

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO

COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE – PRG E ACC DEL P.M.  
CARNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI

SL03 Nuovo sottopasso al km 10+311

Relazione di calcolo sottovia e ponte canale

SCALA:

-

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

I Z 0 9    0 0    D    2 6    C L    S L 0 3 0 0    0 0 1    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione definitiva	F. Serrau <i>F. Serrau</i>	Sett. 2019	C. Laporta <i>C. Laporta</i>	Sett. 2019	S. Lo Presti <i>S. Lo Presti</i>	Sett. 2019	F. Sacchi Sett. 2019

ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD  
Det. Ing. Francesco Sacchi  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
n. 231/22 S.p.A.

File: IZ0900D26CLSL0300001A

n. Elab.:

## *INDICE*

1.	INTRODUZIONE .....	5
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
3.	PARAMETRI GEOTECNICI .....	7
3.1.	Stratigrafia di progetto .....	7
4.	MATERIALI .....	8
4.1.	Calcestruzzo .....	8
4.2.	Acciaio da armatura ordinaria .....	9
5.	CODICE DI CALCOLO .....	10
6.	MODELLO DI CALCOLO .....	11
6.1.	Geometria .....	11
6.2.	Modellazione dell'interazione suolo-struttura .....	16
7.	ANALISI DEI CARICHI .....	17
7.1.	Peso proprio della struttura (PP) .....	17
7.2.	Carichi permanenti portati (PERM) .....	17
7.3.	Ballast e Spinte Ballast sui piedritti (BALLAST & SPBSX & SPBDX) .....	18
7.4.	Spinta sulle pareti dovuta al terreno (SPTSX e SPTDX) .....	20
7.5.	Carichi ferroviari soprastanti (ACC1/ACC2) .....	21
7.6.	Carichi stradali interni (ACC1-VH e ACC2-VH) .....	24
7.7.	Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico <i>LM71</i> (SASX e SADX / SASXLM71) .....	26
7.8.	Azione di frenatura e avviamento (AVV) .....	27
7.9.	Azioni indotte dalle variazioni termiche (TERM) .....	28
7.10.	Ritiro (RITIRO) .....	28

7.11.	Azioni sismiche.....	29
7.11.1.	Sovraspinta sismica del terreno (SISX).....	30
7.11.2.	Forze inerziali (INERZIEH e SISVER) .....	31
8.	COMBINAZIONE DEI CARICHI e sollecitazioni .....	34
9.	Verifiche 45	
9.1.	Verifiche a flessione.....	45
9.1.1.	Sezione 1 - soletta superiore appoggio destro .....	45
9.1.2.	Sezione 2 - soletta superiore mezzeria .....	50
9.1.3.	Sezione 3 - piedritto destro testa.....	54
9.1.4.	Sezione 4 - piedritto sinistro piede .....	59
9.1.5.	Sezione 5 - piedritto sinistro mezzeria .....	65
9.1.6.	Sezione 6 - soletta inferiore appoggio sinistro .....	69
9.1.7.	Sezione 7- soletta inferiore mezzeria.....	74
9.2.	Verifica a deformazione soletta superiore.....	78
10.	Riepilogo armature – scatolare .....	80
11.	platea di varo e muro reggispinta.....	81
11.1.	Descrizione dell’opera .....	81
11.2.	MATERIALI.....	83
11.3.	Azioni e sollecitazioni.....	85
11.4.	Platea di varo.....	88
11.4.1.	Riepilogo armature .....	95
11.5.	Muro reggispinta.....	96
11.5.1.	Riepilogo armature .....	114

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	4 di 123

12.	PONTE CANALE .....	115
12.1.	ANALISI DEI CARICHI.....	115
12.1.1.	Peso proprio.....	115
12.1.2.	Sovraccarico .....	116
12.2.	Sollecitazioni di progetto .....	116
12.3.	Verifiche .....	117

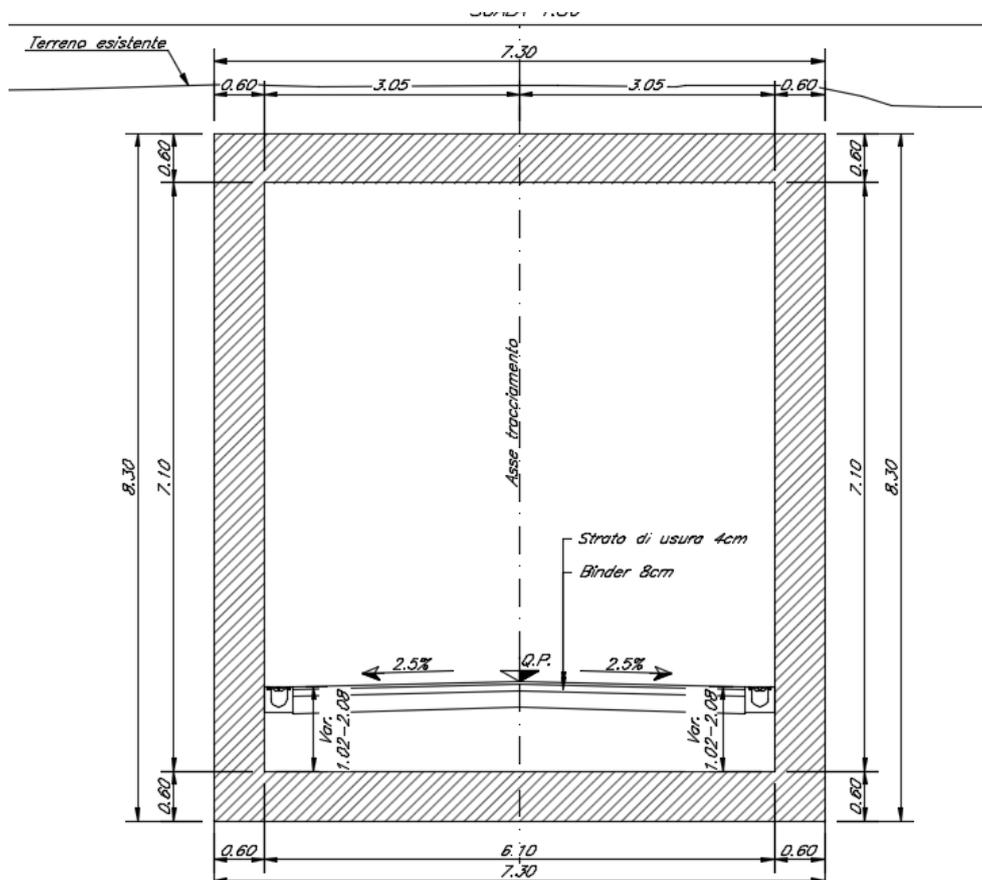
## 1. INTRODUZIONE

Nell'ambito del progetto definitivo per il raddoppio in affiancamento della tratta a singolo binario Strassoldo – Bivio Carnacco (UD) è prevista l'eliminazione di tre passaggi a livello da sostituirsi con altrettanti sottopassi ferroviari. Nel presente elaborato sono riportati i criteri progettuali e le verifiche strutturali seguiti per il dimensionamento e le verifiche di resistenza dello scatolare SL03.

Lo scatolare ha uno sviluppo longitudinale complessivo pari a circa 21.95m e verrà realizzato fuori sede e successivamente sarà spinto sotto binari.

Le dimensioni interne B x H = 6.10 x 7.10m. La soletta superiore ha uno spessore di 0.60 m, i piedritti e la piastra di fondazione uguale hanno uno spessore costante di 0.60 m.

Il ricoprimento dello scatolare è pari a circa 1.17 m.



**Figura 1: Sezione trasversale**

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Legge 5 novembre 1971 n. 1086: *Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica.*
- D.M. del 17.01.2018 “*Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni*” (NTC 2018)
- Circolare del 21.01.2019 contenente le istruzioni per le l’applicazione delle “*Nuove norme tecniche per le costruzioni*” di cui al D.M. del 17.01.2018
  - *Manuale di progettazione RFI DTC SI PS MA IFS 001 C PARTE II – SEZIONE 2;*
  - *Manuale di progettazione RFI DTC SI CS MA IFS 001 C PARTE II – SEZIONE 3;*
- EN 1991-2 “*Eurocodice 1 - Azioni sulle strutture - Parte 2: carichi da traffico sui ponti*”.
- EN 1992-1 “*Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 1-1: Regole generali e regole per edifici*”.
- EN 1992-1 “*Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture in calcestruzzo - Parte 2: ponti di calcestruzzo - Progettazione e dettagli costruttivi*”.
- EN 1997-1 “*Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica- Parte 1: Regole generali*”.
- Regolamento (UE) n.1299/2014 del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “*infrastruttura*” del sistema ferroviario dell’Unione Europea.

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	7 di 123

### 3. PARAMETRI GEOTECNICI

#### 3.1. Stratigrafia di progetto

##### Terreno di fondazione

ID	Descrizione	z iniz (m da p.c.)	z fin (m da p.c.)	Spessore (m)	z media (m da p.c.)	Densità relativa Dr (%)	Peso dell'unità di volume $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Angolo di resistenza al taglio $\phi'$	Coesione efficace $c'$ (MPa)	Modulo elastico di Young $E_{op}$ (MPa)
1	Sabbia con argilla limosa ghiaiosa	0	1,8	1,8	0,9	80	18	30	0	45
2	Ghiaia sabbiosa con ciottoli	1,8	30	28,2	14,1	75	20	34	0	70
NOTE										

La presenza della falda non viene considerata poiché, trovandosi a quota +24.50 m s.l.m. non interferisce col regime di sforzi indotto dall'opera in progetto.

Per la spinta sui piedritti si è fatto riferimento al materiale proveniente dagli scavi associandogli queste caratteristiche:

Angolo di attrito  $\phi' = 35^\circ$

Coesione  $c' = 0$

peso unità di volume  $\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$

## 4. MATERIALI

### 4.1. Calcestruzzo

- SOLETTA SUPERIORE

Classe C32/40

Resistenza a compressione di progetto  $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 18.13 \text{ MPa}$

Modulo elastico  $E_{cm} = 33 \text{ GPa}$

Classe di esposizione = : XC4-XF3

Calcestruzzo tipo C1

Copriferro minimo = 50mm

- PIEDRITTI

Classe C32/40

Resistenza a compressione di progetto  $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 18.13 \text{ MPa}$

Modulo elastico  $E_{cm} = 33 \text{ GPa}$

Classe di esposizione = : XC4-XF2-XD1

Calcestruzzo tipo C2

Copriferro minimo = 50mm

- FONDAZIONE

Classe C25/30

Resistenza a compressione di progetto  $f_{cd} = 0.85 f_{ck} / 1.5 = 14.17 \text{ MPa}$

Modulo elastico  $E_{cm} = 31 \text{ GPa}$

Classe di esposizione = XC2

Calcestruzzo tipo G2

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	9 di 123

Copriferro minimo = 50 mm

- **MAGRONE:**

Classe C12/15

Classe di esposizione = X0

#### **4.2. Acciaio da armatura ordinaria**

Acciaio tipo B450 C

Resistenza di calcolo  $f_{yd} = f_{yk}/1.15 = 391$  MPa

Modulo elastico  $E_s = 200$  GPa

## 5. CODICE DI CALCOLO

Per le analisi delle strutture è stato utilizzato il software Sap 2000 prodotto, distribuito ed assistito da Computers and Structures, Inc. 1995 University Ave. Berkeley.

SAP2000 è un programma di calcolo agli elementi finiti pensato fondamentalmente per l'ingegneria civile. Ha caratteristiche molto versatili, tanto da rientrare nella categoria dei programmi cosiddetti "generalisti", capaci cioè di analizzare strutture con caratteristiche molto diverse tra loro.

Le unità di misura adottate sono le seguenti:

- lunghezze: m
- forze: kN
- masse: kN massa
- temperature: gradi centigradi °
- angoli: gradi sessadecimali.

## 6. MODELLO DI CALCOLO

### 6.1. Geometria

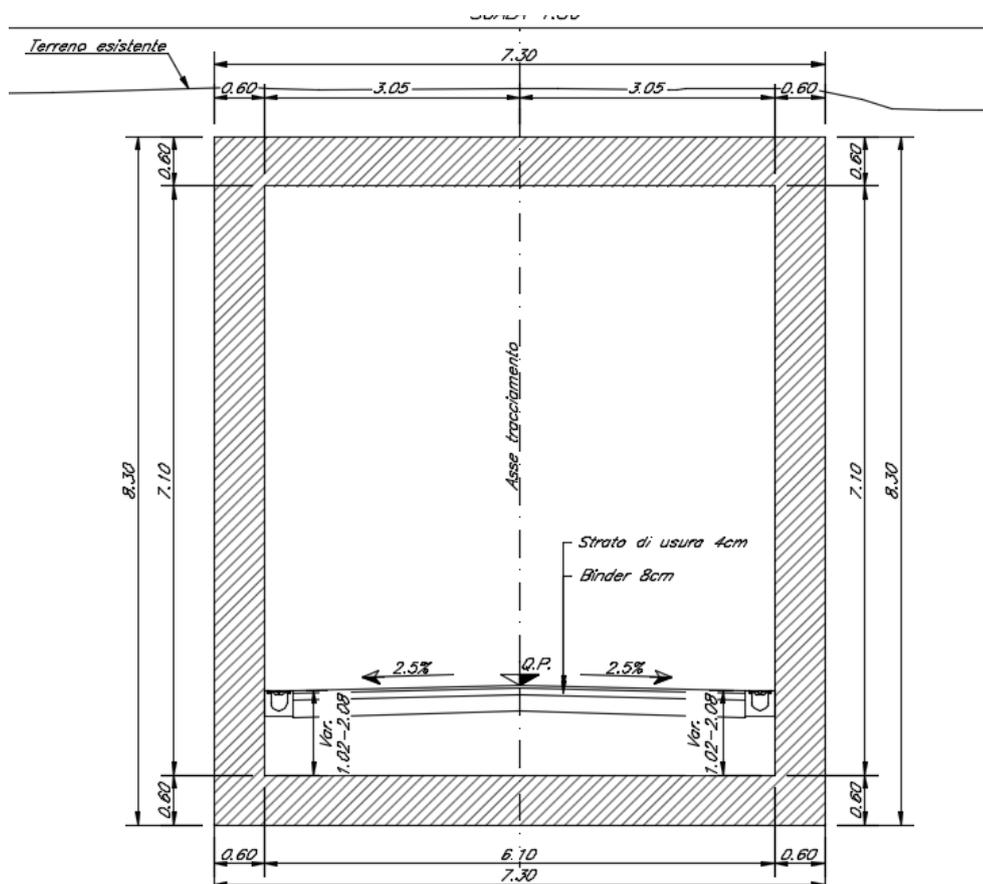


Figura 2: Geometria dell'opera

DATI GEOMETRICI			
Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
Larghezza totale	L <sub>tot</sub>	7.60	m
Larghezza utile	L <sub>int</sub>	6.10	m
Larghezza interasse	L <sub>a</sub>	6.70	m
Spessore soletta superiore	S <sub>s</sub>	0.6	m
Spessore piedritti	S <sub>p</sub>	0.6	m
Spessore fondazione	S <sub>f</sub>	0.6	m
Altezza totale	H <sub>tot</sub>	8.30	m
Altezza libera	H <sub>int</sub>	7.10	m

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	12 di 123

Spessore pavimentazione stradale superiore	H <sub>p</sub>	0.00	m
Spessore medio del ballast (armamento ferroviario)	H <sub>b</sub>	0.80	m
Spessore rinterro superiore	H <sub>r</sub>	0.29	m

Le analisi per il calcolo delle sollecitazioni agenti sono state condotte su una “fetta” di struttura di 1.00 m.

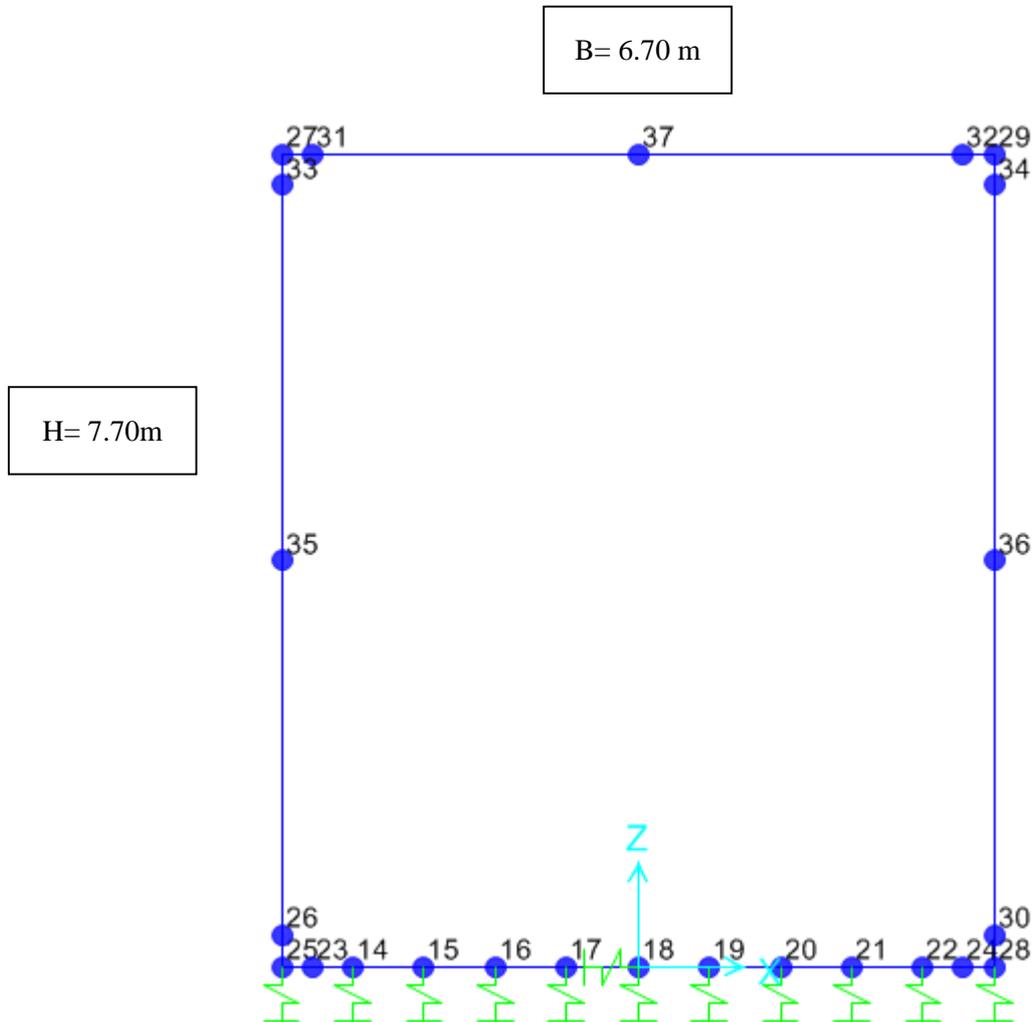
Il modello di calcolo attraverso il quale è schematizzata la struttura è quello di telaio piano chiuso che poggia su un letto di molle alla Winkler.

Nella modellazione vengono impiegati elementi finiti di tipo trave a 6 GL, che ovviamente nell’analisi 2D condotta (telaio piano) si riducono a 3. Ai suddetti elementi sono assegnate le caratteristiche inerziali della struttura reale derivanti dalle proprietà dei materiali e dalla geometria della sezione.

La geometria del modello ricalca la linea baricentrica degli elementi costituenti l’opera (modello in asse), pertanto alle intersezioni delle aste viene applicato un offset rigido che tiene conto delle dimensioni effettive delle sezioni degli elementi, in modo da tener conto delle effettive luci della struttura.

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

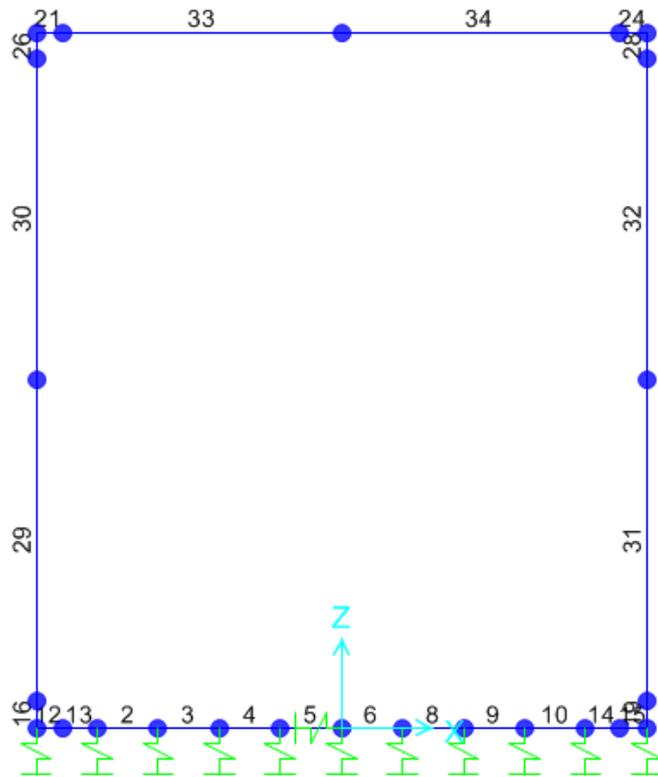
COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	13 di 123



**Figura 3: Numerazione dei nodi nel modello strutturale**

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

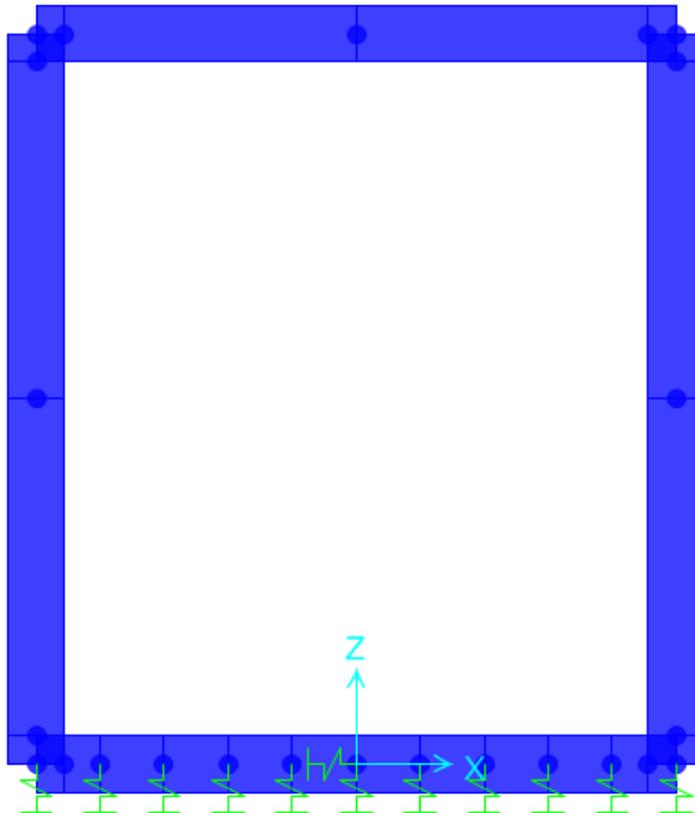
COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	14 di 123



**Figura 4: Numerazione dei frame nel modello strutturale**

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	15 di 123



**Figura 5: Vista estrusa del modello strutturale**

## 6.2. Modellazione dell'interazione suolo-struttura

Si assume un valore del modulo di reazione verticale del terreno  $K_s = 15966 \text{ kN/m}^3$ , in base al quale ricavano i valori delle singole molle.

### Terreno di fondazione

Modulo di Young	E	70000,00	$\text{kN/m}^2$	
numero di molle	n	11,00	per unità di lunghezza	
costante molla	kv	24740	$\text{kN/m}^3$	(Vogt)
distanza intradosso fondazione da p.c.		9,47	m	

Secondo le indicazioni contenute nel manuale di progettazione RFI, la soletta inferiore viene suddivisa in 10 elementi di pari lunghezza, ossia 11 nodi ai quali sono assegnate le seguenti molle verticali. Considerata la profondità unitaria del modello  $B=1,0\text{m}$ ), si ha:

Molle centrali

$$K_{\text{centrale}} = K_s * (L_p/2 + L_{\text{int}} + L_p/2) / 10 = 16576 \text{ kN/m}$$

I valori delle molle di spigolo si ottengono con la seguente formulazione:

$$K_1 = K_3 = 2 * K_s * [(L_p/2 + L_{\text{int}} + L_p/2) / 10/2 + (L_p/2)] = 31420 \text{ kN/m}$$

ed infine in valori delle molle nei nodi 5,6,12 e 13 come da letteratura si assumono:

$$K_5 = K_6 = K_{12} = K_{13} = 1.5 * K_{\text{centrale}} = 24863 \text{ kN/m}$$

## 7. ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito i carichi utilizzati per il calcolo delle sollecitazioni e le verifiche delle sezioni della struttura in esame.

