

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**LINEA CATANIA - SIRACUSA**

**DIREZIONE TECNICA**

**S.O. Geologia Tecnica, dell'Ambiente e del Territorio**

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

**Collegamento ferroviario con il Porto di Augusta**

**RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA  
E DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE PARATIE**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
RS62	01	R	11	RH	MU00000	001	A

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	PINI GROUP	Novembre 2022	L. Cosciotti 	Novembre 2022	P. Carlesimo 	Novembre 2022	L. Berardi Novembre 2022 

File: RS6201R11RHMU0000001A

n. Elab.:

RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE PARATIE	COMMESSA RS62	LOTTO 01	FASE R	TIPO DOC RH	OPERA MU00 00 001	REV A	FOGLIO 2 di 69
--	------------------	-------------	-----------	----------------	----------------------	----------	-------------------

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DELL'OPERA .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVE E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI .....</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO.....</b>	<b>11</b>
<b>6.1</b>	<b>SPETTRI DI RISPOSTA.....</b>	<b>11</b>
6.1.1	Spettri di risposta SLV .....	13
6.1.2	Spettri di risposta SLD.....	14
6.1.3	Impostazione parametri software PARATIE.....	15
<b>7</b>	<b>APPROCCI NORMATIVI.....</b>	<b>19</b>
<b>8</b>	<b>VERIFICHE .....</b>	<b>20</b>
<b>8.1</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI.....</b>	<b>20</b>
8.1.1	Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU).....	20
8.1.2	Verifica di resistenza a taglio (SLU).....	20
<b>8.2</b>	<b>VERIFICHE GEOTECNICHE.....</b>	<b>23</b>
<b>9</b>	<b>MODELLO DI CALCOLO .....</b>	<b>24</b>
<b>9.1</b>	<b>PARATIA TIPO 1 .....</b>	<b>24</b>
9.1.1	Stage di Calcolo .....	27
<b>9.2</b>	<b>PARATIA TIPO 2 .....</b>	<b>32</b>
9.2.1	Stage di Calcolo .....	35
<b>10</b>	<b>RISULTATI PARATIA TIPO 1.....</b>	<b>41</b>
<b>10.1</b>	<b>VERIFICHE DEFORMABILITÀ .....</b>	<b>41</b>
<b>10.2</b>	<b>SOLLECITAZIONI.....</b>	<b>43</b>
10.2.1	SLE - Combinazione statica .....	43
10.2.2	SLU - Combinazione statica ultima.....	44
10.2.3	SLV - Combinazione sismica.....	46
<b>10.3</b>	<b>ARMATURE MINIME PALI .....</b>	<b>48</b>
<b>10.4</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI.....</b>	<b>49</b>
10.4.1	SLU - Combinazione statica ultima.....	49
10.4.2	SLV - Combinazione sismica.....	51
<b>10.5</b>	<b>VERIFICHE GEOTECNICHE.....</b>	<b>53</b>
10.5.1	Mobilizzazione spinte.....	53

RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE PARATIE	COMMESSA RS62	LOTTO 01	FASE R	TIPO DOC RH	OPERA MU00 00 001	REV A	FOGLIO 3 di 69
--	------------------	-------------	-----------	----------------	----------------------	----------	-------------------

10.5.2 *Verifiche geotecniche (SLE) – Stima dei cedimenti verticali del terreno a monte della paratia 55*

<b>11</b>	<b>RISULTATI PARATIA TIPO 2</b>	<b>56</b>
11.1	VERIFICHE DEFORMABILITÀ	56
11.2	SOLLECITAZIONI	58
11.2.1	<i>SLE - Combinazione statica</i>	58
11.2.2	<i>SLU - Combinazione statica ultima</i>	59
11.2.3	<i>SLV - Combinazione sismica</i>	60
11.3	ARMATURE MINIME PALI	62
<b>12</b>	<b>VERIFICHE STRUTTURALI</b>	<b>63</b>
12.1	VERIFICHE GEOTECNICHE	66
12.1.1	<i>Mobilizzazione spinte</i>	66
12.1.2	<i>Verifiche geotecniche (SLE) – Stima dei cedimenti verticali del terreno a monte della paratia 68</i>	
<b>13</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>69</b>

## 1 PREMESSA

Il presente documento rientra nell'ambito del PFTE Porto di Augusta (SR).

Il tratto di progetto è relativo al sistema ferroviario di Augusta, che si sviluppa per una lunghezza di circa 2.8 km nella tratta Catania-Siracusa, in prossimità del porto di Augusta.

L'opera oggetto delle analisi, riportate nei paragrafi qui di seguito, appartiene alla categoria "Muri di sostegno".

Scopo del seguente studio è il dimensionamento delle strutture costituenti l'opera e la verifica del soddisfacimento dei requisiti di resistenza e deformabilità richiesti da quest'ultima.

L'opera si colloca nell'area del Porto, a sostegno dello scavo per la realizzazione della sede ferroviaria, in prossimità della pk 0+750.00.

Di seguito sono riportate le coordinate ED50: Lon: 15.211149 – Lat: 37.250212.



Figura 1.1 – ubicazione intervento

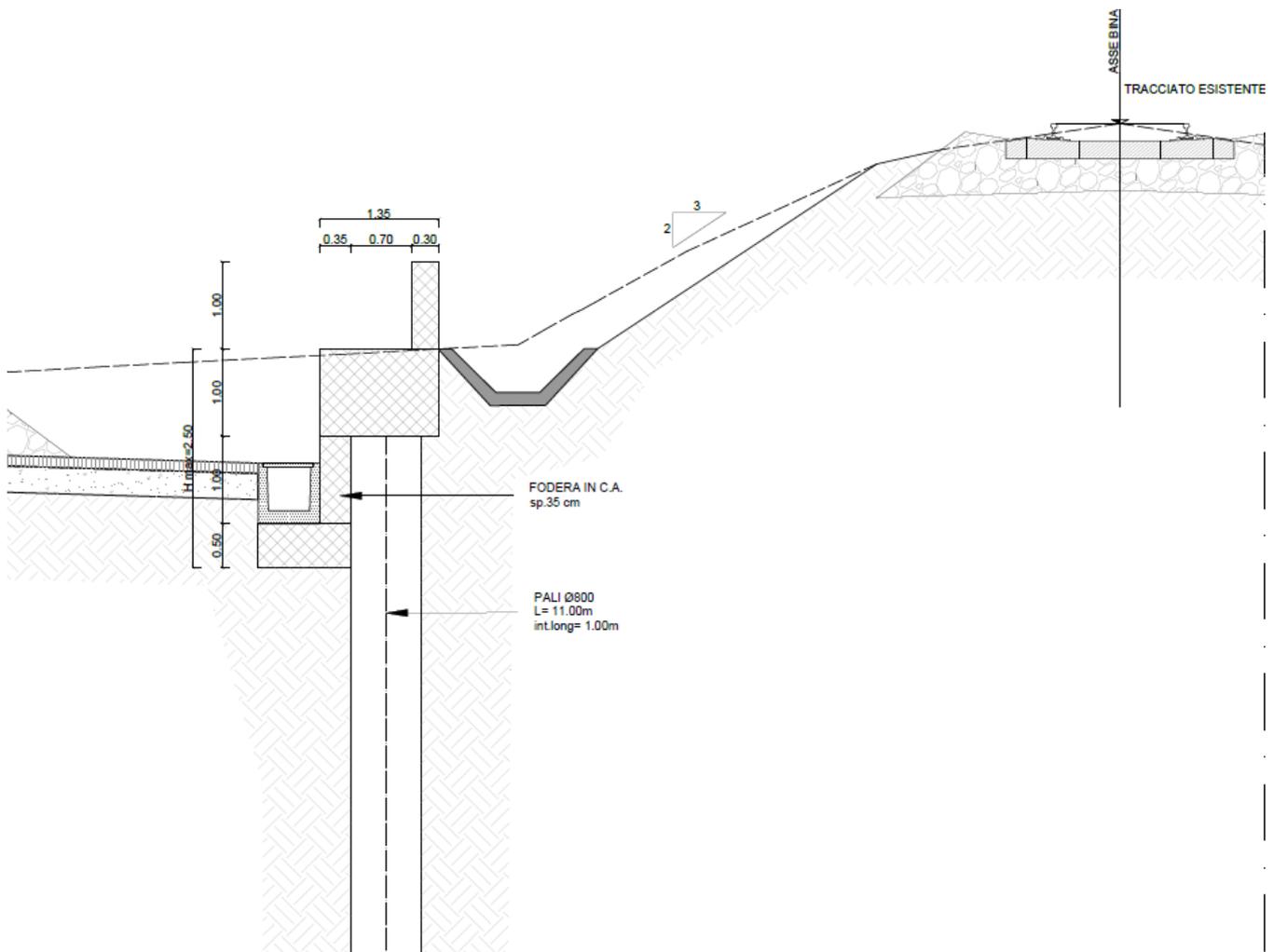
## 2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Le paratie oggetto di studio sono poste a sostegno dello scavo necessario alla realizzazione della nuova linea ferroviaria.

Si riportano di seguito le caratteristiche dell'opera a carattere definitivo:

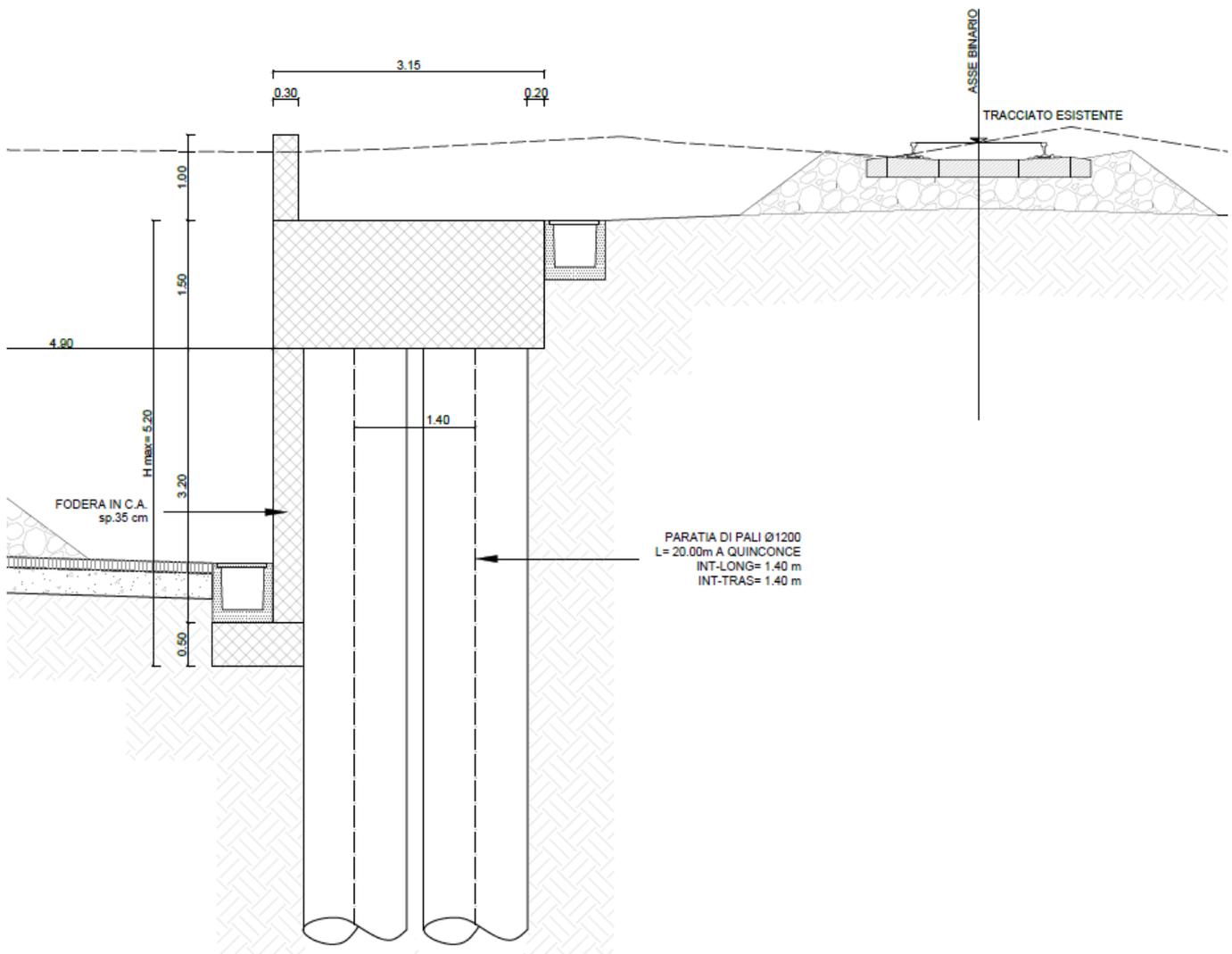
### 1) Tipo T1

Paratia definitiva di pali Ø800 mm a interasse 1 m, di lunghezza pari a 11 m alla Pk 0+750 – Binario Porto (Fascio Binari)



2) Tipo 2

Paratia definitiva di pali  $\varnothing 1200$  mm disposti a quinconce con interasse trasversale 1.40 m e interasse longitudinale 1.4 m, di lunghezza pari a 20 m alla Pk 0+550 – Binario Porto (Fascio Binari).



### 3 **NORMATIVE E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

Si riporta nel seguito l'elenco delle leggi e dei decreti di carattere generale, assunti come riferimento.

- Legge 5-1-1971 n° 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”.
- Legge. 2 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni
- Circolare 21 Gennaio 2019, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018.
- UNI EN 1992-1 “Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Regole generali”.
- UNI EN 1992-2 “Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Ponti”.
- UNI EN 1998-5 (Eurocodice 8) – Gennaio 2005: “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”.
- UNI EN 206-1:2014: “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità”.
- UNI 11104: “Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1”.
- “Linee guida sul calcestruzzo strutturale - Servizio Tecnico Centrale della Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP.”.
- Regolamento (UE) N. 1299/2014 del 18 novembre 2014 della commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione Europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N°2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019.

Si riporta, ora, l'elenco delle norme tecniche, delle circolari e delle istruzioni F.S. delle quali si è tenuto conto.

- RFI DTC SI MA IFS 001 E del Dicembre 2020 – Manuale di Progettazione delle Opere Civili.

#### 4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

##### Calcestruzzo classe C12/15 (calcestruzzo magro)

	Var.	Valore	U.M.
Resistenza caratteristica cubica	R <sub>ck</sub>	15.00	MPa

##### **Paratia pali**

##### Calcestruzzo classe C25/30

	Var.	Valore	U.M.
Resistenza caratteristica cubica a compressione	R <sub>ck</sub>	30.00	MPa
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	f <sub>ck</sub>	25.00	MPa
Resistenza media a trazione semplice	f <sub>ctm</sub>	2.56	MPa
Resistenza caratteristica a trazione semplice	f <sub>ctk</sub>	1.80	MPa
Coefficiente di sicurezza del materiale	γ <sub>c</sub>	1.50	-
Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata	α <sub>cc</sub>	0.85	-
Resistenza di calcolo a compressione	f <sub>cd</sub>	14.17	MPa
Modulo elastico istantaneo	E <sub>cm</sub>	31475.81	MPa

##### Acciaio B450C per strutture in conglomerato cementizio

	Var.	Valore	U.M.
Tensione caratteristica di rottura	f <sub>tk</sub>	540.00	MPa
Tensione caratteristica di snervamento	f <sub>yk</sub>	450.00	MPa
Coefficiente di sicurezza del materiale	γ <sub>s</sub>	1.15	-
Tensione di snervamento di calcolo	f <sub>yk</sub>	391.30	MPa
Modulo elastico	E <sub>s</sub>	210000.00	MPa

Con riferimento a quanto riportato nel Manuale di progettazione RFI 2020 §2.5.2.2.3.2:

*“Per copriferro delle armature si intende la distanza tra la superficie esterna dell’armatura, inclusi collegamenti e staffe, e la superficie di calcestruzzo più vicina”.*

Per la definizione del copriferro minimo da adottare per i diversi elementi strutturali si è, dunque, fatto riferimento alla Tabella 2.5.2.2.3.2.-1 di seguito riportata.

**Tabella 4.1 - Copriferro minimo – Stralcio MdP 2020 Tab. 2.5.2.2.3.2-1**

Elemento strutturale	Copriferro minimo
Pali (di paratie o opere di sostegno), diaframmi e relativi cordoli di collegamento gettati in opera	60mm
Pali/diaframmi di fondazione gettati in opera	60mm
Pali di fondazione prefabbricati	60mm
Solettoni di fondazione, fondazioni armate	40mm
Fondazioni non armate (pozzi, sottoplinti, ecc.)	40mm
Cunette canalette e cordoli	40mm
Opere in elevazione in viste (pile, spalle, pulvini, baggioli)	40mm
Opere in elevazione con superfici interrato o non ispezionabili	40mm

La classe di esposizione scelta è XC4, pertanto si è in condizioni ambientali aggressive.

**Tab. 4.1.III – Descrizione delle condizioni ambientali**

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Tenuto di quanto sopra ed in ragione delle specifiche del MdP par. 2.5.2.2.3.2 abbiamo i copriferri minimi.

Cordolo  $C_{min}$  6,00 cm

Pali  $C_{min}$  6,00 cm

## 5 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI

Sulla base delle indagini svolte, sintetizzate nei profili geotecnici e nelle relazioni geotecniche, cui si rimanda per approfondimenti, si evince la seguente caratterizzazione geotecnica:

Unita' Geotecniche		Parametri					
		z	g	c'	f'	E'	Eur = 1.50 E'
Unità	Unità Geologica	m	kN/m <sup>3</sup>	kPa	°	MPa	MPa
R	h - Riporti antropici	0 - 5.0	20	-	28	10	15
	b2 - Coltri eluvio-colluviali						
	ba1 - Depositi alluvionali attuali						
	bb2 - Depositi alluvionali recenti						
	g2 - Depositi di spiaggia attuali						
UG1	LEI2 - Sintema Lentini	5.0 - 15	19.5	7.5	22	12.5	18.75
	LEI2 - Sintema Lentini	15 - 40	19.5	12.5	22	22.5	33.75

## 6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

Per tutte le opere d'arte di progetto vengono adottati i seguenti parametri per la definizione dell'azione sismica:

- Classe d'uso: II
- Coefficiente d'uso  $CU = 1$
- Vita nominale  $VN = 75$  anni
- Categoria di suolo: C
- Categoria topografica: T1
- Fattore di struttura  $q = 1$

L'azione sismica è stata calcolata per mezzo del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3 messo a disposizione dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

### 6.1 SPETTRI DI RISPOSTA

### FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:

LATITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE:

PROVINCIA:

COMUNE:

Elaborazioni grafiche

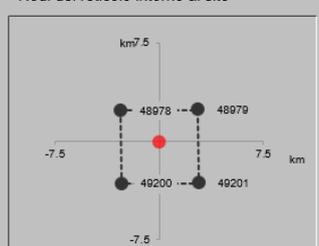
Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta

Interpolazione



La "Ricerca per comune" utilizza le ... coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che ... all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

## FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info  
Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE {  
SLO -  $P_{VR} = 81\%$    
SLD -  $P_{VR} = 63\%$    
Stati limite ultimi - SLU {  
SLV -  $P_{VR} = 10\%$    
SLC -  $P_{VR} = 5\%$

Elaborazioni

Grafici parametri azione |>  
Grafici spettri di risposta |>  
Tabella parametri azione |>

Strategia di progettazione



LEGENDA GRAFICO

--- Strategia per costruzioni ordinarie  
- - - Strategia scelta

INTRO

FASE 1

**FASE 2**

FASE 3

## FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

Stato Limite

Stato Limite considerato  info

Risposta sismica locale

Categoria di sottosuolo  info

$S_S =$

$C_C =$   info

Categoria topografica  info

$h/H =$

$S_T =$   info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

Compon. orizzontale

Spettro di progetto elastico (SLE)

Smorzamento  $\xi$  (%)

$\eta =$   info

Spettro di progetto inelastico (SLU)

Fattore  $q_s$

Regol. in altezza  info

Compon. verticale

Spettro di progetto

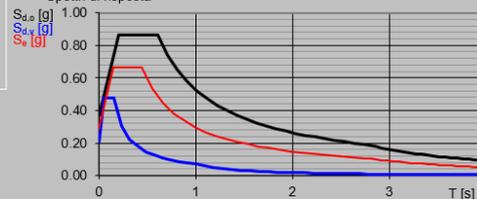
Fattore  $q_v$

$\eta = 1/q_v =$   info

Elaborazioni

Grafici spettri di risposta |>  
Parametri e punti spettri di risposta |>

Spettri di risposta



— Spettro di progetto - componente orizzontale  
— Spettro di progetto - componente verticale  
— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )

INTRO

FASE 1

FASE 2

**FASE 3**

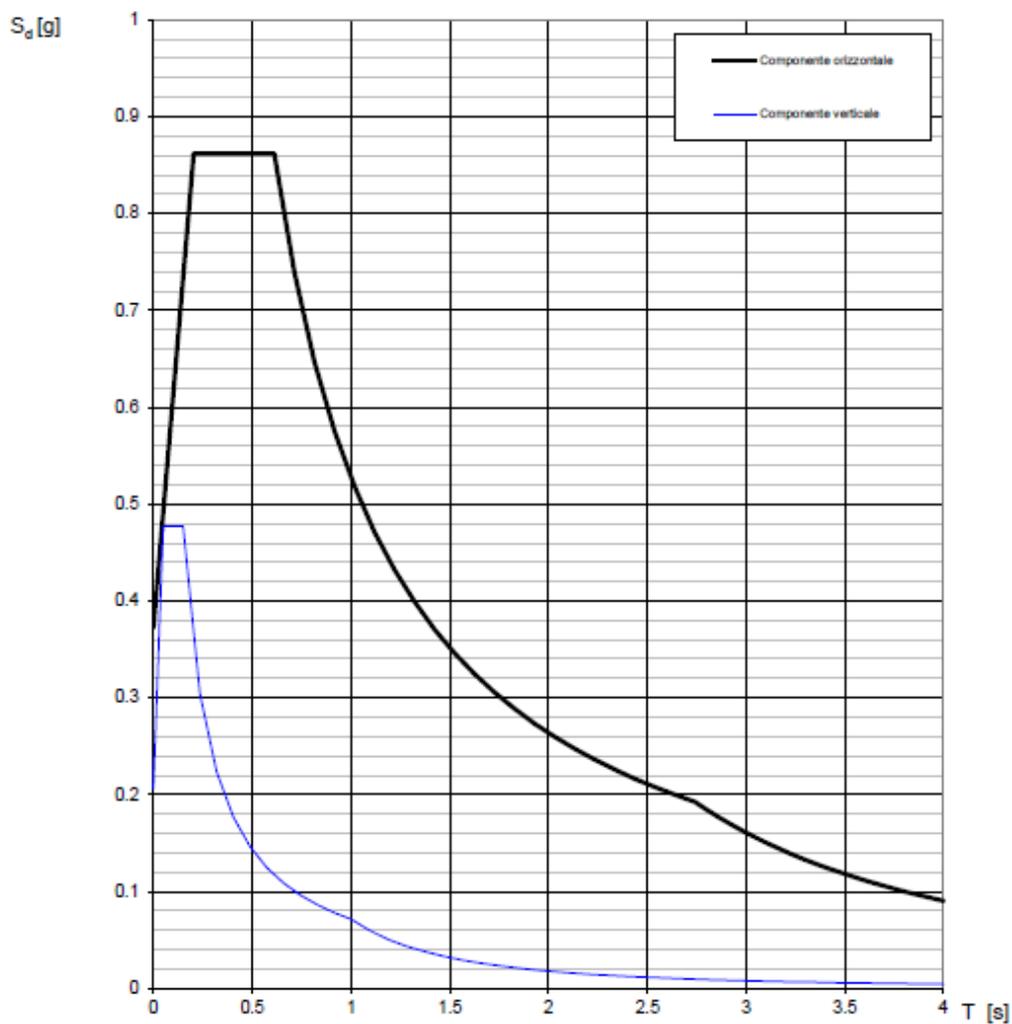
**Tabella 6.1 - Parametri sismici sito in esame**

Stato Limite	$a_g$ (g)	$F_0$ (-)	$T_c^*$ (s)	$S_S$ (-)	$C_C$ (g)	$S_T$ (-)
SLD	0.076	2.494	0.288	1.500	1.583	1.00
SLV	0.286	2.315	0.447	1.303	1.370	1.00

### 6.1.1 Spettri di risposta SLV

Elaborazioni effettuate con "00\_P1\_Spettri-NTCver.1.0.3"

#### Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV

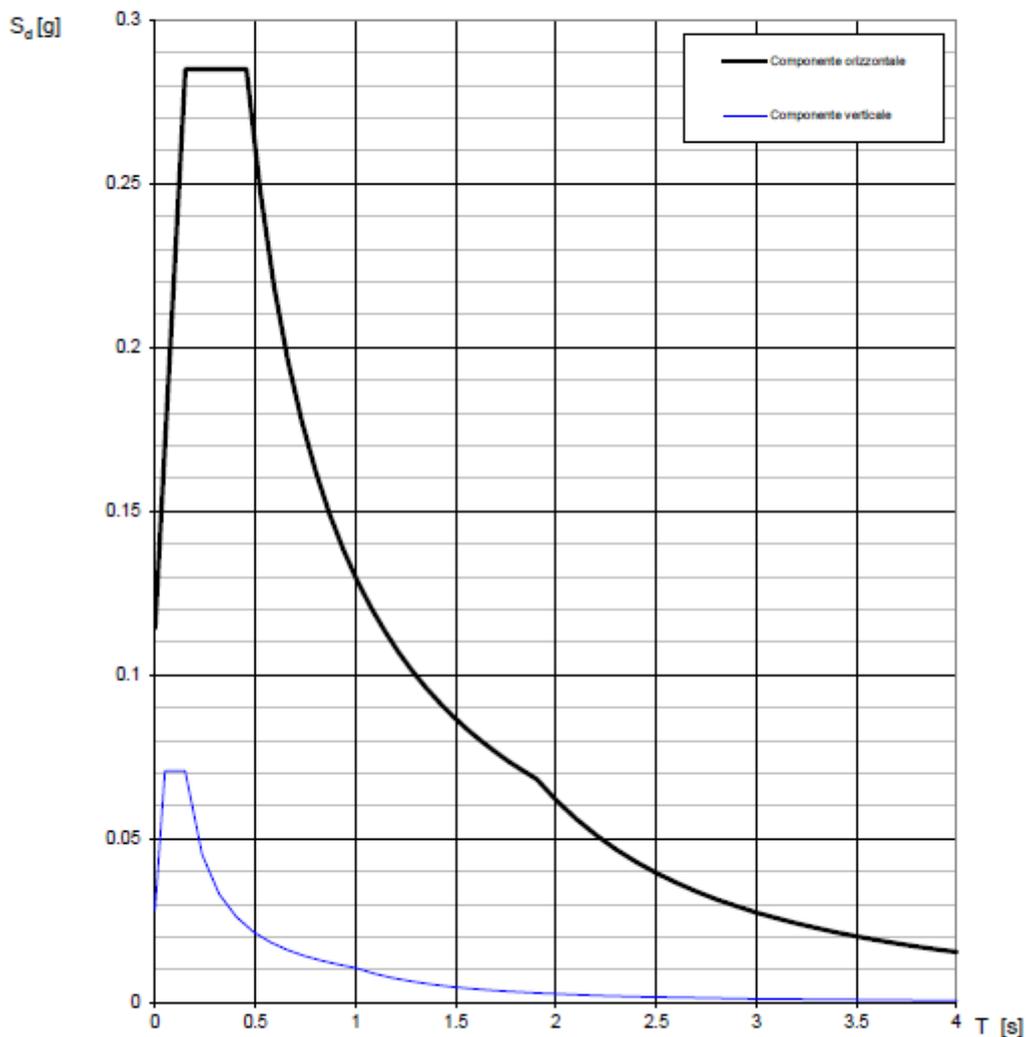


La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. L'ANIDIS non potrà essere ritenuta responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

### 6.1.2 Spettri di risposta SLD

Elaborazioni effettuate con "00\_P1\_Spettri-NTCver.1.0.3"

#### Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLD



La verifica dell' idoneità del programma, l' utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell' utente. L' ANIDIS non potrà essere ritenuta responsabile dei danni risultanti dall' utilizzo dello stesso.

