

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 opere provvisionali prolungamento sottopasso esistente

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 5 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  
Dott. Ing. Francesco Borelli  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
n. 23372 Sez. A

File: NM0Z10D26CLFV040B005A

n. Elab.:



**PROGETTO DEFINITIVO**

**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**

**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA**


**FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE**

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NMOZ	10	D 26	CLFV040B005	A	0 di 26

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
5.2	RILEVATO FERROVIARIO .....	8
6.	AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	10
7.	MODELLO DI CALCOLO .....	11
7.1	GEOMETRIA.....	11
7.2	FASI REALIZZATIVE .....	13
8.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU).....	15
8.1	VERIFICHE SLU DI TIPO GEOTECNICO (GEO) .....	15
8.1.1	<i>Verifica della massima spinta passiva mobilitata</i> .....	15
8.2	VERIFICHE SLU DI TIPO STRUTTURALE.....	16
8.2.1	<i>Verifica della resistenza strutturale della paratia</i> .....	16
9.	VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE).....	20
9.1	VERIFICA DEI CEDIMENTI SUPERFICIALI .....	21

	<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>					
	RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLFV040B005	REV. A

## 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 provvisionali per il prolungamento del sottopasso esistente (in fase 1) in corrispondenza della fermata di Certosa di Pavia, posta alla progressiva PK 20+985 della linea suddetta.



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

### 1.1 DESCRIZIONE DELLE OPERE

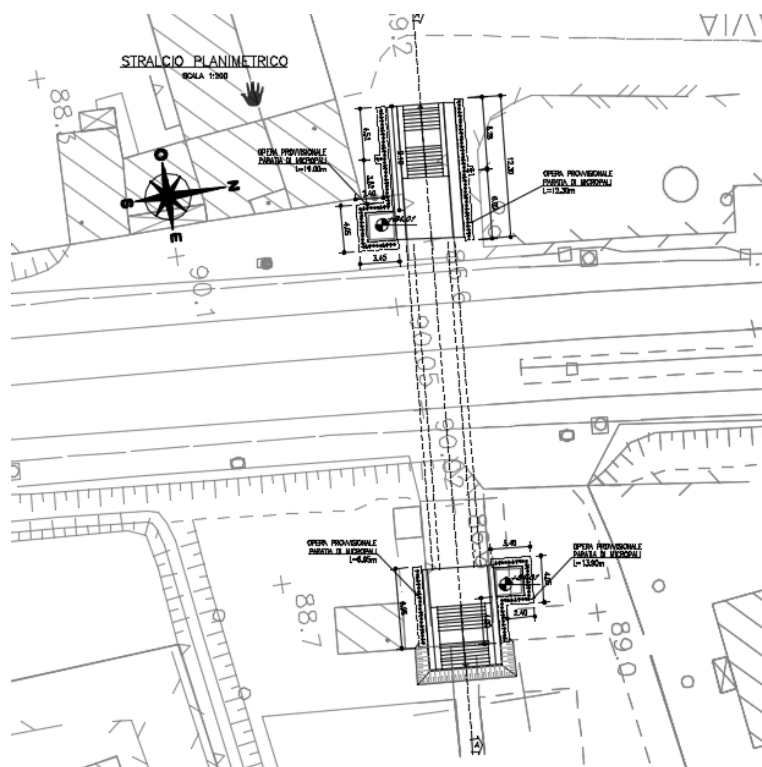
L'opera di sostegno necessaria per gli scavi per la realizzazione della sezione scatolare di prolungamento è costituita da paratie di micropali, aventi le seguenti caratteristiche:

- Diametro tubo = 219.1/sp16 mm
- Diametro perforazione = 300 mm
- Spaziatura = 400 mm;
- Altezza paratia = 10.0 m
- Profondità scavo a valle = 4.0 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**

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b></p> <p><b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b></p> <p><b>FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE</b></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>NM0Z</td> <td>10</td> <td>D 26</td> <td>CLFV040B005</td> <td>A</td> <td>3 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM0Z	10	D 26	CLFV040B005	A	3 di 26
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM0Z	10	D 26	CLFV040B005	A	3 di 26								

