

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 OPERE DI SOSTEGNO
PROVVISIONALI**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
RS62	01	R	11	RH	MU00000	003	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: RS6201R11RHMU0000003A_revPI

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	3
2	DESCRIZIONE DELL'OPERA	4
3	NORMATIVE E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
4	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	6
5	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI	7
6	AZIONI SISMICHE	8
7	APPROCCI NORMATIVI.....	9
8	VERIFICHE	10
8.1	VERIFICHE STRUTTURALI	10
8.1.1	Verifica di resistenza a pressoflessione (SLU).....	10
8.1.2	Verifica di resistenza a taglio (SLU)	10
8.2	VERIFICHE GEOTECNICHE	14
	MODELLO DI CALCOLO.....	15
8.3	PARATIA T3.....	15
8.3.1	Stage di Calcolo	18
9	RISULTATI PARATIA T3.....	23
9.1	SOLLECITAZIONI.....	23
9.1.1	SLE Combinazione statica.....	23
9.1.2	SLU combinazione A1+M1+R1.....	26
9.2	VERIFICHE STRUTTURALI	29
9.2.1	SLU - Combinazione A1+M1+R1.....	29
9.2.2	SLU - Micropali inclinati.....	31
9.2.3	SLU - Cordolo di collegamento	32
9.3	VERIFICHE GEOTECNICHE	34
9.3.1	SLU - A2+M2+R1 - Mobilitazione delle spinte	34
9.3.2	SLU - A1+M1+R1 - Sfilamento dei micropali inclinati	35
9.3.3	SLE - Deformazioni orizzontali.....	37
9.3.4	SLE - Stima dei cedimenti verticali del terreno a monte della paratia.....	38
10	CONCLUSIONI.....	39

	LINEA CATANIA-SIRACUSA COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA						
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI SOSTEGNO PROVVISORIALI	COMMESSA RS62	LOTTO 01	FASE R	TIPO DOC RH	OPERA MU0000 003	REV A	FOGLIO 3 di 39

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 "Opere provvisoriali".

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+200 (PEC).

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



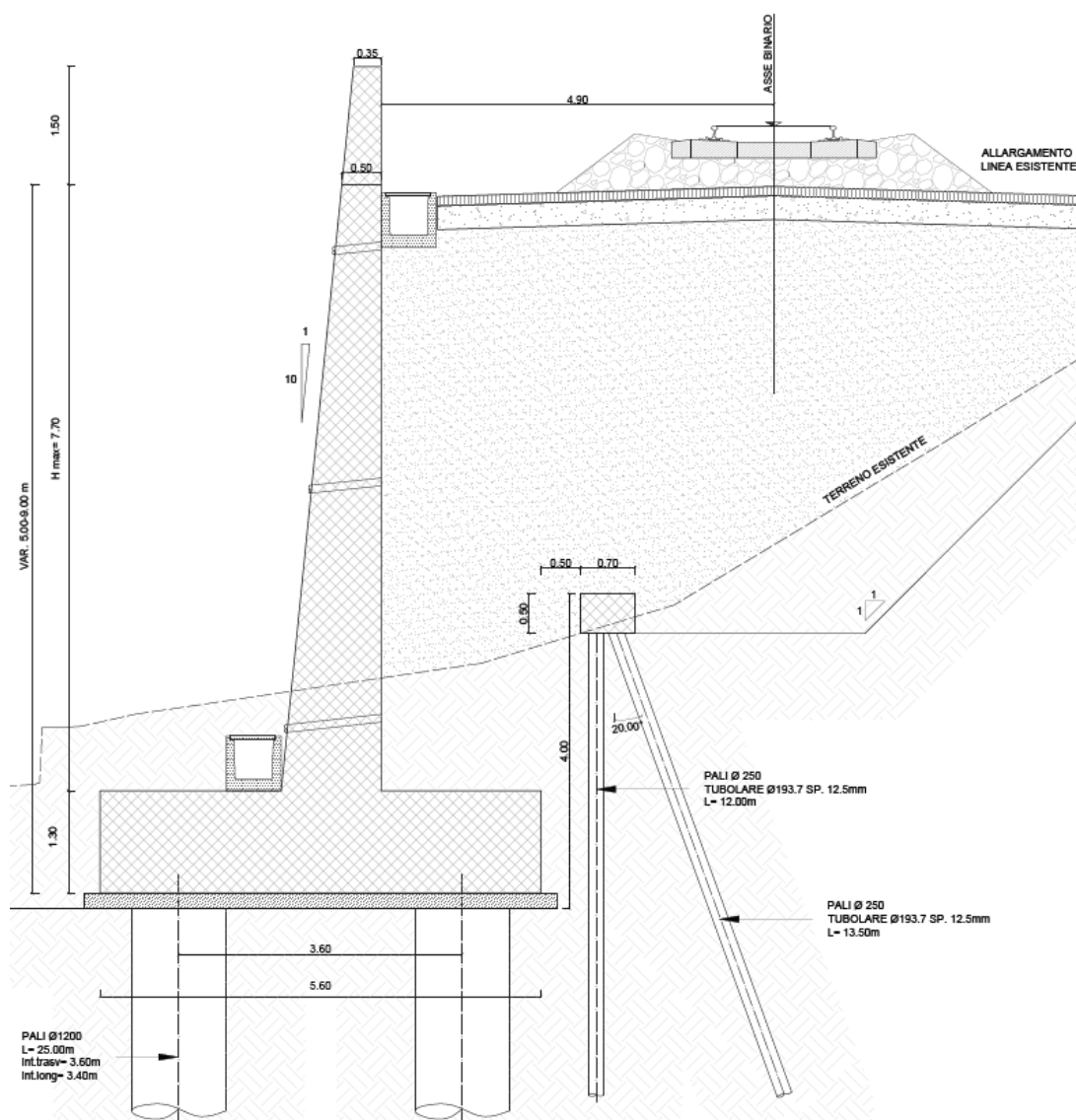
Figura 1.1 – ubicazione intervento

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 provvisorio:

1) Tipo T3



Paratia provvisoriale a cavalletto costituita da pali Ø250 mm a interasse 0.35 m, di lunghezza pari a 12 m e da micropali inclinati Ø250 Pk 0+200 – Binario Presa e Consegna (PEC).

	LINEA CATANIA-SIRACUSA COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA						
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI SOSTEGNO PROVVISORIALI	COMMESSA RS62	LOTTO 01	FASE R	TIPO DOC RH	OPERA MU0000 003	REV A	FOGLIO 5 di 39

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)

Resistenza caratteristica cubica

Var.	Valore	U.M.
R_{ck}	15.00	MPa

Paratia pali

Calcestruzzo classe C25/30

Resistenza caratteristica cubica a compressione

Var.	Valore	U.M.
R_{ck}	30.00	MPa

Resistenza caratteristica cilindrica a compressione

f_{ck}	25.00	MPa
----------	-------	-----

Resistenza media a trazione semplice

f_{ctm}	2.56	MPa
-----------	------	-----

Resistenza caratteristica a trazione semplice

f_{ctk}	1.80	MPa
-----------	------	-----

Coefficiente di sicurezza del materiale

γ_c	1.50	-
------------	------	---

Coefficiente riduttivo per le resistenze di lunga durata

α_{cc}	0.85	-
---------------	------	---

Resistenza di calcolo a compressione

f_{cd}	14.17	MPa
----------	-------	-----

Modulo elastico istantaneo

E_{cm}	31475.81	MPa
----------	----------	-----

Acciaio B450C per strutture in conglomerato cementizio

Tensione caratteristica di rottura

Var.	Valore	U.M.
f_{tk}	540.00	MPa

Tensione caratteristica di snervamento

f_{yk}	450.00	MPa
----------	--------	-----

Coefficiente di sicurezza del materiale

γ_s	1.15	-
------------	------	---

Tensione di snervamento di calcolo

f_{yk}	391.30	MPa
----------	--------	-----

Modulo elastico

E_s	210000.00	MPa
-------	-----------	-----

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA CATANIA-SIRACUSA COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA						
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI SOSTEGNO PROVVISORIALI	COMMESSA RS62	LOTTO 01	FASE R	TIPO DOC RH	OPERA MU0000 003	REV A	FOGLIO 7 di 39

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:

Unità' Geotecniche		Parametri					
		z	γ	c'	φ'	E'	Eur = 1.50 E'
Unità	Unità Geologica	m	kN/m ³	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

Tabella 5.1 – Stratigrafia e parametri geotecnici di riferimento

I coefficienti di spinta corrispondenti allo stato attivo e passivo sono valutati dal programma di calcolo a partire dai parametri geotecnici riportati in Tabella 4.1. I terreni sono considerati in condizione drenata. Il livello di falda è stato assunto ad una quota di 5 dal p.c.

6 AZIONI SISMICHE

Come previsto dalle NTC 2018 §2.4.1, le verifiche sismiche vengono omesse in quanto le opere in oggetto risultano provvisorie con durata prevista inferiore a due anni.

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
- raggiungimento 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 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_{G1}

	LINEA CATANIA-SIRACUSA COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA						
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI SOSTEGNO PROVVISORIALI	COMMESSA RS62	LOTTO 01	FASE R	TIPO DOC RH	OPERA MU0000 003	REV A	FOGLIO 10 di 39

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:

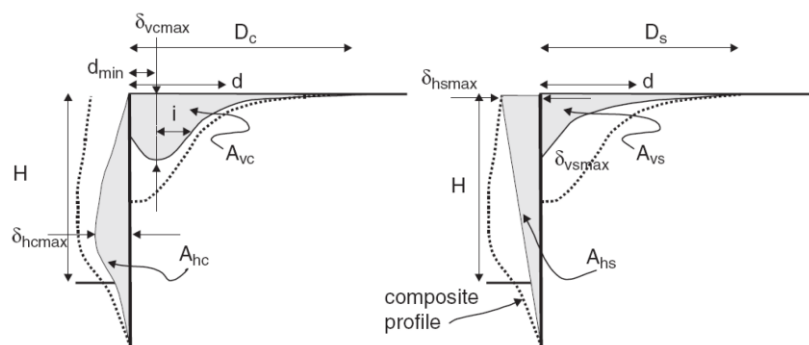


Figura 8.1 – Definizione dei parametri di spostamento verticale e orizzontale (Boone & Westland, 2005)

1. sulla base della geometria dell'opera e delle caratteristiche del terreno si calcola il massimo spostamento laterale della parete δ_{hmax} e della superficie δ_{hsmax} ;
2. 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;
3. 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} .
4. Noti A_{vs} e A_{vc} , i massimi cedimenti δ_{vsmax} e δ_{vcmax} sono calcolati sulla base di andamenti noti lungo la superficie.
5. 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:

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

	LINEA CATANIA-SIRACUSA COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA						
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI SOSTEGNO PROVVISORIALI	COMMESSA RS62	LOTTO 01	FASE R	TIPO DOC RH	OPERA MU0000 003	REV A	FOGLIO 12 di 39

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:

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

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 η , in PARATIE PLUS, di default, è pari a 1.

