

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

SL02 Nuovo sottopasso al km 8+015

Relazione di calcolo sottovia

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 2 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. 23192/2019

File: IZ0900D26CLSL0200001A

n. Elab.:

INDICE

1.	INTRODUZIONE	4
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3.	PARAMETRI GEOTECNICI	6
3.1.	Stratigrafia di progetto	6
4.	MATERIALI	7
4.1.	Calcestruzzo	7
4.2.	Acciaio da armatura ordinaria	8
5.	CODICE DI CALCOLO	9
6.	MODELLO DI CALCOLO	10
6.1.	Geometria	10
6.2.	Modellazione dell'interazione suolo-struttura	14
7.	ANALISI DEI CARICHI	15
7.1.	Peso proprio della struttura (PP)	15
7.2.	Carichi permanenti portati (PERM)	15
7.3.	Ballast e Spinte Ballast sui piedritti (BALLAST & SPBSX & SPBDX)	16
7.4.	Spinta sulle pareti dovuta al terreno (SPTSX e SPTDX)	18
7.5.	Carichi ferroviari soprastanti (ACC1/ACC2)	19
7.6.	Carichi stradali interni (ACC1-VH e ACC2-VH)	23
7.7.	Spinta sui piedritti prodotta dal sovraccarico <i>LM71</i> (SASX e SADX / SASXLM71)	25
7.8.	Azione di frenatura e avviamento (AVV)	26
7.9.	Azioni indotte dalle variazioni termiche (TERM)	27
7.10.	Ritiro (RITIRO)	27

7.11.	Azioni sismiche.....	28
7.11.1.	Sovraspinta sismica del terreno (SISX).....	29
7.11.2.	Forze inerziali (INERZIEH e SISVER)	30
8.	COMBINAZIONE DEI CARICHI e sollecitazioni	33
8.1.	Verifiche	40
8.1.1.	Sezione 1 - soletta superiore appoggio destro	40
8.1.2.	Sezione 2 - soletta superiore mezzeria	45
8.1.3.	Sezione 3 - piedritto destro testa.....	49
8.1.4.	Sezione 4 - piedritto sinistro piede	54
8.1.5.	Sezione 5 - piedritto sinistro mezzeria	59
8.1.6.	Sezione 6 - soletta inferiore appoggio sinistro	63
8.1.7.	Sezione 7- soletta inferiore mezzeria.....	68
9.	Riepilogo armature – scatolare	74
10.	platea di varo e muro reggispinta.....	75
10.1.	Descrizione dell'opera	75
10.2.	Materiali.....	77
10.3.	Azioni e sollecitazioni.....	79
10.4.	Platea di varo.....	82
10.4.1.	Riepilogo armature	90
10.5.	Muro reggispinta.....	91
10.5.1.	Riepilogo armature	107

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 primo scatolare SL02.

Lo scatolare ha uno sviluppo longitudinale complessivo pari a circa 35.42m ed è suddiviso in due conci strutturali: il primo concio di lunghezza 25.51 verrà realizzato fuori sede e successivamente sarà spinto sotto binari il secondo concio di lunghezza 6.91 m verrà gettato in opera.

Le dimensioni interne B x H = 11.35 x 6.25m. La soletta superiore ha uno spessore di 1.0 m, i piedritti e la piastra di fondazione uguale hanno uno spessore costante di 1.0 m.

Il ricoprimento dello scatolare è pari a circa 2.16 m.

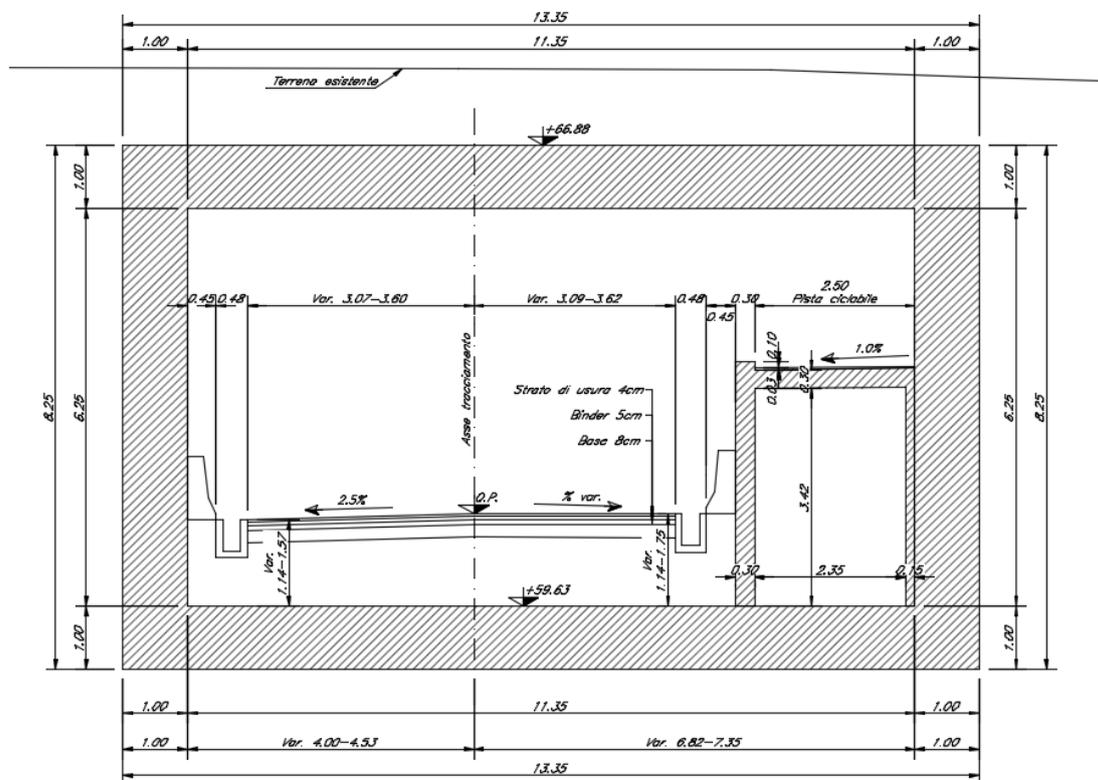


Figura 1: Sezione trasversale

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.

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 γ (kN/m ³)	Angolo di resistenza al taglio ϕ'	Coeseione efficace c' (MPa)	Modulo elastico di Young E_{op} (MPa)
1	Sabbia limosa /limo sabbioso	0	1,5	1,5	0,75	40	18	32	0	25 (*)
2	Ghiaia sabbiosa con ciottoli	1,5	30	28,5	14,25	75	20	38(**)	0	65
NOTE	(*) Da prove geofisiche									
	(**)Valore cautelativo definito sulla base delle prove in sito									

La presenza della falda non viene considerata poiché, trovandosi a quota +39.20 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 $\phi' = 35^\circ$

Coeseione $c' = 0$

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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	8 di 117

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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	9 di 117

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

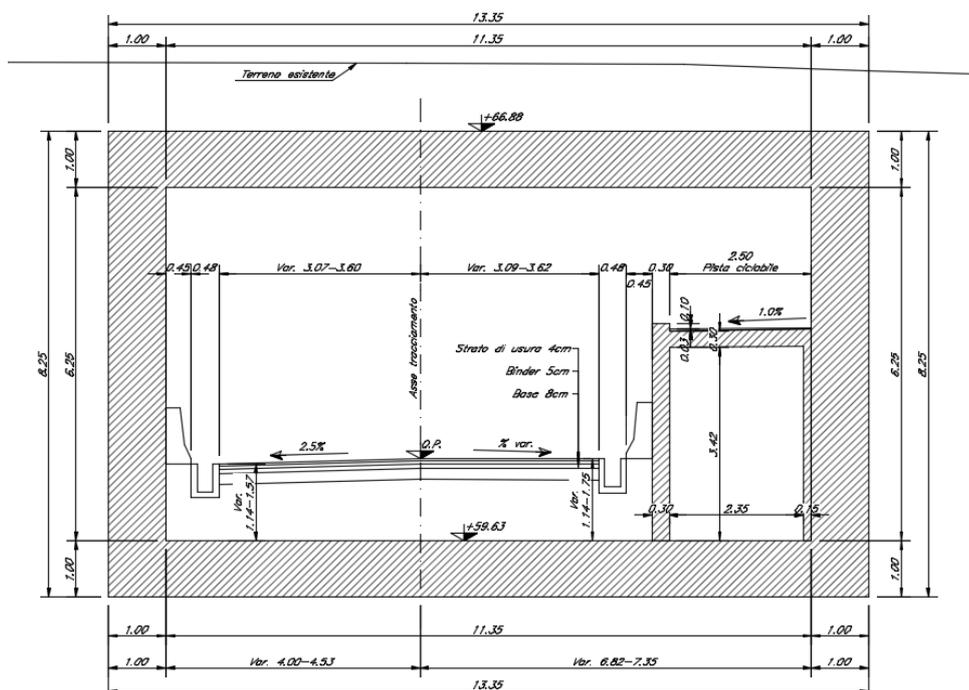


Figura 2: Geometria dell'opera

DATI GEOMETRICI			
Grandezza	Simbolo	Valore	U.M.
Larghezza totale	L _{tot}	13.35	m
Larghezza utile	L _{int}	11.35	m
Larghezza interasse	L _a	12.35	m
Spessore soletta superiore	S _s	1.0	m
Spessore piedritti	S _p	1.0	m
Spessore fondazione	S _f	1.0	m
Altezza totale	H _{tot}	8.25	m
Altezza libera	H _{int}	6.25	m
Spessore pavimentazione stradale superiore	H _p	0.00	m
Spessore medio del ballast (armamento ferroviario)	H _b	0.80	m
Spessore rinterro superiore	H _r	1.28	m

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	12 di 117

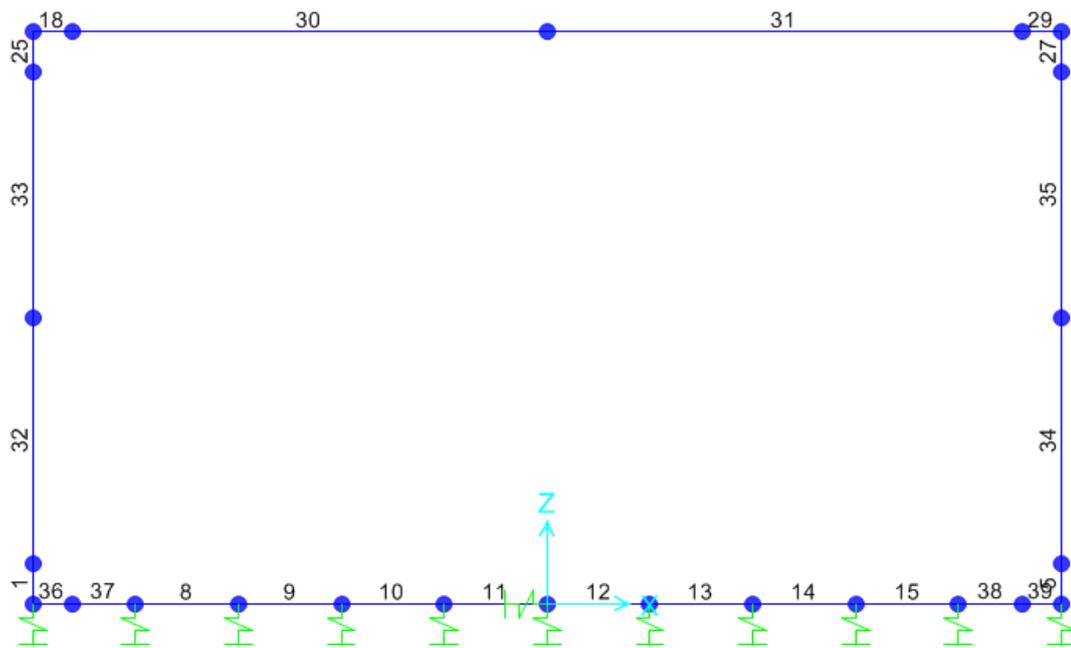


Figura 4: Numerazione dei frame nel modello strutturale

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	13 di 117

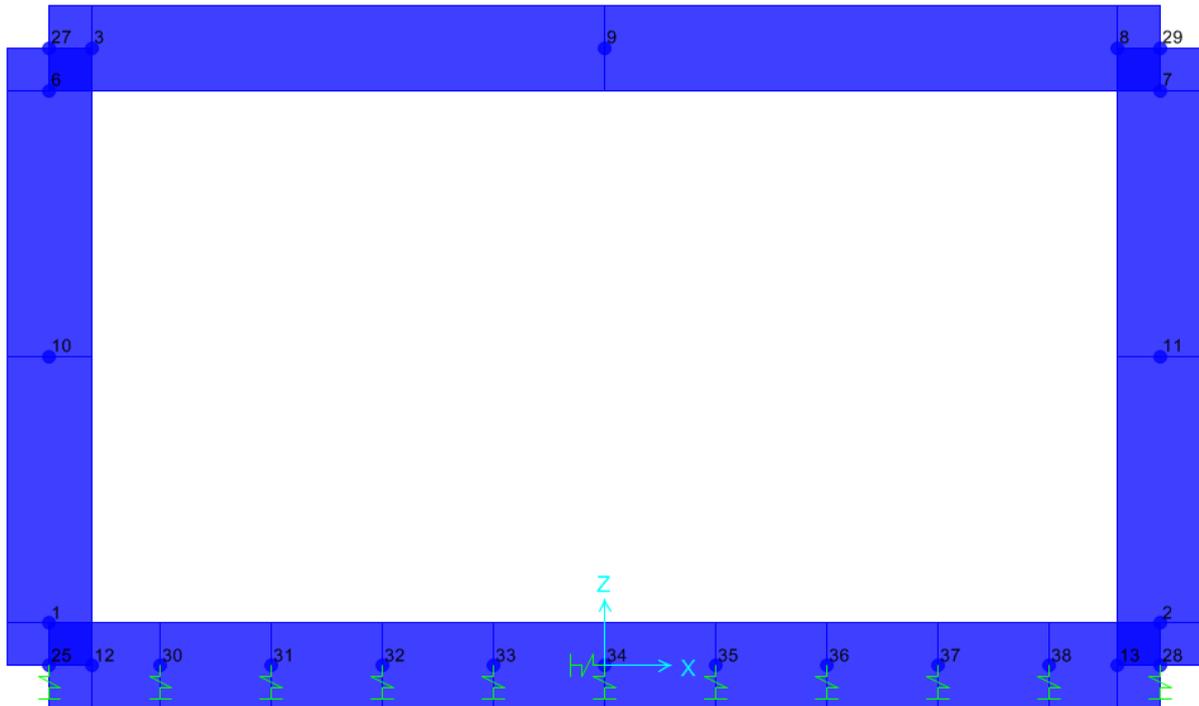


Figura 5: Vista estrusa del modello strutturale

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	65000,00	kN/m^2	
numero di molle	n	11,00	per unità di lunghezza	
costante molla	kv	15362	kN/m^3	(Vogt)
distanza intradosso fondazione da p.c.		10,41	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

$$K_{\text{centrale}} = K_s * (L_p/2 + L_{\text{int}} + L_p/2) / 10 = 18971 \text{ kN/m}$$

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

$$K_1 = K_3 = 2 * K_s * [(L_p/2 + L_{\text{int}} + L_p/2) / 10/2 + (L_p/2)] = 34334 \text{ kN/m}$$

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

$$K_5 = K_6 = K_{12} = K_{13} = 1.5 * K_{\text{centrale}} = 28458 \text{ kN/m}$$

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 1.28m 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.

$$F_{b_{27,29}} = 13.80 \text{ kN}$$

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.

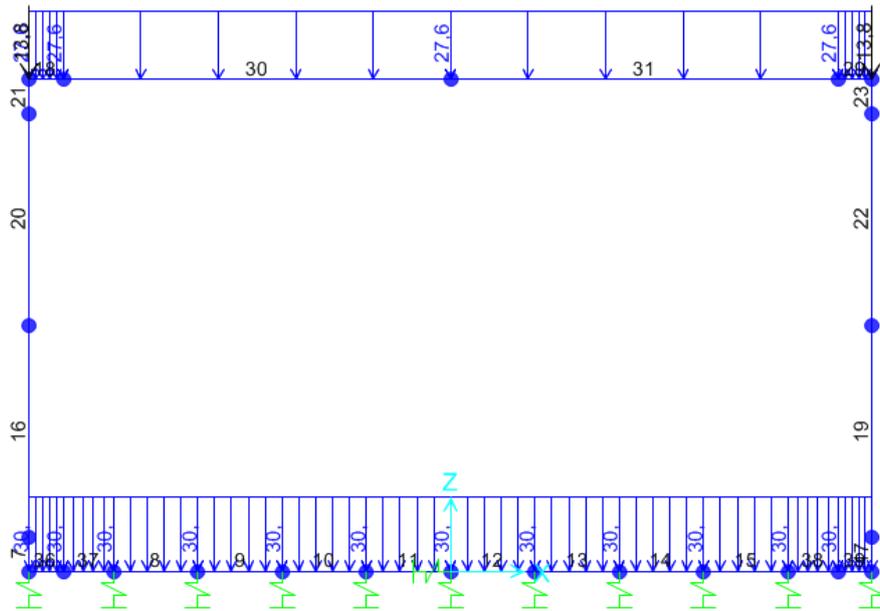


Figura 6: Carico permanente

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 $\gamma_{ball} = 18.00 \text{ kN/m}^3$.

