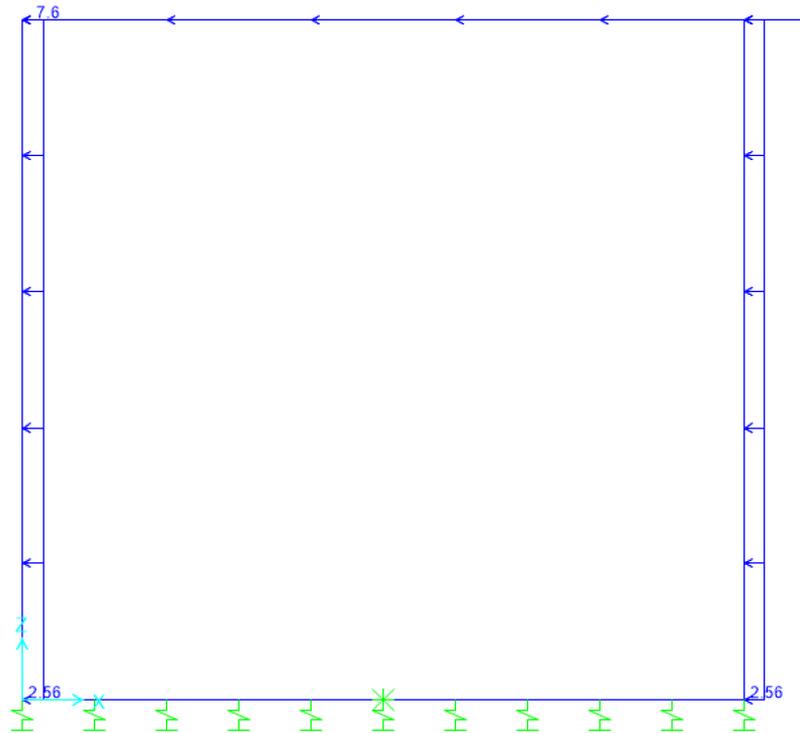


Figura 18: Condizione SISMAH (kN/m/m)

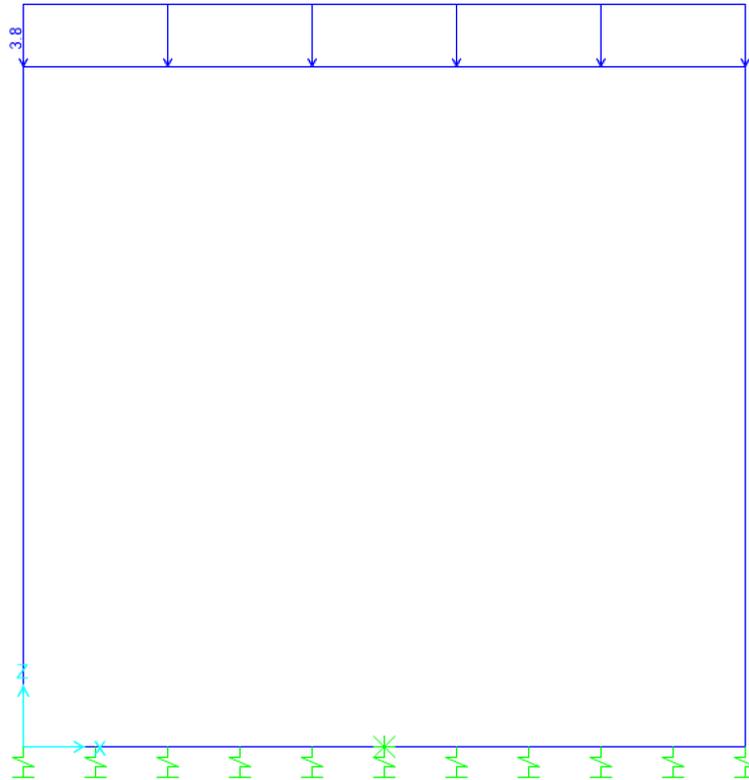


Figura 19: Condizione SISMAV (kN/m/m)

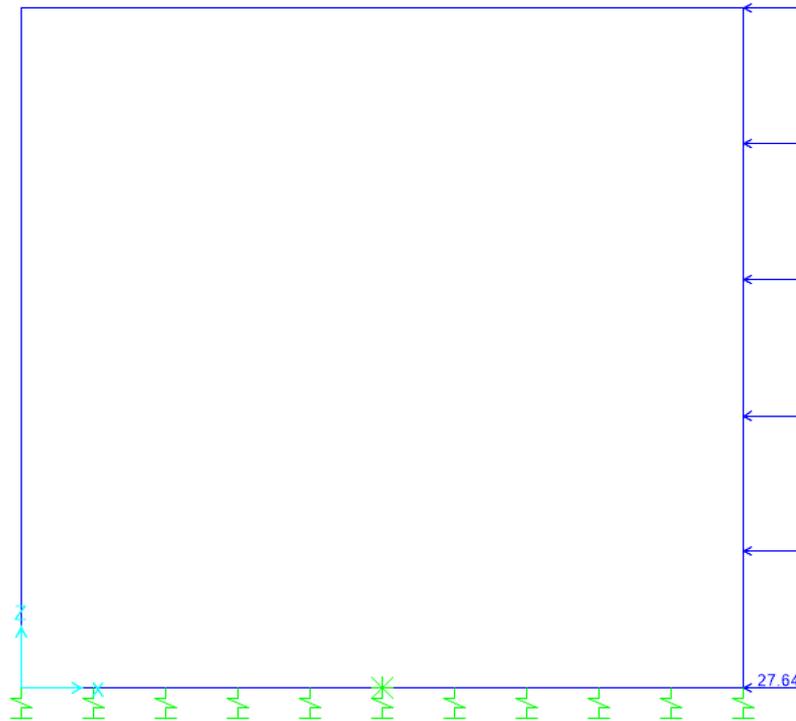


Figura 20: Condizione SPSDX (kN/m²)

10.3 Combinazioni

N	PERM	PERM-G2	ACC-M71	ACC-T71	AVV	SPTSX	SPTDX	SPOSX71	SPODX71	TERM	RITIRO	SISMAH	SISMAV	SPSDX	ACC-SW	SPOSXSW	SPODXSW	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
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	
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

SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64
Relazione di calcolo scatolare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00D26	CL	SL0200001	A	46 di 73

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

SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64
Relazione di calcolo scatolare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00D26	CL	SL0200001	A	47 di 73

