

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J47I09000030009

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

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

OPERE DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA E STRADALE

Relazione di calcolo muri di sostegno sede ferroviaria

SCALA:

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

N M 0 Z 2 0 D 2 6 C L R I 0 0 0 5 0 0 1 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

File: NM0Z20D26CLRI0005001A

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	2
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	3
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
2.2	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO	3
2.3	BIBLIOGRAFIA	3
2.4	SOFTWARE.....	3
3	MATERIALI.....	4
4	DESCRIZIONE DELLE OPERE.....	5
5	CRITERI DI VERIFICA E DI CALCOLO	6
5.1	PREMESSA	6
5.2	CRITERI DI PROGETTAZIONE AGLI STATI LIMITE.....	6
5.1	ANALISI GEOTECNICA E STRUTTURALE.....	8
5.1.1	<i>5.1.1 Criteri per le fondazioni dirette.....</i>	8
6	CARATTERISTICHE DEL TERRENO.....	9
7	ANALISI DEI CARICHI.....	9
7.1	PESI PROPRI STRUTTURALI.....	9
7.1.1	<i>7.1.1 Sovraccarichi permanenti portati</i>	9
7.2	AZIONI DA TRAFFICO FERROVIARIO.....	10
7.3	AZIONI PROVENIENTI DALLA SPINTA DEL TERRENO.....	10
7.4	AZIONI PROVENIENTI DALLE BARRIERE ANTIRUMORE	10
7.5	AZIONI SISMICHE.....	12
7.6	SPINTA STATICA DEL TERRENO.....	12
7.7	SPINTA DOVUTA AL SOVRACCARICO ACCIDENTALE	13
7.8	SOVRASPINTA SISMICA	13
8	METODOLOGIA DI CALCOLO	14

8.1	VERIFICA ALLO SCIVOLAMENTO.....	14
8.2	VERIFICA AL RIBALTAMENTO.....	14
8.3	VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE	15
8.4	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE.....	16
9	COMBINAZIONE DEI CARICHI	17
10	SCHEMA DI CALCOLO, SOLLECITAZIONI E VERIFICHE.....	19
11	VERIFICHE	20
11.1	VERIFICHE STRUTTURALI PARAMENTO.....	20
	11.1.1 Verifica a presso-flessione (SLU).....	20
	11.1.2 Verifica a taglio (SLU).....	22
12	VERIFICHE STRUTTURALI FONDAZIONE	23
12.1	VERIFICA A PRESSOFLESSIONE (SLU)	23
12.2	VERIFICA A TAGLIO SLU.....	24
13	ALLEGATO – MURO DI LINEA NON ANTISVIO	26



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

RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLRI0005001	A	2 di 71

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.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLRI0005001	REV. A

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- 1] Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30.
- 2] 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.
- 3] UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- 4] UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici

2.2 DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO

- 5] Relazione Geotecnica di progetto
- 6] Profili Geotecnici di progetto
- 7] Elaborati grafici relativi all'opera in progetto

2.3 BIBLIOGRAFIA

- 8] Caquot A., Kerisel J. [1948] "Tables for the calculation of passive pressure, active pressure and bearing capacity of foundations" Gautiers-Villars, Paris.
- 9] Lancellotta R. (2007), “Lower Bound approach for seismic passive earth resistance”, Geotechnique, Technical Note, 57, 1-3.
- 10] Mueller-Breslau (1906), “Erddruck an Stuetzmaern” Kroener.
- 11] Mononobe N. (1929) "Earthquake-proof construction of masonry dams", Proc. of World Engineering Conference, vol.9, p.275.
- 12] NAVFAC (1982), “Foundations and earth Structures. Design manual 7.2”. Department of the Navy, Naval Facilities Engineering Command.
- 13] Seed, H.B. and Whitman, R.V. (1970). Design of earth retaining structures for dynamic loads. Proceedings, ASCE Specialty Conference on Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Retaining Structures. 103-147.
- 14] Taylor, D.W. (1948). Fundamental of soil mechanics. John Wiley, New York

2.4 SOFTWARE

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA	COMMESSA NM0Z	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLRI0005001	REV. A

3 MATERIALI

I materiali che costituiscono le opere di sostegno sono i seguenti:

Calcestruzzo per muri di controripa/sottoscarpa:

- Caratteristica di resistenza minima: C32/40
- Classe di esposizione: XC4
- copriferro minimo: 50 mm

Calcestruzzo per fondazioni armate:

- Caratteristica di resistenza minima: C25/30
- Classe di esposizione: XC2
- copriferro minimo: 40 mm

Acciaio per armature ordinarie:

- Acciaio in barre nervate tipo B450C
- $f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
- $f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
- rapporto tensione di rottura/ tensione di snervamento: $1.15 \leq f_{tk}/f_{yk} \leq 1.35$
- limite superiore per la tensione caratteristica di snervamento: $f_{yk}/(450 \text{ MPa}) \leq 1.15$

4 DESCRIZIONE DELLE OPERE

L'oggetto di questa relazione è la progettazione di un muro a mensola soggetto alla spinta del terreno e alle azioni provenienti dalle barriere antirumore.

Viene analizzato e dimensionato il muro soggetto alle condizioni più gravose (in termini di terreno, barriere, dislivello monte-valle) previste per questa tipologia di opera sull'intera linea oggetto dell'intervento, per la seconda fase.

Le verifiche geotecniche sono state condotte con il metodo dei coefficienti parziali secondo il D.M. 14/01/2008.

Le verifiche strutturali sono state condotte con il metodo degli Stati Limite.

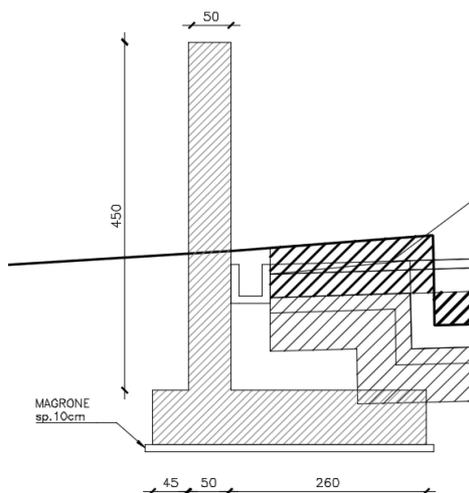


Figura 1: Geometria del muro di sostegno

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLRI0005001	REV. A

5 CRITERI DI VERIFICA E DI CALCOLO

5.1 PREMESSA

Le verifiche contenute nel presente documento fanno riferimento a quanto descritto per i sistemi fondazionali nelle NTC 2008 e successiva circolare esplicativa.

Le verifiche, sia per il caso statico che per quello sismico, sono state eseguite adottando l'Approccio 1 delle NTC 2008 nei confronti degli stati limite ultimi (SLU), riferiti allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione, e degli stati limite di esercizio (SLE), in modo da verificare la compatibilità tra requisiti prestazionali dell'opera e formazione di fessure.

5.2 CRITERI DI PROGETTAZIONE AGLI STATI LIMITE

In accordo con quanto definito nel par. 6.2.3. del Doc. rif 1], devono essere svolte le seguenti verifiche di sicurezza e delle prestazioni attese:

- verifiche agli stati limite ultimi (SLU);
- verifiche agli stati limite d'esercizio (SLE).

Per ogni Stato Limite Ultimo (SLU) deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 6.2.1 del Doc. rif 1])$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, e R_d è il valore di progetto della resistenza.

Per quanto concerne le azioni di progetto E_d , tali forze possono essere determinate applicando i coefficienti parziali sulle azioni caratteristiche, oppure, successivamente, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche, quest'ultima relativamente a verifiche strutturali.

La verifica della condizione ($E_d \leq R_d$) deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali.

Tabella 5-1. Coefficienti parziali sulle azioni (A1 ed A2)

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.3	1.0
Permanenti non strutturali (1)	Favorevole	γ_{G2}	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.3

(1) = Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano completamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti

Tabella 5-2. Coefficienti parziali sui terreni (M1 ed M2)

PARAMETRO	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	γ_ϕ	1.0	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	γ_{Cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	1.0	1.0

Le verifiche di sicurezza in campo sismico devono contemplare le medesime verifiche definite in campo statico, in cui tuttavia i coefficienti sulle azioni sono posti pari ad uno (Par.7.11.1 del Doc. rif 1)).

