

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

### PROGETTO DEFINITIVO

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

### OPERE PRINCIPALI – SOTTOVIA E SOTTOPASSI

SL09 - Nuovo Sottovia Ramo bidirezionale svincolo autostradale km 84+827.76

Relazione di calcolo imbocchi

SCALA:

-

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

I V 0 I    0 0    D    2 6    C L    S L 0 9 0 0    0 0 2    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	K. Petrucci	Feb. 2022	M. Severi	Feb. 2022	G. Fadda	Feb. 2022	A. Perego Feb. 2022

File: IV0I00D26CLSL0900002A.doc

## 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 Pesi propri .....	10
6.2 Permanenti non strutturali .....	10
6.3 Azione del sisma .....	10
6.4 Ritiro del calcestruzzo.....	13
6.5 Variazione termica .....	13
6.6 Spinta statica del terreno .....	13
6.7 Spinta dovuta al sovraccarico accidentale.....	14
6.8 Incremento di Spinta in condizione sismiche.....	14
<b>7. COMBINAZIONE DEI CARICHI.....</b>	<b>15</b>
<b>8. VERIFICHE STRUTTURALI .....</b>	<b>17</b>
8.1 Verifiche per gli stati limite ultimi a flessione-pressoflessione .....	17
8.2 Verifica agli stati limite ultimi a taglio .....	17
8.3 Verifica agli stati limite d'esercizio .....	19
<b>9. VERIFICHE GEOTECNICHE .....</b>	<b>20</b>

<b>10. ANALISI STRUTTURALE .....</b>	<b>21</b>
10.1 Modellazione strutturale.....	21
10.2 Analisi dei carichi .....	23
10.3 Combinazioni .....	27
10.4 Sollecitazioni.....	30
10.5 Verifiche strutturali .....	34
10.5.1 Riepilogo armature.....	34
10.5.2 Verifica piedritti.....	35
10.5.3 Verifica soletta inferiore .....	38
<b>11. INCIDENZA MURO U.....</b>	<b>43</b>
<b>12. DICHIARAZIONI SECONDO D.M. 17/01/2018 (P.TO 10.2) .....</b>	<b>44</b>
12.1 Tipo di analisi svolte .....	44
12.2 Origine e caratteristiche dei Codici di Calcolo .....	44
12.3 Giudizio motivato di accettabilità dei risultati .....	44

## 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 dei muri di imbocco/sbocco del sottovia SL09 alla pk 84+827, in località Albenga, in prossimità raccordo autostradale.

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

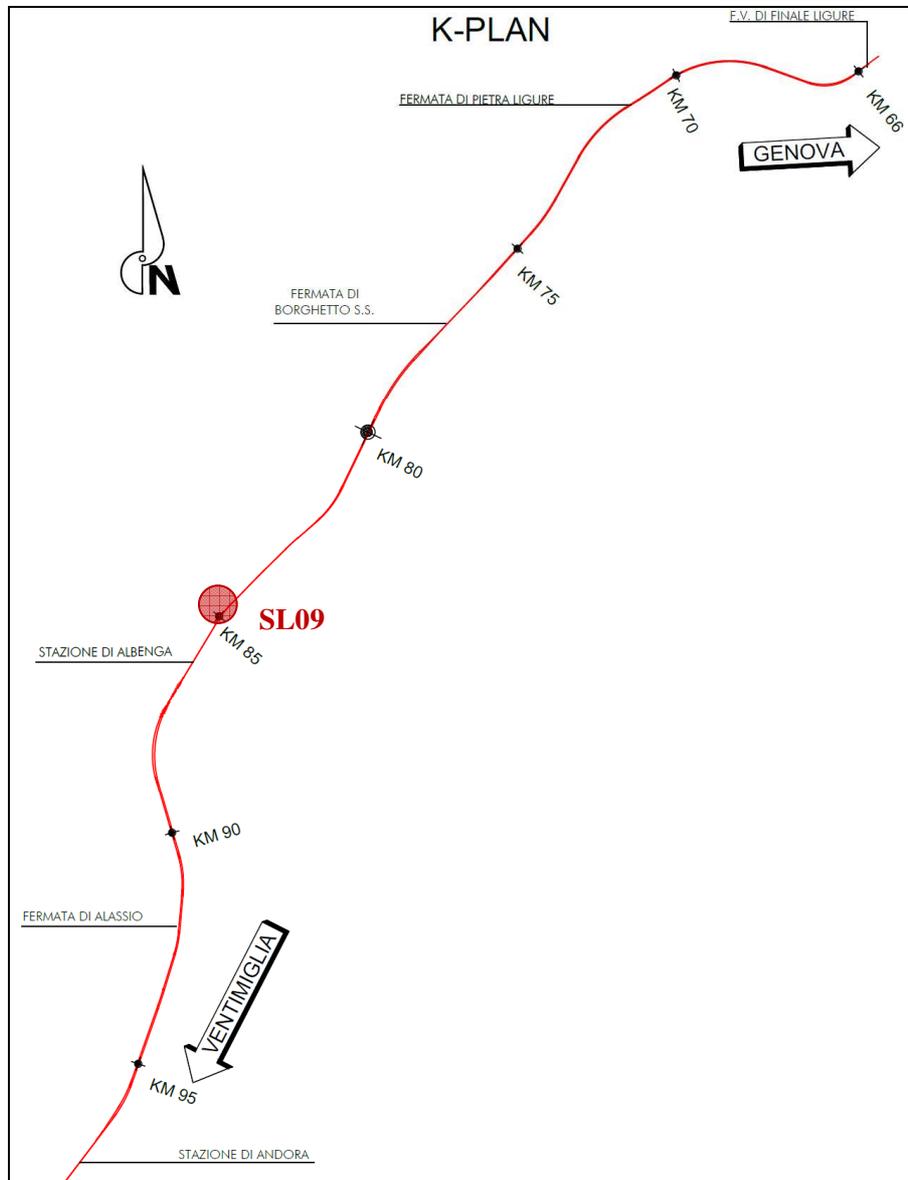


Figura 1: Raddoppio tratta Finale L. - Andora. Inquadramento dell'opera

## 2. DESCRIZIONE

La presente relazione ha per oggetto la verifica della sezione trasversale delle opere di approccio al sottovia SL09 utilizzabile per attraversamenti ferroviari, avente le caratteristiche riportate nella seguente tabella:

Geometria				
Spessore soletta di fondazione	Sf		1.10	m
Spessore piedritti	Sp		0.93	m
Altezza netta	Hint		6.35	m
Larghezza netta	Lint		10.50	m
Lunghezza risvolti sol. inf.	Lr		0.20	m

Nel caso di muri con altezza fortemente variabile, i valori di calcolo dell'altezza e dello spessore allo spicco dei piedritti sono assunti, in via cautelativa, pari a quelli corrispondenti ai 2/3 della base longitudinale.

Sempre a favore di sicurezza, il presente calcolo si riferisce a tutti i muri ad U ed agli eventuali muri d'ala presenti.

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

### 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.

## 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			Scatolari
Classe di esposizione ambientale			XC4
Classe di resistenza calcestruzzo			C32/40
Classe di consistenza			S4
Rapporto acqua cemento massimo	a/c max	[-]	0.50
Tipo di cemento	CEM	[-]	III, IV, V
Contenuto minimo cemento		[kg/m <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	$f_{cfm}$	[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

### 4.3 Acciaio ordinario per calcestruzzo armato

È ammesso esclusivamente l'impiego di acciai saldabili in barre ad aderenza miglioratae 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 sovreresistenza	$k=(f_t/f_y)_k$	[-]	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	
C <sub>min</sub>	C <sub>o</sub>	ambiente	C <sub>≥C<sub>o</sub></sub>	C <sub>min</sub> ≤C<C <sub>o</sub>	C <sub>≥C<sub>o</sub></sub>	C <sub>min</sub> ≤C<C <sub>o</sub>	C <sub>≥C<sub>o</sub></sub>	C <sub>min</sub> ≤C<C <sub>o</sub>	C <sub>≥C<sub>o</sub></sub>	C <sub>min</sub> ≤C<C <sub>o</sub>
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

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.

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

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

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

## 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 TOP*
2	0
CMVc	9
CMV	16

Unità	Descrizione	$\gamma$	$\varphi$	$c'$	$c_u$	E	Vs	v
-	-	kN/mc	°	kPa	kPa	MPa	m/s	-
2	Limo con sabbia fine moderatamente consistente	20	34	0	-	40	210	0.25
3	Sabbia con limo ghiaiosa addensata e ghiaia con sabbia limosa	20	25	5	50	5	400	0.3
CMV-c	Limo argilloso debolmente sabbioso da consistente a duro	20.5	25	10	100	14	800	0.25
CMV	Conglomerato con clasti poligenici ed eterometrici i matrice limo-sabbiosa	20	35	0	-	50	800	0.3

\* m da testa palo

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

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

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

### 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.

## 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 superiore;
- Soletta di fondazione;
- Piedritti.

Per i materiali si assumono i seguenti pesi specifici:

Calcestruzzo armato:  $\gamma_{c.a.} = 25.00 \text{ kN/m}^3$

Rilevato:  $\gamma_{ri} = 20.00 \text{ kN/m}^3$

### 6.2 Permanenti non strutturali

Cautelativamente non sono stati considerati i carichi permanenti sulla soletta inferiore.