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

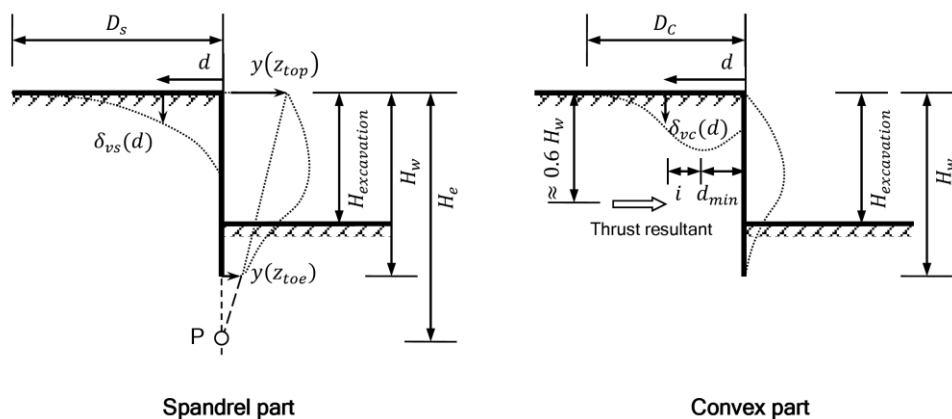


Figura 8.2 – Metodo di Boone & Westland (2005) – assunzioni in Paratie Plus

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.

	LINEA CATANIA-SIRACUSA COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA						
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI SOSTEGNO PROVVISORIALI	COMMESSA RS62	LOTTO 01	FASE R	TIPO DOC RH	OPERA MU0000 003	REV A	FOGLIO 14 di 39

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 δ è stato posto pari a $2/3\phi'$

	LINEA CATANIA-SIRACUSA COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA						
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI SOSTEGNO PROVVISORIALI	COMMESSA RS62	LOTTO 01	FASE R	TIPO DOC RH	OPERA MU0000 003	REV A	FOGLIO 15 di 39

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.

8.3 PARATIA T3

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.

La paratia è costituita da micropali verticali Ø 250 mm posti ad interasse 0.35 m, di lunghezza pari a 12 m, e da micropali inclinati Ø 250 ad interasse 1.75 m di lunghezza pari a 13.50 m, con funzione di tiranti passivi;

L'inclinazione di questi ultimi è pari a 20° sulla verticale.

In sommità ai micropali è presente un cordolo di collegamento in c.a. gettato in opera di dimensioni trasversali pari a BxH=0.70x0.5 m.

I micropali verticali sono armati con tubo di acciaio Ø193.7 mm sp.=12.5 mm non valvolato; il getto della miscela cementizia avviene per gravità.

I micropali inclinati sono armati con tubi valvolati Ø193.7 mm sp.=12.5 mm iniettati in pressione (IRS).

Il calcolo della rigidezza del vincolo passivo è stato eseguito considerando il contributo della sola sezione in acciaio ed ipotizzando un tratto libero di lunghezza pari a 9.5 m.

L'altezza massima dello scavo è pari a 5 m conservativamente.

- 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 5 m.

I carichi variabili da traffico ferroviario sono quelli dovuti al treno di carico LM71 (alfa =1.1) definito nella tabella 5.2.I 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. Quest'ultima può essere assunta pari a 45° su un'altezza di 40 cm.

CALCOLI CARICO
in paratie

G3	- NO ACCIDENTALE	peso rilv ferrov	20 kN/mc
		Altezza del rilevato	6.4 m
		g3	128 kPa
		distacco da asse paratia	3.3 m
		proiezione scarpata da asse paratia	5 m

G2 - BALLAST	ACCIDENTALE	Carico	14.4 Kpa
		larghezza ballast	6 m
		Altezza del rilevato	6.4 m
		Ø rilevato ferroviario	35 °
		L' - diffusione	4.5 m
		Larghezza complessiva ad intradosso cordolo	14.90 m
		Q - testa totale	86.4 kN
		g2 ballast	5.8 Kpa

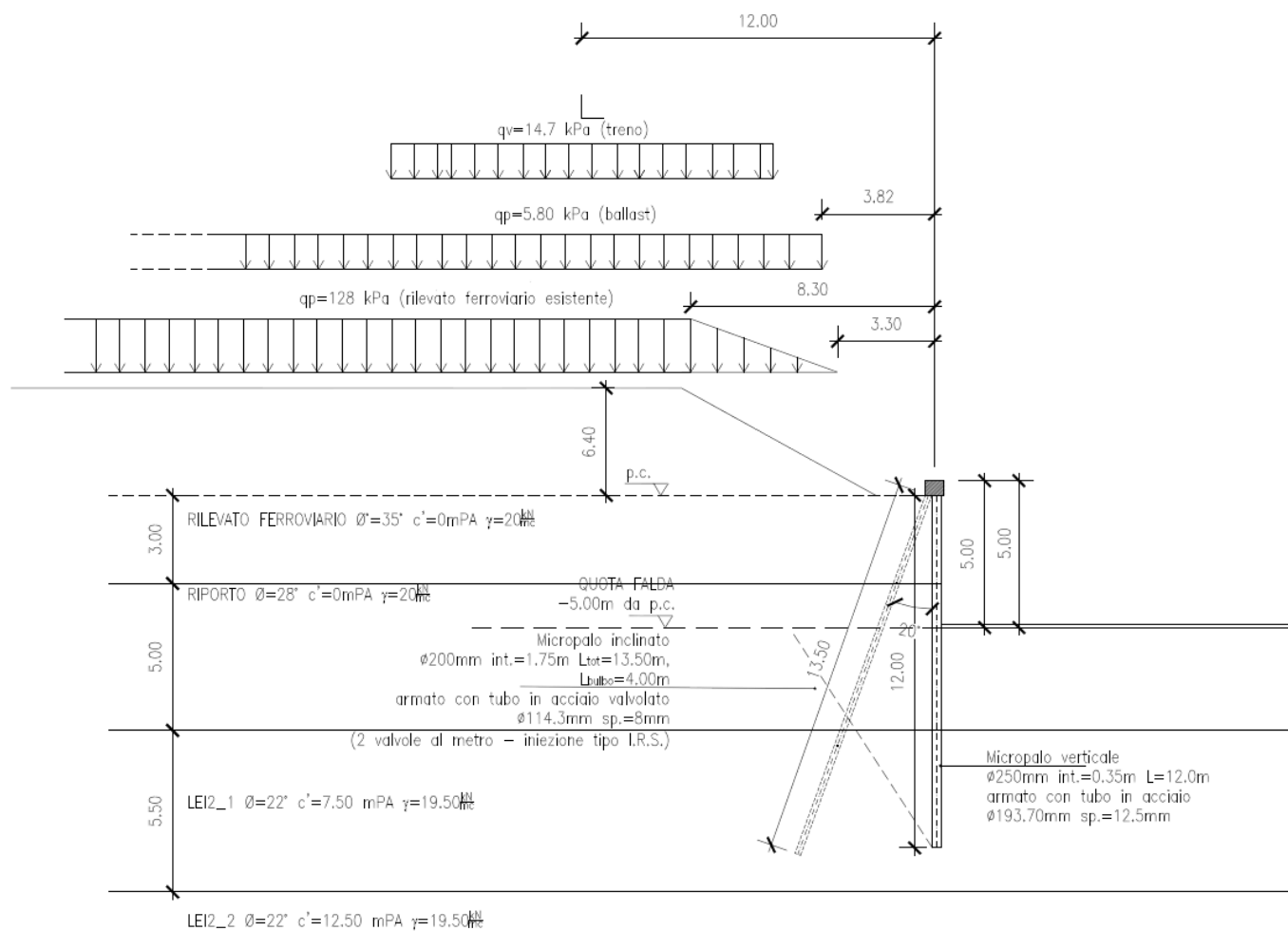
Q - TRENO	ACCIDENTALE	Larghezza della traversa	2.6 m
		ballast sotto traversa	0.4 m
		rapporto diffusione nel ballast	0.25
		Larghezza di diffusione	2.8 m
		Carico massimo da LM71	156.25 kn/ml
		α	1.1 -
		Carico lineare	171.875 kn/ml
		Carico diffuso intradosso ballast	61.40 kPa
		Altezza del rilevato	6.4 m
		Ø rilevato ferroviario	35 °
		L' - diffusione	4.48 m
		Larghezza complessiva ad intradosso cordolo	11.70 m
		Q totale forza	171.92 kN
		q quota intradosso cordolo	14.7 Kpa

Nella tabella che segue si sintetizzano le caratteristiche geometriche dell'opera.

	Ø _{micropali} [m]	L _{micropali} [m]	interasse [m]	H _{scavo} * [m]
Micropali verticali	0.25	12	0.35	5.00
Micropali inclinati	0.25	13.50	1.75	

(*) L'altezza dello scavo risulta incrementata secondo quanto previsto dalle NTC2018 §6.5.2.2.

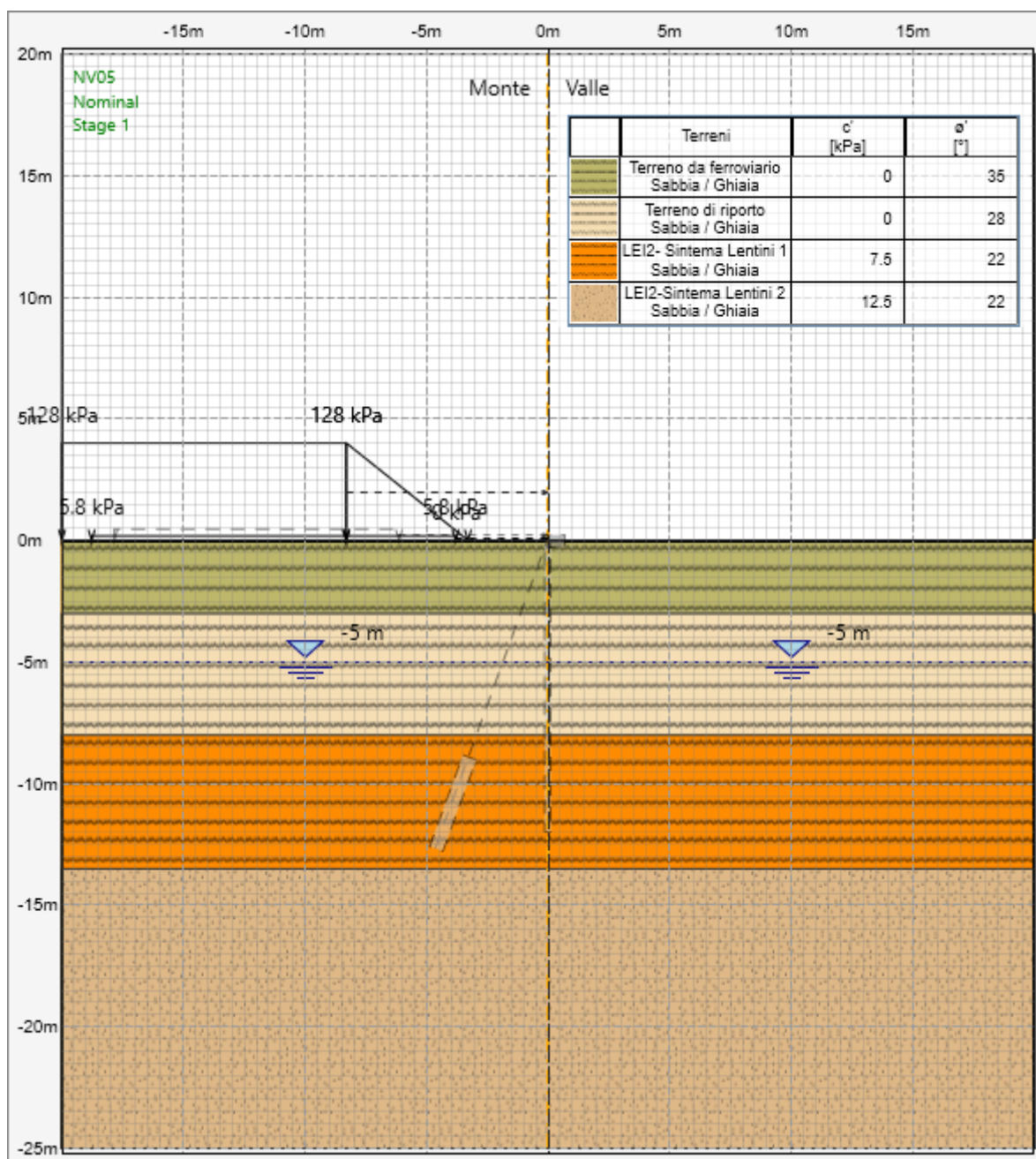
Nella figura che segue si riporta lo schema di calcolo utilizzato nella modellazione.