Per ogni Stato Limite d'Esercizio (SLE) deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 del Doc. rif 1})$$

dove E_d è il valore di progetto dell'effetto dell'azione, e C_d è il valore limite prescritto dell'effetto delle azioni.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLRI0005001	REV. A

5.1 ANALISI GEOTECNICA E STRUTTURALE

5.1.1 Criteri per le fondazioni dirette

Per le fondazioni dirette si devono considerare almeno i seguenti stati limite ultimi:

SLU di tipo geotecnico (GEO) e di equilibrio di corpo rigido (EQU):

- stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;
- scorrimento sul piano di posa;
- collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
- ribaltamento;

SLU di tipo strutturale (STR):

- raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.

accertando che la condizione $E_d \leq R_d$ sia soddisfatta per ogni stato limite significativo in base alle caratteristiche e alle problematiche specifiche dell'opera in esame.

La verifica di stabilità globale dell'insieme opera di sostegno-terreno deve essere condotta secondo l'Approccio 1:

- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo uno di due approcci:

- Approccio 1:
 - Combinazione 1: (A1+M1+R1)
 - Combinazione 2: (A2+M2+R2)
- Approccio 2:
 - Combinazione 1: (A1+M1+R3)

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II.

I coefficienti parziali γ_R da applicare al valore caratteristico R_k per ottenere il valore di progetto R_d , sono quelli riportati nella Tabella 6.5.I. del Doc. rif 1] e riportati nella tabella seguente:

Tabella 5-3. Coefficienti parziali sulle resistenze (R1, R2 ed R3)

VERIFICA	Coefficiente parziale	(R1)	(R2)	(R3)
Capacità portante della fondazione	γ_R	1.0	1.0	1.4
Scorrimento	γ_R	1.0	1.0	1.1
Resistenza del terreno a valle	γ_R	1.0	1.0	1.4

Per quanto riguarda lo stato limite al ribaltamento deve essere trattato come uno stato limite di equilibrio come corpo rigido (EQU).

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLRI0005001	REV. A

6 CARATTERISTICHE DEL TERRENO

Come conseguenza dell'approccio tipologico assunto, si sceglie di adottare, per ogni parametro di interesse, per il terreno di fondazione le caratteristiche peggiori riscontrabili sulla linea oggetto di intervento.

Il terreno si considera quindi costituito un'unica unità caratterizzata dai seguenti parametri:

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

$$\varphi' = 23^\circ$$

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$E_{CV} = 5000 \text{ kPa}$$

Il terreno di monte è costituito da rilevato ferroviario, per cui si utilizzano i seguenti parametri:

$$c' = 0 \text{ kPa}$$

$$\varphi' = 38^\circ$$

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$$

$$E_{CV} = 40000 \text{ kPa}$$

Per la falda è assunta, la minima distanza dal p.c. riscontrabile nella zona omogenea scelta per il calcolo, ovvero 2 m.

7 ANALISI DEI CARICHI

Di seguito si riporta l'analisi dei carichi agenti globalmente sulla struttura. Il calcolo è stato effettuato su una striscia di larghezza unitaria di muro.

7.1 PESI PROPRI STRUTTURALI

I pesi sono stati valutati considerando un peso specifico del CLS pari a 25 kN/mc.

7.1.1 Sovraccarichi permanenti portati

Il peso del ballast e dell'armamento è stato considerato pari a 14.40 kN/m² ottenuto considerando un sovraccarico di 18 kN/m² per un'altezza pari a 0.8 m.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLRI0005001	REV. A

7.2 AZIONI DA TRAFFICO FERROVIARIO

È stato applicato il contributo alla spinta sul paramento dovuto al sovraccarico ferroviario posto pari a 40 kN/mq ripartito in fase statica e 8 kN/mq in fase sismica (pari al 20% del carico in condizioni statiche in accordo con le NTC08).

7.3 AZIONI PROVENIENTI DALLA SPINTA DEL TERRENO

Per la determinazione delle azioni applicate alle spalle dal rinterro si assumono i parametri geotecnici indicati al capitolo 4.

7.4 AZIONI PROVENIENTI DALLE BARRIERE ANTIRUMORE

L'azione principale agente sulle barriere antirumore è quella del vento, che viene combinata con le sovrappressioni dovute al passaggio dei convogli calcolate secondo quanto indicato al paragrafo 5.2.2.7 delle NTC 2008 (Rif. Manuale: Parte II – Sezione II – Paragrafo 2.5.1.4.6).

Su metro lineare di muro si applicano nei due casi di vento diretto da esterno verso l'interno e viceversa, scegliendo caso per caso la condizione più sfavorevole per il muro. Si considerano ai fini dei calcoli solo i casi di vento spingente nella stessa direzione del terreno essendo questa la condizione peggiore.

Calcolo della pressione del vento
Caratteristiche del sito

-	zona	1	-
-	classe di rugosità del terreno	D	-
-	categoria di esposizione	II	-
v_{b0}	parametri caratteristici della zona individuata	25	m/s
a_0		1000	m
k_a		0.01	s ⁻¹

Coefficienti di forma

c_p	coefficiente di forma per la barriera	2.1	-
-------	---------------------------------------	-----	---

Calcolo del coefficiente di esposizione

k_r	parametri per la definizione del coefficiente di esposizione	0.19	-
z_0		0.05	-
z_{min}		4	m
z	altezza del punto considerato	9	m
c_t	coefficiente di topografia	1	-
$C_e(z_{min})$	coefficiente di esposizione minimo	1.80	-
C_e	coefficiente di esposizione	2.29	-
c_d	coefficiente dinamico	1	-

Calcolo della pressione cinetica di riferimento

v_b	velocità di riferimento	25	m/s
ρ	densità media dell'aria	1.25	kg/m ³
q_b	pressione cinetica di riferimento	391	N/m ²

Calcolo della pressione del vento

p_k	pressione del vento sulla barriera ($c_p=2.1$)	1.5	kN/m ²
-------	--	-----	-------------------

Calcolo degli effetti aerodinamici associati al passaggio dei convogli
Caratteristiche della linea ferroviaria

a_g	distanza della barriera dall'asse del binario	4	m
v	velocità del treno	160	km/h
k_1	coefficiente forma aerodinamica	1	-
q_{1k}	pressione agente	200	N/m ²

Calcolo della pressione aerodinamica

q_k	pressione aerodinamica sulla barriera	0.20	kN/m ²
-------	---------------------------------------	------	-------------------

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLRI0005001	REV. A

A favore di sicurezza la pressione aerodinamica associata al passaggio dei convogli viene applicata su tutta l'altezza della barriera e sommata interamente al valore di pressione del vento.

A favore di sicurezza è stato trascurato il contributo del carico assiale sul muro e sui pali dovuto al peso proprio delle barriere.

7.5 AZIONI SISMICHE

Per tutte le opere d'arte di progetto vengono utilizzati i seguenti valori: VN=50 anni e classe d'uso III a cui corrisponde un coefficiente d'uso CU = 1.50.

La vita di riferimento VR è quindi pari a 75 anni.

I parametri utilizzati per la definizione dell'azione sismica sono riportati di seguito.

- Classe d'uso: III
- Coefficiente d'uso CU = 1.5
- Vita nominale VN = 50anni
- Categoria di suolo: C
- Condizione topografica: T1
- Fattore di struttura q = 1.0

È stato utilizzato il valore di accelerazione più gravoso riscontrato su tutta la tratta dell'opera in esame:

$$a_g = 0.789 \text{ m/s}^2$$

7.6 SPINTA STATICA DEL TERRENO

Le spinte del terreno a monte degli elementi verticali della spalla sono calcolate con la teoria di Rankine, con distribuzione triangolare delle tensioni e conseguente risultante della spinta al metro pari a $S=1/2 \cdot k_a \cdot \gamma \cdot H^2$, applicata ad 1/3 dal basso. Si applica il coefficiente di spinta attiva in quanto il terreno

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLRI0005001	REV. A

spinge contro il muro. La spinta in condizioni di esercizio viene calcolata con il coefficiente di spinta attiva $k_a = (1 - \sin\varphi)/(1 + \sin\varphi)$.

7.7 SPINTA DOVUTA AL SOVRACCARICO ACCIDENTALE

Per considerare la presenza di un sovraccarico da traffico gravante a tergo, si considera un carico uniformemente distribuito. Il valore della spinta risultante al metro è dunque pari a $S = k_a \cdot q \cdot H$, con punto di applicazione posizionato a metà dell'altezza dell'elemento su cui insiste.

7.8 SOVRASPINTA SISMICA

In condizione sismica si considera un incremento della spinta del terreno rispetto alla condizione statica in esercizio in accordo con NTC08 7.11.6.2.1. Vale la seguente formula:

- $K_h = \beta_m a_{max}/g$
- Con $\beta_m = 0.24$ (cat.C)

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLRI0005001	REV. A

8 METODOLOGIA DI CALCOLO

8.1 VERIFICA ALLO SCIVOLAMENTO

Per la verifica allo scivolamento, deve essere soddisfatta la seguente espressione:

$$R_d = \frac{N \cdot \operatorname{tg}(\delta_s)}{\gamma_R} \geq E_d = H$$

dove:

- N = carico verticale totale a quota intradosso fondazione
- H = carico orizzontale totale a quota intradosso fondazione
- δ_s = angolo di attrito tra fondazione e terreno

Nel caso in esame si è assunto $\delta_s \approx \varphi_{cs}$ essendo φ_{cs} l'angolo d'attrito a volume costante o di stato critico del terreno di fondazione.

