

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

1. DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	4
2. VITA NOMINALE, CLASSE D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO	5
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
4. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	7
4.1 CALCESTRUZZI.....	7
4.1.1 Cordoli.....	7
4.2 MALTE	7
4.2.1 Malta micropali e tiranti.....	7
4.3 ACCIAI.....	7
4.3.1 Acciaio da c.a.....	7
4.3.2 Acciaio da carpenteria	7
4.3.3 Acciaio da c.a.p.....	8
5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	9
6. METODOLOGIA DI CALCOLO.....	11
6.1 ANALISI CON IL SOFTWARE PARATIE PLUS	11
6.2 COEFFICIENTI DI SPINTA.....	11
6.3 CARICHI	11
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
6.4 VERIFICHE NEI CONFRONTI DEGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU)	13
6.4.1 Verifiche della paratia.....	14
6.4.2 Verifiche dei tiranti	14
6.4.3 Verifiche delle travi di ripartizione	16
6.5 SEZIONI DI CALCOLO.....	16

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

7. SEZIONE 1 – SEZIONE LONGITUDINALE - H_{SCAVO} = 14.50 M	18
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
8. SEZIONE 2 – SEZIONE TRASVERSALE MONTE - H_{SCAVO} = 14.50 M	37
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
9.	SEZIONE 3 – SEZIONE TRASVERSALE VALLE- $H_{SCAVO} = 8.50 M$	52
9.1	GEOMETRIA SEZIONE	52
9.2	FASI DI CALCOLO.....	52
9.3	DATI DI INPUT	53
9.3.1	Caratteristiche paratia.....	53
9.3.2	Tiranti.....	54
9.4	RISULTATI DELL'ANALISI.....	56
9.4.1	Sollecitazioni	56
9.4.2	Spostamenti	59
9.4.3	Tiro sui tiranti	60
9.5	VERIFICHE.....	61
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° - 25° - 35° 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 (fyk) : 450 MPa
- TENSIONE CARATTERISTICA DI ROTTURA (ftk) : 540 MPa
- $fyk \geq fynom$ frattile 5%
- $ftk \geq ftnom$ frattile 5%
- $1.15 \leq (ft/fy)_k \leq 1.35$ frattile 10%
- $(fy/fynom)_k \leq 1.25$ 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} | : $\geq 3.5 \%$ |

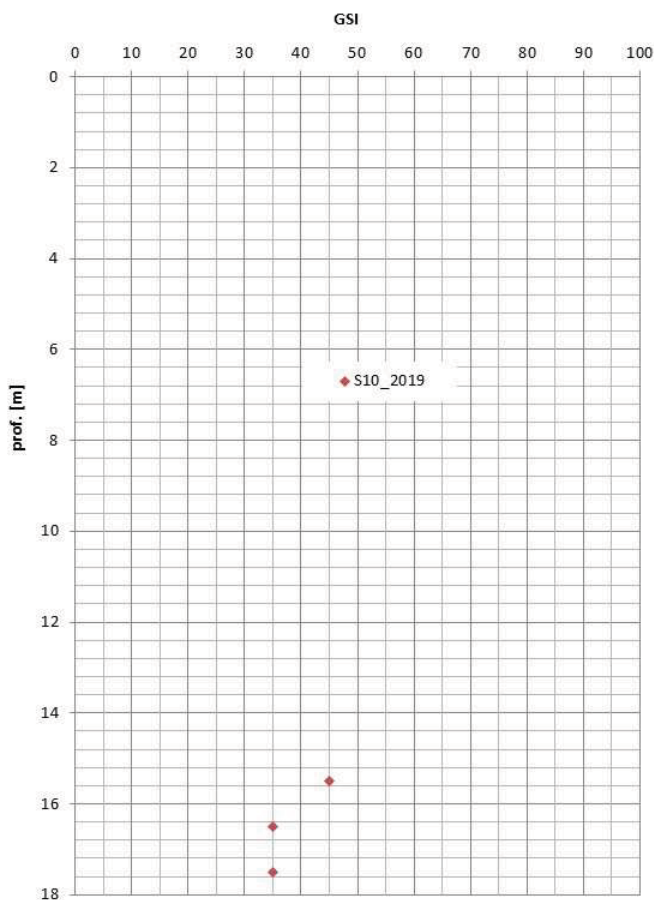
GALLERIE NATURALI – Galleria naturale Muslone
Imbocco sud - Relazione di calcolo opere provvisionali

5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

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

STRATO	spessore strato (m)	PESO γ (kN/m ³)	RESISTENZA (parametri caratteristici)		RESISTENZA (parametri ridotti) A2+M2		RIGIDEZZA	
			c'	ϕ'	c'	ϕ'	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 uniassiale | $\sigma_c = 46 \text{ MPa}$ |
| • 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 (σ_{ci}) = 46 MPa
 GSI = 35 $m_i = 8$ Disturbance factor (D) = 0.5
 intact modulus (E_i) = 39000 MPa

Hoek-Brown Criterion

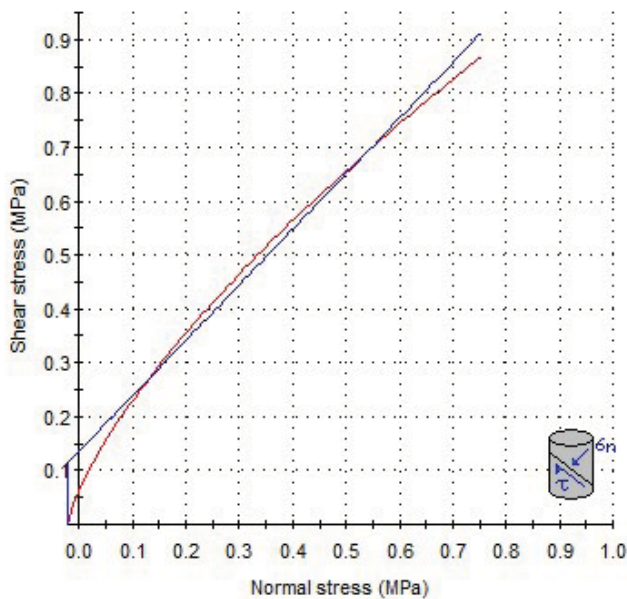
$m_b = 0.362$ $s = 0.0002$ $a = 0.516$

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 geotecnico, 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 γ_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;

α è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni;

β 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 γ 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 ₂
Coefficiente S_T :	1.2

Coefficienti di riduzione dell'azione sismica

Il valore assunto per α 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 γ_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 γ_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}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Le Azioni ed i relativi coefficienti parziali γ_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 γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ 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 γ_{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 (σ_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	γ_R	1,1
Permanenti	γ_R	1,2

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

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

dove ξ 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;
- τ_{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.

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

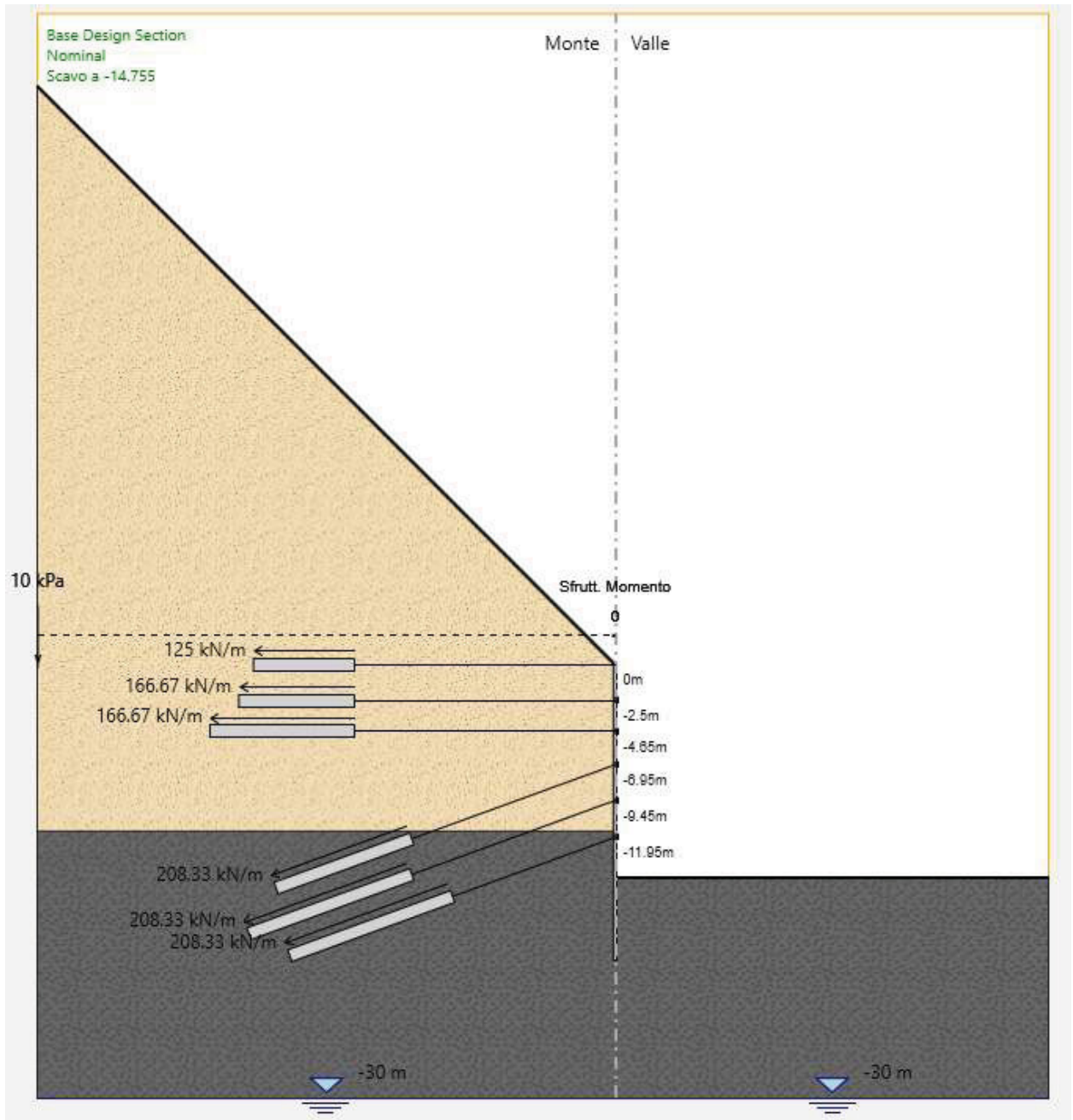
Calcolo incremento altezza di scavo

			Sezione 1	Sezione 2	Sezione 3
Tipo paratia (sbalzo, vincolata)			Vincolata	Vincolata	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	14.755	14.755	8.755

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		Acciaio			
	Materiale	C25/30			Materiale	S355	
	Spessore	Ct	0,6 m		Profilo	-	
	Diametro	Cd	0,24 m		Passo	Ss	0,4 m
	Passo	Cs	0,4 m		Diametro	Sod	0,1937 m
Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidità [0-1]		ac	0	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: 3 trefoli Modifica...

L. Libera: 18 m > Angolo: 0 °

L. Bulbo (Lfix): 7 m > Passo orizz.: 2.4 m

Efficacia bulbo (%): 100 > Precarico: 300 kN

Diametro Perforazione: 0.15 m

Usa coefficienti di aderenza personalizzati

Metodo di Iniezione: GRAVITY_GROUTING

α : 1.1 > Qskin: 300 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

α 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

α 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

α 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

α 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

α 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.

