

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. INFRASTRUTTURE NORD

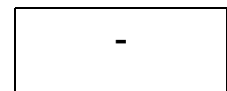
PROGETTO DEFINITIVO

NODO DI TORINO  
 COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSA – TORINO  
 PORTA NUOVA

OPERE CIVILI - TRINCEA  
 TR03

SCALA:

OPERE PROVVISORIALI - RELAZIONE DI CALCOLO



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

NT0P   00   D   26   CL   TR0300   002   A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	V. PEISINO	Apr. 2019	V.A. MANITTA <i>[Signature]</i>	Mag. 2019	G. DE MICHELE <i>[Signature]</i>	Mag. 2019	ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD Dott. Ing. Francesco Sacchi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma n. 23372 Sez. A

File: NT0P00D26CLTR0300002A\_REL\_CALCOLO\_OPERA\_PROVV.DOC

n. Elab.:

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>4</b>
<b>2. NORMATIVA E RIFERIMENTI</b> .....	<b>6</b>
2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
2.2 ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO .....	6
2.3 SOFTWARE UTILIZZATI.....	6
<b>3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b> .....	<b>7</b>
3.1 ACCIAIO PER ARMATURE LENTE .....	7
3.2 ACCIAIO PER MICROPALI.....	7
3.3 CALCESTRUZZO.....	7
<b>4. MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>9</b>
<b>5. COMBINAZIONI DI CARICO</b> .....	<b>11</b>
5.1 COMBINAZIONI DI CARICO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - SLU .....	12
5.2 COMBINAZIONI DI CARICO AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO - SLE .....	12
<b>6. CRITERI DI VERIFICA GEOTECNICA</b> .....	<b>14</b>
6.1 COLLASSO PER ROTAZIONE INTORNO AD UN PUNTO DELL'OPERA .....	14
6.2 INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA .....	14
6.3 VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI VERTICALI.....	15
<b>7. CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE</b> .....	<b>18</b>
7.1 VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI PER PRESSOFLESSIONE E TAGLIO.....	18
7.2 VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO .....	20
<b>8. ANALISI DEI CARICHI</b> .....	<b>21</b>
8.1 PESO PROPRIO DELLA PARATIA.....	21

**OPERE PROVVISORIALI - RELAZIONE DI  
CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	TR 03 00 002	A	3 di 31

8.2	SPINTA DELLE TERRE .....	21
8.3	SPINTA DELL'ACQUA .....	23
8.4	SOVRACCARICO FERROVIARIO .....	23
<b>9.</b>	<b>ANALISI DI CALCOLO .....</b>	<b>24</b>
9.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	24
9.2	MODELLO DI CALCOLO .....	26
9.3	RISULTATI DELLE ANALISI .....	26

**ALLEGATI**

Tabulato di calcolo della paratia provvisoria

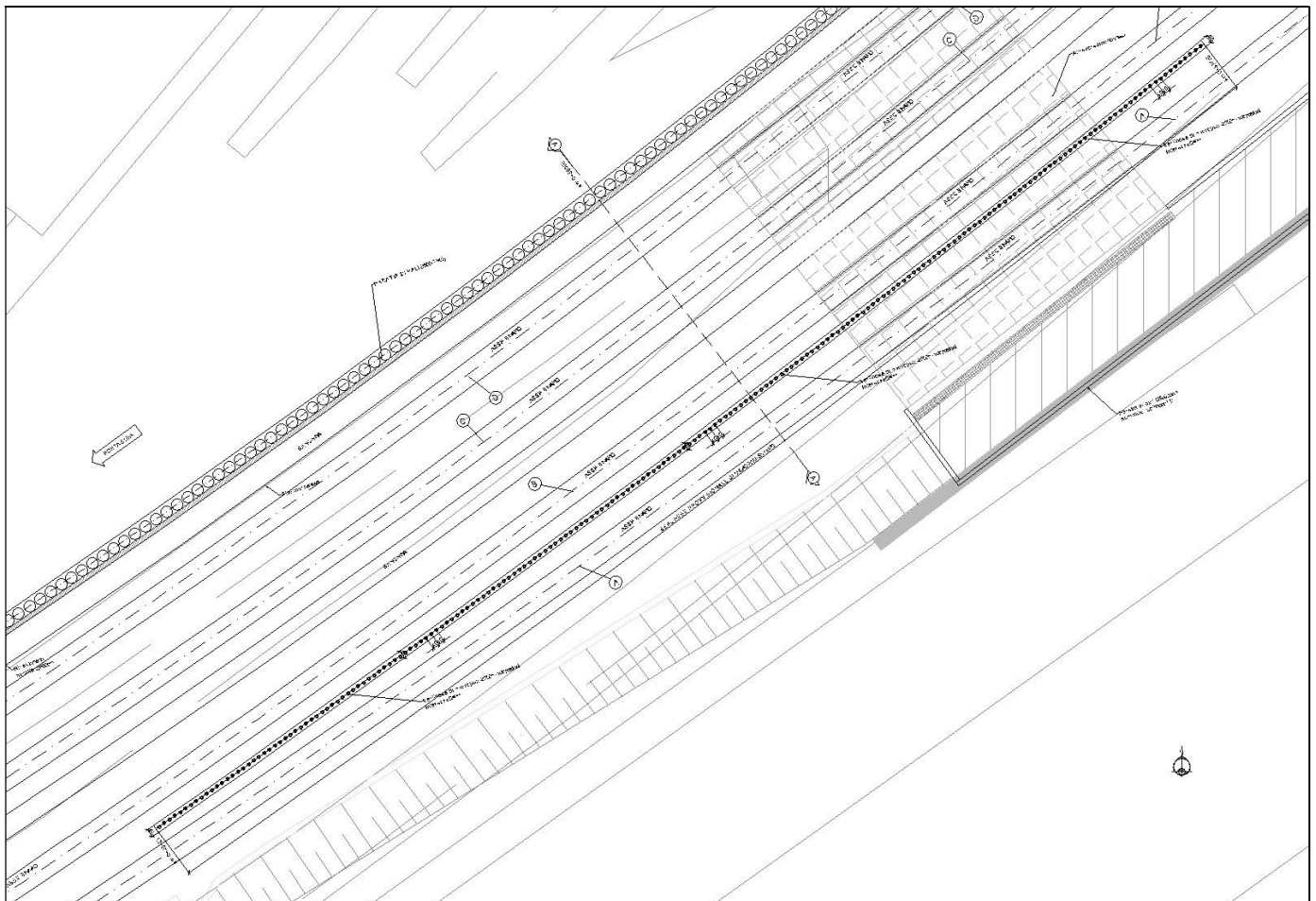
## 1. PREMESSA

In questa relazione si espongono i criteri di dimensionamento adottati ed i risultati delle verifiche effettuate per la progettazione delle opere di sostegno provvisionali previste nel *Tratto in trincea TR03* per la realizzazione della nuova linea a doppio binario in affiancamento alla linea esistente, nell'ambito del Progetto Definitivo del "Completamento linea diretta Torino p.ta Nuova – Torino P.ta Susa" nell'ambito del Nodo di Torino.

Nello specifico, le opere di sostegno provvisionali constano in berlinesi di micropali atte al sostegno degli scavi per la realizzazione prima della linea storica e successivamente della linea diretta TO-MI.

Di seguito si riporta uno stralcio planimetrico dell'ubicazione dell'opera oggetto di studio:

**FIGURA 1 STRALCIO PLANIMETRICO PARATIA DI SOSTEGNO PROVVISORIALE**



**NODO DI TORINO****COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSA –  
TORINO PORTA NUOVA****OPERE PROVVISORIALI - RELAZIONE DI  
CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	TR 03 00 002	A	5 di 31

La relazione si sviluppa dapprima con la descrizione dei materiali e dei terreni interessati dall'opera, successivamente si illustrano le azioni e le combinazioni di calcolo, i criteri di verifica e la modellazione dell'analisi, infine si riportano le risultanze delle calcolazioni rimandando ai tabulati di calcolo allegati alla presente per maggiori dettagli sulle analisi condotte.

## 2. NORMATIVA E RIFERIMENTI

### 2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- D.M. 17.01.2018 – “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 - Istruzioni per l’applicazione delle “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
- RFI – Manuale di progettazione delle opere civili – Documento n° RFI-DTC-SI-PS-MA-IFS-001-B del 22 Dicembre 2017
- CNR DT 207/2008: “Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni”.

### 2.2 ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO

- NT0P 00 D26GE GE0000001 A - Relazione Geotecnica – Tratta nuove Opere da realizzare
- NT0P 00 D26BA TR0300003 A – Opere provvisionali – Pianta, sezioni e particolari – Tav. 1/2
- NT0P 00 D26BA TR0300004 A – Opere provvisionali – Pianta, sezioni e particolari – Tav. 2/2

### 2.3 SOFTWARE UTILIZZATI

Per il calcolo delle opere in esame è stato utilizzato il software di calcolo “Paratie Plus 2018 ver. 18.1 della CEAS S.r.l.”

### 3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Il progetto strutturale prevede l'uso dei materiali con le caratteristiche meccaniche minime riportate nei paragrafi seguenti.

#### 3.1 ACCIAIO PER ARMATURE LENTE

Barre ad aderenza migliorata, saldabile, tipo B450C dotato delle seguenti caratteristiche meccaniche:

tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ MPa}$
tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450 \text{ MPa}$
allungamento caratteristico	$\geq 7.5 \%$
rapporto tensione di rottura/ tensione di snervamento:	$1.15 \leq f_{tk}/f_{yk} < 1.35$

#### 3.2 ACCIAIO PER MICROPALI

Tipo:	S275J0
Tensione caratteristica di snervamento:	$f_{yk} = 275 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica di rottura:	$f_{tk} = 430 \text{ N/mm}^2$

#### 3.3 CALCESTRUZZO

Classe di resistenza:	C25/30
Resistenza caratteristica cubica a compressione:	$R_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione:	$f_{ck} = 24.90 \text{ N/mm}^2$
Resistenza media cilindrica a compressione:	$f_{cm} = 32.90 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico:	$E_{cm} = 31447 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a compressione:	$f_{cd} = 14.11 \text{ N/mm}^2$
Resistenza media a trazione semplice:	$f_{ctm} = 2.56 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica a trazione:	$f_{ctk} = 1.79 \text{ N/mm}^2$

**NODO DI TORINO****COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSÀ –  
TORINO PORTA NUOVA****OPERE PROVVISORIE - RELAZIONE DI  
CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	TR 03 00 002	A	8 di 31

Resistenza di calcolo a trazione:

 $f_{ctd} = 1.19 \text{ N/mm}^2$



#### 4. MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

La caratterizzazione geotecnica dei litotipi interessati dall'opera è stata condotta sulla base della relazione geotecnica generale del progetto e sulla base delle risultanze ad oggi disponibili della campagna di indagini geognostiche integrativa condotta relativamente all'attuale incarico di progettazione. Per maggiori dettagli sui dati delle pregresse caratterizzazioni geotecniche e sulle risultanze delle nuove indagini si rimanda alla relazione geotecnica di progetto.