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.

$$F_{b_{27,29}} = 3.05 \text{ kN}$$

Spinta semi spessore sol. inf.

$$F_{b_{25,28}} = 3.05 \text{ kN}$$

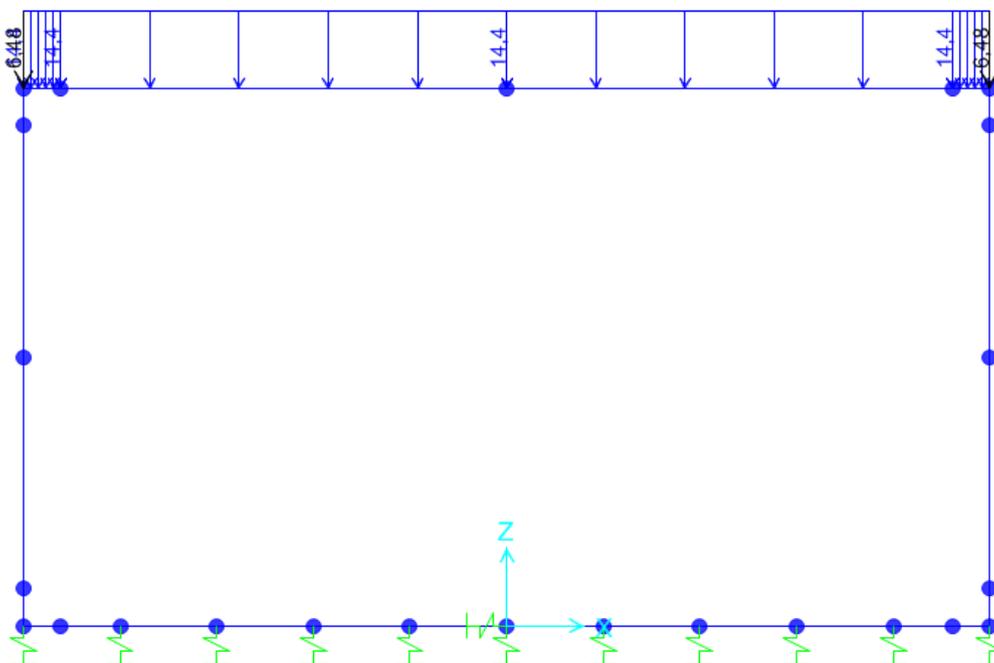


Figura 7: Carico verticale ballast

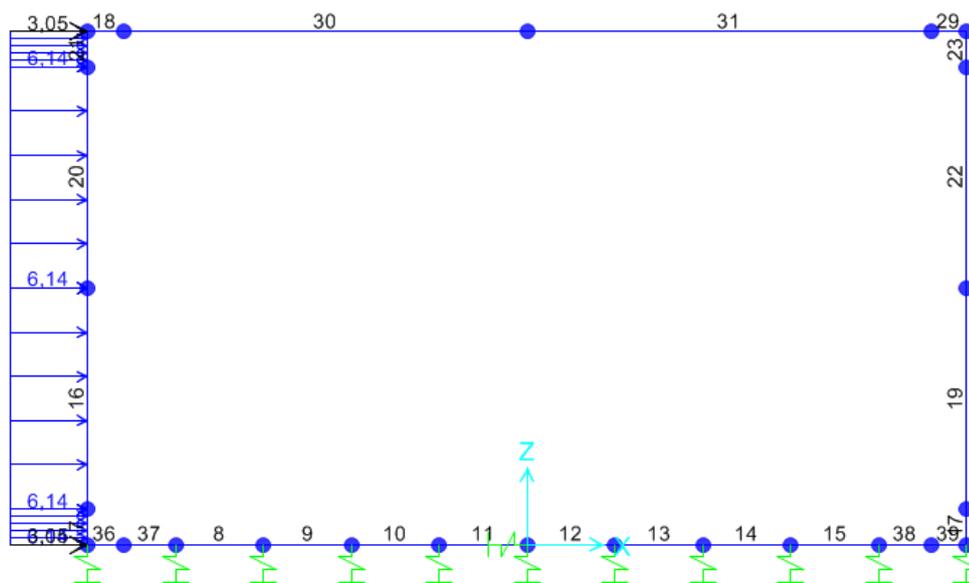


Figura 8: Spinte ballast sul piedritto sinistro (stesso per piedritto destro)

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:

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

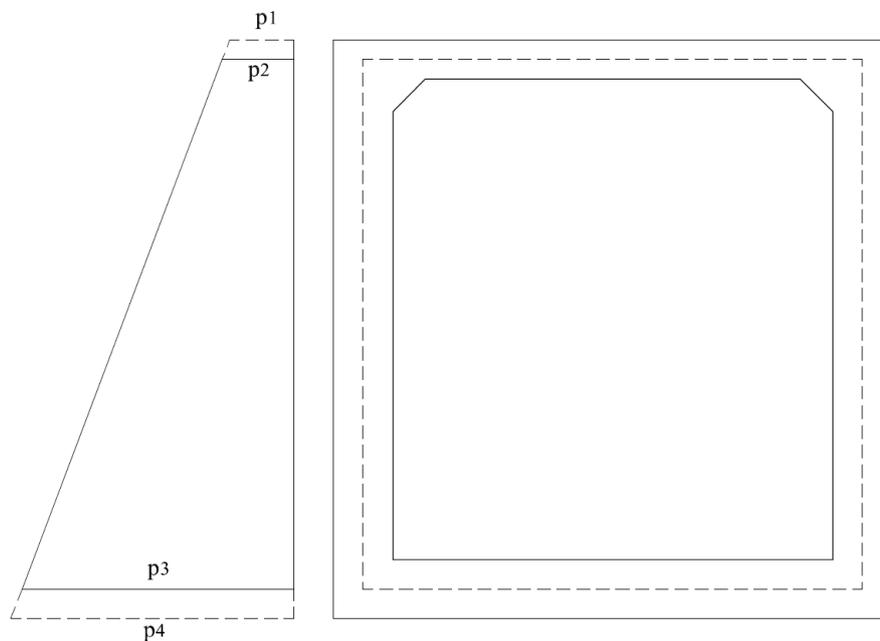


Figura 9: Spinte del terreno

Cond. STR			
p ₁ =	11.31	kN/m	Pressione estradosso soletta superiore
p ₂ =	15.47	kN/m	Pressione in asse soletta superiore
p ₃ =	75.75	kN/m	Pressione in asse soletta inferiore
p ₄ =	79.91	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.	$1/2 * (p_1 + p_2) * S_s/2$	6.69	kN	Spinta semispessore soletta superiore
Nodi inf.	$1/2 * (p_3 + p_4) * S_f/2$	38.92	kN	Spinta semispessore soletta inferiore

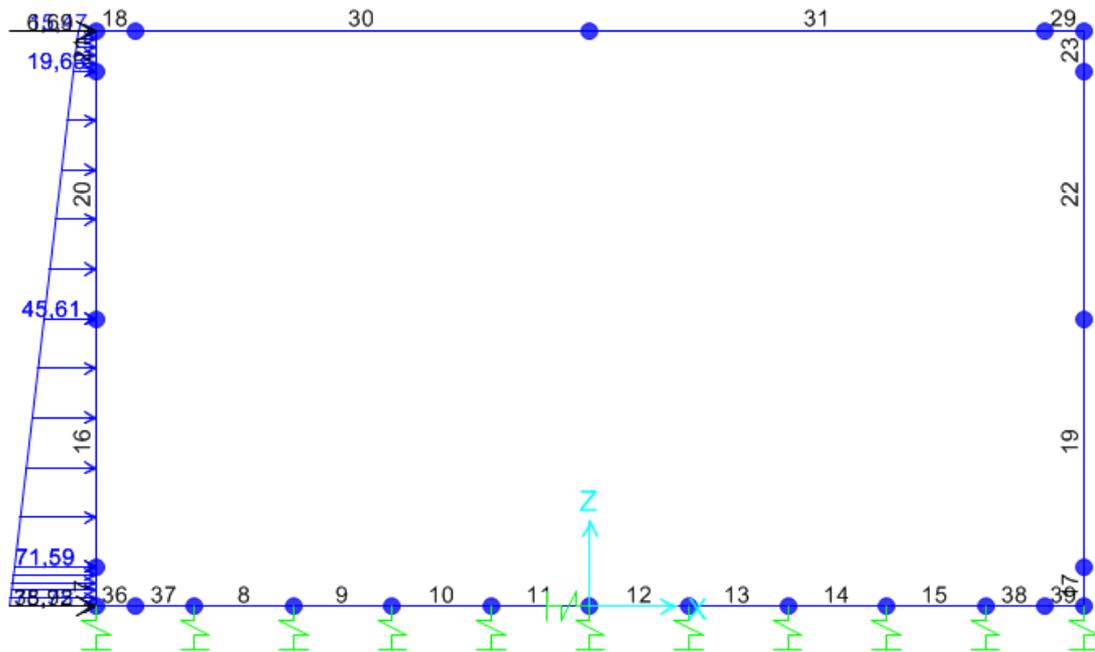
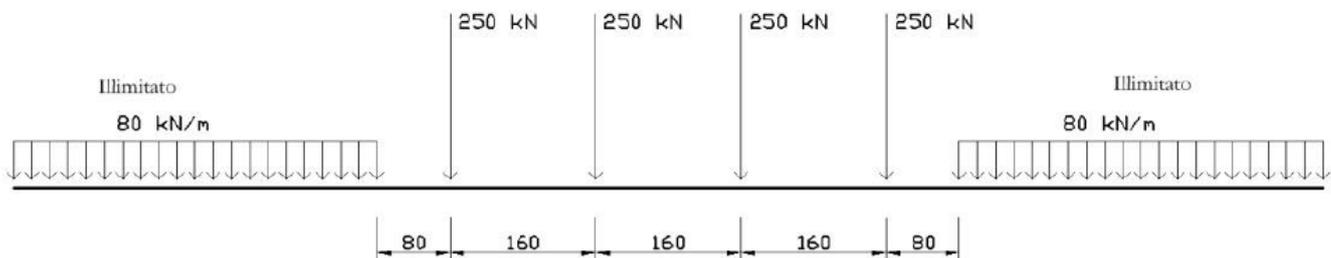


Figura 10: Spinte terre sul piedritto sinistro (stesso per piedritto destro)

7.5. Carichi ferroviari soprastanti (ACC1/ACC2)

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



$Q_{vk} = 250 \text{ kN}$ $q_{vk} = 80 \text{ kN/m}$

Figura 11: Treno di carico LM71

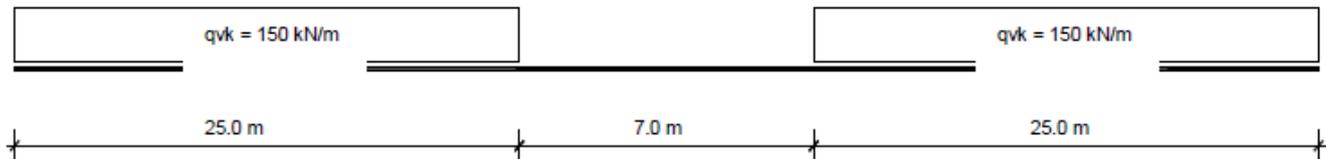


Figura 12: Treno di carico SW/2

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 “ α ”, variabile in funzione della tipologia di infrastruttura, e un coefficiente dinamico “ Φ ”, che tiene conto della natura dinamica del transito dei convogli.

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

Per linea con ridotto standard manutentivo, si assume il coefficiente Φ_3 , ridotto del 10%:

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

$\Phi_3 =$	1.262	
L_Φ	11.64	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.

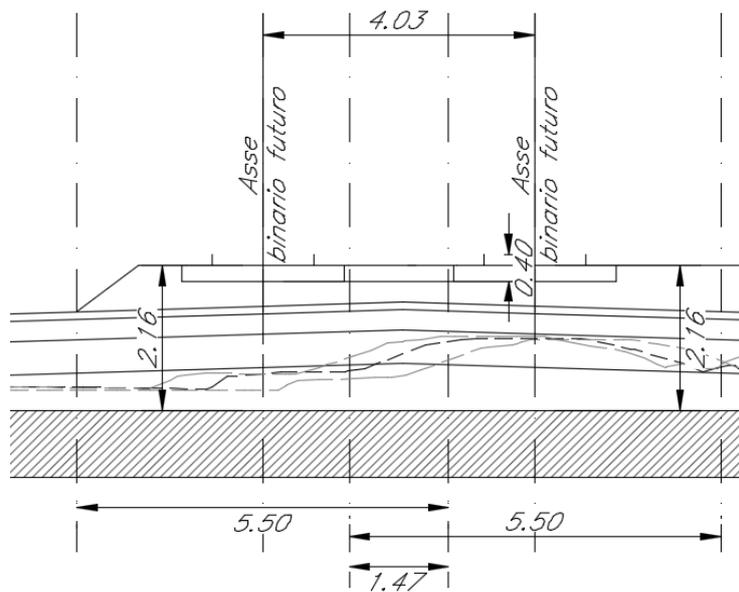
Si considera che i sovraccarichi ferroviari si distribuiscano attraverso il ricoprimento con una pendenza 1 a 4 all'interno del ballast, con un angolo di diffusione pari all'angolo di attrito interno del terreno nel sub-ballast, super compattato, rinterro e con la pendenza a 45° all'interno del CLS.

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

Diffusione del carico in senso trasversale		
$L_d = L_t + [(H_b - H_{tb})/4 + H_r * 2/3 + S_s/2] * 2$	5.50	m

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

Avendo posizionati i due binari a una distanza di 4.03m , abbiamo una sovrapposizione delle zone di distribuzione di 1.47cm come nella figura seguente:



Pertanto il carico ripartito, dovuto al treno LM71 (considerando il coefficiente di adattamento $\alpha=1.10$, il coefficiente dinamico $\Phi_3=1.262$ e considerando che la striscia di 1 metro che prendiamo in studio ricada sulla zona di sovrapposizione di 1.47 m), risulta:

Carico ripartito prodotto dalle forze concentrate		
$Q_{vk} = (4*250/6.40)*\alpha*\Phi_3/L_d$	78.88	kN/m ²
Carico ripartito prodotto dal carico distribuito		
$q_{vk} = (80*\alpha*\Phi_3)/L_d$	40.18	kN/m ²

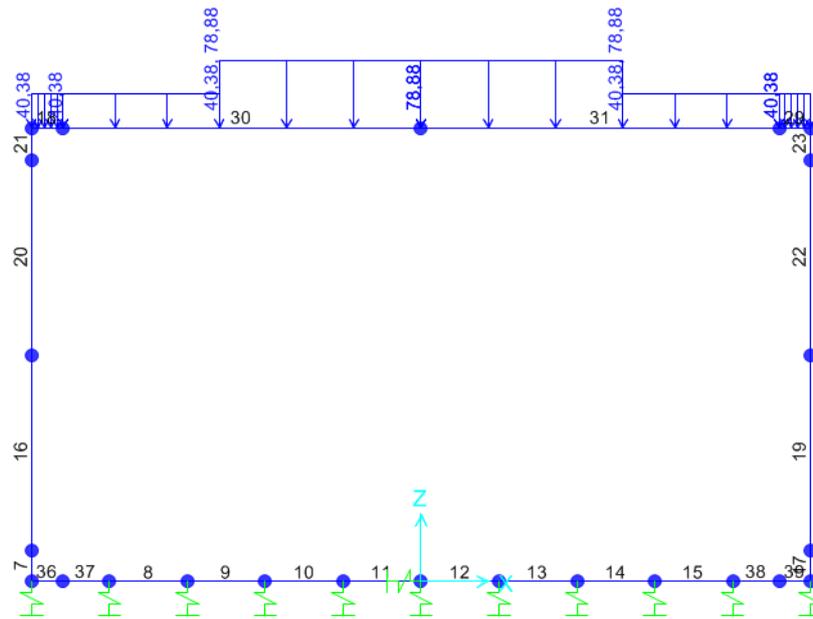


Figura 13: Carichi Treno LM71 condizione Momento massimo ACC1

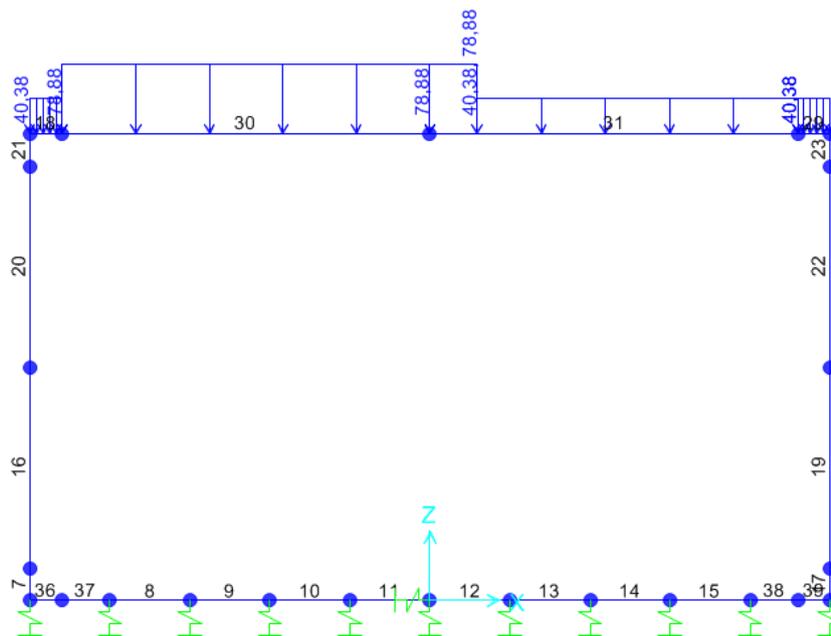


Figura 14: Carichi Treno LM71 condizione Taglio massimo ACC2

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:

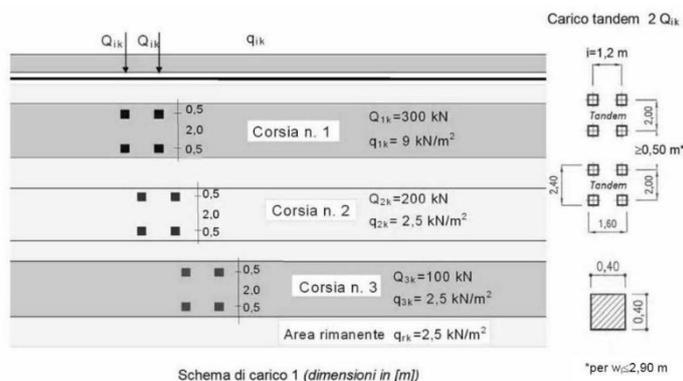


Figura 15 – NTC08- schema di carico 1

Sulla fondazione del muro si applica un carico uniformemente distribuito dovuto al traffico stradale. 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^2 .

Per massimizzare gli effetti del carico mobile in termini di sollecitazioni flettenti e taglio sugli elementi strutturali, sono state definite due distinte configurazioni di carico (ACC1, ACC2).

La prima, denominata ACC1, massimizza il momento flettente sul appoggio di solaio inferiore della struttura; si ottiene disponendo i carichi tandem di entrambe le corsie convenzionali disposte affiancate e centrate rispetto l'asse di simmetria verticale della struttura. Ai carichi tandem si sovrappone il carico distribuito di intensità pari a 9.00 kN/m^2 sulla corsia 1 e 2.50 kN/m^2 sulla corsia 2.

La configurazione ACC2 massimizza il momento flettente sul mezzera di solaio inferiore della struttura; le corsie convenzionali sono disposte affiancate ed allineate con il filo interno del piedritto sinistro. Ai carichi tandem si sovrappone il carico distribuito di intensità pari a 9.00 kN/m^2 sulla corsia 1 e pari a 2.5 kN/m^2 sulla corsia 2.