### 6.3 Azione del sisma

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

- Classe d'uso: III
- Coefficiente d'uso  $C_U = 2$
- Vita nominale  $V_N = 75$  anni
- Categoria di suolo: B
- Condizione topografica: T1
- Fattore di struttura  $q = 1$

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

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

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

---

Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

---

**Elaborazioni grafiche**

Grafici spettri di risposta →

Variabilità dei parametri →

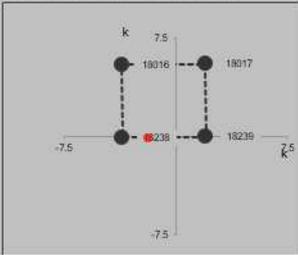
---

**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri →

---

**Nodi del reticolo intorno al sito**



Reticolo di riferimento

Controllo sul

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta



superficie ▼

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

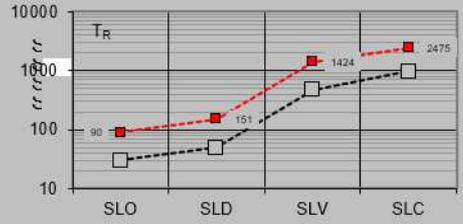
Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="90"/>
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="151"/>
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="1424"/>
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="2475"/>

Elaborazioni

- Grafici parametri azione
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametri azione

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

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

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

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

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_d$	0.206 g
$F_o$	2.471
$T_C$	0.306 s
$S_S$	1.395
$C_C$	1.551
$S_T$	1.000
$q$	1.000

**Parametri dipendenti**

$S$	1.395
$\eta$	1.000
$T_B$	0.158 s
$T_C$	0.475 s
$T_D$	2.423 s

#### 6.4 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.

#### 6.5 Variazione termica

La variazione termica applicata sulla struttura è pari a  $\Delta T = +15^\circ\text{C}$ , con una variazione termica aggiuntiva a farfalla pari a  $\Delta T = +5^\circ\text{C}$  applicata sulla soletta di copertura.

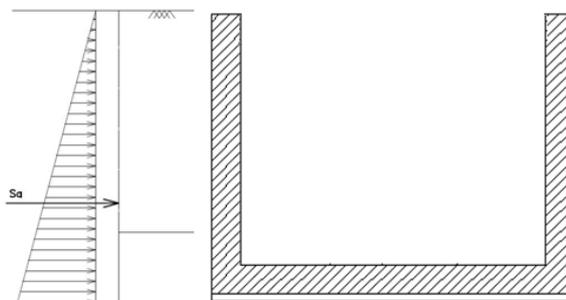
Per il coefficiente di dilatazione termica si assume:

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

Tale azione si trascura nel caso del muro.

#### 6.6 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 2: 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  $k_0$ .

### 6.7 Spinta dovuta al sovraccarico accidentale

Nel caso di un sovraccarico uniforme da traffico gravante a tergo dei piedritti, il valore della spinta risultante al metro è pari a  $S=k_0 \cdot q \cdot H$ , con punto di applicazione posizionato a metà dell'altezza dell'elemento su cui insiste.

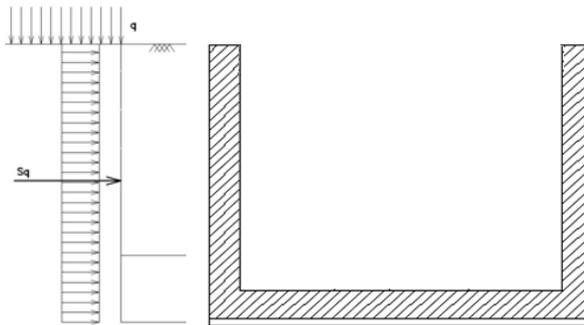


Figura 3: Schema per il calcolo degli effetti della spinta dovuta al sovraccarico accidentale

### 6.8 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  $H/2$ .

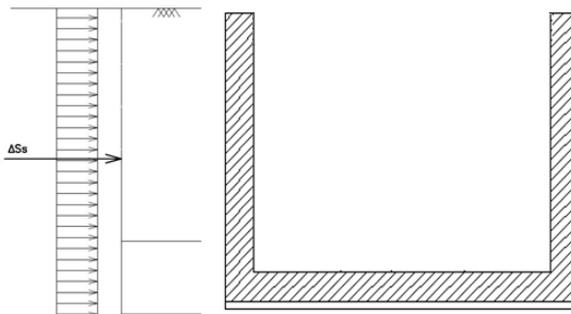


Figura 4: Schema per il calcolo degli effetti della sovraspinta sismica

## 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):

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

Ai fini della determinazione dei valori caratteristici delle azioni dovute al traffico, si devono considerare, generalmente, le combinazioni riportate in Tab. 5.1.IV.

Gruppo di azioni	Carichi sulla superficie carrabile					Carichi su marciapiedi e piste ciclabili non sovrantabili
	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
	Modello principale (schemi di carico 1, 2, 3, 4 e 5)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura	Forza centrifuga	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5kN/m <sup>2</sup>
2a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m <sup>2</sup>
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m <sup>2</sup>			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0kN/m <sup>2</sup>
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

(\*) Ponti pedonali  
 (\*\*) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)  
 (\*\*\*) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

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.

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti $g_1$ e $g_3$	favorevoli	$\gamma_{G1} = \gamma_{G3}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup> $g_2$	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{r1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{r2}, \gamma_{r3}, \gamma_{r4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

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

Azioni	Gruppo di azioni (Tab. 5.1.IV)	Coefficiente $\Psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\Psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\Psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tab. 5.1.IV)	Schema 1 (carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	--	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
Vento	a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	in esecuzione	0,8	0,0	0,0
	a ponte carico SLU e SLE	0,6	0,0	0,0
Neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	in esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	SLU e SLE	0,6	0,6	0,5

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

## 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-pressoflessione

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:

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

- Resistenza di progetto a "taglio trazione":

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

- Resistenza di progetto a "taglio compressione":

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

Nelle espressioni precedenti i simboli hanno i seguenti significati:

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

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

$A_{st}$  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;

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

$l \leq \cot \vartheta \leq 2.5$  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 ( $\nu=0.5$ );

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

### 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:

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

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

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

## 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. Dallo stesso modello sono state poi ricavate le sollecitazioni agenti all'intradosso della soletta di fondazione necessarie ai fini delle verifiche geotecniche del sistema terreno-fondazione e delle verifiche strutturali.

Convenzione assi

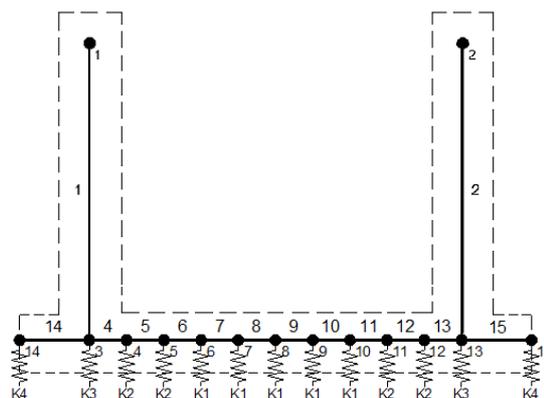
**x** = asse trasversale dello scatolare

**y** = asse longitudinale dello scatolare

**z** = asse verticale dello scatolare

### 10.1 Modellazione strutturale

Il modello di calcolo attraverso il quale viene discretizzata la struttura è quello di un telaio ad U. 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.

Per la rigidità delle molle, nell'opera in esame si considera un modulo di reazione verticale  $K_w$  pari a 1375  $\text{kN/m}^3$ . Tale valore viene valutato tramite la teoria di Bowles, note le dimensioni della fondazione dell'opera e il modulo elastico del terreno di fondazione:

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

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:

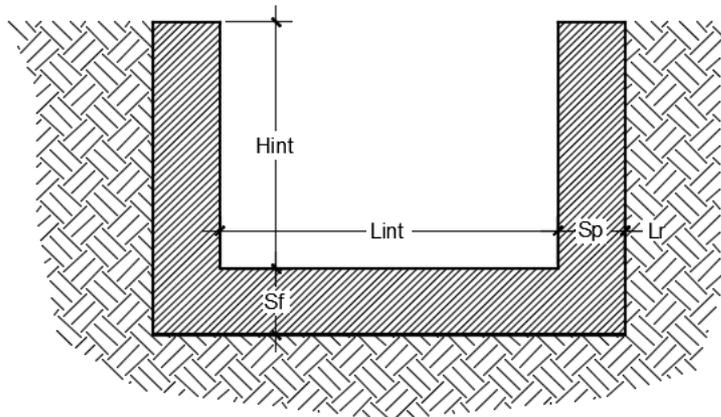
<b>Rigidezze molle</b>				
Modulo elastico del terreno	$E_t$		10.00	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di Poisson	$\nu$		0.30	-
Larghezza della fondazione	$B$	$B = L_r + S_p + L_{int} + S_p + L_r$	12.76	m
Lato maggiore della fondazione	$L$		7.70	m
Fattore di forma	$c_t$		0.58	-
Terreno di fondazione - Costante di sottofondo	$K_w$	$K_w = E_t / (1 - \nu^2) * B * c_t$	1476	kN/m <sup>3</sup>
Interasse molle	$i$	$(0.93/2 + 10.50 + 0.93/2) / 10 =$	1.14	m
Molle centrali	$K_1$	$K_1 = K_w * i$	1 688	kN/m
Molle intermedie	$K_2$	$K_2 = 1.50 * K_w * i$	2 531	kN/m
Molle laterali	$K_3$	$K_3 = 2.00 * K_w * (i/2 + S_p/2)$	3 061	kN/m
Molle risolto	$K_4$	$K_4 = 1.50 * K_w * L_r$	443	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

