

**S.S. 45bis - Gardesana Occidentale**

Opere di costruzione della galleria in variante tra il km 86+567 e il km 88+800 finalizzata a sottendere le attuali gallerie ogivali a sezione ristretta

**PROGETTO DEFINITIVO**

COD. MI92

**PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI**

**PROGETTISTA:**

*Dott. Ing. Antonio Scalamandrè  
Ordine Ing. di Frosinone n. 1063*

**IL GEOLOGO**

*Dott. Geol. Serena Majetta  
Ordine Geol. di Roma n. 928*

**IL RESPONSABILE DEL S.I.A.**

*Dott. Ing. Laura Troiani  
Ordine Ing. di Roma n. 31890*

**COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE**

*Geom. Fabio Quondam*

**VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO**

*Dott. Ing. Giancarlo Luongo*

PROTOCOLLO

DATA

**GALLERIE NATURALI**

**GALLERIA NATURALE MUSLONE**

Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

**CODICE PROGETTO**

PROGETTO

LIV. PROG.

**DPMI0092 D 18**

**NOME FILE**

T00GA01OSTRE01A

REVISIONE

SCALA

CODICE  
ELAB.

**T00GA01OSTRE01**

**A**

-

D

C

B

A

EMISSIONE

Gen 2020

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

**INDICE**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. DESCRIZIONE DELL'OPERA.....</b>                                    | <b>4</b>  |
| <b>2. VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO .....</b>     | <b>5</b>  |
| <b>3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>                                 | <b>6</b>  |
| <b>4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....</b>                             | <b>7</b>  |
| <b>4.1 CALCESTRUZZI.....</b>   | <b>7</b>  |
| 4.1.1 Cordoli.....   | 7         |
| <b>4.2 MALTE .....</b>   | <b>7</b>  |
| 4.2.1 Malta micropali e tiranti.....                                     | 7         |
| <b>4.3 ACCIAI.....</b>   | <b>7</b>  |
| 4.3.1 Acciaio da c.a.....  | 7         |
| 4.3.2 Acciaio da carpenteria .....                                       | 7         |
| 4.3.3 Acciaio da c.a.p.....  | 8         |
| <b>5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>                             | <b>9</b>  |
| <b>6. METODOLOGIA DI CALCOLO.....</b>                                    | <b>11</b> |
| <b>6.1 ANALISI CON IL SOFTWARE PARATIE PLUS .....</b>                    | <b>11</b> |
| <b>6.2 COEFFICIENTI DI SPINTA.....</b>                                   | <b>11</b> |
| <b>6.3 CARICHI .....</b>   | <b>11</b> |
| 6.3.1 Sovraccarichi a monte .....  | 11        |
| 6.3.2 Azioni sismiche .....  | 12        |
| Categoria di sottosuolo e categoria topografica .....                    | 13        |
| Coefficienti di riduzione dell'azione sismica.....                       | 13        |
| Applicazione al caso in esame .....                                      | 13        |
| <b>6.4 VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) .....</b> | <b>13</b> |
| 6.4.1 Verifiche della paratia.....                                       | 14        |
| 6.4.2 Verifiche dei tiranti .....  | 14        |
| 6.4.3 Verifiche delle travi di ripartizione .....                        | 16        |
| <b>6.5 SEZIONI DI CALCOLO.....</b>                                       | <b>16</b> |

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>7. SEZIONE 1 – SEZIONE LONGITUDINALE - H<sub>SCAVO</sub> = 14.50 M</b> .....     | <b>18</b> |
| 7.1 GEOMETRIA SEZIONE.....  | 18        |
| 7.2 FASI DI CALCOLO.....  | 19        |
| 7.3 DATI DI INPUT .....   | 20        |
| 7.3.1 Caratteristiche paratia.....  | 20        |
| 7.3.2 Tiranti.....  | 21        |
| 7.4 RISULTATI DELL'ANALISI.....   | 25        |
| 7.4.1 Sollecitazioni.....   | 25        |
| 7.4.2 Spostamenti.....  | 28        |
| 7.4.3 Tiro sui tiranti.....   | 29        |
| 7.5 VERIFICHE.....  | 30        |
| 7.5.1 Verifiche strutturali paratia.....  | 30        |
| 7.5.2 Verifiche sui tiranti.....  | 32        |
| 7.5.3 Verifiche sulle travi portatiranti in acciaio.....                            | 32        |
| 7.5.4 Verifiche sul cordolo di testa paratia in c.a.....                            | 33        |
| 7.5.5 Verifica del grado di mobilitazione della spinta passiva.....                 | 33        |
| 7.5.6 Verifica di stabilità globale.....  | 33        |
| <b>8. SEZIONE 2 – SEZIONE TRASVERSALE MONTE - H<sub>SCAVO</sub> = 14.50 M</b> ..... | <b>37</b> |
| 8.1 GEOMETRIA SEZIONE.....  | 37        |
| 8.2 FASI DI CALCOLO.....  | 38        |
| 8.3 DATI DI INPUT .....   | 38        |
| 8.3.1 Caratteristiche paratia.....  | 38        |
| 8.3.2 Tiranti.....  | 39        |
| 8.4 RISULTATI DELL'ANALISI.....   | 42        |
| 8.4.1 Sollecitazioni.....   | 42        |
| 8.4.2 Spostamenti.....  | 45        |
| 8.4.3 Tiro sui tiranti.....   | 46        |
| 8.5 VERIFICHE.....  | 47        |
| 8.5.1 Verifiche strutturali paratia.....  | 47        |
| 8.5.2 Verifiche sui tiranti.....  | 49        |

---

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

---

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| 8.5.3      | Verifiche sulle travi portatiranti in acciaio .....                                 | 49        |
| 8.5.4      | Verifica del grado di mobilitazione della spinta passiva .....                      | 49        |
| 8.5.5      | Verifica di stabilità globale.....  | 49        |
| <b>9.</b>  | <b>SEZIONE 3 – SEZIONE TRASVERSALE VALLE- <math>H_{SCAVO} = 8.50 M</math> .....</b> | <b>52</b> |
| <b>9.1</b> | <b>GEOMETRIA SEZIONE .....</b>  | <b>52</b> |
| <b>9.2</b> | <b>FASI DI CALCOLO.....</b>   | <b>52</b> |
| <b>9.3</b> | <b>DATI DI INPUT .....</b>  | <b>53</b> |
| 9.3.1      | Caratteristiche paratia.....  | 53        |
| 9.3.2      | Tiranti.....  | 54        |
| <b>9.4</b> | <b>RISULTATI DELL'ANALISI.....</b>  | <b>56</b> |
| 9.4.1      | Sollecitazioni .....  | 56        |
| 9.4.2      | Spostamenti .....   | 59        |
| 9.4.3      | Tiro sui tiranti .....  | 60        |
| <b>9.5</b> | <b>VERIFICHE.....</b>   | <b>61</b> |
| 9.5.1      | Verifiche strutturali paratia.....  | 61        |
| 9.5.2      | Verifiche sui tiranti.....  | 62        |
| 9.5.3      | Verifiche sulle travi portatiranti in acciaio .....                                 | 63        |
| 9.5.4      | Verifica del grado di mobilitazione della spinta passiva .....                      | 63        |
| 9.5.5      | Verifica di stabilità globale.....  | 63        |

---

GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone  
Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

---

## 1. DESCRIZIONE DELL'OPERA

La presente relazione si inserisce nell'ambito del progetto definitivo per la costruzione della *Galleria in variante tra il km 86+576 e il km 88+800, finalizzata a sottendere le attuali gallerie ogivali a sezione ristretta.*

Nel dettaglio si riportano le principali verifiche statiche e sismiche della *paratia di micropali d'imbocco sud della Galleria Muslone.*

L'opera consiste in una paratia provvisoria di micropali *multitirantata* avente le seguenti caratteristiche:

- Diametro perforazione:  $\phi 240$  mm.
- Lunghezza: variabile da 12 m a 21 m.
- Interasse: 40 cm.
- Armatura: tubi in acciaio dn193.7 mm sp10 mm.

I tiranti sono provvisori, sono previsti in acciaio armonico e presentano le seguenti caratteristiche:

- Attivi a 3-4-5 trefoli.
- Inclinati di  $0^{\circ}$ - $25^{\circ}$ - $35^{\circ}$  rispetto all'orizzontale
- Posti a un interasse orizzontale di 2.4m.

Le travi portatiranti degli ordini intermedi sono costituite da profilati in acciaio tipo *HEB180* accoppiati.

Le verifiche sono state condotte su 3 sezioni di calcolo.

Si presentano inoltre le verifiche di stabilità globale dell'ammasso interessato dall'opera sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche.

---

GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone  
Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

---

## 2. VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Considerato che l'opera in esame è necessaria per lo scavo della galleria naturale, la cui durata può essere superiore a due anni, si assume una vita nominale pari a 10 anni.

La classe d'uso assunta è pari a IV:

|  |         |
|--|---------|
| Vita nominale $V_N$ :  | 10 anni |
| Classe d'uso:  | IV      |
| Coefficiente d'uso $C_U$ :                                     | 2       |
| Periodo di riferimento $V_R = 10 \times 2 = 20$ anni, per cui: | 20 anni |

Alla luce di quanto riportato nel par.C2.4.3 della Circolare 2019, in via cautelativa si assume comunque un periodo di riferimento pari a 35 anni.

Periodo di riferimento  $V_R =$  35 anni

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

---

### 3. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Tutti i calcoli riportati nella presente relazione sono stati eseguiti nel rispetto della seguente normativa vigente:

**1 – D.M. 17-01-2018**

“Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”.

**2 – Circolare 21/01/2019 n. 7**

C.S.LL.PP. Istruzioni per l’applicazione dell’ “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al DM 17/01/2018

---

GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone  
Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

---

## 4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

### 4.1 CALCESTRUZZI

#### 4.1.1 Cordoli

##### CORDOLI PARATIE PROVVISORIALI

- CLASSE DI RESISTENZA A 28gg : C25/30
- COPRIFERRO : C = 40 mm

### 4.2 MALTE

#### 4.2.1 Malta micropali e tiranti

##### MALTA PER INIEZIONE TIRANTI E MICROPALI

- CLASSE DI RESISTENZA : C25/30
- RAPPORTO a/c : 0.5

### 4.3 ACCIAI

#### 4.3.1 Acciaio da c.a.

##### ACCIAIO D'ARMATURA

- ACCIAIO PER CEMENTO ARMATO B450 C SALDABILE
- TENSIONE CARATTERISTICA DI SNERVAMENTO ( $f_{yk}$ ) : 450 MPa
- TENSIONE CARATTERISTICA DI ROTTURA ( $f_{tk}$ ) : 540 MPa
- $f_{yk} \geq f_{ynom}$  frattile 5%
- $f_{tk} \geq f_{tnom}$  frattile 5%
- $1.15 \leq (f_t/f_y)_k \leq 1.35$  frattile 10%
- $(f_y/f_{ynom})_k \leq 1.25$  frattile 10%

#### 4.3.2 Acciaio da carpenteria

##### TUBI PER MICROPALI

- ACCIAIO EN 10025–S355 JO

##### PROFILI METALLICI

- ACCIAIO EN 10025–S355 JR

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

---

**4.3.3 Acciaio da c.a.p.**

ACCIAIO ARMONICO STABILIZZATO PER TREFOLI

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| – TENSIONE CARATTERISTICA DI ROTTURA             | : $F_{ptk} = 1860 \text{ MPa}$   |
| – TENSIONE CARATT. ALL'1% DI DEFORMAZIONE TOTALE | : $F_{p(1)k} = 1670 \text{ MPa}$ |
| – ALLUNGAMENTO SOTTO CARICO MASSIMO $A_{gt}$     | : $\geq 3.5 \%$                  |

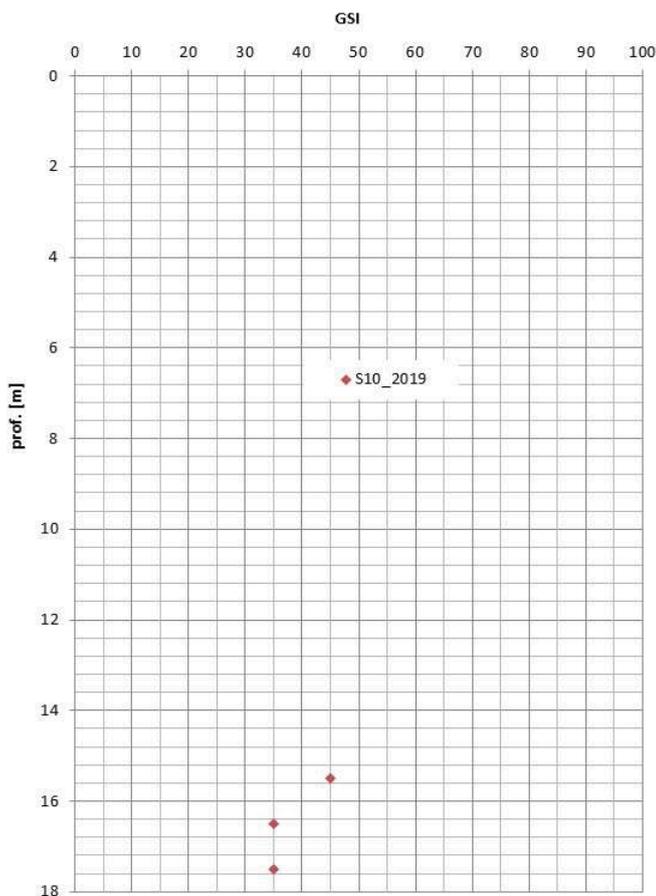
**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

## 5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Nel seguito si riportano i parametri geotecnici caratteristici e ridotti delle varie unità assunti nei calcoli.

| STRATO                             | spessore strato<br>(m) | PESO<br>$\gamma$<br>(kN/m <sup>3</sup> ) | RESISTENZA<br>(parametri caratteristici) |         | RESISTENZA<br>(parametri ridotti)<br>A2+M2 |         | RIGIDEZZA |       |
|------------------------------------|------------------------|--|--|---------|--|---------|-----------|-------|
|                                    |                        |  | c'                                       | $\phi'$ | c'   | $\phi'$ | E'vc      | E'url |
|                                    |                        |  | (kPa)                                    | (°)     | (kPa)                                      | (°)     | (MPa)     | (MPa) |
| Unità A - Coltre eluvio-colluviale | 11.5                   | 20.0                                     | 0  | 32      | 0  | 26.6    | 35        | 56    |
| Unità C - Calcare                  | -                      | 26.0                                     | 135                                      | 45      | 108.0                                      | 38.7    | 500       | 500   |

Per la determinazione delle caratteristiche di **resistenza** dell'unità C si è fatto riferimento al sondaggio S10\_2019, ubicato in corrispondenza dell'imbocco. Dall'analisi del sondaggio si è stimato un GSI per l'ammasso calcareo pari a 35.



La resistenza a compressione uniaassiale determinata da una prova di schiacciamento su un campione estratto a quota -15.60 m è risultata essere pari a 46.8 MPa.

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

Il calcolo dei parametri di resistenza del criterio di Mohr-Coulomb equivalenti è stato condotto assumendo i seguenti parametri:

- |                                       |                              |
|---------------------------------------|------------------------------|
| • Fattore di disturbo                 | $D = 0.5$                    |
| • Resistenza a compressione uniaxiale | $\sigma_c = 46 \text{ MPa}$  |
| • GSI = 35                            |                              |
| • Costante materiale                  | $m_i = 8$                    |
| • Peso dell'unità di volume           | $\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$ |
| • Applicazione                        | Stabilità pendii             |
| • Altezza pendio                      | $H = 14.5 \text{ m}$         |

Dall'analisi con RocLab si ottiene quanto sotto.

**Analysis of Rock Strength using RocLab**

**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 46 MPa  
GSI = 35  $m_i = 8$  Disturbance factor (D) = 0.5  
intact modulus ( $E_i$ ) = 39000 MPa

**Hoek-Brown Criterion**

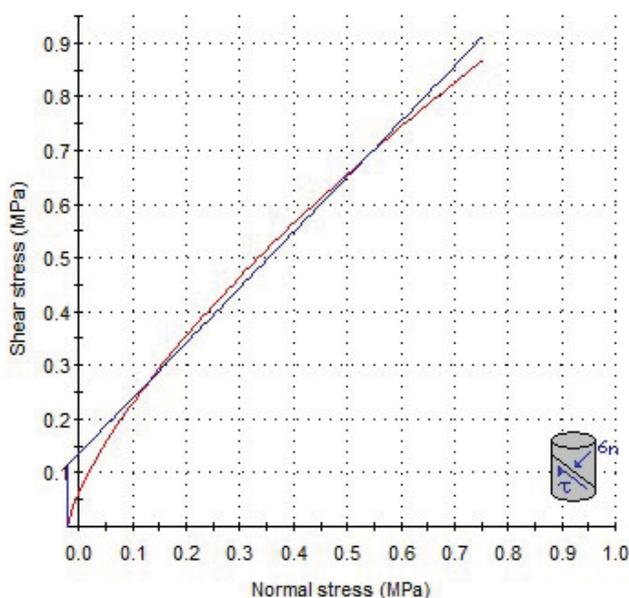
$m_b = 0.362$   $s = 0.0002$   $a = 0.516$

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.136 MPa friction angle = 45.84 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.022 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.526 MPa  
global strength = 3.405 MPa  
deformation modulus = 2228.52 MPa



In termini di rigidezza si è assunto un valore cautelativo pari a 500 MPa.

---

GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone  
Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

---

## 6. METODOLOGIA DI CALCOLO

### 6.1 ANALISI CON IL SOFTWARE PARATIE PLUS

Le analisi di stabilità locale delle opere di sostegno e quelle per la valutazione delle sollecitazioni negli elementi resistenti (micropali e tiranti) sono state condotte mediante l'ausilio del codice di calcolo **PARATIE PLUS 20** prodotto da Harpaceas..

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 viene a dipendere dal percorso tensio-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 legge costitutiva, rappresentativa del comportamento elasto-plastico del terreno, è identificata dai parametri di spinta e di deformabilità del terreno.

### 6.2 COEFFICIENTI DI SPINTA

Il coefficiente di spinta a riposo relativo a ciascun strato che compone il modello geotecnici, è stato valutato con la formula di Jaky.

I coefficienti di spinta attiva sono stati valutati in accordo alla formulazione di Coulomb tenendo opportunamente conto dell'angolo di attrito muro-terreno, e dell'inclinazione del versante a monte dell'opera.

I coefficienti di spinta passiva sono stati valutati con riferimento alle formulazioni proposte da Caquot-Kerisel.

L'angolo d'attrito muro-terreno è assunto pari a  $\frac{2}{3} \phi'$ .

### 6.3 CARICHI

#### 6.3.1 Sovraccarichi a monte

Al fine di tenere conto dell'inclinazione della scarpata a monte della paratia, il carico verticale dovuto al terreno presente al di sopra della quota di testa paratia è introdotto nel modello attraverso

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

L'applicazione di più sovraccarichi equivalenti, di entità linearmente crescente con la distanza dai pali. L'iesima striscia di carico è pari a:

$$p_v = \gamma_t \times h_{ti}$$

essendo  $\gamma_t$  il peso di volume relativo allo strato di terreno superficiale e  $h_{ti}$  l'altezza di terreno della iesima striscia.

Detti carichi sono applicati automaticamente dal software di calcolo.

E' stato comunque considerato un sovraccarico accidentale attivo durante le operazioni di scavo di intensità pari a 10 kPa.

### 6.3.2 Azioni sismiche

L'incremento di spinta delle terre in fase sismica è stato valutato in accordo alla teoria di Wood valida per manufatti di elevata rigidità.

La componente orizzontale dell'accelerazione equivalente agente sui pali è fornita dalla:

$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$$

Dove:

$g$  è l'accelerazione di gravità;

$k_h$  è il coefficiente sismico in direzione orizzontale;

$\alpha$  è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni;

$\beta$  è un coefficiente che tiene conto della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.

L'accelerazione di picco  $a_{max}$  è fornita da:

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

In accordo a quanto previsto dalla norma si trascura la componente verticale dell'accelerazione:

$$a_v = 0$$

Per quanto sopra l'incremento dinamico di spinta del terreno risulta pari a:

$$\Delta P = \gamma H^2 k_h / g$$

Essendo  $\gamma$  il peso specifico "medio" del terreno, ponderato sull'intera altezza di scavo del manufatto.