8.3.1 Stage di Calcolo

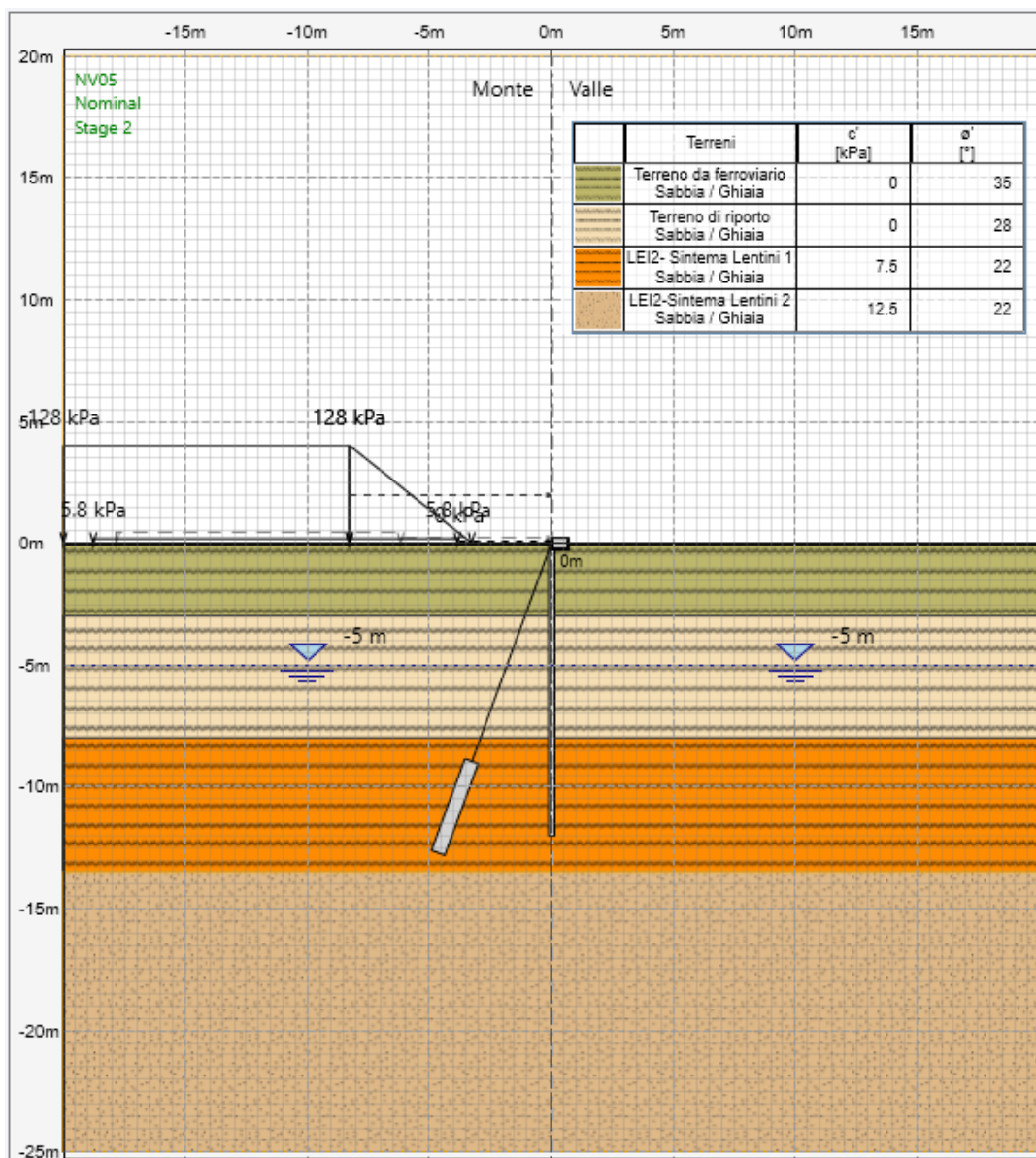
Stage 1: Ricostruzione dello stato tensionale.

- Fase geostatica iniziale: a monte dell'opera si considerano i carichi permanenti di 128 kPa dovuto al rilevato ferroviario e di 5.8 kPa dovuto al ballast diffuso sino alla testa del micropalo. La falda è posta a 5.00 m di profondità dalla testa dei pali;



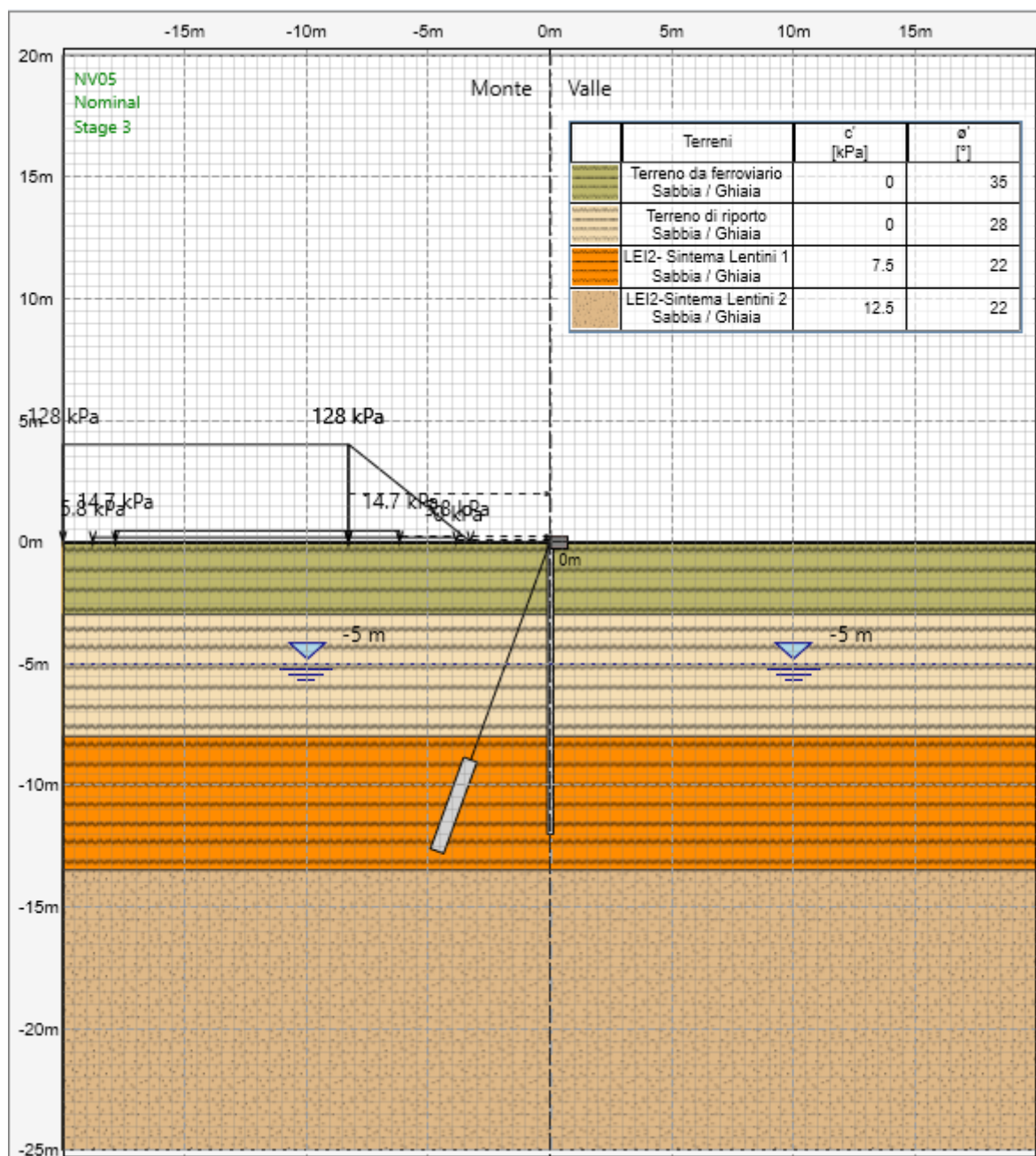
Stage 2: Realizzazione della paratia.

- A monte si considerano gli stessi carichi permanenti della fase precedente;



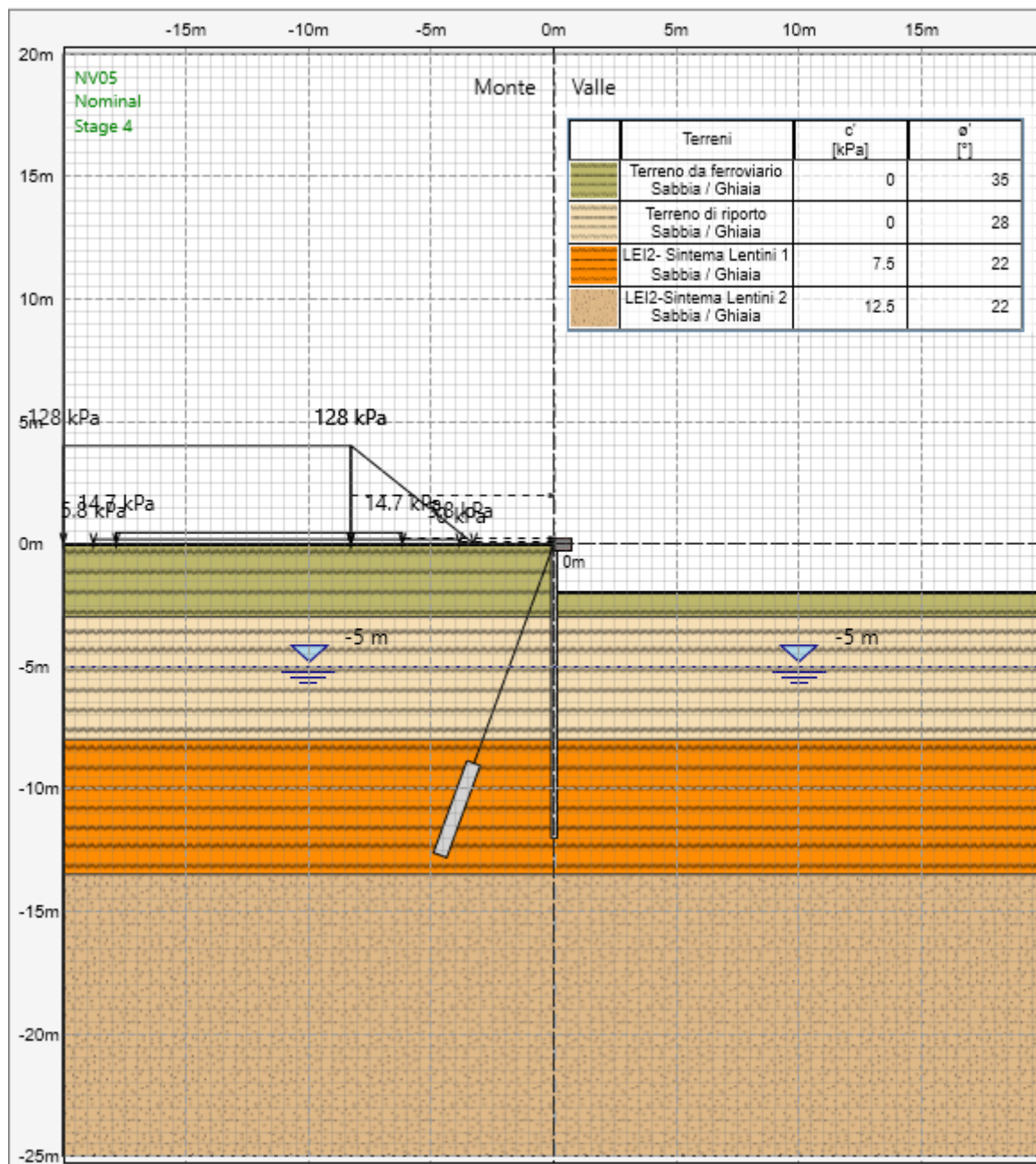
Stage 3: Realizzazione della paratia.