### 6.1.3 Impostazione parametri software PARATIE

Si riporta la schermata di input per la definizione dell'azione sismica all'interno del software di calcolo utilizzato.

Il valore dello spostamento  $U_s$  utilizzato è  $0.005 H$ , dove  $H$  è l'altezza della paratia fuori terra.

Opzioni Sisma (attive solo nell'ultima fase)

Opzioni

Includi Azione Sismica

**1. Definizione accelerazione**

Coefficiente accel. base  $a_g / g$

Fattore importanza I

Coefficiente  $S_s$

Coefficiente  $S_T$

$a_{max} / g =$

**2. Accelerazione di calcolo**

Eurocodice

Calcolo coefficiente di risposta R

Input diretto

Da formule

$U_s$   m     $T_c$   s

$V_{max}$   m/s     $V_{max}/a_{max}$   >

R=  >

NTC

$U_s =$   m

$\beta =$   >

$\alpha =$   >

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

**3. Definizione calcolo**

Modalità spinta  Paratia fuori terra  
 Paratia intera

Comportamento idraulico  Terreno pervio  
 Terreno impervio

$k_{vu}$  (%  $k_h$ )

$k_{vd}$  (%  $k_h$ )

$R_u$

Includi inerzia paratia

**4. Metodo di calcolo**

Procedura Automatica (Paratie)

Pressione di Wood [0-1]

Valore Applicato

Manuale (Carichi Esterni)

Comportamento Paratia  Flessibile (usa  $k_h$ )  
 Rigido (usa  $a_{max}$ )

Metodo  Wood  
 Mononobe-Okabe  
 Semirigido

B=     Correlazione  $\alpha_1 - \alpha_2$

$\alpha_1 =$      

$\alpha_2 =$

$a_{max} / g$  (without ductility) =      $k_h / g$  (including ductility) =  (NTC)

Figura 6.1 - Condizione sismica SLV – Paratia T1

Opzioni Sisma (attive solo nell'ultima fase)

Includi Azione Sismica

1. Definizione accelerazione

Coefficiente accel. base  $a_g / g$

Fattore importanza I

Coefficiente  $S_s$

Coefficiente  $S_T$

$a_{max} / g =$

2. Accelerazione di calcolo

Eurocodice

Calcolo coefficiente di risposta R

Input diretto

Da formule

$U_s$   m  $T_c$   s

$V_{max}$   m/s  $V_{max}/a_{max}$

R=

NTC

$U_{s=}$   m

$\beta =$

$\alpha =$

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

3. Definizione calcolo

Modalità spinta  Paratia fuori terra  
 Paratia intera

Comportamento idraulico  Terreno pervio  
 Terreno impervio

$k_{vu}$  (%  $k_h$ )

$k_{vd}$  (%  $k_h$ )

$R_u$

Includi inerzia paratia

4. Metodo di calcolo

Procedura Automatica (Paratie)

Pressione di Wood [0-1]

Valore Applicato

Manuale (Carichi Esterni)

Comportamento Paratia  Flessibile (usa  $k_h$ )  
 Rigido (usa  $a_{max}$ )

Metodo  Wood  
 Mononobe-Okabe  
 Semirigido

B=  Correlazione  $\alpha_1 - \alpha_2$

$\alpha_1 =$   

$\alpha_2 =$

$a_{max} / g$  (without ductility) =   $k_h / g$  (including ductility) =  (NTC)

Figura 6.2 - Condizione sismica SLD – Paratia T1

Si riporta la schermata di input per la definizione dell'azione sismica all'interno del software di calcolo utilizzato.

Il valore dello spostamento  $U_s$  utilizzato è 0.005 H, dove H è l'altezza della paratia fuori terra.

Opzioni Sisma (attive solo nell'ultima fase)

Includi Azione Sismica

1. Definizione accelerazione

Coefficiente accel. base  $a_g / g$

Fattore importanza I

Coefficiente  $S_s$

Coefficiente  $S_T$

$a_{max} / g =$

2. Accelerazione di calcolo

Eurocodice

Calcolo coefficiente di risposta R

Input diretto

Da formule

$U_s$   m  $T_c$   s

$V_{max}$   m/s  $V_{max}/a_{max}$

R=

NTC

$U_{s=}$   m

$\beta=$

$\alpha=$

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

3. Definizione calcolo

Modalità spinta  Paratia fuori terra  
 Paratia intera

Comportamento idraulico  Terreno pervio  
 Terreno impervio

$k_{vu}$  (%  $k_h$ )

$k_{vd}$  (%  $k_h$ )

$R_u$

Includi inerzia paratia

4. Metodo di calcolo

Procedura Automatica (Paratie)

Pressione di Wood [0-1]

Valore Applicato

Manuale (Carichi Esterni)

Comportamento Paratia  Flessibile (usa  $k_h$ )  
 Rigido (usa  $a_{max}$ )

Metodo  Wood  
 Mononobe-Okabe  
 Semirigido

B=

$\alpha_1=$

$\alpha_2=$

Correlazione  $\alpha_1 - \alpha_2$  

$a_{max} / g$  (without ductility) =   $k_h / g$  (including ductility) =  (NTC)

Figura 6.3 - Condizione sismica SLV – Paratia T2

Opzioni Sisma (attive solo nell'ultima fase)

Opzioni

Includi Azione Sismica

1. Definizione accelerazione

Coefficiente accel. base  $a_g / g$

Fattore importanza I

Coefficiente  $S_s$

Coefficiente  $S_T$

$a_{max} / g =$

2. Accelerazione di calcolo

Eurocodice  
Calcolo coefficiente di risposta R

Input diretto

Da formule

$U_s$   m  $T_c$   s

$V_{max}$   m/s  $V_{max}/a_{max}$

R=

NTC

$U_s =$   m

$\beta =$

$\alpha =$

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

3. Definizione calcolo

Modalità spinta  Paratia fuori terra  
 Paratia intera

Comportamento idraulico  Terreno pervio  
 Terreno impervio

$k_{vu}$  (%  $k_h$ )

$k_{vd}$  (%  $k_h$ )

$R_u$

Includi inerzia paratia

4. Metodo di calcolo

Procedura Automatica (Paratie)

Pressione di Wood [0-1]

Valore Applicato

Manuale (Carichi Esterni)

Comportamento Paratia  Flessibile (usa  $k_h$ )  
 Rigido (usa  $a_{max}$ )

Metodo  Wood  
 Mononobe-Okabe  
 Semirigido

B=  Correlazione  $\alpha_1 - \alpha_2$

$\alpha_1 =$   

$\alpha_2 =$

$a_{max} / g$  (without ductility) =   $k_h / g$  (including ductility) =  (NTC)

Applica

OK

Annulla

Figura 6.4 - Condizione sismica SLD – Paratia T2

## 7 APPROCCI NORMATIVI

Le verifiche delle strutture di sostegno sono state condotte nei riguardi dei seguenti stati limite ultimi (SLU):

- collasso del complesso opera-terreno;
- instabilità globale dell'insieme terreno-opera
- raggruppimento della resistenza elementi strutturali parete;

Come prescritto dal DM 17/01/2018 per le strutture di sostegno flessibili, è stato adottato l'Approccio Progettuale 1 con le due combinazioni di coefficienti parziali (tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I del DM 17/01/2018):

- combinazione 1: A1 + M1 + R1
- combinazione 2: A2 + M2 + R1.

Il dimensionamento geotecnico dell'opera è stato condotto con la verifica di stati limite ultimi GEO, applicando la Combinazione 2 (A2+M2+R1). Per le verifiche di stati limite ultimi STR l'analisi è stata condotta la combinazione 1 (A1+M1+R1), in condizioni statiche.

Il corretto dimensionamento nei confronti degli SLU assicura che gli spostamenti dell'opera siano compatibili con le esigenze di funzionalità della stessa; pertanto, in assenza di fabbricati o altre opere da salvaguardare a ridosso delle stesse, non si ritengono necessarie ulteriori valutazioni di verifica nei confronti degli SLE.

Per le verifiche di stabilità globale è stato applicato l'Approccio 1- Combinazione 2 (A2+M2+R2 – tab. 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I del DM 17/01/2018).

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  $\gamma_{G1}$

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

## 8 VERIFICHE

### 8.1 VERIFICHE STRUTTURALI

#### 8.1.1 Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU)

La verifica di resistenza a pressoflessione sugli elementi viene condotta calcolando il momento resistente massimo della sezione in presenza o meno di sforzo assiale di compressione. Il calcolo si basa sull'assunzione dei diagrammi di calcolo a tensione-deformazione del calcestruzzo e dell'acciaio previsti dalla normativa. La suddetta verifica si ritiene soddisfatta se risulta rispettata la seguente disuguaglianza:

$$M_{Rd} = M_{Rd}(N_{Ed}) \geq M_{Ed}$$

dove:  $N_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente assiale (sforzo normale) dell'azione;  $M_{Rd}$  è il valore di calcolo del momento resistente corrispondente a  $N_{Ed}$ ;  $M_{Ed}$  è il valore di calcolo della componente flettente dell'azione.

#### 8.1.2 Verifica di resistenza a taglio (SLU)

La verifica di resistenza nei confronti delle sollecitazioni taglianti è stata eseguita nel rispetto delle prescrizioni riportate al paragrafo §4.1.2.1.3 delle NTC 2018. Si è dapprima valutato il soddisfacimento delle verifiche considerando elementi strutturali sprovvisti di armature trasversali resistenti a taglio. Laddove la verifica non è risultata soddisfatta si è proceduto al calcolo del taglio resistente considerando il caso di elementi provvisti di armature trasversali resistenti al taglio.

Per le verifiche a taglio degli elementi con armatura resistente a taglio, si è adottato il criterio dell'inclinazione variabile della biella compressa.

### VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI INDOTTI DALLO SCAVO

Lo scavo di una paratia vincolata induce spostamenti in superficie a tergo di esse a seguito della deformazione orizzontale della stessa. Boone & Westland (2005) propongono un metodo per stimare gli spostamenti verticali che, in sostanza, può essere riassunto nei seguenti passi:

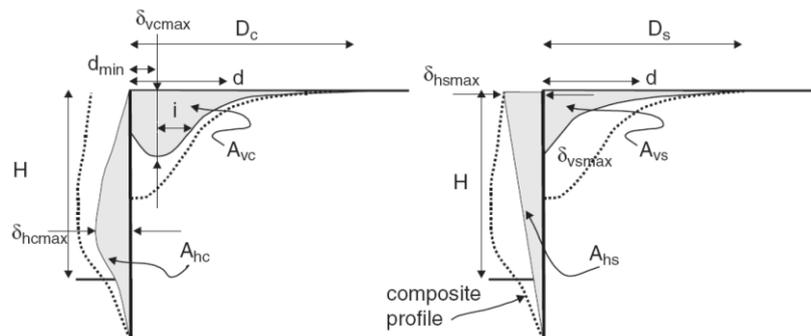


Figura 8.1 – Definizione dei parametri di spostamento verticale e orizzontale (Boone & Westland, 2005)

<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE PARATIE</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	RS62	01	R	RH	MU00 00 001	A	21 di 69

- sulla base della geometria dell'opera e delle caratteristiche del terreno si calcola il massimo spostamento laterale della parete  $\delta_{hmax}$  e della superficie  $\delta_{hsmax}$ ;
- la deformata della parete viene suddivisa in due contributi principali, ossia uno spostamento rigido (spandrel displacement) e una deformazione convessa legata alla deformabilità della parete. Per ciascun contributo viene calcolata l'area sottesa al diagramma delle deformazioni ( $A_{hs}$  e  $A_{hc}$ ) attraverso opportune equazioni;
- i cedimenti verticali, a loro volta suddivisi in due contributi apportati dalle due componenti della deformata, vengono stimati a partire dal calcolo dell'area sottesa a ciascuno di essi ( $A_{vs}$  per la componente rigida e  $A_{vc}$  per quella convessa) come un'opportuna percentuale di  $A_{hs}$  o  $A_{hc}$ .
- Noti  $A_{vs}$  e  $A_{vc}$ , i massimi cedimenti  $\delta_{vsmax}$  e  $\delta_{vcmax}$  sono calcolati sulla base di andamenti noti lungo la superficie.
- Infine, il cedimento totale, nel generico punto in superficie ad una distanza  $d$  dalla parete, è calcolato sommando i due contributi: vale a dire  $\delta_v(d) = \delta_{vs}(d) + \delta_{vc}(d)$ .

Gli spostamenti laterali  $y(z)$  sono calcolati, dal codice di calcolo, tramite l'usuale procedura numerica non lineare. Tale calcolo, quindi, si sostituisce alle valutazioni di cui ai punti 1 e 2 sopra elencati.

Pertanto, l'area  $A_{ht}$  sottesa alla deformata totale è:

$$A_{ht} = \int_{z_{toe}}^{z_{top}} y(z) dz$$

La parte  $A_{hs}$  associata a roto-traslazione rigida (spandrel) è approssimata dalla seguente espressione (vedi Figura 8.1):

$$A_{hs} = \frac{1}{2} [y(z_{top}) + y(z_{toe})] \cdot H_w$$

L'area convessa è quindi:

$$A_{hc} = A_{ht} - A_{hs}$$

Le aree sottese alle distribuzioni dei cedimenti verticali della superficie sono valutate dalla seguente espressione:

$$\frac{A_{vs}}{A_{hs}} = \frac{A_{vc}}{A_{hc}} = \eta$$

dove  $\eta$ , in PARATIE PLUS, di default, è pari a 1.

Dato che  $A_{vs}$  dipende linearmente da  $\delta_{vsmax}$ , (che quindi può essere visto come un fattore di scala da applicarsi a un'area normalizzata), le componenti ad essa associate possono essere calcolate come:

$$\delta_{vsmax} = \frac{3 \cdot A_{vs}}{D_s}; \quad \delta_{vs}(d) = \delta_{vsmax} \cdot \left(\frac{D_s - d}{D_s}\right)^2$$

dove si assume  $D_s \approx 1.2 H_e$ . Si noti che  $H_e$  è valutato come l'altezza di una parete virtuale al di sopra di un punto di rotazione.

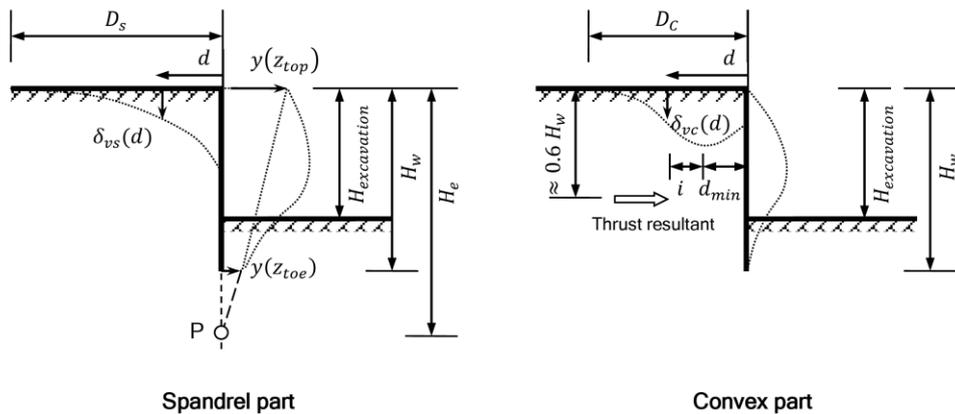
Analogamente, i contributi associati alla parte convessa, sono calcolati tramite le seguenti equazioni:

$$\delta_{vcmax} = \frac{1}{2} \frac{A_{vc}}{[1 - \Phi(0, d_{min}, i)] \sqrt{2\pi} \cdot i}; \quad \delta_{vc}(d) = \delta_{vcmax} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{d - d_{min}}{i}\right)^2}$$

dove si assume:

$$D_c \approx 2 \cdot (0.6 \cdot H_w); \quad d_{min} \approx 0.35 \cdot H_w; \quad i = \frac{D_c - d_{min}}{4.5}; \quad \Phi(0, d_{min}, i) = \int_0^{d_{min}} \frac{1}{i \cdot \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - d_{min}}{i}\right)^2} dx$$

$D_s$ ,  $D_c$  e  $d_{min}$  nelle espressioni qui sopra differiscono leggermente da quelle indicate in origine (vedi Figura 8.2).



**Figura 8.2 – Metodo di Boone & Westland (2005) – assunzioni in Paratie Plus**

Nel caso in esame, le fasi di realizzazione della paratia devono portare a cedimenti superficiali tali da non compromettere il normale funzionamento della linea ferroviaria esistente.

## 8.2 VERIFICHE GEOTECNICHE

Per quello che riguarda le verifiche di collasso terreno opera, l'analisi di interazione terreno struttura permette di valutare l'aliquota di mobilitazione della resistenza passiva nel terreno a valle dell'opera di sostegno.

Supponendo che a monte venga completamente attinta la resistenza attiva, ipotesi ragionevole per le opere considerate, il margine di sicurezza nei confronti di un meccanismo di collasso viene esplicitato dimostrando che, durante tutte le fasi di scavo, il rapporto di mobilitazione della resistenza passiva si mantenga minore dell'unità, ovvero che non venga completamente attinta tale resistenza nel terreno di valle.

Per il calcolo delle spinte sono state utilizzate le seguenti formulazioni, presenti nel software:

- coefficiente di spinta a riposo  $K_0$  con formula di Kulhavy & Mayne;
- coefficiente di spinta attiva e passiva con le relazioni di Lancellotta (2006), in cui l'angolo di attrito terreno-parete  $\delta$  è stato posto pari a  $2/3\phi'$

## 9 MODELLO DI CALCOLO

L'analisi è stata effettuata per fasi (stage), al fine di rappresentare le sollecitazioni durante le diverse fasi di costruzione. La modellazione è stata eseguita tramite il software di calcolo "ParatiePlus v. 22.0.7" della Ceas s.r.l. Nei paragrafi che seguono si riporta la geometria della sezione di paratia descritta al cap. 2, con la suddivisione in stage o fasi di calcolo.

Ai fini del dimensionamento è stata considerata una modellazione ed un'analisi in condizioni drenate, assimilando il comportamento delle argille a terreni sabbiosi/ghiaiosi e tenendo in conto, in misura cautelativa visti i parametri meccanici risultanti da caratterizzazione geotecnica, i valori dei parametri di resistenza drenati.

Si rimanda ad una successiva fase per un'analisi più di dettaglio del comportamento drenato / non drenato dei terreni e relative fasi.

### 9.1 PARATIA TIPO 1

La tabella che segue riassume le caratteristiche geometriche degli elementi che compongono la paratia e le armature del palo, dimensionate sulla base delle sollecitazioni riportate ai capitoli seguenti.

<b>PARATIA DEFINITIVA DI PALI - TIPO 1</b>		
H <sub>scavo</sub> ,	3.0	m
L <sub>paratia</sub> ,	11.0	m
PALI (C25/30)	Φ (mm)	800
	i (mm)	1000
Armatura	Longitudinale N x D (mm)	20 x Φ20
	Trasversale D (mm) / s (mm)	Φ12 / 150

Si considera a monte dell'opera un carico permanente dovuto al rilevato ferroviario, un ulteriore carico permanente dovuto alla sovrastruttura ferroviaria (ballast) ed un carico variabile, di origine ferroviario, valutato con riferimento al MdP-Parte II – Sezione 3. L'altezza di scavo di calcolo risulta pari a 3 m.

I carichi variabili da traffico ferroviario sono quelli dovuti al treno di carico LM71 ( $\alpha=1.1$ ), definito nella tabella 5.2.1 delle NTC 2018.

Le verifiche sono state condotte ipotizzando una larghezza di ripartizione dei carichi ferroviari al livello del piano di regolamento pari alla larghezza della traversa più la larghezza dovuta alla diffusione del carico all'interno del ballast.

