

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J47109000030009

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO MILANO-ROGOREDO-PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

OPERE PRINCIPALI - SOTTOVIA E SOTTOPASSI

SL05 - Prolungamento sottovia via Del Sole km 17+182,25

Relazione di calcolo opere di imbocco

SCALA:

-

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

N M 0 Z 2 0 D 2 6 C L S L 0 5 0 0 0 0 3 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	CONSORZIO INTEGRA	Novembre 2018	F.Coppini/A.Maran 	Novembre 2018	S. Borelli 	Novembre 2018	F. Baccari 	Novembre 2018

ITALFERR - UC INFRASTRUTTURE NORD
Dot. Ing. Francesco Baccari
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
n. 23372 Sez. 1

File: NM0Z20D26CLSL0500003A

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	3
2	DESCRIZIONE GENERALE.....	4
3	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	5
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
5	CONDIZIONI GEOTECNICHE.....	7
6	CRITERI DI VERIFICA.....	8
	6.1 VERIFICHE DI RESISTENZA AGLI STATI LIMITE ULTIMI	8
	6.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO	8
7	GEOMETRIA DELLA STRUTTURA	12
8	MODELLO DI CALCOLO	13
	8.1 PROGRAMMA DI CALCOLO	13
	8.2 MODELLAZIONE STRUTTURALE	13
	8.3 SCHEMA	14
9	ANALISI DEI CARICHI	15
	9.1 PESI PROPRI STRUTTURALI	15
	9.2 SOVRACCARICHI PERMANENTI PORTATI.....	15
	9.3 CARICHI ESTERNI SU TERRAPIENO	15
	9.4 CARICHI ESTERNI SU MURO	16
	9.5 AZIONI PROVENIENTI DAL TERRENO	17
	9.6 AZIONI PROVENIENTI DAI CARICHI MOBILI.....	18
	9.7 AZIONI SISMICHE	18
10	COMBINAZIONI DI CARICO.....	22
11	VERIFICHE	25
	11.1 SLU – FLESSIONE E PRESSOFLESSIONE	26
	11.2 SLU - TAGLIO.....	27
	11.3 SLE - FESSURAZIONE	28
	11.3.1 (Stato limite di apertura delle fessure) - Combinazione Frequente	29
	11.3.2 (Stato limite di apertura delle fessure) - Combinazione Quasi Permanente.....	30
	11.3.3 (Stato limite di apertura delle fessure) - Combinazione Rara	31

SL05 - Prolungamento Sottovia via del Sole
Relazione di calcolo concio muri di imbocco

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0500003	A	3 di 31

1 PREMESSA

Nell’ambito degli interventi di potenziamento della linea Milano – Genova, si prevede il quadruplicamento della linea ferroviaria nella tratta Milano Rogoredo-Pavia; in prima fase il quadruplicamento interesserà il tratto di linea compreso fra le stazioni di Milano Rogoredo e Pieve Emanuele, per essere esteso in fase successiva fino a Pavia.

Il quadruplicamento in oggetto, a partire dall’uscita della stazione Milano Rogoredo, prosegue in affiancamento alla linea storica e su una nuova sede e si sviluppa a sud di Milano, estendendosi per circa 30 km lungo l’attuale linea ferroviaria tra i nodi di Milano Rogoredo e Pavia.

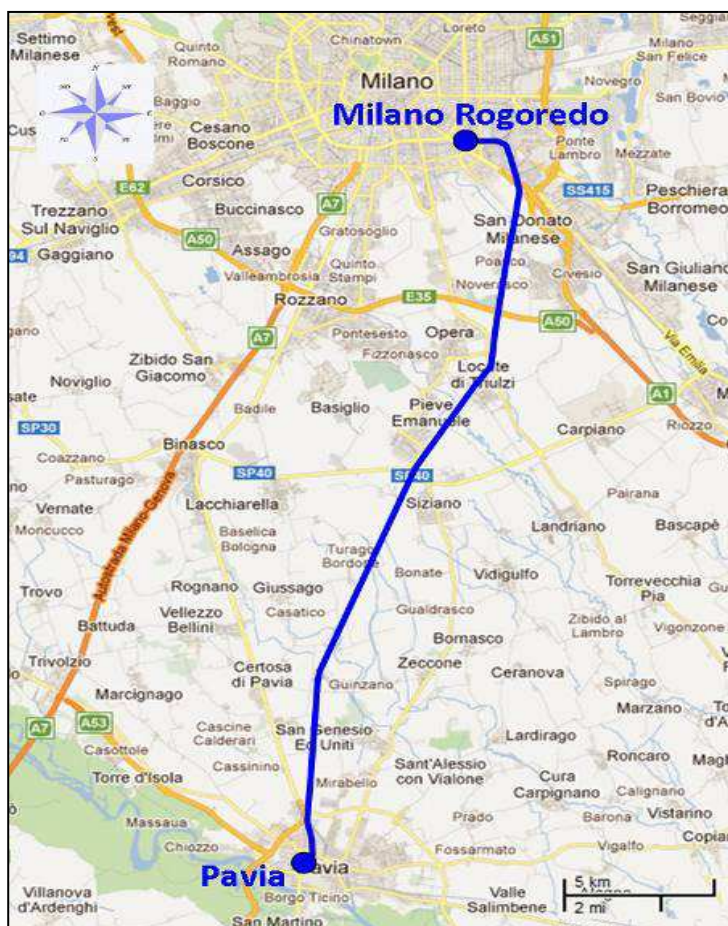


Figura 1 : Planimetria di progetto

Nella presente relazione è riportato il calcolo strutturale dei muri di imbocco dell’opera principale SL05 – Prolungamento sottovia via del Sole al km 17+182.

SL05 - Prolungamento Sottovia via del Sole
Relazione di calcolo concio muri di imbocco

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0500003	A	4 di 31

2 DESCRIZIONE GENERALE

La presente relazione ha per oggetto la verifica del muro di imbocco lato Est dello scatolare SL05. L'opera è necessaria per consentire lo spostamento dei binari della linea storica.

Il muro, con sezione tipologica ad U, ha un'elevazione variabile da 2.90 a 5.60 m con spessore costante di 0.40m e una fondazione di larghezza 13.40 m e spessore 0.70m.

