

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

## FERMATE

Fermata CERTOSA DI PAVIA

Relazione di calcolo scale nuovo sottopasso

SCALA:

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

N M 0 Z 1 0 D 2 6 C L F V 0 4 0 B 0 0 6 A

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

ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD  
Dot. Ing. Francesco Borelli  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
n. 23172 Sez. 1

File: NM0Z10D26CLFV040B006A

n. Elab.:



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

**Fermata CERTOSA DI PAVIA**  
**RELAZIONE DI CALCOLO SCALE NUOVO**  
**SOTTOPASSO**

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	A	2 di 31

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE GENERALE.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>CONDIZIONI GEOTECNICHE.....</b>	<b>7</b>
<b>6</b>	<b>CRITERI DI VERIFICA.....</b>	<b>8</b>
6.1	VERIFICHE DI RESISTENZA AGLI STATI LIMITE ULTIMI .....	8
6.2	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO .....	8
<b>7</b>	<b>GEOMETRIA DELLA STRUTTURA .....</b>	<b>11</b>
<b>8</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO .....</b>	<b>12</b>
8.1	PROGRAMMA DI CALCOLO.....	12
8.2	MODELLAZIONE STRUTTURALE .....	12
8.3	SCHEMA.....	13
<b>9</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI .....</b>	<b>14</b>
9.1	PESI PROPRI STRUTTURALI .....	14
9.2	SOVRACCARICHI PERMANENTI PORTATI.....	14
9.2.1	<i>sovraccarichi interni.....</i>	<i>14</i>
9.2.2	<i>sovraccarichi esterni su terrapieno .....</i>	<i>14</i>
9.3	SOVRACCARICHI VARIABILE DA TRAFFICO .....	16
9.4	AZIONI PROVENIENTI DAL TERRENO .....	17
9.5	AZIONI SISMICHE .....	18
<b>10</b>	<b>COMBINAZIONI DI CARICO.....</b>	<b>22</b>
<b>11</b>	<b>VERIFICHE .....</b>	<b>25</b>
11.1	SLU – FLESSIONE E PRESSOFLESSIONE .....	26
11.2	SLU - TAGLIO.....	27
11.3	SLE - FESSURAZIONE .....	28
11.3.1	<i>(Stato limite di apertura delle fessure) - Combinazione Frequente .....</i>	<i>29</i>
11.3.2	<i>(Stato limite di apertura delle fessure) - Combinazione Quasi Permanente.....</i>	<i>30</i>
11.3.1	<i>(Stato limite di apertura delle fessure) - Combinazione RARA.....</i>	<i>31</i>

## 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.

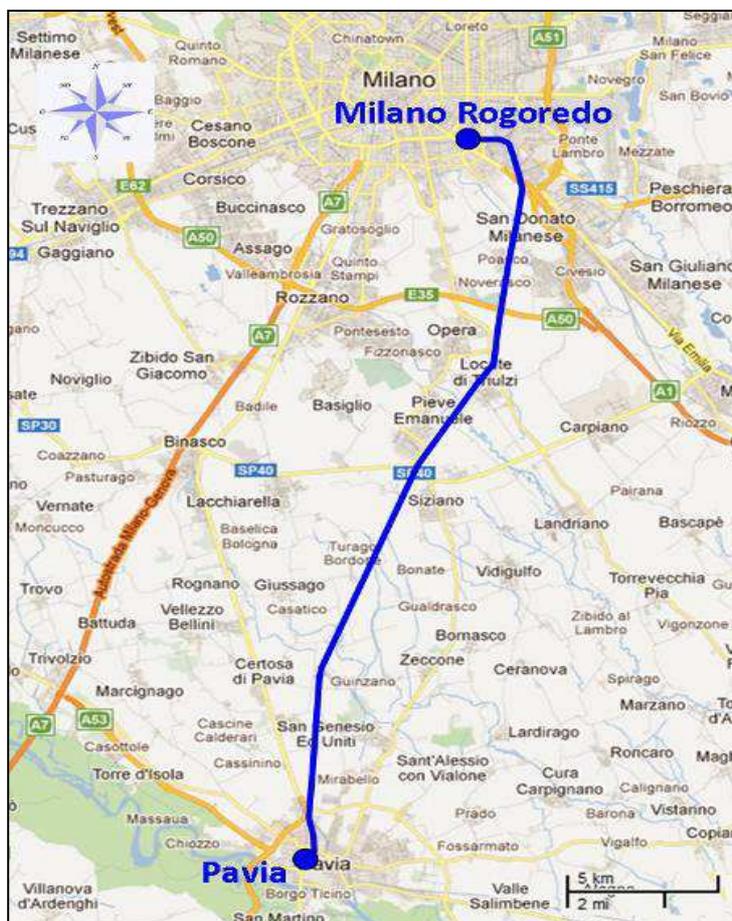
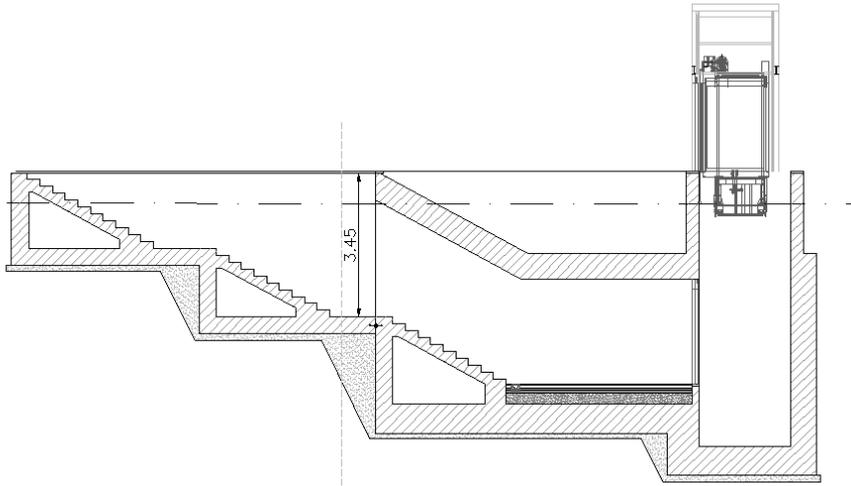