### 7.1. Peso proprio della struttura (PP)

Il peso proprio delle solette e dei piedritti viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il c.a.  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$ . Il peso proprio viene automaticamente calcolato dal programma in base alle dimensioni delle sezioni degli elementi.

### 7.2. Carichi permanenti portati (PERM)

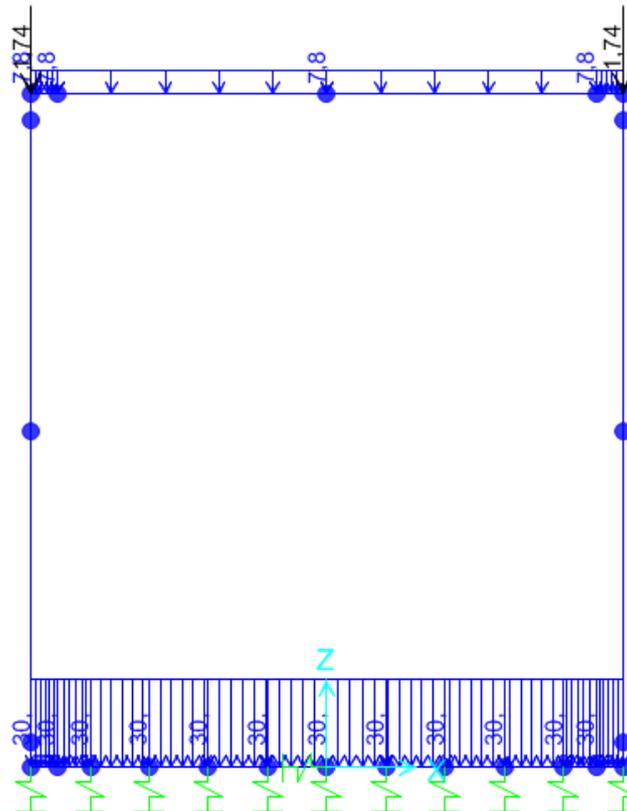
Sul solettone superiore si considera uno spessore di ricoprimento (escluso il ballast) di 0.29m con  $\gamma_{ric} = 20,00\text{kN/m}^3$  ed uno spessore del massetto delle pendenze  $s_b = 0,08 \text{ m}$  con peso per unità di volume  $\gamma_b = 25,00\text{kN/m}^3$ .

Oltre ai carichi suddetti viene aggiunta, come carico concentrato nei nodi 27 e 29 la parte di carico permanente esercitata su 1/2 spessore dei piedritti.

Spinta semi spessore piedritti.

$$F_{b_{27,29}} = 1.74 \text{ kN}$$

Sul solettone inferiore si considera un carico permanente pari a 30 kN/m (spessore medio 1.35 m e  $\gamma_{med} = 22,00\text{kN/m}^3$ ) dovuto alla presenza del pavimentazione stradale, riempimento, pista ciclabile, canaletta idraulica ecc.



**Figura 6: Carico permanente**

### 7.3. Ballast e Spinte Ballast sui piedritti (BALLAST & SPBSX & SPBDX)

Sul solettone superiore si considera uno spessore di ballast compresa la traversina pari a  $s_{ball} = 0.80$  con peso di unità di volume  $\gamma_{bal} = 18.00 \text{ kN/m}^3$ .

Ai lati dello scatolare si ha un carico orizzontale uniformemente distribuito sui piedritti dovuto alla spinta del ballast di intensità  $p_b = k_0 q_{ballast} = 6.14 \text{ kN/m}$ .

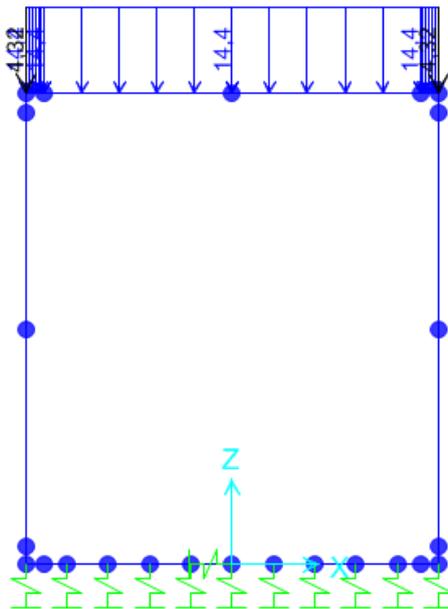
Oltre ai carichi suddetti viene aggiunta, come carico concentrato nei nodi 25,27 e 28,29 la parte di spinta del ballast esercitata su  $1/2$  spessore della soletta sup. e su  $1/2$  spessore della soletta inferiore.

Spinta semi spessore sol. sup.

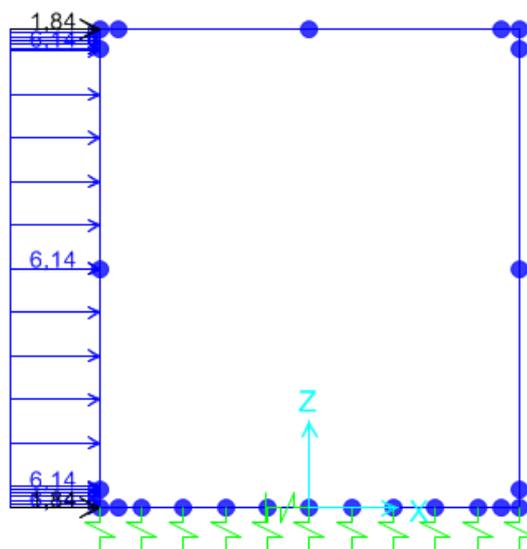
$$F_{b27,29} = 1.84 \text{ kN}$$

Spinta semi spessore sol. inf.

$$F_{b_{25,28}} = 1.84 \text{ kN}$$



**Figura 7: Carico verticale ballast**

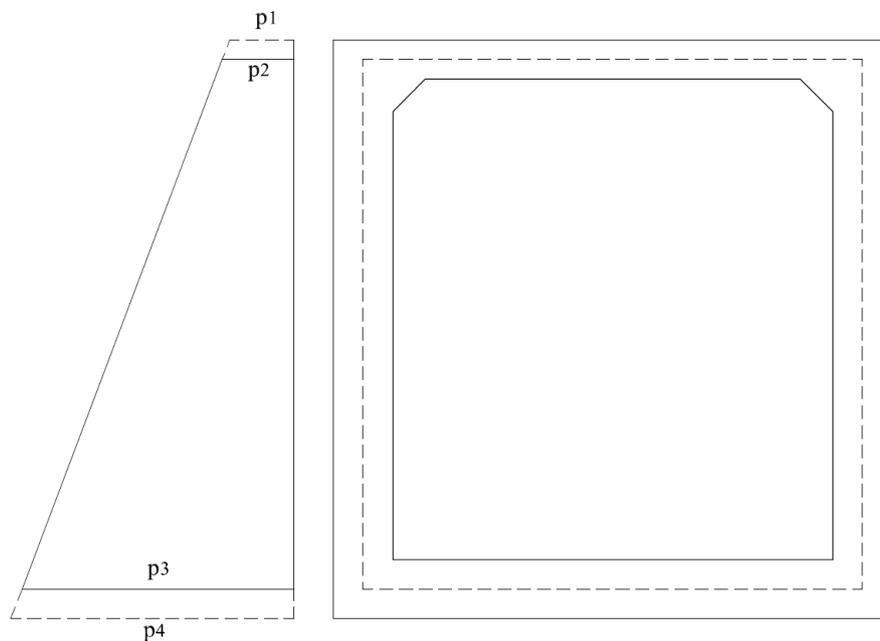


**Figura 8: Spinte ballast sul piedritto sinistro (stesso per piedritto destro)**

#### 7.4. Spinta sulle pareti dovuta al terreno (SPTSX e SPTDX)

Per il rinterro si prevede un terreno avente angolo di attrito  $\varphi = 35^\circ$  ed un peso di volume  $\gamma_r = 19.5 \text{ kN/m}^3$ , il coefficiente di spinta viene calcolato, considerando l'elevata rigidezza dello scatolare, utilizzando la formula:

$$K_0 = 1 - \sin\varphi' = 0.426$$

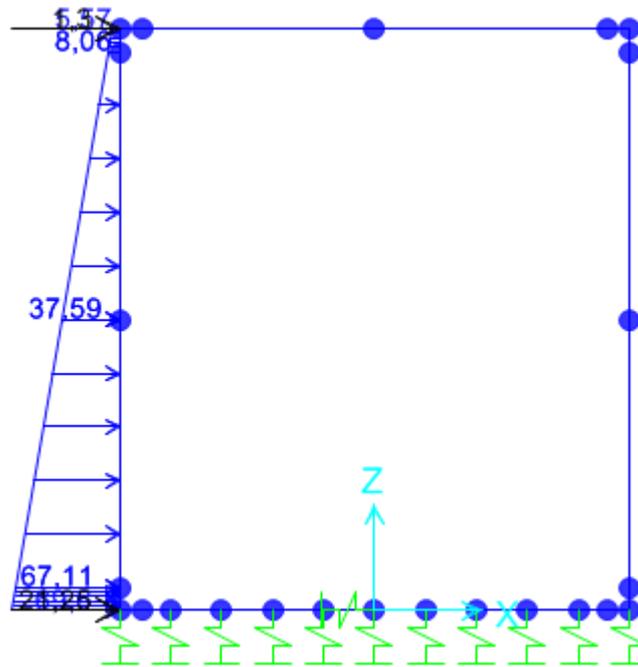


**Figura 9: Spinte del terreno**

Cond. STR			
p <sub>1</sub> =	3.08	kN/m	Pressione estradosso soletta superiore
p <sub>2</sub> =	5.57	kN/m	Pressione in asse soletta superiore
p <sub>3</sub> =	69.60	kN/m	Pressione in asse soletta inferiore
p <sub>4</sub> =	72.09	kN/m	Pressione intradosso soletta inferiore

In più, viene aggiunto, come carico concentrato nei di estremità del piedritto la parte di spinta del terreno esercitata su metà spessore della soletta superiore e quello agente su metà spessore della soletta inferiore.

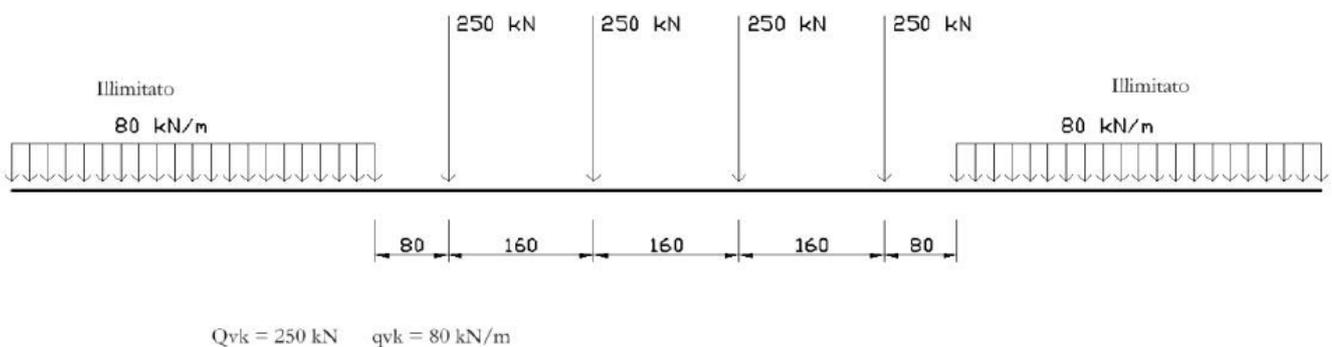
Carico concentrato sui nodi 25,27,28 e 29				
Nodi sup.	$1/2 * (p_1 + p_2) * S_s/2$	1.30	kN	Spinta semispessore soletta superiore
Nodi inf.	$1/2 * (p_3 + p_4) * S_f/2$	21.25	kN	Spinta semispessore soletta inferiore



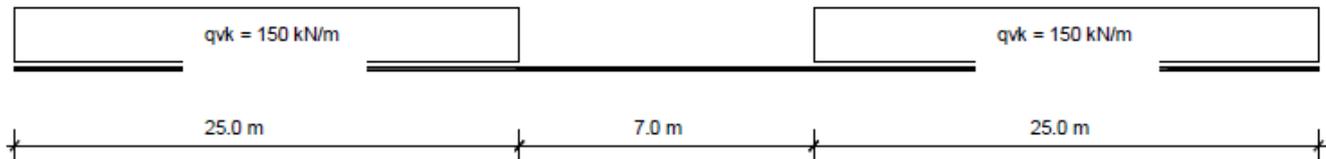
**Figura 10: Spinte terre sul piedritto sinistro (stesso per piedritto destro)**

### 7.5. Carichi ferroviari soprastanti (ACC1/ACC2)

I carichi da treno presi in considerazione nei calcoli sono il modello LM71 e SW/2.



**Figura 11: Treno di carico LM71**



**Figura 12: Treno di carico SW/2**

In funzione delle caratteristiche geometriche dell'opera risulta più sfavorevole il carico dovuto al treno LM71 rispetto al carico dovuto al treno SW/2.

I valori dei suddetti carichi devono essere amplificati mediante un coefficiente di adattamento “ $\alpha$ ”, variabile in funzione della tipologia di infrastruttura, e un coefficiente dinamico “ $\Phi$ ”, che tiene conto della natura dinamica del transito dei convogli.

Per il calcolo del coefficiente dinamico  $\Phi$  si fa riferimento al paragrafo 5.2.2.3.3 “Effetti dinamici” del DM08.

Per linea con ridotto standard manutentivo, si assume il coefficiente  $\Phi_3$ , ridotto del 10%:

$$1.00 \leq \Phi_3 = 0.9 * \left[ \frac{2.16}{\sqrt{L_\Phi} - 0.20} + 0.73 \right] \leq 2.00$$

$\Phi_3 =$	1.329	
$L_\Phi$	9.58	m

Il coefficiente di adattamento, invece, viene assunto pari a 1.10, in accordo alla tabella 2.5.1.4.1-1 del succitato Manuale di progettazione delle opere civili.

Si considera che i sovraccarichi ferroviari si distribuiscano attraverso il ricoprimento con una pendenza 1 a 4 all'interno del ballast, con un angolo di diffusione pari all'angolo di attrito interno del terreno nel sub-ballast, super compattato, rinterro e con la pendenza a 45° all'interno del CLS.

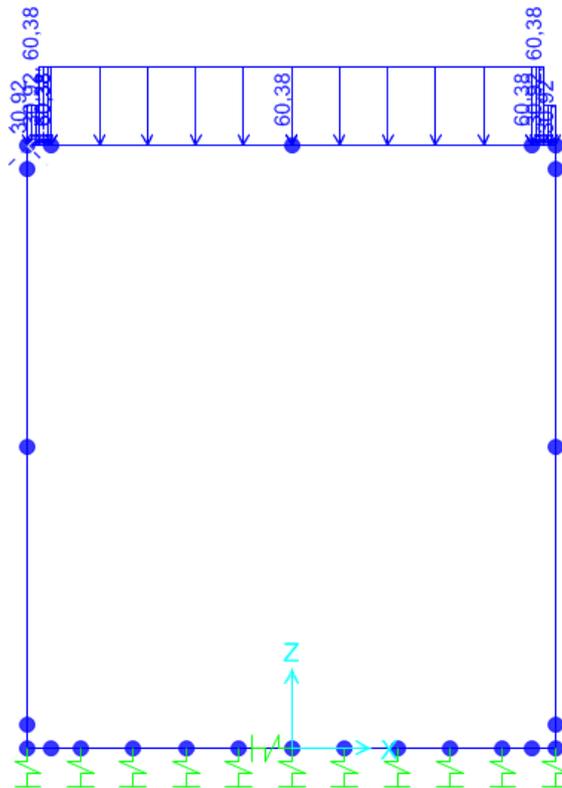
Nel caso in esame la diffusione trasversale del carico ferroviario interessa una larghezza pari a:

Diffusione del carico in senso trasversale		
$L_d = L_t + [(H_b - H_{tb})/4 + H_r * 2/3 + S_s/2] * 2$	3.78	m

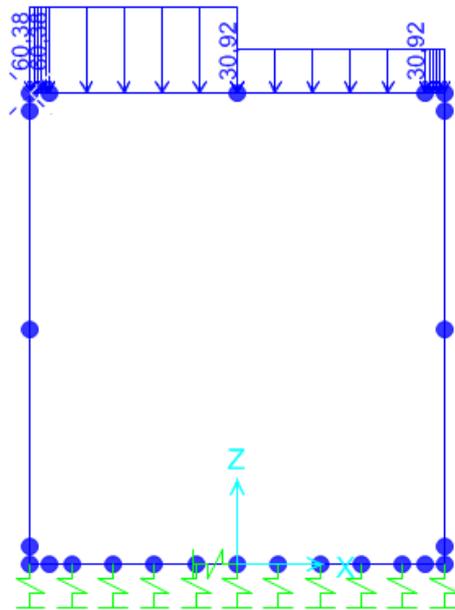
dove  $L_t$  indica la lunghezza della traversa pari a 2,40 m.

Pertanto il carico ripartito, dovuto al treno LM71 (considerando il coefficiente di adattamento  $\alpha=1.10$ , il coefficiente dinamico  $\Phi_3=1.329$ ), risulta:

Carico ripartito prodotto dalle forze concentrate		
$Q_{vk} = (4 \cdot 250 / 6.40) \cdot \alpha \cdot \Phi_3 / L_d$	60.38	kN/m <sup>2</sup>
Carico ripartito prodotto dal carico distribuito		
$q_{vk} = (80 \cdot \alpha \cdot \Phi_3) / L_d$	30.92	kN/m <sup>2</sup>



**Figura 13: Carichi Treno LM71 condizione Momento massimo ACC1**

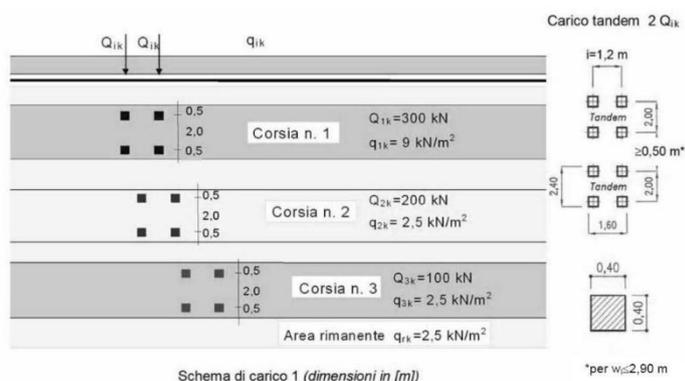


**Figura 14: Carichi Treno LM71 condizione Taglio massimo ACC2**

Il carico del treno è stato considerato longitudinale rispetto alla geometria della galleria, questa configurazione è ragionevolmente cautelativa rispetto alla effettiva disposizione dei carichi.

### **7.6. Carichi stradali interni (ACC1-VH e ACC2-VH)**

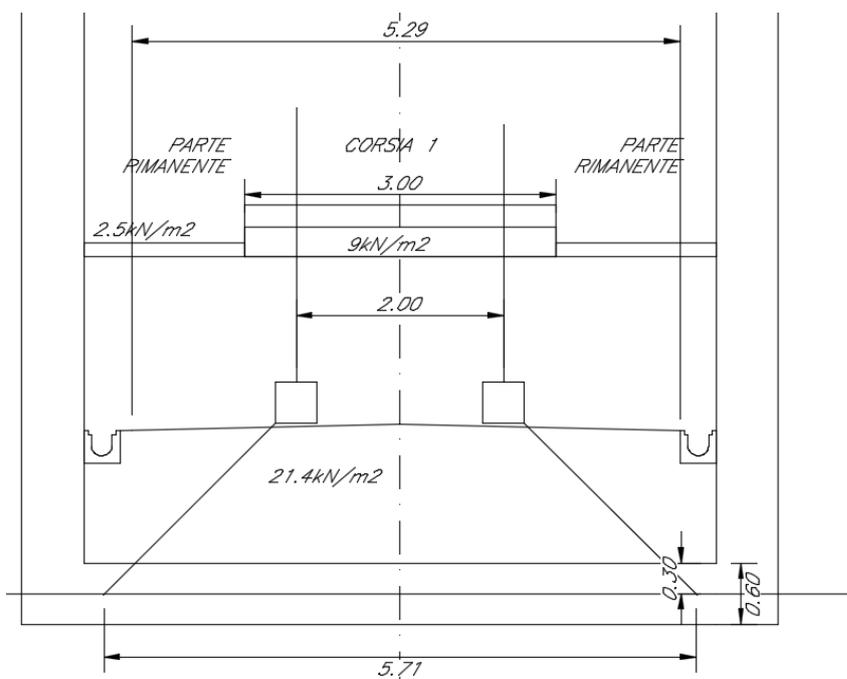
In conformità alla normativa di riferimento (N.T.C.2008 §5.1.3.3), si prendono in considerazione i carichi mobili per ponti di 1° categoria come nella figura seguente:



**Figura 15 – NTC08- schema di carico 1**

Sulla fondazione del muro si applica un carico uniformemente distribuito dovuto al traffico stradale. Nel nostro caso larghezza utile della strada è meno di 6m (è 5.29m) e possiamo considerare solo una corsia .

Il valore del carico viene definito dopo la distribuzione degli carichi tandem sul rilevato stradale presente tra i muri laterali, al quale li si aggiunge anche la parte del carico distribuito di 9 kN/m<sup>2</sup> per la corsia principale di 3m e per la parte rimanente si aggiunge il carico 2.50 kN/m<sup>2</sup>



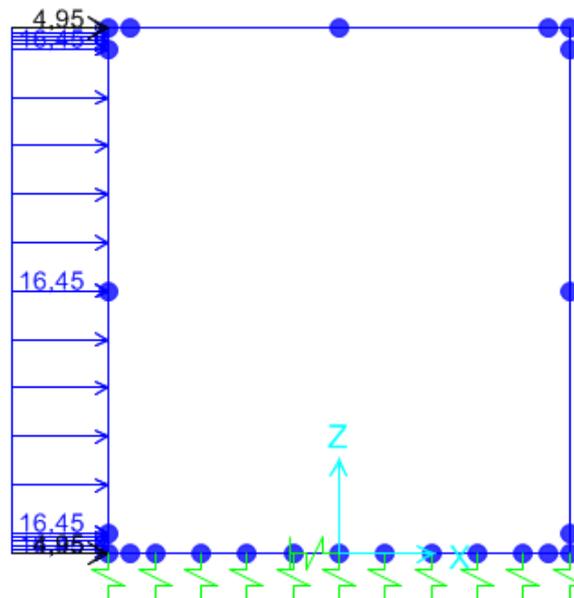
**Figura 16: Schema di distribuzione del carico mobile considerato ACC1**

**7.7. Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico LM71 (SASX e SADX / SASXLM71)**

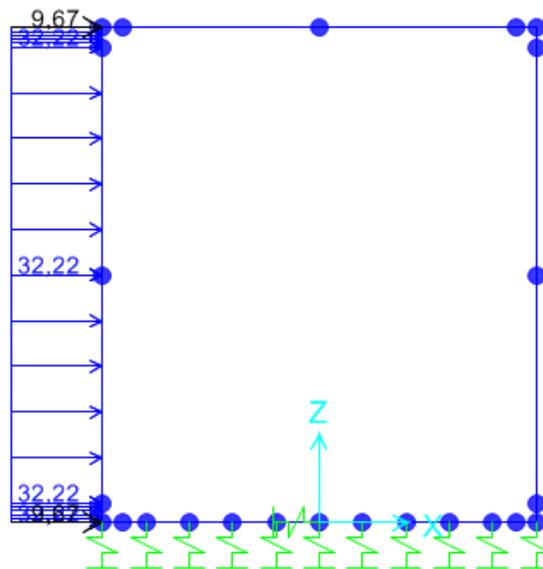
Carico distribuito (80 kN/m)-SASX , SADX		
$q_h = (80 * \alpha / L_d) * K_0$	16,45	kN/m
Carico puntuale ripartito (4*250/6.40 kN/m)-SASXLM71		
$Q_h = [4 * 250 * \alpha / (L_d * 6.40)] * K_0$	32.22	kN/m

Inoltre, vengono aggiunte, come carichi concentrati nei nodi 25,27,28 e 29 le seguenti forze, derivante dalla parte di spinta agente su metà spessore della soletta:

Nodi sup.&inf (SASX , SADX) sui nodi 25,27,28 e 29		
$Q_h * S_s / 2$	4,95	kN
Nodi sup.&inf (SASXLM71) sui nodi 25,27,28 e 29		
$Q_h * S_f / 2$	9.67	kN



**Figura 17: Spinta dal carico accidentale distribuito nel piedritto sinistra(stesso per piedritto destra)**



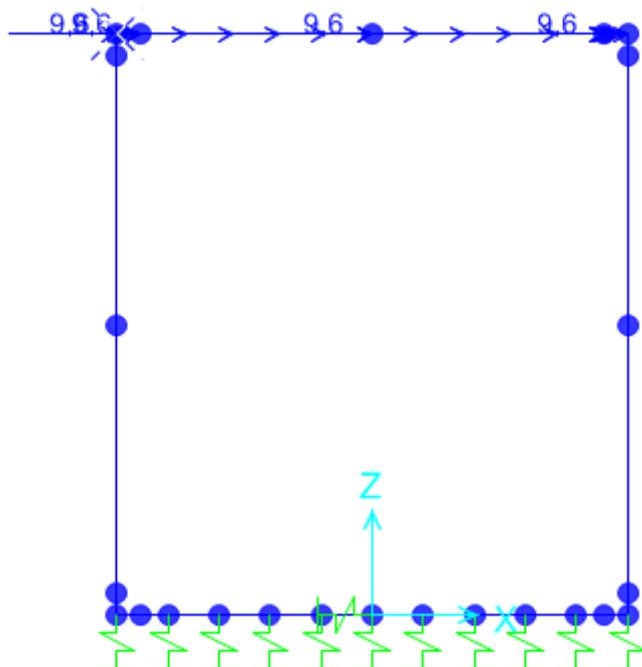
**Figura 18: Spinta dal carico accidentale puntuale nel piedritto sinistra(stesso per piedritto destra)**

### 7.8. Azione di frenatura e avviamento (AVV)

La forza di frenatura del modello SW/2 agente su tutta la larghezza dello scatolare è pari a 35 kN/m, mentre quella di avviamento del modello LM71 è di 33 kN/m. Visto che il treno sfavorevole è quello LM71, anche per il calcolo della frenatura si considera il carico LM71 in avviamento. Distribuendo tale forza sulla larghezza di diffusione del carico si avrà:

$A_{vv}$	33	kN/m
$Q_{Av}=A_v/L_d$	9.6	kN/m

Il valore viene considerato in asse alla soletta superiore.



