

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

### PROGETTO DEFINITIVO

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

OPERE PRINCIPALI – SOTTOVIA E SOTTOPASSI

SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90

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 1 6 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: IV0I00D26CLSL1600001A.docx

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	REV. A

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. DESCRIZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>3. NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>6</b>
4.1 Calcestruzzo per magrone di sottofondazione .....	6
4.2 Calcestruzzo per strutture scatolari .....	6
4.3 Acciaio ordinario per calcestruzzo armato .....	7
<b>5. STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI .....</b>	<b>9</b>
5.1 Profondità della falda .....	9
<b>6. ANALISI DEI CARICHI .....</b>	<b>10</b>
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
<b>7. COMBINAZIONE DEI CARICHI .....</b>	<b>19</b>
<b>8. VERIFICHE STRUTTURALI .....</b>	<b>21</b>
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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	REV. A

<b>9. VERIFICHE GEOTECNICHE .....</b>	<b>24</b>
<b>10.ANALISI STRUTTURALE .....</b>	<b>25</b>
10.1 Modellazione strutturale : Scatolare .....	25
10.2 Analisi dei carichi .....	27
10.3 Combinazioni.....	46
10.4 Sollecitazioni .....	50
10.5 Verifiche strutturali.....	56
10.5.1 Riepilogo armature .....	56
10.5.2 Verifica soletta superiore.....	57
10.5.3 Verifica piedritti .....	62
10.5.4 Verifica soletta inferiore.....	67
<b>11.INCIDENZA SCATOLARE .....</b>	<b>72</b>
<b>12.DICHIARAZIONI SECONDO D.M. 17/01/2018 (P.TO 10.2) .....</b>	<b>73</b>
12.1 Tipo di analisi svolte.....	73
12.2 Origine e caratteristiche dei Codici di Calcolo.....	73
12.3 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati.....	73

## 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 SL16 alla pk 87+044.90, in località Albenga, situato nelle vicinanze della piazzola d'emergenza della Galleria Alassio lato Genova.

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

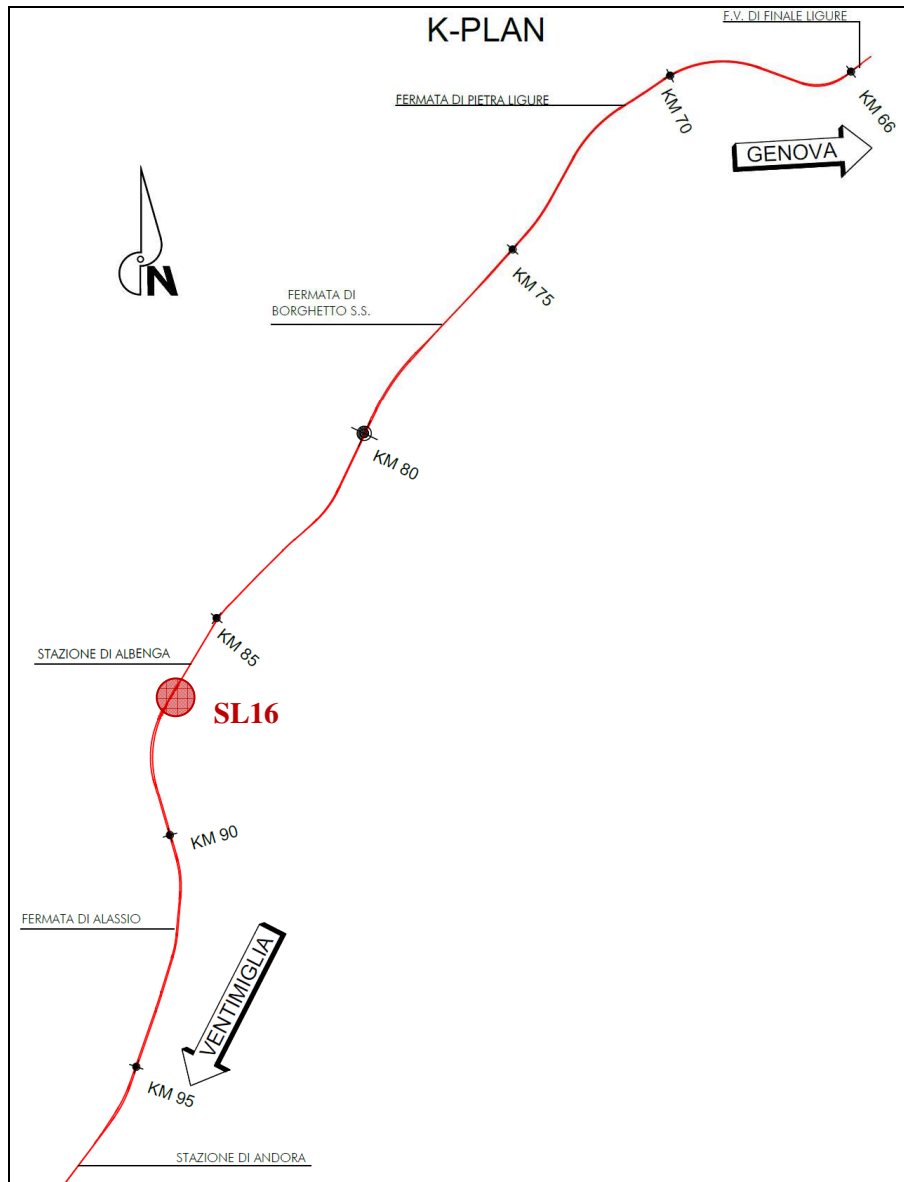


Figura 1: Raddoppio tratta Finale L. - Andora. Inquadramento dell'opera

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	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:

<b>Ricoprimento</b>				
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		0.26	m
<b>Geometria</b>				
Spessore soletta superiore	Ss		1.10	m
Spessore soletta di fondazione	Sf		1.10	m
Spessore piedritti	Sp		1.10	m
Altezza netta	Hint		6.60	m
Larghezza netta	Lint		11.30	m
Lunghezza risvolti sol. inf.	Lr		0.20	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.

	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	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;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	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 <sup>2</sup>	15
Contenuto minimo cemento			kg/m <sup>3</sup>	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				<b>Scatolari</b>
Classe di esposizione ambientale				<b>XC4</b>
Classe di resistenza calcestruzzo				<b>C32/40</b>
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 <sup>3</sup> ]		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	$\alpha$	[C <sup>-1</sup> ]		1.0E-05
Coeff. per condizioni di aderenza	$\eta_1$	[-]		1.0
Coeff. $\emptyset$ barre per aderenza	$\eta_2$	[-]		1.0
Resistenza tangenziale caratteristica di aderenza	$f_{bk}$	[MPa]		4.9
Coeff. riduttivo resistenze di lunga durata	$\alpha_{cc}$	[-]		0.85
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_c$	[-]		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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	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			<b>B450C</b>
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	$\rho_s$	[kg/m <sup>3</sup> ]	7850
Modulo elastico	$E_s$	[MPa]	200000
Deformazione caratteristica a carico massimo	$\epsilon_{uk}=(A_{gt})_k$	[%]	7.50
Coefficiente di dilatazione termica	$\alpha$	[C <sup>-1</sup> ]	1.2E-05
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s$	[-]	1.15
Resistenza di progetto	$f_{yd}$	[MPa]	391.3
Deformazione di progetto allo snervamento	$\epsilon_{yd}$	[%]	0.2
Deformazione di progetto a carico massimo	$\epsilon_{ud}$	[%]	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 $\geq$ Co	Cmin $\leq$ C<Co	C $\geq$ Co	Cmin $\leq$ C<Co	C $\geq$ Co	Cmin $\leq$ C<Co	C $\geq$ Co	Cmin $\leq$ 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



	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	REV. A	FOGLIO 8 di 74

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  $\delta_f$  apertura delle fessure e  $w_1$  valore limite dell'apertura delle fessure.

$w_1 = 0.2 \text{ mm}$

$w_2 = 0.3 \text{ mm}$

$w_3 = 0.4 \text{ mm}$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	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:

Unità	Prof top
-	m slm
1	+20
3	+17.5
2	+14
ALN/ALNa	+5*

Unità	Descrizione	$\gamma$	$\phi$	$c'$	$c_u$	E	$V_s$	$\nu$	$\sigma_c$
-	-	kN/mc	°	kPa	kPa	MPa	m/s	-	MPa
1	Materiale di riporto ghiaioso sabbioso con ciottoli in matrice limosa	19	27	0	-	10	200	0.3	-
2	Ghiaia con sabbia limosa da addensata a molto addensata, con clasti calcarei e arenacei	20	35	0	-	40-70	200-300	0.3	-
3	Limo argilloso debolmente sabbioso e ghiaioso	19.5	24	0	40-90	5-10	200-300	0.25	-
ORV	Limo argilloso molto consistente	20.5	24	10	100	30	>800	0.25	-
ALN/ALNa	Formazione di Albenga, calcescisto costituito da calcare e calcare marnoso, molto compatto e nei primi metri completamente	24.5	25	400	-	>400	>1000	0.25	10


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.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	REV. A

## 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 <sup>3</sup>
Rilevato:	$\gamma_{ril}$	= 20.00 kN/m <sup>3</sup>
Ballast + armamento:	$\gamma_{ballast}$	= 18.00 kN/m <sup>3</sup>

### 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;
- $\gamma_b$  = peso specifico del ballast;
- $H_{sc}$  = spessore del super compattato;
- $\gamma_b$  = peso specifico del super compattato.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	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

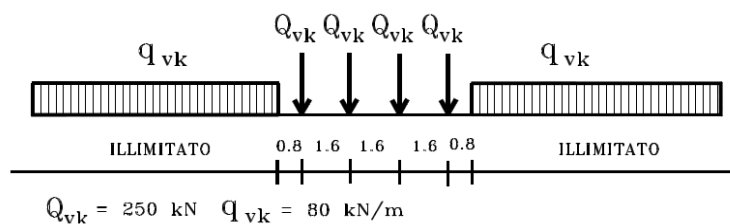
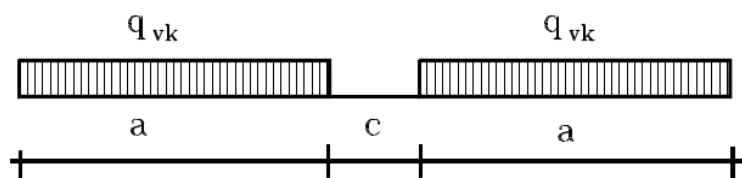


Figura 6.1 – Treno di carico LM71



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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	REV. A

### Coefficiente di amplificazione dinamica $\Phi$ :

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  $\Phi$  sarà:

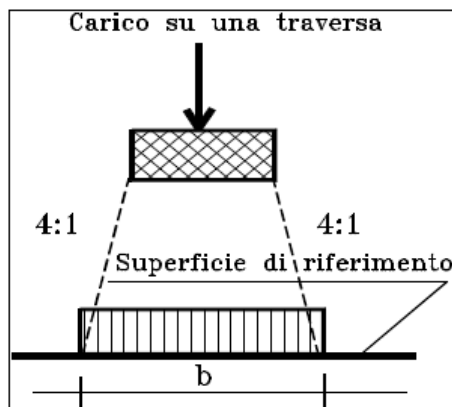
$$\Phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\Phi - 0,2}} + 0,73 \quad \text{con la limitazione } 1,00 \leq \Phi_3 \leq 2,00$$

Dove:

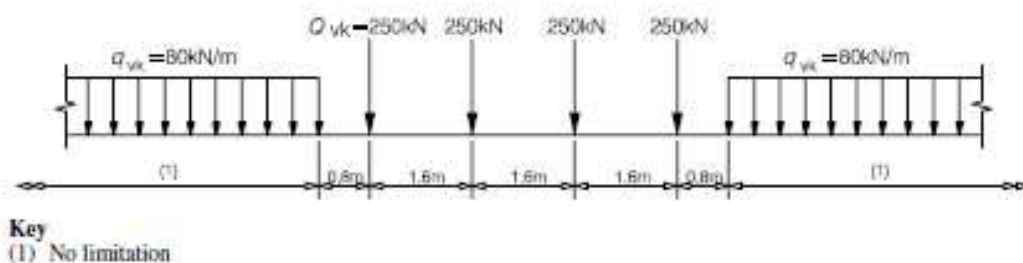
$L_\Phi$  rappresenta la lunghezza "caratteristica" in metri.

### 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.

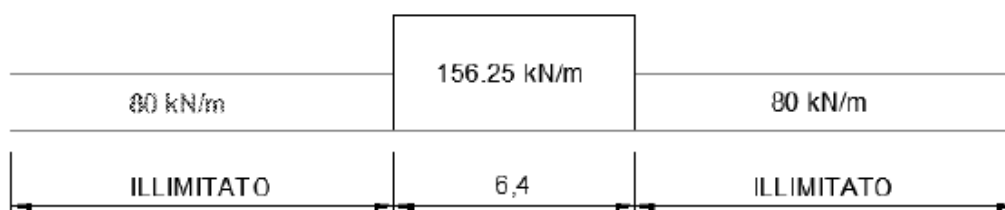


Il carico equivalente si ricava dalla ripartizione trasversale e longitudinale dei carichi per effetto delle traverse e del ballast previsti dalla stessa norma EN 1991-2:2003/AC:2010.

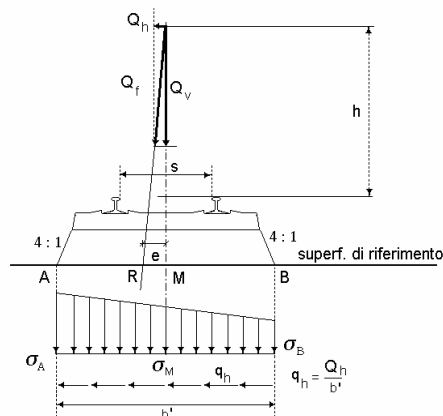
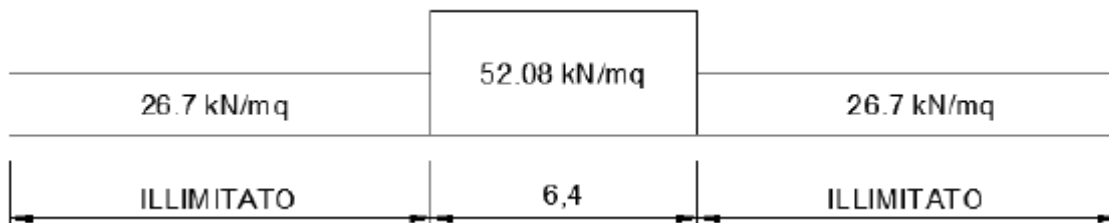
	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	REV. A

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.

	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	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: E
- 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

Reticolo di riferimento



Controllo sui:

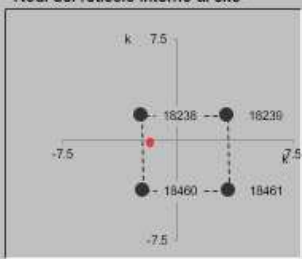
- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

superficie

**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri

**Nodi del reticolo intorno al sito**



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

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

Valori di

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

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

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<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"/>

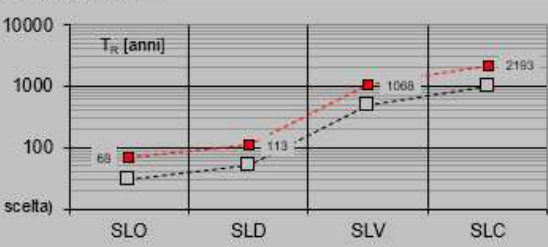
**Elaborazioni**

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



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

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	REV. A

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

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0.189 g
$F_o$	2.462
$T_C^*$	0.300 s
$S_S$	1.488
$C_C$	1.861
$S_T$	1.000
$q$	1.000

#### Parametri dipendenti

$S$	1.488
$\eta$	1.000
$T_B$	0.186 s
$T_C$	0.559 s
$T_D$	2.356 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  $10^\circ$ , 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 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.

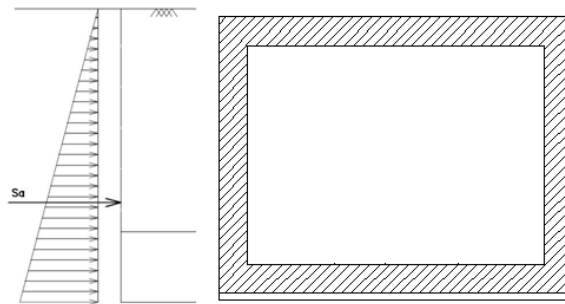
Per il coefficiente di dilatazione termica si assume:

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

	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	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  $\varphi'$  è l'angolo di attrito assunto. In caso di falda il peso specifico del terreno è stato sostituito da quello efficace.

	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	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.

