

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



### U.O. INFRASTRUTTURE NORD

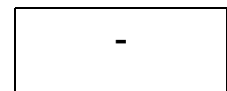
### PROGETTO DEFINITIVO

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

### OPERE CIVILI - TRINCEA TR01

RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE

SCALA:



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

NT0P    00    D    26    CL    TR0100    001    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autore
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. 23172 Sez. A

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>4</b>
<b>2. NORMATIVA E RIFERIMENTI</b> .....	<b>5</b>
2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
2.2 ELABORATI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO .....	5
2.3 SOFTWARE UTILIZZATI.....	5
<b>3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI</b> .....	<b>6</b>
3.1 ACCIAIO PER ARMATURE LENTE .....	6
3.2 CALCESTRUZZO.....	6
<i>Calcestruzzo per elevazioni e cordolo di coronamento paratia</i> .....	6
<i>Calcestruzzo per pali</i> .....	6
<b>4. MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>8</b>
<b>5. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA</b> .....	<b>10</b>
5.1 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA .....	10
5.2 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO .....	10
<b>6. COMBINAZIONI DI CARICO</b> .....	<b>12</b>
6.1 COMBINAZIONI DI CARICO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - SLU .....	13
6.2 COMBINAZIONI DI CARICO AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO - SLE .....	13
<b>7. CRITERI DI VERIFICA GEOTECNICA</b> .....	<b>15</b>
7.1 COLLASSO PER ROTAZIONE INTORNO AD UN PUNTO DELL'OPERA .....	15
7.2 INTERAZIONE TERRENO-STRUTTURA .....	15
<b>8. CRITERI DI VERIFICA STRUTTURALE</b> .....	<b>17</b>
8.1 VERIFICA AGLI STATI LIMITE ULTIMI PER PRESSOFLESSIONE E TAGLIO.....	17

8.2	VERIFICA AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO .....	19
<b>9.</b>	<b>ANALISI DEI CARICHI.....</b>	<b>20</b>
9.1	PESO PROPRIO DELLA PARATIA.....	20
9.2	PESO PROPRIO DEL PARAPETTO .....	20
9.3	SPINTA DELLE TERRE .....	20
9.4	SPINTA DELL'ACQUA.....	22
9.5	SOVRACCARICO FERROVIARIO.....	22
9.6	AZIONE SISMICA .....	23
<b>10.</b>	<b>ANALISI DI CALCOLO.....</b>	<b>26</b>
10.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	26
10.1	MODELLO DI CALCOLO .....	26
10.1	RISULTATI DELLE ANALISI .....	28

## **ALLEGATI**

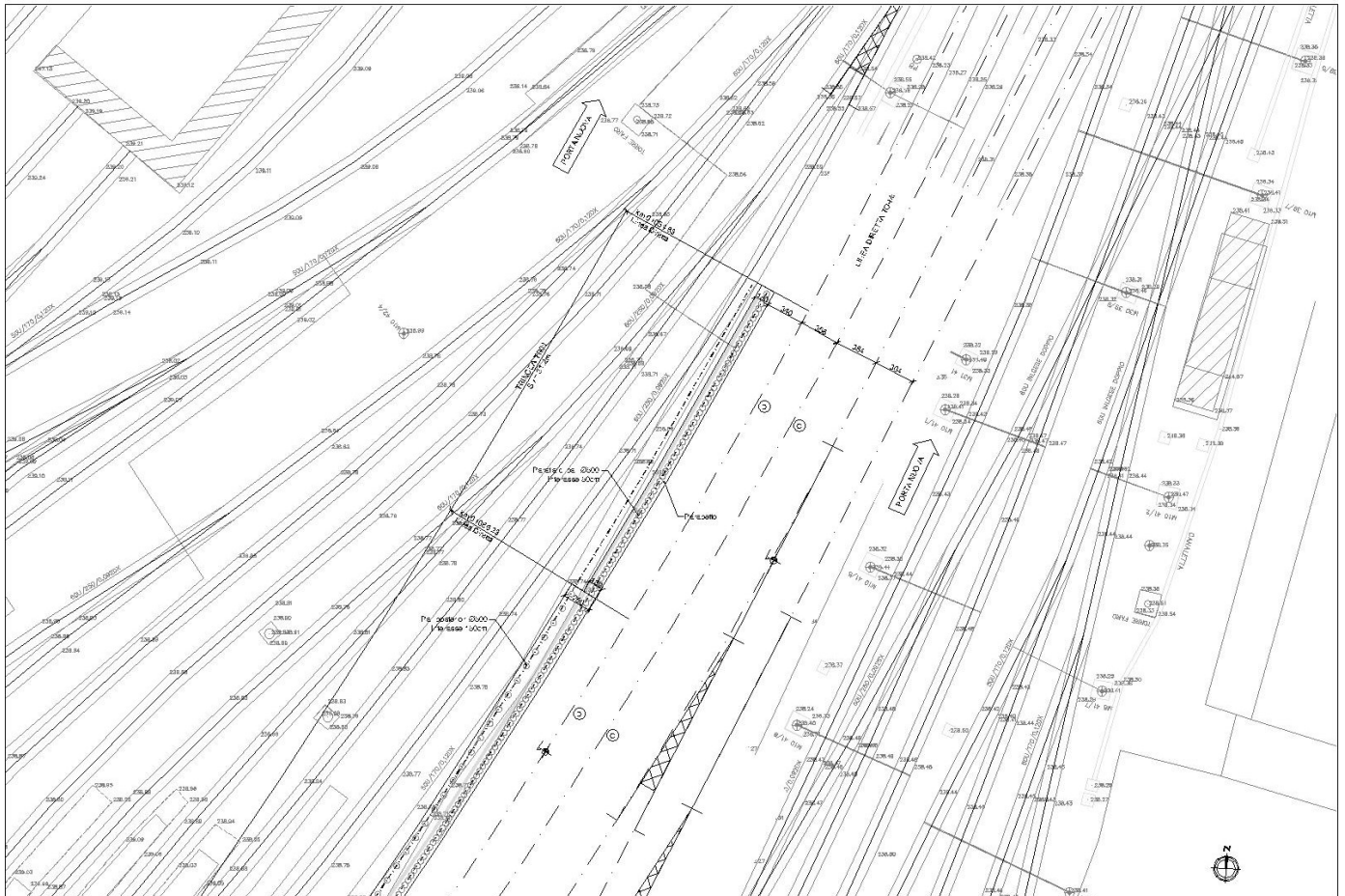
Tabulato di calcolo della paratia TR01

## 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 previste nel *Tratto in trincea TR01* 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.

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

**FIGURA 1 STRALCIO PLANIMETRICO PARATIA DI SOSTEGNO – TRATTO TR01**



L’opera in esame riguarda una paratia di pali trivellati definitiva che in continuità con le paratie dei tratti TR05÷TR02 delimita la sede ferroviaria sostenendo lato monte il “parco vecchio” della stazione ferroviaria di Porta Nuova.

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 D26P9 TR0100001 A – Planimetria di progetto
- NT0P 00 D26PA TR0100001 A – Prospetto paratia
- NT0P 00 D26BA TR0100001 A – Carpenteria – Sezioni Trasversali
- NT0P 00 D26WZ TR0100001 A – Fasi costruttive

### 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 CALCESTRUZZO

##### *Calcestruzzo per elevazioni e cordolo di coronamento paratia*

Classe di resistenza:	C28/35
Resistenza caratteristica cubica a compressione:	$R_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione:	$f_{ck} = 29.05 \text{ N/mm}^2$
Resistenza media cilindrica a compressione:	$f_{cm} = 37.05 \text{ N/mm}^2$
Modulo elastico:	$E_{cm} = 32588 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a compressione:	$f_{cd} = 16.46 \text{ N/mm}^2$
Resistenza media a trazione semplice:	$f_{ctm} = 2.83 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica a trazione:	$f_{ctk} = 1.98 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a trazione:	$f_{ctd} = 1.32 \text{ N/mm}^2$

##### *Calcestruzzo per pali*

Classe di resistenza:	C25/30
-----------------------	--------

**RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	TR 01 00 001	A	7 di 32

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:

$$f_{ctk} = 1.79 \text{ N/mm}^2$$

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****RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	TR 01 00 001	A	9 di 32

- 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. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

### 5.1 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Come concordato con la S.A. la progettazione delle strutture farà riferimento a:

- vita nominale  $V_N = 100$  anni
- classe d'uso IV

In base a ciò risulta:

- coefficiente d'uso  $C_U = 2.0$
- periodo di riferimento per l'azione sismica  $V_R = V_N \times C_U = 200$  anni

### 5.2 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Per la caratterizzazione dell'azione sismica delle opere si è fatto riferimento alle seguenti coordinate geografiche:

- Latitudine  $45^\circ 02' 59''$  E
- Longitudine  $7^\circ 39' 56''$  N

Si riporta di seguito il riepilogo della parametrizzazione sismica:

TABELLA 1 PARAMETRI PER LA DEFINIZIONE DELLA MASSIMA ACCELERAZIONE LOCALE.

Stato limite	$V_N$ [anni]	$C_U$	$V_R$ [anni]	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$F_V$	$T_C^*$ [s]
SLO	100	2	200	120	0.040	2.660	0.715	0.226
SLD	100	2	200	201	0.046	2.689	0.780	0.245
SLV	100	2	200	1898	0.079	2.871	1.092	0.290
SLC	100	2	200	2475	0.084	2.897	1.135	0.291

Categoria suolo = C								
Stato limite	Suolo	$S_S$	$S_T$	S	$C_C$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
SLO ( $T_R60$ )	C	1.50	1.00	1.50	1.715	0.129	0.388	1.759
SLD	C	1.50	1.00	1.50	1.670	0.136	0.409	1.785
SLV	C	1.50	1.00	1.50	1.580	0.153	0.458	1.918
SLC	C	1.50	1.00	1.50	1.578	0.153	0.459	1.937

Per le analisi in condizioni sismiche è stato preso a riferimento lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e dunque i seguenti parametri:

- Categoria di suolo C;
- Coefficiente di amplificazione stratigrafica:  $S_S = 1.580$ ;
- Coefficiente di amplificazione topografica:  $S_T = 1.000$ ;
- Massima accelerazione orizzontale al suolo  $a_g/g = 0.079$ .