## 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: NM0Z10D26GEO0001001)

### 2.3 SOFTWARE

- 6] CeAS S.r.l. – Paratie Plus 2018



PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA

QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA

FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV040B005	A	4 di 26

### 3. MATERIALI

Calcestruzzo micropali e relativi cordoli C 25/30

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

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

Acciaio da c.a.: B 450 C


$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$   $f_{yk} = 450 \text{ MPa}$   $f_{ck} \geq 30 \text{ MPa}$  *resistenza*  
*caratteristica cilindrica*

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

Acciaio da carpenteria S275JR per l'armatura dei micropali

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

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

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b></p> <p><b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b></p> <p><b>FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE</b></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>NM0Z</td> <td>10</td> <td>D 26</td> <td>CLFV040B005</td> <td>A</td> <td>5 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM0Z	10	D 26	CLFV040B005	A	5 di 26
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM0Z	10	D 26	CLFV040B005	A	5 di 26								

#### 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 $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.3	1.0
Permanenti non strutturali (1)	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	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	$\gamma_{Cu}$	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	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	$\gamma_R$	1.0	1.0	1.4
Scorrimento	$\gamma_R$	1.0	1.0	1.1
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R$	1.0	1.0	1.4





**PROGETTO DEFINITIVO**

**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**

**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA**

**FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE**

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV040B005	A	7 di 26

**5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**

**5.1 TERRENO IN SITO**

Per la caratterizzazione geotecnica del terreno in sito si rimanda alla “Relazione geotecnica generale” (Rif: NM0Z10D26GEO0001001).

L’opera in esame ricade nella zona omogenea “13” che presenta le seguenti caratteristiche:

**Tabella 5-1: Riepilogo parametri del terreno per la Zona omogenea “13”**

ZONA	SONDAGGIO DI RIFERIMENTO	PROFONDITA'	UNITA' TERRENO	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]		$\phi'$ [°]	$E'_{op}$ [MPa]			
						max	min					
13	PNNM0ZF08	da 0 a 3m	S	16	10	23	23	laboratorio	scelto	max	min	
		da 3m a 10m	Sg	16	10	30	25			23	5	5
		da 10m a 20m	S	16	10	30	30			25	24	6
										30	50	28

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

- S (da 0 a 3 m)**

$c' = 0 \text{ kPa}$

$\phi' = 23^\circ \phi' = 30$

$\gamma_s = 16 \text{ kN/m}^3$

$\gamma_d = 10 \text{ kN/m}^3$

$E_{CV} = 5000 \text{ kPa} \quad E_{CV} = 25000 \text{ kPa}$
- Sg (da 3 a 10 m)**

$c' = 0 \text{ kPa}$

$\phi' = 25^\circ \phi' = 30$

$\gamma_s = 16 \text{ kN/m}^3$

$\gamma_d = 10 \text{ kN/m}^3$

$E_{CV} = 15000 \text{ kPa} \quad E_{CV} = 25000 \text{ kPa}$
- S (da 10 a 20 m)**


$c' = 0 \text{ kPa}$

$\phi' = 30^\circ \phi' = 30$

$\gamma_s = 16 \text{ kN/m}^3$

$\gamma_d = 10 \text{ kN/m}^3$

$E_{CV} = 39000 \text{ kPa} \quad E_{CV} = 25000 \text{ kPa}$

	<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>					
	RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLFV040B005	REV. A

La falda è posta ad una profondità di 4.8 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:

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

- 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:

$\phi$ : angolo di attrito del terreno

$\beta$ : inclinazione del paramento

$\delta$ : 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).

## 5.2 RILEVATO FERROVIARIO

Per la caratterizzazione del terreno costituente il rilevato ferroviario sono stati assunti i seguenti parametri:

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

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



**PROGETTO DEFINITIVO**

**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**

**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA**

**FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE**


RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV040B005	A	9 di 26

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


$$\gamma_d = 19 \text{ kN/m}^3$$

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

	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b></p> <p><b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b></p> <p><b>FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE</b></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>NM0Z</td> <td>10</td> <td>D 26</td> <td>CLFV040B005</td> <td>A</td> <td>10 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM0Z	10	D 26	CLFV040B005	A	10 di 26
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM0Z	10	D 26	CLFV040B005	A	10 di 26								

## 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).

	<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>					
	RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLFV040B005	REV. A