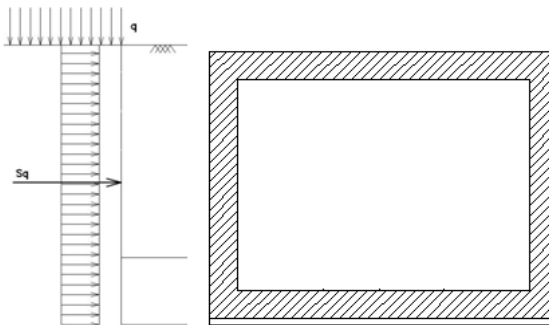


Figura 6.4– Schema per il calcolo degli effetti della spinta dovuta al sovraccarico accidentale

### 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  $H/2$ .

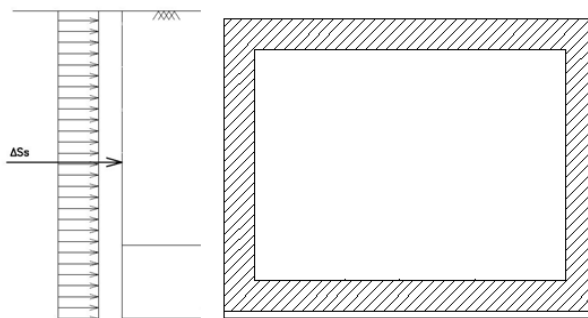



Figura 6.5– Schema per il calcolo degli effetti della sovraspinta sismica

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	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 ( $\Phi, \alpha$ , 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  $\psi$  delle tabelle seguenti.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	REV. A

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	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 <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	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 <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 <sup>(5)</sup>	0,20 <sup>(5)</sup>
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(6)</sup>	1,00 <sup>(7)</sup>	1,00	1,00	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.  
<sup>(2)</sup> 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.  
<sup>(3)</sup> Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.  
<sup>(4)</sup> Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.  
<sup>(5)</sup> Aliquota di carico da traffico da considerare.  
<sup>(6)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna  
<sup>(7)</sup> 1,20 per effetti locali

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

Azioni		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
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 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr2	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
	gr3	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	gr4	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	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  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Tab. 3 – Coefficienti di combinazione  $\psi$  delle azioni

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	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":

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	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;

$\alpha$  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.

	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	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:

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

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

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



	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	REV. A	FOGLIO 24 di 74

## 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

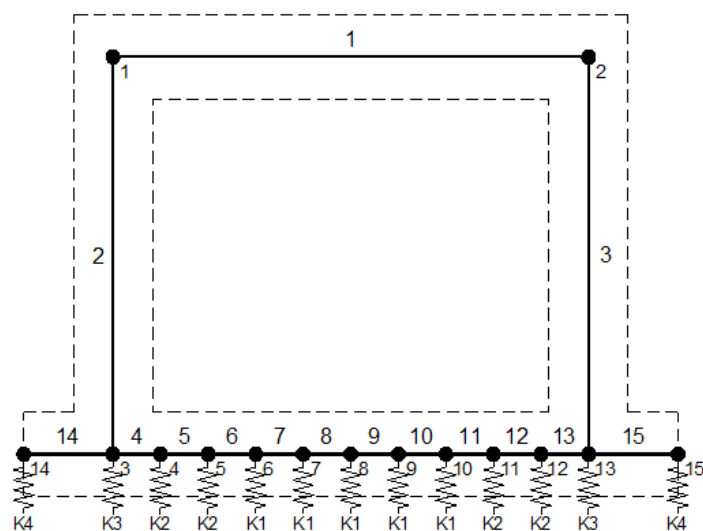
**x** = asse trasversale dello scatolare

**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.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	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 rigidezza delle molle, nell'opera in esame si considera un modulo di reazione verticale Kw pari a 3129 kN/m<sup>3</sup>. Tale valore viene valutato tramite la teoria di Bowles, note le dimensioni della fondazione dell'opera e il modulo elastico del terreno di fondazione:

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

Dove:

E	modulo elastico del terreno
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:

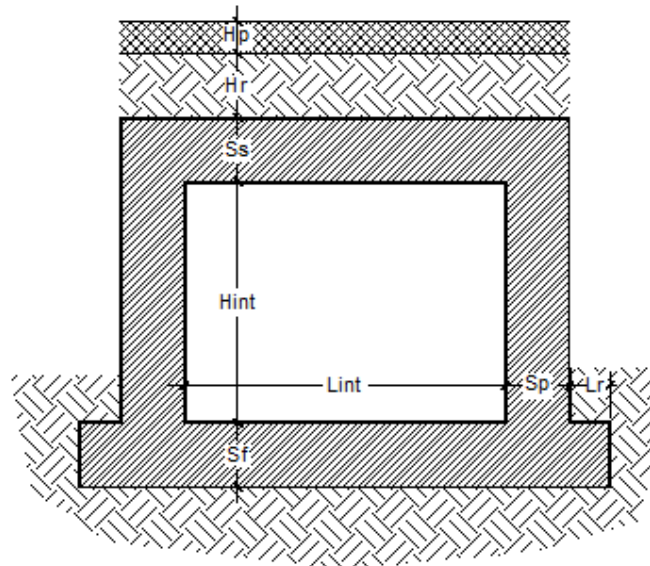
<b>Rigidezze molle verticali</b>				
Modulo elastico del terreno	E <sub>t</sub>		7.50	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson	v		0.25	-
Larghezza della fondazione	B	B = L <sub>r</sub> +S <sub>0</sub> +L <sub>int</sub> +S <sub>0</sub> +L <sub>r</sub>	13.90	m
Lato maggiore della fondazione	L		23.73	m
Fattore di forma	C <sub>t</sub>		1.14	-
Terreno di fondazione - Costante di sottofondo	K <sub>w</sub>	K <sub>w</sub> = E <sub>t</sub> /((1-ν <sup>2</sup> ))*B*c <sub>t</sub>	505	kN/m <sup>3</sup>
Interasse molle	i	i = (S <sub>0</sub> /2+L <sub>int</sub> +S <sub>0</sub> /2)/10	1.24	m
Molle centrali	K1	K <sub>1</sub> = K <sub>w</sub> *i	627	kN/m
Molle intermedie	K2	K <sub>2</sub> = 1.50*K <sub>w</sub> *i	940	kN/m
Molle laterali	K3	K <sub>3</sub> = 2.00*K <sub>w</sub> *(i/2+S <sub>0</sub> /2)	1 183	kN/m
Molle risolto	K4	K <sub>4</sub> = 1.50*K <sub>w</sub> *L <sub>r</sub>	152	kN/m

La rigidezza 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

<b>Caratteristiche materiali e terreno</b>			
Calcestruzzo armato - Peso specifico	$\gamma$		25 kN/m <sup>3</sup>
Calcestruzzo armato - Tipo			C32/40
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cubica	$R_{ck}$		40 N/mm <sup>2</sup>
Calcestruzzo armato - Res. caratt. cilindrica	$f_{ck}$	$0.83 \cdot 40 =$	33.2 N/mm <sup>2</sup>
Calcestruzzo armato - Modulo elastico	$E$		33600 N/mm <sup>2</sup>
Ballast - Peso specifico	$\gamma_b$		18 kN/m <sup>3</sup>
Terreno del rilevato -Peso specifico	$\gamma$		20 kN/m <sup>3</sup>
Terreno del rilevato - Angolo di attrito	$\varphi$		38 °
Terreno di riempimento laterale - Peso specifico	$\gamma$		19.0 kN/m <sup>3</sup>
Terreno di riempimento laterale - Angolo di attrito	$\varphi$		27 °
Condizioni ambientali per ver. a fessurazione			aggressive
<b>Ricoprimento</b>			
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	$H_r$		0.26 m
<b>Geometria</b>			
Spessore soletta superiore	$S_s$		1.10 m
Spessore soletta di fondazione	$S_f$		1.10 m
Spessore piedritti	$S_p$		1.10 m
Altezza netta	$H_{int}$		6.60 m
Larghezza netta	$L_{int}$		11.30 m
Lunghezza risvolti sol. inf.	$L_r$		0.20 m



Tab. 4: Geometria del modello

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	REV. A

### Azioni elementari applicate

<b>Carichi permanenti (Condizione PERM)</b>					
Soletta superiore					
Peso ballast	Ps	$0.80 \cdot 18 =$		14.40	kN/m <sup>2</sup>
Peso del rinterro	Pr	$0.26 \cdot 20 =$		5.20	kN/m <sup>2</sup>
Totale		$(Pr+Ps)*r$		<b>21.34</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
Risvolti soletta inferiore					
Peso ballast	Ps	$0.80 \times 18 =$		14.40	kN/m <sup>2</sup>
Peso del rinterro	Pr	$(0.26+1.10+6.60) \times 20 =$		159.20	kN/m <sup>2</sup>
Totale				<b>173.60</b>	<b>kN/m<sup>2</sup></b>
<b>Carichi accidentali sulla copertura LM71 (Condizioni ACC-M71 e ACC-T71)</b>					
Coefficiente dinamico					
Lunghezza caratteristica per coeff. din.	$L_{\phi}$	$= 1.3 \cdot 1/3 \cdot (7.15 + 12.40 + 7.15)$		11.57	m
Coefficiente dinamico	$\Phi_3$	$= 0.9 \cdot (2.16 / (\text{radq}(11.57) - 0.2) + 0.73)$		1.26	
Qvk					
Coefficiente di adattamento	$\alpha$			1.10	
Larghezza traversa	Lt			2.40	m
Impronta di carico y	Ld1	$2.40 + 2 \times (0.40/4+0.26 \times \text{TAN}(38^\circ)+1.10/2) =$		4.11	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)		$1.1 \cdot 1.26 \cdot 1000 / (4.11 \cdot 6.40) =$		52.92	kN/m <sup>2</sup>
qvk					
Carico qvk				80	kN/m
Carico qvk (ripartito)		$1.1 \cdot 1.26 \cdot 80 / 4.11 =$		27.09	kN/m <sup>2</sup>
<b>Carichi accidentali sulla copertura SW/2 (Condizioni ACC-MSW e ACC-TSW)</b>					
Coefficiente di adattamento					
	$\alpha$			1.00	
Carico qvk				150	kN/m
Carico qvk (ripartito)		$1 \cdot 1.26 \cdot 150 / 4.11 =$		46.18	kN/m <sup>2</sup>
<b>Avviamento e frenatura (Condizione AVV)</b>					
Q1ak (= $\alpha*33 / Ld1$ )		$\alpha*33 / 4.11 =$		8.84	kN/m <sup>2</sup>

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.

<b>Azione termica (Condizione TERM)</b>					
Variazione termica uniforme	$\Delta T_U$		15	°	
Variazione termica a farfalla	$\Delta T_F$		5	°	
Variazione termica uniforme di calcolo	$\Delta T_{U*}$	$15 / 2 =$	7.50	°	
Variazione termica a farfalla di calcolo	$\Delta T_{F*}$	$5 / 2 =$	2.50	°	
<b>Ritiro (Condizione RITIRO)</b>					
Ritiro applicato alla sol. Superiore	$\Delta T_R$		-10	°	
<b>Coefficienti di spinta statici del terreno</b>					
Grado di sovraconsolidazione	OCR		1	-	
Coefficiente dipendente dall'OCR	m		0.5	-	
Angolo di attrito - terreno ai lati dei piedritti	$\varphi$		27.00	°	
Coefficiente di spinta a riposo	$K_0$	$K_0 = [1 - \text{sen}(\varphi_c)] * \text{OCR}^m$	0.55	-	
Angolo di attrito terreno-muro	$\delta$		18	°	
Inclinazione del piano campagna rispetto all'orizzontale	$\beta$		0	°	
Inclinazione piedritto rispetto alla verticale	$\alpha$		90	°	
Coefficiente di spinta attiva	$K_a$		0.33	-	
<b>Spinta del terreno (Condizioni SPTSX e SPTDX)</b>					
K01		$1 - \text{sen}(38^\circ) =$	0.384		
K02		$1 - \text{sen}(27^\circ) =$	0.546		
Spinta alla quota di estradosso sol. sup.	p1	$0.384 \cdot 21.20 =$	8.15	kN/m <sup>2</sup>	
Spinta in asse sol. sup.	p2	$0.384 \cdot (21.20 + 20 \cdot 1.10/2) =$	12.38	kN/m <sup>2</sup>	
Spinta in asse sol. inf.	p3	$0.546 \cdot [21.20 + 20 \cdot (1.10 + 6.60 + 1.10/2)] =$	97.16	kN/m <sup>2</sup>	
Spinta alla quota di intradosso sol. inf.	p4	$0.546 \cdot [21.20 + 20 \cdot (1.10 + 6.60 + 1.10)] =$	102.87	kN/m <sup>2</sup>	
Spinta semispessore sol. sup.	F1	$(8.15 + 12.38) / 2 \cdot 1.10 / 2 =$	5.64	kN/m	
Spinta semispessore sol. inf.	F2	$(97.16 + 102.87) / 2 \cdot 1.10 / 2 =$	55.01	kN/m	
<b>Spinta del carico accidentale LM71 (Condizioni SPACCSX e SPACCDX)</b>					
Spinta dovuta al q1	p	$0.546 \cdot 1.1 \cdot 1000 / (4.11 \cdot 6.40) =$	22.85	kN/m <sup>2</sup>	
<b>Spinta del carico accidentale SW/2 (Condizioni SPACCSX e SPACCDX)</b>					
Spinta dovuta al q1	p	$0.546 \cdot 1 \cdot 150 / (4.11 \cdot 6.40) =$	3.12	kN/m <sup>2</sup>	
<b>Sisma orizzontale (Condizione SISMAH)</b>					
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	$a_q/g$		0.189		
Amplificazione spettrale	$F_0$		2.462		
Categoria sottosuolo		A, B, C, D, E	E		
Coeff. Amplificazione stratigrafica	$S_s$		1.488		
Coeff. Amplificazione topografica	$S_t$		1		
Coefficiente S	$S$	$= S_s \cdot S_t$	1.488		
accelerazione orizzontale max	$a_{max}/g$	$= a_g/g \cdot S$	0.281		
Fattore di struttura	$q$		1.00		
Coeff. sismico orizzontale	$k_h$	$= a_{max}/g$	0.281		
Coeff. sismico verticale	$k_v$	$= \pm 0.5 \cdot k_h$	0.141		
Carico accidentale totale gravante sulla cop.		$1.1 \cdot 1000 / (4.11 \cdot 6.40) \cdot 6.40 + 1.1 \cdot 80 / 4.11 \cdot 13.50 =$	557.2	kN/m	
Forza orizz. sulla sol. di cop.	FHs	$0.281 \cdot (1.10 \cdot 25 + 21.34 + 0.2 \cdot 557.2 / 12.40) / 1.00 =$	16.26	kN/m <sup>2</sup>	
Forza orizz. sui piedritti	FHp	$0.281 \cdot (1.10 \cdot 25) / 1.00 =$	7.73	kN/m <sup>2</sup>	
<b>Sisma verticale (Condizione SISMAV)</b>					
Forza vert. sulla sol. di cop.	FVs	$0.141 \cdot (1.10 \cdot 25 + 21.34 + 0.2 \cdot 557.2 / 12.40) / 1.00 =$	8.13	kN/m <sup>2</sup>	
<b>Spinta del terreno in fase sismica (Condizione SPSPDX)</b>					
Risultante della spinta sismica	$\Delta S_E$	$= (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot (H_{int} + S_s + S_f + H_b + H_r)^2 = 0.281 \cdot 20 \cdot 9.$	546.9	kN/m	
Pressione risultante	$\Delta P_E$	$= \Delta S_E / H = 546.9 / 7.70$	71.02	kN/m <sup>2</sup>	

	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	REV. A

Seguono le schermate di applicazione dei principali carichi al modello:

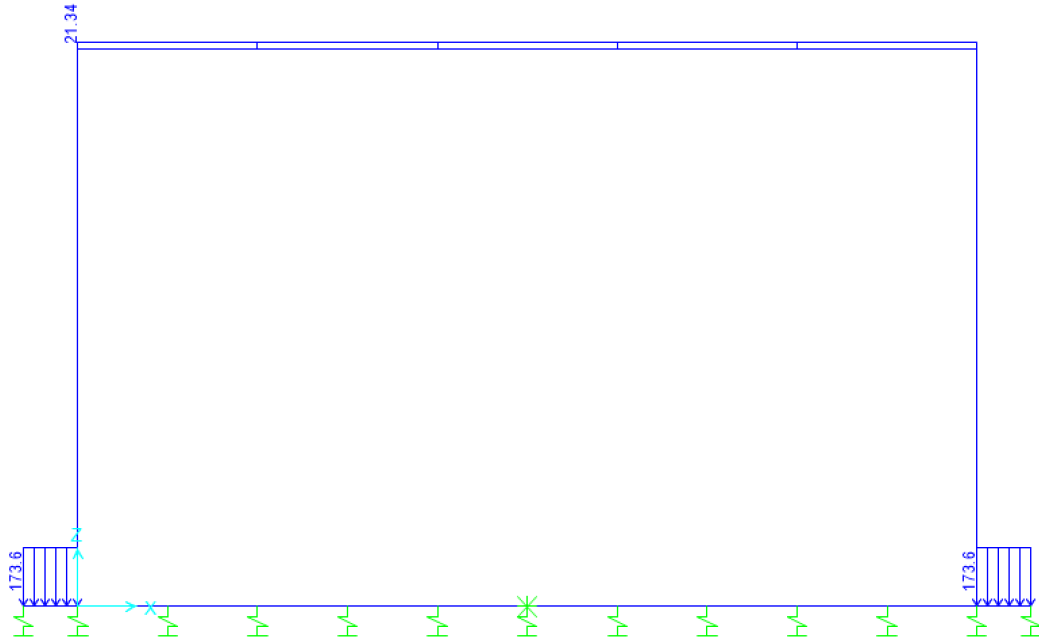


Figura 6: Condizione di carico PERM (kN/m/m)