## Carichi elementari

La diffusione dei carichi della sovrastruttura ferroviaria (ballast) e del sovraccarico del treno sono state condotte assumendo una diffusione del carico con un angolo interno pari a 35°

### *Carico permanente dovuto al rilevato ferroviario*

Y <sub>rit</sub>	20 kN/mc
Altezza del rilevato	2 m
g <sub>3</sub>	40 kPa
distacco da asse paratia	1.5 m
proiezione scarpata da asse paratia	3.4 m

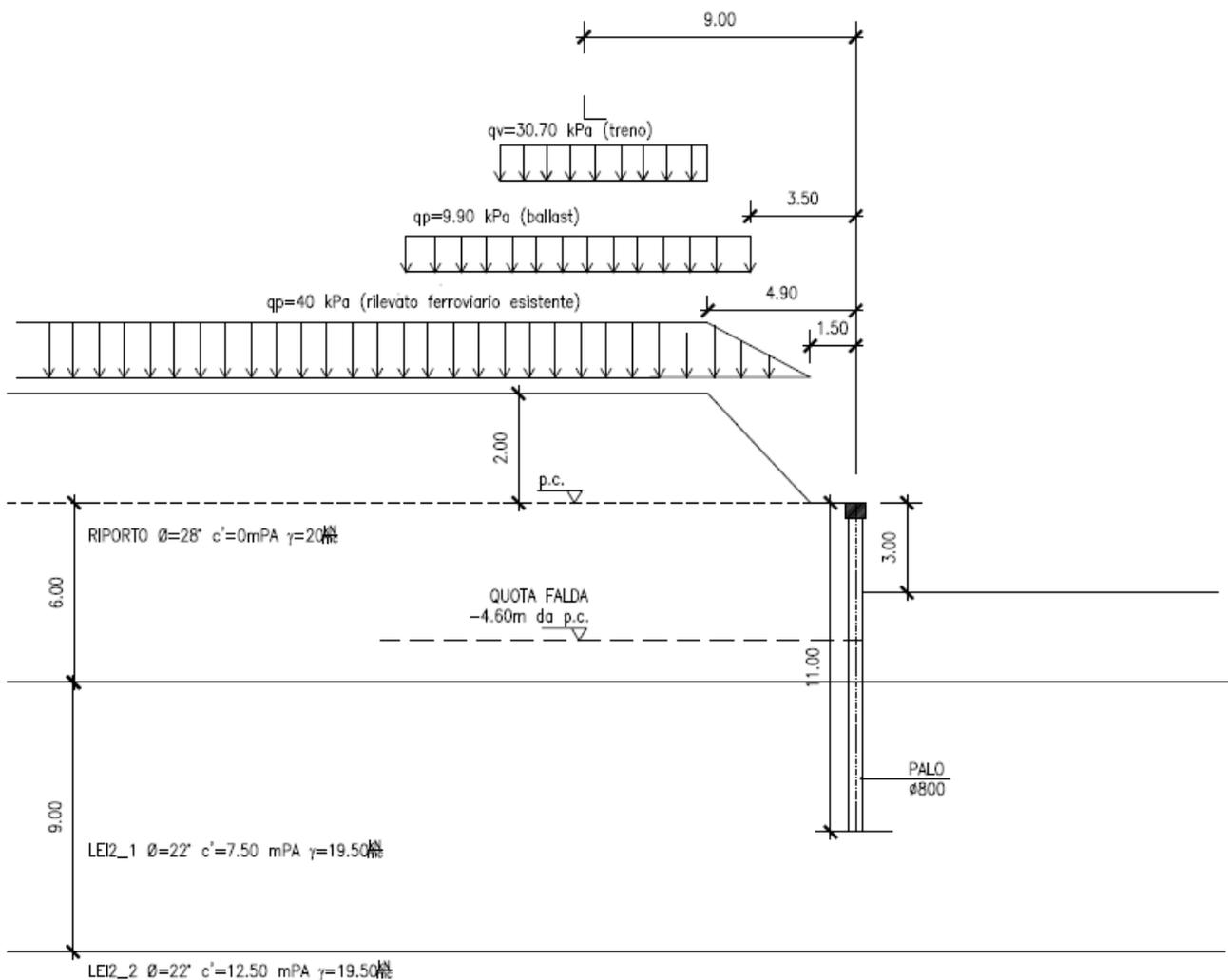
### *Carico permanente non strutturale dovuto al ballast ferroviario*

Carico	14.4 Kpa
larghezza ballast considerata sottobinario	8 m
Altezza del rilevato	2 m
Ø rilevato ferroviario	35 °
L' - diffusione	1.4 m
Larghezza complessiva ad intradosso cordolo	11.00 m
Q - testa totale	118.08 kN
g <sub>2</sub> ballast	10.8 Kpa

### *Sovraccarico accidentale da treni di carico*

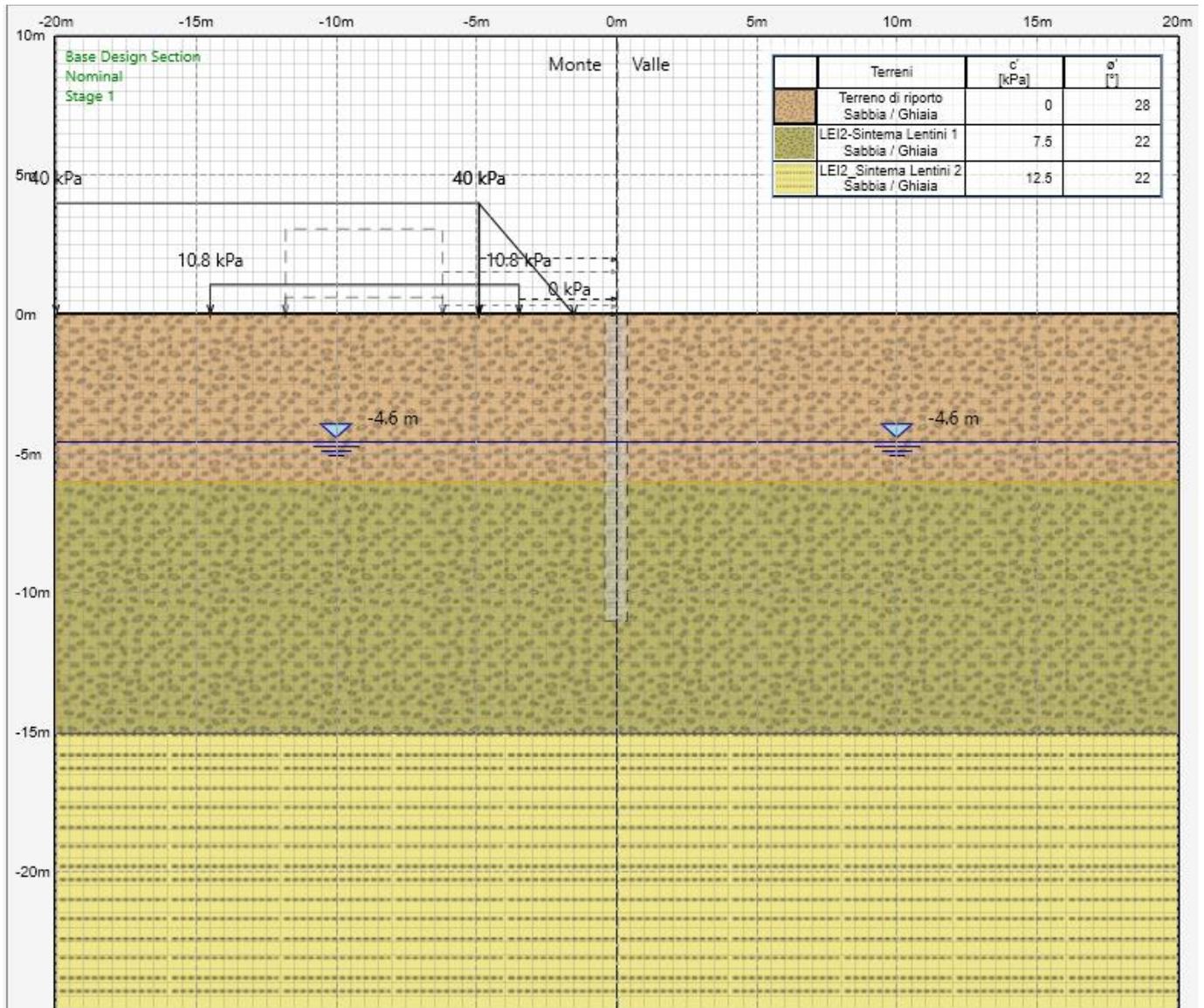
Carico	14.4 Kpa
larghezza ballast considerata sottobinario	8 m
Altezza del rilevato	2 m
Ø rilevato ferroviario	35 °
L' - diffusione	1.4 m
Larghezza complessiva ad intradosso cordolo	11.00 m
Q - testa totale	118.08 kN
g <sub>2</sub> ballast	10.8 Kpa

Nella figura che segue si riporta lo schema di calcolo utilizzato nella modellazione.

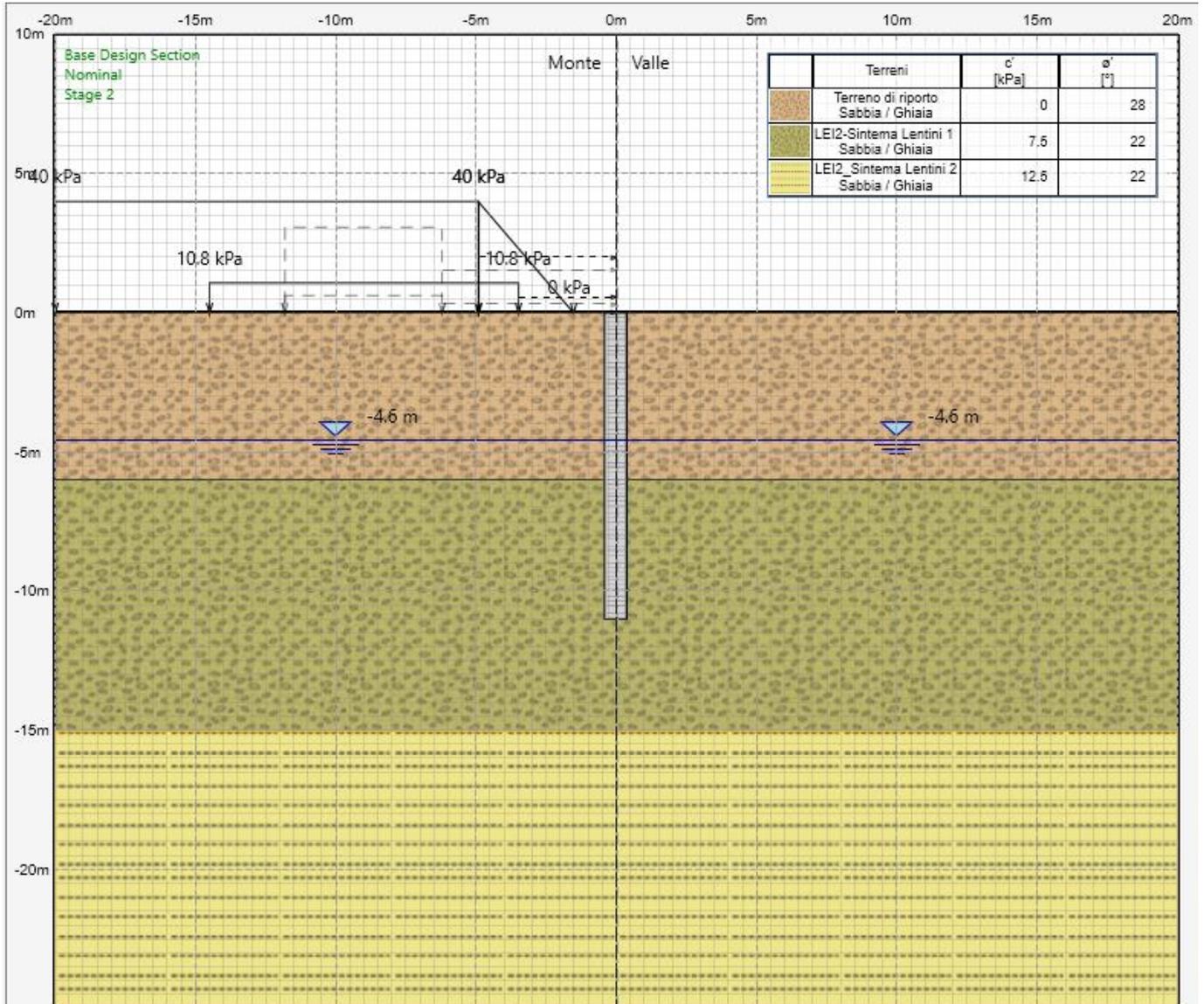


### 9.1.1 Stage di Calcolo

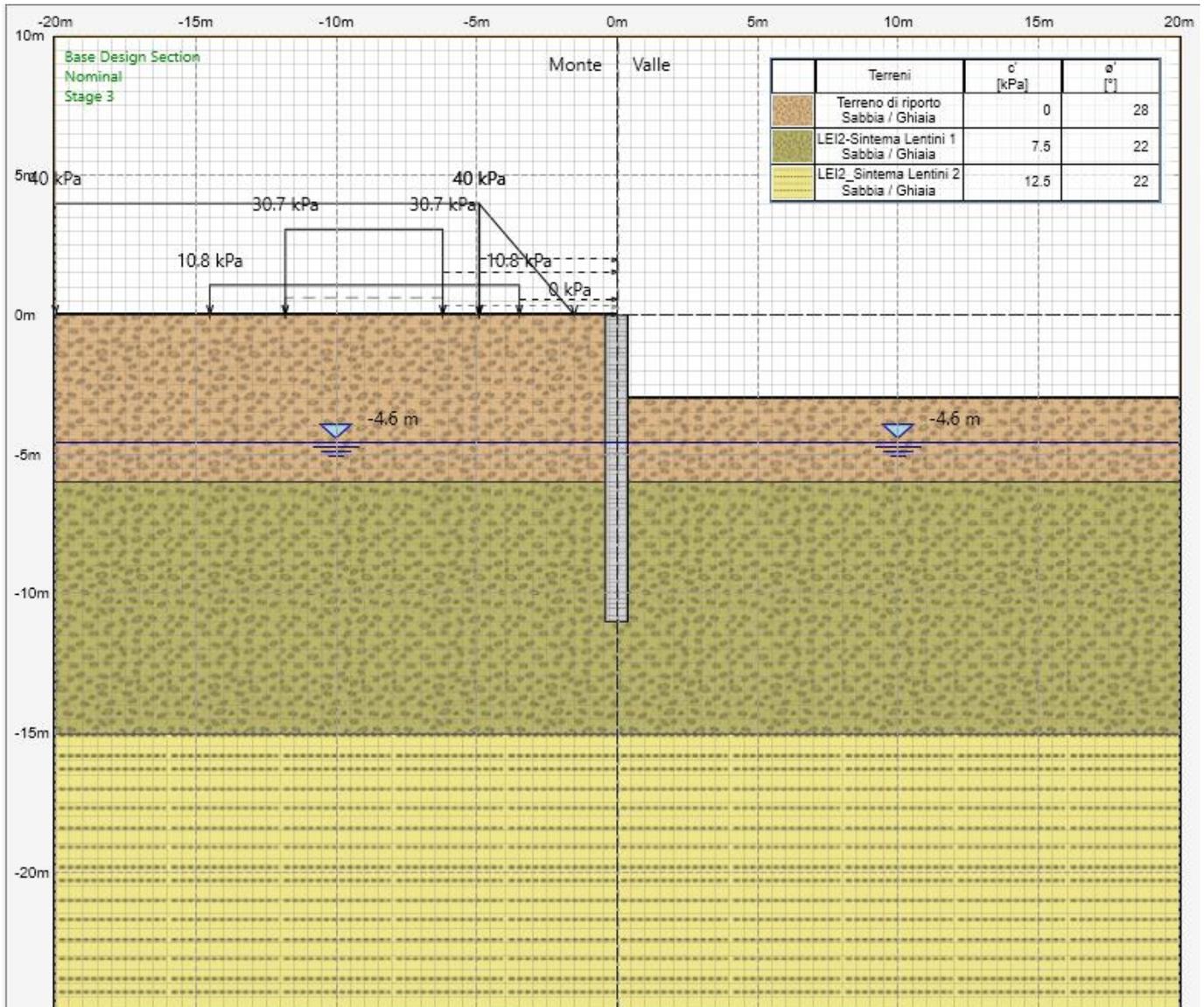
Stage 1: Ricostruzione dello stato tensionale.



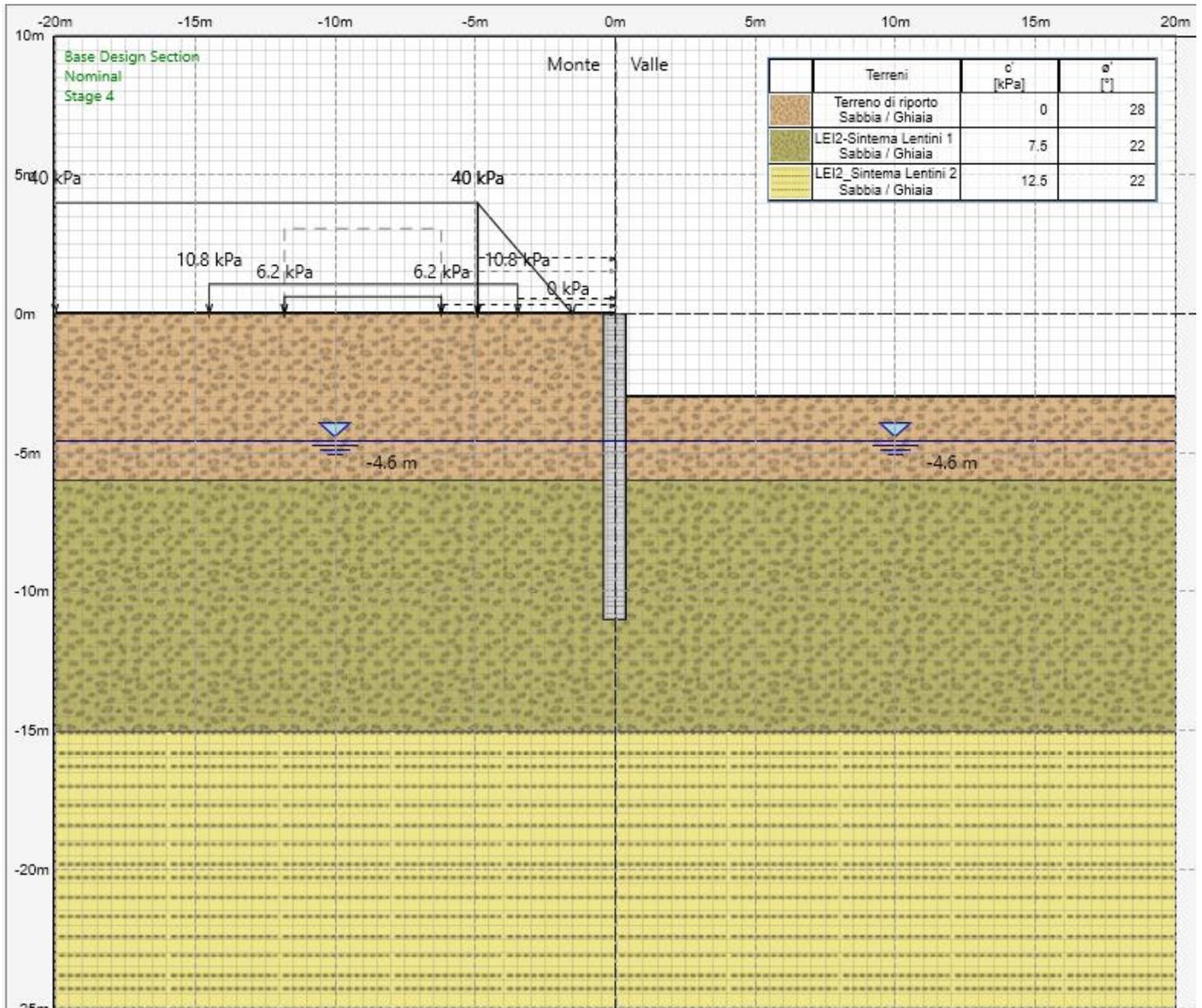
Stage 2: Attivazione paratia.



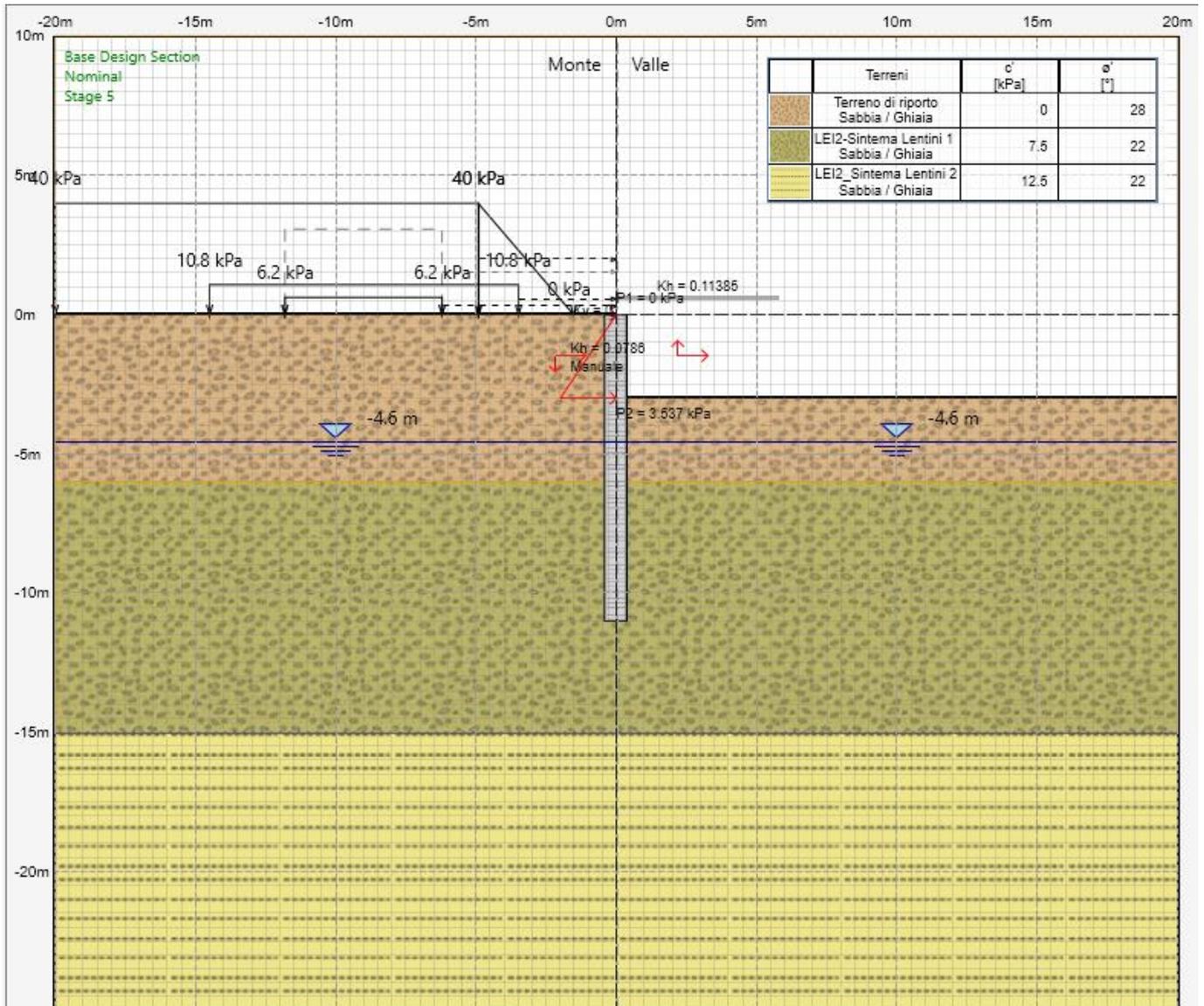
Stage 3: Scavo fino a fondo scavo



Stage 4: Condizione statica sismica (no sovraspinta)



Stage 3: Presenza di azione sismica



## 9.2 PARATIA TIPO 2

La tabella che segue riassume le caratteristiche geometriche degli elementi che compongono la paratia e le armature del palo, dimensionate sulla base delle sollecitazioni riportate ai capitoli seguenti.

PARATIA DEFINITIVA DI PALI - TIPO 1		
H <sub>scavo, finale</sub>	4.0	m
L <sub>paratia,</sub>	20.0	m
PALI (C25/30)	Φ (mm)	1200
	l <sub>long.</sub> (mm) l <sub>trav.</sub> (mm)	1400
Armatura	Longitudinale N x D (mm)	32 x Φ26
	Trasversale D (mm) / s (mm)	Φ12 / 200

Ai fini del calcolo viene equiparata la paratia di pali a quinconce diametro Φ1200 mm con una parete equivalente in rigidezza di spessore 2.2 m e lunghezza 20 m come riportato nello schema seguente.

### DIMENSIONAMENTO PARATIA EQUIVALENTE

Descrizione	Parametro	Valore	U.M.
<b>Area equivalente (Paratie Plus)</b>			
<b>Riempimento in cls</b>			
diámetro interno cls	F2int	1.20	m
area nucleo interno cls	Acls	1.13	m <sup>2</sup>
inerzia nucleo interno cls	Icls	0.10	m <sup>4</sup>
<b>Paratia di pali a quinconce</b>			
interasse longitudinale	il	1.40	m
interasse trasversale	it	1.40	m
numero di file di pali	Nf	2.0	adim.
N. pali al metro di paratia per fila	N	0.71	adim.
<b>Paratia equivalente</b>			
modulo elastico cls	Ecls	29960	Mpa
<b>Inerzia paratia equivalente</b>			
Contributo nuclei in cls	leq,cls	0.9371	m <sup>4</sup>
Inerzia Equivalente paratia	<b>leq</b>	<b>0.9371</b>	<b>m<sup>4</sup></b>
Spessore equivalente	<b>seq</b>	<b>2.24</b>	<b>m</b>

Si considera a monte dell'opera un carico permanente dovuto alla sovrastruttura ferroviaria (ballast) ed un carico variabile, di origine ferroviario, valutato con riferimento al MdP-Parte II – Sezione 3. Si

<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE PARATIE</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	RS62	01	R	RH	MU00 00 001	A	33 di 69

considera inoltre un'altezza massima di scavo pari a 5.30 m per la posa della canaletta a valle cui seguirà un ritombamento di circa 1.30m nella condizione di lungo termine.

I carichi variabili da traffico ferroviario sono quelli dovuti al treno di carico LM71 ( $\alpha=1.1$ ), definito nella tabella 5.2.1 delle NTC 2018 che risultano essere quelli massimi confrontati con gli altri treni di carico (SW0 e SW2).