### Parametri per la valutazione dell'azione sismica

Considerando l'ubicazione del sito in oggetto (Long: 10.700; Lat: 45.700) e il periodo di riferimento prima riportato si ottiene, per la configurazione di esercizio:

Accelerazione massima sul suolo di riferimento rigido: 0.137 g

Ai fini delle verifiche delle strutture lo stato limite di riferimento è quello di Salvaguardia della vita SLV.

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

### Categoria di sottosuolo e categoria topografica

In accordo alle NTC2008, ai fini dell'identificazione della categoria di sottosuolo la classificazione è stata effettuata in base ai valori della velocità equivalente  $V_{S30}$  di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità:

|                          |                |
|--------------------------|----------------|
| Categoria di sottosuolo: | E              |
| Coefficiente $S_S$ :     | 1.6            |
| Categoria topografica:   | T <sub>2</sub> |
| Coefficiente $S_T$ :     | 1.2            |

### Coefficienti di riduzione dell'azione sismica

Il valore assunto per  $\alpha$  è dedotto dalla curva di figura 7.11.2 delle NTC 2018, in funzione della categoria di sottosuolo e dell'altezza complessiva della paratia:

$$\alpha = 0.75 \quad \text{Per le sezioni di calcolo 1 e 2}$$

$$\alpha = 0.85 \quad \text{Per le sezioni di calcolo 1 e 2}$$

In via cautelativa si assume:

$$\beta = 1$$

### Applicazione al caso in esame

Sulla base delle ipotesi illustrate, per il caso in esame si ottiene:

$$a_{\max} = 0.75 \times 1 \times 1.6 \times 1.2 \times 0.137 \text{ g} = 0.113 \text{ g} \quad \text{e quindi:} \quad k_h = 0.197 \text{ g}$$

$$a_{\max} = 0.85 \times 1 \times 1.6 \times 1.2 \times 0.137 \text{ g} = 0.113 \text{ g} \quad \text{e quindi:} \quad k_h = 0.223 \text{ g}$$

## 6.4 VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)

Deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

Dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni ed  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del terreno.

La resistenza  $R_d$  è stata determinata nei casi in oggetto con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici di resistenza, divisi per il coefficiente parziale  $\gamma_m$  specificato nella tabella 6.2. Il delle suddette norme:

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

**Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

| Parametro                                    | Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale | Coefficiente parziale $\gamma_M$ | (M1) | (M2) |
|--|---|----------------------------------|------|------|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \varphi'_k$                                       | $\gamma_{\varphi'}$              | 1,0  | 1,25 |
| Coesione efficace                            | $c'_k$  | $\gamma_{c'}$                    | 1,0  | 1,25 |
| Resistenza non drenata                       | $c_{uk}$  | $\gamma_{cu}$                    | 1,0  | 1,4  |
| Peso dell'unità di volume                    | $\gamma_\gamma$   | $\gamma_\gamma$                  | 1,0  | 1,0  |

Le Azioni ed i relativi coefficienti parziali  $\gamma_f$  sono indicate nella tabella 6.2.I delle norme:

**Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni**

|                                | Effetto     | Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ ) | EQU | (A1) | (A2) |
|--------------------------------|-------------|--|-----|------|------|
| Carichi permanenti $G_1$       | Favorevole  | $\gamma_{G1}$                                    | 0,9 | 1,0  | 1,0  |
|                                | Sfavorevole |  | 1,1 | 1,3  | 1,0  |
| Carichi permanenti $G_2^{(1)}$ | Favorevole  | $\gamma_{G2}$                                    | 0,8 | 0,8  | 0,8  |
|                                | Sfavorevole |  | 1,5 | 1,5  | 1,3  |
| Azioni variabili Q             | Favorevole  | $\gamma_Q$                                       | 0,0 | 0,0  | 0,0  |
|                                | Sfavorevole |  | 1,5 | 1,5  | 1,3  |

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{e1}$

Le verifiche agli SLU strutturali sono state condotte per le combinazioni A1 + M1, mentre le verifiche agli SLU geotecniche con le combinazioni A2 + M2.

#### 6.4.1 Verifiche della paratia

Le verifiche di resistenza dei micropali sono state effettuate considerando reagenti le sole armature, costituite da tubi in acciaio. Tale armatura è stata verificata secondo le norme tecniche determinando, come prescritto, la resistenza di calcolo delle membrature e confrontandola con le sollecitazioni derivanti dalla combinazione più gravosa.

Nello specifico, le verifiche di resistenza sono condotte in campo elastico.

#### 6.4.2 Verifiche dei tiranti

L'armatura in trefoli e la lunghezza delle fondazioni dei tiranti sono state dimensionate in base ai criteri nel seguito esposti tenendo conto del loro massimo carico di esercizio, della loro inclinazione rispetto all'orizzontale e del loro interasse.

Devono essere soddisfatte le seguenti verifiche:

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

- raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali;
- verifica allo sfilamento della fondazione dell'ancoraggio.

**Raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali**

La verifica allo snervamento si esegue confrontando la tensione limite ultima dell'armatura dei trefoli  $N_{ys}$  con la tensione massima derivante dagli SLU ( $\sigma_f$ ):

$$N_{ys} = f_{p(1)k} / 1.15 = 1670 / 1.15 = 1452 \text{ MPa}$$

La verifica è soddisfatta se  $\sigma_f < 1452 \text{ MPa}$  dove  $\sigma_f = T_{max} / Area_{tot}$  trefoli.

**Verifica allo sfilamento della fondazione**

La verifica allo sfilamento della fondazione dell'ancoraggio si esegue confrontando la massima azione  $T_{max,d}$  considerando tutti i possibili SLU con la resistenza di progetto  $R_{ad}$  determinata applicando alla resistenza caratteristica i fattori parziali:

$$R_{ad} = R_{ak} / \gamma_R$$

*Tab. 6.6.I - Coefficienti parziali per la resistenza degli ancoraggi*

|            | Simbolo    | Coefficiente parziale |
|------------|------------|-----------------------|
| Temporanei | $\gamma_R$ | 1,1                   |
| Permanenti | $\gamma_R$ | 1,2                   |

Il valore caratteristico  $R_{ak}$  è stato determinato analiticamente in funzione dei parametri geotecnici:

$$R_{ak} = R_{a,c} / \xi$$

dove  $\xi$  è un fattore di correlazione che dipende dal numero di profili di indagine. Cautelativamente si considera il valore massimo  $\xi=1.8$ .

Il valore di  $R_{a,c}$  è stato stimato con l'approccio di Bustamante e Doix:

$$R_{a,c} = \pi \cdot D_e \cdot \tau_{lim} \cdot L_{anc}$$

Dove:

- $D_e$  = diametro efficace della fondazione dopo l'iniezione;
- $\tau_{lim}$  = adesione unitaria limite fondazione - terreno.

Il valore di  $D_e$  non dipende oltre che dal diametro di perforazione dal tipo di terreno e dalla modalità di iniezione ed è calcolato come:

$$D_e = \alpha \cdot D, \text{ con } D = \text{diametro di perforazione.}$$

Con riferimento alle indicazioni di Bustamante e Doix (1985) e tenendo conto del tipo di iniezione del bulbo di ancoraggio (IGU) son stati assunti i seguenti valori:

---

GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone  
Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

---

- $\alpha = 1.1$
- $\tau_{lim} = 300$  KPa

#### 6.4.3 Verifiche delle travi di ripartizione

Le verifiche delle travi di contrasto/cordolo di testa sono state effettuate considerando il più gravoso tra i seguenti schemi statici:

- schema statico di trave appoggiata caricata dalla massima reazione dei tiranti e di luce pari all'interasse dei tiranti stessi. Pertanto si ha:

$$M_{max} = q \cdot l^2 / 8$$

$$V_{max} = q \cdot l / 2$$

- schema statico di trave a mensola caricata dalla massima reazione dei tiranti e di luce pari alla lunghezza della mensola. Pertanto si ha:

$$M_{max} = q \cdot l^2 / 2$$

$$V_{max} = q \cdot l$$

#### 6.5 SEZIONI DI CALCOLO

Sono state analizzate 3 sezioni di calcolo:

- **Sezione di calcolo 1:** Sezione longitudinale d'imbocco. Altezza di scavo H=14.50m. Micropali lunghi 21m.
- **Sezione di calcolo 2:** Sezione trasversale d'imbocco lato monte. Altezza di scavo H=14.50m. Micropali lunghi 21m.
- **Sezione di calcolo 3:** Sezione trasversale d'imbocco lato valle (strada esistente). Altezza di scavo H=8.50m. Micropali lunghi 15m.

In ottemperanza a quanto prescritto dalle NTC2018 nel paragrafo 6.5.2.2 si assume un'altezza di scavo maggiorata rispetto alle quote di progetto. Nello specifico, poiché si tratta di "un'opera vincolata" si assume un incremento dello scavo pari al 10% della differenza di quota fra il livello inferiore di vincolo e il fondo scavo.

Per le 3 sezioni si ottengono i seguenti incrementi.



S.S. 45bis – GARDESANA OCCIDENTALE  
Opere di costruzione della galleria in variante tra il km 86+576 e il km 88+800  
finalizzata a sottendere le attuali gallerie ogivali a sezione ristretta  
PROGETTO DEFINITIVO

GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone  
Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

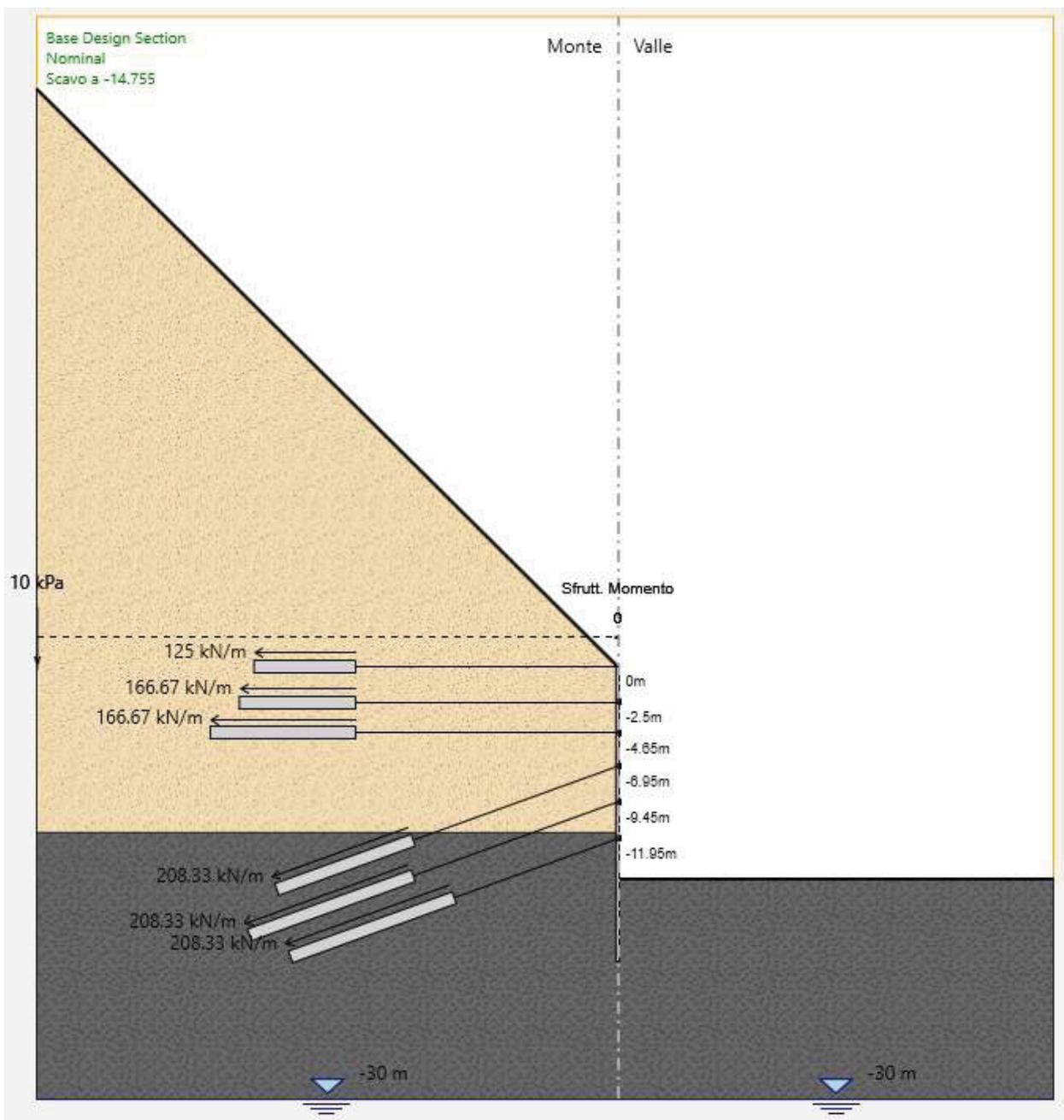
**Calcolo incremento altezza di scavo**

|   |    |   | Sezione 1     | Sezione 2     | Sezione 3    |
|---|----|---|---------------|---------------|--------------|
|   |    |   | Vincolata     | Vincolata     | Vincolata    |
| Tipo paratia (sbalzo, vincolata)                          |    |   |               |               |              |
| Altezza di scavo teorica                                  | Hs | m | 14.500        | 14.500        | 8.500        |
| Altezza sbalzo  | h1 | m | 100           | 100           | 100          |
| Differenza quota tra ultima fila di tiranti e fondo scavo | h2 | m | 2.550         | 2.550         | 2.550        |
| 50cm  | h3 | m | 0.500         | 0.500         | 0.500        |
| Incremento di progetto = Min(10% di h1, 10% di h2, h3)    | Dh | m | 0.255         | 0.255         | 0.255        |
| Altezza di scavo di progetto                              | Hd | m | <b>14.755</b> | <b>14.755</b> | <b>8.755</b> |

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
 Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

**7. SEZIONE 1 – SEZIONE LONGITUDINALE -  $H_{\text{SCAVO}} = 14.50 \text{ M}$**

**7.1 GEOMETRIA SEZIONE**



**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

---

## 7.2 FASI DI CALCOLO

Le fasi di calcolo considerate nell'analisi, successivamente alla realizzazione dei micropali sono:

1. Scavo fino a quota **0.5m** sotto quota testa cordolo per la realizzazione dei tiranti;
2. Realizzazione tiranti **in testa**;
3. Scavo fino a quota **3.0m** sotto quota testa cordolo per la realizzazione dei tiranti;
4. Realizzazione tiranti **ordine 1**;
5. Scavo fino a quota **5.15m** sotto quota testa cordolo per la realizzazione dei tiranti;
6. Realizzazione tiranti **ordine 2**;
7. Scavo fino a quota **7.45m** sotto quota testa cordolo per la realizzazione dei tiranti;
8. Realizzazione tiranti **ordine 3**;
9. Scavo fino a quota **9.95m** sotto quota testa cordolo per la realizzazione dei tiranti;
10. Realizzazione tiranti **ordine 4**;
11. Scavo fino a quota **12.45m** sotto quota testa cordolo per la realizzazione dei tiranti;
12. Realizzazione tiranti **ordine 5**;
13. Scavo finale a quota **14.50 (14.755)**;
14. Applicazione azioni sismiche.

GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone  
Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

### 7.3 DATI DI INPUT

#### 7.3.1 Caratteristiche paratia

Di seguito si riepilogano le caratteristiche geometriche dell'opera di sostegno:

| Diaframma o Pali   |                   |
|--|-------------------|
| Calcestruzzo   |                   |
|   | Materiale: C25/30 |
| Spessore   | Ct: 0,6 m         |
| Diametro   | Cd: 0,24 m        |
| Passo  | Cs: 0,4 m         |
| Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidità [0-1]                     | ac: 0             |
| Acciaio  |                   |
|  | Materiale: S355   |
| Profilo  |                   |
| Passo  | Ss: 0,4 m         |
| Diametro   | Sod: 0,1937 m     |
| Spessore   | Sot: 0,01 m       |

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

**7.3.2 Tiranti**

Di seguito si riepilogano in forma tabellare le caratteristiche geometriche dei tiranti:

**Dati Tirante**

Sezione  
 Modifica...

L. Libera  m > Angolo  °

L. Bulbo (Lfix)  m Passo orizz.  m

Efficacia bulbo (%)  Precarico  kN

Diametro Perforazione  m

Usa coefficienti di aderenza personalizzati

Metodo di Iniezione

$\alpha$   Qskin  kPa

Vincolo Permanente

Comportamento Plastico Carico Ultimo  kN

*Figura 1 – Tiranti in testa*

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

Dati Tirante

Sezione  
 4 trefoli Modifica...

L. Libera  m > Angolo  °

L. Bulbo (Lfix)  m Passo orizz.  m

Efficacia bulbo (%)  Precarico  kN

Diametro Perforazione  m

Usa coefficienti di aderenza personalizzati

Metodo di Iniezione

$\alpha$   Qskin  kPa

Vincolo Permanente

Comportamento Plastico Carico Ultimo  kN

*Figura 2 – Tiranti ordine 1*

Dati Tirante

Sezione  
 4 trefoli Modifica...

L. Libera  m > Angolo  °

L. Bulbo (Lfix)  m Passo orizz.  m

Efficacia bulbo (%)  Precarico  kN

Diametro Perforazione  m

Usa coefficienti di aderenza personalizzati

Metodo di Iniezione

$\alpha$   Qskin  kPa

Vincolo Permanente

Comportamento Plastico Carico Ultimo  kN

*Figura 3 – Tiranti ordine 2*

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

Dati Tirante

Sezione  
 5 trefoli Modifica...

L. Libera  m > Angolo  °

L. Bulbo (Lfix)  m Passo orizz.  m

Efficacia bulbo (%)  Precarico  kN

Diametro Perforazione  m

Usa coefficienti di aderenza personalizzati

Metodo di Iniezione

$\alpha$   Qskin  kPa

Vincolo Permanente

Comportamento Plastico Carico Ultimo  kN

*Figura 4 – Tiranti ordine 3*

Dati Tirante

Sezione  
 5 trefoli Modifica...

L. Libera  m > Angolo  °

L. Bulbo (Lfix)  m Passo orizz.  m

Efficacia bulbo (%)  Precarico  kN

Diametro Perforazione  m

Usa coefficienti di aderenza personalizzati

Metodo di Iniezione

$\alpha$   Qskin  kPa

Vincolo Permanente

Comportamento Plastico Carico Ultimo  kN

*Figura 5 – Tiranti ordine 4*

GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone  
Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

Dati Tirante

Sezione  
5 trefoli Modifica...

L. Libera  m > Angolo  °

L. Bulbo (Lfix)  m Passo orizz.  m

Efficacia bulbo (%)  Precarico  kN

Diametro Perforazione  m

Usa coefficienti di aderenza personalizzati

Metodo di Iniezione

$\alpha$   Qskin  kPa

Vincolo Permanente

Comportamento Plastico Carico Ultimo  kN

Figura 6 – Tiranti ordine 5

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

## 7.4 RISULTATI DELL'ANALISI

### 7.4.1 Sollecitazioni

Di seguito le sollecitazioni di involucro allo SLE e allo SLU.