- A monte si considerano gli stessi carichi permanenti della fase precedente ed un sovraccarico variabile pari a 14.7 KPa relativi al ballast



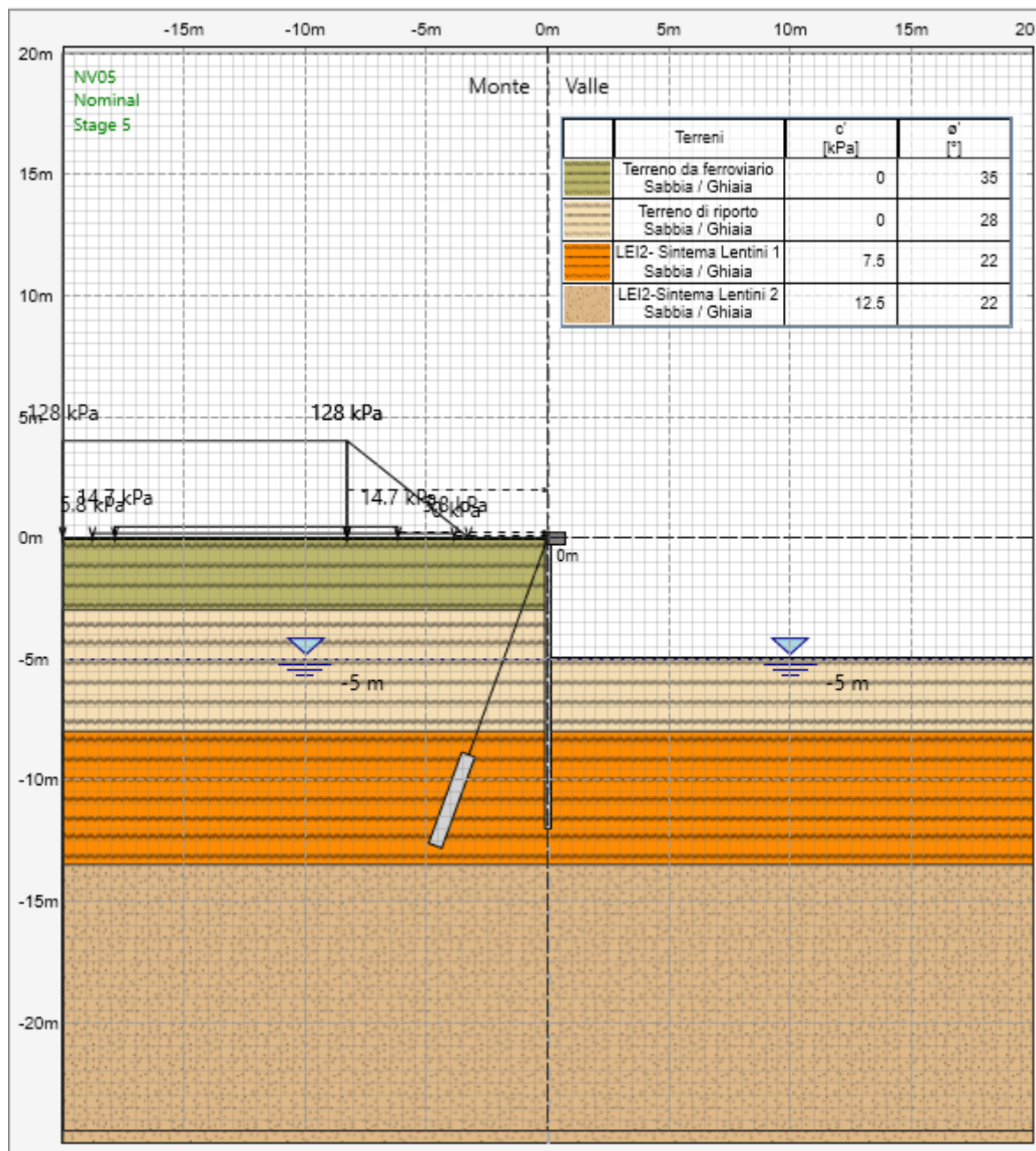
Stage 4: Realizzazione di un prescavo fino a 2 m

- I sovraccarichi sono i medesimi della fase precedente;



Stage 4: Realizzazione scavo fino a 5 m

- I sovraccarichi sono i medesimi della fase precedente;