**Figura 19: AVV**

### 7.9. Azioni indotte dalle variazioni termiche (TERM)

La variazione termica uniforme applicata alla soletta di copertura è pari a  $\Delta T = +15^\circ\text{C}$ .

La variazione termica a farfalla applicata alla soletta di copertura è pari a  $\Delta T = +5^\circ\text{C}$ .

L'azione è applicata alla soletta superiore dello scatolare.

### 7.10. Ritiro (RITIRO)

Gli effetti del ritiro vanno valutati a “lungo termine” attraverso il calcolo dei coefficienti di ritiro finale  $\epsilon_{cs}(t, t_0)$  e di viscosità  $\phi(t, t_0)$ , come definiti nell'EUROCODICE 2- UNI EN 1992-1-1 Novembre 2005 e D. M. 14-01-2008.

I fenomeni di ritiro vengono considerati agenti solo sulla soletta di copertura ed applicati nel modello come una variazione termica uniforme equivalente agli effetti del ritiro:

$$\Delta T_{\text{rit}} = -8.31 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

### 7.11. Azioni sismiche

L'azione sismica è stata individuata in accordo con le normative vigenti sulla base dei seguenti parametri:

- Vita nominale dell'opera  $V_N = 75$  anni
- Classe d'uso dell'opera III  $C_u = 1$
- Categoria di sottosuolo B
- Categoria topografica T1

Coordinate del sito di progetto (Lat. = 45.97134° e Long. = 13.26402°).

		$a_g$	$F_0$	$T^*_c$
$T_R$	45	0,059	2,474	0,259
$T_R$	75	0,076	2,452	0,280
$T_R$	712	0,198	2,503	0,344
$T_R$	1462	0,259	2,530	0,358

dove:

- $T_R \rightarrow$  tempo di ritorno;
- $a_g \rightarrow$  accelerazione orizzontale massima del terreno su suolo di categoria A, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;
- $F_0 \rightarrow$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T^*_c \rightarrow$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

Le accelerazioni massime per i vari stati limite di normativa nelle condizioni di sito reali sono:

		$a_{max}$
$T_R$	45	0,071
$T_R$	75	0,091
$T_R$	712	0,237
$T_R$	1462	0,295

Il calcolo viene eseguito con il metodo pseudostatico. In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico. I valori dei coefficienti sismici orizzontali  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \frac{a_{max}}{g} \quad k_v = \pm 0.50 \cdot k_h$$

dove :

- $a_{max} = S_s \cdot S_t \cdot a_g$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- $g$  = accelerazione di gravità;

Essendo lo scatolare una struttura che non ammette spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente  $\beta_m$  assume il valore unitario.

Pertanto, i due coefficienti sismici valgono:

		$K_h$	$k_v$
$T_R$	45	0,071	0,036
$T_R$	75	0,091	0,046
$T_R$	712	0,237	0,119
$T_R$	1462	0,295	0,147

### **7.11.1. Sovrappinta sismica del terreno (SISX)**

In base alla teoria di Wood la risultante dell'incremento di spinta sismico su una parete di altezza  $H$  viene determinato con la seguente espressione:

$$\Delta S_E = (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot H^2$$

La risultante viene applicata ad un'altezza pari ad  $H/2$  e considerata agente su uno solo dei piedritti dell'opera.

Pertanto allo SLV la sovrappinta sismica delle terre vale:

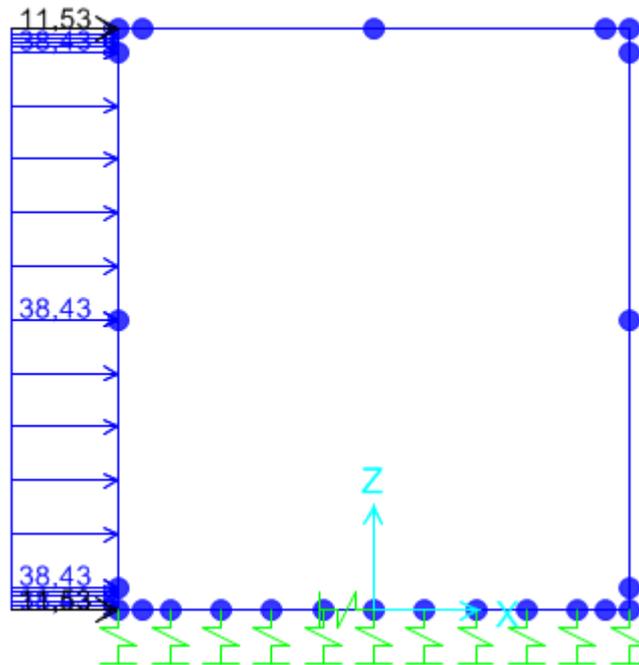
$$\Delta S_E = (a_{max}/g) \cdot \gamma \cdot H^2$$

con

$$a_{max} = 0.237g ; H = 8.3 \text{ m}; \gamma = 19.5 \text{ KN/m}^3 \Rightarrow \text{Applicato al modello di calcolo : } \Delta S_E = 38.43 \text{ KN/m}$$

Inoltre, vengono aggiunte, come carichi concentrati nei nodi 25,27,28 e 29 le seguenti forze, derivante dalla parte di spinta agente su metà spessore della soletta:

<b>Nodi sup.&amp;inf (SISX) sui nodi 25 e 27</b>		
$Q_h \cdot S_s / 2$	11.53	kN



**Figura 20: Sovrappinta sismica del terreno**

### 7.11.2. Forze inerziali (INERZIEH e SISVER)

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche verticali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti, di cui la componente verticale è considerata agente verso l'alto o verso il basso, in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli. Le masse sismiche sono valutate considerando le azioni dovute al carico ferroviario con coefficiente pari a 0.20 (cfr tab.5.2.V).

Forze d'inerzia orizzontali sullo scatolare e sul terreno di ricoprimento della soletta S

$F_{o,ballast+ricop+mass} =$	$\pm$	5,27	kN/m <sup>2</sup>	
$F_{o,soletta} =$	$\pm$	3,56	kN/m <sup>2</sup>	
$F_{o,montante} =$	$\pm$	3,56	kN/m <sup>2</sup>	
$F_{o,treno} =$	$\pm$	8,60	kN/m <sup>2</sup>	
$F_{o,sol,sup,tot} =$	$\pm$	10,55	kN/m <sup>2</sup>	

Dove :  $F_{o,solettasup,tot} = F_{o,ballast+ricop+mass} + F_{o,soletta} + 0.2 * F_{o,treno}$

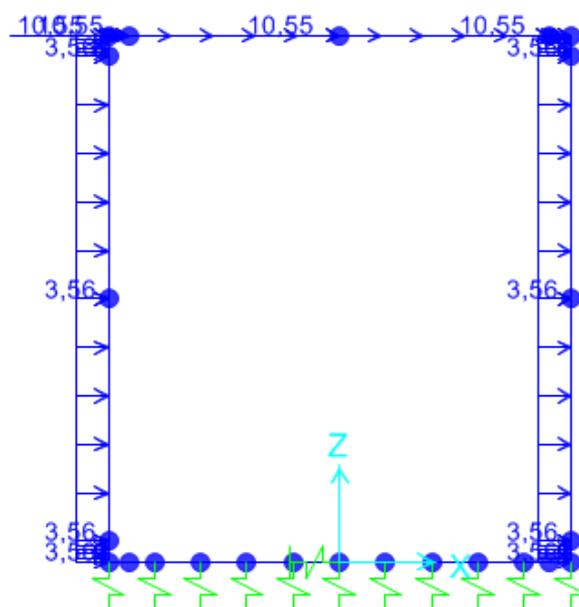
Forze d'inerzia verticali sullo scatolare e sul terreno di ricoprimento della soletta SLV

$F_{v,treno} =$	$\pm$	7,17	$\text{kN/m}^2$
$F_{v,ballast+ricop+mass} =$	$\pm$	2,64	$\text{kN/m}^2$
$F_{v,solettasup} =$	$\pm$	1,78	$\text{kN/m}^2$
$F_{v,pav.+ricop.di sol. inf.} =$	$\pm$	3,56	$\text{kN/m}^2$
$F_{v,solettainf} =$	$\pm$	1,78	$\text{kN/m}^2$
$F_{v,solettasup,tot} =$	$\pm$	5,85	$\text{kN/m}^2$
$F_{v,montante} =$	$\pm$	1,78	$\text{kN/m}^2$
$F_{v,solettainf,tot} =$	$\pm$	5,34	$\text{kN/m}^2$

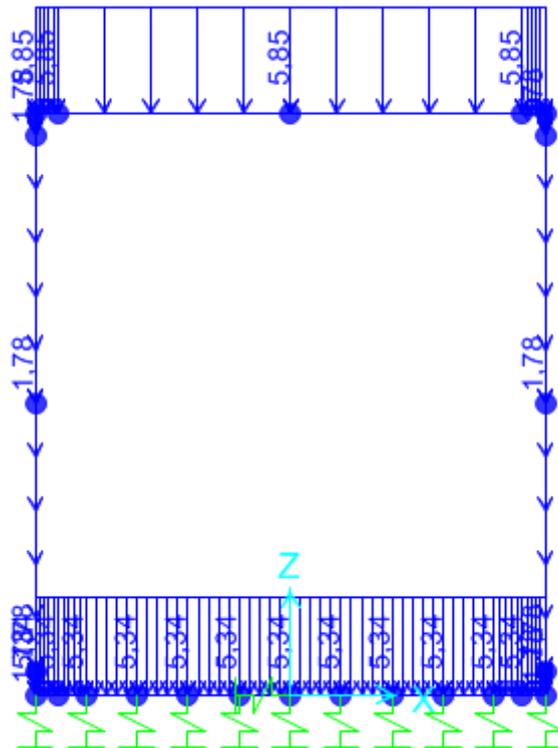
Dove :  $F_{v,solettasup,tot} = F_{v,ballast+ricop+mass} + F_{v,soletta} + 0.2 * F_{v,treno}$  ;

$F_{v,solettainf,tot} = F_{v,pav+ricop di sol.inf} + F_{v,soletta inf}$

- Per il peso del treno vedi il paragrafo 7.5.
- Le inezie orizzontali e verticale per il treno ( $F_{v,treno}$ ;  $F_{o,treno}$ ) vengono come prodotto dei coefficienti sismici (verticali ed orizzontali) nel paragrafo 7.11 e il peso del treno di 60.33kN/m.



**Figura 21: Forza inerziale orizzontale**



**Figura 22: Forza inerziale verticale**

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	34 di 123

## 8. COMBINAZIONE DEI CARICHI E SOLLECITAZIONI

Per i calcoli strutturali dell'opera sono state considerate le seguenti combinazioni di carico:

	SLU-1	SLU-2	SLU-3	SLU-4	SLU-5	SLU-6	SLU-7	SLU-8	SLU-9	SLU-10	SLU-11	SLU-12	SLU-13
PP	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
PERM	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
BALLAST	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
SPBSX	1	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1	1	1	1	1	1,5
SPBDX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
STSX	1	1	1,35	1,35	1,35	1,35	1	1	1	1	1	1	1,5
STDX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SASX	1	1	1,45	1,45	0	0	1	1	0	0	0	0	0
SADX	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
SASXLM71	0	0	0	0	1,45	1,45	0	0	0	0	0	0	1,16
AVV	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	1,45	0	0	0	0	1,16
ACC1	1,45	1,45	1,45	1,45	0	0	1,45	1,45	0	0	0	0	0
ACC2	0	0	0	0	1,45	1,45	0	0	0	0	0	0	1,16
ACC1-VH	0	0	0	0	0	0	1,45	1,45	0,35	1,35	0	0	0
ACC2-VH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,35	1,35	0
TF	0,9	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-0,9	1,2
TU	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-1,2
RITIRO	1,2	0	1,2	0	1,2	0	1,2	0	1,2	0	1,2	0	1,5

	RARA-1	RARA-2	RARA-3	RARA-4	RARA-5	RARA-6	RARA-7	RARA-8	RARA-9	RARA-10	RARA-11	RARA-12	RARA-13
PP	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PERM	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BALLAST	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SPBSX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SPBDX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
STSX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
STDX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
SASX	0,8	0,8	0,8	0,8	0	0	0,6	1	0	0	0	0	0
SADX	0,8	0,8	0,8	0,8	0	0	0,6	1	0	0	0	0	0
SASXLM71	0	0	0	0	0,8	0,8	0	0	0	0	0	0	0,6
AVV	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0	0	0	0	0	0	0,6
ACC1	0,8	0,8	0,8	0,8	0	0	0,8	0,8	0	0	0	0	0
ACC2	0	0	0	0	0,8	0,8	0	0	0	0	0	0	0,6
ACC1-VH	0	0	0	0	0	0	0,6	0,6	0,75	0,75	0	0	0
ACC2-VH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,75	0,75	0
TF	0,6	-0,6	0,6	-0,6	0,9	-0,6	0,9	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-0,9	1
TU	-0,6	0,6	-0,6	0,6	-0,9	0,6	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-0,9	0,9	-1
RITIRO	1	0	1	0	1,2	0	1,2	0	1,2	0	1,2	0	1

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

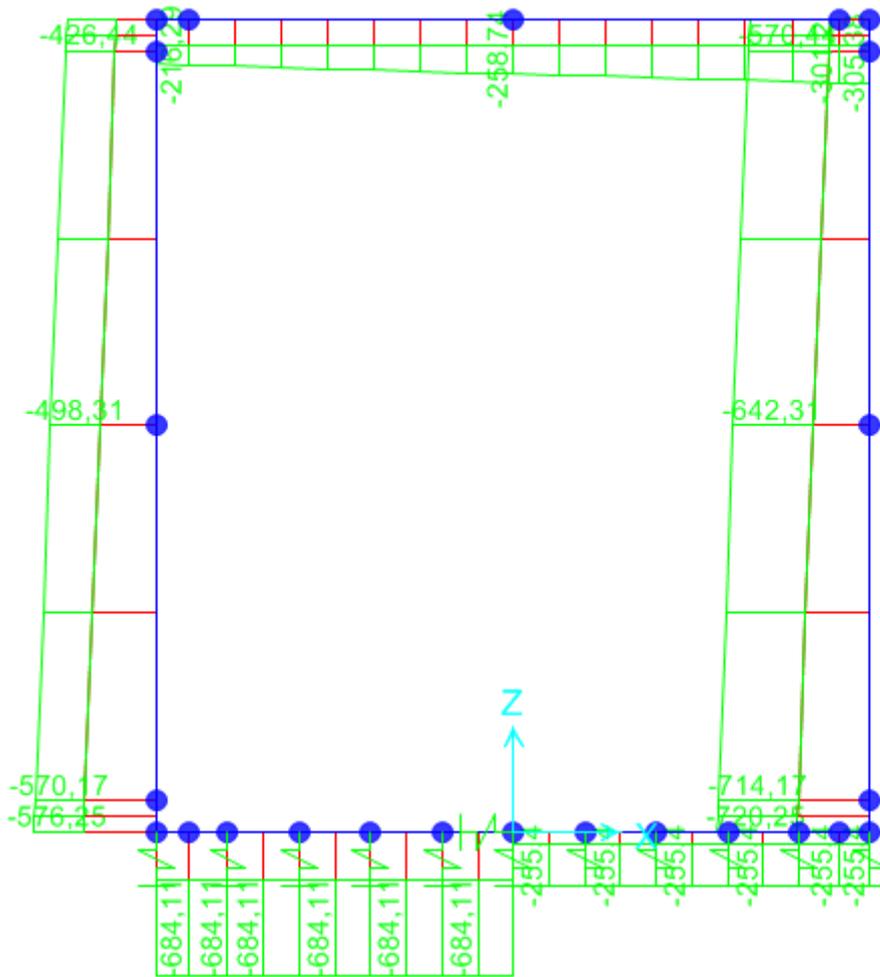
COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	35 di 123

	SLV-1	SLV-2	SLV-3	SLV-4
PP	1	1	1	1
PERM	1	1	1	1
BALLAST	1	1	1	1
SPBSX	1	1	1	1
SPBDX	1	1	1	1
STSX	1	1	1	1
STDX	1	1	1	1
SASX	0	0	0	0
SADX	0	0	0	0
SASXLM71	0,2	0	0,2	0
AVV	0,2	0,2	0,2	0
ACC1	0	0,2	0	0
ACC2	0,2	0	0,2	0
ACC1-VH	0	0	0	0
ACC2-VH	0	0	0	0
TF	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
TU	0,5	0,5	0,5	0,5
RITIRO	0	0	0	0
SISSX	1	0,3	1	0,3
INERZIEH	1	0,3	1	0,3
SISVER	0,3	1	-0,3	-1

Di seguito si riportano gli involuipi dei diagrammi delle sollecitazioni derivanti dalle combinazioni relative ai tre stati limite considerati.

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

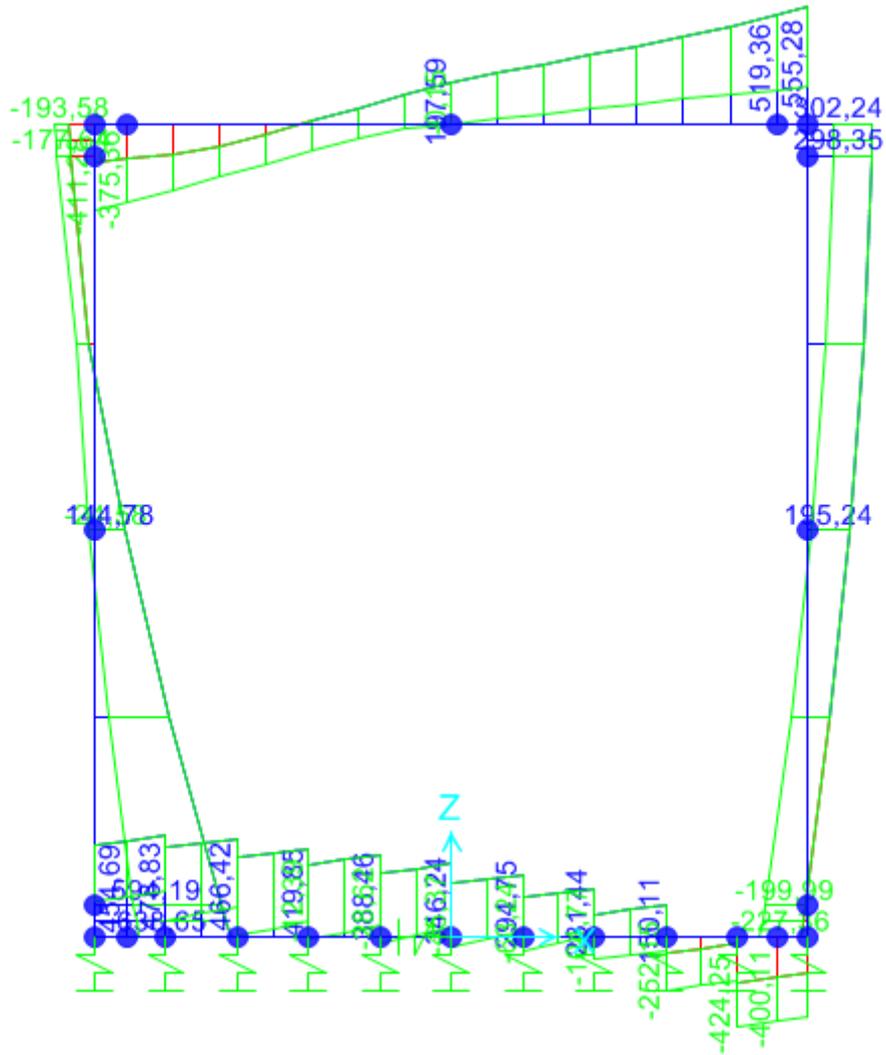
COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	36 di 123



**Figura 23: Involuppo N - SLU**

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

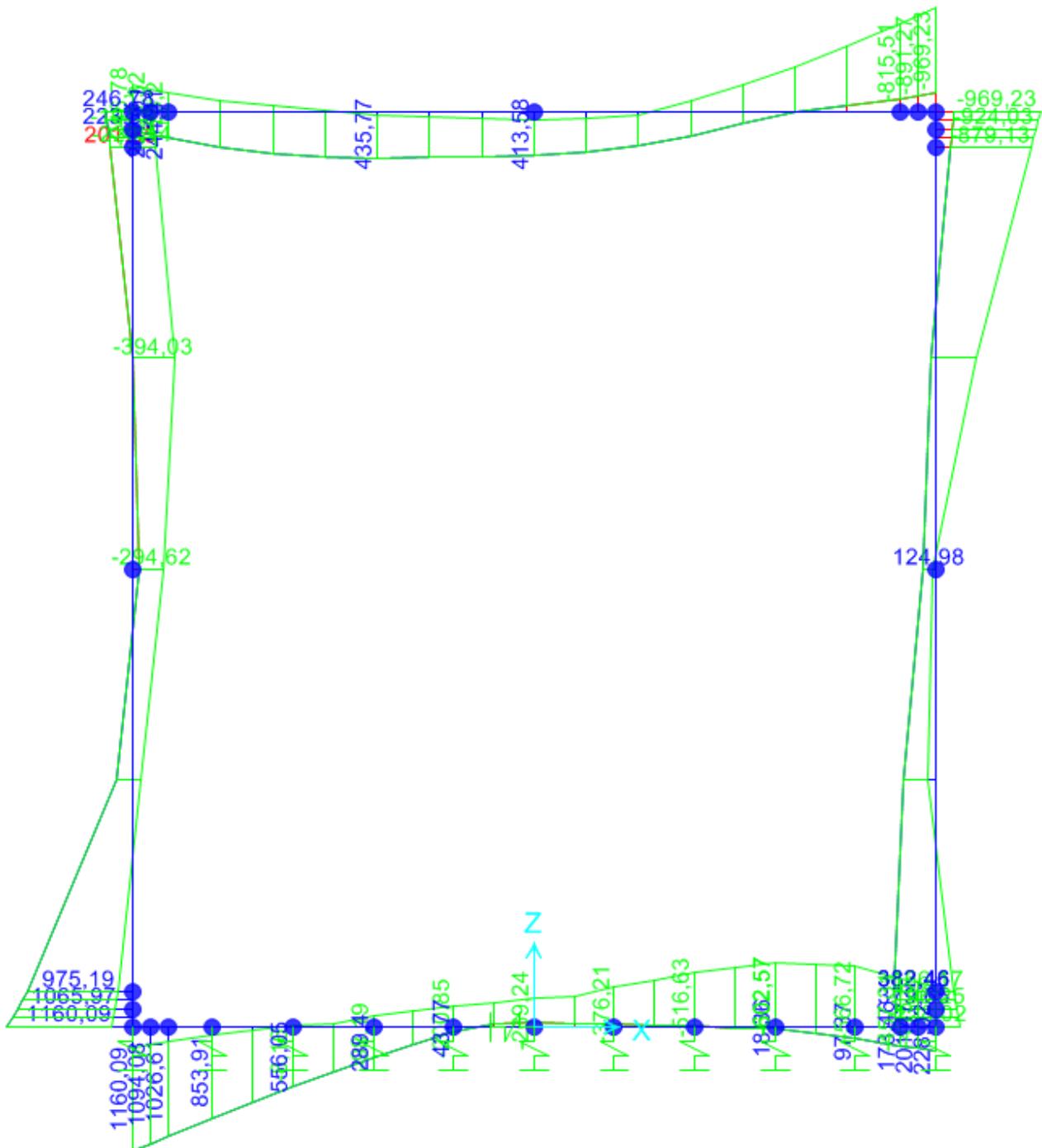
COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	37 di 123