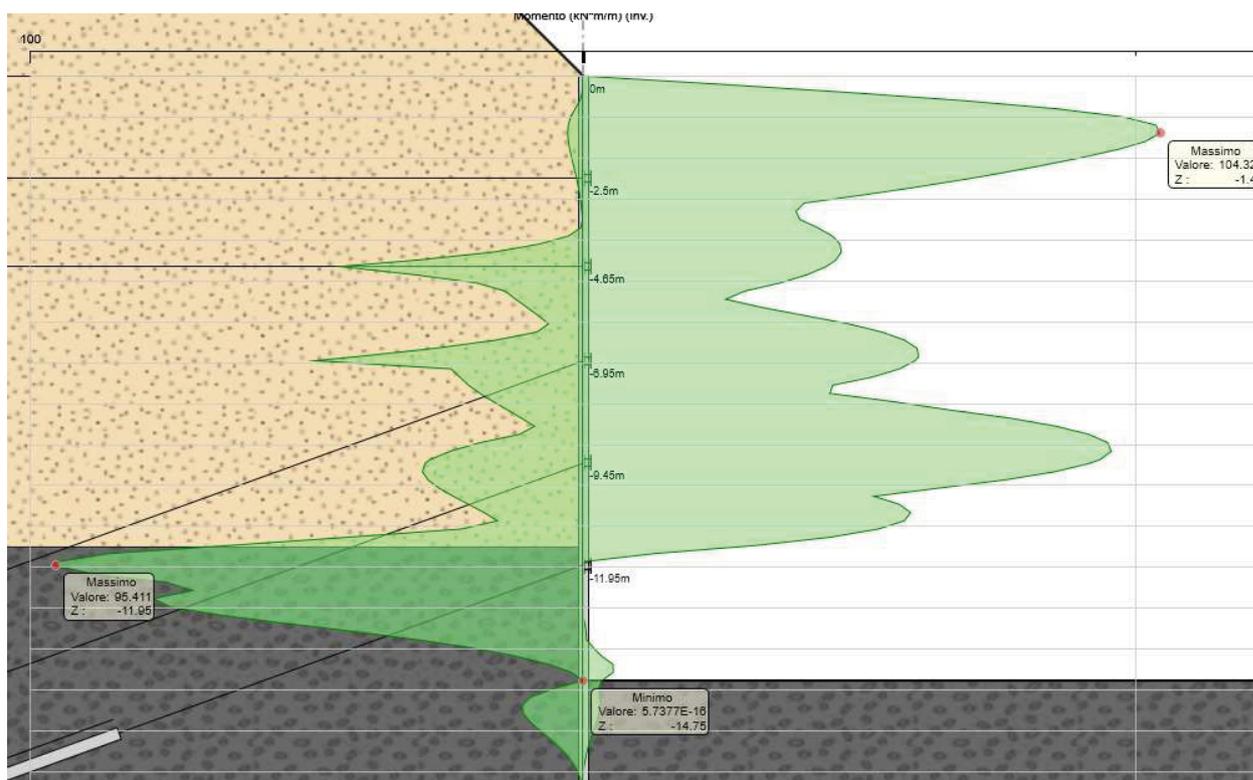


Figura 7 - Momenti di involucro allo SLE

GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone  
Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

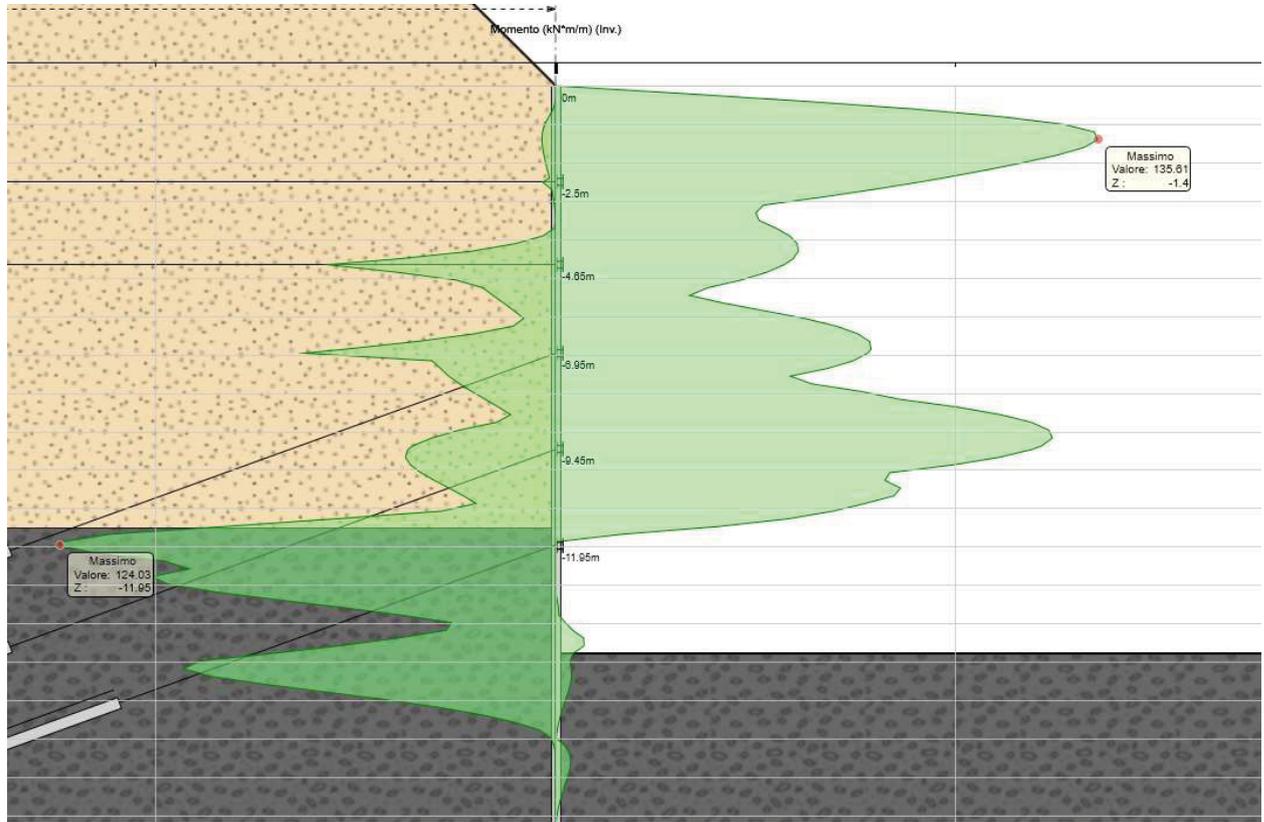


Figura 8 - Momenti di involuppo allo SLU

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
 Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

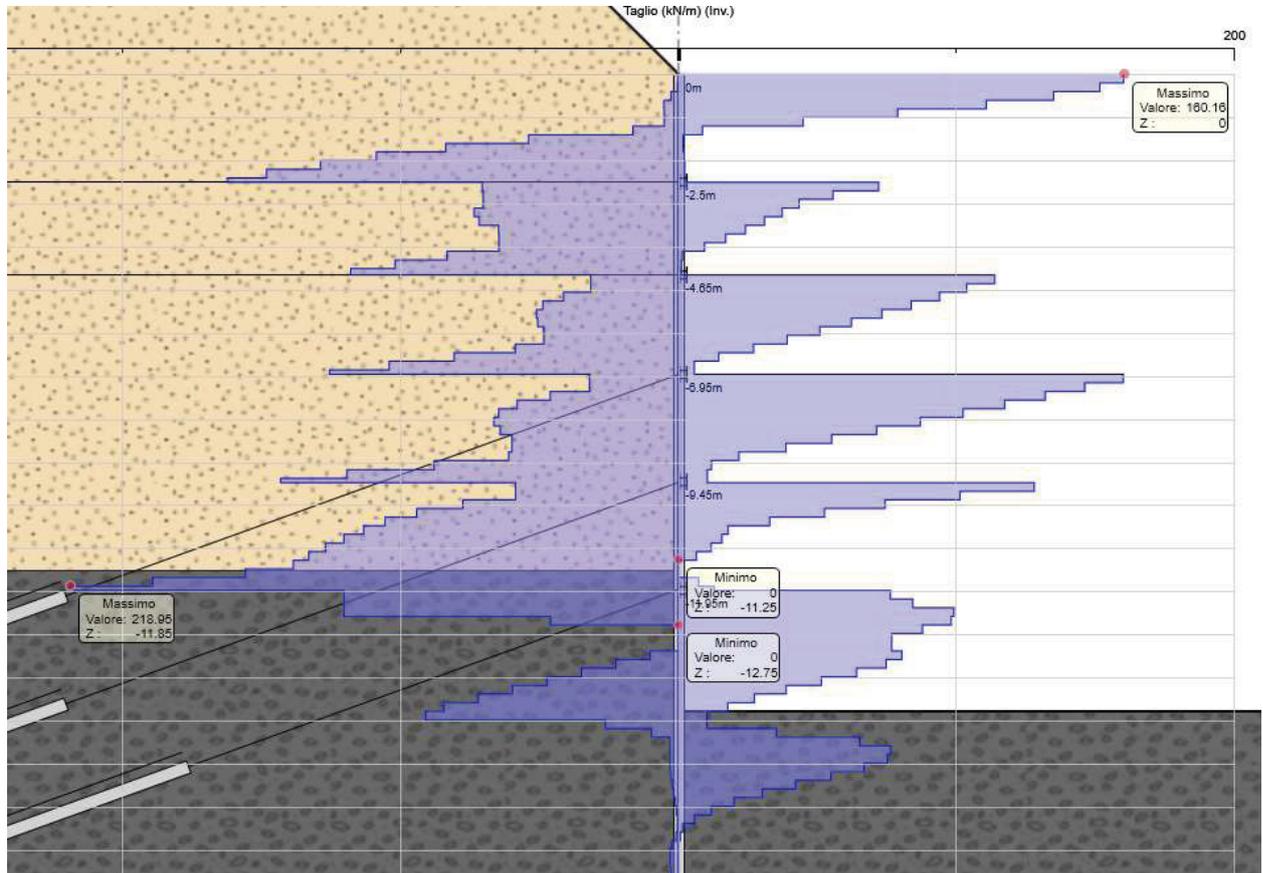


Figura 9 - Taglio di involuppo allo SLU

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

**7.4.2 Spostamenti**

Di seguito gli spostamenti della paratia allo SLE.

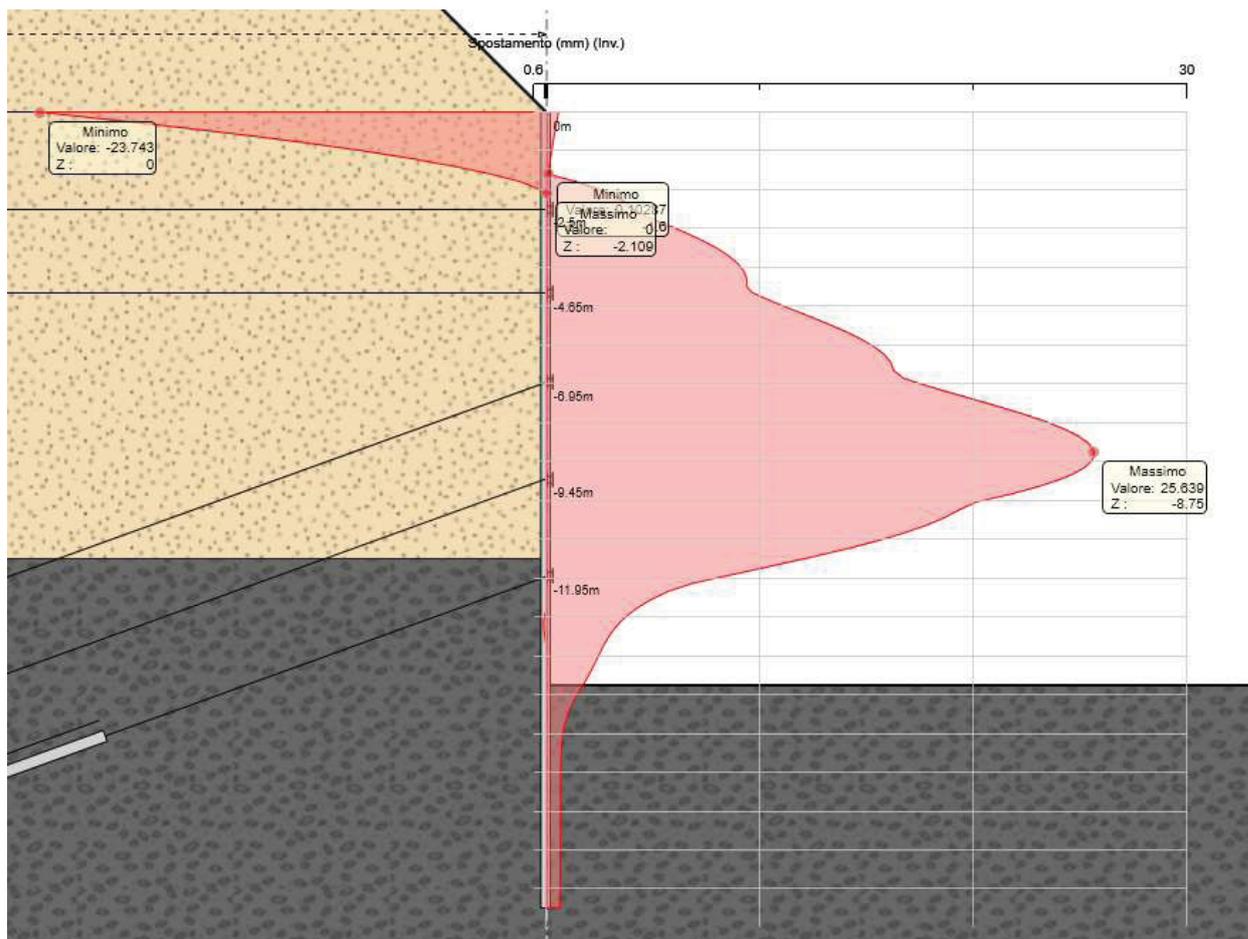


Figura 10 – Spostamenti paratia

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

**7.4.3 Tiro sui tiranti**

Di seguito le azioni massime sui tiranti allo SLE e allo SLU.

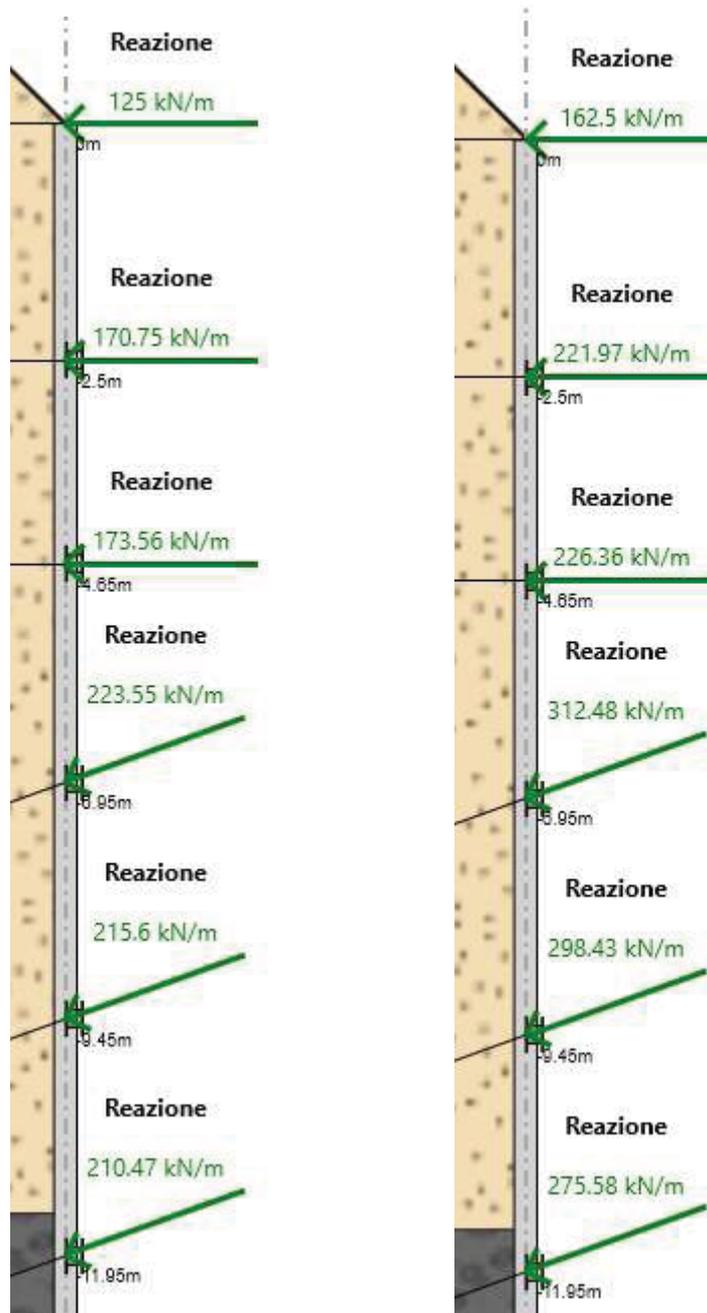


Figura 11 – Azioni massime sui tiranti allo SLE e allo SLU

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

## 7.5 VERIFICHE

### 7.5.1 Verifiche strutturali paratia

Di seguito il diagramma di utilizzo della sezione allo SLU per effetto del momento flettente.

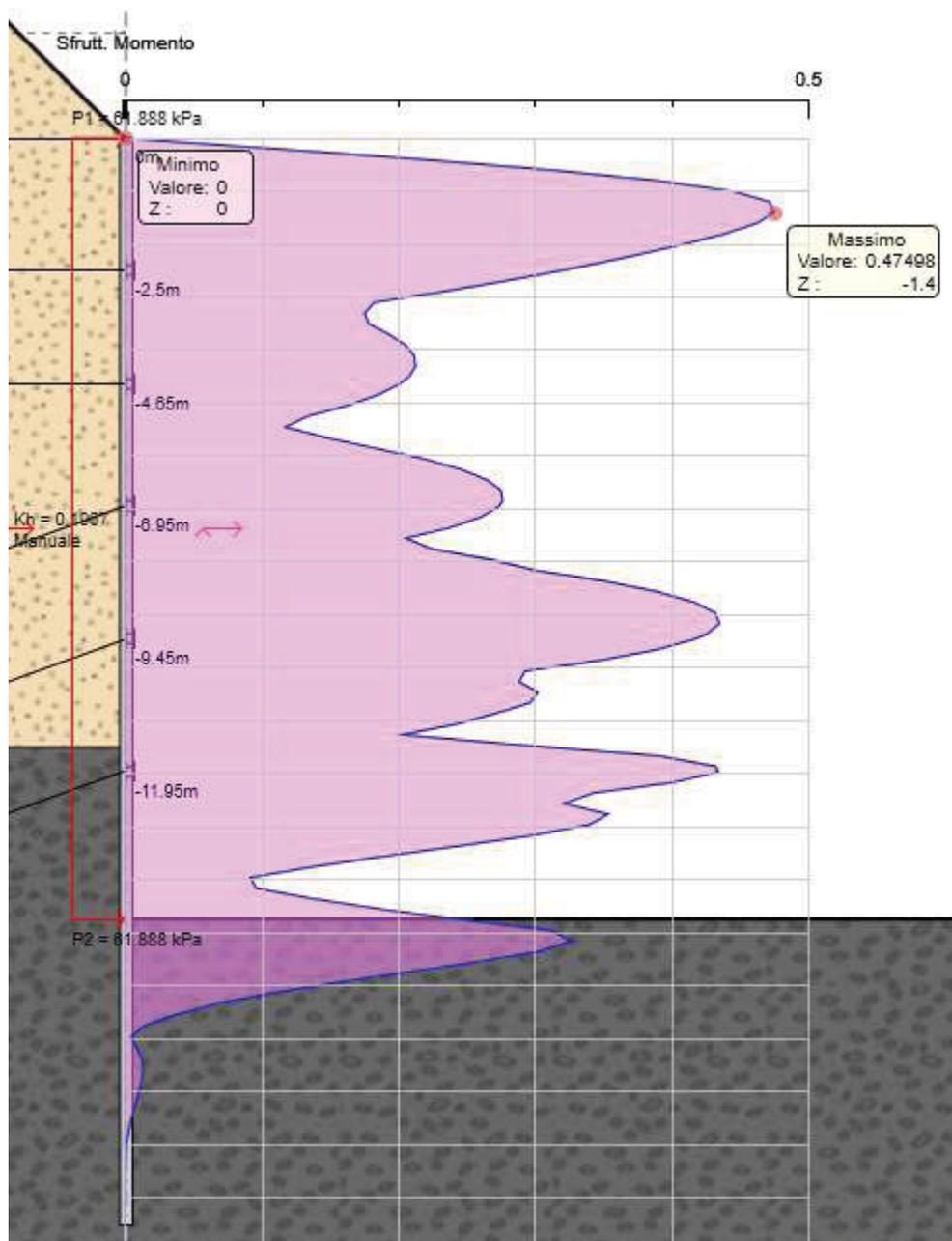


Figura 12 – Tassi di utilizzo materiali allo SLU per momento flettente

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

Di seguito il diagramma di utilizzo della sezione allo SLU per effetto del taglio.