Di seguito si riporta una descrizione sintetica dei litotipi presenti ed i parametri geotecnici caratteristici utilizzati in sede di calcolo.

- **Terreno A:** Terreno di riporto di spessore variabile da 1÷4 m. Materiale di riporto superficiale molto eterogeneo, costituito da livelli di materiale incoerente con notevole frazione grossolana e livelli di materiale fine coesivo plastico.

- peso dell'unità di volume  $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$
- coesione drenata  $c' = 0 \text{ kPa}$
- angolo di resistenza a taglio  $\varphi' = 33^\circ$
- modulo di Young  $E = 15 \text{ MPa}$
- coefficiente di Poisson  $\nu = 0.25$

- **Terreno B:** Ghiaia con sabbia/Sabbia con ghiaia di spessore medio pari a circa 5 m. Terreni ghiaiosi-sabbiosi con presenza talvolta di livelli cementati.

- peso dell'unità di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- coesione drenata  $c' = 0 \div 20 \text{ kPa}$
- angolo di resistenza a taglio  $\varphi' = 38^\circ$
- modulo di Young  $E = 70 \text{ MPa}$
- coefficiente di Poisson  $\nu = 0.25$

- **Terreno C:** Ghiaia con sabbia con spessori > 15 m. E' lo stesso materiale del Terreno B ma con minor presenza di livelli cementati.

- peso dell'unità di volume  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- coesione drenata  $c' = 0 \text{ kPa}$
- angolo di resistenza a taglio  $\varphi' = 38^\circ$

**NODO DI TORINO****COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSÀ – TORINO PORTA NUOVA****OPERE PROVVISORIALI - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	TR 03 00 002	A	10 di 31

- modulo di Young  $E = 70 \text{ MPa}$
- coefficiente di Poisson  $\nu = 0.25$

*In sede di calcolo lo strato B è stato cautelativamente assunto senza coesione.*

Per quanto concerne invece la quota della falda, questa è stata assunta a vantaggio di sicurezza posta a **-9 m dal p.c.**

Infine, ai fini della caratterizzazione sismica il terreno di fondazione, sulla base di quanto evidenziato dalla caratterizzazione geotecnica delle indagini pregresse e di quelle integrative attuali, può essere classificato di **categoria "C"**.

## 5. COMBINAZIONI DI CARICO

Il progetto e la verifica della paratia richiede la verifica dei seguenti stati limite:

1. SLU di tipo geotecnico (GEO):
  - a. collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera (moto rigido);
2. SLU di tipo strutturale (STR):
  - b. raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.

Tutte le verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 1 considerando le due combinazioni di coefficienti:

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

Nella seguente tabella si riportano i coefficienti parziali indicati dalla normativa (moltiplicativi per le azioni e riduttivi per i parametri di resistenza del terreno).

Combinazioni per analisi statiche SLU							
	Azioni ( $\gamma_F$ )				Proprietà del terreno ( $\gamma_M$ )		
	<i>Permanenti</i>		<i>Variabili</i>				
	Sfavorevoli	Favorevoli	Sfavorevoli	Favorevoli	$\tan \varphi'$	$c'$	$c_u$
A1 + M1	1.30	1.00	1.50	0.00	1.00	1.00	1.00
A2 + M2	1.00	1.00	1.30	0.00	1.25	1.25	1.40

I coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche relativamente ad ogni singolo SLU precedentemente analizzato sono di seguito indicati:

**Coefficienti parziali per le verifiche di paratie**

Verifica	Coefficiente parziale (R1)	Coefficiente parziale (R2)	Coefficiente parziale (R3)
Raggiungimento della resistenza strutturale della paratia	$\gamma_R=1.0$	-	-
Collasso per rotazione intorno ad un punto dell'opera	$\gamma_R=1.0$	-	-

Essendo la paratia in oggetto un'opera provvisoria, non viene condotta la verifica nei confronti degli effetti provocati dal sisma.

**5.1 COMBINAZIONI DI CARICO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - SLU**

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'effetto dell'azione:

$$E_d = \gamma_E \cdot E[F_k; X_k/\gamma_M; a_d]$$

e dove  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnica:

$$R_d = 1/\gamma_R \cdot R[\gamma_F \cdot F_k; X_k/\gamma_M; a_d]$$

Effetto delle azioni e della resistenza sono espresse in funzione delle azioni di progetto  $E_d = E_k \cdot \gamma_E$ , dei parametri di progetto  $X_k/\gamma_M$  e della geometria di progetto. Nella formulazione della resistenza compare esplicitamente il coefficiente  $\gamma_R$  che opera direttamente sulla resistenza.

**5.2 COMBINAZIONI DI CARICO AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO - SLE**

Le opere ed i sistemi geotecnici devono essere verificati nei confronti degli stati limite di esercizio. Per ciascuno stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni e  $C_d$  è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni. Nello specifico le analisi dovranno valutare gli spostamenti dell'opera per consentire di verificarne la compatibilità con la funzionalità attesa per l'opera stessa.



	<b>NODO DI TORINO</b> <b>COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSA – TORINO PORTA NUOVA</b>					
<b>OPERE PROVVISORIALI - RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA NT0P	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO TR 03 00 002	REV. A	FOGLIO 14 di 31

## 6. CRITERI DI VERIFICA GEOTECNICA

### 6.1 COLLASSO PER ROTAZIONE INTORNO AD UN PUNTO DELL'OPERA

La verifica all'equilibrio globale alla rotazione viene implicitamente soddisfatta mediante l'analisi di interazione terreno struttura, condotta mediante il programma di calcolo Paratie Plus 2018 ver. 18.1 della CEAS S.r.l. di cui si dirà più avanti, che nell'analizzare il sistema di sollecitazioni e deformazioni verifica tutte le condizioni di equilibrio del sistema.

### 6.2 INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA

Come già anticipato l'analisi della struttura nelle successive fasi di realizzazione è stata sviluppata mediante il programma Paratie Plus 2018 ver. 18.1 della CEAS S.r.l., che utilizza per il terreno un modello elasto-plastico e consente di seguire l'evoluzione di sforzi e deformazioni durante le successive fasi di scavo, posa e messa in tiro degli eventuali ancoraggi, applicazione delle azioni sismiche.

In tale codice la schematizzazione dell'interazione tra paratia e terreno avviene considerando:

- la paratia come una serie di elementi il cui comportamento è caratterizzato dalla rigidità flessionale EJ;
- il terreno come una serie di molle di tipo elasto-plastico connesse ai nodi della paratia.

Questo modello numerico consente una simulazione del comportamento del terreno adeguata agli scopi progettuali. In particolare vengono superate le limitazioni dei più tradizionali metodi dell'equilibrio limite, non idonei a seguire il comportamento della struttura al variare delle configurazioni di carico, delle fasi esecutive e di esercizio.

Nel caso in esame, in una generica fase di calcolo dell'analisi di interazione tra paratia e terreno, la soluzione dipende dal percorso tenso-deformativo seguito dagli elementi schematizzanti il terreno nelle fasi precedenti; dalle variazioni di spinta o reazione del terreno indotte dalla progressione degli scavi, dall'inserimento di tiranti, dalle variazioni delle condizioni idrostatiche e di sovraccarico, etc.

La realizzazione dello scavo sostenuto da una paratia, nel caso in esame tirantata, viene seguita in tutte le varie fasi attraverso un'analisi statica incrementale: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di tiranti applicati, da una ben precisa disposizione di carichi applicati.

Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elasto-plastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo passo condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson (Bathe, 1996).

La legge costitutiva, rappresentativa del comportamento elasto-plastico del terreno, è identificata dai parametri di spinta e di deformabilità del terreno.

	<b>NODO DI TORINO</b> <b>COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSÀ – TORINO PORTA NUOVA</b>					
<b>OPERE PROVVISORIALI - RELAZIONE DI CALCOLO</b>	COMMESSA NT0P	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO TR 03 00 002	REV. A	FOGLIO 15 di 31

I parametri di spinta del terreno sono:

- il coefficiente di spinta a riposo  $K_0$ , corrispondente alla condizione iniziale indeformata, calcolato mediante l'espressione  $K_0 = 1 - \sin \varphi'$ ;
- i coefficienti di spinta attiva  $K_a$  e passiva  $K_p$ , corrispondenti alle condizioni di equilibrio limite attivo e passivo, calcolati rispettivamente mediante le espressioni di Coulomb, Caquot e Kerisel, tenendo conto di un angolo di attrito tra terreno e paratia pari a  $1/3 \div 2/3$  dell'angolo di attrito del terreno stesso.
- i parametri di deformabilità del terreno, che compaiono nella definizione della rigidezza delle molle, sono assegnati sulla base dei valori di modulo di Young (E) dei vari strati, tenendo conto della diversa rigidezza in fase di carico vergine oppure di scarico e ricarico. In particolare, il modulo di ricarico è assunto pari al doppio del modulo vergine.

Le componenti di sforzo verticale ed orizzontale vengono intese come sforzi principali. Viene introdotta una funzione di plasticità dipendente da esse, che definisce i confini di una regione entro la quale è determinato lo stato tensionale. A seconda dello stato in cui l'elemento si trova, questo reagisce con differenti caratteristiche di rigidezza. Sono possibili tre situazioni:

- Fase elastica: l'elemento si comporta elasticamente; questa fase corrisponde ad una porzione di terreno in fase di scarico-ricarico, sollecitato a livelli di sforzo al di sotto dei massimi livelli precedentemente sperimentati e viene identificata con la sigla UL-RL (Unloading-Reloading).
- Fase incrudente: l'elemento viene sollecitato a livelli di tensione mai prima sperimentati; la fase incrudente è identificata dalla sigla V - C (Virgin Compression).
- Collasso: il terreno è sottoposto ad uno stato di sollecitazione coincidente con i limiti minimo o massimo dettati dalla resistenza del materiale; questa fase corrisponde a quelle che solitamente vengono chiamate condizioni di spinta attiva o passiva; il collasso viene identificato attraverso la parola Active o Passive.

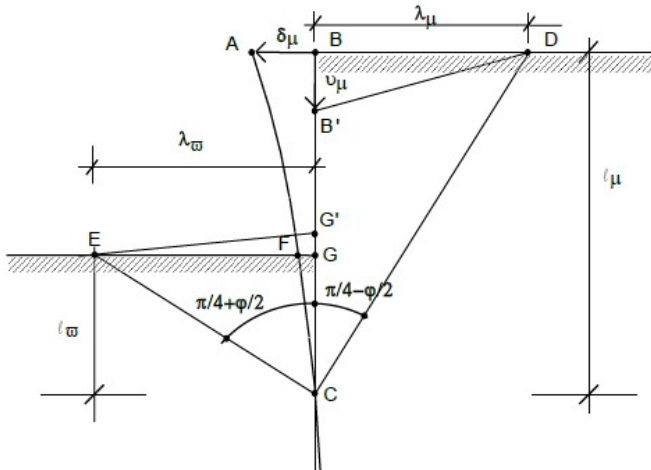
Nel caso di applicazione di un tirante, lo step di installazione dello stesso viene preceduto da una fase nella quale lo scavo è approfondito appena al di sotto della quota di inserimento dell'ancoraggio. In questo modo il vero processo realizzativo è simulato in modo abbastanza fedele.