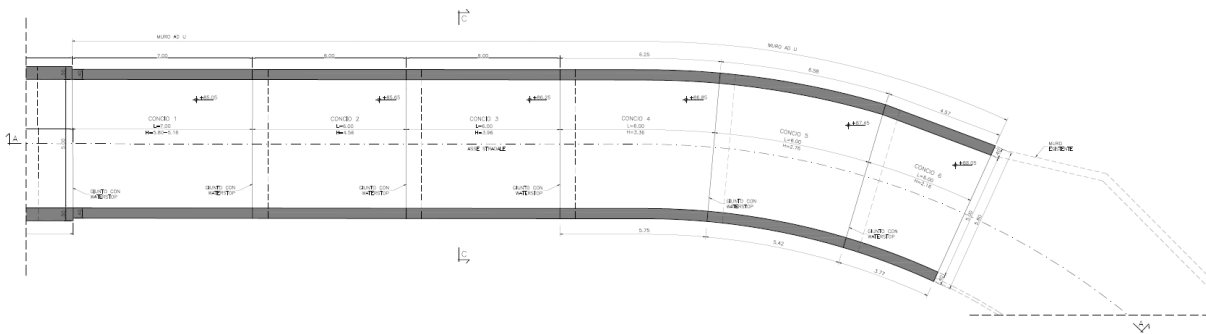


Figura 2 : Planimetria

SEZIONE TRASVERSALE C-C

Scala 1:50

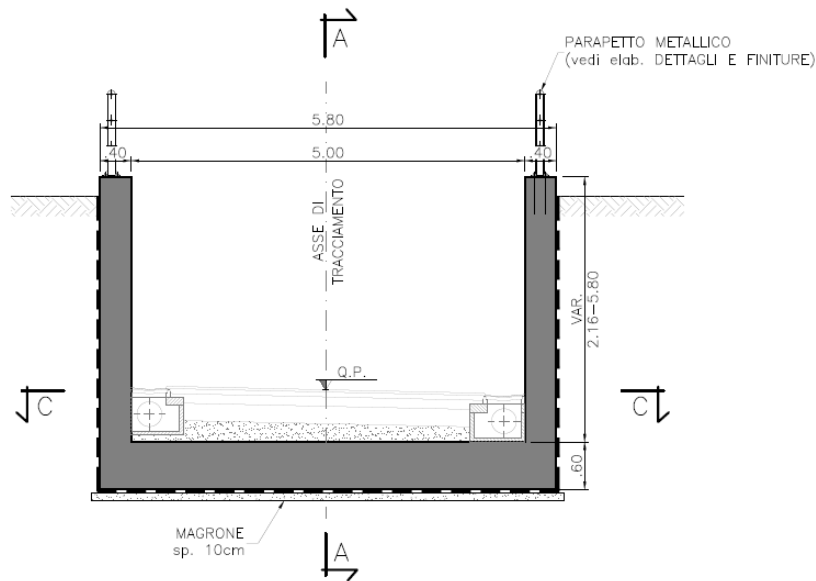


Figura 3: Sezione tipologica

3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

CALCESTRUZZO

Classe di resistenza calcestruzzo
C32/40

Caratteristiche del calcestruzzo

resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	40 [MPa]
resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	33.2 [MPa]
resistenza cilindrica media	f_{cm}	41.2 [MPa]
resistenza media a trazione semplice	f_{ctm}	3.1 [MPa]
resistenza caratteristica a trazione (fratt. 5%)	f_{ctk}	2.2 [MPa]
modulo elastico istantaneo	E_{cm}	33,643 [MPa]

Resistenze di calcolo

resistenza di calcolo a compressione	f_{cd}	18.8 [MPa]
resistenza di calcolo a trazione	f_{ctd}	1.4 [MPa]
coefficiente di espansione termica lineare	α	1.00E-05 [°C ⁻¹]

COEFFICIENTI

γ_c	=	1.5
α_{cc}	=	0.85

ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO

Tipo di acciaio
B450C

Caratteristiche del calcestruzzo

tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	450 [MPa]
tensione caratteristica di rottura	f_{tk}	540 [MPa]

Resistenze di calcolo


resistenza di progetto	f_{yd}	391.3 [MPa]
modulo elastico	E_s	200000 [MPa]

COEFFICIENTI

γ_s	=	1.15
------------	---	------

Per il calcestruzzo armato si assume

 γ_{cls} = 25 kN/m³

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
SL05 - Prolungamento Sottovia via del Sole <i>Relazione di calcolo concio muri di imbocco</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL0500003	REV. A	FOGLIO 6 di 31

4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il dimensionamento e la verifica degli elementi strutturali sono stati condotti nel rispetto delle seguenti normative:

- Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008: Nuove norme tecniche per le costruzioni;
- Circolare 2 febbraio 2009, n.617: Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008;
- Circolare 15 ottobre 1996, n.252 AA.GG./S.T.C.: Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche" di cui al decreto ministeriale 9 gennaio 1996;
- RFI DTC SI MA IFS 001 B: "Manuale di progettazione delle opere civili" del 22/12/2017.
- RFI DTC SI PS MA IFS 001 B: Sezione 2 – Ponti e Strutture.

Riferimenti STI:

– Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione europea;

– Regolamento (UE) N. 1300/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per l'accessibilità del sistema ferroviario dell'Unione per le persone con disabilità e le persone a mobilità ridotta;

– Regolamento (UE) N. 1301/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "energia" del sistema ferroviario dell'Unione europea;

– Regolamento (UE) N. 1303/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità concernente la "sicurezza nelle gallerie ferroviarie" del sistema ferroviario dell'Unione europea;

– Regolamento (UE) 2016/919 della Commissione del 27 maggio 2016 relativo alla specifica tecnica di interoperabilità per i sottosistemi "controllo-comando e segnalamento" del sistema ferroviario nell'Unione europea.



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA
FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

SL05 - Prolungamento Sottovia via del Sole
Relazione di calcolo concio muri di imbocco


COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0500003	A	7 di 31

5 CONDIZIONI GEOTECNICHE

ZONA	SONDAGGIO DI RIFERIMENTO	PROFONDITA'	UNITA' TERRENO
11	PNNMOZ007	da 0 a 30m	S

γ_{sat} [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	ϕ' [°]		ϕ' [°] laboratorio	ϕ' [°] scelto	E'_{op} [MPa]		V_s [m/s]		categoria terreno	G_0 [MPa]	
		max	min			max	min	max	min		max	min
20	17	30	22	29	29	62	4	356	125	C	261	32

Altezza falda 2.66 da base muro

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	SL05 - Prolungamento Sottovia via del Sole <i>Relazione di calcolo concio muri di imbocco</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL0500003	REV. A

6 CRITERI DI VERIFICA

6.1 VERIFICHE DI RESISTENZA AGLI STATI LIMITE ULTIMI

Si è verificato che il valore di progetto degli effetti delle azioni, ovvero delle sollecitazioni flettenti M_d sia minore dei corrispondenti momenti resistenti M_r delle sezioni di progetto.