**Figura 24: Involuppo T - SLU**

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

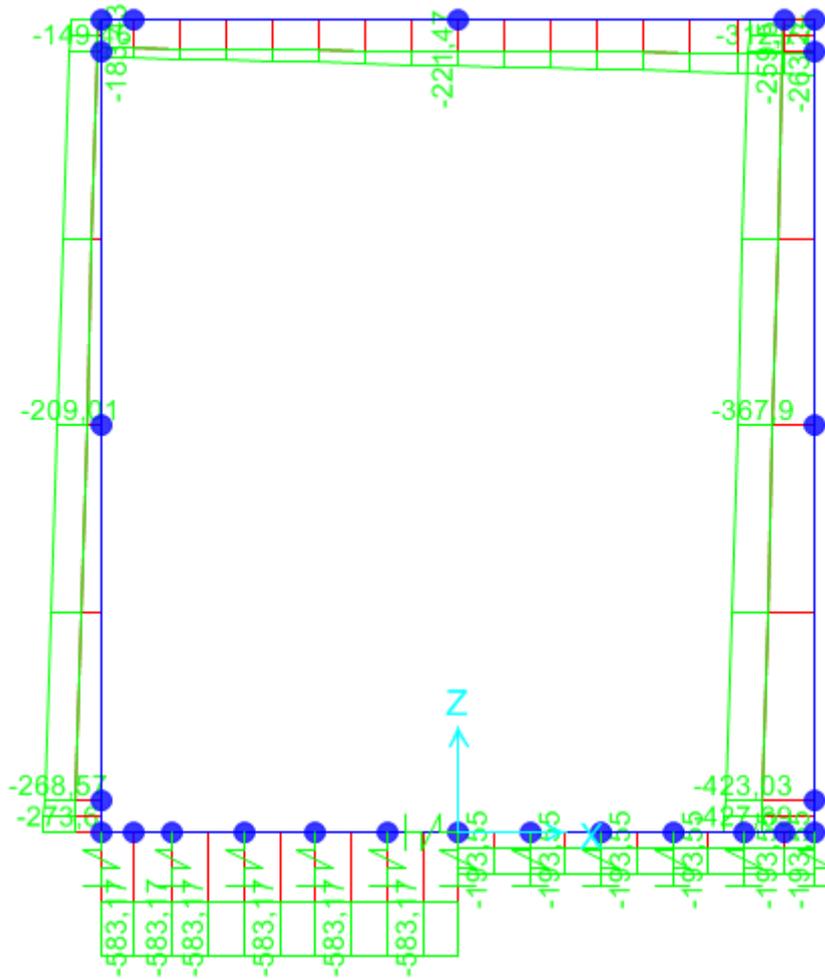
COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	38 di 123



**Figura 25: Involuppo M - SLU**

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

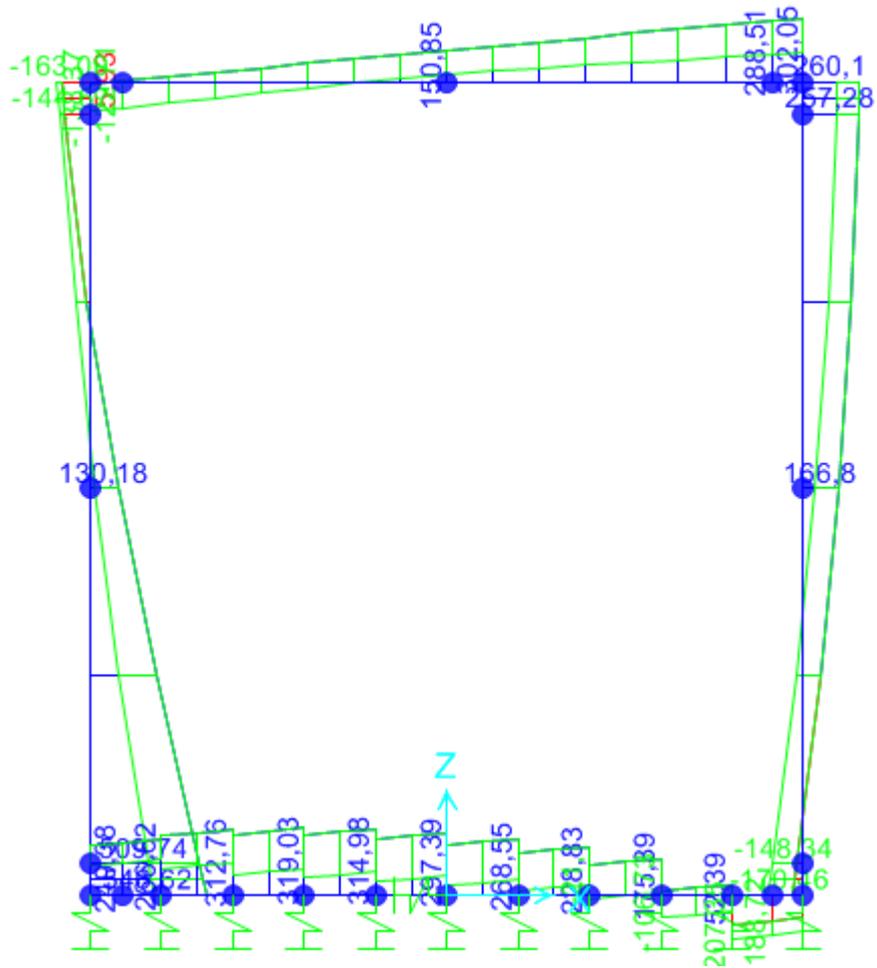
COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	39 di 123



**Figura 26: Involuppo N - SLV**

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

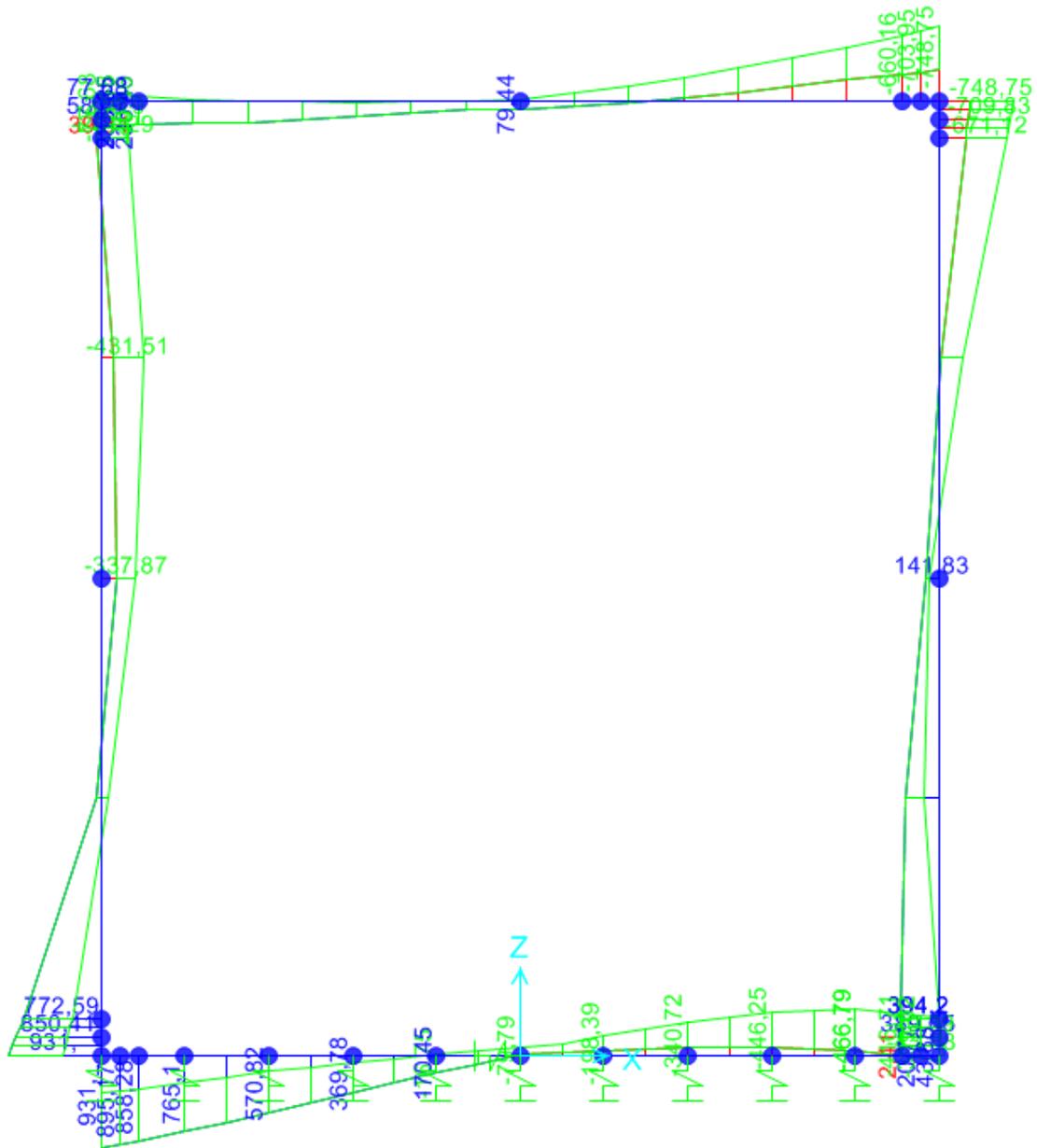
COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	40 di 123



**Figura 27: Involuppo T - SLV**

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

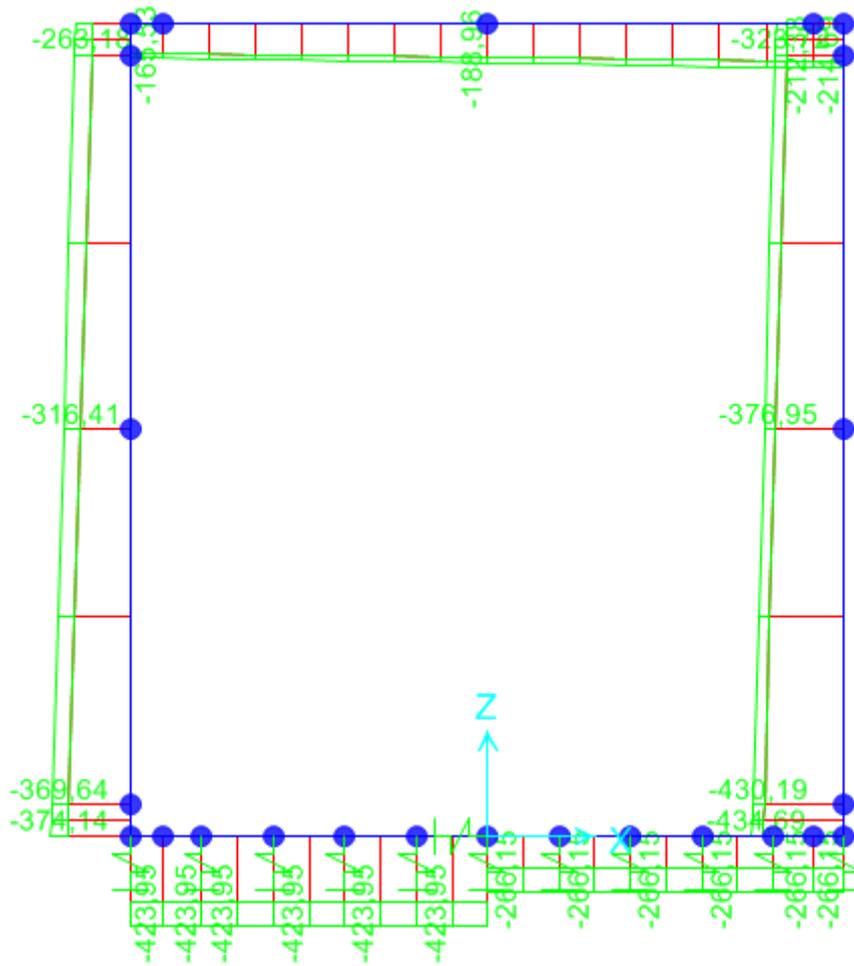
COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	41 di 123



**Figura 28: Involuppo M - SLV**

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

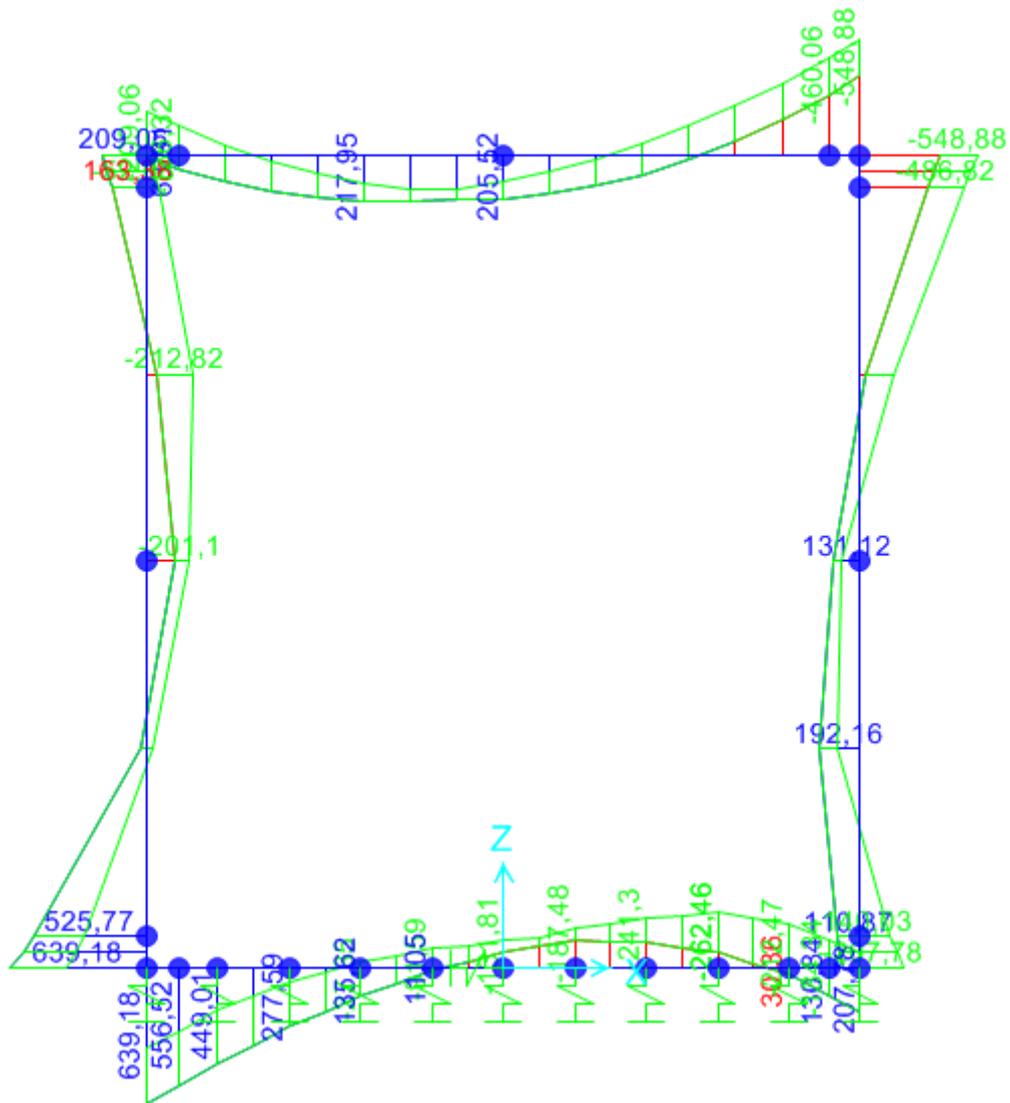
COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	42 di 123



**Figura 29: Involuppo N – SLE RARA**

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	43 di 123

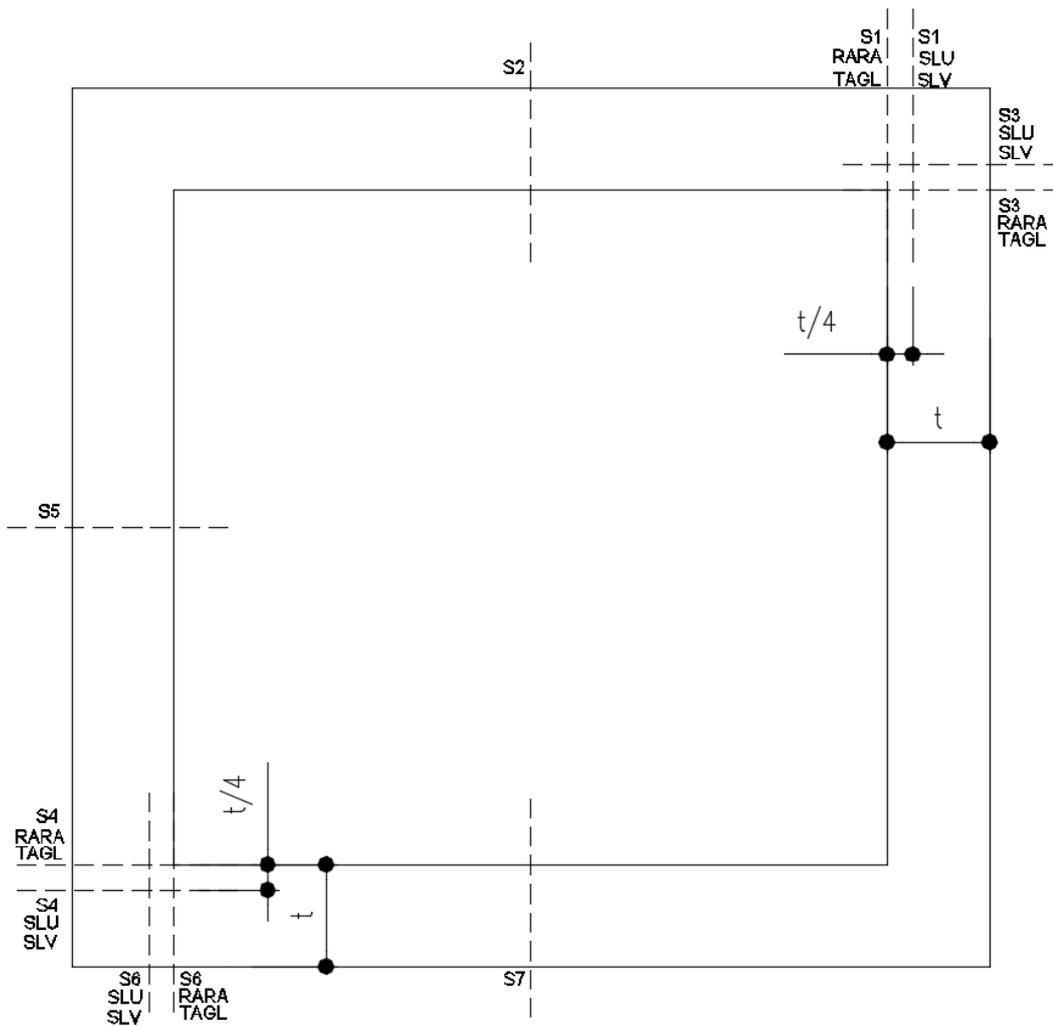


**Figura 30: Involuppo M – SLE RARA**

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	44 di 123

Le sezioni verificate sono le seguenti:



**Figura 31: Sezioni di verifica**

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	45 di 123

## 9. VERIFICHE

### 9.1. Verifiche a flessione

#### 9.1.1. Sezione 1 - soletta superiore appoggio destro

#### Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN-m
34	3,05	SLU6	Combination	-303,201	497,644	-891,272
34	3,05	SLV 1	Combination	-261,499	288,514	-703,962
34	3,05	RARA6	Combination	-209,567	286,776	-460,057

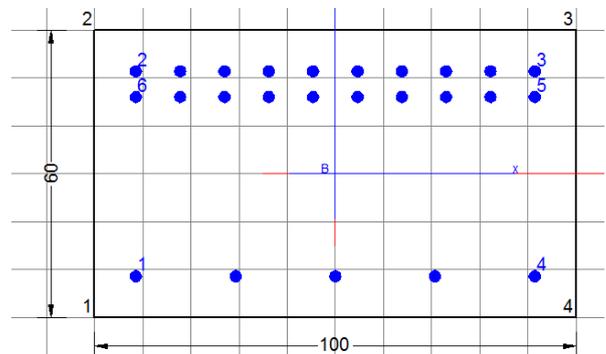
Armatura tesa  $\Phi$  24/10+  $\Phi$  24/10

Armatura compressa  $\Phi$  24/20

Armatura a taglio  $\Phi$  12/20x40

#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810 MPa	
	Resis. compr. ridotta fcd':	0.000 MPa	
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa	
	Resis. media a trazione fctm:	2.120 MPa	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	ACCIAIO -	Tipo:	B450C
		Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00 MPa	
Resist. snerv. di calcolo fyd:		391.30 MPa	
Resist. ultima di calcolo ftd:		391.30 MPa	

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	46 di 123

Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068	
Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00	MPa

### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-30.0
2	-50.0	30.0
3	50.0	30.0
4	50.0	-30.0

### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.4	-21.4	24
2	-41.4	21.4	24
3	41.4	21.4	24
4	41.4	-21.4	24
5	41.4	16.0	24
6	-41.4	16.0	24

### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	24
2	2	3	8	24
3	5	6	8	24

### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	47 di 123

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	-891.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	-703.00	0.00	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	-460.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.4 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 3.0 cm

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	-891.00	0.00	0.00	-1451.54	0.00	1.629	90.5(6.7)
2	S	0.00	-703.00	0.00	0.00	-1451.54	0.00	2.065	90.5(6.7)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	48 di 123

1	0.00350	-0.00154	-50.0	-30.0	0.00181	-41.4	-21.4	-0.00657	41.4	21.4
2	0.00350	-0.00154	-50.0	-30.0	0.00181	-41.4	-21.4	-0.00657	41.4	21.4

#### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c            Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d                Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
C.Rid.             Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000195970	-0.002379094	0.347	0.874
2	0.000000000	-0.000195970	-0.002379094	0.347	0.874

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver                S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max            Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
Xc max, Yc max    Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min             Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
Xs min, Ys min    Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff.             Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff.             Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
D barre            Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
Beta12            Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1\*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	7.96	-50.0	-30.0	-137.7	32.2	21.4	1800	90.5	5.4	1.00

❖ Aperture fessure per combinazione RARA ( $W1 < 0.2$ ) :

Apertura fessure
Apert.fessure = 0.188 mm
Apert. limite = 99999.000 mm
Dist. fessure = 191 mm
Area efficace = 1800 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.170

Condizione soddisfatta

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	49 di 123

## Verifica di resistenza a taglio

### Caratteristiche materiali

Cl<sub>s</sub> R<sub>ck</sub>

Cl<sub>s</sub>  condizioni calcestruzzo

Acciaio 1  acciaio barre longitudinali

Acciaio 2  acciaio armature trasversali

γ<sub>c</sub>  coefficiente parziale relativo al calcestruzzo

γ<sub>s</sub>  coefficiente parziale relativo all'acciaio

### Geometrie sezione

b<sub>w</sub>  mm larghezza dell'anima resistente (larghezza minima d'anima)

d  mm altezza utile della sezione

A<sub>c</sub>  mm<sup>2</sup> area della sezione di calcestruzzo

### Caratteristiche armature

n<sub>bl</sub>  numero di barre longitudinali

Ø<sub>bl</sub>  mm diametro delle barre longitudinali

n<sub>bw</sub>  numero di bracci delle staffe

Ø<sub>st</sub>  mm diametro delle staffe

s<sub>st</sub>  mm passo delle staffe

α  ° inclinazione delle staffe (α=90° per staffe ortogonali all'asse)

### Caratteristiche sollecitazioni

N<sub>Ed</sub>  KN sforzo normale di calcolo (+ per compressione)