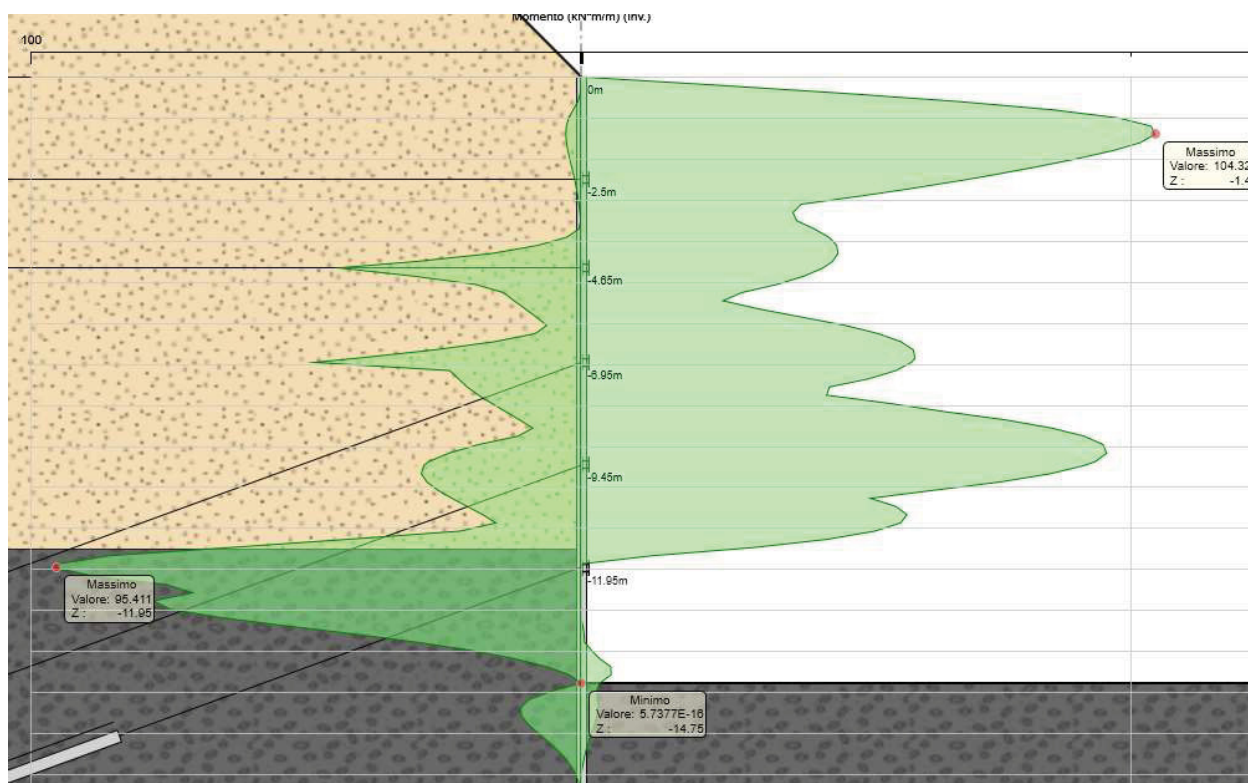


Figura 7 - Momenti di involucro allo SLE

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

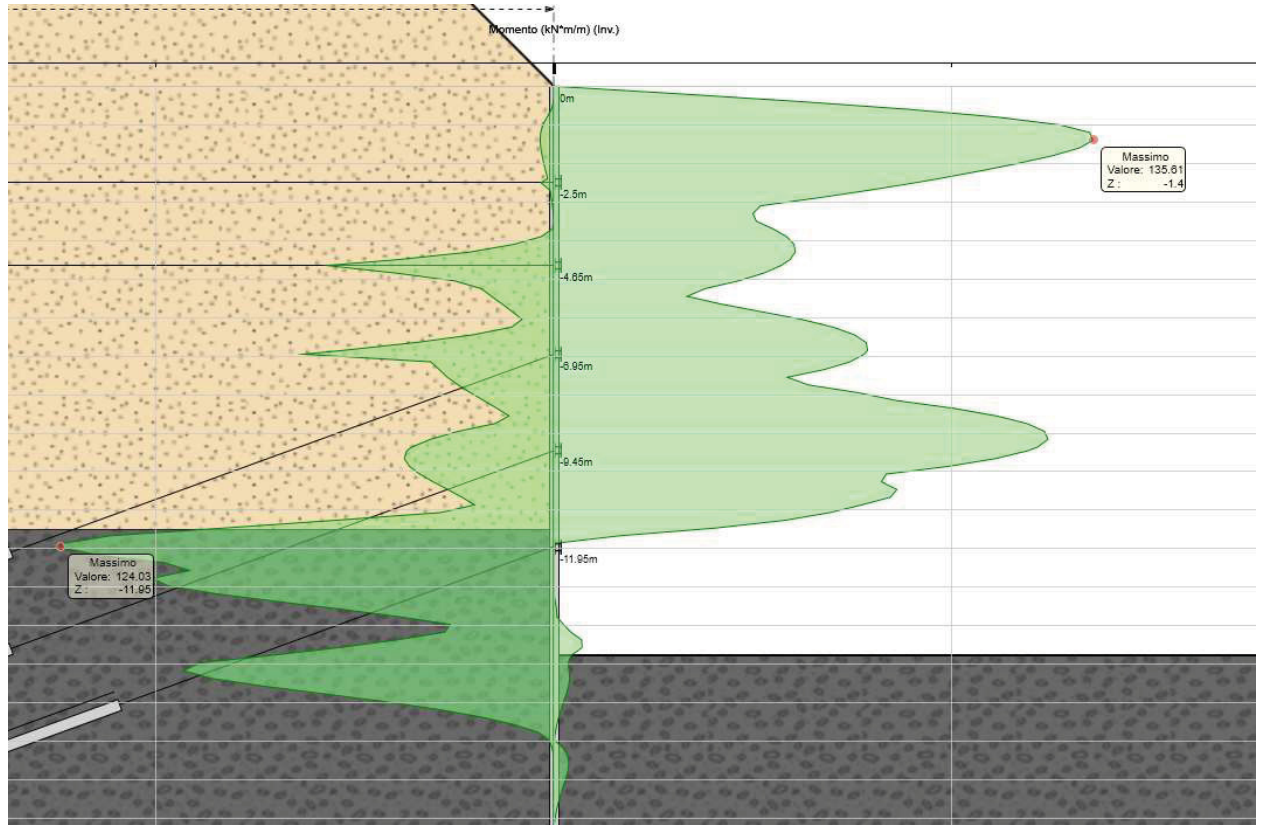


Figura 8 - Momenti di involucro allo SLU

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

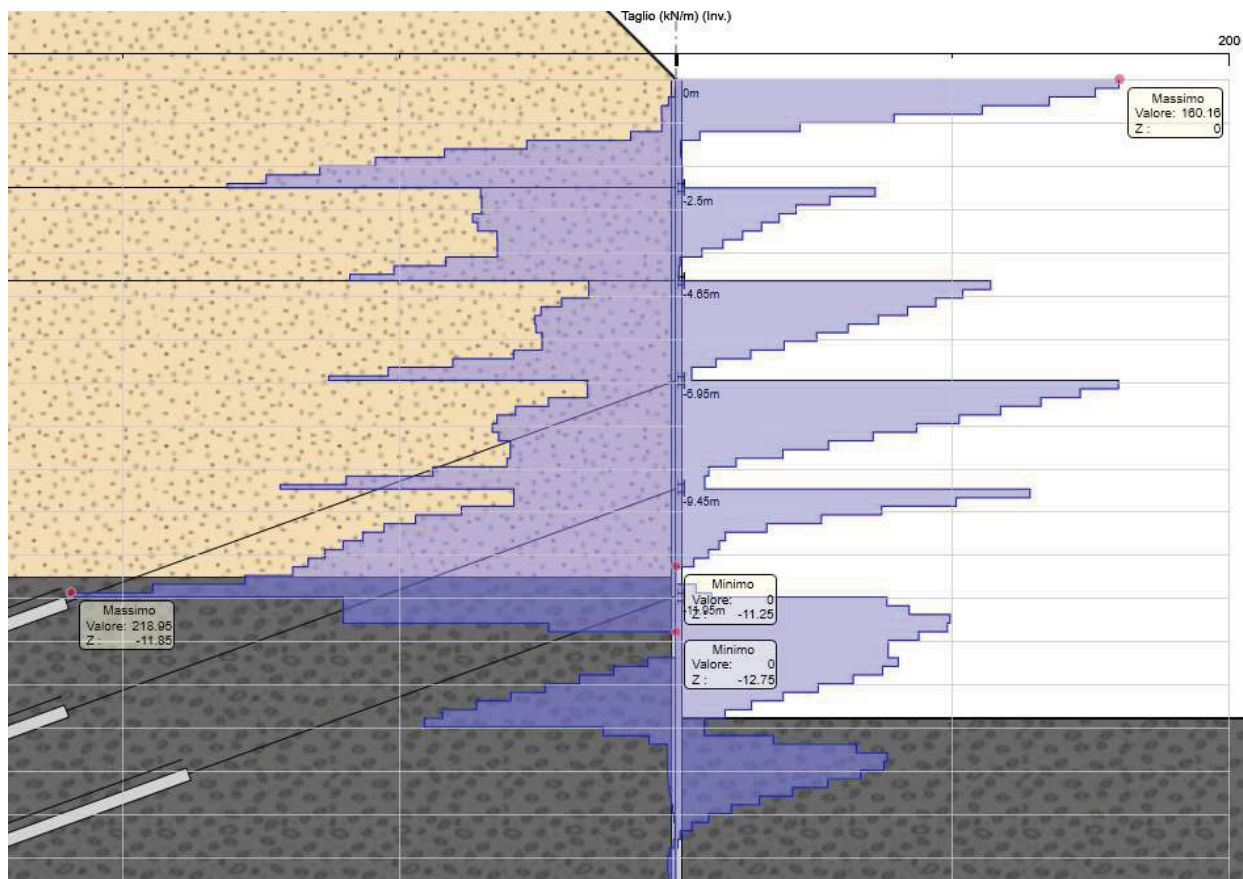


Figura 9 - Taglio di involuppo allo SLU

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

7.4.2 Spostamenti

Di seguito gli spostamenti della paratia allo SLE.

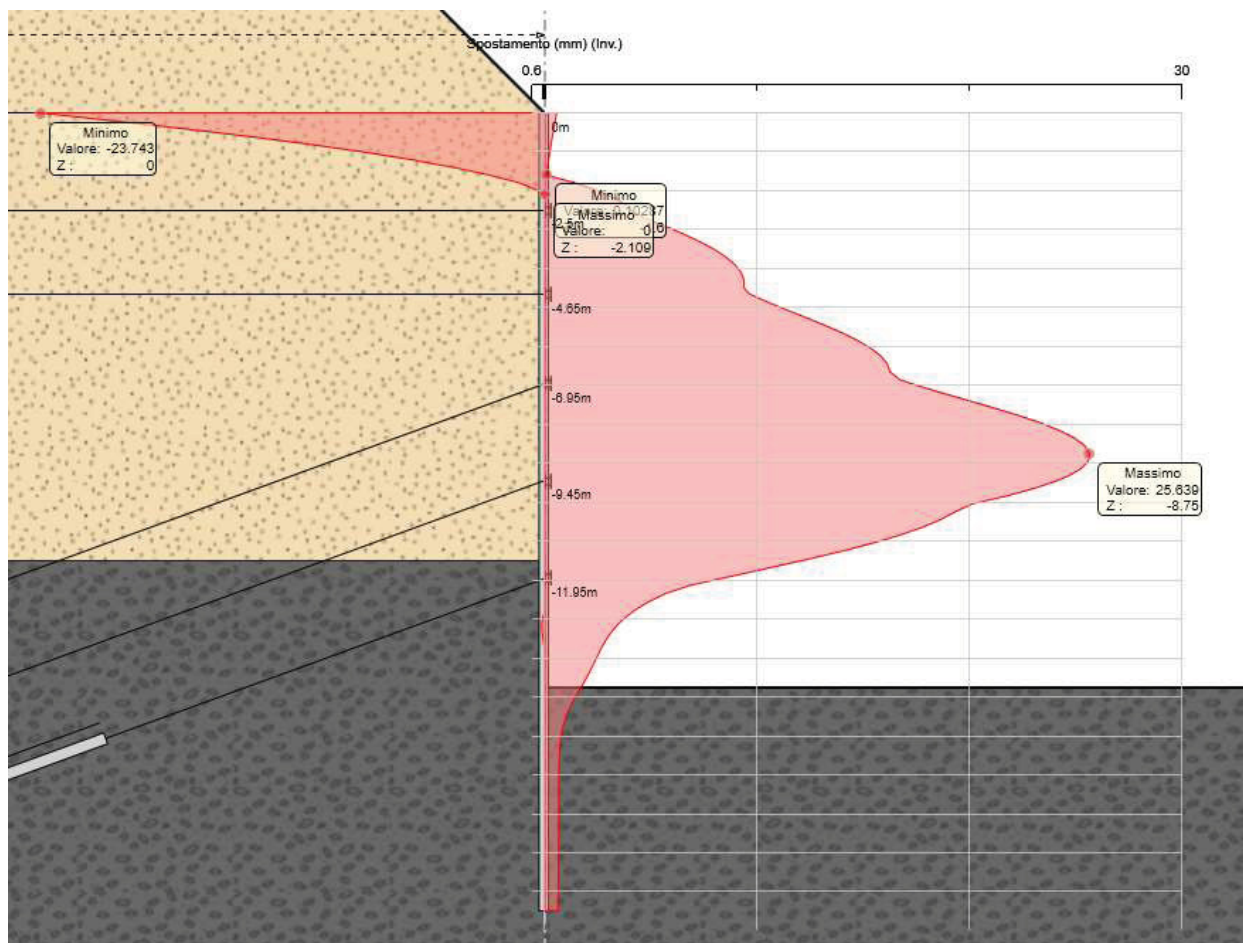


Figura 10 – Spostamenti paratia

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.

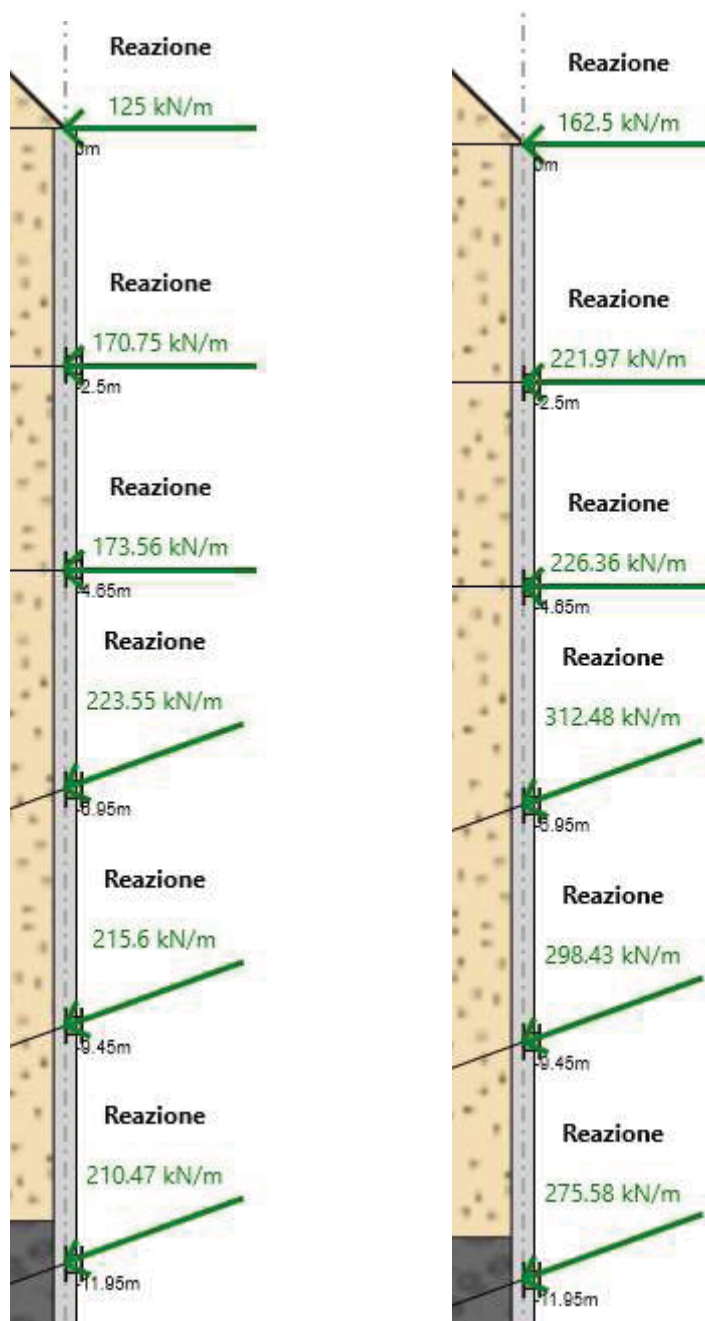


Figura 11 – Azioni massime sui tiranti allo SLE e allo SLU

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.