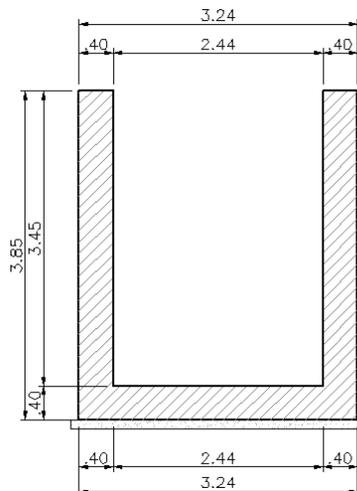
Figura 1 : Planimetria di progetto

## 2 DESCRIZIONE GENERALE

La presente relazione ha per oggetto il progetto/verifica delle strutture che realizzano le rampe scale per l'accesso al sottopasso della stazione di Certosa di Pavia. Le opere oggetto di studio per la loro conformazione sono riconducibili a strutture scatolari, quindi in questa fase di studio trascurando lo sviluppo longitudinale dell'opera si riporta la verifica della sezione trasversale tipo di larghezza unitaria. la sezione rappresentativa di verifica è quella in corrispondenza del pianerottolo iniziale in cui si massimizza l'altezza degli sbalzi esterni a sostegno del terreno.



**Figura 2 : Sezione trasversale**



**Figura 3: Sezione in asse pianerottolo**

### 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	$\alpha$	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>

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b> <b>QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b> <b>FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE</b>												
<b>Fermata CERTOSA DI PAVIA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCALE NUOVO SOTTOPASSO</b>	<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>10</td> <td>D 26</td> <td>CLFV040B006</td> <td>A</td> <td>6 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	A	6 di 31
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	A	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 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE**

**Fermata CERTOSA DI PAVIA**  
**RELAZIONE DI CALCOLO SCALE NUOVO SOTTOPASSO**

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	A	7 di 31

## 5 CONDIZIONI GEOTECNICHE

ZONA	SONDAGGIO DI RIFERIMENTO	PROFONDITA'	TIPO DI TERRENO	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]		$\phi'$ [°] laboratorio
						max	min	
9	PNNMOZU05	da 0 a 3m	S	20	17	23	23	
		da 3m a 6m	Sg	20	17	30	30	
		da 6m a 18m	S	20	17	30	27	
		da 18m a 30m	Sg	20	17	30	30	

$\phi'$ [°]	$E'_{op}$ [MPa]		$V_s$ [m/s]		categoria terreno	$G_o$ [MPa]	
	max	min	max	min		max	min
23	5	5	151	151	C	47	47
30	13	13	145	145		44	44
27	22	11	277	237		159	116
30	40	17	241	196		120	80

Quota falda 84.2 mslm, non interagisce con opera in oggetto.

	<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>												
<b>Fermata CERTOSA DI PAVIA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCALE NUOVO SOTTOPASSO</b>	<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>10</td> <td>D 26</td> <td>CLFV040B006</td> <td>A</td> <td>8 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	A	8 di 31
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	A	8 di 31								

## 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.



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

**Fermata CERTOSA DI PAVIA**  
**RELAZIONE DI CALCOLO SCALE NUOVO SOTTOPASSO**

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	A	9 di 31

### 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.

### 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).

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b> <b>QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b> <b>FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE</b>												
<b>Fermata CERTOSA DI PAVIA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCALE NUOVO SOTTOPASSO</b>	<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>10</td> <td>D 26</td> <td>CLFV040B006</td> <td>A</td> <td>10 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	A	10 di 31
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	A	10 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  $\varepsilon_{sm}$  per la distanza media tra le fessure  $\Delta_{sm}$ :

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

Per il calcolo di  $\varepsilon_{sm}$  e  $\Delta_{sm}$  vanno utilizzati criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica.  $\varepsilon_{sm}$  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  $\sigma_s$  tensione nell'acciaio dell'armatura tesa (per sezione fessurata) nelle condizioni di carico considerate ed  $E_s$  è il modulo elastico dell'acciaio.



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

**Fermata CERTOSA DI PAVIA**  
**RELAZIONE DI CALCOLO SCALE NUOVO**  
**SOTTOPASSO**

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	A	11 di 31

## 7 GEOMETRIA DELLA STRUTTURA

Parete verticale	S <sub>PI</sub>	0.4 m
Spessore Soletta Inferiore	S <sub>SI</sub>	0.4 m
Larghezza totale	L	3.24 m
Altezza totale	H	3.85 m
Larghezza interna	L <sub>i</sub>	2.44 m
Altezza Interna	H <sub>i</sub>	3.45 m
Larghezza ali	L <sub>e</sub>	0 m
Altezza Terreno	H <sub>t</sub>	3.85 m
Inclinazione terreno	H <sub>p</sub>	0 m

