

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 PRINCIPALI - SOTTOVIA E SOTTOPASSI

SL09 - Nuovo sottovia viale della Repubblica km 26+527,62

Relazione di calcolo opere provvisionali

SCALA:

-

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

N M 0 Z 2 0 D 2 6 C L S L 0 9 0 0 0 0 6 A

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

ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD
 Dott. Ing. Francesco Borelli
 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
 n. 23372 Sez. A

File: NM0Z20D26CLSL0900006A

n. Elab.:

INDICE

1.	PREMESSA	1
1.1	DESCRIZIONE DELLE OPERE.....	1
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	3
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
2.2	DOCUMENTI DI PROGETTO.....	3
2.3	SOFTWARE	3
3.	MATERIALI.....	4
4.	CRITERI DI PROGETTAZIONE	5
5.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	7
5.1	TERRENO IN SITO.....	7
6.	AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	9
7.	MODELLO DI CALCOLO	10
7.1	GEOMETRIA.....	10
7.2	FASI REALIZZATIVE	11
8.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU).....	12
8.1	VERIFICHE SLU DI TIPO GEOTECNICO (GEO)	12
8.1.1	<i>Verifica della massima spinta passiva mobilitata.....</i>	<i>12</i>
8.2	VERIFICHE SLU DI TIPO STRUTTURALE.....	13
8.2.1	<i>Verifica della resistenza strutturale della paratia.....</i>	<i>13</i>
9.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE).....	17

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.

Nella presente relazione sono esposti i criteri generali di calcolo e le verifiche geotecniche e strutturali delle paratie che saranno utilizzate come opere provvisoriali per la realizzazione (in fase 2) del prolungamento del sottovia “*viale della repubblica*” (SL09), posto alla progressiva PK 26+527 della linea suddetta.



Figura 1-1: Vista d'insieme dell'opera esistente (Google Earth)

1.1 DESCRIZIONE DELLE OPERE

L'opera di sostegno necessaria per gli scavi per la realizzazione della sezione scatolare di prolungamento è costituita da paratie di micropali, aventi le seguenti caratteristiche:

- Diametro tubo = 219.1/sp20 mm
- Diametro perforazione = 300 mm
- Spaziatura = 400 mm;
- Altezza paratia = 14.0 m
- Profondità scavo a valle = 8.6 m

La trave di coronamento della paratia, in calcestruzzo armato, ha le seguenti dimensioni:

- Altezza = 750 mm;
- Larghezza = 750 mm.

È prevista la realizzazione di allineamenti di pali in direzione perpendicolare alla paratia calcolata (ogni 5 m), che fungano da irrigidimento per la stessa.

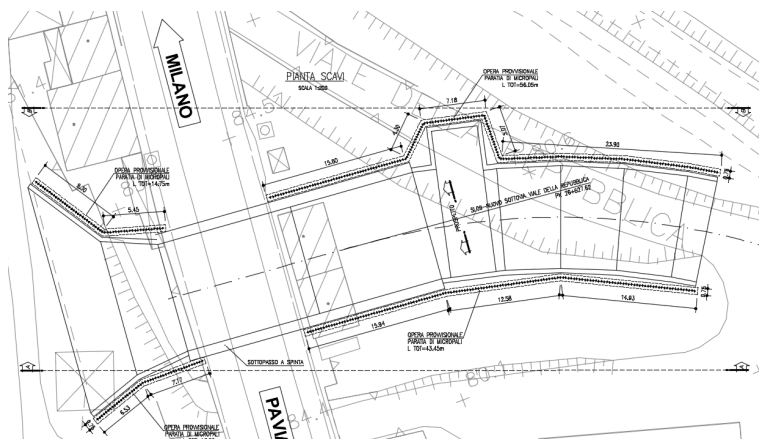


Figura 2: Vista in pianta dell'opera da realizzare

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, nel seguito indicata con NTC-08
- 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, in seguito indicata come Circolare NTC-08.
- 3] Manuale di progettazione (Rif: RFI DTC SI CS MA IFS 001 B)
- 4] Standard di qualità geometrica del binario e parametri di dinamica di marcia per velocità fino a 300 km/h (Rif: RFI TCAR ST AR 01 001 D)