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IZ09

00

D26CL

SL0200001

A

24 di 117

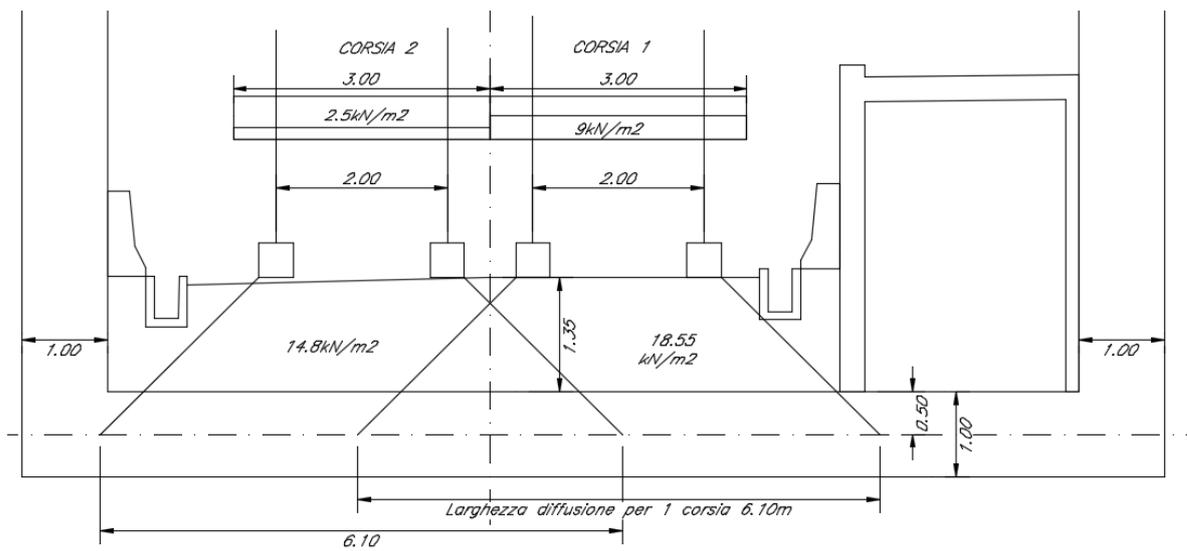


Figura 16: Schema di distribuzione del carico mobile considerato ACC1

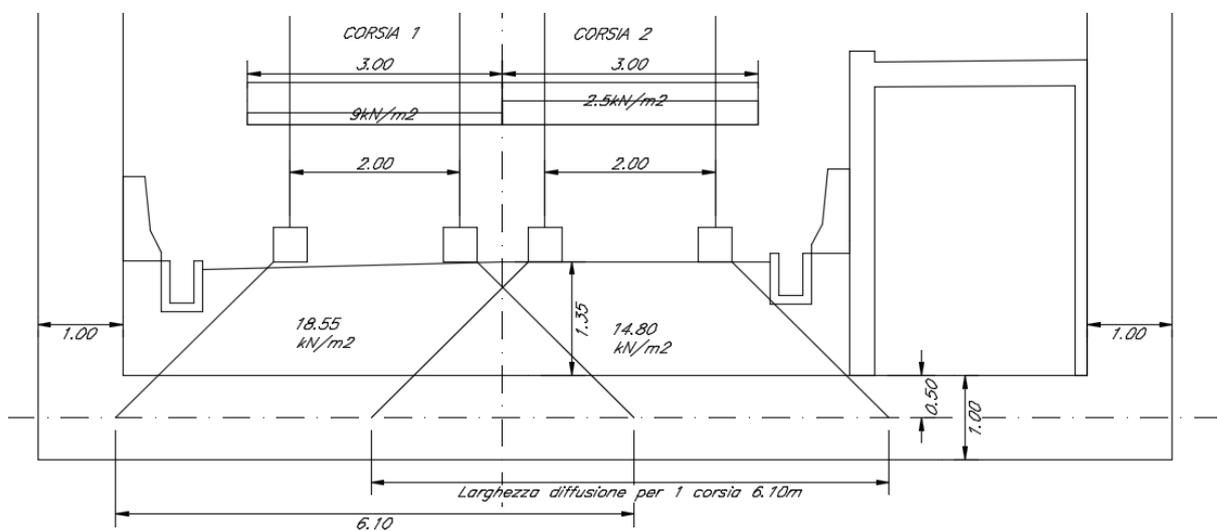


Figura 17: Schema di distribuzione del carico mobile considerato ACC2

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

Carico distribuito (80 kN/m)-SASX , SADX		
$q_h=(80*\alpha/L_d)*K_0$	21,82	kN/m
Carico puntuale ripartito (4*250/6.40 kN/m)-SASXLM71		
$Q_h=[4*250*\alpha/(L_d*6.40)]*K_0$	42,62	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		
$Q_h*S_s/2$	10.91	kN
Nodi sup.&inf (SASXLM71) sui nodi 25,27,28 e 29		
$Q_h*S_f/2$	21.31	kN

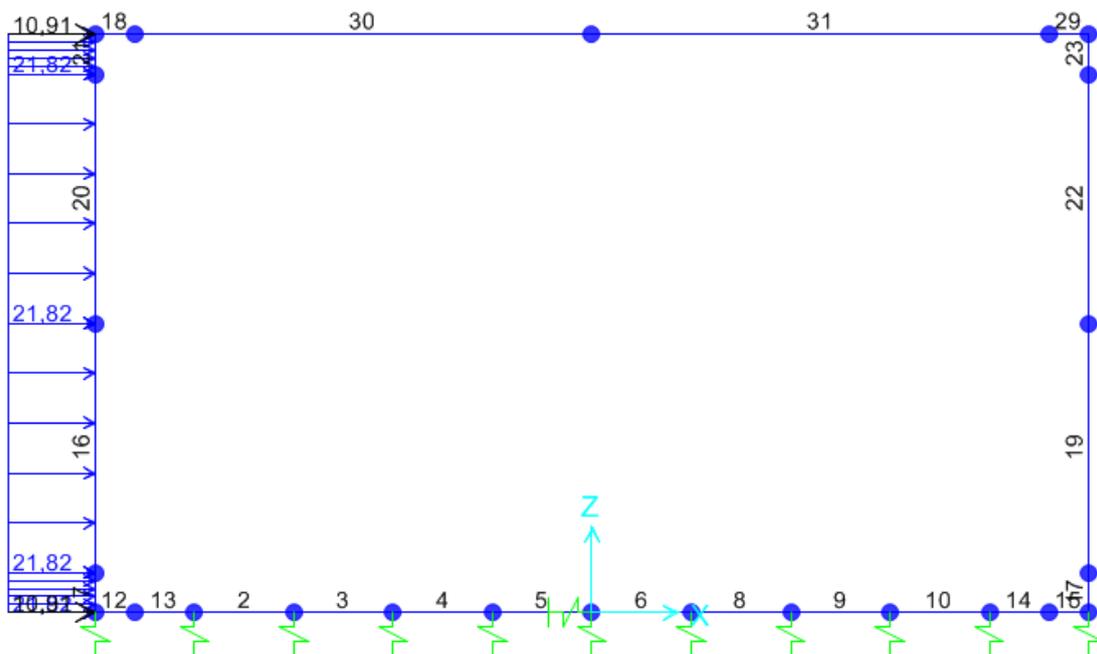


Figura 18: Spinta dal carico accidentale distribuito nel piedritto sinistra(stesso per piedritto destra)

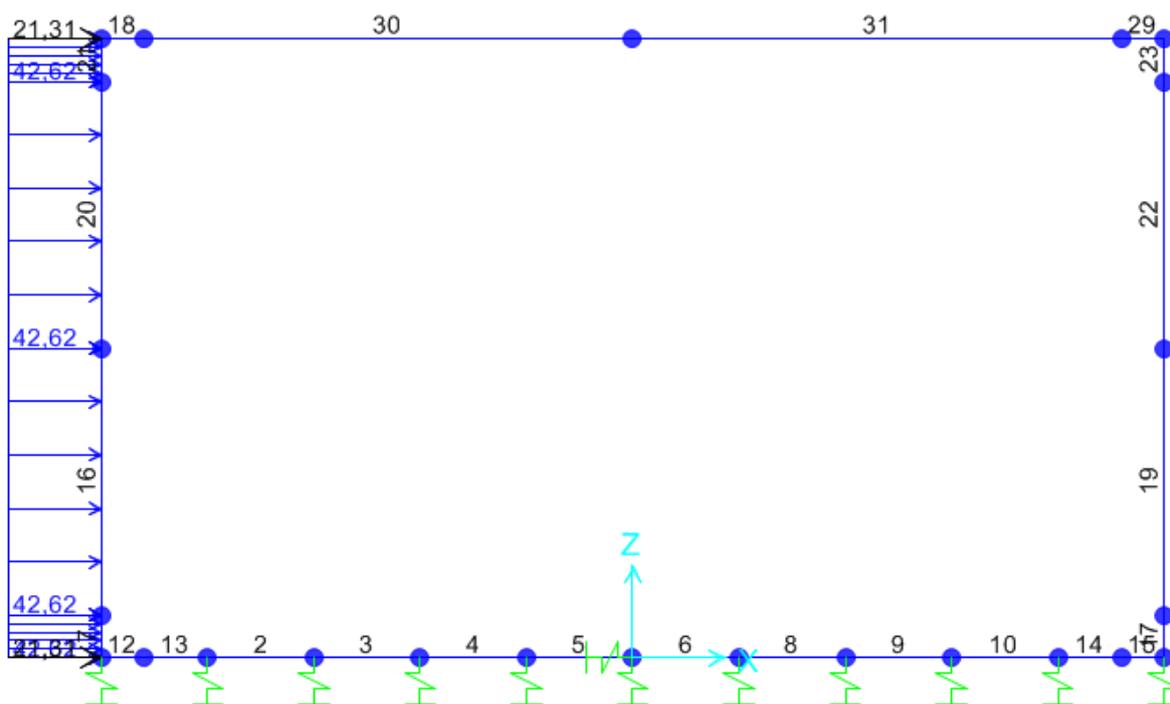


Figura 19: Spinta dal carico accidentale puntuale nel piedritto sinistra(stesso per piedritto destra)

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
$Q_{Av}=A_v/L_d$	6.6	kN/m

Anche l'azione dell'avviamento viene considerato il doppio così il valore applicato sul modello di calcolo risulta pari a 13.2.

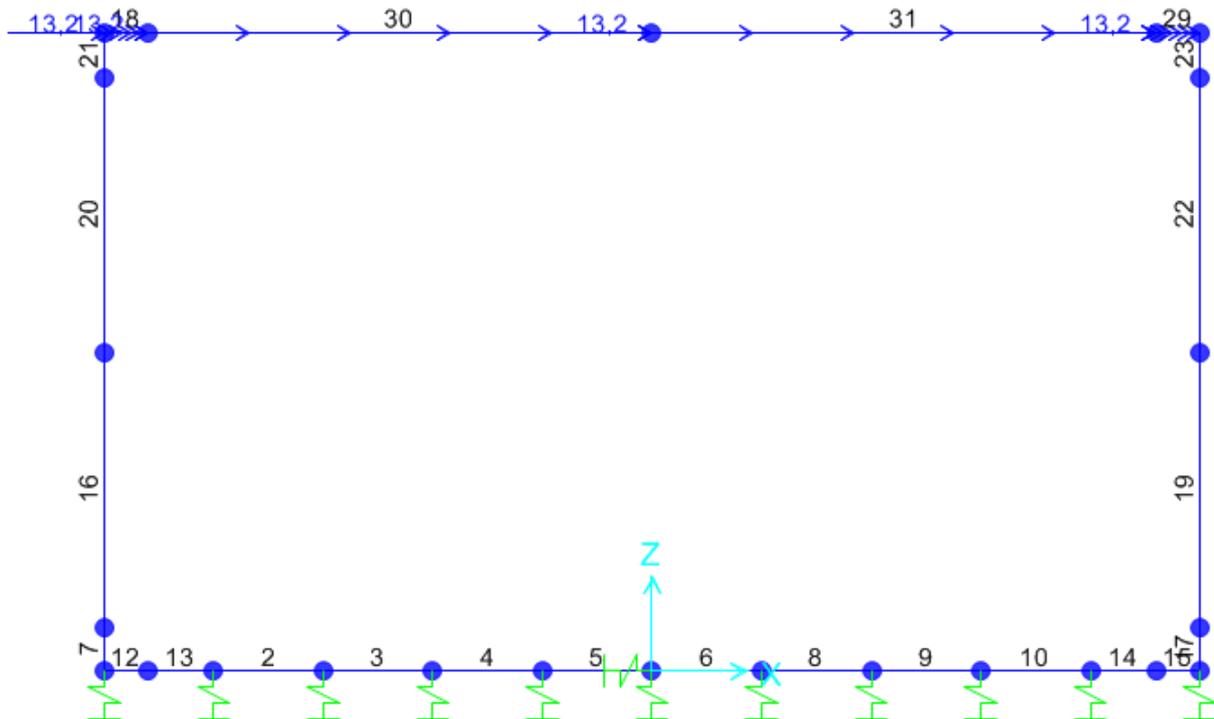


Figura 20: AVV

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:

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

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. = $45,99765^\circ$ e Long. = 13.25172°).

		a_g	F_0	T^*_c
T_R	45	0,062	2,469	0,260
T_R	75	0,080	2,453	0,278
T_R	712	0,210	2,496	0,342
T_R	1462	0,276	2,516	0,357

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	0,075
T_R	75	0,096
T_R	712	0,250
T_R	1462	0,309

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 β_m assume il valore unitario.

Pertanto, i due coefficienti sismici valgono:

		k_h	k_v
T_R	45	0,075	0,037
T_R	75	0,096	0,048
T_R	712	0,250	0,125
T_R	1462	0,309	0,155

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

$$a_{\max} = 0.25g ; H = 8.25 \text{ m}; \gamma = 19.5 \text{ KN/m}^3 \Rightarrow \text{Applicato al modello di calcolo : } \Delta S_E = 40.17 \text{ KN/m}$$

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:

Nodi sup.&inf (SISX) sui nodi 25 e 27	
$Q_h \cdot S_s/2$	20.09 kN

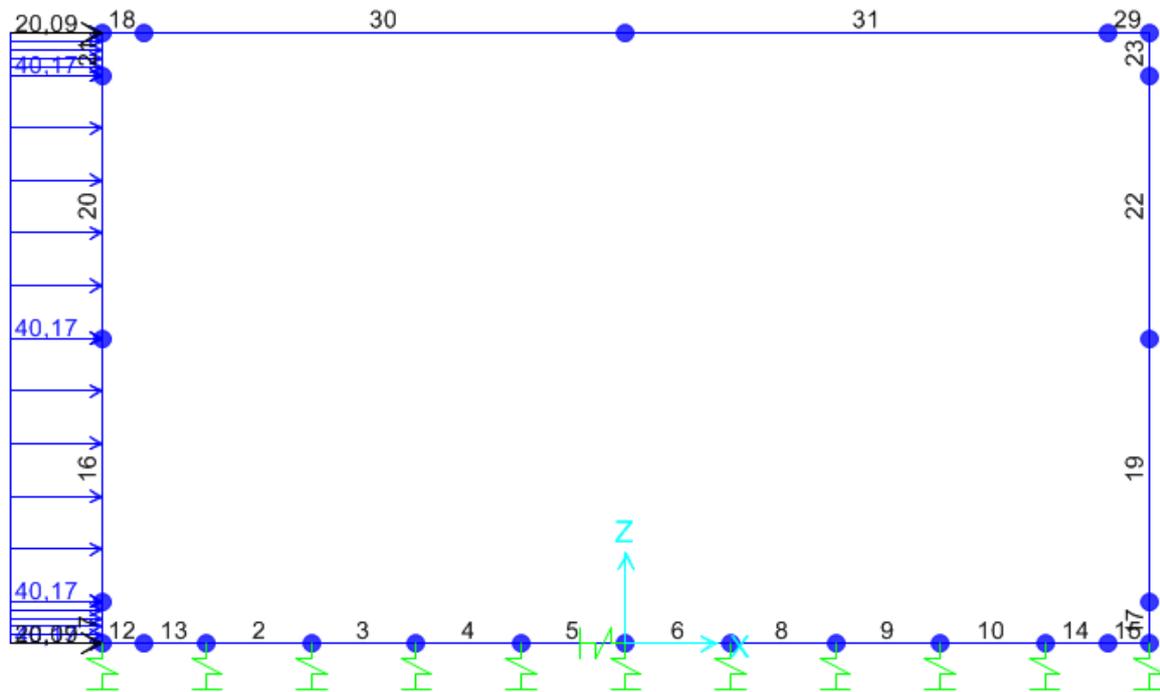


Figura 21: Sovrappinta sismica del terreno

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	10,49	kN/m ²	
$F_{o,soletta} =$	\pm	6,24	kN/m ²	
$F_{o,montante} =$	\pm	6,24	kN/m ²	
$F_{o,treno} =$	\pm	15,06	kN/m ²	
$F_{o,sol,sup,tot} =$	\pm	19,74	kN/m ²	

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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	31 di 117

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

$F_{v,treno} =$	\pm	7,53	kN/m^2
$F_{v,ballast+ricop+mass} =$	\pm	5,24	kN/m^2
$F_{v,solettasup} =$	\pm	3,12	kN/m^2
$F_{v,pav+ricop.di sol.inf.} =$	\pm	3,75	kN/m^2
$F_{v,solettainf} =$	\pm	3,12	kN/m^2
$F_{v,solettasup,tot} =$	\pm	9,87	kN/m^2
$F_{v,montante} =$	\pm	3,12	kN/m^2
$F_{v,solettainf,tot} =$	\pm	6,87	kN/m^2

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

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

- Il peso di treno è calcolato come in seguito: Per 6.4m e applicato il carico 78.88kN/ml e per la parte rimanente di 5.95m e applicato il carico 40.38 kN/m (vedi paragrafo 7.5). E' stato alla fine calcolato un valore medio del carico verticale del treno, il quale risulta pari a 60.33 kN/m per tutta la larghezza di 12.35 m.
- 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.