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b> <b>QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b> <b>FASE 1 – QUADRUPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE</b>												
<b>Fermata CERTOSA DI PAVIA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCALE NUOVO SOTTOPASSO</b>	<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>10</td> <td>D 26</td> <td>CLFV040B006</td> <td>A</td> <td>12 di 31</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	A	12 di 31
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	A	12 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  $k_v = 8953 \text{ kN/m}^3$
- Coefficiente orizzontale  $k_h = 4477 \text{ kN/m}^3$

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

### 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  $k_h$ ;

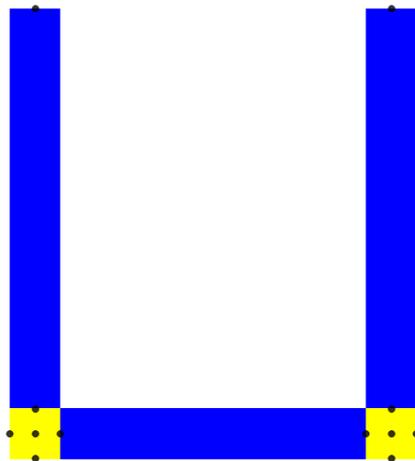
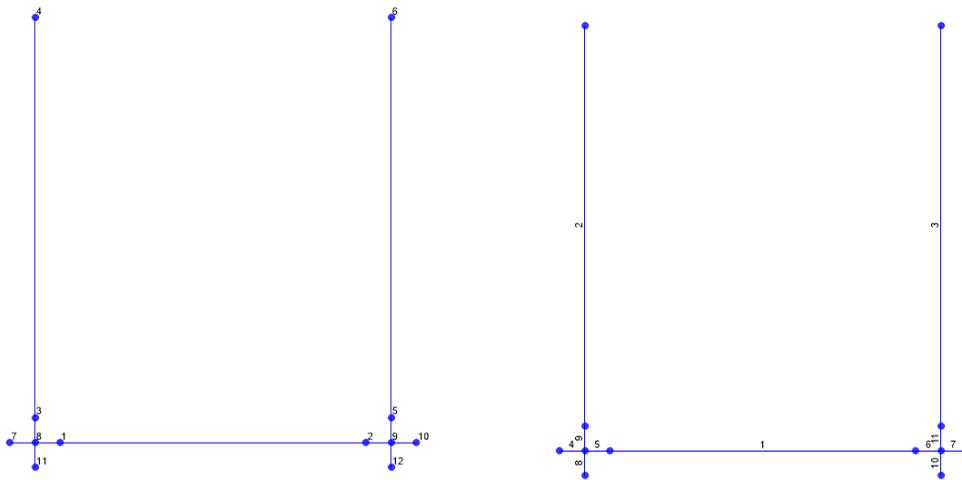


Figure 1 : Schema modello di calcolo

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<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>					
	<b>Fermata CERTOSA DI PAVIA</b> <b>RELAZIONE DI CALCOLO SCALE NUOVO SOTTOPASSO</b>	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLFV040B006	REV. A

## 9 ANALISI DEI CARICHI

### 9.1 PESI PROPRI STRUTTURALI

		D [m <sup>2</sup> ]		$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]		[m]		[kN/m]
Solette	PP <sub>SI</sub>	0.40	X	25	X	1	=	10.0
Piedritto	PP <sub>PI</sub>	0.40	X	25	X	1	=	10.0

### 9.2 SOVRACCARICHI PERMANENTI PORTATI

#### 9.2.1 SOVRACCARICHI INTERNI

Di seguito sono stati riassunti i valori dei carichi permanenti portati che competono alle rampe scala e alla soletta inferiore:

	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	D [m <sup>2</sup> ]	[kN/m]
Gradini in pietra locale	26.66	0.04	1.07
Malta di allettamento	18	0.01	0.18
			1.25 [kN/m/m]

#### 9.2.2 SOVRACCARICHI ESTERNI SU TERRAPIENO

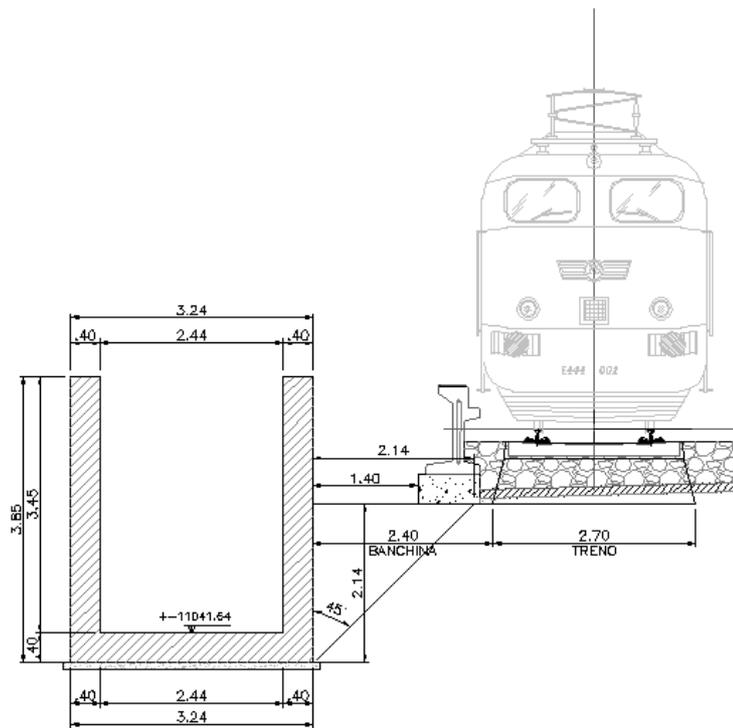
*Carichi permanenti portati zona banchina*

