

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



NODO DI BARI

U.O.: OPERE GEOTECNICHE

PROGETTO PRELIMINARE

NODO DI BARI

BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE

Relazione di predimensionamento delle paratie provvisorie

SCALA:

-

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

I A 7 X 0 0 R 1 1 R H G E 0 0 0 6 0 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	L. Dinelli	Luglio 2021	L. Giannini	Luglio 2021	G. Dimaggio	Luglio 2021	L. Berardi Luglio 2021



File: IA7X00R11RHGE0006002A

n. Elab.:

INDICE

1	INTRODUZIONE.....	4
2	NORMATIVA, BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO	5
2.2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....	6
3	INQUADRAMENTO GEOTECNICO E SISMICO	7
	DESCRIZIONE DELLE OPERE PROVVISIONALI	9
4	CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE	14
5	SOFTWARE UTILIZZATI.....	17
5.1	PARATIE PLUS	17
	5.1.1 Parametri di spinta del terreno.....	17
5.2	PLAXIS 2D	19
6	ANALISI DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE OPERE	20
6.1	OPERA DI SOSTEGNO PROVVISORIA DELLA ROTATORIA SP91	20
	6.1.1 Modello di calcolo	20
	6.1.2 Fasi di calcolo	20
	6.1.3 Modello geotecnico.....	21
	6.1.4 Analisi dei carichi	22
	6.1.5 Risultati delle analisi	23
	6.1.6 Conclusioni	27
6.2	PARATIA PROVVISORIALE IN CORRISPONDENZA DELLA SP210	28
	6.2.1 Modello di calcolo	28
	6.2.2 Fasi di calcolo	28
	6.2.3 Modello geotecnico.....	29
	6.2.4 Analisi dei carichi	30

6.2.5	<i>Risultati delle analisi</i>	31
6.2.6	<i>Conclusioni</i>	35
6.3	OPERE DI SOSTEGNO E INTERVENTI DI PROTEZIONE SCAVI AL KM 8+550	36
6.3.1	<i>Modello di calcolo</i>	36
6.3.2	<i>Fasi di calcolo</i>	37
6.3.3	<i>Modello geotecnico</i>	38
6.3.4	<i>Analisi dei carichi</i>	38
6.3.5	<i>Risultati delle analisi</i>	39

1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione vengono descritti i risultati dei predimensionamenti delle opere provvisionali previste nell'ambito del Progetto Preliminare della "Variante di tracciato tra Palese e Santo Spirito", parte di un più vasto complesso progettuale relativo all'evoluzione del Nodo ferroviario di Bari.

L'area interessata dal progetto ricade nella zona a nord - ovest della città di Bari, nell'area compresa tra l'aeroporto internazionale di Bari e il comune di Giovinazzo.



Figura 1-1: inquadramento planimetrico del tracciato in progetto - Google Earth.



NODO DI BARI – BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO -
PALESE

PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE PARATIE
PROVISIONALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00 R 11	RH	GE 00 06 002	A	5 di 41

2 **NORMATIVA, BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

2.1 **NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO**

- [1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30;
- [2] Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;
- [3] RFI DTC SI CS MA IFS 001 del 2021 - “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”;
- [4] UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [5] UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.



NODO DI BARI – BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO -
PALESE

PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE PARATIE
PROVISIONALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00 R 11	RH	GE 00 06 002	A	6 di 41