V<sub>Ed</sub>  KN taglio di calcolo

N<sub>Rd</sub> 12173,3 KN sforzo normale di compressione massimo

### Dati traliccio resistente

θ  ° inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse

ctgθ 2,48 (il valore deve essere compreso fra 1.0 e 2.5)

ctgθ valore limite dell'inclinazione delle bielle

### Valore di verifica del taglio resistente

V<sub>Rd</sub>  KN taglio resistente per elemento privo di armatura trasversale

V<sub>Rd</sub>  KN taglio resistente per elemento con armatura trasversale

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	50 di 123

### 9.1.2. Sezione 2 - soletta superiore mezzeria

#### Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)

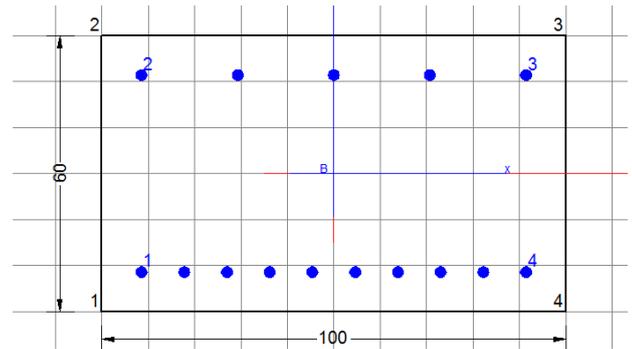
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN-m
34	0	SLU1	Combination	-198,601	54,982	413,5803
34	0	SLV 2	Combination	-153,534	45,408	79,4384
34	0	RARA1	Combination	-181,445	30,271	205,5207

Armatura tesa  $\Phi$  24/10

Armatura compressa  $\Phi$  24/20

#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810 MPa	
	Resis. compr. ridotta fcd':	0.000 MPa	
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa	
	Resis. media a trazione fctm:	2.120 MPa	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	ACCIAIO -	Tipo:	B450C
		Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00 MPa	
Resist. snerv. di calcolo fyd:		391.30 MPa	
Resist. ultima di calcolo ftd:		391.30 MPa	
Deform. ultima di calcolo Epu:		0.068	
Modulo Elastico Ef		2000000 daN/cm <sup>2</sup>	
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :		1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :		0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa		

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	51 di 123

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-30.0
2	-50.0	30.0
3	50.0	30.0
4	50.0	-30.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.4	-21.4	24
2	-41.4	21.4	24
3	41.4	21.4	24
4	41.4	-21.4	24

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	24
2	2	3	3	24

#### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	413.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	79.00	0.00	0.00	0.00

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	52 di 123

con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	205.00	0.00

### RISULTATI DEL CALCOLO

#### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.4 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.8 cm

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	413.00	0.00	0.00	825.27	0.00	1.998	45.2(6.7)
2	S	0.00	79.00	0.00	0.00	825.27	0.00	10.446	45.2(6.7)

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00542	-50.0	30.0	0.00052	-41.4	21.4	-0.01433	-41.4	-21.4
2	0.00350	-0.00542	-50.0	30.0	0.00052	-41.4	21.4	-0.01433	-41.4	-21.4

#### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
--------	---	---	---	-----	--------

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	53 di 123

1	0.000000000	0.000346930	-0.006907895	0.196	0.700
2	0.000000000	0.000346930	-0.006907895	0.196	0.700

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
 D barre Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1\*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	4.01	-50.0	30.0	-101.5	32.2	-21.4	2050	45.2	9.2	1.00

❖ Aperture fessure per combinazione RARA (W1<0.2) :

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.082 mm
Apert. limite = 99999.000 mm
Dist. fessure = 237 mm
Area efficace = 2050 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.163

Condizione soddisfatta

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	54 di 123

### 9.1.3. Sezione 3 - piedritto destro testa

#### Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN-m
32	3,55	SLU6	Combination	-539,32	298,348	-924,126
32	3,55	SLV 1	Combination	-310,773	257,279	-709,121
32	3,55	RARA6	Combination	-315,914	204,842	-486,822

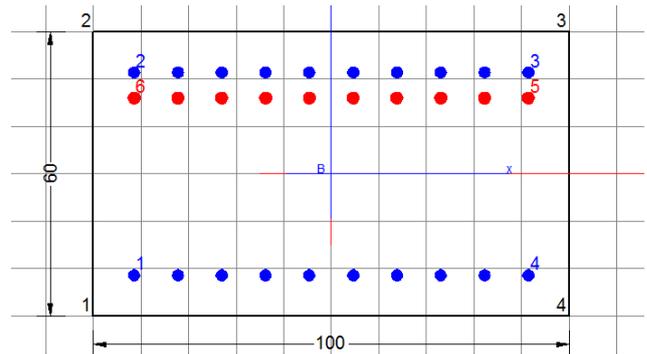
Armatura tesa  $\Phi$  24/10+  $\Phi$  26/10

Armatura compressa  $\Phi$  24/10

Armatura a taglio  $\Phi$  12/20x40

#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	0.000 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.120 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	55 di 123

Coeff. Aderenza differito  $\beta_1 \cdot \beta_2$  : 0.50  
Sf limite S.L.E. Comb. Rare: 360.00 MPa

### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-30.0
2	-50.0	30.0
3	50.0	30.0
4	50.0	-30.0

### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.4	-21.4	24
2	-41.4	21.4	24
3	41.4	21.4	24
4	41.4	-21.4	24
5	41.4	16.0	26
6	-41.4	16.0	26

### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	24
2	2	3	8	24
3	5	6	8	26

### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	-924.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	-709.00	0.00	0.00	0.00

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	56 di 123

### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	-486.00	0.00

### RISULTATI DEL CALCOLO

#### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.3 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 2.9 cm

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	-924.00	0.00	0.00	-1583.44	0.00	1.714	98.3(6.7)
2	S	0.00	-709.00	0.00	0.00	-1583.44	0.00	2.233	98.3(6.7)

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00220	-50.0	-30.0	0.00159	-41.4	-21.4	-0.00789	41.4	21.4
2	0.00350	-0.00220	-50.0	-30.0	0.00159	-41.4	-21.4	-0.00789	41.4	21.4

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	57 di 123

### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c            Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d                Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
C.Rid.             Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000221567	-0.003147016	0.307	0.824
2	0.000000000	-0.000221567	-0.003147016	0.307	0.824

### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver                S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max            Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
Xc max, Yc max   Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min             Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
Xs min, Ys min   Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff.             Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff.             Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
D barre            Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
Beta12            Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre  $Beta1 \cdot Beta2$

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	7.48	-50.0	-30.0	-135.2	32.2	21.4	1850	98.3	5.4	1.00

#### ❖ Aperture fessure per combinazione RARA ( $W1 < 0.2$ ):

Tensioni-Deform.	Apertura fessure
Sc max = 7.48 Mpa	Apert. fessure = 0.184 mm
Sc limite = 16.50 Mpa	Apert. limite = 99999.000 mm
Sc min = 0.00 Mpa	Dist. fessure = 191 mm
Sf min = -135.23 Mpa	Area efficace = 1850 cm <sup>2</sup>
Sf limite = -360.00 Mpa	Coeff. K3 = 0.170
Asse Neutro: $aX+bY+c=0$	
coeff. = -0.000000000	

Condizione soddisfatta

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	58 di 123

## Verifica di resistenza a taglio

### Caratteristiche materiali

Cl<sub>s</sub> R<sub>ck</sub>

Cl<sub>s</sub>  condizioni calcestruzzo

Acciaio 1  acciaio barre longitudinali

Acciaio 2  acciaio armature trasversali

γ<sub>c</sub>  coefficiente parziale relativo al calcestruzzo

γ<sub>s</sub>  coefficiente parziale relativo all'acciaio

### Geometrie sezione

b<sub>w</sub>  mm larghezza dell'anima resistente (larghezza minima d'anima)

d  mm altezza utile della sezione

A<sub>c</sub>  mm<sup>2</sup> area della sezione di calcestruzzo

### Caratteristiche armature

n<sub>bl</sub>  numero di barre longitudinali

Ø<sub>bl</sub>  mm diametro delle barre longitudinali

n<sub>bw</sub>  numero di bracci delle staffe

Ø<sub>st</sub>  mm diametro delle staffe

s<sub>st</sub>  mm passo delle staffe

α  ° inclinazione delle staffe (α=90° per staffe ortogonali all'asse)

### Caratteristiche sollecitazioni

N<sub>Ed</sub>  KN sforzo normale di calcolo (+ per compressione)

V<sub>Ed</sub>  KN taglio di calcolo

N<sub>Rd</sub> 12173,3 KN sforzo normale di compressione massimo

### Dati traliccio resistente

θ  ° inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse

ctgθ 2,48 (il valore deve essere compreso fra 1.0 e 2.5)

ctgθ valore limite dell'inclinazione delle bielle

### Valore di verifica del taglio resistente

V<sub>Rd</sub>  KN taglio resistente per elemento privo di armatura trasversale

V<sub>Rd</sub>  KN taglio resistente per elemento con armatura trasversale

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	59 di 123

### 9.1.4. Sezione 4 - piedritto sinistro piede

#### Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN-m
29	0	SLU5	Combination	-437,973	594,189	1065,1859
29	0	SLV 1	Combination	-143,064	509,658	850,5899
29	0	RARA5	Combination	-305,566	363,048	525,7694

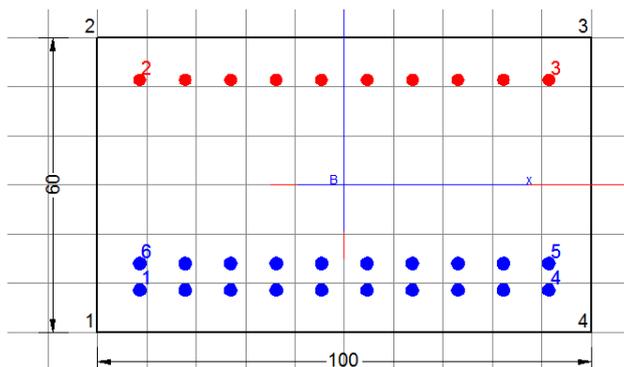
Armatura tesa  $\Phi$  26/10+  $\Phi$  26/10

Armatura compressa  $\Phi$  24/10

Armatura a taglio  $\Phi$  12/20x40

#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	0.000 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.120 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \beta_2$ :	1.00	

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	60 di 123

Coeff. Aderenza differito  $\beta_1 \cdot \beta_2$  : 0.50  
Sf limite S.L.E. Comb. Rare: 360.00 MPa

### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-30.0
2	-50.0	30.0
3	50.0	30.0
4	50.0	-30.0

### DATI BARRE ISOLATE

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ [mm]
1	-41.4	-21.4	26
2	-41.4	21.4	24
3	41.4	21.4	24
4	41.4	-21.4	26
5	41.4	-16.0	26
6	-41.4	-16.0	26

### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N° Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N° Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N° Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N° Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N° Gen.	N° Barra Ini.	N° Barra Fin.	N° Barre	Ø
1	1	4	8	26
2	2	3	8	24
3	5	6	8	26

### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N° Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	1065.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	850.00	0.00	0.00	0.00

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	61 di 123

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	525.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.3 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 2.8 cm

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	1065.00	0.00	0.00	1705.64	0.00	1.602	106.2(6.7)
2	S	0.00	850.00	0.00	0.00	1705.64	0.00	2.007	106.2(6.7)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00179	-50.0	30.0	0.00173	-41.4	21.4	-0.00708	-41.4	-21.4
2	0.00350	-0.00179	-50.0	30.0	0.00173	-41.4	21.4	-0.00708	-41.4	-21.4

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	62 di 123

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c            Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d                Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
C.Rid.             Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000205821	-0.002674635	0.331	0.854
2	0.000000000	0.000205821	-0.002674635	0.331	0.854

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver                S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max            Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
Xc max, Yc max    Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min             Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
Xs min, Ys min    Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff.             Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff.             Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
D barre            Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
Beta12            Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre  $Beta1 \cdot Beta2$

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	7.86	-50.0	30.0	-134.3	32.2	-21.4	1800	106.2	5.4	1.00

❖ Aperture fessure per combinazione RARA ( $W1 < 0.2$ ):

Apertura fessure
Apert.fessure = 0.185 mm
Apert. limite = 99999.000 mm
Dist. fessure = 186 mm
Area efficace = 1750 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.171

Condizione soddisfatta



**COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE – PRG E ACC DEL P.M.  
CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI**

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	63 di 123

**Verifica di resistenza a taglio**

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	64 di 123

#### Caratteristiche materiali

Cls  $R_{ck}$

Cls  condizioni calcestruzzo

Acciaio 1  acciaio barre longitudinali

Acciaio 2  acciaio armature trasversali

$\gamma_c$   coefficiente parziale relativo al calcestruzzo

$\gamma_s$   coefficiente parziale relativo all'acciaio

#### Geometrie sezione

$b_w$   mm larghezza dell'anima resistente (larghezza minima d'anima)

$d$   mm altezza utile della sezione

$A_c$   mm<sup>2</sup> area della sezione di calcestruzzo

#### Caratteristiche armature

$n_{bl}$   numero di barre longitudinali

$\varnothing_{bl}$   mm diametro delle barre longitudinali

$n_{bw}$   numero di bracci delle staffe

$\varnothing_{st}$   mm diametro delle staffe

$s_{st}$   mm passo delle staffe

$\alpha$   ° inclinazione delle staffe ( $\alpha=90^\circ$  per staffe ortogonali all'asse)

#### Caratteristiche sollecitazioni

$N_{Ed}$   KN sforzo normale di calcolo (+ per compressione)

$V_{Ed}$   KN taglio di calcolo

$N_{Rd}$  12173,3 KN sforzo normale di compressione massimo

#### Dati traliccio resistente

$\theta$   ° inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse

$ctg\theta$  2,48 (il valore deve essere compreso fra 1.0 e 2.5)

$ctg\theta_l$  valore limite dell'inclinazione delle bielle

#### Valore di verifica del taglio resistente

$V_{Rd}$   KN taglio resistente per elemento privo di armatura trasversale

$V_{Rd}$   KN taglio resistente per elemento con armatura trasversale

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	65 di 123

### 9.1.5. Sezione 5 - piedritto sinistro mezzeria

#### Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)

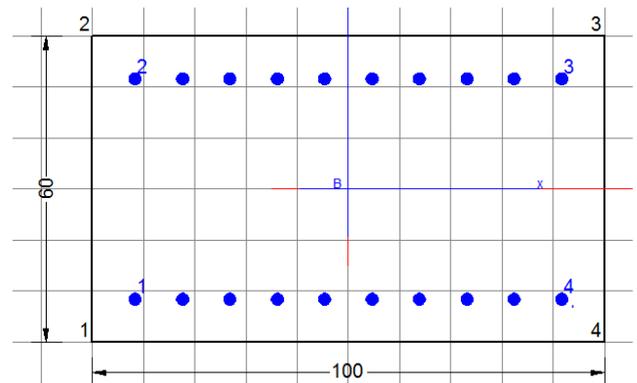
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN-m
29	3,55	SLU5	Combination	-362,107	144,777	-294,625
29	3,55	SLV 1	Combination	-85,934	130,095	-331,968
29	3,55	RARA5	Combination	-252,332	63,921	-201,098

Armatura tesa  $\Phi$  24/10

Armatura compressa  $\Phi$  24/10

#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40	
	Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810 MPa	
	Resis. compr. ridotta fcd':	0.000 MPa	
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa	
	Resis. media a trazione fctm:	2.120 MPa	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	ACCIAIO -	Tipo:	B450C
		Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00 MPa	
Resist. snerv. di calcolo fyd:		391.30 MPa	
Resist. ultima di calcolo ftd:		391.30 MPa	
Deform. ultima di calcolo Epu:		0.068	
Modulo Elastico Ef		2000000 daN/cm <sup>2</sup>	
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :		1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :		0.50	
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa		

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	66 di 123

### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-30.0
2	-50.0	30.0
3	50.0	30.0
4	50.0	-30.0

### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-41.6	-21.6	24
2	-41.6	21.6	24
3	41.6	21.6	24
4	41.6	-21.6	24

### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	24
2	2	3	8	24

### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	-294.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	-331.00	0.00	0.00	0.00

### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	67 di 123

My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	-201.00	0.00

## RISULTATI DEL CALCOLO

### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 7.2 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.8 cm

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	-294.00	0.00	0.00	-828.93	0.00	2.819	45.2(6.7)
2	S	0.00	-331.00	0.00	0.00	-828.93	0.00	2.504	45.2(6.7)

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00607	-50.0	-30.0	0.00037	-41.6	-21.6	-0.01571	41.6	21.6
2	0.00350	-0.00607	-50.0	-30.0	0.00037	-41.6	-21.6	-0.01571	41.6	21.6

### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	68 di 123

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000372221	-0.007666623	0.182	0.700
2	0.000000000	-0.000372221	-0.007666623	0.182	0.700

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
 D barre Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1\*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	3.54	50.0	-30.0	-98.9	32.4	21.6	2100	45.2	9.2	1.00

❖ Aperture fessure per combinazione RARA (W1<0.2) :

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.079 mm
Apert. limite = 99999.000 mm
Dist. fessure = 235 mm
Area efficace = 2100 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.164

Condizione soddisfatta

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	69 di 123

### 9.1.6. Sezione 6 - soletta inferiore appoggio sinistro

#### Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN-m
11	0	SLU5	Combination	-684,114	435,119	1094,087
11	0	SLV 1	Combination	-583,088	235,397	895,0002
11	0	RARA5	Combination	-423,951	268,765	556,1772

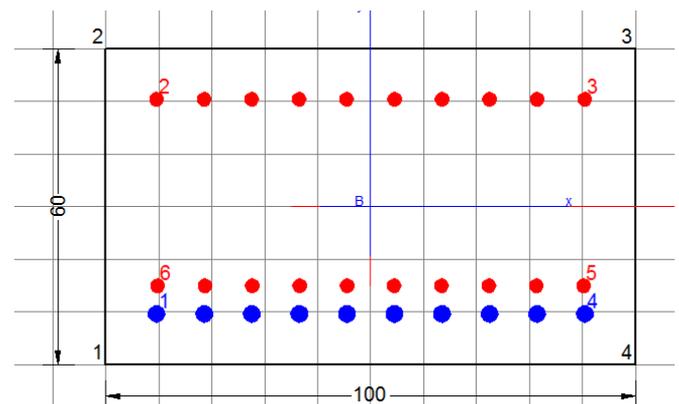
Armatura tesa  $\Phi$  30/10 +26/10

Armatura compressa  $\Phi$  26/10

Armatura a taglio  $\Phi$  12/20x40

#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30	
	Resis. compr. di calcolo fcd:	14.160 MPa	
	Resis. compr. ridotta fcd':	0.000 MPa	
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020	
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035	
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo	
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa	
	Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
	ACCIAIO -	Tipo:	B450C
		Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
		Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
Resist. snerv. di calcolo fyd:		391.30 MPa	
Resist. ultima di calcolo ftd:		391.30 MPa	
Deform. ultima di calcolo Epu:		0.068	
Modulo Elastico Ef		2000000 daN/cm <sup>2</sup>	
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito	
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :		1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50		
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa		

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	70 di 123

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-30.0
2	-50.0	30.0
3	50.0	30.0
4	50.0	-30.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-40.4	-20.4	30
2	-40.4	20.4	26
3	40.4	20.4	26
4	40.4	-20.4	30
5	40.2	-15.2	26
6	-40.2	-15.2	26

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	30
2	2	3	8	26
3	5	6	8	26

#### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	1094.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	895.00	0.00	0.00	0.00

#### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	71 di 123

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	556.00	0.00

## RISULTATI DEL CALCOLO

### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 8.1 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 2.4 cm

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	1094.00	0.00	0.00	1856.02	0.00	1.697	123.8(7.5)
2	S	0.00	895.00	0.00	0.00	1856.02	0.00	2.074	123.8(7.5)

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00023	-50.0	30.0	0.00211	-40.4	20.4	-0.00381	-40.4	-20.4
2	0.00350	-0.00023	-50.0	30.0	0.00211	-40.4	20.4	-0.00381	-40.4	-20.4

### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	72 di 123

C.Rid.                      Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000145041	-0.000851228	0.479	1.000
2	0.000000000	0.000145041	-0.000851228	0.479	1.000

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver                      S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max                Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
 Xc max, Yc max      Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min                Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
 Xs min, Ys min      Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ac eff.                Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 As eff.                Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
 D barre                Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
 Beta12                Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1\*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	8.06	-50.0	30.0	-123.7	31.4	-20.4	1750	123.8	5.2	1.00

❖ Aperture fessure per combinazione RARA (W1<0.2) :

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.185 mm
Apert. limite = 99999.000 mm
Dist. fessure = 197 mm
Area efficace = 1700 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.174

Condizione soddisfatta

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	73 di 123

## Verifica di resistenza a taglio

### Caratteristiche materiali

Cl<sub>s</sub> R<sub>ck</sub>

Cl<sub>s</sub>  condizioni calcestruzzo

Acciaio 1  acciaio barre longitudinali

Acciaio 2  acciaio armature trasversali

γ<sub>c</sub>  coefficiente parziale relativo al calcestruzzo

γ<sub>s</sub>  coefficiente parziale relativo all'acciaio

### Geometrie sezione

b<sub>w</sub>  mm larghezza dell'anima resistente (larghezza minima d'anima)

d  mm altezza utile della sezione

A<sub>c</sub>  mm<sup>2</sup> area della sezione di calcestruzzo

### Caratteristiche armature

n<sub>bl</sub>  numero di barre longitudinali

Ø<sub>bl</sub>  mm diametro delle barre longitudinali

n<sub>bw</sub>  numero di bracci delle staffe

Ø<sub>st</sub>  mm diametro delle staffe

s<sub>st</sub>  mm passo delle staffe

α  ° inclinazione delle staffe (α=90° per staffe ortogonali all'asse)

### Caratteristiche sollecitazioni

N<sub>Ed</sub>  KN sforzo normale di calcolo (+ per compressione)

V<sub>Ed</sub>  KN taglio di calcolo

N<sub>Rd</sub> 9130,0 KN sforzo normale di compressione massimo

### Dati traliccio resistente

θ  ° inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse

ctgθ 2,48 (il valore deve essere compreso fra 1.0 e 2.5)

ctgθ<sub>lim</sub> valore limite dell'inclinazione delle bielle

### Valore di verifica del taglio resistente

V<sub>Rd</sub>  KN taglio resistente per elemento privo di armatura trasversale

V<sub>Rd</sub>  KN taglio resistente per elemento con armatura trasversale

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	74 di 123

### 9.1.7. Sezione 7- soletta inferiore mezzeria

#### Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)

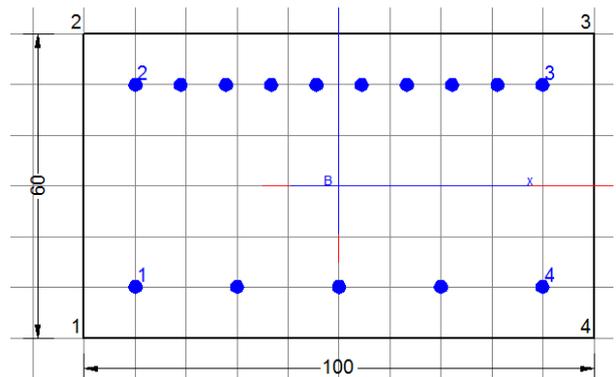
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN-m
5	0,67	SLU2	Combination	-336,625	123,939	-269,241
5	0,67	SLV 2	Combination	-330,328	110,943	-79,7852
5	0,67	RARA2	Combination	-308,935	75,097	-131,81

Armatura tesa  $\Phi$  26/10

Armatura compressa  $\Phi$  26/20

#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

Metodo di calcolo resistenza: Stati Limite Ultimi  
 Tipologia sezione: Sezione generica  
 Normativa di riferimento: N.T.C.  
 Percorso sollecitazione: A Sforzo Norm. costante  
 Condizioni Ambientali: Molto aggressive  
 Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia



#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di calcolo fcd:	14.160 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	0.000 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	ACCIAIO -	Tipo:
Resist. caratt. snervam. fyk:		450.00 MPa
Resist. caratt. rottura ftk:		450.00 MPa
Resist. snerv. di calcolo fyd:		391.30 MPa
Resist. ultima di calcolo ftd:		391.30 MPa
Deform. ultima di calcolo Epu:		0.068
Modulo Elastico Ef		2000000 daN/cm <sup>2</sup>
Diagramma tensione-deformaz.:		Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :		1.00
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :		0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa	

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	75 di 123

### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	-30.0
2	-50.0	30.0
3	50.0	30.0
4	50.0	-30.0

### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-39.9	-19.9	26
2	-39.9	19.9	26
3	39.9	19.9	26
4	39.9	-19.9	26

### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	3	26
2	2	3	8	26

### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	-269.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	-79.00	0.00	0.00	0.00

### COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	76 di 123

My con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	-131.00	0.00

## RISULTATI DEL CALCOLO

### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 8.8 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.3 cm

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	-269.00	0.00	0.00	-895.86	0.00	3.330	53.1(7.4)
2	S	0.00	-79.00	0.00	0.00	-895.86	0.00	11.340	53.1(7.4)

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.00303	-50.0	-30.0	0.00094	-39.9	-19.9	-0.00916	39.9	19.9
2	0.00350	-0.00303	-50.0	-30.0	0.00094	-39.9	-19.9	-0.00916	39.9	19.9

### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	77 di 123

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000253799	-0.004113972	0.276	0.785
2	0.000000000	-0.000253799	-0.004113972	0.276	0.785

**COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
 D barre Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1\*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	2.57	50.0	-30.0	-57.8	31.0	19.9	2000	53.1	8.9	1.00

❖ Aperture fessure per combinazione RARA (W1<0.2) :

Apertura fessure
Apert.fessure = 0.051 mm
Apert. limite = 99999.000 mm
Dist. fessure =258 mm
Area efficace =2000 cm <sup>2</sup>
Coeff. K3 = 0.165

Condizione soddisfatta

## 9.2. Verifica a deformazione soletta superiore

In accordo alle normativa paragrafo 5.2.3.3.2.1/ Stati limite per i comfort dei passeggeri.