	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	D [m <sup>2</sup> ]	[kN/m]
Pavimento: masselli in c.l.s. autobloccanti sp.=6 cm	20	0.06	1.2
sottofondo in sabbia sp.=5cm	17	0.05	0.85
Massetto in c.l.s.+ r.e.s. sp.=20 cm	25	0.2	5
Impermeabilizzazione (strato anticapillare) sp=50 cm	0.3	0.5	0.15
Spessore terreno	19	0.7	13.3
Permanenti totali (striscia di 1m)		1.51	20.5 [kN/m/m]

*Carichi permanenti zona ballast*

	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	D [m <sup>2</sup> ]	[kN/m]
Pavimento: masselli in c.l.s. autobloccanti sp.=6 cm	18	0.9	16.2
Permanenti totali (striscia di 1m)		0.9	16.2 [kN/m/m]

Poiché tali sovraccarichi interessano tratti di larghezze diverse, all'interno del cuneo di spinta, per ricavare il valore del sovraccarico è stata fatta una media pesata sulle larghezze interessate dai due tipi di carico.



Larghezza di incidenza sovraccarichi	2.14	[m]
Larghezza di incidenza zona banchina	2.40	[m]
Larghezza di incidenza zona ballast	0	[m]
<b>Permanenti totali (striscia di 1m)</b>	<b>20.50</b>	<b>[kN/m/m]</b>

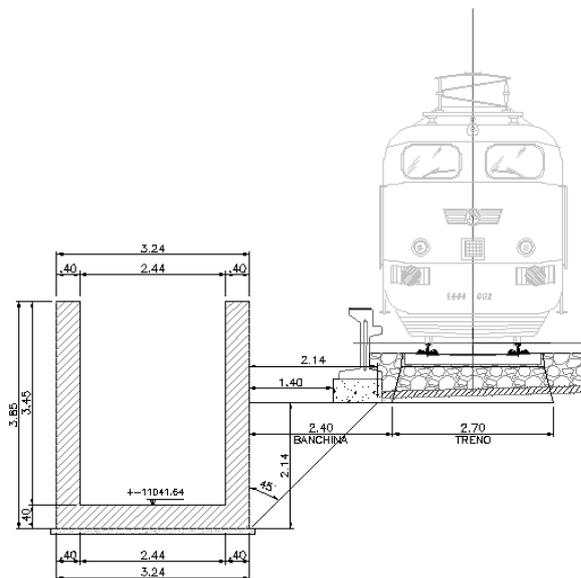
### 9.3 SOVRACCARICHI VARIABILE DA TRAFFICO

I modello di carico mobile considerato per la struttura è il solo treno di carico LM71 in quanto più gravoso del SW/2. Per il modello LM71 è stato considerato il carico distribuito equivalente ai 4 assi da 250 kN ciascuno con interasse di 1,60 m pari a:

$$q_{eq, locomotore, LM71} = (250 \times 4 / 6.4) \times \alpha = 171.875 \text{ kN/m} \quad (\alpha \text{ è il coefficiente di adattamento})$$

Per il carico variabile relativo alla banchina è stata adottata la categoria C3 (stazioni ferroviarie) pari a 5 KN/mq.

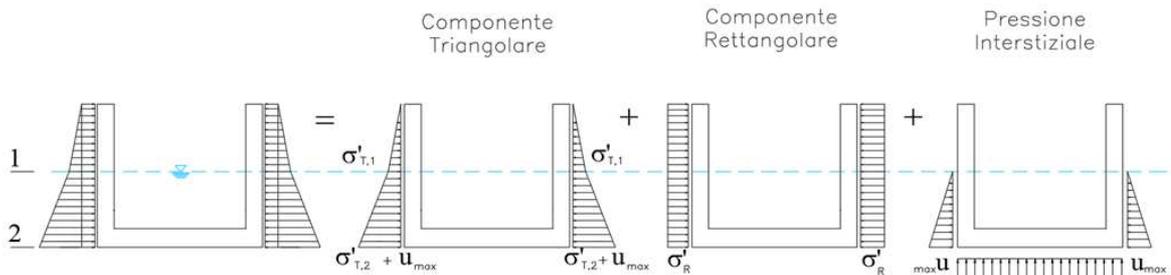
Anche in questo caso per ricondurre il valore del sovraccarico ad un unico valore è stata fatta la media pesata dei due carichi variabili sulle larghezze pertinenti (vedi figura seguente) di seguito si riporta il calcolo del carico variabile da traffico applicato al modello.



Larghezza di incidenza sovraccarichi	2.14	[m]
Larghezza di incidenza zona banchina	2.40	[m]
Larghezza di incidenza zona ballast	0	[m]
<b>Variabili (striscia di 1m)</b>	<b>5.0</b>	<b>[kN/m/m]</b>

Per i restanti carichi variabili applicati sulle solette che realizzano le rampe scala e la banchina esterna si è fatto riferimento alle NTC 2008 (tabella 3.1.II). In particolare è stata scelta una categoria C3 (“stazioni ferroviarie”) per la quale il carico variabile da assumere in fase di progetto è di 5 kN/m<sup>2</sup>.