9 RISULTATI PARATIA T3

9.1 SOLLECITAZIONI

9.1.1 SLE Combinazione statica

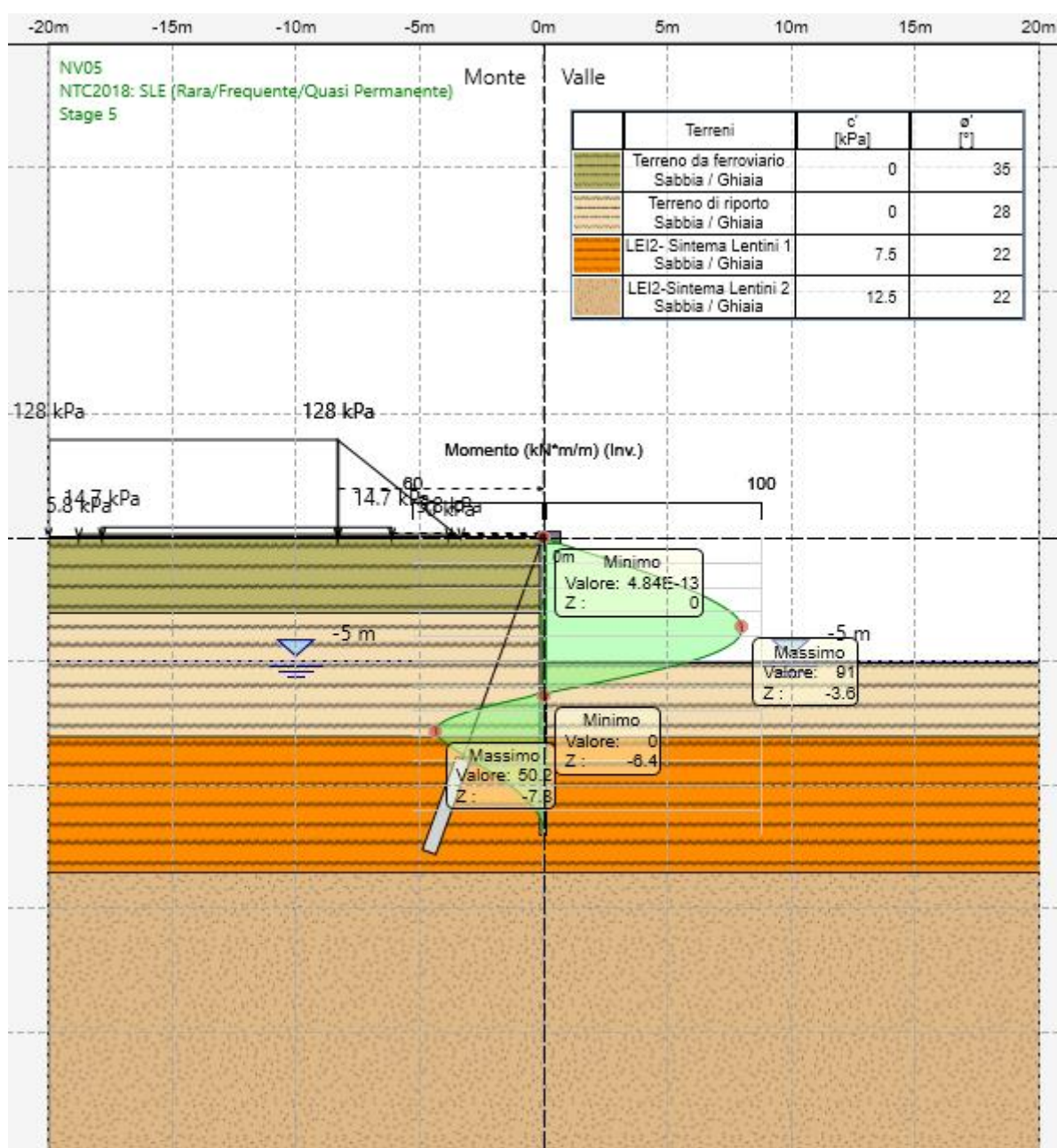


Figura 9.1 – Diagramma involuppo momento flettente SLE – Paratia T3

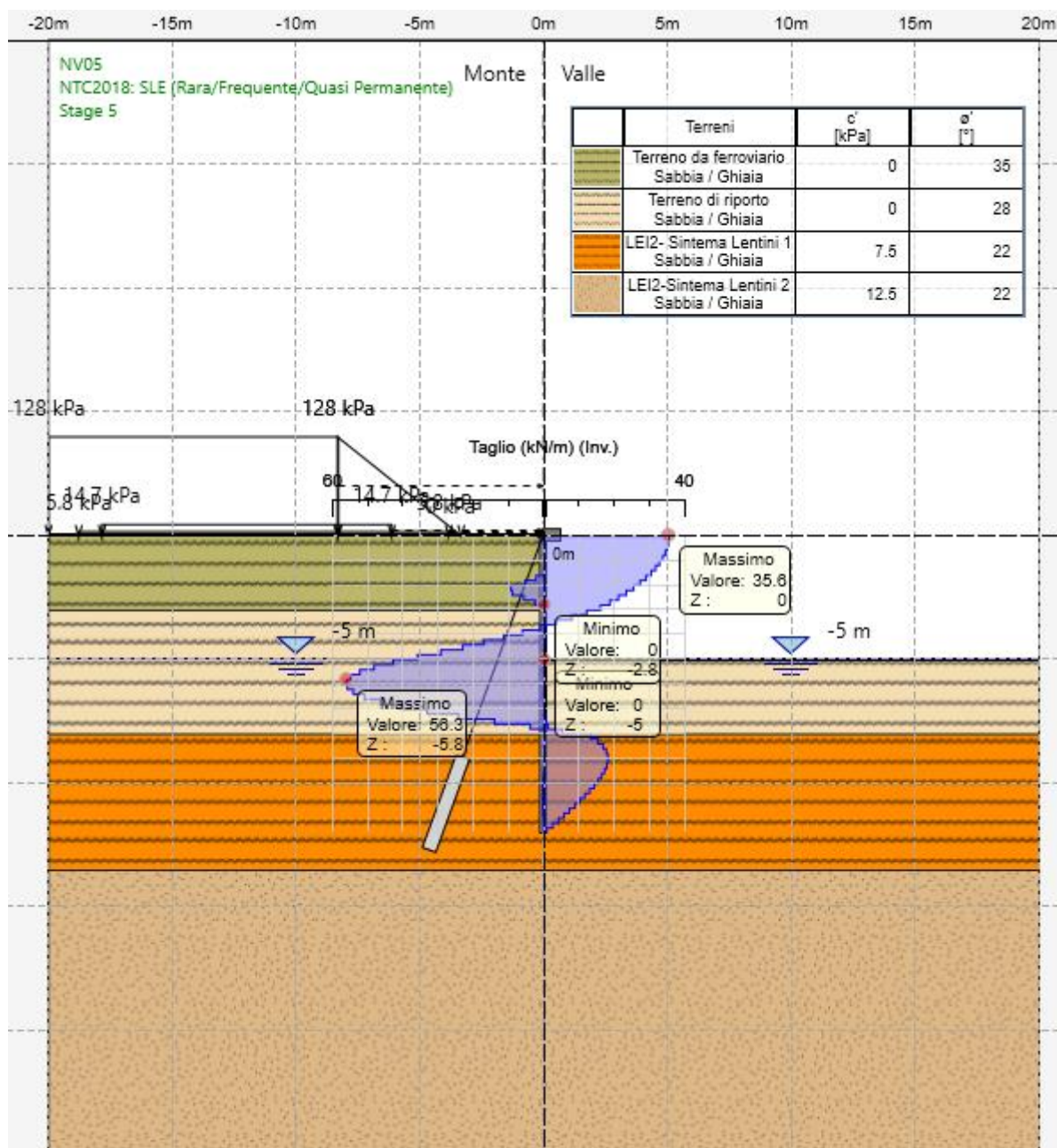


Figura 9.2 – Diagramma involuppo taglio SLE – Paratia T3

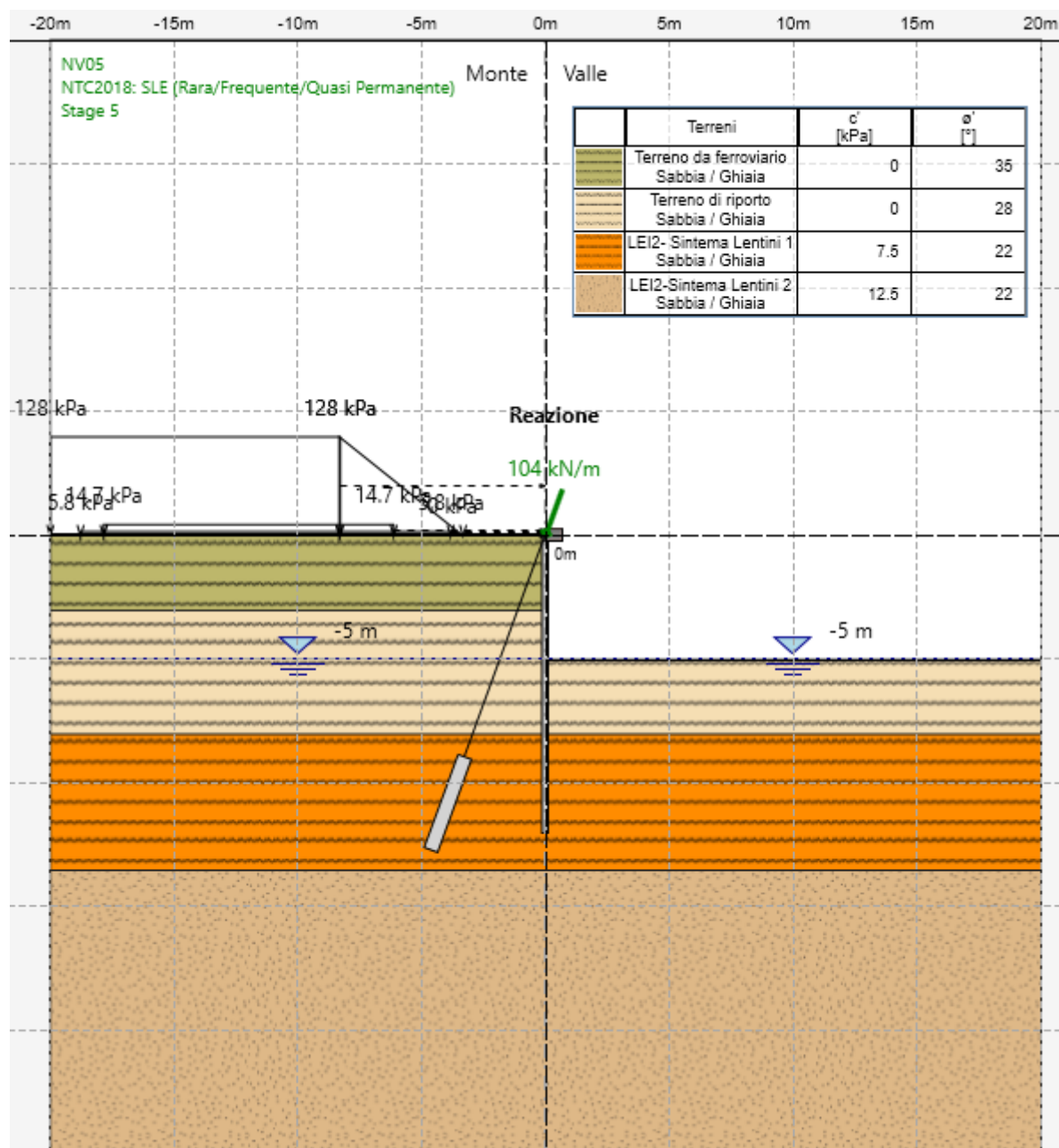


Figura 9.3 – Reazione micropali inclinati – Paratia T3

9.1.2 SLU combinazione A1+M1+R1

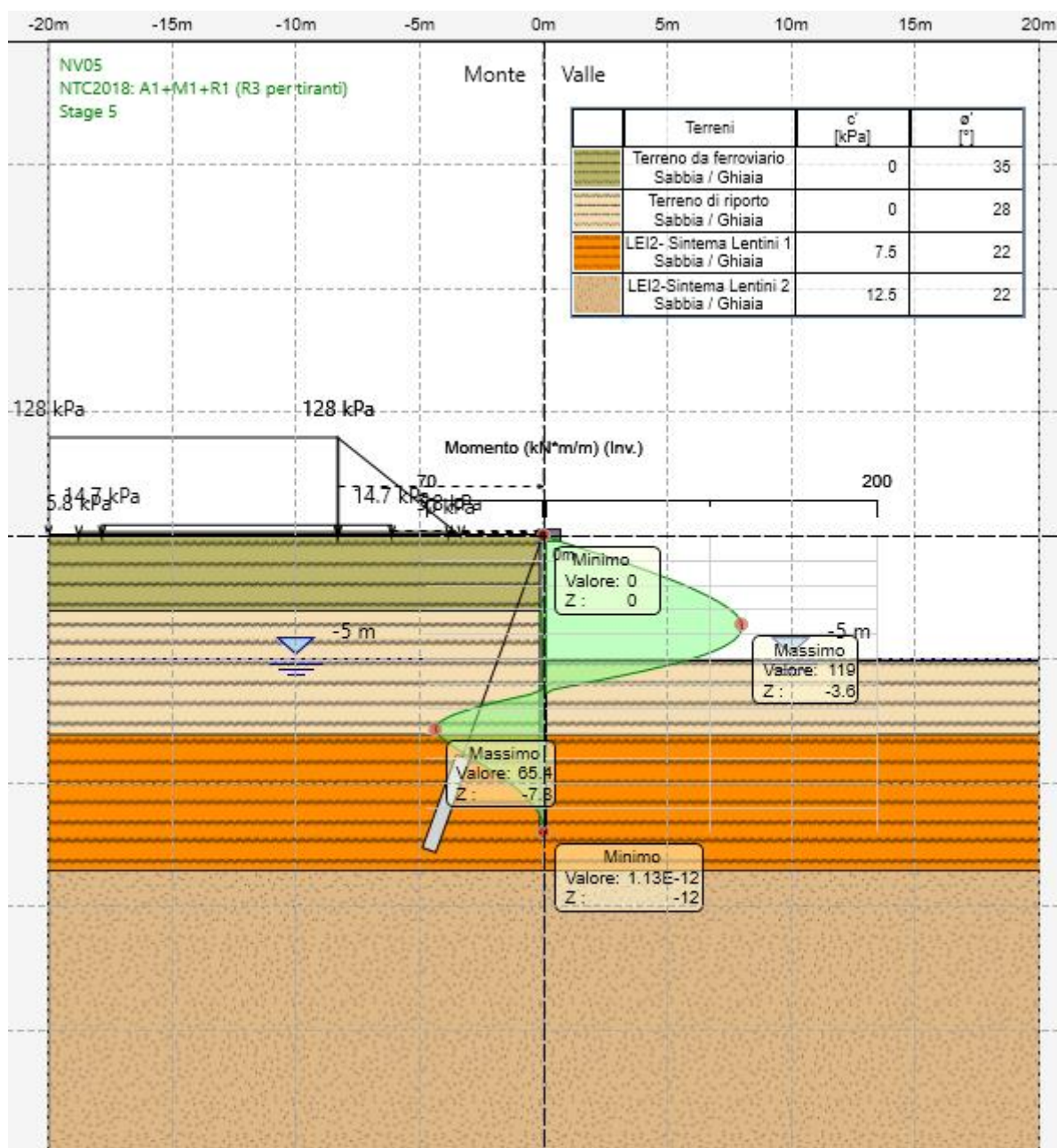


Figura 9.4 – Diagramma involuipo momento flettente SLU – Paratia T3

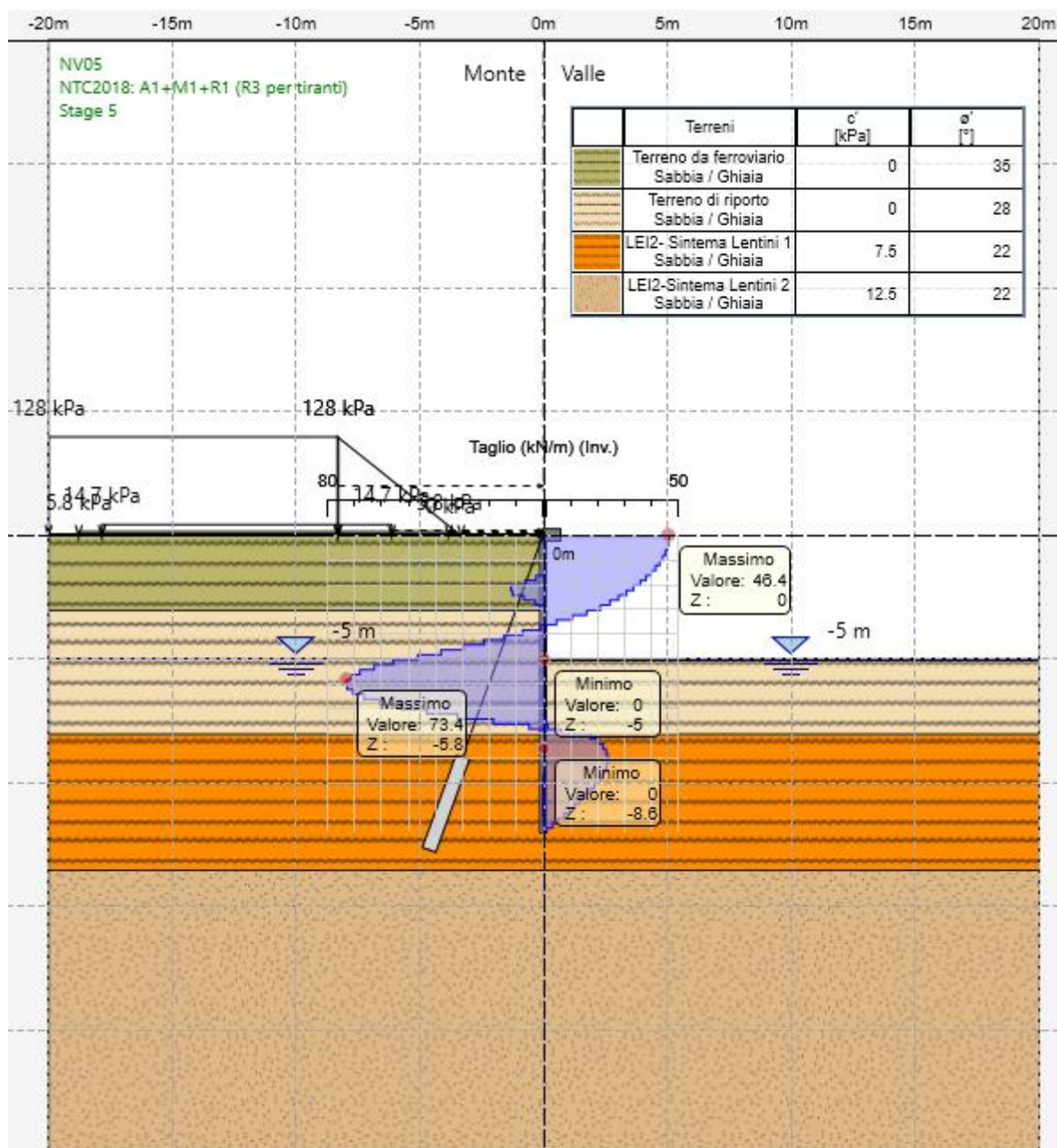


Figura 9.5 – Diagramma involuppo taglio SLU – Paratia T3

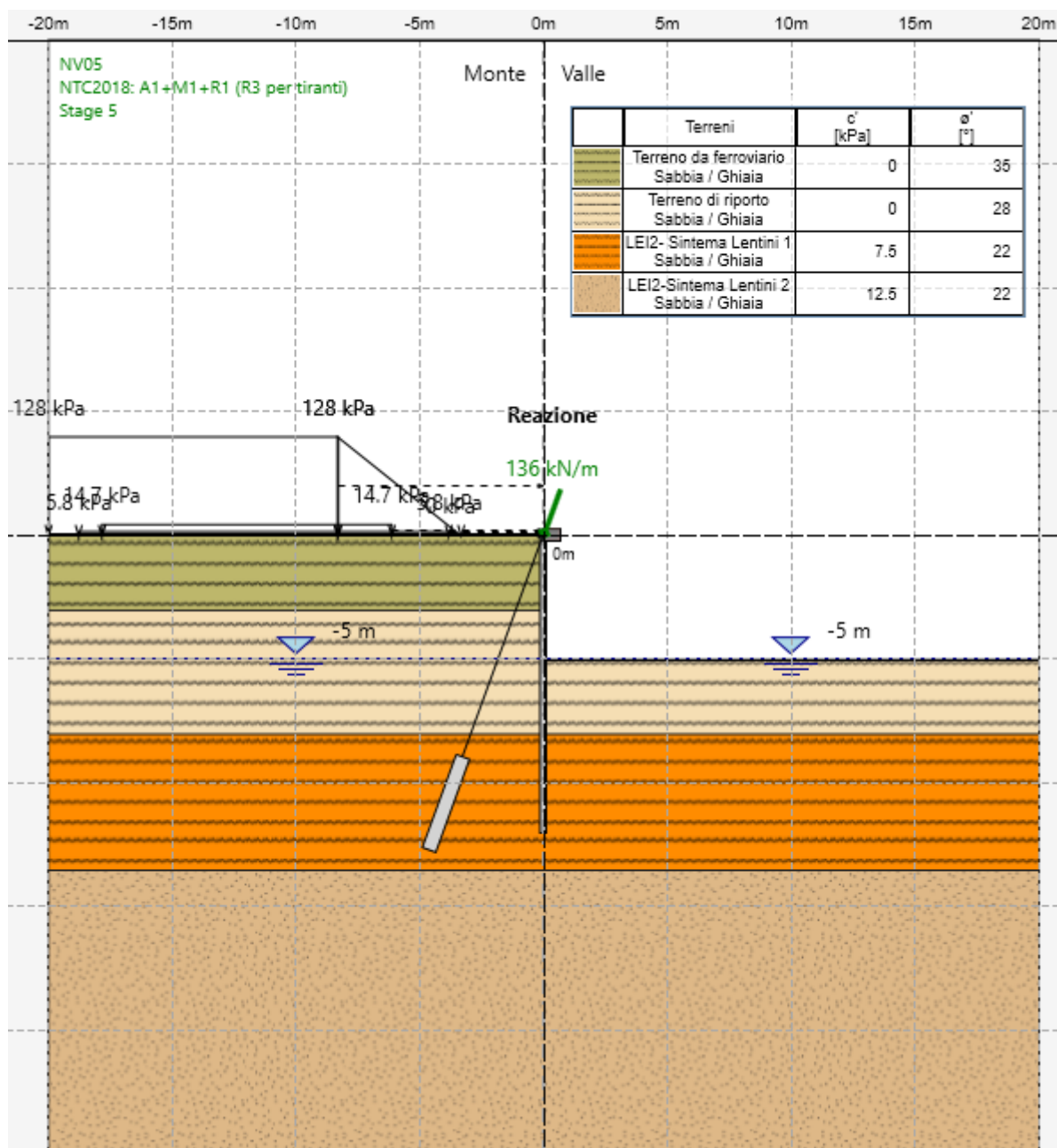


Figura 9.6 – Reazione micropali inclinati – Paratia T3

9.2 VERIFICHE STRUTTURALI

9.2.1 SLU - Combinazione A1+M1+R1

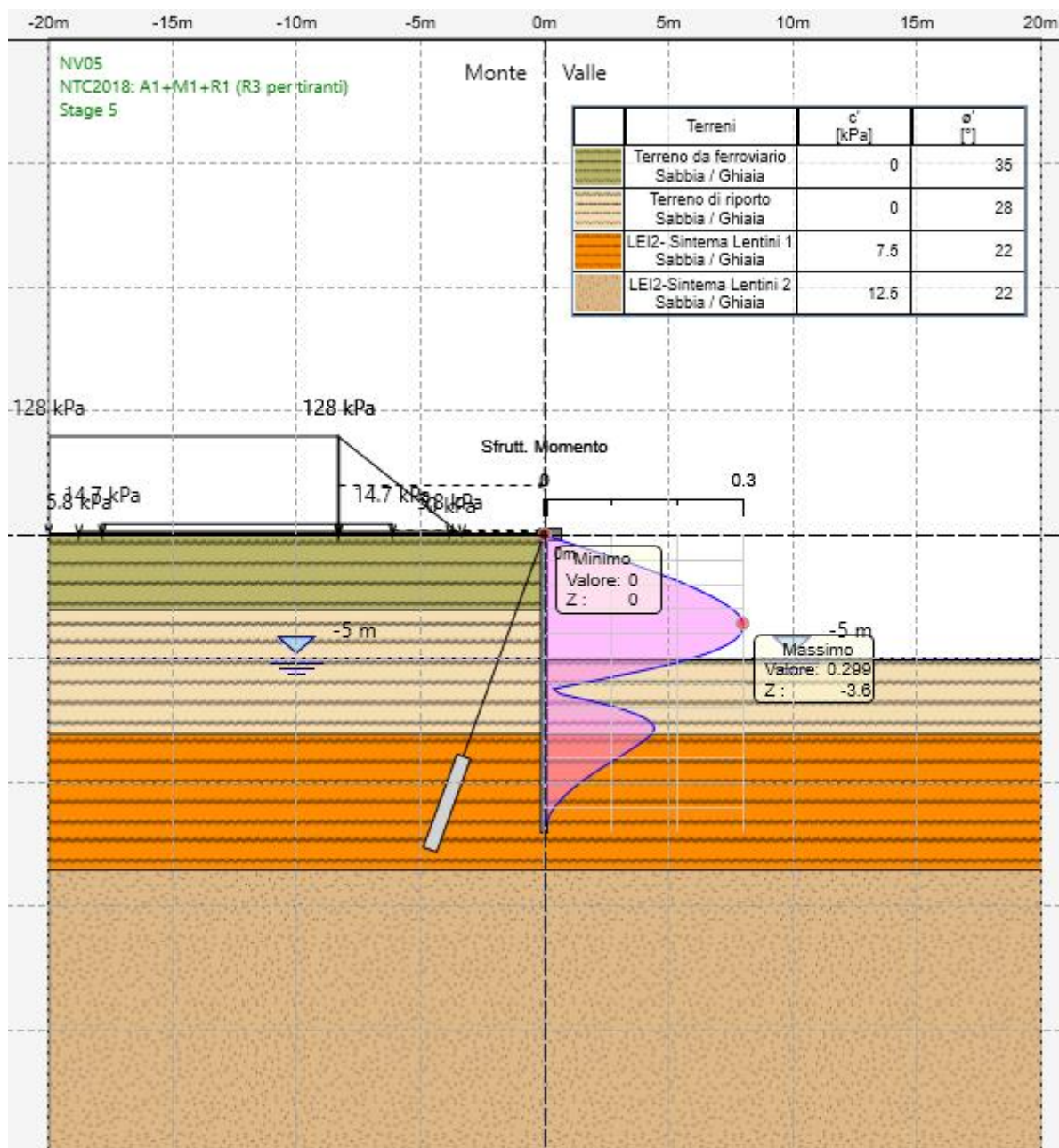


Figura 9.7 – Tasso sfruttamento - Momento

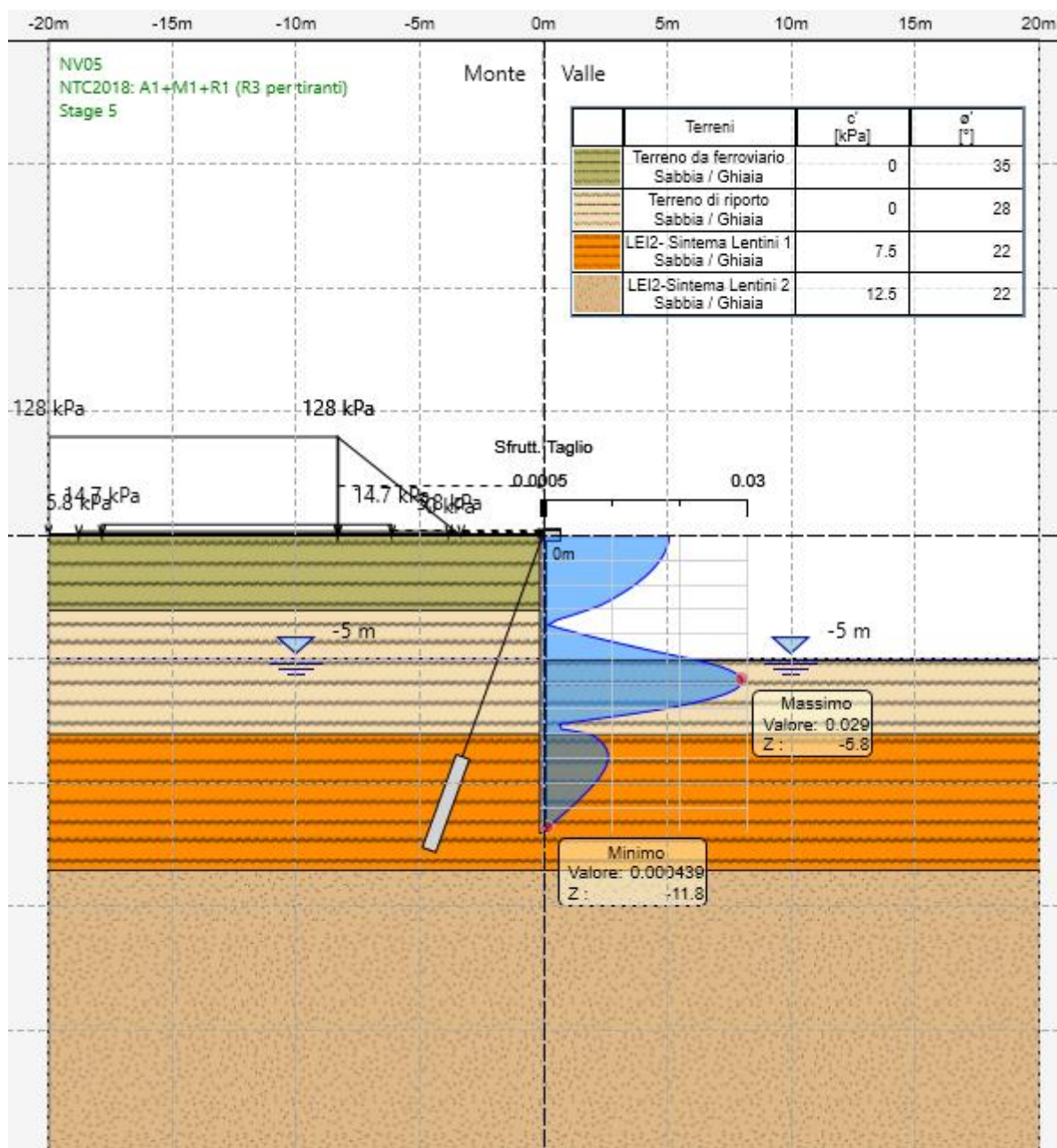


Figura 9.8 – Tasso sfruttamento - Taglio

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA CATANIA-SIRACUSA COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA							
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI SOSTEGNO PROVVISORIALI	COMMESSA RS62	LOTTO 01	FASE R	TIPO DOC RH	OPERA MU0000 003	REV A	FOGLIO 31 di 39	

9.2.2 SLU - Micropali inclinati

Si riportano a seguire le verifiche a trazione dei tubi di armatura dei micropali inclinati allo SLU mediante la forma tabellare prodotta dal programma di calcolo.

Verifiche Elementi Strutturali

Design Assumption: NTC2018: A1+M1+R1 (R3 per tiranti)