La verifica di resistenza delle sezioni nei vari elementi strutturali, viene condotta tenendo conto delle condizioni più gravose che si individuano dall'involuppo delle sollecitazioni agenti nelle diverse combinazioni di carico.

Le combinazioni e i coefficienti moltiplicativi delle singole azioni vengono definiti in base a quanto indicato nel D.M. 14 gennaio 2008.

Per quanto riguarda le verifiche a taglio ultimo, si è fatto riferimento al paragrafo 4.1.2.1.3 "Resistenza nei confronti di sollecitazioni taglianti" del D.M. 14 gennaio 2008.

6.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Definizione degli stati limite di fessurazione

In ordine di severità crescente si distinguono i seguenti stati limite:

- stato limite di decompressione nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale è ovunque di compressione ed al più uguale a 0;
- stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

$$\sigma_t = \frac{f_{ctm}}{1,2}$$

- stato limite di apertura delle fessure nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:


$$w_1 = 0,2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0,3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione.

Condizioni ambientali

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	SL05 - Prolungamento Sottovia via del Sole <i>Relazione di calcolo concio muri di imbocco</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL0500003	REV. A

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche, possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella tabella seguente:

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Nel caso in esame si considera l'opera sottoposta a condizioni ordinarie.

Scelta degli stati limite di fessurazione

Nella tabella sottostante sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle esigenze sopra riportate.

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$


Come da manuale RFI DTC SI PS MA IFS 001 B (2.5.1.8.3.2.4) si assume in questo caso per la verifica a fessurazione la combinazione Rara e come limite massimo di apertura delle fessure $w_1=0.2$ mm, (per strutture a permanente contatto con il terreno).



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA
FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

SL05 - Prolungamento Sottovia via del Sole
Relazione di calcolo concio muri di imbocco

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0500003	A	10 di 31

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
SL05 - Prolungamento Sottovia via del Sole <i>Relazione di calcolo concio muri di imbocco</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL0500003	REV. A	FOGLIO 11 di 31

Stato limite di apertura delle fessure

Il valore caratteristico di calcolo di apertura delle fessure (w_d) non deve superare i valori nominali w_1 , w_2 , w_3 secondo quanto riportato nella Tabella sopra riportata.

Il valore caratteristico di calcolo è data da:

$$w_d = 1,70 \cdot w_m$$

dove w_m rappresenta l'ampiezza media delle fessure.

L'ampiezza media delle fessure w_m è calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura ε_{sm} per la distanza media tra le fessure Δ_{sm} :

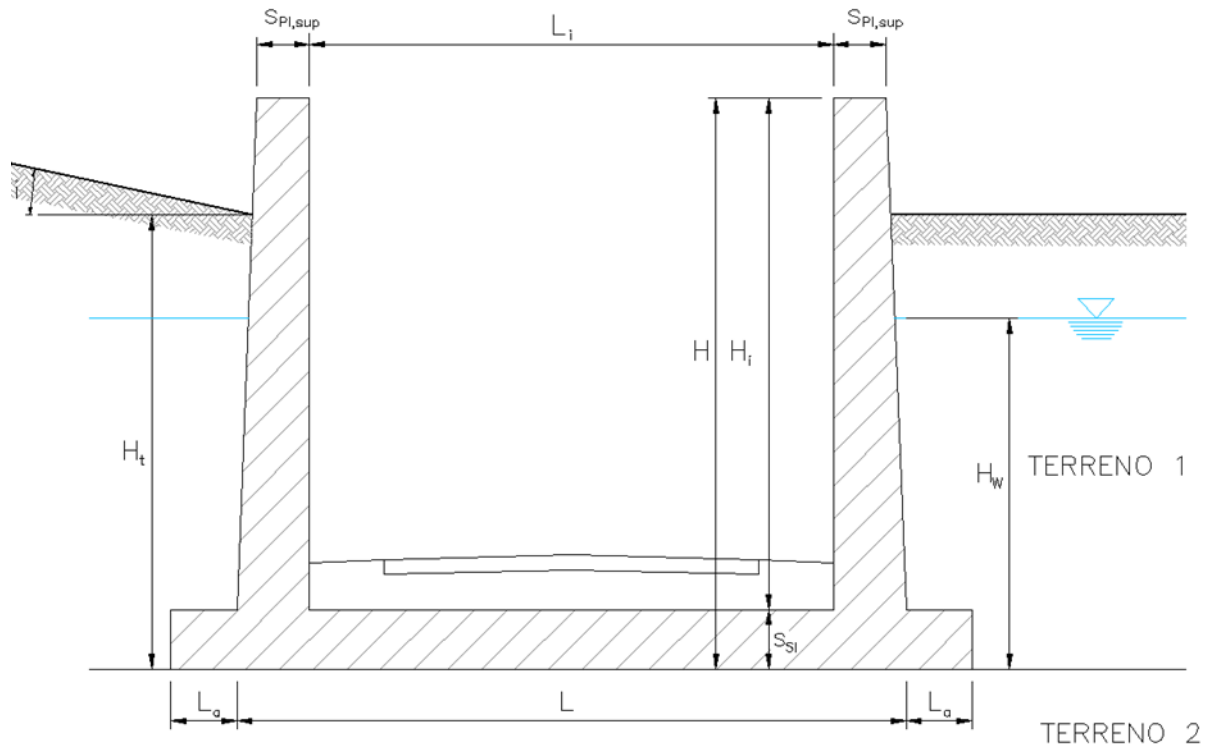
$$w_m = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{sm}$$

Per il calcolo di ε_{sm} e Δ_{sm} vanno utilizzati criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica. ε_{sm} può essere calcolato tenendo conto dell'effetto del "tension stiffening" nel rispetto della limitazione:


$$\varepsilon_{sm} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

con σ_s tensione nell'acciaio dell'armatura tesa (per sezione fessurata) nelle condizioni di carico considerate ed E_s è il modulo elastico dell'acciaio.

7 GEOMETRIA DELLA STRUTTURA



Parete verticale	S_{Pl}	0.4 m
Spessore Soletta Inferiore	S_{SI}	0.6 m
Larghezza totale	L	5.8 m
Altezza totale	H	5.6 m
Larghezza interna	L_i	5 m
Altezza Interna	H_i	5 m
Larghezza ali	L_e	0 m
Altezza Terreno	H_t	5.6 m
Inclinazione terreno	H_p	0 m

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA FASE 2 – QUADRUPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
SL05 - Prolungamento Sottovia via del Sole <i>Relazione di calcolo concio muri di imbocco</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL0500003	REV. A	FOGLIO 13 di 31

8 MODELLO DI CALCOLO

8.1 PROGRAMMA DI CALCOLO

L'analisi è stata effettuata per elementi finiti attraverso l'ausilio del programma di calcolo "SAP2000".