### 9.4 AZIONI PROVENIENTI DAL TERRENO



#### Pressine interstiziale

$$u_{\max} = 0.00 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

#### Tensioni litostatiche verticali : componente Triangolare

$$\text{Tensione litostatica verticale efficace in "1"} \quad \sigma'_{T,1} = \gamma_{t2} \times (H_t - H_w) = 77.00 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$\text{Tensione litostatica verticale efficace in "2"} \quad \sigma'_{T,2} = \sigma'_{T,1} + \gamma'_{t2} \times H_w = 77.00 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

#### Tensioni litostatiche verticali : componente Rettangolare

$$\text{Tensione litostatica verticale efficace estradosso Soletta} \quad \sigma'_R = 0.0 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

#### Coefficienti di spinta Terreno 1

		M1	M2	SLE
Deformazione orizzontale nulla	$k_0 = 1 - \text{sen} \varphi'$	0.61	0.68	0.61
Equilibrio limite attivo	$k_a = (1 - \text{sen} \varphi') / (1 + \text{sen} \varphi')$	0.44	0.51	0.44

#### Tensioni totali orizzontali

	K0
$\sigma(k_0) = k_0 \cdot \sigma'_R + k_0 \cdot \sigma'_T + u$	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 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE**  
**EMANUELE**

**Fermata CERTOSA DI PAVIA**  
**RELAZIONE DI CALCOLO SCALE NUOVO**  
**SOTTOPASSO**

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	A	18 di 31

## 9.5 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	$a_g$	0.677	[m/s <sup>2</sup> ]
accelerazione orizzontale massima al sito	$a_g$	0.069	[g]
coefficiente di amplificazione spettrale massima	$F_0$	2.633	
periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale	$T_C^*$	0.301	[s]

#### CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI STRATIGRAFICHE

Categoria di sottosuolo		C	
coefficiente di amplificazione stratigrafica	$S_S$	1.50	
coefficiente di sottosuolo	$C_C$	1.56	
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	

#### PARAMETRI DI ANALISI

accelerazione orizzontale massima al sito	$a_{max}$	1.015	[m/s <sup>2</sup> ]
fattore di struttura	$q$	1	
coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima	$\beta_m$	1	
coefficiente sismico orizzontale	$k_h$	0.104	
coefficiente sismico verticale	$k_v$	0.052	



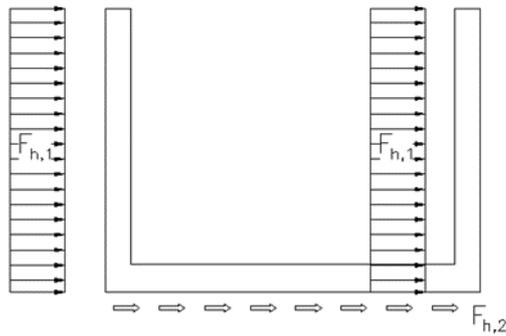
**PROGETTO DEFINITIVO**  
**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**  
**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA**  
**FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE**

**Fermata CERTOSA DI PAVIA**  
**RELAZIONE DI CALCOLO SCALE NUOVO SOTTOPASSO**

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	A	19 di 31

Livello di falda al di sotto del muro		1
Peso specifico "sismico" del terreno	$\gamma^*$	20
coefficiente sismico orizzontale	$k_h$	0.10
coefficiente sismico verticale	$k_v$	0.05
	$\theta +$	5.6
	$\theta -$	6.2
	$\varphi'_{M2}$	18.80
	$\delta$	0.0
	$\delta_{M2}$	0.0
angolo di inclinazione, rispetto all'orizzontale, della parete del muro rivolta a monte	$\psi$	90
angolo di inclinazione, rispetto all'orizzontale, della superficie del terrapieno	$\beta$	0
coefficiente di spinta sismica M2	$K_e$	0.60

**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

$$F_{h1} = (PP_{PI}) \cdot k_h = 1.04 \text{ [kN/m]}$$

Forza di inerzia orizzontale inferiore

$$F_{h2} = (PP_{SI}) \cdot k_h = 1.04 \text{ [kN/m]}$$

**Sisma V**

Forza di inerzia verticale piedritti

$$F_{v1} = (PP_{PI}) \cdot k_v = 0.52 \text{ [kN/m]}$$

Forza di inerzia verticale Soletta inferiore

$$F_{v2} = (PP_{SI}) \cdot k_v = 0.52 \text{ [kN/m]}$$



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

**Fermata CERTOSA DI PAVIA**  
**RELAZIONE DI CALCOLO SCALE NUOVO SOTTOPASSO**

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	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)**

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

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

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

$\gamma_s$  = peso specifico dei grani

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

$$E_{wd} = 0$$

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

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

$\gamma$  = peso di volume terreno naturale

Spinta statica dell'acqua	$E_{ws}$	0 [kN/m]
Spinta idrodinamica dell'acqua	$E_{wd}$	0 [kN/m]
Spinta totale del terreno nel caso sismico	$S_{H,sism}$	94 [kN/m]
Spinta totale del terreno nel caso sismico	$E_d = E_{ws} + E_{wd} + S_{H,sism}$	94 [kN/m]



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

**Fermata CERTOSA DI PAVIA**  
**RELAZIONE DI CALCOLO SCALE NUOVO SOTTOPASSO**

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	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	$\gamma_{G1}$	0.9	1	1	1	1
	sfavorevole		1.1	1.35	1	1	1
Carichi Permanenti non strutturali	favorevole	$\gamma_{G2}$	0	0	0	1	1
	sfavorevole		1.5	1.5	1.3	1	1
Variabili da traffico	favorevole	$\gamma_Q$	0	0	0	0	0
	sfavorevole		1.45	1.45	1.25	1	0.2
Variabili	favorevole	$\gamma_Q$	0	0	0	0	0
	sfavorevole		1.5	1.5	1.3	1	0
Ritiro e viscosità, variazioni termiche	favorevole	$\gamma_Q$	0	0	0	0	0
	sfavorevole		1.2	1.2	1	1	1