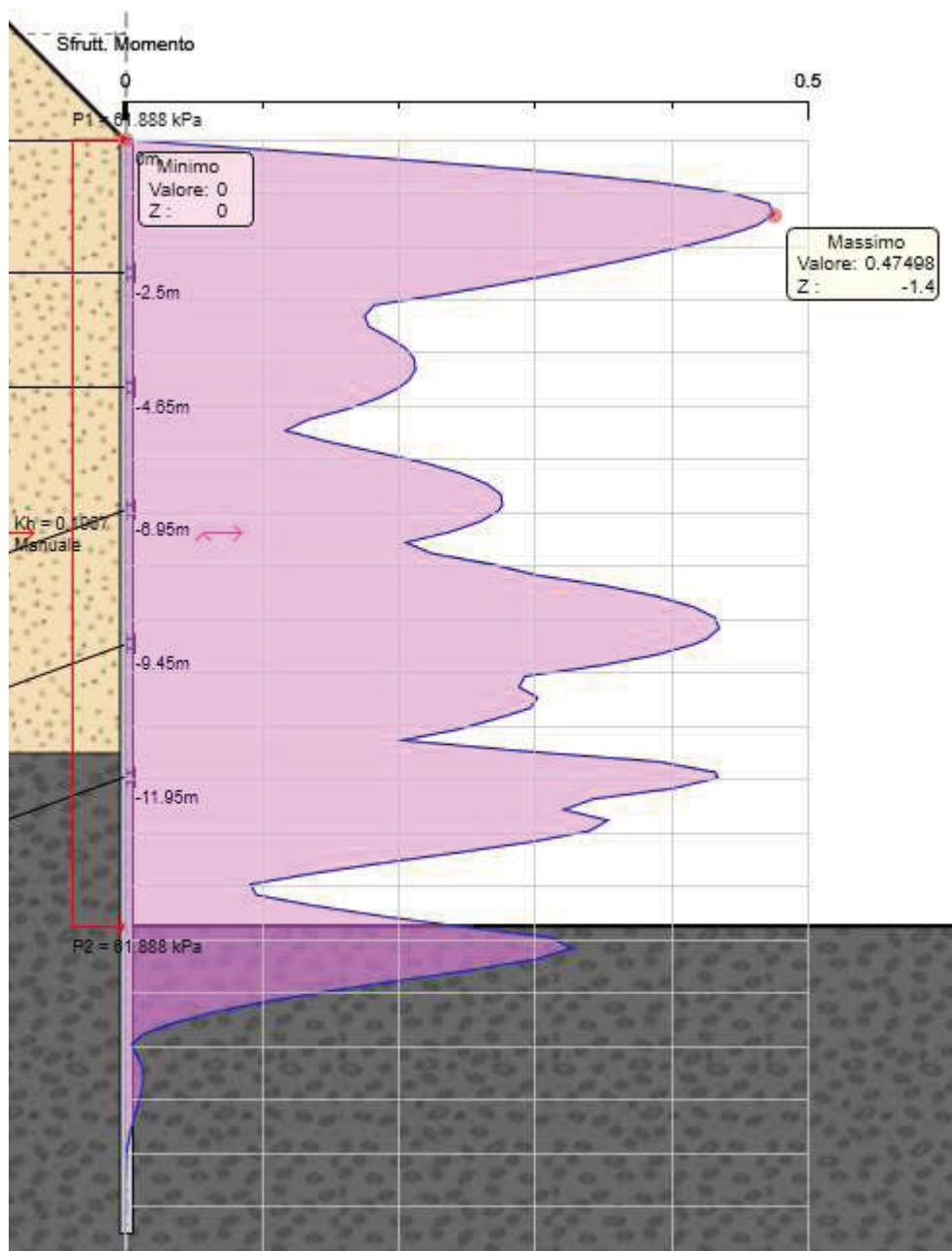


Figura 12 – Tassi di utilizzo materiali allo SLU per momento flettente

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.

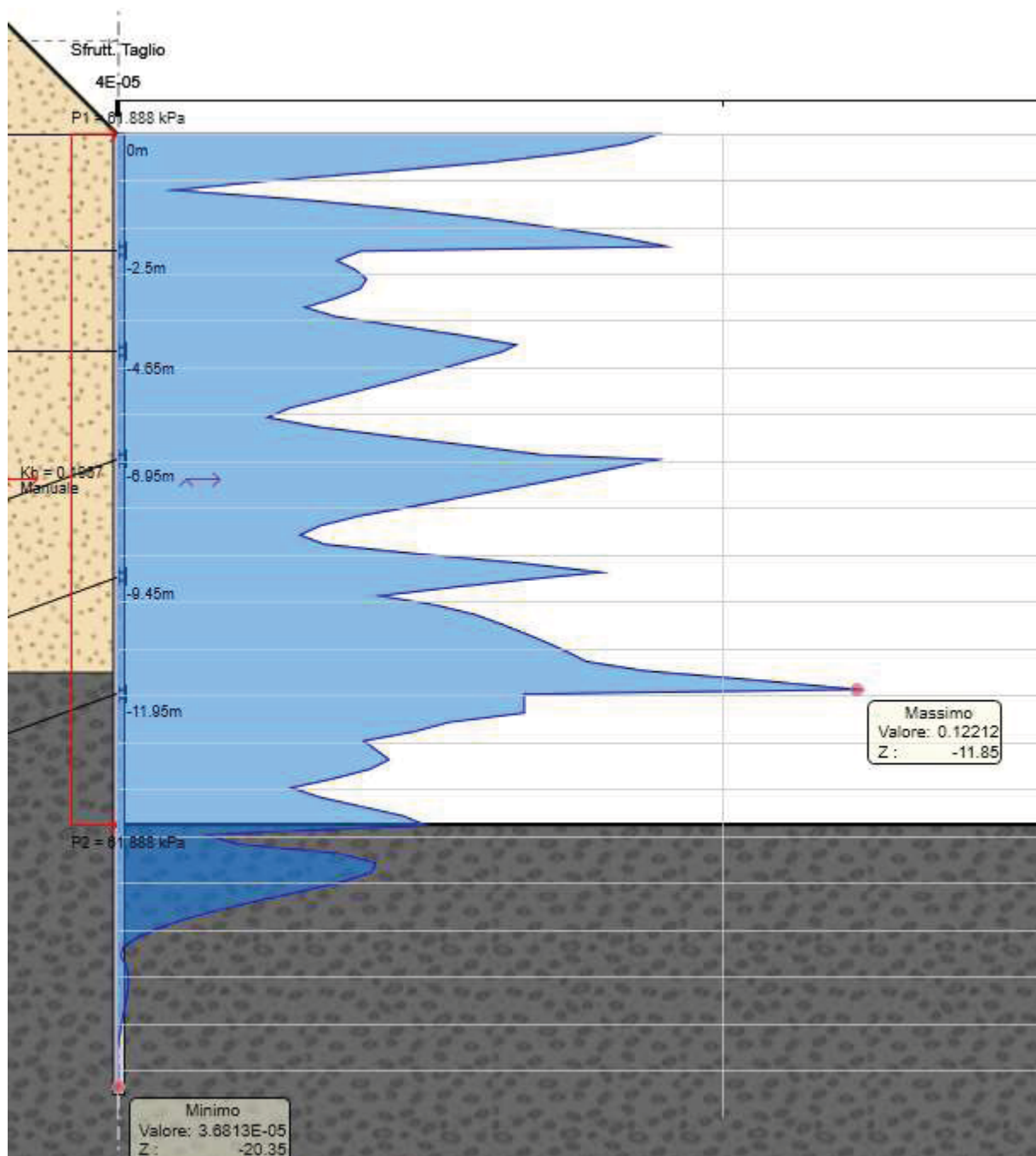


Figura 13 – Tassi di utilizzo materiali allo SLU per taglio

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	
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	α	τmax	FS			L bulbo	T_res	CS
					(kN)	(m)	(kPa)			
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	σmax	σim	CS	
	(kN/ml)				(m)				(kNm)
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	Mmax	Mu	CS	Vmax	Vu	CS
	(kN/ml)					(m)	kNm	
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 β_s	β_s	0.38

Coefficiente sismico orizzontale	kh	0.100
Coefficiente sismico verticale	kv	0.050

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

Di seguito i risultati delle analisi.