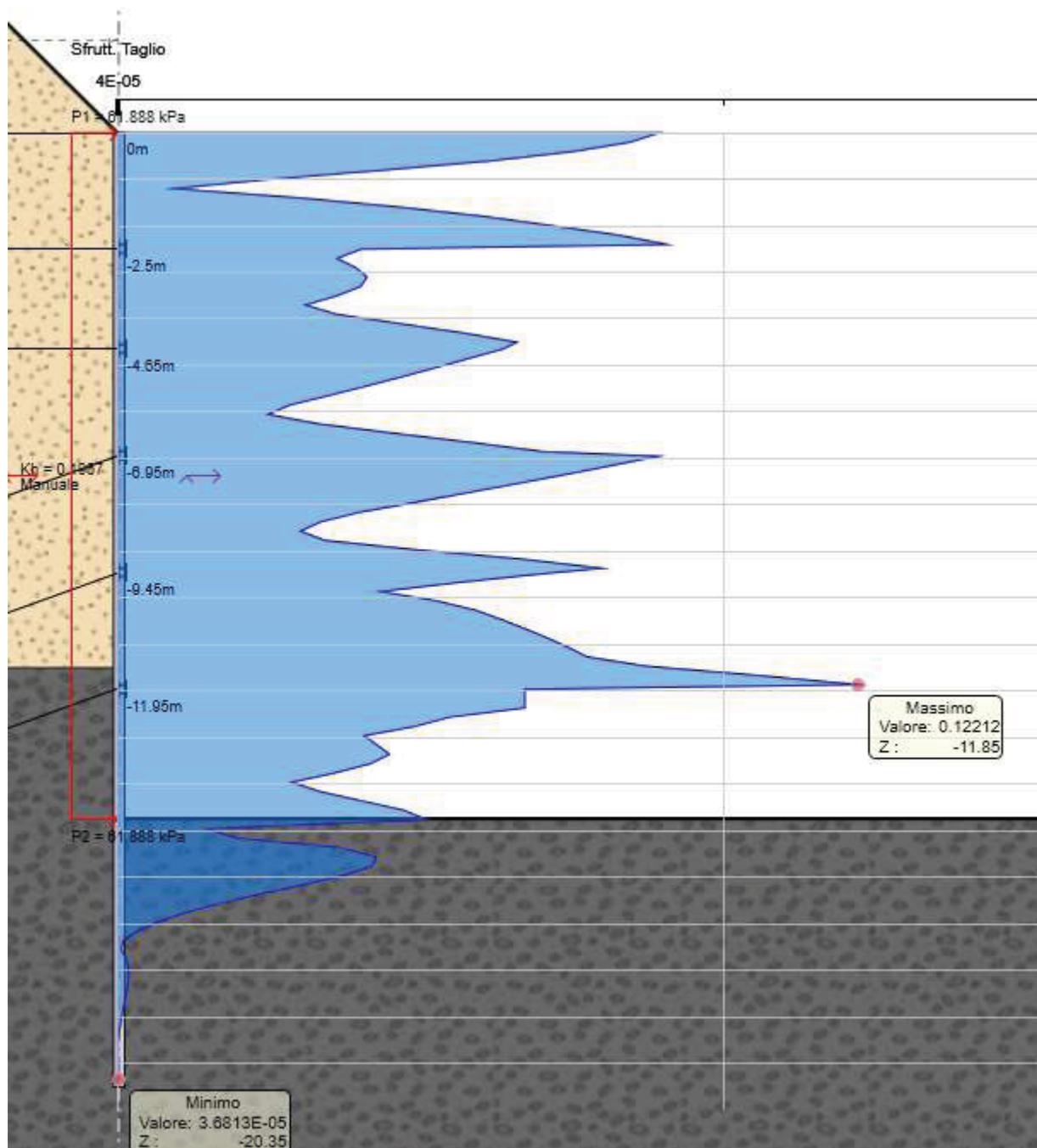


Figura 13 – Tassi di utilizzo materiali allo SLU per taglio

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

### 7.5.2 Verifiche sui tiranti

Per i tiranti sono state eseguite le verifiche a sfilamento del bulbo di fondazione e a rottura dei trefoli; di seguito si riportano i risultati.

| Verifica a rottura dei tiranti |        |        |           |        |        |            |         |           |       |      |
|--------------------------------|--------|--------|-----------|--------|--------|------------|---------|-----------|-------|------|
| Ordine                         | fp(1)k | Quota  | Interasse | incl.h | incl.v | n° trefoli | Tmax/ml | Tmax_calc | T_SLU | CS   |
|                                | (Mpa)  | (m)    | (m)       | deg    | deg    |            | (kN/m)  | (kN)      | (kN)  |      |
| T0                             | 1670   | 0.00   | 2.40      | 0      | 0      | 3          | 163.0   | 391       | 606   | 1.55 |
| T1                             | 1670   | -2.50  | 2.40      | 0      | 0      | 4          | 222.0   | 533       | 807   | 1.52 |
| T2                             | 1670   | -4.65  | 2.40      | 0      | 0      | 4          | 226.0   | 542       | 807   | 1.49 |
| T3                             | 1670   | -6.95  | 2.40      | 0      | 20     | 5          | 312.0   | 749       | 908   | 1.21 |
| T4                             | 1670   | -9.45  | 2.00      | 0      | 20     | 5          | 298.0   | 596       | 908   | 1.52 |
| T5                             | 1670   | -11.95 | 2.00      | 0      | 30     | 5          | 276.0   | 552       | 908   | 1.65 |

| Verifica a sfilamento bulbo di fondazione tiranti |      |       |          |              |           |         |      |         |       |      |
|---|------|-------|----------|--------------|-----------|---------|------|---------|-------|------|
| Ordine  | Tmax | fperf | $\alpha$ | $\tau_{max}$ | FS        |         |      | L bulbo | T_res | CS   |
|   | (kN) | (m)   |          | (kPa)        | Coeff tir | $\zeta$ | FS   |         |       |      |
| T0  | 391  | 0.150 | 1.10     | 300          | 1.1       | 1.8     | 1.98 | 7.0     | 550   | 1.41 |
| T1  | 533  | 0.150 | 1.10     | 300          | 1.1       | 1.8     | 1.98 | 8.0     | 628   | 1.18 |
| T2  | 542  | 0.150 | 1.10     | 300          | 1.1       | 1.8     | 1.98 | 10.0    | 785   | 1.45 |
| T3  | 749  | 0.150 | 1.10     | 300          | 1.1       | 1.8     | 1.98 | 10.0    | 785   | 1.05 |
| T4  | 596  | 0.150 | 1.10     | 300          | 1.1       | 1.8     | 1.98 | 12.0    | 942   | 1.58 |
| T5  | 552  | 0.150 | 1.10     | 300          | 1.1       | 1.8     | 1.98 | 12.0    | 942   | 1.71 |

### 7.5.3 Verifiche sulle travi portatiranti in acciaio

Si prevede l'impiego di travi in acciaio tipo HEB180.

Di seguito le verifiche allo SLU.

| Verifica travi portatiranti trave in acciaio |         |          |       |              |                    |                |                |      |  |
|--|---------|----------|-------|--------------|--------------------|----------------|----------------|------|--|
| Ordine                                       | Tmax/ml | ltiranti | Mmax  | Profilo tipo | W                  | $\sigma_{max}$ | $\sigma_{lim}$ | CS   |  |
|  | (kN/ml) | (m)      | kNm   |              | (mm <sup>3</sup> ) | (Mpa)          | (Mpa)          |      |  |
| T0   | 163.0   | 2.40     | 117.4 | 2HEB180      | 851400             | 137.8          | 338.1          | 2.45 |  |
| T1   | 222.0   | 2.40     | 159.8 | 2HEB180      | 851400             | 187.7          | 338.1          | 1.80 |  |
| T2   | 226.0   | 2.40     | 162.7 | 2HEB180      | 851400             | 191.1          | 338.1          | 1.77 |  |
| T3   | 312.0   | 2.40     | 224.6 | 2HEB180      | 851400             | 263.8          | 338.1          | 1.28 |  |
| T4   | 298.0   | 2.40     | 214.6 | 2HEB180      | 851400             | 252.0          | 338.1          | 1.34 |  |
| T5   | 276.0   | 2.40     | 198.7 | 2HEB180      | 851400             | 233.4          | 338.1          | 1.45 |  |

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

#### 7.5.4 Verifiche sul cordolo di testa paratia in c.a.

Si prevede l'impiego di un cordolo 50x50 in c.a armato con 4+4f16 sui fianchi e staffe f10/25 a 2 bracci.

Di seguito le verifiche allo SLU a flessione e taglio.

| Verifica cordolo testa portatiranti trave in c.a. |         |                 |             |           |      |       |       |      |
|---|---------|-----------------|-------------|-----------|------|-------|-------|------|
| Ordine  | Tmax/ml | Itiranti<br>(m) | Mmax<br>kNm | Mu<br>kNm | CS   | Vmax  | Vu    | CS   |
|   | (kN/ml) |                 |             |           |      | kN    | kN    |      |
| T0  | 163.0   | 2.40            | 93.9        | 131.5     | 1.40 | 195.6 | 232.4 | 1.19 |

#### 7.5.5 Verifica del grado di mobilitazione della spinta passiva

Tale verifica consiste nel valutare la spinta passiva mobilitata ovvero la percentuale della massima spinta passiva possibile.

##### A2+M2+SISMA

Percentuale spinta passiva mobilitata 18%

#### 7.5.6 Verifica di stabilità globale

Di seguito l'esito delle verifiche di stabilità globale sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche. Nel modello non si è tenuto conto della presenza dei tiranti.

In condizioni **statiche**, le caratteristiche del terreno e le azioni esterne fanno riferimento alla combinazione A2+M2 (parametri ridotti del terreno).

La condizione di verifica  $E_d \leq R_d$  equivale ad avere un coefficiente di sicurezza in corrispondenza della superficie di scorrimento critica  $F_{min} \geq \gamma R$ :

$$F = R_d/E_d \geq 1.1$$

In condizioni **sismiche**, le caratteristiche del terreno e le azioni esterne non subiscono riduzione.

La condizione di verifica  $E_d \leq R_d$  equivale ad avere un coefficiente di sicurezza in corrispondenza della superficie di scorrimento critica  $F_{min} \geq \gamma R$ :

$$F = R_d/E_d \geq 1.2$$

Nelle analisi è stato adottato il metodo di **Morgenstern e Price** (1965) che tiene conto sia delle forze di taglio sia di quelle normali scambiate tra le strisce e considera delle superfici di scorrimento a direttrice circolare.

In condizioni sismiche, la stabilità è stata analizzata mediante un approccio pseudostatico. Gli effetti del sisma sono stati quindi rappresentati con delle forze d'inerzia orizzontali e verticali applicate alla massa instabile:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = \pm k_v \cdot W$$

W è il peso totale della massa di terreno al disopra della superficie di scorrimento.

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

Di seguito i coefficienti sismici:

**Azioni sismiche per verifiche di stabilità globali**

|                               |           |        |
|-------------------------------|-----------|--------|
| Categoria di suolo fondazione | Cat       | E      |
| Fattore Ss                    |           | 1.6    |
| Fattore St                    |           | 1.2    |
| Fattore S                     | S         | 1.92   |
| Valore di ag/g                | ag/g      | 0.1370 |
| fattore riduttivo $\beta_s$   | $\beta_s$ | 0.38   |

|                                  |    |              |
|----------------------------------|----|--------------|
| Coefficiente sismico orizzontale | kh | <b>0.100</b> |
| Coefficiente sismico verticale   | kv | <b>0.050</b> |

GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone  
Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

Di seguito i risultati delle analisi.

1.845

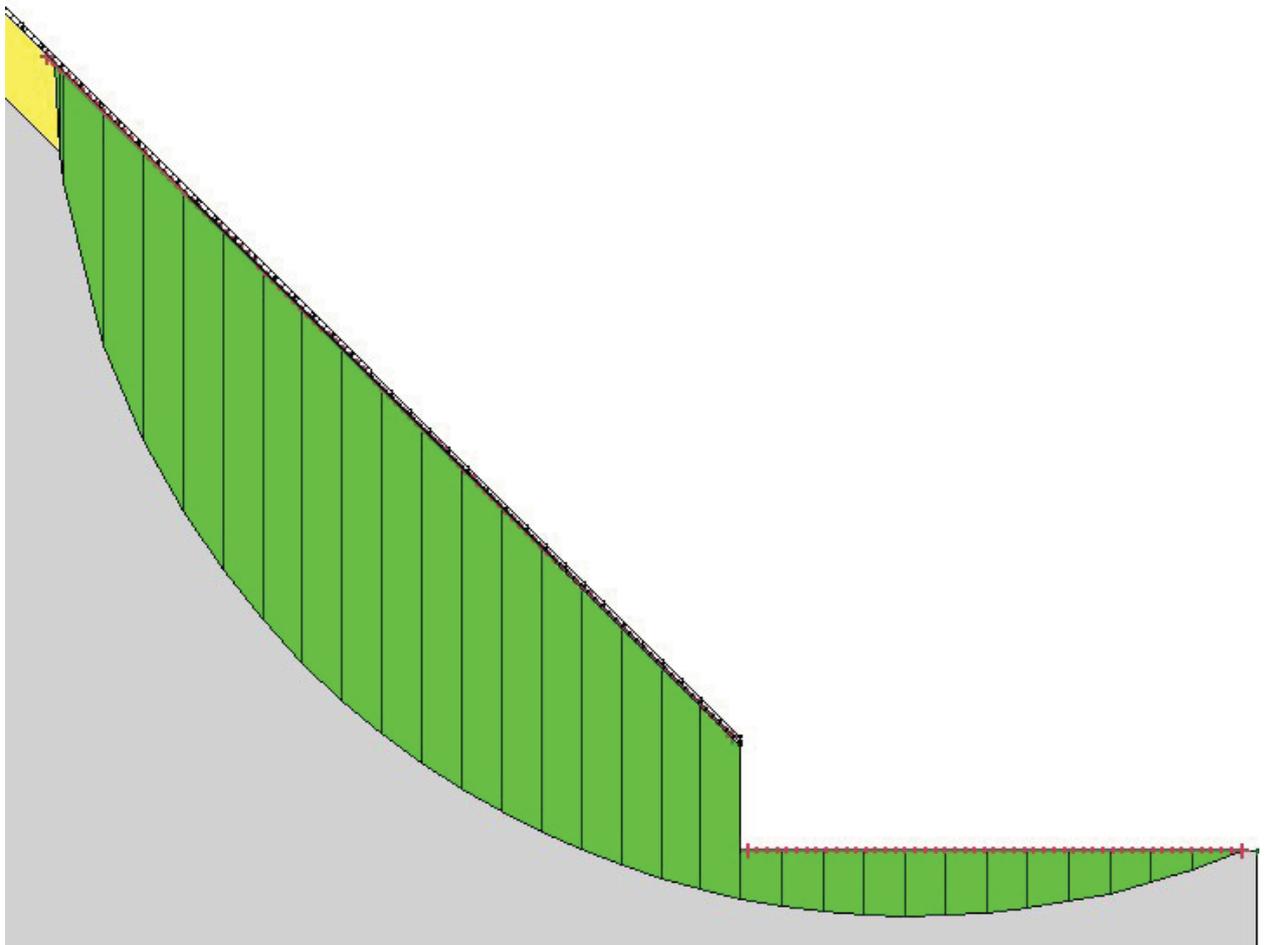


Figura 14 - Caso statico

GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone  
Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

2.037

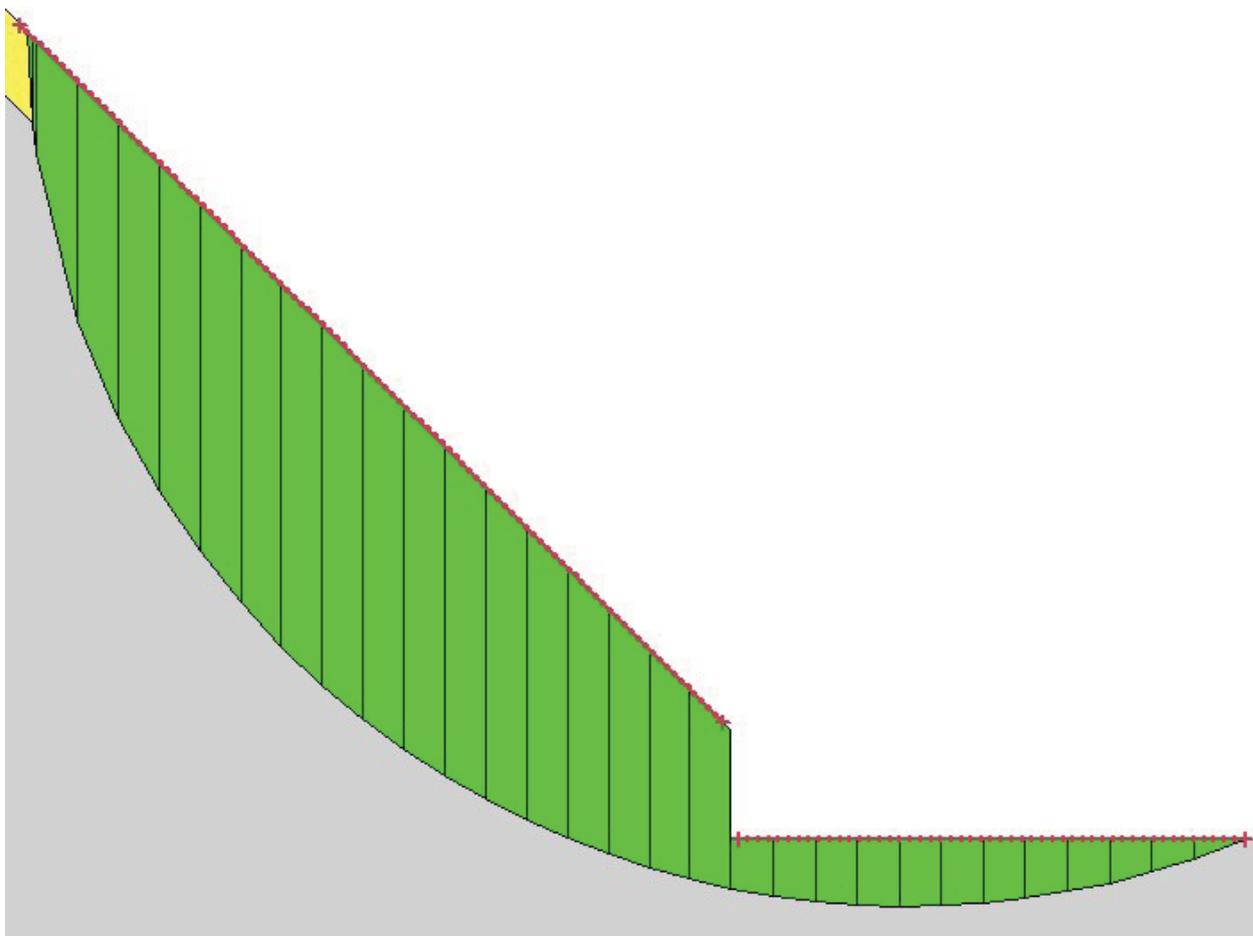


Figura 15 - Caso sismico

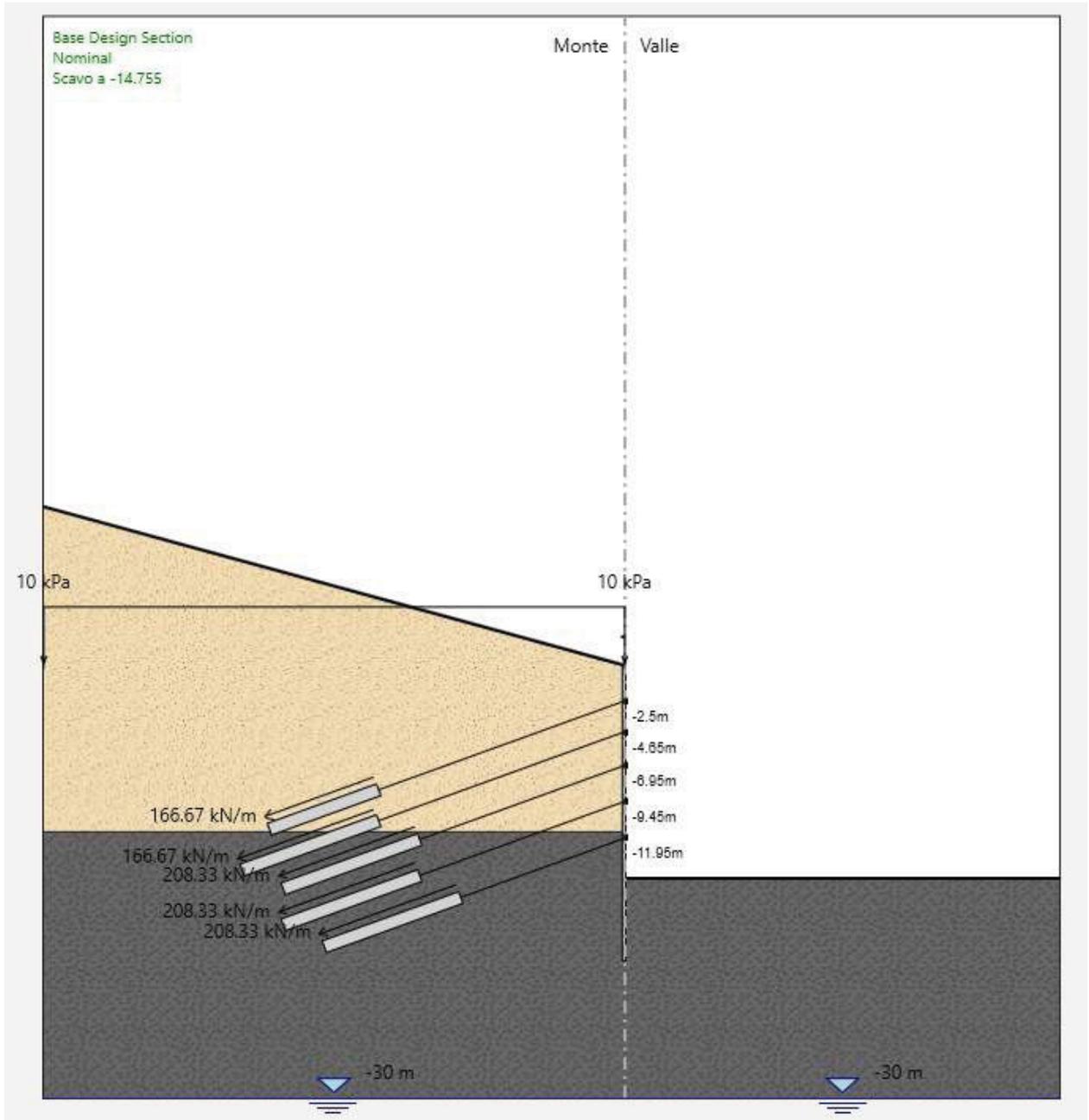
Il fattore di sicurezza in condizioni statiche è pari a **1.85**, maggiore di 1.1, pertanto la verifica è soddisfatta.