## 7. MODELLO DI CALCOLO

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

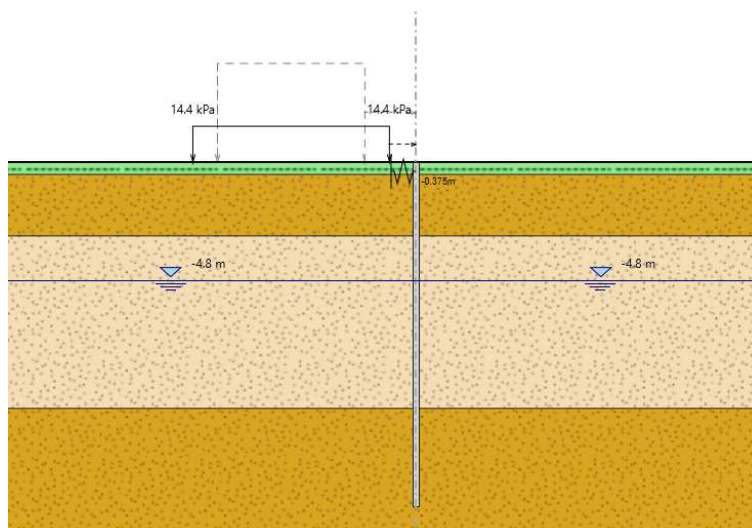
È stato predisposto un modello di calcolo bidimensionale. La definizione del problema in esame prevede la definizione di più fasi, ognuna delle quali è contraddistinta da una differente configurazione della geometria, dei carichi, dei vincoli ecc.

### 7.1 GEOMETRIA

Le caratteristiche geometriche del modello sono quelle riportate ai paragrafi 1.1, 5.1 e 5.2.

Sono stati considerati i seguenti carichi:

- carico distribuito permanente di  $14.4 \text{ kN/m}^2$  per il ballast ferroviario; è stato assunto  $\gamma=18 \text{ kN/m}^3$  per un'altezza di  $0.8 \text{ m}$  ed una larghezza di  $8 \text{ m}$  a partire da una distanza di  $1.1 \text{ m}$  dall'asse della paratia;
- Secondo quanto riportato al paragrafo 3.5.2.3.4 (Carichi variabili) del Manuale di progettazione, per il carico da traffico va considerato un treno di carico SW/2 (pari a  $150 \text{ kN/m}$ ). Ipotizzando una distribuzione a  $45^\circ$  nel ballast ( $0.8 \text{ m}$ ), a partire da tre metri di larghezza, si ottiene un carico distribuito pari a  $32.6$  su  $4.6 \text{ m}$  di larghezza. A favore di sicurezza si utilizza un carico distribuito di  $40 \text{ kN/m}^2$  su una larghezza di  $6 \text{ m}$ .



**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).



**PROGETTO DEFINITIVO**

**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**

**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA**

**FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE**

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV040B005	A	12 di 26

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.

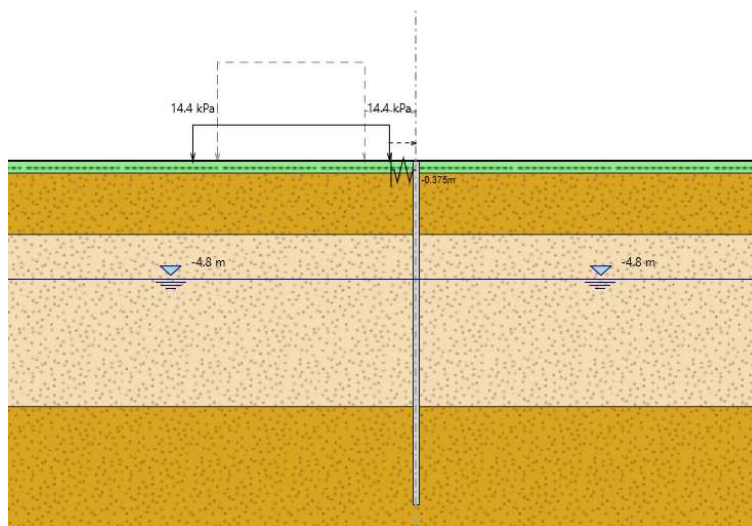
La molla modellata ha quindi le seguenti caratteristiche:

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

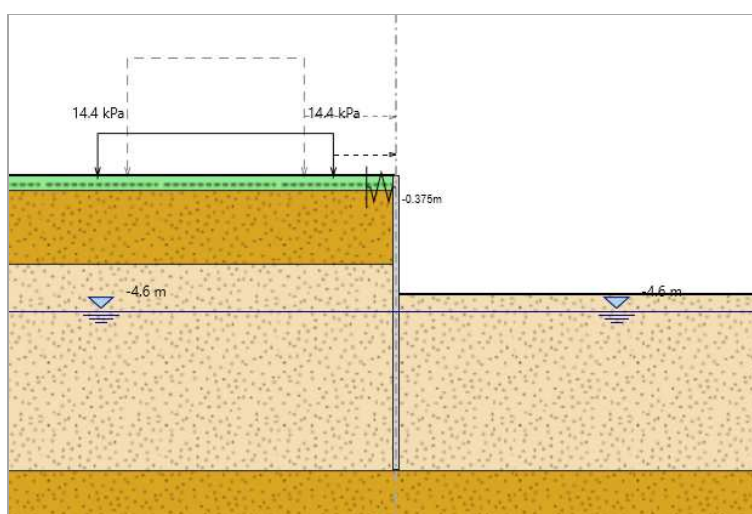
## 7.2 FASI REALIZZATIVE

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

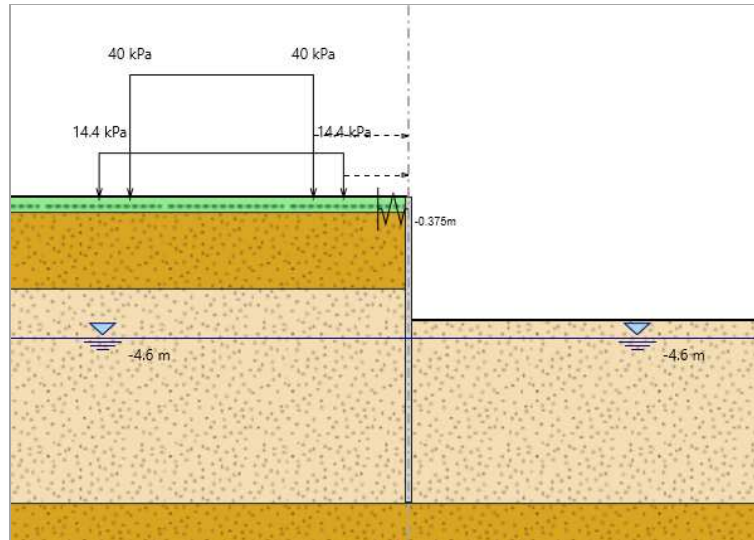
- Condizione geostatica




- Realizzazione dello scavo



- Applicazione del carico da traffico





	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA</b></p> <p><b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b></p> <p><b>FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE EMANUELE</b></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>NM0Z</td> <td>10</td> <td>D 26</td> <td>CLFV040B005</td> <td>A</td> <td>15 di 26</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM0Z	10	D 26	CLFV040B005	A	15 di 26
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM0Z	10	D 26	CLFV040B005	A	15 di 26								

## 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

	<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>					
	RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLFV040B005	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.

$R_{[P,MOB]d} = 259.3 \text{ kN/m}$  (spinta passiva di progetto mobilitata)

$R_{[P,DISP]d} = 308.5 \text{ kN/m}$  (spinta passiva ultima di progetto mobilitabile)


Il rapporto fra le due grandezze fornisce un valore di  $1.19 > 1$

## **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.

	<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>					
	RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLFV040B005	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:

$$M_{pl,Rd} = W_{pl} \times (f_y / \gamma_{m0})$$

$$V_{pl,Rd} = A_v \times (f_y/\sqrt{3}) \times (1/\gamma_{m0})$$

dove:

$$W_{pl} = \text{modulo di resistenza plastico} = 4/3 (R^3 - r^3) = 661.4 \text{ cm}^3$$

$R$  = raggio esterno del tubo

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

$f_y$  = tensione di snervamento = 275MPa

$\gamma_{m0}$  = coefficiente di sicurezza sul materiale = 1.05

$A_{tubo}$  = sezione del tubo = 102.09 cm<sup>2</sup>

$A_v$  =  $2 \cdot A_{tubo}/\pi$  = 65 cm<sup>2</sup>

Pertanto, le azioni resistenti di ogni micropalo risultano:

$$M_{pl,Rd} = 173.1 \text{ kNm (singolo palo)}$$

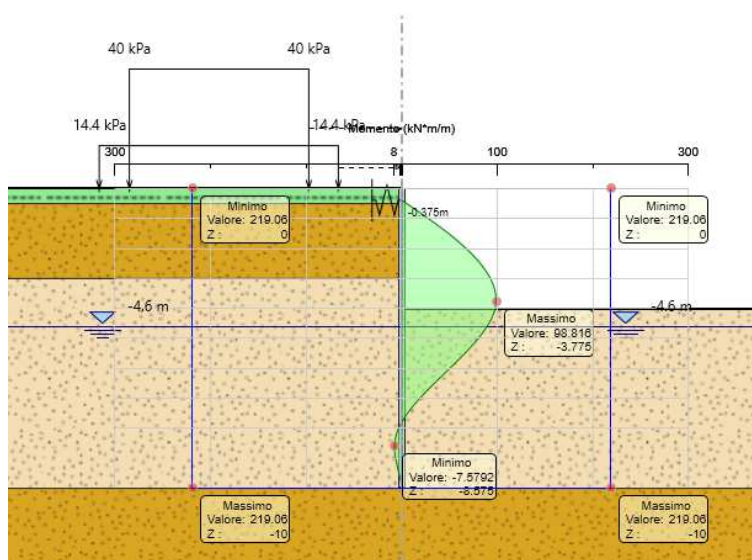
$$M_{pl,Rd} = 432.8 \text{ kNm (1 m di paratia)}$$

$$V_{pl,Rd} = 982.7 \text{ kN (singolo palo)}$$

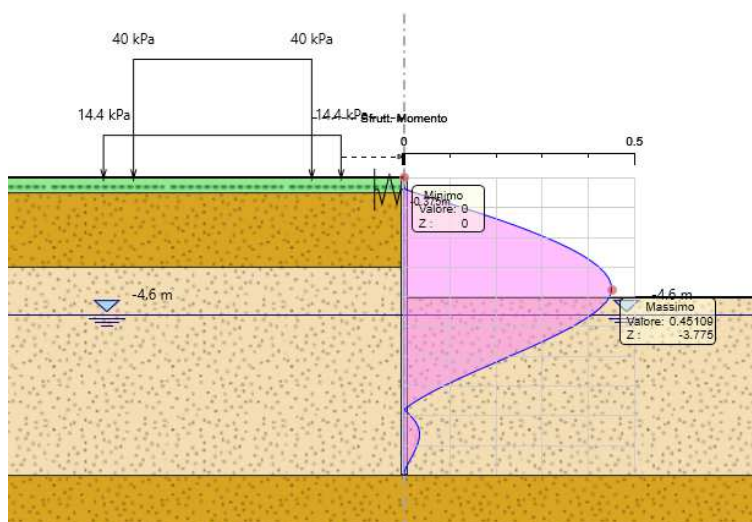
$$V_{pl,Rd} = 2457.2 \text{ kN (1 m di paratia)}$$

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.

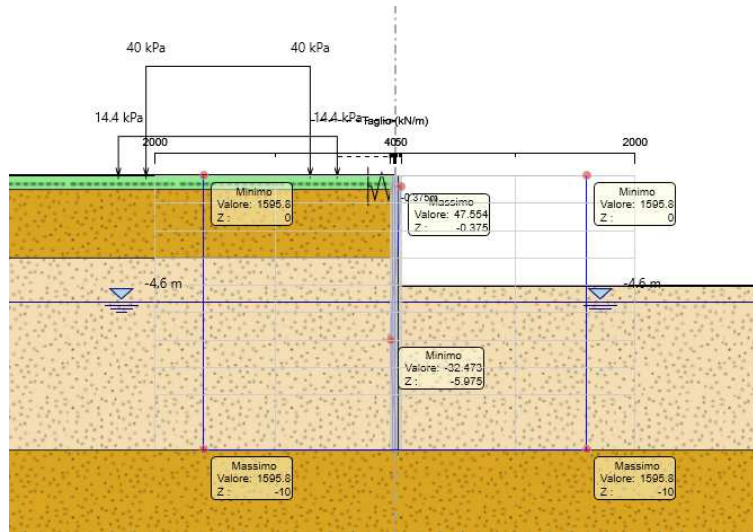
In Figura 8-2 e Figura 8-4 sono rappresentati i tassi di sfruttamento degli elementi rispettivamente in termini di momento flettente e di taglio. Sono riportati gli involuipi di tutte le fasi realizzative considerate.