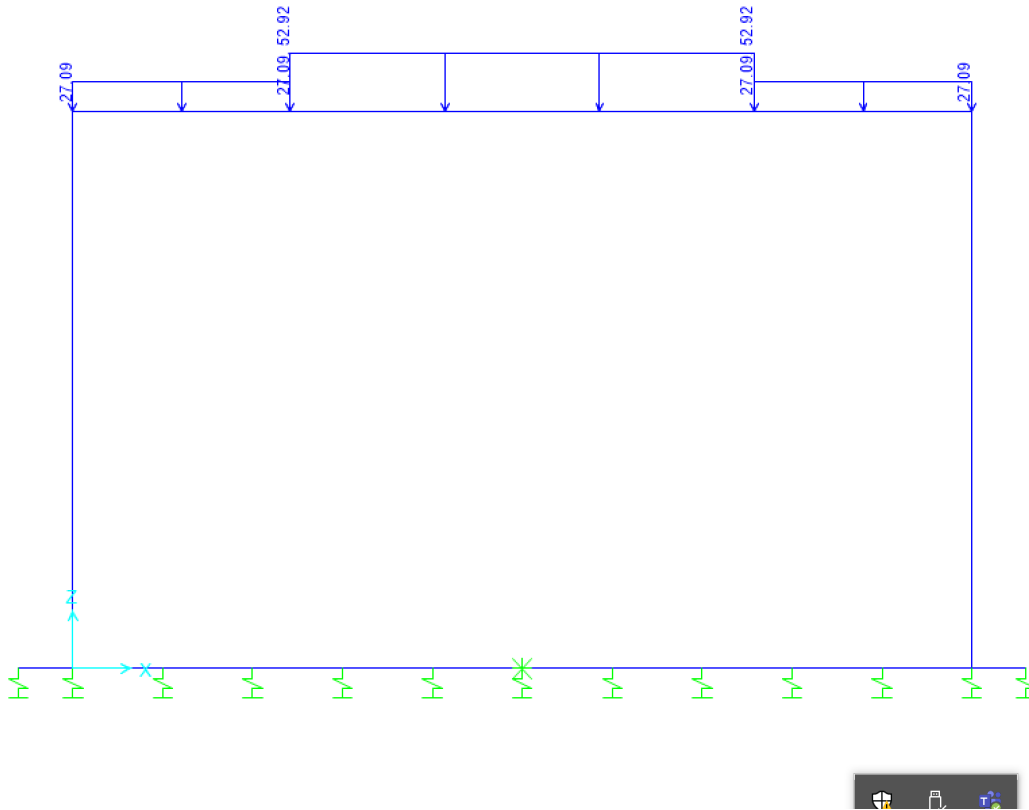
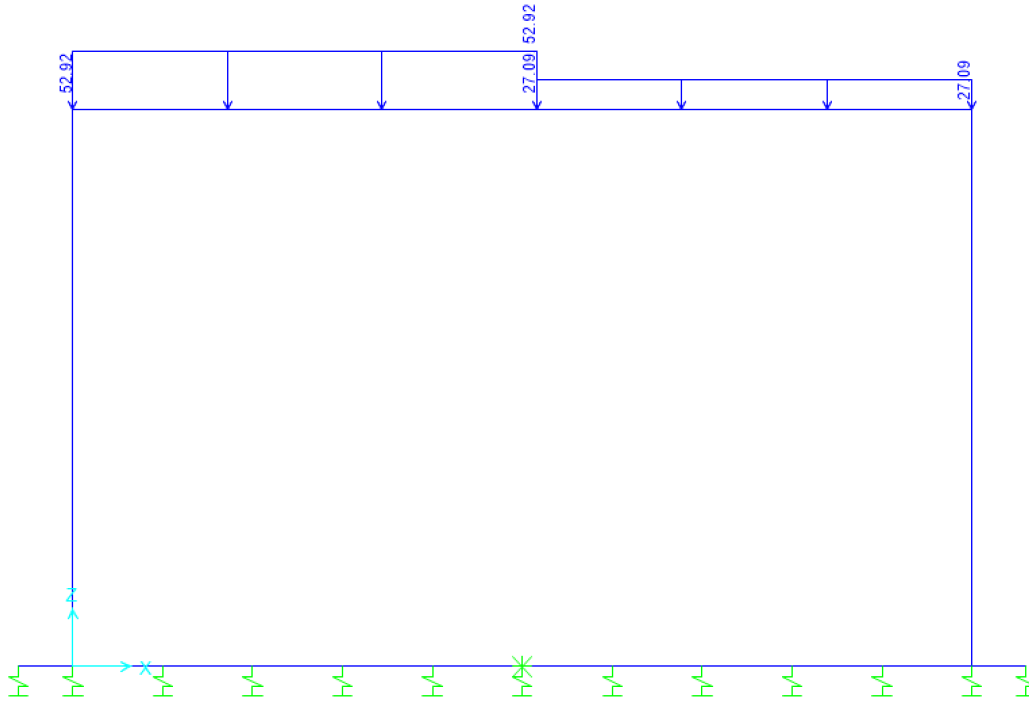


Figura 7: Condizione ACC-LM71-  $M(kN/m/m)$





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

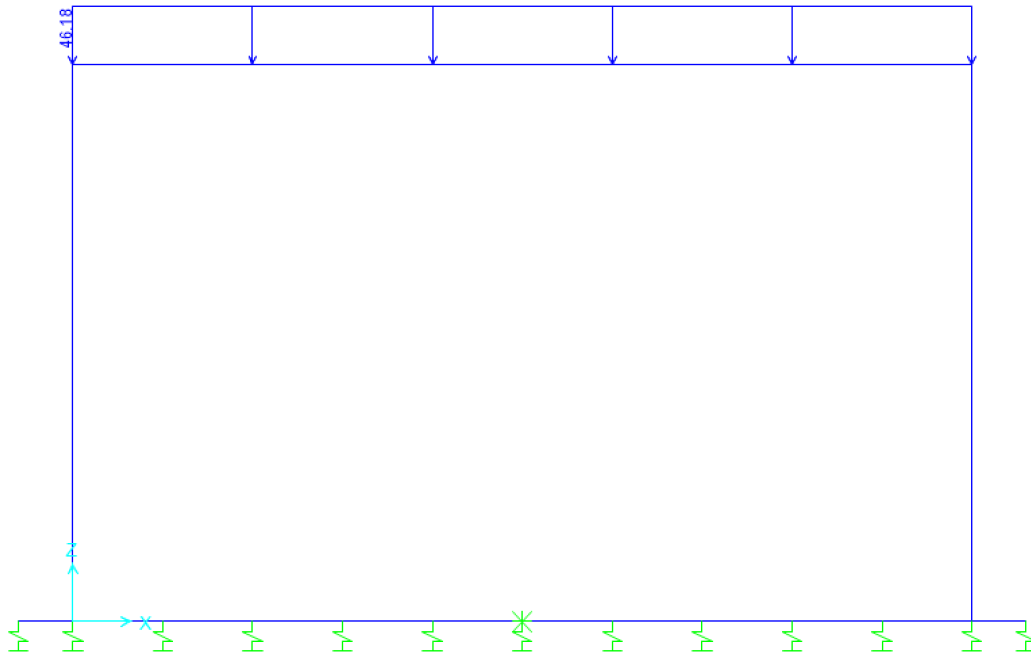
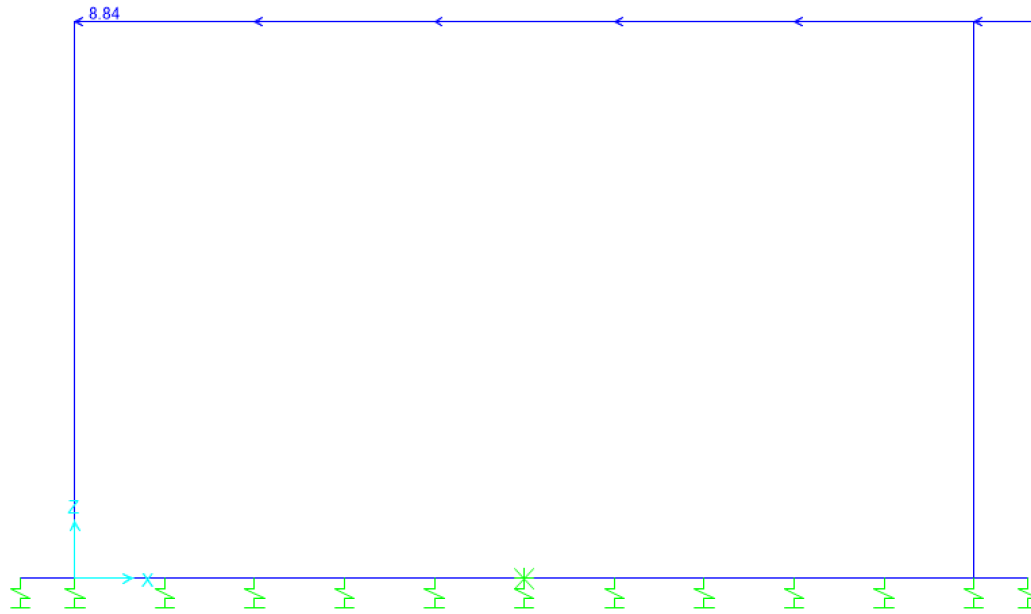


Figura 9: Condizione ACC-SW (kN/m/m)



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

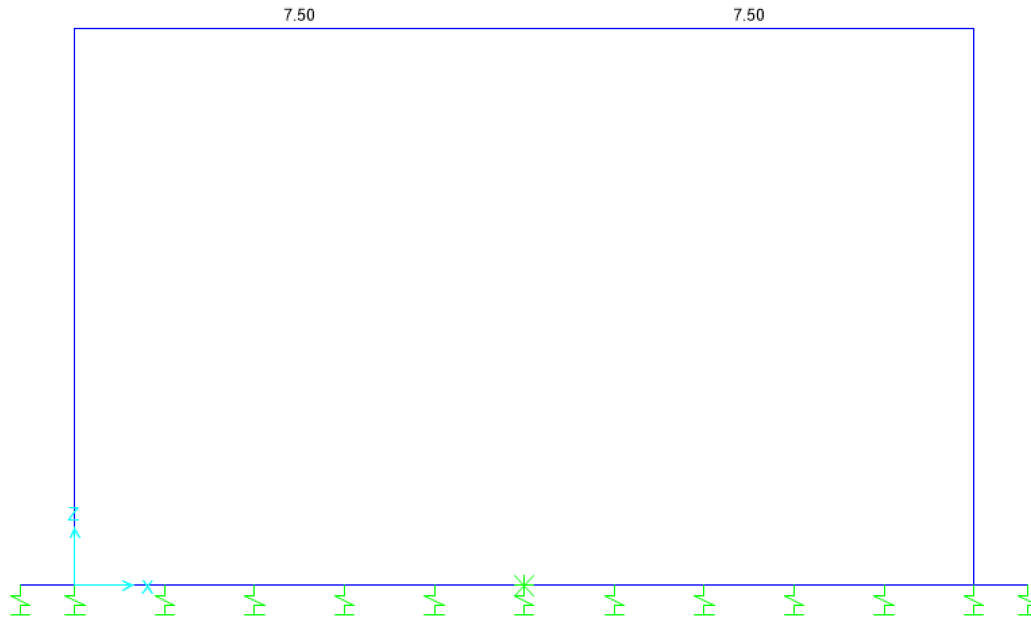
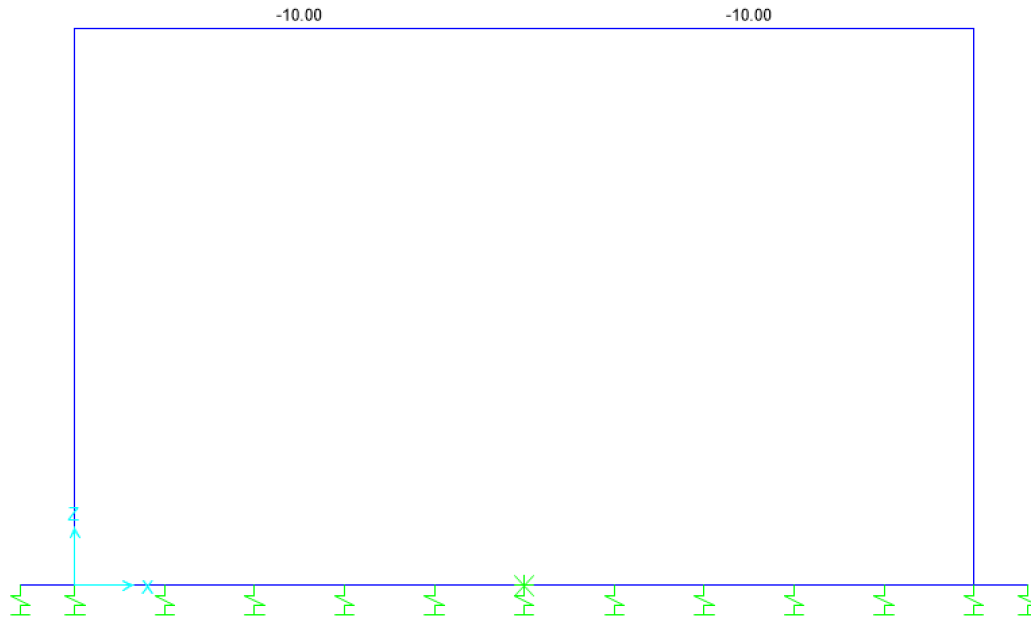


Figura 11: Condizione TERM (°C)



*Figura 12: Condizione RITIRO (°C)*

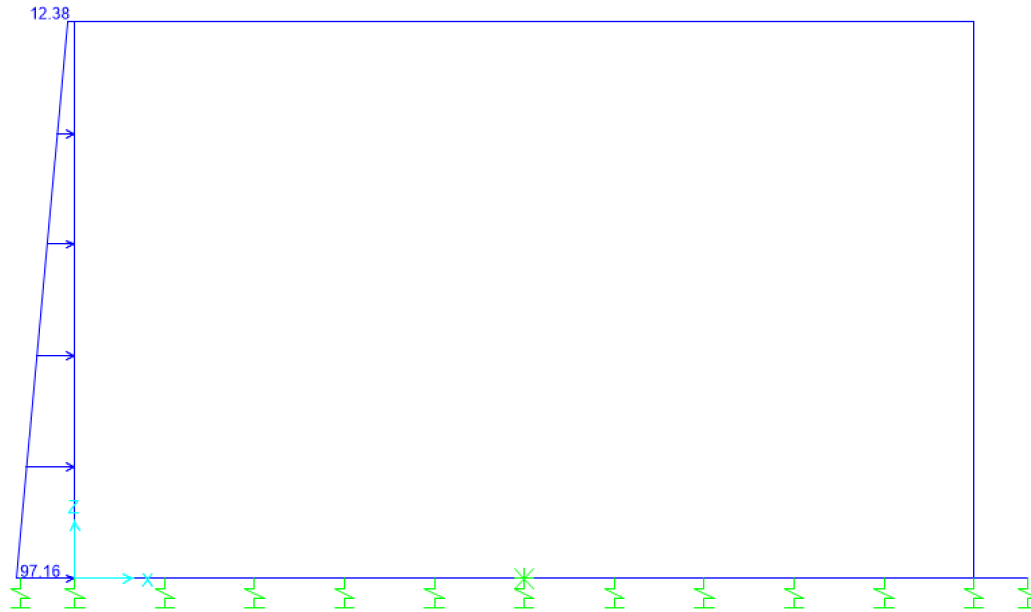


Figura 13: Condizione SPTSX (kN/m/m)