8.2 VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Per la verifica allo scivolamento, deve essere soddisfatta la seguente espressione:

$$R_d = M_{\text{stab}} \geq E_d = M_{\text{rib}}$$

dove M_{stab} e M_{rib} sono rispettivamente la somma dei momenti stabilizzanti e quelli ribaltanti valutati rispetto al punto O evidenziato nella figura seguente.

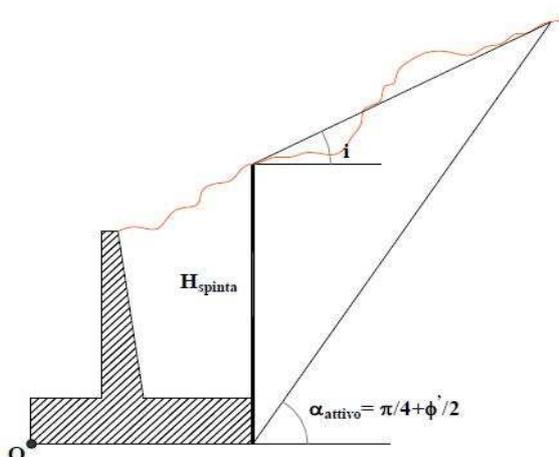


Figura 8-1. Posizione del punto O per la verifica a ribaltamento del muro.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLRI0005001	REV. A

8.3 VERIFICA DI CAPACITÀ PORTANTE

Per la valutazione della capacità portante si è tenuto conto dell'approccio proposto da Vesic.

Le formule utilizzate si riferiscono alla fondazione efficace equivalente ovvero quella fondazione rispetto alla quale il carico verticale N risulta centrato; la fondazione equivalente è caratterizzata dalla dimensione B'.

$$B' = B - 2 \cdot e$$

dove $e = M/N$ è l'eccentricità del carico.

Deve essere verificata la seguente espressione:

$$E_d = q_{es} \leq R_d = \frac{q_{lim} - q'}{\gamma_R} + q'$$

dove:

- q_{lim} = capacità portante limite del terreno calcolata applicando le formule riportate nel seguito;
- q' = pressione verticale efficace agente alla quota di imposta della fondazione;
- q_{es} = pressione di esercizio;
- N = carico verticale, comprensivo del peso efficace della fondazione.

Qui di seguito si riportano le formule utilizzate per il calcolo della q_{lim} .

$$q_{lim} = \frac{1}{2} \gamma B' N_\gamma i_\gamma + q N_q i_q + c' N_c i_c$$

Le espressioni che forniscono i valori dei fattori di capacità portante e dei fattori correttivi sono riportate qui di seguito:

γ	=	peso di volume del terreno
B'	=	dimensione della fondazione efficace equivalente
$N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \phi$	=	coefficiente di capacità portante
$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2(\pi/2 + \phi'/2)$	=	coefficiente di capacità portante
$N_c = (N_q - 1) \cotan \phi$	=	coefficiente di capacità portante
ϕ'	=	angolo di attrito del terreno di fondazione
c'	=	coesione del terreno di fondazione
$q = \gamma \cdot D$	=	pressione verticale efficace agente alla quota di imposta della fondazione
D	=	affondamento della fondazione
$i_\gamma = (1 - H/N)^{m+1}$	=	coefficiente di inclinazione del carico

$$i_q = (1 - H/N)^m$$

= coefficiente di inclinazione del carico

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

= coefficiente di inclinazione del carico

$$m = \frac{2 + B'}{1 + B'}$$

= coefficiente ausiliario per i coefficienti i di inclinazione del carico

H

= carico orizzontale agente sulla fondazione

N

= carico verticale agente sulla fondazione

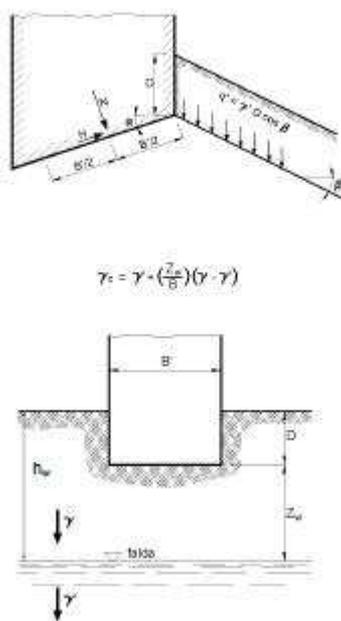


Figura 8-2. Schema adottato per la valutazione della capacità portante.

8.4 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

Tenendo conto della geometria del muro e della presenza di terreni pianeggianti, le verifiche di stabilità globale dell'opera vengono omesse in quanto non ritenute dimensionanti.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLRI0005001	REV. A

9 COMBINAZIONE DEI CARICHI

In linea con quanto riportato nel quadro normativo vigente, le azioni descritte nei paragrafi precedenti sono combinate nel modo seguente:

combinazione fondamentale (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_p \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

combinazione sismica:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

combinazione eccezionale:

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

combinazione Rara (SLE irreversibile):

$$G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

combinazione Frequente (SLE reversibile):

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

combinazione Quasi Permanente (SLE per gli effetti a lungo termine):

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Gli effetti dei carichi verticali dovuti alla presenza dei convogli vanno sempre combinati con le altre azioni derivanti dal traffico ferroviario, adottando i coefficienti indicati nella tabella seguente.

TIPO DI CARICO	Azioni verticali		Azioni orizzontali			Commenti
	Carico verticale (1)	Treno scarico	Frenatura e avviamento	Centrifuga	Serpeggio	
Gruppo 1 (2)	1,00	-	0,5 (0,0)	1,0 (0,0)	1,0 (0,0)	massima azione verticale e laterale
Gruppo 2 (2)	-	1,00	0,00	1,0 (0,0)	1,0(0,0)	stabilità laterale
Gruppo 3 (2)	1,0 (0,5)	-	1,00	0,5 (0,0)	0,5 (0,0)	massima azione longitudinale
Gruppo 4	0,8 (0,6; 0,4)	↓	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	0,8 (0,6; 0,4)	fessurazione

Azione dominante
 (1) Includendo tutti i fattori ad assi relativi (Φ, α , ecc.)
 (2) La simultaneità di due o tre valori caratteristici interi (assunzione di diversi coefficienti pari ad 1), sebbene improbabile, è stata considerata come semplificazione per i gruppi di carico 1, 2, 3 senza che ciò abbia significative conseguenze progettuali.

Tab. 1 – Valutazione dei carichi da traffico

Per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali ed i coefficienti di combinazione ψ delle tabelle seguenti.

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

(1) Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
(2) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
(3) Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.
(4) Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.
(5) Aliquota di carico da traffico da considerare.
(6) 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
(7) 1,20 per effetti locali

Tab. 2 – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	gr3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	FWk	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	Tk	0,60	0,60	0,50

(1) 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

(2) Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Tab. 3 – Coefficienti di combinazione ψ delle azioni

Per la combinazione da urto ferroviario si considerano le seguenti assunzioni:

- Combinazione: $G_k + A + \psi_{21} Q_k$ con $\psi_{21} = 0.2$
- Coefficienti $\gamma_M = 1.0$ per tutti i materiali



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

RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLRI0005001	A	19 di 71

10 SCHEMA DI CALCOLO, SOLLECITAZIONI E VERIFICHE

Lo schema di calcolo è quello di un muro a mensola continuo avente spessore minimo 50 cm, di altezza massima pari a 6.3 m (2.00 m dal piano del ferro) a partire dall'estradosso del cordolo. Il muro in oggetto è dimensionato per accogliere la barriera antirumore.

11 VERIFICHE

11.1 VERIFICHE STRUTTURALI PARAMENTO

Nei paragrafi seguenti sono state riportate le verifiche a flessione e taglio dell'elemento verticale del muro di linea non antisvio. La sezione resistente considerata per le verifiche ha larghezza unitaria ($B=1.0$ m).

Le sollecitazioni utilizzate per la verifica sono le seguenti:

N	75.94	kN
T	54.15	kN
M	127.97	kNm

Le verifiche sono effettuate con il Metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite.

Le sollecitazioni adoperate sono state ottenute con l'ausilio di un apposito foglio di calcolo, riportato nell'allegato.

Il momento sollecitante positivo tende le fibre lato monte.

Le tensioni di trazione sono state assunte negative mentre quelle di compressione positive, salvo diversa indicazione.