## 6. 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 definitiva, essa viene verificata anche nei confronti degli effetti provocati dal sisma. L'analisi sismica viene effettuata secondo le seguenti combinazioni:

- **Combinazione 1 con coefficienti parziali M1 sui parametri e coefficienti unitari sulle azioni;**
- **Combinazione 2 con coefficienti parziali M2 sui parametri e coefficienti unitari sulle azioni.**

In condizioni sismiche valgono gli stessi coefficienti parziali  $\gamma_R$  del caso statico riportati nella precedente tabella.

## 6.1 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.

## 6.2 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:



	<b>NODO DI TORINO</b> <b>COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSÀ – TORINO PORTA NUOVA</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE</b>	COMMESSA NT0P	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO TR 01 00 001	REV. A	FOGLIO 15 di 32

## 7. CRITERI DI VERIFICA GEOTECNICA

### 7.1 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.

### 7.2 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.

I parametri di spinta del terreno sono:

- il coefficiente di spinta a riposo  $K_0$ , corrispondente alla condizione iniziale indeformata, calcolato mediante l'espressione  $K_0 = 1 - \tan \varphi'$ ;
- 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.



	<b>NODO DI TORINO</b> <b>COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSÀ – TORINO PORTA NUOVA</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE</b>	COMMESSA NT0P	LOTTO 00	CODIFICA D 26 CL	DOCUMENTO TR 01 00 001	REV. A	FOGLIO 17 di 32

## 8. 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.

### 8.1 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:

$V_{Rd,c} = \max \left\{ C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right\} \cdot b_w \cdot d; \left( v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right) \cdot b_w \cdot d \right\}$ , 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
- $\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02$
- $A_{sl}$  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.

## 8.2 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.

## 9. ANALISI DEI CARICHI

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

### 9.1 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.

### 9.2 PESO PROPRIO DEL PARAPETTO

Il parapetto metallico proposto presenta una altezza di 1 m sormontante un cordolo in c.a. delle dimensioni 30x50 cm realizzato in testa alla trave di coronamento della paratia.

In sede di calcolo è stato assunto un peso del parapetto pari a 1 kN/m.

### 9.3 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

$\beta$  = 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° 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 (si veda il successivo par. 0).

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 6.

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.

#### 9.4 SPINTA DELL'ACQUA

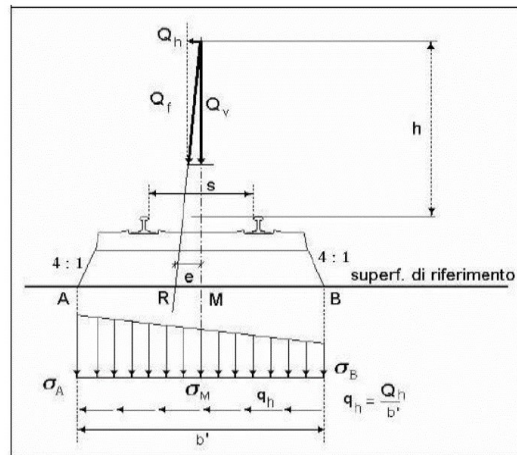
La presenza della falda è stata così considerata nel codice di calcolo:

- in fase provvisoria di scavo, essendo la paratia opera di sostegno permeabile e tenendo anche in considerazione la presenza del sistema di drenaggio, si abbatte 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.

#### 9.5 SOVRACCARICO FERROVIARIO

L'opera di sostegno in progetto presenta a monte le sedi ferroviarie esistenti del "parco vecchio" 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 kN/m<sup>3</sup> per uno spessore medio di 85 cm; complessivamente quindi il carico permanente risulta pari a **17 kPa**.

## 9.6 AZIONE SISMICA

L'azione sismica è stata calcolata come differenza fra la spinta calcolata sulla parte fuori terra della paratia con riferimento ai coefficienti di spinta attiva in presenza di sisma ed i corrispondenti coefficienti di spinta attiva in condizioni statiche.

L'incremento di spinta dovuto al sisma (inteso come differenza fra la spinta totale in condizioni sismiche e la spinta pre-agente in condizioni statiche) viene applicato a metà dell'altezza fuori terra della paratia.

Il calcolo del coefficiente di spinta in condizioni sismiche viene effettuato come già indicato nel precedente paragrafo.

Il coefficiente di accelerazione sismica  $k_h$  viene valutato come:

$$k_h = \alpha \beta a_{max}/g$$

dove:

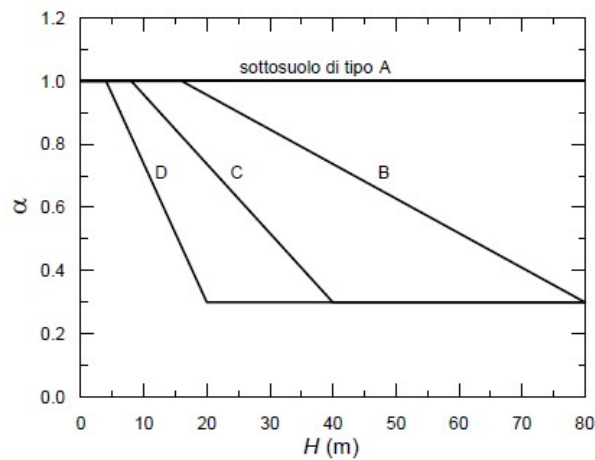
$a_{max}$  = accelerazione massima attesa al sito in considerazione

$g$  = accelerazione di gravità

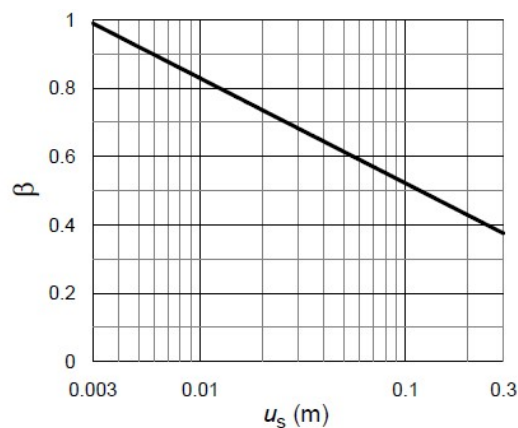
$\alpha$  = coefficiente di deformabilità funzione dell'altezza complessiva  $H$  della paratia e della categoria di sottosuolo, si desume dal grafico della Figura 2 (figura 7.11.2 della normativa vigente qui di seguito riprodotto)

$\beta$  = coefficiente funzione dello spostamento massimo  $u_s$  tollerabile dall'opera e viene desunto dal grafico della Figura 3 (figura 7.11.3 della normativa vigente riprodotto qui di seguito)

**FIGURA 2 DIAGRAMMA PER LA VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI DEFORMABILITÀ  $\alpha$**



**FIGURA 3 DIAGRAMMA PER LA VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI SPOSTAMENTO  $\beta$**



Ai fini della valutazione di  $\beta$  lo spostamento deve comunque assumersi  $u_s \leq 0.005 H$ . Inoltre deve sempre risultare il prodotto  $\alpha \cdot \beta > 0.2$  altrimenti deve assumersi  $k_h = 0.20 a_{max}/g$ .

L'accelerazione massima è stata valutata come:

$$a_{max} = a_g \cdot S_S \cdot S_T$$



**NODO DI TORINO****COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSÀ –  
TORINO PORTA NUOVA****RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	TR 01 00 001	A	25 di 32

in cui:

- $a_g$  = accelerazione massima attesa al sito di riferimento sul substrato rigido
- $S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica
- $S_T$  = coefficiente di amplificazione topografica

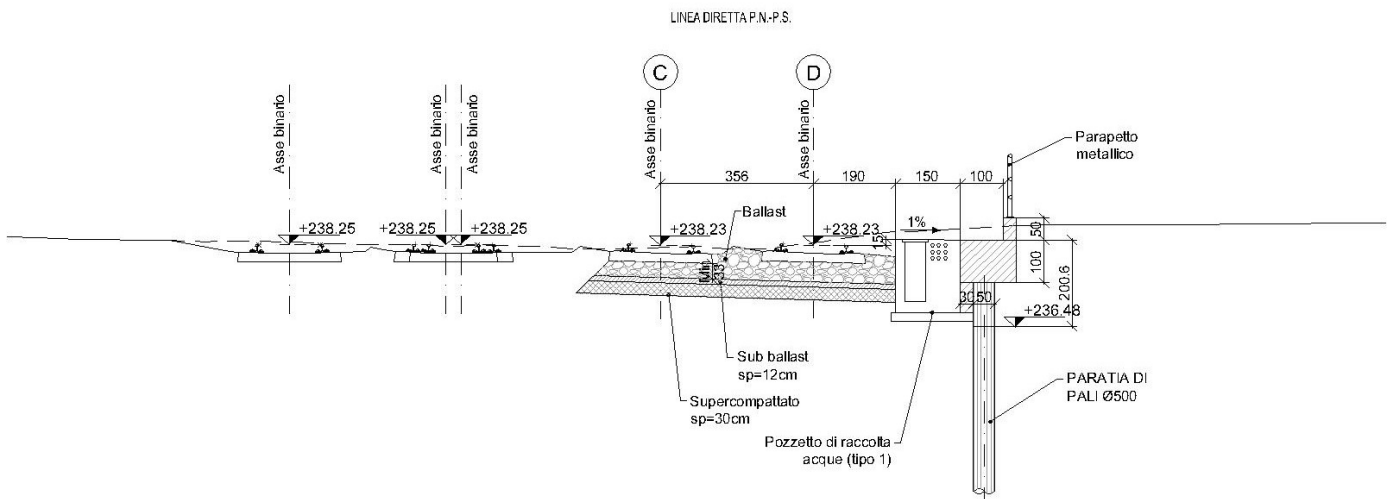
Come previsto dalla normativa si è posto  $k_v = 0$  e si sono trascurate le forze inerziali agenti sulla struttura della paratia.

## 10. ANALISI DI CALCOLO

### 10.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

La paratia di sostegno del tratto TR01 si sviluppa per circa 32 m con una altezza del fondo scavo variabile da 2.30÷2.10 m circa ed è costituita da pali trivellati Ø500 mm accostati (interasse  $i = 0.50$  m) di lunghezza pari a 9 m e collegati in testa da una trave di coronamento in c.a. avente dimensioni 1.00x1.30 m con disposto in sommità un parapetto metallico di protezione. A tergo si presenta il parco vecchio della stazione ferroviaria che si considera a traffico aperto anche durante le lavorazioni.