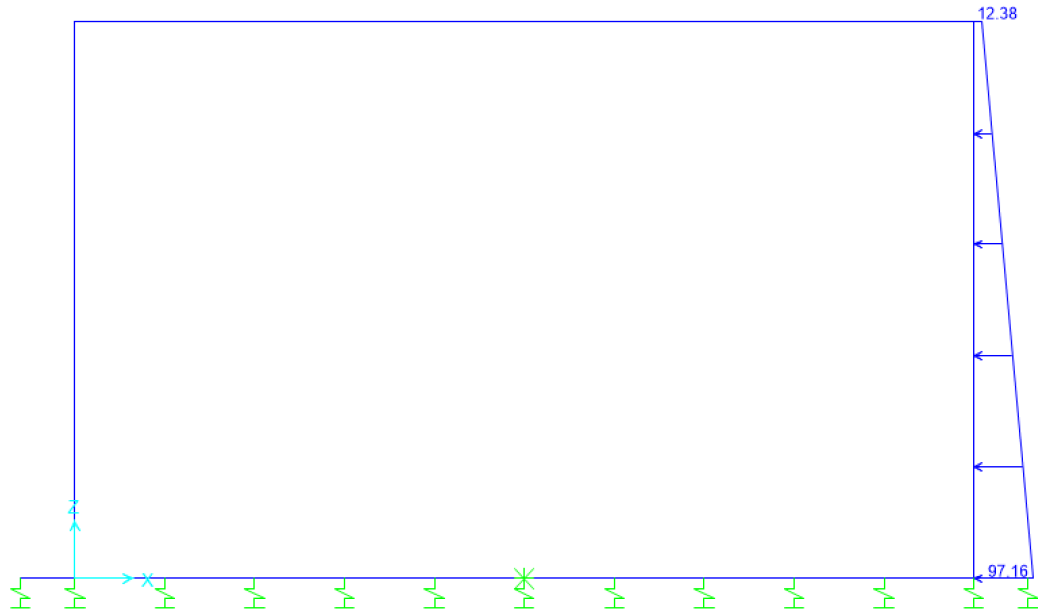


Figura 14: Condizione SPTDX (kN/m/m)

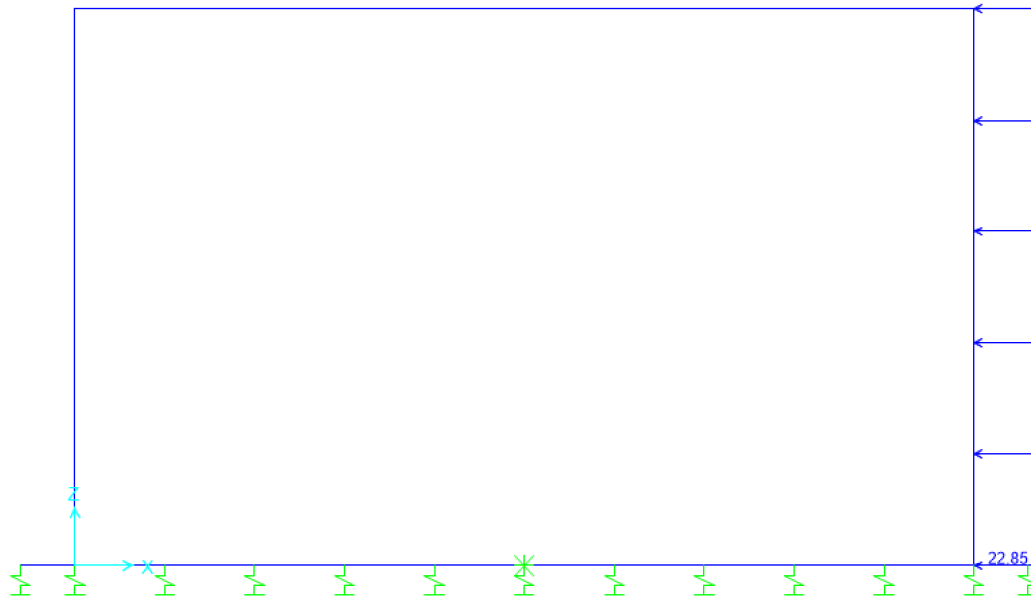


Figura 15: Condizione SPQDX71 (kN/m/m)



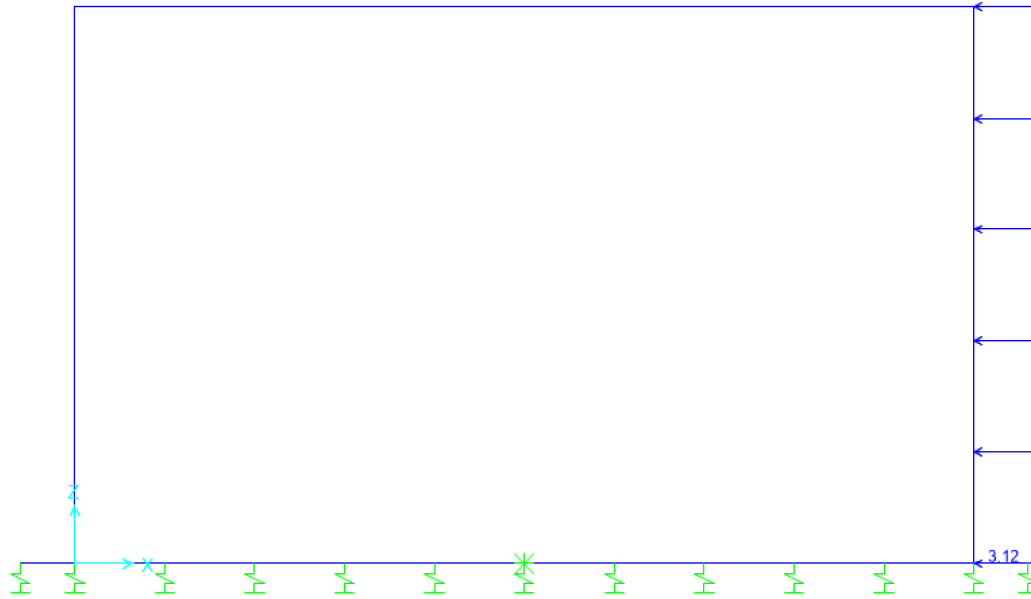


Figura 16: Condizione SPQDXSW (kN/m/m)

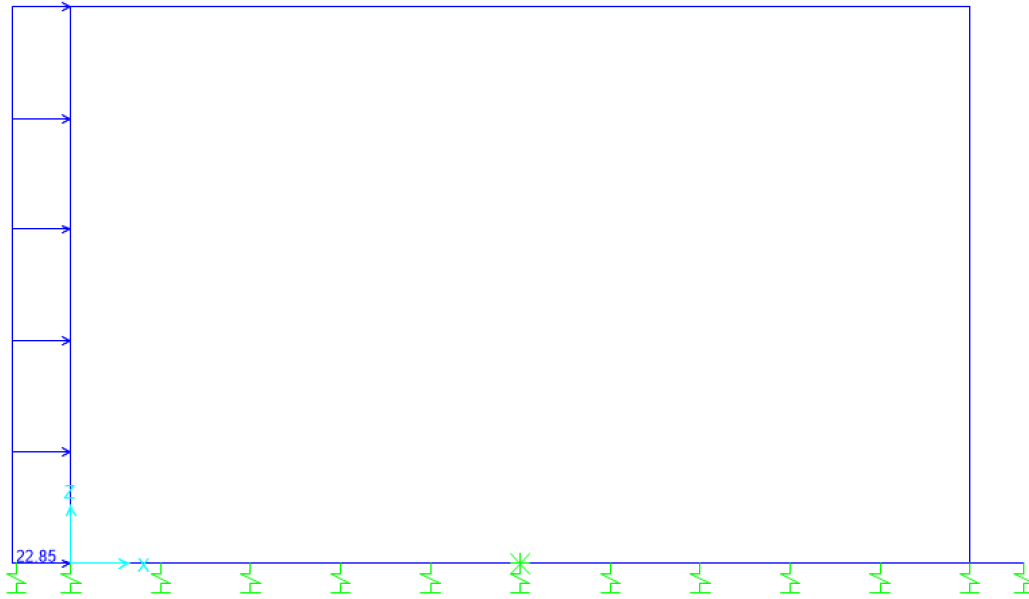


Figura 17: Condizione SPQSX71 (kN/m/m)

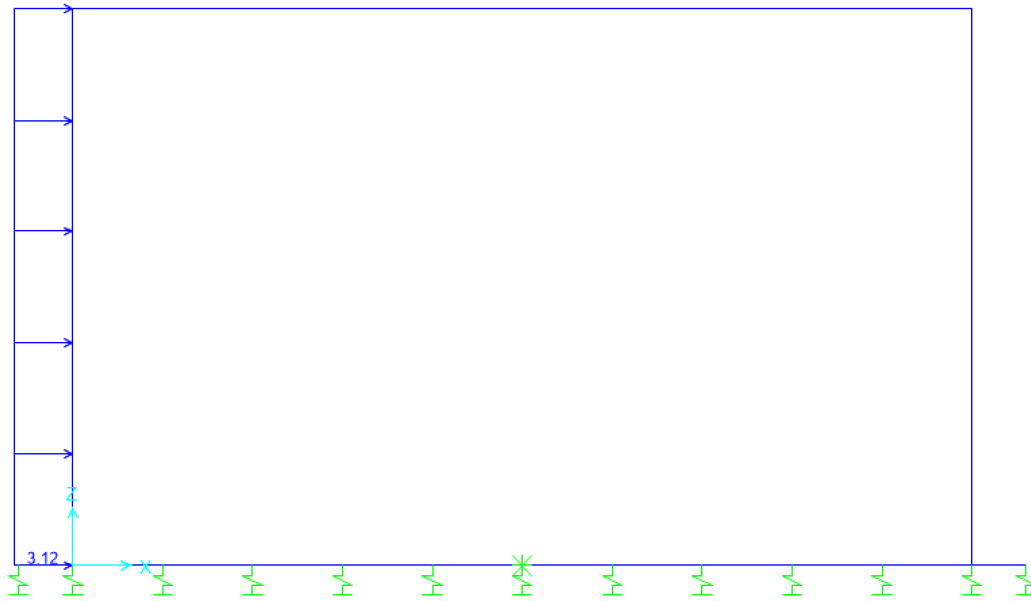


Figura 18: Condizione SPQSXS (kN/m/m)

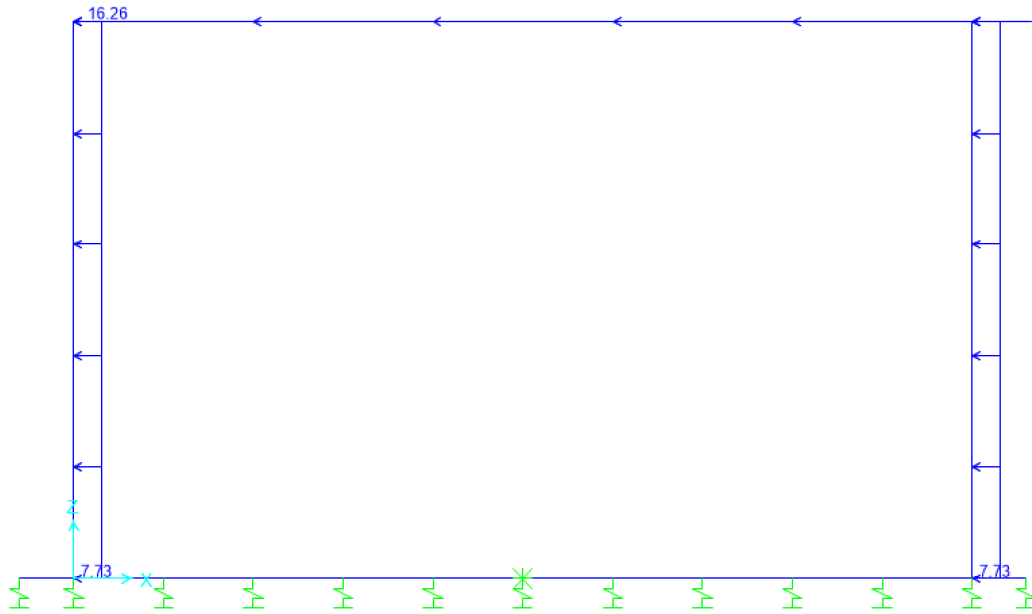


Figura 19: Condizione SISMAH (kN/m/m)

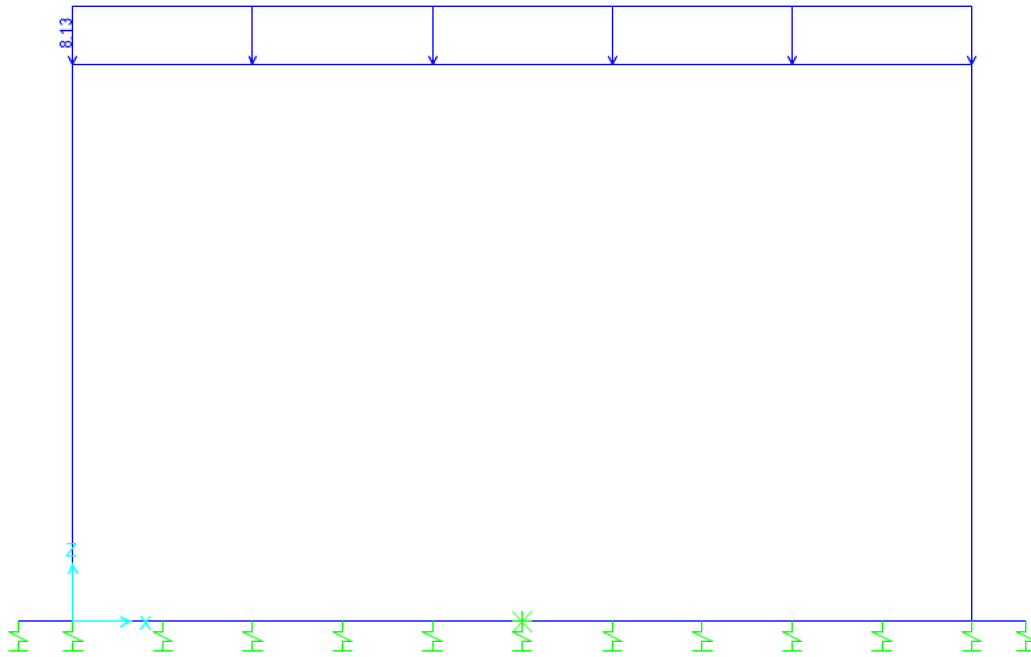


Figura 20: Condizione SISMAV (kN/m/m)

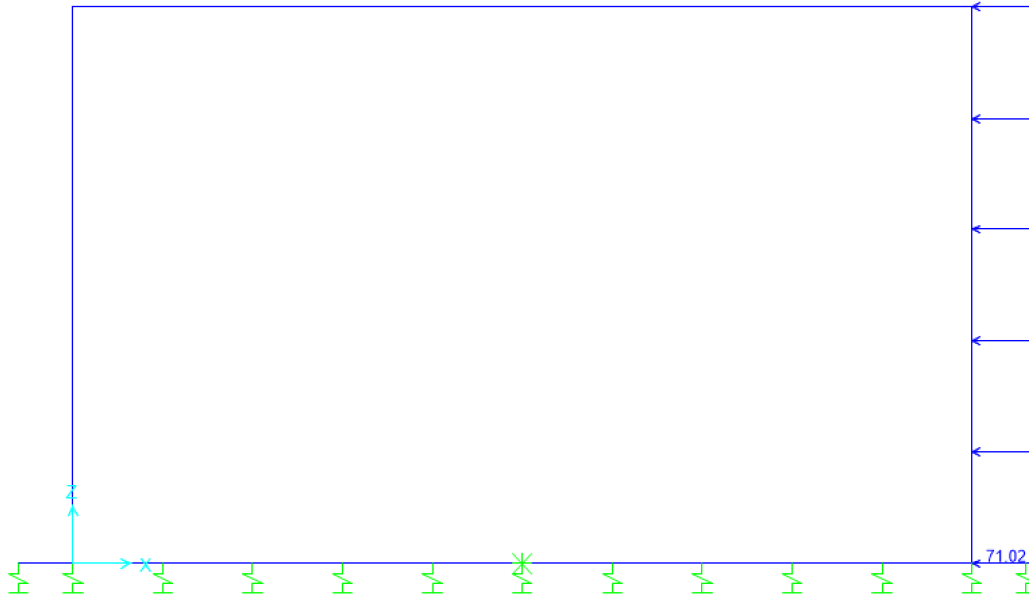


Figura 21: Condizione SPSDX (kN/m<sup>2</sup>)



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	105RIT11M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
106	106RIT11T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
107	107RIT12M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0
108	108RIT12T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0
109	109RIT13M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0
110	110RIT13T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0
111	111RIT14S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0	0
112	112RIT15S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
113	113RIT16S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0	0.8
114	114RIT21M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
115	115RIT21T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
116	116RIT22M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
117	117RIT22T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
118	118RIT23M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
119	119RIT23T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
120	120RIT24S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0
121	121RIT25S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
122	122RIT26S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0.8