Tiranti Puntoni Travi di Ripartizione in Acciaio Travi di Ripartizione in Calcestruzzo

Tirante	Stage	Sollecitazione (kN)	Resistenza GEO (kN)	Resistenza STR (kN)	Sfruttamento GEO	Sfruttamento STR	Resistenza	Gerarchia delle Resistenze
microp inclinato	Stage 2	-2.54E-16	422	1.7E+03	0	0	✓	✓
microp inclinato	Stage 3	-0.0434	422	1.7E+03	0	0	✓	✓
microp inclinato	Stage 4	35.7	422	1.7E+03	0.085	0.021	✓	✓
microp inclinato	Stage 5	238	422	1.7E+03	0.563	0.14	✓	✓

Figura 9.9 – Tasso sfruttamento – SLU

Le verifiche risultano soddisfatte poiché i tassi di sfruttamento sono inferiori all'unità. Inoltre è rispettata la gerarchia delle resistenze come normativamente richiesto. Per il dettaglio della verifica a sfilamento in combinazione GEO vedere il relativo paragrafo nella presente relazione.

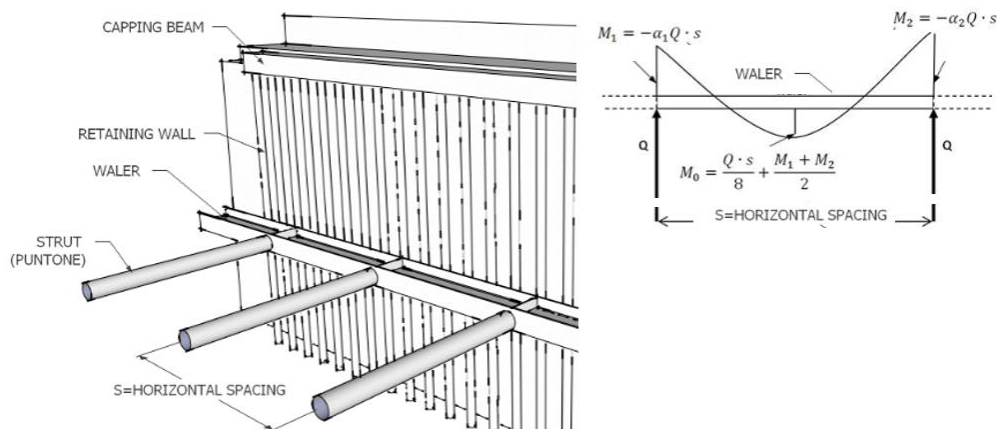
9.2.3 SLU - Cordolo di collegamento

Si assume uno schema di calcolo di trave semplicemente appoggiata di luce pari all'interasse tra due micropali inclinati (s) e soggetto ad un carico per unità di lunghezza (p) pari alla trazione massima sugli stessi micropali inclinati divisa per il loro interasse.

Il momento flettente si valuta con la relazione $M_{ed} = p \cdot s^2 / 10$, cui viene associata un'azione assiale nulla.

La massima sollecitazione di taglio risulta, in prossimità degli appoggi, pari a $T = p \cdot s / 2$.

Al fine di permettere al programma di calcolo di effettuare le verifiche con le sollecitazioni così definite è necessario inserire in testa al micropalo inclinato l'elemento "trave di ripartizione o waler" ed attribuirvi lo schema statico ad esso rispondente modificando i coefficienti moltiplicativi α_i come esplicitato:



$$M_1 = -\alpha_1 Q s = -\alpha_1 p s s = -\alpha_1 p s^2 = M_{ed} = p s^2 / 10$$

pertanto

$$\alpha_1 = -1/10$$

Proprietà Tirante

Nome Muro D.S.

Data

Posizione
 X m
 Z m

Avanzate
☐ Connetti al nodo Slave
☒ Connetti a trave di ripartizione

Dati Tirante

Sezione

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

Proprietà Trave di Ripartizione

Nome Elemento Strutturale D.S.

Data

Posizione
 X m
 Z m

Dati Trave di Ripartizione

Sezione

☐ Eredita inclinazione da elemento strutturale Angolo °
☒ Inclinazione orizzontale Passo orizz m

Schema Statico

α1
 α2

Opzioni di calcolo / verifica

☒ Considera nell'analisi Paratie
☒ Verifica Trave di Ripartizione
 Azione assiale kN

Nella tabella che segue si riportano le verifiche strutturali della sezione trasversale in cls del cordolo collegamento in termini di tassi di sfruttamento.

L'armatura presente è costituita da 2Ø18 come reggi staffa e staffe Ø10/200mm.

Armatura longitudinale		Armature a taglio	
Area	0.000508938009882 m ²	Area	0.000157079632679 m ²
Diametro	ø18	Passo	0.2 m
Numero per elemento	2	Diametro	ø10
Copriferro asse barra	0.059 m	Numero di braccia	2
		Copriferro netto	0.04 m

Le verifiche risultano soddisfatte poiché i tassi di sfruttamento sono inferiori all'unità.

9.3 VERIFICHE GEOTECNICHE

9.3.1 SLU - A2+M2+R1 - Mobilitazione delle spinte

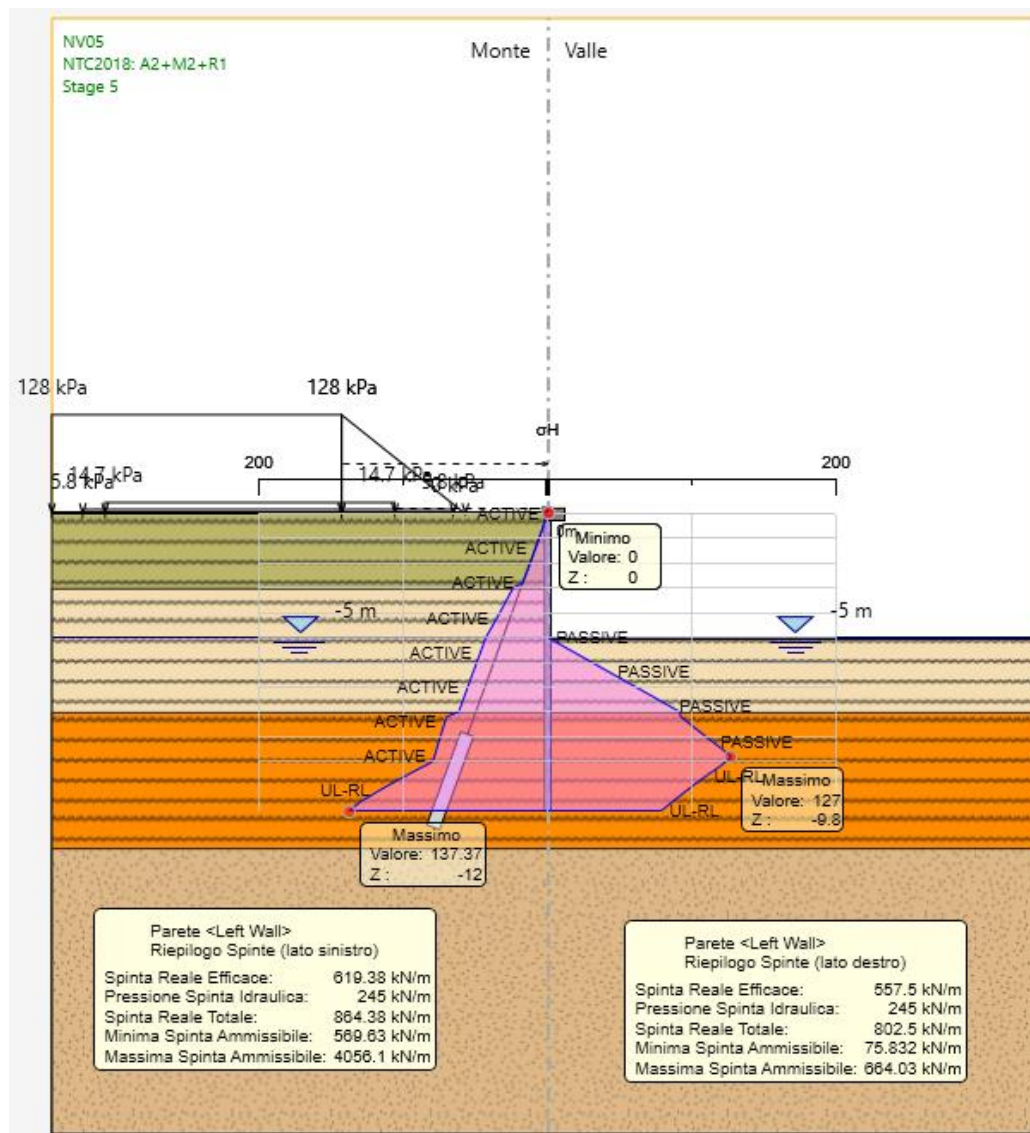


Figura 9.10 - Mobilitazione spinte SLU

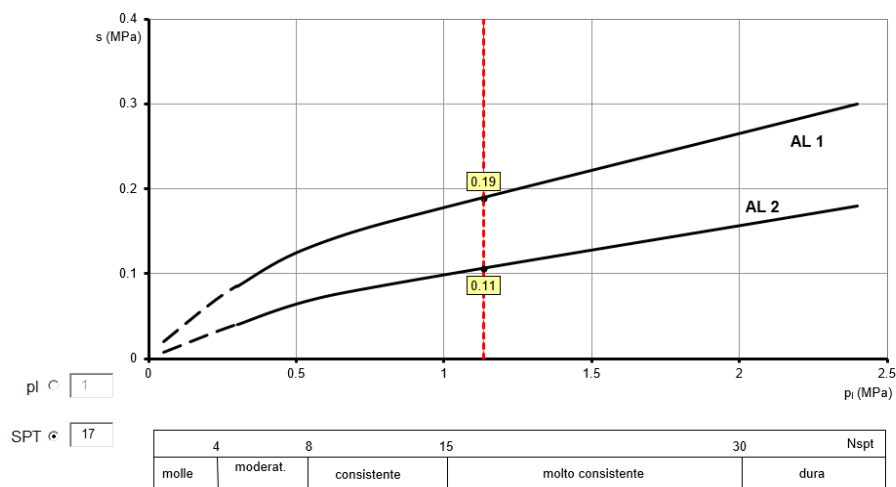
9.3.2 SLU - A1+M1+R1 - Sfilamento dei micropali inclinati