Caratteristiche materiali e terreno				
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	°
Condizioni ambientali per ver. a fessurazione			aggressive	
<b>Geometria</b>				
Spessore soletta di fondazione	$S_f$		1.10	m
Spessore piedritti	$S_p$		0.93	m
Altezza netta	$H_{int}$		6.35	m
Larghezza netta	$L_{int}$		10.50	m
Lunghezza risvolti sol. inf.	$L_r$		0.20	m

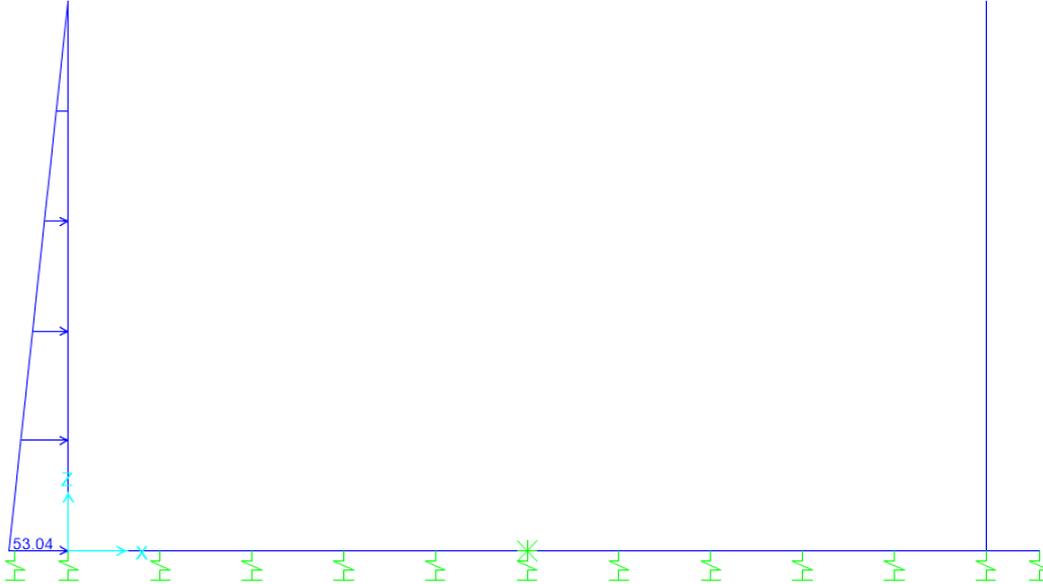


Tab. 4: Geometria del modello

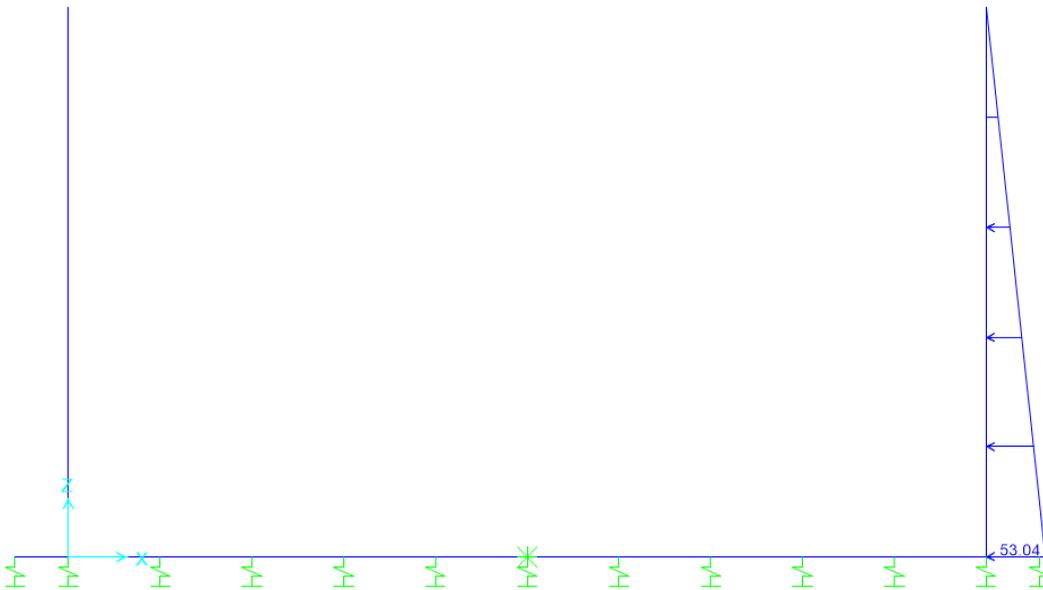
### Azioni elementari applicate

<b>Spinta del terreno (Condizioni SPTSX e SPTDX)</b>			
K0		$1 - \sin(38^\circ) =$	0.384
Spinta alla quota di estradosso sol. sup.	p1	$0.384 \cdot 0.00 =$	0.00 kN/m <sup>2</sup>
Spinta in asse sol. sup.	p2	$0.384 \cdot (0.00 + 20 \cdot 0.00/2) =$	<b>0.00 kN/m<sup>2</sup></b>
Spinta in asse sol. inf.	p3	$0.384 \cdot [0.00 + 20 \cdot (0.00+6.35+1.10/2)] =$	<b>53.04 kN/m<sup>2</sup></b>
Spinta alla quota di intradosso sol. inf.	p4	$0.384 \cdot [0.00 + 20 \cdot (0.00+6.35+1.10)] =$	57.27 kN/m <sup>2</sup>
Spinta semispessore sol. sup.	F1	$(0.00+0.00)/2 \cdot 0.00/2$	<b>0.00 kN/m</b>
Spinta semispessore sol. inf.	F2	$(53.04+57.27)/2 \cdot 1.10/2$	<b>30.33 kN/m</b>
<b>Sisma orizzontale (Condizione SISMAH)</b>			
Stato limite		Salvaguardia della vita - SLU -	SLV
Vita nominale	V <sub>N</sub>		75 anni
Classe d'uso			IV
Coefficiente C <sub>U</sub>	C <sub>U</sub>		2
Periodo di riferimento	V <sub>R</sub>		150 anni
Accelerazione orizzontale	a <sub>g</sub> /g		0.209
Amplificazione spettrale	F <sub>o</sub>		2.471
Categoria sottosuolo		A, B, C, D, E	B
Coeff. Amplificazione stratigrafica	S <sub>s</sub>		1.193
Coeff. Amplificazione topografica	S <sub>t</sub>		1
Coefficiente S	S	=S <sub>s</sub> · S <sub>t</sub>	1.193
accelerazione orizzontale max	a <sub>max</sub> /g	=a <sub>g</sub> /g · S	0.249
Fattore di struttura	q		1.00
Coeff. sismico orizzontale	k <sub>h</sub>	=a <sub>max</sub> /g	0.249
Coeff. sismico verticale	k <sub>v</sub>	= ±0.5 · k <sub>h</sub>	0.125
Carico accidentale totale gravante sulla cop.		$1.1 \cdot 1000 / (2.40 \cdot 6.40) \cdot 6.40 + 1.1 \cdot 80 / 2.40 \cdot 12.36 =$	0.0 kN/m
Forza orizz. sulla sol. di cop.	F <sub>Hs</sub>	$0.249 \cdot (0.00 \cdot 25 + 0.00 + 0.2 \cdot 0.0 / 11.43) / 1.00 =$	<b>0.00 kN/m<sup>2</sup></b>
Forza orizz. sui piedritti	F <sub>Hp</sub>	$0.249 \cdot (0.93 \cdot 25) / 1.00 =$	<b>5.80 kN/m<sup>2</sup></b>
<b>Spinta del terreno in fase sismica (Condizione SPSPDX)</b>			
Risultante della spinta sismica	ΔS <sub>E</sub>	$= (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot (H_{int} + S_s + S_f + H_b + H_r)^2 = 0.249 \cdot 20 \cdot 7.45^2$	276.9 kN/m
Pressione risultante	Δp <sub>E</sub>	$= \Delta S_E / H = 276.9 / 6.90$	<b>40.13 kN/m<sup>2</sup></b>