123	123R1-11M	1	1	1	0	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
124	124R1-11T	1	1	0	1	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
125	125R1-12M	1	1	1	0	0.5	1	1	1	1	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
126	126R1-12T	1	1	0	1	0.5	1	1	1	1	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
127	127R1-13M	1	1	1	0	0.5	1	1	0	1	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
128	128R1-13T	1	1	0	1	0.5	1	1	0	1	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
129	129R1-14S	1	1	0	0	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	0
130	130R1-15S	1	1	0	0	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	1	1	1
131	131R1-16S	1	1	0	0	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	1
132	132R1-21M	1	1	1	0	0.5	1	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
133	133R1-21T	1	1	0	1	0.5	1	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
134	134R1-22M	1	1	1	0	0.5	1	1	1	1	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
135	135R1-22T	1	1	0	1	0.5	1	1	1	1	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
136	136R1-23M	1	1	1	0	0.5	1	1	0	1	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
137	137R1-23T	1	1	0	1	0.5	1	1	0	1	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
138	138R1-24S	1	1	0	0	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	0
139	139R1-25S	1	1	0	0	0.5	1	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	1	1	1	1
140	140R1-26S	1	1	0	0	0.5	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	1
141	141RIT11M	1	1	0.8	0	0.4	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
142	142RIT11T	1	1	0	0.8	0.4	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
143	143RIT12M	1	1	0.8	0	0.4	1	1	0.8	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
144	144RIT12T	1	1	0	0.8	0.4	1	1	0.8	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
145	145RIT13M	1	1	0.8	0	0.4	1	1	0	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
146	146RIT13T	1	1	0	0.8	0.4	1	1	0	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
147	147RIT14S	1	1	0	0	0.4	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0	0
148	148RIT15S	1	1	0	0	0.4	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
149	149RIT16S	1	1	0	0	0.4	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0	0.8
150	150RIT21M	1	1	0.8	0	0.4	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
151	151RIT21T	1	1	0	0.8	0.4	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
152	152RIT22M	1	1	0.8	0	0.4	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
153	153RIT22T	1	1	0	0.8	0.4	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
154	154RIT23M	1	1	0.8	0	0.4	1	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
155	155RIT23T	1	1	0	0.8	0.4	1	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
156	156RIT24S	1	1	0	0	0.4	1	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0
157	157RIT25S	1	1	0	0	0.4	1	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
158	158RIT26S	1	1	0	0	0.4	1	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0.8
159	159R3-11M	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
160	160R3-11T	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
161	161R3-12M	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
162	162R3-12T	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
163	163R3-13M	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
164	164R3-13T	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
165	165R3-14S	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	0
166	166R3-15S	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	1	1	1
167	167R3-16S	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	1
168	168R3-21M	1	1	1	0	1	1	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
169	169R3-21T	1	1	0	1	1	1	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
170	170R3-22M	1	1	1	0	1	1	1	1	1	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
171	171R3-22T	1	1	0	1	1	1	1	1	1	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
172	172R3-23M	1	1	1	0	1	1	1	0	1	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
173	173R3-23T	1	1	0	1	1	1	1	0	1	-0.6	1	0	0	0	0	0	0	0
174	174R3-24S	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	0
175	175R3-25S	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	1	1	1
176	176R3-26S	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0.6	1	0	0	0	1	0	0	1
177	177RIT11M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
178	178RIT11T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
179	179RIT12M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
180	180RIT12T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
181	181RIT13M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
182	182RIT13T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0.8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
183	183RIT14S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0	0
184	184RIT15S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
185	185RIT16S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0.8	0	0.8
186	186RIT21M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
187	187RIT21T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
188	188RIT22M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
189	189RIT22T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
190	190RIT23M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
191	191RIT23T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0	0
192	192RIT24S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0
193	193RIT25S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
194	194RIT26S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0.8

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

dove:

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

	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	REV. A

#### 10.4 Sollecitazioni

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

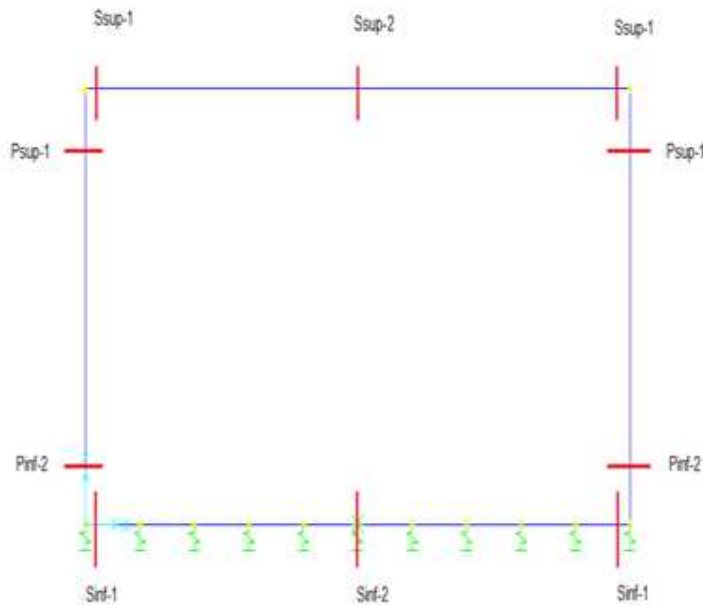


Figura 10.22 - Sezioni di verifica

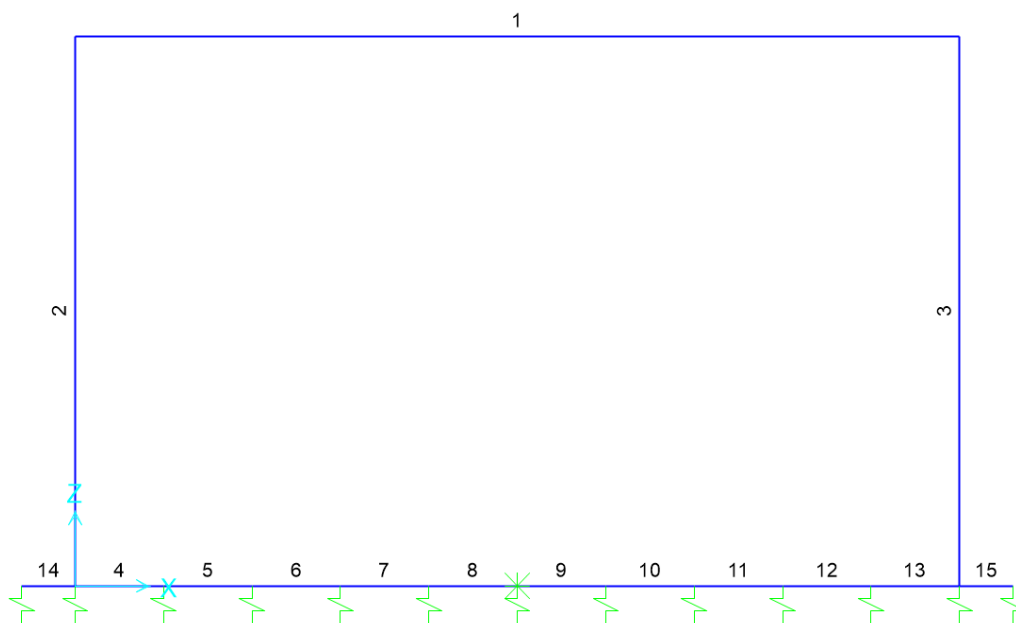


Figura 10.23 - Nomenclatura frame

	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	REV. A

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

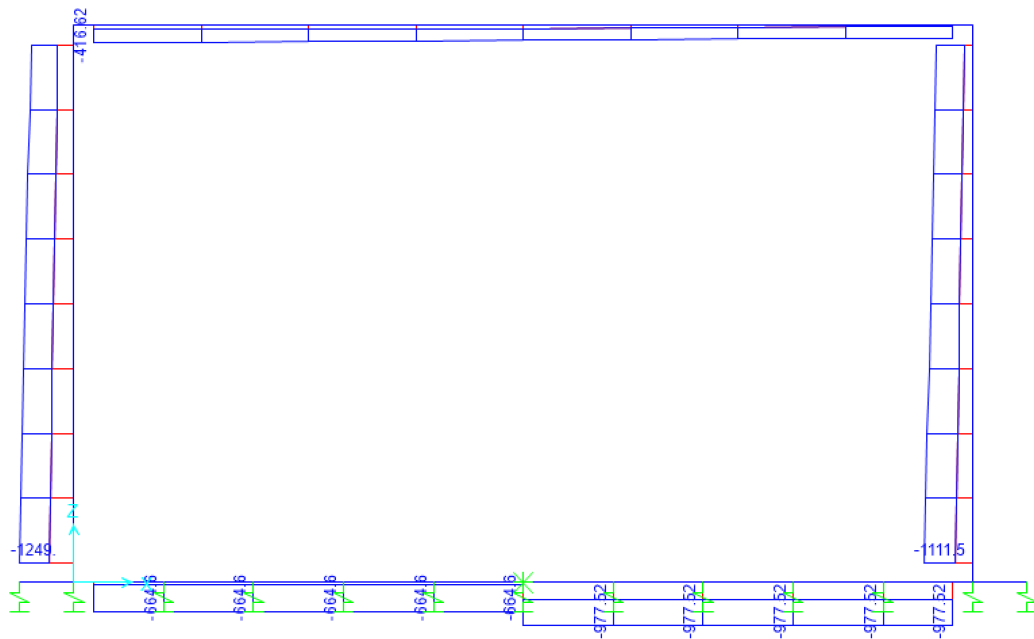


Figura 10.24 - Sforzo Normale – Involuppo SLU (KN)

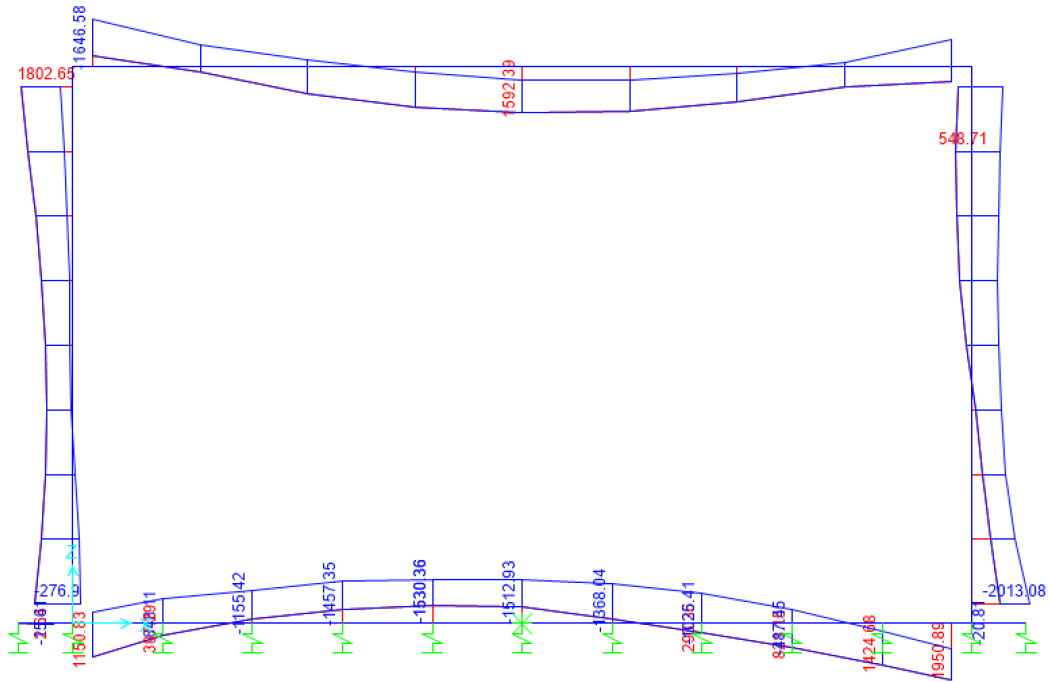


Figura 10.25 - Momento flettente – Involuppo SLU (KNm)

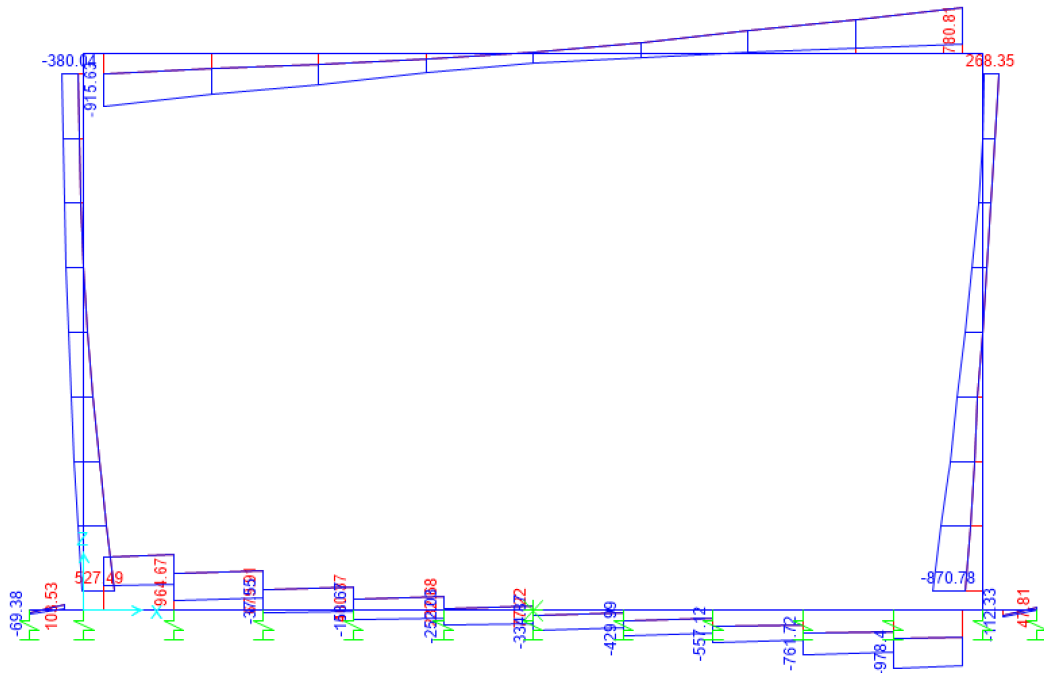


Figura 10.26 - Taglio – Involuppo SLU (kN)

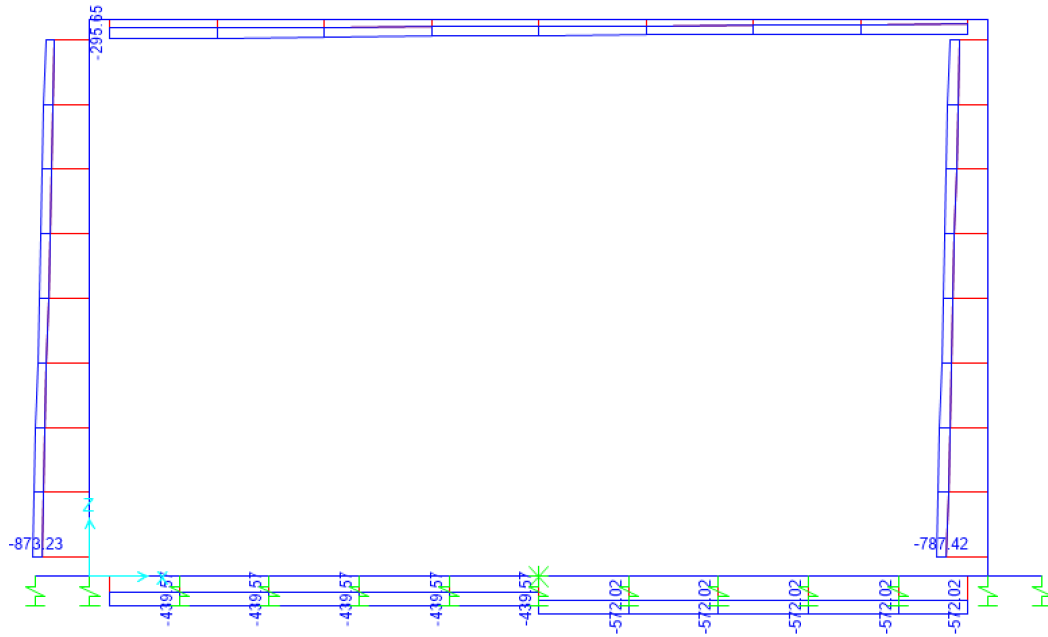


Figura 10.27 - Sforzo Normale – Involuppo SLE – Rara (kN)