2.2 DOCUMENTI DI PROGETTO

- 5] Relazione geotecnica generale (Rif: NM0Z20D26GEO0001001)

2.3 SOFTWARE

- 6] CeAS S.r.l. – Paratie Plus 2018

3. MATERIALI

Calcestruzzo micropali e relativi cordoli C 25/30

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \quad f_{ck} \geq 30 \text{ MPa} \quad \text{resistenza} \quad \text{caratteristica}$$

cilindrica

$$E_c = 31475.8 \text{ MPa} \quad \text{modulo elastico}$$

Acciaio da c.a.: B 450 C

$$f_{yk} = 450 \text{ MPa} \quad f_{yk} = 450 \text{ MPa} \quad f_{ck} \geq 30 \text{ MPa} \quad \text{resistenza}$$


caratteristica cilindrica

$$E_s = 210000 \text{ MPa} \quad \text{modulo elastico}$$

Acciaio da carpenteria S275JR per l'armatura dei micropali

$$f_{yk} = 275 \text{ MPa} \quad \text{tensione caratteristica di snervamento}$$

$$E_s = 210000 \text{ MPa} \quad \text{modulo elastico}$$

	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</p> <p>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</p> <p>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE-ENTE</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NMOZ</td> <td>20</td> <td>D 26</td> <td>CLSL0900006</td> <td>A</td> <td>5 di 20</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NMOZ	20	D 26	CLSL0900006	A	5 di 20
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NMOZ	20	D 26	CLSL0900006	A	5 di 20								

4. CRITERI DI PROGETTAZIONE

In accordo con quanto definito nel par. 6.2.3. delle NTC-08, 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:

$$E_d \leq R_d$$

La verifica della condizione ($E_d \leq R_d$) deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

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

$$E_d \leq C_d \quad \text{(Eq. 6.2.7 delle NTC-08)}$$

dove

E_d è il valore di progetto dell’effetto dell’azione, e

C_d è il valore limite dell’effetto delle azioni.

All’interno del progetto devono essere quindi definite le prescrizioni relative agli spostamenti compatibili per l’opera e le prestazioni attese.

Tabella 4-1. 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 4-2. Coefficienti parziali sui terreni (M1 ed M2)

PARAMETRO	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\gamma_{\phi'}$	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

Tabella 4-3. 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

5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

5.1 TERRENO IN SITO

Per la caratterizzazione geotecnica del terreno in sito si rimanda alla “*Relazione geotecnica generale*” (Rif: NM0Z-10-D-26-RB-OC0001-001).


L’opera in esame ricade nella zona omogenea “17” che presenta le seguenti caratteristiche:

Tabella 5-1: Riepilogo parametri del terreno per la Zona omogenea “17”

ZONA	SONDAGGIO DI RIFERIMENTO	PROFONDITA'	UNITA' TERRENO	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	ϕ' [°]		ϕ' [°]	E'_{∞} [MPa]		
						max	min				
17	PNMP21P06	da 0 a 10m	Sg	21	18	29	23		23	11	3
		da 10m a 30m	S	21	18	30	30		30	51	28

Il terreno, per le profondità d’interesse, è caratterizzato da due unità per cui si adottano i seguenti parametri:

- Sg (da 0 a 10 m)
 $c' = 0 \text{ kPa}$
 $\phi' = 23^\circ$
 $\gamma_s = 21 \text{ kN/m}^3$
 $\gamma_d = 18 \text{ kN/m}^3$
 $E_{CV} = 7000 \text{ kPa}$ $E_{CV} = 25000 \text{ kPa}$
- Sg (da 10 a 30 m)
 $c' = 0 \text{ kPa}$
 $\phi' = 30^\circ$
 $\gamma_s = 21 \text{ kN/m}^3$
 $\gamma_d = 18 \text{ kN/m}^3$
 $E_{CV} = 39500 \text{ kPa}$ $E_{CV} = 25000 \text{ kPa}$

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL0900006	REV. A

La falda è posta ad una profondità di 7.2 m dal p.c.