123	123R1-11M	1	1	1	0	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	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	0
125	125R1-12M	1	1	1	0	0.5	1	1	1	1	0.6	1	0	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	0
127	127R1-13M	1	1	1	0	0.5	1	1	0	1	0.6	1	0	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	0
129	129R1-14S	1	1	0	0	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	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	1
131	131R1-16S	1	1	0	0	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	1	1
132	132R1-21M	1	1	1	0	0.5	1	1	0	0	-0.6	1	0	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	0
134	134R1-22M	1	1	1	0	0.5	1	1	1	1	-0.6	1	0	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	0
136	136R1-23M	1	1	1	0	0.5	1	1	0	1	-0.6	1	0	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	0
138	138R1-24S	1	1	0	0	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	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	1
140	140R1-26S	1	1	0	0	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	1	1
141	141R1T11M	1	1	0.8	0	0.4	1	1	0	0	1	1	0	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	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	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	0
145	145R1T13M	1	1	0.8	0	0.4	1	1	0	0.8	1	1	0	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	0
147	147R1T14S	1	1	0	0	0.4	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0	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	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	0.8
150	150R1T21M	1	1	0.8	0	0.4	1	1	0	0	-1	1	0	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	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	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	0
154	154R1T23M	1	1	0.8	0	0.4	1	1	0	0.8	-1	1	0	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	0
156	156R1T24S	1	1	0	0	0.4	1	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	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	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	0.8
159	159R3-11M	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0.6	1	0	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	0
161	161R3-12M	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0.6	1	0	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	0
163	163R3-13M	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0.6	1	0	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	0
165	165R3-14S	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	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	1
167	167R3-16S	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	1	1
168	168R3-21M	1	1	1	0	1	1	1	0	0	-0.6	1	0	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	0
170	170R3-22M	1	1	1	0	1	1	1	1	1	-0.6	1	0	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	0
172	172R3-23M	1	1	1	0	1	1	1	0	1	-0.6	1	0	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	0
174	174R3-24S	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	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	1
176	176R3-26S	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	1	1
177	177R1T11M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0	1	1	0	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	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	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	0
181	181R1T13M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0.8	1	1	0	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	0
183	183R1T14S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0	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	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	0.8
186	186R1T21M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	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	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	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	0
190	190R1T23M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0.8	-1	1	0	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	0
192	192R1T24S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	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	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	0.8

SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64
Relazione di calcolo scatolare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00D26	CL	SL0200001	A	48 di 73

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

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

10.4 Sollecitazioni

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

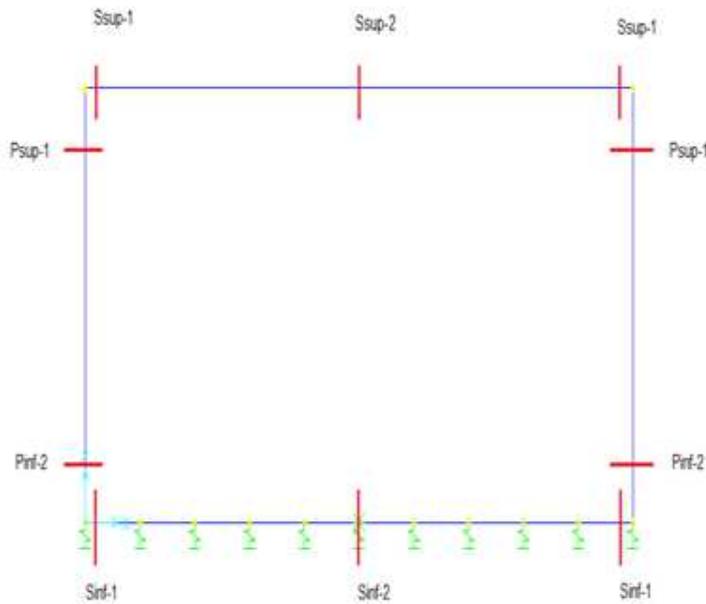


Figura 10.21 - Sezioni di verifica

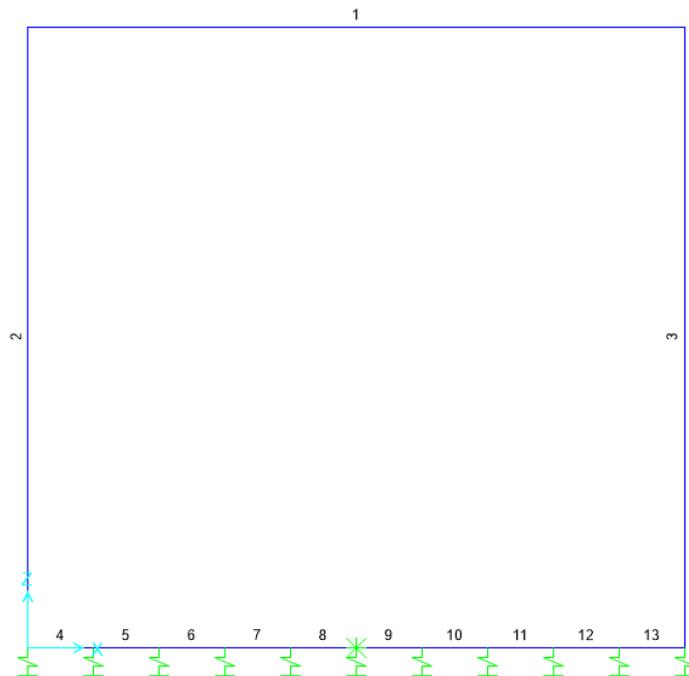


Figura 10.22 - Nomenclatura frame

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

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

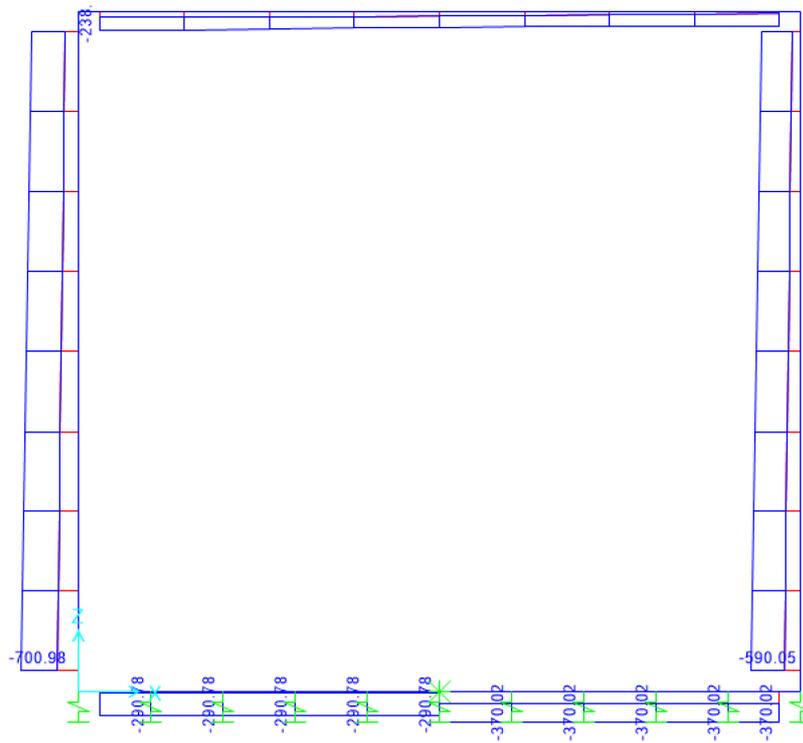


Figura 10.23 - Sforzo Normale – Involuppo SLU (KN)