Il fattore di sicurezza in condizioni sismiche è pari a **2.04**, maggiore di 1.2, pertanto la verifica è soddisfatta.

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
 Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

**8. SEZIONE 2 – SEZIONE TRASVERSALE MONTE -  $H_{SCAVO} = 14.50$  M**

**8.1 GEOMETRIA SEZIONE**



**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

## 8.2 FASI DI CALCOLO

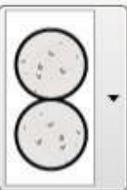
Le fasi di calcolo considerate nell'analisi, successivamente alla realizzazione dei micropali sono:

1. Scavo fino a quota **3.0m** sotto quota testa cordolo per la realizzazione dei tiranti;
2. Realizzazione tiranti **ordine 1**;
3. Scavo fino a quota **5.15m** sotto quota testa cordolo per la realizzazione dei tiranti;
4. Realizzazione tiranti **ordine 2**;
5. Scavo fino a quota **7.45m** sotto quota testa cordolo per la realizzazione dei tiranti;
6. Realizzazione tiranti **ordine 3**;
7. Scavo fino a quota **9.95m** sotto quota testa cordolo per la realizzazione dei tiranti;
8. Realizzazione tiranti **ordine 4**;
9. Scavo fino a quota **12.45m** sotto quota testa cordolo per la realizzazione dei tiranti;
10. Realizzazione tiranti **ordine 5**;
11. Scavo finale a quota **14.50 (14.755)**;
12. Applicazione azioni sismiche.

## 8.3 DATI DI INPUT

### 8.3.1 Caratteristiche paratia

Di seguito si riepilogano le caratteristiche geometriche dell'opera di sostegno:

| Diaframma o Pali  |  |
|---|--|
| <b>Calcestruzzo</b>   |  |
|  | Materiale: C25/30<br>Spessore: Ct: 0,6 m<br>Diametro: Cd: 0,24 m<br>Passo: Cs: 0,4 m<br>Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidezza [0-1]: ac: 0 |
| <b>Acciaio</b>  |  |
|  | Materiale: S355<br>Profilo:<br>Passo: Ss: 0,4 m<br>Diametro: Sod: 0,1937 m<br>Spessore: Sot: 0,01 m  |

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

### 8.3.2 Tiranti

Di seguito si riepilogano in forma tabellare le caratteristiche geometriche dei tiranti:

| Dati Tirante  |               |   |                    |
|---|---------------|---|--------------------|
| Sezione   |               |   |                    |
| 4 trefoli   |               |   | Modifica...        |
| L. Libera   | 18 m          | > | Angolo 20 °        |
| L. Bulbo (Lfix)   | 8 m           |   | Passo orizz. 2.4 m |
| Efficacia bulbo (%)   | 100           |   | Precarico 400 kN   |
| Diametro Perforazione   | 0.15 m        |   |                    |
| <input checked="" type="checkbox"/> Usa coefficienti di aderenza personalizzati |               |   |                    |
| Metodo di Iniezione GRAVITY_GROUTING  |               |   |                    |
| $\alpha$  | 1.1           |   | Qskin 300 kPa      |
| <input type="checkbox"/> Vincolo Permanente                                     |               |   |                    |
| <input type="checkbox"/> Comportamento Plastico                                 |               |   |                    |
|   | Carico Ultimo |   | kN                 |

Figura 16 – Tiranti ordine 1

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

Dati Tirante

Sezione  
 4 trefoli Modifica...

L. Libera  m > Angolo  °

L. Bulbo (Lfix)  m Passo orizz.  m

Efficacia bulbo (%)  Precarico  kN

Diametro Perforazione  m

Usa coefficienti di aderenza personalizzati

Metodo di Iniezione

$\alpha$   Qskin  kPa

Vincolo Permanente

Comportamento Plastico Carico Ultimo  kN

Figura 17 – Tiranti ordine 2

Dati Tirante

Sezione  
 5 trefoli Modifica...

L. Libera  m > Angolo  °

L. Bulbo (Lfix)  m Passo orizz.  m

Efficacia bulbo (%)  Precarico  kN

Diametro Perforazione  m

Usa coefficienti di aderenza personalizzati

Metodo di Iniezione

$\alpha$   Qskin  kPa

Vincolo Permanente

Comportamento Plastico Carico Ultimo  kN

Figura 18 – Tiranti ordine 3

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

Dati Tirante

Sezione  
 5 trefoli Modifica...

L. Libera  m > Angolo  °

L. Bulbo (Lfix)  m Passo orizz.  m

Efficacia bulbo (%)  Precarico  kN

Diametro Perforazione  m

Usa coefficienti di aderenza personalizzati

Metodo di Iniezione

$\alpha$   Qskin  kPa

Vincolo Permanente

Comportamento Plastico Carico Ultimo  kN

Figura 19 – Tiranti ordine 4

Dati Tirante

Sezione  
 5 trefoli Modifica...

L. Libera  m > Angolo  °

L. Bulbo (Lfix)  m Passo orizz.  m

Efficacia bulbo (%)  Precarico  kN

Diametro Perforazione  m

Usa coefficienti di aderenza personalizzati

Metodo di Iniezione

$\alpha$   Qskin  kPa

Vincolo Permanente

Comportamento Plastico Carico Ultimo  kN

Figura 20 – Tiranti ordine 5

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

## 8.4 RISULTATI DELL'ANALISI

### 8.4.1 Sollecitazioni

Di seguito le sollecitazioni di involucro allo SLE e allo SLU.

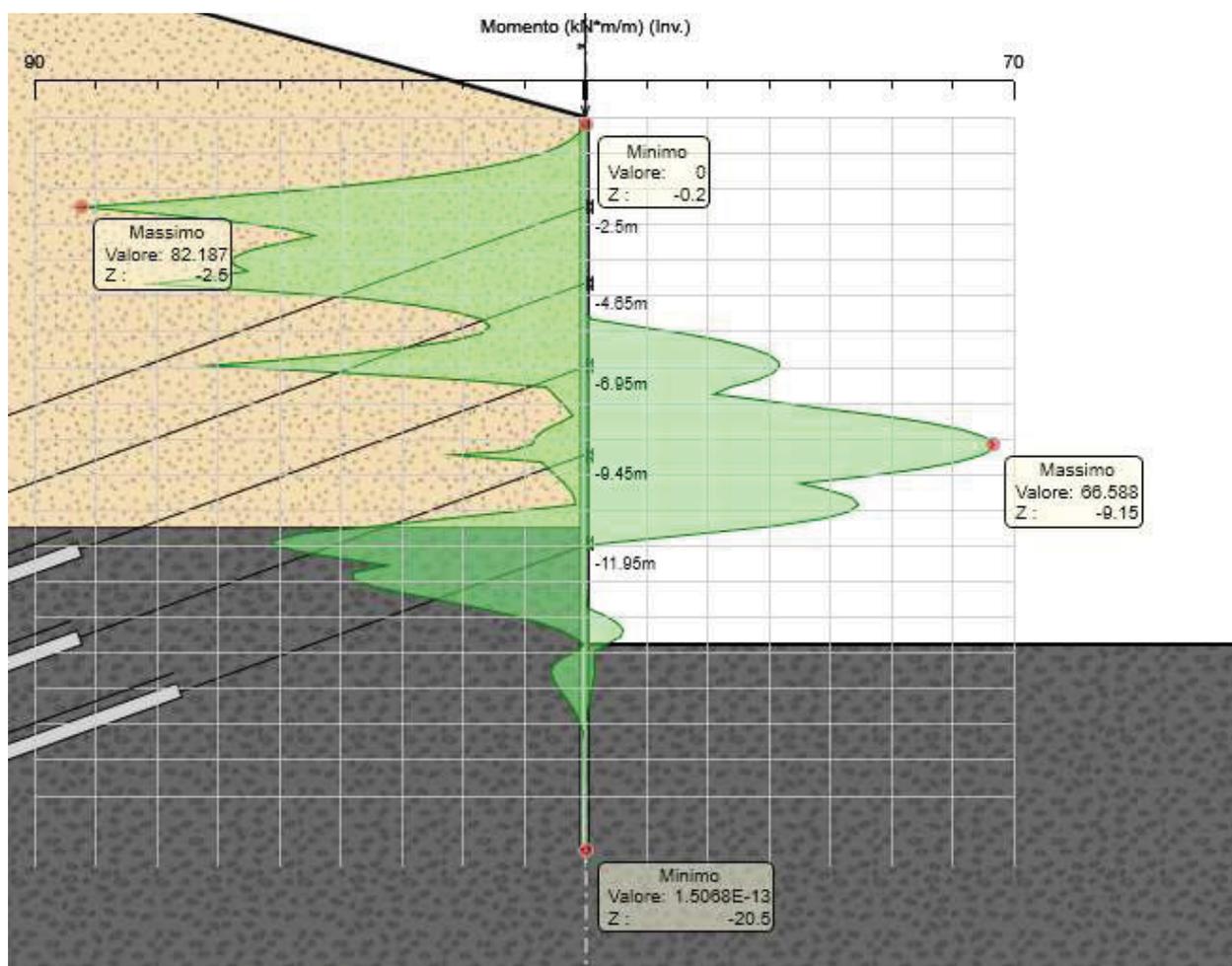


Figura 21 - Momenti di involucro allo SLE

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

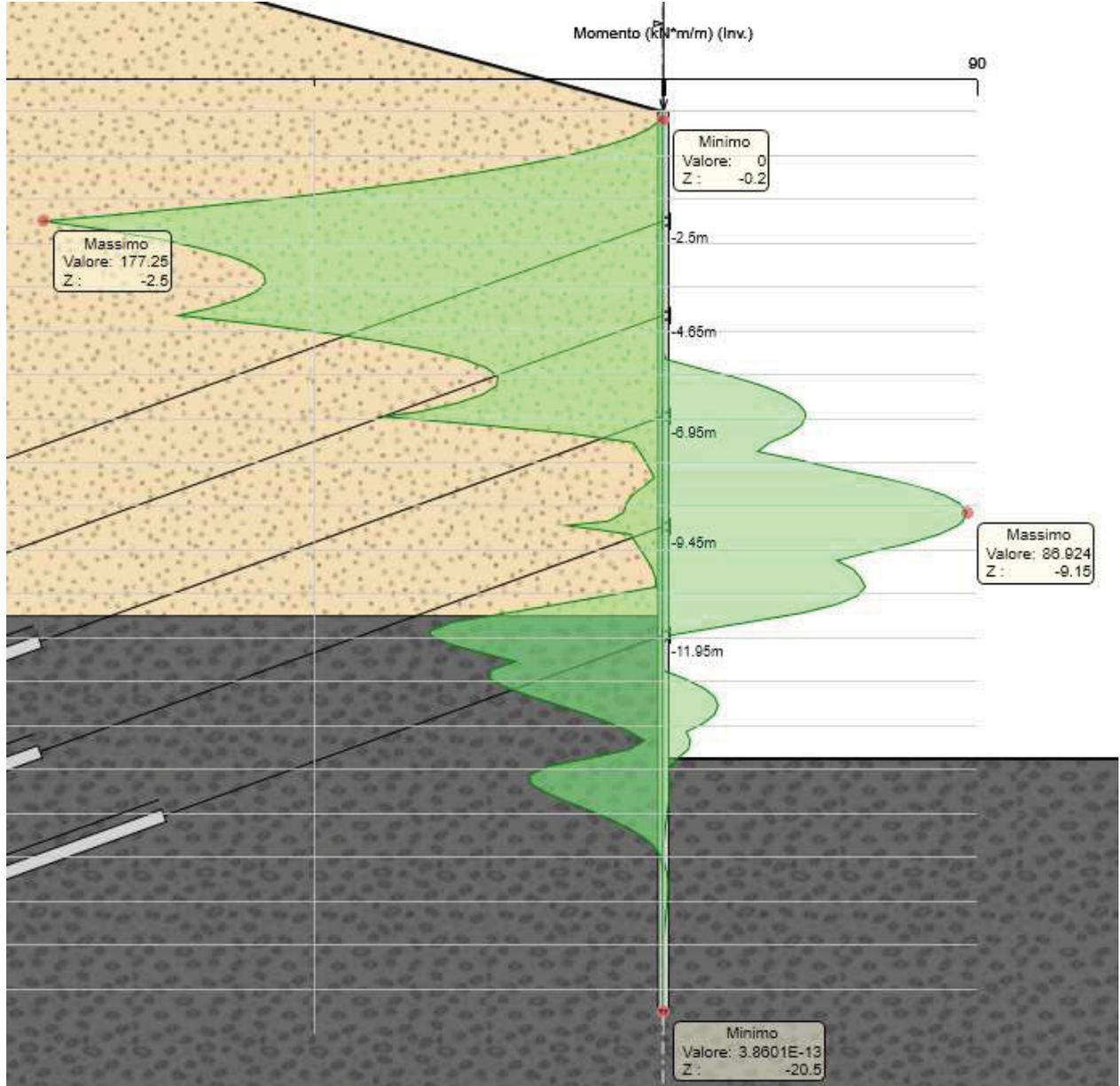


Figura 22 - Momenti di involuppo allo SLU

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
 Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

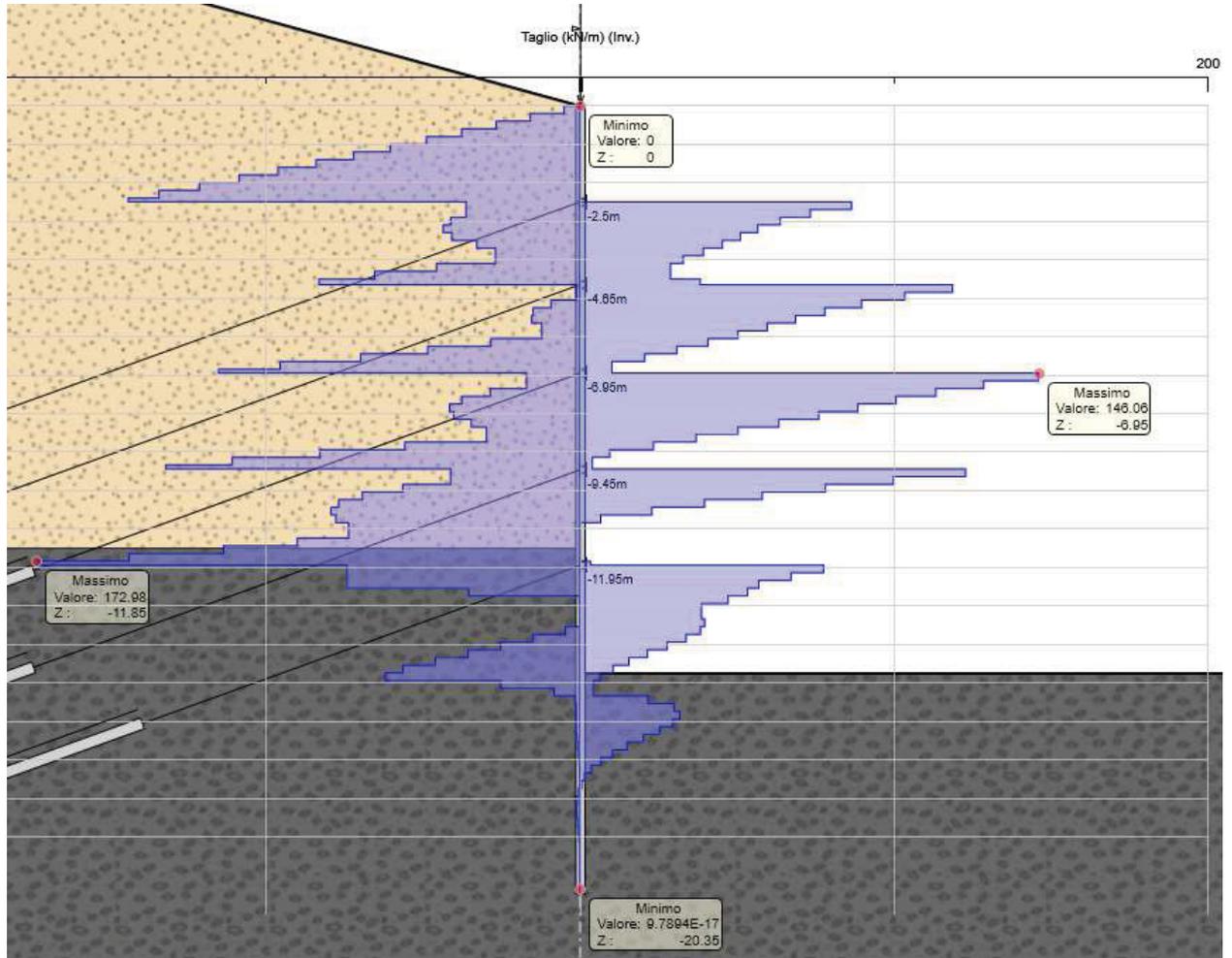


Figura 23 - Taglio di involuppo allo SLU

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

**8.4.2 Spostamenti**

Di seguito gli spostamenti della paratia allo SLE.