Per quanto concerne la definizione dei coefficienti di spinta “a riposo”, attiva e passiva per ogni strato costituente la stratigrafia del sito, sono state assunte le ipotesi di calcolo descritte qui di seguito:

- L’angolo d’attrito terreno-parametria è assunto pari a 1/2 dell’angolo di resistenza al taglio del residuo terreno.
- Il coefficiente di spinta a riposo K_0 , essendo in presenza di terreni normalmente consolidati, è valutato con la seguente formula:

$$K_0 = 1 - \sin(\phi')$$

- Il coefficiente di spinta attiva K_A è valutato mediante la soluzione analitica di Muller-Breslau (1924) riferita a superfici di rottura piane.

$$K_A = \frac{\cos^2(\phi' - \beta)}{\cos^2 \beta \cdot \cos(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi') \cdot \sin(\phi' - i)}{\cos(\beta + \delta) \cdot \cos(\beta - i)}} \right]^2}$$

con:

ϕ : angolo di attrito del terreno

β : inclinazione del paramento

δ : angolo di attrito terra-muro

i : inclinazione del terreno a monte

Nel caso particolare di piano campagna orizzontale, paramento verticale considerando cautelativamente un attrito terra-muro nullo, la correlazione citata si riduce alla formulazione originariamente proposta da Rankine:

$$K_A = \tan^2\left(45 - \frac{\phi'}{2}\right)$$

- Il coefficiente di spinta passiva K_P è valutato mediante la teoria di Lancellotta (2007).



PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA

QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA

FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLSL0900006	A	9 di 20

6. AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Le verifiche sismiche sono omesse in quanto l'opera è a carattere provvisoria e si ipotizza una durata dei lavori inferiore ai 2 anni (vedi par. 2.4.1 delle NTC-08).

7. MODELLO DI CALCOLO

È stato utilizzato il software Paratie Plus v.2018 di CeAS S.r.l..

È stato predisposto un modello di calcolo bidimensionale. La definizione del problema in esame prevede la definizione di più fasi, ognuna delle quali è contraddistinta da una differente configurazione della geometria, dei carichi, dei vincoli ecc.

7.1 GEOMETRIA

Le caratteristiche geometriche del modello sono quelle riportate ai paragrafi 1.1 e 5.1.

È prevista la realizzazione di un prescavo di 3 m a tergo della paratia.

Sono stati considerati i seguenti carichi:

- carico accidentale distribuito (di cantiere) del valore di 5 kN/m^2 su una larghezza di 3 m a monte delle paratie.

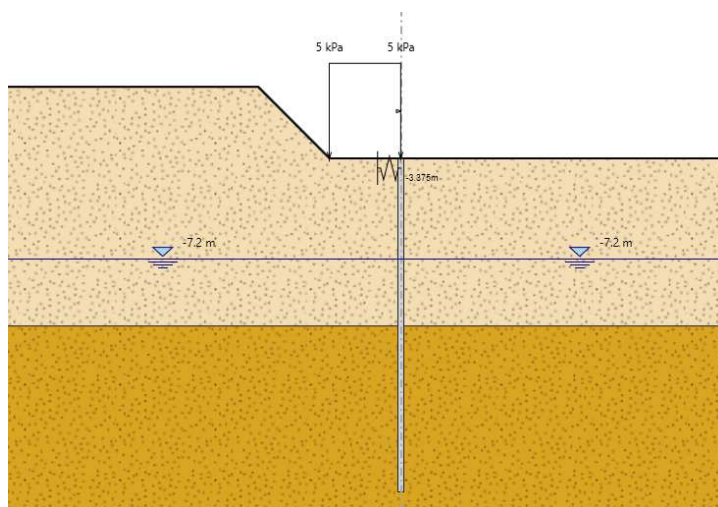


Figura 7-1: Geometria del modello

I tratti di paratia ortogonali alla principale sono stati ipotizzati agenti come vincoli di incastro per il cordolo della paratia in esame, che si comporta quindi come una mensola incastrata agli estremi e soggetta ad un carico distribuito uniforme (spinta del terreno).