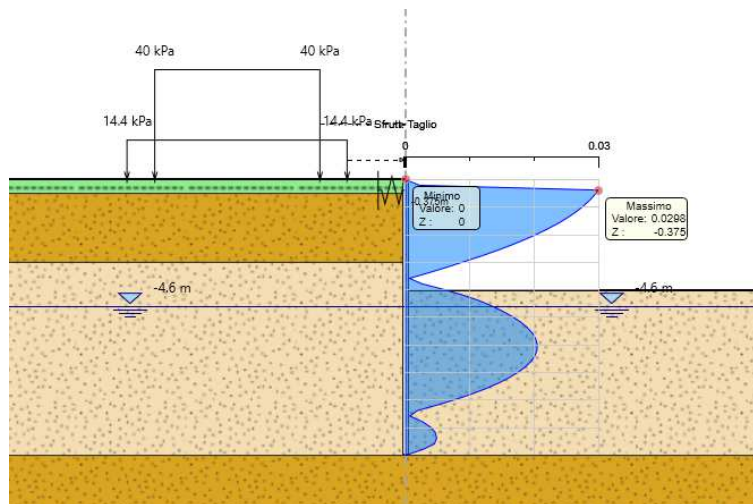
**Figura 8-1: Diagrammi momento flettente - Fase: realizzazione dello scavo – A2+M2+R1**



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



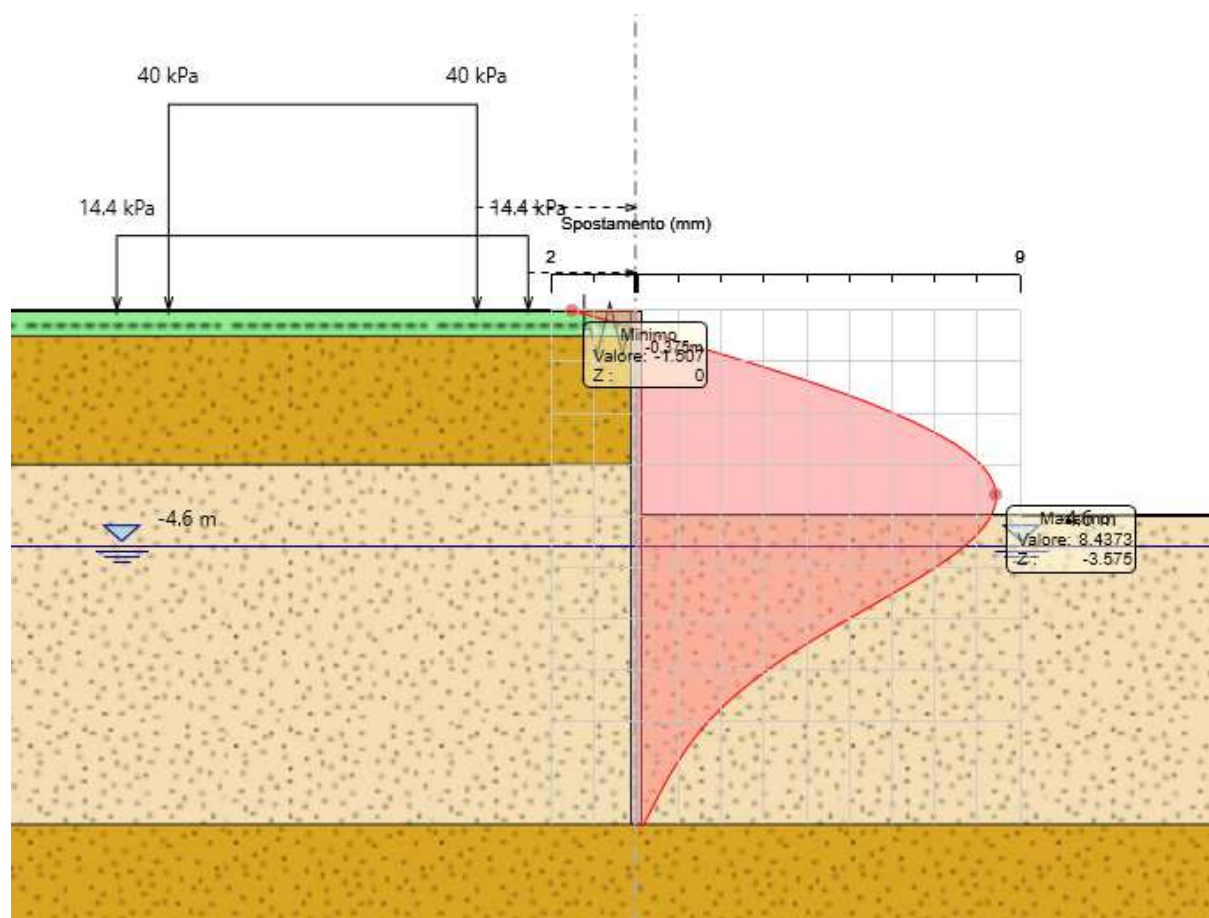
**Figura 8-3: Diagrammi taglio - Fase: realizzazione dello scavo – A2+M2+R1**