Le unità di misura adottate sono i kN per le forze, i kNm per i momenti e i MPa per le tensioni, salvo diversa indicazione.

Armature: $\varnothing 20/20$ sul lato teso, $\varnothing 16/20$ sul lato compresso

Spille $\varnothing 12/40 \times 20$

Altezza sezione di verifica: 0.5 m.

11.1.1 Verifica a presso-flessione (SLU)

$$M_{SLU_{A1+M1}} = 128.0 \text{ kNm}$$

$$N_{SLU_{A1+M1}} = 75.9 \text{ kN (peso proprio)}$$

Titolo : _____

N° figure elementari **Zoom** N° strati barre **Zoom**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	10.05	7.6
2	15.71	42.4

Tipologia Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni
 S.L.U. **Metodo n**

N _{Ed}	75.9	0	kN
M _{xEd}	128	0	kNm
M _{yEd}	0	0	

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN yN

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipologia rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Materiali
 B450C C32/40

ϵ_{su}	67.5	%	ϵ_{c2}	2	%
f_{yd}	391.3	N/mm ²	ϵ_{cu}	3.5	
E_s	200 000	N/mm ²	f_{cd}	14.17	
E_s/E_c	15		f_{cc}/f_{cd}	0.8	?
ϵ_{syd}	1.957	%	$\sigma_{c,adm}$	9.75	
$\sigma_{s,adm}$	255	N/mm ²	τ_{co}	0.6	
			τ_{c1}	1.829	

M_{xRd} kN m

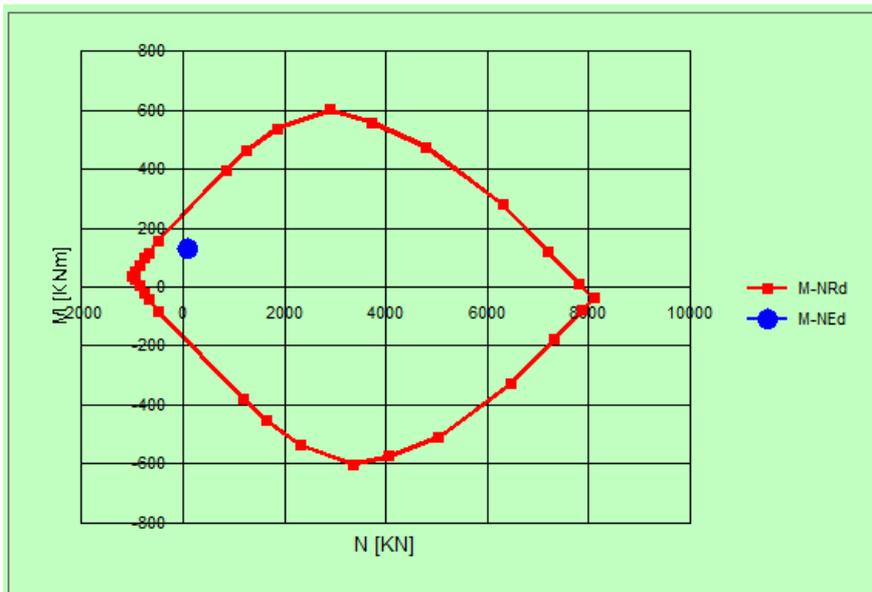
σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_c %
 ϵ_s %
 d cm
 x x/d
 δ

Tipologia flessione
 Retta Deviata

N° rett.

Calcola MRd **Dominio M-N**
 L₀ cm **Col. modello**

Precompresso



La verifica risulta quindi soddisfatta con coefficiente di sicurezza 2.06.

11.1.2 Verifica a taglio (SLU)

La verifica è riportata nella seguente tabella.

Le sollecitazioni sono dovute alla combinazione A1+M1.

Come si evince dalla tabella seguente, non sono necessarie armature a taglio; si dispongono comunque spille $\varnothing 8/40 \times 20$.

VERIFICA A TAGLIO SECONDO NTC2008 SENZA ARMATURE A TAGLIO

$V_{Ed} = T_{SLU}$	54.15	kN
	54150	N
R_{ck}	39	MPa
f_{ck}	32	MPa
H sezione	500	mm
c netto	50	mm
\varnothing staffa	16	mm
\varnothing arm tesa	20	mm
d	424.00	mm
k	1.687	
b_w	1000	mm
A_{sl}	1571	mm ²
ρ_l	0.003705	
N_{Ed}	0	kN
	0	N
AC	500000	mm ²
σ_{cp}	0	MPa
f_{cd}	32.000	MPa
γ_c	1.5	
$C_{Rd,c}$	0.12	
V_{min}	0.43375	
$V_{Rd,c}$	195703.3	N
$V_{Rd,c \min}$	183910	N
$V_{Rd,c \text{ effettivo}}$	195703.3	N
Verifica	OK	

12 VERIFICHE STRUTTURALI FONDAZIONE

Nei paragrafi seguenti sono state riportate le verifiche a flessione e taglio della mensola di monte del muro di linea non antisvio. La sezione resistente considerata per le verifiche ha larghezza unitaria ($B=1.0$ m).

Le sollecitazioni utilizzate per la verifica sono le seguenti:

N	-27	kN
T	36.3	kN
M	121.2	kNm

Le verifiche sono effettuate con il Metodo Semiprobabilistico agli Stati Limite.

Le sollecitazioni adoperate sono state ottenute con l'ausilio di un apposito foglio di calcolo, riportato nell'allegato.

Il momento sollecitante positivo tende le fibre lato monte.

Le tensioni di trazione sono state assunte negative mentre quelle di compressione positive, salvo diversa indicazione.

Le unità di misura adottate sono i kN per le forze, i kNm per i momenti e i MPa per le tensioni, salvo diversa indicazione.

Armature: $\varnothing 24/20$ sul lato teso, $\varnothing 18/20$ sul lato compresso

Spille $\varnothing 12/40 \times 20$

Altezza sezione di verifica: 0.5 m.

12.1 VERIFICA A PRESSOFLESSIONE (SLU)

$$M_{SLU} = 121.2 \text{ kNm}$$

$$N_{SLU} = -27.0 \text{ kNm}$$

Titolo : _____

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	70

N°	As [cm²]	d [cm]
1	12.72	6.2
2	22.62	63.8

Tipologia Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipologia flessione
 Retta Deviata

Tipologia rottura
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

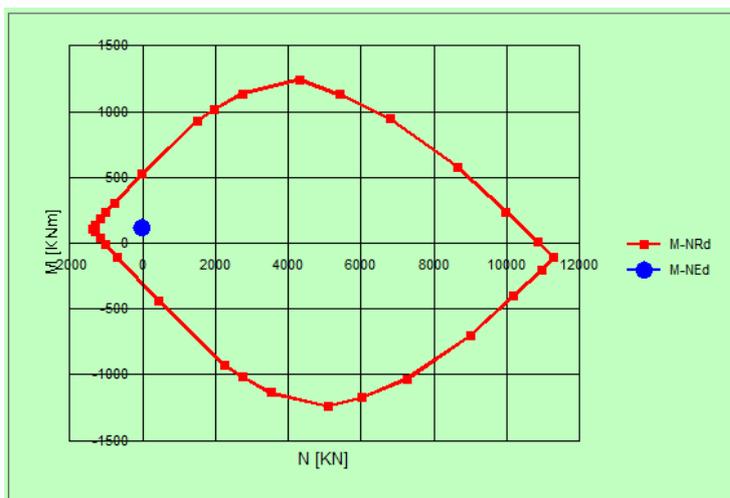
Materiali
 B450C C25/30

ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200 000 N/mm²	f_{cd}	14.17
E_s/E_c	15	f_{cc}/f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	9.75
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm²	τ_{co}	0.6
		τ_{c1}	1.829

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN 0 yN 0

Calcoli
 M_{xRd} 528.3 kN m
 σ_c -14.17 N/mm²
 σ_s 391.3 N/mm²
 ϵ_c 3.5 ‰
 ϵ_s 29.38 ‰
 d 63.8 cm
 x 6.792 x/d 0.1065
 δ 0.7

Altri parametri
 N_{Ed} -27 kN
 M_{xEd} 121.2 kNm
 M_{yEd} 0 kNm
 N_{rett} 100
 L_0 0 cm
 Precompresso



La verifica risulta quindi soddisfatta con coefficiente di sicurezza 4.13.

12.2 VERIFICA A TAGLIO SLU

La verifica è riportata nella seguente tabella.

Le sollecitazioni sono dovute alla combinazione A1+M1.

Come si evince dalla tabella seguente, non sono necessarie armature a taglio; si dispongono comunque spille $\varnothing 8/40 \times 20$.