### 6.3 VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI VERTICALI

Il software di calcolo utilizzato per l'analisi delle paratie, predispone di un modulo per la valutazione dei cedimenti verticali a partire dallo spostamento orizzontale della stessa.

Facendo riferimento alla simbologia nella successiva figura, relativa ad una paratia a mensola, i cedimenti della superficie libera del terreno a monte e a valle possono essere stimati calcolando il volume di terreno che subisce uno spostamento orizzontale.

**FIGURA 2 VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI IN TERRENI INCOERENTI**



Si calcoli l'area  $A$  del triangolo  $ABC$  sulla base degli spostamenti laterali (interpolando linearmente tra il punto  $C$  di spostamento nullo e il punto di spostamento massimo). In prima approssimazione si può ammettere che il terreno oltre le linee  $CD$  e  $CE$  non subisca deformazioni. Se il volume rimanesse costante durante la deformazione, si potrebbe pensare di distribuire il cedimento linearmente tra  $B$  e  $D$  in modo tale che l'area  $BB'D = A$ , per cui  $BB' = 2A/\lambda_m$ .

Discorso analogo potrebbe essere ripetuto per la zona  $EGC$  facendo riferimento all'area di valle. In realtà però il terreno, deformandosi, tende a dilatare. Definito  $\psi$  l'angolo di dilatanza, tra la deformazione volumetrica  $v = (\epsilon_v + \epsilon_h)/2$  e lo scorrimento massimo  $\gamma = (\epsilon_v - \epsilon_h)/2$  esiste una semplice relazione di proporzionalità:

$$v = -\gamma \cdot \tan \psi \rightarrow \epsilon_v = -\epsilon_h \cdot (1 - \tan \psi) / (1 + \tan \psi)$$

Se si assume che la deformata sia lineare, si può calcolare la deformazione media di monte:

$$\epsilon_n^M = \delta_m / \lambda_m = \text{costante}$$

si ha allora

$$\epsilon_v^M = -\epsilon_n^M \cdot (1 - \tan \psi) / (1 + \tan \psi)$$

il cedimento verticale in superficie, fra  $B$  e  $D$  varierà linearmente da un valore massimo in  $B$ , pari a:

$$u_m = -\delta_m (1 - \tan \psi) / (1 + \tan \psi) \cdot \ell_m / \lambda_m$$

ed un valore nullo in  $D$ .

Il rapporto  $\ell_m / \lambda_m$  è  $\cot \hat{C}BD$  vale a dire la cotangente dell'angolo che la presunta linea di demarcazione tra la regione che subisce deformazioni ed il resto del terreno forma con la verticale.



**NODO DI TORINO****COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSA –  
TORINO PORTA NUOVA****OPERE PROVVISORIALI - RELAZIONE DI  
CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	TR 03 00 002	A	17 di 31

Il valore di  $\psi$  da assumere nei calcoli è il valore della dilatanza a collasso. In mancanza di dati più precisi si può assumere  $\psi = \varphi - \varphi_{cv}$  ove  $\varphi_{cv}$  è l'angolo di attrito a volume costante che per terreni sabbiosi può essere assunto uguale a  $30^\circ$ ;  $\psi$  non può mai essere negativo.



**NODO DI TORINO**

**COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSÀ – TORINO PORTA NUOVA**

**OPERE PROVVISORIALI - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	TR 03 00 002	A	18 di 31

## 7. CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE

Il presente capitolo illustra nel dettaglio i criteri generali di verifica adottati per le verifiche strutturali condotte nel progetto. Ulteriori dettagli di carattere specifico, laddove impiegati, sono dichiarati e motivati nelle relative risultanze delle verifiche.

Per le sezioni in cemento armato si effettuano:

- verifiche per gli stati limite ultimi a presso-flessione ed a taglio;
- verifiche per gli stati limite di esercizio per la fessurazione.

### 7.1 VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI PER PRESSOFLESSIONE E TAGLIO

Le verifiche a pressoflessione vengono condotte confrontando le resistenze ultime e le sollecitazioni massime agenti, valutando il corrispondente fattore di sicurezza (FS) come rapporto tra la sollecitazione resistente e la massima agente.

Le verifiche flessionali allo SLU sono eseguite adottando le seguenti ipotesi:

- Conservazione delle sezioni piane;
- Perfetta aderenza tra acciaio e calcestruzzo;
- Resistenza a trazione del calcestruzzo nulla;
- Rottura del calcestruzzo determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima a compressione;
- Rottura dell'armatura tesa determinata dal raggiungimento della sua capacità deformativa ultima;

Le tensioni nel calcestruzzo e nell'armatura sono state dedotte a partire dalle deformazioni utilizzando i rispettivi diagrammi tensione-deformazione. Per quanto attiene la legge  $\sigma$ - $\epsilon$  del calcestruzzo si è utilizzata una curva parabola-rettangolo, considerando solo la porzione compressa e con  $\epsilon_{c2}=0,2\%$  ed  $\epsilon_{cu}=0,35\%$ .

Per quanto riguarda l'acciaio si è assunto un diagramma bilineare elastico-perfettamente plastico.

La verifica allo stato limite ultimo per azioni di taglio è condotta secondo quanto prescritto dalla norma UNI EN 1992-1-1:2005, per elementi con armatura a taglio verticali.

Si fa, pertanto, riferimento ai seguenti valori della resistenza di calcolo:

$V_{Rd,c} = \max \left\{ C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d; \left( v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b_w \cdot d$ , resistenza di calcolo dell'elemento privo di armatura a taglio

$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \vartheta$ , valore di progetto dello sforzo di taglio che può essere sopportato dall'armatura a taglio alla tensione di snervamento

$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot \vartheta + \tan \vartheta}$ , valore di progetto del massimo sforzo di taglio che può essere sopportato dall'elemento, limitato dalla rottura delle bielle compresse.

Nelle espressioni precedenti, i simboli hanno i seguenti significati:

- $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$  con d in mm
- $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02$
- $A_{sl}$  è l'area dell'armatura tesa
- $b_w$  è la larghezza minima della sezione in zona tesa
- $\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0,2 \cdot f_{cd}$
- $N_{Ed}$  è la forza assiale nella sezione dovuta ai carichi
- $A_c$  è l'area della sezione di calcestruzzo
- $C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}$
- $k_1 = 0,15$
- $v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$
- $v = 0,5$  per calcestruzzi fino a C70/85
- $1 \leq \cot \vartheta \leq 2,5$
- $A_{sw}$  è l'area della sezione trasversale dell'armatura a taglio
- s è il passo delle staffe

- $f_{ywd}$  è la tensione di snervamento di progetto dell'armatura a taglio
- $\nu_1 = \nu$  è il coefficiente di riduzione della resistenza del calcestruzzo fessurato per taglio
- $\alpha_{cw}$  è un coefficiente che tiene conto dell'interazione tra la tensione nel corrente compresso e qualsiasi tensione di compressione assiale.

## 7.2 VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO

Per lo stato limite di fessurazione, in conseguenza alla classe di esposizione per gli elementi posti controterra, occorre verificare che l'ampiezza delle fessure  $w_k$  sia al di sotto del valore limite fissato pari a 0.2 mm per gli elementi con armature lente.

## 8. ANALISI DEI CARICHI

Nel seguito si riassumono le condizioni di carico considerate nell'analisi di verifica delle strutture.

### 8.1 PESO PROPRIO DELLA PARATIA

Il peso proprio per questo tipo di struttura può essere trascurato sia agli effetti delle azioni statiche che, come precisato dalla normativa vigente, ai fini della valutazione delle forze di inerzia sismiche.

### 8.2 SPINTA DELLE TERRE

La spinta delle terre viene determinata con la seguente espressione:

$$p'_a(z) = [\sigma'_v(z) + q] \cdot K_a - 2c' \sqrt{K_a}$$

$\sigma'_v(z)$  = tensione verticale efficace alla generica quota  $z$ ;

$K_a$  = coefficiente di spinta attiva;

$q$  = eventuale sovraccarico uniformemente distribuito.

Per il calcolo di  $K_a$  si utilizza la formula di Mueller-Breslau (1924), valida per superfici di rottura piane, e generalizzata per tener conto delle condizioni sismiche in base alla teoria di Mononobe ed Okabe riportata di seguito:

per  $\beta \leq \Phi - \theta$ :

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\phi + \theta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \text{sen}(\phi - \beta - \theta)}{\text{sen}(\phi + \theta - \delta) \text{sen}(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

per  $\beta \geq \Phi - \theta$ :

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\phi + \theta - \delta)}$$

in cui:

$\phi$  = angolo di resistenza al taglio del terreno

**NODO DI TORINO****COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSÀ – TORINO PORTA NUOVA****OPERE PROVVISORIALI - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	TR 03 00 002	A	22 di 31

$\beta$  = inclinazione del terreno a monte della paratia rispetto all'orizzontale (positivo per terreno che sale allontanandosi dal muro)

$\psi$  = inclinazione della paratia rispetto all'orizzontale ( $>90^\circ$  per parete inclinata verso valle)

$\delta$  = angolo di attrito muro terreno

$\theta$  = angolo dipendente dalla accelerazione sismica e definito dalle seguenti espressioni:

$$\theta = \text{tg}^{-1} (k_h / (1 \pm k_v))$$

essendo  $k_h$  e  $k_v$  rispettivamente i coefficienti di accelerazione sismica orizzontale e verticale.

La spinta attiva risultante  $P_a$  risulta inclinata dell'angolo  $\delta$  sull'orizzontale. Pertanto il valore della spinta orizzontale  $P_{AH}$  è pari a:

$$P_{AH} = P_a \cdot \cos \delta$$

mentre la componente verticale  $P_{AV}$  risulta:

$$P_{AV} = P_a \cdot \sin \delta$$

Le componenti della spinta sono costituite in generale da due aliquote, l'una dovuta al peso proprio del terreno l'altra dovuta al sovraccarico, che avranno distribuzione diversa lungo l'altezza dell'opera: la prima di tipo triangolare l'altra di tipo rettangolare, se carico distribuito uniforme (permanente o accidentale che sia), o differente per aree di carico diverso (nastriforme, ...). Le diverse aliquote saranno considerate distintamente in fase di combinazione dei carichi a seconda che si tratti di azioni permanenti, strutturali o non strutturali, o variabili.

La spinta passiva viene valutata, ipotizzando la eventuale presenza della coesione, come:

$$p_p = \sigma'_v K_p + 2\sqrt{K_p} c'$$

Il coefficiente di spinta passiva  $K_p$  è stato valutato utilizzando le tabelle di Caquot e Kerisel, che fanno riferimento a superfici di rottura non piane.

Anche in questo caso la spinta agisce secondo una direzione inclinata di  $\delta$  rispetto alla perpendicolare al paramento.

La spinta delle terre, sia quella dovuta al peso proprio che ai sovraccarichi accidentali, viene valutata con riferimento alla stratigrafia ed ai valori di progetto dei parametri geotecnici, peso di volume, angolo di attrito, coesione, attrito paratia-terreno, e dei sovraccarichi accidentali ottenuti abbattendo/amplificando i valori caratteristici mediante i coefficienti riduttivi o amplificativi specifici del tipo di verifica condotta, secondo i criteri riportati nel capitolo 5.