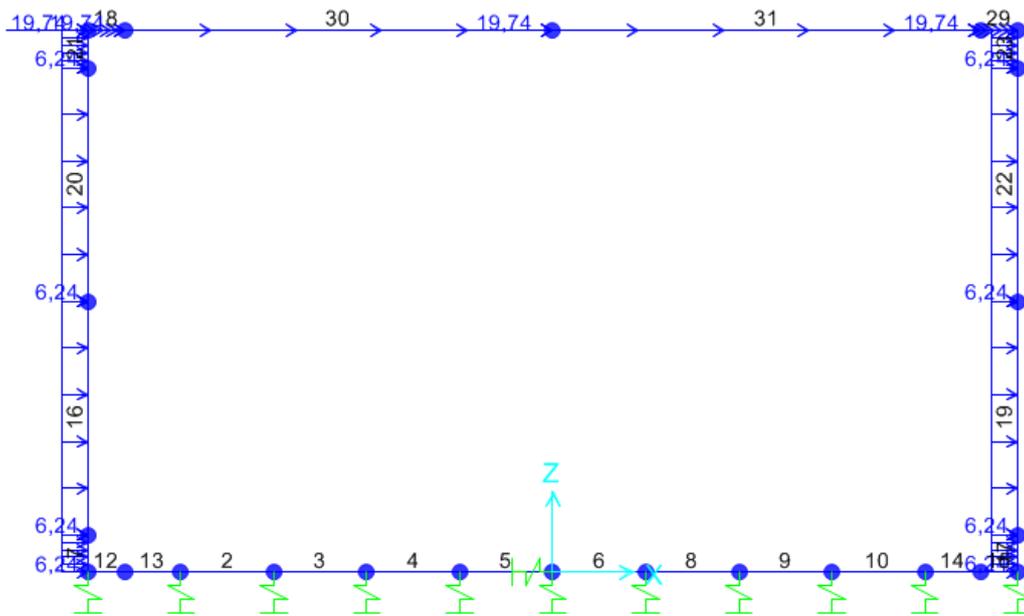


Figura 22: Forza inerziale orizzontale

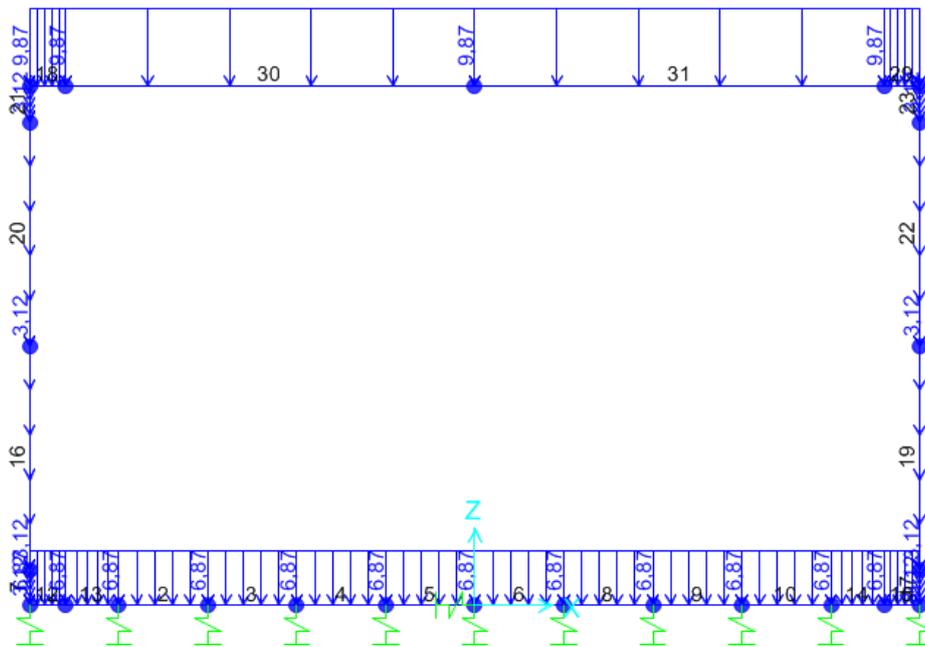


Figura 23: Forza inerziale verticale

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	33 di 117

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	0,6	0,6	0,6	0,6	0	0	0,6	1	0	0	0	0	0
SADX	0,6	0,6	0,6	0,6	0	0	0,6	1	0	0	0	0	0
SASXLM71	0	0	0	0	0,6	0,6	0	0	0	0	0	0	0,6
AVV	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0	0	0	0	0	0	0,6
ACC1	0,6	0,6	0,6	0,6	0	0	0,6	0,6	0	0	0	0	0
ACC2	0	0	0	0	0,6	0,6	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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	34 di 117

	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.

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IZ09

00

D26CL

SL0200001

A

36 di 117

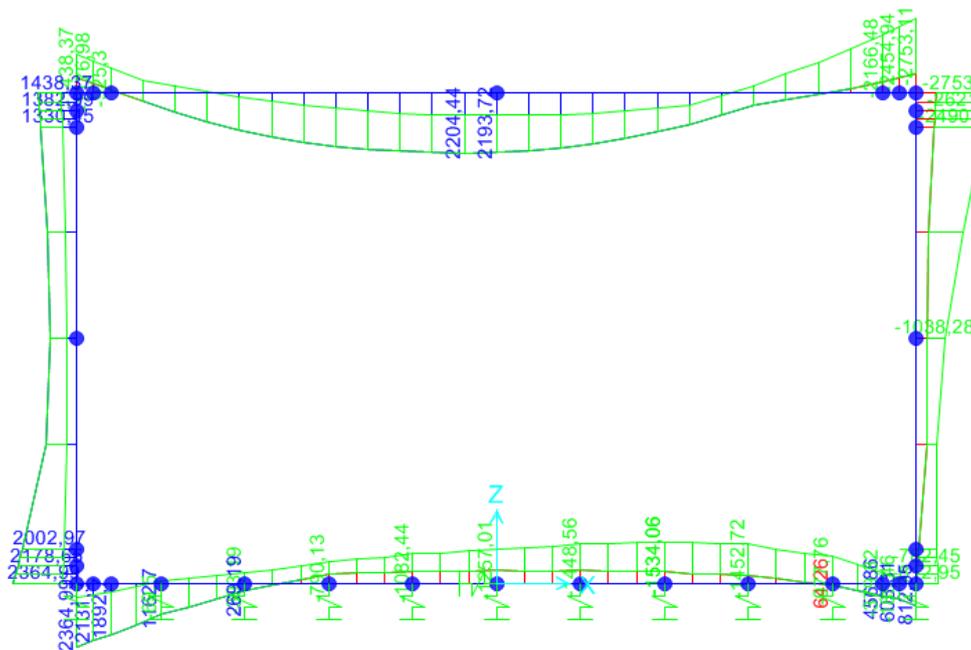


Figura 26: Involuppo M - SLU

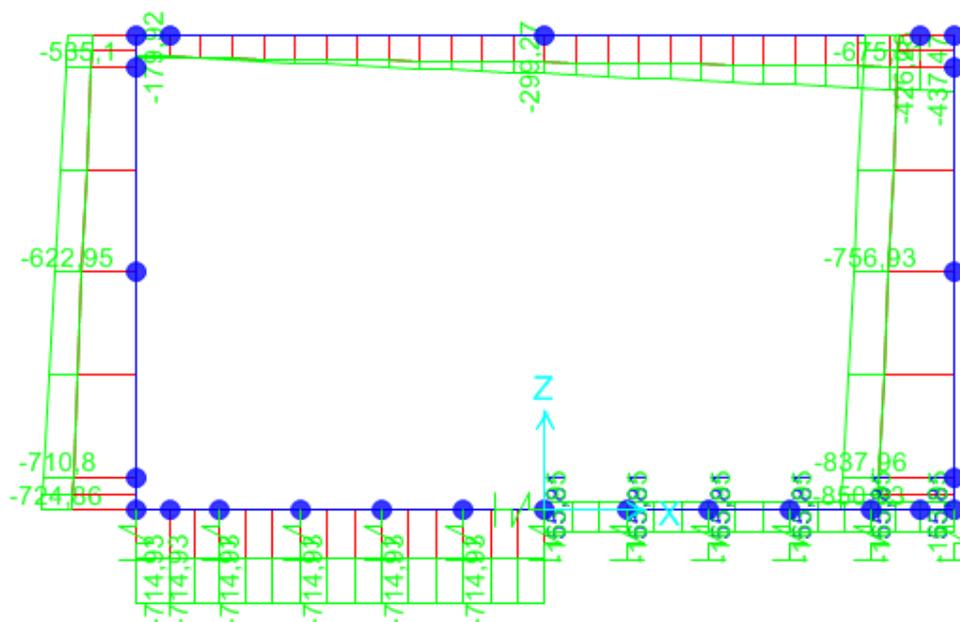


Figura 27: Involuppo N - SLV

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IZ09

00

D26CL

SL0200001

A

38 di 117

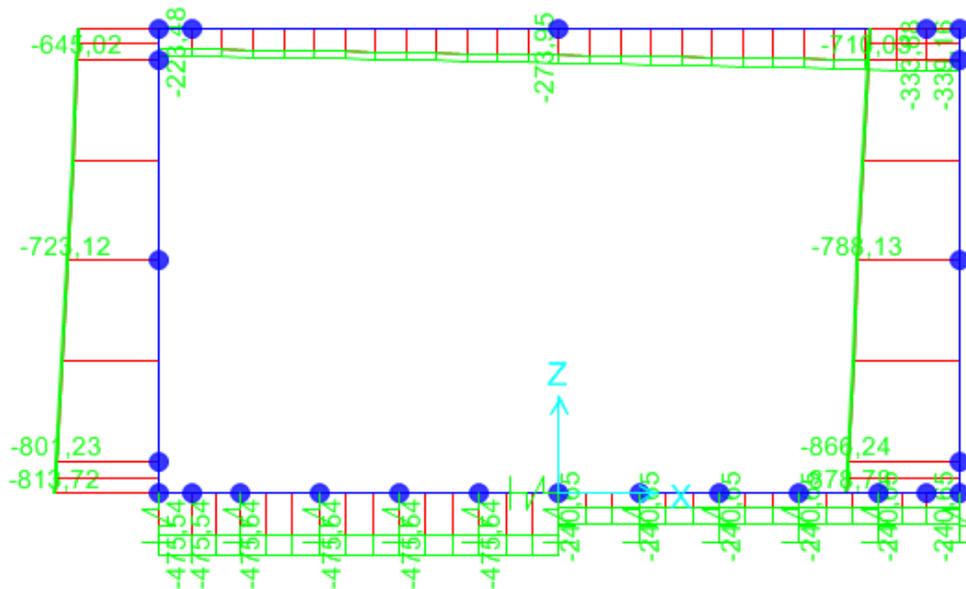


Figura 30: Involuppo N – SLE RARA

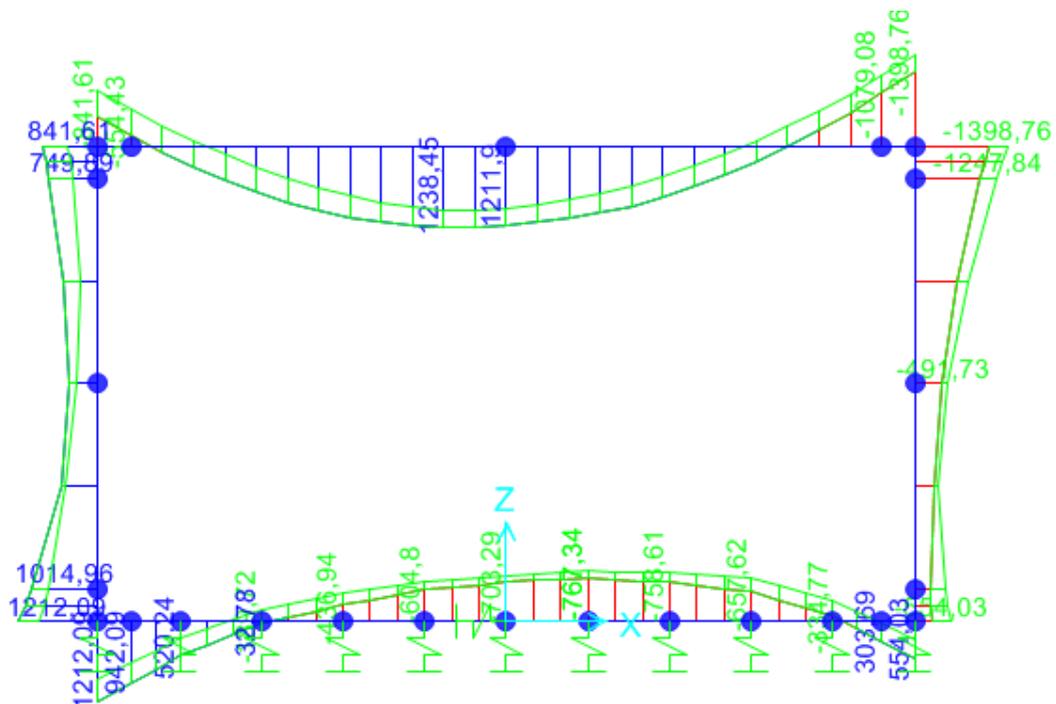


Figura 31: Involuppo M – SLE RARA

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IZ09

00

D26CL

SL0200001

A

39 di 117

Le sezioni verificate sono le seguenti:

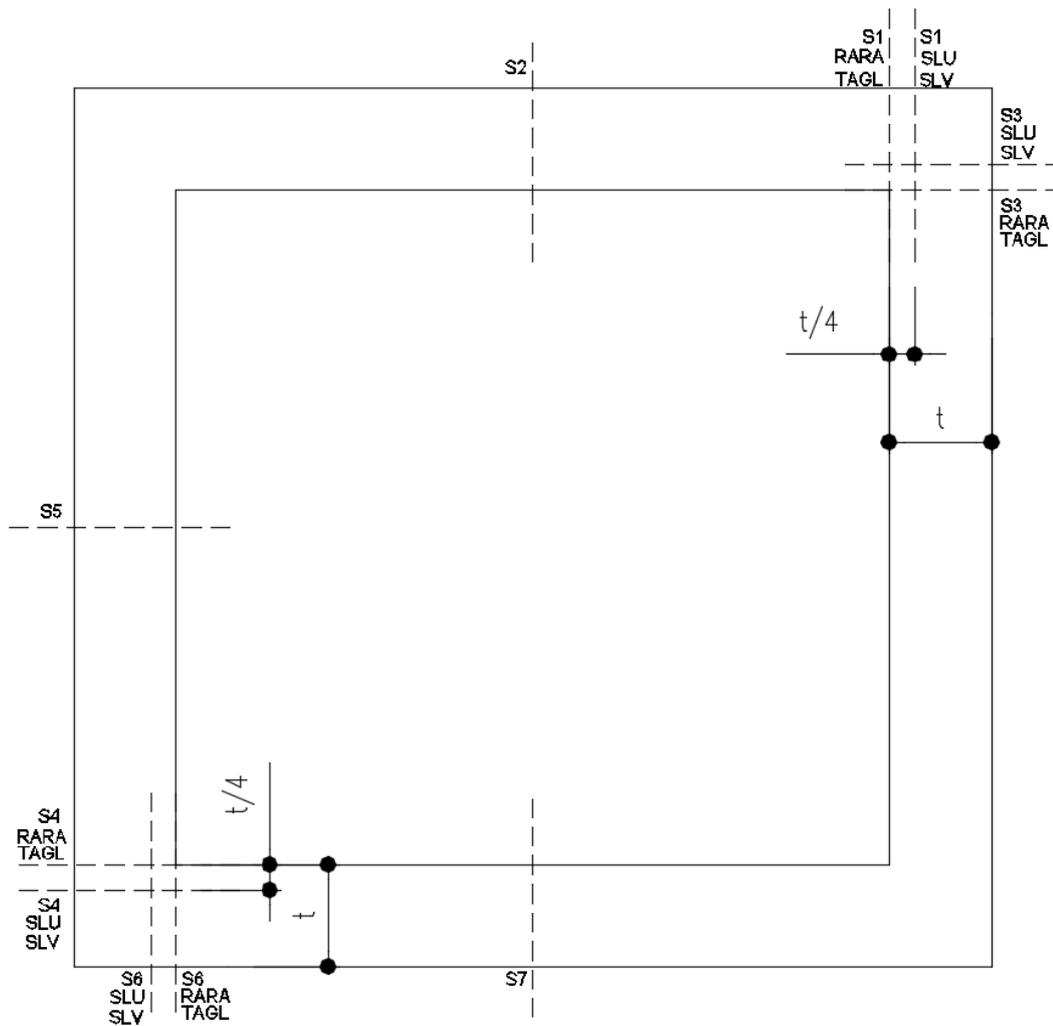


Figura 32: Sezioni di verifica

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	40 di 117

9. VERIFICHE

9.1. Verifiche a flessione

9.1.1. Sezione 1 - soletta superiore appoggio destro

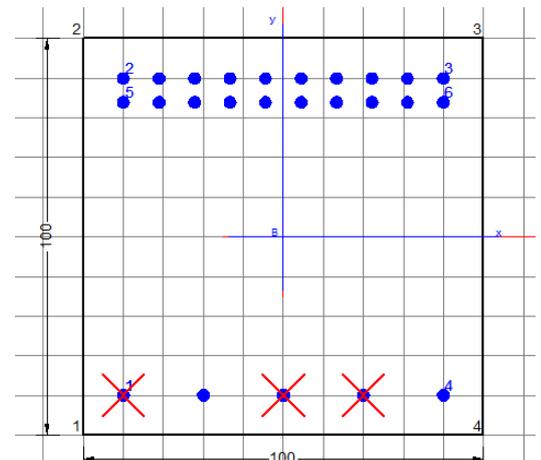
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN-m
31	5,675	SLU6	Combination	-535,605	1134,448	-2454.94
31	5,675	SLV 1	Combination	-431.87	603,648	-1619,85
31	5,675	RARA6	Combination	-313,374	616,559	-1079,08

Armatura tesa Φ 30/10+ Φ 30/10
 Armatura compressa Φ 30/20
 Armatura a taglio Φ 12/20x20

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	

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	41 di 117

Deform. ultima di calcolo Epu:	0.068	
Modulo Elastico Ef	2000000	daN/cm ²
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	-50.0
2	-50.0	50.0
3	50.0	50.0
4	50.0	-50.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-39.9	-39.9	30
2	-39.9	39.9	30
3	39.9	39.9	30
4	39.9	-39.9	30
5	-39.9	33.9	30
6	39.9	33.9	30

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	30
2	2	3	8	30
3	5	6	8	30

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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	42 di 117

N°Comb.	N	Mx	My	Vy	Vx
1	0.00	-2454.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	-1466.00	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	-1079.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 8.6 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	-2454.00	0.00	0.00	-4197.23	0.00	1.710	141.4(11.7)
2	S	0.00	-1466.00	0.00	0.00	-4197.23	0.00	2.863	141.4(11.7)

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
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	43 di 117

1	0.00350	-0.00200	-50.0	-50.0	0.00220	-39.9	-39.9	-0.00805	39.9	39.9
2	0.00350	-0.00200	-50.0	-50.0	0.00220	-39.9	-39.9	-0.00805	39.9	39.9

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

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	-0.000128447	-0.002922374	0.303	0.819
2	0.000000000	-0.000128447	-0.002922374	0.303	0.819

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 [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff. Area barre [cm²] 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	6.00	50.0	-50.0	-109.6	-13.3	39.9	2950	141.4	6.0	1.00

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

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.156 mm
Apert. limite = 99999.000 mm
Dist. fessure = 226 mm
Area efficace = 2950 cm ²
Coeff. K3 = 0.170

Condizione soddisfatta

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	44 di 117

Verifica di resistenza a taglio

Caratteristiche materiali

Cl_s R_{ck}
 Cl_s condizioni calcestruzzo
 Acciaio 1 acciaio barre longitudinali
 Acciaio 2 acciaio armature trasversali
 γ_c coefficiente parziale relativo al calcestruzzo
 γ_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 mm² area della sezione di calcestruzzo

Caratteristiche armature

n_{bl} numero di barre longitudinali
 Ø_{bl} mm diametro delle barre longitudinali
 n_{bw} numero di bracci delle staffe
 Ø_{st} mm diametro delle staffe
 s_{st} mm passo delle staffe
 α ° inclinazione delle staffe (α=90° per staffe ortogonali all'asse)

Caratteristiche sollecitazioni

N_{Ed} KN sforzo normale di calcolo (+ per compressione)
 V_{Ed} KN taglio di calcolo
 N_{Rd} 21026,7 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)

ctgθ_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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	45 di 117

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
31	0	SLU1	Combination	-300,94	72,587	2193,723
31	0	SLV 2	Combination	-228,505	48,373	818,5691
31	0	RARA13	Combination	-211,236	82,135	1211,896

Armatura tesa Φ 30/10+ Φ 30/10

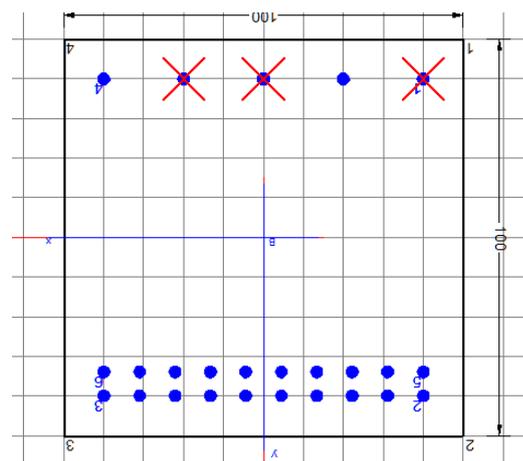
Armatura compressa Φ 30/20

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 ²	
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		



SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	46 di 117

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: C32/40

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

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-39.9	-39.9	30
2	-39.9	39.9	30
3	39.9	39.9	30
4	39.9	-39.9	30
5	39.9	-33.9	30
6	-39.9	-33.9	30

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	3	30
3	5	6	8	30

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	2193.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	818.00	0.00	0.00	0.00

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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	47 di 117

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	1213.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 8.6 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	2193.00	0.00	0.00	4197.23	0.00	1.914	141.4(11.7)
2	S	0.00	818.00	0.00	0.00	4197.23	0.00	5.131	141.4(11.7)

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	-0.00200	-50.0	50.0	0.00220	-39.9	39.9	-0.00805	-39.9	-39.9
2	0.00350	-0.00200	-50.0	50.0	0.00220	-39.9	39.9	-0.00805	-39.9	-39.9

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.