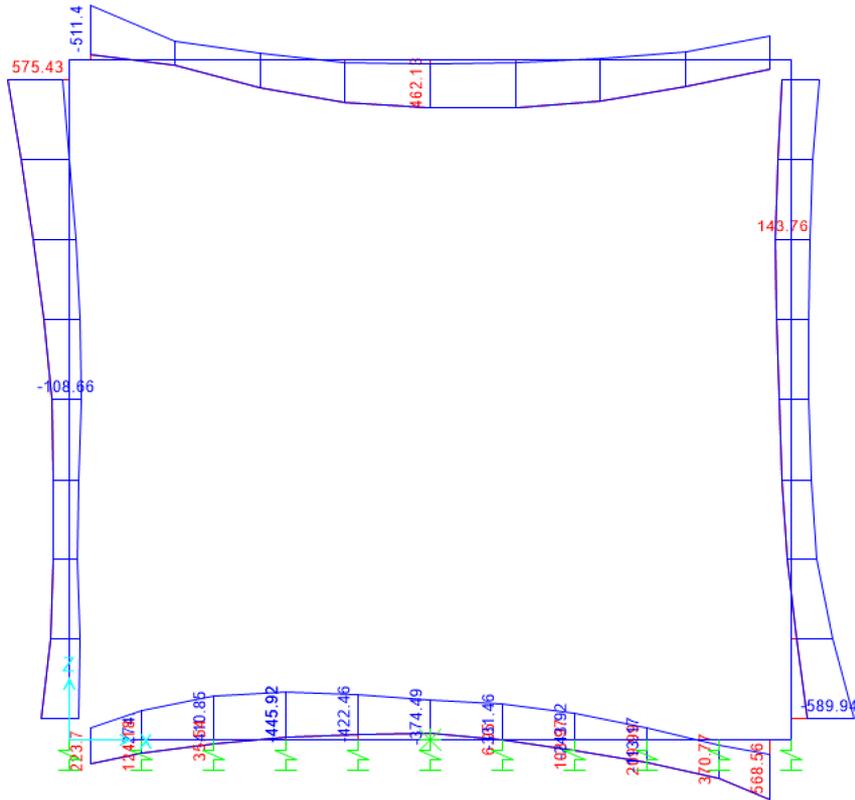


Figura 10.24 - Momento flettente – Involuppo SLU (KNm)

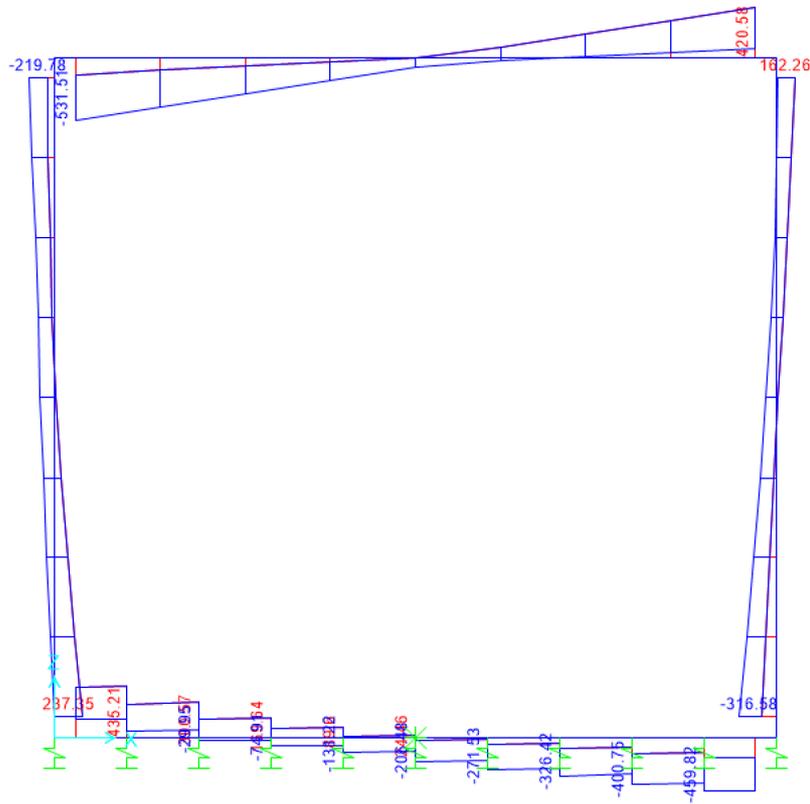


Figura 10.25 - Taglio – Involuppo SLU (kN)

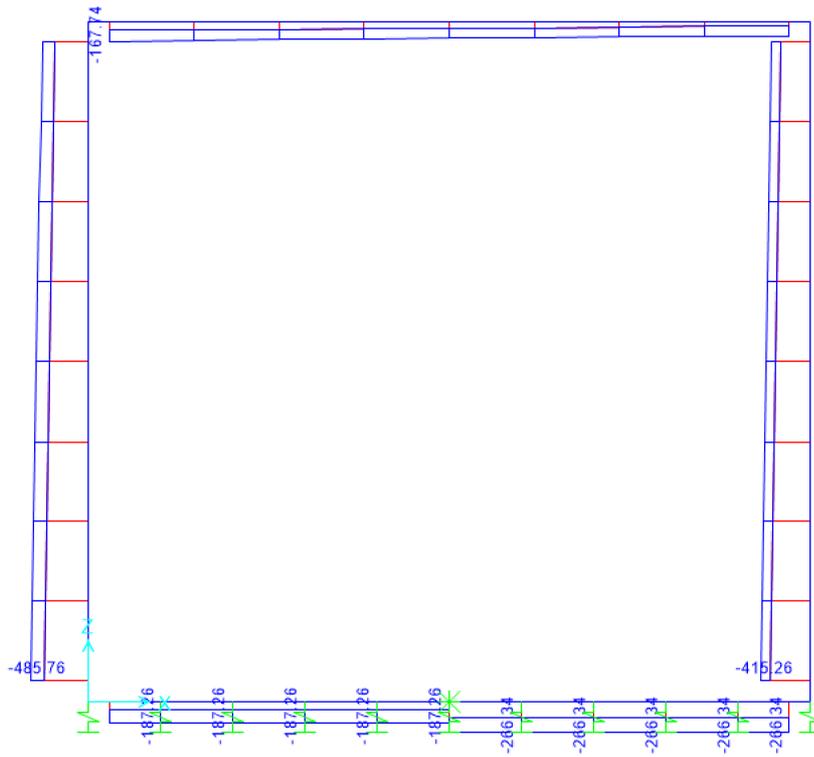


Figura 10.26 - Sforzo Normale – Involuppo SLE – Rara (kN)

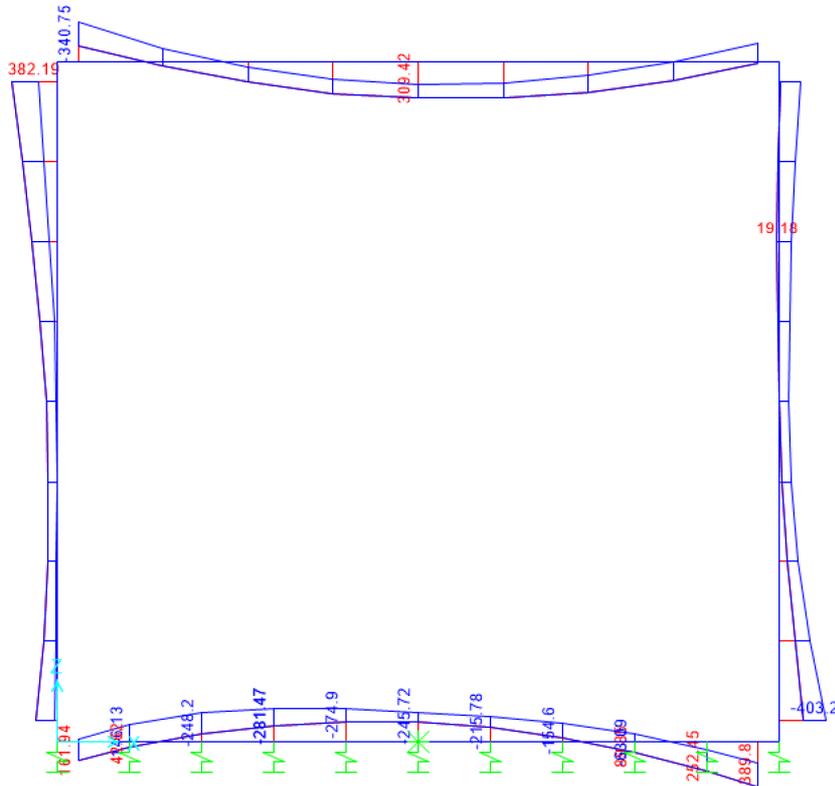


Figura 10.27 - Momento flettente – Inviluppo SLE – Rara (kNm)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

