

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J47109000030009

## U.O. INFRASTRUTTURE NORD

### PROGETTO DEFINITIVO

#### POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO-GENOVA QUADRUPPLICAMENTO MILANO-ROGOREDO-PAVIA FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE

OPERE PRINCIPALI - SOTTOVIA E SOTTOPASSI

SL02 - Prolungamento sottovia poderale km 8+806,23

Relazione di calcolo muri di imbocco

SCALA:

-

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

N M 0 Z 1 0 D 2 6 C L S L 0 2 0 0 0 0 4 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. Borelli Novembre 2018 	Novembre 2018

ITALFERR - UC INFRASTRUTTURE NORD  
Dott. Ing. Francesco Borelli  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
n. 2372 Sez. A

File: NM0Z10D26CLSL0200004A

n. Elab.:

<p>SL02 - Prolungamento Sottovia Poderale <i>Relazione di calcolo muri di imbocco</i></p>	<p>COMMESSA NM0Z</p>	<p>LOTTO 10</p>	<p>FASE-ENTE D26</p>	<p>DOCUMENTO CLSL0200004</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 2 di 28</p>
---	--------------------------	---------------------	--------------------------	----------------------------------	-------------------	---------------------------

## INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	DESCRIZIONE GENERALE .....	4
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	5
4	ALLEGATI .....	6
5	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	7
6	CONDIZIONI GEOTECNICHE .....	8
7	CRITERI DI VERIFICA .....	9
	7.1 VERIFICHE DI RESISTENZA AGLI STATI LIMITE ULTIMI .....	9
	7.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO .....	9
8	DATI GENERALI DELLA STRUTTURA.....	10
9	ANALISI DEI CARICHI.....	11
10	COMBINAZIONI DELLE AZIONI E RESISTENZE PER LA VERIFICA DELLA PARETE .....	15
11	VERIFICA DELLE PARETI LATERALI.....	17
	11.1 VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE.....	17
	11.2 VERIFICHE A TAGLIO .....	18
	11.3 VERIFICHE A FESSURAZIONE.....	21
12	VERIFICA DELLA FONDAZIONE.....	23
	12.1 SOLLECITAZIONI NELLA FONDAZIONE.....	23
	12.2 VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI .....	25
	12.3 VERIFICHE A STATI LIMITE DI ESERCIZIO .....	27

SL02 - Prolungamento Sottovia Poderale <i>Relazione di calcolo muri di imbocco</i>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NM0Z	10	D26	CLSL0200004	A	3 di 28

## 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.

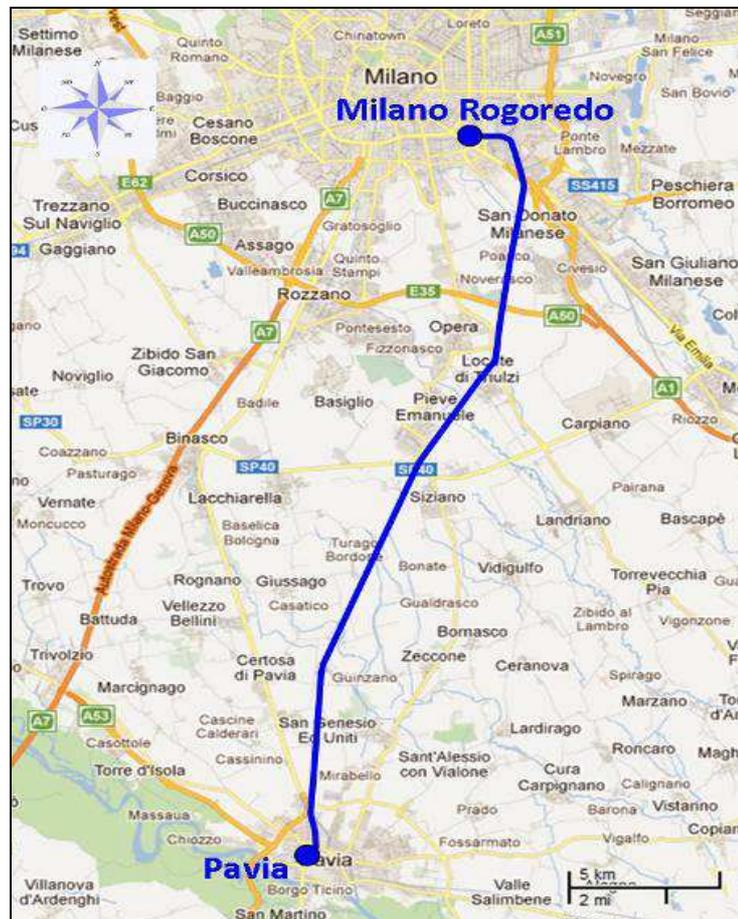


Figura 1 : Planimetria di progetto

La presente relazione definisce modalità del *calcolo statico dei muri di imbocco* del sottopasso in oggetto.

## 2 DESCRIZIONE GENERALE

La presente relazione ha per oggetto la verifica del muro di imbocco lato Est dello scatolare SL02. 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 2.20m a 4.40 m con spessore costante di 0.40m e una fondazione di larghezza 4.80m e spessore 0.40m.