8.2 MODELLAZIONE STRUTTURALE

Il modello di calcolo attraverso il quale è stata analizzata la struttura e schematizzato da un rettangolo costituito da elementi monodimensionali vincolati su un letto di molle alla winkler.

Per i coefficienti del sottosuolo sono stati adottati i seguenti valori

- Coefficiente verticale $k_v = 8294 \text{ kN/m}^3$
- Coefficiente orizzontale $k_h = 4148 \text{ kN/m}^3$

Sono stati utilizzati molle per unità di lunghezza attribuita agli elementi della soletta inferiore.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</p>												
<p>SL05 - Prolungamento Sottovia via del Sole <i>Relazione di calcolo concio muri di imbocco</i></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE-ENTE</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM0Z</td> <td>20</td> <td>D 26</td> <td>CLSL0500003</td> <td>A</td> <td>14 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM0Z	20	D 26	CLSL0500003	A	14 di 31
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM0Z	20	D 26	CLSL0500003	A	14 di 31								

8.3SCHEMA

Il modello è formato da 12 elementi monodimensionale a cui è assegnata la sezione specifica dell'elemento corrispondente

- Gli elementi 1,4,6,7 sono vincolati con delle molle con rigidezza k_v e k_h ;

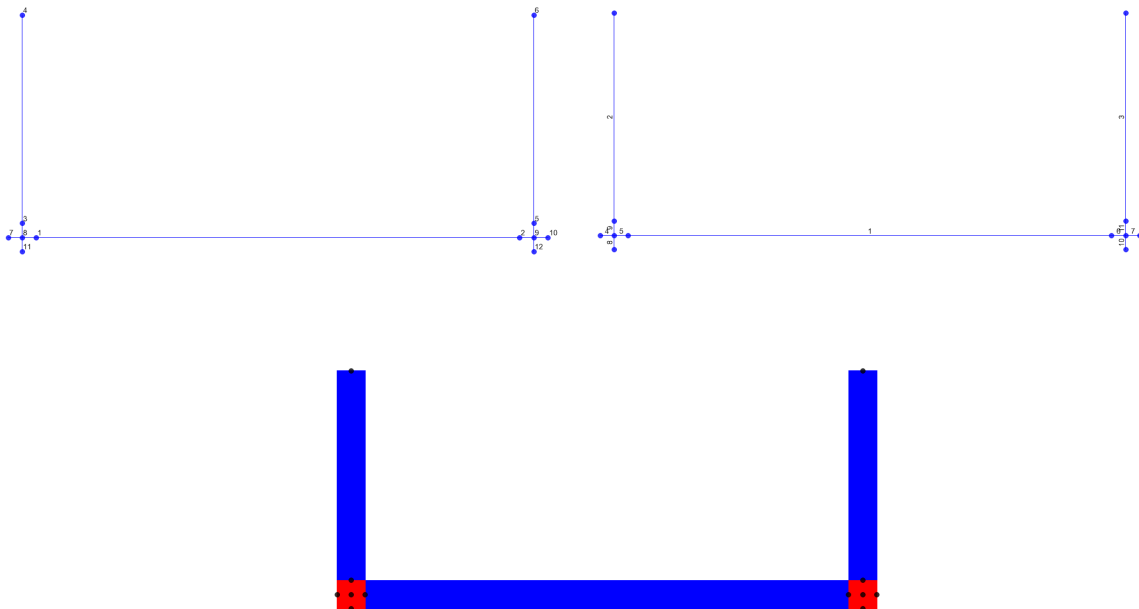


Figure 1 : Schema modello di calcolo

9 ANALISI DEI CARICHI

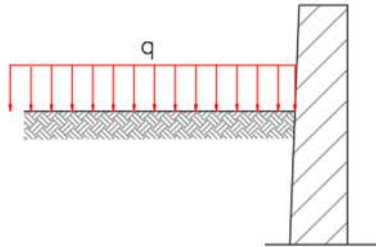
9.1 PESI PROPRI STRUTTURALI

		H [m ²]		γ [kN/m ³]		[m]		[kN/m]
Soletta Inferiore	PP _{SI}	0.60	X	25	X	1	=	15.0
Piedritto	PP _{PI}	0.40	X	25	X	1	=	10.0

9.2 SOVRACCARICHI PERMANENTI PORTATI

Data l'incertezza del carico, a favore di ricurezza non sarà considerato

9.3 CARICHI ESTERNI SU TERRAPIENO

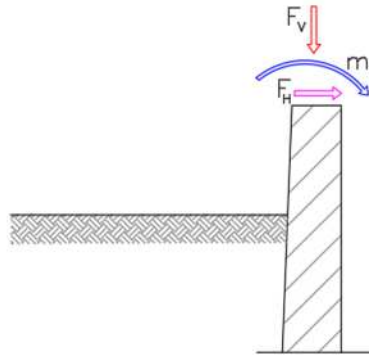


Pressione uniforme permanente su terrapieno	q,P	0	[kN/m/m]
Pressione uniforme variabile su terrapieno	q,v	0	[kN/m/m]

Spinta dovuta a pressione uniforme permanente su terrapieno $\sigma_{pu}(k_0) = k_0 \cdot q_{,P}$

Spinta dovuta a pressione uniforme variabile su terrapieno $\sigma_{pv}(k_0) = k_0 \cdot q_{,v}$

9.4 CARICHI ESTERNI SU MURO



Forza orizzontale permanente su testa muro

$F_{H,P}$ 0 [kN/m]

Forza verticale permanente su testa muro

$F_{V,P}$ 0 [kN/m]

Coppia permanente su testa muro

m,P 0 [kNm/m]

Forza orizzontale variabile su testa muro

$F_{H,v}$ 0 [kN/m]