1.845

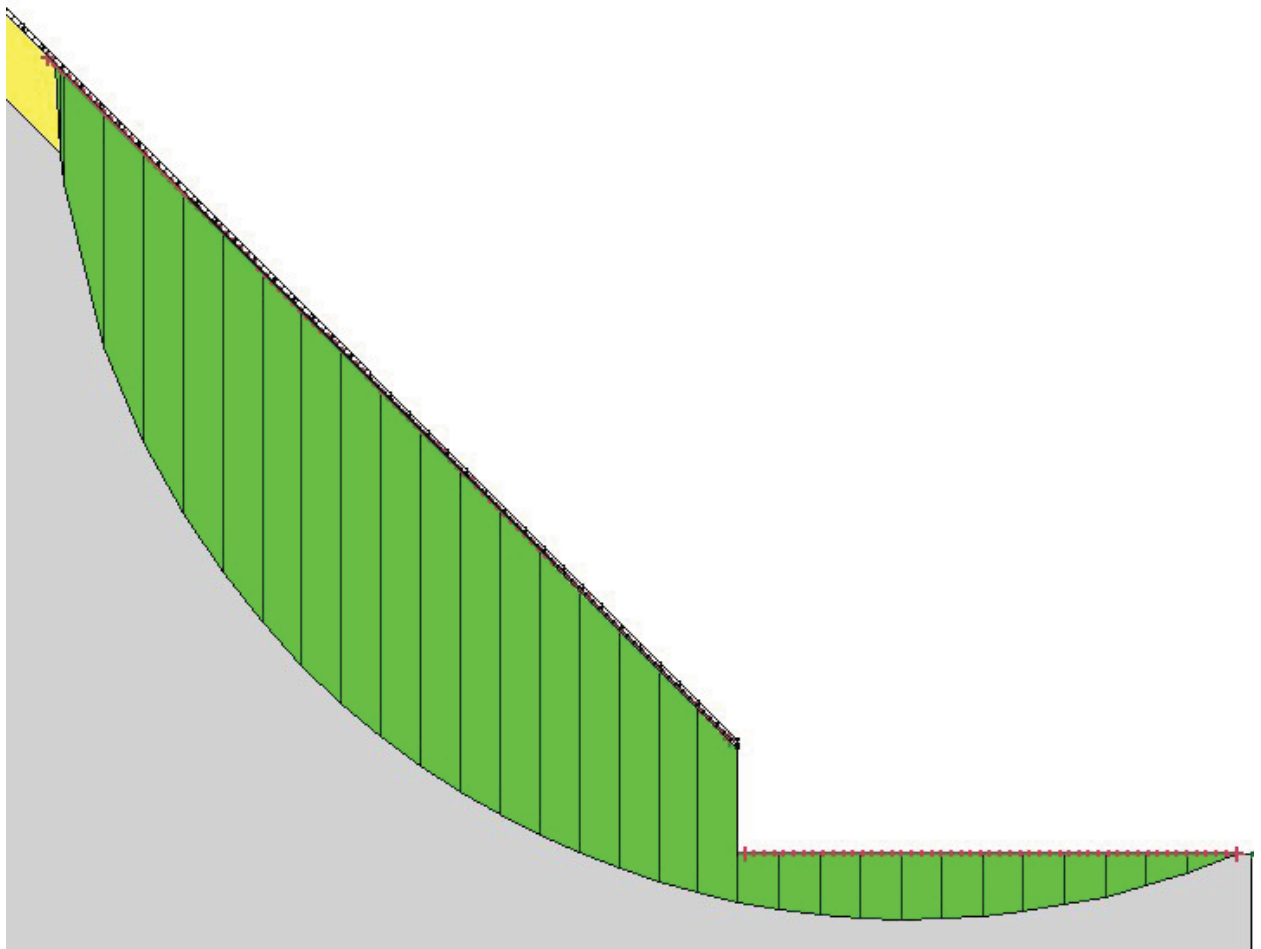


Figura 14 - Caso statico

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

2.037

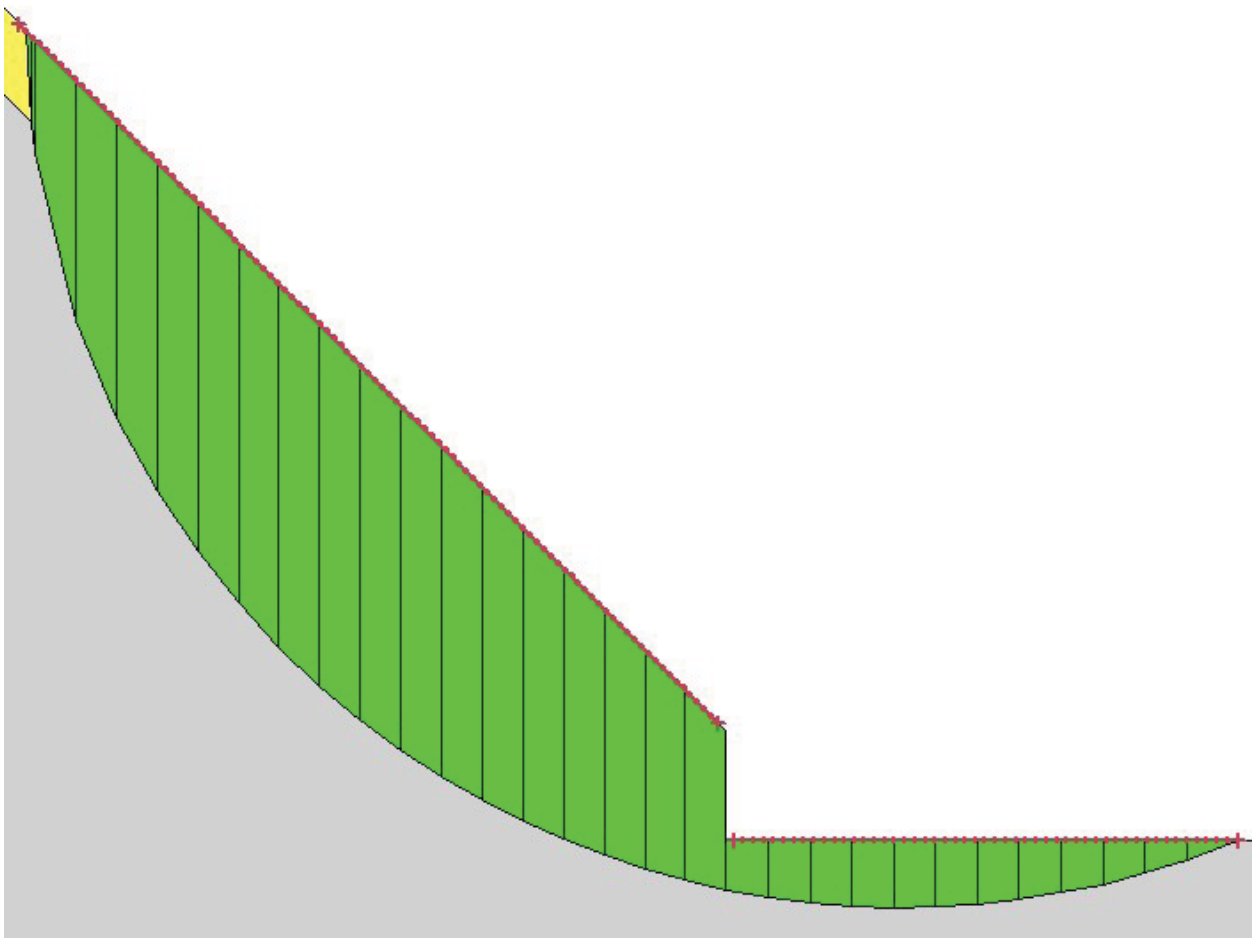


Figura 15 - Caso sismico

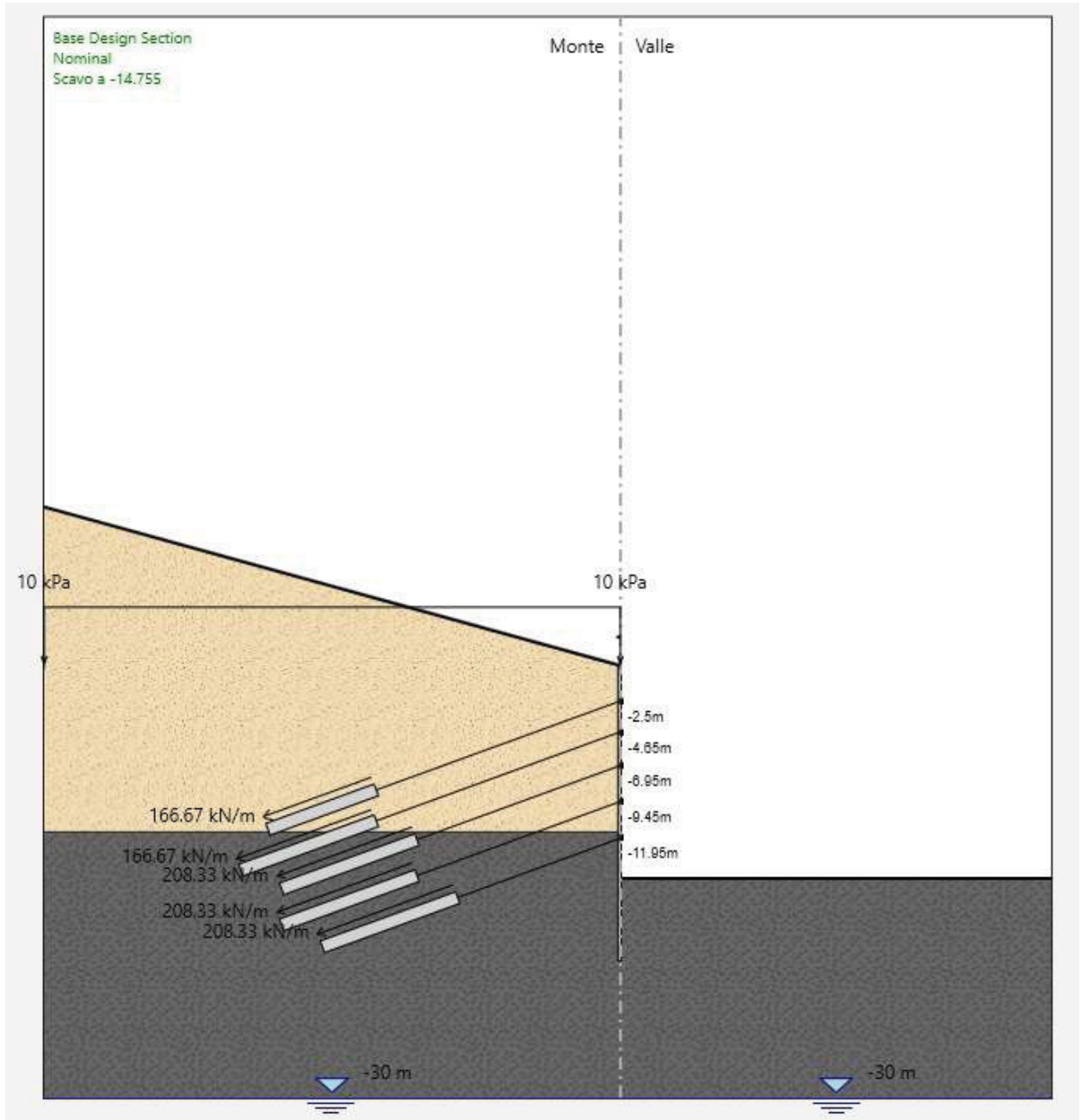
Il fattore di sicurezza in condizioni statiche è pari a **1.85**, maggiore di 1.1, pertanto la verifica è soddisfatta.

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	
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 rigidezza [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

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

Usa coefficienti di aderenza personalizzati

Metodo di Iniezione GRAVITY_GROUTING

α 1.1 Qskin 300 kPa

Vincolo Permanente

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 GRAVITY_GROUTING

α 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 GRAVITY_GROUTING

α 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

α 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

α 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.