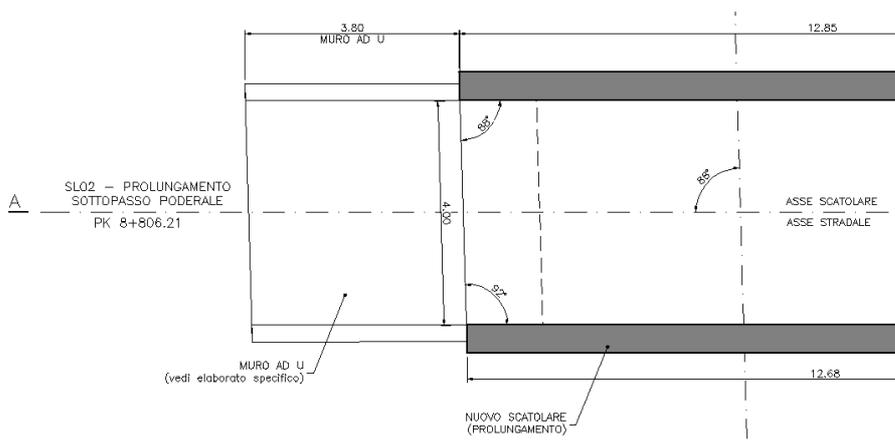


Figura 2 : Planimetria

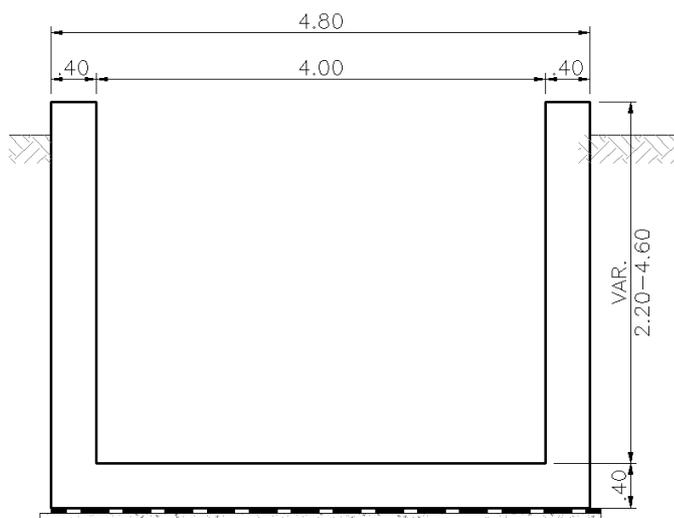


Figura 3: Sezione tipologica

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b> <b>FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE</b>					
	SL02 - Prolungamento Sottovia Poderale <i>Relazione di calcolo muri di imbocco</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10	FASE-ENTE D26	DOCUMENTO CLSL0200004	REV. A

### 3 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 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE**  
**EMANUELE**

SL02 - Prolungamento Sottovia Poderale  
*Relazione di calcolo muri di imbocco*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D26	CLSL0200004	A	6 di 28

#### 4 ALLEGATI

Non sono presenti allegati alla relazione.

## 5 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	$\alpha$	1.00E-05 [°C <sup>-1</sup> ]

COEFFICIENTI

$\gamma_c$	=	1.5
$\alpha_{cc}$	=	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

$\gamma_s$	=	1.15
------------	---	------

Per il calcestruzzo armato si assume

 $\gamma_{cls}$  = 25 kN/m<sup>3</sup>

## 6 CONDIZIONI GEOTECNICHE

Nella seguente tabella sono riassunti i valori delle caratteristiche del terreno assunti nel calcolo della struttura.

ZONA	SONDAGGI DI RIFERIMENTO	PROFONDITA'	UNITA' TERRENO
6	PNMP21P03	da 0 a 40m	S
	e		
	DHNMOZP03		

$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]		$\phi'$ [°]	$\phi'$ [°]	$E'_{op}$ [MPa]		$V_s$ [m/s]		categoria terreno	$G_0$ [MPa]	
		max	min			laboratorio	scelto	max	min		max	min
19	15	30	21	30	29	54	3	363	140	C	257	39

## 7 CRITERI DI VERIFICA

### 7.1 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.

### 7.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

#### Condizioni ambientali

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:

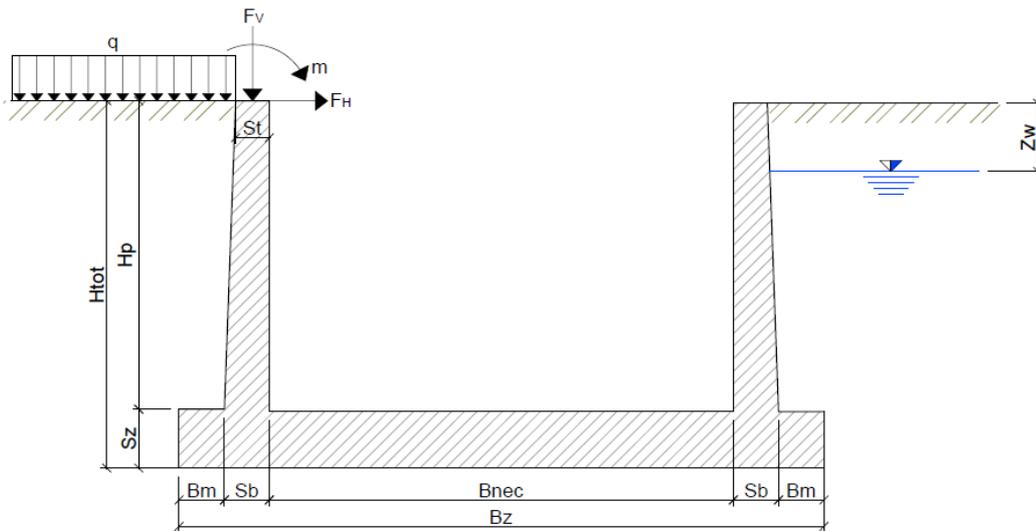
CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

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

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  $w_l = 0.2$  mm, (per strutture a permanente contatto con il terreno).