2.2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

- [6] ITALFERR – Progetto Preliminare – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese –
Relazione geotecnica generale (Doc. IA7X00R11GEGE0006001)
- [7] ITALFERR – Progetto Preliminare – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese –
Profilo geotecnico - tav. 1 (Doc. IA7X00R11F6GE0006001)
- [8] ITALFERR – Progetto Preliminare – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese –
Profilo geotecnico - tav. 2 (Doc. IA7X00R11F6GE0006002)
- [9] ITALFERR – Progetto Preliminare – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese –
Profilo geotecnico - tav. 3 (Doc. IA7X00R11F6GE0006003)
- [10] ITALFERR – Progetto Preliminare – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese –
Profilo geotecnico - tav. 4 (Doc. IA7X00R11F6GE0006004)
- [11] ITALFERR – Progetto Preliminare – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese –
Profilo geotecnico - tav. 5 (Doc. IA7X00R11F6GE0006005)
- [12] ITALFERR – Progetto Preliminare – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese –
Profilo geotecnico - tav. 6 (Doc. IA7X00R11F6GE0006006)
- [13] ITALFERR – Progetto Preliminare – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese –
Profilo geotecnico - tav. 7 (Doc. IA7X00R11F6GE0006007)
- [14] ITALFERR – Progetto Preliminare – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese –
GA03 – Fasi costruttive interferenza SP91 (Doc. IA7X00R10PZGA0300003)
- [15] ITALFERR – Progetto Preliminare – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese –
GA04 – Fasi costruttive interferenza SP210 Tav1 (Doc. IA7X00R10PZGA0400006)
- [16] ITALFERR – Progetto Preliminare – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese –
GA04 – Fasi costruttive interferenza SP210 Tav2 (Doc. IA7X00R10PZGA0400007)
- [17] ITALFERR – Progetto Preliminare – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese –
GA04 – Fasi costruttive interferenza rotatoria SP204 (Doc. IA7X00R10PZGA0400008)

3 INQUADRAMENTO GEOTECNICO E SISMICO

Nella tabella che segue, in accordo con quanto riportato nella Relazione geotecnica generale (doc. [6]), vengono riepilogati i valori caratteristici dei parametri geotecnici delle unità presenti lungo il tracciato.

Le verifiche effettuate in questa fase progettuale saranno svolte cautelativamente assumendo il limite inferiore del GSI attribuito alle unità geotecniche C1a/C1b/C2 e un fattore di disturbo pari a $D=0.7$.

Tabella 3-1: Parametri geotecnici caratteristici associati alle unità stratigrafiche.

Unità Geotecnica	γ	φ'	c'	GSI	σ_{ci}	m_i	E_{op}	k
	(kN/m ³)	(°)	(kPa)					
TC	19.0	28-30	0-5				10	
CAL Calt	20.0	35-37	0-10				50	1E-03 ÷ 1E-05
C1a (da inizio a 5+500 da 8+000 a fine)	24.0	*	*	30	40	9	500	1E-04 ÷ 1E-6
C1b (da 5+500 a 8+000)	24.0	*	*	20	40	9	500	1E-04 ÷ 1E-6
C2	24.0	*	*	35	70	9	1000	1E-04 ÷ 1E-6

* valutati caso per caso in funzione dello stato tensionale

Con:

γ = peso specifico;

c' = coesione

m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta;

k = permeabilità.

φ' = angolo d'attrito

GSI = Geological Strength Index;

E = rigidezza;

Nelle analisi di seguito illustrate, per la valutazione dei parametri di resistenza in termini di Mohr Coulomb (c' e φ') dell'ammasso roccioso, le singole unità geotecniche sono state suddivise in sottostrati e per ognuno di essi è stato considerato un valore di σ_{3max} determinato attraverso la relazione:

$$\sigma_{3max} = 0.72 \sigma_{cm} \left(\frac{\sigma_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.91}$$

con:

- σ_{cm} = resistenza uniassiale dell'ammasso;



NODO DI BARI – BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO -
PALESE

PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE PARATIE
PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00 R 11	RH	GE 00 06 002	A	8 di 41

- γ = peso specifico dell'ammasso;
- H = profondità della base del singolo sottostrato rispetto al piano campagna.

La faldasi trova a 0 m s.l.m., e pertanto non interferisce con le opere oggetto di predimensionamento.