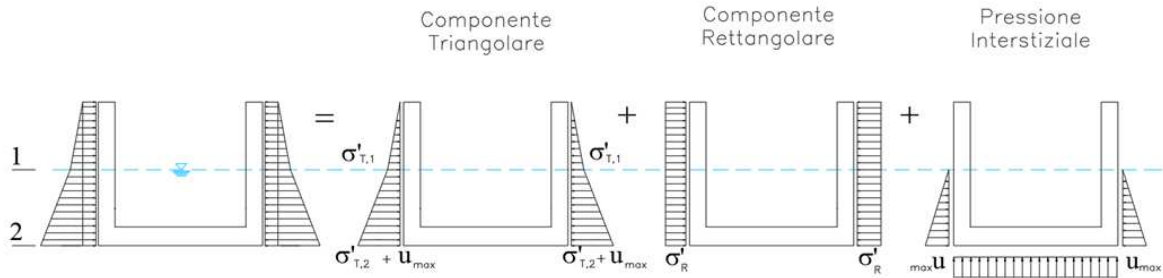
Forza verticale variabile su testa muro

$F_{V,v}$ 0 [kN/m]

Coppia variabile su testa muro

m,v 0 [kNm/m]

9.5 AZIONI PROVENIENTI DAL TERRENO



Pressine interstiziale

$$u_{\max} = 26.6 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Tensioni litostatiche verticali : componente Triangolare

Tensione litostatica verticale efficace in "1" $\sigma'_{T,1} = \gamma_{t2} \times (H_t - H_w) = 58.8 \text{ [kN/m}^2\text{]}$

Tensione litostatica verticale efficace in "2" $\sigma'_{T,2} = \sigma'_{T,1} + \gamma'_{t2} \times H_w = 85.4 \text{ [kN/m}^2\text{]}$

Tensioni litostatiche verticali : componente Rettangolare

Tensione litostatica verticale efficace estradosso Soletta

$$\sigma'_R = 0.0 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Coefficienti di spinta Terreno 1

Deformazione orizzontale nulla

$$k_0 = 1 - \text{sen}\phi'$$

M1	M2	SLE
0.52	0.60	0.52
0.35	0.42	0.35

Equilibrio limite attivo

$$k_a = (1 - \text{sen}\phi') / (1 + \text{sen}\phi')$$

Tensioni totali orizzontali


$$\sigma(k_0) = k_0 \cdot \sigma'_R + k_0 \cdot \sigma'_T + u$$

k_a

0

$$\sigma(k_a) = k_a \cdot \sigma'_R + k_a \cdot \sigma'_T + u$$

1

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	SL05 - Prolungamento Sottovia via del Sole <i>Relazione di calcolo concio muri di imbocco</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL0500003	REV. A

9.6 AZIONI PROVENIENTI DAI CARICHI MOBILI

Data l'incertezza del carico, a favore di ricurezza non sarà considerato

9.7 AZIONI SISMICHE

CARATTERISTICHE SISMICHE

PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

vita nominale	V_N	75	anni
Classe d'uso		III	
coefficiente d'uso	C_U	1.5	
periodo di riferimento per l'azione sismica	V_R	112.5	anni
Stato limite ultimo di salvaguardia della vita SLV			
probabilità di superamento nel periodo di riferimento	P_{VR}	10%	
Periodo di ritorno dell'azione sismica	T_R	1067.8	anni

PARAMETRI CHE DEFINISCONO L'AZIONE SISMICA

accelerazione orizzontale massima al sito	a_g	0.746	[m/s ²]
accelerazione orizzontale massima al sito	a_g	0.076	[g]
coefficiente di amplificazione spettrale massima	F_0	2.584	
periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale	T_C^*	0.292	[s]

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI STRATIGRAFICHE

Categoria di sottosuolo		C	
coefficiente di amplificazione stratigrafica	S_S	1.50	
coefficiente di sottosuolo	C_C	1.58	
Categoria topografica		T1	
coefficiente di amplificazione topografica	S_T	1	
$S_S \times S_T$	S	1.50	
coefficiente di smorzamento viscoso	x	5%	
$\sqrt{(10/(5+x))}$	h	1	



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA
FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

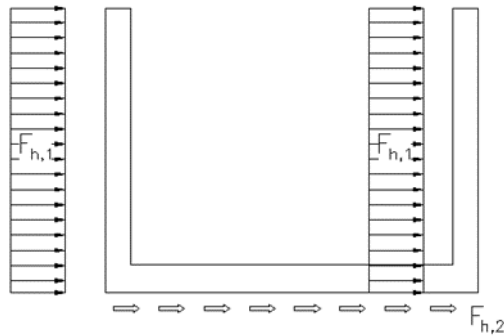
SL05 - Prolungamento Sottovia via del Sole
Relazione di calcolo concio muri di imbocco

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0500003	A	19 di 31

PARAMETRI DI ANALISI

accelerazione orizzontale massima al sito	a_{max}	1.118	[m/s ²]
fattore di struttura	q	1	
coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	β_m	1	
coefficiente sismico orizzontale	k_h	0.114	
coefficiente sismico verticale	k_v	0.057	
Terreno ad elevata permeabilità dinamica		3	
Peso specifico "sismico" del terreno	γ^*	10	
coefficiente sismico orizzontale	k_h	0.11	
coefficiente sismico verticale	k_v	0.06	
	$\theta +$	12.3	
	$\theta -$	13.8	
	φ'_{M2}	23.9	
	δ	0.0	
	δ_{M2}	0.0	
angolo di inclinazione, rispetto all'orizzontale, della parete del muro rivolta a monte	ψ	90	
angolo di inclinazione, rispetto all'orizzontale, della superficie del terrapieno	β	0	
coefficiente di spinta sismica M2	K_e	0.64	

FORZE SISMICHE



Forze di inerzia orizzontali

$$F_h = k_h \times W$$

Forze di inerzia verticali

$$F_v = k_v \times W$$

Sisma

H

Forza di inerzia orizzontale piedritti

$$F_{h1} = (PP_{PI}) \cdot k_h = 1.14 \text{ [kN/m]}$$

Forza di inerzia orizzontale inferiore

$$F_{h2} = (PP_{SI}) \cdot k_h = 1.71 \text{ [kN/m]}$$

Sisma

V

Forza di inerzia verticale piedritti

$$F_{v1} = (PP_{PI}) \cdot k_v = 0.57 \text{ [kN/m]}$$

Forza di inerzia verticale Soletta inferiore

$$F_{v2} = = 0.86 \text{ [kN/m]}$$



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA
FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

SL05 - Prolungamento Sottovia via del Sole
 Relazione di calcolo concio muri di imbocco

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0500003	A	21 di 31

Incremento sismico secondo il metodo di Mononobe-Okabe

(secondo Eurocodice 8-5)

$$E_d = \frac{1}{2} \cdot \gamma^* \cdot H^2 \cdot (1 \pm k_v) \cdot K + E_{ws} + E_{wd}$$