In termini di spostamenti, la sezione di paratia sottoposta alla condizione più gravosa è quella più lontana dalla sezione di incastro, perciò nel modello è stato introdotto un elemento elastico la cui rigidezza è stata calcolata in corrispondenza della sezione terminale della mensola.

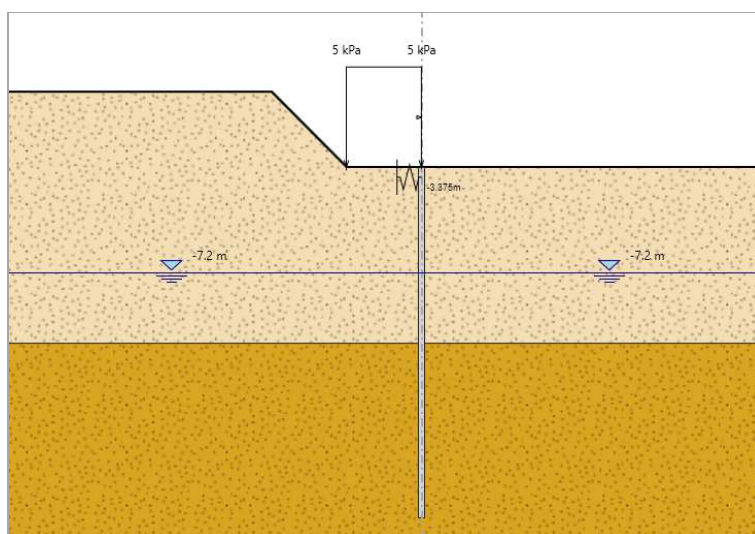
La molla modellata ha quindi le seguenti caratteristiche:

- Rigidezza della molla (cordolo) = 700000 kN/m
- Altezza di applicazione: = 0.375 m (metà cordolo)

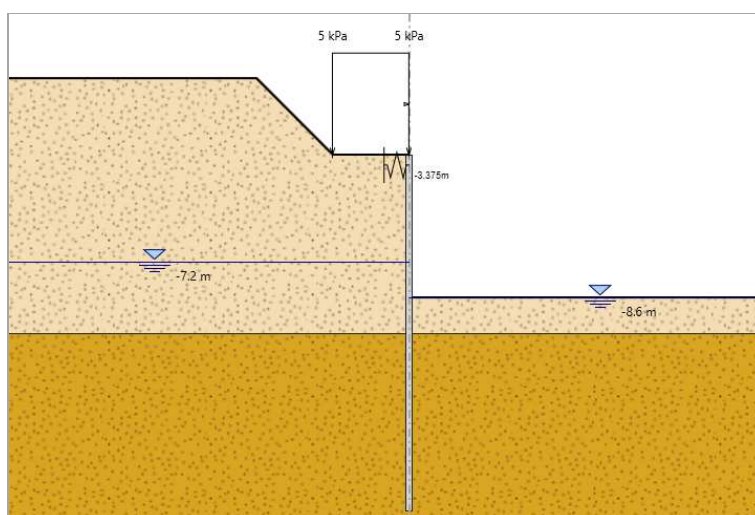
7.2 FASI REALIZZATIVE


Le verifiche sono state condotte in relazione alle varie fasi realizzative:

- Condizione geostatica



- Realizzazione dello scavo



	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</p> <p>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</p> <p>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</p>												
<p>RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE-ENTE</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NMOZ</td> <td>20</td> <td>D 26</td> <td>CLSL0900006</td> <td>A</td> <td>12 di 20</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NMOZ	20	D 26	CLSL0900006	A	12 di 20
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NMOZ	20	D 26	CLSL0900006	A	12 di 20								

8. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

Il presente capitolo riporta i risultati delle verifiche sviluppate agli Stati Limite Ultimi in condizioni statiche.