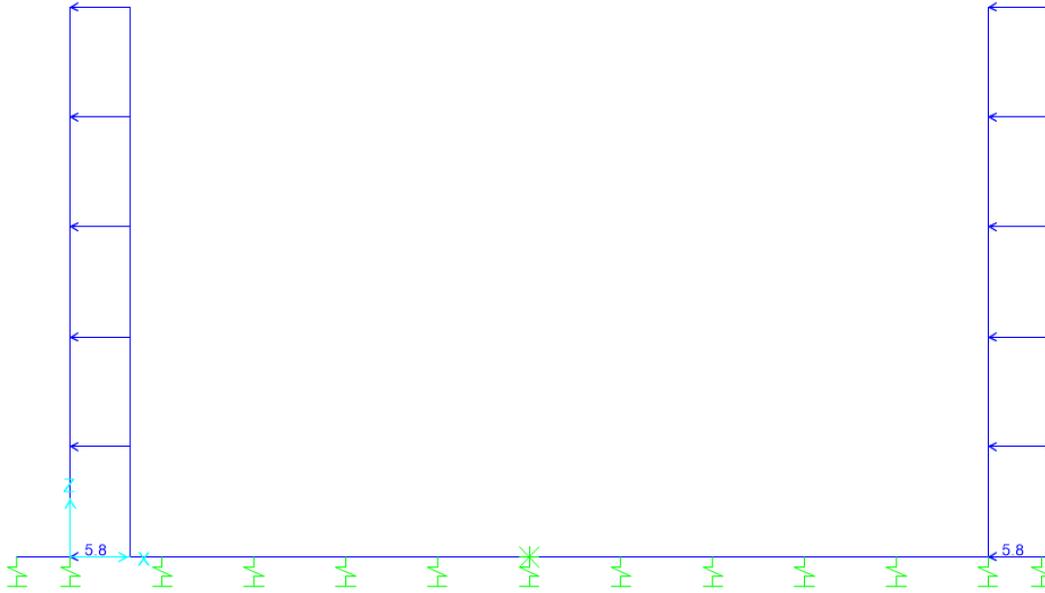
Seguono le schermate di applicazione dei principali carichi al modello:



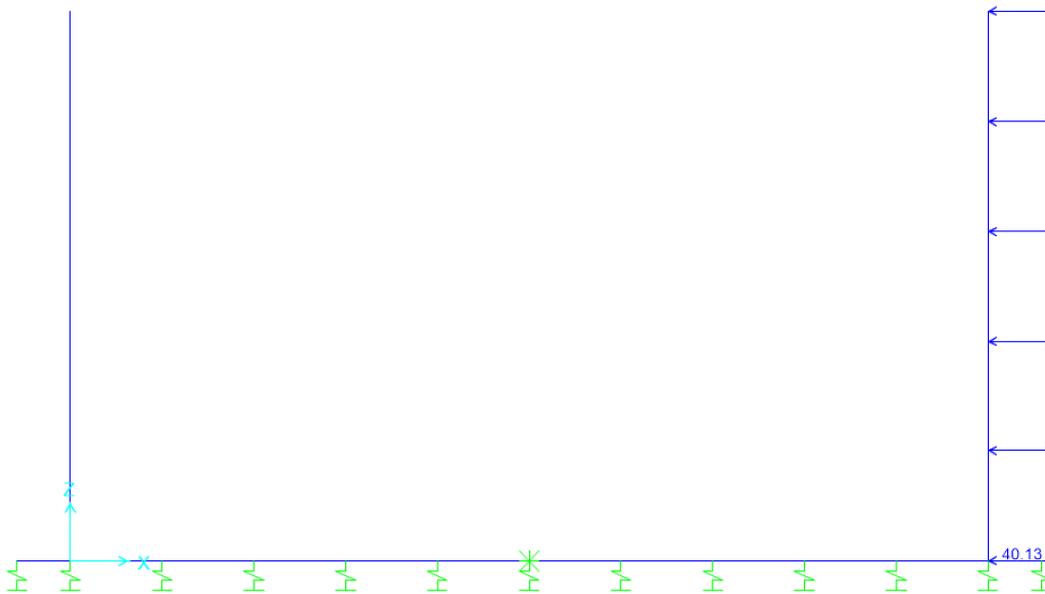
*Figura 5: Condizione SPTSX*



*Figura 6: Condizione SPTDX*



*Figura 7: Condizione SISMAH*



*Figura 8: Condizione SPSDX*

### 10.3 Combinazioni

N	PERM	PERM-G2	ACC-M71	ACC-T71	AVV	SPTSX	SPTDX	SPQSX71	SPQDX71	TERM	RITIRO	SISMAH	SISMAV	SPSDX	ACC-SW	SPQSXSX	SPQDXSX
01 01S1-11M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0
02 02S1-11T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0
03 03S1-12M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
04 04S1-12T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
05 05S1-13M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
06 06S1-13T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
07 07S1-14-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
08 08S1-15-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
09 09S1-16S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.00	1.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0	0
10 10S1-17S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.35	1.35	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	1.45	1.45
11 11S1-18S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.00	1.35	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	1.45	0	1.45
12 12S1-19S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.35	1.35	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0	1.45	1.45
13 13S1-20S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.00	1.35	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	1.45
14 14S1-21M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
15 15S1-21T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
16 16S1-22M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.35	1.35	1.45	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
17 17S1-22T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.35	1.35	1.45	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
18 18S1-23M	1.35	1.50	1.45	0	0.73	1.00	1.35	0	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
19 19S1-23T	1.35	1.50	0	1.45	0.73	1.00	1.35	0	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
20 20S1-24-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.45	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
21 21S1-25-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.45	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
22 22S1-26S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	0	0
23 23S1-27S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.35	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	1.45	1.45
24 24S1-28S	1.35	1.5	0	0	0.73	1.00	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	1.45	0	1.45
25 25S1-29S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.35	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	1.45	1.45
26 26S1-30S	1.35	1.5	0	0	0.00	1.00	1.35	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	1.45
27 27S1T11M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.00	0	0	1.5	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
28 28S1T11T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.00	0	0	1.5	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
29 29S1T12M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	1.5	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
30 30S1T12T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	1.5	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
31 31S1T13M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.35	0	1.16	1.5	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
32 32S1T13T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.35	0	1.16	1.5	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
33 33S1T14-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.16	1.16	1.5	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
34 34S1T15-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.16	1.5	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00
35 35S1T16S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.00	0	0	1.5	0	0	0	0	1.16	0	0
36 36S1T17S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.35	1.35	0	0	1.5	0	0	0	0	1.16	1.16	1.16
37 37S1T18S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.35	0	0	1.5	0	0	0	0	1.16	0	1.16
38 38S1T19S	1.35	1.5	0	0	0	1.35	1.35	0	0	1.5	0	0	0	0	0.00	1.16	1.16
39 39S1T20S	1.35	1.5	0	0	0	1.00	1.35	0	0	1.5	0	0	0	0	0.00	0	1.16
40 40S1T21M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	0.00	0.00	0.00
41 41S1T21T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	0.00	0.00	0.00
42 42S1T22M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	-1.5	1.35	0	0	0	0.00	0.00	0.00
43 43S1T22T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.35	1.35	1.16	1.16	-1.5	1.35	0	0	0	0.00	0.00	0.00
44 44S1T23M	1.35	1.50	1.16	0	1.16	1.00	1.35	0	1.16	-1.5	1.35	0	0	0	0.00	0.00	0.00
45 45S1T23T	1.35	1.50	0	1.16	1.16	1.00	1.35	0	1.16	-1.5	1.35	0	0	0	0.00	0.00	0.00
46 46S1T24-	1.35	1.50	0	0	0	1.35	1.35	1.16	1.16	-1.5	1.35	0	0	0	0.00	0.00	0.00
47 47S1T25-	1.35	1.50	0	0	0	1.00	1.35	0	1.16	-1.5	1.35	0	0	0	0.00	0.00	0.00
48 48S1T26S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.00	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	1.16	0	0
49 49S1T27S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.35	1.35	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	1.16	1.16	1.16
50 50S1T28S	1.35	1.5	0	0	1.16	1.00	1.35	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	1.16	0	1.16
51 51S1T29S	1.35	1.5	0	0	0	1.35	1.35	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	0	1.16	1.16
52 52S1T30S	1.35	1.5	0	0	0	1.00	1.35	0	0	-1.5	1.35	0	0	0	0	0	1.16
53 53S3-11M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0
54 54S3-11T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0
55 55S3-12M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
56 56S3-12T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.35	1.35	1.45	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
57 57S3-13M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
58 58S3-13T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.35	0	1.45	0.9	0	0	0	0	0	0	0
59 59S3-14S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.00	0	0	0.9	0	0	0	0	1.45	0	0
60 60S3-15S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.35	1.35	0	0	0.9	0	0	0	0	1.45	1.45	1.45
61 61S3-16S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.35	0	0	0.9	0	0	0	0	1.45	0	1.45
62 62S3-21M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
63 63S3-21T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
64 64S3-22M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.35	1.35	1.16	1.16	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
65 65S3-22T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.35	1.35	1.16	1.16	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
66 66S3-23M	1.35	1.50	1.45	0	1.45	1.00	1.35	0	1.16	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0
67 67S3-23T	1.35	1.50	0	1.45	1.45	1.00	1.35	0	1.16	-0.9	1.35	0	0	0	0	0	0