**VERIFICA A TAGLIO SECONDO NTC2008
SENZA ARMATURE A TAGLIO**

$V_{Ed} = T_{SLU}$	36.30	kN
	36300	N
R_{ck}	39	MPa
f_{ck}	32	MPa
H sezione	700	mm
c netto	50	mm
\varnothing staffa	12	mm
\varnothing arm tesa	24	mm
d	626.00	mm
k	1.565	
b_w	1000	mm
A_{sl}	1571	mm ²
ρ_l	0.00251	
N_{Ed}	0	kN
	0	N
Ac	700000	mm ²
σ_{cp}	0	MPa
f_{cd}	18.133	MPa
γ_c	1.5	
$C_{Rd,c}$	0.12	
V_{min}	0.387714	
$V_{Rd,c}$	235460.8	N
$V_{Rd,c \min}$	242709.1	N
$V_{Rd,c \text{ effettivo}}$	242709.1	N
Verifica	OK	

13 ALLEGATO – MURO DI LINEA NON ANTISVIO

GEOMETRIA

Altezza del muro	4.5	m
Spessore paramento in sommità	0.5	m
Spessore paramento alla base	0.5	m
Lunghezza mensola di monte	2.6	m
Lunghezza mensola di valle	0.45	m
Lunghezza totale fondazione	3.55	m
Altezza della fondazione	0.7	m
Inclinazione piano di posa	0	°
Pendenza filo interno paramento	0	%

TERRENO DI MONTE

Angolo di attrito	38	°
Tangente dell'angolo d'attrito $\tan(\phi')$	0.781	
Coeff. parziale per $\tan(\phi')$ - condiz. M1	1	
Coeff. parziale per $\tan(\phi')$ - condiz. M2	1.25	
Peso per unità di volume	20	kN/m ³

Angolo d'attrito terra-muro - esercizio - cond. M1	25.33	°
Angolo d'attrito terra-muro - sisma - cond. M1	25.33	°
Angolo d'attrito terra-muro - esercizio - cond. M2	21.34	°
Angolo d'attrito terra-muro - sisma - cond. M2	21.34	°
Altezza terreno da estradosso fondazione	2	m
Inclinazione pendio	0	°
Coeff. di spinta attiva di Muller-Breslau - cond. M1	0.217	
Coeff. di spinta attiva di Muller-Breslau - cond. M2	0.275	

TERRENO DI VALLE

Angolo di attrito	23	°
Tangente dell'angolo d'attrito $\tan(\phi')$	0.424	

Coeff. parziale per $\tan(\phi')$ - condiz. M1	1	
Coeff. parziale per $\tan(\phi')$ - condiz. M2	1.25	
Peso per unità di volume	18	kN/m3
Angolo d'attrito terra-muro - esercizio - cond. M1	11.5	°
Angolo d'attrito terra-muro - sisma - cond. M1	0	°
Angolo d'attrito terra-muro - esercizio - cond. M2	9.38	°
Angolo d'attrito terra-muro - sisma - cond. M2	0	°
Inclinazione terreno	0	°
Ricoprimento mensola di valle	1	m
Coeff. di spinta passiva di Muller-Breslau - cond. M1	3.140	
Coeff. di spinta passiva di Muller-Breslau - cond. M2	2.458	
Aliquota di resistenza passiva considerata	0.00	

TERRENO DI FONDAZIONE

Angolo di attrito	23	°
Peso per unità di volume	18	kN/m3
Angolo d'attrito terra-fondazione	23	°
Coesione efficace c'	0	kPa (kN/m2)
Coeff. parziale per c' - condiz. M1	1	
Coeff. parziale per c' - condiz. M2	1.25	
Coesione non drenata c_u	0	kPa (kN/m2)
Coeff. parziale per c_u - condiz. M1	1	
Coeff. parziale per c_u - condiz. M2	1.4	
Coeff. d'attrito terra fondazione $\tan(\delta)$	0.424	
Coeff. parziale per $\tan(\delta)$ - condiz. M1	1	
Coeff. parziale per $\tan(\delta)$ - condiz. M2	1.25	
Altezza falda da intrad. fond. positiva verso l'alto	0	m

SOVRACCARICHI

Permanente a monte	0	kN/m2
Permanente sulla mensola di monte	0	kN/m2
Carico del ballast a monte	14.4	kN/m2

Carico del ballast sulla mensola di monte	0	kN/m ²
Accidentale a monte	40	kN/m ²
Accidentale sulla mensola di monte	0	kN/m ²
Pressione del vento sulle barriere	1.5	kN/m ²
Altezza barriere	5.5	m
Interasse montati	3	m
Permanente in testa, N	0	kN
Permanente in testa, T	0	kN
Permanente in testa, M	0	kNm
Accidentale in testa, N	0	kN
Accidentale in testa, T	0	kN
Accidentale in testa, M	0	kNm

SISMA

Categoria suolo	C
F_o	2.6
a_g	0.79788
S_s	1.5
S_r	1
S	1.5
β_s	0.18
a_{max}	1.19682
Coefficiente sismico orizzontale	0.022
Coefficiente sismico verticale	0.011
Coeff. spinta attiva sotto sisma soprafalda	0.288
Coeff. spinta attiva sotto sisma sottofalda	0.302
Coeff. spinta passiva sotto sisma soprafalda	1.92
Coeff. spinta passiva sotto sisma sottofalda	1.02

PERMANENTI FAVOREVOLI E ACCIDENTALI FAVOREVOLI

CONDIZIONE A1+M1

Orizzontale	Verticale	Momento
-------------	-----------	---------

CONDIZIONI DRENATE

	Orizzontale	Verticale	Momento	
Spinta del carico permanente	0.00	0.00		kN
Spinta del ballast	7.62	3.61		kN
Spinta del carico accidentale	0.00	0.00		kN
Spinta dovuta al vento	0.00			kN
Azioni permanti in testa	0.00	0.00	0.00	kN
Azioni accidentali in testa	0.00	0.00	0.00	kN
Spinta del terreno	14.28	6.76		kN
Spinta dell'acqua	0.00			kN
Resistenza passiva del terreno	0.00	0.00		kN

CONDIZIONE A2+M2

Orizzontale	Verticale	Momento
-------------	-----------	---------

CONDIZIONI DRENATE

	Orizzontale	Verticale	Momento	
Spinta del carico permanente	0.00	0.00		kN
Spinta del ballast	9.96	3.89		kN
Spinta del carico accidentale	0.00	0.00		kN
Spinta dovuta al vento	0.00			kN
Azioni permanti in testa	0.00	0.00	0.00	kN
Azioni accidentali in testa	0.00	0.00	0.00	kN
Spinta del terreno	18.67	7.29		kN
Spinta dell'acqua	0.00			kN
Resistenza passiva del terreno	0.00	0.00		kN

VERIFICHE ALLA TRASLAZIONE

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1

Componente orizzontale del carico	21.90	kN
Resistenza al taglio	98.79	kN

Hd < Sd, VERIFICA SODDISFATTA

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2

Componente orizzontale del carico	28.63	kN
Resistenza al taglio	79.31	kN

Hd < Sd, VERIFICA SODDISFATTA

VERIFICHE AL RIBALTAMENTO

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione EQU+M2

Momento ribaltante	27.22	kN
Momento stabilizzante	381.01	kN

Mrib < Mstab, VERIFICA SODDISFATTA

VERIFICHE DI CAPACITA' PORTANTE

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1

Fattori di capacità portante	Nq	Nc	Nγ
	8.66	18.05	8.20
Coeff. per forma fondazione	sq	sc	sγ
	1.01	1.02	1.01
Coeff. per approfondimento piano di posa	dq	dc	
	1.16	1.18	
Coeff. per inclinazione carico	iq	ic	iγ
	0.89	0.87	0.80
Coeff. per inclinazione piano di posa	bq	bc	bγ
	1	1	1
Coeff. per inclinazione terreno a valle	gq	gc	gγ
	1	1	1
Carico limite risultante	1243.85	kN	
Carico verticale agente in fondazione	232.74	kN	

Carico agente < Carico limite, VERIFICA SODDISFATTA

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2

Fattori di capacità portante	Nq	Nc	Nγ
	5.66	13.73	4.52
Coeff. per forma fondazione	sq	sc	sγ

	1.01	1.01	1.01
Coeff. per approfondimento piano di posa	dq	dc	
	1.16	1.19	
Coeff. per inclinazione carico	iq	ic	iγ
	0.77	0.72	0.68
Coeff. per inclinazione piano di posa	bq	bc	bγ
	1	1	1
Coeff. per inclinazione terreno a valle	gq	gc	gγ
	1	1	1
Carico limite risultante	665.44	kN	
Carico verticale agente in fondazione	233.56	kN	

Carico agente < Carico limite, VERIFICA SODDISFATTA

VERIFICA ECCENTRICITA'