8.1 VERIFICHE SLU DI TIPO GEOTECNICO (GEO)

Le verifiche di sicurezza di tipo geotecnico considerate pertinenti per il caso in esame sono:

- Verifica della massima spinta passiva mobilitata (Par.8.1.1).

8.1.1 *Verifica della massima spinta passiva mobilitata*

La verifica è stata condotta, in accordo alla normativa (Par.6.5.3.1.2 delle NTC-08), secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2, ovvero secondo la combinazione di coefficienti A2 + M2 + R1, i cui coefficienti sono riportati nella


	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL0900006	REV. A

Tabella 4-1,

Tabella 4-2 e Tabella 4-3.

La convergenza raggiunta dal programma, con limitati spostamenti (dell'ordine di qualche centimetro), assicura l'equilibrio dell'opera anche in presenza di parametri di resistenza al taglio dei terreni fattorizzati.

Si ritiene inoltre utile verificare che, anche in presenza di parametri fattorizzati, la spinta passiva mobilitata a valle conservi dei margini di sicurezza rispetto al valore ultimo fattorizzato. A tale fine, il programma ParatiePlus fornisce come dato di output tale valore.

$R_{[P,MOB]d} = 813 \text{ kN/m}$ (spinta passiva di progetto mobilitata)

$R_{[P,DISP]d} = 1140 \text{ kN/m}$ (spinta passiva ultima di progetto mobilitabile)


Il rapporto fra le due grandezze fornisce un valore di $1.39 > 1$

8.2 VERIFICHE SLU DI TIPO STRUTTURALE

Le verifiche di Tipo STR sono svolte considerando la più gravosa tra la combinazione A1+M1+R1 ed A2+M2+R1.

8.2.1 Verifica della resistenza strutturale della paratia

Gli andamenti delle sollecitazioni di momento flettente massimo e taglio massimo lungo la paratia sono riportati nelle figure seguenti.

	PROGETTO DEFINITIVO POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA					
	RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLSL0900006	REV. A

Per le verifiche strutturali si fa riferimento a quanto prescritto in EC3. Si premette che per tutti i tubi commerciali comunemente impiegati per l'armatura dei micropali si può assumere che la sezione sia di classe 1 ovvero che valga:

$$\frac{D}{t} \leq 50\varepsilon^2$$

dove:

$$\varepsilon = \sqrt{(235\text{MPa}/f_y)}$$

f_y = tensione di snervamento

D = diametro del tubo

t = spessore del tubo

Ciò premesso si definiscono “momento plastico per sola flessione”, e “taglio plastico” le seguenti quantità:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \times (f_y / \gamma_{mo})$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \times (f_y/\sqrt{3}) \times (1/\gamma_{mo})$$

dove:

$$W_{pl} = \text{modulo di resistenza plastico} = 4/3 (R^3 - r^3) = 795.5 \text{ cm}^3$$

R = raggio esterno del tubo

r = raggio interno del tubo = $D/2 - t$

f_y = tensione di snervamento = 275MPa

γ_{M0} = coefficiente di sicurezza sul materiale = 1.05

A_{tubo} = sezione del tubo = 125.1 cm²

A_v = $2 \cdot A_{tubo} / \pi$ = 79.6 cm²

Pertanto, le azioni resistenti di ogni micropalo risultano:

$$M_{pl,Rd} = 207.7 \text{ kNm (singolo palo)}$$

$$M_{pl,Rd} = 519.4 \text{ kNm (1 m di paratia)}$$

$$V_{pl,Rd} = 1179.2 \text{ kN (singolo palo)}$$

$$V_{pl,Rd} = 2948.6 \text{ kN (1 m di paratia)}$$

I massimi valori di taglio e momento flettente si verificano nella di passaggio dei carichi da traffico, i rispettivi diagrammi sono riportati in Figura 8-1 e Figura 8-3 insieme alle resistenze.

In Figura 8-2 e Figura 8-4 sono rappresentati i tassi di sfruttamento degli elementi rispettivamente in termini di momento flettente e di taglio. Sono riportati gli involuipi di tutte le fasi realizzative considerate.