E_{ws} = spinta statica acqua ; K = coefficiente di Mononobe-Okabe

E_{wd} = spinta dinamica acqua (Westergaard)

Alta permeabilità ($k > 5 \times 10^{-4}$ m/s)

$$E_{wd} = 7/12 k_h \gamma_w H^2$$

$$\gamma^* = \gamma - \gamma_w$$

$$tg \vartheta = \frac{\gamma_s}{\gamma_s - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp K_v}$$

γ_s = peso specifico dei grani

Bassa permeabilità ($k < 5 \times 10^{-4}$ m/s)

$$E_{wd} = 0$$

$$\gamma^* = \gamma - \gamma_w$$

$$tg \vartheta = \frac{\gamma}{\gamma - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \mp K_v}$$

γ = peso di volume terreno naturale

Spinta statica dell'acqua	E_{ws}	35.378 [kN/m]
Spinta idrodinamica dell'acqua	E_{wd}	5 [kN/m]
Spinta totale del terreno nel caso sismico	$S_{H,sism}$	105 [kN/m]
Spinta totale del terreno nel caso sismico	$E_d = E_{ws} + E_{wd} + S_{H,sism}$	146 [kN/m]

SL05 - Prolungamento Sottovia via del Sole
 Relazione di calcolo concio muri di imbocco

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0500003	A	22 di 31

10 COMBINAZIONI DI CARICO

COEFFICIENTI PARZIALI DI SICUREZZA

Carichi	Effetto	Coeff.	EQU/UPL	A1 (STR)	A2 (GEO)	SLE	Sism
Carichi Permanenti	favorevole	γ_{G1}	0.9	1	1	1	1
	sfavorevole		1.1	1.35	1	1	1
Carichi Permanenti non strutturali	favorevole	γ_{G2}	0	0	0	1	1
	sfavorevole		1.5	1.35	1.3	1	1
Variabili da traffico	favorevole	γ_Q	0	0	0	0	0
	sfavorevole		1.35	1.35	1.15	1	1
Variabili	favorevole	γ_Q	0	0	0	0	0
	sfavorevole		1.5	1.5	1.3	1	1
Ritiro e viscosità, variazioni termiche	favorevole	γ_Q	0	0	0	0	0
	sfavorevole		1.2	1.2	1	1	1

Parametro		Coeff.	M1	M2	SLE	SLE
angolo d'attrito	$\tan \phi'_k$	γ_ϕ	1	1.25	1	1
coesione	c'_k	γ_c	1	1.25	1	1
resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1	1.4	1	1
peso unità di volume	γ	γ_g	1	1	1	1

Coefficienti parziali per azione ψ			
CARICHI	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Carichi variabili su testa muro	0.60	0.60	0.00
Carichi variabili su terrapieno	0.60	0.60	0.00
Carichi variabili su testa muro in fase sismica	0.00	0.00	0.50
Carichi variabili su terrapieno in fase sismica	0.00	0.00	0.50



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA
FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

SL05 - Prolungamento Sottovia via del Sole
 Relazione di calcolo concio muri di imbocco

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0500003	A	23 di 31

Combinazione massima spinta terreno

Spinta terreno M1 = Spinta terreno SLE

Spinta Terreno	$\sigma_{R,sx}$	$\sigma_{R,dx}$	$\sigma_{T,sx}$	$\sigma_{T,dx}$	$\sigma_{w,sx}$	$\sigma_{w,dx}$
Spinta Terreno C1	0.35	0.35	0.35	0.35	1	1

Spinta terreno M2

Spinta Terreno	$\sigma_{R,sx}$	$\sigma_{R,dx}$	$\sigma_{T,sx}$	$\sigma_{T,dx}$	$\sigma_{w,sx}$	$\sigma_{w,dx}$
Spinta Terreno C1	0.42	0.42	0.42	0.42	1	1

I numeri in tabella rappresentano il prodotto tra i coefficienti di spinta e i coefficienti parziali sulle azioni

Carichi combinati

- G_1 =
 Peso proprio muro
 Forza orizzontale permanente su testa muro
 Forza verticale permanente su testa muro
 Coppia permanente su testa muro
- G_2 =
 Spinta terreno
 Spinta Acqua statica
 Spinta dovuta a pressione uniforme permanente su terrapieno
- $G_{2,sism}$ =
 Spinta dovuta a pressione uniforme permanente su terrapieno
- Q_1 =
 Spinta dovuta a pressione uniforme variabile su terrapieno
- Q_2 =
 Forza orizzontale variabile su testa muro
 Forza verticale variabile su testa muro
 Coppia variabile su testa muro
- E_x =
 Forza di inerzia orizzontale piedritti
 Incremento sismico secondo il metodo di Mononobe-Okabe
- E_z =
 Forza di inerzia verticale piedritti



PROGETTO DEFINITIVO
POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA
QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO - PAVIA
FASE 2 – QUADRUPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

SL05 - Prolungamento Sottovia via del Sole
Relazione di calcolo concio muri di imbocco

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0500003	A	24 di 31

Combinazione di verifica

<i>SLU A1-M1</i>	G ₁	G ₂	Q ₁	Q ₂
SLU 1	1.35	1.35	0	0
SLU 2	1.35	1.35	1.50	0.90
SLU 3	1.35	1.35	0.90	1.50

<i>SLU A2-M2</i>	G ₁	G ₂	Q ₁	Q ₂
SLU 4	1.00	1.30	0	0
SLU 5	1.00	1.30	1.30	0.90
SLU 6	1.00	1.30	0.78	1.30

<i>SISMICA/M2</i>	G ₁	G _{2,sism}	Q ₁	Q ₂	E _x	E _z
SLU 7	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	1.00
SLU 8	1.00	1.00	0.00	0.00	1.00	-1.00
SLU 9	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	1.00
SLU 10	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00	-1.00
SLU 11	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00
SLU 12	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	-1.00