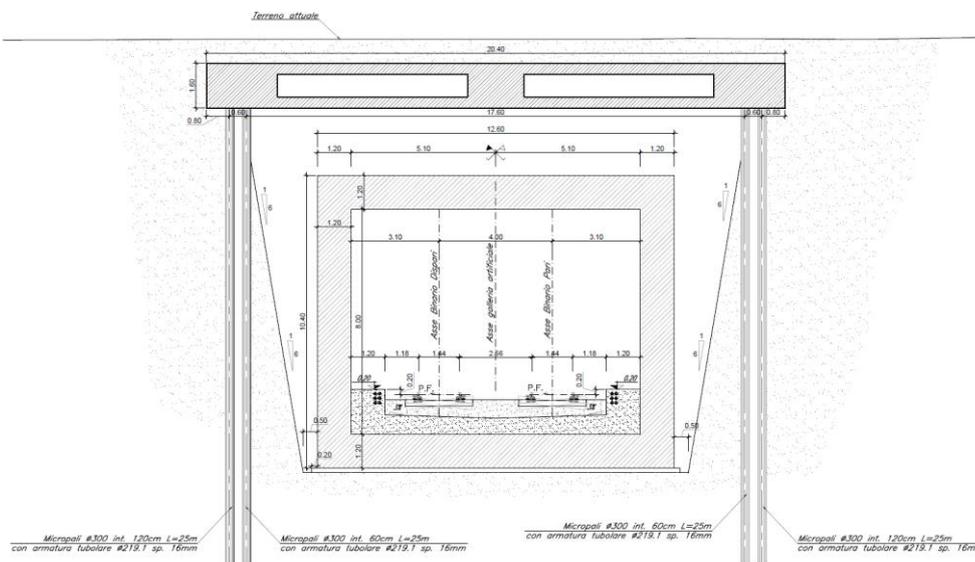
In questa relazione, concordemente con quanto previsto dalle NTC 18, non verranno svolte verifiche sismiche. Le opere in oggetto sono infatti classificabili, secondo il NTC 2008, come "Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttive", e per esse è prevista una vita nominale ≤ 10 anni. Premesso ciò e considerato che tali opere hanno una durata in progetto inferiore a 2 anni, per quanto riportato al §2.4.1-NTC 2008, le verifiche sismiche sono state omesse.

4 DESCRIZIONE DELLE OPERE PROVVISORIALI

Le opere prese in esame nelle analisi di predimensionamento sono quelle riportate nella tabella sottostante:

Opera	pk	WBS
Soletta su micropali per il sostegNo provvisorio della rotatoria SP91 per la realizzazione della galleria artificiale	5+900	GA03
Paratia provvisoria in corrispondenza della SP210	7+885	GA04
Opere di sostegno e interventi di protezione scavi al km 8+550	8+550	GA04

In corrispondenza della rotatoria della SP91 (al km 5+900 circa), al fine di limitare il più possibile ripercussioni sul traffico veicolare, gli scavi per la costruzione della galleria GA03 vengono realizzati successivamente alla realizzazione del sostegno provvisorio della viabilità. In particolare: si prevedono le seguenti fasi, come illustrato nel doc. [14].



	NODO DI BARI – BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO - PALESE PROGETTO PRELIMINARE					
RELAZIONE DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE PARATIE PROVVISORIALI	COMMESSA IA7X	LOTTO 00 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 06 002	REV. A	FOGLIO 10 di 41

Figura 4-1: Sezione trasversale

- parzializzazione del traffico, realizzazione della soletta superiore fondata su micropali (struttura con sola funzione provvisoria di sostegno della viabilità);
- ripristino della circolazione veicolare e realizzazione degli scavi al di sotto della soletta;
- realizzazione dello scatolare in c.a. della galleria;
- rinterro/riempimento con materiale proveniente dagli scavi , eseguito in parte da tubi in pvc lasciati nella soletta stradale provvisoria.

Come mostrato nella figura 4.1, l'opera provvisoria è costituita da una soletta alleggerita di spessore 160 cm fondata, su ciascun lato, su due file di micropali $\phi 300\text{mm}$, armati con tubo in acciaio $\phi 219/16\text{mm}$. Sulla fila più interna i micropali sono disposti ad un interasse di 60 cm, mentre su quella esterna ad un interasse di 120 cm..

Al km 7+885 circa, in corrispondenza dell'intersezione tra la galleria GA04 e la SP210 (doc. [15] [16],) è prevista la realizzazione di una paratia multitirantata, costituita da micropali in perforazioni di diametro 250mm, disposti ad interasse di 40cm ed armati con tubo in acciaio 168.3/10mm. Tale opera, presentando una notevole altezza, è stata cautelativamente dimensionata con con 5 ordini di tiranti, al fine di tener conto dell'eventuale presenza di zone in cui l'ammasso roccioso si presenti intensamente fratturato e/o inglobi cavità colmate da materiale coesivo di scadenti caratteristiche geotecniche, come rinvenuto in alcune situazioni. Nelle successive fasi progettuali dovranno essere condotte specifiche indagini geognostiche per definire in dettaglio le caratteristiche puntuali dell'ammasso roccioso in corrispondenza dell'opera di sostegno in esame.