Valori limite di deformabilità della soletta superiore sono riportati nella tabella 5.2.1.8.3.2.2-2

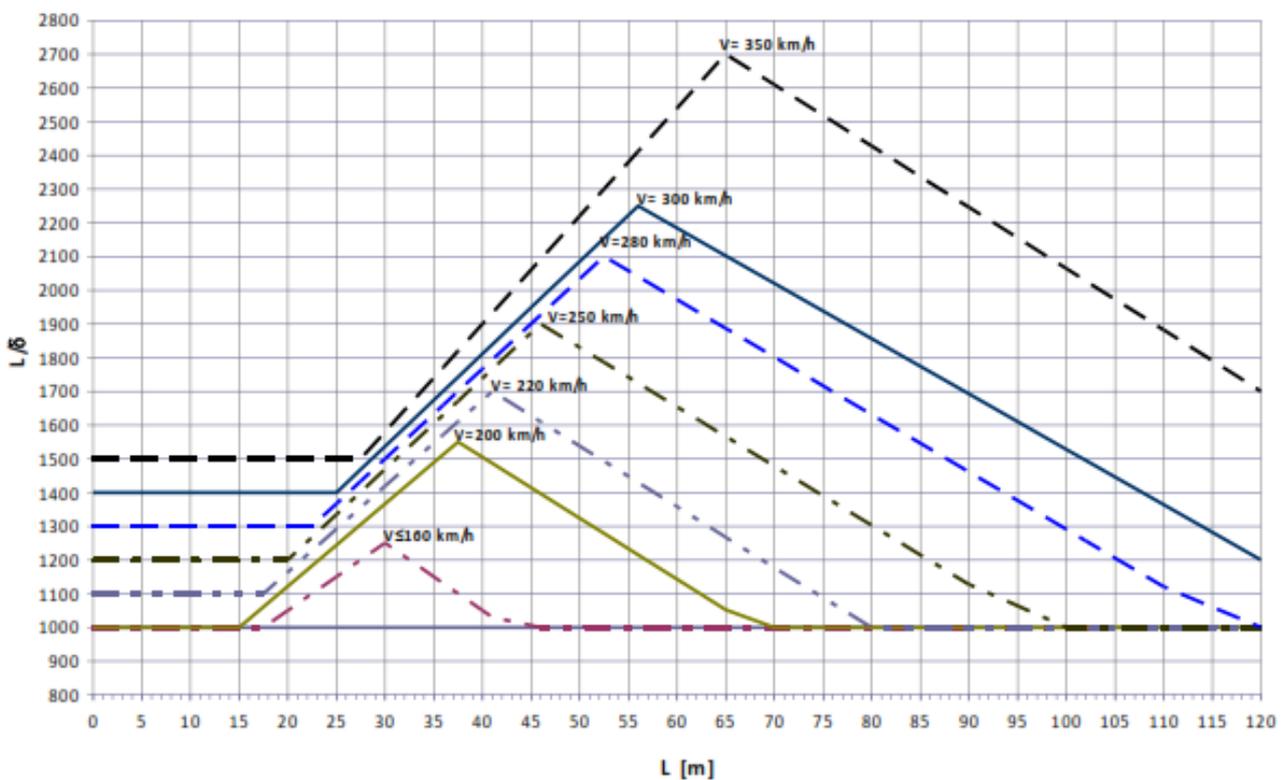
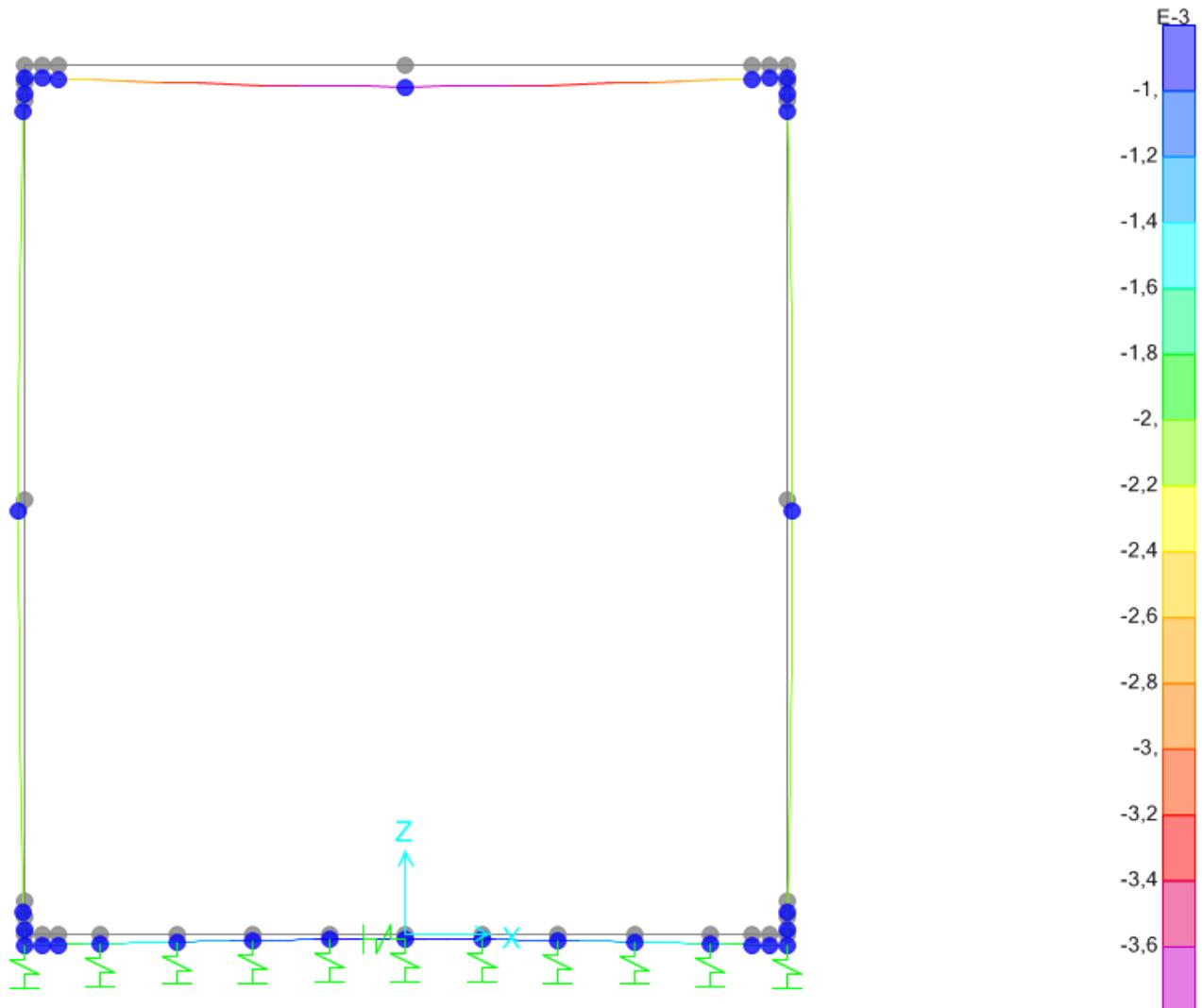


Fig. 5.2.1.8.3.2.2-2 Valori del limite di deformabilità  $L/\delta$  per il confort dei passeggeri.

Nella seguente immagine si riporta la deformazione della soletta superiore dovuto al singolo carico del treno LM71:



Condizione da soddisfare:  $\delta/L < 1/1000$

Per il scatolare il valori per le frecce sono come segue:

- Freccia – mezzeria della soleta – 0.0037m
- Freccia – mezzeria della soleta – 0.0021m

$\delta = 0.0037 - 0.0021 = 0.0016\text{m}$  ; Per  $L = 7.90\text{m} \Rightarrow \delta/L < 1/1000$  ;  $0.0016/7.9 = 0.000202 < 0.001$  - **Verificata**

## 10.RIEPILOGO ARMATURE – SCATOLARE

Elemento strutturale	Sezione	Armatura Principale	Armatura secondaria	Incidenze
soletta superiore	nodo	Φ 24/10+ Φ 24/10 sup. Φ 24/20 inf.	Φ 20/10 sup. Φ 20/20 inf.	195 kg/m <sup>3</sup>
	campata	Φ 24/20 sup. Φ 24/10 inf.	φ20/20 ambo i lati	
piedritti	nodo sup.	Φ 24/10+ Φ 26/10 est. φ24/10 int.	Φ 20/10 est. Φ 20/20 int.	230 kg/m <sup>3</sup>
	nodo inf.	Φ 26/10+ Φ 26/10 est. φ24/10 int.	Φ 20/10 est. Φ 20/20 int.	
soletta inferiore	mezzeria	Φ 26/10 sup. Φ 26/20 inf.	Φ 20/20 est. Φ 20/20 int.	250 kg/m <sup>3</sup>
	nodo	Φ 26/10 sup. Φ 30/10 + Φ 26/10 inf.	Φ 20/10 est. Φ 20/10 int.	

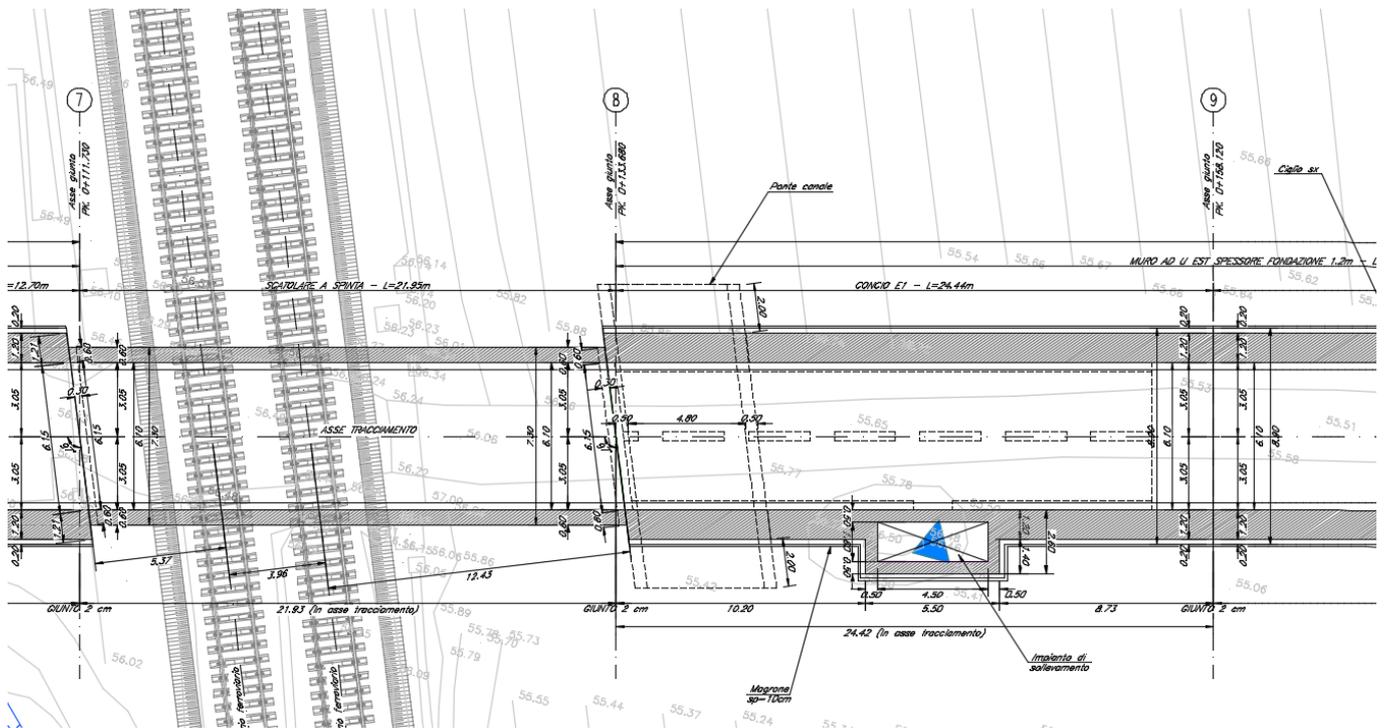
**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	81 di 123

## 11.PLATEA DI VARO E MURO REGGIPINTA

### 11.1. Descrizione dell'opera

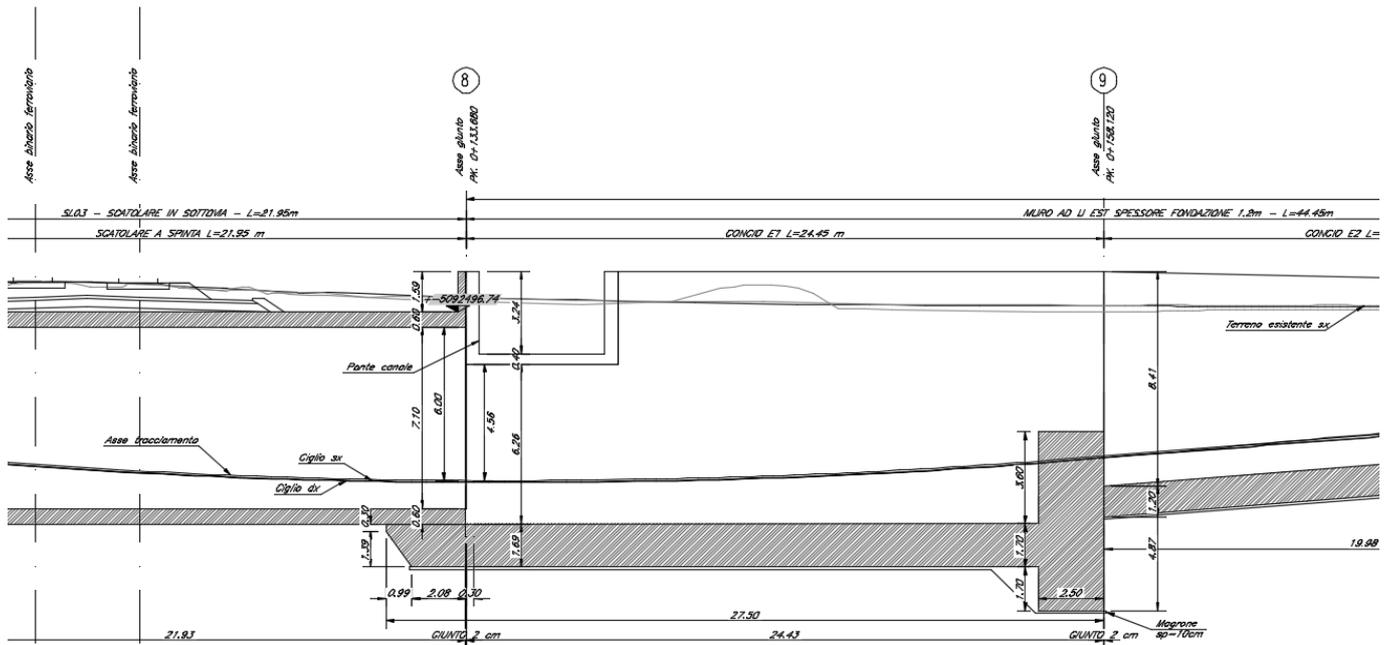
La platea in c.a. ha dimensioni in pianta di 27.5m x 8.62m con spessore di 1.7m. Il muro di paramento ha spessore del paramento di 2.5m.



**Figura 32 Pianta**

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	82 di 123



**Figura 33 Sezione longitudinale**

## 11.2. MATERIALI

Il progetto sarà realizzato utilizzando i seguenti materiali:

<b>Classe di resistenza: PLATEA EMURO</b>	<b>C25/30</b>	
Resistenza a compressione cubica caratteristica	$R_{ck} =$	30 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione cilindrica caratteristica	$f_{ck} =$	24.9 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a compressione cilindrica media	$f_{cm} =$	32.9 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione semplice	$f_{ctm} =$	2.56 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione per flessione	$f_{ctm} =$	3.07 N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico secante medio	$E_{cm} =$	31447 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione semplice (5%)	$f_{ctk} =$	1.79 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica a trazione semplice (95%)	$f_{ctk} =$	3.33 N/mm <sup>2</sup>
<i>Coefficiente di sicurezza SLU:</i>	$\gamma_c =$	1.5
Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLU:	$f_{cd} =$	14.1 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLU:	$f_{ctd} =$	1.19 N/mm <sup>2</sup>
<i>Coefficiente di sicurezza SLE:</i>	$\gamma_c =$	1.0
Resistenza di calcolo a compressione cilindrica SLE:	$f_{cd} =$	24.9 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a trazione semplice (5%) - SLE:	$f_{ctd} =$	1.79 N/mm <sup>2</sup>
Massime tensioni di compressione in esercizio:		
Combinazione rara	$\sigma_{c,ad} =$	14.94 N/mm <sup>2</sup>
Combinazione quasi permanente	$\sigma_{c,ad} =$	11.21 N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione		XC2
Classe di consistenza slump:		S3-S4
Contenuto minimo di cemento:		280 daN/m <sup>3</sup>
Massima dimensione aggregato		25 mm
Copriferro		60 mm
Rapporto A/C		0.6

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	84 di 123

**Acciaio per cemento armato**

Acciaio per cemento armato tipo B450C secondo D.M. 14.01.2008, avente le seguenti caratteristiche:

Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq$	450	N/mm <sup>2</sup>
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq$	540	N/mm <sup>2</sup>
Modulo elastico	$E_s =$	2.1E+05	N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente di sicurezza SLU:	$\gamma_s =$	1.15	
Resistenza di calcolo SLU:	$f_{sd} =$	391.30	N/mm <sup>2</sup>
Tensione di calcolo SLE:	$\sigma_{y,ad} =$	360	N/mm <sup>2</sup>

Deve rispettare i requisiti indicati nella seguente tabella

CARATTERISTICHE	REQUISITI	FRATTILE (%)
Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk}$	$\geq f_{v, nom}$	5.0
Tensione caratteristica di rottura $f_{tk}$	$\geq f_{t, nom}$	5.0
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1,15$	10.0
$(f_v/f_{v, nom})_k$	$< 1,35$	10.0
Allungamento $(A_{gt})_k$ :	$\geq 7,5 \%$	10.0
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90 ° e successivo raddrizzamento senza cricche:		
$\phi < 12$ mm	4 $\phi$	
12 $\leq \phi \leq 16$ mm	5 $\phi$	
per 16 $< \phi \leq 25$ mm	8 $\phi$	
per 25 $< \phi \leq 40$ mm	10 $\phi$	

### 11.3. Azioni e sollecitazioni

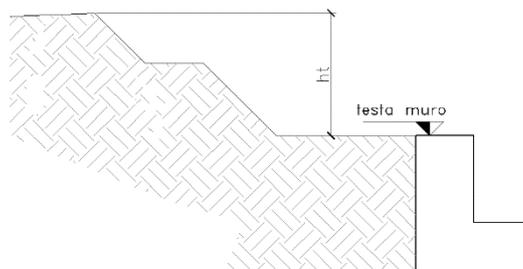
All'inizio delle operazioni di spinta, i martinetti di spinta devono vincere l'attrito tra l'intradosso fondazione e la platea di varo; il coefficiente di attrito di primo distacco può raggiungere valori di poco superiori all'unità: si assume tuttavia il valore 1.00. Non è presente alcun attrito del terreno sulle pareti laterali dell'opera. Il coefficiente di attrito assunto è sicuramente cautelativo in virtù degli accorgimenti tecnici assunti per favorire il distacco e lo scivolamento tra le due superfici (fogli di tessuto non tessuto del peso di 200gr/mq con interposto uno strato di scorrimento formato da due fogli a contatto di polietilene cerato del peso di 200gr/mq).

In tale configurazione la platea di varo è soggetta a prevalenti azioni di sforzo normale di trazione. Quest'ultimo è generato dalle azioni di attrito con la fondazione del monolite.

Le caratteristiche geometriche e i parametri geotecnici da tenere in considerazione sono i seguenti:

DATI GEOMETRICI				
$B_{tot}$	=	7.3	[m]	Larghezza totale scatolare
$B_{int}$	=	6.1	[m]	Larghezza utile scatolare
$S_{sol\_sup}$	=	0.6	[m]	Spessore soletta superiore
$L_{sol}$	=	21.93	[m]	Lunghezza soletta superiore
$S_{pie}$	=	0.6	[m]	Spessore piedritti
$L_{pied}$	=	21.93	[m]	Lunghezza piedritti
$S_{fond}$	=	0.6	[m]	Spessore fondazione
$L_{scat}$	=	21.93	[m]	Lunghezza scatolare
$H_{tot}$	=	8.3	[m]	Altezza totale scatolare
$H_{int}$	=	7.1	[m]	Altezza libera scatolare
$P_{ros}$	=	2000	[kN]	Peso rostri e travi
$P_{scat}$	=	9474	[kN]	Peso scatolare finale
$P_{mon}$	=	11474	[kN]	Peso monolite
$A_{ext}$	=	684	[m <sup>2</sup> ]	Superficie esterna monolite
$h_m$	=	8.3	[m]	Altezza totale scatolare

$L_{pv}$	=	27.5	[m]	Lunghezza platea di varo
$B_{pv}$	=	8.62	[m]	Larghezza platea di varo
$H_{pv}$	=	1.7	[m]	Altezza platea di varo
$P_{pv}$	=	10075	[kN]	Peso platea di varo
$h_{ms}$	=	7	[m]	Altezza totale muro di spinta
$h_{ms2}$	=	3.8	[m]	Altezza muro sopra la platea
$S_{ms}$	=	2.5	[m]	Spessore muro di spinta
$L_{ms}$	=	9.88	[m]	Lunghezza muro di spinta
$i_m$	=	4	[m]	interasse martinetti
$h_b$	=	1.15	[m]	Altezza del ballast
$h_t$	=	5.1	[m]	Spessore terreno al di sopra del muro



La spinta sull'apparato di contrasto inizia a manifestarsi dopo il distacco del manufatto dalla platea di varo.

Questa configurazione corrisponde alla fase in cui il monolite è uscito dalla platea di varo e la spinta è nelle fasi finali.

In questa fase è massima la spinta che deve assorbire l'apparato di contrasto.

La spinta totale necessaria a terminare l'infissione risulta quindi:

$$ST = F_s + F_{le} + F_{li} + F_{ie} + F_{ii};$$

con rispettivamente:

F<sub>s</sub> : Resistenza su estradosso soletta superiore;

F<sub>le</sub> : Resistenza laterale su pareti (esterno);

F<sub>li</sub>: Resistenza laterale su pareti (interno);

F<sub>ie</sub>: Resistenza su soletta inferiore (estradosso);

F<sub>ii</sub>: Resistenza su soletta inferiore (intradosso).

NOTA: I contributi “F<sub>li</sub>“ e “F<sub>ie</sub>” non vengono presi in conto, date le modalità operative (rimozione del terreno all’interno in contemporaneità con l’infissione). Anche il termine “F<sub>s</sub>” viene trascurato in quanto l’infissione del monolite avverrà con sistema “Essen” con slitte di scorrimento su travi di acciaio installate a sostegno dei binari esistenti.

A favore di sicurezza si ipotizza il monolite appesantito internamente dalle macchine operatrici nonché dalla presenza di terreno di risulta dello scavo quantificabile in un sovraccarico uniforme pari a 15.0 kN/mq che interessa tutta la soletta di base del monolite.

A favore di sicurezza si è trascurato il contributo resistente fornito dalla platea di varo che si oppone alle azioni dei martinetti di spinta tramite l’attrito sul terreno dovuto al suo peso proprio.