Per tener conto nella valutazione della spinta la presenza del pendio a monte dell'opera, nel software "Paratie" è stato inserito l'andamento del pendio stesso ed il software ha provveduto al calcolo della spinta ricercando iterativamente il cuneo di spinta attiva che massimizza la spinta tramite il Metodo dei cunei.

### 8.3 SPINTA DELL'ACQUA

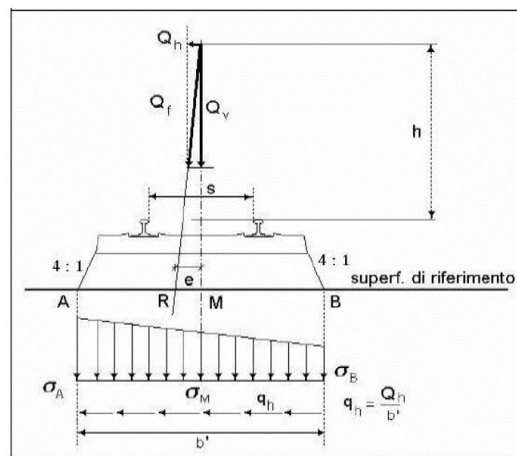
La presenza della falda è stata così considerata nel codice di calcolo:

- in fase provvisoria di scavo, essendo la paratia opera di sostegno permeabile e tenendo anche in considerazione la presenza del sistema di drenaggio, si abbatta la quota della falda al fondo scavo sia a monte che valle dell'opera;
- viene poi prevista una fase di calcolo finale con falda posta ad una quota intermedia fra fondo scavo ed il livello indisturbato a monte. In questo modo si simula la possibilità che nel lungo termine i dreni si possano intasare data la prevalente natura fine dei terreni interagenti con l'opera di sostegno.

### 8.4 SOVRACCARICO FERROVIARIO

L'opera di sostegno in progetto presenta lato Nord-Ovest le sedi ferroviarie esistenti/in progetto della linea sotica TO-MI, per cui è necessario considerare nelle analisi la presenza di un carico ferroviario anche a cantiere in corso.

Secondo le prescrizioni di RFI e della vigente normativa, il treno di carico da considerare per le verifiche locali è il tipo SW2 che presenta longitudinalmente un carico a metro lineare di  $Q_v = 150 \text{ kN/m}$ . Trasversalmente va distribuito su una traversa di larghezza pari a 2.60 m e poi ripartito sulla superficie di riferimento secondo lo schema di seguito riportato:



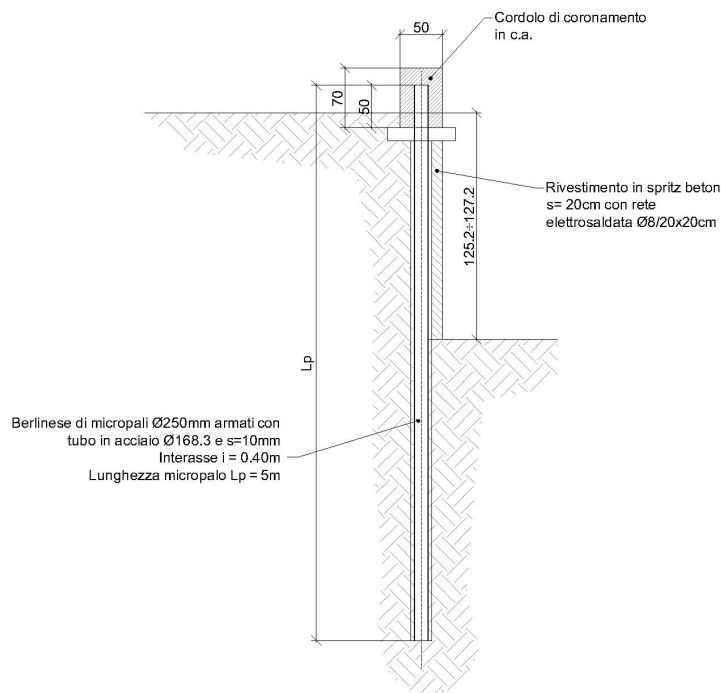
Considerando pertanto una diffusione di 1:4 su uno spessore del ballast di 35 cm (ad estradosso del super compattato) risulta una larghezza di diffusione di circa 2.77 m e quindi un carico ferroviario distribuito (accidentale) pari a circa **55 kPa**. A questo va poi aggiunto un carico distribuito permanente dato dall'armamento (traversine, ballast, rotaie, ecc) assunto pari a  $20 \text{ kN/m}^2$  per uno spessore medio di 85 cm; complessivamente quindi il carico permanente risulta pari a **17 kPa**.

## 9. ANALISI DI CALCOLO

### 9.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La berlinese di sostegno provvisoria necessaria al sostegno degli scavi a tergo sia della linea diretta che della linea passante (storica) TO-MI, si sviluppa per 81.70 m e presenta un tratto fuori terra compreso tra 1.25÷1.27 m circa.

**FIGURA 3 SEZIONE TIPO**



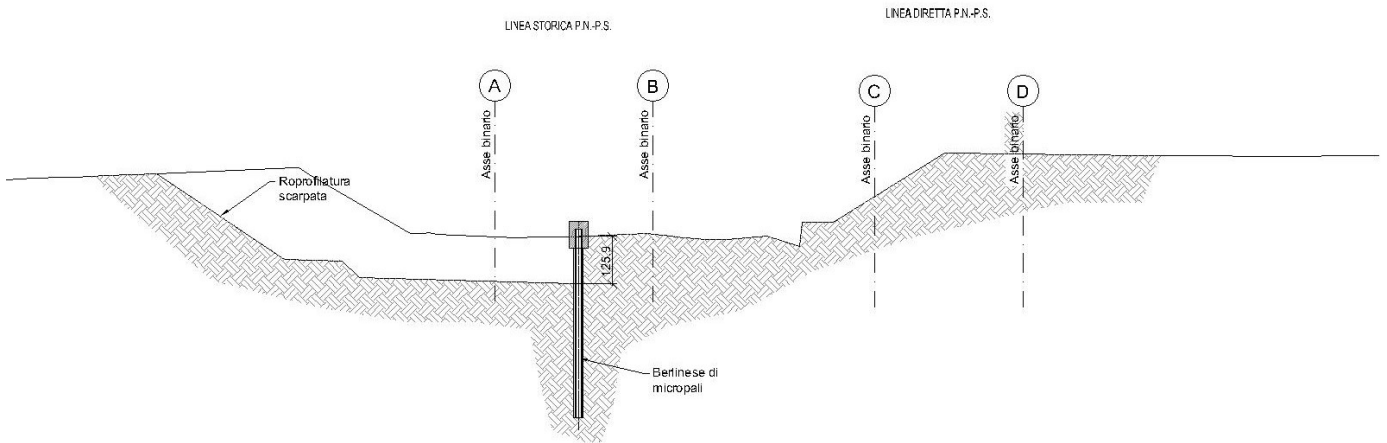
La berlinese è costituita da micropali con diametro di perforazione  $\varnothing 250$  mm disposti ad interasse di 40 cm ed armati con tubo in acciaio  $\varnothing 168.3$  mm e spessore 10 mm. In sommità i micropali sono collegati da un cordolo di coronamento in c.a. delle dimensioni 50x70 cm. La lunghezza dei micropali è pari a 5 m.

La finitura in spritz beton del fronte scavo della berlinese ha la sola funzione di contenere eventuale dilavamento di materiale fine.

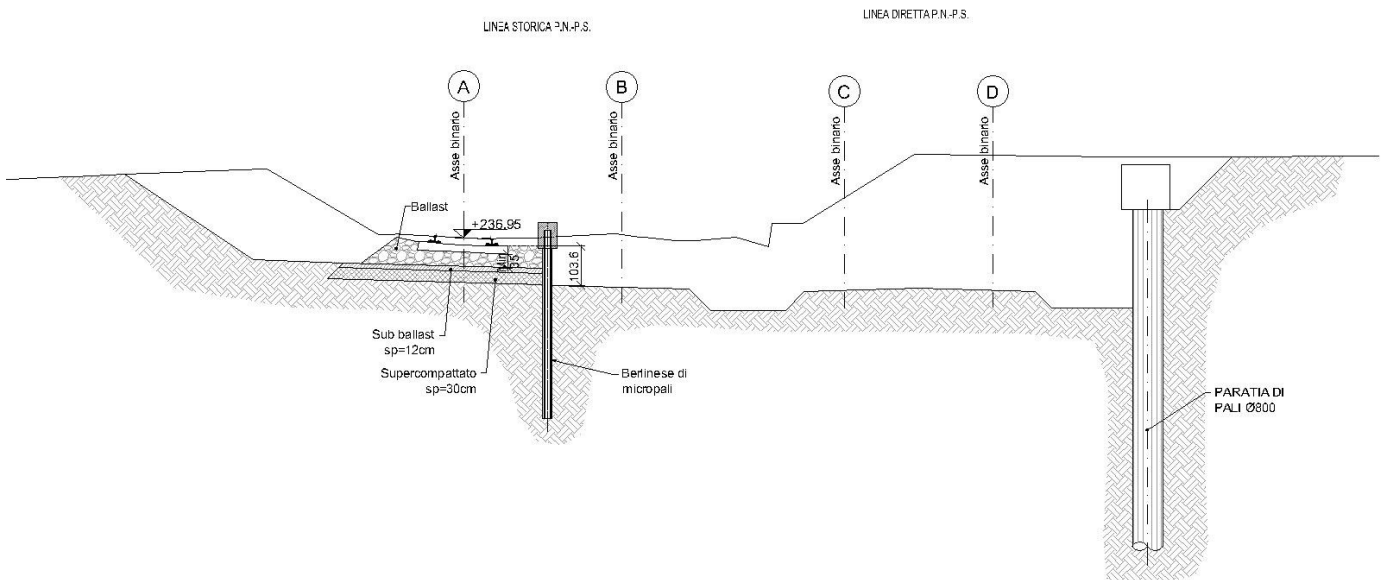
La berlinese funge da opera di sostegno sia per la fase di scavo lato linea passante che lato linea diretta, come si evince dalle sezioni seguenti:



**FIGURA 4 SCAVO LATO LINEA PASSANTE (STORICA)**



**FIGURA 5 SCAVO LATO LINEA DIRETTA**



A completamento delle linee ferroviarie a tergo opera, la paratia viene scapitozzata per almeno 1 m per eliminare l'interferenza con la sovrastruttura ferroviaria.