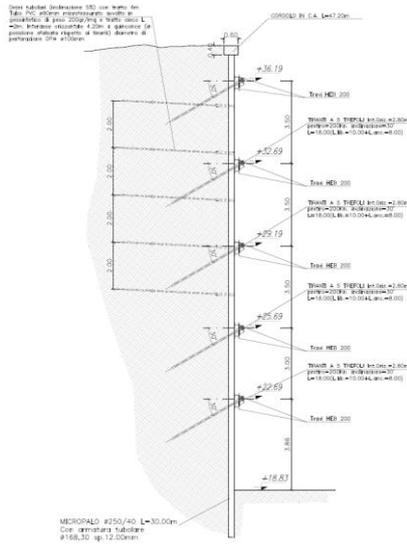


Figura 4-2: Sezione trasversale

Come illustrato nella figura seguente il sottoattraversamento della viabilità con la costruzione della GA04 viene effettuato in due fasi: la stessa paratia di micropali viene tirantata su due versi opposti, in corrispondenza delle due fasi costruttive previste.

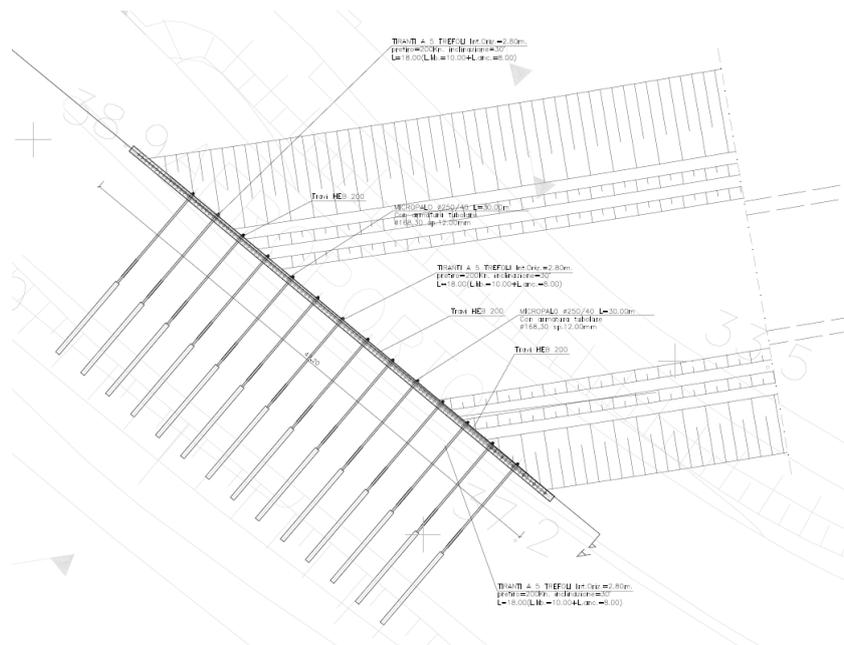


Figura 4-3: Planimetria fase 1

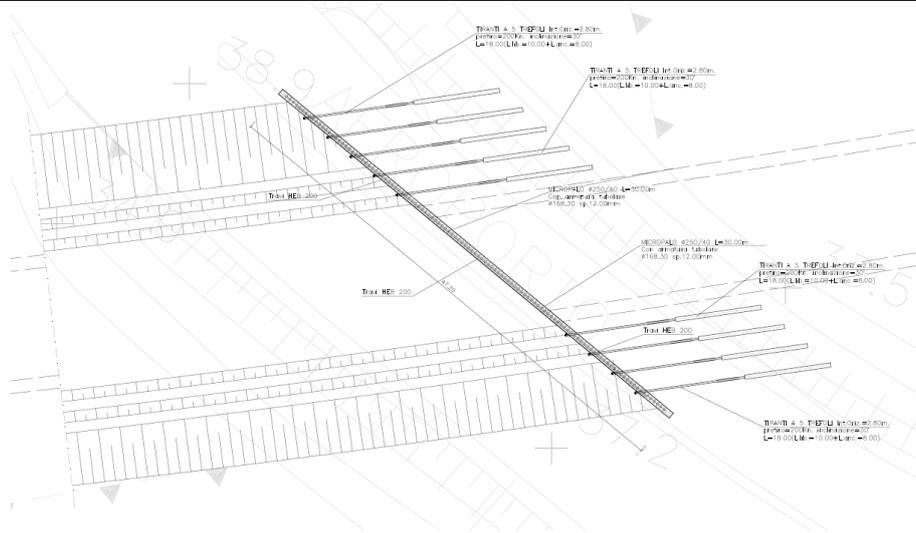
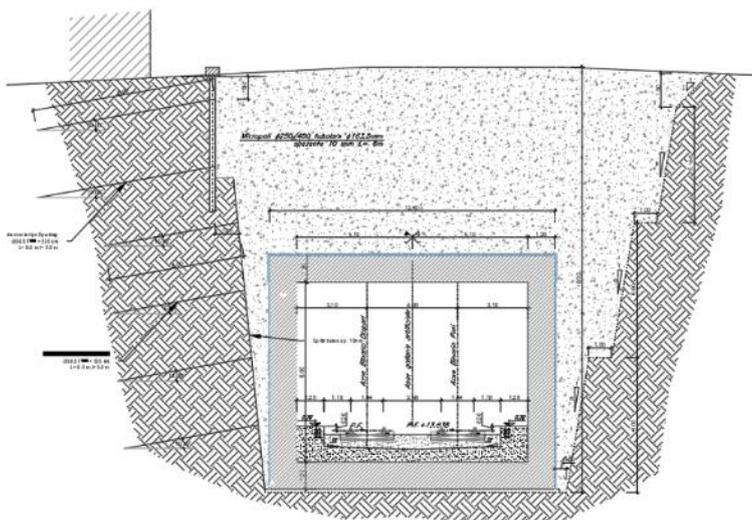


Figura 4-4: Planimetria fase 2

Alla progressiva 8+550, la presenza ad una distanza di circa 10.0 m dall'asse della galleria di un manufatto annesso ad un edificio provato di cui non è prevista la demolizione non permette l'apertura degli scavi, secondo la configurazione standard. In questo tratto, pertanto, e solo dal lato dell'edificio in questione, si prevede la realizzazione in stretta adiacenza ad esso di una paratia di micropali multitirantata. I profili di scavo nella sezione in esame prevedono la configurazione rappresentata in figura seguente.





NODO DI BARI – BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO -
PALESE

PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE PARATIE
PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00 R 11	RH	GE 00 06 002	A	13 di 41

La paratia di micropali è realizzata con perforazioni ϕ 250, disposte ad un interasse di 40cm e tubi di armatura ϕ 163.8, spessore 10 mm e lunghezza 6.0 m; sono presenti due ordini di tiranti (bulloni ϕ 26.5), rispettivamente a quota -1.0 m e -4.0 m dalla testa, inclinati di 10 ° rispetto all'orizzontale e aventi lunghezza 8.0 m e interasse 3.0 m. A