## 8 DATI GENERALI DELLA STRUTTURA

Altezza parete (da estradosso zattera)	$H_p$	[m]	4.60
Spessore in testa parete	$S_t$	[m]	0.40
Spessore base parete (quota estradosso zattera)	$S_b$	[m]	0.40
Larghezza totale zattera	$B_z$	[m]	4.60
Larghezza mensole di fondazione	$B_m$	[m]	0.00
Larghezza netta muro ad U	$B_{nec}$	[m]	3.80
Spessore zattera	$S_z$	[m]	0.40
Altezza totale muro ad U	$H_{tot}$	[m]	5.00
Profondità falda da piano campagna	$Z_w$	[m]	3.08



### Dati geotecnici terrapieno

peso unità di volume del terrapieno	$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19
peso unità di volume del terrapieno secco	$\gamma_d$	[kN/m <sup>3</sup> ]	19
peso unità di volume del terrapieno immerso	$\gamma'$	[kN/m <sup>3</sup> ]	9
angolo di attrito del terrapieno M1	$\phi'$	[deg]	29
angolo di attrito terreno-parete M1	$\delta$	[deg]	0
angolo di attrito del terrapieno M2	$\phi'_{M2}$		23.9
angolo di attrito terreno-parete M2	$\delta_{M2}$		0.0
Coefficiente di spinta del terreno M1	Attiva	$K_a$	0.35
Coefficiente di spinta del terreno M2	Attiva	$K_a$	0.42

SL02 - Prolungamento Sottovia Poderale <i>Relazione di calcolo muri di imbocco</i>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NM0Z	10	D26	CLSL0200004	A	11 di 28

## 9 ANALISI DEI CARICHI

### *Carichi esterni sul muro*

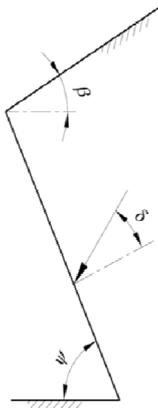
Forza orizzontale permanente su testa muro	$F_{H,P}$	[kN/m]	0
Forza orizzontale variabile su testa muro	$F_{H,V}$	[kN/m]	0
Forza verticale permanente su testa muro	$F_{V,P}$	[kN/m]	0
Forza verticale variabile su testa muro	$F_{V,V}$	[kN/m]	0
Coppia permanente su testa muro	$m_{,P}$	[kNm/m]	0
Coppia variabile su testa muro	$m_{,V}$	[kNm/m]	0

### *Carichi esterni sul terrapieno*

Pressione uniforme permanente su terrapieno	$q_{,P}$	[kN/m/m]	0
Pressione uniforme variabile su terrapieno	$q_{,V}$	[kN/m/m]	0

### *Dati sismici*

Latitudine del sito			
Longitudine del sito			
vita nominale	$V_N$	[anni]	75
coefficiente di uso	$C_u$		1.5
periodo di riferimento per l'azione sismica	$V_R$	[anni]	112.5
accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento su suolo rigido tipo A	$a_g$	[m/s <sup>2</sup> ]	0.697
	$a_g$	[g]	0.071
valore massimo del fattore di amplificazione spettrale	$F_0$		2.625
periodo di inizio del tratto a velocità costante	$T_c^*$	[s]	0.3
Categoria di sottosuolo			C
coeff. amplificazione stratigrafica	$S_s$		1.5
coeff. amplificazione topografica	$S_T$		1
coeff. di suolo e topografia	$S$		1.500
accelerazione orizzontale massima attesa al sito	$a_{MAX}$	[m/s <sup>2</sup> ]	1.046
coefficiente riduzione accelerazione al sito	$\beta_m$		1



	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_m$	$\beta_m$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,31	0,31
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,29	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,18

Terreno impermeabile in condizioni dinamiche			2
Peso specifico "sismico" del terreno	$\gamma^*$	[kN/m <sup>3</sup> ]	9
coefficiente sismico orizzontale	$k_h =$		0.11
coefficiente sismico verticale	$k_v =$		0.05
	$\theta + =$	[deg]	12.2
	$\theta - =$	[deg]	13.6
angolo di inclinazione, rispetto all'orizzontale, della parete del muro rivolta a monte	$\psi =$	[deg]	90
angolo di inclinazione, rispetto all'orizzontale, della superficie del terrapieno	$\beta =$	[deg]	0
coefficiente di spinta sismica M2	K		0.63

## CALCOLO AZIONI

Forze positive se verso il basso e verso valle; coppie positive se tendono le fibre di monte.

I momenti sono riportati alla sezione di incastro del muro con la fondazione.