Limite nocciolo centrale d'inerzia	0.592	m
------------------------------------	-------	---

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1

Eccentricità del carico in fondazione	0.068	m
---------------------------------------	-------	---

e < 1/6 B, VERIFICA SODDISFATTA

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2

Eccentricità del carico in fondazione	0.092	m
---------------------------------------	-------	---

e < 1/6 B, VERIFICA SODDISFATTA



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

RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLRI0005001	A	33 di 71

SOLLECITAZIONI SUL PARAMENTO VERTICALE

Stato limite ultimo - condizione A1+M1

Z	Spessore	N	T	M
(m)	(m)	(kN)	(kN)	(kNm)
0.00	0.50	56.25	13.48	10.87
0.50	0.50	50.00	8.64	5.38
1.00	0.50	43.75	4.78	2.06
1.50	0.50	37.50	1.90	0.43
2.00	0.50	31.25	0.00	0.00
2.50	0.50	25.00	0.00	0.00
3.00	0.50	18.75	0.00	0.00
3.50	0.50	12.50	0.00	0.00
4.00	0.50	6.25	0.00	0.00
4.50	0.50	0.00	0.00	0.00

Stato limite ultimo - condizione A2+M2

Z	Spessore	N	T	M
(m)	(m)	(kN)	(kN)	(kNm)
0.00	0.50	56.25	17.62	14.21
0.50	0.50	50.00	11.29	7.03
1.00	0.50	43.75	6.25	2.70
1.50	0.50	37.50	2.48	0.57
2.00	0.50	31.25	0.00	0.00
2.50	0.50	25.00	0.00	0.00
3.00	0.50	18.75	0.00	0.00
3.50	0.50	12.50	0.00	0.00

4.00	0.50	6.25	0.00	0.00
4.50	0.50	0.00	0.00	0.00

SOLLECITAZIONI SULLA MENSOLA DI MONTE

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	-5.36	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	-7.40	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	-7.13	kN

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	-3.26	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	-11.81	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	-11.67	kN

SOLLECITAZIONI SULLA MENSOLA DI VALLE

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	-24.58	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	4.49	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	3.05	kN

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	-25.75	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	4.39	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	4.12	kN



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

RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLRI0005001	A	36 di 71

PERMANENTI FAVOREVOLI E ACCIDENTALI SFAVOREVOLI

CONDIZIONE A1+M1

Orizzontale	Verticale	Momento
-------------	-----------	---------

CONDIZIONI DRENATE

	Orizzontale	Verticale	Momento	
Spinta del carico permanente	0.00	0.00		kN
Spinta del ballast	7.62	3.61		kN
Spinta del carico accidentale	30.68	14.53		kN
Spinta dovuta al vento	12.38			kN
Azioni permanti in testa	0.00	0.00	0.00	kN
Azioni accidentali in testa	0.00	0.00	0.00	kN
Spinta del terreno	14.28	6.76		kN
Spinta dell'acqua	0.00			kN
Resistenza passiva del terreno	0.00	0.00		kN

CONDIZIONE A2+M2

Orizzontale	Verticale	Momento
-------------	-----------	---------

CONDIZIONI DRENATE

	Orizzontale	Verticale	Momento	
Spinta del carico permanente	0.00	0.00		kN
Spinta del ballast	9.96	3.89		kN
Spinta del carico accidentale	34.57	13.51		kN
Spinta dovuta al vento	10.73			kN
Azioni permanti in testa	0.00	0.00	0.00	kN
Azioni accidentali in testa	0.00	0.00	0.00	kN
Spinta del terreno	18.67	7.29		kN
Spinta dell'acqua	0.00			kN
Resistenza passiva del terreno	0.00	0.00		kN

VERIFICHE ALLA TRASLAZIONE

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1

Componente orizzontale del carico	64.96	kN
-----------------------------------	-------	----

Resistenza al taglio	104.96	kN
----------------------	--------	----

Hd < Sd, VERIFICA SODDISFATTA

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2

Componente orizzontale del carico	73.93	kN
Resistenza al taglio	83.90	kN

Hd < Sd, VERIFICA SODDISFATTA

VERIFICHE AL RIBALTAMENTO

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione EQU+M2

Momento ribaltante	179.75	kN
Momento stabilizzante	436.63	kN

Mrib < Mstab, VERIFICA SODDISFATTA

VERIFICHE DI CAPACITA' PORTANTE

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1

Fattori di capacità portante	Nq	Nc	Nγ
	8.66	18.05	8.20
Coeff. per forma fondazione	sq	sc	sγ
	1.01	1.01	1.01
Coeff. per approfondimento piano di posa	dq	dc	
	1.21	1.24	
Coeff. per inclinazione carico	iq	ic	iγ
	0.68	0.63	0.50
Coeff. per inclinazione piano di posa	bq	bc	bγ
	1	1	1
Coeff. per inclinazione terreno a valle	gq	gc	gγ
	1	1	1
Carico limite risultante	649.56	kN	
Carico verticale agente in fondazione	247.27	kN	

Carico agente < Carico limite, VERIFICA SODDISFATTA

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2

Fattori di capacità portante	Nq	Nc	Nγ
	5.66	13.73	4.52
Coeff. per forma fondazione	sq	sc	sγ
	1.00	1.01	1.00
Coeff. per approfondimento piano di posa	dq	dc	

	1.21	1.26	
Coeff. per inclinazione carico	iq	ic	iy
	0.50	0.39	0.35
Coeff. per inclinazione piano di posa	bq	bc	bγ
	1	1	1
Coeff. per inclinazione terreno a valle	gq	gc	gγ
	1	1	1
Carico limite risultante	301.11	kN	
Carico verticale agente in fondazione	247.06	kN	

Carico agente < Carico limite, VERIFICA SODDISFATTA

VERIFICA ECCENTRICITA'

Limite nocciolo centrale d'inerzia	0.592	m
Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1		
Eccentricità del carico in fondazione	0.525	m
e < 1/6 B, VERIFICA SODDISFATTA		
Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2		
Eccentricità del carico in fondazione	0.524	m
e < 1/6 B, VERIFICA SODDISFATTA		



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

RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLRI0005001	A	40 di 71

SOLLECITAZIONI SUL PARAMENTO VERTICALE

Stato limite ultimo - condizione A1+M1

Z	Spessore	N	T	M
(m)	(m)	(kN)	(kN)	(kNm)
0.00	0.50	56.25	48.58	123.32
0.50	0.50	50.00	38.06	101.70
1.00	0.50	43.75	28.52	85.09
1.50	0.50	37.50	19.96	73.01
2.00	0.50	31.25	12.38	64.97
2.50	0.50	25.00	12.38	58.78
3.00	0.50	18.75	12.38	52.59
3.50	0.50	12.50	18.56	69.61
4.00	0.50	6.25	37.13	120.66
4.50	0.50	0.00	12.38	34.03

Stato limite ultimo - condizione A2+M2

Z	Spessore	N	T	M
(m)	(m)	(kN)	(kN)	(kNm)
0.00	0.50	56.25	53.96	117.57
0.50	0.50	50.00	41.23	93.83
1.00	0.50	43.75	29.78	76.13
1.50	0.50	37.50	19.61	63.84
2.00	0.50	31.25	10.73	56.31
2.50	0.50	25.00	10.73	50.94
3.00	0.50	18.75	10.73	45.58
3.50	0.50	12.50	16.09	60.33

4.00	0.50	6.25	32.18	104.57
4.50	0.50	0.00	10.73	29.49

SOLLECITAZIONI SULLA MENSOLA DI MONTE

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	36.30	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	-117.97	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	-19.90	kN

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	36.12	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	-115.54	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	-26.03	kN

SOLLECITAZIONI SULLA MENSOLA DI VALLE

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	-47.76	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	5.89	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	14.62	kN

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	-47.66	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	5.17	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	16.62	kN



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

RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLRI0005001	A	43 di 71

PERMANENTI SFAVOREVOLI E ACCIDENTALI FAVOREVOLI

CONDIZIONE A1+M1

Orizzontale	Verticale	Momento
-------------	-----------	---------

CONDIZIONI DRENATE

	Orizzontale	Verticale	Momento	
Spinta del carico permanente	0.00	0.00		kN
Spinta del ballast	11.43	5.41		kN
Spinta del carico accidentale	0.00	0.00		kN
Spinta dovuta al vento	0.00			kN
Azioni permanti in testa	0.00	0.00	0.00	kN
Azioni accidentali in testa	0.00	0.00	0.00	kN
Spinta del terreno	19.28	9.13		kN
Spinta dell'acqua	0.00			kN
Resistenza passiva del terreno	0.00	0.00		kN