## Carichi elementari

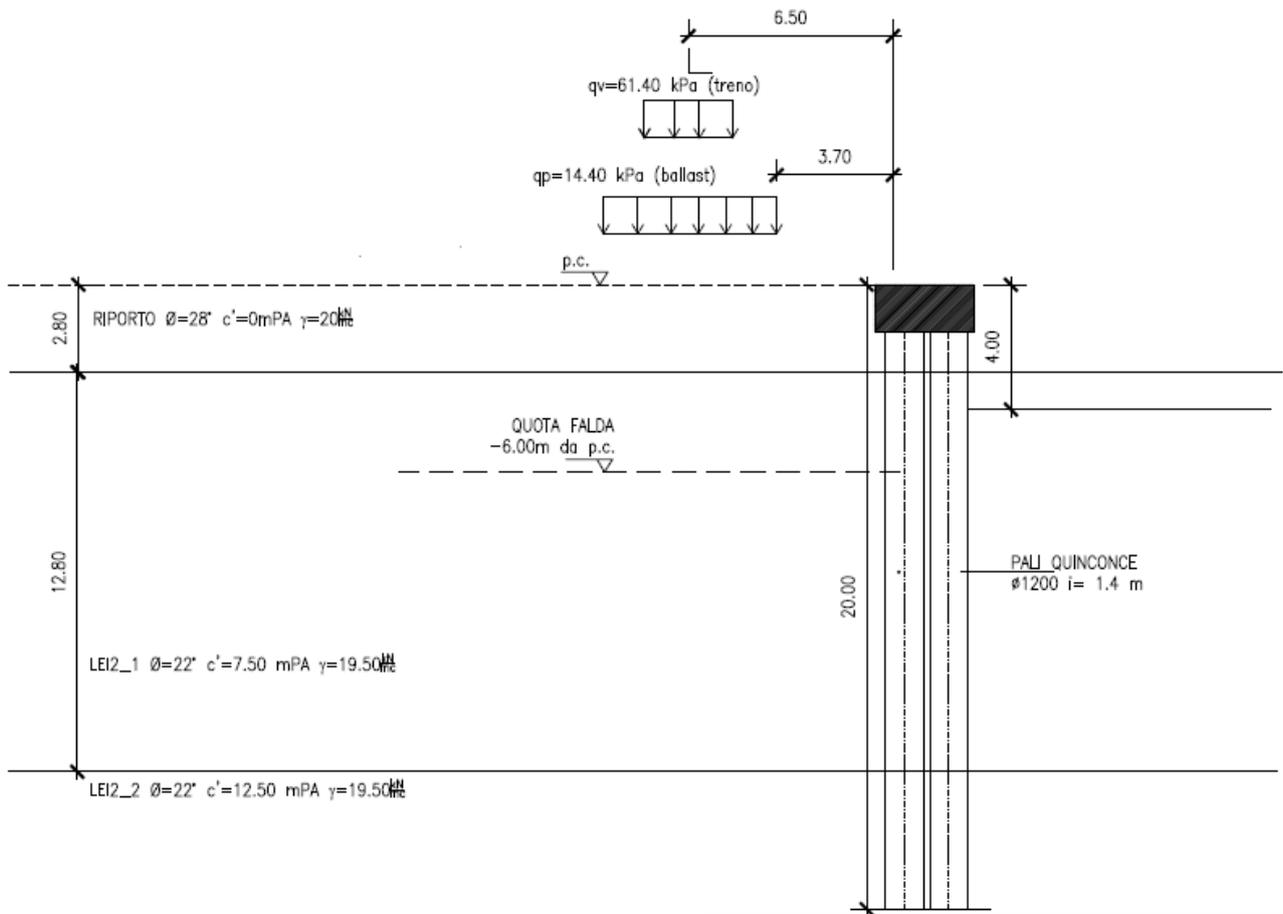
### *Carico permanente non strutturale dovuto al ballast ferroviario*

Carico	<b>14.40</b> Kpa
larghezza ballast	<b>5.50</b> m
Altezza del rilevato	0.00 m
Ø rilevato ferroviario	35.00 °
L' - diffusione	0.00 m
Larghezza complessiva ad intradosso cordolo	<b>5.50</b> m
Q - testa totale	79.20 kN
g2 ballast	<b>14.40</b> Kpa

### *Sovraccarico accidentale da treni di carico*

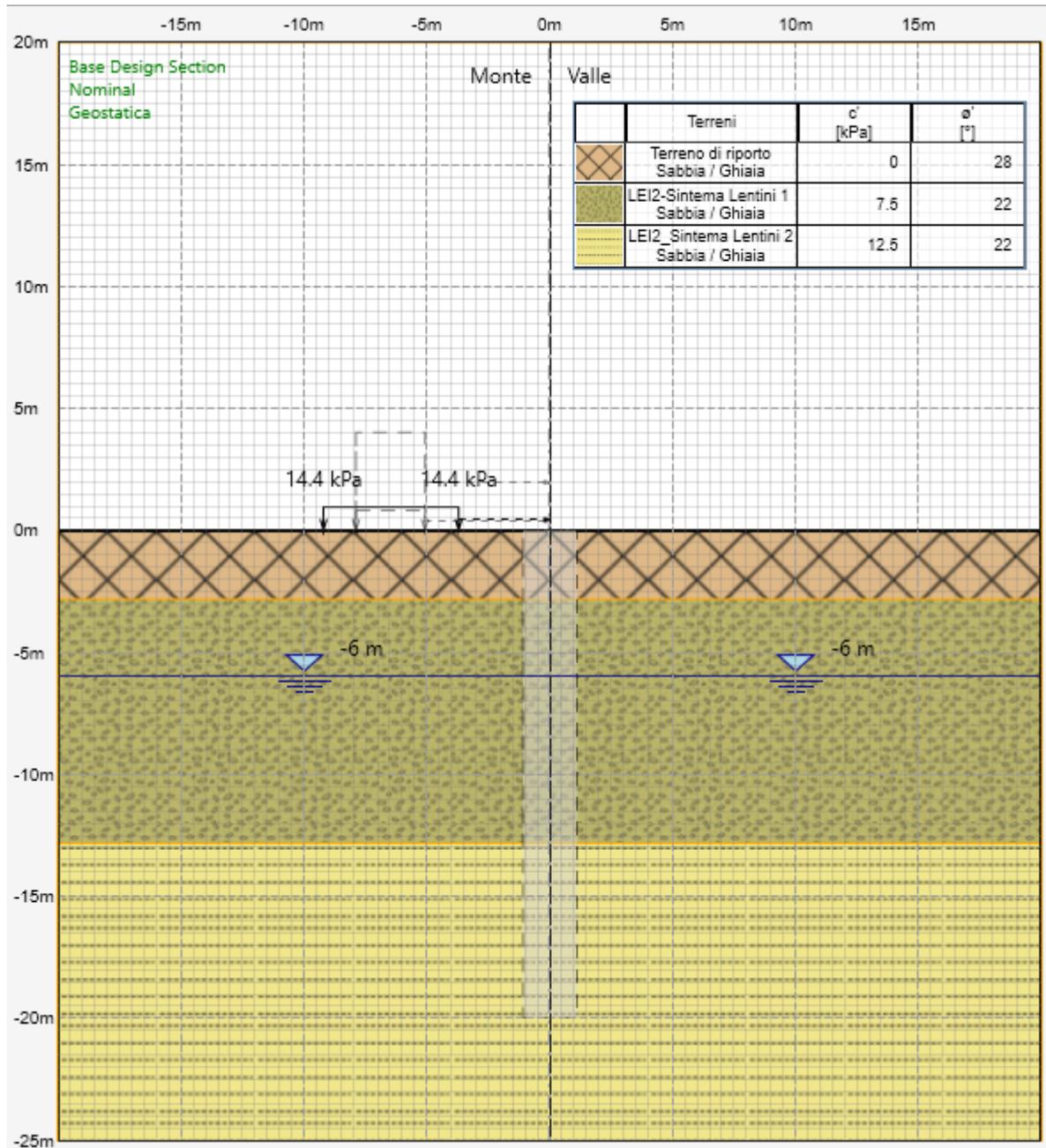
Larghezza della traversa	<b>2.60</b> m
ballast sotto traversa	<b>0.40</b> m
rapporto diffusione nel ballast	0.25
Larghezza di diffusione	<b>2.80</b> m
Carico massimo da LM71	<b>156.25</b> kn/ml
$\alpha$	<b>1.10</b> -
Carico lineare	171.88 kn/ml
Carico diffuso intradosso ballast	<b>61.40</b> kPa
Altezza del ballast	0.00 m
Ø rilevato ferroviario	<b>35.00</b> °
L' - diffusione	0.00 m
Larghezza complessiva ad intradosso cordolo	2.80 m
Q totale forza	171.92 kN
q quota intradosso cordolo	<b>61.40</b> Kpa
$\alpha$	<b>0.20</b> -
Carico lineare	12.28 kn/ml

Nella figura che segue si riporta lo schema di calcolo utilizzato nella modellazione.

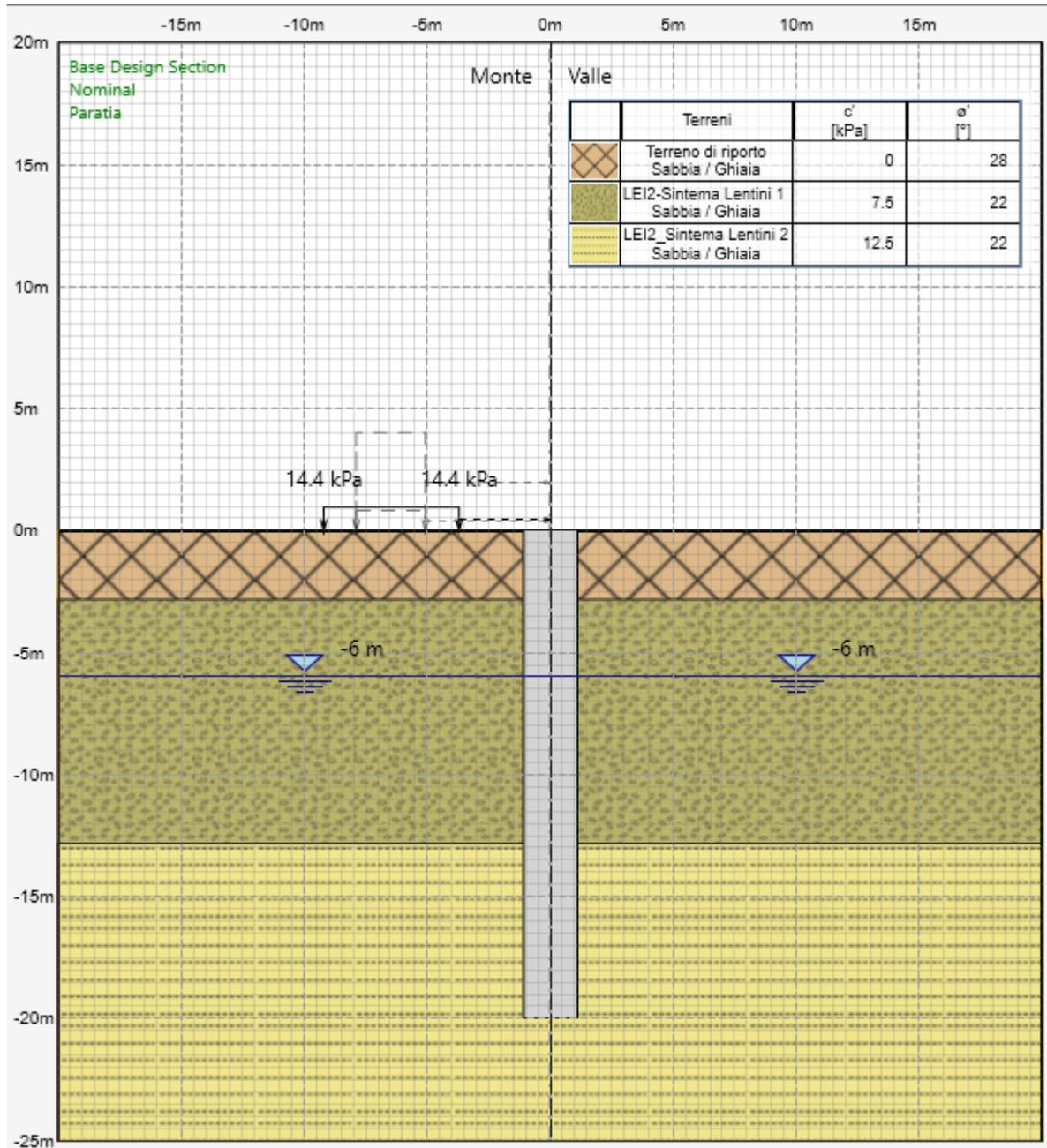


### 9.2.1 Stage di Calcolo

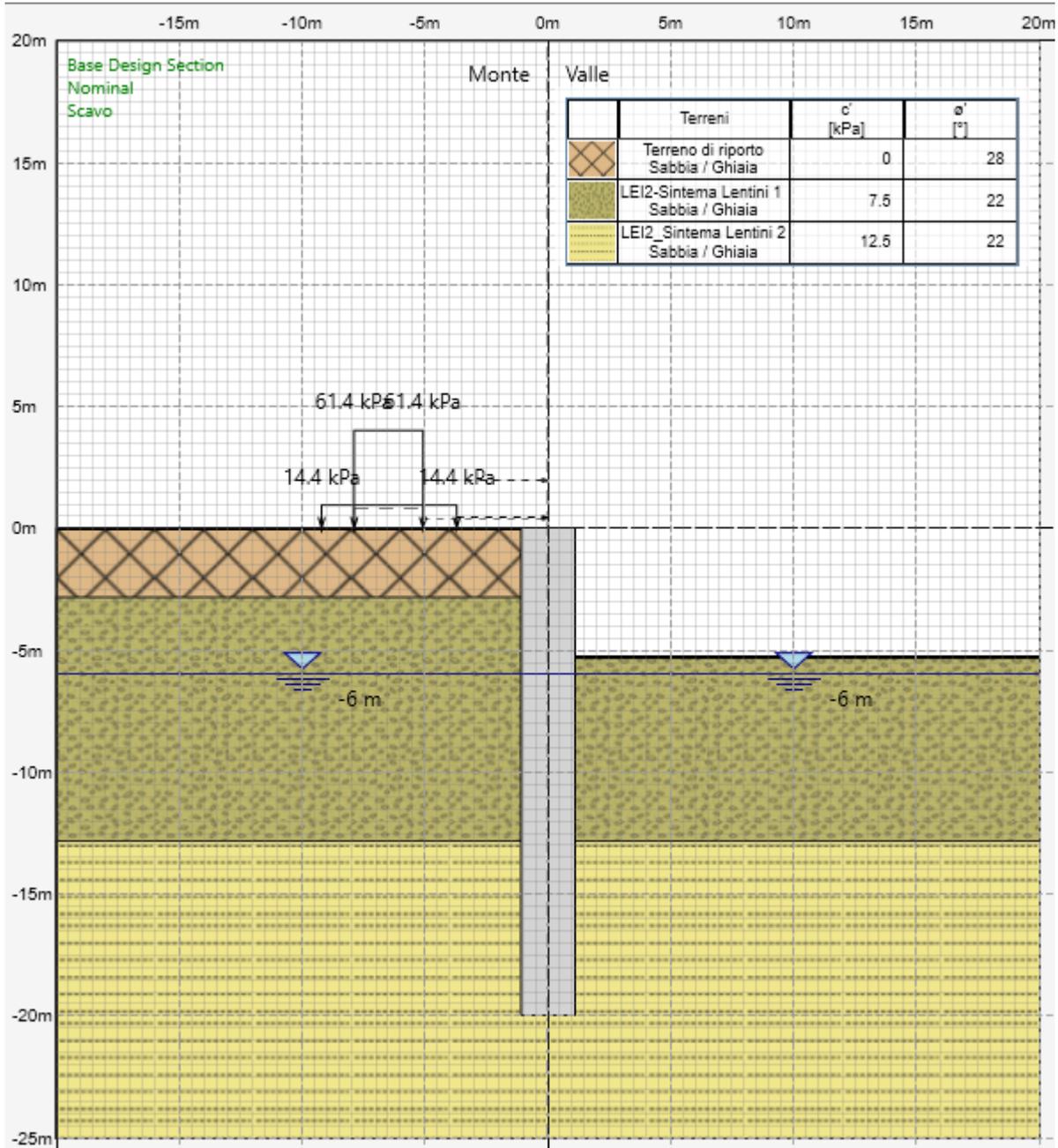
Stage 0: Ricostruzione dello stato tensionale.



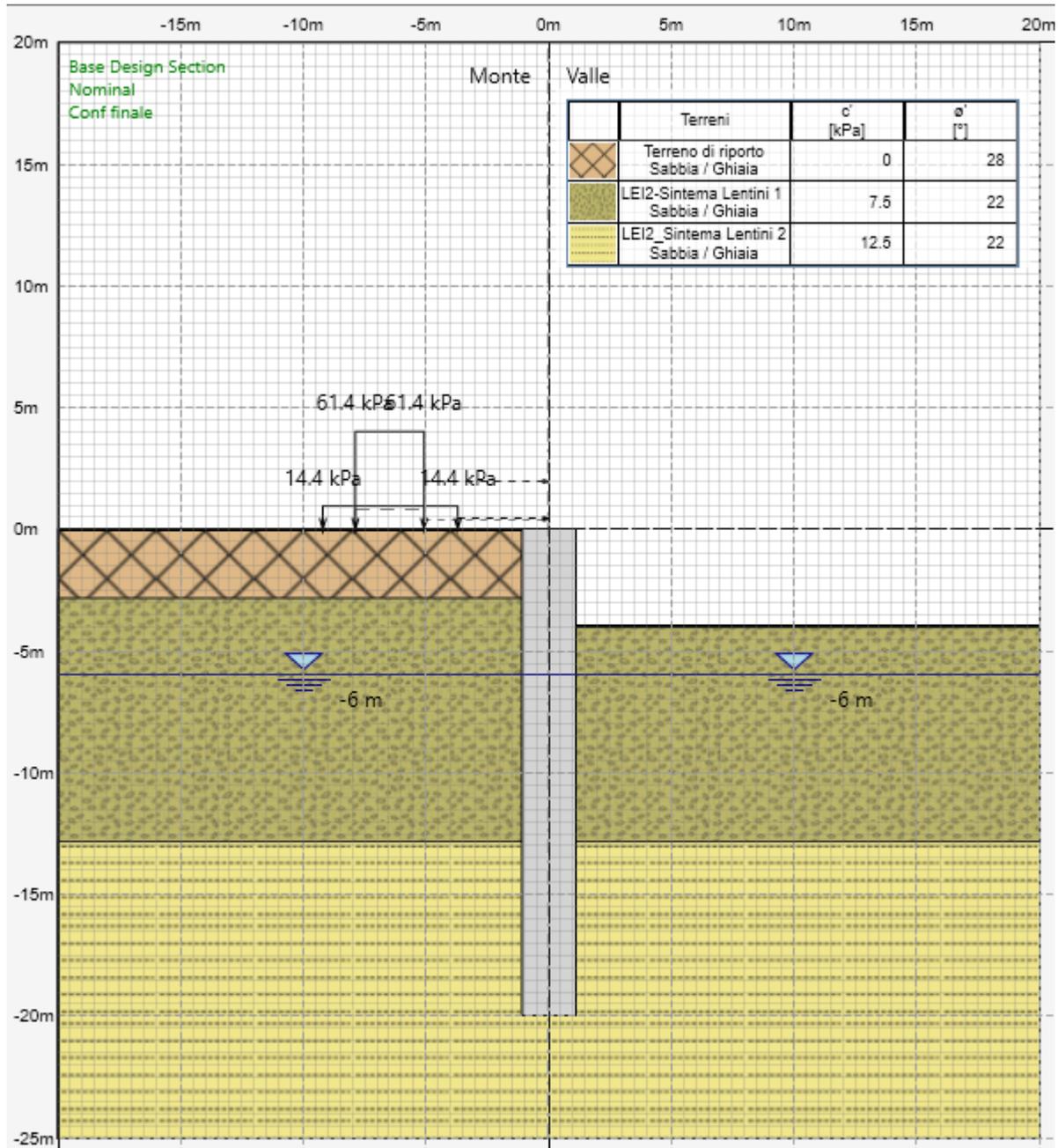
Stage 1: Attivazione paratia.



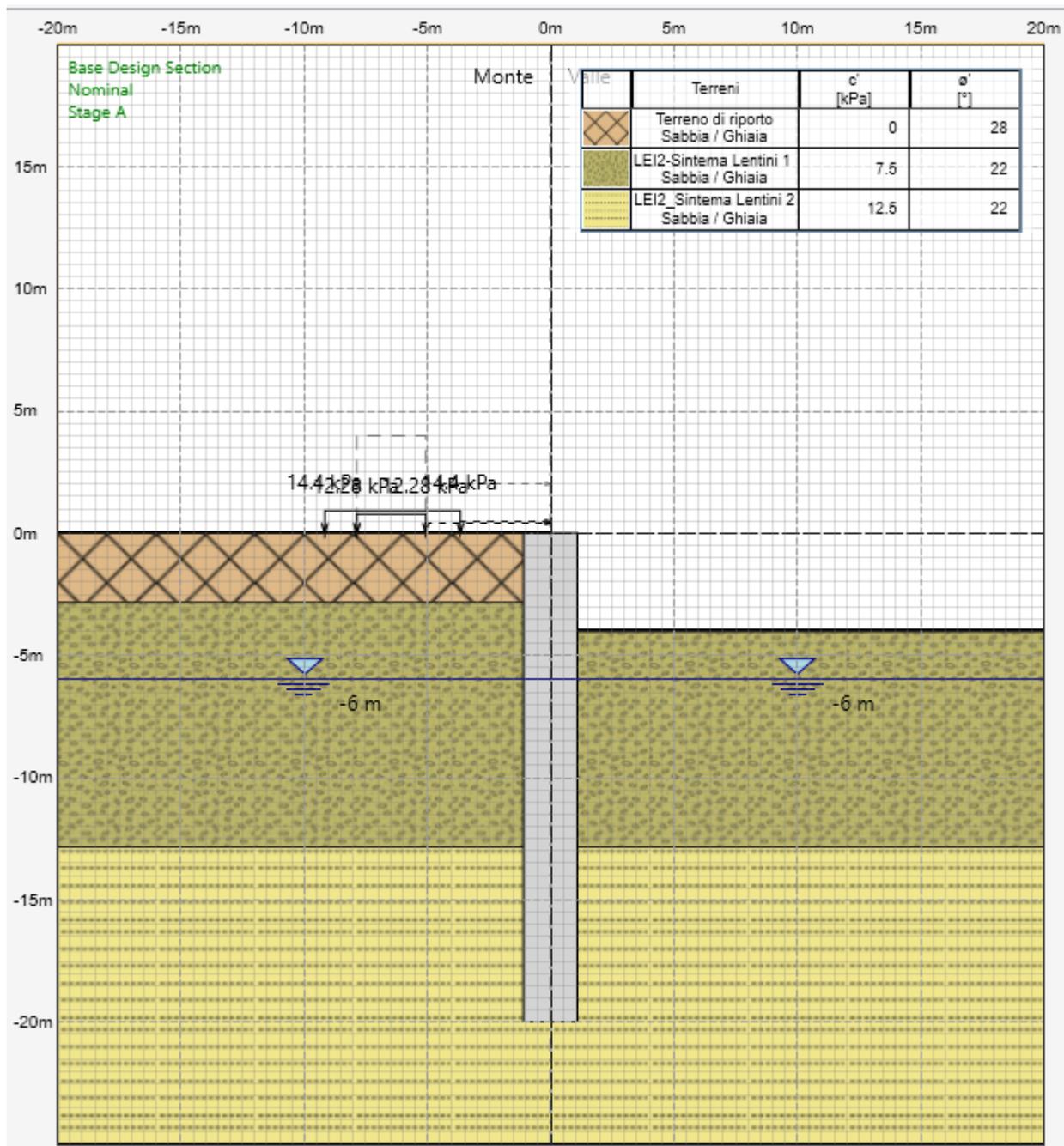
Stage 2: Prescavo fino a 5.30 m



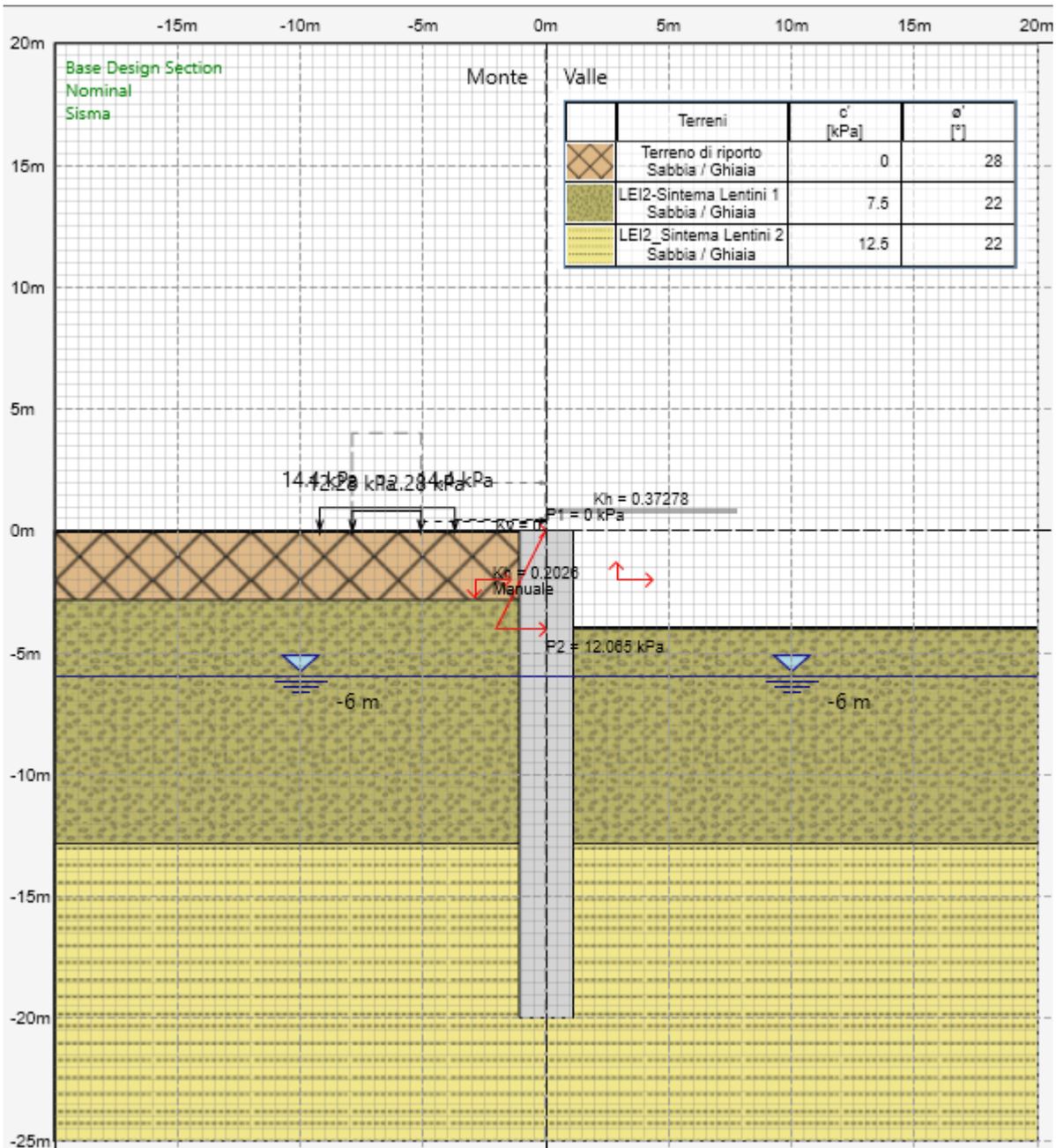
Stage 3: Rinterro fino a 4 m



Stage 4: Condizione statica sismica (no sovraspinta)



Stage 5: Presenza di azione sismica



## 10 RISULTATI PARATIA TIPO 1

### 10.1 Verifiche deformabilità

Si riportano i massimi spostamenti orizzontali in condizione statica ed in condizione sismica.