partire da una profondità pari a -4.5m, lo scavo prosegue con pendenza 10:1 per un'altezza di 14.0m. Ogni 3.0 m di scavo è previsto l'inserimento di bulloni aventi le stesse caratteristiche di quelli precedenti, ma di lunghezza 6.0 m. Il fronte di scavo viene inoltre rivestito con uno strato di spritz-beton armato con r.e.s. di spessore complessivo pari a 10 cm.

5 CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE

Le analisi di verifica delle paratie devono essere effettuate secondo le NTC 2018 tenendo conto di possibili SLU di tipo geotecnico e di tipo strutturale. Nello specifico devono essere effettuate le verifiche dei seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)

- collasso per raggiungimento della resistenza del terreno con rotazione attorno ad un punto della paratia stessa;
- sfilamento della fondazione dei tiranti;

- SLU di tipo strutturale (STR)

- raggiungimento della resistenza strutturale della paratia;
- verifiche di eventuali contrasti (solette e puntoni)
- verifiche tiranti;
- verifiche travi di ripartizione.

Le verifiche per il dimensionamento strutturale vanno effettuate con la combinazione 1 (A1+M1+R1) che prevede coefficienti unitari sui parametri del terreno e sulle resistenze globali del sistema, mentre vengono amplificate le azioni permanenti e variabili con i coefficienti del gruppo A1.

Le verifiche relative al dimensionamento geotecnico vanno effettuate con la combinazione 2 (A2+M2+R1) che prevede l'amplificazione delle azioni variabili e permanenti e la riduzione dei parametri di resistenza a taglio, mentre risultano unitari i coefficienti γ_R sulla resistenza globale del terreno.