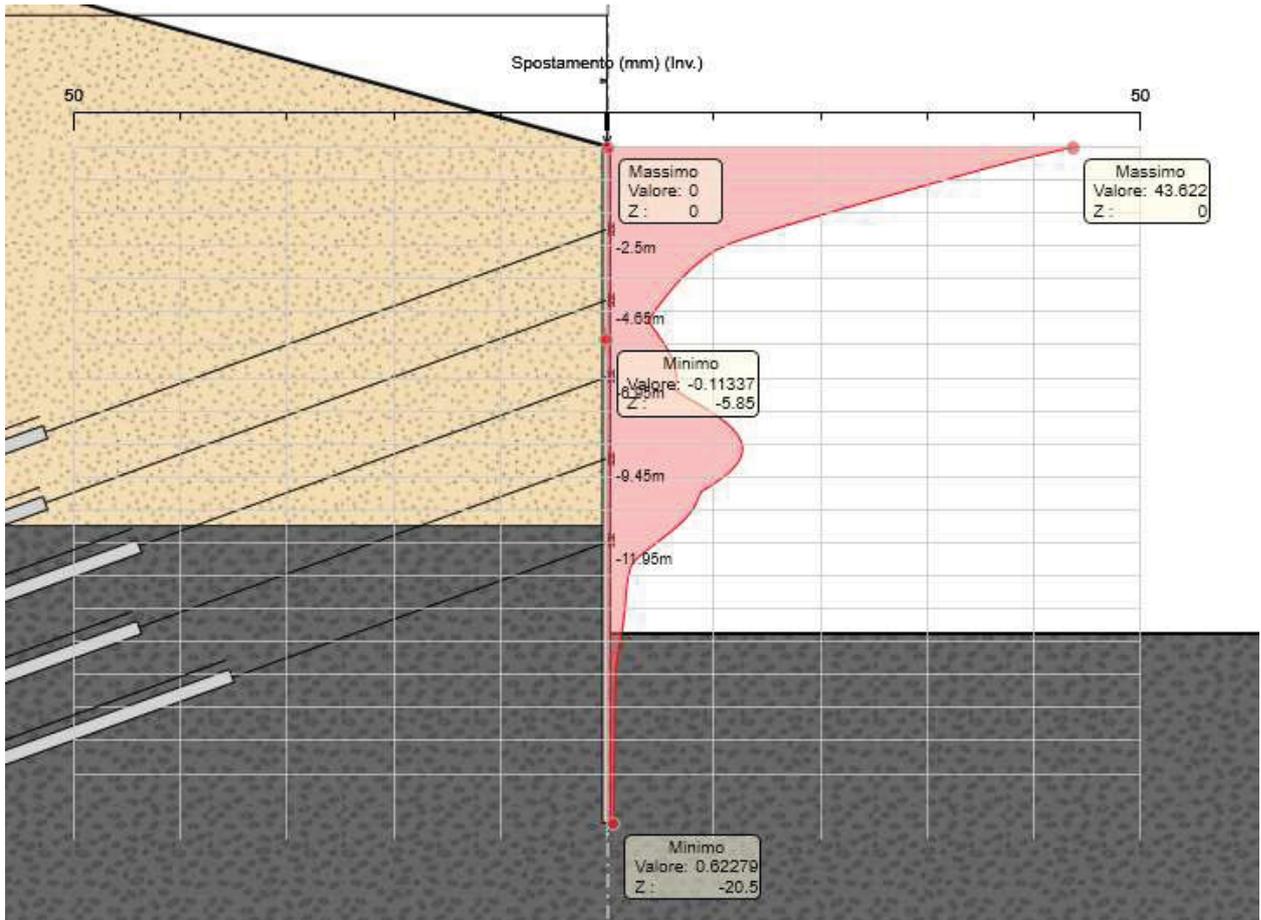


Figura 24 – Spostamenti paratia

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

**8.4.3 Tiro sui tiranti**

Di seguito le azioni massime sui tiranti allo SLE e allo SLU.

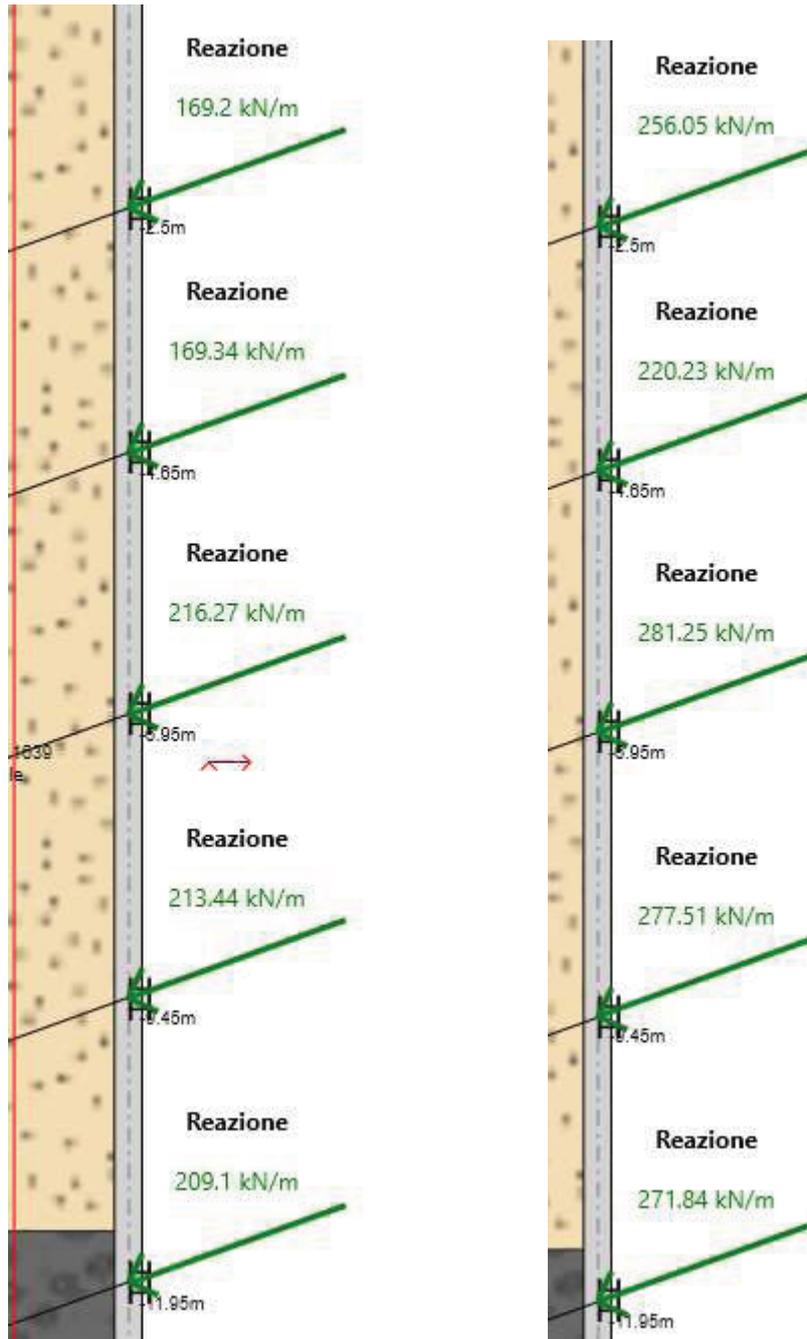


Figura 25 – Azioni massime sui tiranti allo SLE e allo SLU

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

## 8.5 VERIFICHE

### 8.5.1 Verifiche strutturali paratia

Di seguito il diagramma di utilizzo della sezione allo SLU per effetto del momento flettente.

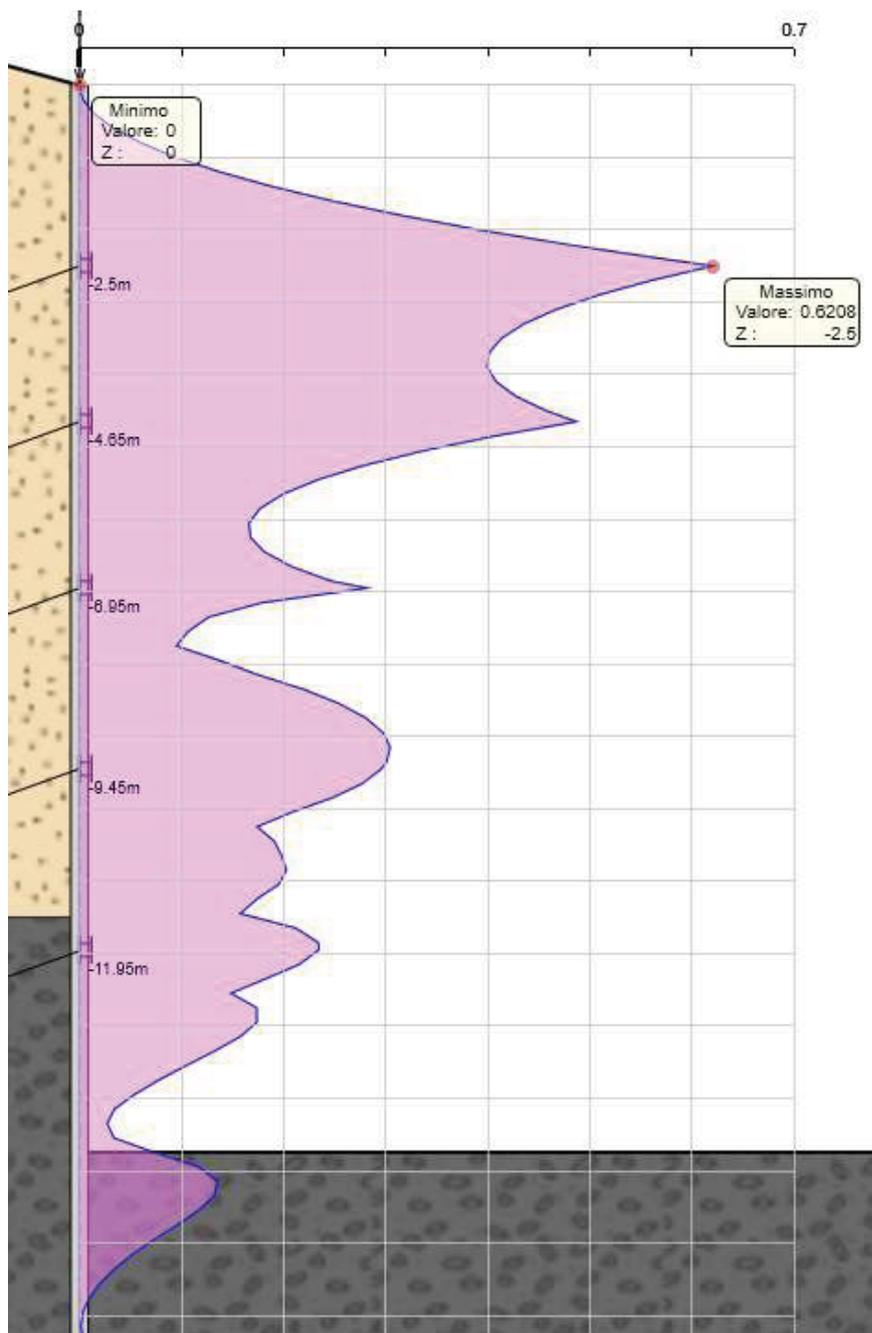


Figura 26 – Tassi di utilizzo materiali allo SLU per momento flettente

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

Di seguito il diagramma di utilizzo della sezione allo SLU per effetto del taglio.

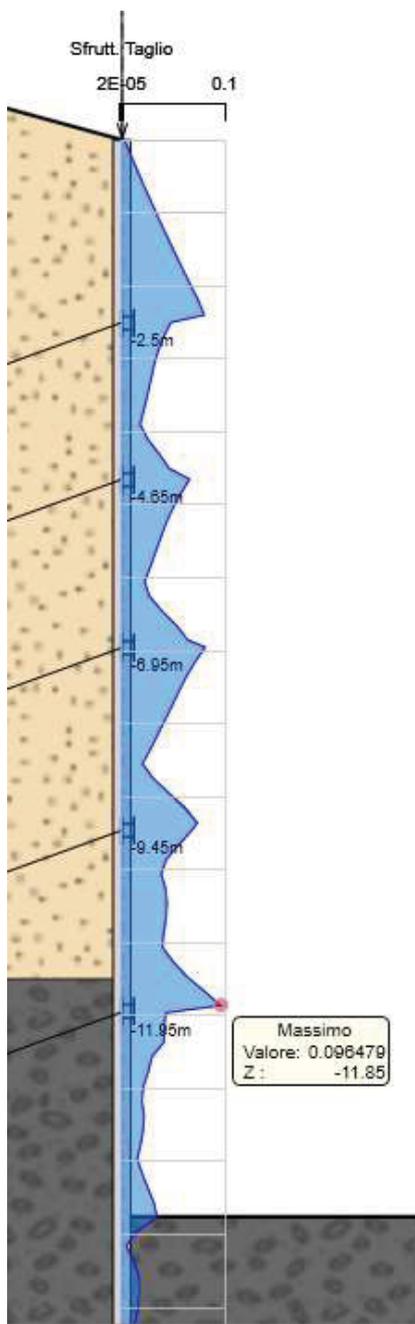


Figura 27 – Tassi di utilizzo materiali allo SLU per taglio

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

### 8.5.2 Verifiche sui tiranti

Per i tiranti sono state eseguite le verifiche a sfilamento del bulbo di fondazione e a rottura dei trefoli; di seguito si riportano i risultati.

| Verifica a rottura dei tiranti |        |        |           |        |        |            |         |           |       |      |
|--------------------------------|--------|--------|-----------|--------|--------|------------|---------|-----------|-------|------|
| Ordine                         | fp(1)k | Quota  | Interasse | incl.h | incl.v | n° trefoli | Tmax/ml | Tmax_calc | T_SLU | CS   |
|                                | (Mpa)  | (m)    | (m)       | deg    | deg    |            | (kN/m)  | (kN)      | (kN)  |      |
| T1                             | 1670   | -2.50  | 2.40      | 0      | 20     | 4          | 256.1   | 615       | 807   | 1.31 |
| T2                             | 1670   | -4.65  | 2.40      | 0      | 20     | 4          | 220.2   | 529       | 807   | 1.53 |
| T3                             | 1670   | -6.95  | 2.40      | 0      | 20     | 5          | 281.3   | 675       | 908   | 1.35 |
| T4                             | 1670   | -9.45  | 2.00      | 0      | 20     | 5          | 278.0   | 556       | 908   | 1.63 |
| T5                             | 1670   | -11.95 | 2.00      | 0      | 30     | 5          | 272.0   | 544       | 908   | 1.67 |

| Verifica a sfilamento bulbo di fondazione tiranti |      |       |      |      |           |     |      |         |       |      |
|---|------|-------|------|------|-----------|-----|------|---------|-------|------|
| Ordine  | Tmax | fperf | α    | τmax | FS        |     |      | L bulbo | T_res | CS   |
|   |      |       |      |      | Coeff tir | ζ   | FS   |         |       |      |
| T1  | 615  | 0.150 | 1.10 | 300  | 1.1       | 1.8 | 1.98 | 8.0     | 628   | 1.02 |
| T2  | 529  | 0.150 | 1.10 | 300  | 1.1       | 1.8 | 1.98 | 10.0    | 785   | 1.49 |
| T3  | 675  | 0.150 | 1.10 | 300  | 1.1       | 1.8 | 1.98 | 10.0    | 785   | 1.16 |
| T4  | 556  | 0.150 | 1.10 | 300  | 1.1       | 1.8 | 1.98 | 10.0    | 785   | 1.41 |
| T5  | 544  | 0.150 | 1.10 | 300  | 1.1       | 1.8 | 1.98 | 10.0    | 785   | 1.44 |

### 8.5.3 Verifiche sulle travi portatiranti in acciaio

Si prevede l'impiego di travi in acciaio tipo HEB180.

Di seguito le verifiche allo SLU.

| Verifica trave portatiranti in acciaio |         |          |       |              |        |       |       |      |  |
|--|---------|----------|-------|--------------|--------|-------|-------|------|--|
| Ordine                                 | Tmax/ml | ltiranti | Mmax  | Profilo tipo | W      | σmax  | σlim  | CS   |  |
|  | (kN/ml) | (m)      | kNm   |              | (mm3)  | (Mpa) | (Mpa) |      |  |
| T1                                     | 256.1   | 2.40     | 184.4 | 2HEB180      | 851400 | 216.5 | 338.1 | 1.56 |  |
| T2                                     | 220.2   | 2.40     | 158.6 | 2HEB180      | 851400 | 186.2 | 338.1 | 1.82 |  |
| T3                                     | 281.3   | 2.40     | 202.5 | 2HEB180      | 851400 | 237.8 | 338.1 | 1.42 |  |
| T4                                     | 278.0   | 2.40     | 200.2 | 2HEB180      | 851400 | 235.1 | 338.1 | 1.44 |  |
| T5                                     | 272.0   | 2.40     | 195.8 | 2HEB180      | 851400 | 230.0 | 338.1 | 1.47 |  |

### 8.5.4 Verifica del grado di mobilitazione della spinta passiva

Tale verifica consiste nel valutare la spinta passiva mobilitata ovvero la percentuale della massima spinta passiva possibile.

A2+M2+SISMA

Percentuale spinta passiva mobilitata 12%

### 8.5.5 Verifica di stabilità globale

Di seguito l'esito delle verifiche di stabilità globale sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche. Nel modello non si è tenuto conto della presenza dei tiranti.

In condizioni *statiche*, le caratteristiche del terreno e le azioni esterne fanno riferimento alla combinazione A2+M2 (parametri ridotti del terreno).

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

La condizione di verifica  $E_d \leq R_d$  equivale ad avere un coefficiente di sicurezza in corrispondenza della superficie di scorrimento critica  $F_{min} \geq \gamma R$ :

$$F = R_d/E_d \geq 1.1$$

In condizioni *sismiche*, le caratteristiche del terreno e le azioni esterne non subiscono riduzione.

La condizione di verifica  $E_d \leq R_d$  equivale ad avere un coefficiente di sicurezza in corrispondenza della superficie di scorrimento critica  $F_{min} \geq \gamma R$ :

$$F = R_d/E_d \geq 1.2$$

Nelle analisi è stato adottato il metodo di *Morgenstern e Price* (1965) che tiene conto sia delle forze di taglio sia di quelle normali scambiate tra le strisce e considera delle superfici di scorrimento a direttrice circolare.

In condizioni sismiche, la stabilità è stata analizzata mediante un approccio pseudostatico. Gli effetti del sisma sono stati quindi rappresentati con delle forze d'inerzia orizzontali e verticali applicate alla massa instabile:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = \pm k_v \cdot W$$

W è il peso totale della massa di terreno al disopra della superficie di scorrimento.

Di seguito i coefficienti sismici:

**Azioni sismiche per verifiche di stabilità globali**

|                               |           |        |
|-------------------------------|-----------|--------|
| Categoria di suolo fondazione | Cat       | E      |
| Fattore Ss                    |           | 1.6    |
| Fattore St                    |           | 1.2    |
| Fattore S                     | S         | 1.92   |
| Valore di ag/g                | ag/g      | 0.1370 |
| fattore riduttivo $\beta_s$   | $\beta_s$ | 0.38   |

|                                  |    |              |
|----------------------------------|----|--------------|
| Coefficiente sismico orizzontale | kh | <b>0.100</b> |
| Coefficiente sismico verticale   | kv | <b>0.050</b> |

GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone  
Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

Di seguito i risultati delle analisi.