10.5 Verifiche strutturali

10.5.1 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	5 Ø26	5 Ø16	5 Ø26	-
Soletta superiore - Appoggio	5 Ø26	5 Ø16	5 Ø26	-
Piedritto - Spiccato	5 Ø26	5 Ø16	5 Ø26	-
Piedritto - Sommità	5 Ø26	-	5 Ø26	-
Soletta inferiore - Campata	5 Ø26	5 Ø16	5 Ø26	-
Soletta inferiore - Appoggio	5 Ø26	5 Ø16	5 Ø26	-

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

10.5.2 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	$h = 70$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 8.7$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 61.3$ cm

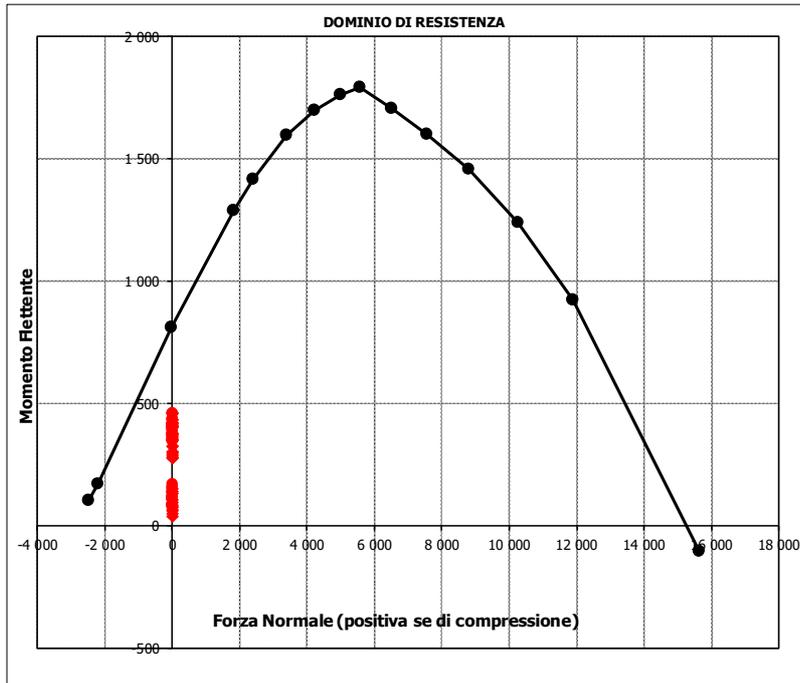
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm ²
5	16	10.05	cm ²
		0.00	cm ²
			36.60 cm²

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]	
(Nmax)			
(Nmin)			
(Mmax)	14S1-21M	0	462
(Mmin)	33S1T14-	0	41

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	0	406	44S1T23M	0	398
02S1-11T	0	406	45S1T23T	0	398
03S1-12M	0	353	46S1T24-	0	134
04S1-12T	0	353	47S1T25-	0	157
05S1-13M	0	380	48S1T26S	0	390
06S1-13T	0	380	49S1T27S	0	371
07S1-14-	0	52	50S1T28S	0	381
08S1-15-	0	79	51S1T29S	0	161
09S1-16S	0	368	52S1T30S	0	171
10S1-17S	0	348	53S3-11M	0	406
11S1-18S	0	358	54S3-11T	0	406
12S1-19S	0	86	55S3-12M	0	353
13S1-20S	0	96	56S3-12T	0	353
14S1-21M	0	462	57S3-13M	0	380
15S1-21T	0	462	58S3-13T	0	380
16S1-22M	0	408	59S3-14S	0	368
17S1-22T	0	408	60S3-15S	0	348
18S1-23M	0	435	61S3-16S	0	358
19S1-23T	0	435	62S3-21M	0	462
20S1-24-	0	108	63S3-21T	0	462
21S1-25-	0	135	64S3-22M	0	416
22S1-26S	0	424	65S3-22T	0	416
23S1-27S	0	404	66S3-23M	0	439
24S1-28S	0	414	67S3-23T	0	439
25S1-29S	0	142	68S3-24S	0	424
26S1-30S	0	152	69S3-25S	0	405
27S1T11M	0	328	70S3-26S	0	414
28S1T11T	0	328	71SSS1--	0	91
29S1T12M	0	282	72SSS2--	0	84
30S1T12T	0	282	73SSS3--	0	112
31S1T13M	0	305	74SSS4--	0	90
32S1T13T	0	305	75SSS5--	0	122
33S1T14-	0	41	76SSS6--	0	115
34S1T15-	0	61	77SSS7--	0	143
35S1T16S	0	297	78SSS8--	0	121
36S1T17S	0	278	79SSS9S	0	88
37S1T18S	0	288	80SSS10S	0	81
38S1T19S	0	68	81SSS11S	0	109
39S1T20S	0	78	82SSS12S	0	87
40S1T21M	0	421	83SSS13S	0	119
41S1T21T	0	421	84SSS14S	0	112
42S1T22M	0	375	85SSS15S	0	140
43S1T22T	0	375	86SSS16S	0	118



• **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_{cc}	18.8 N/mm ²

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

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 70$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 8.7$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 61.3$ cm

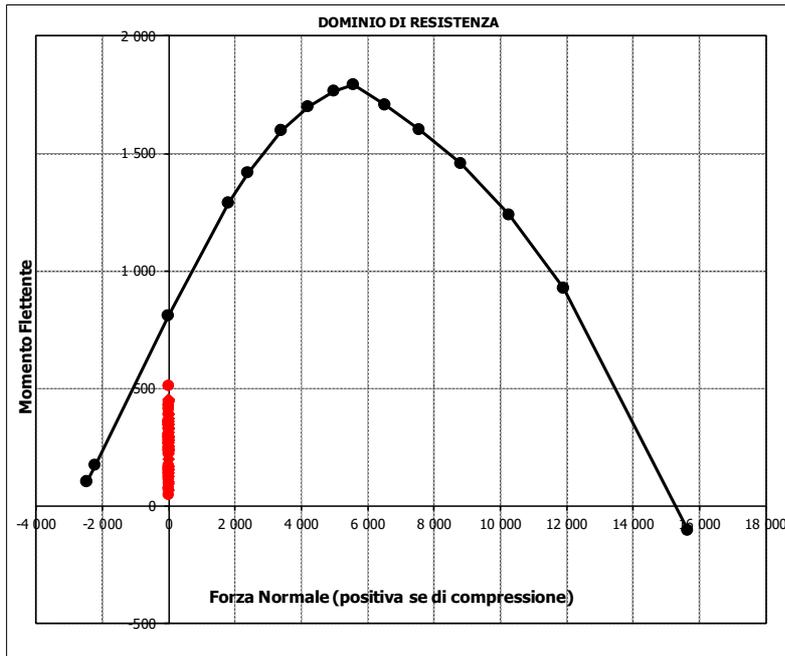
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm ²
5	16	10.05	cm ²
		0.00	cm ²
			36.60 cm²