Parametro		Coeff.	M1	M2	SLE	SLE
angolo d'attrito	$\tan \phi'_k$	$\gamma_i$	1	1.25	1	1
coesione	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1	1.25	1	1
resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1	1.4	1	1
peso unità di volume	$\gamma$	$\gamma_g$	1	1	1	1

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
Carichi variabili da traffico	0.80	0.80	0.00



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

**Fermata CERTOSA DI PAVIA**  
**RELAZIONE DI CALCOLO SCALE NUOVO SOTTOPASSO**

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	A	23 di 31

***Combinazione massima spinta terreno***

***Spinta terreno M1 = Spinta terreno SLE***

<i>Spinta Terreno</i>	$\sigma_{R,sx}$	$\sigma_{R,dx}$	$\sigma_{T,sx}$	$\sigma_{T,dx}$	$\sigma_{w,sx}$	$\sigma_{w,dx}$
Spinta Terreno C1	0.61	0.61	0.61	0.61	1	1

***Spinta terreno M2***

<i>Spinta Terreno</i>	$\sigma_{R,sx}$	$\sigma_{R,dx}$	$\sigma_{T,sx}$	$\sigma_{T,dx}$	$\sigma_{w,sx}$	$\sigma_{w,dx}$
Spinta Terreno C1	0.68	0.68	0.68	0.68	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
- $Q_1=$ 
  - Azioni variabili da traffico
- $Q_2=$ 
  - 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**  
**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA**  
**FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE**

**Fermata CERTOSA DI PAVIA**  
**RELAZIONE DI CALCOLO SCALE NUOVO SOTTOPASSO**

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	A	24 di 31

*Combinazione di verifica*

<i>SLU A1-M1</i>	<b>G<sub>1</sub></b>	<b>G<sub>2</sub></b>	<b>Q<sub>1</sub></b>	<b>Q<sub>2</sub></b>
<b>SLU 1</b>	1.35	1.50	0	0
<b>SLU 2</b>	1.35	1.35	1.45	0.90
<b>SLU 3</b>	1.35	1.35	1.16	1.50

<i>SLU A2-M2</i>	<b>G<sub>1</sub></b>	<b>G<sub>2</sub></b>	<b>Q<sub>1</sub></b>	<b>Q<sub>2</sub></b>
<b>SLU 4</b>	1.00	1.30	0	0
<b>SLU 5</b>	1.00	1.30	1.25	0.90
<b>SLU 6</b>	1.00	1.30	1.00	1.30

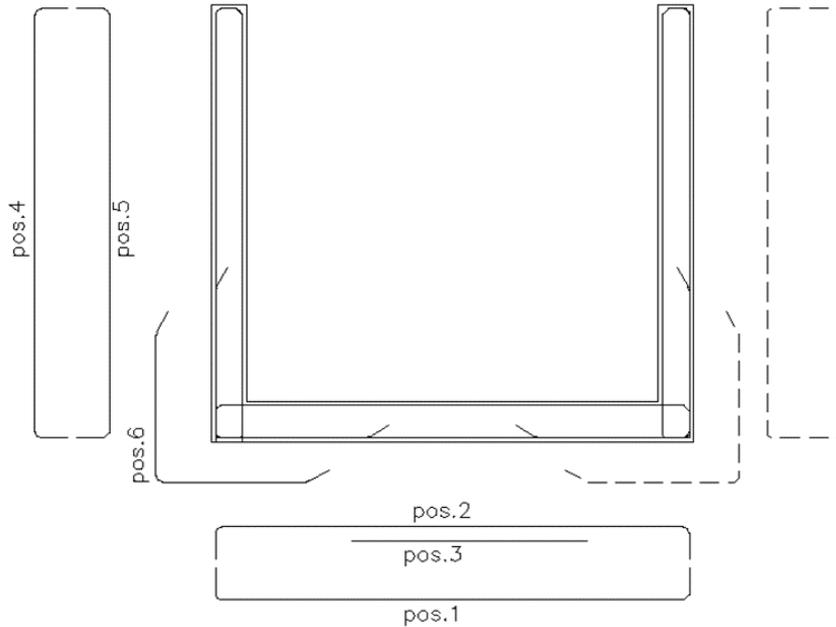
<i>SISMICA/M2</i>	<b>G<sub>1</sub></b>	<b>G<sub>2,sism</sub></b>	<b>Q<sub>1</sub></b>	<b>Q<sub>2</sub></b>	<b>E<sub>x</sub></b>	<b>E<sub>z</sub></b>
<b>SLU 7</b>	1.00	1.00	0.20	0.00	1.00	1.00
<b>SLU 8</b>	1.00	1.00	0.20	0.00	1.00	-1.00
<b>SLU 9</b>	1.00	1.00	0.20	0.00	1.00	1.00
<b>SLU 10</b>	1.00	1.00	0.20	0.00	1.00	-1.00
<b>SLU 11</b>	1.00	1.00	0.20	0.00	1.00	1.00
<b>SLU 12</b>	1.00	1.00	0.20	0.00	1.00	-1.00

<i>SLR FREQ</i>	<b>G<sub>1</sub></b>	<b>G<sub>2</sub></b>	<b>Q<sub>1</sub></b>	<b>Q<sub>2</sub></b>
<b>SLE 3</b>	1.00	1.00	0.80	0.00
<b>SLE 4</b>	1.00	1.00	0.00	0.60