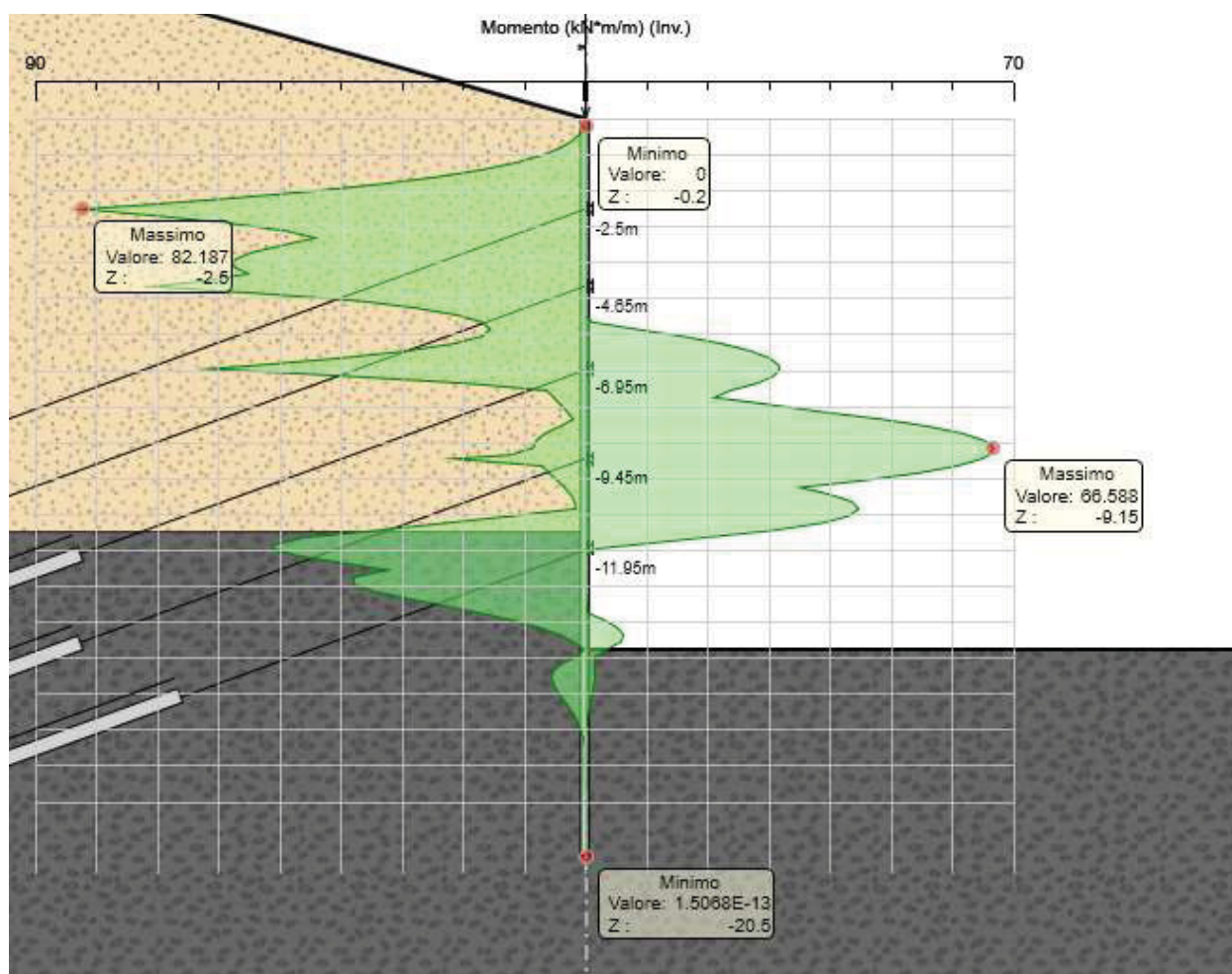


Figura 21 - Momenti di involucro allo SLE

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

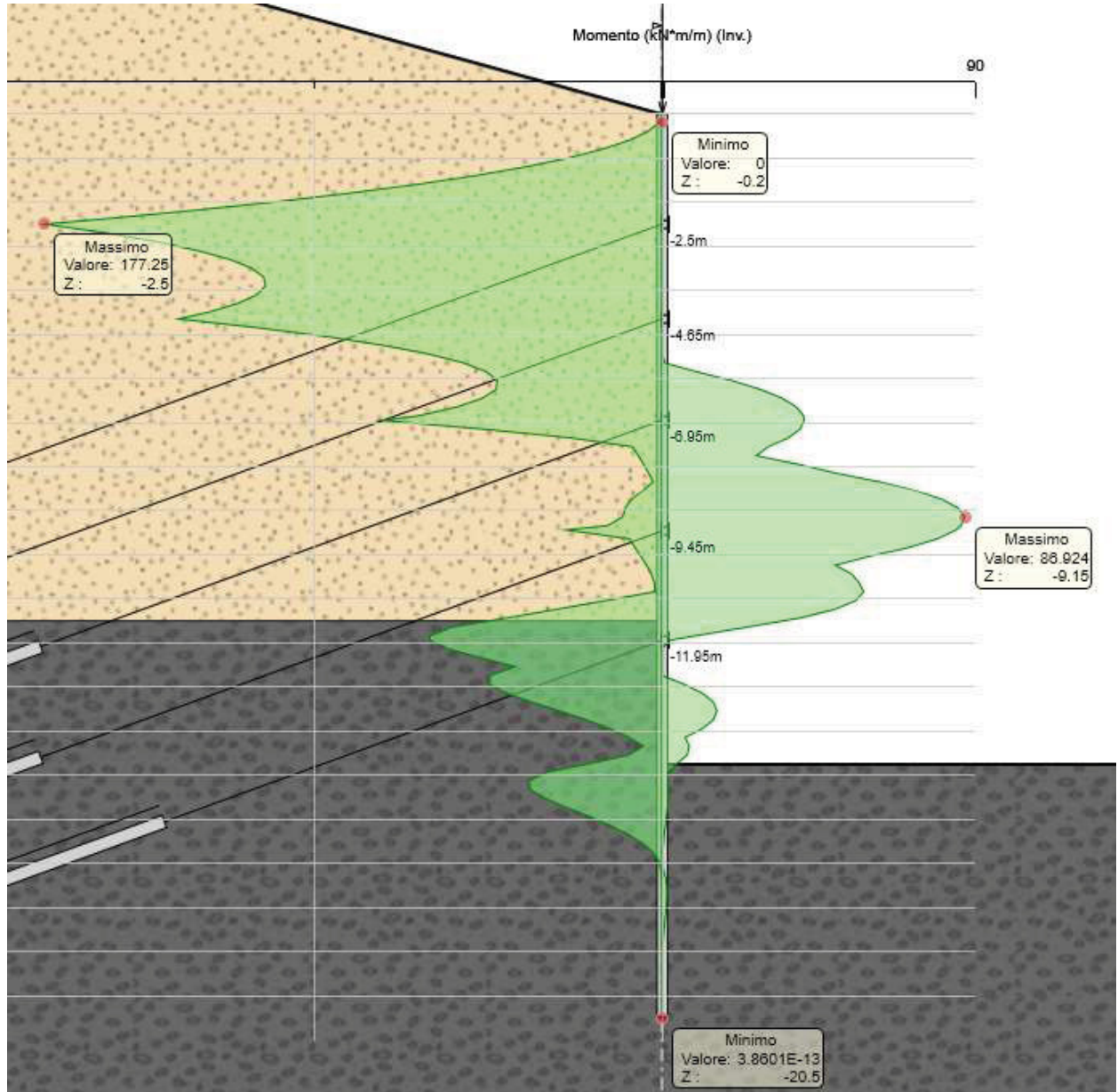


Figura 22 - Momenti di involuppo allo SLU

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

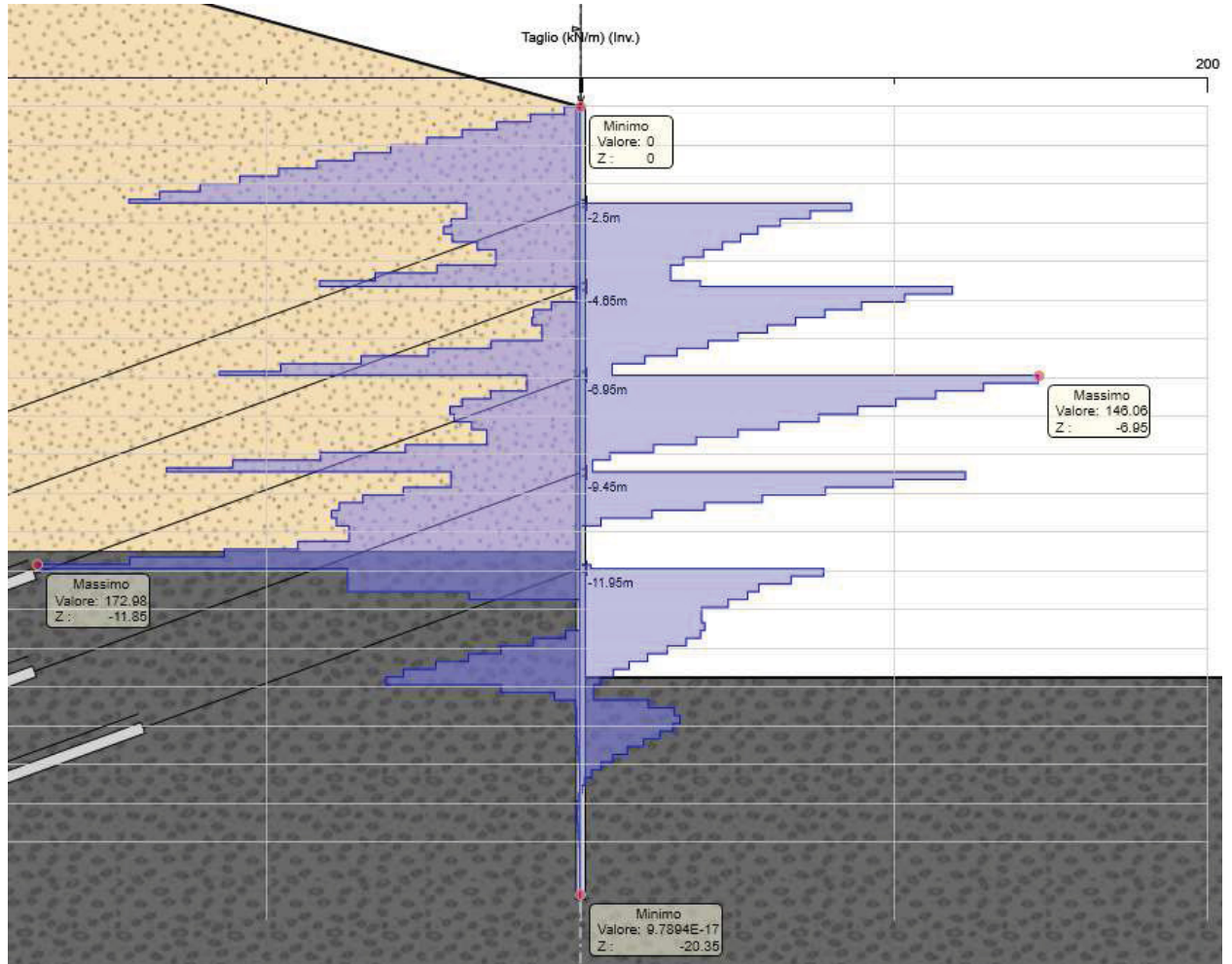


Figura 23 - Taglio di involuppo allo SLU

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

8.4.2 Spostamenti

Di seguito gli spostamenti della paratia allo SLE.

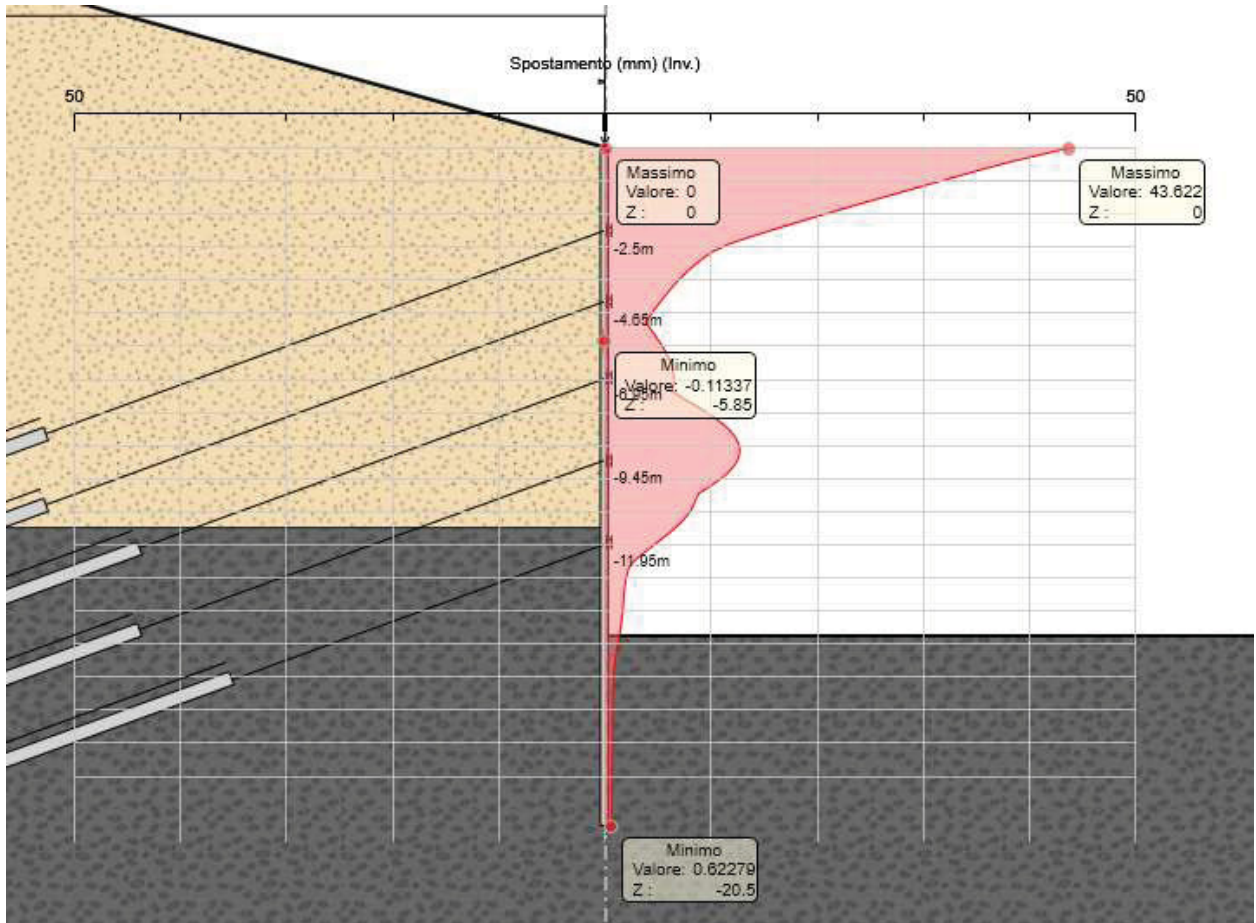


Figura 24 – Spostamenti paratia

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.

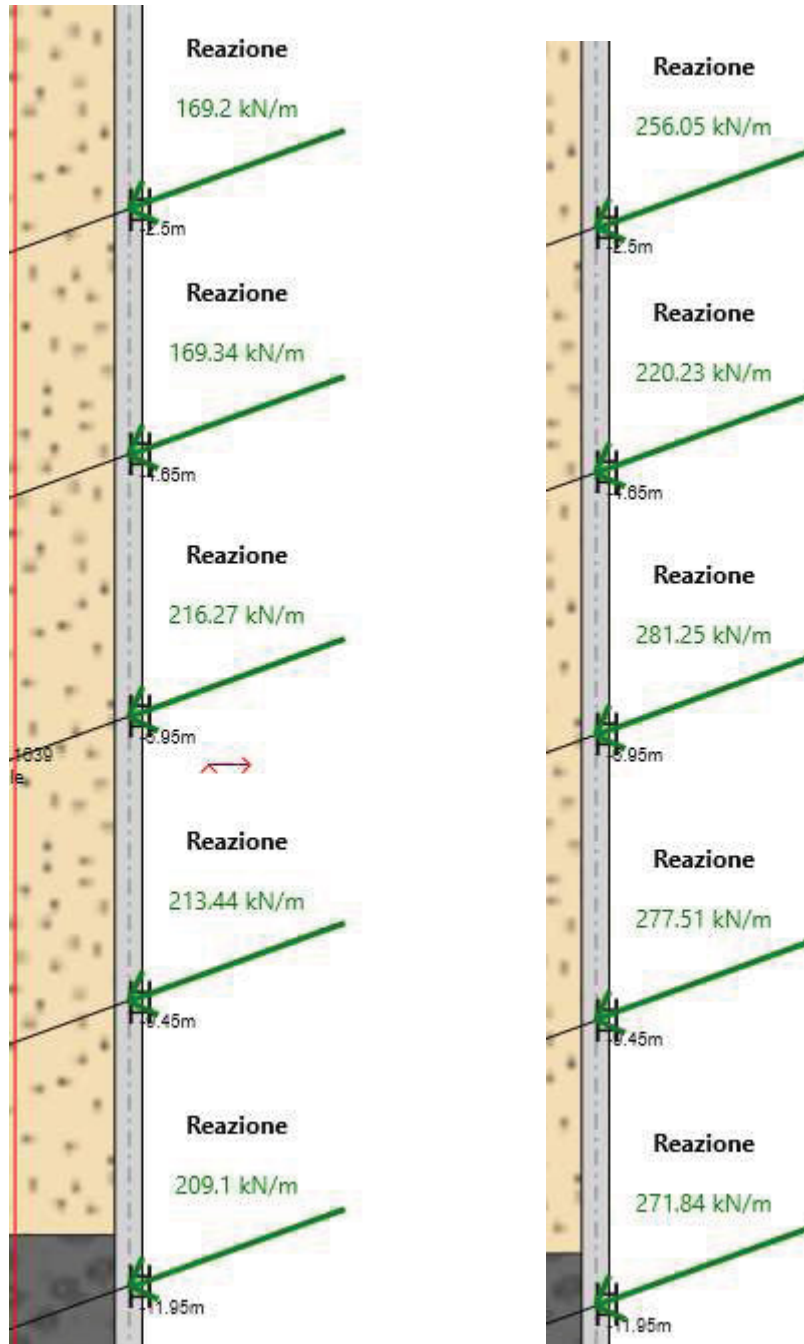


Figura 25 – Azioni massime sui tiranti allo SLE e allo SLU

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.