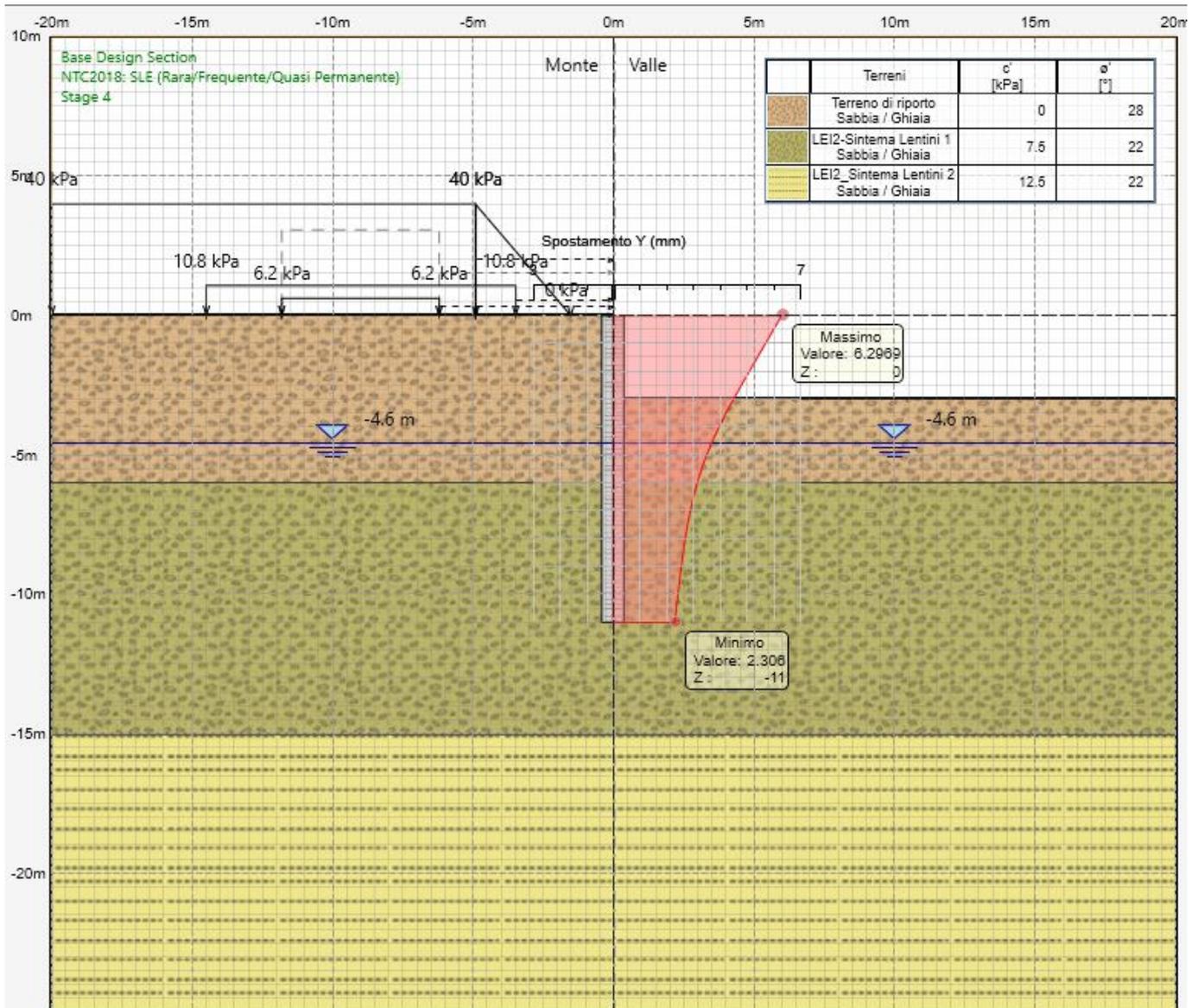


Figura 10.1 - Spostamenti orizzontali in combinazione statica (SLE) – Paratia T1

Lo spostamento massimo in condizione statica è pari a 6 mm, pertanto, poiché il valore è inferiore all' 1% dell'altezza h si ritiene accettabile.

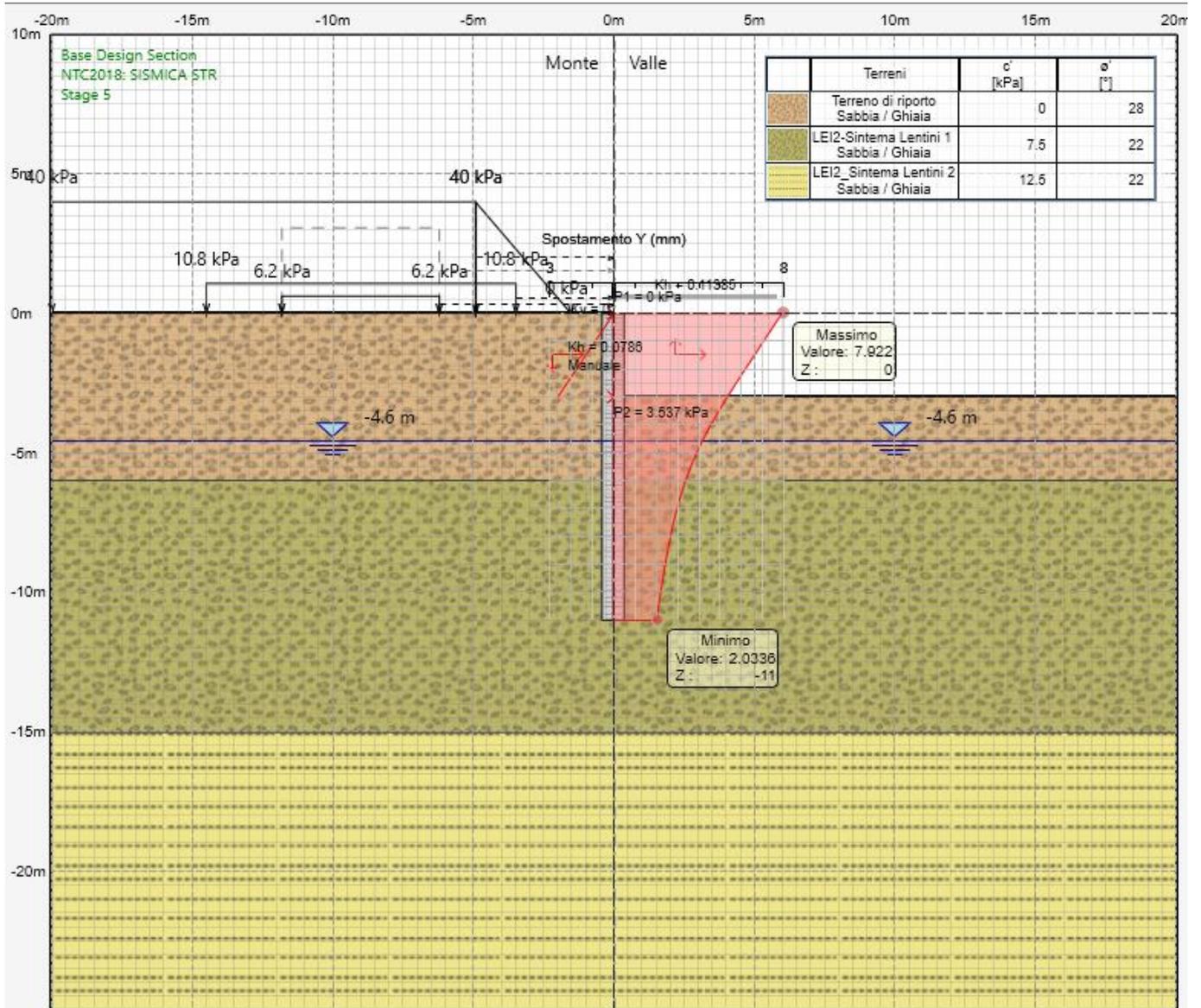


Figura 10.2 - Spostamenti orizzontali in combinazione sismica (SLD) – Paratia T1

Lo spostamento massimo in condizione sismica SLD è ottenuto dal delta di spostamento rispetto alla condizione statica, pertanto, avremo:  $7.9 \text{ mm} - 6 \text{ mm} = 1.9 \text{ mm}$ .

## 10.2 Sollecitazioni

### 10.2.1 SLE - Combinazione statica

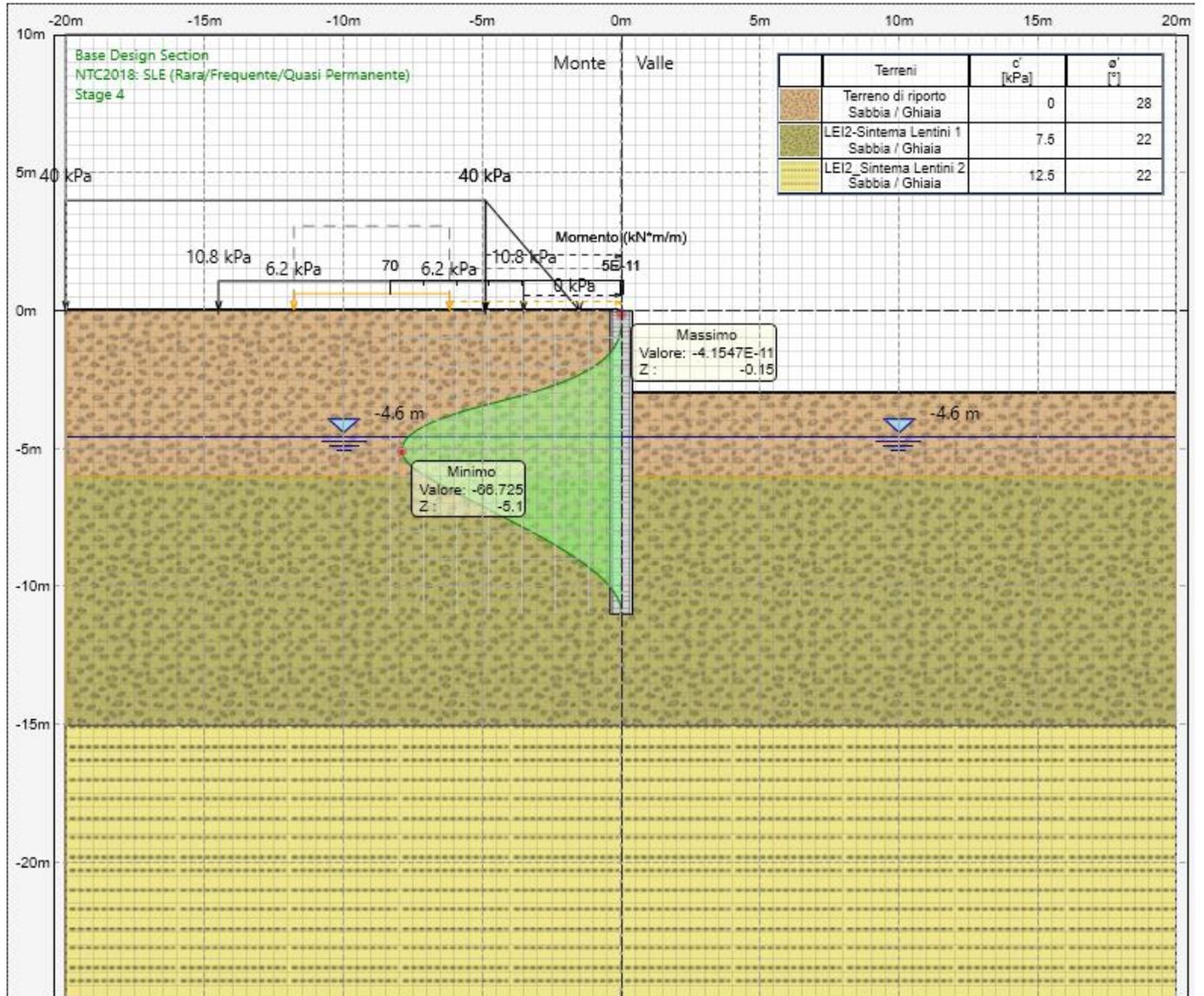


Figura 10.3 - Momento flettente SLE – Paratia T1

### 10.2.2 SLU - Combinazione statica ultima

Si riporta l'involuppo delle sollecitazioni in combinazione statica.