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]	
(Nmax)			
(Nmin)			
(Mmax)	57S3-13M	0	511
(Mmin)	51S1T29S	0	50

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	0	296	44S1T23M	0	362
02S1-11T	0	296	45S1T23T	0	362
03S1-12M	0	350	46S1T24-	0	77
04S1-12T	0	350	47S1T25-	0	157
05S1-13M	0	446	48S1T26S	0	223
06S1-13T	0	446	49S1T27S	0	242
07S1-14-	0	159	50S1T28S	0	268
08S1-15-	0	255	51S1T29S	0	50
09S1-16S	0	280	52S1T30S	0	76
10S1-17S	0	300	53S3-11M	0	361
11S1-18S	0	328	54S3-11T	0	361
12S1-19S	0	125	55S3-12M	0	415
13S1-20S	0	154	56S3-12T	0	415
14S1-21M	0	240	57S3-13M	0	511
15S1-21T	0	240	58S3-13T	0	511
16S1-22M	0	294	59S3-14S	0	345
17S1-22T	0	294	60S3-15S	0	365
18S1-23M	0	390	61S3-16S	0	394
19S1-23T	0	390	62S3-21M	0	305
20S1-24-	0	103	63S3-21T	0	305
21S1-25-	0	200	64S3-22M	0	351
22S1-26S	0	224	65S3-22T	0	351
23S1-27S	0	244	66S3-23M	0	432
24S1-28S	0	273	67S3-23T	0	432
25S1-29S	0	69	68S3-24S	0	289
26S1-30S	0	98	69S3-25S	0	308
27S1T11M	0	329	70S3-26S	0	335
28S1T11T	0	329	71SSS1--	0	300
29S1T12M	0	374	72SSS2--	0	297
30S1T12T	0	374	73SSS3--	0	173
31S1T13M	0	455	74SSS4--	0	164
32S1T13T	0	455	75SSS5--	0	269
33S1T14-	0	170	76SSS6--	0	266
34S1T15-	0	250	77SSS7--	0	142
35S1T16S	0	316	78SSS8--	0	133
36S1T17S	0	335	79SSS9S	0	283
37S1T18S	0	361	80SSS10S	0	281
38S1T19S	0	143	81SSS11S	0	157
39S1T20S	0	169	82SSS12S	0	148
40S1T21M	0	236	83SSS13S	0	252
41S1T21T	0	236	84SSS14S	0	250
42S1T22M	0	281	85SSS15S	0	126
43S1T22T	0	281	86SSS16S	0	117



- 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	532
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		5
\varnothing_1	mm	26
n_2		5
\varnothing_2	mm	16
Asl	cm ²	36.60

Sezione

b_w	cm	100
H	cm	70
c	cm	8.7
d	cm	61.3
k	N/mm ²	1.57
v_{min}	N/mm ²	0.40
ρ		0.0060
σ_{cp}	N/mm ²	0.00
α_c		1.00

Resistenza senza armatura a taglio

V_{Rd}	kN	313
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	1060
V_{RCd}	kN	1790
V_{Rd}	kN	1060
V_{Rd}	kN	VERIFICATO

• Verifica a fessurazione campata (Solsup-Camp)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	309	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	70	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	10.05	cm ²	5 Ø 16	$c_{t2} = 10.8$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	26.55	cm ²	5 Ø 26	$c_{t1} = 8.7$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	4.9	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	159.0	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	∞	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	19.3	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	7884	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	3497503.349	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id}^*	1226861.577	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	242	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	346	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}	5.4		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	177.8	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	19.3	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	16.91	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	36.60	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	1691.21	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0216	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.00034696	-	
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}	22.19	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs_{max}	344.3159717	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs_m	202.5388069	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.07	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.12	mm	

SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64
Relazione di calcolo scatolare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOLGIO
IV01	00D26	CL	SL0200001	A	60 di 73

• Verifica a fessurazione appoggio (Solsup-App)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	341	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_{camm}	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	70	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	26.55	cm ²	5 Ø 26	$C_{s1} = \downarrow$ 8.7 cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	0 Ø 0	$C_{s2} = \downarrow$ 10.0 cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	10.05	cm ²	5 Ø 16	$C_{t2} = \downarrow$ 10.8 cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	26.55	cm ²	5 Ø 26	$C_{t1} = \downarrow$ 8.7 cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	5.4	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	175.1	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	∞	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	19.3	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	7884	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	3497503.349	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id+}	1226861.577	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	242	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	346	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}	5.4		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	177.8	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	19.3	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	16.91	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	36.60	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	1691.21	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0216	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.00034696	-	
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}	22.19	mm	
Distanza massima tra le fessure	ΔS_{max}	344.3159672	mm	
Distanza media tra le fessure	ΔS_m	202.5388042	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.07	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.12	mm	

10.5.3 Verifica piedritti

- Verifica a pressoflessione spiccato (Pied-Spicc)

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	= 70 cm
Base della sezione b	= 100 cm
Copriferro d'	= 8.7 cm
Altezza utile della sezione d	= 61.3 cm

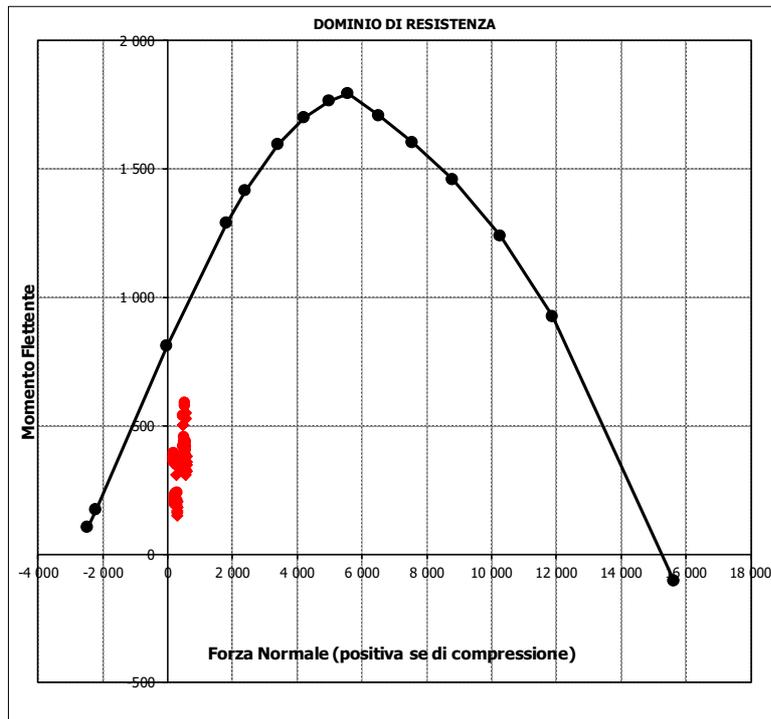
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm ²
5	16	10.05	cm ²
		0.00	cm ²
36.60 cm²			

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]	
(Nmax)	01S1-11M	590	326
(Nmin)	80SS10S	190	360
(Mmax)	57S3-13M	524	590
(Mmin)	38S1T19S	298	153