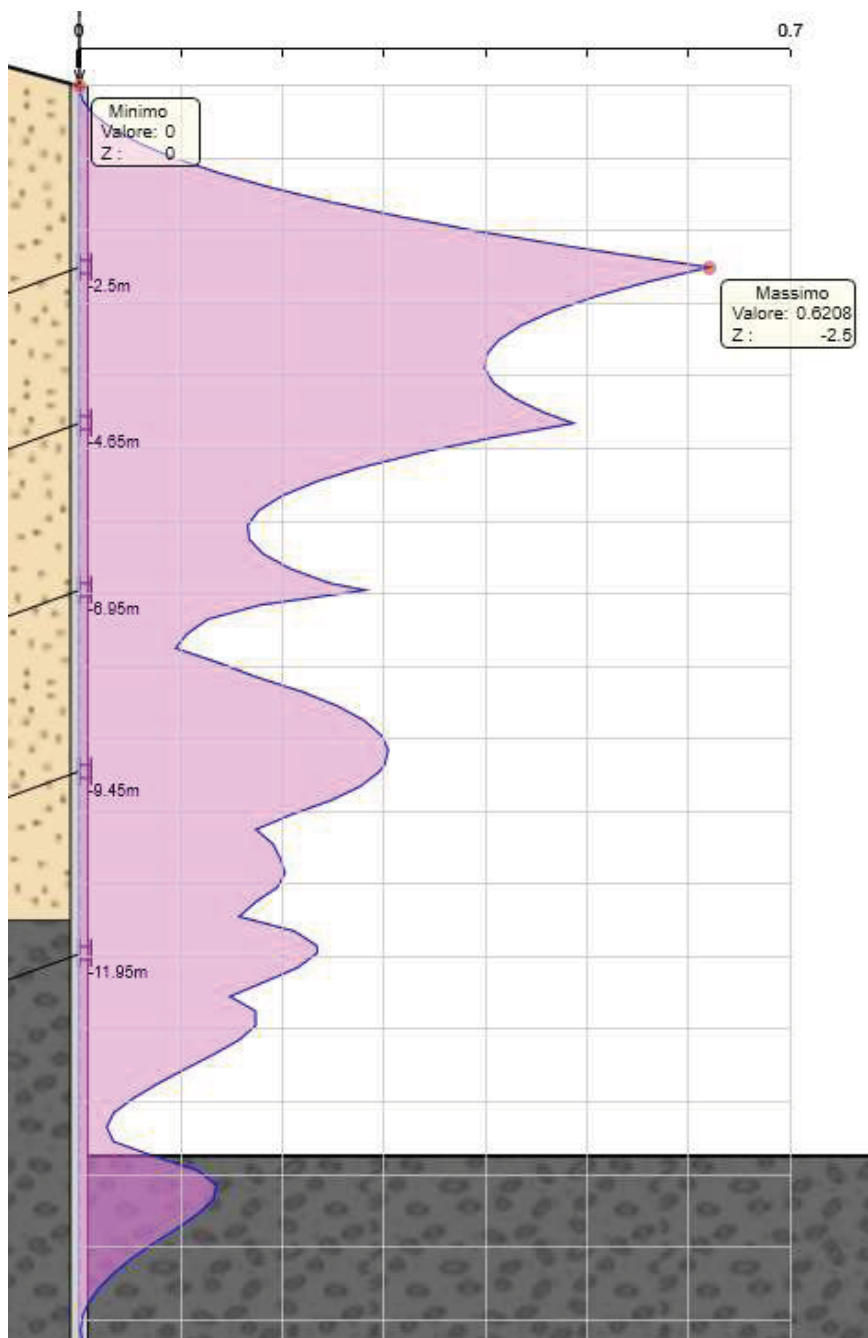


Figura 26 – Tassi di utilizzo materiali allo SLU per momento flettente

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.

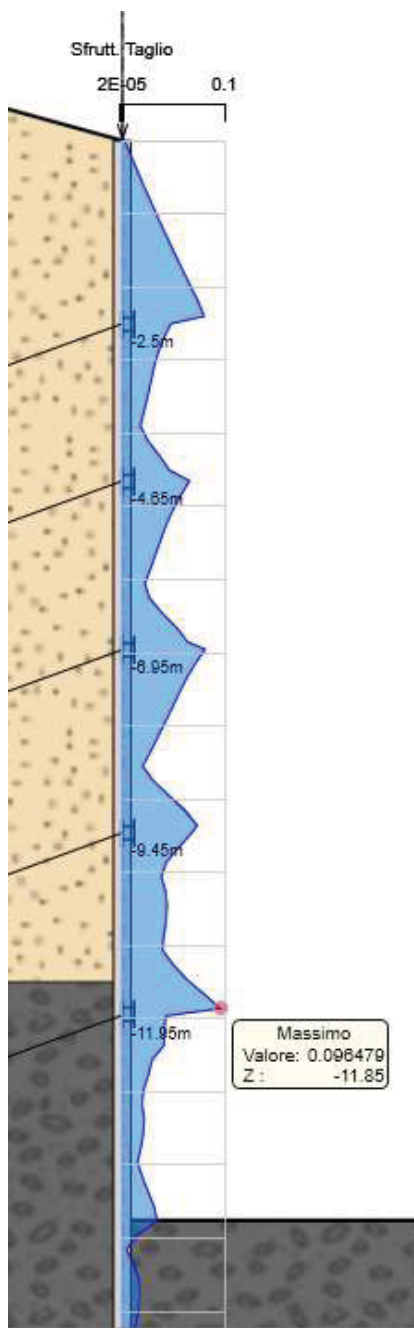


Figura 27 – Tassi di utilizzo materiali allo SLU per taglio

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 β_s	β_s	0.38

Coefficiente sismico orizzontale	kh	0.100
Coefficiente sismico verticale	kv	0.050

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

Di seguito i risultati delle analisi.

3.167

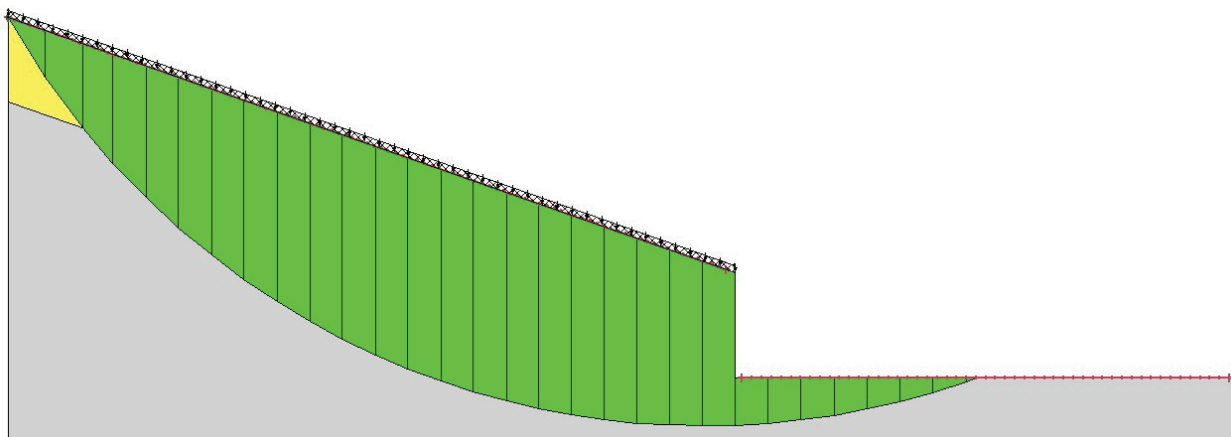


Figura 28 - Caso statico

3.168

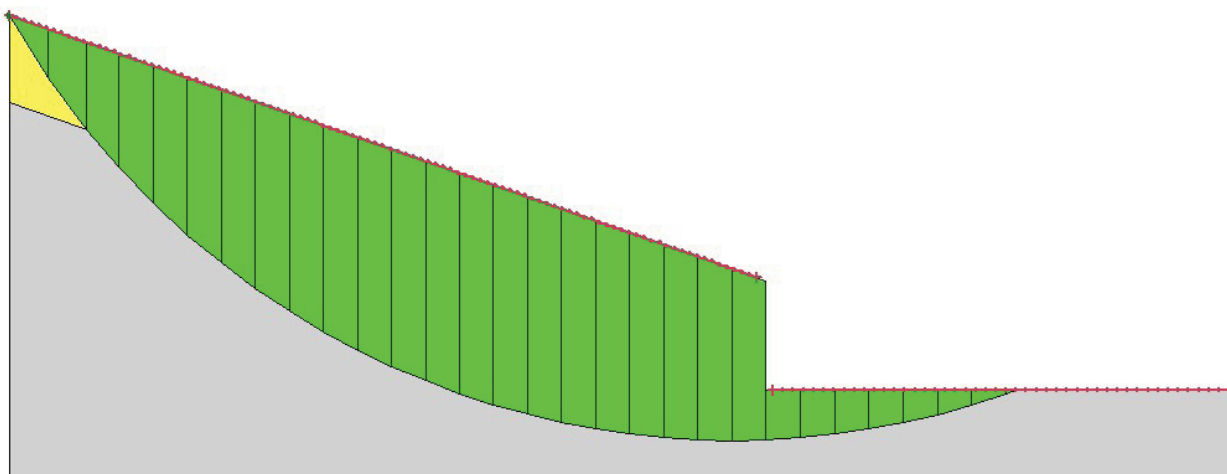


Figura 29 - Caso sismico

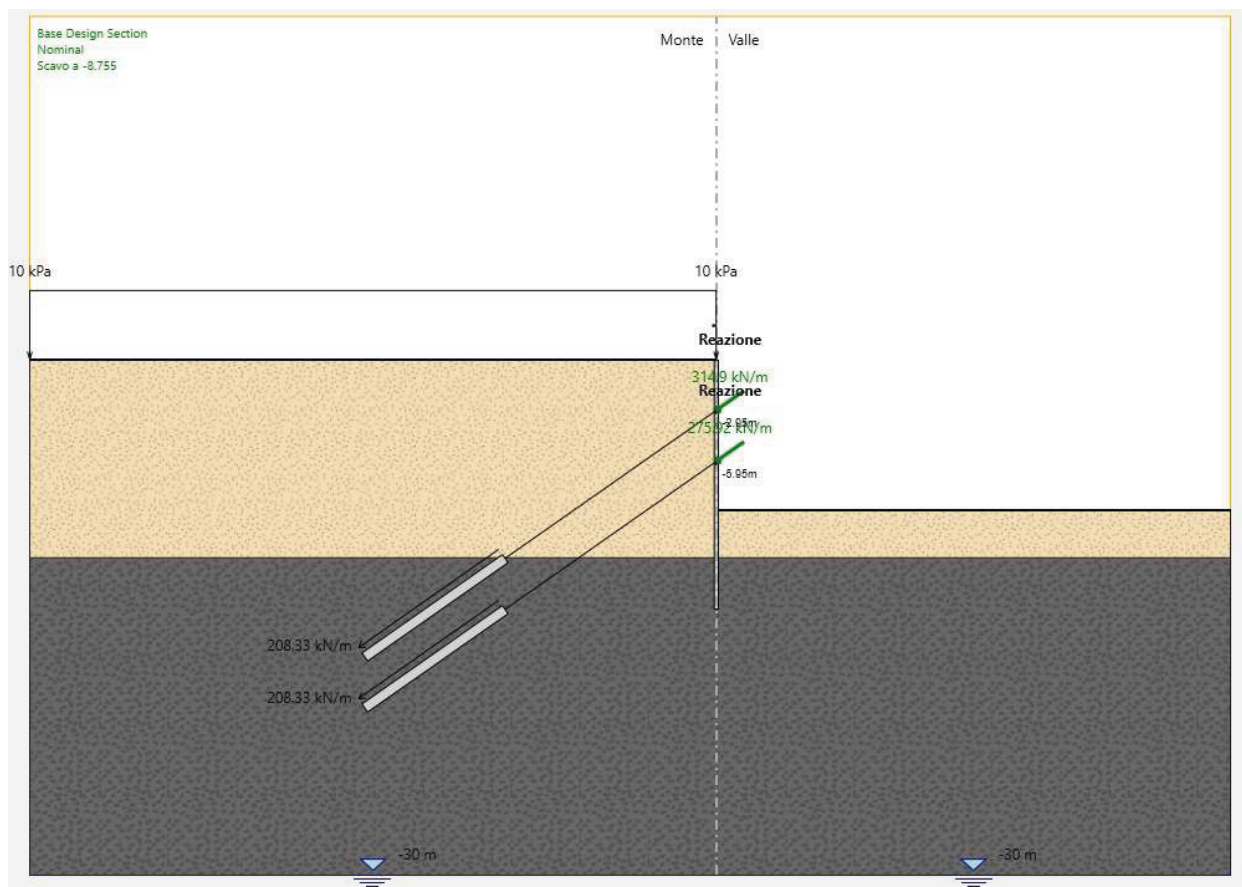
Il fattore di sicurezza in condizioni statiche è pari a 3.17, maggiore di 1.1, pertanto la verifica è soddisfatta.

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 Spessore: Ct = 0.6 m Diametro: Cd = 0.24 m Passo: Cs = 0.4 m
Efficacia del calcestruzzo per il calcolo della rigidezza [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

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

α 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

α 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.