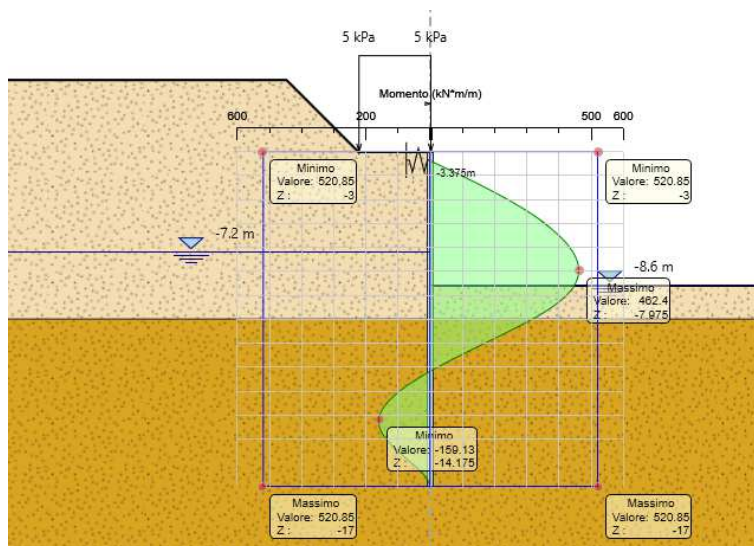


Figura 8-1: Diagrammi momento flettente - Fase: realizzazione dello scavo – A2+M2+R1

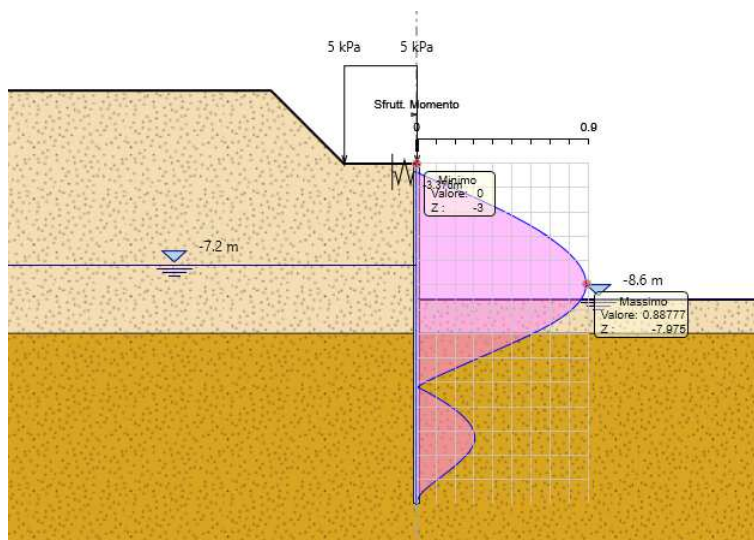


Figura 8-2: Tasso di sfruttamento momento flettente - Fase: realizzazione dello scavo – A2+M2+R1