Nelle successive tabelle sono riportati i coefficienti parziali previsti dalle norme per le combinazioni di carico e per i parametri geotecnici.

Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	γ_{e1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.
⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁴⁾ 1,20 per effetti locali

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_f	1,0	1,0

Per la verifica allo sfilamento dei tiranti si è fatto riferimento ai risultati di metodi di calcolo analitici corretti in funzione del numero delle verticali di indagine esaminate.

Come metodo di calcolo si è fatto riferimento alle indicazioni di Bustamante e Doix (1985) da cui deriva:

$$(R_{a c})_{\min} = \pi \alpha D L_{\text{fondazione}} \times q_s$$

in cui:

- α = coefficiente di incremento del diametro di perforazione D dei tiranti che tiene conto della metodologia di iniezione e della natura dei terreni interessati;
- D = diametro di perforazione dei tiranti;

- $L_{fondazione}$ = lunghezza del tratto di fondazione del tirante;
- q_s = aderenza caratteristica terreno-fondazione funzione del tipo di terreno e delle sue caratteristiche meccaniche e delle modalità di iniezione.

La resistenza caratteristica R_{ak} è data dalla seguente relazione:

$$R_{ak} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{ac})_{media}}{\xi_{a3}} ; \frac{(R_{ac})_{min}}{\xi_{a4}} \right\}$$

essendo ξ_{a3} ed ξ_{a4} dei fattori di correlazione funzione del numero di verticali indagate, definiti nella tabella sottostante.

Tabella 6.6.III: Fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche, in funzione del numero n di profili di indagine.

numero di profili di indagine	1	2	3	4	≥ 5
ξ_{a3}	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60
ξ_{a4}	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55

La resistenza allo sfilamento di progetto è data dalla seguente espressione:

$$R_{a,d} = R_{ak} / \gamma_{Ra,p} \quad \text{per tiranti permanenti}$$

$$R_{a,d} = R_{ak} / \gamma_{Ra,t} \quad \text{per tiranti temporanei}$$

in cui i coefficienti parziali sono pari a:

Tabella 6.6.I – Coefficienti parziali per la resistenza di ancoraggi

	SIMBOLO	COEFFICIENTE PARZIALE
	γ_R	
Temporanei	$\gamma_{Ra,t}$	1,1
Permanenti	$\gamma_{Ra,p}$	1,2



NODO DI BARI – BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO -
PALESE

PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE PARATIE
PROVVISIONALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00 R 11	RH	GE 00 06 002	A	17 di 41

6 SOFTWARE UTILIZZATI

6.1 PARATIE PLUS

Al fine di rappresentare il comportamento delle paratie durante le varie fasi di lavoro (scavi e/o inserimento degli elementi di contrasto) è opportuno l'impiego di un metodo di calcolo iterativo atto a simulare l'interazione in fase elasto-plastica terreno-paratia.

Allo scopo, per la paratia tirantata e per quella eseguita con il metodo "cut & cover", si impiega il programma di calcolo "PARATIEPLUS" della HarpaCeas s.r.l. di Milano.

Lo studio del comportamento di un elemento di paratia inserito nel terreno viene effettuato tenendo conto della deformabilità dell'elemento stesso, considerato in regime elastico, e soggetto alle azioni derivanti dalla spinta dei terreni, dalle eventuali differenze di pressione idrostatiche, dalle spinte dovute ai sovraccarichi esterni e dalla presenza degli elementi di contrasto.

La paratia viene discretizzata con elementi finiti monodimensionali a due gradi di libertà per nodo (spostamento orizzontale e rotazione).

Il terreno viene schematizzato con delle molle secondo un modello elasto-plastico; esso reagisce elasticamente sino a valori limite dello spostamento, raggiunti i quali la reazione corrisponde, a seconda del segno dello stesso spostamento, ai valori limite della pressione attiva o passiva.

Gli spostamenti vengono computati a partire dalla situazione di spinta "a riposo".

Con tale metodo, si può quindi seguire analiticamente la successione delle fasi di costruzione, di carico e di contrasto, consentendo di fornire informazioni attendibili sull'entità delle deformazioni e sugli effetti che esse inducono sul diagramma delle pressioni esercitate dal terreno sulla paratia.