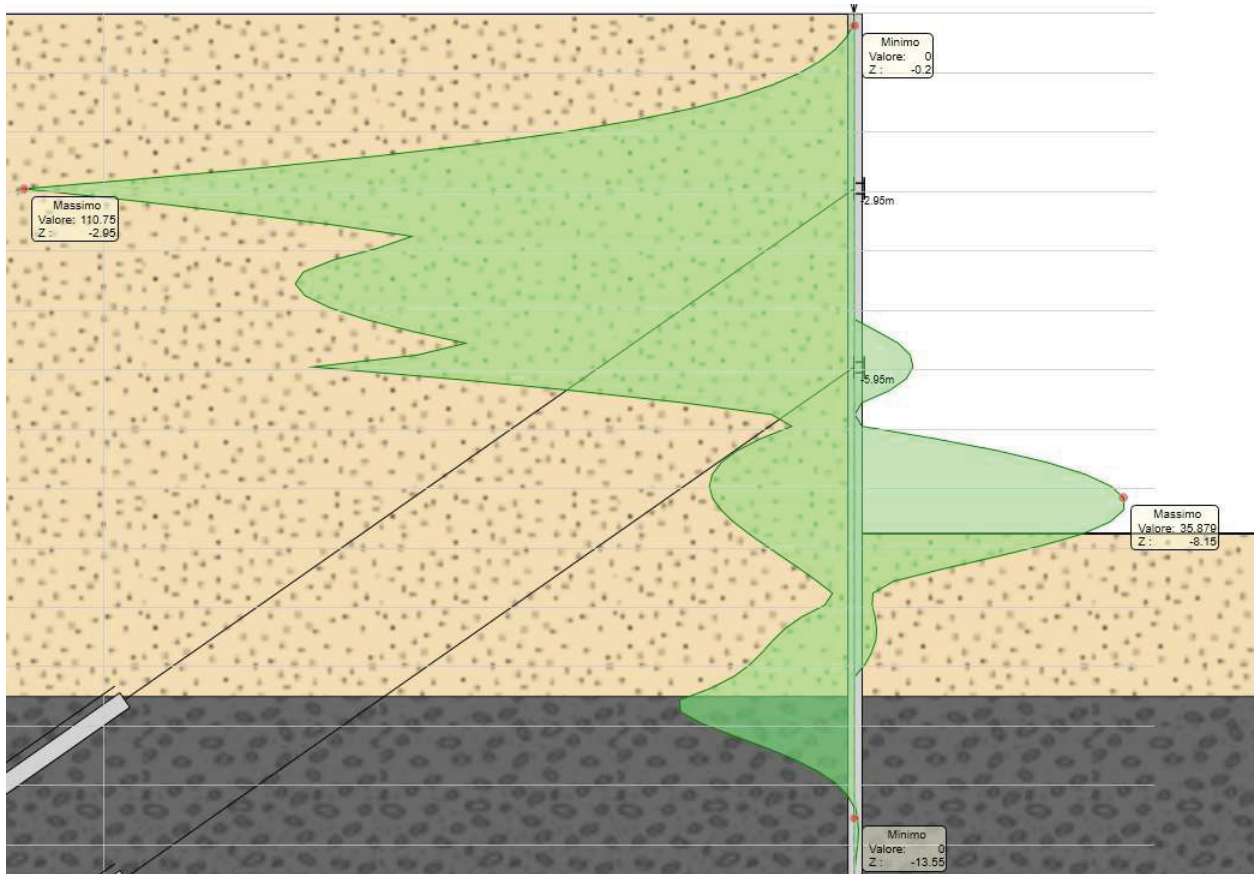


Figura 32 - Momenti di involucro allo SLE

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

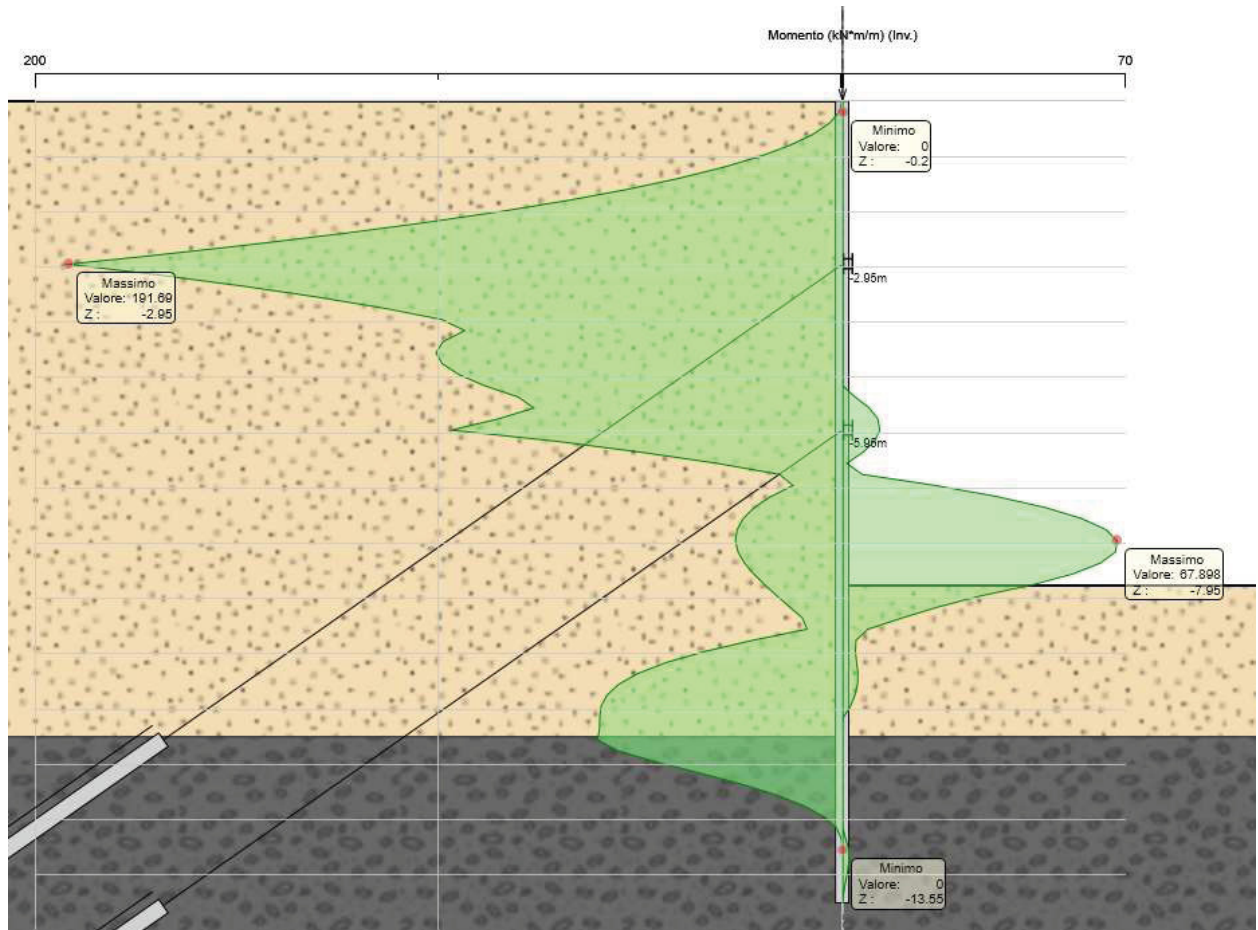


Figura 33 - Momenti di involuppo allo SLU

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

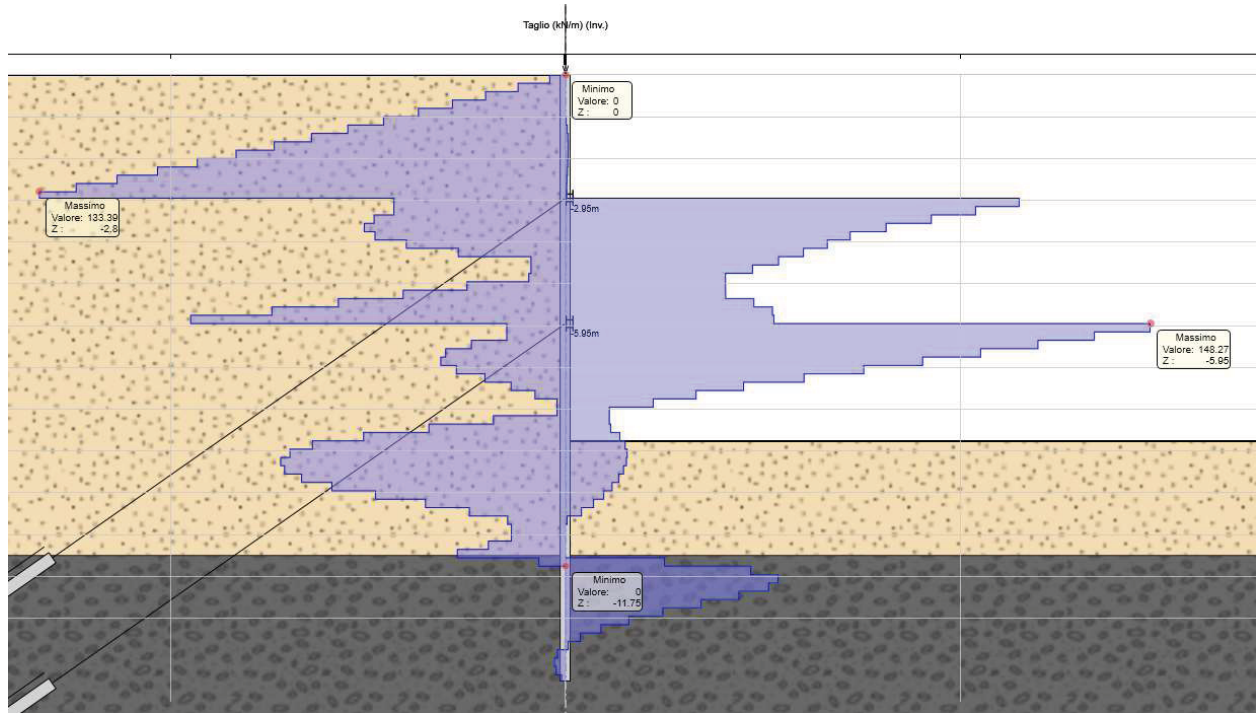


Figura 34 - Taglio di inviluppo allo SLU

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

9.4.2 Spostamenti

Di seguito gli spostamenti della paratia allo SLE.

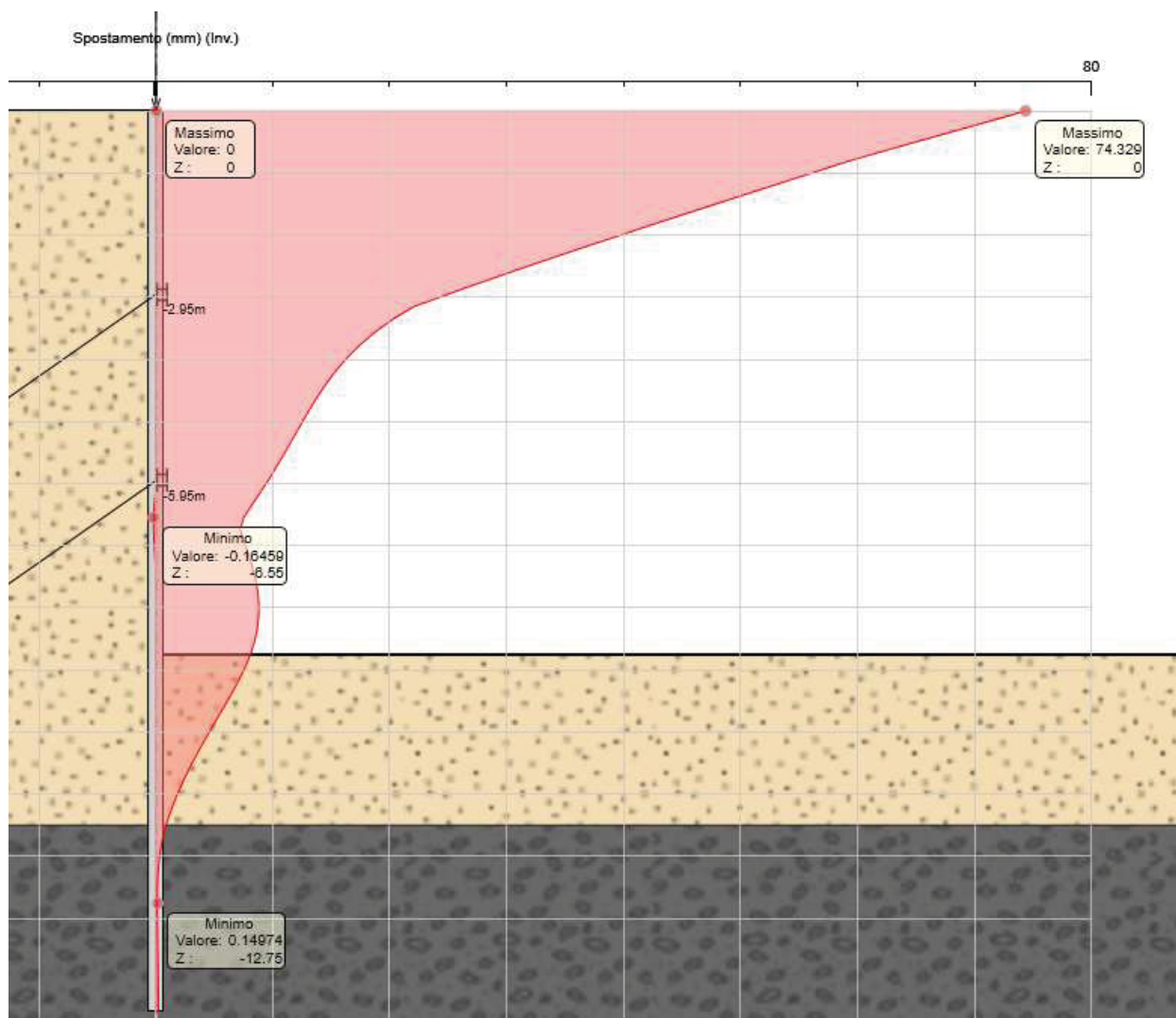


Figura 35 – Spostamenti paratia

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.