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

<i>SLR RARA</i>	<b>G<sub>1</sub></b>	<b>G<sub>2</sub></b>	<b>Q<sub>1</sub></b>	<b>Q<sub>2</sub></b>
<b>SLE 5</b>	1.00	1.00	0.80	0.00
<b>SLE 6</b>	1.00	1.00	0.00	0.60

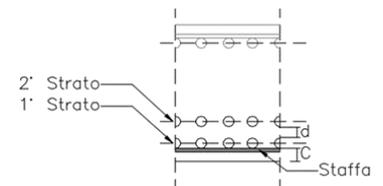
## 11 VERIFICHE



	Copriferro C[mm]	Correnti $\phi$ [mm]	Distanziatori d[mm]
Piedritti	50	12	20
Soletta Inferiore	50	12	20

### Armatura

	pos	Strato 1		+	Strato 2		in 2°strato
		n°/ml	$\phi$ [mm]		n°/ml	$\phi$ [mm]	
Piedritti	1	5	20		0	0	NO
	2	5	24		0	0	NO
	3	5	20		0	0	NO
Soletta inferiore	4	5	24		0	0	NO
	5	5	20		0	0	NO
	6	5	20		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

	$b_w$	$h_{sez}$	$A'_{s,tesa}$	$d$	$A'_{s,comp}$	$N_{ed}$	$M_{ed}$	$M_{rd}$	$M_{ed}/M_{rd}$	
	[mm]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[kN]	[kN/m]	[kN/m]	[-]	
S1 (Mmax)	1000	400	4523.9	326.0	1570.8	-46.6	263.2	490.0	<b>0.54</b>	Verifica Soddisfatta
S1 (Nmin)	1000	400	4523.9	326.0	1570.8	-46.6	236.9	490.0	<b>0.48</b>	Verifica Soddisfatta
S2 (Mmax)	1000	400	3832.7	328.0	2261.9	-46.6	292.3	413.3	<b>0.71</b>	Verifica Soddisfatta
S3 (Mmax)	1000	400	3832.7	326.8	1570.8	-224.8	265.5	388.6	<b>0.68</b>	Verifica Soddisfatta

Il massimo tasso di sfruttamento a flessione è 0.71



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

**Fermata CERTOSA DI PAVIA**  
**RELAZIONE DI CALCOLO SCALE NUOVO SOTTOPASSO**

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	A	27 di 31

## 11.2 SLU - TAGLIO

$\rho_l$	Rapporto geometrico di armatura longitudinale
k	$1+(200/d)^{1/2} \leq 2$
$v_{min}$	$0.035k^{3/2} f_{ck}$
$\sigma_{cp}$	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
$\phi_d$	Diametro armature trasversali
s	Interasse armature trasversali
$A_{sw}$	Area dell'armatura trasversale
$\alpha$	Angolo di inclinazione armatura trasversale rispetto asse trave
$\alpha_C$	Coefficiente maggiorativo in elementi compressi
$\theta$	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

	$\rho_l$	k	$v_{min}$ [MPa]	$\sigma_{cp}$ [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	-0.1	33.2	18.8	188.9	244.4	0.77	Verifica Soddisfatta
S2 (Tmax)	0.0	1.8	0.4	-0.1	24.9	14.1	39.5	209.9	0.19	Verifica Soddisfatta
S3 (Tmax)	0.0	1.8	0.4	-0.6	24.9	14.1	2.4	187.7	0.01	Verifica Soddisfatta

Il massimo tasso di sfruttamento a taglio è 0.77



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

**Fermata CERTOSA DI PAVIA**  
**RELAZIONE DI CALCOLO SCALE NUOVO**  
**SOTTOPASSO**

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	A	28 di 31

### 11.3 SLE - FESSURAZIONE

c	Ricoprimento armatura
s	Interasse barre tese
$\phi_{eq}$	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
$\rho_{eff}$	$A_s/A_{c,eff}$
$\Delta_{s,max}$	distanza media tra le fessure
$\sigma_s$	Tensione nell'armatura tesa considerando la sezione fessurata
$\alpha_e$	rapporto $E_s/E_{cm}$
$k_t$	Fattore dipendente dalla durata del carico
$\epsilon_{eq}$	Deformazione unitaria media delle barre d'armatura
<b>N</b>	Sforzo normale
<b>M</b>	Momento flettente
<b>w<sub>d</sub></b>	Valore di calcolo dell'apertura delle fessure
<b>w<sub>max</sub></b>	Valore limite di apertura delle fessure

#### Criteria

Condizioni Ambientali	Aggressive
Armatura	Poco Sensibile

#### Stato limite di verifica

Combinazione frequente :	Stato limite di apertura delle fessure	w2	0.3 [mm]
Combinazione quasi permanente :	Stato limite di apertura delle fessure	w1	0.2 [mm]
Combinazione rara :	Stato limite di apertura delle fessure	w1	0.2 [mm]

**11.3.1 (STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE) - COMBINAZIONE FREQUENTE**

	c	s	$\phi_{eq}$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$A_s$	$h_{c,eff}$	$A_{c,eff}$	$\rho_{eff}$	$\Delta_{s,max}$
	[mm]	[mm]	[mm]	[]	[]	[]	[]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[]	[mm]
S1 (Mmax)	50	100	24	0.8	0.5	3.4	0.425	4523.9	84.9	84858	0.05	247
S1 (Nmin)	50	100	24	0.8	0.5	3.4	0.425	4523.9	84.9	84858	0.05	247
S2 (Mmax)	50	100	20	0.8	0.5	3.4	0.425	3832.7	88.6	88561	0.04	249
S3 (Mmax)	50	100	22.182	0.8	0.5	3.4	0.425	3832.7	87.6	87629	0.04	256