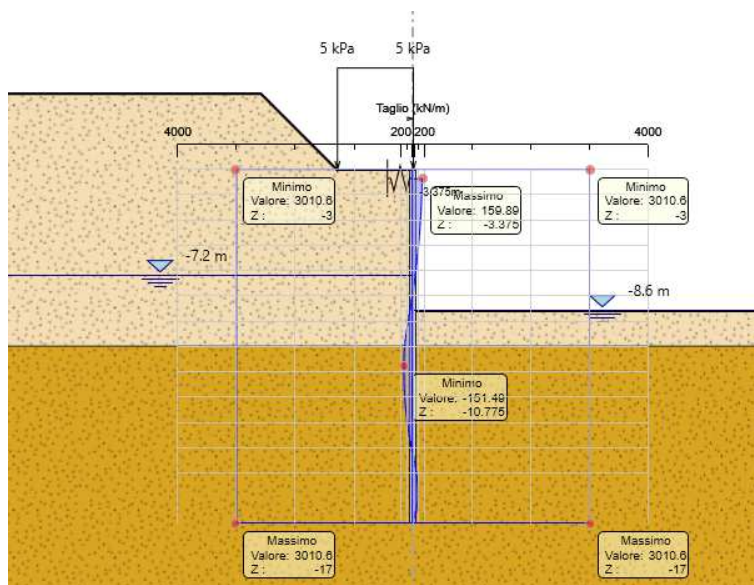


Figura 8-3: Diagrammi taglio - Fase: realizzazione dello scavo - A1+M1+R1

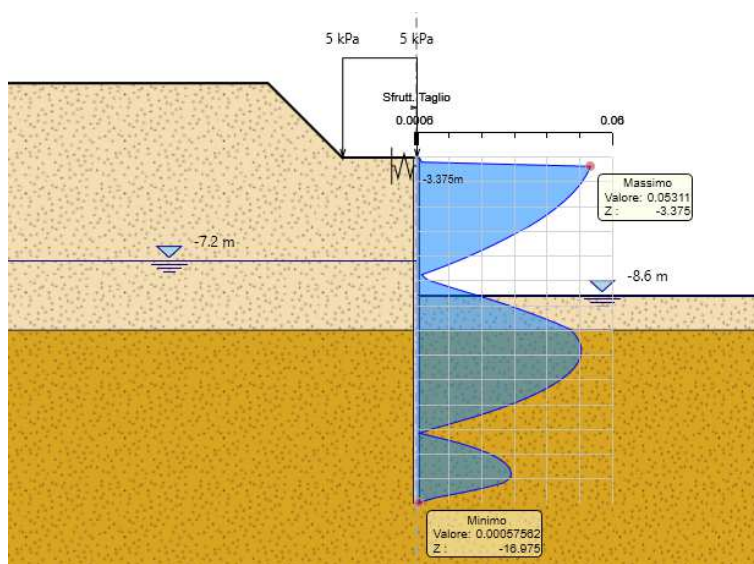


Figura 8-4: Tasso di sfruttamento taglio - Fase: realizzazione dello scavo - A1+M1+R1

9. VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

Al fine di valutare la compatibilità degli spostamenti dell'opera di sostegno e del terreno circostante è stata condotta l'analisi secondo gli Stati Limite d'Esercizio, in cui sono stati posti pari all'unità tutti i coefficienti parziali di cui sopra. L'analisi pertanto è stata condotta adottando per le strutture e per i terreni i parametri caratteristici. Di seguito si riportano i profili dei massimi spostamenti lungo le paratie.

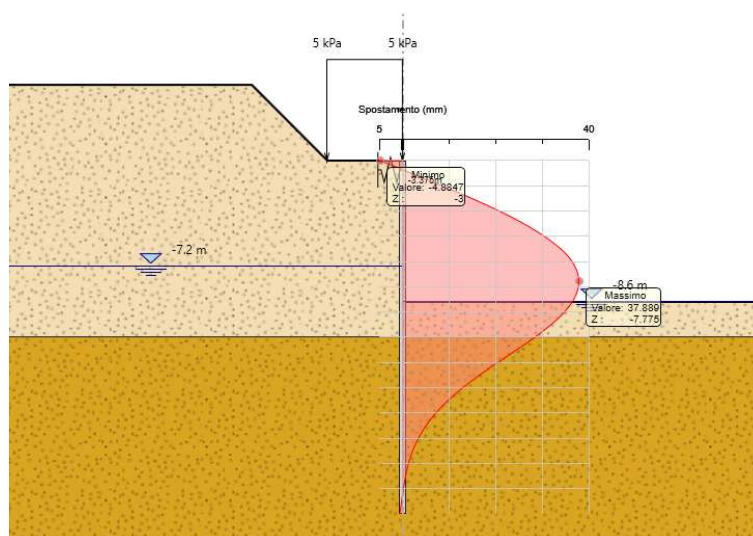


Figura 9-1: Spostamenti massimi agli SLE

Il massimo spostamento atteso per la paratia è di 37.9 mm.



PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA

QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA

FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	20	D 26	CLSL0900006	A	18 di 20