**FIGURA 4 SEZIONE TRASVERSALE DELLA PARATIA**



Successivamente allo scavo di sbancamento si realizza il manufatto di raccolta delle acque, la sovrastruttura ferroviaria ed il rivestimento della paratia in cls di spessore pari a 30 cm, per cui il tratto svettante a opera ultimata è variabile da 0.70÷0.50 m circa dalla sommità paratia.

### 10.1 MODELLO DI CALCOLO

Il calcolo della paratia della trincea TR01 è stato condotto per tutte le casistiche che si presentano lungo il suo sviluppo e nella presente relazione, per brevità di trattazione, si riporta il calcolo della sezione più gravosa, ovvero la sezione alla progressiva 0+088.40 circa in cui la massima altezza fuori terra in fase di scavo è di 2.30 m.

In sede di calcolo è stata assunta cautelativamente una altezza svettante di 2.50 m con altezza complessiva della paratia di 9 m.

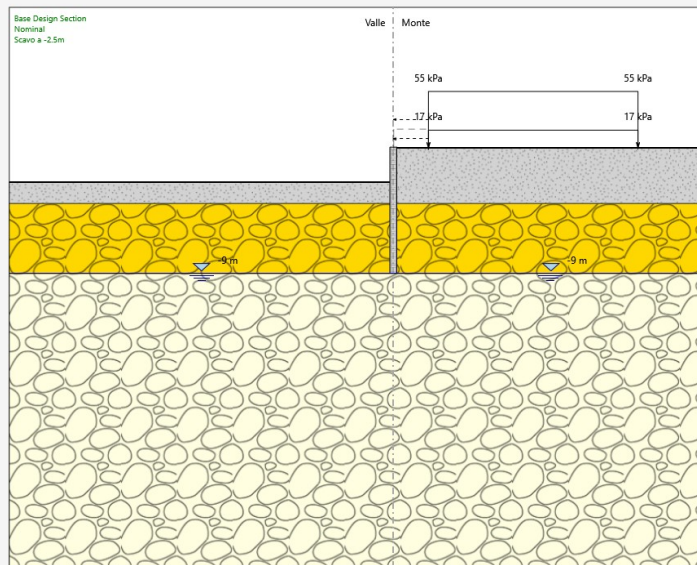
La modellazione della paratia è stata condotta considerando la seguente sequenza:

- condizione geostatica;
- realizzazione paratia;
- scavo a -2.50 m ed applicazione del sovraccarico ferroviario a monte
- rinterro fino a -1.00 m (simula cautelativamente la realizzazione della sovrastruttura ferroviaria e del manufatto in c.a. di raccolta acque);
- applicazione del carico distribuito a tergo opera (simula il carico permanente del rinterro per una altezza di circa 1 m);
- applicazione del sisma.

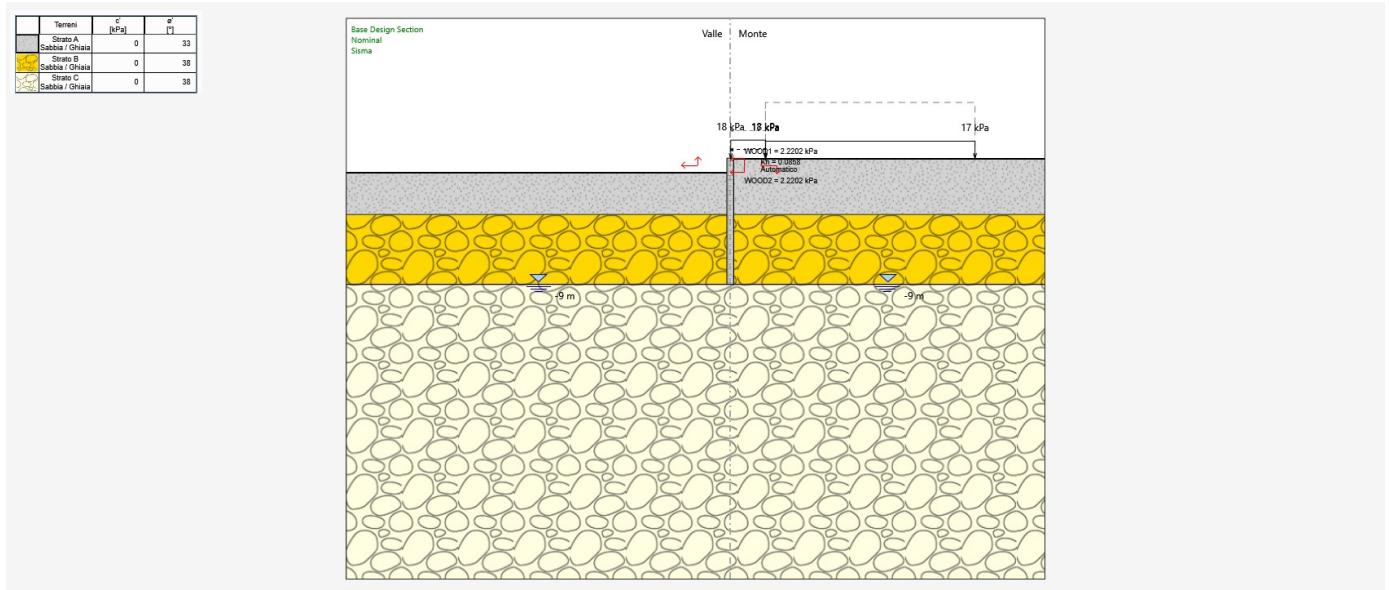
Di seguito si riporta una rappresentazione grafica sia della fase di fondo scavo della paratia che della fase finale:

**FIGURA 5 FASE DI MASSIMO SCAVO**

Terroni	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]
Strato A Sabbia / Ghiaia	0	33
Strato B Sabbia / Ghiaia	0	38
Strato C Sabbia / Ghiaia	0	38



**FIGURA 6 FASE FINALE**



## 10.1 RISULTATI DELLE ANALISI

Si riporta un tabulato delle risultanze di calcolo per ciascuna combinazione previste da normative, ivi compresa quella sismica (applicata a opera ultimata ovvero con il rinterro di +1.50 m rispetto al fondo scavo).

Per quanto concerne lo stato deformativo della paratia, come si evince dai successivi tabulati di sintesi, il massimo spostamento orizzontale (combinazione SLE) si determina a quota testa dell'opera con valore pari a  $\delta = 3.96 \text{ mm}$ , valore assolutamente compatibili con la stabilità e la funzionalità dell'opera.

In allegato alle presente si riporta il tabulato di calcolo delle verifiche.

## TABULATO DI SINTESI DELLE COMBINAZIONI

### Riepilogo per la DA <NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)>

#### Parete <Right wall>

Min. spostamento laterale [mm] -3.96 Z = 0 m D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Carico testa paratia)

Max. spostamento laterale [mm] 0 Z = -9 m D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Geostatico)

**RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	TR 01 00 001	A	29 di 32

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) 0.19 D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)  
(Scavo a -2.5m)

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) 0.12 D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)  
(Geostatico)

**Risultati Elementi parete (Beam)**

WallElement Max. momento (assoluto) [kNm/m] 48.19 Z = -4.5 m D.A. NTC2018: SLE  
(Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Carico testa paratia)

Max. taglio [kN/m] 21.45 Z = -3 m D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)  
(Scavo a -2.5m)

Caver: max. sfruttamento a flessione 0 Z = -9 m D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)  
(Sisma)

Caver: max. sfruttamento a taglio 0 Z = -9 m D.A. NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)  
(Sisma)

Caver: massima ampiezza fessure [mm] 0.136 Z = -4.5 m D.A. NTC2018: SLE  
(Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Carico testa paratia)

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

**Parete <Right wall>**

Min. spostamento laterale [mm] -4.03 Z = 0 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Carico testa paratia)

Max. spostamento laterale [mm] 0 Z = -9 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Geostatico)

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) 0.19 D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Scavo a -2.5m)

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) 0.12 D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Geostatico)

**Risultati Elementi parete (Beam)**

WallElement Max. momento (assoluto) [kNm/m] 63.46 Z = -4.5 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3  
per tiranti) (Carico testa paratia)

Max. taglio [kN/m] 28.25 Z = -3 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Scavo a -2.5m)

Caver: max. sfruttamento a flessione 0.291 Z = -4.5 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Carico  
testa paratia)

Caver: max. sfruttamento a taglio 0.244 Z = -3 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Scavo a -2.5m)

Caver: massima ampiezza fessure [mm] 0 Z = -9 m D.A. NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti) (Sisma)

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

**Parete <Right wall>**

Min. spostamento laterale [mm] -6.27 Z = 0 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Carico testa paratia)

Max. spostamento laterale [mm] 0 Z = -9 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Geostatico)

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) 0.27 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -2.5m)

Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) 0.16 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Geostatico)

**Risultati Elementi parete (Beam)**

**NODO DI TORINO****COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSÀ – TORINO PORTA NUOVA****RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	TR 01 00 001	A	30 di 32

WallElement	Max. momento (assoluto) [kNm/m]	66.9	Z = -4.5 m	D.A. NTC2018: A2+M2+R1
(Carico testa paratia)	Max. taglio [kN/m]	29.33	Z = -3 m	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -2.5m)
	Caver: max. sfruttamento a flessione	0.306	Z = -4.5 m	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Carico testa paratia)
	Caver: max. sfruttamento a taglio	0.253	Z = -3 m	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -2.5m)
	Caver: massima ampiezza fessure [mm]	0	Z = -9 m	D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Sisma)

**Riepilogo per la DA <NTC2018: SISMICA STR>****Parete <Right wall>**

Min. spostamento laterale [mm]	-4.14	Z = 0 m	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Sisma)
Max. spostamento laterale [mm]	0	Z = -9 m	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Geostatico)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX)	0.19	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Scavo a -2.5m)	
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)	0.12	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Geostatico)	

**Risultati Elementi parete (Beam)**

WallElement	Max. momento (assoluto) [kNm/m]	50.48	Z = -4.25 m	D.A. NTC2018: SISMICA STR
(Sisma)	Max. taglio [kN/m]	21.64	Z = -2.75 m	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Sisma)
	Caver: max. sfruttamento a flessione	0.231	Z = -4.25 m	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Sisma)
	Caver: max. sfruttamento a taglio	0.187	Z = -2.75 m	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Sisma)
	Caver: massima ampiezza fessure [mm]	0	Z = -9 m	D.A. NTC2018: SISMICA STR (Sisma)

**Riepilogo per la DA <NTC2018: SISMICA GEO>****Parete <Right wall>**

Min. spostamento laterale [mm]	-4.14	Z = 0 m	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)
Max. spostamento laterale [mm]	0	Z = -9 m	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Geostatico)
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX)	0.19	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Scavo a -2.5m)	
Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX)	0.12	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Geostatico)	