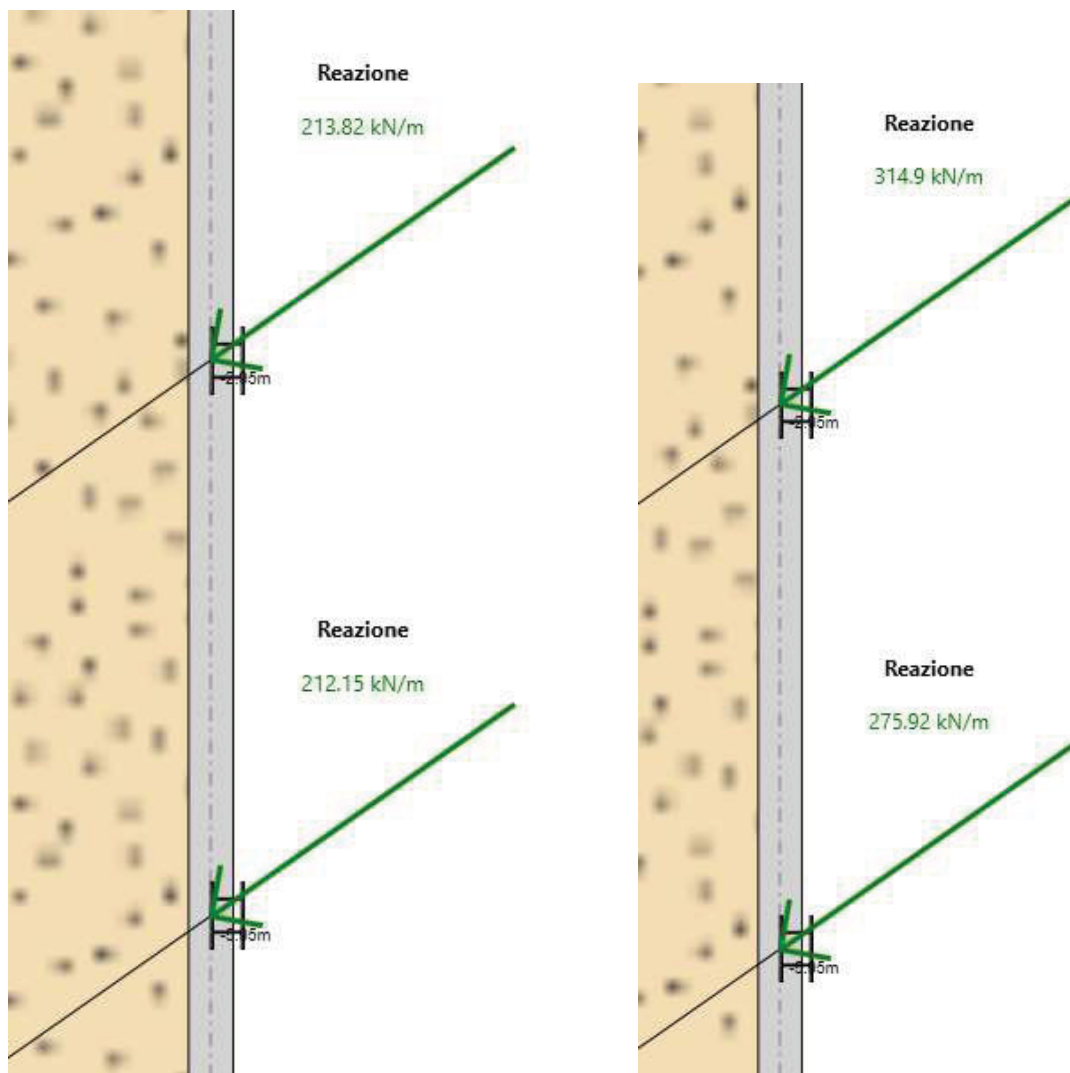


Figura 36 – Azioni massime sui tiranti allo SLE e allo SLU

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.

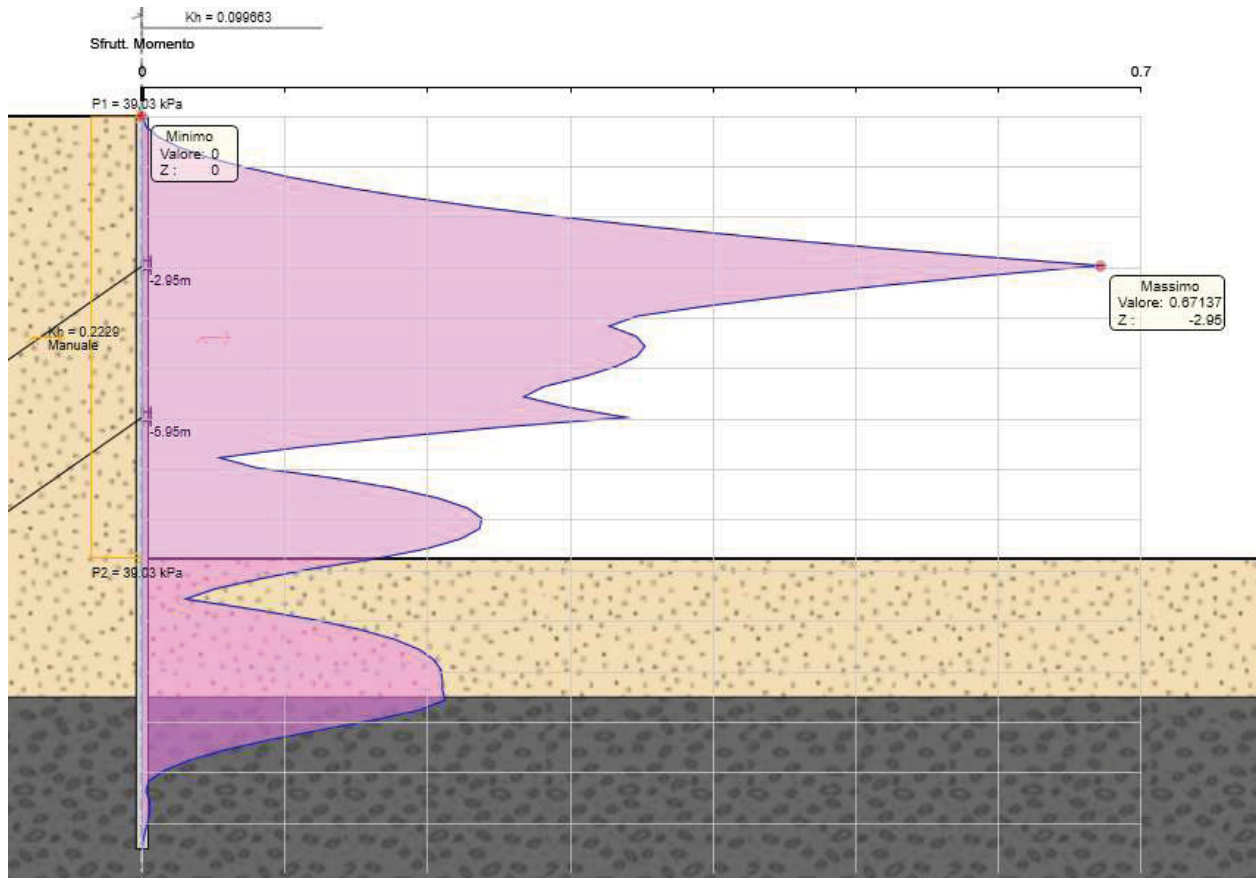


Figura 37 – Tassi di utilizzo materiali allo SLU per momento flettente

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.

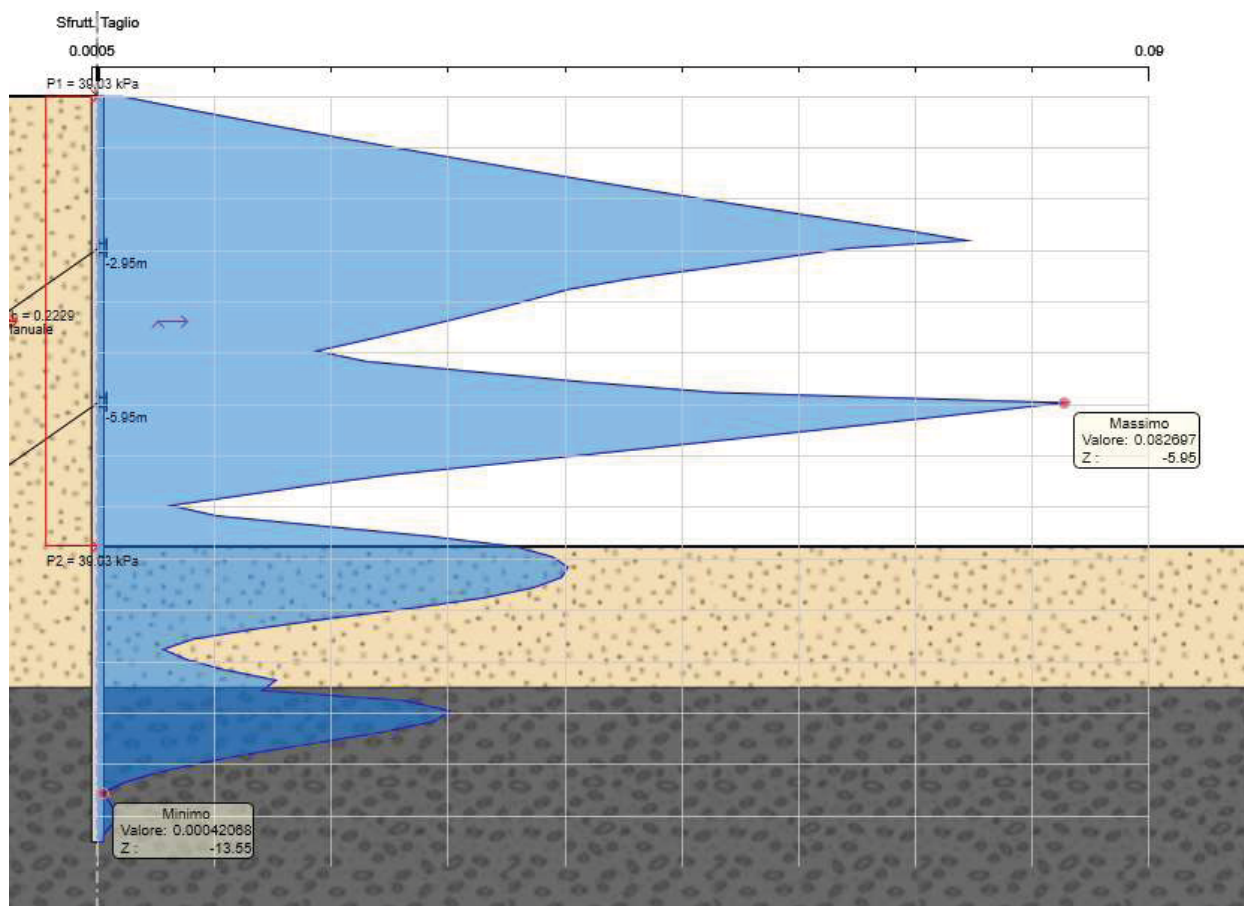


Figura 38 – Tassi di utilizzo materiali allo SLU per taglio

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	deg		(kN/m)	(kN)	(kN)	
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	τ_{max}	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 (m)	Mmax kNm	Profilo tipo	W (mm ³)	σ _{max} (Mpa)	σ _{lim} (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 β_s	β_s	0.38

Coefficiente sismico orizzontale	kh	0.100
Coefficiente sismico verticale	kv	0.050

Di seguito i risultati delle analisi.

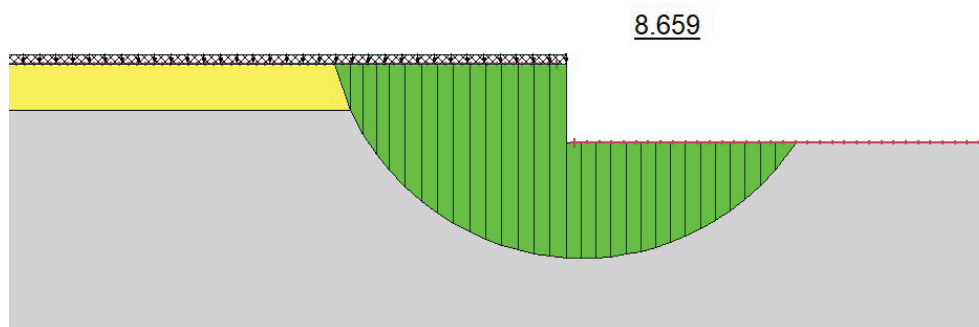


Figura 39 - Caso statico

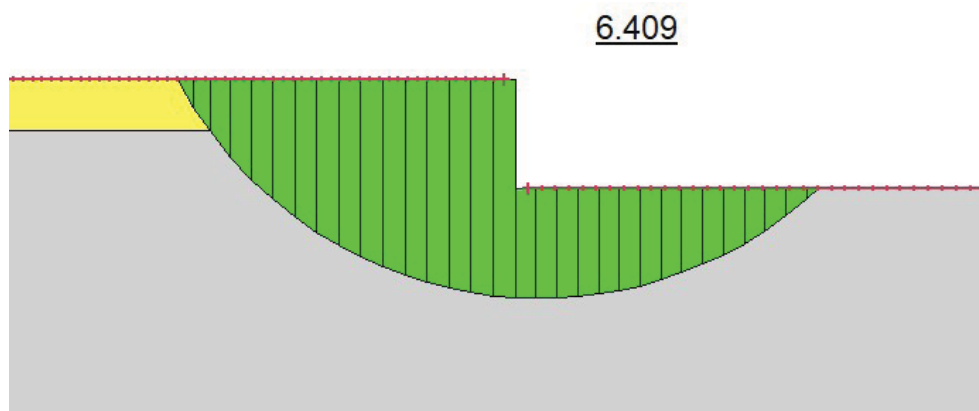


Figura 40 - Caso sismico

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.