### Azioni statiche verticali dovute alla struttura

Spessore medio	$S_{av}$	[m]	0.40
Peso muro quota estradosso fondazione	$P_M$	[kN/m]	46.0

### Azioni statiche verticali esterne

Forza verticale permanente su testa muro	$F_{V,p}$	[kN/m]	0.0
Forza verticale variabile su testa muro	$F_{V,v}$	[kN/m]	0.0

### Azioni statiche orizzontali esterne

Forza orizzontale permanente su testa muro	$F_{H,p}$	[kN/m]	0.0
Momento della forza		[kNm/m]	0.0
Forza orizzontale variabile su testa muro	$F_{H,v}$	[kN/m]	0.0
Momento della forza		[kNm/m]	0.0

### Coppie statiche esterne

Coppia permanente su testa muro	$m,P$	[kNm/m]	0.0
---------------------------------	-------	---------	-----



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**  
**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO –**  
**PAVIA**  
**FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE**  
**EMANUELE**

SL02 - Prolungamento Sottovia Poderale <i>Relazione di calcolo muri di imbocco</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10	FASE-ENTE D26	DOCUMENTO CLSL0200004	REV. A	FOGLIO 13 di 28
---	------------------	-------------	------------------	--------------------------	-----------	--------------------

Coppia variabile su testa muro m,V [kNm/m] 0.0

**Azioni statiche orizzontali dal terrapieno**

Spinta orizzontale del terrapieno M1	$S_{H,T,M1}$	[kN/m]	77.3
Momento della forza		[kNm/m]	110.8
Spinta orizzontale del terrapieno M2	$S_{H,T,M2}$	[kN/m]	91.7
Momento della forza		[kNm/m]	133.8

**Azioni statiche orizzontali dai sovraccarichi sul terrapieno**

Spinta orizzontale sovraccarico permanente sul terrapieno M1	$S_{H,q,per, M1}$	[kN/m]	0.0
Momento della forza		[kNm/m]	0.0
Spinta orizzontale sovraccarico variabile sul terrapieno M1	$S_{H,q,var, M1}$	[kN/m]	0.0
Momento della forza		[kNm/m]	0.0
Spinta orizzontale sovraccarico permanente sul terrapieno M2	$S_{H,q,per, M2}$	[kN/m]	0.0
Momento della forza		[kNm/m]	0.0
Spinta orizzontale sovraccarico variabile sul terrapieno M2	$S_{H,q,var, M2}$	[kN/m]	0.0
Momento della forza		[kNm/m]	0.0

**Azioni sismiche associate alle masse**

Forza d'inerzia muro	$F_{I, M}$	[kN/m]	4.9
Momento della forza		[kNm/m]	11.3
Delta sismico peso muro	$\Delta_{p, m}$	[kN/m]	$\pm 2.5$
Forza d'inerzia terreno a tergo	$F_{I, T}$	[kN/m]	0.0
Momento della forza		[kNm/m]	0.0

**Forza totale di progetto sismica**

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

Spinta statica dell'acqua	$E_{ws}$	[kN/m]	11.6
Momento della forza		[kNm/m]	5.9
Spinta idrodinamica dell'acqua	$E_{wd}$	[kN/m]	0.0
$\frac{1}{2} \gamma^* (1 \pm k_v) K \cdot H^2 r_{za}$		[kNm/m]	0.0
	$S_{H,sism}$	[kN/m]	63
Momento della forza		[kNm/m]	146
Forza totale sismica di progetto	$E_d$	[kN/m]	75
Momento della forza		[kNm/m]	151



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**  
**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA**  
**FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE**

SL02 - Prolungamento Sottovia Poderale  
*Relazione di calcolo muri di imbocco*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D26	CLSL0200004	A	14 di 28

### RIEPILOGO AZIONI ALLO SPICCATO PARETE

	N [kN/m]	H [kN/m]	M [kNm/m]
Forza e coppia esterna permanente su testa muro	0.0	0.0	0.0
Forza e coppia esterna variabile su testa muro	0.0	0.0	0.0
Peso proprio del muro	46.0	0.0	0.0
Spinta orizzontale del terrapieno M1	0.0	77.3	110.8
Spinta orizzontale del terrapieno M2	0.0	91.7	133.8
Spinta orizzontale sovraccarico permanente sul terrapieno M1	0.0	0.0	0.0
Spinta orizzontale sovraccarico variabile sul terrapieno M1	0.0	0.0	0.0
Spinta orizzontale sovraccarico permanente sul terrapieno M2	0.0	0.0	0.0
Spinta orizzontale sovraccarico variabile sul terrapieno M2	0.0	0.0	0.0
Forza d'inerzia muro	0.0	4.9	11.3
Delta sismico peso muro	± 2.5	0.0	0.0
Forza d'inerzia terreno a tergo	0.0	0.0	0.0
Forza totale sismica di progetto	0.0	74.8	151.4

## 10 COMBINAZIONI DELLE AZIONI E RESISTENZE PER LA VERIFICA DELLA PARETE

### COMBINAZIONE DELLE AZIONI

COMBINAZIONE FONDAMENTALE (SLU)

$$F_d = \gamma_{G1} \times G_1 + \gamma_{G2} \times G_2 + \gamma_{Q1} \times Q_{K1} + \gamma_{Q2} \times \psi_{02} \times Q_{K2} + \dots$$