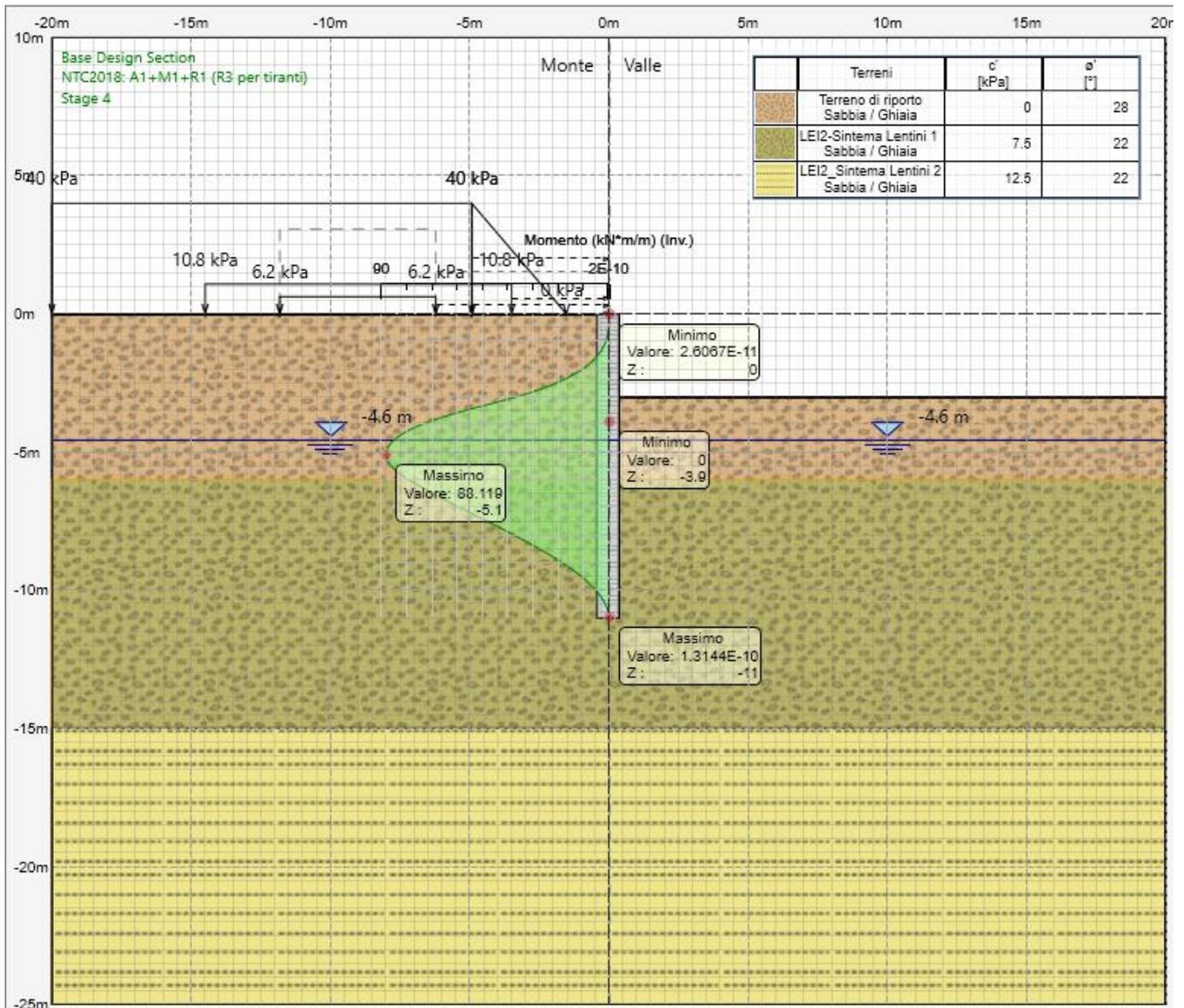


Figura 10.4 – Involuppo Momento flettente SLU – Paratia T1

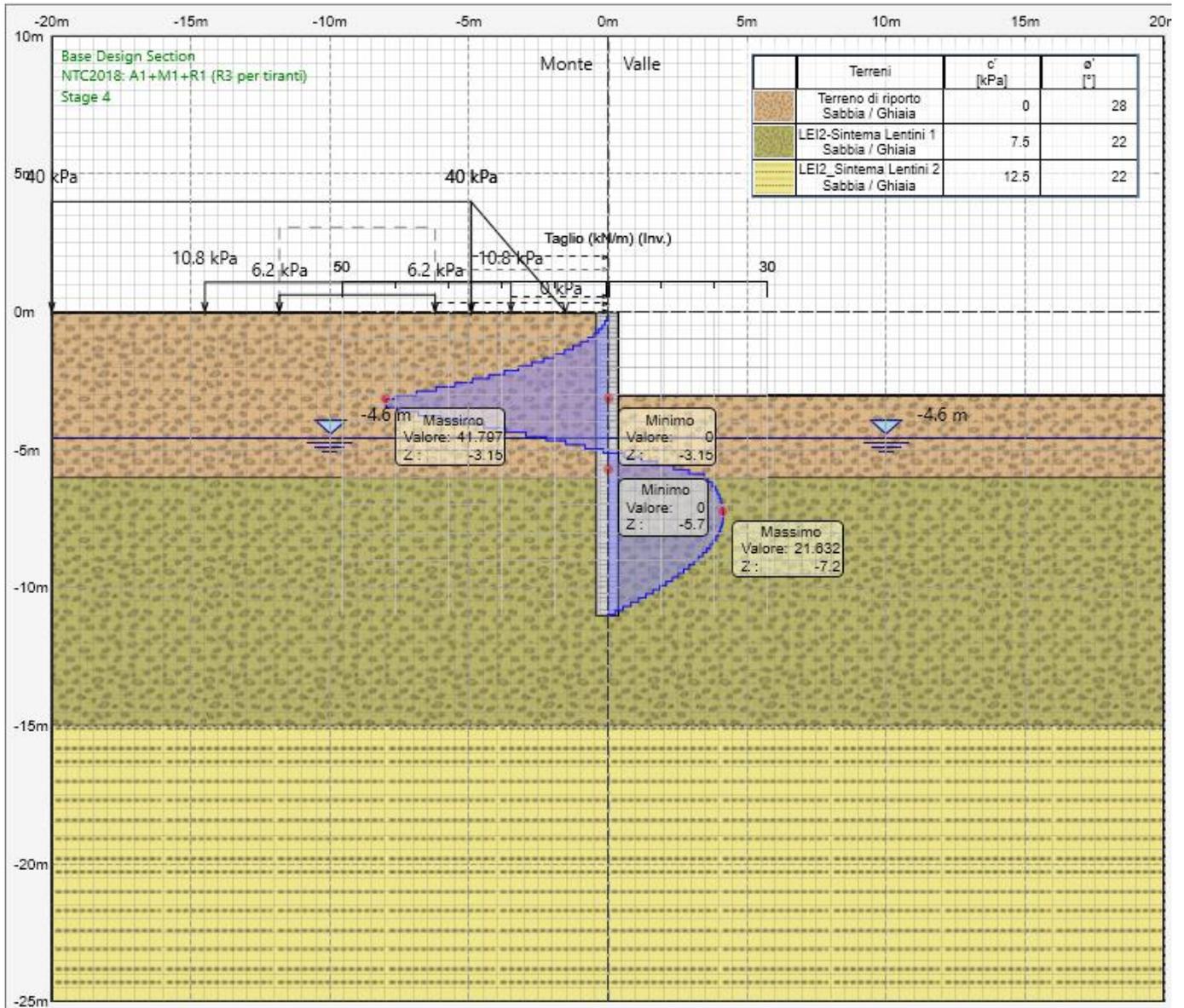


Figura 10.5 – Involuppo Taglio SLU – Paratia T1

**10.2.3 SLV - Combinazione sismica**

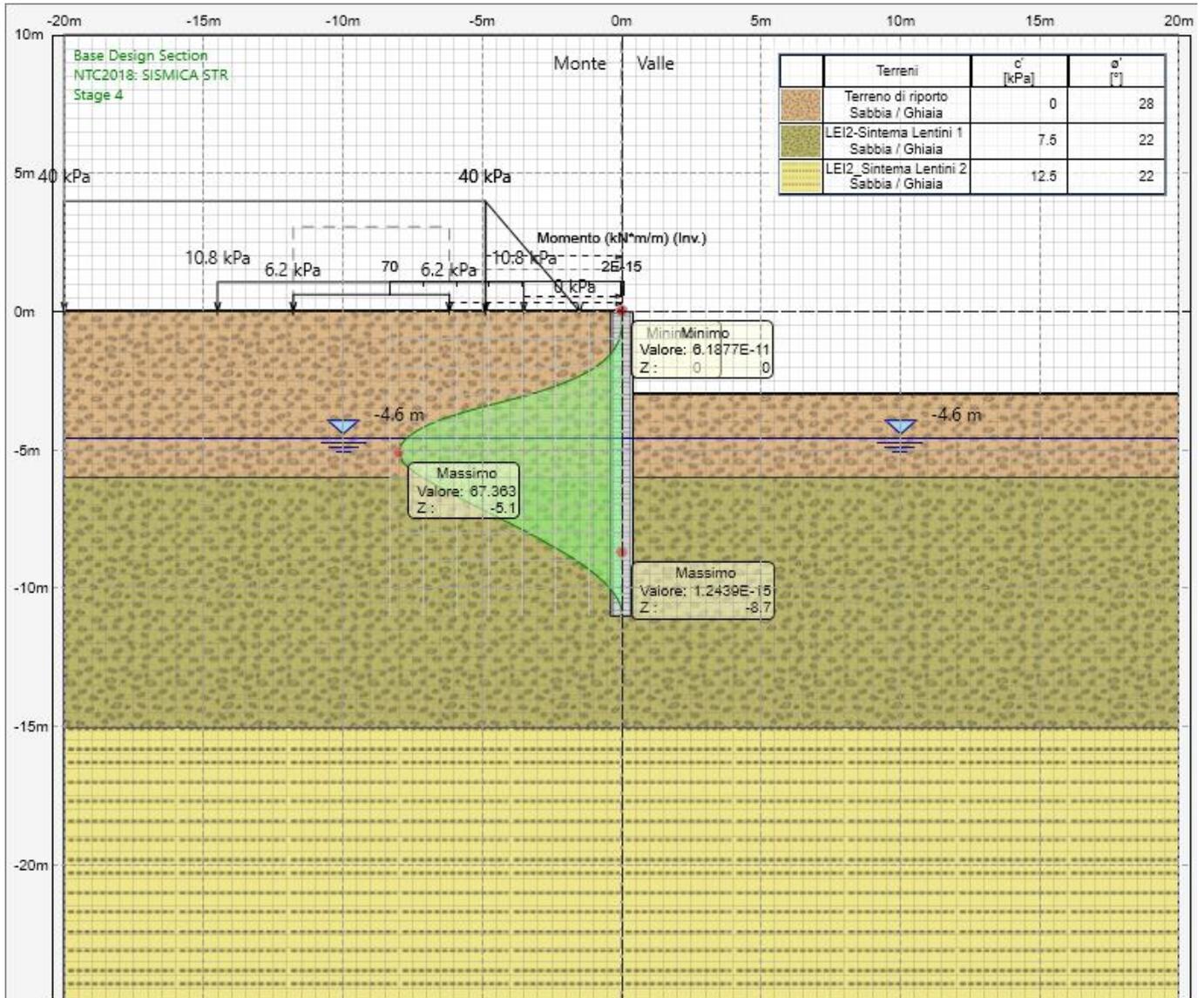


Figura 10.6 – Involuppo Momento flettente – Paratia T1

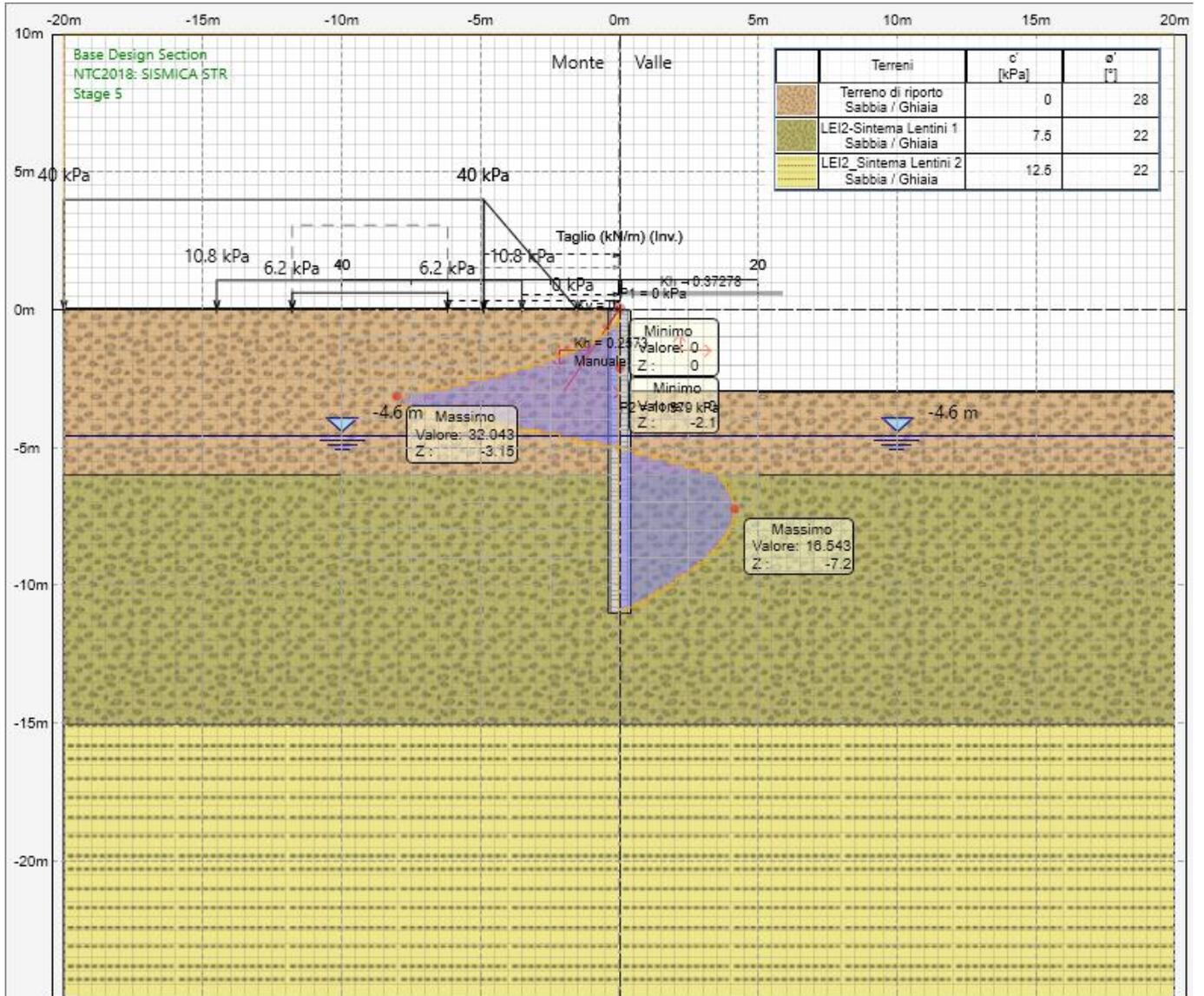


Figura 10.7 – Involuppo Taglio – Paratia T1

### 10.3 ARMATURE MINIME PALI

Le armature dei pali sono state determinate in relazione alle sollecitazioni agenti e alle prescrizioni relative ai minimi contenuti di armatura presenti sul Manuale di Progettazione ai par. 2.5.1.8.3.3 e 2.5.2.2.6.

In particolare, l'armatura longitudinale minima è pari all' 1% dell'area della sezione in calcestruzzo per una lunghezza pari a  $10\varnothing$  dalla testa del palo. Oltre tale lunghezza, il minimo quantitativo di armatura è pari allo 0,4% della sezione in calcestruzzo.

Il massimo quantitativo di armatura considerato è pari al 4% dell'area di calcestruzzo.

Il diametro minimo delle armature longitudinali è pari a 16 mm.

L'interasse delle staffe/passo delle spirali non dovrà essere superiore a 20 cm ed il loro diametro non essere inferiore a 12 mm.

Si riportano pertanto le armature minime scelte per il caso in esame e il soddisfacimento dei quantitativi secondo prescrizioni.

<b>ARMATURA MINIMA PALI DI FONDAZIONE</b>	<b>Variabile</b>	<b>valore u.m.</b>
Diametro del palo	$\varnothing_{\text{palo}}$	800 mm
Area della sezione di calcestruzzo	$A_{\text{cls}}$	5026.5 cm <sup>2</sup>
Diametro minimo barre di armatura longitudinali	$\varnothing_{\text{min-long}}$	16 mm
Diametro minimo barre di armatura trasversali (staffe a spirale)	$\varnothing_{\text{min-trasv}}$	12 mm
Passo massimo staffe a spirale	$S_{\text{max}}$	200 mm

Utilizzando una gabbia di armatura costituita da 20 $\varnothing$ 20 longitudinali si ottiene un quantitativo di armatura longitudinale pari al 1.3%, ampiamente superiore al minimo (1%) e inferiore al massimo quantitativo (4%).

<b>ARMATURA MASSIMA PALI DI FONDAZIONE</b>	<b>Variabile</b>	<b>valore u.m.</b>
Diametro del palo	$\varnothing_{\text{palo}}$	800 mm
Area della sezione di calcestruzzo	$A_{\text{cls}}$	5026.5 cm <sup>2</sup>
Numero di barre longitudinali scelte	$n_{\text{long}}$	20 -
Diametro barre longitudinali scelto	$\varnothing_{\text{long}}$	20 mm

<b>Quantitativo di armatura longitudinale scelta</b>	$A_{\text{s-long}}/A_{\text{cls}}$	$\rho_{\text{long}}$	1.3%	-
	check	$\rho_{\text{long}} \leq 4\%$	ok	

#### Controllo sugli interferri

Copriferro nominale	c	70 mm	
Copriferro in asse	$C_{\text{net}}$	92 mm	
Circonferenza corona armatura longitudinale	C	1935 mm	
Numero di corone di armatura	$n_{\text{corone}}$	1 -	
Interasse ferri corona (NB: se ferri accoppiati $n_{\text{long}}/2$ )	i	101.9 mm	
Interasse minimo	$i_{\text{min}} = 3\varnothing$	$i_{\text{min}}$	60 mm
check	$i > i_{\text{min}}$	ok	

## 10.4 VERIFICHE STRUTTURALI

### 10.4.1 SLU - Combinazione statica ultima

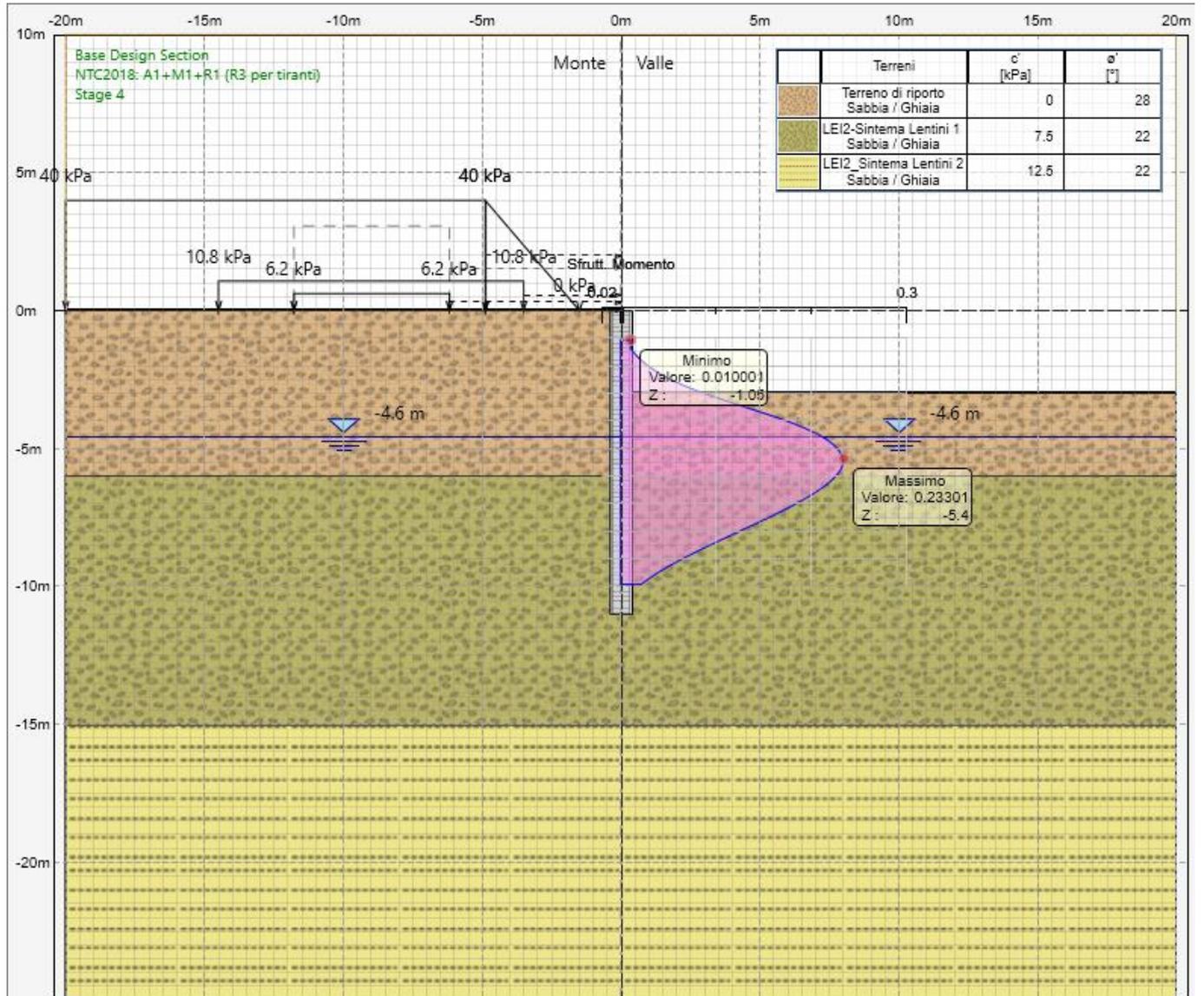


Figura 10.8 – Tasso sfruttamento SLU - Momento flettente – Paratia T1

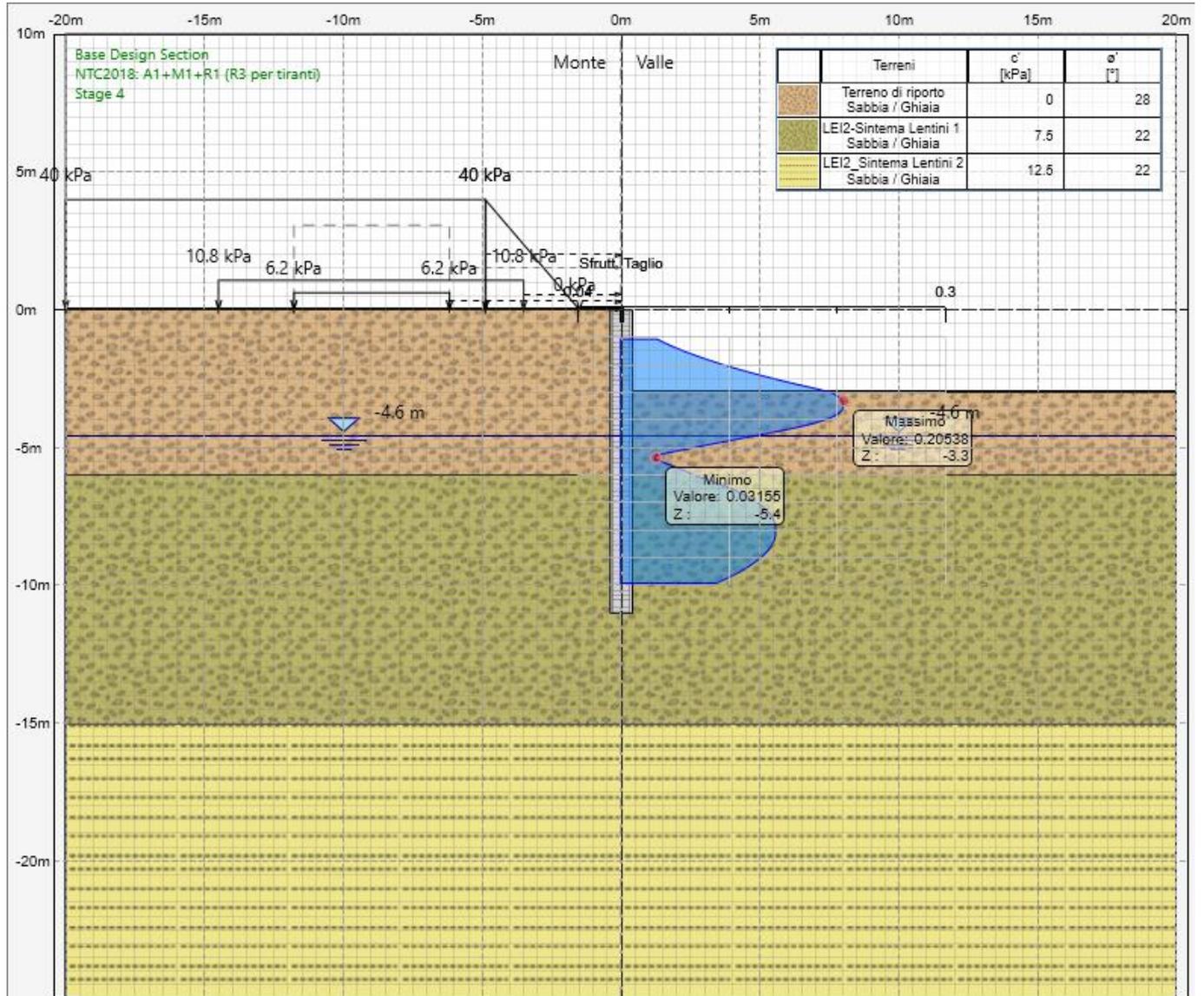


Figura 10.9 – Tasso sfruttamento SLU – Taglio

Tutti i tassi di sfruttamento sono inferiori all'unità, pertanto, le verifiche sono soddisfatte.

**10.4.2 SLV - Combinazione sismica**

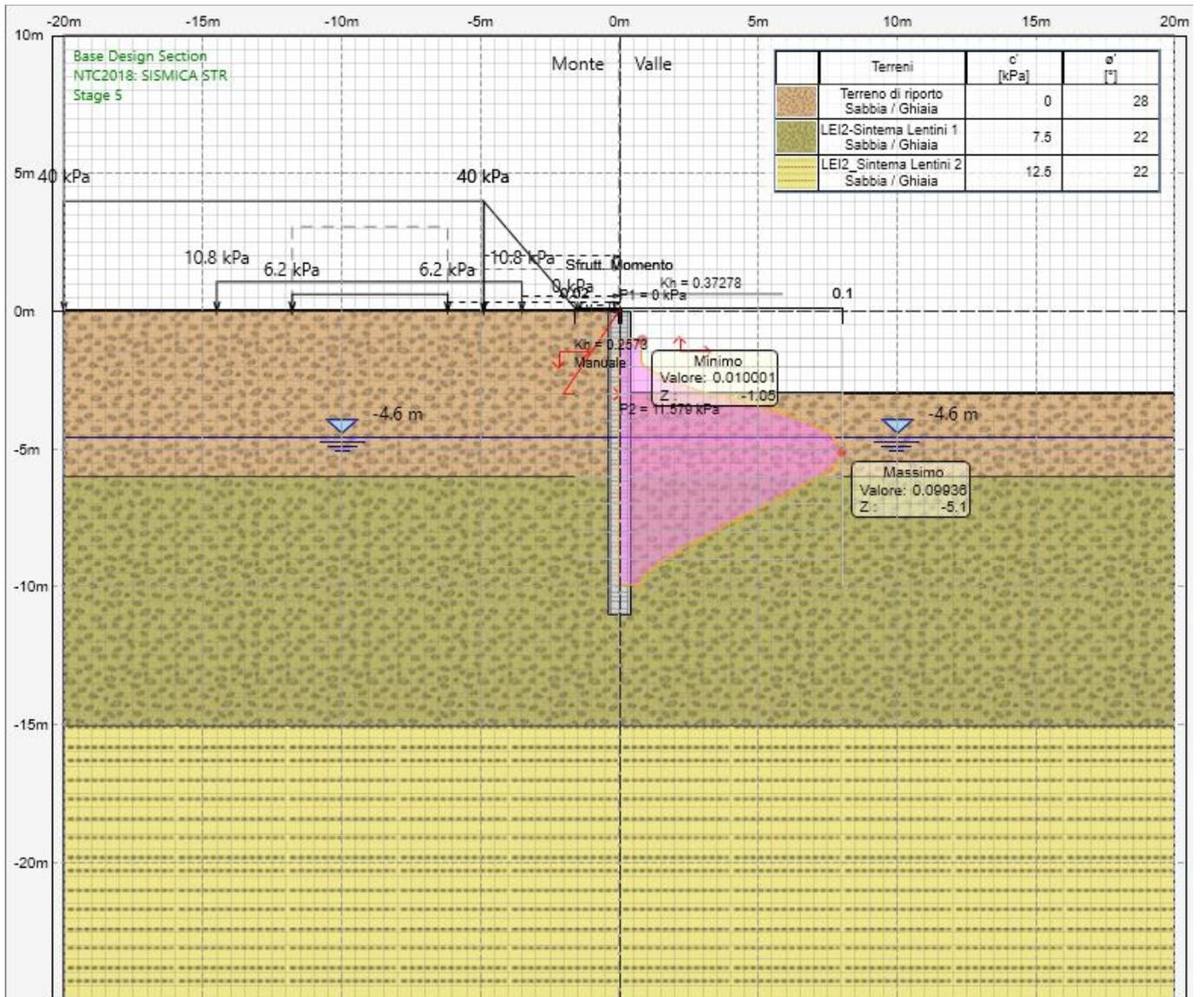


Figura 10.10 – Tasso sfruttamento - Momento flettente – Paratia T1

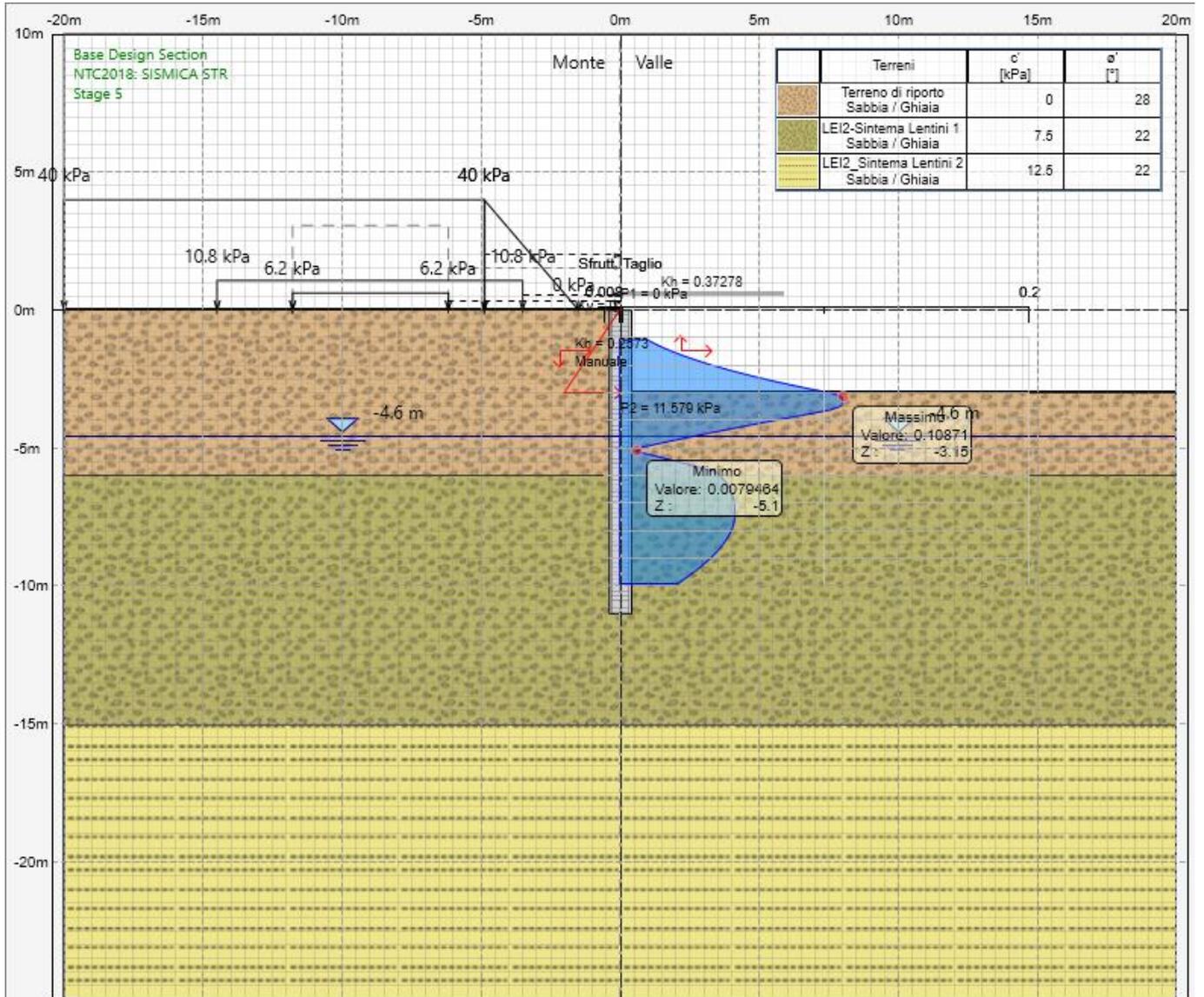


Figura 10.11 – Tasso sfruttamento - Taglio

Tutti i tassi di sfruttamento sono inferiori all'unità, pertanto, le verifiche sono soddisfatte.