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	48 di 117

N°Comb	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)			x/d	C.Rid.
	a	b	c		
1	0.000000000	0.000128447	-0.002922374	0.303	0.819
2	0.000000000	0.000128447	-0.002922374	0.303	0.819

COMBINAZIONI RARE IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	S = comb. verificata/ N = comb. non verificata							Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
		Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Yc max				
1	S	6.75	-50.0	50.0	-123.2	31.0	-39.9	2950	141.4	6.0	1.00	

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

Apertura fessure
Apert.fessure = 0.188 mm
Apert. limite = 99999.000 mm
Dist. fessure =226 mm
Area efficace =2950 cm ²
Coeff. K3 = 0.170

Condizione soddisfatta

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	49 di 117

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
22	3,125	SLU6	Combination	-1250,95	518,59	-2621,2
22	3,125	SLV 1	Combination	-669,43	419,005	-1671,64
22	3,125	RARA6	Combination	-694,946	295,75	-1247,84

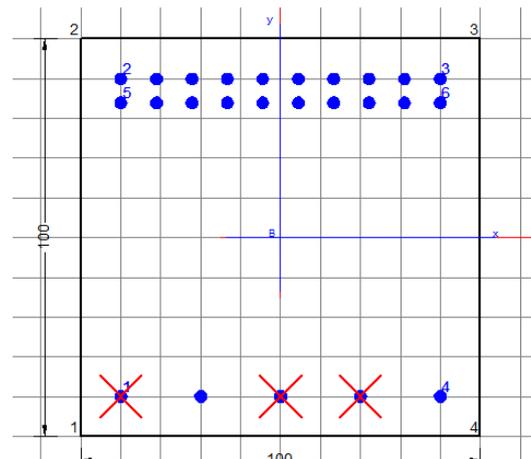
Armatura tesa Φ 32/10+ Φ 32/10

Armatura compressa Φ 32/20

Armatura a taglio Φ 12/40x20

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 ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00	

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	50 di 117

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	-50.0
2	-50.0	50.0
3	50.0	50.0
4	50.0	-50.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-39.9	-39.9	32
2	-39.9	39.9	32
3	39.9	39.9	32
4	39.9	-39.9	32
5	39.9	33.9	32
6	-39.9	33.9	32

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	32
2	2	3	8	32
3	5	6	8	32

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	-2621.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	-1672.00	0.00	0.00	0.00

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	51 di 117

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	-1247.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 8.5 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	-2621.00	0.00	0.00	-4701.90	0.00	1.794	160.8(11.7)
2	S	0.00	-1672.00	0.00	0.00	-4701.90	0.00	2.812	160.8(11.7)

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	-0.00134	-50.0	-50.0	0.00236	-39.9	-39.9	-0.00665	39.9	39.9
2	0.00350	-0.00134	-50.0	-50.0	0.00236	-39.9	-39.9	-0.00665	39.9	39.9

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	52 di 117

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	-0.000112900	-0.002144989	0.345	0.871
2	0.000000000	-0.000112900	-0.002144989	0.345	0.871

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 [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff. Area barre [cm²] 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	6.59	-50.0	-50.0	-112.1	31.0	39.9	2900	160.8	6.0	1.00

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

Tensioni-Deform.	Apertura fessure
$\sigma_c \max = 6.59 \text{ Mpa}$	Apert. fessure = 0.166 mm
$\sigma_c \limite = 16.50 \text{ Mpa}$	Apert. limite = 99999.000 mm
$\sigma_c \min = 0.00 \text{ Mpa}$	Dist. fessure = 221 mm
$\sigma_f \min = -112.14 \text{ Mpa}$	Area efficace = 2900 cm ²
$\sigma_f \limite = -360.00 \text{ Mpa}$	Coeff. K3 = 0.170
Asse Neutro: $aX+bY+c=0$	

Condizione soddisfatta

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	53 di 117

Verifica di resistenza a taglio

Caratteristiche materiali

Cl_s R_{ck}

Cl_s condizioni calcestruzzo

Acciaio 1 acciaio barre longitudinali

Acciaio 2 acciaio armature trasversali

γ_c coefficiente parziale relativo al calcestruzzo

γ_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 mm² area della sezione di calcestruzzo

Caratteristiche armature

n_{bl} numero di barre longitudinali

∅_{bl} mm diametro delle barre longitudinali

n_{bw} numero di bracci delle staffe

∅_{st} mm diametro delle staffe

s_{st} mm passo delle staffe

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

Caratteristiche sollecitazioni

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

V_{Ed} KN taglio di calcolo

N_{Rd} 21026,7 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_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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	54 di 117

9.1.4. Sezione 4 - piedritto sinistro piede

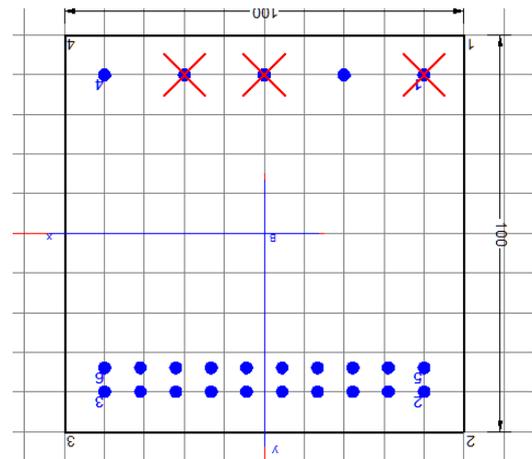
Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN-m
16	0	SLU5	Combination	-1329,196	681,645	2178.65
16	0	SLV 1	Combination	-572,581	579,097	1435.87
16	0	RARA13	Combination	-801,225	368,089	1014,961

Armatura tesa Φ 30/10+ Φ 30/10
 Armatura compressa Φ 30/20
 Armatura a taglio Φ 12/40x20

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 ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \beta_2$:	1.00	

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	55 di 117

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	-50.0
2	-50.0	50.0
3	50.0	50.0
4	50.0	-50.0

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-39.9	-39.9	30
2	-39.9	39.9	30
3	39.9	39.9	30
4	39.9	-39.9	30
5	39.9	-33.9	30
6	-39.9	-33.9	30

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	3	30
3	5	6	8	30

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	2178.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	1435.00	0.00	0.00	0.00

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	56 di 117

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	1014.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 8.6 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	2178.00	0.00	0.00	4197.23	0.00	1.927	141.4(11.7)
2	S	0.00	1435.00	0.00	0.00	4197.23	0.00	2.925	141.4(11.7)

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	-0.00200	-50.0	50.0	0.00220	-39.9	39.9	-0.00805	-39.9	-39.9
2	0.00350	-0.00200	-50.0	50.0	0.00220	-39.9	39.9	-0.00805	-39.9	-39.9

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	57 di 117

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	0.000128447	-0.002922374	0.303	0.819
2	0.000000000	0.000128447	-0.002922374	0.303	0.819

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 [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff. Area barre [cm²] 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	5.64	-50.0	50.0	-103.0	31.0	-39.9	2950	141.4	6.0	1.00

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

Apertura fessure
Apert.fessure = 0.140 mm
Apert. limite = 99999.000 mm
Dist. fessure = 226 mm
Area efficace = 2950 cm ²
Coeff. K3 = 0.170

Condizione soddisfatta

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	58 di 117

Verifica di resistenza a taglio

Caratteristiche materiali

Cl_s R_{ck}

Cl_s condizioni calcestruzzo

Acciaio 1 acciaio barre longitudinali

Acciaio 2 acciaio armature trasversali

γ_c coefficiente parziale relativo al calcestruzzo

γ_s coefficiente parziale relativo all'acciaio

Geometrie sezione

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

d mm altezza utile della sezione

A_c mm² area della sezione di calcestruzzo

Caratteristiche armature

n_{bl} numero di barre longitudinali

∅_{bl} mm diametro delle barre longitudinali

n_{bw} numero di bracci delle staffe

∅_{st} mm diametro delle staffe

s_{st} mm passo delle staffe

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

Caratteristiche sollecitazioni

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

V_{Ed} KN taglio di calcolo

N_{Rd} 21026,7 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_{lim} 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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	59 di 117

9.1.5. Sezione 5 - piedritto sinistro mezzeria

Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)

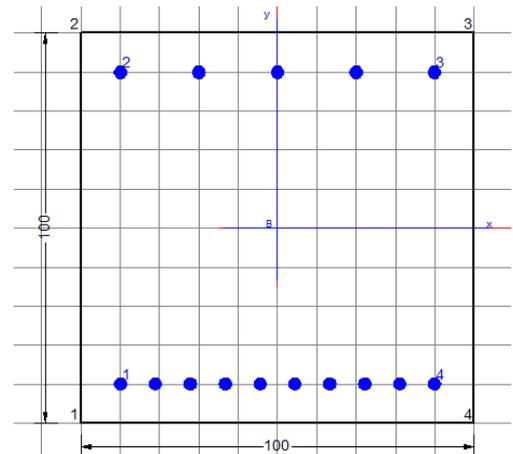
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN-m
16	3,125	SLU2	Combination	-1217,702	-14,982	966,6959
16	3,125	SLV 2	Combination	-622,951	23,566	334,7838
16	3,125	RARA2	Combination	-708,037	-12,035	437,9585

Armatura tesa Φ 30/10

Armatura compressa Φ 30/20

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 - C32/40	Classe:	
	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 ²
	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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	60 di 117

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: C32/40

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

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-39.9	-39.9	30
2	-39.9	39.9	30
3	39.9	39.9	30
4	39.9	-39.9	30

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	3	30

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	966.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	334.00	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)

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	61 di 117

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	438.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 8.6 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 5.9 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 [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	966.00	0.00	0.00	2298.92	0.00	2.380	70.7(11.7)
2	S	0.00	334.00	0.00	0.00	2298.92	0.00	6.883	70.7(11.7)

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	-0.00736	-50.0	50.0	0.00094	39.9	39.9	-0.01929	-39.9	-39.9
2	0.00350	-0.00736	-50.0	50.0	0.00094	39.9	39.9	-0.01929	-39.9	-39.9

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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	62 di 117

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000253497	-0.009174857	0.154	0.700
2	0.000000000	0.000253497	-0.009174857	0.154	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 [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] 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	2.83	-50.0	50.0	-78.0	-31.0	-39.9	3080	70.7	8.9	1.00

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

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.074 mm
Apert. limite = 99999.000 mm
Dist. fessure = 279 mm
Area efficace = 3080 cm ²
Coeff. K3 = 0.170

Condizione soddisfatta

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	63 di 117

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
12	0,5	SLU5	Combination	-854,894	964,255	2131,35
12	0,5	SLV 1	Combination	-712,786	472,685	1480,41
12	0,5	RARA13	Combination	-475,536	553,742	942,0945

Armatura tesa Φ 30/10 + Φ 24/20

Armatura compressa Φ 30/20

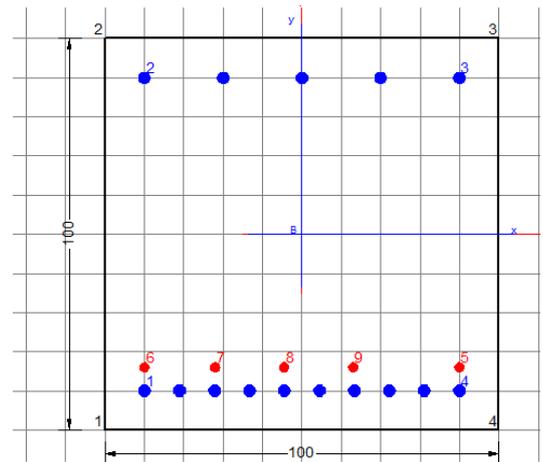
Armatura a taglio Φ 12/20x40

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 ²
	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	



SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	64 di 117

Sf limite S.L.E. Comb. Rare:

360.00 MPa

CARATTERISTICHE DOMINIO CONGLOMERATO

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: C25/30

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

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-39.9	-39.9	30
2	-39.9	39.9	30
3	39.9	39.9	30
4	39.9	-39.9	30
5	39.9	-33.9	24
6	-39.9	-33.9	24
7	-22.0	-33.9	24
8	22.0	-33.9	24
9	4.5	-33.9	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	30
2	2	3	3	30

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	2131.00	0.00	0.00	0.00

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	65 di 117

2	0.00	1480.00	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	942.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 8.6 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 3.3 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 [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	2131.00	0.00	0.00	2895.26	-7.97	1.359	93.3(13.3)
2	S	0.00	1480.00	0.00	0.00	2895.26	-7.97	1.956	93.3(13.3)

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	-0.00372	-50.0	50.0	0.00180	39.9	39.9	-0.01165	-39.9	-39.9
2	0.00350	-0.00372	-50.0	50.0	0.00180	39.9	39.9	-0.01165	-39.9	-39.9

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	66 di 117

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	0.000168526	-0.004926301	0.231	0.729
2	0.000000000	0.000168526	-0.004926301	0.231	0.729

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 [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff. Area barre [cm²] 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	5.76	50.0	50.0	-134.7	-39.9	-39.9	2959	93.3	6.0	1.00

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

Flessione Composta (S.L.E.)

Tensioni-Deform.	Apertura fessure
Sc max =5.81 Mpa	Apert.fessure = 0.166 mm
Sc limite =12.50 Mpa	Apert. limite = 99999.000 mm
Sc min =0.00 Mpa	Dist. fessure =245 mm
Sf min =-135.44 Mpa	Area efficace =2930 cm ²
Sf limite =-360.00 Mpa	Coeff. K3 = 0.172
Asse Neutro: $aX+bY+c=0$	

Condizione soddisfatta

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	67 di 117

Verifica di resistenza a taglio

Caratteristiche materiali

Cls R_{ck}

Cls condizioni calcestruzzo

Acciaio 1 acciaio barre longitudinali

Acciaio 2 acciaio armature trasversali

γ_c coefficiente parziale relativo al calcestruzzo

γ_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 mm² 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

α ° 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} 15770,0 KN sforzo normale di compressione massimo

Dati traliccio resistente

θ ° 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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	68 di 117

9.1.7. Sezione 7- soletta inferiore mezzeria

Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)

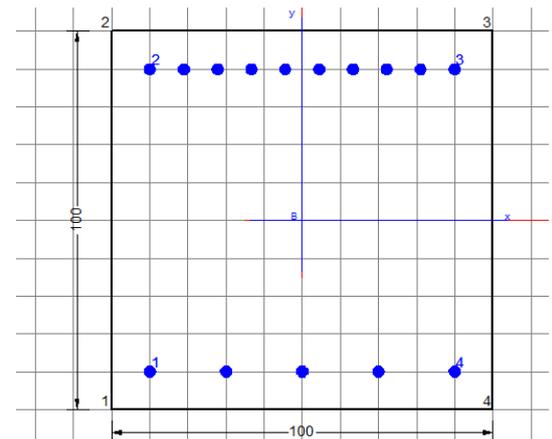
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN-m
8	1,235	SLU6	Combination	113,277	117,852	-1534,06
8	1,235	SLV 1	Combination	55,812	175,224	-966,073
8	1,235	RARA6	Combination	-109,563	26,89	-758,612

Armatura tesa Φ 30/10

Armatura compressa Φ 30/20

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:	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 ²	
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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	69 di 117

Forma del Dominio: Poligonale
Classe Conglomerato: C25/30

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

DATI BARRE ISOLATE

N°Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ[mm]
1	-39.9	-39.9	30
2	-39.9	39.9	30
3	39.9	39.9	30
4	39.9	-39.9	30

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	30
2	2	3	8	30

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	-1534.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	-966.00	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)

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	70 di 117

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

N°Comb.	N	Mx	My
1	0.00	-758.00	0.00

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 8.6 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 5.9 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 [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	-1534.00	0.00	0.00	-2269.94	0.00	1.480	70.7(13.3)
2	S	0.00	-966.00	0.00	0.00	-2269.94	0.00	2.350	70.7(13.3)

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	-0.00582	-50.0	-50.0	0.00130	-39.9	-39.9	-0.01605	39.9	39.9
2	0.00350	-0.00582	-50.0	-50.0	0.00130	-39.9	-39.9	-0.01605	39.9	39.9

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

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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	71 di 117

1	0.000000000	-0.000217519	-0.007375929	0.179	0.700
2	0.000000000	-0.000217519	-0.007375929	0.179	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 ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] 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	4.90	50.0	-50.0	-135.0	-22.2	39.9	3080	70.7	8.9	1.00