N	PERM	PERM-G2	ACC-M71	ACC-T71	AVV	SPTSX	SPTDX	SPQSx71	SPQDx71	TERM	RITIRO	SISMAH	SISMAV	SPSDX	ACC-SW	SPQSxSW	SPQDxSW
68 68S3-24S	1.35	1.5	0	0	1.45	1.00	1.00	0	0	-0.9	1.35	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	1.35	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	1.35	0	0	0	1.45	0	1.16
71 71SSS1--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	0	1	0.3	1	0	0	0
72 72SSS2--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	0	1	-0.3	1	0	0	0
73 73SSS3--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	0	0.3	1	0.3	0	0	0
74 74SSS4--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	0.5	0	0.3	-1	0.3	0	0	0
75 75SSS5--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	1	0.3	1	0	0	0
76 76SSS6--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	1	-0.3	1	0	0	0
77 77SSS7--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	0.3	1	0.3	0	0	0
78 78SSS8--	1	1	0.2	0	0	0.6	1	0	0.2	-0.5	1	0.3	-1	0.3	0	0	0
79 79SSS9S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	0	1	0.3	1	0.2	0	0.2
80 80SSS10S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	0	1	-0.3	1	0.2	0	0.2
81 81SSS11S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	0	0.3	1	0.3	0.2	0	0.2
82 82SSS12S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	0.5	0	0.3	-1	0.3	0.2	0	0.2
83 83SSS13S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	-0.5	1	1	0.3	1	0.2	0	0.2
84 84SSS14S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	-0.5	1	1	-0.3	1	0.2	0	0.2
85 85SSS15S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	-0.5	1	0.3	1	0.3	0.2	0	0.2
86 86SSS16S	1	1	0	0	0	0.6	1	0	0	-0.5	1	0.3	-1	0.3	0.2	0	0.2
87 87R3-11M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0
88 88R3-11T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0
89 89R3-12M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0
90 90R3-12T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0
91 91R3-13M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0
92 92R3-13T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	0.6	0	0	0	0	0	0	0
93 93R3-14S	1	1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	0.6	0	0	0	0	0.8	0	0
94 94R3-15S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	0.6	0	0	0	0	0.8	0.8	0.8
95 95R3-16S	1	1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	0.6	0	0	0	0	0.8	0	0.8
96 96R3-21M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
97 97R3-21T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
98 98R3-22M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
99 99R3-22T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
100 100R3-23M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
101 101R3-23T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	-0.6	1	0	0	0	0	0	0
102 102R3-24S	1	1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-0.6	1	0	0	0	0.8	0	0
103 103R3-25S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
104 104R3-26S	1	1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	-0.6	1	0	0	0	0.8	0	0.8
105 105R1T11M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
106 106R1T11T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
107 107R1T12M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	1	0	0	0	0	0	0	0
108 108R1T12T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	1	0	0	0	0	0	0	0
109 109R1T13M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	1	0	0	0	0	0	0	0
110 110R1T13T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	1	0	0	0	0	0	0	0
111 111R1T14S	1	1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	1	0	0	0	0	0.8	0	0
112 112R1T15S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0.8	0.8	0.8
113 113R1T16S	1	1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	1	0	0	0	0	0.8	0	0.8
114 114R1T21M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
115 115R1T21T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	0.6	0	0	-1	1	0	0	0	0	0	0
116 116R1T22M	1	1	0.8	0	0.8	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
117 117R1T22T	1	1	0	0.8	0.8	1	1	0.8	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
118 118R1T23M	1	1	0.8	0	0.8	0.6	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
119 119R1T23T	1	1	0	0.8	0.8	0.6	1	0	0.8	-1	1	0	0	0	0	0	0
120 120R1T24S	1	1	0	0	0.8	0.6	0.6	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0
121 121R1T25S	1	1	0	0	0.8	1	1	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0.8	0.8
122 122R1T26S	1	1	0	0	0.8	0.6	1	0	0	-1	1	0	0	0	0.8	0	0.8

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



**PROGETTO DEFINITIVO  
RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA  
TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

**SL09 - Nuovo Sottovia Ramo bidirezionale svincolo  
autostradale km 84+827.76  
Relazione di calcolo imbocchi**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	SL0900002	A	29 di 45

**TERM** : termica

**RITIRO** : ritiro

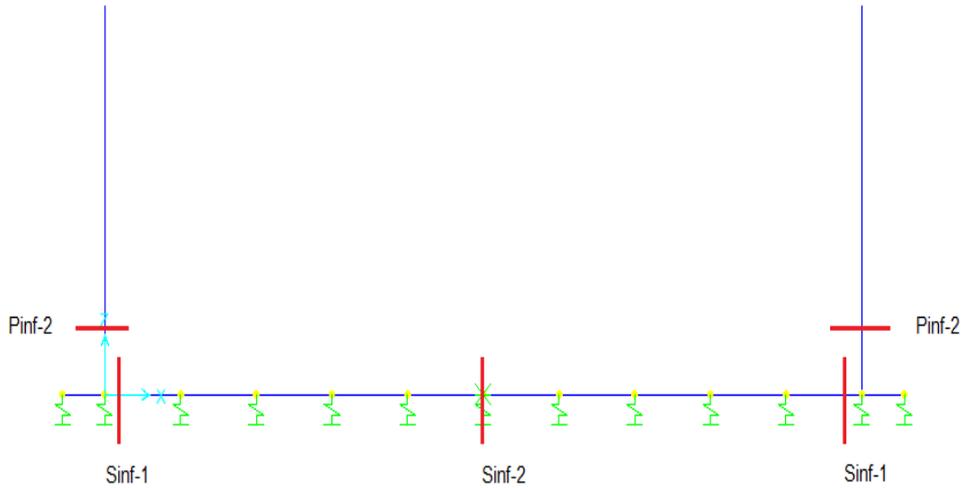
**SISMAH** : azione sismica

**SISDX** : incremento sismico della spinta del terreno

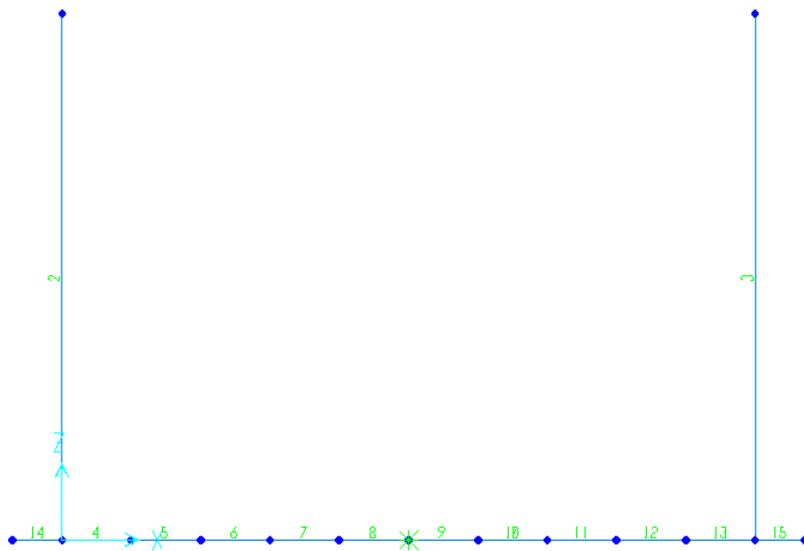
**SPQSxSW** : spinta del carico accidentale SW/2 sulla parete sx

**SPQDxSW** : spinta del carico accidentale SW/2 sulla parete dx

## 10.4 Sollecitazioni



*Figura 9: Sezioni di verifica*



*Figura 10: Nomenclatura frame*

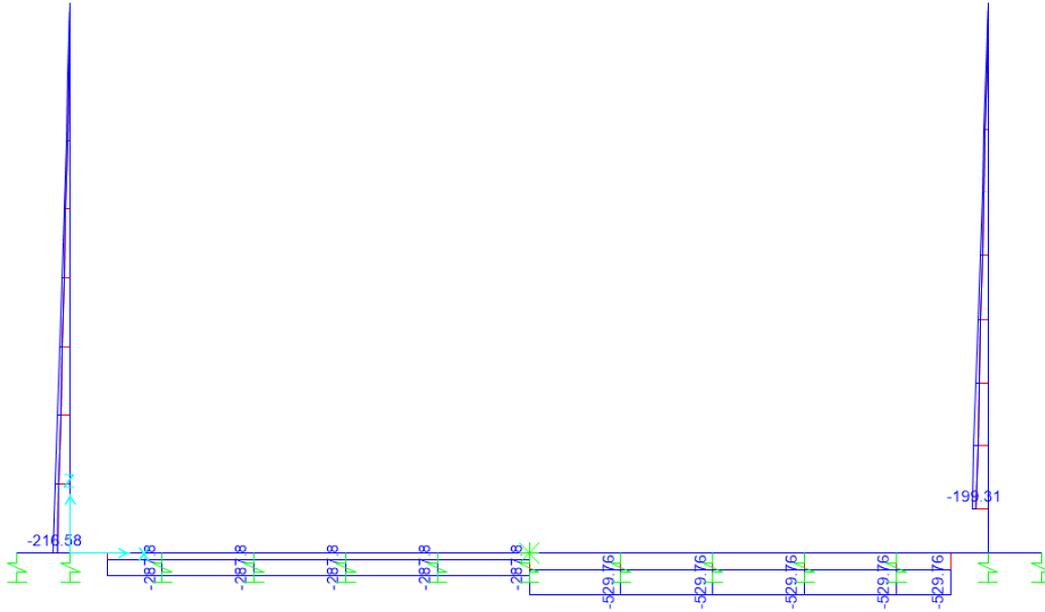


Figura 11: Sforzo Normale – Involuppo SLU (kN)