COMBINAZIONE SISMICA

$$F_d = E + G_1 + G_2 + \psi_{21} \times Q_{K1} + \dots$$

COMBINAZIONE CARATTERISTICA RARA (SLE-R)

$$F_d = G_1 + G_2 + Q_{K1} + \psi_{02} \times Q_{K2} + \dots$$

COMBINAZIONE FREQUENTE (SLE-F)

$$F_d = G_1 + G_2 + \psi_{11} \times Q_{K1} + \psi_{22} \times Q_{K2} + \dots$$

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE (SLE-QP)

$$F_d = G_1 + G_2 + \psi_{21} \times Q_{K1} + \psi_{22} \times Q_{K2} + \dots$$

### COEFFICIENTI PARZIALI

#### COEFFICIENTI PARZIALI PER GLI STATI LIMITE ULTIMI

CARICHI	EQU	A1	A2	SISM
Permanenti ( $\gamma_{G1}$ )	0.90	1.00	1.00	1.00
	1.10	1.35	1.00	1.00
Permanenti non strutturali ( $\gamma_{G2}$ )	0.00	0.00	0.00	1.00
	1.50	1.50	1.30	1.00
Variabili ( $\gamma_{Qi}$ )	0.00	0.00	0.00	1.00
	1.50	1.50	1.30	1.00

#### COEFFICIENTI PARZIALI PER AZIONE $\psi$

CARICHI	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
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

#### COEFFICIENTI PARZIALI PER I PARAMETRI GEOTECNICI

PARAMETRO		M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'k$	1.00	1.25
Coesione efficace	$c'k$	1.00	1.25
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	1.00	1.00

### COMBINAZIONI ALLO STATO LIMITE ULTIMO ALLO SPICCATO (A1 + M1)

	N [kN/m]	H [kN/m]	M [kNm/m]
COMBINAZIONE 1	62.1	104.3	149.5
COMBINAZIONE 2	62.1	104.3	149.5



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**  
**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO –**  
**PAVIA**  
**FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE**  
**EMANUELE**

SL02 - Prolungamento Sottovia Poderale <i>Relazione di calcolo muri di imbocco</i>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NM0Z	10	D26	CLSL0200004	A	16 di 28

COMBINAZIONE 3	62.1	104.3	149.5
----------------	------	-------	-------

**COMBINAZIONI ALLO STATO LIMITE ULTIMO ALLO SPICCATO (A2+M2)**

	N [kN/m]	H [kN/m]	M [kNm/m]
COMBINAZIONE 1	46.0	91.7	133.8
COMBINAZIONE 2	46.0	91.7	133.8
COMBINAZIONE 3	46.0	91.7	133.8

**COMBINAZIONI ALLO STATO LIMITE ULTIMO ALLO SPICCATO (SISMICA)**

	N [kN/m]	H [kN/m]	M [kNm/m]
COMBINAZIONE 1	48.5	79.8	162.7
COMBINAZIONE 2	43.5	79.8	162.7
COMBINAZIONE 3	48.5	79.8	162.7
COMBINAZIONE 4	43.5	79.8	162.7
COMBINAZIONE 5	48.5	79.8	162.7
COMBINAZIONE 6	43.5	79.8	162.7

**COMBINAZIONI ALLO SLE (RARA) ALLO SPICCATO MURO**

	N [kN/m]	H [kN/m]	M [kNm/m]
COMBINAZIONE 1	46.0	77.3	110.8
COMBINAZIONE 2	46.0	77.3	110.8
COMBINAZIONE 3	46.0	77.3	110.8

**COMBINAZIONI ALLO SLE (QUASI PERMANENTE) ALLO SPICCATO**

	N [kN/m]	H [kN/m]	M [kNm/m]
COMBINAZIONE 1	46.0	77.3	110.8
COMBINAZIONE 2	46.0	77.3	110.8

**COMBINAZIONI ALLO SLE (FREQUENTE) ALLO SPICCATO**

	N [kN/m]	H [kN/m]	M [kNm/m]
COMBINAZIONE 1	46.0	77.3	110.8
COMBINAZIONE 2	46.0	77.3	110.8

SL02 - Prolungamento Sottovia Poderale <i>Relazione di calcolo muri di imbocco</i>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NM0Z	10	D26	CLSL0200004	A	17 di 28

## 11 VERIFICA DELLE PARETI LATERALI

### 11.1 VERIFICHE A PRESSOFLESSIONE

#### *Armature verticali*

##### Sezione di verifica: spiccato muro

#### *Geometria*

larghezza sezione	b	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	400
copriferro contro terra	c'	[mm]	50
copriferro fuori terra	c	[mm]	50
altezza utile sezione	d	[mm]	338

#### *Armature controterra*

numero	n		5
diametro	Ø	[mm]	24
interasse	i	[mm]	200
numero	n		5
diametro	Ø	[mm]	0
interasse	i	[mm]	200
area armatura tesa	A <sub>s</sub> '	[mm <sup>2</sup> ]	2262

#### Verifica A1+M1

	Sollecitazioni di progetto		Verifica	
	N [kN/m]	M [kNm/m]	M <sub>rd</sub> [kNm/m]	
COMBINAZIONE 1	62.1	149.5	283.6	OK
COMBINAZIONE 2	62.1	149.5	283.6	OK
COMBINAZIONE 3	62.1	149.5	283.6	OK