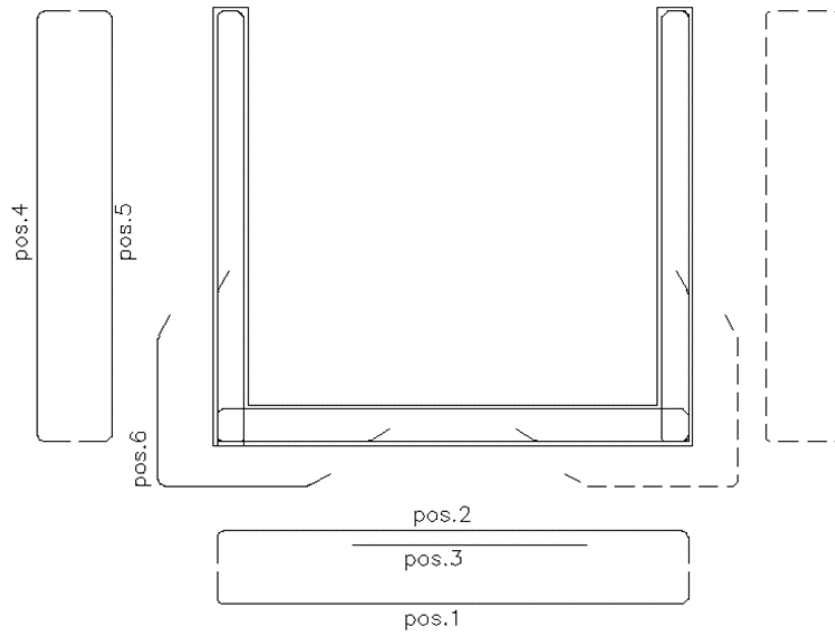
<i>SLR QP</i>	G ₁	G ₂	Q ₁	Q ₂
SLE 1	1.00	1.00	0.00	0.00
SLE 2	1.00	1.00	0.00	0.00

<i>SLR FREQ</i>	G ₁	G ₂	Q ₁	Q ₂
SLE 3	1.00	1.00	0.60	0.00
SLE 4	1.00	1.00	0.00	0.60

SL05 - Prolungamento Sottovia via del Sole
Relazione di calcolo concio muri di imbocco

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLSL0500003	A	25 di 31

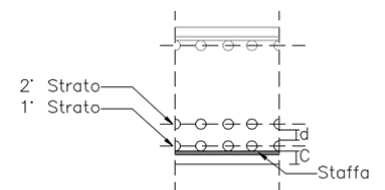
11 VERIFICHE



	Copriferro C[mm]	Correnti ϕ [mm]	Distanziatori d[mm]
Piedritti	50	14	20
Soletta Inferiore	50	14	20

Armatura

	pos	Strato 1		+	Strato 2		in 2°strato
		n°/ml	ϕ [mm]		n°/ml	ϕ [mm]	
Piedritti	1	5	24		0	0	NO
	2	5	16		0	0	NO
	3	5	16		0	0	NO
Soletta inferiore	4	5	24		0	0	NO
	5	5	16		0	0	NO
	6	5	16		0	0	NO



11.1 SLU – FLESSIONE E PRESSOFLESSIONE

b_w	Larghezza sezione
h_{sez}	Altezza sezione
$A'_{s,tesa}$	Area armatura tesa
d	Altezza utile sezione
$A'_{s,comp}$	Area armatura compressa
N_{ed}	Sforzo normale
M_{ed}	Momento flettente
M_{rd}	Momento Resistente

	b_w [mm]	h_{sez} [mm]	$A'_{s,tesa}$ [mm ²]	d [mm]	$A'_{s,comp}$ [mm ²]	N_{ed} [kN]	M_{ed} [kN/m]	M_{rd} [kN/m]	M_{ed}/M_{rd} [-]	
S1 (Mmax)	1000	400	3267.3	330.2	1005.3	52.8	339.0	384.4	0.88	Verifica Soddisfatta
S1 (Nmin)	1000	400	3267.3	330.2	1005.3	67.5	208.0	386.3	0.54	Verifica Soddisfatta
S2 (Mmax)	1000	600	3267.3	529.0	1005.3	0.0	369.3	631.4	0.58	Verifica Soddisfatta
S3 (Mmax)	1000	600	2010.6	533.0	2261.9	0.0	338.3	405.4	0.83	Verifica Soddisfatta

Il massimo tasso di sfruttamento a flessione è 0.83

11.2 SLU - TAGLIO

ρ_l	Rapporto geometrico di armatura longitudinale
k	$1+(200/d)^{1/2} \leq 2$
v_{min}	$0.035k^{3/2} f_{ck}$
σ_{cp}	Tensione media di compressione nella sezione
f_{ck}	Resistenza caratteristica cilindrica
f_{cd}	Resistenza di calcolo a compressione
f'_{cd}	Resistenza a compressione del cls ridotta
f_{yd}	Resistenza di progetto acciaio
$n^\circ \phi$	Numero armature trasversali
ϕ_d	Diametro armature trasversali
s	Interasse armature trasversali
A_{sw}	Area dell'armatura trasversale
α	Angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave
α_C	Coefficiente maggiorativo in elementi compressi
θ	Angolo di inclinazione puntone compresso rispetto asse trave
v_1	Coefficiente di riduzione resistenza a compressione cls
V_{Rsd}	Resistenza a taglio trazione
V_{Rcd}	Resistenza a taglio compressione
V_{ed}	Sforzo di taglio
V_{rd}	Resistenza a taglio

Senza elementi trasversali resistenti a taglio

	ρ_l	k	v_{min} [MPa]	σ_{cp} [MPa]	f_{ck} [MPa]	f_{cd} [MPa]	V_{ed} [kN]	V_{rd} [kN]	V_{ed}/V_{rd} [-]	
S1 (Tmax)	0.0	1.8	0.5	0.2	33.2	18.8	152.5	234.0	0.65	Verifica Soddisfatta
S2 (Tmax)	0.0	1.6	0.4	0.0	33.2	18.8	65.5	280.6	0.23	Verifica Soddisfatta
S3 (Tmax)	0.0	1.6	0.4	0.0	33.2	18.8	65.5	239.5	0.27	Verifica Soddisfatta

Il massimo tasso di sfruttamento a taglio è 0.51

11.3 SLE - FESSURAZIONE

c	Ricoprimento armatura
s	Interasse barre tese
ϕ_{eq}	Diametro equivalente barre tese
k_1	Coefficiente di aderenza del cls alla barra
k_2	Coefficiente di forma del diagramma delle tensioni
k_3	3.4
k_4	0.425
A_s	Area della sezione di acciaio nell'area $A_{c,eff}$
$h_{c,eff}$	Altezza efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura
$A_{c,eff}$	Area efficace di calcestruzzo teso attorno all'armatura
ρ_{eff}	$A_s/A_{c,eff}$
$\Delta_{s,max}$	distanza media tra le fessure
σ_s	Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata
α_e	rapporto E_s/E_{cm}
k_t	Fattore dipendente dalla durata del carico
ϵ_{eq}	Deformazione unitaria media delle barre d'armatura
N	Sforzo normale
M	Momento flettente
w_d	Valore di calcolo dell'apertura delle fessure
w_{max}	Valore limite di apertura delle fessure