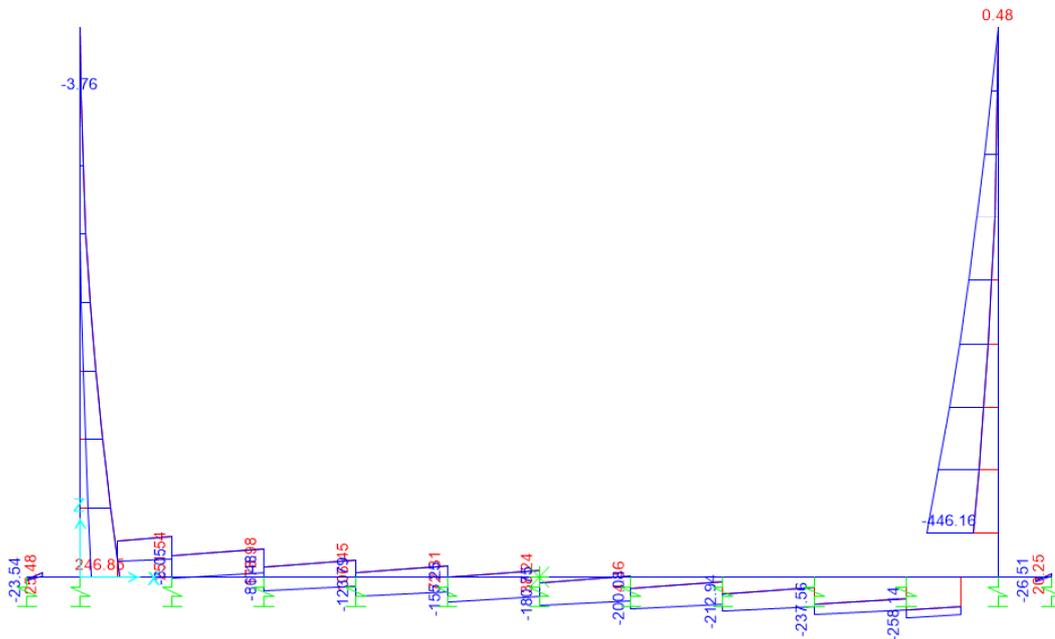


Figura 12: Taglio – Involuppo SLU (kN)

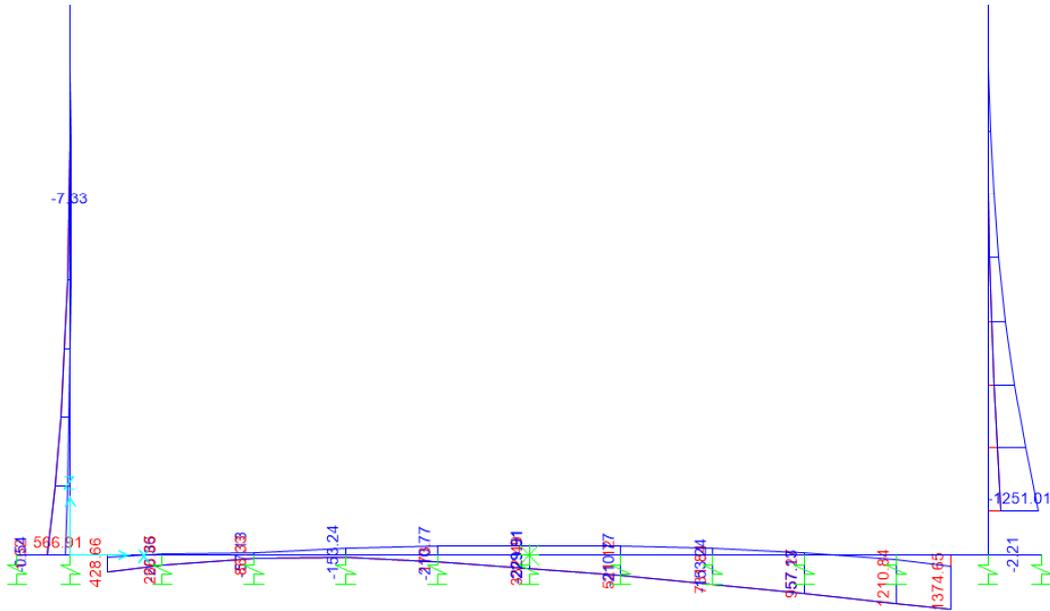


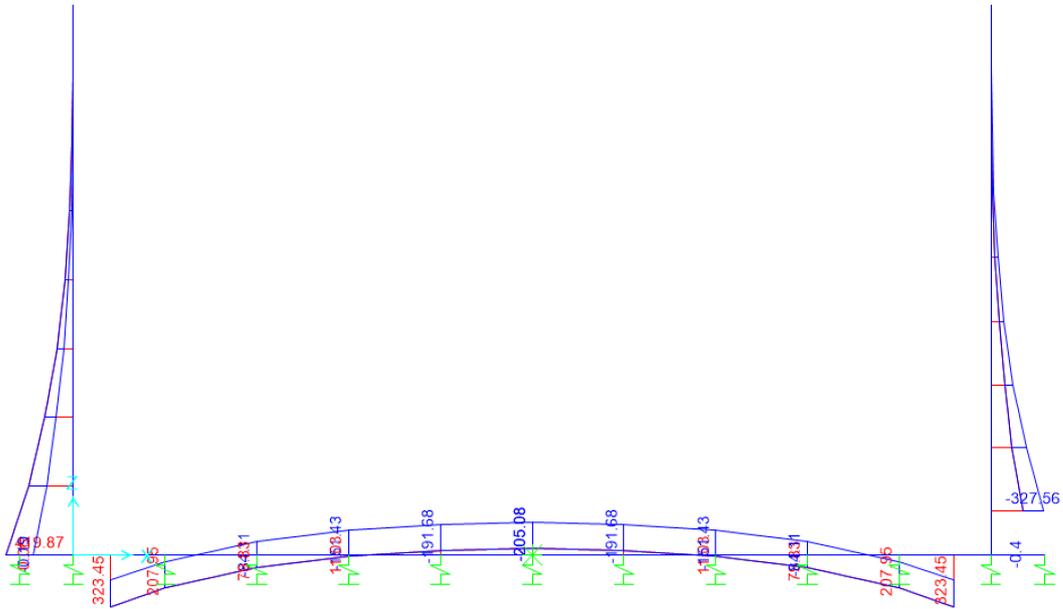
Figura 13: Momento flettente – Involuppo SLU (kNm)



Figura 14: Sforzo normale – Involuppo SLE Rara (kN)

**SL09 - Nuovo Sottovia Ramo bidirezionale svincolo**  
**autostradale km 84+827.76**  
**Relazione di calcolo imbocchi**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	SL0900002	A	33 di 45



*Figura 15: Momento flettente – Inviluppo SLE-Rara (KNm)*

## 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
Piedritto - Spiccato	5 Ø26	5 Ø26	5 Ø20	-
Soletta inferiore - Campata	5 Ø20	-	5 Ø26	-
Soletta inferiore - Appoggio	5 Ø26	5 Ø26	5 Ø20	-

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

### 10.5.2 Verifica piedritti

- Verifica a pressoflessione spiccato (Pied-Spicce)

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 <sub>ck</sub>	40 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>ck</sub>	33.2 N/mm <sup>2</sup>
γ <sub>c</sub>	1.5
f <sub>cd</sub>	22.1 N/mm <sup>2</sup>
f <sub>cc</sub>	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	= 93 cm
Base della sezione b	= 100 cm
Copriferro d'	= 8.7 cm
Altezza utile della sezione d	= 84.3 cm

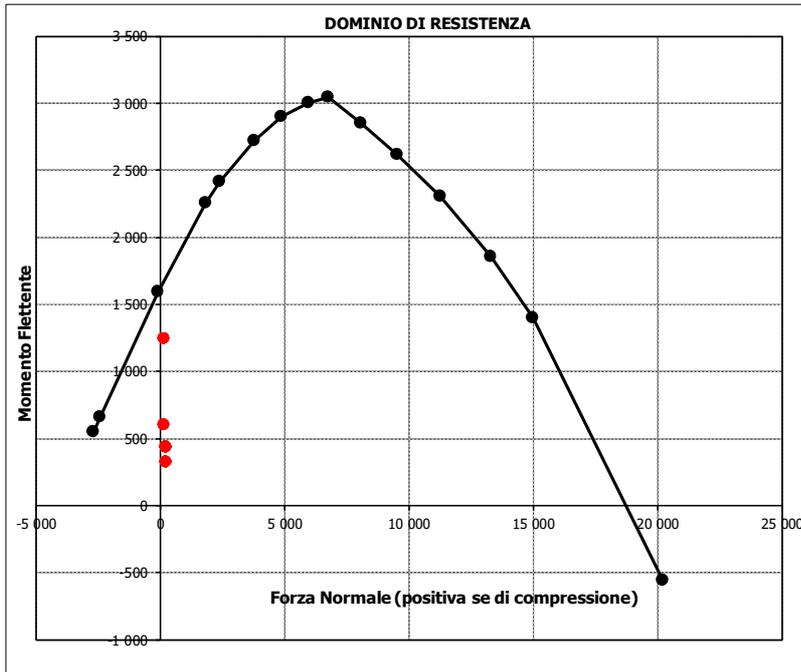
Armatura tesa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	26	26.55	cm <sup>2</sup>
5	26	26.55	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
<b>53.09 cm<sup>2</sup></b>			