## 9.2 MODELLO DI CALCOLO

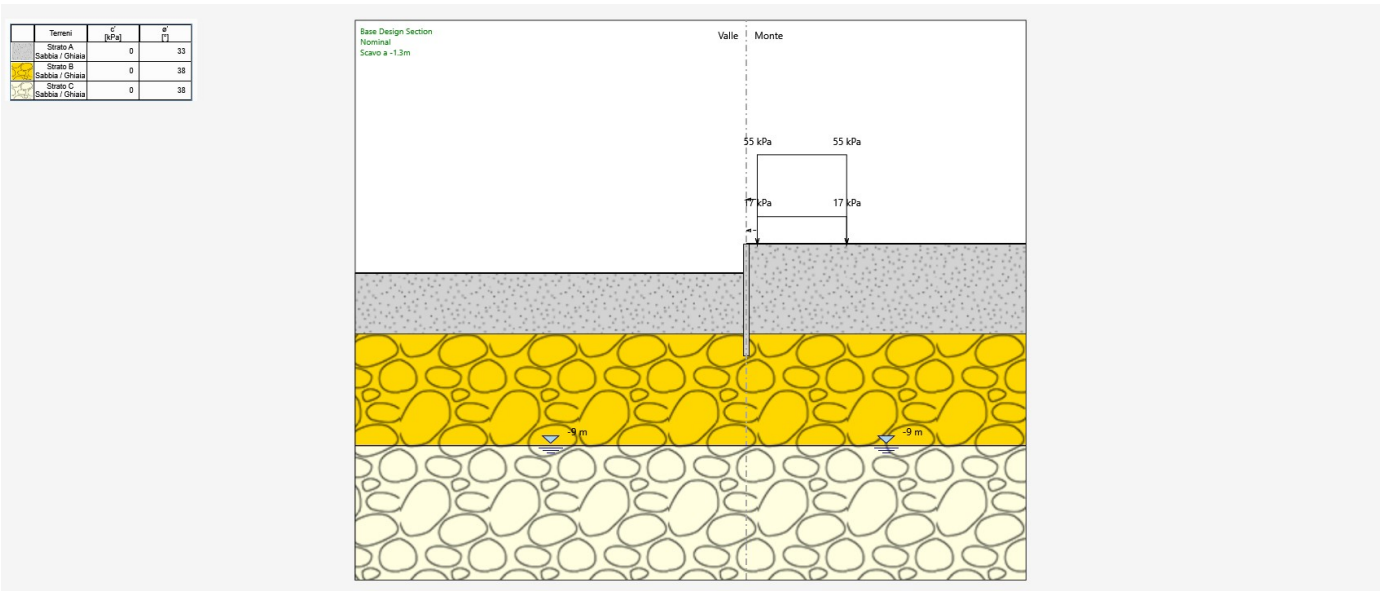
Il calcolo della berlinese è stato condotto in corrispondenza della sezione con massima altezza pari a 1.27 m ma in sede di calcolo è stata assunta cautelativamente una altezza di scavo di 1.30 m con una berlinese di altezza complessiva pari a 5 m.

La modellazione della paratia è stata condotta considerando la seguente sequenza:

- condizione geostatica;
- realizzazione della berlinese ed applicazione del sovraccarico ferroviario a monte;
- scavo finale a -1.30 m

Di seguito si riporta una rappresentazione grafica della fase finale di scavo:

**FIGURA 6 FASE FINALE DI SCAVO**



## 9.3 RISULTATI DELLE ANALISI

Si riporta un tabulato di sintesi delle risultanze di calcolo per ciascuna combinazione previste da normativa, rimandando al tabulato allegato per maggiori dettagli sulle analisi.

Per quanto concerne lo stato deformativo della paratia, come si evince dai successivi tabulati di sintesi, il massimo spostamento orizzontale (combinazione SLE) si determina in testa all'opera con valore pari a  $\delta = 5.14 \text{ mm}$ , valore

**NODO DI TORINO****COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSA – TORINO PORTA NUOVA****OPERE PROVVISORIALI - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	TR 03 00 002	A	27 di 31

assolutamente compatibili con la stabilità e la funzionalità dell'opera. A partire dalla deformazione orizzontale della paratia si valutano i cedimenti verticali (per il metodo di calcolo vedasi paragrafo 6.3) che si sviluppano per circa 12 m dalla testa paratia con valore massimo in testa all'opera pari a  $w = 3.96 \text{ mm}$ . In corrispondenza della rotaia più vicina all'opera, a circa 1.00 m da essa, il massimo cedimento risulta pari a  $w1 = 2.73 \text{ mm}$  circa, valore compatibile con la funzionalità della linea ferroviaria in esercizio.

**TABULATO DI SINTESI DELLE COMBINAZIONI****Riepilogo per la DA <NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)>****Parete <Right wall>**

Min. spostamento laterale [mm]	-5.14	Z = 0 m	D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Scavo a -1.3m)		
Max. spostamento laterale [mm]	0.07	Z = -5 m	D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Scavo a -1.3m)		
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) (Scavo a -1.3m)	0.25	D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)			
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) (Geostatico)	0.13	D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)			

**Risultati Elementi parete (Beam)**

Berlinese (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Scavo a -1.3m)	Max. momento (assoluto) [kNm/m]	12.83	Z = -2.75 m	D.A. NTC2018: SLE	
Permanente) (Scavo a -1.3m)	Max. taglio [kN/m]	11.37	Z = -1.75 m	D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi	
Permanente) (Scavo a -1.3m)	SteelWord: massimo struttamento in flessione	0.078	Z = -2.75 m	D.A. NTC2018: SLE	
Permanente) (Scavo a -1.3m)	SteelWord: massimo struttamento a taglio	0.01	Z = -1.5 m	D.A. NTC2018: SLE	
Permanente) (Scavo a -1.3m)					

**Riepilogo per la DA <NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)>****Parete <Right wall>**

Min. spostamento laterale [mm]	-5.77	Z = 0 m	D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Scavo a -1.3m)		
Max. spostamento laterale [mm]	0.08	Z = -5 m	D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Scavo a -1.3m)		
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX)	0.26	D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Scavo a -1.3m)			
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)	0.13	D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Geostatico)			

**Risultati Elementi parete (Beam)**



**NODO DI TORINO**

**COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSA – TORINO PORTA NUOVA**

**OPERE PROVVISORIALI - RELAZIONE DI CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	TR 03 00 002	A	28 di 31

Berlinese	Max. momento (assoluto) [kNm/m]	18.17	Z = -2.75 m	D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Scavo a -1.3m)
	Max. taglio [kN/m]	16.12	Z = -4.5 m	D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Scavo a -1.3m)
	SteelWord: massimo struttamento in flessione 0.111		Z = -2.75 m	D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Scavo a -1.3m)
	SteelWord: massimo struttamento a taglio 0.013		Z = -4.25 m	D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Scavo a -1.3m)

**Riepilogo per la DA <NTC2018: A2+M2+R1>**

**Parete <Right wall>**

Min. spostamento laterale [mm]	-13	Z = 0 m	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -1.3m)
Max. spostamento laterale [mm]	0.41	Z = -5 m	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -1.3m)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX)	0.42		D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -1.3m)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)	0.17		D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Geostatico)

**Risultati Elementi parete (Beam)**

Berlinese	Max. momento (assoluto) [kNm/m]	25.94	Z = -2.75 m	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -1.3m)
	Max. taglio [kN/m]	23.01	Z = -4.5 m	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -1.3m)
	SteelWord: massimo struttamento in flessione 0.158		Z = -2.75 m	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -1.3m)
	SteelWord: massimo struttamento a taglio 0.019		Z = -4.25 m	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -1.3m)

**Riepilogo per tutte le Design Assumption (DA) attive**

**Parete <Right wall>**

Min. spostamento laterale [mm]	-13	Z = 0 m	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -1.3m)
Max. spostamento laterale [mm]	0.41	Z = -5 m	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -1.3m)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX)	0.42		D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -1.3m)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)	0.17		D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Geostatico)

**Risultati Elementi parete (Beam)**

Berlinese	Max. momento (assoluto) [kNm/m]	25.94	Z = -2.75 m	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -1.3m)
	Max. taglio [kN/m]	23.01	Z = -4.5 m	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -1.3m)
	SteelWord: massimo struttamento in flessione 0.158		Z = -2.75 m	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -1.3m)
	SteelWord: massimo struttamento a taglio 0.019		Z = -4.25 m	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -1.3m)



NODO DI TORINO

COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSÀ -  
TORINO PORTA NUOVA

OPERE PROVVISORIALI - RELAZIONE DI  
CALCOLO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	TR 03 00 002	A	29 di 31

## Settlement

WALL <Right wall>

DISTANCE FROM WALL [m] SETTLEMENT [mm] based on PPLUS\_NOVA method

7.5	-3.965
7.7	-3.718
7.9	-3.471
8.1	-3.224
8.3	-2.978
8.5	-2.732
8.7	-2.488
8.9	-2.248
9.1	-2.011
9.3	-1.783
9.5	-1.567
9.7	-1.362
9.9	-1.17
10.1	-0.994
10.3	-0.836
10.5	-0.693
10.7	-0.565
10.9	-0.452
11.1	-0.356
11.3	-0.273
11.5	-0.201
11.7	-0.14
11.9	-0.092
12.1	-0.052
12.3	-0.014
12.5	0
12.7	0
12.9	0
13.1	0
13.3	0
13.5	0
13.7	0
13.9	0
14.1	0
14.3	0
14.5	0
14.7	0
14.9	0
15.1	0
15.3	0
15.5	0
15.7	0

**NODO DI TORINO****COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSÀ -  
TORINO PORTA NUOVA****OPERE PROVVISORIALI - RELAZIONE DI  
CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	TR 03 00 002	A	30 di 31

15.9	0
16.1	0
16.3	0
16.5	0
16.7	0
16.9	0
17.1	0
17.3	0
17.5	0



**NODO DI TORINO**

**COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSA –  
TORINO PORTA NUOVA**

**OPERE PROVVISORIALI - RELAZIONE DI  
CALCOLO**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	TR 03 00 002	A	31 di 31

## **ALLEGATO**

# **Tabulato di calcolo della berlinese provvisoriale**



## ***Report di Calcolo***

### ***Descrizione Progetto***

CALCOLO BERLINESE PROVVISORIALE - TR03



## ***Descrizione del Software***

ParatiePlus analizza il comportamento meccanico di una struttura di sostegno flessibile di uno scavo in terreno o roccia, ponendo l'accento sull'aspetto dell'interazione "locale" fra parete e terreno.

ParatiePlus non permette lo studio di problematiche che coinvolgano un movimento esteso del versante di scavo, in quanto ParatiePlus non consente lo sviluppo di movimenti rigidi della parete o parti di ammasso rispetto ad altre parti di terreno.

Scopo precipuo di ParatiePlus è quindi il calcolo delle azioni flettenti e taglianti e delle deformazioni laterali della parete di sostegno, e la valutazione di tutte quelle grandezze a queste connesse.

Lo studio di una parete flessibile è condotto attraverso una simulazione numerica del reale: il programma stabilisce e risolve un sistema di equazioni algebriche la cui soluzione permette di riprodurre abbastanza realisticamente l'effettivo comportamento dell'opera di sostegno.

La simulazione numerica è quella offerta dal metodo degli elementi finiti.