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	590	326	44S1T23M	477	541
02S1-11T	590	326	45S1T23T	477	541
03S1-12M	590	361	46S1T24-	298	208
04S1-12T	590	361	47S1T25-	262	349
05S1-13M	547	528	48S1T26S	482	357
06S1-13T	547	528	49S1T27S	482	370
07S1-14-	298	183	50S1T28S	469	422
08S1-15-	255	350	51S1T29S	298	190
09S1-16S	550	311	52S1T30S	286	242
10S1-17S	550	324	53S3-11M	567	387
11S1-18S	537	380	54S3-11T	567	387
12S1-19S	298	161	55S3-12M	567	423
13S1-20S	285	217	56S3-12T	567	423
14S1-21M	590	348	57S3-13M	524	590
15S1-21T	590	348	58S3-13T	524	590
16S1-22M	590	384	59S3-14S	527	373
17S1-22T	590	384	60S3-15S	527	386
18S1-23M	547	551	61S3-16S	514	441
19S1-23T	547	551	62S3-21M	567	410
20S1-24-	298	205	63S3-21T	567	410
21S1-25-	255	373	64S3-22M	567	440
22S1-26S	550	333	65S3-22T	567	440
23S1-27S	550	347	66S3-23M	531	581
24S1-28S	537	402	67S3-23T	531	581
25S1-29S	298	183	68S3-24S	527	395
26S1-30S	285	239	69S3-25S	527	408
27S1T11M	514	332	70S3-26S	515	460
28S1T11T	514	332	71SS1--	199	383
29S1T12M	514	362	72SS2--	192	380
30S1T12T	514	362	73SS3--	247	227
31S1T13M	477	504	74SS4--	224	219
32S1T13T	477	504	75SS5--	199	395
33S1T14-	298	171	76SS6--	192	393
34S1T15-	262	312	77SS7--	247	240
35S1T16S	482	320	78SS8--	224	231
36S1T17S	482	333	79SS9S	197	363
37S1T18S	469	385	80SS10S	190	360
38S1T19S	298	153	81SS11S	246	207
39S1T20S	286	205	82SS12S	222	198
40S1T21M	514	369	83SS13S	197	375
41S1T21T	514	369	84SS14S	190	372
42S1T22M	514	399	85SS15S	246	219
43S1T22T	514	399	86SS16S	222	211



• 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
Resistenza caratteristica	$R_{ck} = 40$ N/mm ²
Resistenza di calcolo	$f_{ck} = 33.2$ N/mm ²
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_c = 1.5$
Resistenza di calcolo	$f_{cd} = 22.1$ N/mm ²
Resistenza caratteristica	$f_{cc} = 18.8$ N/mm ²

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

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 70$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copri ferro	$d' = 8.7$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 61.3$ cm

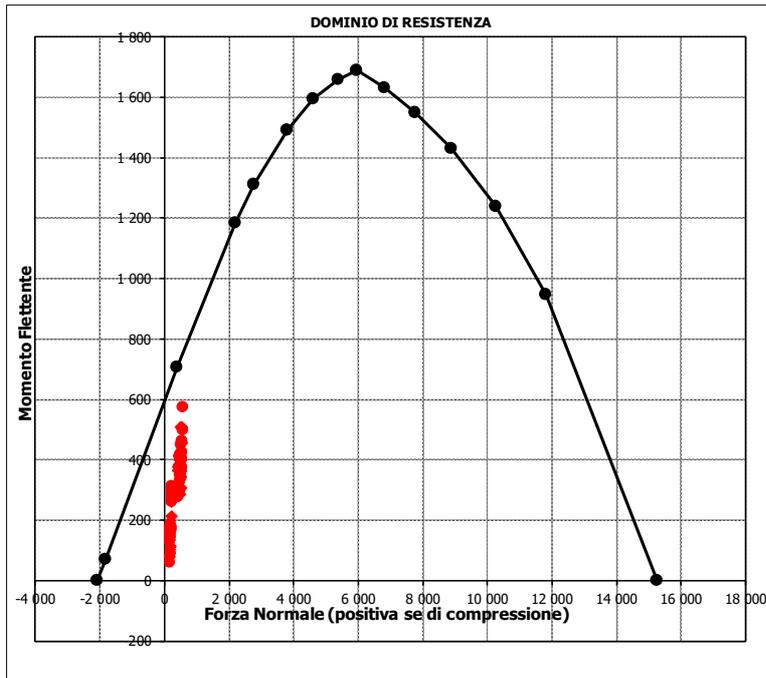
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm ²
0	0	0.00	cm ²
		0.00	cm ²
26.55 cm²			

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]	
(Nmax)	57S3-13M	572	-575
(Nmin)	82SSS12S	163	-159
(Mmax)	57S3-13M	572	575
(Mmin)	51S1T29S	169	63

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd		
01S1-11M	507	363	44S1T23M	493 420
02S1-11T	507	363	45S1T23T	493 420
03S1-12M	507	398	46S1T24-	169 80
04S1-12T	507	398	47S1T25-	206 174
05S1-13M	550	510	48S1T26S	425 277
06S1-13T	550	510	49S1T27S	425 290
07S1-14-	169	156	50S1T28S	438 321
08S1-15-	212	268	51S1T29S	169 63
09S1-16S	467	340	52S1T30S	182 94
10S1-17S	467	354	53S3-11M	529 428
11S1-18S	480	388	54S3-11T	529 428
12S1-19S	169	134	55S3-12M	529 464
13S1-20S	183	168	56S3-12T	529 464
14S1-21M	507	309	57S3-13M	572 575
15S1-21T	507	309	58S3-13T	572 575
16S1-22M	507	345	59S3-14S	489 405
17S1-22T	507	345	60S3-15S	489 419
18S1-23M	550	457	61S3-16S	503 453
19S1-23T	550	457	62S3-21M	529 374
20S1-24-	169	103	63S3-21T	529 374
21S1-25-	212	215	64S3-22M	529 405
22S1-26S	467	287	65S3-22T	529 405
23S1-27S	467	301	66S3-23M	565 499
24S1-28S	480	334	67S3-23T	565 499
25S1-29S	169	81	68S3-24S	489 352
26S1-30S	183	115	69S3-25S	489 365
27S1T11M	457	384	70S3-26S	502 396
28S1T11T	457	384	71SSS1--	228 313
29S1T12M	457	415	72SSS2--	221 309
30S1T12T	457	415	73SSS3--	196 189
31S1T13M	493	509	74SSS4--	172 176
32S1T13T	493	509	75SSS5--	228 284
33S1T14-	169	169	76SSS6--	221 280
34S1T15-	206	263	77SSS7--	196 160
35S1T16S	425	366	78SSS8--	172 147
36S1T17S	425	379	79SSS9S	218 296
37S1T18S	438	410	80SSS10S	211 293
38S1T19S	169	151	81SSS11S	186 172
39S1T20S	182	183	82SSS12S	163 159
40S1T21M	457	295	83SSS13S	218 267
41S1T21T	457	295	84SSS14S	211 263
42S1T22M	457	326	85SSS15S	186 143
43S1T22T	457	326	86SSS16S	163 130



- 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	317
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		5
\varnothing_1	mm	26
n_2		5
\varnothing_2	mm	16
Asl	cm ²	36.60

Sezione

b_w	cm	100
H	cm	70
c	cm	8.7
d	cm	61.3
k	N/mm ²	1.57
v_{min}	N/mm ²	0.40
ρ		0.0060
σ_{cp}	N/mm ²	0.00
α_c		1.00

Resistenza senza armatura a taglio

V_{Rd}	kN	313
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	1060
V_{RCd}	kN	1790
V_{Rd}	kN	1060
V_{Rd}	kN	VERIFICATO

SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64
Relazione di calcolo scatolare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00D26	CL	SL0200001	A	64 di 73