**Risultati Elementi parete (Beam)**

WallElement	Max. momento (assoluto) [kNm/m]	50.48	Z = -4.25 m	D.A. NTC2018: SISMICA GEO
(Sisma)	Max. taglio [kN/m]	21.64	Z = -2.75 m	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)
	Caver: max. sfruttamento a flessione	0.231	Z = -4.25 m	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)
	Caver: max. sfruttamento a taglio	0.187	Z = -2.75 m	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)
	Caver: massima ampiezza fessure [mm]	0	Z = -9 m	D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Sisma)

**Riepilogo per tutte le Design Assumption (DA) attive****Parete <Right wall>**

**RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	TR 01 00 001	A	31 di 32

Min. spostamento laterale [mm] -6.27 Z = 0 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Carico testa paratia)  
 Max. spostamento laterale [mm] 0 Z = -9 m D.A. NTC2018: SISMICA GEO (Geostatico)  
 Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato SX) 0.27 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -2.5m)  
 Max. Rapporto Spinte (Efficace/Passiva) (Lato DX) 0.16 D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Geostatico)

**Risultati Elementi parete (Beam)**

WallElement Max. momento (assoluto) [kNm/m] 66.9 Z = -4.5 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1  
 (Carico testa paratia)  
 Max. taglio [kN/m] 29.33 Z = -3 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -2.5m)  
 Caver: max. sfruttamento a flessione 0.306 Z = -4.5 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Carico testa paratia)  
 Caver: max. sfruttamento a taglio 0.253 Z = -3 m D.A. NTC2018: A2+M2+R1 (Scavo a -2.5m)  
 Caver: massima ampiezza fessure [mm] 0.136 Z = -4.5 m D.A. NTC2018: SLE  
 (Rara/Frequente/Quasi Permanente) (Carico testa paratia)



NODO DI TORINO

COMPLETAMENTO LINEA DIRETTA TORINO PORTA SUSA -  
TORINO PORTA NUOVA

RELAZIONE DI CALCOLO PARATIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NT0P	00	D 26 CL	TR 01 00 001	A	32 di 32

## ALLEGATO

### Tabulato di calcolo della paratia TR01





## ***Report di Calcolo***

### ***Descrizione Progetto***

CALCOLO PARATIA DI PALI - TRINCEA TR01

## **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 : -9 m

Muro di destra

Armatura Lunghezza segmenti : 1 m

Rinforzo longitudinale 1

Lunghezza : 9 m

Materiale :

Quota iniziale : 0 m

Barre 1

Numero di barre : 8

Diametro : 0.016 m

Distanza dal bordo : 0.078 m

Staffe 1

Numero di staffe : 1

Copertura : 0.06 m

Diametro : 0.01 m

Lunghezza : 9 m

Quota iniziale : 0 m

Passo : 0.15 m

Sezione : Paratia palo D500

Area equivalente : 0.392699081698724 m

Inerzia equivalente : 0.0061 m<sup>4</sup>/m

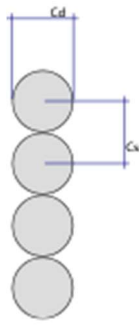
Materiale calcestruzzo : C25/30

Tipo sezione : Tangent

Spaziatura : 0.5 m

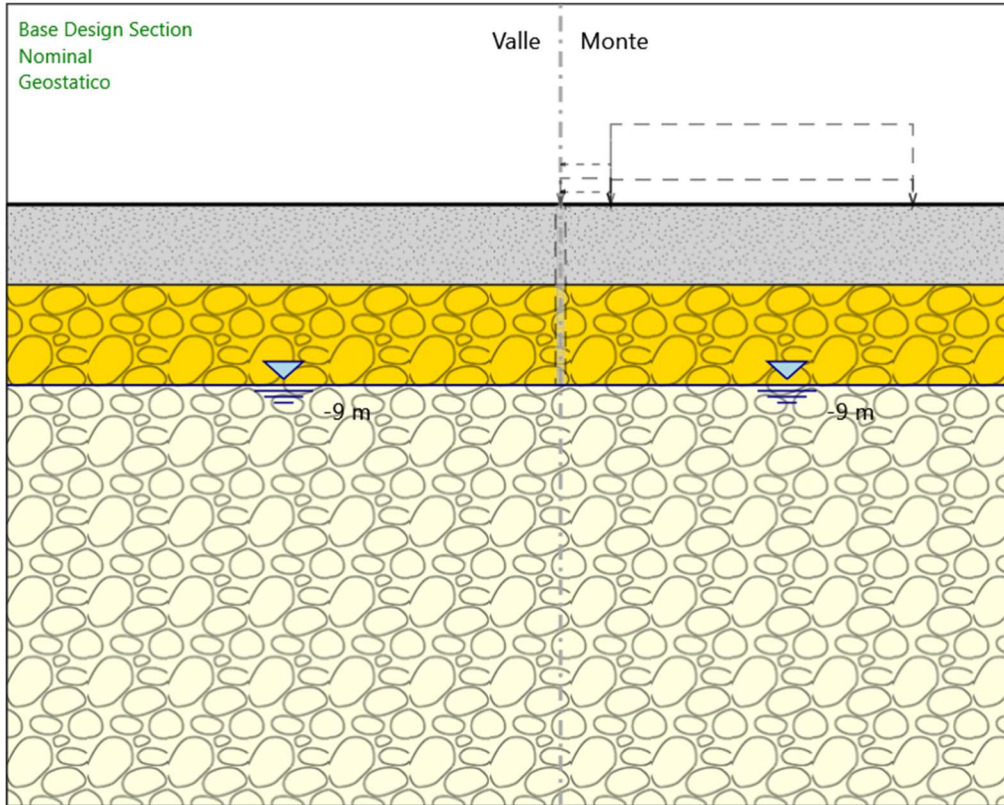
Diametro : 0.5 m

Efficacia : 1



# 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

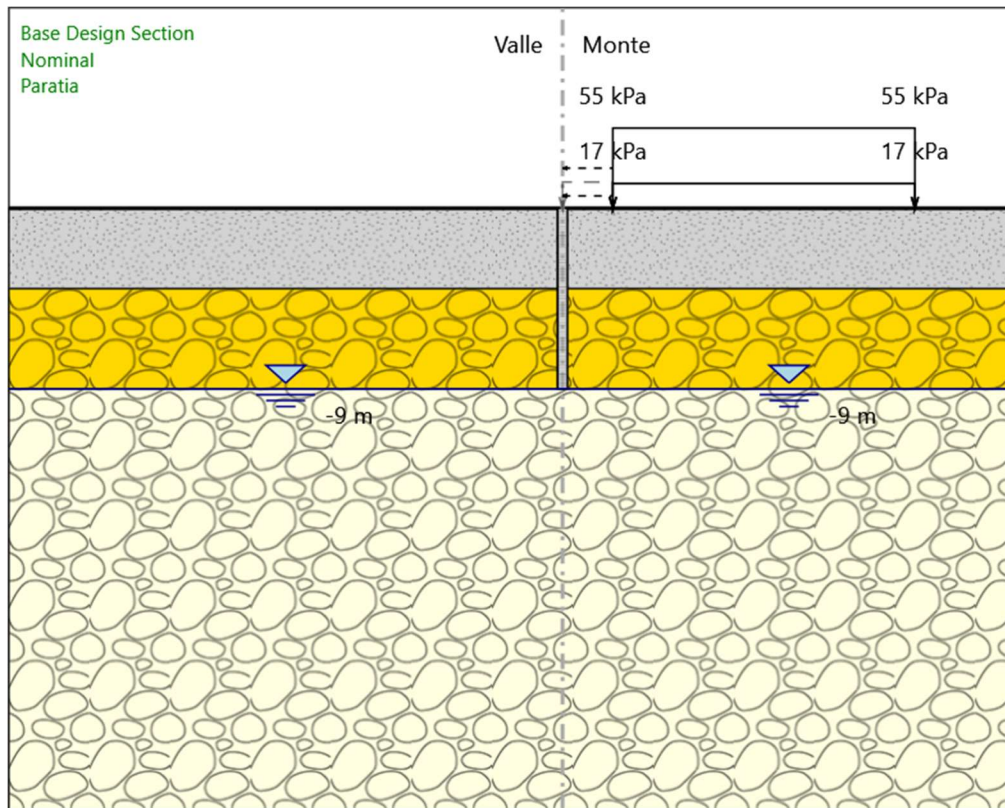
Elementi strutturali

Paratia : Paratia

ParatiePlus 2018 [v: 18.1.0]

X : 0 m  
Quota in alto : 0 m  
Quota di fondo : -18 m  
Sezione : Diaframma 2.40x1.00m

# Paratia



Paratia

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 : 10 m

X finale : 25 m

Pressione iniziale : 55 kPa

Pressione finale : 55 kPa

ParatiePlus 2018 [v: 18.1.0]



Carico lineare in superficie : Sovraccarico permanente ferroviario

X iniziale : 10 m

X finale : 25 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 : Diaframma 2.40x1.00m

Paratia : WallElement

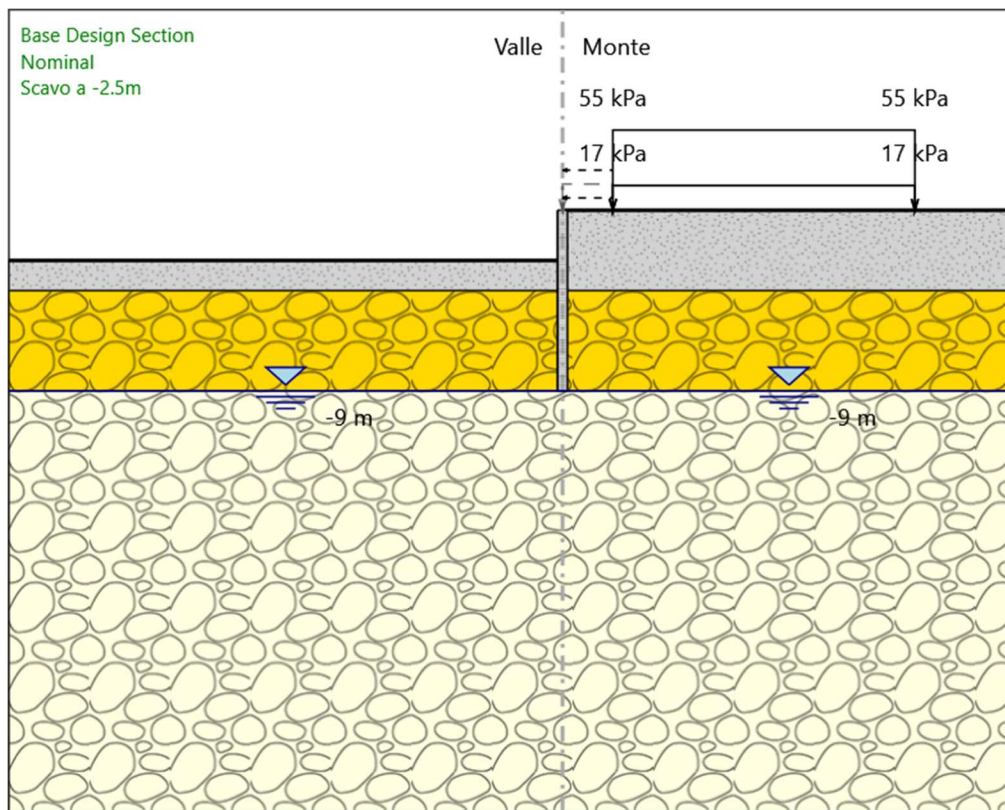
X : 7.5 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -9 m