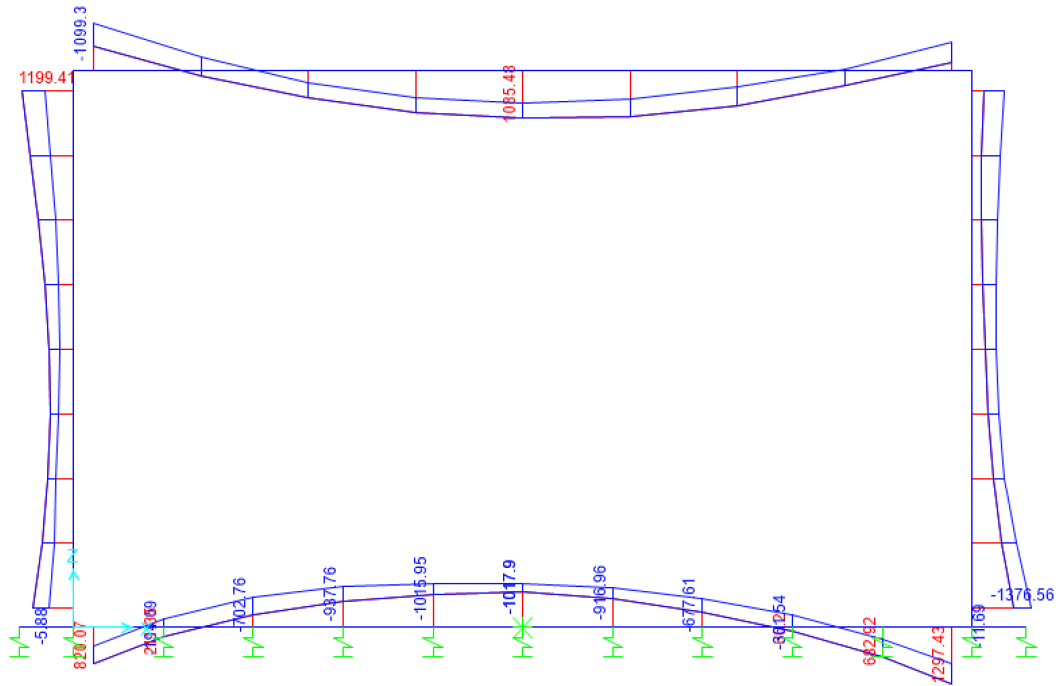


Figura 10.28 - Momento flettente – Inviluppo SLE – Rara (kNm)



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	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	10 Ø26	5 Ø16	5 Ø26	-
Soletta superiore - Appoggio	10 Ø26	5 Ø16	5 Ø26	-
Piedritto - Spiccato	10 Ø26	5 Ø16	10 Ø26	-
Piedritto - Sommità	10 Ø26	-	10 Ø26	-
Soletta inferiore - Campata	10 Ø26	6 Ø16	5 Ø26	-
Soletta inferiore - Appoggio	10 Ø26	-	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 <sup>2</sup>
Tensione car. di snervamento	$f_{yk} = 450$ N/mm <sup>2</sup>
Coeff. parziale di sicurezza	$\gamma_s = 1.15$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$ N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico	$E_s = 205000$ N/mm <sup>2</sup>
	$\epsilon_{yd} = 0.00191$

Calcestruzzo	
Tipo	C32/40
$R_{ck}$	40 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	33.2 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5
$f_{cd}$	22.1 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ct}$	18.8 N/mm <sup>2</sup>

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

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 110$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 8.7$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 101.3$ cm

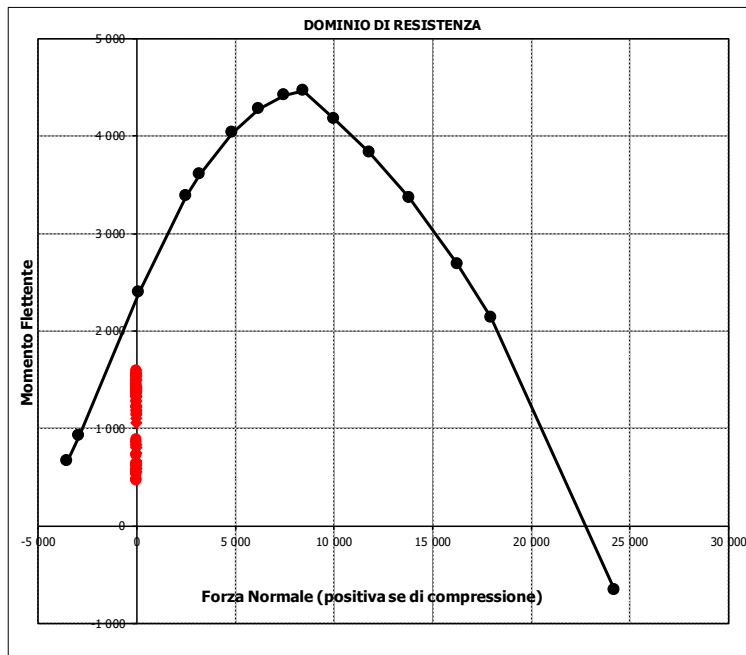
Armadura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
10	26	53.09	cm <sup>2</sup>
5	16	10.05	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
			<b>63.15 cm<sup>2</sup></b>

Armadura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm <sup>2</sup>
0	0	0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
			<b>26.55 cm<sup>2</sup></b>

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)			
(Nmin)			
(Mmax)	14S1-21M	0	1592
(Mmin)	74SSS4--	0	464

#### Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	0	1430	44S1T23M	0	1455
02S1-11T	0	1325	45S1T23T	0	1372
03S1-12M	0	1330	46S1T24-	0	818
04S1-12T	0	1226	47S1T25-	0	862
05S1-13M	0	1380	48S1T26S	0	1480
06S1-13T	0	1276	49S1T27S	0	1438
07S1-14-	0	589	50S1T28S	0	1459
08S1-15-	0	638	51S1T29S	0	863
09S1-16S	0	1407	52S1T30S	0	884
10S1-17S	0	1363	53S3-11M	0	1430
11S1-18S	0	1385	54S3-11T	0	1325
12S1-19S	0	644	55S3-12M	0	1330
13S1-20S	0	666	56S3-12T	0	1226
14S1-21M	0	1592	57S3-13M	0	1380
15S1-21T	0	1488	58S3-13T	0	1276
16S1-22M	0	1493	59S3-14S	0	1407
17S1-22T	0	1389	60S3-15S	0	1363
18S1-23M	0	1543	61S3-16S	0	1385
19S1-23T	0	1438	62S3-21M	0	1592
20S1-24-	0	751	63S3-21T	0	1488
21S1-25-	0	801	64S3-22M	0	1506
22S1-26S	0	1569	65S3-22T	0	1402
23S1-27S	0	1525	66S3-23M	0	1549
24S1-28S	0	1547	67S3-23T	0	1445
25S1-29S	0	807	68S3-24S	0	1569
26S1-30S	0	829	69S3-25S	0	1527
27S1T11M	0	1227	70S3-26S	0	1548
28S1T11T	0	1144	71SSS1--	0	530
29S1T12M	0	1140	72SSS2--	0	477
30S1T12T	0	1057	73SSS3--	0	639
31S1T13M	0	1184	74SSS4--	0	464
32S1T13T	0	1100	75SSS5--	0	620
33S1T14-	0	547	76SSS6--	0	568
34S1T15-	0	590	77SSS7--	0	729
35S1T16S	0	1209	78SSS8--	0	555
36S1T17S	0	1166	79SSS9S	0	530
37S1T18S	0	1188	80SSS10S	0	478
38S1T19S	0	592	81SSS11S	0	640
39S1T20S	0	613	82SSS12S	0	465
40S1T21M	0	1498	83SSS13S	0	621
41S1T21T	0	1415	84SSS14S	0	568
42S1T22M	0	1412	85SSS15S	0	730
43S1T22T	0	1328	86SSS16S	0	556



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

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

Calcestruzzo	
Tipo	C32/40
$R_{ck}$	40 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	33.2 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5
$f_{cd}$	22.1 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ct}$	18.8 N/mm <sup>2</sup>

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

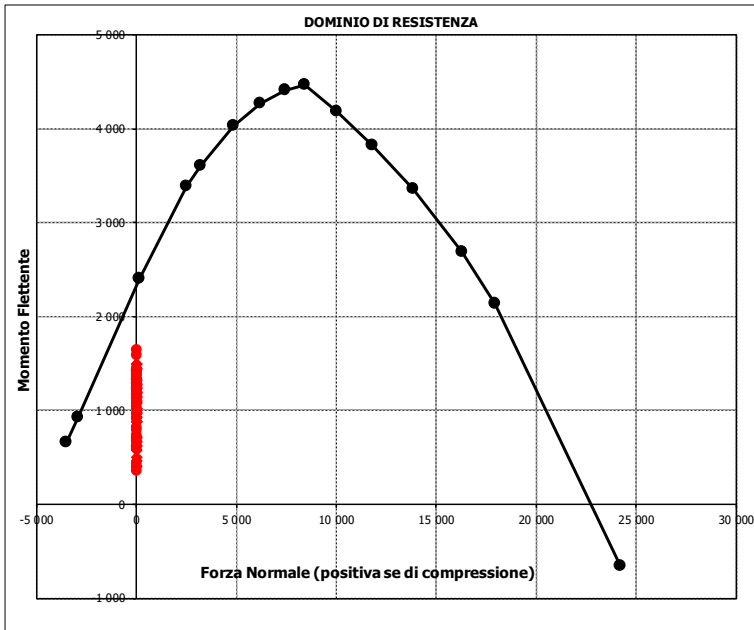
Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 110$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 8.7$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 101.3$ cm

Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
10	26	53.09	cm <sup>2</sup>
5	16	10.05	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
<b>63.15 cm<sup>2</sup></b>			

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm <sup>2</sup>
0	0	0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
<b>26.55 cm<sup>2</sup></b>			

Caratteristiche di sollecitazione		
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]
(Nmax)		
(Nmin)		
(Mmax)	57S3-13M	0 1647
(Mmin)	51S1T29S	0 351

Caratteristiche di sollecitazione					
Comb.	Nsd	Msd	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	0	1143	44S1T23M	0	1224
02S1-11T	0	1085	45S1T23T	0	1178
03S1-12M	0	1243	46S1T24-	0	395
04S1-12T	0	1185	47S1T25-	0	609
05S1-13M	0	1495	48S1T26S	0	916
06S1-13T	0	1438	49S1T27S	0	958
07S1-14-	0	625	50S1T28S	0	1039
08S1-15-	0	878	51S1T29S	0	351
09S1-16S	0	1133	52S1T30S	0	432
10S1-17S	0	1177	53S3-11M	0	1294
11S1-18S	0	1264	54S3-11T	0	1237
12S1-19S	0	569	55S3-12M	0	1394
13S1-20S	0	656	56S3-12T	0	1336
14S1-21M	0	980	57S3-13M	0	1647
15S1-21T	0	923	58S3-13T	0	1589
16S1-22M	0	1080	59S3-14S	0	1285
17S1-22T	0	1022	60S3-15S	0	1329
18S1-23M	0	1332	61S3-16S	0	1415
19S1-23T	0	1275	62S3-21M	0	1132
20S1-24-	0	462	63S3-21T	0	1074
21S1-25-	0	715	64S3-22M	0	1218
22S1-26S	0	971	65S3-22T	0	1161
23S1-27S	0	1015	66S3-23M	0	1432
24S1-28S	0	1101	67S3-23T	0	1375
25S1-29S	0	407	68S3-24S	0	1122
26S1-30S	0	493	69S3-25S	0	1164
27S1T11M	0	1195	70S3-26S	0	1245
28S1T11T	0	1149	71SSS1--	0	1448
29S1T12M	0	1282	72SSS2--	0	1415
30S1T12T	0	1235	73SSS3--	0	823
31S1T13M	0	1496	74SSS4--	0	712
32S1T13T	0	1450	75SSS5--	0	1358
33S1T14-	0	666	76SSS6--	0	1325
34S1T15-	0	881	77SSS7--	0	732
35S1T16S	0	1187	78SSS8--	0	621
36S1T17S	0	1229	79SSS9S	0	1416
37S1T18S	0	1310	80SSS10S	0	1383
38S1T19S	0	622	81SSS11S	0	791
39S1T20S	0	703	82SSS12S	0	680
40S1T21M	0	924	83SSS13S	0	1326
41S1T21T	0	878	84SSS14S	0	1293
42S1T22M	0	1010	85SSS15S	0	700
43S1T22T	0	964	86SSS16S	0	589



- Verifica a taglio

La verifica a taglio viene condotta nel seguente modo:

1. Verifica della sezione senza armatura a 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 <sup>2</sup>
$f_{ck}$	33.2	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5	
$\alpha_{cc}$	0.85	
$f_{cd}$	18.8	N/mm <sup>2</sup>

#### Acciaio

$f_{tk}$	540	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_s$	1.15	
$f_{yd}$	391	N/mm <sup>2</sup>

#### Sollecitazioni

$V_{Ed}$	kN	<b>916</b>
$N_{Ed}$	kN	<b>0</b>

#### Soletta sup

#### Armatura a taglio

Diametro	mm	10
Numero barre		5
$A_{sw}$	cm <sup>2</sup>	3.93
Passo s	cm	20
Angolo $\alpha$	°	90

#### Armatura longitudinale

$n_1$		10
$\varnothing_1$	mm	26
$n_2$		5
$\varnothing_2$	mm	16
Asl	cm <sup>2</sup>	63.15

#### Sezione

$b_w$	cm	100
H	cm	110
c	cm	8.7
d	cm	101.3
k	N/mm <sup>2</sup>	1.44
$v_{min}$	N/mm <sup>2</sup>	0.35
$\rho$		0.0062
$\sigma_{cp}$	N/mm <sup>2</sup>	0.00
$\alpha_c$		1.00

#### Resistenza senza armatura a taglio

$V_{Rd}$	kN	<b>482</b>
$V_{Rd}$	kN	<b>NECESSITA ARMATURA A TAGLIO</b>

#### Resistenza con armatura a taglio

cot $\alpha$		0.5
v		0.5
$\omega_{sw}$		0.04
cot $\theta$		2.50
Inclinazione puntone $\theta$	°	21.8
$V_{Rsd}$	kN	1751
$V_{Rcd}$	kN	2957
$V_{Rd}$	kN	<b>1751</b>
$V_{Rd}$	kN	<b>VERIFICATO</b>

• Verifica a fessurazione campata (Solsup-Camp)

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>1085</b>	kN m
Sforzo normale	N	<b>0</b>	kN

**Materiali**

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

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>110</b>	cm		
Larghezza sezione	B	<b>100</b>	cm		
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	26.55	cm <sup>2</sup>	5 Ø 26	$C_{s1} = 8.7$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	$C_{s2} = 10.0$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	10.05	cm <sup>2</sup>	5 Ø 16	$C_{t2} = 10.8$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	53.09	cm <sup>2</sup>	10 Ø 26	$C_{t1} = 8.7$ cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>6.2</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>191.3</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

Eccentricità	e (M)	$\infty$	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	u (M)	$\infty$	cm	
Posizione asse neutro	y (M)	33.1	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	12256	cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	13947100.58	cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id}^*$	5808963.361	cm <sup>4</sup>	

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^*$	615	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione ( $f_{ctm}$ )	$M_{fess}$	878	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	e ( $M_{fess}$ )	$\infty$	cm	
	u ( $M_{fess}$ )	$\infty$	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cr}$	5.0		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sr}$	154.7	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	y ( $M_{fess}$ )	33.1	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	$k_t$	<b>0.6</b>		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	25.65	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	$AS_{eff}$	63.15	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$AC_{eff}$	2564.87	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0246	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.000301899	-	
Copriferro netto	c'	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	$K_1$	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	$K_2$	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	$\phi_{eq}$	<b>23.65</b>	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	333.2848452	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_m$	196.049909	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.06	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	<b>0.10</b>	mm	

• Verifica a fessurazione appoggio (Solsup-App)

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>1099</b>	kN m
Sforzo normale	N	<b>0</b>	kN

**Materiali**

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

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>110</b>	cm		
Larghezza sezione	B	<b>100</b>	cm		
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	26.55	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>26</b>	$C_{s1} = \blacktriangledown$ <b>8.7</b> cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b>	$C_{s2} = \blacktriangledown$ <b>10.0</b> cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	10.05	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>16</b>	$C_{t2} = \blacktriangledown$ <b>10.8</b> cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	53.09	cm <sup>2</sup>	<b>10</b> Ø <b>26</b>	$C_{t1} = \blacktriangledown$ <b>8.7</b> cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>6.3</b>	N/mm <sup>2</sup>	<	$\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>193.7</b>	N/mm <sup>2</sup>	<	$\sigma_{samm}$

Eccentricità	$e$ (M)	$\infty$	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	$u$ (M)	$\infty$	cm		
Posizione asse neutro	$y$ (M)	<b>33.1</b>	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	12256	cm <sup>2</sup>		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	13947100.58	cm <sup>4</sup>		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	5808963.361	cm <sup>4</sup>		