La schematizzazione in elementi finiti avviene in questo modo:

- si analizza un problema piano (nel piano Y-Z): i gradi di libertà nodali attivi sono lo spostamento laterale e la rotazione fuori piano: gli spostamenti verticali sono automaticamente vincolati (di conseguenza le azioni assiali nelle pareti verticali non sono calcolate);
- la parete flessibile di sostegno vera e propria è schematizzata da una serie di elementi finiti BEAM verticali;
- il terreno, che spinge contro la parete (da monte e da valle) e che reagisce in modo complesso alle deformazioni della parete, è simulato attraverso un doppio letto di molle elasto-plastiche connesse agli stessi nodi della parete;
- i tiranti, i puntoni, le solette, gli appoggi cedevoli o fissi, sono schematizzati tramite molle puntuali convergenti in alcuni punti (nodi) della parete ove convergono parimenti elementi BEAM ed elementi terreno.

## Descrizione della Stratigrafia e degli Strati di Terreno

Tipo : HORIZONTAL

Quota : 0 m

OCR : 1

Tipo : HORIZONTAL

Quota : -4 m

OCR : 1

Tipo : HORIZONTAL

Quota : -9 m

OCR : 1

Strato di Terreno	Terreno	$\gamma$ dry	$\gamma$ sat	$\phi'$	$\phi$	$c_v$	$\phi_p$	$c'$	Su	Modulo Elastico	Eu	Evc	Eur	Ah	Avexp	Pa	Rur/Rvc	Rvc	Ku	Kvc	Kur		
		kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	°	°	°	°	kPa	kPa			kPa	kPa			kPa			kPa	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	
1	Strato A	19	19	33				0	Constant		15000	30000											
2	Strato B	20	20	38				0	Constant		70000	140000											
3	Strato C	20	20	38				0	Constant		70000	140000											

## Descrizione Pareti

X : 7.5 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -5 m

Muro di destra

Sezione : Micropalo D250

Area equivalente : 0.0289629853385815 m

Inerzia equivalente : 0.0001 m<sup>4</sup>/m

Materiale calcestruzzo : C25/30

Tipo sezione : Tangent

Spaziatura : 0.4 m

Diametro : 0.25 m

Efficacia : 1

Materiale acciaio : S275

Sezione : CHS168.3\*10

Tipo sezione : O

Spaziatura : 0.4 m

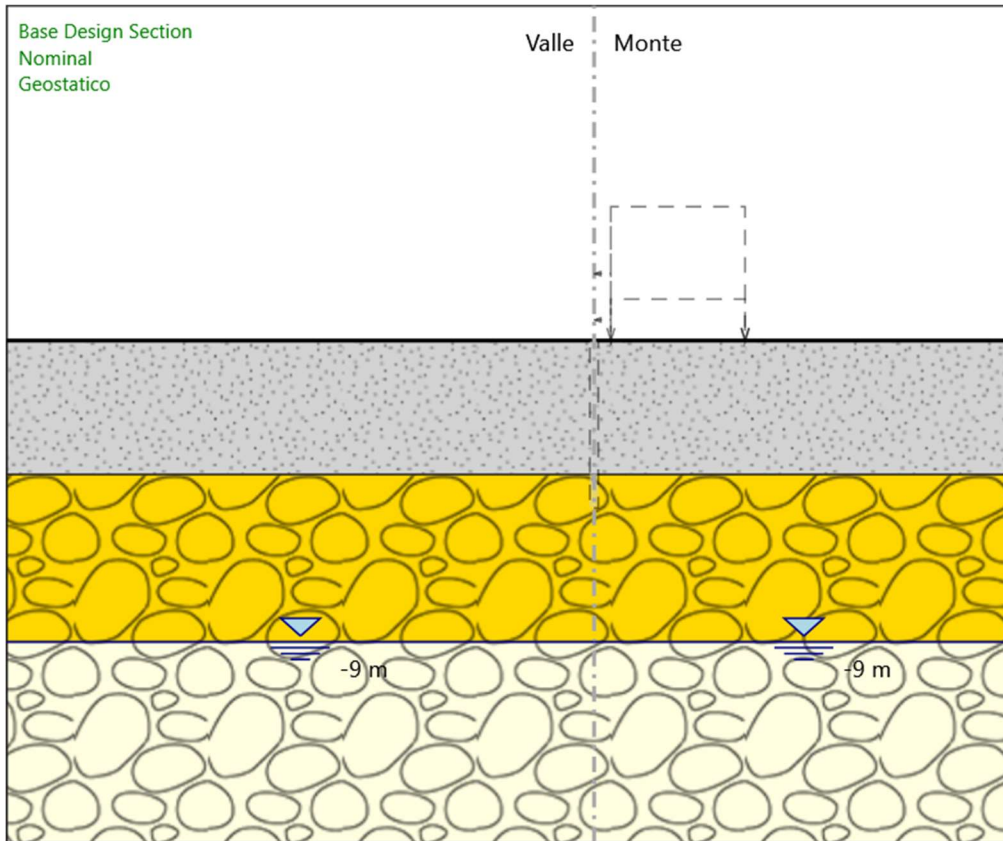
Spessore : 0.01 m

Diametro : 0.1683 m



# Fasi di Calcolo

## Geostatico



Geostatico

Scavo

Muro di destra

Lato monte : 0 m

Lato valle : 0 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

0 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -9 m

Falda di destra : -9 m

Elementi strutturali

Paratia : Paratia

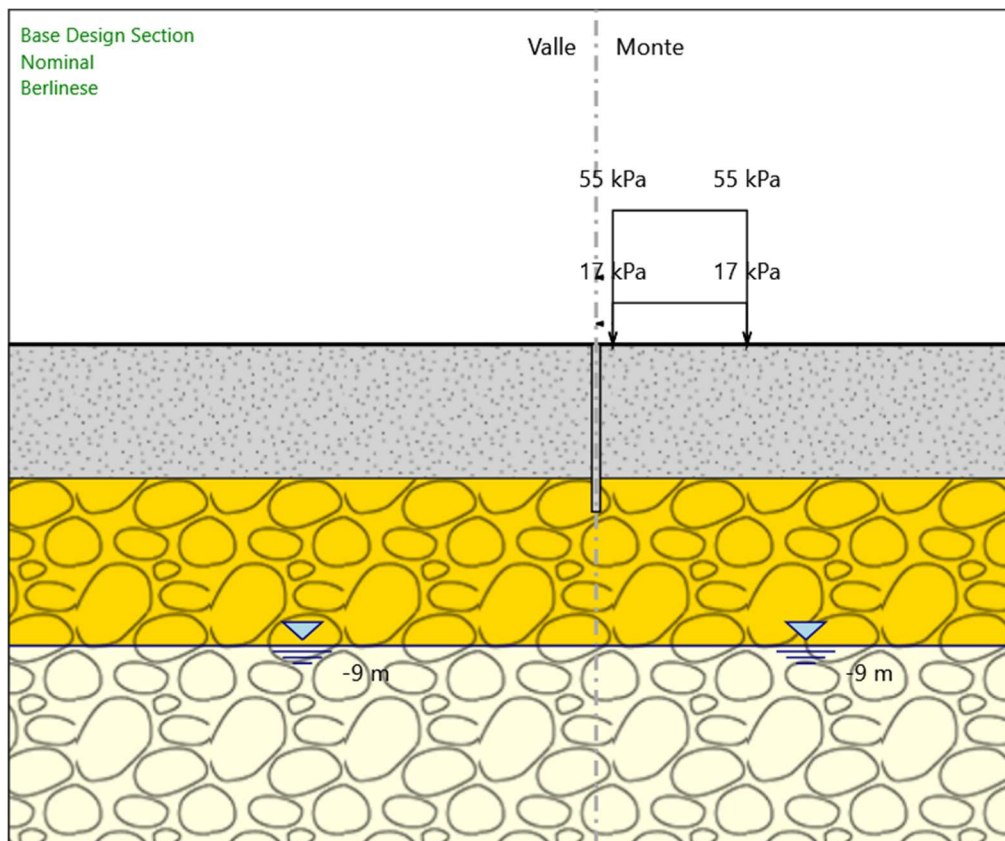
X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -18 m

Sezione : Micropalo D250

## Berlinese



Berlinese

Scavo

Muro di destra

Lato monte : 0 m

Lato valle : 0 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

0 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

0 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -9 m

Falda di destra : -9 m

Carichi

Carico lineare in superficie : Sovraccarico accidentale ferroviario

X iniziale : 8 m

X finale : 12 m

Pressione iniziale : 55 kPa

Pressione finale : 55 kPa  
Carico lineare in superficie : Sovraccarico permanente ferroviario  
X iniziale : 8 m  
X finale : 12 m  
Pressione iniziale : 17 kPa  
Pressione finale : 17 kPa

#### Elementi strutturali

Paratia : Paratia

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -18 m

Sezione : Micropalo D250

Paratia : Berlinese

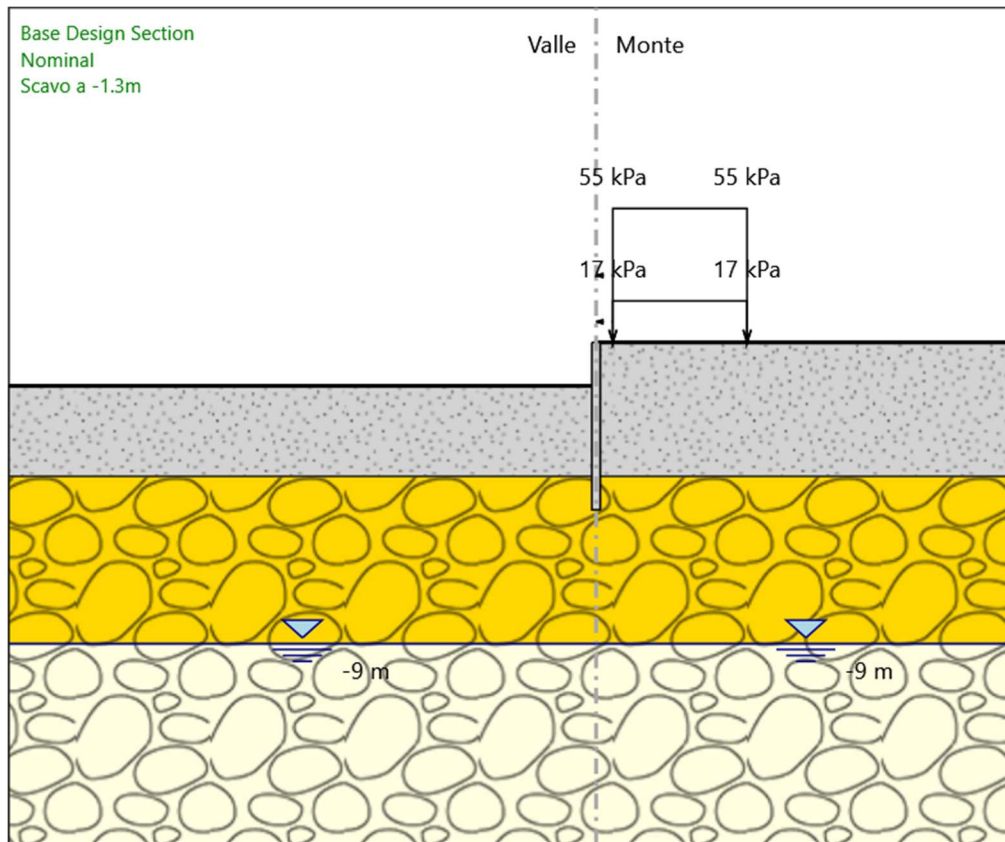
X : 7.5 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -5 m