Sezione : Paratia palo D500

## Scavo a -2.5m



Scavo a -2.5m

Scavo

Muro di destra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -2.5 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

-2.5 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 : 10 m

X finale : 25 m

Pressione iniziale : 55 kPa

Pressione finale : 55 kPa

Carico lineare in superficie : Sovraccarico permanente ferroviario

X iniziale : 10 m

X finale : 25 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 : Diaframma 2.40x1.00m

Paratia : WallElement

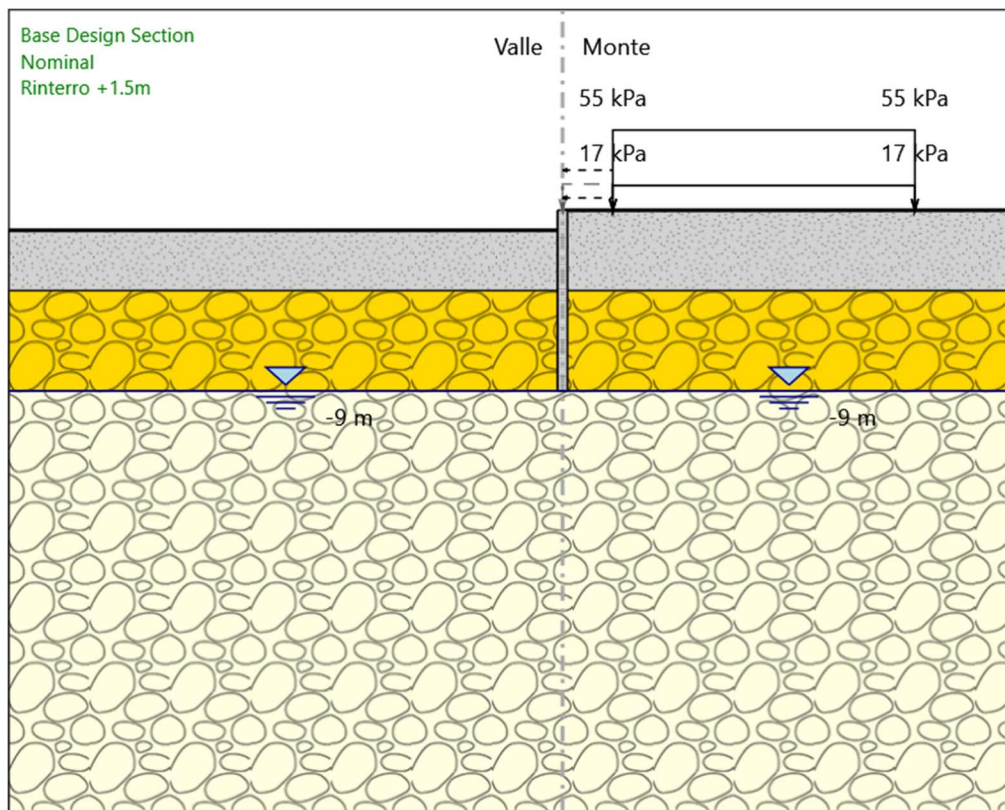
X : 7.5 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -9 m

Sezione : Paratia palo D500

## Rinterro +1.5m



Rinterro +1.5m

Scavo

Muro di destra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -1 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

-1 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 : 10 m

X finale : 25 m

Pressione iniziale : 55 kPa

Pressione finale : 55 kPa

Carico lineare in superficie : Sovraccarico permanente ferroviario

X iniziale : 10 m

X finale : 25 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 : Diaframma 2.40x1.00m

Paratia : WallElement

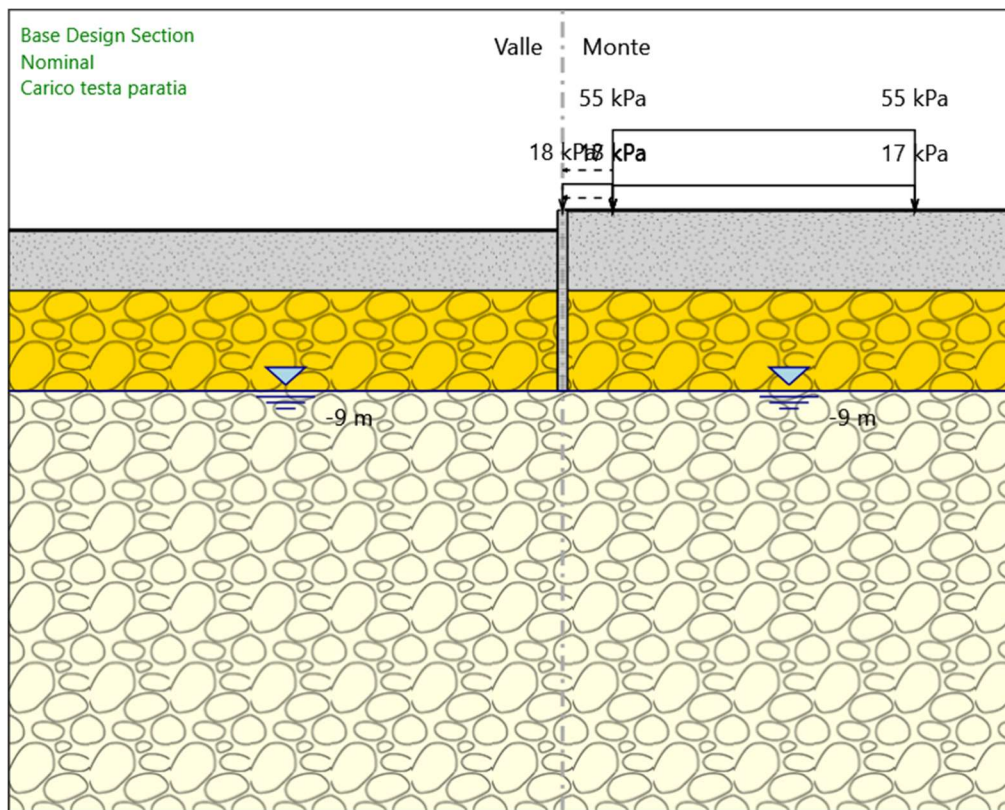
X : 7.5 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -9 m

Sezione : Paratia palo D500

## Carico testa paratia



Carico testa paratia

Scavo

Muro di destra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -1 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

-1 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 : 10 m

X finale : 25 m

Pressione iniziale : 55 kPa

Pressione finale : 55 kPa

Carico lineare in superficie : Rinterro

X iniziale : 7.5 m

X finale : 10 m

Pressione iniziale : 18 kPa

Pressione finale : 18 kPa

Carico lineare in superficie : Sovraccarico permanente ferroviario

X iniziale : 10 m

X finale : 25 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 : Diaframma 2.40x1.00m

Paratia : WallElement

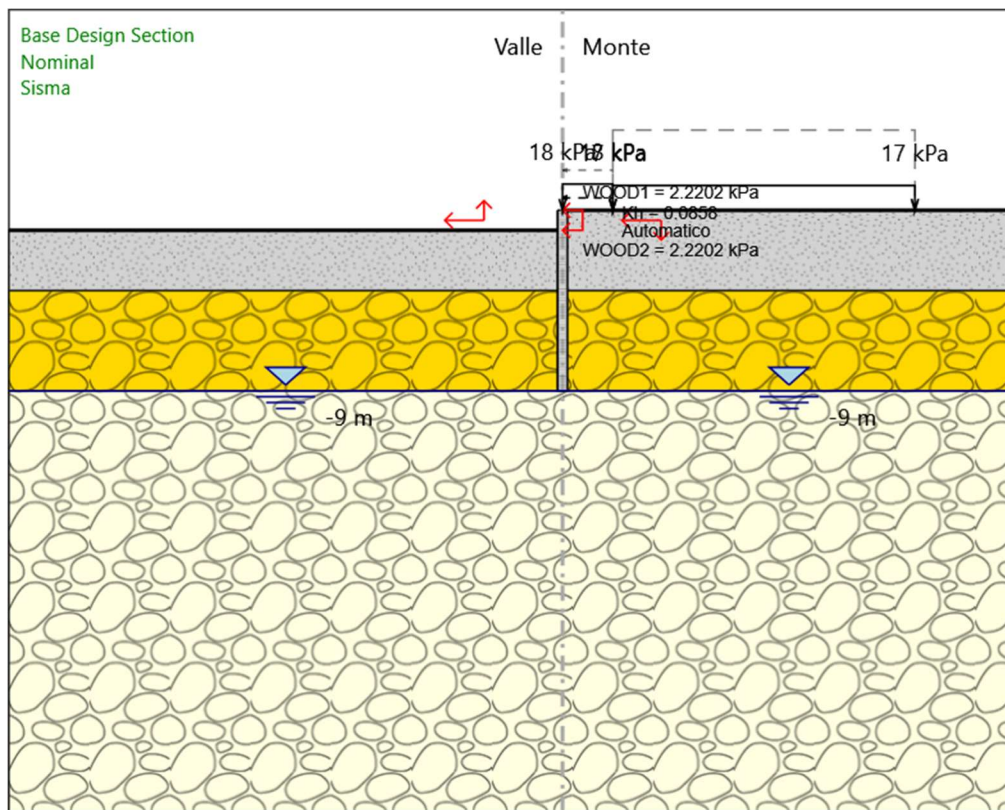
X : 7.5 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -9 m