3.167

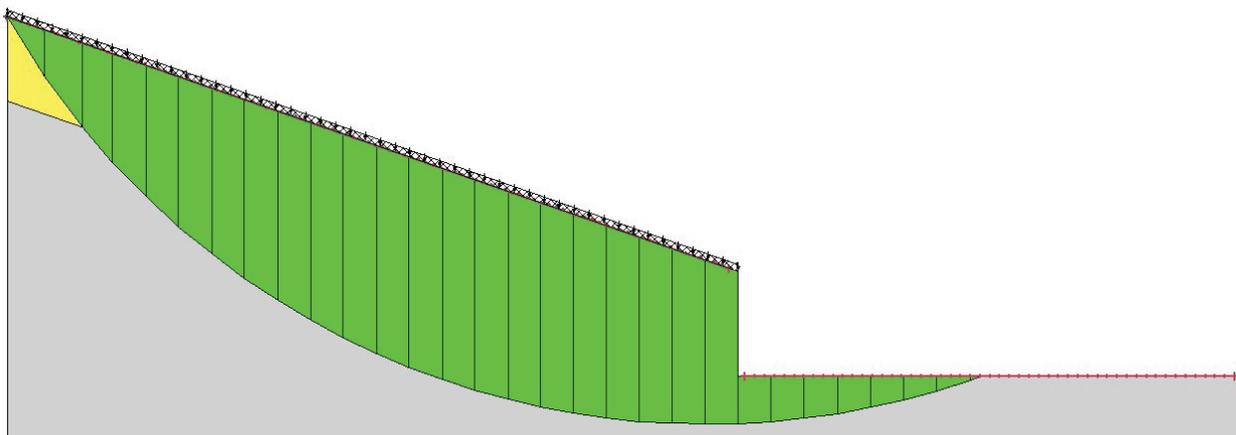


Figura 28 - Caso statico

3.168

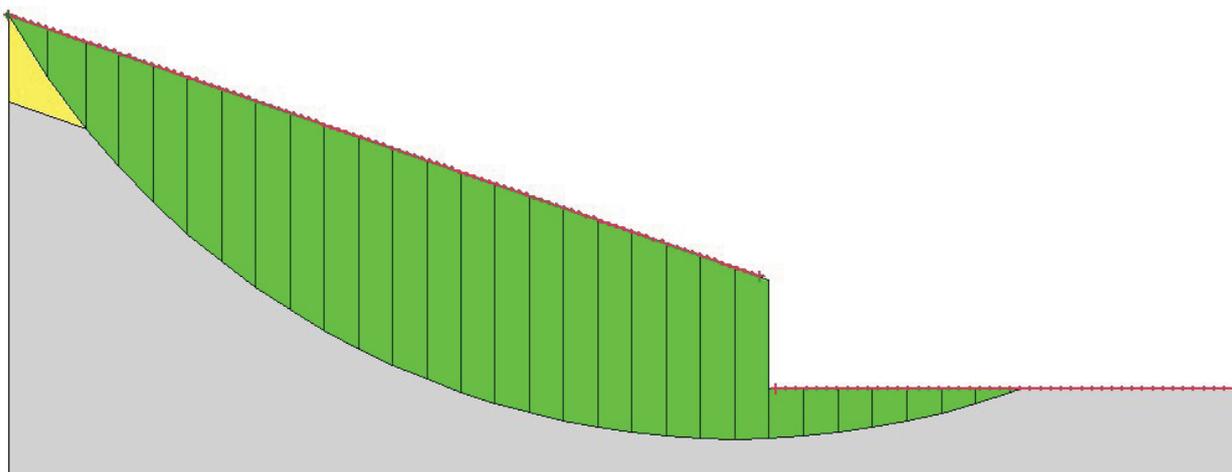


Figura 29 - Caso sismico

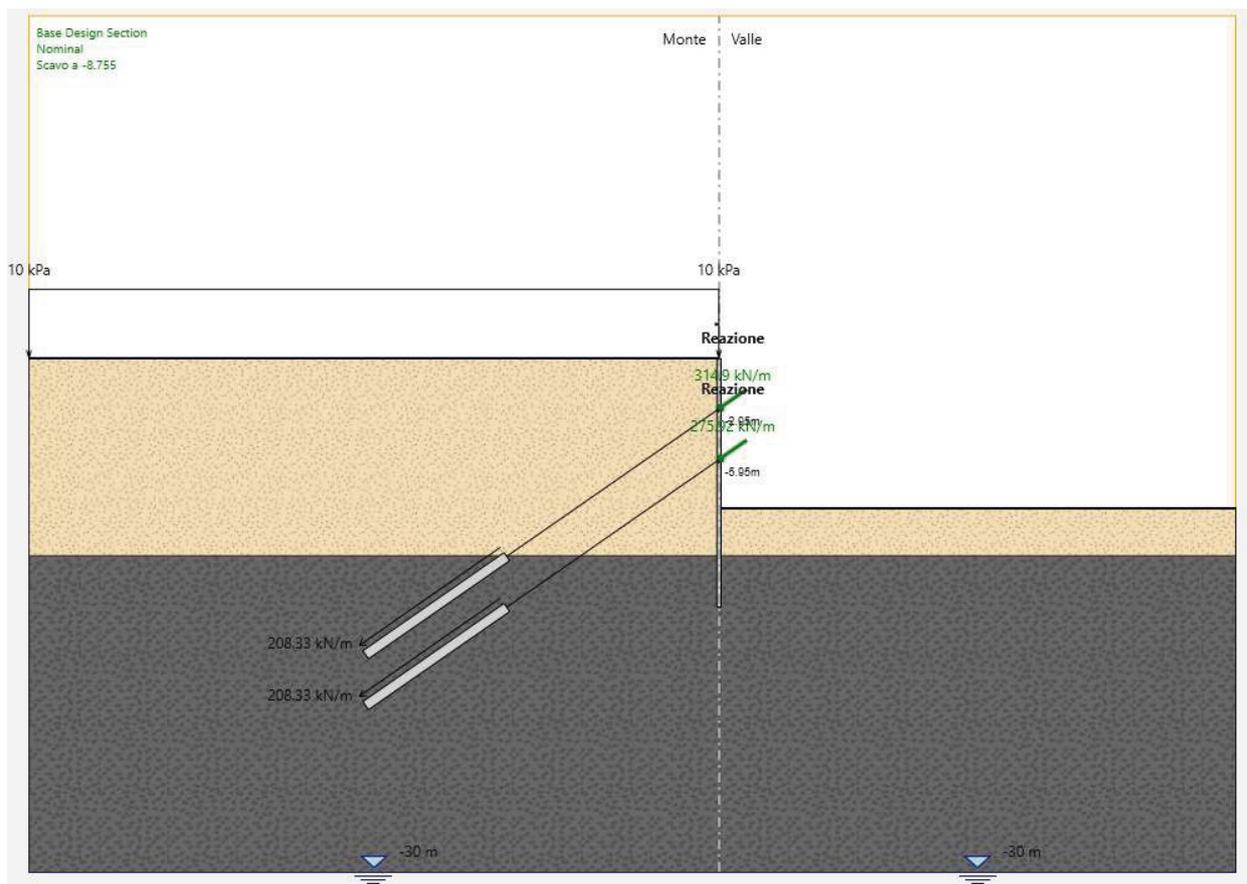
Il fattore di sicurezza in condizioni statiche è pari a 3.17, maggiore di 1.1, pertanto la verifica è soddisfatta.

Il fattore di sicurezza in condizioni sismiche è pari a 3.17, maggiore di 1.2, pertanto la verifica è soddisfatta.

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

## 9. SEZIONE 3 – SEZIONE TRASVERSALE VALLE- $H_{SCAVO} = 8.50 \text{ M}$

### 9.1 GEOMETRIA SEZIONE



### 9.2 FASI DI CALCOLO

Le fasi di calcolo considerate nell'analisi, successivamente alla realizzazione dei micropali sono:

1. Scavo fino a quota **3.45m** sotto quota testa cordolo per la realizzazione dei tiranti;
2. Realizzazione tiranti **ordine 1**;
3. Scavo fino a quota **6.45m** sotto quota testa cordolo per la realizzazione dei tiranti;
4. Realizzazione tiranti **ordine 2**;
5. Scavo finale a quota **8.50 (8.755)**;
6. Applicazione azioni sismiche.

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

### 9.3 DATI DI INPUT

#### 9.3.1 Caratteristiche paratia

Di seguito si riepilogano le caratteristiche geometriche dell'opera di sostegno:

| Diaframma o Pali   |  |
|--|--|
| Calcestruzzo   |  |
|   | Materiale: C25/30<br>Spessore: Ct = 0.6 m<br>Diametro: Cd = 0.24 m<br>Passo: Cs = 0.4 m                |
| Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidità [0-1]                     | ac = 0   |
| Acciaio  |  |
|  | Materiale: S355<br>Profilo:<br>Passo: Ss = 0.4 m<br>Diametro: Sod = 0.1937 m<br>Spessore: Sot = 0.01 m |

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

**9.3.2 Tiranti**

Di seguito si riepilogano in forma tabellare le caratteristiche geometriche dei tiranti:

**Dati Tirante**

Sezione  
 Modifica...

L. Libera  m > Angolo  °

L. Bulbo (Lfix)  m      Passo orizz.  m

Efficacia bulbo (%)       Precarico  kN

Diametro Perforazione  m

Usa coefficienti di aderenza personalizzati

Metodo di Iniezione

$\alpha$        Qskin  kPa

Vincolo Permanente

Comportamento Plastico      Carico Ultimo  kN

*Figura 30 – Tiranti ordine 1*

GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone  
Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

Dati Tirante

Sezione  
5 trefoli Modifica...

L. Libera  m > Angolo  °  
L. Bulbo (Lfix)  m Passo orizz.  m  
Efficacia bulbo (%)  Precarico  kN  
Diametro Perforazione  m

Usa coefficienti di aderenza personalizzati

Metodo di Iniezione

$\alpha$   Qskin  kPa

Vincolo Permanente

Comportamento Plastico Carico Ultimo  kN

Figura 31 – Tiranti ordine 2

GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone  
Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

## 9.4 RISULTATI DELL'ANALISI

### 9.4.1 Sollecitazioni

Di seguito le sollecitazioni di involucro allo SLE e allo SLU.

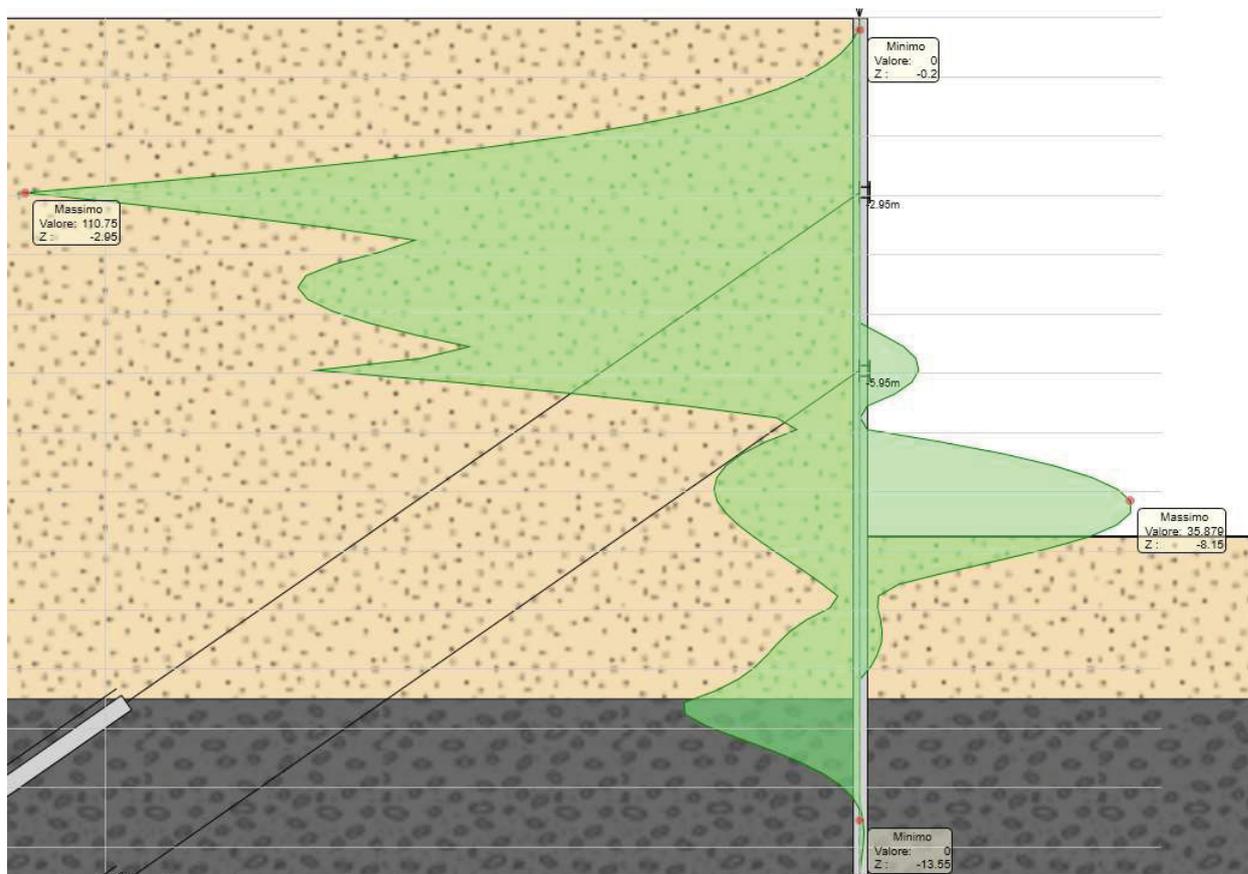


Figura 32 - Momenti di involucro allo SLE

GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone  
 Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

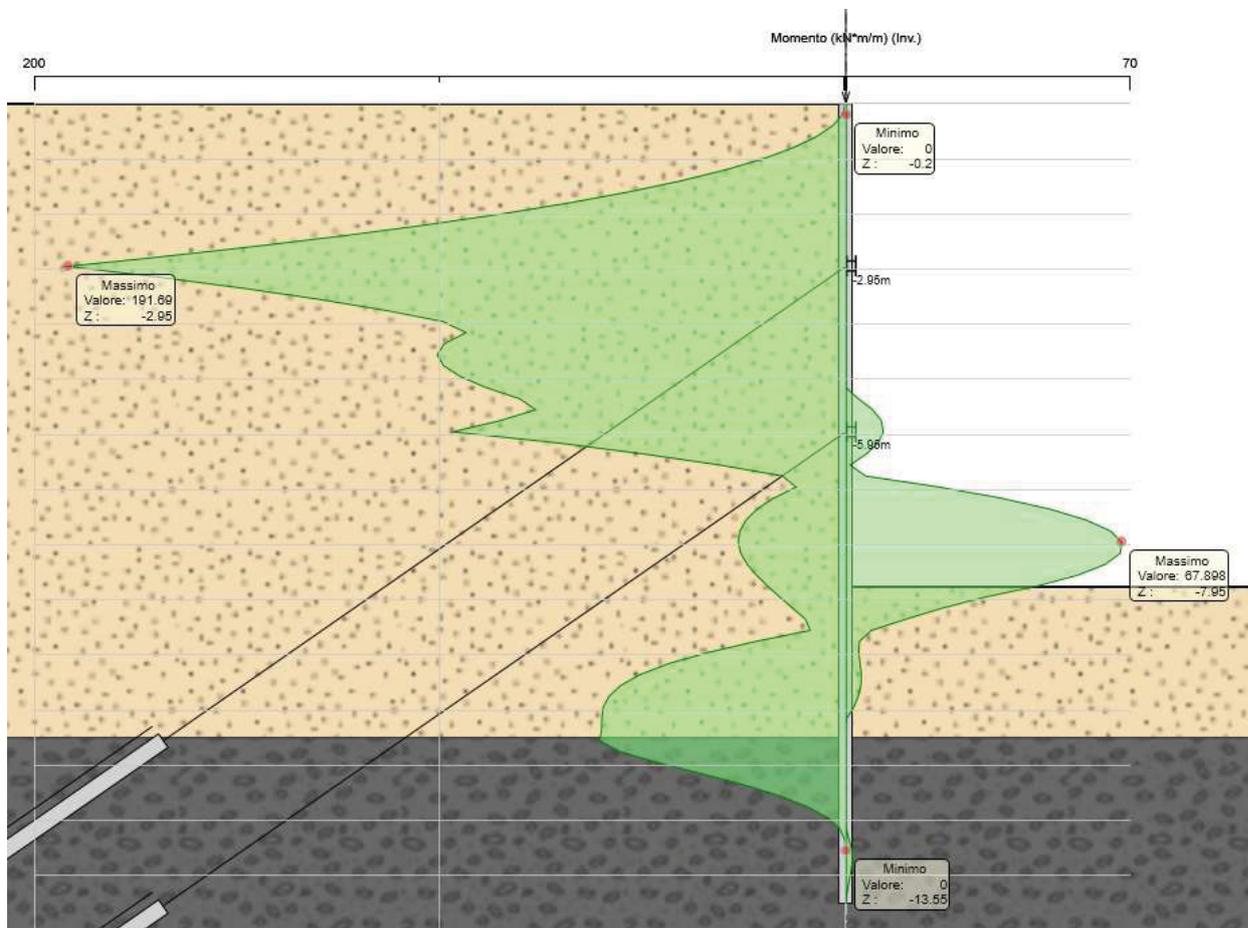


Figura 33 - Momenti di involuppo allo SLU

GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone  
Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

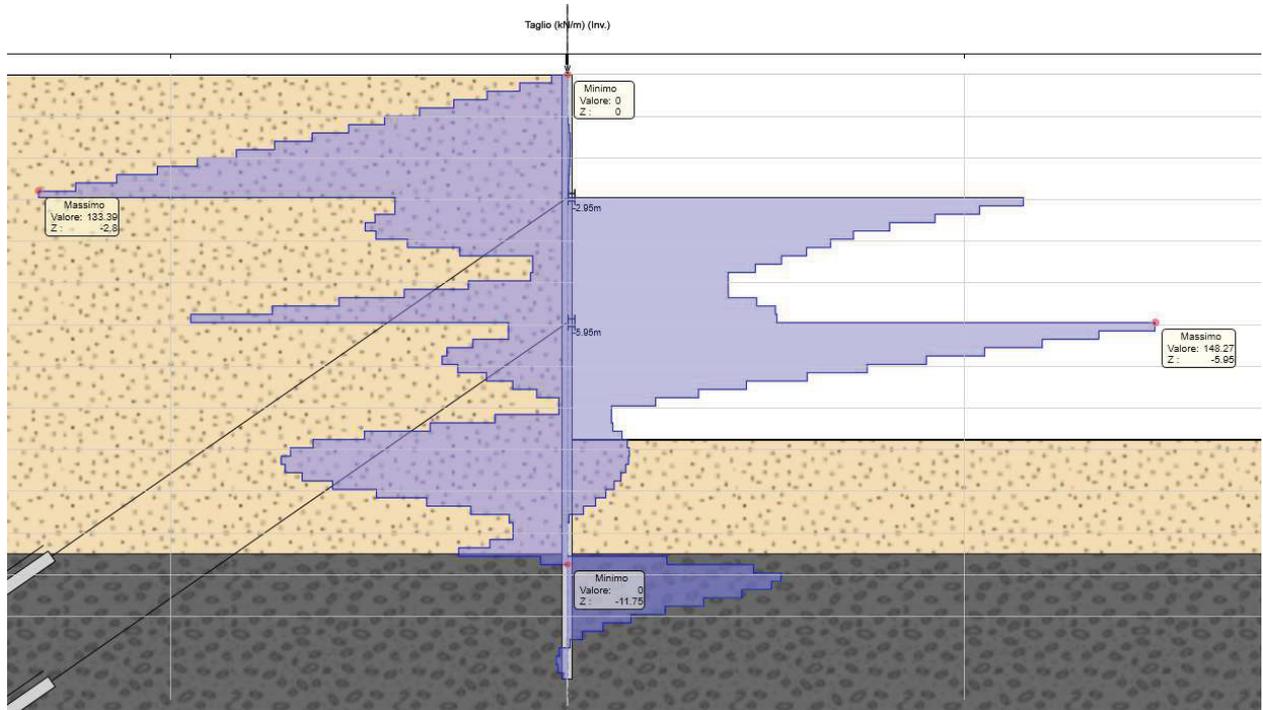


Figura 34 - Taglio di involuppo allo SLU

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

**9.4.2 Spostamenti**

Di seguito gli spostamenti della paratia allo SLE.