#### Verifica A2+M2

	Sollecitazioni di progetto		Verifica	
	N [kN/m]	M [kNm/m]	M <sub>rd</sub> [kNm/m]	
COMBINAZIONE 1	46.0	133.8	281.3	OK
COMBINAZIONE 2	46.0	133.8	281.3	OK
COMBINAZIONE 3	46.0	133.8	281.3	OK

#### Verifica Sismica

	Sollecitazioni di progetto		Verifica	
	N [kN/m]	M [kNm/m]	$M_{rd}$ [kNm/m]	
COMBINAZIONE 1	48.5	162.7	281.7	OK
COMBINAZIONE 2	43.5	162.7	281.0	OK
COMBINAZIONE 3	48.5	162.7	281.7	OK
COMBINAZIONE 4	43.5	162.7	281.0	OK
COMBINAZIONE 5	48.5	162.7	281.7	OK
COMBINAZIONE 6	43.5	162.7	281.0	OK

## 11.2 VERIFICHE A TAGLIO

### Armature verticali

#### Sezione di verifica: spiccato muro

#### Geometria

larghezza sezione	b	[mm]	1000
altezza sezione	h	[mm]	400
copriferro controterra	c'	[mm]	45
copriferro fuoriterra	c	[mm]	45
altezza utile sezione	d	[mm]	343

#### Armature controterra

numero	n		5
diametro	Ø	[mm]	24
interasse	i	[mm]	200
numero	n		5
diametro	Ø	[mm]	0
interasse	i	[mm]	200
area armatura tesa	$A_s'$	[mm <sup>2</sup> ]	2262

#### Verifica A1+M1

	Sollecitazioni di progetto		Verifica	
	N [kN/m]	M [kNm/m]	$M_{rd}$ [kNm/m]	
COMBINAZIONE 1	62.1	149.5	291.5	OK
COMBINAZIONE 2	62.1	149.5	291.5	OK
COMBINAZIONE 3	62.1	149.5	291.5	OK

**Verifica A2+M2**

	Sollecitazioni di progetto		Verifica	
	N [kN/m]	M [kNm/m]	$M_{rd}$ [kNm/m]	
COMBINAZIONE 1	46.0	133.8	289.1	OK
COMBINAZIONE 2	46.0	133.8	289.1	OK
COMBINAZIONE 3	46.0	133.8	289.1	OK

**Verifica Sismica**

	Sollecitazioni di progetto		Verifica	
	N [kN/m]	M [kNm/m]	$M_{rd}$ [kNm/m]	
COMBINAZIONE 1	48.5	264.3	289.5	OK
COMBINAZIONE 2	43.5	264.3	288.7	OK
COMBINAZIONE 3	48.5	264.3	289.5	OK
COMBINAZIONE 4	43.5	264.3	288.7	OK
COMBINAZIONE 5	48.5	264.3	289.5	OK
COMBINAZIONE 6	43.5	264.3	288.7	OK

**VERIFICHE A TAGLIO**
**Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio**

larghezza sezione	$b_w$	[mm]	1000
altezza sezione	$h$	[mm]	400
altezza utile sezione	$d$	[mm]	343
armatura armatura tesa	$A_{sl}$	[mm <sup>2</sup> ]	2262
rapporto geometrico di armatura longitudinale	$\rho_l$		0.007
resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck}$	[MPa]	33

**Verifica A1+M1**

	Sollecitazioni di progetto		Verifica	
	$\sigma_{cp}$ [Mpa/m]	H [kN/m]	$V_{rd}$ [kN/m]	
COMBINAZIONE 1	0.16	104.3	211.1	OK
COMBINAZIONE 2	0.16	104.3	211.1	OK
COMBINAZIONE 3	0.16	104.3	211.1	OK

**Verifica A2+M2**

	Sollecitazioni di progetto		Verifica	
	$\sigma_{cp}$ [Mpa/m]	H [kN/m]	$V_{rd}$ [kN/m]	
COMBINAZIONE 1	0.12	91.7	209.0	OK
COMBINAZIONE 2	0.12	91.7	209.0	OK



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**  
**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA**  
**FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE**

SL02 - Prolungamento Sottovia Poderale <i>Relazione di calcolo muri di imbocco</i>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NM0Z	10	D26	CLSL0200004	A	20 di 28

COMBINAZIONE 3	0.12	91.7	209.0	OK
<b>Verifica Sismica</b>				
	Sollecitazioni di progetto		Verifica	
	$\sigma_{cp}$ [Mpa/m]	H [kN/m]	$V_{rd}$ [kN/m]	
COMBINAZIONE 1	0.0	124.9	203.1	OK
COMBINAZIONE 2	0.0	124.9	203.1	OK
COMBINAZIONE 3	0.0	124.9	203.1	OK
COMBINAZIONE 4	0.0	124.9	203.1	OK
COMBINAZIONE 5	0.0	124.9	203.1	OK
COMBINAZIONE 6	0.0	124.9	203.1	OK

### 11.3 VERIFICHE A FESSURAZIONE

Condizioni ambientali	Aggressive
Combinazione di azioni	Limiti [mm]
Frequente	0.3
Quasi permanente	0.2