CONDIZIONE A2+M2

Orizzontale	Verticale	Momento
-------------	-----------	---------

CONDIZIONI DRENATE

	Orizzontale	Verticale	Momento	
Spinta del carico permanente	0.00	0.00		kN
Spinta del ballast	12.94	5.06		kN
Spinta del carico accidentale	0.00	0.00		kN
Spinta dovuta al vento	0.00			kN
Azioni permanti in testa	0.00	0.00	0.00	kN
Azioni accidentali in testa	0.00	0.00	0.00	kN
Spinta del terreno	18.67	7.29		kN
Spinta dell'acqua	0.00			kN
Resistenza passiva del terreno	0.00	0.00		kN

VERIFICHE ALLA TRASLAZIONE

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1

Componente orizzontale del carico	30.71	kN
Resistenza al taglio	133.60	kN

Hd < Sd, VERIFICA SODDISFATTA

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2

Componente orizzontale del carico	31.61	kN
Resistenza al taglio	79.71	kN

Hd < Sd, VERIFICA SODDISFATTA

VERIFICHE AL RIBALTAMENTO

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione EQU+M2

Momento ribaltante	38.65	kN
Momento stabilizzante	471.20	kN

Mrib < Mstab, VERIFICA SODDISFATTA

VERIFICHE DI CAPACITA' PORTANTE

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1

Fattori di capacità portante	Nq	Nc	Nγ
	8.66	18.05	8.20
Coeff. per forma fondazione	sq	sc	sγ
	1.01	1.02	1.01
Coeff. per approfondimento piano di posa	dq	dc	
	1.16	1.18	
Coeff. per inclinazione carico	iq	ic	iγ
	0.88	0.87	0.80
Coeff. per inclinazione piano di posa	bq	bc	bγ
	1	1	1
Coeff. per inclinazione terreno a valle	gq	gc	gγ
	1	1	1
Carico limite risultante	1235.36	kN	
Carico verticale agente in fondazione	314.75	kN	

Carico agente < Carico limite, VERIFICA SODDISFATTA

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2

Fattori di capacità portante	Nq	Nc	Nγ
	5.66	13.73	4.52
Coeff. per forma fondazione	sq	sc	sγ
	1.01	1.01	1.01
Coeff. per approfondimento piano di posa	dq	dc	
	1.16	1.19	

Coeff. per inclinazione carico	iq	ic	iγ
	0.75	0.70	0.65
Coeff. per inclinazione piano di posa	bq	bc	bγ
	1	1	1
Coeff. per inclinazione terreno a valle	gq	gc	gγ
	1	1	1
Carico limite risultante	642.23	kN	
Carico verticale agente in fondazione	234.72	kN	

Carico agente < Carico limite, VERIFICA SODDISFATTA

VERIFICA ECCENTRICITA'

Limite nocciolo centrale d'inerzia	0.592	m
Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1		
Eccentricità del carico in fondazione	0.070	m
e < 1/6 B, VERIFICA SODDISFATTA		
Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2		
Eccentricità del carico in fondazione	0.100	m
e < 1/6 B, VERIFICA SODDISFATTA		



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

RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLRI0005001	A	47 di 71

SOLLECITAZIONI SUL PARAMENTO VERTICALE

Stato limite ultimo - condizione A1+M1

Z	Spessore	N	T	M
(m)	(m)	(kN)	(kN)	(kNm)
0.00	0.50	75.94	19.05	15.52
0.50	0.50	67.50	12.30	7.74
1.00	0.50	59.06	6.88	3.00
1.50	0.50	50.63	2.78	0.64
2.00	0.50	42.19	0.00	0.00
2.50	0.50	33.75	0.00	0.00
3.00	0.50	25.31	0.00	0.00
3.50	0.50	16.88	0.00	0.00
4.00	0.50	8.44	0.00	0.00
4.50	0.50	0.00	0.00	0.00

Stato limite ultimo - condizione A2+M2

Z	Spessore	N	T	M
(m)	(m)	(kN)	(kN)	(kNm)
0.00	0.50	56.25	19.83	16.42
0.50	0.50	50.00	12.95	8.27
1.00	0.50	43.75	7.36	3.25
1.50	0.50	37.50	3.04	0.71
2.00	0.50	31.25	0.00	0.00
2.50	0.50	25.00	0.00	0.00
3.00	0.50	18.75	0.00	0.00
3.50	0.50	12.50	0.00	0.00

4.00	0.50	6.25	0.00	0.00
4.50	0.50	0.00	0.00	0.00

SOLLECITAZIONI SULLA MENSOLA DI MONTE

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	-6.89	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	-11.08	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	-10.12	kN

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	-2.30	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	-14.64	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	-13.10	kN

SOLLECITAZIONI SULLA MENSOLA DI VALLE

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	-33.37	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	6.05	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	4.29	kN

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	-26.26	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	4.35	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	4.60	kN

PERMANENTI SFAVOREVOLI E ACCIDENTALI SFAVOREVOLI

CONDIZIONE A1+M1

Orizzontale	Verticale	Momento
-------------	-----------	---------

CONDIZIONI DRENATE

	Orizzontale	Verticale	Momento	
Spinta del carico permanente	0.00	0.00		kN
Spinta del ballast	11.43	5.41		kN
Spinta del carico accidentale	30.68	14.53		kN
Spinta dovuta al vento	12.38			kN
Azioni permanti in testa	0.00	0.00	0.00	kN
Azioni accidentali in testa	0.00	0.00	0.00	kN
Spinta del terreno	19.28	9.13		kN
Spinta dell'acqua	0.00			kN
Resistenza passiva del terreno	0.00	0.00		kN

CONDIZIONE A2+M2

Orizzontale	Verticale	Momento
-------------	-----------	---------

CONDIZIONI DRENATE

	Orizzontale	Verticale	Momento	
Spinta del carico permanente	0.00	0.00		kN
Spinta del ballast	12.94	5.06		kN
Spinta del carico accidentale	34.57	13.51		kN
Spinta dovuta al vento	10.73			kN
Azioni permanti in testa	0.00	0.00	0.00	kN
Azioni accidentali in testa	0.00	0.00	0.00	kN
Spinta del terreno	18.67	7.29		kN
Spinta dell'acqua	0.00			kN
Resistenza passiva del terreno	0.00	0.00		kN

VERIFICHE ALLA TRASLAZIONE

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1

Componente orizzontale del carico	73.77	kN
Resistenza al taglio	139.77	kN

Hd < Sd, VERIFICA SODDISFATTA

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2

Componente orizzontale del carico	76.91	kN
Resistenza al taglio	84.29	kN

Hd < Sd, VERIFICA SODDISFATTA

VERIFICHE AL RIBALTAMENTO

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione EQU+M2

Momento ribaltante	191.17	kN
Momento stabilizzante	526.82	kN

Mrib < Mstab, VERIFICA SODDISFATTA

VERIFICHE DI CAPACITA' PORTANTE

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1

Fattori di capacità portante	Nq	Nc	Nγ
	8.66	18.05	8.20
Coeff. per forma fondazione	sq	sc	sγ
	1.01	1.01	1.01
Coeff. per approfondimento piano di posa	dq	dc	
	1.20	1.22	
Coeff. per inclinazione carico	iq	ic	iγ
	0.72	0.69	0.56
Coeff. per inclinazione piano di posa	bq	bc	bγ
	1	1	1
Coeff. per inclinazione terreno a valle	gq	gc	gγ
	1	1	1
Carico limite risultante	768.00	kN	
Carico verticale agente in fondazione	329.27	kN	

Carico agente < Carico limite, VERIFICA SODDISFATTA

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2

Fattori di capacità portante	Nq	Nc	Nγ
	5.66	13.73	4.52
Coeff. per forma fondazione	sq	sc	sγ
	1.00	1.01	1.00
Coeff. per approfondimento piano di posa	dq	dc	
	1.21	1.26	

Coeff. per inclinazione carico	iq	ic	iγ
	0.48	0.37	0.33
Coeff. per inclinazione piano di posa	bq	bc	bγ
	1	1	1
Coeff. per inclinazione terreno a valle	gq	gc	gγ
	1	1	1
Carico limite risultante	290.32	kN	
Carico verticale agente in fondazione	248.23	kN	

Carico agente < Carico limite, VERIFICA SODDISFATTA

VERIFICA ECCENTRICITA'

Limite nocciolo centrale d'inerzia	0.592	m
Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1		
Eccentricità del carico in fondazione	0.413	m
e < 1/6 B, VERIFICA SODDISFATTA		
Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2		
Eccentricità del carico in fondazione	0.529	m
e < 1/6 B, VERIFICA SODDISFATTA		