- Verifica a fessurazione spiccato (Pied-Spicc)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	403	kN m
Sforzo normale	N	477	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_{camm}	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	70	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	26.55	cm ²	5 Ø 26	$C_{t1} = \text{8.7 cm}$

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	6.7	N/mm ²	<	σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	146.3	N/mm ²	<	σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	84.5	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	49.5	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	24.9	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	7884	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	3497503.349	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id+}	1324363.256	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	303	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	406	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	85.1	cm	
	u (M_{fess})	50.1	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	6.7		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	148.0	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	24.9	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	15.05	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	36.60	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	1504.81	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0243	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.000288783	-	
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}	22.19	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs_{max}	325.1029413	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs_m	191.2370243	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.06	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.09	mm	

SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64
Relazione di calcolo scatolare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00D26	CL	SL0200001	A	65 di 73

- Verifica a fessurazione sommità (Pied-Sommità)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	382	kN m
Sforzo normale	N	588	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_{camm}	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	70	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	0.00	cm ²	0 Ø 0	$C_{t2} = 10.0$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	26.55	cm ²	5 Ø 26	$C_{t1} = 8.7$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	6.9	N/mm ²	<	σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	159.1	N/mm ²	<	σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	65.0	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	30.0	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	24.2	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	7743	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	3409190.918	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id+}	1115088.902	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	310	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	411	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e (M_{fess})	69.9	cm	
	u (M_{fess})	34.9	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	σ_{cr}	7.4		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	178.4	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	23.6	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	15.48	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	26.55	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	1547.78	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0172	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.000348132	-	
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}	427.7069286	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs_m	251.5923109	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.09	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.15	mm	

10.5.4 Verifica soletta inferiore

- Verifica a pressoflessione campata (Solinf-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	70 cm
Base della sezione b	100 cm
Copriferro d'	8.7 cm
Altezza utile della sezione d	61.3 cm

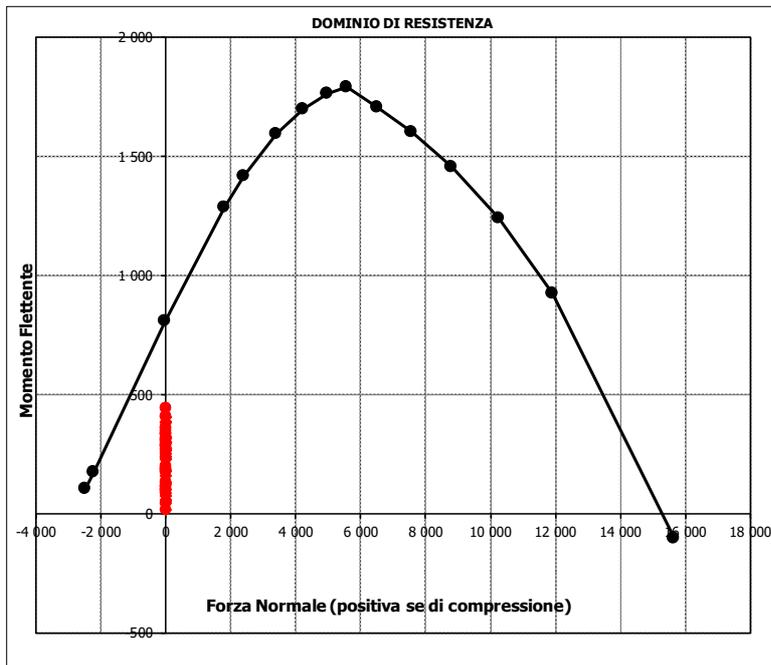
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm ²
5	16	10.05	cm ²
			36.60 cm²

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]	
(Nmax)			
(Nmin)			
(Mmax)	57S3-13M	0	446
(Mmin)	46S1T24-	0	17

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd			
01S1-11M	0	321	44S1T23M	0	347
02S1-11T	0	321	45S1T23T	0	347
03S1-12M	0	266	46S1T24-	0	17
04S1-12T	0	266	47S1T25-	0	137
05S1-13M	0	407	48S1T26S	0	256
06S1-13T	0	407	49S1T27S	0	235
07S1-14-	0	42	50S1T28S	0	282
08S1-15-	0	183	51S1T29S	0	44
09S1-16S	0	298	52S1T30S	0	90
10S1-17S	0	276	53S3-11M	0	360
11S1-18S	0	325	54S3-11T	0	360
12S1-19S	0	76	55S3-12M	0	305
13S1-20S	0	125	56S3-12T	0	305
14S1-21M	0	297	57S3-13M	0	446
15S1-21T	0	297	58S3-13T	0	446
16S1-22M	0	241	59S3-14S	0	337
17S1-22T	0	241	60S3-15S	0	315
18S1-23M	0	383	61S3-16S	0	364
19S1-23T	0	383	62S3-21M	0	336
20S1-24-	0	18	63S3-21T	0	336
21S1-25-	0	159	64S3-22M	0	288
22S1-26S	0	273	65S3-22T	0	288
23S1-27S	0	251	66S3-23M	0	408
24S1-28S	0	301	67S3-23T	0	408
25S1-29S	0	51	68S3-24S	0	312
26S1-30S	0	100	69S3-25S	0	291
27S1T11M	0	316	70S3-26S	0	338
28S1T11T	0	316	71SSS1--	0	202
29S1T12M	0	268	72SSS2--	0	198
30S1T12T	0	268	73SSS3--	0	128
31S1T13M	0	388	74SSS4--	0	114
32S1T13T	0	388	75SSS5--	0	188
33S1T14-	0	58	76SSS6--	0	184
34S1T15-	0	178	77SSS7--	0	114
35S1T16S	0	297	78SSS8--	0	100
36S1T17S	0	276	79SSS9S	0	191
37S1T18S	0	322	80SSS10S	0	186
38S1T19S	0	85	81SSS11S	0	116
39S1T20S	0	131	82SSS12S	0	103
40S1T21M	0	275	83SSS13S	0	177
41S1T21T	0	275	84SSS14S	0	173
42S1T22M	0	227	85SSS15S	0	103
43S1T22T	0	227	86SSS16S	0	89



• 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_{cc}	18.8 N/mm ²

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

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 70$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copri ferro	$d' = 8.7$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 61.3$ cm

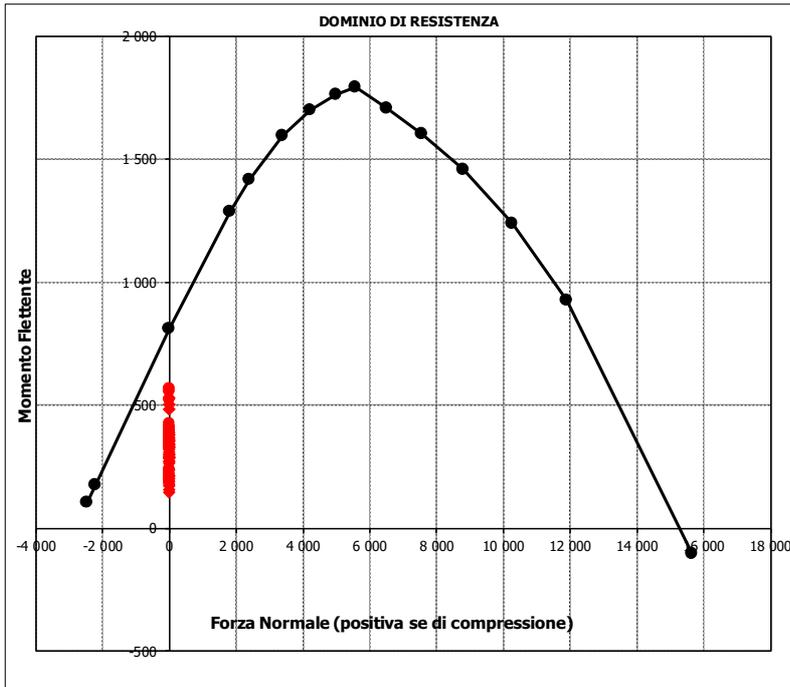
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm ²
5	16	10.05	cm ²
		0.00	cm ²
			36.60 cm²