STATO LIMITE DI APERTURA FESSURE: limiti

w <sub>1</sub> [mm]	0.2
w <sub>2</sub> [mm]	0.3
w <sub>3</sub> [mm]	0.4

#### Verifica a fessurazione senza calcolo diretto

#### Diametri massimi delle barre $\phi_s^*$ per il controllo della fessurazione<sup>1)</sup>

Tensione nell'acciaio <sup>2)</sup> [MPa]	Diametro massimo delle barre [mm]		
	w <sub>k</sub> = 0,4 mm	w <sub>k</sub> = 0,3 mm	w <sub>k</sub> = 0,2 mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

#### Spaziatura massima delle barre per il controllo della fessurazione<sup>1)</sup>

Tensione nell'acciaio <sup>2)</sup> [MPa]	Spaziatura massima delle barre [mm]		
	w <sub>k</sub> = 0,4 mm	w <sub>k</sub> = 0,3 mm	w <sub>k</sub> = 0,2 mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**  
**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA**  
**FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE**

SL02 - Prolungamento Sottovia Poderale  
*Relazione di calcolo muri di imbocco*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D26	CLSL0200004	A	22 di 28

Diametro massimo barre	[mm]	24
Spaziatura massima barre	[mm]	200

COMBINAZIONE FREQUENTE

	N [kN/m]	M [kNm/m]
COMBINAZIONE 1	46.0	110.8
COMBINAZIONE 2	46.0	110.8
Tensione nell'armatura considerando la sezione parzializzata	$s_s$ [MPa]	149.9
	<i>Verifica</i>	<i>SI</i>

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

	N [kN/m]	M [kNm/m]
COMBINAZIONE 1	46.0	110.8
COMBINAZIONE 2	46.0	110.8
Tensione nell'armatura considerando la sezione parzializzata	$s_s$ [MPa]	149.9
	<i>Verifica</i>	<i>SI</i>

## 12 VERIFICA DELLA FONDAZIONE

### 12.1 SOLLECITAZIONI NELLA FONDAZIONE

#### CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI NELLA FONDAZIONE

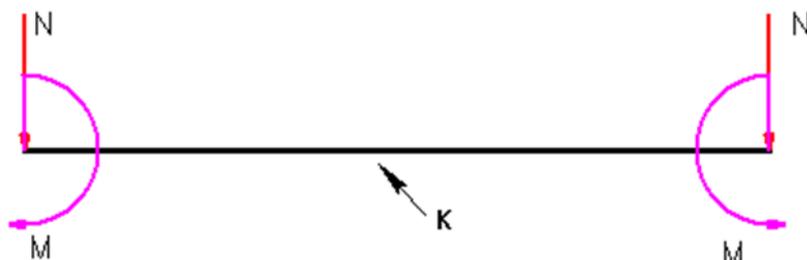
Larghezza totale zattera	$L = B_z$	[m]	4.6
Larghezza mensole di fondazione	$B_m$	[m]	0
Larghezza netta muro ad U	$B_{nec}$	[m]	3.8
Spessore zattera	$S_z$	[m]	0.4
<b>Dati modello geotecnico-strutturale</b>			
Costante di sottofondo verticale del terreno	$k$	[kN/m <sup>3</sup> ]	8427
Larghezza impronta fondazione	$B$	[m]	1
Modulo elasticità del suolo	$E_s$	[Mpa]	8.427
Rigidezza flessionale fondazione	$E^*J$	[Nmm <sup>2</sup> ]	1.79E+14
Lunghezza elastica	$L_0$	[m]	3.04
	$L/L_0$	$< \pi$	1.51

#### Azioni gravitazionali struttura fondazione

coeff. parziale peso fondazione	$\gamma$		1.35
coeff. parziale sovraccarico su fondazione	$\gamma$		1.50
peso zattera caratteristico	$p_r$	[kN/m/m]	14
sovraccarichi su fondazione caratteristico	$p_z$	[kN/m/m]	2
carico fondazione SLU	$p$	[kN/m/m]	21

#### Azioni provenienti dalle elevazioni

Convenzione e modello fondazione



#### COMBINAZIONI SLU ALLO SPICCATO (A1 + M1)

	N [kN/m]	M [kNm/m]
COMBINAZIONE 1	62.1	149.5
COMBINAZIONE 2	62.1	149.5
COMBINAZIONE 3	62.1	149.5

#### COMBINAZIONI SLU ALLO SPICCATO (A2 + M2)



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**  
**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO –**  
**PAVIA**  
**FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE**  
**EMANUELE**

SL02 - Prolungamento Sottovia Poderale <i>Relazione di calcolo muri di imbocco</i>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10	FASE-ENTE D26	DOCUMENTO CLSL0200004	REV. A	FOGLIO 24 di 28
---	------------------	-------------	------------------	--------------------------	-----------	--------------------

	N [kN/m]	M [kNm/m]
COMBINAZIONE 1	46.0	133.8
COMBINAZIONE 2	46.0	133.8
COMBINAZIONE 3	46.0	133.8

**COMBINAZIONI SLU ALLO SPICCATO (SISMICA)**

	N [kN/m]	M [kNm/m]
COMBINAZIONE 1	48.5	264.3
COMBINAZIONE 2	43.5	264.3
COMBINAZIONE 3	48.5	264.3
COMBINAZIONE 4	43.5	264.3
COMBINAZIONE 5	48.5	264.3
COMBINAZIONE 6	43.5	264.3