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

RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLRI0005001	A	53 di 71

SOLLECITAZIONI SUL PARAMENTO VERTICALE

Stato limite ultimo - condizione A1+M1

Z	Spessore	N	T	M
(m)	(m)	(kN)	(kN)	(kNm)
0.00	0.50	75.94	54.15	127.97
0.50	0.50	67.50	41.72	104.05
1.00	0.50	59.06	30.62	86.02
1.50	0.50	50.63	20.83	73.22
2.00	0.50	42.19	12.38	64.97
2.50	0.50	33.75	12.38	58.78
3.00	0.50	25.31	12.38	52.59
3.50	0.50	16.88	18.56	69.61
4.00	0.50	8.44	37.13	120.66
4.50	0.50	0.00	12.38	34.03

Stato limite ultimo - condizione A2+M2

Z	Spessore	N	T	M
(m)	(m)	(kN)	(kN)	(kNm)
0.00	0.50	56.25	56.17	119.78
0.50	0.50	50.00	42.89	95.07
1.00	0.50	43.75	30.89	76.68
1.50	0.50	37.50	20.17	63.98
2.00	0.50	31.25	10.73	56.31
2.50	0.50	25.00	10.73	50.94
3.00	0.50	18.75	10.73	45.58
3.50	0.50	12.50	16.09	60.33

4.00	0.50	6.25	32.18	104.57
4.50	0.50	0.00	10.73	29.49

SOLLECITAZIONI SULLA MENSOLA DI MONTE

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	34.76	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	-121.16	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	-24.32	kN

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	37.08	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	-118.55	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	-26.97	kN

SOLLECITAZIONI SULLA MENSOLA DI VALLE

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A1+M1+R1

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	-56.54	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	7.73	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	15.05	kN

Stato limite ultimo - condizioni drenate - Condizione A2+M2+R2

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	-48.17	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	5.03	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	17.37	kN



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

RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLRI0005001	A	56 di 71

CONDIZIONE SISMICA

CONDIZIONE SISMICA

	Orizzontale	Verticale	Momento	
Spinta del carico permanente	0.00	0.00		kN
Spinta del ballast	10.55	4.12		kN
Spinta del carico accidentale	5.86	2.29		kN
Azioni permanti in testa	0.00	0.00	0.00	kN
Azioni accidentali in testa	0.00	0.00	0.00	kN
Spinta statica del terreno	18.67	7.73		kN
Spinta dinamica del terreno	1.12			kN
Resistenza passiva del terreno	0.00			kN
Inerzia del terreno	2.28			kN
Inerzia del calcestruzzo	2.60			kN
Inerzia carichi permanenti	0.00			kN
Inerzia carico ballast	0.00			kN
Inerzia carichi accidentali	0.00			kN

VERIFICHE ALLA TRASLAZIONE

Condizione sismica (condizioni drenate)

Componente orizzontale del carico	41.09	kN
Resistenza al taglio	80.32	kN

$H_d < S_d$, VERIFICA SODDISFATTA

VERIFICHE AL RIBALTAMENTO

Condizione sismica

Momento ribaltante	48.48	kN
Momento stabilizzante	433.86	kN

$M_{rib} < M_{stab}$, VERIFICA SODDISFATTA

VERIFICHE DI CAPACITA' PORTANTE

Condizione sismica (condizioni drenate)

Fattori di capacità portante	N_q	N_c	N_γ
	5.66	13.73	4.52
Coeff. per forma fondazione	s_q	s_c	s_γ
	1.01	1.01	1.01
Coeff. per approfondimento piano di posa	d_q	d_c	
	1.16	1.20	
Coeff. per inclinazione carico	i_q	i_c	i_γ
	0.69	0.62	0.57
Coeff. per inclinazione piano di posa	b_q	b_c	b_γ
	1.00	1.00	1
Coeff. per inclinazione terreno a monte	g_q	g_c	g_γ
	1	1	1.00
Carico limite risultante	563.55	kN	
Carico verticale agente in fondazione	236.52	kN	

Carico agente < Carico limite, VERIFICA SODDISFATTA

VERIFICA ECCENTRICITA'

Limite nocciolo centrale d'inerzia	0.592	m
Condizione sismica (condizioni drenate)		
Eccentricità del carico in fondazione	0.146	m

$e < 1/6 B$, VERIFICA SODDISFATTA

SOLLECITAZIONI SUL PARAMENTO VERTICALE

Condizioni sismiche

Z	Spessore	N	T	M
(m)	(m)	(kN)	(kN)	(kNm)
0.00	0.50	56.25	21.23	20.16
0.50	0.50	50.00	14.53	11.17
1.00	0.50	43.75	8.87	5.31
1.50	0.50	37.50	4.26	2.05
2.00	0.50	31.25	0.69	0.86
2.50	0.50	25.00	0.55	0.55
3.00	0.50	18.75	0.41	0.31
3.50	0.50	12.50	0.27	0.14
4.00	0.50	6.25	0.14	0.03
4.50	0.50	0.00	0.00	0.00

SOLLECITAZIONI SULLA MENSOLA DI MONTE

Condizione sismica

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	-1.37	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	-17.78	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	-12.20	kN



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

RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLRI0005001	A	60 di 71

SOLLECITAZIONI SULLA MENSOLA DI VALLE

Condizione sismica

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	-26.77	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	4.44	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	4.68	kN



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

RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLRI0005001	A	61 di 71

COMBINAZIONE RARA

SOLLECITAZIONI SUL PARAMENTO VERTICALE

Combinazione rara

Z	Spessore	N	T	M
(m)	(m)	(kN)	(kN)	(kNm)
0.00	0.50	56.25	34.11	62.43
0.50	0.50	50.00	25.35	47.61
1.00	0.50	43.75	17.57	36.92
1.50	0.50	37.50	10.77	29.88
2.00	0.50	31.25	4.95	25.99
2.50	0.50	25.00	4.95	23.51
3.00	0.50	18.75	4.95	21.04
3.50	0.50	12.50	7.43	27.84
4.00	0.50	6.25	14.85	48.26
4.50	0.50	0.00	4.95	13.61



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

RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLRI0005001	A	62 di 71

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



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

RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	20	D 26	CLRI0005001	A	63 di 71

SOLLECITAZIONI SULLA MENSOLA DI MONTE

Combinazione rara - condizioni drenate

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	13.93	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	-59.84	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	-16.94	kN

SOLLECITAZIONI SULLA MENSOLA DI VALLE

Combinazione rara - condizioni drenate

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	-35.23	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	5.08	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	8.53	kN



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

RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLRI0005001	A	64 di 71

COMBINAZIONE FREQUENTE

SOLLECITAZIONI SUL PARAMENTO VERTICALE

Combinazione frequente

Z (m)	Spessore (m)	N (kN)	T (kN)	M (kNm)
0.00	0.50	56.25	21.32	18.71
0.50	0.50	50.00	14.52	9.79
1.00	0.50	43.75	8.70	4.02
1.50	0.50	37.50	3.86	0.92
2.00	0.50	31.25	0.00	0.00
2.50	0.50	25.00	0.00	0.00
3.00	0.50	18.75	0.00	0.00
3.50	0.50	12.50	0.00	0.00
4.00	0.50	6.25	0.00	0.00
4.50	0.50	0.00	0.00	0.00



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

RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLRI0005001	A	65 di 71

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

SOLLECITAZIONI SULLA MENSOLA DI MONTE

Combinazione frequente - condizioni drenate

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	-2.23	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	-17.54	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	-11.67	kN

SOLLECITAZIONI SULLA MENSOLA DI VALLE

Combinazione frequente - condizioni drenate

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	-26.23	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	4.31	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	4.66	kN



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

RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLRI0005001	A	67 di 71

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

SOLLECITAZIONI SUL PARAMENTO VERTICALE

Combinazione quasi permanente

Z	Spessore	N	T	M
(m)	(m)	(kN)	(kN)	(kNm)
0.00	0.50	56.25	13.48	10.87
0.50	0.50	50.00	8.64	5.38
1.00	0.50	43.75	4.78	2.06
1.50	0.50	37.50	1.90	0.43
2.00	0.50	31.25	0.00	0.00
2.50	0.50	25.00	0.00	0.00
3.00	0.50	18.75	0.00	0.00
3.50	0.50	12.50	0.00	0.00
4.00	0.50	6.25	0.00	0.00
4.50	0.50	0.00	0.00	0.00



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

RELAZIONE DI CALCOLO MURI DI SOSTEGNO SEDE FERROVIARIA

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLRI0005001	A	68 di 71

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

SOLLECITAZIONI SULLA MENSOLA DI MONTE

Combinazione quasi permanente - condizioni drenate

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	-5.36	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	-7.40	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	-7.13	kN

SOLLECITAZIONI SULLA MENSOLA DI VALLE

Combinazione quasi permanente - condizioni drenate

TAGLIO - positivo se diretto verso il basso	-24.58	kN
MOMENTO - positivo se tende le fibre inferiori	4.49	kNm
SFORZO ASSIALE - positivo se di compressione	3.05	kN