Armatura compressa			
N° ferri	Diametro	Area	
5	20	15.71	cm <sup>2</sup>
0	0	0.00	cm <sup>2</sup>
		0.00	cm <sup>2</sup>
<b>15.71 cm<sup>2</sup></b>			

Caratteristiche di sollecitazione			
Comb.	Nsd [kN]	Msd [kNm]	
(Nmax)	01S1-11M	199	328
(Nmin)	71SSS1--	148	1251
(Mmax)	71SSS1--	148	1251
(Mmin)	01S1-11M	199	328

#### Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	199	328	44S1T23M	199	442
02S1-11T	199	328	45S1T23T	199	442
03S1-12M	199	442	46S1T24-	199	442
04S1-12T	199	442	47S1T25-	199	442
05S1-13M	199	442	48S1T26S	199	328
06S1-13T	199	442	49S1T27S	199	442
07S1-14-	199	442	50S1T28S	199	442
08S1-15-	199	442	51S1T29S	199	442
09S1-16S	199	328	52S1T30S	199	442
10S1-17S	199	442	53S3-11M	199	328
11S1-18S	199	442	54S3-11T	199	328
12S1-19S	199	442	55S3-12M	199	442
13S1-20S	199	442	56S3-12T	199	442
14S1-21M	199	328	57S3-13M	199	442
15S1-21T	199	328	58S3-13T	199	442
16S1-22M	199	442	59S3-14S	199	328
17S1-22T	199	442	60S3-15S	199	442
18S1-23M	199	442	61S3-16S	199	442
19S1-23T	199	442	62S3-21M	199	328
20S1-24-	199	442	63S3-21T	199	328
21S1-25-	199	442	64S3-22M	199	442
22S1-26S	199	328	65S3-22T	199	442
23S1-27S	199	442	66S3-23M	199	442
24S1-28S	199	442	67S3-23T	199	442
25S1-29S	199	442	68S3-24S	199	328
26S1-30S	199	442	69S3-25S	199	442
27S1T11M	199	328	70S3-26S	199	442
28S1T11T	199	328	71SSS1--	148	1251
29S1T12M	199	442	72SSS2--	148	1251
30S1T12T	199	442	73SSS3--	148	605
31S1T13M	199	442	74SSS4--	148	605
32S1T13T	199	442	75SSS5--	148	1251
33S1T14-	199	442	76SSS6--	148	1251
34S1T15-	199	442	77SSS7--	148	605
35S1T16S	199	328	78SSS8--	148	605
36S1T17S	199	442	79SSS9S	148	1251
37S1T18S	199	442	80SSS10S	148	1251
38S1T19S	199	442	81SSS11S	148	605
39S1T20S	199	442	82SSS12S	148	605
40S1T21M	199	328	83SSS13S	148	1251
41S1T21T	199	328	84SSS14S	148	1251
42S1T22M	199	442	85SSS15S	148	605
43S1T22T	199	442	86SSS16S	148	605



- 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>446</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**

$n_1$		5
$\varnothing_1$	mm	26
$n_2$		5
$\varnothing_2$	mm	26
Asl	cm <sup>2</sup>	53.09

**Sezione**

$b_w$	cm	100
H	cm	93
c	cm	8.7
d	cm	84.3
k	N/mm <sup>2</sup>	1.49
$v_{min}$	N/mm <sup>2</sup>	0.37
$\rho$		0.0063
$\sigma_{cp}$	N/mm <sup>2</sup>	0.00
$\alpha_c$		1.00

**Resistenza senza armatura a taglio**

$V_{Rd}$	kN	<b>414</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	1457
$V_{RCd}$	kN	2461
$V_{Rd}$	kN	<b>1457</b>
$V_{Rd}$	kN	<b>VERIFICATO</b>

- Verifica a fessurazione spiccato (Pied-Spicc)

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>328</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>93</b>	cm		
Larghezza sezione	B	<b>100</b>	cm		
Armatura compressa (1° strato)	$AS_1'$	15.71	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>20</b>	$C_{s1} = \mathbf{8.7}$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	<b>0</b> Ø <b>0</b>	$C_{s2} = \mathbf{9.7}$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	26.55	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>26</b>	$C_{t2} = \mathbf{11.3}$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	26.55	cm <sup>2</sup>	<b>5</b> Ø <b>26</b>	$C_{t1} = \mathbf{8.7}$ cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>2.8</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{Camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>85.6</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>28.0</b>	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	10263	cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	8101978.956	cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id}^*$	3229935.417	cm <sup>4</sup>	

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^*$	422	kN m	La sezione non è fessurata
---------------------------------------	--------------	-----	------	----------------------------

### 10.5.3 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
$f_{ck}$	33.2
$\gamma_c$	1.5
$f_{cd}$	22.1
$f_{cc}$	18.8

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	$d' = 8.4$	cm
Altezza utile della sezione	$d = 101.6$	cm

#### Armatura tesa

N° ferri	Diametro	Area
5	20	15.71 cm <sup>2</sup>
0	0	0.00 cm <sup>2</sup>
		<b>15.71 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>
		<b>26.55 cm<sup>2</sup></b>

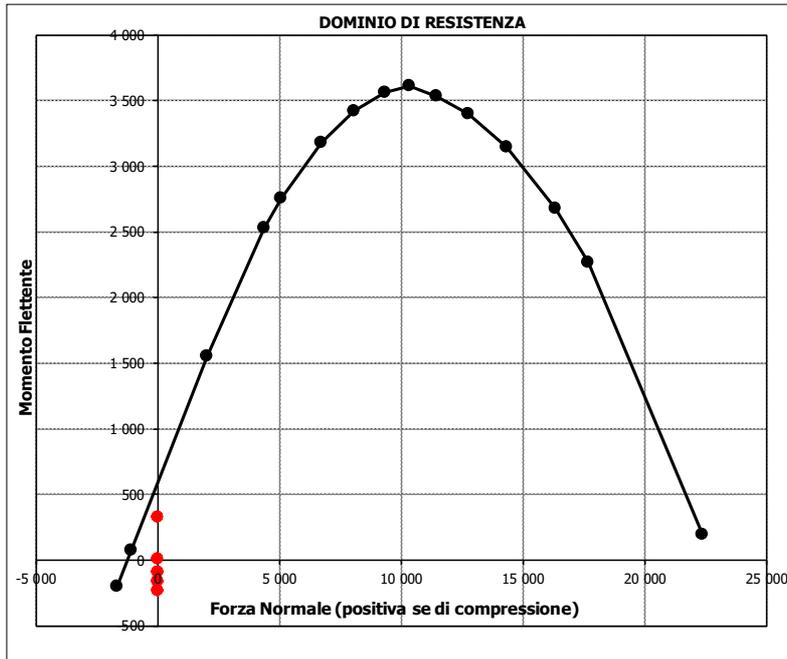
#### Caratteristiche di sollecitazione

Comb. Nsd [kN] Msd [kNm]

(Mmax)	71SSS1--	0	332
(Mmin)	01S1-11M	0	-230

#### Caratteristiche di sollecitazione

Comb.	Nsd	Msd	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	0	-230	44S1T23M	0	-159
02S1-11T	0	-230	45S1T23T	0	-159
03S1-12M	0	-89	46S1T24-	0	-89
04S1-12T	0	-89	47S1T25-	0	-159
05S1-13M	0	-159	48S1T26S	0	-230
06S1-13T	0	-159	49S1T27S	0	-89
07S1-14-	0	-89	50S1T28S	0	-159
08S1-15-	0	-159	51S1T29S	0	-89
09S1-16S	0	-230	52S1T30S	0	-159
10S1-17S	0	-89	53S3-11M	0	-230
11S1-18S	0	-159	54S3-11T	0	-230
12S1-19S	0	-89	55S3-12M	0	-89
13S1-20S	0	-159	56S3-12T	0	-89
14S1-21M	0	-230	57S3-13M	0	-159
15S1-21T	0	-230	58S3-13T	0	-159
16S1-22M	0	-89	59S3-14S	0	-230
17S1-22T	0	-89	60S3-15S	0	-89
18S1-23M	0	-159	61S3-16S	0	-159
19S1-23T	0	-159	62S3-21M	0	-230
20S1-24-	0	-89	63S3-21T	0	-230
21S1-25-	0	-159	64S3-22M	0	-89
22S1-26S	0	-230	65S3-22T	0	-89
23S1-27S	0	-89	66S3-23M	0	-159
24S1-28S	0	-159	67S3-23T	0	-159
25S1-29S	0	-89	68S3-24S	0	-230
26S1-30S	0	-159	69S3-25S	0	-89
27S1T11M	0	-230	70S3-26S	0	-159
28S1T11T	0	-230	71SSS1--	0	332
29S1T12M	0	-89	72SSS2--	0	332
30S1T12T	0	-89	73SSS3--	0	13
31S1T13M	0	-159	74SSS4--	0	13
32S1T13T	0	-159	75SSS5--	0	332
33S1T14-	0	-89	76SSS6--	0	332
34S1T15-	0	-159	77SSS7--	0	13
35S1T16S	0	-230	78SSS8--	0	13
36S1T17S	0	-89	79SSS9S	0	332
37S1T18S	0	-159	80SSS10S	0	332
38S1T19S	0	-89	81SSS11S	0	13
39S1T20S	0	-159	82SSS12S	0	13
40S1T21M	0	-230	83SSS13S	0	332
41S1T21T	0	-230	84SSS14S	0	332
42S1T22M	0	-89	85SSS15S	0	13
43S1T22T	0	-89	86SSS16S	0	13