## 10.5 Verifiche geotecniche

### 10.5.1 Mobilitazione spinte

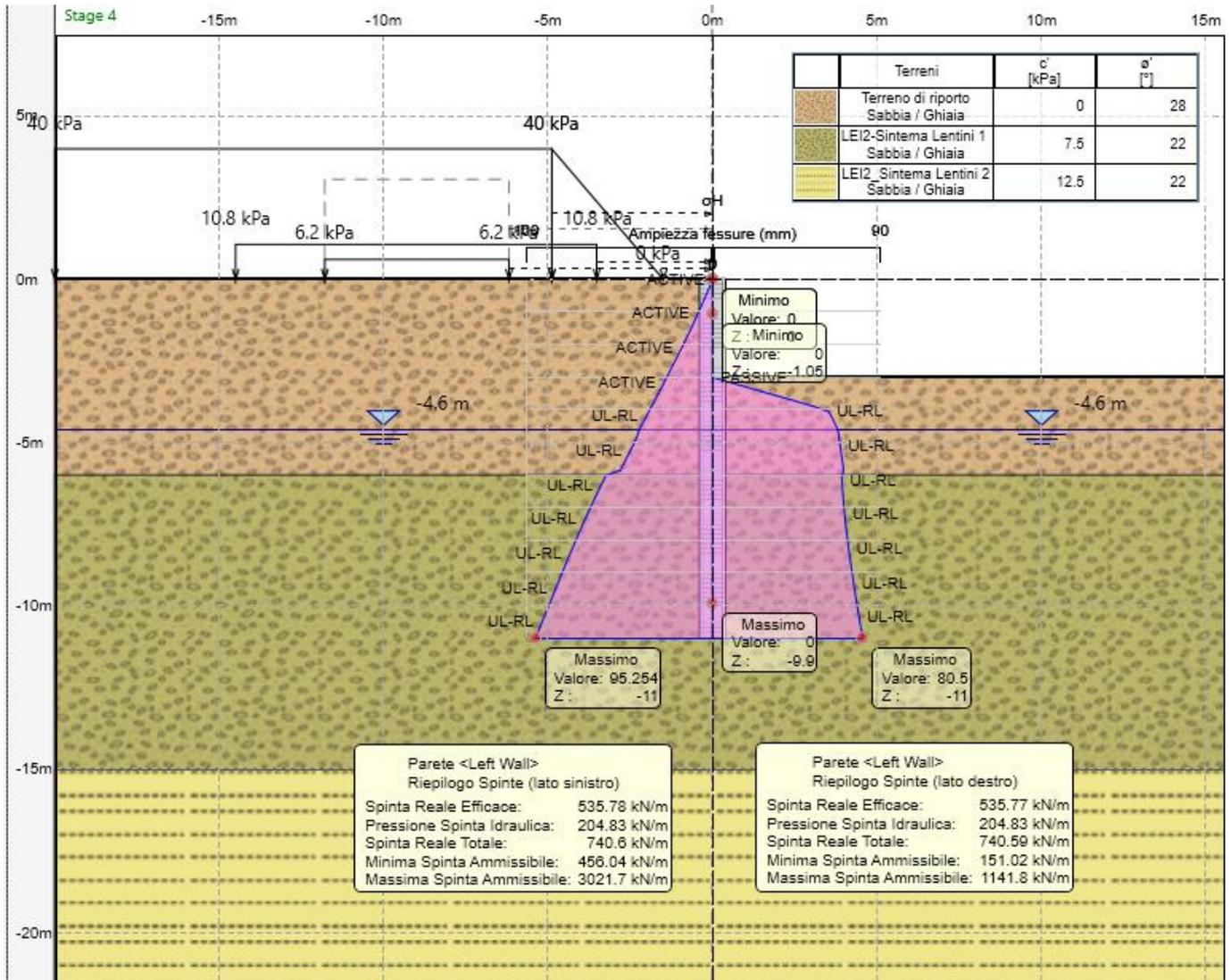


Figura 10.12 – Riepilogo spinte mobilitate SLU

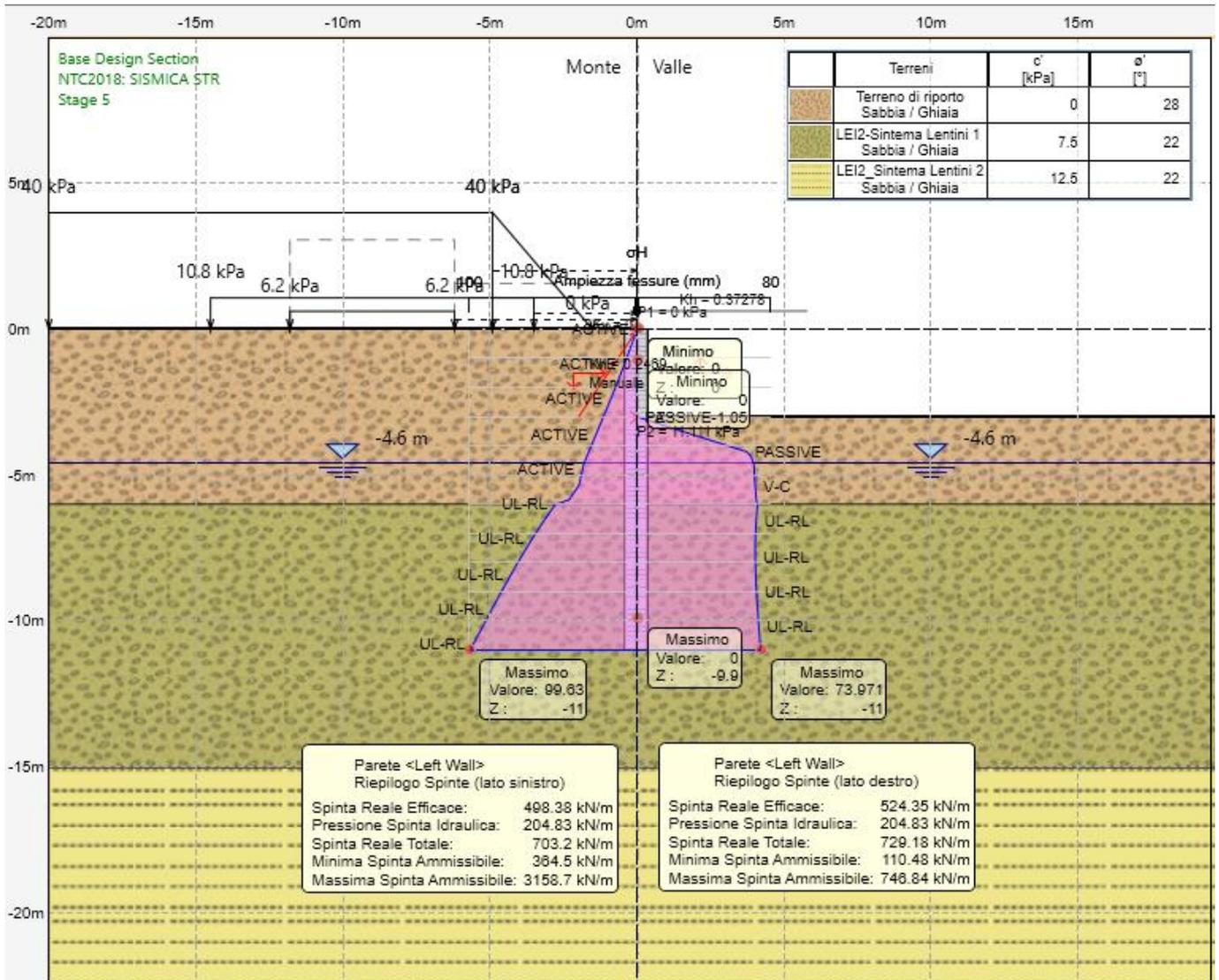


Figura 10.13 – Riepilogo spinte mobilitate SLV



## 11 RISULTATI PARATIA TIPO 2

### 11.1 Verifiche deformabilità

Si riportano i massimi spostamenti orizzontali in condizione statica ed in condizione sismica.

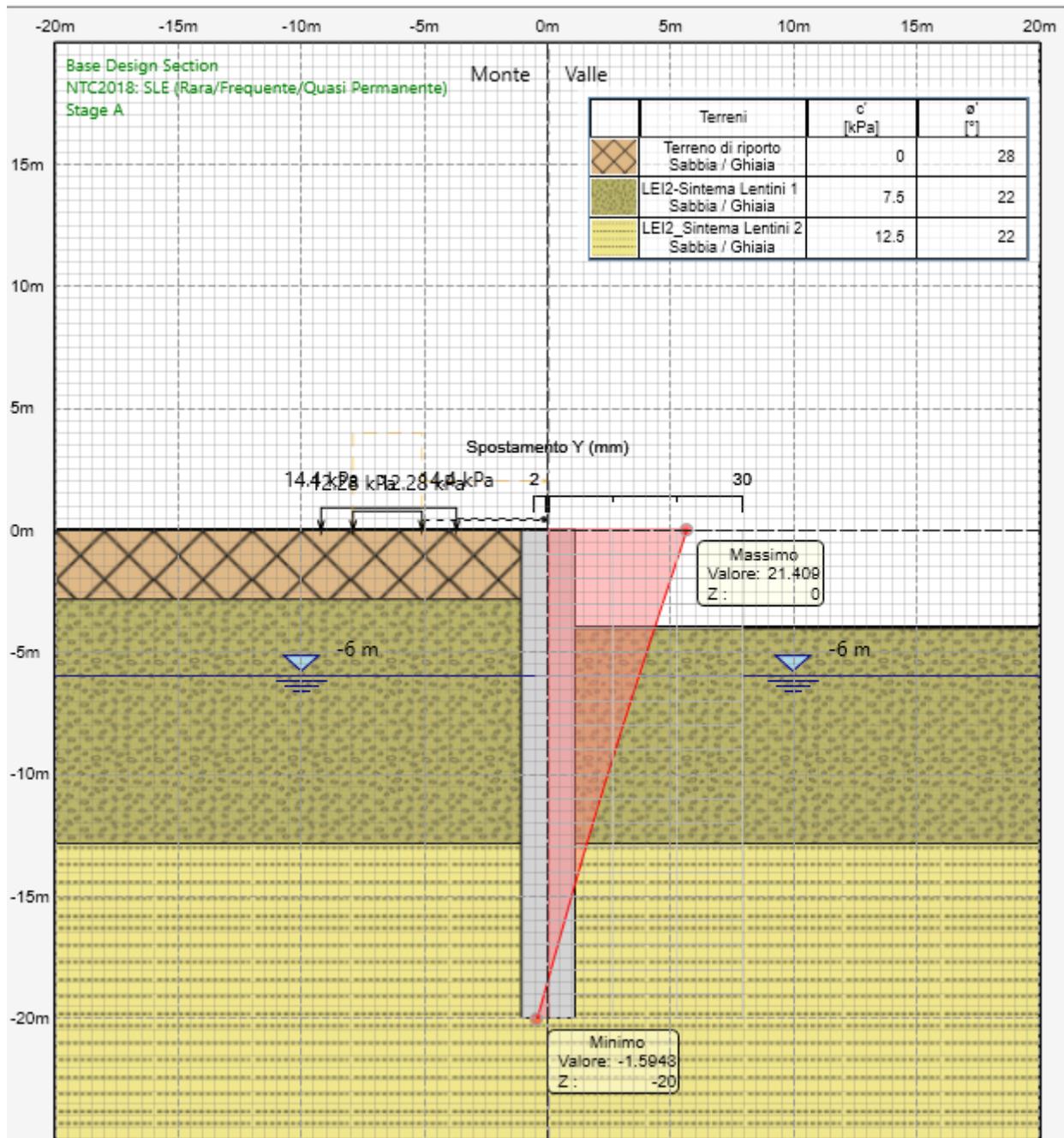


Figura 11.1 - Spostamenti orizzontali in combinazione statica (SLE) – Paratia T2

Lo spostamento massimo in condizione statica è pari a 21.40 mm, pertanto, poiché il valore è prossimo all' 1% dell'altezza h si ritiene accettabile.

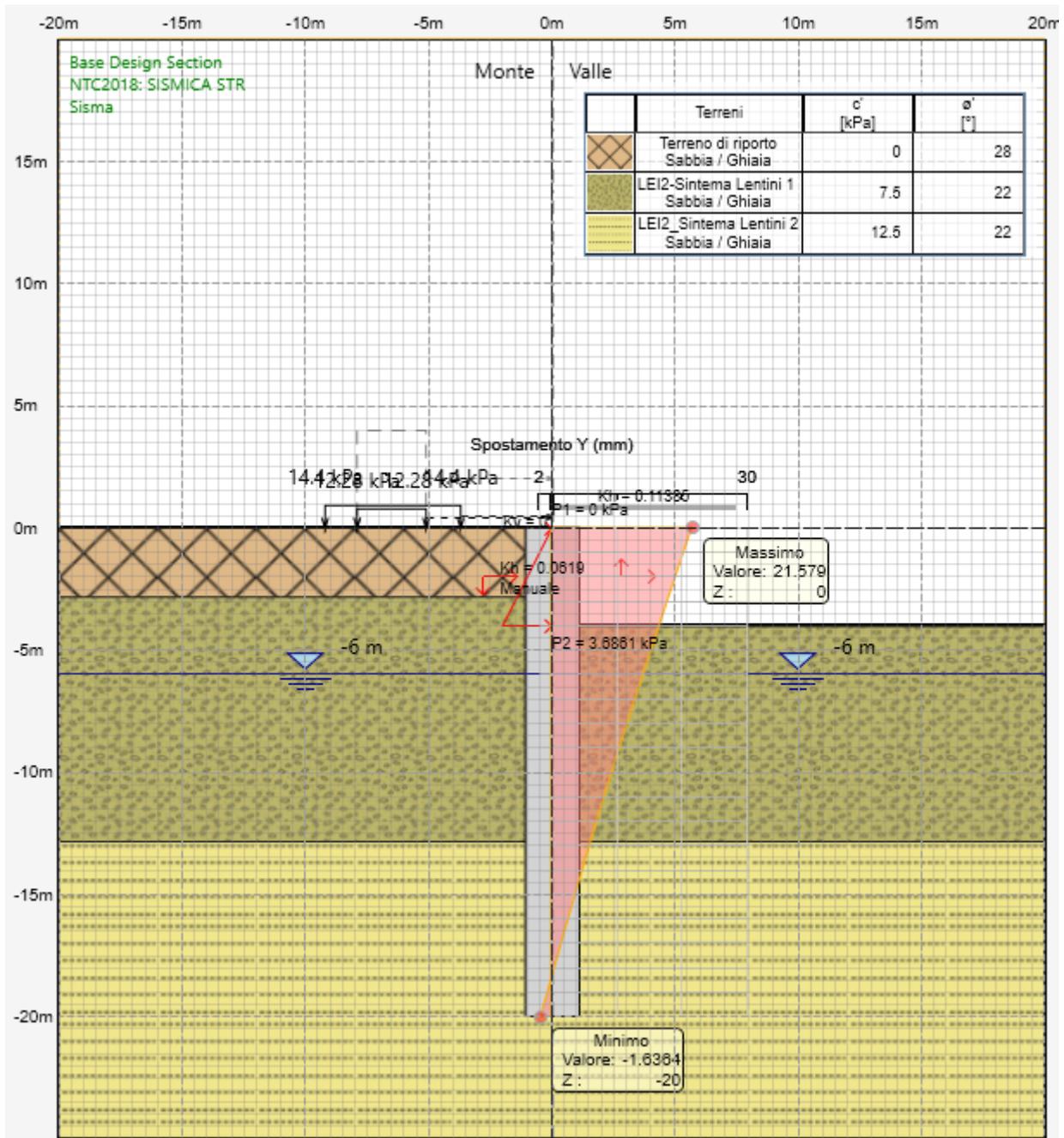


Figura 11.2 - Spostamenti orizzontali in combinazione sismica (SLD) – Paratia T2

Lo spostamento massimo in condizione sismica SLD è ottenuto dal delta di spostamento rispetto alla condizione statica, pertanto, avremo: 21.6 mm – 21.4 mm = **0.2 mm**.

## 11.2 Sollecitazioni

### 11.2.1 SLE - Combinazione statica

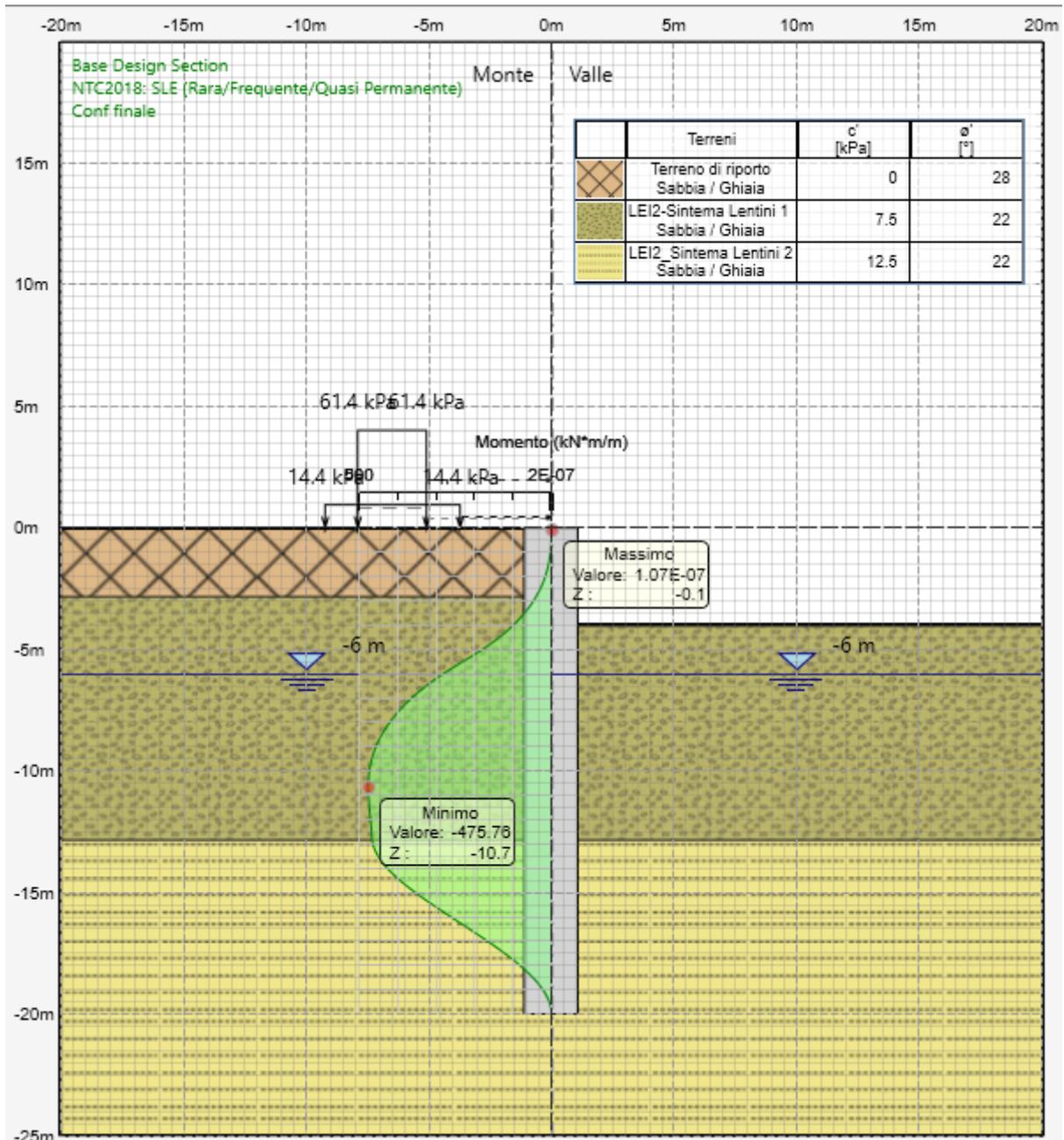


Figura 11.3 - Momento flettente SLE – Paratia T2

### 11.2.2 SLU - Combinazione statica ultima

Si riporta l'involuppo delle sollecitazioni in combinazione statica.