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

Tensioni-Deform.	Apertura fessure
Sc max =4.90 Mpa	Apert.fessure = 0.136 mm
Sc limite =12.50 Mpa	Apert. limite = 99999.000 mm
Sc min =0.00 Mpa	Dist. fessure =279 mm
Sf min =-135.02 Mpa	Area efficace =3080 cm ²
Sf limite =-360.00 Mpa	Coeff. K3 = 0.170
Asse Neutro: aX+bY+c=0	
coeff. a =-0.000000000	

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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IZ09

00

D26CL

SL0200001

A

72 di 117

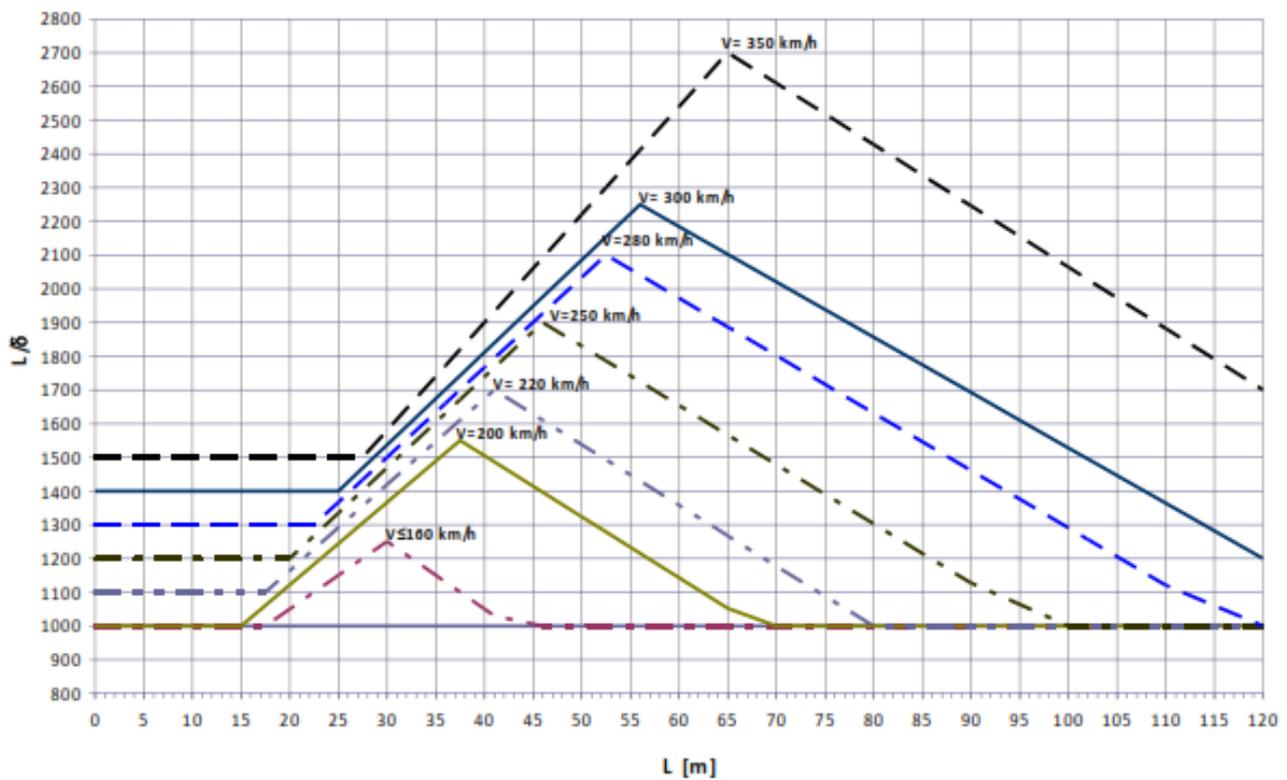


Fig. 5.2.1.8.3.2.2-2 Valori del limite di deformabilità L/δ per il confort dei passeggeri.

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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IZ09

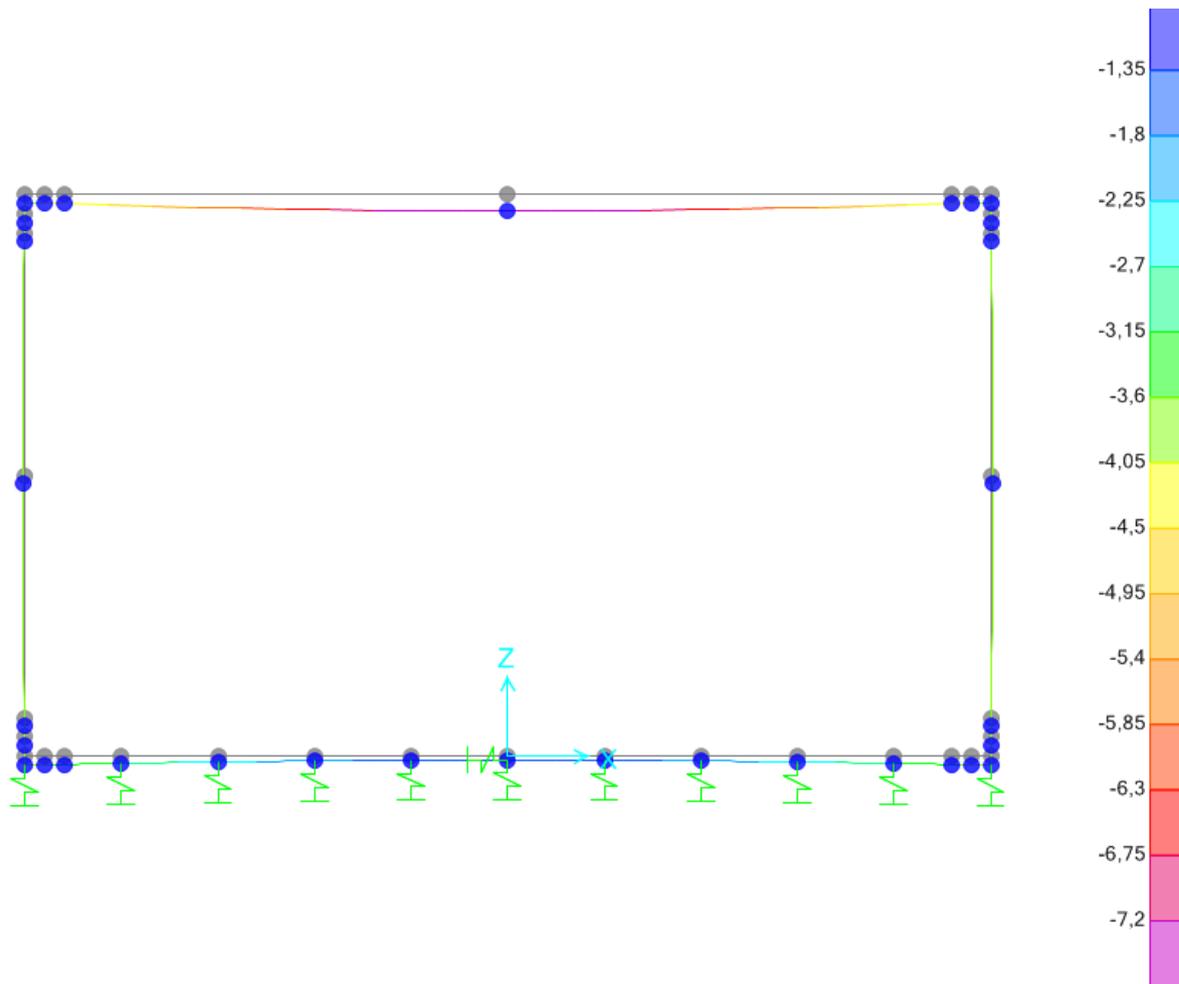
00

D26CL

SL0200001

A

73 di 117



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

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

- Freccia – mezzeria della soleta – 0.0075m
- Freccia – mezzeria della soleta – 0.0039m

$\delta = 0.0075 - 0.0039 = 0.0036\text{m}$; Per $L = 12.35\text{m}$ $\Rightarrow \delta/L < 1/1000$; $0.0036/12.35 = 0.00029 < 0.001$ - **Verificata**

10.RIEPILOGO ARMATURE – SCATOLARE

Elemento strutturale	Sezione	Armatura Principale	Armatura secondaria	Incidenze
soletta superiore	nodo	Φ 30/10+ Φ 30/10 sup. Φ 30/20 inf.	ϕ 24/20 ambo i lati	200 kg/m ³
	campata	Φ 30/20 sup. Φ 30/10 + Φ 30/10 inf.	ϕ 24/20 ambo i lati	
piedritti	nodo sup.	2 ϕ 32/10 est. ϕ 32/20 int.	ϕ 24/20 ambo i lati	185 kg/m ³
	nodo inf.	ϕ 30/10 + Φ 30/10 est. Φ 30/20 int.	ϕ 24/20 ambo i lati	
soletta inferiore	mezzeria	Φ 30/10 sup. Φ 30/20 inf.	ϕ 24/20 ambo i lati	145 kg/m ³
	nodo	Φ 32/20 sup. Φ 32/10 + Φ 24/20 inf.	ϕ 24/20 ambo i lati	

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IZ09

00

D26CL

SL0200001

A

75 di 117

11. PLATEA DI VARO E MURO REGGISPINTA

11.1. Descrizione dell'opera

La platea in c.a. ha dimensioni in pianta di 33.78m x 14.67m con spessore di 0.30m. Il muro di paramento ha spessore del paramento di 2.5m.

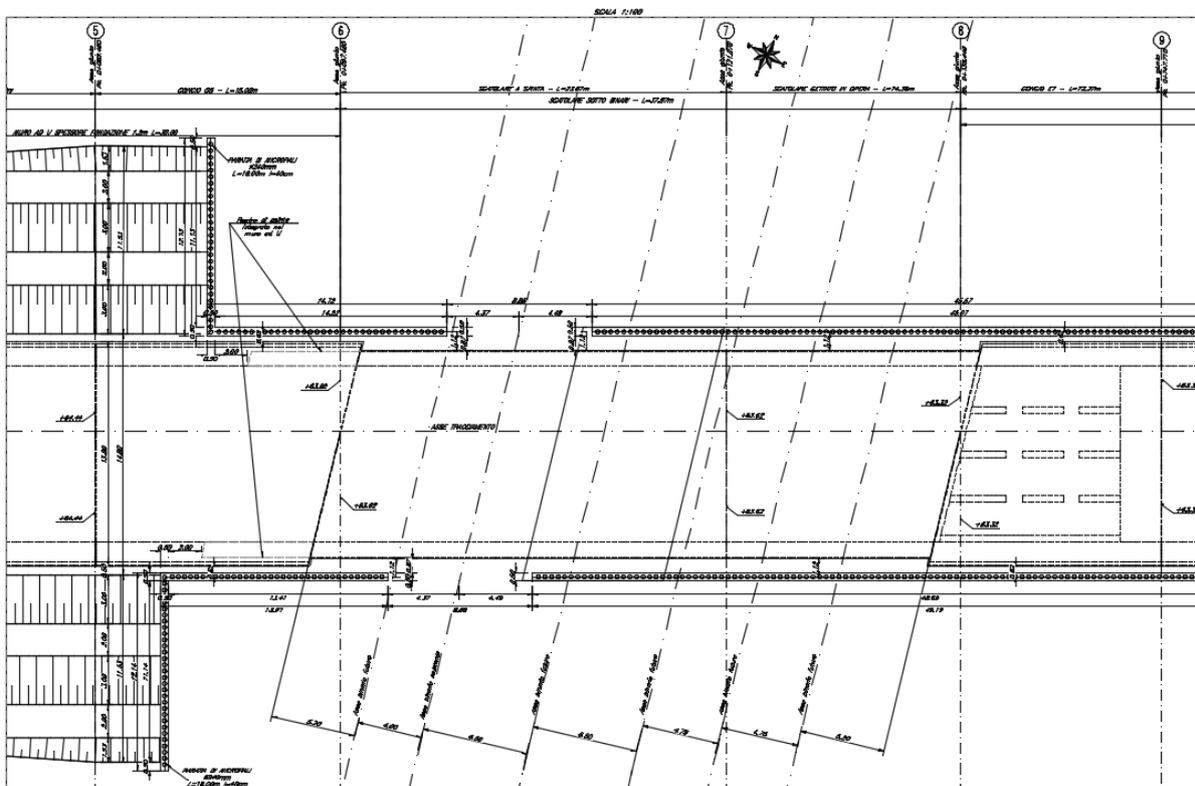


Figura 33 Pianta

11.2. Materiali

Il progetto sarà realizzato utilizzando i seguenti materiali:

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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	78 di 117

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

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
$(f_y/f_{nom})_k$	$< 1,35$	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 ϕ	
$12 \leq \phi \leq 16$ mm	5 ϕ	
per $16 < \phi \leq 25$ mm	8 ϕ	
per $25 < \phi \leq 40$ mm	10 ϕ	

11.3. Azioni e sollecitazioni

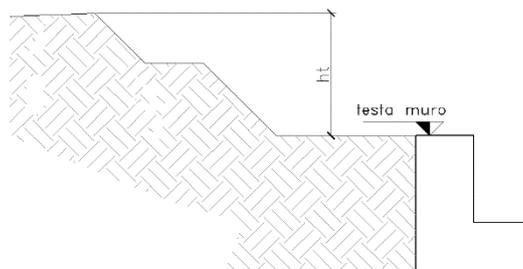
All'inizio delle operazioni di spinta, i martinetti di spinta devono vincere l'attrito tra l'intradosso fondazione e la platea di varo; il coefficiente di attrito di primo distacco può raggiungere valori di poco superiori all'unità: si assume tuttavia il valore 1.00. Non è presente alcun attrito del 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}	=	13.35	[m] Larghezza totale scatolare
B_{int}	=	11.35	[m] Larghezza utile scatolare
S_{sol_sup}	=	1	[m] Spessore soletta superiore
L_{sol}	=	28.5	[m] Lunghezza soletta superiore
S_{pie}	=	1	[m] Spessore piedritti
L_{pied}	=	28.5	[m] Lunghezza piedritti
S_{fond}	=	1	[m] Spessore fondazione
L_{scat}	=	28.5	[m] Lunghezza scatolare
H_{tot}	=	8.25	[m] Altezza totale scatolare
H_{int}	=	6.25	[m] Altezza libera scatolare
P_{ros}	=	2500	[kN] Peso rostri e travi
P_{scat}	=	27930	[kN] Peso scatolare finale
P_{mon}	=	30430	[kN] Peso monolite
A_{ext}	=	1231	[m ²] Superficie esterna monolite
h_m	=	8.25	[m] Altezza totale scatolare

L_{pv}	=	33.78	[m]	Lunghezza platea di varo
B_{pv}	=	14.67	[m]	Larghezza platea di varo
H_{pv}	=	0.3	[m]	Altezza platea di varo
P_{pv}	=	3717	[kN]	Peso platea di varo
h_{ms}	=	7.5	[m]	Altezza totale muro di spinta
h_{ms2}	=	4.3	[m]	Altezza muro sopra la platea
S_{ms}	=	2.5	[m]	Spessore muro di spinta
L_{ms}	=	15.93	[m]	Lunghezza muro di spinta
i_m	=	4	[m]	interasse martinetti
h_b	=	2.28	[m]	Altezza del ballast
h_t	=	5.4	[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_s : Resistenza su estradosso soletta superiore;

F_{le} : Resistenza laterale su pareti (esterno);

F_{li} : Resistenza laterale su pareti (interno);

F_{ie} : Resistenza su soletta inferiore (estradosso);

F_{ii} : Resistenza su soletta inferiore (intradosso).

NOTA: I contributi “ F_{li} ” e “ F_{ie} ” non vengono presi in conto, date le modalità operative (rimozione del terreno all’interno in contemporaneità con l’infissione). Anche il termine “ F_s ” 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				
ϕ	=	38	[-]	Angolo di attrito
c	=	0	[kPa]	Coesione
K_0	=	0.384	[-]	Coefficiente di spinta a riposo
$\delta=\phi$	=	38	[-]	Angolo di attrito terreno-muro
$\tan\delta$	=	0.781	[-]	Coefficiente di attrito terreno-muro
γ_t	=	20	[kN/m ³]	Peso specifico terreno
K_p	=	8.5	[-]	Coefficiente di spinta passiva (vedere figura 9)
γ_{ball}	=	18	[kN/m ³]	Peso psecifico ballast

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	82 di 117

Calcolo azioni di spinta

$S_i = P_{mon} \times 1$	=	30430	[kN]	Spinta di primo distacco agente sulla platea
$s_i = S_i / B_{pv}$	=	2074	[kN/m]	Spinta distribuita di primo distacco agente sulla platea
$Q = 15 \times L_{scat} \times B_{int}$	=	4852	[kN]	Carico macchine operatrici all'interno
$F_{ii} = (P_{mon} + Q) \times \tan \phi + B_{tot} \times L_{scat} \times c'$	=	27565	[kN]	Attrito alla base del monolite comprensivo di 15 kN/mq di appesantimento
$\sigma_{1v} = \gamma_{ball} \times h_b$	=	41.04	[kPa]	Tensione verticale all'estradosso soletta superiore
$\sigma_{2v} = \sigma_{1v} + \gamma_t \times H_{tot}$	=	206.04	[kPa]	Tensione verticale all'intradosso fondazione
$F_{le} = 2 \times (\sigma_{v1} + \sigma_{v2}) / 2 \times k_0 \times \tan \phi \times H_{tot} \times L_{scat} + c' \times (2 \times H_{tot} \times L_{scat})$	=	17445	[kN]	Forza di attrito pareti laterali
$S_T = F_{ii} + F_{le}$	=	45010	[kN]	Spinta totale
$S_{B,m} = S_T / L_{ms}$	=	2825	[kN/m]	Spinta per metro di muro reggispinta
$S^*_{B,m} = S_T / B_{tot}$	=	3372	[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
γ_{SLU}	=	1.5	[-]	Coefficiente moltiplicativo dei carichi
$S_{i,d} = S_i \times \gamma_{SLU}$	=	3111	[kN/m]	Sforzo assiale di progetto
$A_{s,min} = S_{i,d} / f_{yd}$	=	7958	[mm ²]	Area minima di armatura resistente
ϕ_{long}	=	24	[mm]	Diametro barra longitudinale

p_1	=	200	[mm]	Passo delle barre longitudinali
n_1	=	20	[-]	Numero barre longitudinali a trazione (superiore + inferiore)
$A_{s,eff} = (\phi_{long})^2 \times 3.1416 / 4 \times n_1$	=	9048	[mm ²]	Area resistente di acciaio nella soletta (longitudinale)
ϕ_{tr}	=	16	[-]	Diametro barra trasversale
p_2	=	150	[mm]	Passo barre trasversali
n_2	=	14	[-]	Numero barre trasversali (superiore+ inferiore)
25% $A_{s,eff}$	=	2262	[mm ²]	Area minima resistente di acciaio nella soletta (trasversale)
$A_{s,trasv} > 25\% A_{s,eff}$	=	2815	[mm ²]	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

$$s_{i,d} = 3111 \text{ kN/m.}$$

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:

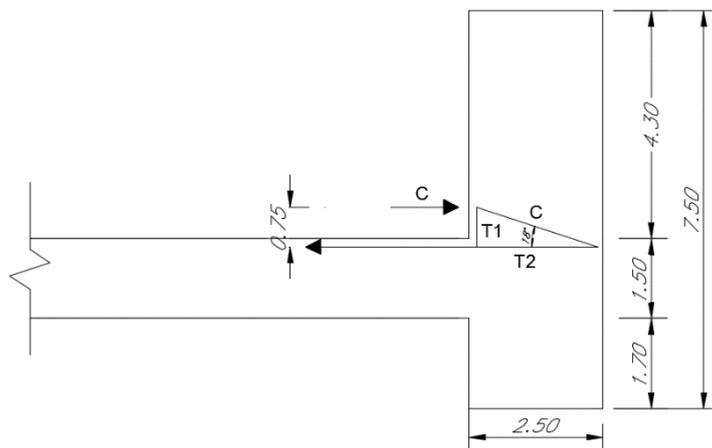


Figura 35 Sollecitazioni agenti all'interno del muro reggispinta al primo distacco.