Dati geotecnici				
$\phi$	=	34	[-]	Angolo di attrito
c	=	0	[kPa]	Coesione
K <sub>0</sub>	=	0.441	[-]	Coefficiente di spinta a riposo
$\delta=\phi$	=	34	[-]	Angolo di attrito terreno-muro
$\tan\delta$	=	0.675	[-]	Coefficiente di attrito terreno-muro
$\gamma_t$	=	20	[kN/m <sup>3</sup> ]	Peso specifico terreno
K <sub>p</sub>	=	7.8	[-]	Coefficiente di spinta passiva (vedere figura 9)
$\gamma_{ball}$	=	18	[kN/m <sup>3</sup> ]	Peso psecifico ballast

Calcolo azioni di spinta

$S_i = P_{mon} \times 1$	=	11474	[kN]	Spinta di primo distacco agente sulla platea
$s_i = S_i / B_{pv}$	=	1331	[kN/m]	Spinta distribuita di primo distacco agente sulla platea
$Q = 15 \times L_{scat} \times B_{int}$	=	2007	[kN]	Carico macchine operatrici all'interno
$F_{ii} = (P_{mon} + Q) \times \tan \phi + B_{tot} \times L_{scat} \times C'$	=	9093	[kN]	Attrito alla base del monolite comprensivo di 15 kN/mq di appesantimento
$\sigma_{1v} = \gamma_{ball} \times h_b$	=	20.7	[kPa]	Tensione verticale all'estradosso soletta superiore
$\sigma_{2v} = \sigma_{1v} + \gamma_t \times H_{tot}$	=	186.7	[kPa]	Tensione verticale all'intradosso fondazione
$F_{ie} = 2 \times (\sigma_{v1} + \sigma_{v2}) / 2 \times k_0 \times \tan \phi \times H_{tot} \times L_{scat} + c' \times (2 \times H_{tot} \times L_{scat})$	=	11224	[kN]	Forza di attrito pareti laterali
$S_T = F_{ii} + F_{ie}$	=	20317	[kN]	Spinta totale
$S_{B,m} = S_T / L_{ms}$	=	2056	[kN/m]	Spinta per metro di muro reggispinta
$S^*_{B,m} = S_T / B_{tot}$	=	2783	[kN/m]	Spinta per metro di larghezza scatolare

#### 11.4. Platea di varo

Il calcolo della platea di varo è effettuato nell'ipotesi che l'armatura longitudinale nella stessa sia in grado di assorbire l'azione di attrito trasmessa dal monolite in fase di spinta.

Verifica platea in fase di varo

$f_{yd}$	=	391	[MPa]	Tensione di snervamento di calcolo dell'acciaio B450C
$\gamma_{SLU}$	=	1.5	[-]	Coefficiente moltiplicativo dei carichi
$S_{i,d} = S_i \times \gamma_{SLU}$	=	1997	[kN/m]	Sforzo assiale di progetto

$A_{s,min}=S_{i,d}/f_{yd}$	=	5106	[mm <sup>2</sup> ]	Area minima di armatura resistente
$\phi_{long}$	=	20	[mm]	Diametro barra longitudinale
$p_1$	=	100	[mm]	Passo delle barre longitudinali
$n_1$	=	20	[-]	Numero barre longitudinali a trazione (superiore + inferiore)
$A_{s,eff}=(\phi_{long})^2 \times 3.1416 / 4 * n_1$	=	6283	[mm <sup>2</sup> ]	Area resistente di acciaio nella soletta (longitudinale)
$\phi_{tr}$	=	16	[-]	Diametro barra trasversale
$p_2$	=	200	[mm]	Passo barre trasversali
$n_2$	=	10	[-]	Numero barre trasversali (superiore+ inferiore)
25% $A_{s,eff}$	=	1571	[mm <sup>2</sup> ]	Area minima resistente di acciaio nella soletta (trasversale)
$A_{s,trasv} > 25\% A_{s,eff}$	=	2011	[mm <sup>2</sup> ]	Area resistente di acciaio nella soletta (trasversale)

In direzione trasversale si dispone in soletta armatura di ripartizione sia all'estradosso che all'intradosso della soletta pari a circa il 25% dell'armatura longitudinale principale.

Lo sforzo di trazione agente sulla platea di varo varia linearmente dal valore massimo calcolato nella sezione di attacco al muro reggisplinta sino al valore nullo all'estremità opposta.

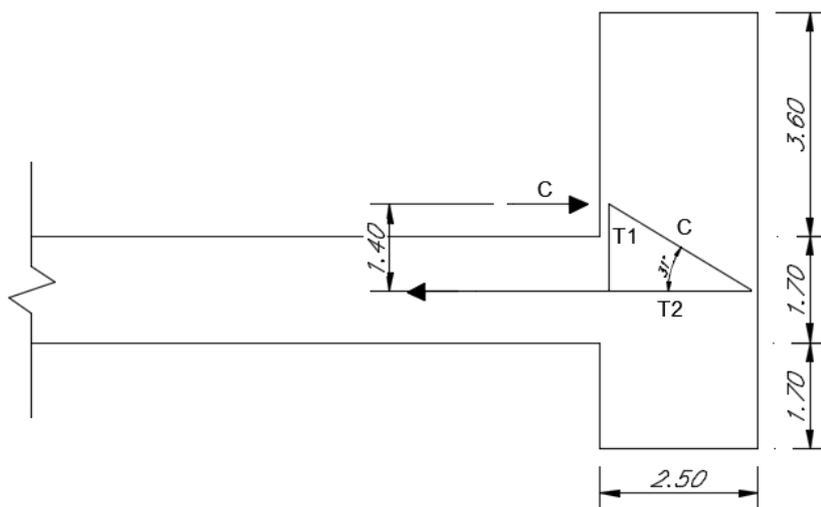
La platea di varo è soggetta ad azioni taglianti trascurabili, pertanto la relativa verifica a taglio viene omessa.

Ulteriore verifica si ottiene considerando la sezione di attacco tra platea e soletta:

L'azione di spinta applicata dai martinetti e la corrispettiva azione di tiro impressa dalla soletta di varo valgono

$$s_{i,d} = 1997 \text{ kN/m.}$$

Il muro reggisplinta è quindi sottoposto ad un regime di sforzi le cui risultanti di trazione e compressione si esplicano come in figura a seguire:



**Figura 34 Sollecitazioni agenti all'interno del muro reggispinta al primo distacco.**

$N_{Ed,T2}$	=	1997	[kN/m]
$N_{Rd,T2}$	=	2457	[kN/m]
$N_{Ed,T1}$	=	1200	[kN/m]
$N_{Rd,T1}$	=	1770	[kN/m]
M	=	2795.8	[kNm/m]

Il corrente teso inferiore (T2) sottopone a trazione le barre di armatura della soletta di varo, costituite da 10+10 $\phi$ 20/m ( $A_s = 6283 \text{ mm}^2/\text{m}$ ).

Il corrente teso verticale (T1) sarà invece armato mediante 10 $\phi$ 24/m ( $A_s = 4524 \text{ mm}^2/\text{m}$ ) dovendo sopprimere ad un tiro di intensità pari a  $N_{Ed,T1} = N_{Ed,T2} * \text{tg}31^\circ = 1200 \text{ kN/m}$ .

$$N_{Rd,T1} = 4524 * 391.3/1000 = 1770 \text{ kN/m.}$$

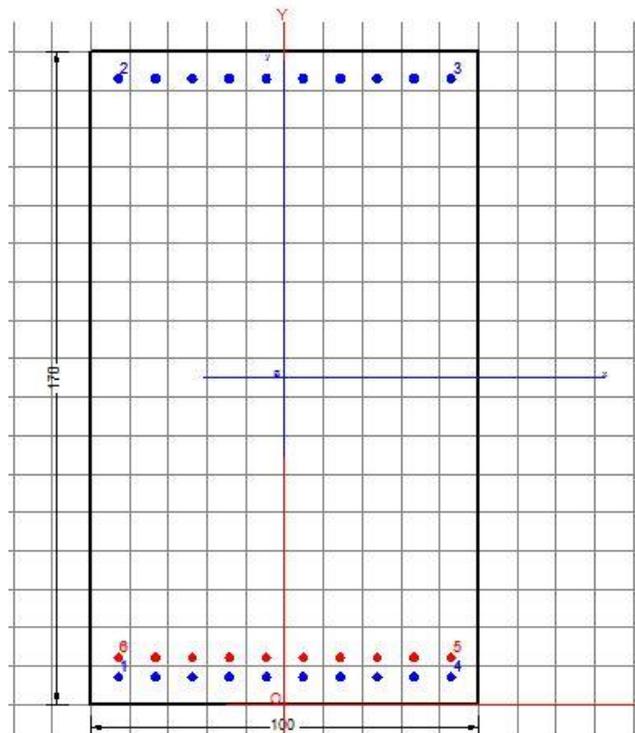
La spinta esercitata dai martinetti sul muro reggispinta e la risultante delle trazioni che si producono nella platea di varo risultano agenti a quote differenti. La differenza di quota tra il punto di applicazione della forza e della reazione è pari a 1.4m. Gli effetti indotti dalla coppia torcente sono  $M = 1997\text{kN} * 1.4 = 2795.8 \text{ kNm/m}$ .

In corrispondenza della sezione di 170cm si ha un valore di 2795.8 kNm.

### Verifica a flessione SLU

Considerando:

- $B = 1000 \text{ mm}$ ;
- $H = 1700 \text{ mm}$ ;
- $c = 60 \text{ mm}$ ;
- $A_s = 1\phi 22/10 + 1\phi 20/10$
- $A'_s = 1\phi 22/10$



**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	92 di 123

#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di calcolo fcd:	14.160 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	0.000 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	170.0
3	50.0	170.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.9	7.1	22
2	-42.9	162.9	22
3	42.9	162.9	22
4	42.9	7.1	22
5	42.9	12.2	20



**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	94 di 123

My Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 N ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
 Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
 As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	2795.80	0.00	0.00	4194.63	0.00	1.500	69.4(24.1)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.01599	-50.0	170.0	0.00160	-42.9	162.9	-0.04008	-42.9	7.1

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
 x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000267556	-0.041984446	0.080	0.700

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
 D barre Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre  $\beta_1 \cdot \beta_2$

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	5.84	50.0	170.0	-232.6	-33.4	7.1	2200	69.4	5.1	0.50

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE**

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	95 di 123

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$   
Esito della verifica  
S1 Massima tensione [Mpa] di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione non fessurata  
S2 Minima di trazione [Mpa] del cls. (in sezione non fessurata) nella fibra più interna dell'area  $A_{c\ eff}$   
k2 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata  
k3 =  $(S1 + S2)/(2 \cdot S1)$  con riferimento all'area tesa  $A_{c\ eff}$   
Ø Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace  $A_{c\ eff}$   
Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
Psi =  $1 - \beta \cdot 12 \cdot (S_{sr}/S_s)^2 = 1 - \beta \cdot 12 \cdot (f_{ctm}/S_2)^2 = 1 - \beta \cdot 12 \cdot (M_{fess}/M)^2$   
e sm Deformazione unitaria media tra le fessure. Il valore limite =  $0.4 \cdot S_s/E_s$  è tra parentesi  
srm Distanza media tra le fessure [mm]  
wk Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure =  $1.7 \cdot e \cdot sm \cdot srm$ . Valore limite tra parentesi  
MX fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]  
MY fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-3.9	-2.8	0.217	21	60.0	0.779	0.00091 (0.00047)	188	0.290 (0.30)	1548.38	0.00

### 11.4.1. Riepilogo armature

Platea di varo:

Elemento strutturale	Armatura Principale	Armatura secondaria
Sez.170cm (i primi 5m dalla sezione 170cm)	$\phi 22/10 + \phi 20/10$ sup. longitudinale $\phi 22/10$ inf. longitudinale	$\phi 16/20$ sup. e inf. trasversale
Sez.170cm (dopo 5m)	$\phi 22/10$ sup. longitudinale $\phi 22/10$ inf. longitudinale	$\phi 16/20$ sup. e inf. trasversale

### 11.5. Muro reggispinta

Durante l'infissione vengono ad aggiungersi alle forze che si oppongono all'avanzamento della struttura anche gli attriti laterali. La massima reazione del terreno a tergo della parete di spinta viene valutata in funzione dell'angolo di attrito.

La spinta massima sul monolite in fase di infissione deve essere equilibrata dalla spinta passiva del terreno retrostante al muro reggispinta, valutata sull'altezza del muro.

Il coefficiente di spinta passiva è determinato secondo al teoria di Caquot-Kerisel ipotizzando una superficie di rottura del terreno di tipo curvilineo. Si ipotizza inoltre l'attrito tra terreno e muro pari all'angolo di attrito del terreno ( $\delta=\phi'$ ). Si riporta di seguito il grafico utilizzato per il calcolo del coefficiente di spinta passivo. Si ricava un valore pari a  $K_p=7.8$ .

*S. Rampello, L. Callisto, L. Masini*

13

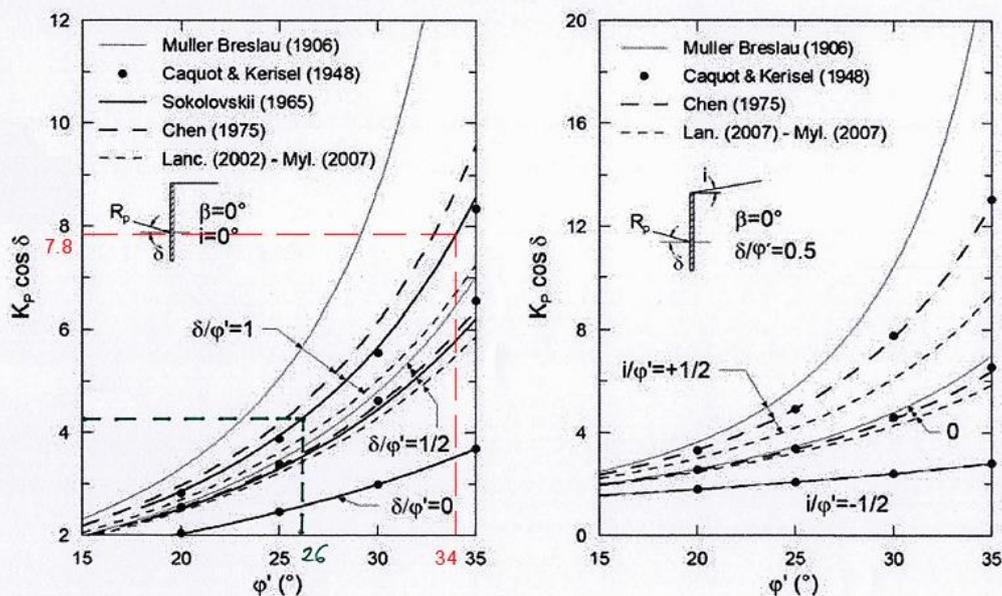
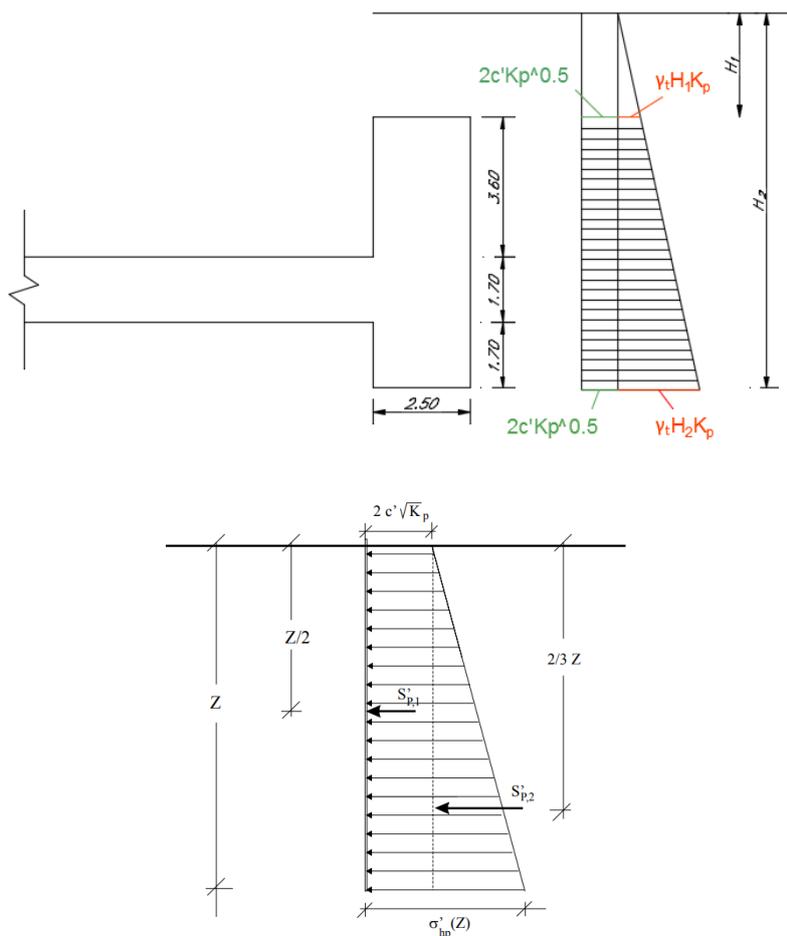


Figura 5: Confronto tra i valori di  $K_p \cdot \cos \delta$  ottenuti in condizioni statiche da alcune soluzioni di letteratura.

**Figura 35 Determinazione del coefficiente di spinta passiva.**

Per il calcolo della spinta passiva si fa riferimento al seguente schema.



*Figura 13.19 – Diagramma di spinta passiva in un terreno dotato di coesione e attrito*

**Figura 36 Schema di calcolo della spinta passiva.**

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	98 di 123

Per il calcolo dell'armatura orizzontale si assume l'ipotesi che la spinta venga ripartita uniformemente sull'intera lunghezza della parete considerando l'interasse massimo tra i martinetti come distanza tra due appoggi.

Assumendo il valore massimo di pressione unitaria:

$$p = S_T / L_{ms}$$

il momento e il taglio considerando la struttura di ripartizione come una trave continua su più appoggi, i cui appoggi sono costituiti dai martinetti valgono:

$$M = pl^2 / 12$$

$$T = pl / 2$$

con  $l$  = interasse martinetti

Si ha:

Verifica del muro reggispinta

$S_T = F_{ii} + F_{ie}$	=	20317	[kN]	Spinta totale di infissione
$\gamma_{SLU}$	=	1.5	[-]	Coefficiente moltiplicativo dei carichi
$S_{T,d} = S_T \times \gamma_{SLU}$	=	30475	[kN]	Spinta di progetto
$H_1$	=	0	[m]	Inizio muro reggispinta
$H_2$	=	7	[m]	Fine muro reggispinta
$L_{ms}$	=	9.88	[m]	Lunghezza muro di spinta
$K_p$	=	7.8	[-]	Coefficiente di spinta passiva
$\gamma_t$	=	20	[kN/m <sup>3</sup> ]	Peso specifico terreno
$\sigma_{p1} = K_p \times \gamma_t \times H_1 + 2c' \times K_p^{0.5}$	=	0	[kN/m <sup>2</sup> ]	Pressione dovuta alla spinta passiva in testa al muro
$\sigma_{p2} = K_p \times \gamma_t \times H_2 + 2c' \times K_p^{0.5}$	=	1092	[kN/m <sup>2</sup> ]	Pressione dovuta alla spinta passiva alla base del muro
$R = (\sigma_{p1} + \sigma_{p2}) \times L_{ms} \times (H_2 - H_1) / 2$	=	37761	[kN]	Spinta passiva resistente
$FS = R / S_{T,d}$	=	1.239	[-]	Coefficiente di sicurezza
$p = S_{T,d} / L_{ms}$	=	3085	[kN/m]	Pressione agente sul muro reggispinta al metro
$l$	=	4	[m]	interasse martinetti
$M_{SLU} = 1/12 p l^2$	=	4113	[kNm]	Momento sul muro reggispinta
$T_{SLU} = 1/2 p l$	=	6169	[kN]	Taglio sul muro reggispinta
$m_{SLU} = M_{SLU} / (H_2 - H_1)$	=	588	[kNm/ml]	Momento sul muro reggispinta al metro
$t_{SLU} = T_{SLU} / (H_2 - H_1)$	=	881	[kN/ml]	Taglio sul muro reggispinta al metro

Per le verifiche agli SLE si considerano a favore di sicurezza le sollecitazioni  $SLU/1.2=490$  kNm.

La sezione è armata con 1 $\phi$ 24/10 esterni e interni e spille  $\phi$ 12 e passo 20/40 cm.

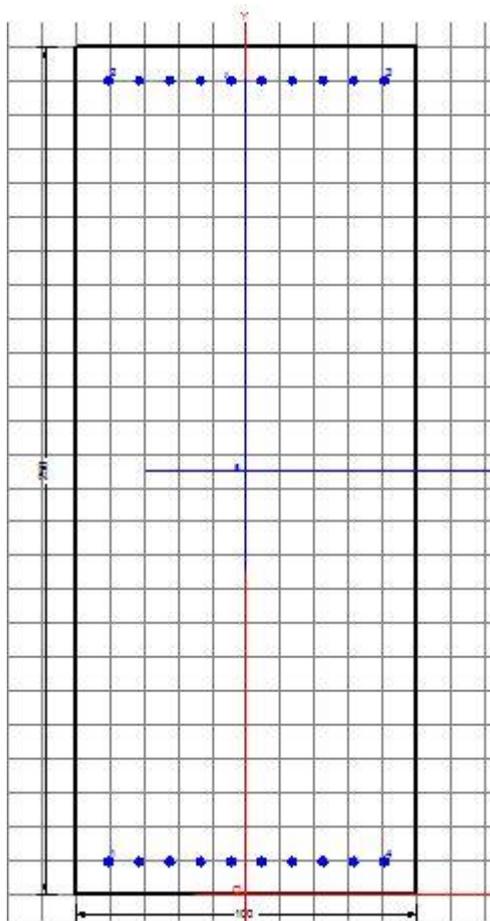
SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311  
Relazione di calcolo sottovia e ponte canale

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	100 di 123

### Verifica a flessione SLU

Considerando:

- $B = 1000 \text{ mm}$ ;
- $H = 2500 \text{ mm}$ ;
- $c = 60 \text{ mm}$ ;
- $A_s = 1\phi 24/10$
- $A'_s = 1\phi 24/10$



**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	101 di 123

#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di calcolo fcd:	14.160 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	0.000 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.560 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00 daN/cm <sup>2</sup>
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300 mm
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00	
Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50	

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	250.0
3	50.0	250.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-40.4	9.6	24
2	-40.4	240.4	24
3	40.4	240.4	24
4	40.4	9.6	24

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	102 di 123

### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre  
 N°Barra Ini. Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione  
 N°Barra Fin. Numero della barra finale cui si riferisce la generazione  
 N°Barre Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione  
 Ø Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	24
2	2	3	8	24

### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
 My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
 Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
 Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	588.00	0.00	0.00	0.00

### COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
 Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
 My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione) con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	490.00 (3036.81)	0.00 (0.00)

### RISULTATI DEL CALCOLO

#### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 8.4 cm  
 Interferro netto minimo barre longitudinali: 6.6 cm

### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
 Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 N ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
 Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	103 di 123

My ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
 As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	588.00	0.00	0.00	4148.92	0.00	7.056	45.2(35.6)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00336	-0.02822	-50.0	250.0	0.00053	-40.4	240.4	-0.06750	-40.4	9.6

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro aX+bY+c=0 nel rif. X,Y,O gen.  
 x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
 C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000294747	-0.070329575	0.047	0.700

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
 Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
 Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
 Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
 Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
 Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
 As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
 D barre Distanza tre le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
 Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1\*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	0.76	-50.0	250.0	-47.9	31.4	9.6	2610	45.2	9.0	0.50

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE**

Ver. La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a fctm  
 S1 Esito della verifica  
 Massima tensione [Mpa] di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione non fessurata

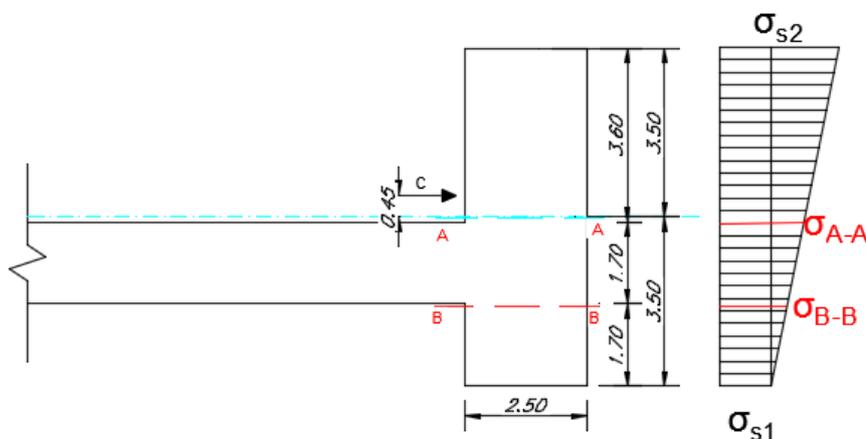
**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	104 di 123