**Figura 8-4: Tasso di sfruttamento taglio - Fase: realizzazione dello scavo – A2+M2+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 8.4 mm, di cui 2.4 mm dovuto all'applicazione del carico da traffico.

	<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>					
	RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI	COMMESSA NM0Z	LOTTO 10	FASE-ENTE D 26	DOCUMENTO CLFV040B005	REV. A

## 9.1 VERIFICA DEI CEDIMENTI SUPERFICIALI

Le caratteristiche di deformabilità delle opere di sostegno della trincea devono essere tali da garantire che al passaggio dei convogli sul binario a monte delle paratie la geometria dell'armamento risponda ai livelli qualitativi fissati dagli standard di cui al documento RFI TCAR ST AR 01 001 D.

Nel caso particolare, i parametri indicati dal suddetto documento sui quali ha influenza la deformazione della paratia sono il difetto di sopraelevazione  $\Delta H$ , lo scarto di livello trasversale SCARTXL e lo sghembo  $\gamma$ , che devono rispettare i limiti indicati nei paragrafi 6 e 7 della parte III (livelli di qualità geometrica correnti) della RFI TCAR ST AR 01 001 D.

In dettaglio, per il 1° livello di qualità (geometria del binario che non richiede la programmazione di interventi correttivi) devono essere verificate le seguenti disequazioni:

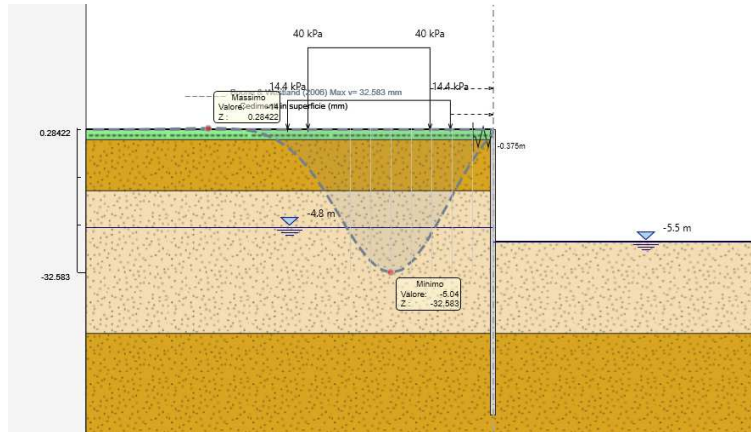
$$\begin{array}{lll} \Delta H \leq 10 \text{ mm} & \text{SCARTXL} \leq 4 \text{ mm} & \text{per } V > 160 \text{ km/h} \\ \gamma_{3m} < 4,5\% & \gamma_{9m} < 3,5\% & \text{per } V \leq 200 \text{ km/h} \end{array}$$

A vantaggio di sicurezza possiamo assumere che il binario subisca deformazioni nel punto ubicato in corrispondenza della sezione di calcolo della paratia e che tali deformazioni si esauriscano già 3 m prima e 3 m dopo tale punto. Con tale assunzione, neutralizzando l'eventuale contributo della sopraelevazione di progetto  $h$ , lo scarto di livello trasversale SCARTXL coincide con il livello trasversale XL e quest'ultimo coincide a sua volta con  $\Delta H$ . In tali condizioni il vincolo da rispettare è quello di 4 mm sul valore di SCARTXL, le limitazioni su  $\Delta H$ ,  $\gamma_{3m}$  e  $\gamma_{9m}$  risultando soddisfatte di conseguenza.