$N_{Ed,T2}$	=	3111	[kN/m]
$N_{Rd,T2}$	=	3538	[kN/m]
$N_{Ed,T1}$	=	1071	[kN/m]
$N_{Rd,T1}$	=	1770	[kN/m]
M	=	2334	[kNm/m]

Il corrente teso inferiore (T2) sottopone a trazione le barre di armatura della soletta di varo, costituite da 10+10 ϕ 22/m ($A_s = 7603 \text{ mm}^2/\text{m}$).

Il corrente teso verticale (T1) sarà invece armato mediante 10 ϕ 24/m ($A_s = 4524 \text{ mm}^2/\text{m}$) dovendo sopperire ad un tiro di intensità pari a $N_{Ed,T1} = N_{Ed,T2} * \text{tg}18^\circ = 1071 \text{ kN/m}$.

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

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 0.75m. Gli effetti indotti dalla coppia torcente sono $M = 3111\text{kN} * 0.75 = 2333.25 \text{ kNm/m}$.

In corrispondenza della sezione di 150cm si ha un valore di 2333.25 kNm.

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IZ09

00

D26CL

SL0200001

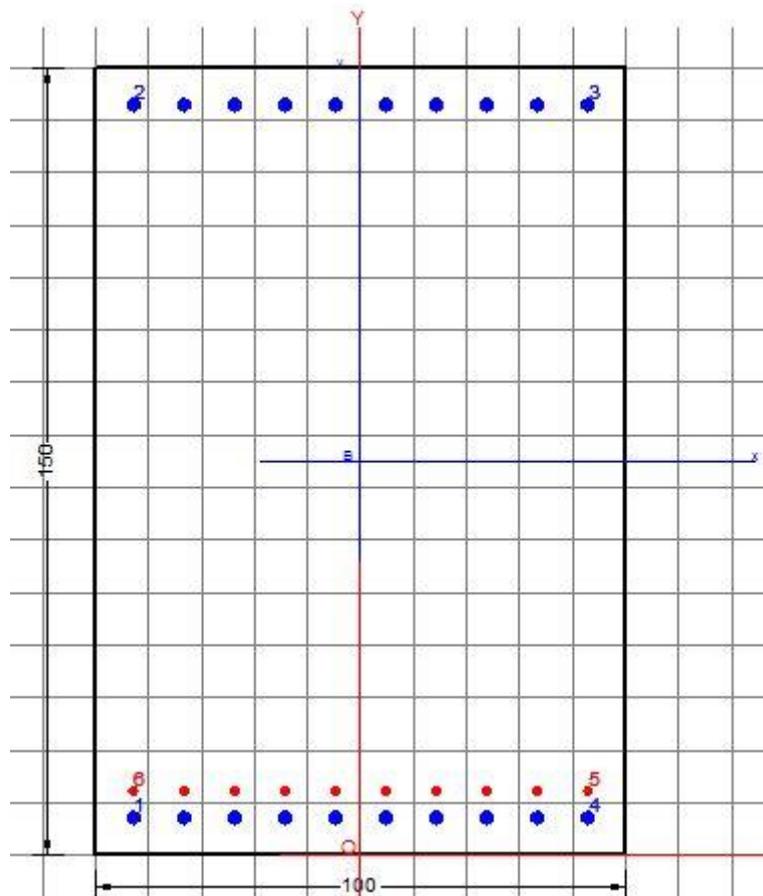
A

85 di 117

Verifica a flessione SLU

Considerando:

- B = 1000 mm;
- H = 1500 mm;
- c = 60 mm;
- $A_s = 1\phi 24/10 + 1\phi 16/10$
- $A'_s = 1\phi 24/10$



DATI GENERALI SEZIONE IN C.A.

Metodo di calcolo resistenza:
Tipologia sezione:

Stati Limite Ultimi
Sezione generica

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	86 di 117

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 ²
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 ²
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	150.0
3	50.0	150.0
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	142.8	24
3	42.8	142.8	24
4	42.8	7.2	24
5	42.9	12.2	16
6	-42.9	12.2	16

DATI GENERAZIONI LINEARI DI BARRE

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	87 di 117

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	2	3	8	24
2	1	4	8	24
3	6	5	8	16

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	2333.25	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	1944.40 (1231.48)	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: 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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	88 di 117

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	2333.25	0.00	0.00	3459.20	0.00	1.483	65.3(21.1)

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	-0.01574	-50.0	150.0	0.00134	-42.8	142.8	-0.03924	-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	0.000299311	-0.041396714	0.082	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 [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] 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	5.94	50.0	150.0	-233.3	4.8	7.2	2150	65.3	5.0	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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	89 di 117

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 Coprifero [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa
Psi = 1-Beta12*(Ssr/Ss)² = 1-Beta12*(fctm/S2)² = 1-Beta12*(Mfess/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	-4.0	-2.9	0.214	21	60.0	0.799	0.00093 (0.00047)	189	0.299 (0.30)	1231.48	0.00

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	90 di 117

11.4.1. Riepilogo armature

Platea di varo:

Elemento strutturale	Armatura Principale	Armatura secondaria
Sez.150cm	$\phi 24/10 + \phi 16/10$ sup. longitudinale $\phi 24/10$ inf. longitudinale	$\phi 16/20$ sup. e inf. trasversale
Sez.30cm (i primi 5m dalla sezione 150cm)	$\phi 24/10 + \phi 16/10$ sup. longitudinale $\phi 24/10$ inf. longitudinale	$\phi 16/20$ sup. e inf. trasversale
Sez.30cm (dopo i primi 5m dalla sezione 150cm)	$\phi 24/10$ sup. longitudinale $\phi 24/10$ 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 la 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 ($\delta=\phi'$). In relazione alle condizioni in sito, il terreno a tergo dell'opera sarà realizzato con materiale arido caratterizzato da una frazione fine trascurabile ed angolo di attrito di 35°.

Si riporta di seguito il grafico utilizzato per il calcolo del coefficiente di spinta passivo. Si ricava un valore pari a $K_p=8.5$.

S. Rampello, L. Callisto, L. Masini

13

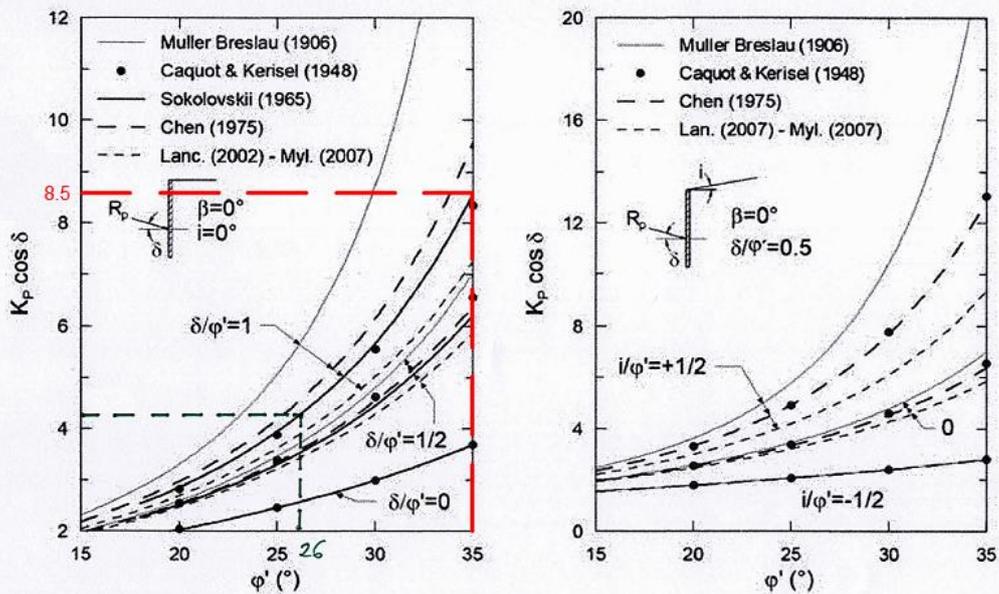


Figura 5: Confronto tra i valori di $K_p \cdot \cos \delta$ ottenuti in condizioni statiche da alcune soluzioni di letteratura.

Figura 36 Determinazione del coefficiente di spinta passiva.

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

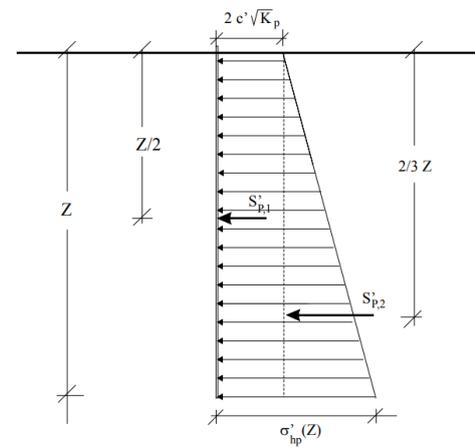
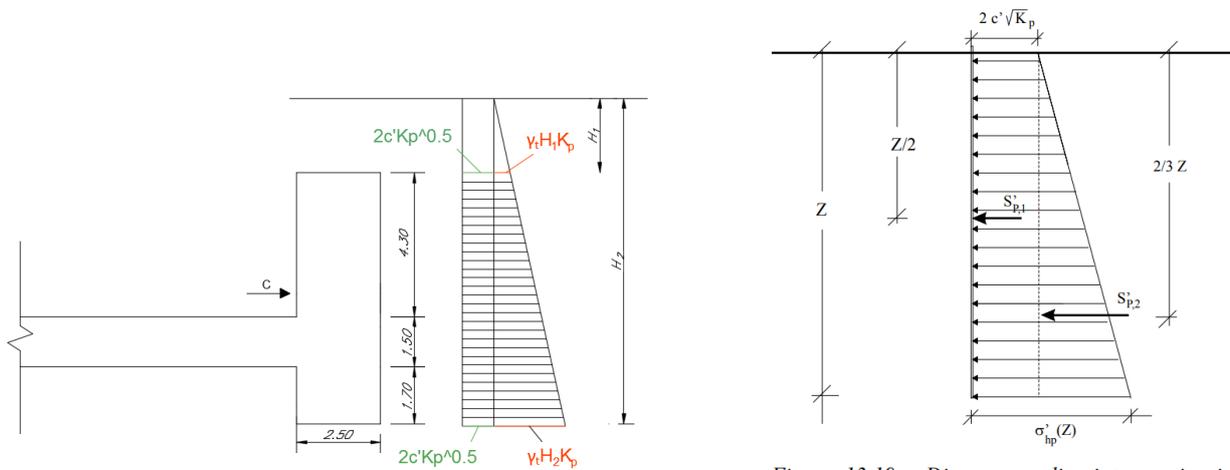


Figura 13.19 – Diagramma di spinta passiva in un terreno dotato di coesione e attrito

Figura 37 Schema di calcolo della spinta passiva.

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

$S_T = F_{ii} + F_{ie}$	=	45010	[kN]	Spinta totale di infissione
γ_{SLU}	=	1.5	[-]	Coefficiente moltiplicativo dei carichi
$S_{T,d} = S_T \times \gamma_{SLU}$	=	67515	[kN]	Spinta di progetto
H_1	=	0	[m]	Inizio muro reggispinta
H_2	=	7.5	[m]	Fine muro reggispinta
L_{ms}	=	15.93	[m]	Lunghezza muro di spinta
K_p	=	8.5	[-]	Coefficiente di spinta passiva
γ_t	=	20	[kN/m ³]	Peso specifico terreno
$\sigma_{p1} = K_p \times \gamma_t \times H_1 + 2c' \times K_p^{0.5}$	=	0	[kN/m ²]	Pressione dovuta alla spinta passiva in testa al muro
$\sigma_{p2} = K_p \times \gamma_t \times H_2 + 2c' \times K_p^{0.5}$	=	1275	[kN/m ²]	Pressione dovuta alla spinta passiva alla base del muro
$R = (\sigma_{p1} + \sigma_{p2}) \times L_{ms} \times (H_2 - H_1) / 2$	=	76165	[kN]	Spinta passiva resistente
$FS = R / S_{T,d}$	=	1.128	[-]	Coefficiente di sicurezza
$p = S_{T,d} / L_{ms}$	=	4238	[kN/m]	Pressione agente sul muro reggispinta al metro
l	=	4	[m]	interasse martinetti
$M_{SLU} = 1/12 p l^2$	=	5651	[kNm]	Momento sul muro reggispinta
$T_{SLU} = 1/2 p l$	=	8476	[kN]	Taglio sul muro reggispinta
$m_{SLU} = M_{SLU} / (H_2 - H_1)$	=	753	[kNm/ml]	Momento sul muro reggispinta al metro
$t_{SLU} = T_{SLU} / (H_2 - H_1)$	=	1130	[kN/ml]	Taglio sul muro reggispinta al metro

Per le verifiche agli SLE si considerano a favore di sicurezza le sollecitazioni $SLU/1.2 = 627.5$ kNm.

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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IZ09

00

D26CL

SL0200001

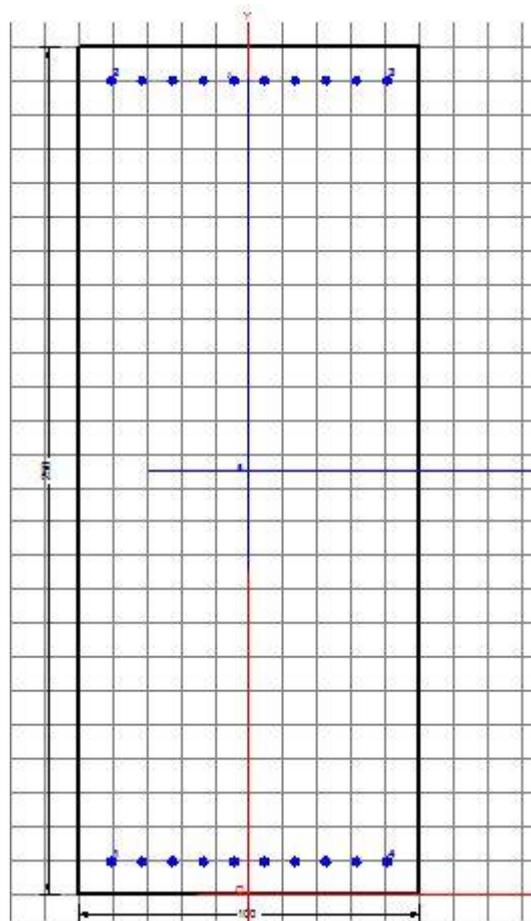
A

95 di 117

Verifica a flessione SLU

Considerando:

- $B = 1000 \text{ mm}$;
- $H = 2700 \text{ mm}$;
- $c = 60 \text{ mm}$;
- $A_s = 1\phi 24/10$
- $A'_s = 1\phi 24/10$



SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	96 di 117

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 ²
	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 ²
	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	-40.4	9.6	24
2	-40.4	240.4	24
3	40.4	240.4	24
4	40.4	9.6	24

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	97 di 117

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	753.00	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	627.50 (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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	98 di 117

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	753.00	0.00	0.00	4148.92	0.00	5.510	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 [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
 As eff. Area barre [cm²] 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	0.97	50.0	250.0	-61.4	-13.5	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 nel calcestruzzo valutata in sezione non fessurata

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	99 di 117

S2 Minima tensione [Mpa] di trazione nel calcestruzzo valutata in sezione fessurata
k2 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata
k3 = 0.125 per flessione e presso-flessione; $= (e1 + e2) / (2 * e1)$ per trazione eccentrica
Ø Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace Ac eff
Cf Coprifero [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
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	-0.5	0	0.125	24	84.0	-10.711	0.00012 (0.00012)	255	0.053 (0.30)	3036.81	0.00

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

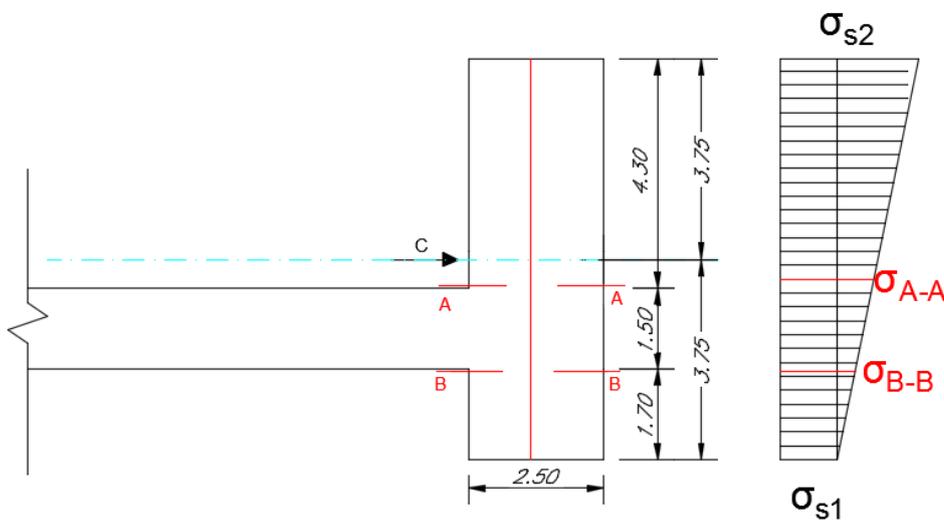


Figura 38 Schema di calcolo armature verticali

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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	100 di 117

Verifica del muro reggispinta (armature orizzontali)