Per la verifica geotecnica dei micropali inclinati è stato assunto un valore di aderenza terreno bulbo pari a **190 kPa**. Tale valore, deriva dalla formulazione di *Bustamante e Doix* per i micropali ed è stato ottenuto dal diagramma sottostante (valido per terreni ARGILLOSI) che correla il numero di colpi SPT al valore dell'aderenza bulbo-terreno. Essendo i micropali di tipo I.R.S., si considera la curva AL.1.

In particolare, il valore di aderenza caratteristico s_k è stato stimato considerando il valore minimo del numero di colpi N_{SPT} di ciascuna delle unità geotecniche attraversate dal bulbo dell'ancoraggio, ovvero:

$$N_{SPT,min} = 17 \quad \rightarrow \quad L_{b1} = 4.00 \text{ m} \quad \rightarrow \quad s_{k1} = 190 \text{ kPa}$$

Abaco per il calcolo di s per argille e limi



Il valore della resistenza limite a trazione del micropalo viene calcolato con la relazione seguente:

$$Q_{lim} = \pi \cdot d_s \cdot L_s \cdot s_d$$

in cui:

$$d_s = \alpha \cdot d_{perf}$$

α = coefficiente maggiorativo ricavato dalla tabella mostrata sopra (cautelativamente si assume pari a 1.4)

d_{perf} = diametro di perforazione del micropalo inclinato = 250 mm

L_s = lunghezza del tratto iniettato = 4.00 m

s = valore di adesione laterale caratteristico = 190 kN/m²

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA CATANIA-SIRACUSA COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON IL PORTO DI AUGUSTA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA						
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA E DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI SOSTEGNO PROVVISORIALI	COMMESSA RS62	LOTTO 01	FASE R	TIPO DOC RH	OPERA MU0000 003	REV A	FOGLIO 36 di 39

ξ = fattore di correlazione in funzione del numero di profili indagati (considerando 1 verticali indagate, $\xi = 1.7$).

Verifica a sfilamento dell'ancoraggio

diametro di perforazione		d_{ref}	250	mm
coeff maggiorativo		α	1.40	-
Lunghezza del bulbo in strato:	bb2	L_s	4.0	m
Lunghezza del bulbo in strato:	bb3	L_s	0.0	m
Lunghezza del bulbo in strato:	bb1	L_s	0.0	m
Lunghezza totale del bulbo:		L_{tot}	4.00	m
Adesione caratteristica in strato:	bb2	s_k	0.19	Mpa
Adesione caratteristica in strato:	bb3	s_k	0.00	Mpa
Adesione caratteristica in strato:	bb1	s_k	0.00	Mpa
Adesione caratteristica media (media pesata) [q skin]		s_{med}	0.190	Mpa
		q_{skin}	190	KPa
Fattore di correzione		ζ_{a3}	1.70	-
Coefficiente parziale ancoraggi			1.10	-
Adesione di progetto			101.6	kPa
Resistenza di progetto a sfilamento del bulbo di fondazione	Rd		319	kN
Sollecitazione massima di trazione			238	kN
		FS	1.34	

La verifica è soddisfatta.

9.3.3 SLE - Deformazioni orizzontali

Nella figura che segue si riportano gli spostamenti orizzontali dell'opera allo SLE nella condizione maggiormente gravosa (fase di massimo scavo).

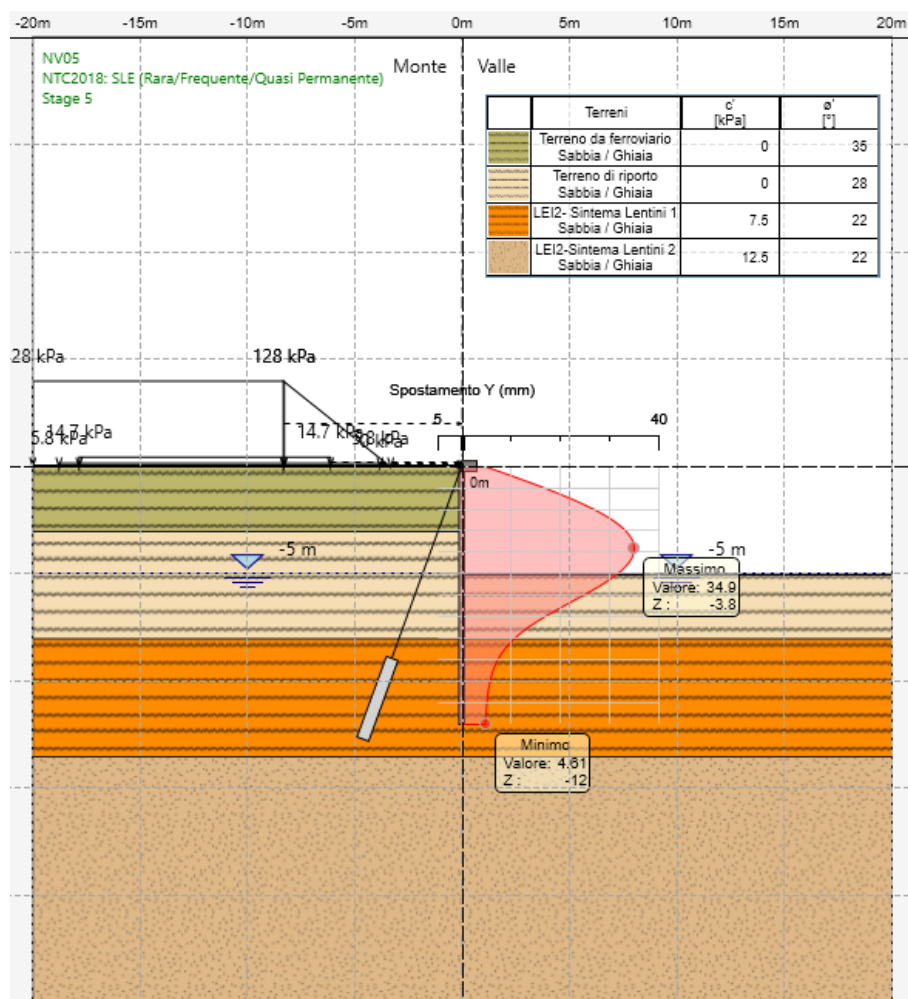


Figura 9.11 – Diagramma delle deformazioni orizzontali

SLE	
Spostamento orizzontale massimo δ_{h_max} (cm)	3.5

Si osserva che lo spostamento massimo è pari a circa 3.5 cm.

In relazione alla provvisorialità dell'opera, tale deformazione risulta compatibile con la sua funzionalità.

9.3.4 SLE - Stima dei cedimenti verticali del terreno a monte della paratia

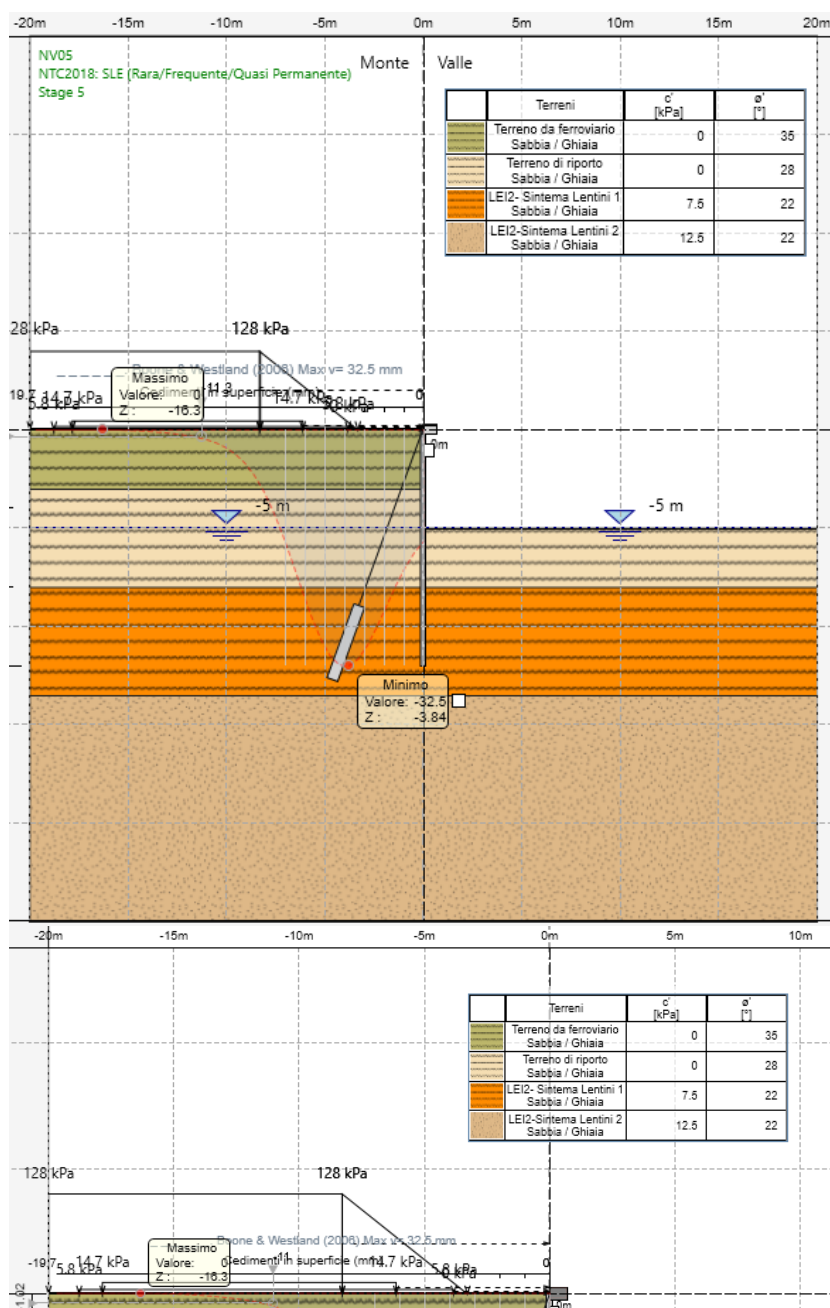


Figura 9.12 – Diagramma abbassamenti

Il cedimento verticale in corrispondenza dell'asse dei binari è prossimo ad 1.02mm pertanto non influente sulla qualità geometrica dello stesso.

10 CONCLUSIONI

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