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]
(Nmax)		
(Nmin)		
(Mmax)	57S3-13M	0 569
(Mmin)	38S1T19S	0 146

Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd		
01S1-11M	0	274	44S1T23M	0 526
02S1-11T	0	274	45S1T23T	0 526
03S1-12M	0	329	46S1T24-	0 214
04S1-12T	0	329	47S1T25-	0 361
05S1-13M	0	503	48S1T26S	0 323
06S1-13T	0	503	49S1T27S	0 344
07S1-14-	0	189	50S1T28S	0 398
08S1-15-	0	363	51S1T29S	0 187
09S1-16S	0	264	52S1T30S	0 241
10S1-17S	0	286	53S3-11M	0 339
11S1-18S	0	344	54S3-11T	0 339
12S1-19S	0	155	55S3-12M	0 395
13S1-20S	0	213	56S3-12T	0 395
14S1-21M	0	298	57S3-13M	0 569
15S1-21T	0	298	58S3-13T	0 569
16S1-22M	0	354	59S3-14S	0 329
17S1-22T	0	354	60S3-15S	0 351
18S1-23M	0	528	61S3-16S	0 409
19S1-23T	0	528	62S3-21M	0 363
20S1-24-	0	214	63S3-21T	0 363
21S1-25-	0	388	64S3-22M	0 411
22S1-26S	0	289	65S3-22T	0 411
23S1-27S	0	311	66S3-23M	0 559
24S1-28S	0	368	67S3-23T	0 559
25S1-29S	0	180	68S3-24S	0 354
26S1-30S	0	237	69S3-25S	0 375
27S1T11M	0	289	70S3-26S	0 429
28S1T11T	0	289	71SSS1--	0 399
29S1T12M	0	337	72SSS2--	0 397
30S1T12T	0	337	73SSS3--	0 225
31S1T13M	0	484	74SSS4--	0 220
32S1T13T	0	484	75SSS5--	0 413
33S1T14-	0	173	76SSS6--	0 411
34S1T15-	0	320	77SSS7--	0 239
35S1T16S	0	282	78SSS8--	0 234
36S1T17S	0	303	79SSS9S	0 377
37S1T18S	0	357	80SSS10S	0 375
38S1T19S	0	146	81SSS11S	0 203
39S1T20S	0	200	82SSS12S	0 198
40S1T21M	0	331	83SSS13S	0 391
41S1T21T	0	331	84SSS14S	0 389
42S1T22M	0	379	85SSS15S	0 217
43S1T22T	0	379	86SSS16S	0 211



- 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	460
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		5
\varnothing_1	mm	26
n_2		5
\varnothing_2	mm	16
Asl	cm ²	36.60

Sezione

b_w	cm	100
H	cm	70
c	cm	8.7
d	cm	61.3
k	N/mm ²	1.57
v_{min}	N/mm ²	0.40
ρ		0.0060
σ_{cp}	N/mm ²	0.00
α_c		1.00

Resistenza senza armatura a taglio

V_{Rd}	kN	313
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	1060
V_{RCd}	kN	1790
V_{Rd}	kN	1060
V_{Rd}	kN	VERIFICATO

SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64
Relazione di calcolo scatolare

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOLGIO
IV01	00D26	CL	SL0200001	A	69 di 73

• Verifica a fessurazione campata (Solinf-Camp)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	281	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_{camm}	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	70	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1'	26.55	cm ²	5 Ø 26	$C_{s1} = \downarrow$ 8.7 cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2'	0.00	cm ²	0 Ø 0	$C_{s2} = \downarrow$ 10.0 cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	10.05	cm ²	5 Ø 16	$C_{t2} = \downarrow$ 10.8 cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	26.55	cm ²	5 Ø 26	$C_{t1} = \downarrow$ 8.7 cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	4.4	N/mm ²	<	σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	144.7	N/mm ²	<	σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	∞	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm		
Posizione asse neutro	y (M)	19.3	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	7884	cm ²		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	3497503.349	cm ⁴		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id*}	1226861.577	cm ⁴		

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	242	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	346	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}	5.4		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	177.8	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	19.3	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_t	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	16.91	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	36.60	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	1691.21	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0216	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.00034696	-	
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}	22.19	mm	
Distanza massima tra le fessure	ΔS_{max}	344.3159717	mm	
Distanza media tra le fessure	ΔS_m	202.5388069	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 appoggio (Solinf-App)

Sollecitazioni

Momento flettente	M	390	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_{camm}	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	70	cm		
Larghezza sezione	B	100	cm		
Armatura compressa (1° strato)	AS_1^1	26.55	cm ²	5 Ø 26	$c_{s1} = 8.7$ cm
Armatura compressa (2° strato)	AS_2^1	0.00	cm ²	0 Ø 0	$c_{s2} = 10.0$ cm
Armatura tesa (2° strato)	AS_2	10.05	cm ²	5 Ø 16	$c_{t2} = 10.8$ cm
Armatura tesa (1° strato)	AS_1	26.55	cm ²	5 Ø 26	$c_{t1} = 8.7$ cm

Tensioni nei materiali

Compressione max nel cls.	σ_c	6.1	N/mm ²	< σ_{camm}
Trazione nell'acciaio (1° strato)	σ_s	200.3	N/mm ²	< σ_{samm}

Eccentricità	e (M)	∞	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	∞	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	19.3	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	A_{id}	7884	cm ²	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	J_{id}	3497503.349	cm ⁴	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	J_{id}^*	1226861.577	cm ⁴	

Verifica a fessurazione

Momento di fessurazione (f_{ctk})	M_{fess}^*	242	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione (f_{ctm})	M_{fess}	346	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}	5.4		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	σ_{sr}	177.8	N/mm ²	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y (M_{fess})	19.3	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	k_c	0.6		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	16.91	cm	
Rapporto tra moduli elastici	α_e	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	AS_{eff}	36.60	cm ²	
Area efficace	AC_{eff}	1691.21	cm ²	
Rapporto geometrico di armatura	ρ_{eff}	0.0216	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	ϵ_{sm}	0.00034696	-	
Copri ferro 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}	22.19	mm	
Distanza massima tra le fessure	Δs_{max}	344.3159672	mm	
Distanza media tra le fessure	Δs_m	202.5388042	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	w_m	0.07	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	w_d	0.12	mm	

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
	SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A

11. INCIDENZA SCATOLARE

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

Soletta superiore	130 kg/mc
Soletta inferiore	130 kg/mc
Piedritti	120 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.

	RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA					
SL02 - Nuovo Sottovia al Km 69+510.64 Relazione di calcolo scatolare	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL0200001	REV. A	FOGLIO 72 di 73

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

12.1 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.

12.2 Origine e caratteristiche dei Codici di Calcolo

Titolo: SAP2000 Ultimate
 Versione: 21.0.2
 Produttore: CSI Computers and Structures, Inc.

12.3 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.