$S_T = F_{ii} + F_{ie}$	=	45010	[kN]	Spinta totale di infissione
γ_{SLU}	=	1.5	[-]	Coefficiente moltiplicativo dei carichi
$S_{T,d} = S_T \times \gamma_{SLU}$	=	67515	[kN]	Spinta di progetto
h_{ms}	=	7.5	[m]	Altezza muro di spinta
L_{ms}	=	15.93	[m]	Lunghezza muro di spinta
b_s	=	0	[m]	
$\sigma_{tm} = S_{T,d} / (L_{ms} \times h_{ms})$	=	565	[kN/m ²]	
$\sigma_{1s} = \sigma_{tm} - S_{T,d} \times b_s / (L_{ms} \times h_{ms}^2 / 6)$	=	565.1	[kN/m ²]	
$\sigma_{2s} = \sigma_{tm} + S_{T,d} \times b_s / (L_{ms} \times h_{ms}^2 / 6)$	=	565.1	[kN/m ²]	
H_A	=	4.3	[m]	Altezza sezione di verifica A-A
H_B	=	1.7	[m]	Altezza sezione di verifica B-B
σ_{A-A}	=	565.1	[kN/m ²]	Pressione media dovuta alla spinta passiva nella sezione A-A
σ_{B-B}	=	565.1	[kN/m ²]	Pressione media dovuta alla spinta passiva nella sezione B-B
M_{A-A}	=	5224. 3	[kNm/m]	Momento massimale al muro sopra
M_{B-B}	=	816.5 6	[kNm/m]	Momento massimale al muro sotto
V_{A-A}	=	2430	[kN/m]	Taglio sezione A-A
V_{B-B}	=	960.7	[kN/m]	Taglio sezione B-B

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IZ09

00

D26CL

SL0200001

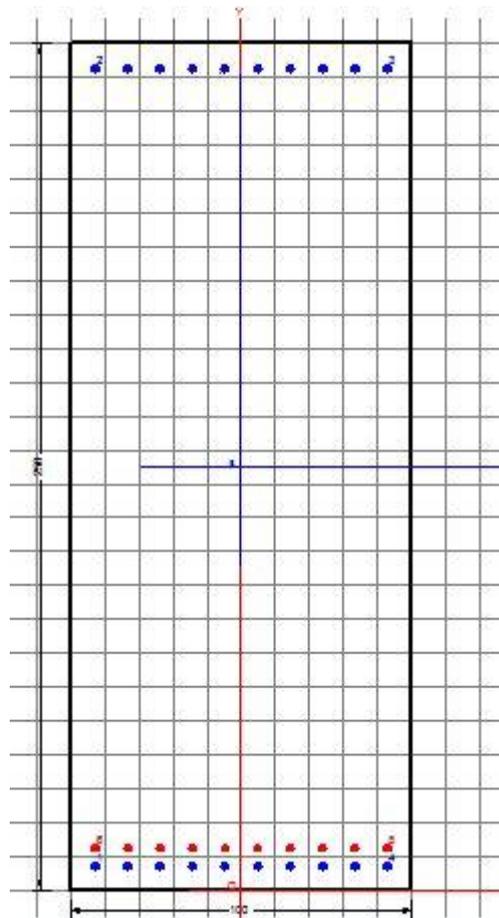
A

101 di 117

Verifica a flessione SLU

Considerando:

- $B = 1000 \text{ mm};$
- $H = 2500 \text{ mm};$
- $c = 60 \text{ mm};$
- $A_s = 1\phi 24/10 + 1\phi 22/10$
- $A'_s = 1\phi 24/10$



SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	102 di 117

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 ²
	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 ²
	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	-42.8	7.2	24
2	-42.8	242.8	24
3	42.8	242.8	24

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	103 di 117

4	42.8	7.2	24
5	42.8	12.5	22
6	-42.8	12.5	22

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	6	5	8	22

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	5224.30	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	4353.60 (3259.15)	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: 3.0 cm

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	104 di 117

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 ²] 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	5224.30	0.00	0.00	7615.67	0.00	1.458	83.3(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.)
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	-0.02235	-50.0	250.0	0.00176	-42.8	242.8	-0.05509	-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	0.000241305	-0.056826313	0.060	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 ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] 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	5.36	-50.0	250.0	-238.5	33.3	7.2	2350	83.3	5.3	0.50

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	105 di 117

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 A_c eff											
k2	= 0.4 per barre ad aderenza migliorata											
k3	= $(S1 + S2)/(2*S1)$ 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	= $1 - \text{Beta}12*(Ssr/Ss)^2 = 1 - \text{Beta}12*(f_{ctm}/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12*(M_{fess}/M)^2$											
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 = $1.7 * e_{sm} * s_{rm}$. 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	-3.4	-2.8	0.226	23	60.0	0.720	0.00086 (0.00048)	189	0.277 (0.30)	3259.15	0.00

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	106 di 117

Verifica di resistenza a taglio

Caratteristiche materiali

Cls R_{ck}

Cls condizioni calcestruzzo

Acciaio 1 acciaio barre longitudinali

Acciaio 2 acciaio armature trasversali

γ_c coefficiente parziale relativo al calcestruzzo

γ_s coefficiente parziale relativo all'acciaio

Geometrie sezione

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

d mm altezza utile della sezione

A_c mm² 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

α ° 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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	107 di 117

Dati traliccio resistente

θ ° inclinazione delle bielle di calcestruzzo rispetto all'asse

$ctg\theta$ 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

τ N/mm² tensione tangenziale corda baricentrica

σ_1 N/mm² tensione principale di trazione sulla corda baricentrica

$ctg\theta_0$ 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

11.5.1. Riepilogo armature

Elemento strutturale	Armatura verticale	Armatura orizzontale	Specifica armatura a taglio
muro	1 ϕ 24/10 interni 1 ϕ 24/10+1 ϕ 22/10 esterni	1 ϕ 24/10 esterni e interni	spille ϕ 12/20/40

12. PISTA CICLABILE

12.1. Geometria

La pista ciclabile è composta da due elementi: il solettone superiore con uno spessore pari a 0.3m e il piedritto con uno spessore pari a 0.3m, come nella figura seguente. Larghezza della pista ciclabile è costante mentre il piedritto ha una altezza variabile da 1.10m da 3.75m.

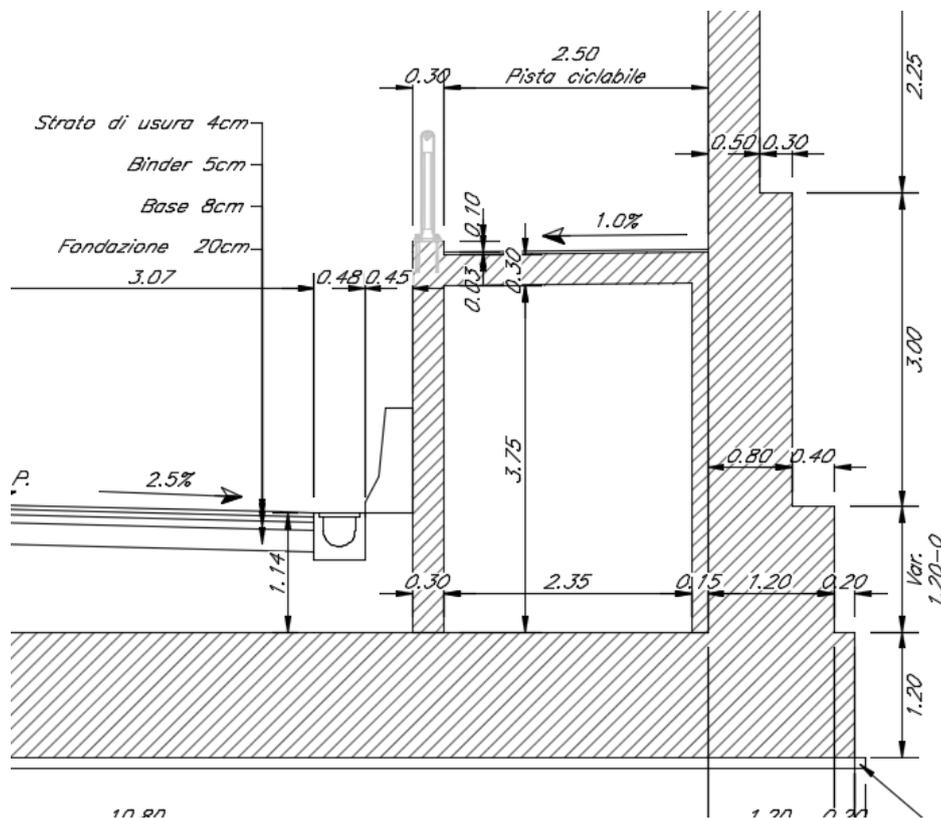


Figura 39: Geometria della pista ciclabile (sezione di verifica)

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

Il modello di calcolo attraverso il quale è schematizzata la struttura è quello di telaio a L piano dove il solettone si incastra sul elevazione del muro/scatolare e il piedritto si incastra nella soletta inferiore del muro/scatolare.

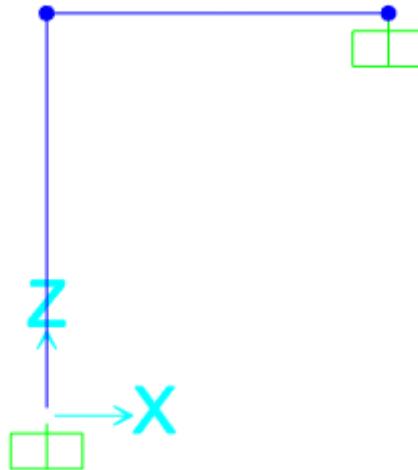


Figura 40: Modello di calcolo

12.2. Analisi dei carichi

1. Peso proprio (PP) - Viene calcolato automaticamente dal programma di calcolo utilizzato considerando per il c.a. $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$, in base alle dimensioni delle sezioni degli elementi.
2. Carichi permanenti portati (PERM)– Sull solettone si considera un stratto di usura con un spessore pari à 3cm e una $\gamma_c = 24 \text{ kN/m}^3$. Il carico applicato sulla soletta superiore ha un valore di 0.72 kN/m^2 . Sulla testa del piedritto si applica un carico gravitazionale dovuto al parapetto pari à 1 kN/ml
3. Carico accidentale dovuto alla folla (ACC)– 5 kN/m^2 .
4. Inerzie orizzontale e verticale dovuto alla sisma (INERZIEH & SISVER) – Dal paragrafo 7.11 prendiamo le coefficienti sismici verticali e orizzontali.

Solettone spessore 0.3m :

Inerzia orizzontale: $0.3\text{m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0.25 + 0.03 \cdot 24 \text{ kN/m}^3 \cdot 0.25 = 2.06 \text{ kN/m}^2$

Sisma verticale : $0.3\text{m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0.125 + 0.03 \cdot 24 \text{ kN/m}^3 \cdot 0.125 = 1.03 \text{ kN/m}^2$

Piedritto spessore 0.3m :

Inerzia orizzontale: $0.3\text{m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0.25 = 1.88 \text{ kN/m}^2$

Sisma verticale : $0.3\text{m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 \cdot 0.125 = 0.94 \text{ kN/m}^2$

12.3. Combinazioni e sollecitazioni

SLU : 1.35 PP +1.5 PERM +1.5 ACC

RARA : 1 PP + 1PERM + 1 ACC

FREQ : 1PP + 1PERM + 0.7 ACC

QP : 1PP + 1 PERM

SLV 1 : 1 PP +1 PERM +1 INERZIEH +0.3 SISVER

SLV 2 : 1 PP +1 PERM +0.3 INERZIEH +1 SISVER

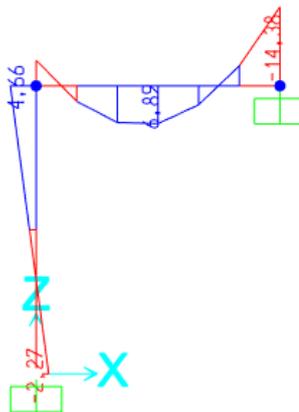


Figura 41: Diagramma del momento – SLU

12.4. Verifiche

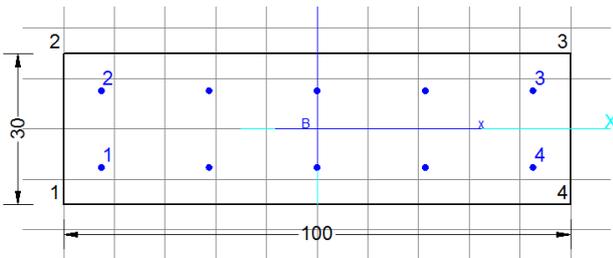
Si è fatta la verifica per il sezione più caricato (nodo destra solettone) . Stessa armatura è usata per tutta la pista ciclabile.

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN	KN-m
5	2,65	SLU1	Combination	-2,20	28,45	-14,38
5	2,65	RARA1	Combination	-1,55	20,11	-10,17
5	2,65	FREQ1	Combination	-1,37	17,84	-9,04
5	2,65	SLV 2	Combination	-3,48	13,98	-7,08
5	2,65	QP 1	Combination	-0,95	12,55	-6,39
5	2,65	SLV 1	Combination	-9,02	12,57	-6,25

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	111 di 117



Armatura tesa Φ 12/20
 Armatura compressa Φ 12/20
 Armatura a taglio Φ 8/40x40

12.4.1. Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU e SLV)

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
	Sc limite S.L.E. comb. Frequenti:	165.00 daN/cm ²
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Frequenti:	0.200 mm
	Sc limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.00 Mpa
	Ap.Fessure limite S.L.E. comb. Q.Permanenti:	0.200 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 ²
	Diagramma tensione-deformaz.:	Bilineare finito
Coeff. Aderenza istantaneo $\beta_1 \cdot \beta_2$:	1.00	

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	112 di 117

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	-15.0
2	-50.0	15.0
3	50.0	15.0
4	50.0	-15.0

DATI BARRE ISOLATE

N° Barra	X [cm]	Y [cm]	DiamØ [mm]
1	-42.6	-7.6	12
2	-42.6	7.6	12
3	42.6	7.6	12
4	42.6	-7.6	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	2	3	3	12
2	1	4	3	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	-14.38	0.00	0.00	0.00
2	0.00	-6.25	0.00	0.00	0.00
3	0.00	-7.08	0.00	0.00	0.00

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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	113 di 117

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	-10.17	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	-9.04 (-33.18)	0.00 (0.00)

COMB. QUASI PERMANENTI (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	-6.39 (-33.18)	0.00 (0.00)

RISULTATI DEL CALCOLO

Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 6.8 cm
Interferro netto minimo barre longitudinali: 14.0 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

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	114 di 117

N°Comb	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.	As Tesa
1	S	0.00	-14.38	0.00	0.00	-60.99	0.00	4.241	11.3(2.9)
2	S	0.00	-6.25	0.00	0.00	-60.99	0.00	9.758	11.3(2.9)
3	S	0.00	-7.08	0.00	0.00	-60.99	0.00	8.614	11.3(2.9)

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.)
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	-0.01203	-50.0	-15.0	-0.00544	-42.6	-7.6	-0.02380	42.6	7.6
2	0.00350	-0.01203	-50.0	-15.0	-0.00544	-42.6	-7.6	-0.02380	42.6	7.6
3	0.00350	-0.01203	-50.0	-15.0	-0.00544	-42.6	-7.6	-0.02380	42.6	7.6

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	-0.001208181	-0.014622709	0.128	0.700
2	0.000000000	-0.001208181	-0.014622709	0.128	0.700
3	0.000000000	-0.001208181	-0.014622709	0.128	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 ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
As eff.	Area barre [cm ²] 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 $Beta1 \cdot Beta2$

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	1.87	50.0	-15.0	-84.5	21.3	7.6	883	5.7	15.2	1.00

COMBINAZIONI FREQUENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
--------	-----	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------	---------	---------	--------

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	115 di 117

1 S 1.66 50.0 -15.0 -75.1 21.3 7.6 883 5.7 15.2 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 $A_{c\text{ eff}}$

k2 = 0.4 per barre ad aderenza migliorata

k3 = $(S1 + S2)/(2*S1)$ con riferimento all'area tesa $A_{c\text{ eff}}$

Ø Diametro [mm] medio delle barre tese comprese nell'area efficace $A_{c\text{ eff}}$

Cf Copriferro [mm] netto calcolato con riferimento alla barra più tesa

Psi = $1 - \text{Beta}12*(S_{sr}/S_s)^2 = 1 - \text{Beta}12*(f_{ctm}/S2)^2 = 1 - \text{Beta}12*(M_{fess}/M)^2$ [B.6.6 DM96]

e sm Deformazione unitaria media tra le fessure [4.3.1.7.1.3 DM96]. Il valore limite = $0.4*S_s/Es$ è tra parentesi

srm Distanza media tra le fessure [mm]

wk Valore caratteristico [mm] dell'apertura fessure = $1.7 * e\text{ sm} * srm$. 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	-0.6	-0.1	0.152	12	68.0	-5.738	0.00015 (0.00015)	280	0.072 (0.20)	-33.18	0.00

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

N°Comb	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xs min	Ys min	Ac eff.	As eff.	D barre	Beta12
1	S	1.18	50.0	-15.0	-53.1	21.3	7.6	883	5.7	15.2	0.50

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - APERTURA FESSURE

Comb.	Ver	S1	S2	k3	Ø	Cf	Psi	e sm	srm	wk	Mx fess	My fess
1	S	-0.4	-0.1	0.152	12	68.0	-12.485	0.00011 (0.00011)	280	0.051 (0.20)	-33.18	0.00

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

Apertura fessure
Apert. fessure = 0.081 mm
Apert. limite = 99999.000 mm
Dist. fessure = 280 mm
Area efficace = 883 cm ²
Coeff. K3 = 0.152

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019
Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	116 di 117

12.4.2. Verifica di resistenza a taglio

Caratteristiche materiali

Cl_s R_{ck} condizioni calcestruzzo

Cl_s condizioni calcestruzzo

Acciaio 1 acciaio barre longitudinali

Acciaio 2 acciaio armature trasversali

γ_c coefficiente parziale relativo al calcestruzzo

γ_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 mm² area della sezione di calcestruzzo

Caratteristiche armature

n_{bl} numero di barre longitudinali

Ø_{bl} mm diametro delle barre longitudinali

n_{bw} numero di bracci delle staffe

Ø_{st} mm diametro delle staffe

s_{st} mm passo delle staffe

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

Caratteristiche sollecitazioni

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

V_{Ed} KN taglio di calcolo

N_{Rd} 5533,3 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)

Elemento non armato a taglio

k 1,89

k_{eff} 1,89 coefficiente considerato nei calcoli

v_{min} 0,526

V_{Rd,1} 111,3 KN taglio resistente - valore 1

V_{Rd,2} 131,5 KN taglio resistente - valore 2

V_{Rd} 131,5 KN taglio resistente di calcolo

SL02 - Nuovo sottopasso al km 8+019

Relazione di calcolo sottovia

COMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ09	00	D26CL	SL0200001	A	117 di 117

12.5. Riepilogo armature

Elemento strutturale	Armatura principale	Armatura secondaria	Incidenze
Pista ciclabile	1ϕ12/20 esterni	1ϕ10/20 esterni e interni	57 kg/m³
	1ϕ12/20 interni		