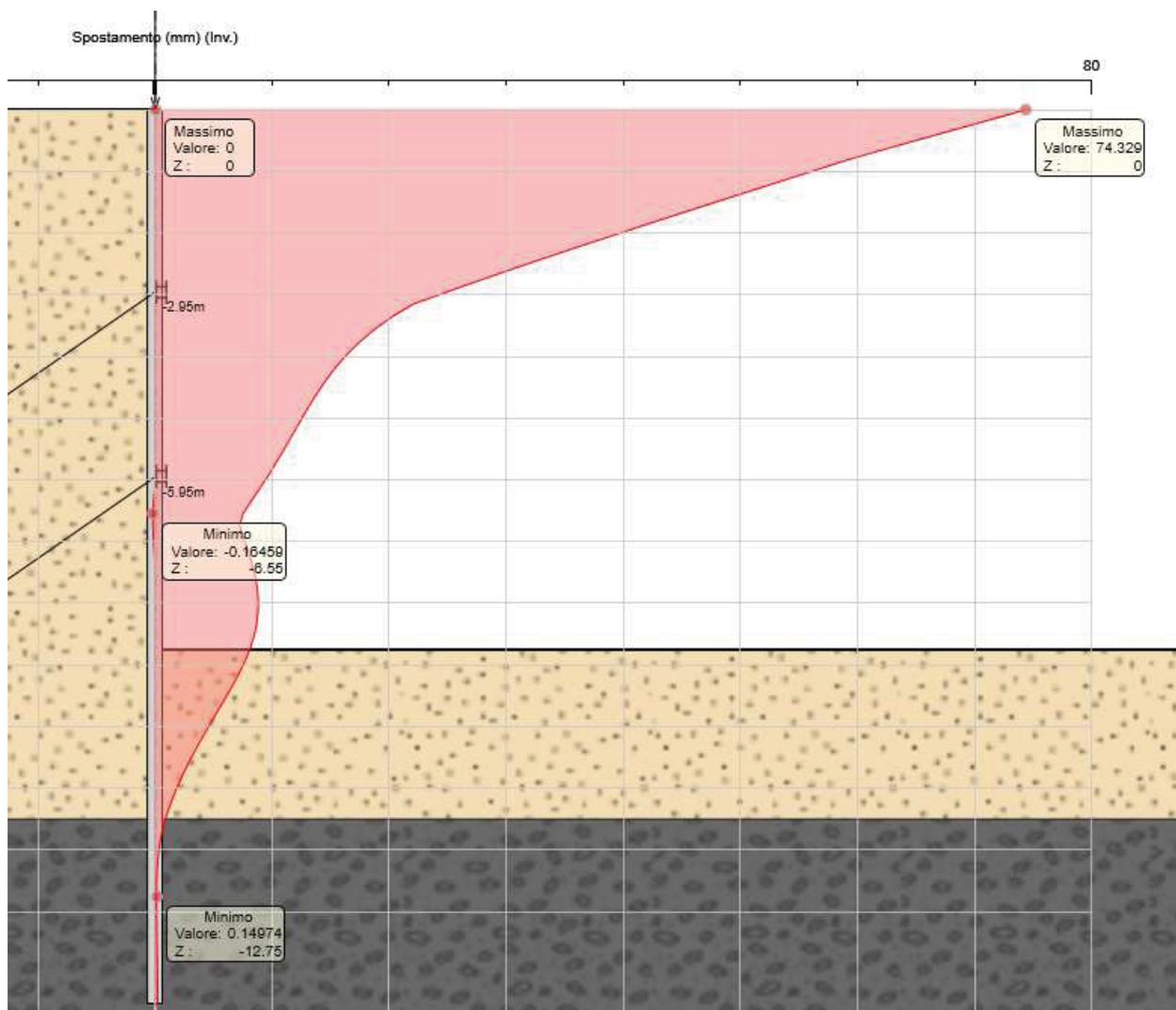
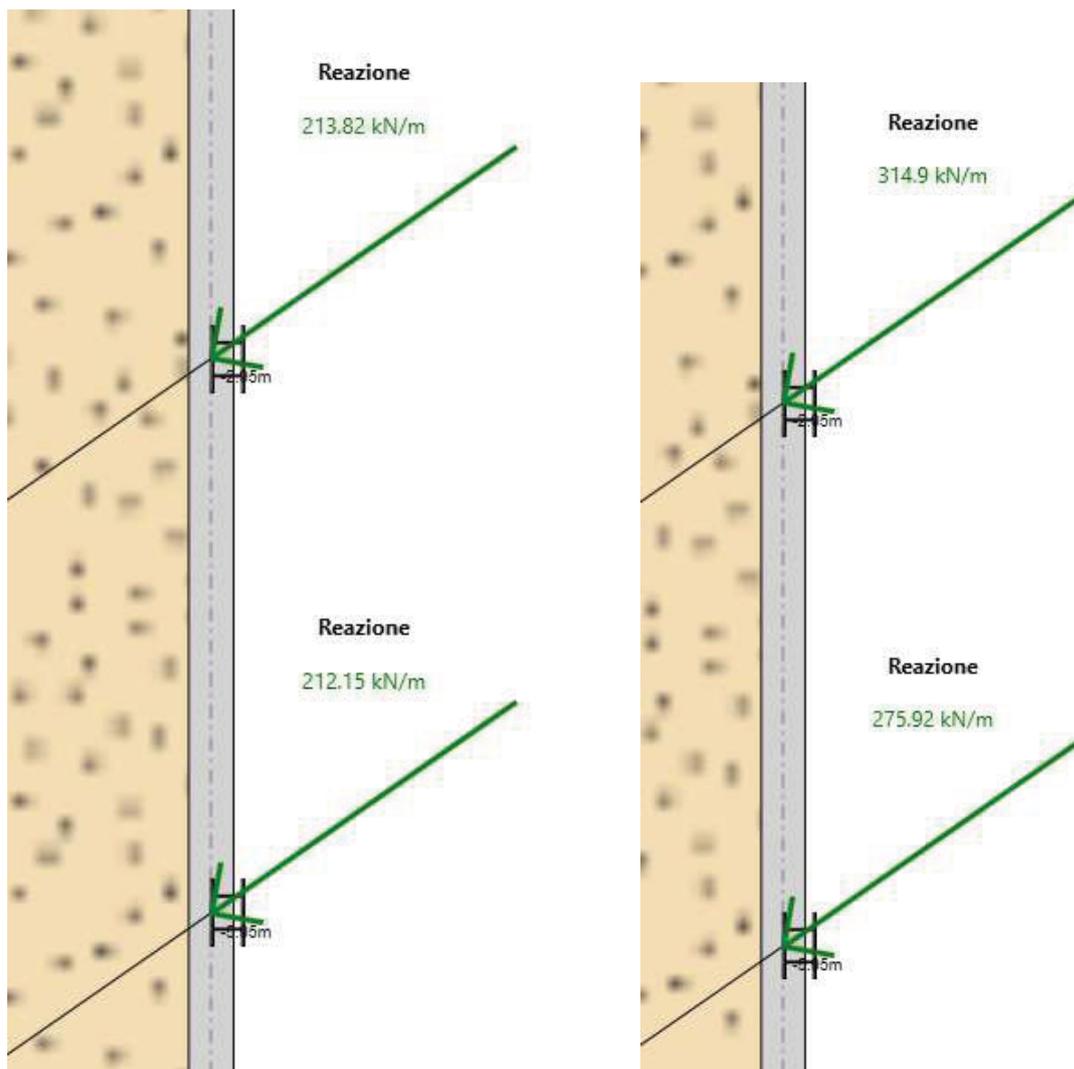


Figura 35 – Spostamenti paratia

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

**9.4.3 Tiro sui tiranti**

Di seguito le azioni massime sui tiranti allo SLE e allo SLU.



*Figura 36 – Azioni massime sui tiranti allo SLE e allo SLU*

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

## 9.5 VERIFICHE

### 9.5.1 Verifiche strutturali paratia

Di seguito il diagramma di utilizzo della sezione allo SLU per effetto del momento flettente.

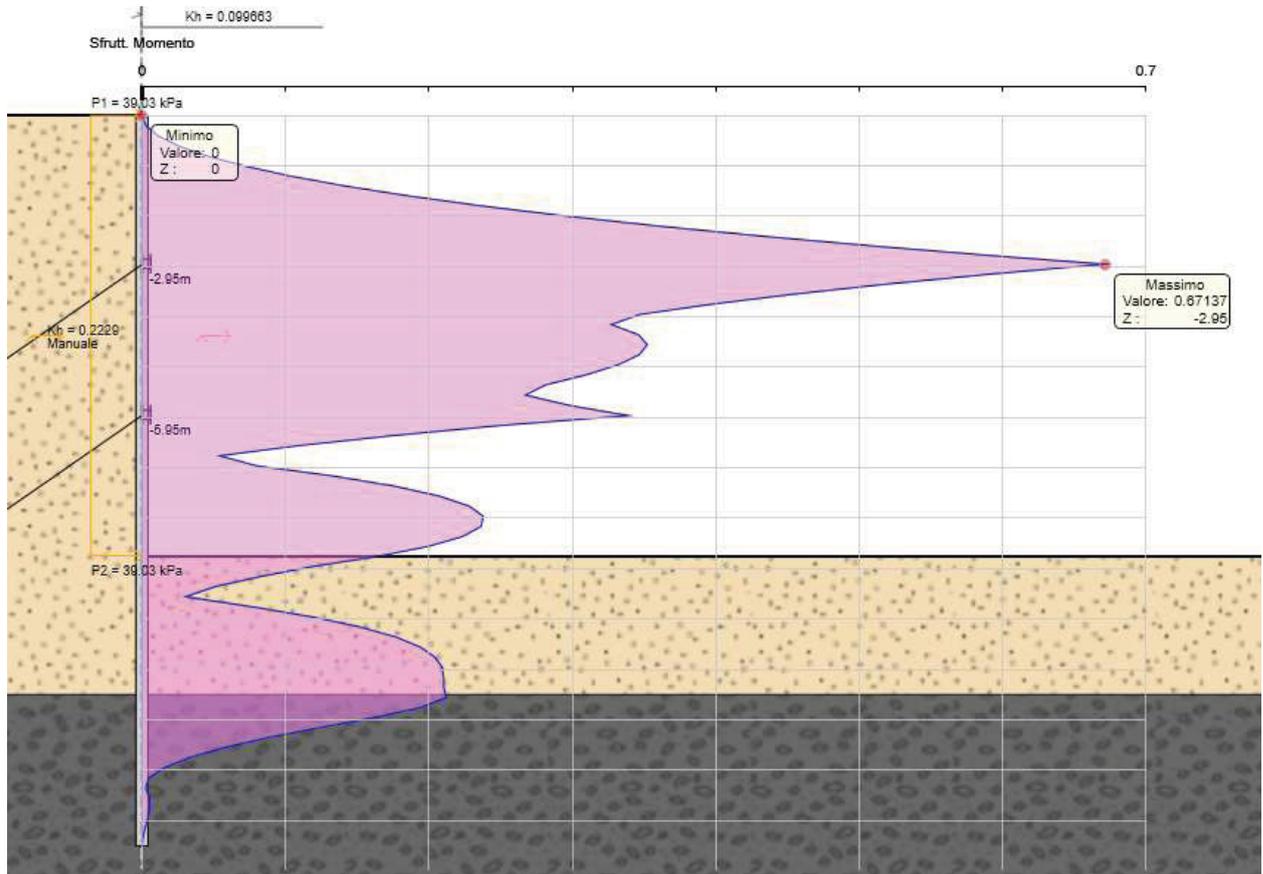


Figura 37 – Tassi di utilizzo materiali allo SLU per momento flettente

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

Di seguito il diagramma di utilizzo della sezione allo SLU per effetto del taglio.

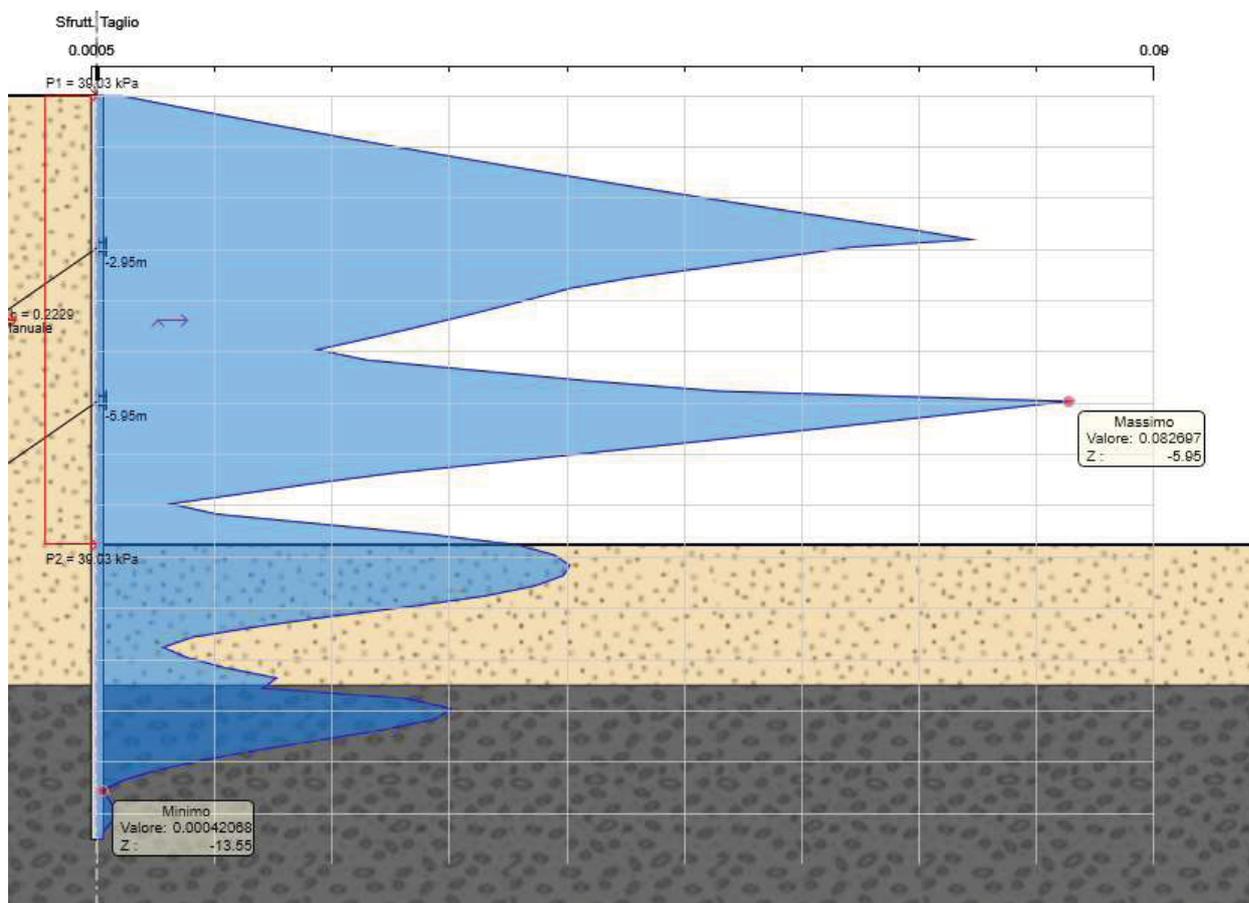


Figura 38 – Tassi di utilizzo materiali allo SLU per taglio

### 9.5.2 Verifiche sui tiranti

Per i tiranti sono state eseguite le verifiche a sfilamento del bulbo di fondazione e a rottura dei trefoli; di seguito si riportano i risultati.

| Verifica a rottura dei tiranti |        |       |           |        |        |            |         |           |       |      |
|--------------------------------|--------|-------|-----------|--------|--------|------------|---------|-----------|-------|------|
| Ordine                         | fp(1)k | Quota | Interasse | incl.h | incl.v | n° trefoli | Tmax/ml | Tmax_calc | T_SLU | CS   |
|                                | (Mpa)  |       |           |        |        |            | (m)     | (m)       | deg   |      |
| T1                             | 1670   | -2.95 | 2.40      | 0      | 35     | 5          | 314.9   | 756       | 1009  | 1.34 |
| T2                             | 1670   | -5.95 | 2.40      | 0      | 35     | 5          | 275.9   | 662       | 1009  | 1.52 |

| Verifica a sfilamento bulbo di fondazione tiranti |      |       |      |       |           |     |      |         |       |      |
|---|------|-------|------|-------|-----------|-----|------|---------|-------|------|
| Ordine  | Tmax | fperf | α    | τmax  | FS        |     |      | L bulbo | T_res | CS   |
|   | (kN) | (m)   |      | (kPa) | Coeff tir | ζ   | FS   | (m)     | (kN)  |      |
| T1  | 756  | 0.150 | 1.10 | 300   | 1.1       | 1.8 | 1.98 | 10.0    | 785   | 1.04 |
| T2  | 662  | 0.150 | 1.10 | 300   | 1.1       | 1.8 | 1.98 | 10.0    | 785   | 1.19 |

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

### 9.5.3 Verifiche sulle travi portatiranti in acciaio

Si prevede l'impiego di travi in acciaio tipo HEB180.

Di seguito le verifiche allo SLU.

| Verifica trave portatiranti in acciaio |         |                 |             |              |                         |                           |                           |      |
|--|---------|-----------------|-------------|--------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|------|
| Ordine                                 | Tmax/ml | Itiranti<br>(m) | Mmax<br>kNm | Profilo tipo | W<br>(mm <sup>3</sup> ) | σ <sub>max</sub><br>(Mpa) | σ <sub>lim</sub><br>(Mpa) | CS   |
|  | (kN/ml) |                 |             |              |                         |                           |                           |      |
| T1                                     | 314.9   | 2.40            | 226.7       | 2HEB180      | 851400                  | 266.3                     | 338.1                     | 1.27 |
| T2                                     | 275.9   | 2.40            | 198.7       | 2HEB180      | 851400                  | 233.3                     | 338.1                     | 1.45 |

### 9.5.4 Verifica del grado di mobilitazione della spinta passiva

Tale verifica consiste nel valutare la spinta passiva mobilitata ovvero la percentuale della massima spinta passiva possibile.

A2+M2+SISMA

Percentuale spinta passiva mobilitata 11%

### 9.5.5 Verifica di stabilità globale

Di seguito l'esito delle verifiche di stabilità globale sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche. Nel modello non si è tenuto conto della presenza dei tiranti.

In condizioni *statiche*, le caratteristiche del terreno e le azioni esterne fanno riferimento alla combinazione A2+M2 (parametri ridotti del terreno).

La condizione di verifica  $E_d \leq R_d$  equivale ad avere un coefficiente di sicurezza in corrispondenza della superficie di scorrimento critica  $F_{min} \geq \gamma R$ :

$$F = R_d/E_d \geq 1.1$$

In condizioni *sismiche*, le caratteristiche del terreno e le azioni esterne non subiscono riduzione.

La condizione di verifica  $E_d \leq R_d$  equivale ad avere un coefficiente di sicurezza in corrispondenza della superficie di scorrimento critica  $F_{min} \geq \gamma R$ :

$$F = R_d/E_d \geq 1.2$$

Nelle analisi è stato adottato il metodo di *Morgenstern e Price* (1965) che tiene conto sia delle forze di taglio sia di quelle normali scambiate tra le strisce e considera delle superfici di scorrimento a direttrice circolare.

In condizioni sismiche, la stabilità è stata analizzata mediante un approccio pseudostatico. Gli effetti del sisma sono stati quindi rappresentati con delle forze d'inerzia orizzontali e verticali applicate alla massa instabile:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = \pm k_v \cdot W$$

**GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone**  
**Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali**

W è il peso totale della massa di terreno al disopra della superficie di scorrimento.

Di seguito i coefficienti sismici:

**Azioni sismiche per verifiche di stabilità globali**

|                               |           |        |
|-------------------------------|-----------|--------|
| Categoria di suolo fondazione | Cat       | E      |
| Fattore Ss                    |           | 1.6    |
| Fattore St                    |           | 1.2    |
| Fattore S                     | S         | 1.92   |
| Valore di ag/g                | ag/g      | 0.1370 |
| fattore riduttivo $\beta_s$   | $\beta_s$ | 0.38   |

|                                  |    |              |
|----------------------------------|----|--------------|
| Coefficiente sismico orizzontale | kh | <b>0.100</b> |
| Coefficiente sismico verticale   | kv | <b>0.050</b> |

Di seguito i risultati delle analisi.

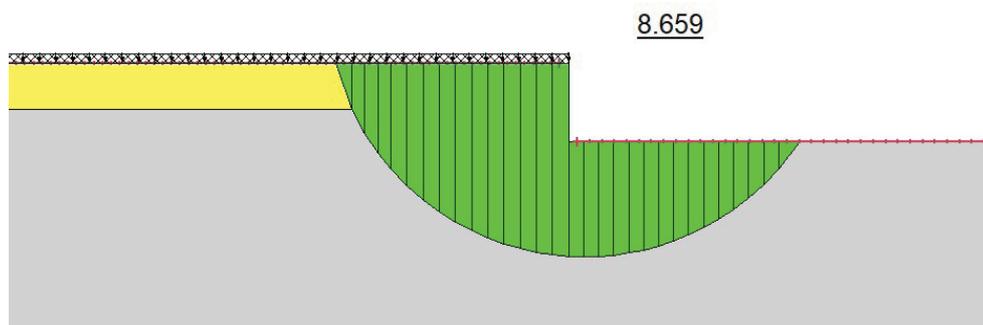


Figura 39 - Caso statico

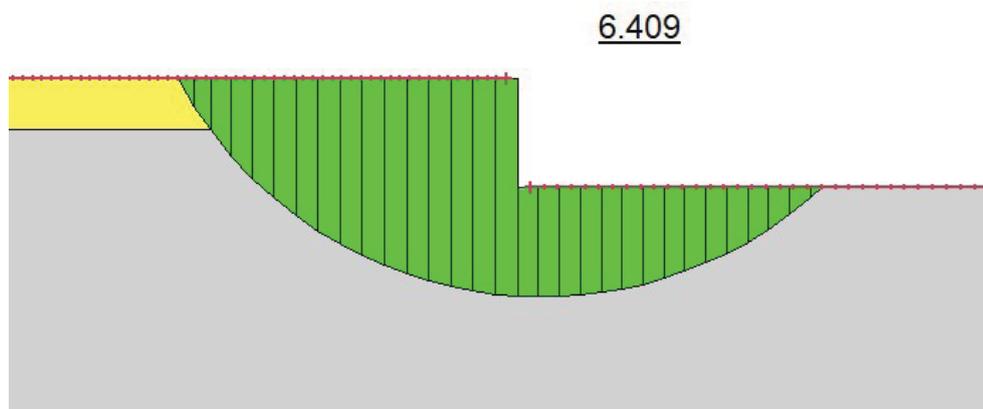


Figura 40 - Caso sismico

Il fattore di sicurezza in condizioni statiche è pari a 8.7 maggiore di 1.1, pertanto la verifica è soddisfatta.



S.S. 45bis – GARDESANA OCCIDENTALE  
Opere di costruzione della galleria in variante tra il km 86+576 e il km 88+800  
finalizzata a sottendere le attuali gallerie ogivali a sezione ristretta  
PROGETTO DEFINITIVO

---

GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone  
Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

---

Il fattore di sicurezza in condizioni sismiche è pari a 6.4, maggiore di 1.2, pertanto la verifica è soddisfatta.