Sezione : Paratia palo D500

# Sisma



Sisma

Scavo

Muro di destra

Lato monte : 0 m

Lato valle : -1 m

Linea di scavo di sinistra (Orizzontale)

-1 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 : Rinterro

X iniziale : 7.5 m

X finale : 10 m

Pressione iniziale : 18 kPa

Pressione finale : 18 kPa



Carico lineare in superficie : Sovraccarico permanente ferroviario

X iniziale : 10 m

X finale : 25 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 : Diaframma 2.40x1.00m

Paratia : WallElement

X : 7.5 m

Quota in alto : 0 m

Quota di fondo : -9 m

Sezione : Paratia palo D500

## 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 sioni Lato Mon te (F_ Wa- terD R)	Pres sioni Lato Vall e (F_ Wa- ter Res)	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
NTC2018 : SI- SMICA STR	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
NTC2018 : SI- SMICA GEO	1	1	1	1	1	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
NTC2018: SISMICA STR	1	1	1	1	1
NTC2018: SISMICA GEO	1	1	1	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
NTC2018: SISMICA STR	1	1.2	1.1	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	$\gamma_{Re}$	$\gamma_{ap}$	$\gamma_{at}$	
NTC2018: SISMICA GEO	1	1.2	1.1	1

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

### Tabella Inviluppi Spostamento Right wall

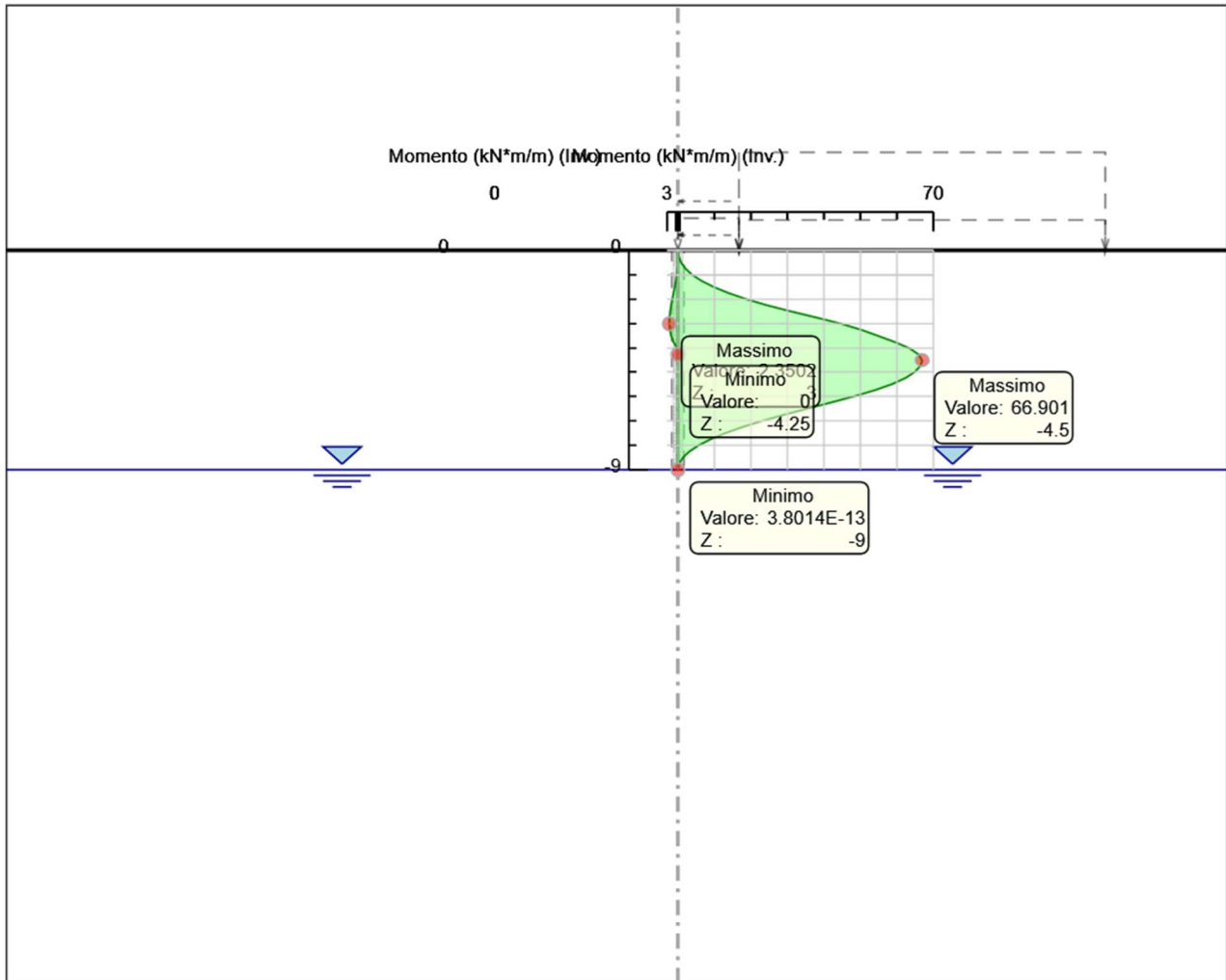
Design Assumption: Nominal Inviluppi: Spostamento Muro: RIGHT		
Z (m)	Lato sinistro (mm)	Lato destro (mm)
0	-3.96	0
-0.25	-3.733	0
-0.5	-3.506	0
-0.75	-3.278	0
-1	-3.052	0
-1.25	-2.826	0
-1.5	-2.602	0
-1.75	-2.381	0
-2	-2.172	0
-2.25	-1.972	0
-2.5	-1.775	0
-2.75	-1.583	0
-3	-1.398	0
-3.25	-1.221	0
-3.5	-1.055	0
-3.75	-0.899	0
-4	-0.757	0
-4.25	-0.629	0
-4.5	-0.516	0
-4.75	-0.418	0
-5	-0.335	0
-5.25	-0.266	0
-5.5	-0.212	0
-5.75	-0.169	0
-6	-0.137	0
-6.25	-0.114	0
-6.5	-0.099	0
-6.75	-0.091	0
-7	-0.087	0
-7.25	-0.086	0
-7.5	-0.089	0
-7.75	-0.093	0
-8	-0.099	0
-8.25	-0.105	0
-8.5	-0.112	0
-8.75	-0.119	0
-9	-0.127	0

## Tabella Involuppi Momento WallElement

Design Assumption: Nominal	Involuppi: Momento	Muro: WallElement
Z (m)	Lato sinistro (kN*m/m)	Lato destro (kN*m/m)
0	0	0
-0.25	0	0.228
-0.5	0.045	0.883
-0.75	0.149	2.078
-1	0.321	3.922
-1.25	0.559	6.524
-1.5	0.855	9.871
-1.75	1.189	13.975
-2	1.535	18.875
-2.25	1.862	24.583
-2.5	2.134	31.106
-2.75	2.311	38.1
-3	2.35	44.738
-3.25	2.209	50.335
-3.5	1.842	54.941
-3.75	1.174	59.494
-4	0.116	63.426
-4.25	0	65.938
-4.5	0	66.901
-4.75	0	66.493
-5	0	64.943
-5.25	0	62.404
-5.5	0	58.716
-5.75	0	53.981
-6	0	48.325
-6.25	0	42.046
-6.5	0	35.559
-6.75	0	29.209
-7	0	23.248
-7.25	0.047	17.824
-7.5	0.082	13.057
-7.75	0.083	9.02
-8	0.076	5.724
-8.25	0.058	3.185
-8.5	0.026	1.404
-8.75	0.007	0.347
-9	0	0

# Grafico Involuppi Momento

Valore:  
Z:



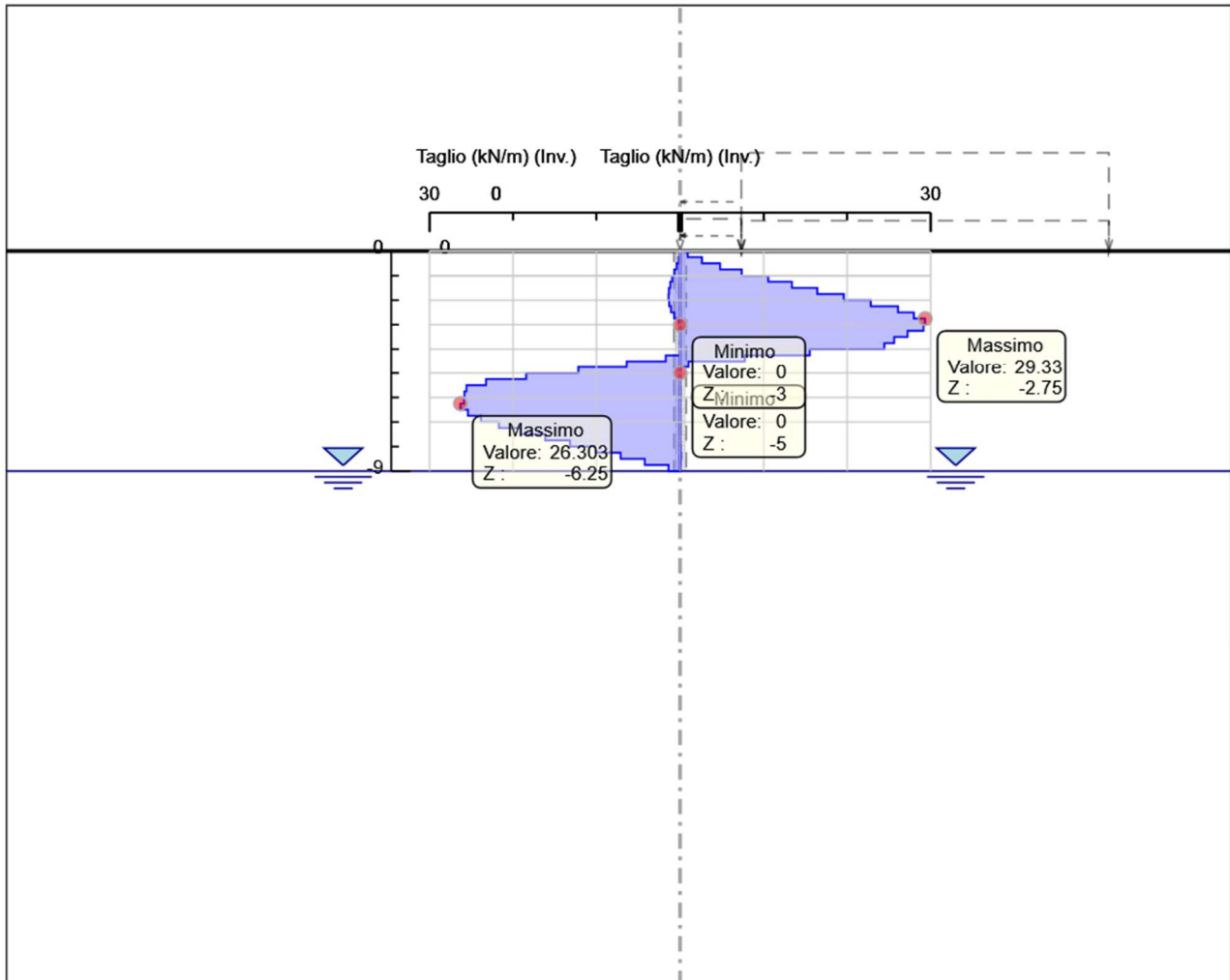
Momento

## Tabella Involuppi Taglio WallElement

Design Assumption: Nominal	Involuppi: Taglio	Muro: WallElement
Z (m)	Lato sinistro (kN/m)	Lato destro (kN/m)
0	0	0.91
-0.25	0.178	2.622
-0.5	0.417	4.781
-0.75	0.687	7.383
-1	0.955	10.553
-1.25	1.182	13.386
-1.5	1.336	16.419
-1.75	1.385	19.6
-2	1.385	22.832
-2.25	1.308	26.091
-2.5	1.087	27.975
-2.75	0.707	29.33
-3	0.159	29.33
-3.25	0	29.14
-3.5	0	27.223
-3.75	0	25.629
-4	0	24.446
-4.25	1.718	15.524
-4.5	6.404	7.758
-4.75	12.184	1.015
-5	18.429	0.047
-5.25	23.223	0
-5.5	25.565	0
-5.75	25.817	0
-6	25.867	0
-6.25	26.303	0
-6.5	26.303	0
-6.75	25.4	0
-7	23.844	0
-7.25	21.694	0
-7.5	19.068	0
-7.75	16.151	0.026
-8	13.184	0.072
-8.25	10.154	0.129
-8.5	7.124	0.129
-8.75	4.229	0.077
-9	1.388	0.027

# 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 -2.5m	Right wall	LEFT		27.05
NTC2018: A2+M2+R1 Geostatico	Right wall	RIGHT		15.84

## 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	5789.16
NTC2018: A2+M2+R1 Scavo a -2.5m		Right wall	RIGHT	4365.45

## ***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

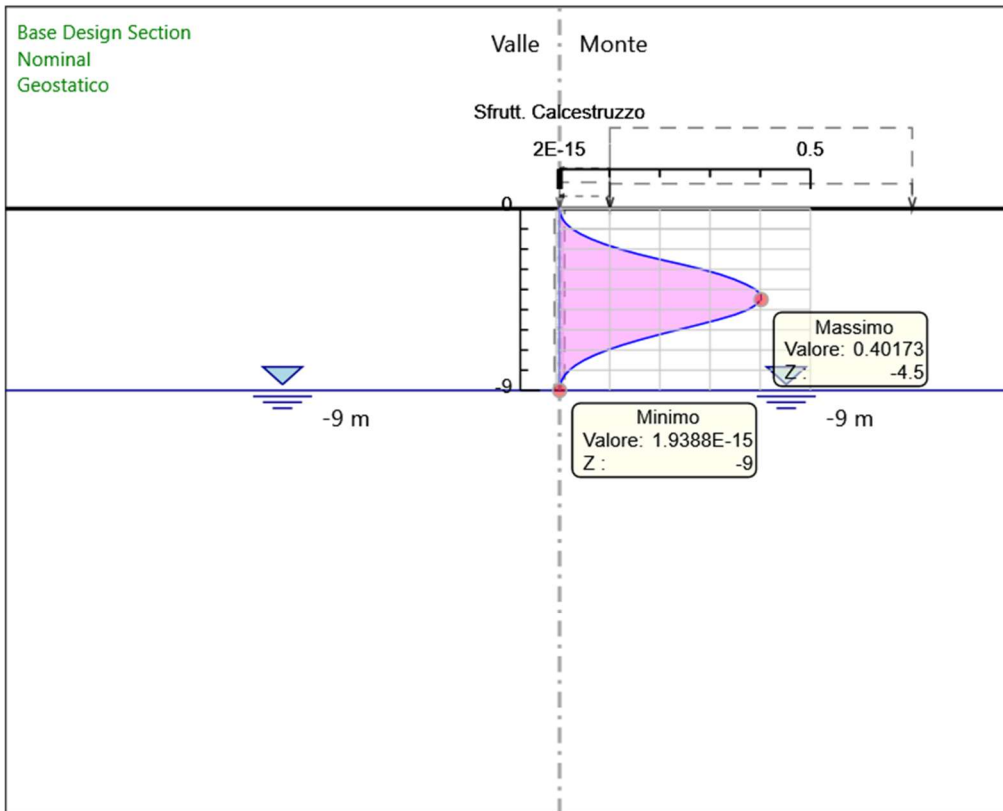
Design Assumption	Geostatico	Paratia	Scavo a -2.5m	Rinterro +1.5m	Carico testa	paratia	Sisma
NTC2018: SLE (Rara/Frequente/Quasi Permanente)	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: A2+M2+R1	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: SISMICA STR	V	V	V	V	V	V	V
NTC2018: SISMICA GEO	V	V	V	V	V	V	V

## Risultati Caver

Tabella Involuppi Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver : RIGHT

Involuppi Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver	RIGHT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Caver
0	0
-0.25	0.001
-0.5	0.005
-0.75	0.013
-1	0.025
-1.25	0.042
-1.5	0.063
-1.75	0.089
-2	0.12
-2.25	0.156
-2.5	0.198
-2.75	0.242
-3	0.284
-3.25	0.319
-3.5	0.349
-3.75	0.372
-4	0.391
-4.25	0.401
-4.5	0.402
-4.75	0.392
-5	0.376
-5.25	0.35
-5.5	0.315
-5.75	0.276
-6	0.236
-6.25	0.196
-6.5	0.159
-6.75	0.125
-7	0.096
-7.25	0.07
-7.5	0.049
-7.75	0.032
-8	0.019
-8.25	0.01
-8.5	0.004
-8.75	0.001
-9	0

# Grafico Involuppi Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Cover

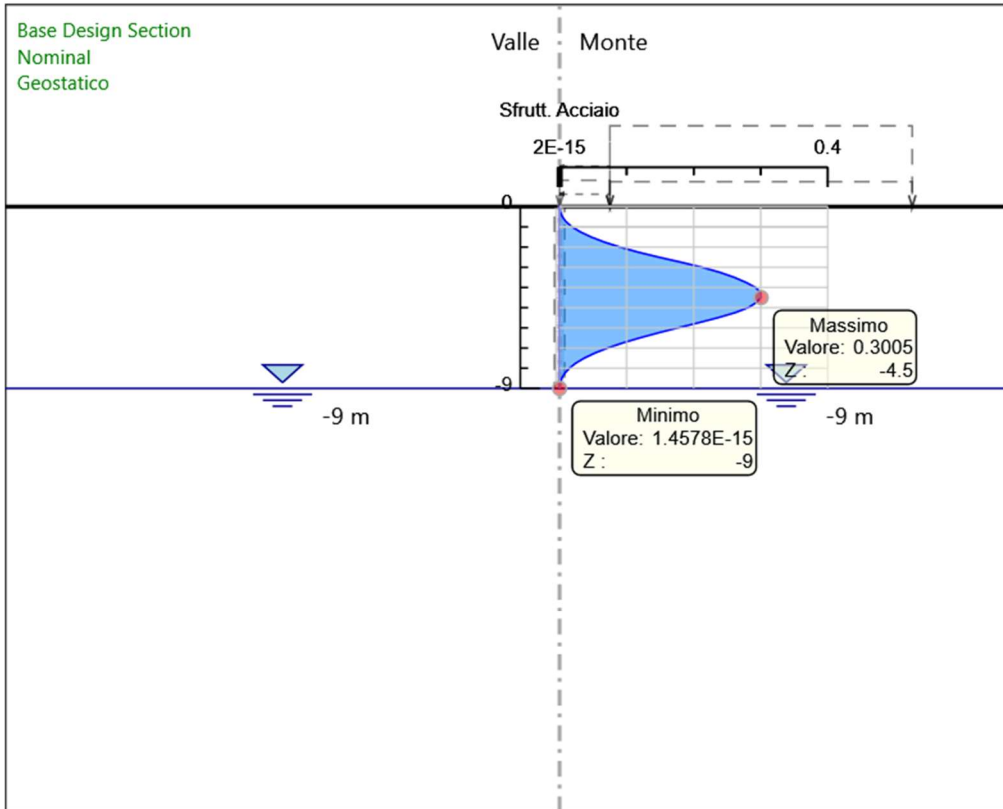


Involuppi  
Tasso di Sfruttamento Calcestruzzo - Cover

## Tabella Involuppi Tasso di Sfruttamento Armature - Cover : RIGHT

Involuppi Tasso di Sfruttamento Armature - Cover		RIGHT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento Armature - Cover	
0		0
-0.25		0.001
-0.5		0.004
-0.75		0.01
-1		0.019
-1.25		0.031
-1.5		0.047
-1.75		0.067
-2		0.09
-2.25		0.117
-2.5		0.148
-2.75		0.181
-3		0.213
-3.25		0.239
-3.5		0.261
-3.75		0.278
-4		0.292
-4.25		0.3
-4.5		0.3
-4.75		0.293
-5		0.281
-5.25		0.262
-5.5		0.236
-5.75		0.207
-6		0.177
-6.25		0.147
-6.5		0.119
-6.75		0.094
-7		0.071
-7.25		0.052
-7.5		0.037
-7.75		0.024
-8		0.014
-8.25		0.008
-8.5		0.003
-8.75		0.001
-9		0