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^*$	615	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione ( $f_{ctm}$ )	$M_{fess}$	878	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e$ ( $M_{fess}$ )	$\infty$	cm	
	$u$ ( $M_{fess}$ )	$\infty$	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cr}$	5.0		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sr}$	154.7	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y$ ( $M_{fess}$ )	<b>33.1</b>	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	$k_t$	<b>0.6</b>		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	25.65	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	$AS_{eff}$	63.15	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$AC_{eff}$	2564.87	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0246	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.000301899	-	
Copriferro netto	$c'$	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	$K_1$	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	$K_2$	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	$\phi_{eq}$	<b>23.65</b>	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta S_{max}$	333.2848452	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta S_m$	196.049909	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.06	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	<b>0.10</b>	mm	

### 10.5.3 Verifica piedritti

- Verifica a pressoflessione spiccato (Pied-Spicc)

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

Calcestruzzo	
Tipo	C32/40
$R_{ck}$	40 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	33.2 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5
$f_{cd}$	22.1 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cc}$	18.8 N/mm <sup>2</sup>

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

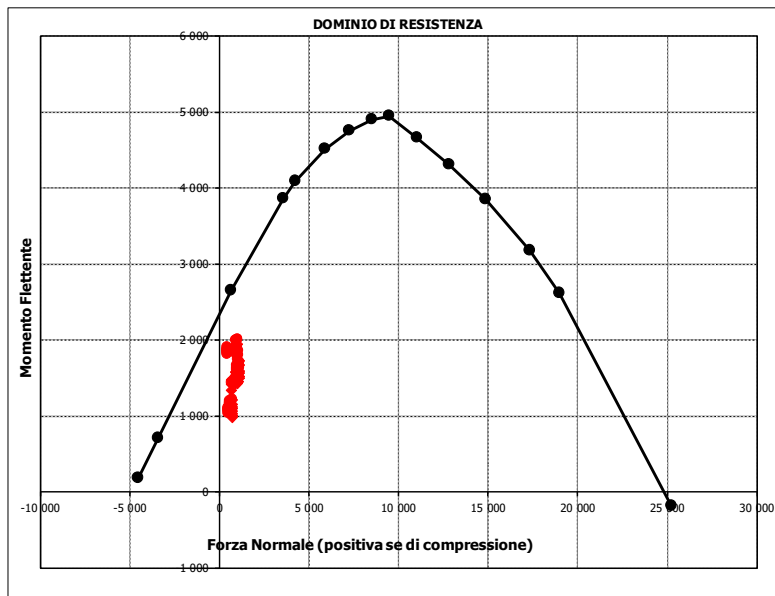
Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 110$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 8.7$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 101.3$ cm

Armatura tesa		
N° ferri	Diametro	Area
10	26	53.09 cm <sup>2</sup>
5	16	10.05 cm <sup>2</sup>
		0.00 cm <sup>2</sup>
<b>63.15 cm<sup>2</sup></b>		

Armatura compressa		
N° ferri	Diametro	Area
10	26	53.09 cm <sup>2</sup>
0	0	0.00 cm <sup>2</sup>
		0.00 cm <sup>2</sup>
<b>53.09 cm<sup>2</sup></b>		

Caratteristiche di sollecitazione		
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]
(Nmax) 09S1-16S	1111	1500
(Nmin) 72SSS2--	400	1841
(Mmax) 66S3-23M	991	2013
(Mmin) 38S1T19S	722	982

Caratteristiche di sollecitazione					
Comb.	Nsd	Msd	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	1060	1446	44S1T23M	928	1914
02S1-11T	998	1430	45S1T23T	879	1901
03S1-12M	1060	1492	46S1T24-	722	1106
04S1-12T	998	1476	47S1T25-	678	1435
05S1-13M	1009	1875	48S1T26S	1013	1589
06S1-13T	947	1860	49S1T27S	1013	1607
07S1-14-	722	1030	50S1T28S	996	1747
08S1-15-	671	1413	51S1T29S	722	1085
09S1-16S	1111	1500	52S1T30S	705	1225
10S1-17S	1111	1519	53S3-11M	1034	1583
11S1-18S	1093	1667	54S3-11T	973	1567
12S1-19S	722	1003	55S3-12M	1034	1629
13S1-20S	704	1150	56S3-12T	973	1613
14S1-21M	1060	1508	57S3-13M	983	2012
15S1-21T	998	1492	58S3-13T	922	1996
16S1-22M	1060	1554	59S3-14S	1086	1637
17S1-22T	998	1538	60S3-15S	1086	1656
18S1-23M	1009	1937	61S3-16S	1068	1803
19S1-23T	947	1922	62S3-21M	1034	1645
20S1-24-	722	1092	63S3-21T	973	1629
21S1-25-	671	1475	64S3-22M	1034	1684
22S1-26S	1111	1562	65S3-22T	973	1669
23S1-27S	1111	1582	66S3-23M	991	2013
24S1-28S	1093	1729	67S3-23T	929	1997
25S1-29S	722	1065	68S3-24S	1086	1699
26S1-30S	704	1212	69S3-25S	1086	1717
27S1T11M	972	1442	70S3-26S	1069	1857
28S1T11T	922	1430	71SSS1--	430	1869
29S1T12M	972	1482	72SSS2--	400	1841
30S1T12T	922	1469	73SSS3--	569	1164
31S1T13M	928	1811	74SSS4--	469	1072
32S1T13T	879	1798	75SSS5--	430	1903
33S1T14-	722	1003	76SSS6--	400	1876
34S1T15-	678	1332	77SSS7--	569	1199
35S1T16S	1013	1486	78SSS8--	469	1107
36S1T17S	1013	1504	79SSS9S	442	1840
37S1T18S	996	1644	80SSS10S	412	1812
38S1T19S	722	982	81SSS11S	581	1136
39S1T20S	705	1121	82SSS12S	480	1043
40S1T21M	972	1545	83SSS13S	442	1875
41S1T21T	922	1533	84SSS14S	412	1847
42S1T22M	972	1585	85SSS15S	581	1170
43S1T22T	922	1573	86SSS16S	480	1078



• Verifica a pressoflessione sommità (Pied-Sommità)

**Acciaio**

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

**Calcestruzzo**

Tipo	C32/40
$R_{ck}$	40 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	33.2 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5
$f_{cd}$	22.1 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cc}$	18.8 N/mm <sup>2</sup>

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

**Geometria della sezione**

Altezza geometrica della sezione	$h$	=	110	cm
Base della sezione	$b$	=	100	cm
Copriferro	$d'$	=	8.7	cm
Altezza utile della sezione	$d$	=	101.3	cm

**Armatura tesa**

N° ferri	Diametro	Area	
10	26	53.09	cm <sup>2</sup>
0	0	0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
			<b>53.09</b>
			<b>cm<sup>2</sup></b>

**Armatura compressa**

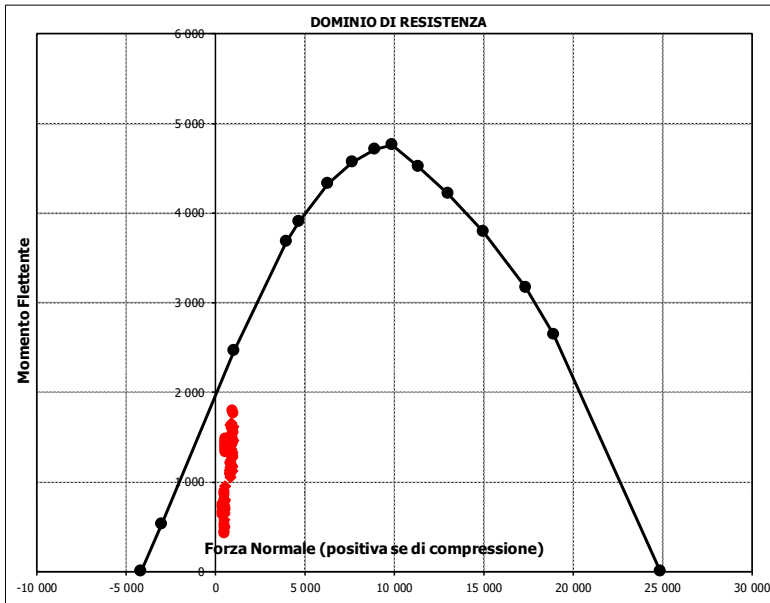
N° ferri	Diametro	Area	
10	26	53.09	cm <sup>2</sup>
0	0	0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
			<b>53.09</b>
			<b>cm<sup>2</sup></b>

**Caratteristiche di sollecitazione**

Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]
(Nmax)	58S3-13T	984 -1763
(Nmin)	74SS4--	372 -754
(Mmax)	57S3-13M	922 1803
(Mmin)	51S1T29S	456 431

**Caratteristiche di sollecitazione**

Comb.	Nsd	Msd	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	845	1317	44S1T23M	831	1377
02S1-11T	907	1277	45S1T23T	881	1346
03S1-12M	845	1368	46S1T24-	456	452
04S1-12T	907	1328	47S1T25-	500	697
05S1-13M	896	1655	48S1T26S	829	1093
06S1-13T	958	1616	49S1T27S	829	1116
07S1-14-	456	664	50S1T28S	847	1211
08S1-15-	507	952	51S1T29S	456	431
09S1-16S	897	1322	52S1T30S	474	526
10S1-17S	897	1347	53S3-11M	871	1464
11S1-18S	915	1447	54S3-11T	933	1425
12S1-19S	456	638	55S3-12M	871	1515
13S1-20S	475	738	56S3-12T	933	1476
14S1-21M	845	1162	57S3-13M	922	1803
15S1-21T	907	1123	58S3-13T	984	1763
16S1-22M	845	1213	59S3-14S	923	1470
17S1-22T	907	1174	60S3-15S	923	1494
18S1-23M	896	1501	61S3-16S	941	1594
19S1-23T	958	1461	62S3-21M	871	1310
20S1-24-	456	510	63S3-21T	933	1270
21S1-25-	507	798	64S3-22M	871	1355
22S1-26S	897	1168	65S3-22T	933	1315
23S1-27S	897	1192	66S3-23M	914	1599
24S1-28S	915	1293	67S3-23T	976	1559
25S1-29S	456	484	68S3-24S	923	1315
26S1-30S	475	584	69S3-25S	923	1339
27S1T11M	788	1346	70S3-26S	940	1433
28S1T11T	837	1314	71SSS1--	541	1489
29S1T12M	788	1390	72SSS2--	511	1448
30S1T12T	837	1359	73SSS3--	472	890
31S1T13M	831	1634	74SSS4--	372	754
32S1T13T	881	1603	75SSS5--	541	1404
33S1T14-	456	710	76SSS6--	511	1363
34S1T15-	500	954	77SSS7--	472	804
35S1T16S	829	1350	78SSS8--	372	668
36S1T17S	829	1374	79SSS9S	544	1461
37S1T18S	847	1468	80SSS10S	514	1420
38S1T19S	456	689	81SSS11S	475	861
39S1T20S	474	783	82SSS12S	374	725
40S1T21M	788	1088	83SSS13S	544	1375
41S1T21T	837	1057	84SSS14S	514	1334
42S1T22M	788	1133	85SSS15S	475	775
43S1T22T	837	1101	86SSS16S	374	639





- 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 <sup>2</sup>
$f_{ck}$	33.2	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5	
$\alpha_{cc}$	0.85	
$f_{cd}$	18.8	N/mm <sup>2</sup>

**Acciaio**

$f_{tk}$	540	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_s$	1.15	
$f_{yd}$	391	N/mm <sup>2</sup>

**Sollecitazioni**

$V_{Ed}$	kN	<b>871</b>
$N_{Ed}$	kN	<b>0</b>

**Piedritto**

**Armatura a taglio**

Diametro	mm	10
Numero barre		5
$A_{sw}$	cm <sup>2</sup>	3.93
Passo s	cm	20
Angolo $\alpha$	°	90

**Armatura longitudinale**

$n_1$		10
$\varnothing_1$	mm	26
$n_2$		5
$\varnothing_2$	mm	16
Asl	cm <sup>2</sup>	63.15

**Sezione**

$b_w$	cm	100
H	cm	110
c	cm	8.7
d	cm	101.3
k	N/mm <sup>2</sup>	1.44
$v_{min}$	N/mm <sup>2</sup>	0.35
$\rho$		0.0062
$\sigma_{cp}$	N/mm <sup>2</sup>	0.00
$\alpha_c$		1.00

**Resistenza senza armatura a taglio**

$V_{Rd}$	kN	<b>482</b>
$V_{Rd}$	kN	<b>NECESSITA ARMATURA A TAGLIO</b>

**Resistenza con armatura a taglio**

$\cot\alpha$		0.5
v		0.5
$\omega_{sw}$		0.04
$\cot\theta$		2.50
Inclinazione puntone $\theta$	°	21.8
$V_{RSd}$	kN	1751
$V_{RCd}$	kN	2957
$V_{Rd}$	kN	<b>1751</b>
$V_{Rd}$	kN	<b>VERIFICATO</b>

- Verifica a fessurazione spiccato (Pied-Spicc)

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>1377</b>	kN m
Sforzo normale	N	<b>879</b>	kN

**Materiali**

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

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>110</b>	cm		
Larghezza sezione	B	<b>100</b>	cm		
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	53.09	cm <sup>2</sup>	<b>10</b> Ø <b>26</b>	$C_{s1} = \blacktriangledown$ <b>8.7</b> cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b>	$C_{s2} = \blacktriangledown$ <b>10.0</b> cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	10.05	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>16</b>	$C_{t2} = \blacktriangledown$ <b>10.8</b> cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	53.09	cm <sup>2</sup>	<b>10</b> Ø <b>26</b>	$C_{t1} = \blacktriangledown$ <b>8.7</b> cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>7.7</b>	N/mm <sup>2</sup>	<	$\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>179.2</b>	N/mm <sup>2</sup>	<	$\sigma_{samm}$

Eccentricità	$e$ (M)	156.6	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	$u$ (M)	101.6	cm		
Posizione asse neutro	$y$ (M)	39.7	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	12627	cm <sup>2</sup>		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	14800711.22	cm <sup>4</sup>		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	6405019.819	cm <sup>4</sup>		

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^*$	840	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione ( $f_{ctm}$ )	$M_{fess}$	1119	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e$ ( $M_{fess}$ )	127.3	cm	
	$u$ ( $M_{fess}$ )	72.3	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cr}$	6.3		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sr}$	134.9	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y$ ( $M_{fess}$ )	41.9	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	$k_t$	<b>0.6</b>		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	22.71	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	$AS_{eff}$	63.15	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$AC_{eff}$	2271.02	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0278	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.00026326	-	
Copriferro netto	$c'$	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	$K_1$	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	$K_2$	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr edi armatura	$\phi_{eq}$	<b>23.65</b>	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta S_{max}$	314.5774354	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta S_m$	185.0455502	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.05	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	<b>0.08</b>	mm	

- Verifica a fessurazione sommità (Pied-Sommità)

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>1199</b>	kN m
Sforzo normale	N	<b>955</b>	kN

**Materiali**

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

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>110</b>	cm		
Larghezza sezione	B	<b>100</b>	cm		
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	53.09	cm <sup>2</sup>	<b>10</b> Ø <b>26</b>	$C_{s1} = \blacktriangledown$ <b>8.7</b> cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b>	$C_{s2} = \blacktriangledown$ <b>10.0</b> cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b>	$C_{t2} = \blacktriangledown$ <b>10.0</b> cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	53.09	cm <sup>2</sup>	<b>10</b> Ø <b>26</b>	$C_{t1} = \blacktriangledown$ <b>8.7</b> cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>7.1</b>	N/mm <sup>2</sup>	<	$\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>166.7</b>	N/mm <sup>2</sup>	<	$\sigma_{samm}$

Eccentricità	$e$ (M)	125.6	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	$u$ (M)	70.6	cm		
Posizione asse neutro	$y$ (M)	39.5	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	12487	cm <sup>2</sup>		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	14506109.25	cm <sup>4</sup>		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	5847963.932	cm <sup>4</sup>		

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^*$	841	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione ( $f_{ctm}$ )	$M_{fess}$	1115	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e$ ( $M_{fess}$ )	116.7	cm	
	$u$ ( $M_{fess}$ )	61.7	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cr}$	6.6		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sr}$	149.8	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y$ ( $M_{fess}$ )	40.4	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	$k_t$	<b>0.6</b>		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	23.20	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	$AS_{eff}$	53.09	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$AC_{eff}$	2320.49	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0229	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.000292238	-	
Copriferro netto	$c'$	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	$K_1$	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	$K_2$	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr edi armatura	$\phi_{eq}$	<b>26.00</b>	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta S_{max}$	363.1812735	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta S_m$	213.6360433	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.06	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	<b>0.11</b>	mm	

### 10.5.4 Verifica soletta inferiore

- Verifica a pressoflessione campata (Solinf-Camp)

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

Calcestruzzo	
Tipo	C32/40
$R_{ck}$	40 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	33.2 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5
$f_{cd}$	22.1 N/mm <sup>2</sup>
$f_{cc}$	18.8 N/mm <sup>2</sup>

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

Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezione	$h = 110$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 8.7$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 101.3$ cm