**SOLLECITAZIONI MASSIME SLU NELLA ZATTERA**

	M [kNm/m]	V [kNm/m]
Sezione d'estremità	264.3	62.1
Sezione di mezzeria	202.7	0

SL02 - Prolungamento Sottovia Poderale <i>Relazione di calcolo muri di imbocco</i>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NM0Z	10	D26	CLSL0200004	A	25 di 28

## 12.2 VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI

### Sezione d'estremità

#### Geometria

larghezza sezione	b = [mm]	1000
altezza sezione	h = [mm]	400
	c'	
copriferro superiore	= [mm]	45
copriferro inferiore	c = [mm]	45
altezza utile sezione	d = [mm]	343

#### Armature inferiori

numero	n	5
diámetro	Ø [mm]	24
interasse	i [mm]	200
numero	n	5
diámetro	Ø [mm]	0
interasse	i [mm]	200
area armatura superiore	A <sub>s</sub> ' [mm <sup>2</sup> ]	2262
asse neutro da intradosso	y <sub>n</sub> [mm]	58.1
asse neutro bilanciata da intradosso	y <sub>nb</sub> [mm]	222.3

#### Verifica

momento sollecitante	M <sub>Sd</sub> [kNm/m]	264
momento resistente	M <sub>Rd</sub> [kNm/m]	283

Verificato

### Resistenza a flessione - armature trasversali

#### Sezione di mezzeria

#### Geometria

larghezza sezione	b = [mm]	1000
altezza sezione	h = [mm]	400
	c'	
copriferro superiore	= [mm]	45
copriferro inferiore	c = [mm]	45
altezza utile sezione	d = [mm]	343

#### Armature superiori

numero	n	5
diámetro	Ø [mm]	24
interasse	i [mm]	200
numero	n	5
diámetro	Ø [mm]	0
interasse	i [mm]	200
area armatura superiore	A <sub>s</sub> ' [mm <sup>2</sup> ]	2262

SL02 - Prolungamento Sottovia Poderale <i>Relazione di calcolo muri di imbocco</i>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NM0Z	10	D26	CLSL0200004	A	26 di 28

asse neutro da intradosso	$y_n$	[mm]	58.1
asse neutro bilanciata da intradosso	$y_{nb}$	[mm]	222.3
<b>Verifica</b>			
momento sollecitante	$M_{Sd}$	[kNm/m]	203
momento resistente	$M_{Rd}$	[kNm/m]	283

**Verificato**

## VERIFICHE A TAGLIO

### *Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio*

			Estremità	Mezzeria
larghezza sezione	$b_w$	[mm]	1000	1000
altezza sezione	$h$	[mm]	400	400
altezza utile sezione	$d$	[mm]	343	343
armatura armatura tesa ancorata oltre la sezione considerata	$A_{sl}$	[mm <sup>2</sup> ]	2262	2262
rapporto geometrico di armatura longitudinale	$\rho_l$		0.007	0.007
tensione media di compressione nella sezione	$\sigma_{cp}$	[MPa]	0	0
resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck}$	[MPa]	33	33
resistenza a taglio	$V_{Rd}$	[kN]	203.1	203.1
sforzo di taglio massimo	$V_{ed}$	[kN]	62.1	0.0

**Verificato**      **Verificato**

### 12.3 VERIFICHE A STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Condizioni ambientali	Aggressive
Combinazione di azioni	Limiti [mm]
Frequente	0,3
Quasi permanente	0,2

STATO LIMITE DI APERTURA FESSURE: limiti

w <sub>1</sub> [mm]	0,2
w <sub>2</sub> [mm]	0,3
w <sub>3</sub> [mm]	0,4

*Verifica a fessurazione senza calcolo diretto*

#### Diametri massimi delle barre $\phi^*_s$ per il controllo della fessurazione<sup>1)</sup>

Tensione nell'acciaio <sup>2)</sup> [MPa]	Diametro massimo delle barre [mm]		
	w <sub>k</sub> = 0,4 mm	w <sub>k</sub> = 0,3 mm	w <sub>k</sub> = 0,2 mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

#### Spaziatura massima delle barre per il controllo della fessurazione<sup>1)</sup>

Tensione nell'acciaio <sup>2)</sup> [MPa]	Spaziatura massima delle barre [mm]		
	w <sub>k</sub> = 0,4 mm	w <sub>k</sub> = 0,3 mm	w <sub>k</sub> = 0,2 mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-



**PROGETTO DEFINITIVO**  
**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**  
**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA**  
**FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE**

SL02 - Prolungamento Sottovia Poderale  
*Relazione di calcolo muri di imbocco*

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D26	CLSL0200004	A	28 di 28

		Estremità
Diametro massimo barre	[mm]	24
Spaziatura massima barre	[mm]	200

**COMBINAZIONE FREQUENTE**

		M [kNm/m]
COMBINAZIONE $ M_{MAX} $		110.8
Tensione nell'armatura considerando la sezione parzializzata	$\sigma_s$ [MPa]	159.6
	<i>Verifica</i>	<i>SI</i>

**COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE**

		M [kNm/m]
COMBINAZIONE $ M_{MAX} $		110.8
Tensione nell'armatura considerando la sezione parzializzata	$\sigma_s$ [MPa]	159.6
	<i>Verifica</i>	<i>SI</i>