	$0.6 s_s / E_s$	$\sigma_s$	$\alpha_e$	$k_t$	$\epsilon_{eq}$
	[]	[MPa]	[]	[]	[]
S1 (Mmax)	0.00041	135.4	5.94	0.4	0.0005
S1 (Nmin)	0.00041	135.4	5.94	0.4	0.0005
S2 (Mmax)	0.00054	179.2	6.36	0.4	0.0007
S3 (Mmax)	0.00048	161.2	6.36	0.4	0.0006

**Combinazione: Frequente**

	$N_{ed}$	$M_{ed}$	$w_d$	$w_{max}$	$w_d/w_{max}$	
	[kN]	[MPa]	[mm]	[mm]	[-]	
S1 (Mmax)	34.5	172.4	0.13	0.3	<b>0.43</b>	Verifica Soddisfatta
S1 (Nmin)	34.5	172.4	0.13	0.3	<b>0.43</b>	Verifica Soddisfatta
S2 (Mmax)	0.0	191.0	0.18	0.3	<b>0.59</b>	Verifica Soddisfatta
S3 (Mmax)	0.0	171.4	0.16	0.3	<b>0.53</b>	Verifica Soddisfatta

Il massimo tasso di sfruttamento a fessurazione è 0.59

**11.3.2 (STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE) - COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE**

	c	s	$\phi_{eq}$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$A_s$	$h_{c,eff}$	$A_{c,eff}$	$\rho_{eff}$	$\Delta_{s,max}$
	[mm]	[mm]	[mm]	[]	[]	[]	[]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[]	[mm]
S1 (Mmax)	50	100	24	0.8	0.5	3.4	0.425	4523.9	84.858	84858	0.05	246.5
S1 (Nmin)	50	100	24	0.8	0.5	3.4	0.425	4523.9	84.858	84858	0.05	246.5
S2 (Mmax)	50	100	20	0.8	0.5	3.4	0.425	3832.7	88.561	88561	0.04	248.6
S3 (Mmax)	50	100	22.182	0.8	0.5	3.4	0.425	3832.7	87.629	87629	0.04	256.2

	$0.6 s_s / E_s$	$\sigma_s$	$\alpha_e$	$k_t$	$\epsilon_{eq}$
	[]	[MPa]	[]	[]	[]
S1 (Mmax)	0.0004	123.7	5.94	0.4	0.0005
S1 (Nmin)	0.0004	123.7	5.94	0.4	0.0005
S2 (Mmax)	0.0005	164.0	6.36	0.4	0.0006
S3 (Mmax)	0.0004	146.2	6.36	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)	34.5	157.9	0.11	0.2	0.57	Verifica Soddisfatta
S1 (Nmin)	34.5	157.9	0.11	0.2	0.57	Verifica Soddisfatta
S2 (Mmax)	0.0	174.8	0.16	0.2	0.79	Verifica Soddisfatta
S3 (Mmax)	0.0	155.4	0.14	0.2	0.70	Verifica Soddisfatta

Il massimo tasso di sfruttamento a fessurazione è 0.79



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

**Fermata CERTOSA DI PAVIA**  
**RELAZIONE DI CALCOLO SCALE NUOVO SOTTOPASSO**

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV040B006	A	31 di 31

### 11.3.1 (STATO LIMITE DI APERTURA DELLE FESSURE) - COMBINAZIONE RARA

	c	s	$\phi_{eq}$	$k_1$	$k_2$	$k_3$	$k_4$	$A_s$	$h_{c,eff}$	$A_{c,eff}$	$\rho_{eff}$	$\Delta_{s,max}$
	[mm]	[mm]	[mm]	[]	[]	[]	[]	[mm <sup>2</sup> ]	[mm]	[mm <sup>2</sup> ]	[]	[mm]
S1 (Mmax)	50	100	24	0.8	0.5	3.4	0.425	4523.9	84.858	84858	0.05	246.5
S1 (Nmin)	50	100	24	0.8	0.5	3.4	0.425	4523.9	84.858	84858	0.05	246.5
S2 (Mmax)	50	100	20	0.8	0.5	3.4	0.425	3832.7	88.561	88561	0.04	248.6
S3 (Mmax)	50	100	22.182	0.8	0.5	3.4	0.425	3832.7	87.629	87629	0.04	256.2

	$0.6 s_s / E_s$	$\sigma_s$	$\alpha_e$	$k_t$	$\epsilon_{eq}$
	[]	[MPa]	[]	[]	[]
S1 (Mmax)	0.0004	138.3	5.94	0.4	0.0005
S1 (Nmin)	0.0004	138.3	5.94	0.4	0.0005
S2 (Mmax)	0.0005	183.0	6.36	0.4	0.0007
S3 (Mmax)	0.0005	165.0	6.36	0.4	0.0006

**Combinazione: Rara**

	$N_{ed}$	$M_{ed}$	$w_d$	$w_{max}$	$w_d/w_{max}$	
	[kN]	[MPa]	[mm]	[mm]	[kN]	
S1 (Mmax)	34.5	176.1	0.13	0.2	0.66	Verifica Soddisfatta
S1 (Nmin)	34.5	176.1	0.13	0.2	0.66	Verifica Soddisfatta
S2 (Mmax)	0.0	195.0	0.18	0.2	0.91	Verifica Soddisfatta
S3 (Mmax)	0.0	175.4	0.16	0.2	0.82	Verifica Soddisfatta

Il massimo tasso di sfruttamento a fessurazione è 0.91