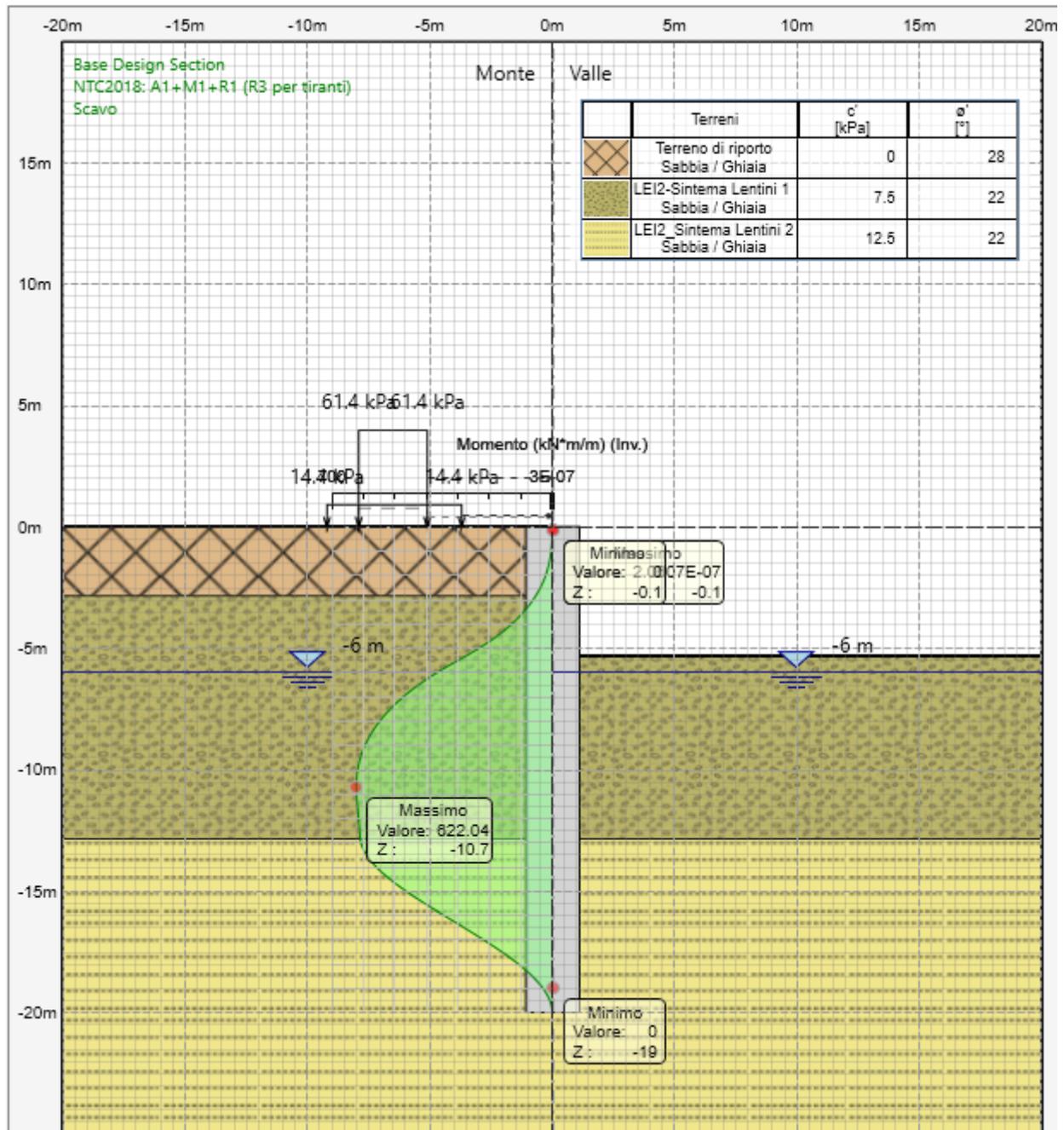


Figura 11.4 – Involuppo Momento flettente SLU – Paratia T2

**11.2.3 SLV - Combinazione sismica**

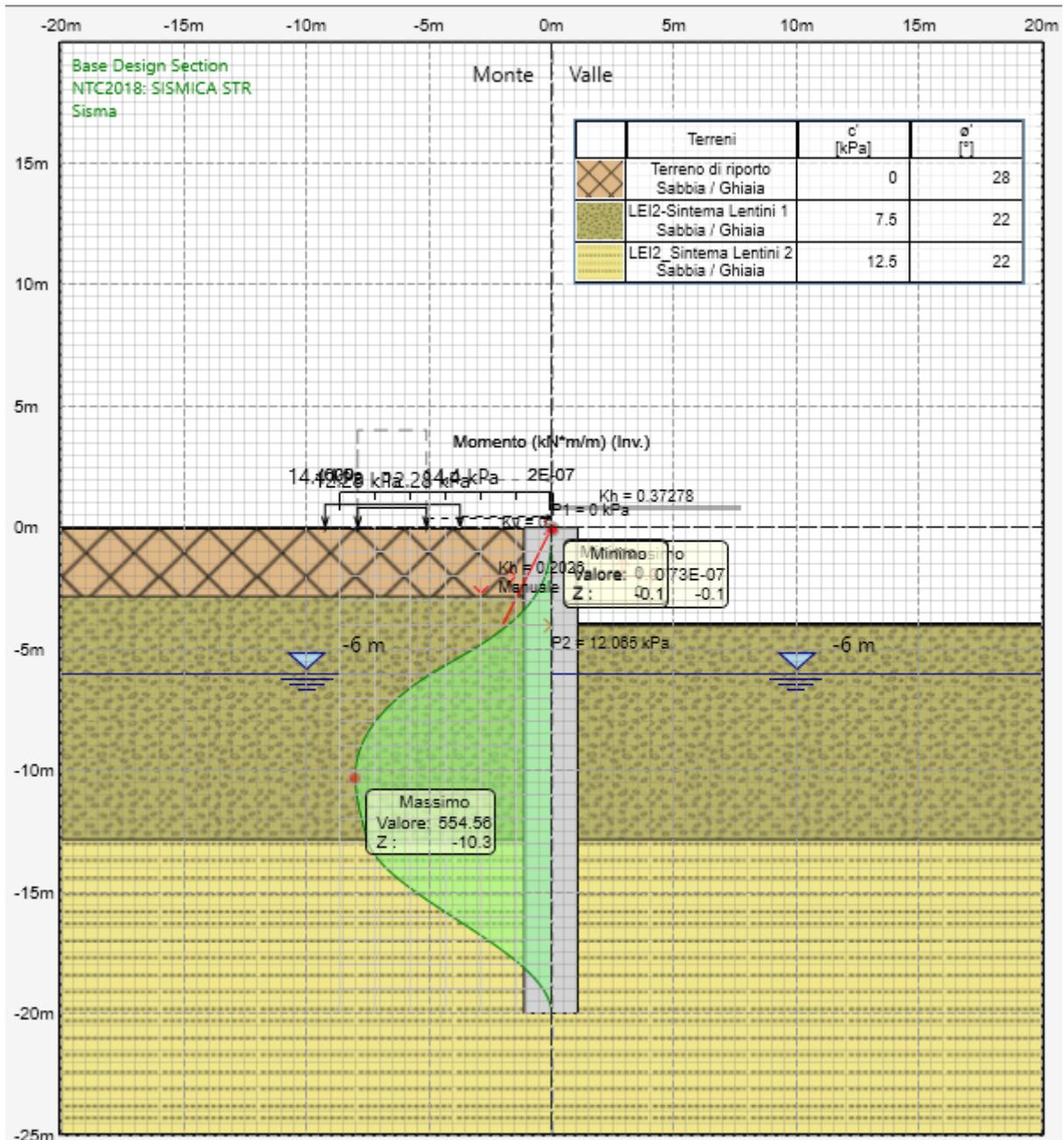


Figura 11.5 – Involuppo Momento flettente – Paratia T2

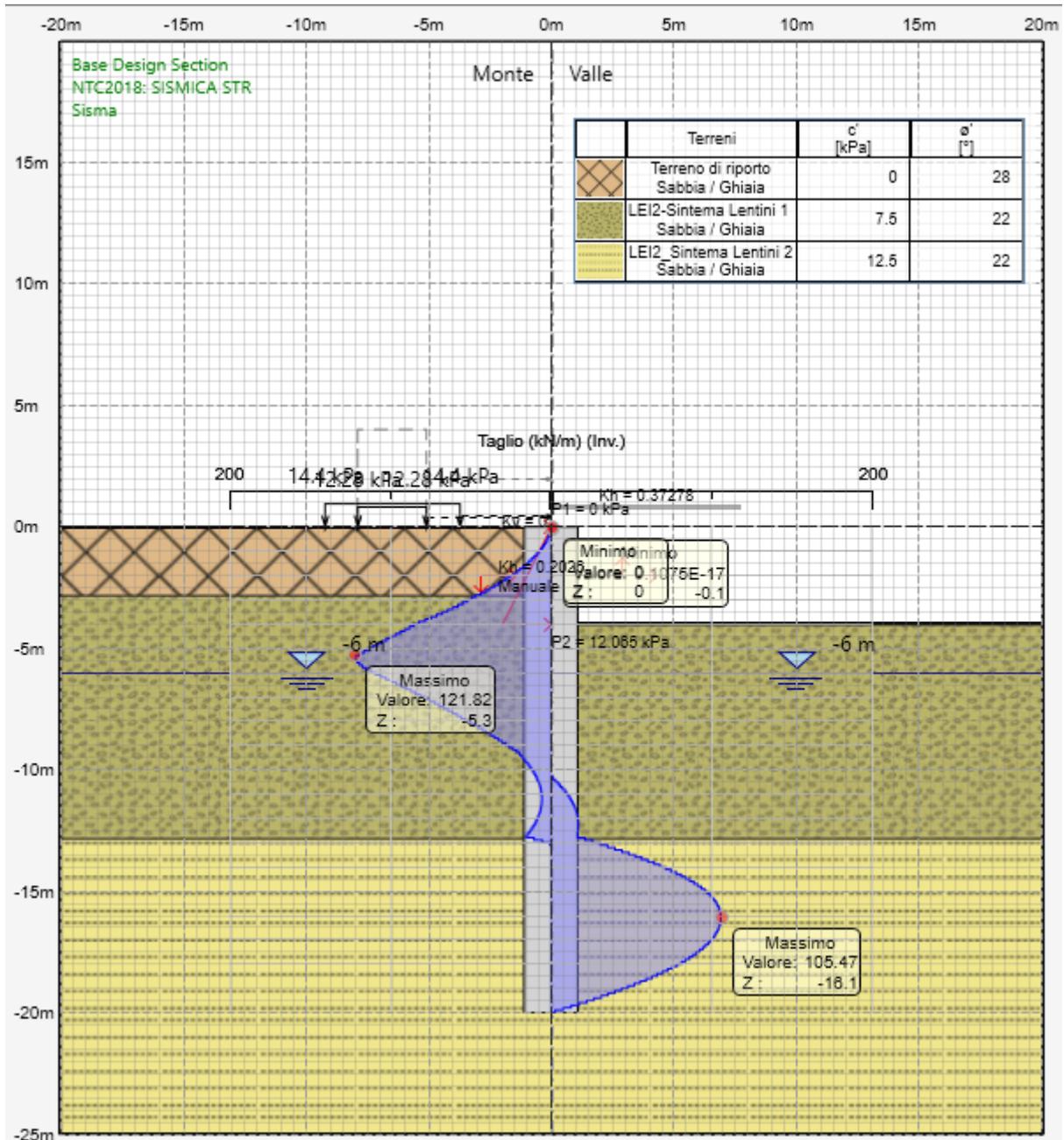


Figura 11.6 – Involuppo Taglio – Paratia T2

<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE PARATIE</b>	COMMESSA	LOTTO	FASE	TIPO DOC	OPERA	REV	FOGLIO
	RS62	01	R	RH	MU00 00 001	A	62 di 69

### 11.3 ARMATURE MINIME PALI

Le armature dei pali sono state determinate in relazione alle sollecitazioni agenti e alle prescrizioni relative ai minimi contenuti di armatura presenti sul Manuale di Progettazione ai par. 2.5.1.8.3.3 e 2.5.2.2.6.

In particolare, l'armatura longitudinale minima è pari all' 1% dell'area della sezione in calcestruzzo per una lunghezza pari a  $10\varnothing$  dalla testa del palo. Oltre tale lunghezza, il minimo quantitativo di armatura è pari allo 0,4% della sezione in calcestruzzo.

Il massimo quantitativo di armatura considerato è pari al 4% dell'area di calcestruzzo.

Il diametro minimo delle armature longitudinali è pari a 16 mm.

L'interasse delle staffe/passo delle spirali non dovrà essere superiore a 20 cm ed il loro diametro non essere inferiore a 12 mm.

Si riportano pertanto le armature minime scelte per il caso in esame e il soddisfacimento dei quantitativi secondo prescrizioni.

#### ARMATURA MINIMA PALI DI FONDAZIONE

	Variabile	valore	u.m.
Diametro del palo	$\varnothing_{\text{palo}}$	1200	mm
Area della sezione di calcestruzzo	$A_{\text{cls}}$	11309.7	cm <sup>2</sup>
Diametro minimo barre di armatura longitudinali	$\varnothing_{\text{min-long}}$	16	mm
Diametro minimo barre di armatura trasversali (staffe a spirale)	$\varnothing_{\text{min-trasv}}$	12	mm
Passo massimo staffe a spirale	$S_{\text{max}}$	200	mm

Utilizzando una gabbia di armatura costituita da 32 $\varnothing$ 26 longitudinali si ottiene un quantitativo di armatura longitudinale pari al 1.5%, ampiamente superiore al minimo (1%) e inferiore al massimo quantitativo (4%).

#### ARMATURA MASSIMA PALI DI FONDAZIONE

	Variabile	valore	u.m.
Diametro del palo	$\varnothing_{\text{palo}}$	1200	mm
Area della sezione di calcestruzzo	$A_{\text{cls}}$	11309.7	cm <sup>2</sup>
Numero di barre longitudinali scelte	$n_{\text{long}}$	32	-
Diametro barre longitudinali scelto	$\varnothing_{\text{long}}$	26	mm

#### Quantitativo di armatura longitudinale scelta

$A_{\text{s-long}}/A_{\text{cls}}$	$\rho_{\text{long}}$	1.5%	-
check	$\rho_{\text{long}} \leq 4\%$	ok	

#### Controllo sugli interferri

Copriferro nominale	c	70	mm
Copriferro in asse	$c_{\text{net}}$	95	mm
Circonferenza corona armatura longitudinale	C	3173	mm
Numero di corone di armatura	$n_{\text{corone}}$	1	-
Interasse ferri corona (NB: se ferri accoppiati $n_{\text{long}}/2$ )	i	102.4	mm
Interasse minimo	$i_{\text{min}} = 3\varnothing$	78	mm
check	$i > i_{\text{min}}$	ok	

## 12 VERIFICHE STRUTTURALI

Le verifiche sono state condotte attraverso il software di verifica sezionale RC SEC.

Di seguito il tabulato di calcolo che ne evidenzia il soddisfacimento delle medesime nelle combinazioni.

### CARATTERISTICHE DOMINIO CALCESTRUZZO

Forma del Dominio: Circolare  
Classe Calcestruzzo: C25/30

Raggio circ.: 60.0 cm  
X centro circ.: 0.0 cm  
Y centro circ.: 0.0 cm

### DATI GENERAZIONI CIRCOLARI DI BARRE

N°Gen. Numero assegnato alla singola generazione circolare di barre  
Xcentro Ascissa [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate  
Ycentro Ordinata [cm] del centro della circonf. lungo cui sono disposte le barre generate  
Raggio Raggio [cm] della circonferenza lungo cui sono disposte le barre generate  
N°Barre Numero di barre generate equidist. disposte lungo la circonferenza  
Ø Diametro [mm] della singola barra generata

N°Gen.	Xcentro	Ycentro	Raggio	N°Barre	Ø
1	0.0	0.0	50.5	32	26

### ARMATURE A TAGLIO

Diametro staffe: 12 mm  
Passo staffe: 20.0 cm  
Staffe: Una sola staffa chiusa perimetrale

### CALCOLO DI RESISTENZA - SFORZI PER OGNI COMBINAZIONE ASSEGNATA

N Sforzo normale [kN] applicato nel Baric. (+ se di compressione)  
Mx Momento flettente [daNm] intorno all'asse X di riferimento delle coordinate con verso positivo se tale da comprimere il lembo sup. della sez.  
Vy Componente del Taglio [kN] parallela all'asse Y di riferimento delle coordinate

N°Comb.	N	Mx	Vy
1	1.00	469.70	96.60
2	1.00	388.50	85.40

### RISULTATI DEL CALCOLO

#### Sezione verificata per tutte le combinazioni assegnate

Copriferro netto minimo barre longitudinali: 8.2 cm  
Interferro netto minimo barre longitudinali: 7.3 cm  
Copriferro netto minimo staffe: 7.0 cm

**RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA E DI  
PREDIMENSIONAMENTO DELLE PARATIE**

COMMESSA RS62	LOTTO 01	FASE R	TIPO DOC RH	OPERA MU00 00 001	REV A	FOGLIO 64 di 69
------------------	-------------	-----------	----------------	----------------------	----------	--------------------

**VERIFICHE DI RESISTENZA IN PRESSO-TENSO FLESSIONE ALLO STATO LIMITE ULTIMO**

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compressione)
Mx	Componente del momento assegnato [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
N Res	Sforzo normale resistente [kN] nel baricentro B sezione cls.(positivo se di compress.)
Mx Res	Momento flettente resistente [kNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N r, Mx Res, My Res) e (N, Mx, My) Verifica positiva se tale rapporto risulta >=1.000
As Totale	Area totale barre longitudinali [cm²]. [Tra parentesi il valore minimo di normativa]

N°Comb	Ver	N	Mx	N Res	Mx Res	Mis.Sic.	As Totale
1	S	1.00	469.70	0.87	2834.11	6.03	169.9(33.9)
2	S	1.00	388.50	0.87	2834.11	7.30	169.9(33.9)

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO**

ec max	Deform. unit. massima del calcestruzzo a compressione
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O sez.)
es min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xs min	Ascissa in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys min	Ordinata in cm della barra corrisp. a es min (sistema rif. X,Y,O sez.)
es max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xs max	Ascissa in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)
Ys max	Ordinata in cm della barra corrisp. a es max (sistema rif. X,Y,O sez.)

N°Comb	ec max	Xc max	Yc max	es min	Xs min	Ys min	es max	Xs max	Ys max
1	0.00350	0.0	60.0	0.00247	0.0	50.5	-0.00851	0.0	-50.5
2	0.00350	0.0	60.0	0.00247	0.0	50.5	-0.00851	0.0	-50.5

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

a, b, c	Coeff. a, b, c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
x/d	Rapp. di duttilità (travi e solette)[§ 4.1.2.1.2.1 NTC]: deve essere < 0.45
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N°Comb	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0.000000000	0.000108655	-0.003019282	----	----
2	0.000000000	0.000108655	-0.003019282	----	----

**VERIFICHE A TAGLIO**

Diam. Staffe:	12 mm
Passo staffe:	20.0 cm [Passo massimo di normativa = 25.0 cm]

Ver	S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata
Ved	Taglio di progetto [kN] = $V_y$ ortogonale all'asse neutro
Vcd	Taglio compressione resistente [kN] lato calcestruzzo [formula (4.1.28)NTC]
Vvd	Taglio resistente [kN] assorbito dalle staffe [(4.1.18) NTC]
d   z	Altezza utile media pesata sezione ortogonale all'asse neutro   Braccio coppia interna [cm] La resistenza dei pilastri è calcolata assumendo il valore di z (coppia interna)
bw	I pesi della media sono le lunghezze delle strisce.(Sono escluse le strisce totalmente non compresse). Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallele. all'asse neutro
Ctg	E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.
Acw	Cotangente dell'angolo di inclinazione dei puntoni di calcestruzzo
Ast	Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm²/m]



**LINEA CATANIA - SIRACUSA**  
**COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA**  
**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

**RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA E DI  
 PREDIMENSIONAMENTO DELLE PARATIE**

COMMESSA RS62	LOTTO 01	FASE R	TIPO DOC RH	OPERA MU00 00 001	REV A	FOGLIO 65 di 69
------------------	-------------	-----------	----------------	----------------------	----------	--------------------

A.Eff Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
 Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
 L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
 ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio.

N°Comb	Ver	Ved	Vcd	Vwd	d   z	bw	Ctg	Acw	Ast	A.Eff
1	S	96.60	2146.97	944.78	95.3  85.4	103.0	2.500	1.000	1.2	11.3(0.0)
2	S	85.40	2146.97	944.78	95.3  85.4	103.0	2.500	1.000	1.0	11.3(0.0)

Le verifiche sono soddisfatte.

## 12.1 Verifiche geotecniche

### 12.1.1 Mobilitazione spinte

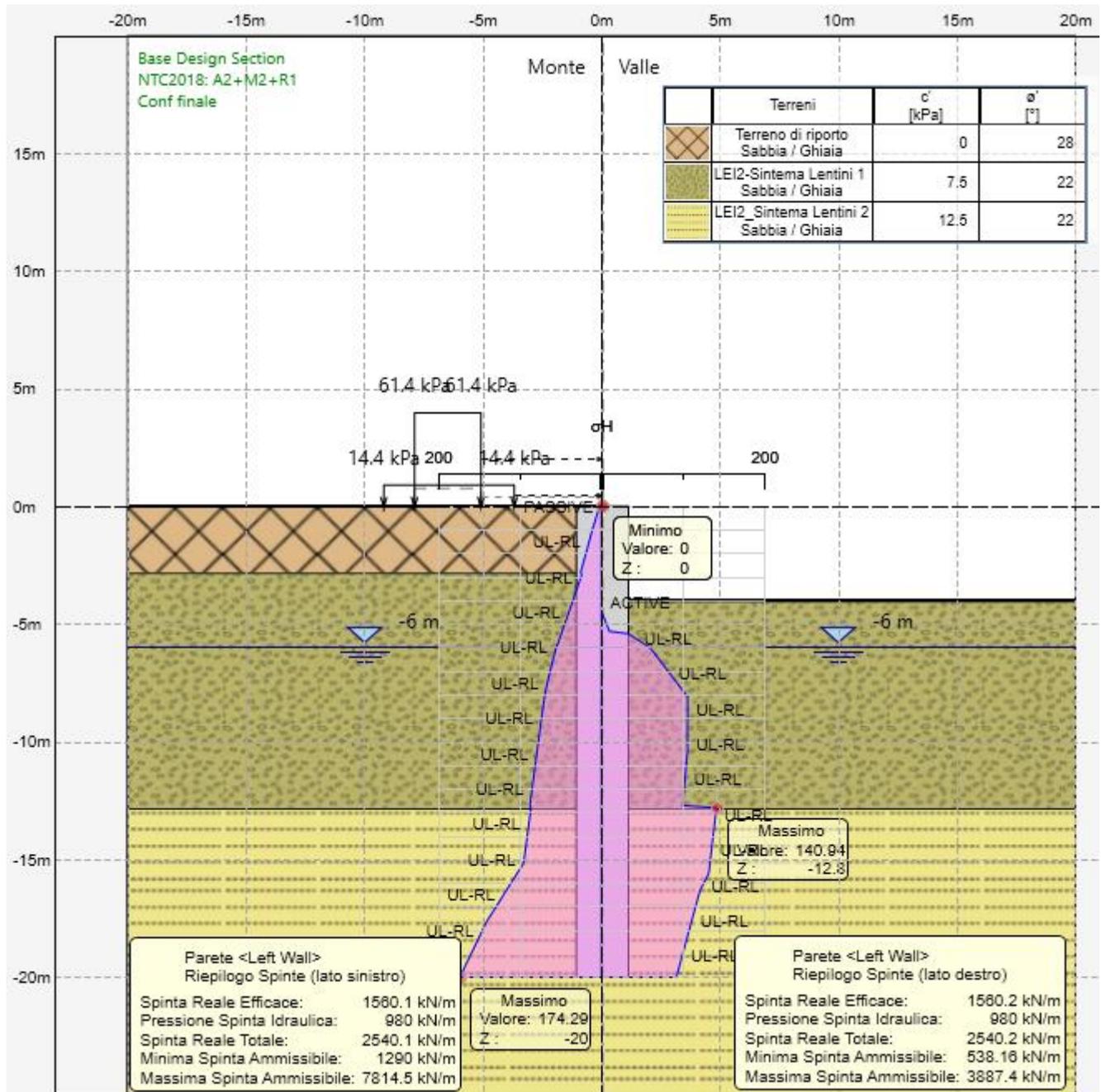


Figura 12.1 – Riepilogo spinte mobilitate SLU

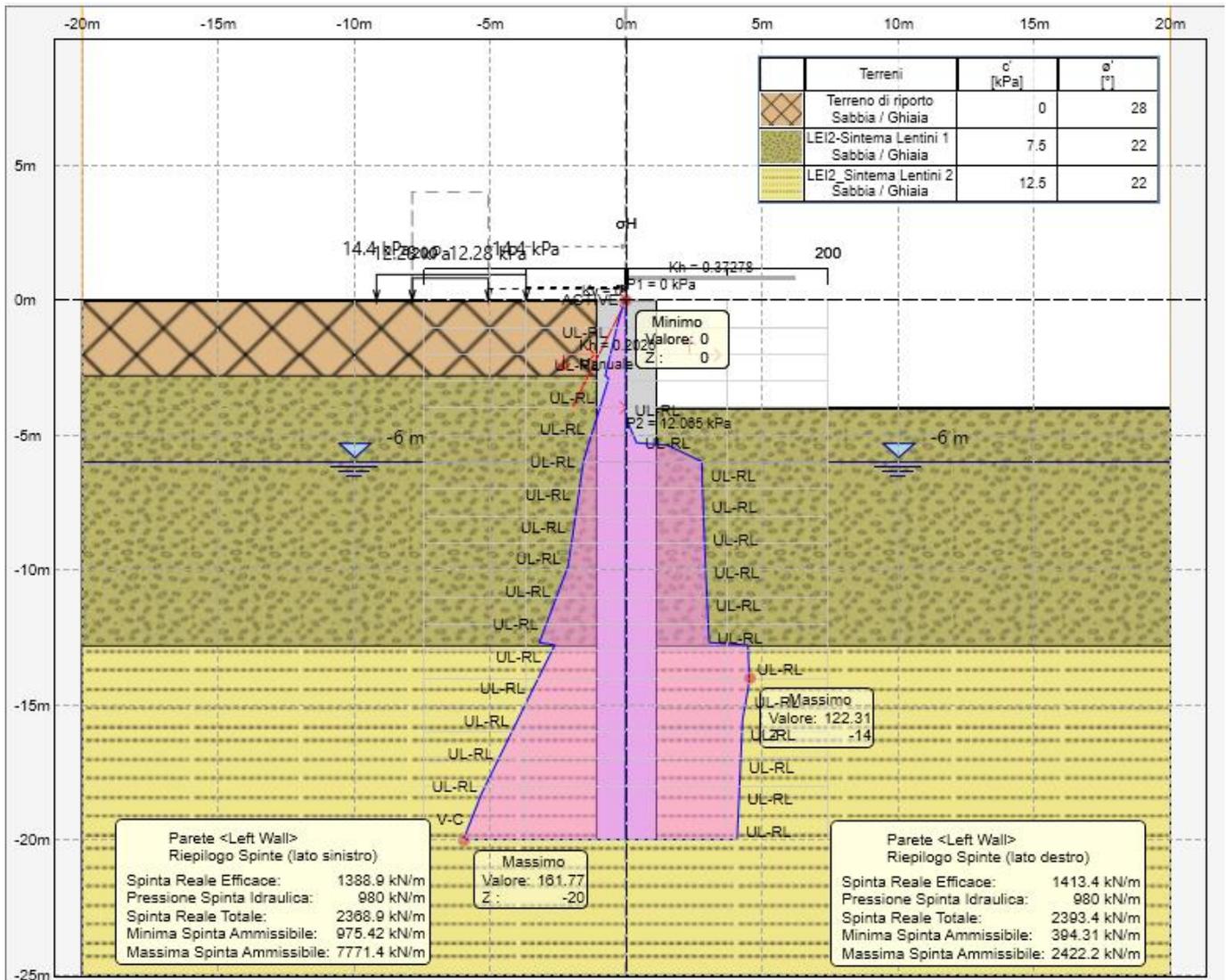


Figura 12.2 – Riepilogo spinte mobilitate SLV

### 12.1.2 Verifiche geotecniche (SLE) – Stima dei cedimenti verticali del terreno a monte della paratia

Nella figura seguente si riporta il diagramma degli abbassamenti verticali a monte dell'opera di sostegno secondo al teoria di kung.

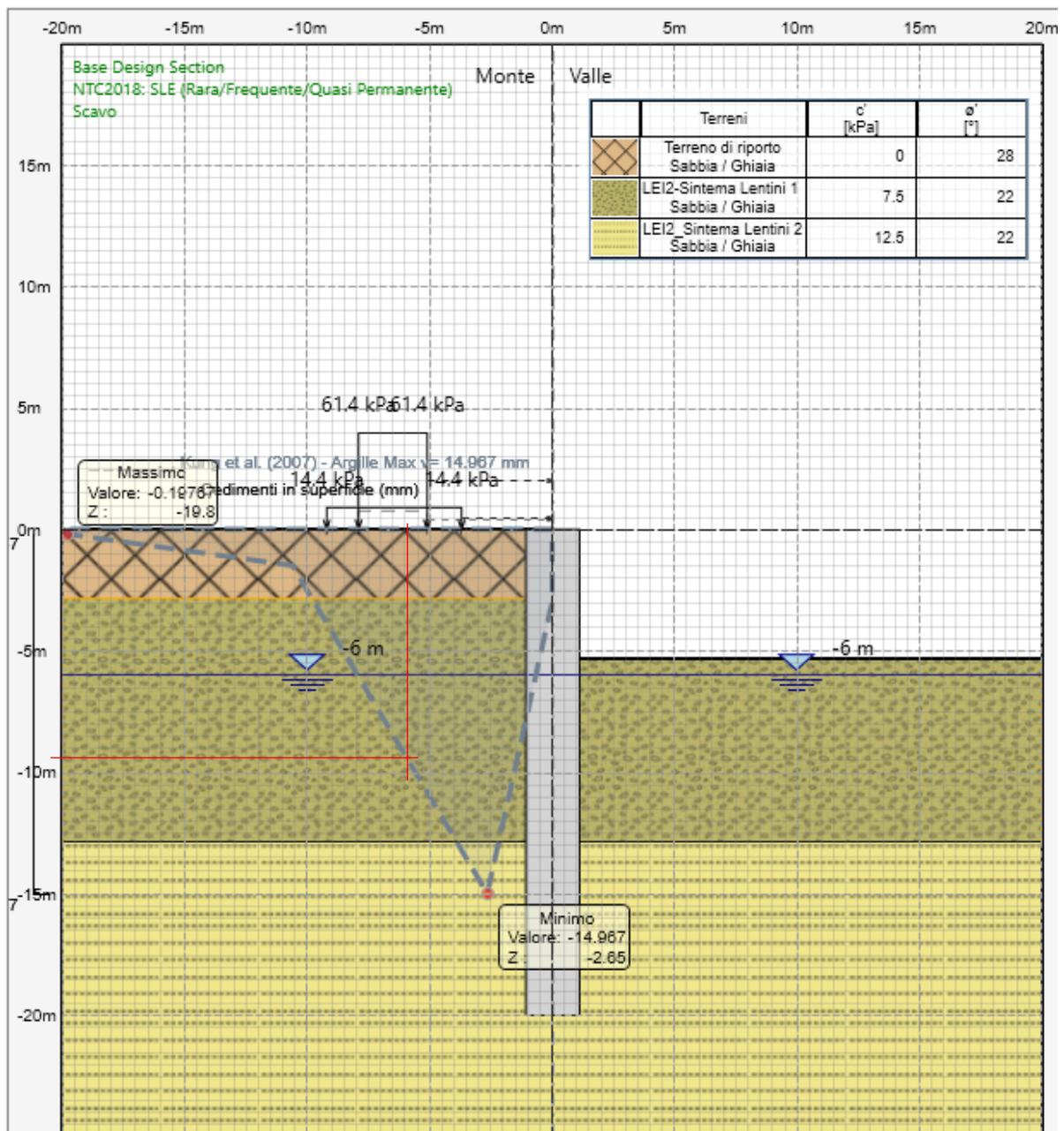


Figura 12.3 – Diagramma abbassamenti

Il cedimento verticale in corrispondenza dell'asse dei binari è prossimo a 10 mm pertanto non inficiante sulla qualità geometrica dello stesso.



**LINEA CATANIA - SIRACUSA**  
**COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA**  
**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

**RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA E DI  
PREDIMENSIONAMENTO DELLE PARATIE**

COMMESSA  
RS62

LOTTO  
01

FASE  
R

TIPO DOC  
RH

OPERA  
MU00 00 001

REV  
A

FOGLIO  
69 di 69

### **13 CONCLUSIONI**

Le verifiche strutturali e geotecniche rispettano le indicazioni delle Normative tecniche di riferimento.