S2	Minima di trazione [Mpa] del cls. (in sezione non fessurata) nella fibra più interna dell'area Ac eff
k2	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata
k3	= $(S1 + S2)/(2*S1)$ con riferimento all'area tesa Ac eff
Ø	Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
Cf	Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
Psi	= $1 - \text{Beta}12*(Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12*(fctm/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12*(Mfess/M)^2$
e sm	Deformazione unitaria media tra le fessure. Il valore limite = $0.4*Ss/Es$ è tra parentesi
srn	Distanza media tra le fessure [mm]
wk	Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e * sm * srn$ . Valore limite tra parentesi
MX fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]
MY fess.	Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srn	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.4	-0.3	0.224	24	84.0	-18.205	0.00010 (0.00010)	310	0.050 (0.30)	3036.81	0.00

Per il calcolo dell'armatura verticale si assume la configurazione seguente:



**Figura 37 Schema di calcolo armature verticali**

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	105 di 123

Al fine di valutare le sollecitazioni nelle sezioni critiche della parete di spinta si fa riferimento ad un diagramma della reazione del terreno fittizio. Di seguito si valutano il valor medio della reazione del terreno, le pressioni in testa e al piede del muro e il momento di verifica nella sezione B calcolato a favore di sicurezza:

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	106 di 123

**Verifica del muro reggispinta (armature orizzontali)**

$S_T = F_{ii} + F_{ie}$	=	20317	[kN]	Spinta totale di infissione
$\gamma_{SLU}$	=	1.5	[-]	Coefficiente moltiplicativo dei carichi
$S_{T,d} = S_T \times \gamma_{SLU}$	=	30475	[kN]	Spinta di progetto
$h_{ms}$	=	7	[m]	Altezza muro di spinta
$L_{ms}$	=	9.88	[m]	Lunghezza muro di spinta
$b_s$	=	0.45	[m]	Inizio muro reggispinta
$\sigma_{tm} = S_{T,d} / (L_{ms} \times h_{ms})$	=	441	[kN/m <sup>2</sup> ]	
$\sigma_{1s} = \sigma_{tm} - S_{T,d} \times b_s / (L_{ms} \times h_{ms}^2 / 6)$	=	270.7	[kN/m <sup>2</sup> ]	
$\sigma_{2s} = \sigma_{tm} + S_{T,d} \times b_s / (L_{ms} \times h_{ms}^2 / 6)$	=	610.6	[kN/m <sup>2</sup> ]	
$H_A$	=	3.6	[m]	Altezza sezione di verifica A-A
$H_B$	=	1.7	[m]	Altezza sezione di verifica B-B
$\sigma_{A-A}$	=	435.8	[kN/m <sup>2</sup> ]	Pressione media dovuta alla spinta passiva nella sezione A-A
$\sigma_{B-B}$	=	353.2	[kN/m <sup>2</sup> ]	Pressione media dovuta alla spinta passiva nella sezione B-B
$M_{A-A}$	=	3579.2	[kNm/m]	Momento massimale al muro sopra
$M_{B-B}$	=	430.90	[kNm/m]	Momento massimale al muro sotto
$V_{A-A}$	=	1884	[kN/m]	Taglio sezione A-A
$V_{B-B}$	=	530.3	[kN/m]	Taglio sezione B-B

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	107 di 123

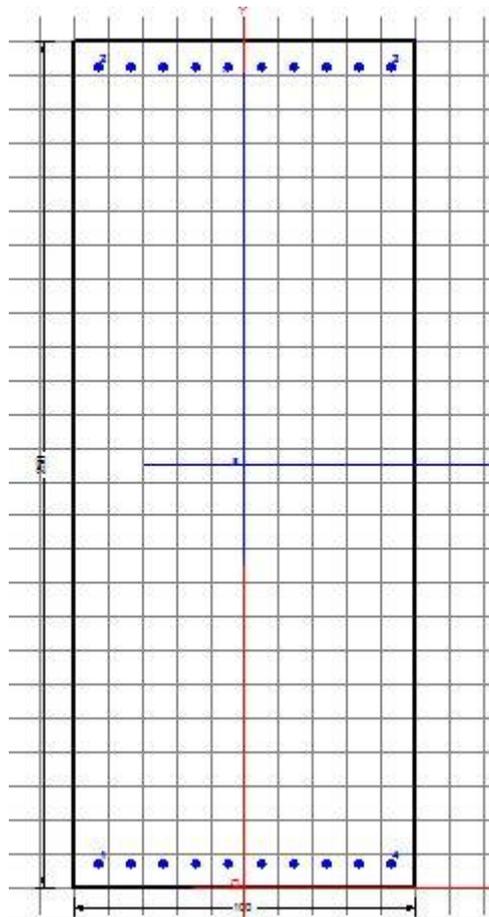
**Verifica a flessione SLU**

Considerando:

- $B = 1000 \text{ mm};$
- $H = 2500 \text{ mm};$
- $c = 60 \text{ mm};$
- $A_s = 1\phi 24/10$
- $A'_s = 1\phi 24/10$

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	108 di 123



#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Moderat. aggressive
Riferimento Sforzi assegnati:	Assi x,y principali d'inerzia
Riferimento alla sismicità:	Zona non sismica

#### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C25/30
	Resis. compr. di calcolo fcd:	14.160 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	0.000 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	109 di 123

Modulo Elastico Normale Ec:	31475.0	MPa
Resis. media a trazione fctm:	2.560	MPa
Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00	
Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	150.00	daN/cm <sup>2</sup>
Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.300	mm

ACCIAIO -	Tipo:	B450C	
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00	MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00	MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30	MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30	MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068	
	Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito	
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1*\beta_2$ :	1.00	
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1*\beta_2$ :	0.50	

#### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio:	Poligonale
Classe Conglomerato:	C25/30

N°vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-50.0	0.0
2	-50.0	250.0
3	50.0	250.0
4	50.0	0.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-42.8	7.2	24
2	-42.8	242.8	24
3	42.8	242.8	24
4	42.8	7.2	24

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	4	8	24
2	2	3	8	24

#### ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	110 di 123

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	3579.20	0.00	0.00	0.00

**COMB. FREQUENTI (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	2982.66 (3052.37)	0.00 (0.00)

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.0 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.1 cm

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000  
As Tesa Area armature [cm²] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	3579.20	0.00	0.00	4205.33	0.00	1.175	45.2(35.9)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	111 di 123

Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00286	-0.02819	-50.0	250.0	0.00077	-42.8	242.8	-0.06750	-42.8	7.2

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000289781	-0.069586426	0.041	0.700

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE**

Ver S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
Xc max, Yc max Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
Xs min, Ys min Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff. Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff. Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
D barre Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
Beta12 Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre Beta1\*Beta2

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	4.51	50.0	250.0	-287.9	-23.8	7.2	2375	45.2	9.5	0.50

**COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE**

La sezione viene assunta sempre fessurata anche nel caso in cui la trazione minima del calcestruzzo sia inferiore a  $f_{ctm}$

Ver. Esito della verifica  
S1 Massima tensione [Mpa] di trazione del calcestruzzo, valutata in sezione non fessurata  
S2 Minima di trazione [Mpa] del cls. (in sezione non fessurata) nella fibra più interna dell'area Ac eff  
k2 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata  
k3 =  $(S1 + S2)/(2*S1)$  con riferimento all'area tesa Ac eff  
Ø Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff  
Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa  
Psi =  $1 - Beta12*(Ssr/Ss)^2 = 1 - Beta12*(f_{ctm}/S2)^2 = 1 - Beta12*(M_{fess}/M)^2$   
e sm Deformazione unitaria media tra le fessure. Il valore limite =  $0.4*Ss/Es$  è tra parentesi  
srm Distanza media tra le fessure [mm]  
wk Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure =  $1.7 * e * sm * srm$ . Valore limite tra parentesi  
MX fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse X [kNm]  
MY fess. Componente momento di prima fessurazione intorno all'asse Y [kNm]

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-2.5	-2.0	0.226	24	60.0	0.476	0.00069 (0.00058)	253	0.295 (0.30)	3052.37	0.00

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	112 di 123

*Verifica di resistenza a taglio*

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	113 di 123

### Caratteristiche materiali

Cls  $R_{ck}$

Cls  condizioni calcestruzzo

Acciaio 1  acciaio barre longitudinali

Acciaio 2  acciaio armature trasversali

$\gamma_c$   coefficiente parziale relativo al calcestruzzo

$\gamma_s$   coefficiente parziale relativo all'acciaio

### Geometrie sezione

$b_w$   mm larghezza dell'anima resistente (larghezza minima d'anima)

$d$   mm altezza utile della sezione

$A_c$   mm<sup>2</sup> area della sezione di calcestruzzo

### Caratteristiche armature

$n_{bl}$   numero di barre longitudinali

$\varnothing_{bl}$   mm diametro delle barre longitudinali

$n_{bw}$   numero di bracci delle staffe

$\varnothing_{st}$   mm diametro delle staffe

$s_{st}$   mm passo delle staffe

$\alpha$   ° inclinazione delle staffe ( $\alpha=90^\circ$  per staffe ortogonali all'asse)

### Caratteristiche sollecitazioni

$N_{Ed}$   KN sforzo normale di calcolo (+ per compressione)

$V_{Ed}$   KN taglio di calcolo

$N_{Rd}$  40338.0 KN sforzo normale di compressione massimo

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	114 di 123

### Dati traliccio resistente

$\theta$  22.00 ° inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse

$\text{ctg}\theta$  2.48 (il valore deve essere compreso fra 1.0 e 2.5)

Lo sforzo normale agente è "significativo" (vedi par. 4.1.2.1.3.2 NTC)

Sì

No

$\tau$  N/mm<sup>2</sup> tensione tangenziale corda baricentrica

$\sigma_1$  N/mm<sup>2</sup> tensione principale di trazione sulla corda baricentrica

$\text{ctg}\theta_1$  valore limite dell'inclinazione delle bielle

### Valore di verifica del taglio resistente

$V_{Rd}$  625.7 KN taglio resistente per elemento privo di armatura trasversale

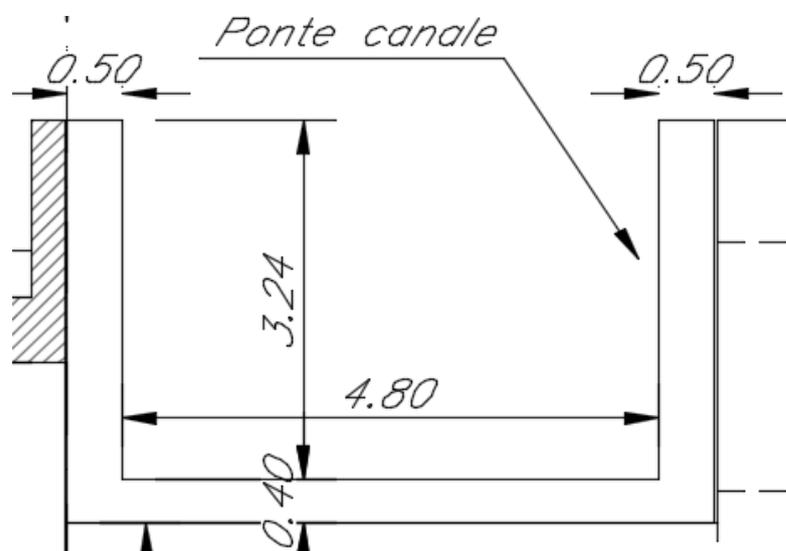
$V_{Rd}$  2994.4 KN taglio resistente per elemento con armatura trasversale

### 11.5.1. Riepilogo armature

Elemento strutturale	Armatura verticale	Armatura orizzontale	Specificata armatura a taglio
muro	1 $\phi$ 24/10 esterni e interni	1 $\phi$ 24/10 esterni e interni	spille $\phi$ 12/20/40

## 12.PONTE CANALE

In adiacenza all'impalcato ferroviario viene realizzato un ponte-canale che consente di ripristinare la continuità dello scolmatore esistente lungo il lato est della ferrovia. La luce di calcolo è pari a 6.15 m. La geometria della sezione oggetto di verifica è la seguente:



**Ponte-canale: sezione di verifica**

### 12.1. ANALISI DEI CARICHI

Nell'analisi strutturale del ponte-canale si sono considerati il peso proprio ed il sovraccarico dato dal massimo livello di allagamento previsto, pari a 55.81 m s.l.m.

#### 12.1.1. *Peso proprio*

Per la determinazione del peso proprio si considera la sezione geometrica avente area pari a 5,556 m<sup>2</sup>.

Il peso proprio a metro risulta pari a:  $5,556 \times 25 = 138.89$  kN/m.

### **12.1.2. Sovraccarico**

E' dato dal massimo livello d'acqua che può essere presente nel ponte-canale. Considerando, a favore di sicurezza, una sezione idraulica massima di area pari a  $2.15 \times 4.8 \text{ m}^2$ , si ottiene un sovraccarico dovuto al peso dell'acqua pari a 103.2 kN/m.

### **12.2. Sollecitazioni di progetto**

In direzione longitudinale:

Utilizzando i coefficienti di sicurezza 1,3 per il peso proprio e 1,5 per il sovraccarico, si determinano le azioni di progetto:

$$q_{SLU} = 335.35 \text{ kN/m};$$

$$q_{SLE} = 243.09 \text{ kN/m}$$

Il momento in campata si valuta con  $ql^2/8$ .

$$M_{SLU} = 1585.5 \text{ kNm}$$

$$M_{SLE} = 1148.85 \text{ kNm}$$

Il momento di continuità si valuta con  $ql^2/12$  e il taglio all'appoggio con  $ql/2$ .

$$M_{SLU} = -1056.98 \text{ kNm}$$

$$T_{SLU} = 1031.2 \text{ kN}$$

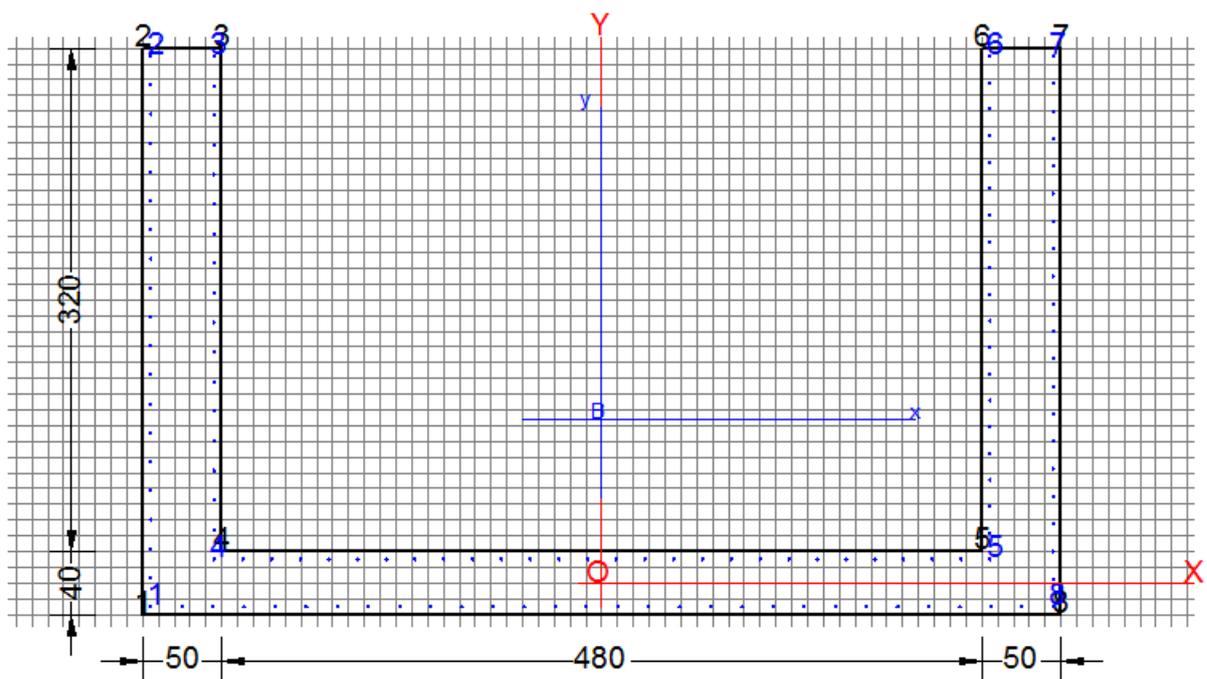
$$M_{SLE} = -765.9 \text{ kNm}$$

### 12.3. Verifiche

In direzione longitudinale:

La verifica è stata effettuata con RC-SEC.

Si dispongono armature correnti  $\phi$  12 mm come da figura seguente e staffe  $\phi$  12 mm. Trasversalmente, all'interno della soletta, si dispongono armature 1 + 1  $\phi$  12 mm / 20 cm.



#### DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

Metodo di calcolo resistenza:	Stati Limite Ultimi
Tipologia sezione:	Sezione generica
Normativa di riferimento:	N.T.C.
Percorso sollecitazione:	A Sforzo Norm. costante
Condizioni Ambientali:	Molto aggressive

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	118 di 123

Riferimento Sforzi assegnati: Assi x,y principali d'inerzia

### CARATTERISTICHE DI RESISTENZA DEI MATERIALI IMPIEGATI

CALCESTRUZZO -	Classe:	C32/40
	Resis. compr. di calcolo fcd:	18.810 MPa
	Resis. compr. ridotta fcd':	0.000 MPa
	Def.unit. max resistenza ec2:	0.0020
	Def.unit. ultima ecu:	0.0035
	Diagramma tensione-deformaz.:	Parabola-Rettangolo
	Modulo Elastico Normale Ec:	33643.0 MPa
	Resis. media a trazione fctm:	2.120 MPa
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
	Coeff. Omogen. S.L.E.:	15.00
ACCIAIO -	Tipo:	B450C
	Resist. caratt. snervam. fyk:	450.00 MPa
	Resist. caratt. rottura ftk:	450.00 MPa
	Resist. snerv. di calcolo fyd:	391.30 MPa
	Resist. ultima di calcolo ftd:	391.30 MPa
	Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068
	Modulo Elastico Ef	2000000 daN/cm <sup>2</sup>
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
	Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	1.00
	Coeff. Aderenza differito $\beta_1 \cdot \beta_2$ :	0.50
Sf limite S.L.E. Comb. Rare:	360.00 MPa	

### CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale  
Classe Conglomerato: C32/40

N° vertice:	X [cm]	Y [cm]
1	-290.0	-20.0

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	119 di 123

2	-290.0	340.0
3	-240.0	340.0
4	-240.0	20.0
5	240.0	20.0
6	240.0	340.0
7	290.0	340.0
8	290.0	-20.0

#### DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-285.0	-15.0	12
2	-285.0	335.0	12
3	-245.0	335.0	12
4	-245.0	15.0	12
5	245.0	15.0	12
6	245.0	335.0	12
7	285.0	335.0	12
8	285.0	-15.0	12

#### DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

N°Gen.	Numero assegnato alla singola generazione lineare di barre
N°Barra Ini.	Numero della barra iniziale cui si riferisce la generazione
N°Barra Fin.	Numero della barra finale cui si riferisce la generazione
N°Barre	Numero di barre generate equidistanti cui si riferisce la generazione
Ø	Diametro in mm delle barre della generazione

N°Gen.	N°Barra Ini.	N°Barra Fin.	N°Barre	Ø
1	1	8	28	12
2	4	5	26	12
3	1	2	18	12

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	120 di 123

4	3	4	16	12
5	5	6	18	12
6	7	8	19	12

**ST.LIM.ULTIMI - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
My Momento flettente [daNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia y  
Vx Componente del Taglio [kN] parallela all'asse princ.d'inerzia x

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	1585.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	-1056.00	0.00	0.00	0.00

**COMB. RARE (S.L.E.) - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA**

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baricentro (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [kNm] intorno all'asse x princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo superiore della sezione  
My Momento flettente [kNm] intorno all'asse y princ. d'inerzia (tra parentesi Mom.Fessurazione)  
con verso positivo se tale da comprimere il lembo destro della sezione

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	1148.00	0.00
2	0.00	-765.00	0.00

**RISULTATI DEL CALCOLO**

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	121 di 123

**Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate**

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 4.4 cm

Interferro netto minimo barre longitudinali: 15.6 cm

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE**

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
 N Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)  
 Mx Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My Momento flettente assegnato [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 N ult Sforzo normale ultimo [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)  
 Mx ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
 My ult Momento flettente ultimo [kNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
 Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My)  
 Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$   
 As Tesa Area armature [cm<sup>2</sup>] in zona tesa (solo travi). Tra parentesi l'area minima di normativa

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	1585.00	0.00	0.00	13331.01	-18.08	8.411	136.8(52.8)
2	S	0.00	-1056.00	0.00	0.00	-6818.85	-20.08	6.457	116.5(45.7)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
 ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
 Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
 Xs min Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys min Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 es max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
 Xs max Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)  
 Ys max Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	122 di 123

N°Comb	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	-0.01225	290.0	340.0	0.00299	285.0	335.0	-0.03275	-285.0	-15.0
2	0.00144	-0.02852	290.0	-20.0	0.00047	285.0	-15.0	-0.06750	-285.0	335.0

#### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a, b, c            Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,O gen.  
x/d                Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
C.Rid.             Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000187	0.000101805	-0.031168122	0.097	0.700
2	0.000000119	-0.000193994	-0.002478219	0.021	0.700

#### COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver                S = comb. verificata/ N = comb. non verificata  
Sc max            Massima tensione (positiva se di compressione) nel conglomerato [Mpa]  
Xc max, Yc max    Ascissa, Ordinata [cm] del punto corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)  
Sf min             Minima tensione (negativa se di trazione) nell'acciaio [Mpa]  
Xs min, Ys min    Ascissa, Ordinata [cm] della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)  
Ac eff.             Area di calcestruzzo [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerata aderente alle barre  
As eff.             Area barre [cm<sup>2</sup>] in zona tesa considerate efficaci per l'apertura delle fessure  
D barre            Distanza tra le barre tese [cm] ai fini del calcolo dell'apertura fessure  
Beta12            Prodotto dei coeff. di aderenza delle barre  $Beta1 \cdot Beta2$

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	0.93	290.0	340.0	-44.6	-285.0	-15.0	5565	33.9	16.8	1.00
2	S	0.41	290.0	-20.0	-72.0	-285.0	335.0	600	4.5	16.8	1.00

**SL03 - Nuovo sottopasso al km 10+311**  
**Relazione di calcolo sottovia e ponte canale**

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0300001	A	123 di 123

## Verifica a taglio

### Caratteristiche materiali

Cl<sub>s</sub> R<sub>ck</sub>

Cl<sub>s</sub>  condizioni calcestruzzo

Acciaio 1  acciaio barre longitudinali

Acciaio 2  acciaio armature trasversali

γ<sub>c</sub>  coefficiente parziale relativo al calcestruzzo

γ<sub>s</sub>  coefficiente parziale relativo all'acciaio

### Geometrie sezione

b<sub>w</sub>  mm larghezza dell'anima resistente (larghezza minima d'anima)

d  mm altezza utile della sezione

A<sub>c</sub>  mm<sup>2</sup> area della sezione di calcestruzzo

### Caratteristiche armature

n<sub>bl</sub>  numero di barre longitudinali

Ø<sub>bl</sub>  mm diametro delle barre longitudinali

n<sub>bw</sub>  numero di bracci delle staffe

Ø<sub>st</sub>  mm diametro delle staffe

s<sub>st</sub>  mm passo delle staffe

α  ° inclinazione delle staffe (α=90° per staffe ortogonali all'asse)

### Caratteristiche sollecitazioni

N<sub>Ed</sub>  KN sforzo normale di calcolo (+ per compressione)

V<sub>Ed</sub>  KN taglio di calcolo

N<sub>Rd</sub> 78352,0 KN sforzo normale di compressione massimo

### Dati traliccio resistente

θ  ° inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse

ctgθ 2,48 (il valore deve essere compreso fra 1.0 e 2.5)

Lo sforzo normale agente è "significativo" (vedi par. 4.1.2.1.3.2 NTC)

Sì

No

τ N/mm<sup>2</sup> tensione tangenziale corda baricentrica

σ<sub>t</sub> N/mm<sup>2</sup> tensione principale di trazione sulla corda baricentrica

ctgθ<sub>lim</sub> valore limite dell'inclinazione delle bielle

### Valore di verifica del taglio resistente

V<sub>Rd</sub>  KN taglio resistente per elemento privo di armatura trasversale

V<sub>Rd</sub>  KN taglio resistente per elemento con armatura trasversale