# Grafico Involuppi Tasso di Sfruttamento Armature - Caver



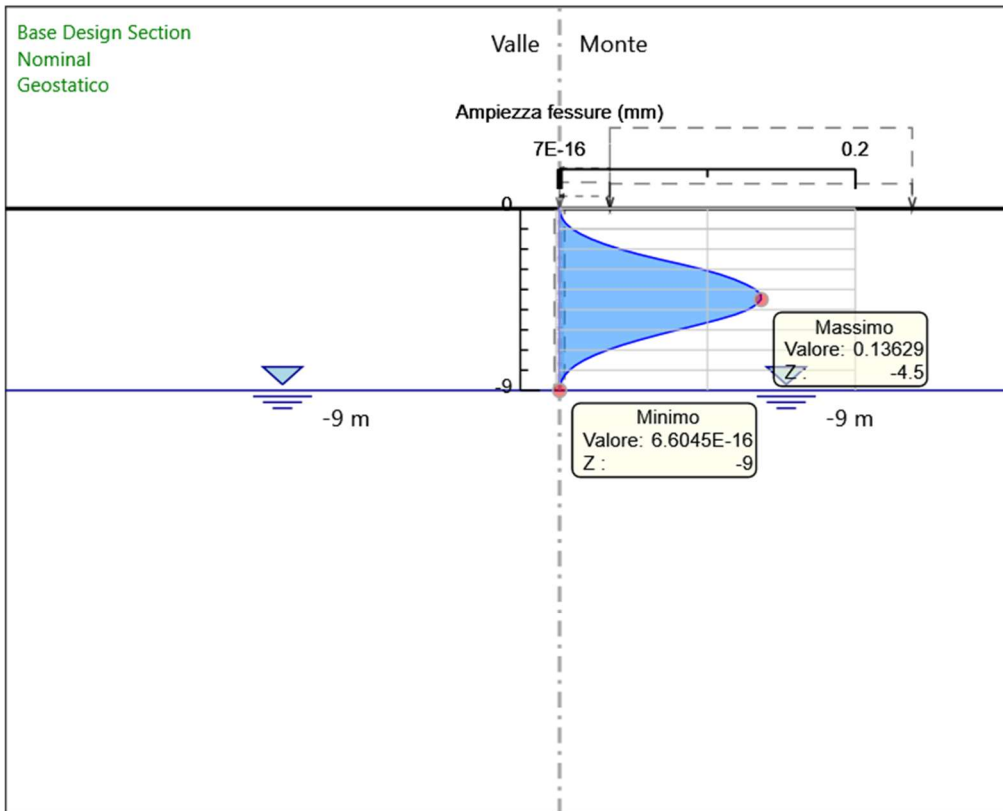
Involuppi  
Tasso di Sfruttamento Armature - Caver



## Tabella Inviluppi Apertura Fessure - Caver : RIGHT

Inviluppi Apertura Fessure - Caver	RIGHT
Z (m)	Apertura Fessure - Caver (mm)
0	0
-0.25	0
-0.5	0.002
-0.75	0.004
-1	0.008
-1.25	0.014
-1.5	0.021
-1.75	0.03
-2	0.041
-2.25	0.053
-2.5	0.067
-2.75	0.082
-3	0.096
-3.25	0.108
-3.5	0.118
-3.75	0.126
-4	0.133
-4.25	0.136
-4.5	0.136
-4.75	0.133
-5	0.128
-5.25	0.119
-5.5	0.107
-5.75	0.094
-6	0.08
-6.25	0.067
-6.5	0.054
-6.75	0.043
-7	0.032
-7.25	0.024
-7.5	0.017
-7.75	0.011
-8	0.007
-8.25	0.003
-8.5	0.001
-8.75	0
-9	0

# Grafico Inviluppi Apertura Fessure - Caver

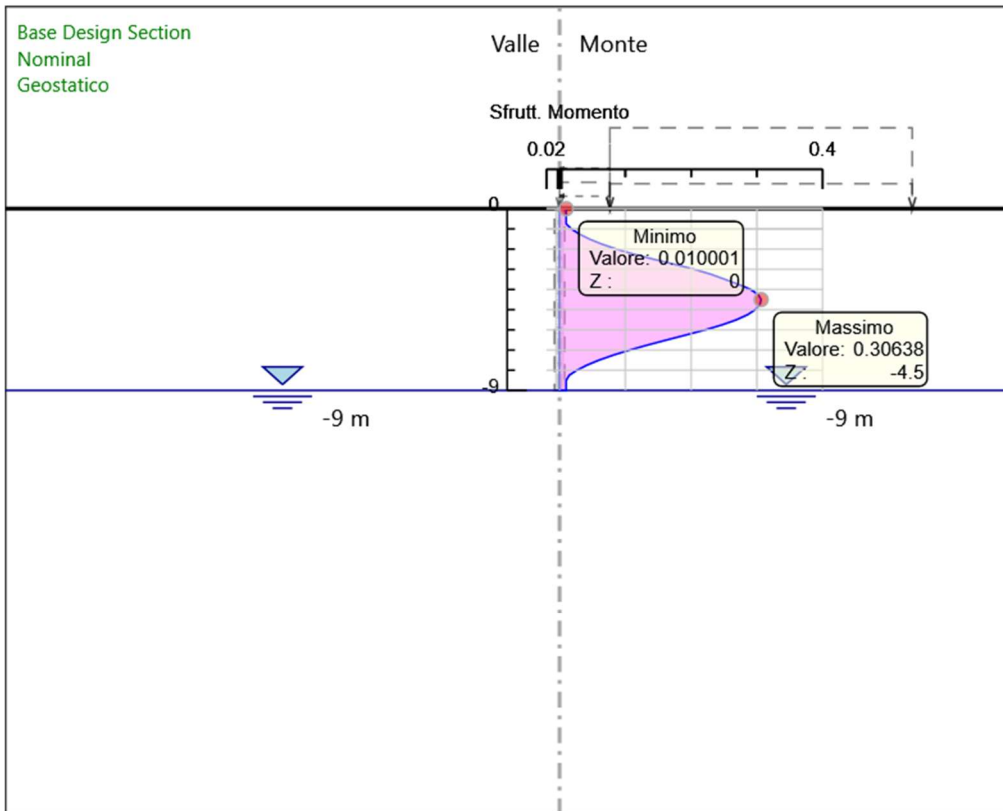


Inviluppi  
Apertura Fessure - Caver

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

Involuppi Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver	RIGHT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver
0	0.01
-0.25	0.01
-0.5	0.01
-0.75	0.01
-1	0.018
-1.25	0.03
-1.5	0.045
-1.75	0.064
-2	0.086
-2.25	0.113
-2.5	0.142
-2.75	0.174
-3	0.205
-3.25	0.231
-3.5	0.252
-3.75	0.272
-4	0.29
-4.25	0.302
-4.5	0.306
-4.75	0.305
-5	0.297
-5.25	0.286
-5.5	0.269
-5.75	0.247
-6	0.221
-6.25	0.193
-6.5	0.163
-6.75	0.134
-7	0.106
-7.25	0.082
-7.5	0.06
-7.75	0.041
-8	0.026
-8.25	0.015
-8.5	0.01
-8.75	0.01
-9	0.01

# Grafico Involuppi Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver

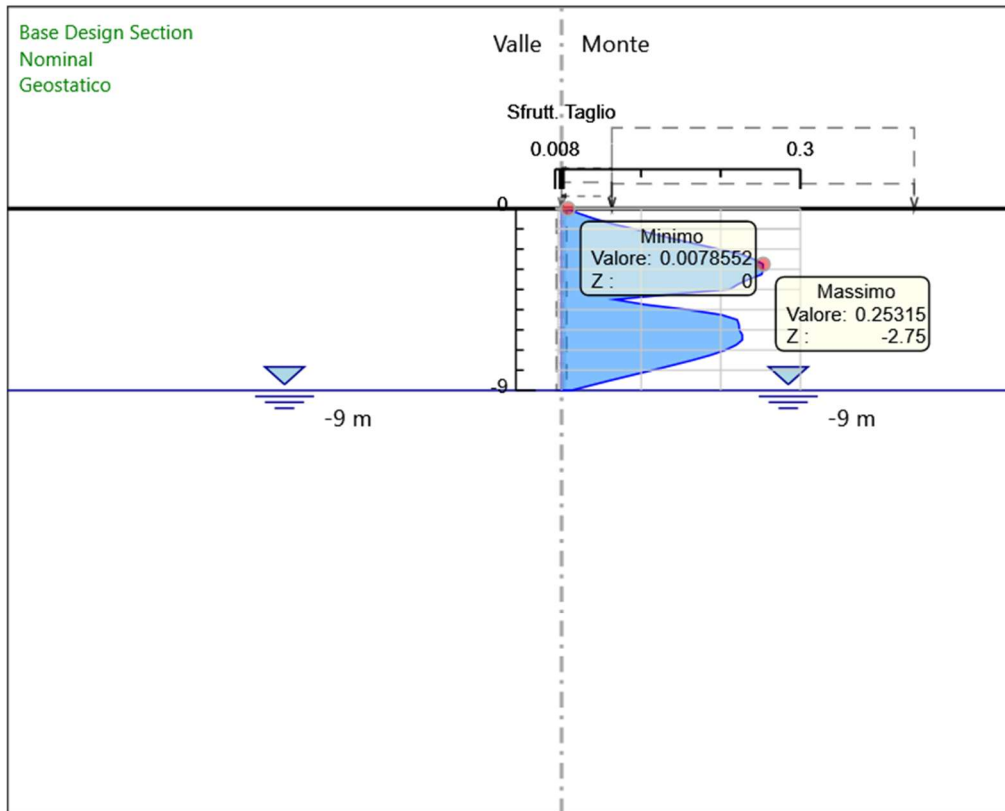


Involuppi  
Tasso di Sfruttamento a Momento - Caver

## Tabella Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver : RIGHT

Inviluppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver	RIGHT
Z (m)	Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver
0	0.008
-0.25	0.023
-0.5	0.041
-0.75	0.064
-1	0.091
-1.25	0.116
-1.5	0.142
-1.75	0.169
-2	0.197
-2.25	0.225
-2.5	0.241
-2.75	0.253
-3	0.253
-3.25	0.252
-3.5	0.235
-3.75	0.221
-4	0.211
-4.25	0.134
-4.5	0.067
-4.75	0.105
-5	0.159
-5.25	0.2
-5.5	0.221
-5.75	0.223
-6	0.223
-6.25	0.227
-6.5	0.227
-6.75	0.219
-7	0.206
-7.25	0.187
-7.5	0.165
-7.75	0.139
-8	0.114
-8.25	0.088
-8.5	0.061
-8.75	0.037
-9	0.012

# Grafico Involuppi Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver



Involuppi  
Tasso di Sfruttamento a Taglio - Caver