Sezione : Micropalo D250

## Scavo a -1.3m



Scavo a -1.3m

Scavo

Muro di destra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -1.3 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

-1.3 m

Linea di scavo di destra (Orizzontale)

0 m

Falda acquifera

Falda di sinistra : -9 m

Falda di destra : -9 m

Carichi

Carico lineare in superficie : Sovraccarico accidentale ferroviario

X iniziale : 8 m

X finale : 12 m

Pressione iniziale : 55 kPa



Pressione finale : 55 kPa  
Carico lineare in superficie : Sovraccarico permanente ferroviario  
X iniziale : 8 m  
X finale : 12 m  
Pressione iniziale : 17 kPa  
Pressione finale : 17 kPa

#### Elementi strutturali

Paratia : Paratia

X : 0 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -18 m

Sezione : Micropalo D250

Paratia : Berlinese

X : 7.5 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -5 m

Sezione : Micropalo D250

## Descrizione Coefficienti Design Assumption

Nome	Carichi Per- manenti Sfavorevoli (F_dead_lo ad_unfa- vour)	Carichi Per- manenti Favorevoli (F_dead_lo ad_favour)	Carichi Va- riabili Sfa- vorevoli (F_live_loa d_unfa- vour)	Carichi Va- riabili Fa- vorevoli (F_live_loa d_favour)	Carico Si- smico (F_seism_ load)	Pres Lato Mon (F_	Pres Lato Vall (F_	Carichi Perma- nenti De- stabiliz- zanti (F_UPL_G DStab)	Carichi Perma- nenti Sta- bilizzanti (F_UPL_G Stab)	Carichi Va- riabili De- stabiliz- zanti (F_UPL_Q DStab)	Carichi Perma- nenti De- stabiliz- zanti (F_HYD_G DStab)	Carichi Perma- nenti Sta- bilizzanti (F_HYD_G Stab)	Carichi Va- riabili De- stabiliz- zanti (F_HYD_Q DStab)
Simbolo	$\gamma_G$	$\gamma_G$	$\gamma_Q$	$\gamma_Q$	$\gamma_{QE}$	$\gamma_G$	$\gamma_G$	$\gamma_{Gdst}$	$\gamma_{Gstb}$	$\gamma_{Qdst}$	$\gamma_{Gdst}$	$\gamma_{Gstb}$	$\gamma_{Qdst}$
Nominal	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NTC2018 : SLE (Rara/Fr equente /Quasi Perma- nente)	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
NTC2018 : A1+M1+ R1 (R3 per ti- ranti)	1.3	1	1.5	1	0	1.3	1	1	1	1	1.3	0.9	1
NTC2018 : A2+M2+ R1	1	1	1.3	1	0	1	1	1	1	1	1.3	0.9	1

Nome	Parziale su tan( $\phi'$ ) (F_Fr)	Parziale su c' (F_eff_cohe)	Parziale su Su (F_Su)	Parziale su qu (F_qu)	Parziale su peso specifico (F_gamma)
Simbolo	$\gamma_\phi$	$\gamma_c$	$\gamma_{cu}$	$\gamma_{qu}$	$\gamma_\gamma$
Nominal	1	1	1	1	1
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	1	1	1	1	1
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1	1	1	1
NTC2018: A2+M2+R1	1.25	1.25	1.4	1	1

Nome	Parziale resistenza terreno (es. Kp) (F_Soil_Res_walls)	Parziale resistenza Tiranti permanenti (F_Anch_P)	Parziale resistenza Tiranti temporanei (F_Anch_T)	Parziale elementi strutturali (F_wall)
Simbolo	$\gamma_{Re}$	$\gamma_{ap}$	$\gamma_{at}$	
Nominal	1	1	1	1
NTC2018: SLE (Rara/Fre- quente/Quasi Permanente)	1	1	1	1
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	1	1.2	1.1	1
NTC2018: A2+M2+R1	1	1.2	1.1	1

## ***Descrizione sintetica dei risultati delle Design Assumption (Inviluppi)***

### **Tabella Inviluppi Spostamento Right wall**

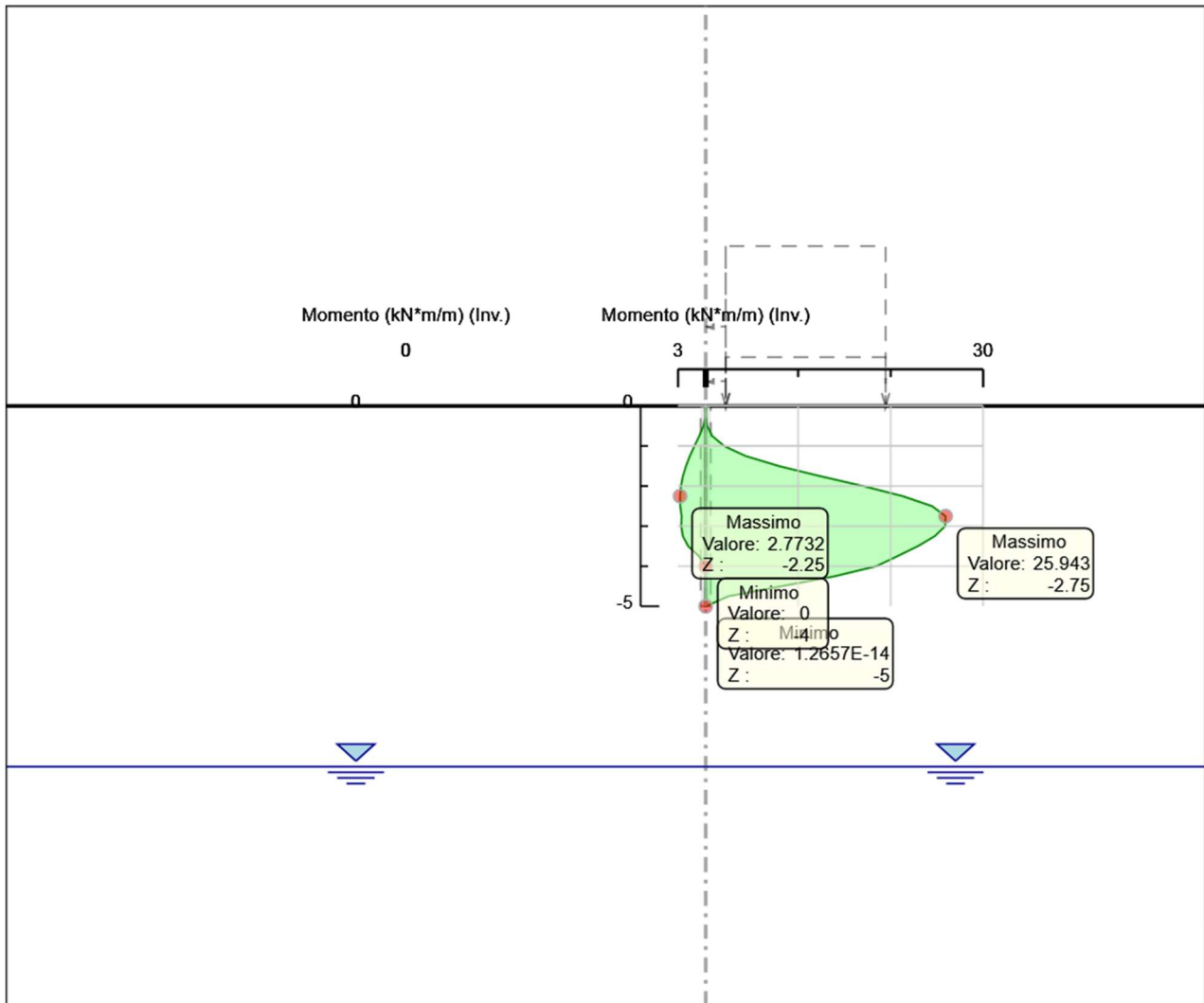
Design Assumption: Nominal Inviluppi: Spostamento Muro: RIGHT		
Z (m)	Lato sinistro (mm)	Lato destro (mm)
0	-5.142	0
-0.25	-4.721	0
-0.5	-4.301	0
-0.75	-3.881	0
-1	-3.463	0
-1.25	-3.049	0
-1.5	-2.645	0
-1.75	-2.257	0
-2	-1.893	0
-2.25	-1.559	0
-2.5	-1.26	0
-2.75	-0.996	0
-3	-0.769	0
-3.25	-0.576	0
-3.5	-0.417	0
-3.75	-0.286	0
-4	-0.182	0
-4.25	-0.1	0
-4.5	-0.044	0
-4.672	0	0
-4.75	-0.03	0.017
-5	-0.018	0.066

## Tabella Involuppi Momento Berlinese

Design Assumption: Nominal	Involuppi: Momento	Muro: Berlinese
Z (m)	Lato sinistro (kN*m/m)	Lato destro (kN*m/m)
0	0	0
-0.25	0	0
-0.5	0.248	0.153
-0.75	0.699	0.708
-1	1.224	1.996
-1.25	1.719	4.324
-1.5	2.139	7.93
-1.75	2.468	12.37
-2	2.678	17.04
-2.25	2.773	21.297
-2.5	2.753	24.485
-2.75	2.61	25.943
-3	2.647	25.899
-3.25	2.474	24.771
-3.5	1.897	22.935
-3.75	0.718	20.723
-4	0	18.437
-4.25	0	13.927
-4.5	0	8.175
-4.75	0	2.444
-5	0	0

# Grafico Involuppi Momento

Valore:  
Z:



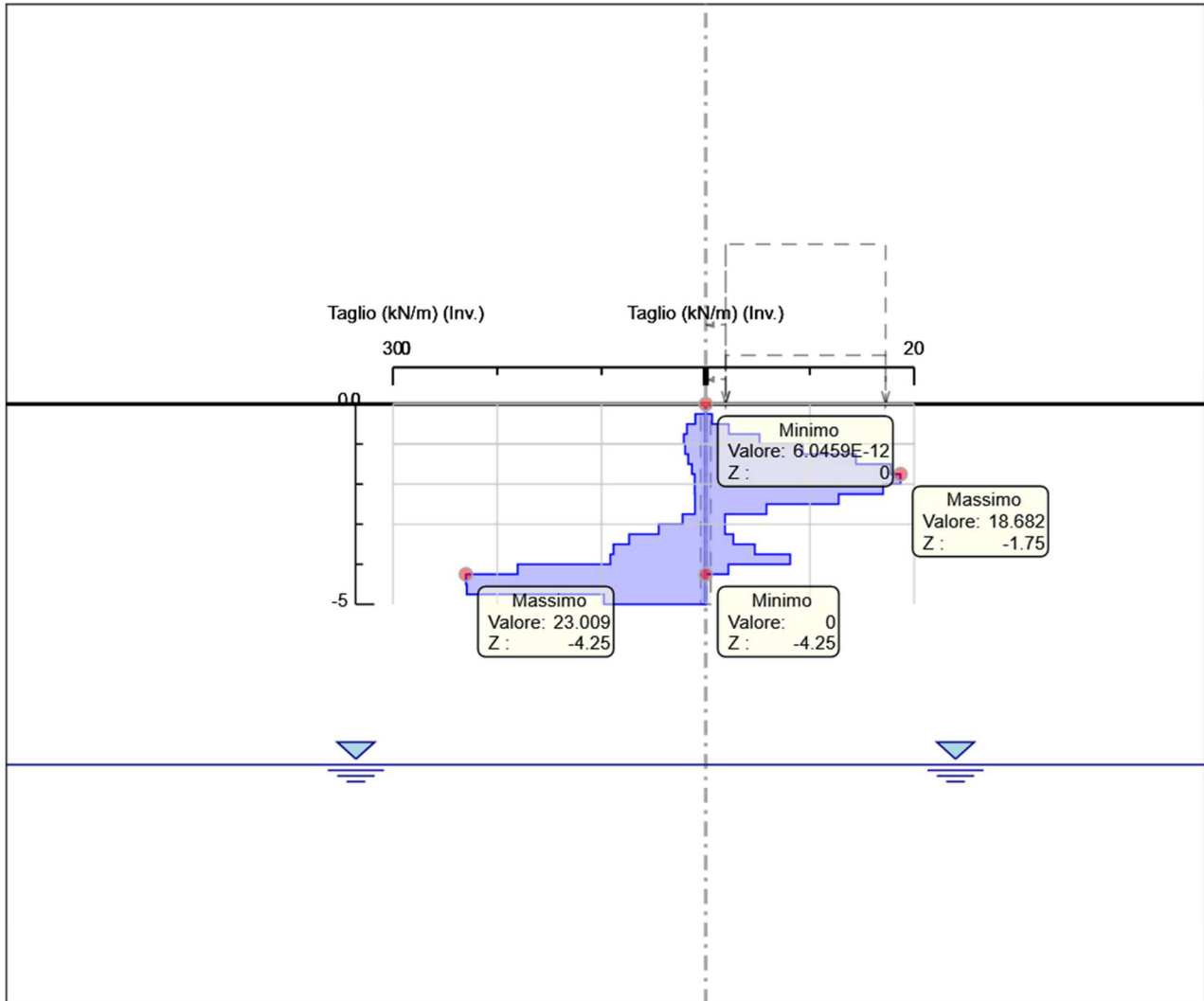
Momento

## Tabella Involuppi Taglio Berlinese

Design Assumption: Nominal	Involuppi: Taglio	Muro: Berlinese
Z (m)	Lato sinistro (kN/m)	Lato destro (kN/m)
0	0	0
-0.25	0.991	0.611
-0.5	1.804	2.221
-0.75	2.101	5.16
-1	2.101	9.315
-1.25	1.98	14.422
-1.5	1.68	17.759
-1.75	1.314	18.682
-2	1.052	18.682
-2.25	1.052	17.027
-2.5	1.024	12.753
-2.75	2.218	5.831
-3	4.511	1.858
-3.25	7.345	2.66
-3.5	8.848	4.716
-3.75	9.141	8.106
-4	18.042	8.106
-4.25	23.009	2.176
-4.5	23.009	0
-4.75	22.922	0
-5	9.776	0

# Grafico Involuppi Taglio

Valore:  
Z:



Taglio

## Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva

Design Assumption	Stage	Muro	Lato	Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Passiva %
NTC2018: A2+M2+R1 Scavo a -1.3m	Right wall	LEFT		42.25
NTC2018: A2+M2+R1 Geostatico	Right wall	RIGHT		17.07



## Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva

Design Assumption	Stage	Muro	Lato	Inviluppo Spinta Reale Efficace / Spinta Attiva %
NTC2018: A2+M2+R1 Geostatico	Right wall	LEFT		3230.18
NTC2018: A2+M2+R1 Berlinese	Right wall	RIGHT		2801.09

## ***Normative adottate per le verifiche degli Elementi Strutturali***

### **Normative Verifiche**

Calcestruzzo	NTC
Acciaio	NTC
Tirante	NTC

### **Coefficienti per Verifica Tiranti**

GEO FS	1
$\xi_{a3}$	1.8
$\gamma_s$	1.15

## Riepilogo Stage / Design Assumption per Involuppo

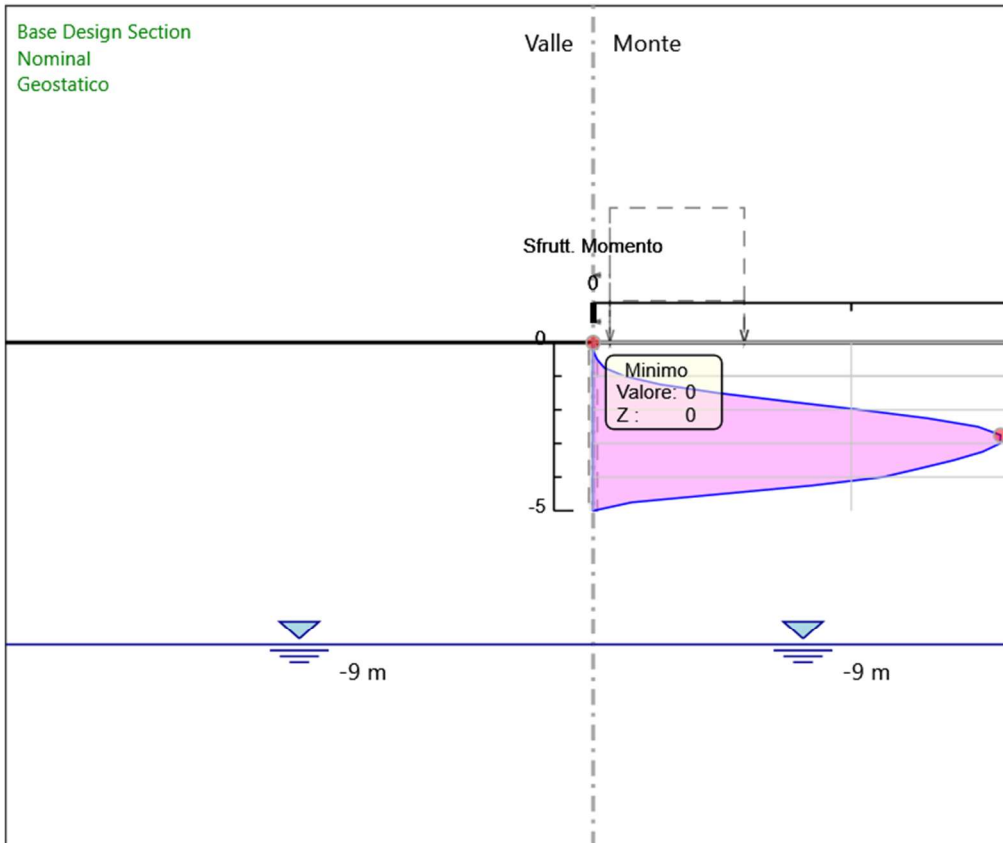
Design Assumption	Geostatico Berlinese Scavo a -1.3m		
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	V	V	V
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	V	V	V
NTC2018: A2+M2+R1	V	V	V

## Risultati SteelWorld

### Tabella Involuppi Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld : RIGHT

Involuppi Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld	RIGHT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld
0	0
-0.25	0
-0.5	0.002
-0.75	0.004
-1	0.012
-1.25	0.026
-1.5	0.048
-1.75	0.075
-2	0.104
-2.25	0.13
-2.5	0.149
-2.75	0.158
-3	0.158
-3.25	0.151
-3.5	0.14
-3.75	0.126
-4	0.112
-4.25	0.085
-4.5	0.05
-4.75	0.015
-5	0

# Grafico Involuppi Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld

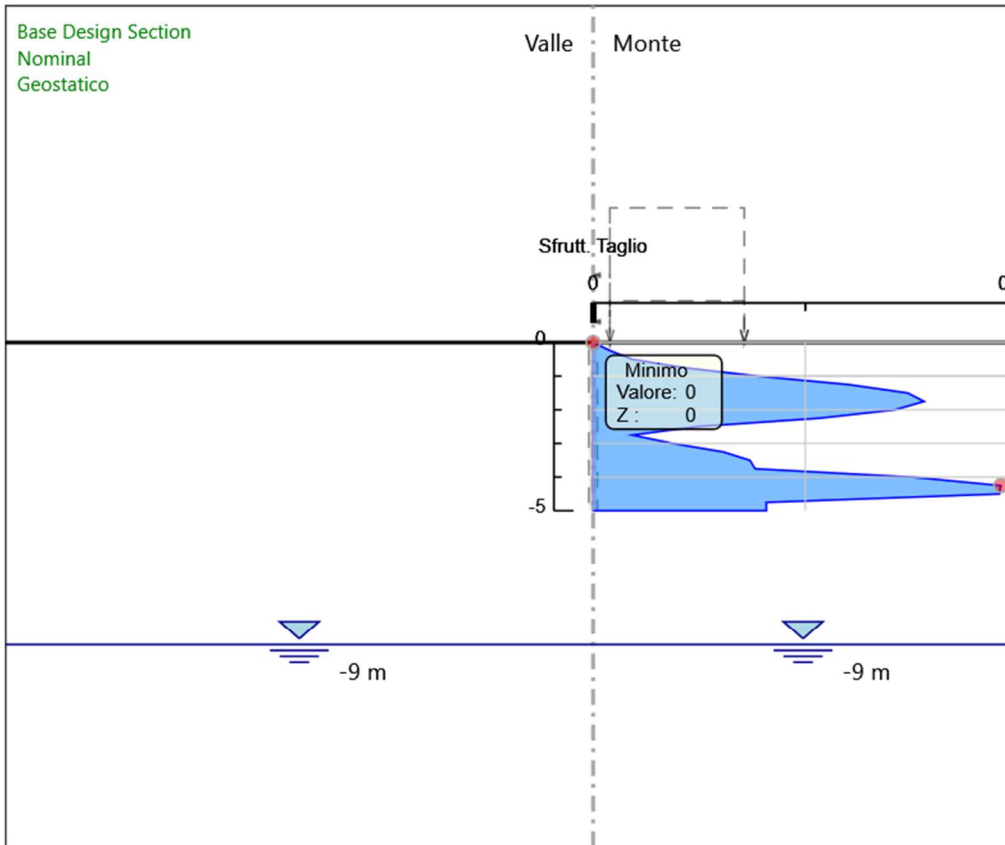


Involuppi  
Tasso di Sfruttamento a Momento - SteelWorld

## Tabella Involuppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld : RIGHT

Involuppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld	RIGHT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld
0	0
-0.25	0.001
-0.5	0.002
-0.75	0.004
-1	0.008
-1.25	0.012
-1.5	0.015
-1.75	0.016
-2	0.014
-2.25	0.011
-2.5	0.005
-2.75	0.002
-3	0.004
-3.25	0.006
-3.5	0.007
-3.75	0.008
-4	0.015
-4.25	0.019
-4.5	0.019
-4.75	0.008
-5	0.008

# Grafico Involuppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld



Involuppi  
Tasso di Sfruttamento a Taglio - SteelWorld