Criteria

Condizioni Ambientali	Aggressive
Armatura	Poco Sensibile

Stato limite di verifica

Combinazione frequente :	<i>Stato limite di apertura delle fessure</i>	w2	0.3 [mm]
Combinazione quasi permanente :	<i>Stato limite di apertura delle fessure</i>	w1	0.2 [mm]

11.3.1 (Stato limite di apertura delle fessure) - Combinazione Frequente

	c	s	ϕ_{eq}	k_1	k_2	k_3	k_4	A_s	$h_{c,eff}$	$A_{c,eff}$	ρ_{eff}	$\Delta_{s,max}$
	[mm]	[mm]	[mm]	[]	[]	[]	[]	[mm ²]	[mm]	[mm ²]	[]	[mm]
S1 (Mmax)	45	100	20.8	0.8	0.5	3.4	0.425	3267.3	89.2	89206	0.04	250
S1 (Nmin)	45	100	20.8	0.8	0.5	3.4	0.425	3267.3	89.2	89206	0.04	250
S2 (Mmax)	45	100	24	0.8	0.5	3.4	0.425	3267.3	141.0	141016	0.02	329
S3 (Mmax)	45	100	16	0.8	0.5	3.4	0.425	2010.6	154.0	154030	0.01	361

	$0.6 s_s / E_s$	σ_s	α_e	k_t	ϵ_{eq}
	[]	[MPa]	[]	[]	[]
S1 (Mmax)	0.00048	158.9	5.94	0.4	0.0006
S1 (Nmin)	0.00048	158.9	5.94	0.4	0.0006
S2 (Mmax)	0.00034	113.6	5.94	0.4	0.0003
S3 (Mmax)	0.00054	179.3	5.94	0.4	0.0005

Combinazione: Frequente

	N_{ed}	M_{ed}	w_d	w_{max}	w_d/w_{max}	
	[kN]	[MPa]	[mm]	[mm]	[-]	
S1 (Mmax)	50.0	154.1	0.15	0.3	0.49	Verifica Soddisfatta
S1 (Nmin)	50.0	154.1	0.15	0.3	0.49	Verifica Soddisfatta
S2 (Mmax)	0.0	174.0	0.11	0.3	0.37	Verifica Soddisfatta
S3 (Mmax)	0.0	174.0	0.19	0.3	0.65	Verifica Soddisfatta

Il massimo tasso di sfruttamento a fessurazione è 0.65

11.3.2 (Stato limite di apertura delle fessure) - Combinazione Quasi Permanente

	c	s	ϕ_{eq}	k_1	k_2	k_3	k_4	A_s	$h_{c,eff}$	$A_{c,eff}$	ρ_{eff}	$\Delta_{s,max}$
	[mm]	[mm]	[mm]	[]	[]	[]	[]	[mm ²]	[mm]	[mm ²]	[]	[mm]
S1 (Mmax)	45	100	20.8	0.8	0.5	3.4	0.425	3267.3	89.206	89206	0.04	249.5
S1 (Nmin)	45	100	20.8	0.8	0.5	3.4	0.425	3267.3	89.206	89206	0.04	249.5
S2 (Mmax)	45	100	24	0.8	0.5	3.4	0.425	3267.3	141.02	141016	0.02	329.1
S3 (Mmax)	45	100	16	0.8	0.5	3.4	0.425	2010.6	154.03	154030	0.01	361.4

	$0.6 s_s / E_s$	σ_s	α_e	k_t	ϵ_{eq}
	[]	[MPa]	[]	[]	[]
S1 (Mmax)	0.0005	158.9	5.94	0.4	0.0006
S1 (Nmin)	0.0005	158.9	5.94	0.4	0.0006
S2 (Mmax)	0.0003	113.6	5.94	0.4	0.0003
S3 (Mmax)	0.0005	179.3	5.94	0.4	0.0005

Combinazione: Quasi permanente

	N_{ed}	M_{ed}	w_d	w_{max}	w_d/w_{max}	
	[kN]	[MPa]	[mm]	[mm]	[kN]	
S1 (Mmax)	50.0	154.1	0.15	0.2	0.73	Verifica Soddisfatta
S1 (Nmin)	50.0	154.1	0.15	0.2	0.73	Verifica Soddisfatta
S2 (Mmax)	0.0	174.0	0.11	0.2	0.56	Verifica Soddisfatta
S3 (Mmax)	0.0	174.0	0.19	0.2	0.97	Verifica Soddisfatta

Il massimo tasso di sfruttamento a fessurazione è 0.97

11.3.3 (Stato limite di apertura delle fessure) - Combinazione Rara

	c	s	ϕ_{eq}	k_1	k_2	k_3	k_4	A_s	$h_{c,eff}$	$A_{c,eff}$	ρ_{eff}	$\Delta_{s,max}$
	[mm]	[mm]	[mm]	[]	[]	[]	[]	[mm ²]	[mm]	[mm ²]	[]	[mm]
S1 (Mmax)	45	100	20.8	0.8	0.5	3.4	0.425	3267.3	89.206	89206	0.04	249.5
S1 (Nmin)	45	100	20.8	0.8	0.5	3.4	0.425	3267.3	89.206	89206	0.04	249.5
S2 (Mmax)	45	100	24	0.8	0.5	3.4	0.425	3267.3	141.02	141016	0.02	329.1
S3 (Mmax)	45	100	16	0.8	0.5	3.4	0.425	2010.6	154.03	154030	0.01	361.4

	$0.6 s_s / E_s$	σ_s	α_e	k_t	ϵ_{eq}
	[]	[MPa]	[]	[]	[]
S1 (Mmax)	0.0005	158.9	5.94	0.4	0.0006
S1 (Nmin)	0.0005	158.9	5.94	0.4	0.0006
S2 (Mmax)	0.0003	113.6	5.94	0.4	0.0003
S3 (Mmax)	0.0005	179.3	5.94	0.4	0.0005

Combinazione: Rara

	N_{ed}	M_{ed}	w_d	w_{max}	w_d/w_{max}	
	[kN]	[MPa]	[mm]	[mm]	[kN]	
S1 (Mmax)	50.0	154.1	0.15	0.2	0.73	Verifica Soddisfatta
S1 (Nmin)	50.0	154.1	0.15	0.2	0.73	Verifica Soddisfatta
S2 (Mmax)	0.0	174.0	0.11	0.2	0.56	Verifica Soddisfatta
S3 (Mmax)	0.0	174.0	0.19	0.2	0.97	Verifica Soddisfatta

Il massimo tasso di sfruttamento a fessurazione è 0.97