**SL09 - Nuovo Sottovia Ramo bidirezionale svincolo**  
**autostradale km 84+827.76**  
**Relazione di calcolo imbocchi**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 CL	SL0900002	A	39 di 45

• 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>
$f_{cc}$	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
5	26	26.55 cm <sup>2</sup>
5	26	26.55 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	20	15.71 cm <sup>2</sup>
0	0	0.00 cm <sup>2</sup>
		0.00 cm <sup>2</sup>
		<b>15.71 cm<sup>2</sup></b>

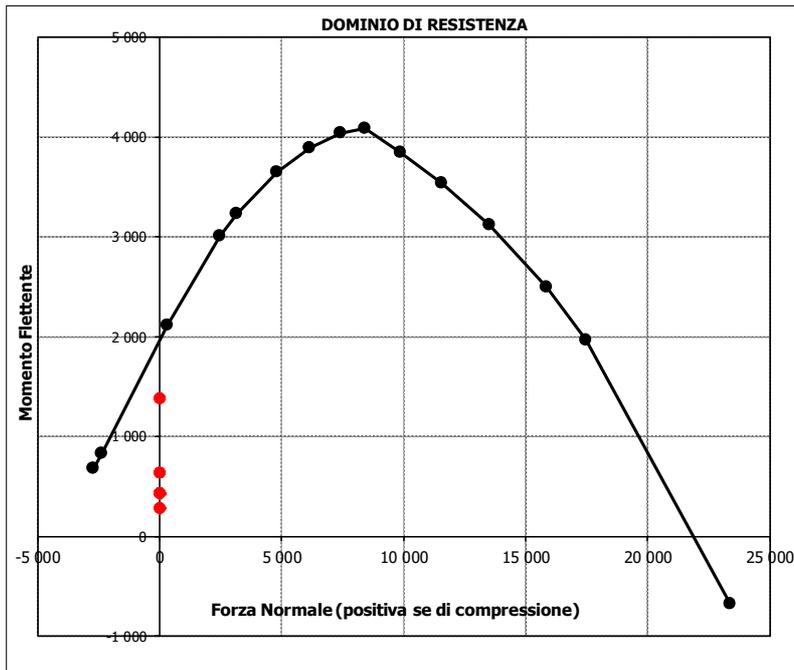
**Caratteristiche di sollecitazione**

Comb. Nsd [kN] Msd [kNm]

(Mmax)	71SSS1--	0	1375
(Mmin)	01S1-11M	0	283

**Caratteristiche di sollecitazione**

Comb.	Nsd	Msd	Comb.	Nsd	Msd
01S1-11M	0	283	44S1T23M	0	425
02S1-11T	0	283	45S1T23T	0	425
03S1-12M	0	429	46S1T24-	0	429
04S1-12T	0	429	47S1T25-	0	425
05S1-13M	0	425	48S1T26S	0	283
06S1-13T	0	425	49S1T27S	0	429
07S1-14-	0	429	50S1T28S	0	425
08S1-15-	0	425	51S1T29S	0	429
09S1-16S	0	283	52S1T30S	0	425
10S1-17S	0	429	53S3-11M	0	283
11S1-18S	0	425	54S3-11T	0	283
12S1-19S	0	429	55S3-12M	0	429
13S1-20S	0	425	56S3-12T	0	429
14S1-21M	0	283	57S3-13M	0	425
15S1-21T	0	283	58S3-13T	0	425
16S1-22M	0	429	59S3-14S	0	283
17S1-22T	0	429	60S3-15S	0	429
18S1-23M	0	425	61S3-16S	0	425
19S1-23T	0	425	62S3-21M	0	283
20S1-24-	0	429	63S3-21T	0	283
21S1-25-	0	425	64S3-22M	0	429
22S1-26S	0	283	65S3-22T	0	429
23S1-27S	0	429	66S3-23M	0	425
24S1-28S	0	425	67S3-23T	0	425
25S1-29S	0	429	68S3-24S	0	283
26S1-30S	0	425	69S3-25S	0	429
27S1T11M	0	283	70S3-26S	0	425
28S1T11T	0	283	71SSS1--	0	1375
29S1T12M	0	429	72SSS2--	0	1375
30S1T12T	0	429	73SSS3--	0	636
31S1T13M	0	425	74SSS4--	0	636
32S1T13T	0	425	75SSS5--	0	1375
33S1T14-	0	429	76SSS6--	0	1375
34S1T15-	0	425	77SSS7--	0	636
35S1T16S	0	283	78SSS8--	0	636
36S1T17S	0	429	79SSS9S	0	1375
37S1T18S	0	425	80SSS10S	0	1375
38S1T19S	0	429	81SSS11S	0	636
39S1T20S	0	425	82SSS12S	0	636
40S1T21M	0	283	83SSS13S	0	1375
41S1T21T	0	283	84SSS14S	0	1375
42S1T22M	0	429	85SSS15S	0	636
43S1T22T	0	429	86SSS16S	0	636



- Verifica a taglio

La verifica a taglio viene condotta nel seguente modo:

1. Verifica della sezione senza armatura al taglio → se  $V_{Ed} < VR_{d1}$  la verifica è soddisfatta;
2. Altrimenti si verifica la sezione con armatura a taglio → se  $V_{Ed} < VR_{d2}$  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**

		Soletta inf
$V_{Ed}$	kN	<b>258</b>
$N_{Ed}$	kN	<b>0</b>

**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**

$n_1$		5
$\varnothing_1$	mm	26
$n_2$		5
$\varnothing_2$	mm	26
$A_{sl}$	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>VERIFICATO</b>

• Verifica a fessurazione campata (Solinf-Camp)

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>205</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	$\sigma_{amm}$	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	$\sigma_{amm}$	<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	$c_{s1} = 8.4$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$As_2'$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	$c_{s2} = 9.7$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$As_2$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	$c_{t2} = 9.4$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$As_1$	15.71	cm <sup>2</sup>	5 Ø 20	$c_{t1} = 8.4$ cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>2.0</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>137.2</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)	17.9	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	11592	cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	12468036.83	cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id^*}$	1877789.275	cm <sup>4</sup>	

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^*$	549	kN m	La sezione non è fessurata
---------------------------------------	--------------	-----	------	----------------------------

• Verifica a fessurazione appoggio (Solinf-App)

**Sollecitazioni**

Momento flettente	M	<b>323</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)	$AS_1^1$	15.71	cm <sup>2</sup>	5 Ø 20	$c_{s1} = 8.7$ cm
Armatura compressa (2° strato)	$AS_2^1$	0.00	cm <sup>2</sup>	0 Ø 0	$c_{s2} = 9.7$ cm
Armatura tesa (2° strato)	$AS_2$	26.55	cm <sup>2</sup>	5 Ø 26	$c_{t2} = 11.3$ cm
Armatura tesa (1° strato)	$AS_1$	26.55	cm <sup>2</sup>	5 Ø 26	$c_{t1} = 8.7$ cm

**Tensioni nei materiali**

Compressione max nel cls.	$\sigma_c$	<b>2.1</b>	N/mm <sup>2</sup>	< $\sigma_{camm}$
Trazione nell'acciaio (1° strato)	$\sigma_s$	<b>69.2</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>31.4</b>	cm	
Area ideale (sez. int. reagente)	$A_{id}$	11963	cm <sup>2</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. int. reag.)	$J_{id}$	13210804.95	cm <sup>4</sup>	
Mom. di inerzia ideale (sez. parz. N=0)	$J_{id}^*$	4902526.745	cm <sup>4</sup>	

**Verifica a fessurazione**

Momento di fessurazione ( $f_{ctk}$ )	$M_{fess}^*$	582	kN m	La sezione non è fessurata
---------------------------------------	--------------	-----	------	----------------------------

## 11. INCIDENZA MURO U

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

Piedritti	<b>90 kg/mc</b>
Soletta inferiore	<b>80 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  $\varnothing 20/20$  ed un incremento del 15% per tener conto della presenza di legature e spille.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA</b> <b>TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA</b>					
<b>SL09 - Nuovo Sottovia Ramo bidirezionale svincolo autostradale km 84+827.76</b> <b>Relazione di calcolo imbocchi</b>	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO SL0900002	REV. A	FOGLIO 44 di 45

## 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.