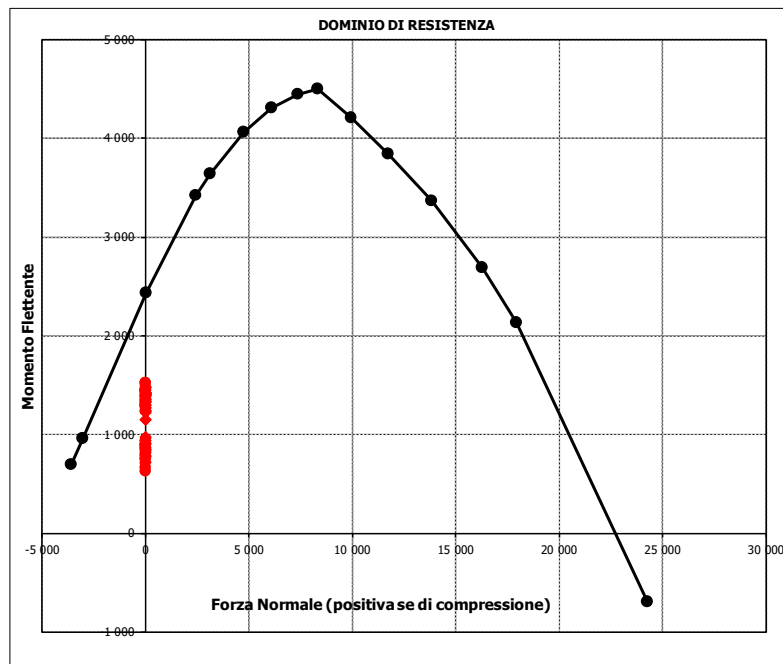
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
10	26	53.09	cm <sup>2</sup>
6	16	12.06	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
			<b>65.16 cm<sup>2</sup></b>

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm <sup>2</sup>
0	0	0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
			<b>26.55 cm<sup>2</sup></b>

Caratteristiche di sollecitazione		
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]
(Nmax)		
(Nmin)		
(Mmax)	58S3-13T	0 1530
(Mmin)	78SSS8--	0 634

#### Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	0	1402	44S1T23M	0	1311
02S1-11T	0	1406	45S1T23T	0	1314
03S1-12M	0	1299	46S1T24-	0	710
04S1-12T	0	1303	47S1T25-	0	867
05S1-13M	0	1482	48S1T26S	0	1288
06S1-13T	0	1486	49S1T27S	0	1242
07S1-14-	0	789	50S1T28S	0	1313
08S1-15-	0	971	51S1T29S	0	754
09S1-16S	0	1457	52S1T30S	0	825
10S1-17S	0	1410	53S3-11M	0	1446
11S1-18S	0	1484	54S3-11T	0	1451
12S1-19S	0	844	55S3-12M	0	1344
13S1-20S	0	919	56S3-12T	0	1348
14S1-21M	0	1333	57S3-13M	0	1526
15S1-21T	0	1337	58S3-13T	0	1530
16S1-22M	0	1230	59S3-14S	0	1502
17S1-22T	0	1234	60S3-15S	0	1454
18S1-23M	0	1412	61S3-16S	0	1529
19S1-23T	0	1417	62S3-21M	0	1377
20S1-24-	0	720	63S3-21T	0	1381
21S1-25-	0	902	64S3-22M	0	1287
22S1-26S	0	1388	65S3-22T	0	1292
23S1-27S	0	1341	66S3-23M	0	1445
24S1-28S	0	1415	67S3-23T	0	1449
25S1-29S	0	775	68S3-24S	0	1433
26S1-30S	0	850	69S3-25S	0	1387
27S1T11M	0	1358	70S3-26S	0	1458
28S1T11T	0	1362	71SSS1--	0	936
29S1T12M	0	1269	72SSS2--	0	899
30S1T12T	0	1272	73SSS3--	0	799
31S1T13M	0	1426	74SSS4--	0	672
32S1T13T	0	1429	75SSS5--	0	898
33S1T14-	0	825	76SSS6--	0	860
34S1T15-	0	982	77SSS7--	0	760
35S1T16S	0	1403	78SSS8--	0	634
36S1T17S	0	1357	79SSS9S	0	937
37S1T18S	0	1428	80SSS10S	0	899
38S1T19S	0	869	81SSS11S	0	799
39S1T20S	0	940	82SSS12S	0	672
40S1T21M	0	1243	83SSS13S	0	898
41S1T21T	0	1247	84SSS14S	0	861
42S1T22M	0	1153	85SSS15S	0	760
43S1T22T	0	1157	86SSS16S	0	634



• Verifica a pressoflessione appoggio (Solinf-App)

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

Calcestruzzo	
Tipo	C32/40
$R_{ck}$	40 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ck}$	33.2 N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5
$f_{cd}$	22.1 N/mm <sup>2</sup>
$f_{ctc}$	18.8 N/mm <sup>2</sup>

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

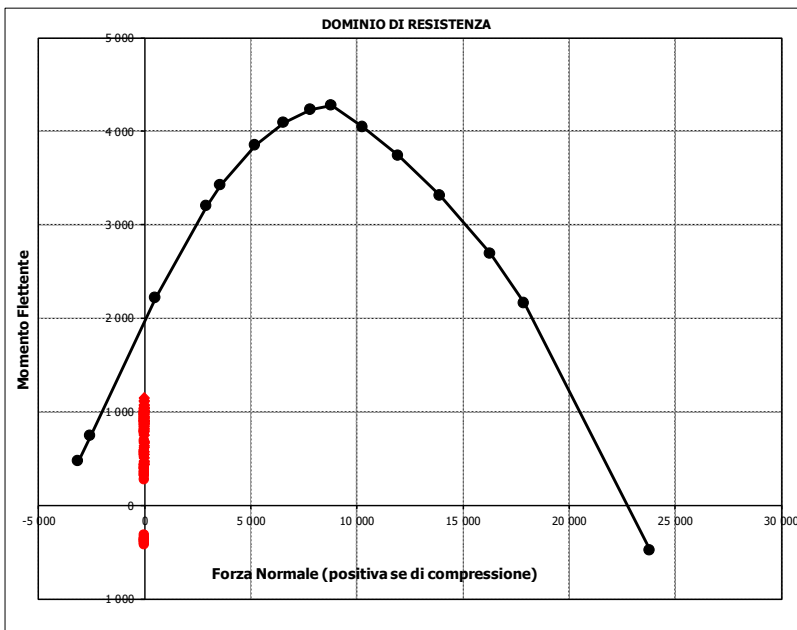
Geometria della sezione	
Altezza geometrica della sezior	$h = 110$ cm
Base della sezione	$b = 100$ cm
Copriferro	$d' = 8.7$ cm
Altezza utile della sezione	$d = 101.3$ cm

Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
10	26	53.09	cm <sup>2</sup>
0	0	0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
<b>53.09 cm<sup>2</sup></b>			

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm <sup>2</sup>
0	0	0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
<b>26.55 cm<sup>2</sup></b>			

Caratteristiche di sollecitazione		
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]
(Nmax)		
(Nmin)		
(Mmax)	1751-22T	0 1151
(Mmin)	72SSS2--	0 -416

Caratteristiche di sollecitazione					
Comb.	Nsd	Msd	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	0	950	44S1T23M	0	564
02S1-11T	0	976	45S1T23T	0	585
03S1-12M	0	1054	46S1T24-	0	1026
04S1-12T	0	1081	47S1T25-	0	592
05S1-13M	0	551	48S1T26S	0	944
06S1-13T	0	577	49S1T27S	0	990
07S1-14-	0	945	50S1T28S	0	799
08S1-15-	0	441	51S1T29S	0	981
09S1-16S	0	997	52S1T30S	0	789
10S1-17S	0	1045	53S3-11M	0	805
11S1-18S	0	844	54S3-11T	0	832
12S1-19S	0	889	55S3-12M	0	910
13S1-20S	0	688	56S3-12T	0	936
14S1-21M	0	1020	57S3-13M	0	406
15S1-21T	0	1047	58S3-13T	0	433
16S1-22M	0	1124	59S3-14S	0	852
17S1-22T	0	1151	60S3-15S	0	901
18S1-23M	0	621	61S3-16S	0	700
19S1-23T	0	647	62S3-21M	0	876
20S1-24-	0	1015	63S3-21T	0	902
21S1-25-	0	512	64S3-22M	0	967
22S1-26S	0	1067	65S3-22T	0	993
23S1-27S	0	1116	66S3-23M	0	533
24S1-28S	0	914	67S3-23T	0	560
25S1-29S	0	959	68S3-24S	0	923
26S1-30S	0	758	69S3-25S	0	969
27S1T11M	0	789	70S3-26S	0	778
28S1T11T	0	810	71SSS1--	0	-395
29S1T12M	0	880	72SSS2--	0	-416
30S1T12T	0	901	73SSS3--	0	359
31S1T13M	0	447	74SSS4--	0	286
32S1T13T	0	468	75SSS5--	0	-355
33S1T14-	0	908	76SSS6--	0	-377
34S1T15-	0	475	77SSS7--	0	398
35S1T16S	0	827	78SSS8--	0	325
36S1T17S	0	873	79SSS9S	0	-354
37S1T18S	0	682	80SSS10S	0	-376
38S1T19S	0	864	81SSS11S	0	399
39S1T20S	0	672	82SSS12S	0	326
40S1T21M	0	906	83SSS13S	0	-315
41S1T21T	0	927	84SSS14S	0	-337
42S1T22M	0	997	85SSS15S	0	439
43S1T22T	0	1019	86SSS16S	0	365



- 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 <sup>2</sup>
$f_{ck}$	33.2	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_c$	1.5	
$\alpha_{cc}$	0.85	
$f_{cd}$	18.8	N/mm <sup>2</sup>

**Acciaio**

$f_{tk}$	540	N/mm <sup>2</sup>
$f_{yk}$	450	N/mm <sup>2</sup>
$\gamma_s$	1.15	
$f_{yd}$	391	N/mm <sup>2</sup>

**Sollecitazioni**

$V_{Ed}$	kN	<b>978</b>
$N_{Ed}$	kN	<b>0</b>

**Soletta inf**

**Armatura a taglio**

Diametro	mm	10
Numero barre		5
$A_{sw}$	cm <sup>2</sup>	3.93
Passo s	cm	20
Angolo $\alpha$	°	90

**Armatura longitudinale**

$n_1$		10
$\varnothing_1$	mm	26
$n_2$		-
$\varnothing_2$	mm	-
Asl	cm <sup>2</sup>	53.09

**Sezione**

$b_w$	cm	100
H	cm	110
c	cm	8.7
d	cm	101.3
k	N/mm <sup>2</sup>	1.44
$v_{min}$	N/mm <sup>2</sup>	0.35
$\rho$		0.0052
$\sigma_{cp}$	N/mm <sup>2</sup>	0.00
$\alpha_c$		1.00

**Resistenza senza armatura a taglio**

$V_{Rd}$	kN	<b>455</b>
$V_{Rd}$	kN	<b>NECESSITA ARMATURA A TAGLIO</b>

**Resistenza con armatura a taglio**

$\cot\alpha$		0.5
v		0.5
$\omega_{sw}$		0.04
$\cot\theta$		2.50
Inclinazione puntone $\theta$	°	21.8
$V_{RSd}$	kN	1751
$V_{RCd}$	kN	2957
$V_{Rd}$	kN	<b>1751</b>
$V_{Rd}$	kN	<b>VERIFICATO</b>

• Verifica a fessurazione campata (Solinf-Camp)

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>1018</b>	kN m
Sforzo normale	N	<b>0</b>	kN

**Materiali**

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

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>110</b>	cm		
Larghezza sezione	B	<b>100</b>	cm		
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	26.55	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>26</b>	$C_{s1} = \blacktriangledown$ <b>8.7</b> cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b>	$C_{s2} = \blacktriangledown$ <b>10.0</b> cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	12.06	cm <sup>2</sup>	<b>6</b> Ø <b>16</b>	$C_{t2} = \blacktriangledown$ <b>10.8</b> cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	53.09	cm <sup>2</sup>	<b>10</b> Ø <b>26</b>	$C_{t1} = \blacktriangledown$ <b>8.7</b> cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>5.7</b>	N/mm <sup>2</sup>	<	$\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>174.3</b>	N/mm <sup>2</sup>	<	$\sigma_{samm}$

Eccentricità	$e$ (M)	$\infty$	cm	>	H/6 Sez. parzializzata
	$u$ (M)	$\infty$	cm		
Posizione asse neutro	$y$ (M)	<b>33.5</b>	cm		
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	12284	cm <sup>2</sup>		
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	14006020.97	cm <sup>4</sup>		
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id*}$	5940072.12	cm <sup>4</sup>		

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^*$	617	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione ( $f_{ctm}$ )	$M_{fess}$	882	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e$ ( $M_{fess}$ )	$\infty$	cm	
	$u$ ( $M_{fess}$ )	$\infty$	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cr}$	5.0		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sr}$	151.0	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y$ ( $M_{fess}$ )	<b>33.5</b>	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	$k_t$	<b>0.6</b>		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	25.51	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	$AS_{eff}$	65.16	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$AC_{eff}$	2550.73	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0255	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.000294639	-	
Copriferro netto	$c'$	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	$K_1$	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	$K_2$	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr edi armatura	$\phi_{eq}$	<b>23.30</b>	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta S_{max}$	325.0863474	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta S_m$	191.2272632	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.06	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	<b>0.10</b>	mm	

• Verifica a fessurazione appoggio (Solinf-App)

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>820</b>	kN m
Sforzo normale	N	<b>0</b>	kN

**Materiali**

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

**Caratteristiche geometriche**

Altezza sezione	H	<b>110</b>	cm		
Larghezza sezione	B	<b>100</b>	cm		
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	26.55	cm <sup>2</sup>	5 Ø 26	$c_{s1} = 8.7$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	$c_{s2} = 10.0$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	$c_{t2} = 10.0$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	53.09	cm <sup>2</sup>	10 Ø 26	$c_{t1} = 8.7$ cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>4.9</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>169.2</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{samm}$

Eccentricità	$e$ (M)	$\infty$	cm	> H/6 Sez. parzializzata
	$u$ (M)	$\infty$	cm	
Posizione asse neutro	$y$ (M)	<b>30.8</b>	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	12115	cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	13652498.6	cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id}^*$	5126694.628	cm <sup>4</sup>	

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^*$	602	kN m	La sezione è fessurata
Momento di fessurazione ( $f_{ctm}$ )	$M_{fess}$	859	kN m	
Eccentricità per $M=M_{fess}$	$e$ ( $M_{fess}$ )	$\infty$	cm	
	$u$ ( $M_{fess}$ )	$\infty$	cm	
Compressione max nel cls. per $M=M_{fess}$	$\sigma_{cr}$	5.2		
Traz. nell'acciaio (1° str.) per $M=M_{fess}$	$\sigma_{sr}$	177.3	N/mm <sup>2</sup>	
Posizione asse neutro per $M=M_{fess}$	$y$ ( $M_{fess}$ )	<b>30.8</b>	cm	
Coefficiente dipendente dalla durata del carico	$k_t$	<b>0.6</b>		
Altezza efficace	$h_{c,eff}$	26.41	cm	
Rapporto tra moduli elastici	$\alpha_e$	6.1	-	
Armatura nell'area efficace	$AS_{eff}$	53.09	cm <sup>2</sup>	
Area efficace	$AC_{eff}$	2640.67	cm <sup>2</sup>	
Rapporto geometrico di armatura	$\rho_{eff}$	0.0201	-	
Deformazione unitaria media dell'armatura	$\epsilon_{sm}$	0.000346008	-	
Copriferro netto	$c'$	5.0	cm	
Coefficiente dipendente dall'aderenza dell'acciaio	$K_1$	<b>0.80</b>	-	
Coefficiente dipendente dal diagramma tensioni	$K_2$	<b>0.50</b>	-	
Coefficiente adimensionale	$K_3$	3.40	-	
Coefficiente adimensionale	$K_4$	0.425	-	
Diametro equivalente delle barr ed armatura	$\phi_{eq}$	<b>26.00</b>	mm	
Distanza massima tra le fessure	$\Delta s_{max}$	389.836841	mm	
Distanza media tra le fessure	$\Delta s_m$	229.3157888	mm	
Valore medio dell'apertura delle fessure	$w_m$	0.08	mm	
Valore di calcolo dell'apertura delle fessure	$w_d$	<b>0.13</b>	mm	



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	REV. A

## 11. INCIDENZA SCATOLARE

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

Piedritti	<b>120 kg/mc</b>
Soletta superiore	<b>100 kg/mc</b>
Soletta inferiore	<b>100 kg/mc</b>

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.

	<b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
	<b>SL16 - Nuovo Sottovia e Viabilità al Km 87+044.90</b> <b>Relazione di calcolo scatolare</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00D26	CODIFICA CL	DOCUMENTO SL1600001	REV. A

## 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.