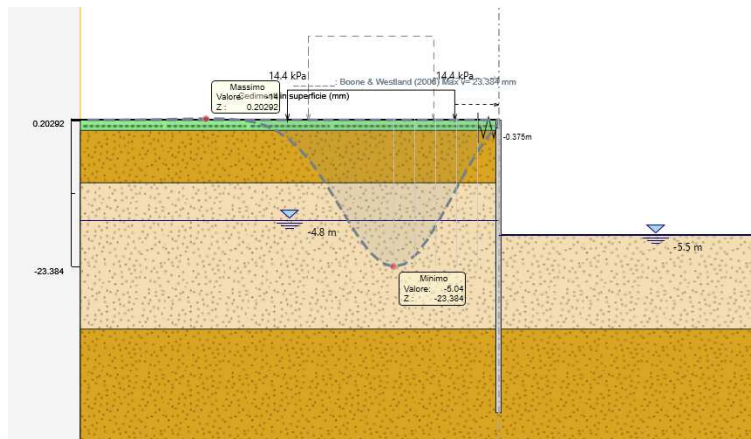
In base alla definizione di XL, pertanto, occorre verificare che non superi i 4 mm la differenza di abbassamento del terreno a tergo della paratia fra due punti distanti fra loro 1.5 m ed ubicati in corrispondenza delle due rotaie del binario più vicino all'opera di sostegno.

Il software PARATIE PLUS offre, come strumento di post-processing, un collegamento tra i risultati prodotti dall'analisi del comportamento laterale e i cedimenti in superficie, sfruttando alcune delle correlazioni di letteratura. Il metodo utilizzato è quello di Boone & Westland (2005).

Dai risultati forniti dal software sono stati estrapolati i valori dei cedimenti superficiali nella fase di calcolo corrispondente all'applicazione del carico da traffico e quelli alla fase antecedente. Dalla differenza dei suddetti valori sono stati ottenuti i cedimenti relativi al solo carico da traffico, sui quali sono stati calcolati gli scarti tra punti a distanza 1.5 m.

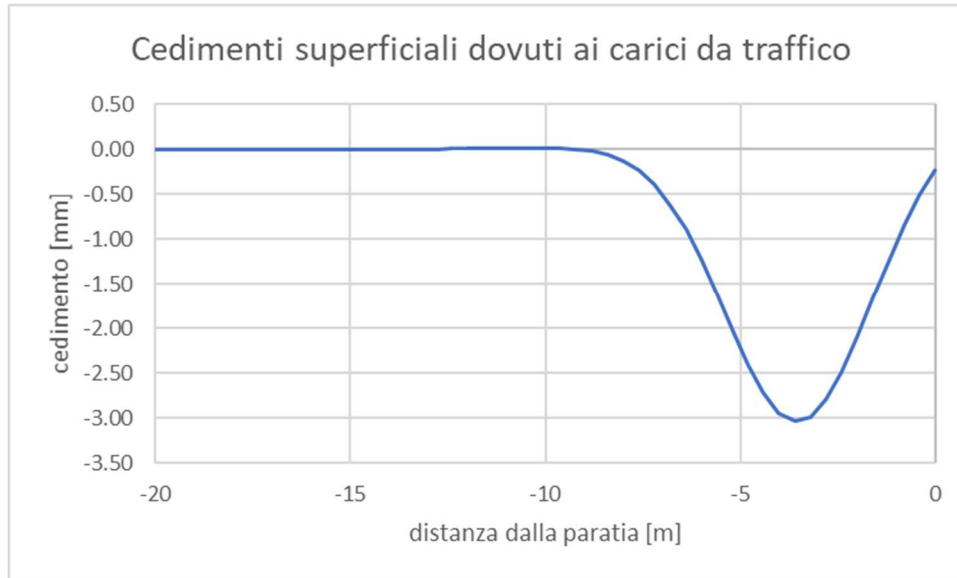


**Figura 2: Cedimenti superficiali - Fase: applicazione del carico da traffico**



**Figura 3: Cedimenti superficiali - Fase: rimozione del carico di cantiere**





**Figura 4: Cedimenti dovuti ai carichi da traffico**

Dall'analisi condotta risulta:

$$SCARTXL_{MAX} = 1.8\text{mm} \leq 4\text{mm}$$

La verifica risulta quindi soddisfatta.



**PROGETTO DEFINITIVO**

**POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO - GENOVA**

**QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA**

**FASE 1 – QUADRUPPLICAMENTO MI ROGOREDO – PIEVE  
EMANUELE**

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM0Z	10	D 26	CLFV040B005	A	24 di 26