I parametri che caratterizzano il modello dunque possono essere distinti in due classi: parametri di spinta e parametri di deformabilità del terreno che compaiono nella definizione della rigidità delle molle.

6.1.1 Parametri di spinta del terreno

I parametri di spinta sono:

pressione a riposo: $P'o = K_o \cdot \sigma'v$

con: K_0 = coefficiente di spinta a riposo

$\sigma'v$ = tensione verticale efficace

pressione attiva: $P'a = K_a \cdot \sigma'v - c' \cdot K_{ac}$

con: K_a = coefficiente di spinta attiva, funzione di φ' e δ_a

$K_{ac} = 2 \cdot (K_a)^{0.5}$

δ_a = angolo di attrito terreno-paratia

pressione passiva: $P'p = K_p \cdot \sigma'v + c' \cdot K_{pc}$

con: K_p = coefficiente di spinta passiva, funzione di φ' e δ_p

$K_{pc} = 2 \cdot (K_p)^{0.5}$

δ_p = attrito terreno-paratia;

Il coefficiente di spinta a riposo è stato calcolato con la relazione di Mayne & Kulhavy:

$$k_{0,NC} = (1 - \sin \varphi')$$

Mentre i coefficienti di spinta attiva e passiva sono stati calcolati con la relazione di Lancellotta (2002) considerando un valore dell'angolo di attrito parete-terreno pari a 2/3 di φ' :

$$k_{a,p} = \left[\frac{\cos \delta}{1 \mp \sin \varphi'} \left(\cos \delta \pm \sqrt{\sin^2 \varphi' - \sin^2 \delta} \right) \right] e^{\pm 2\theta \tan \varphi'}$$

$$\theta_{p,a} = \arcsen \left(\frac{\sin \delta}{\sin \varphi'} \right) \pm \delta$$



NODO DI BARI – BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO -
PALESE

PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE PARATIE
PROVVISIONALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00 R 11	RH	GE 00 06 002	A	19 di 41

6.2 PLAXIS 2D

Nelle analisi di dimensionamento delle opere di sostegno e degli interventi di protezione degli scavi al km 8+550 è stato utilizzato il codice di calcolo agli elementi finiti Plaxis 2D.

Il Plaxis 2D (sviluppato dalla Delft University of Technology) è in grado di tenere conto del comportamento del terreno seguendo la variazione dello stato tensionale e deformativo nei vari punti dell'ammasso considerato e negli eventuali elementi strutturali collegati con i quali interagisce.

È utilizzabile per eseguire analisi di stabilità e di deformazione nell'ambito di molteplici applicazioni geotecniche. Il programma permette di simulare situazioni reali riconducibili a condizioni di deformazione piane (plane strain) o a condizioni assialsimmetriche (axisymmetric).

Plaxis consente di svolgere diversi tipi di calcolo agli elementi finiti distinguendo tra calcoli di tipo Plastico (plastic), Analisi di consolidazione (consolidation), Analisi di stabilità con il metodo della riduzione dei parametri di resistenza (phi-c reduction) e Analisi dinamiche (dynamic).

7 ANALISI DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE OPERE

7.1 OPERA DI SOSTEGNO PROVVISORIA DELLA ROTATORIA SP91

7.1.1 Modello di calcolo

Si individua la seguente sezione di studio. Ai fini dei calcoli, con riferimento a quanto riportato al § 6.5.2.2 delle NTC 2018 l'altezza di scavo è incrementata nel calcolo:

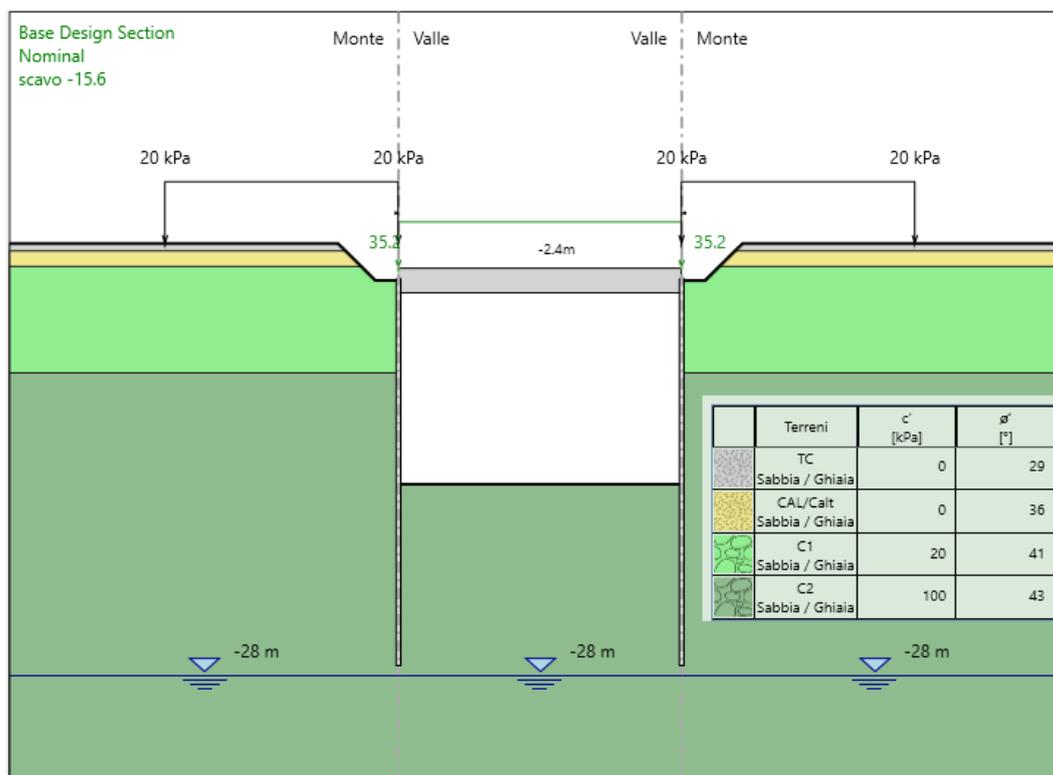
H _{scavo} (m)	H _{scavo,calc} (m)	L _{micropali} (m)	Micropali – I fila D/int (mm)	Micropali – II fila D/int (mm)	Micropali Armatura D/sp (mm)
15.10	15.60	25.0	300/600	300/1200	219.1/16

7.1.2 Fasi di calcolo

L'analisi si compone complessivamente di 6 fasi di calcolo:

1. Ricostruzione dello stato tensionale
2. Scavo di 2.4 m
3. Attivazione micropali e soletta alleggerita ($p = 30 \text{ kN/m}^2$)
4. Ricoprimento sulla soletta per un'altezza di 80 cm (carico permanente $p = 15.2 \text{ kN/m}^2$)
5. Carico stradale ($q = 20 \text{ kN/m}^2$)
6. Scavo di 15.6 m (compreso sovrascavo di calcolo da NTC2018)

Nel modello di calcolo si considera un'unica fila di micropali (in luogo delle due, aventi interassi di 60 cm e 120 cm) considerando un interasse equivalente pari a 40 cm.


Figura 7-1: Ultima fase di calcolo

7.1.3 Modello geotecnico

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella Relazione Geotecnica e nel Profilo Geotecnico, allegati al presente progetto e ai quali si rimanda per le trattazioni di dettaglio. Si riporta a seguire una tabella che riassume i parametri geotecnici caratteristici assunti nel calcolo.

Unità Geotecnica	da	a	γ	φ'	c'	E _{op}
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(°)	(kPa)	(MPa)
TC	0	-0.5	19.0	29	0	10
Calt	-0.5	-1.5	20.0	36	0	50
C1b	-1.5	-8.4	24.0	41	20	500
C2	-8.4	-	24.0	43	100	1000

 <p>ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</p>	<p>NODO DI BARI – BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO - PALESE</p> <p>PROGETTO PRELIMINARE</p>					
<p>RELAZIONE DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE PARATIE PROVVISORIALI</p>	<p>COMMESSA IA7X</p>	<p>LOTTO 00 R 11</p>	<p>CODIFICA RH</p>	<p>DOCUMENTO GE 00 06 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 22 di 41</p>

La falda si trova ad una quota di circa 0 m s.l.m. e non interferisce con le opere in progetto.

7.1.4 Analisi dei carichi

7.1.4.1 Peso proprio

Il peso proprio è calcolato in automatico dal programma di calcolo considerando i seguenti pesi dell'unità di volume: calcestruzzo $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$, acciaio $\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$

7.1.4.2 Spinta del terreno

I carichi permanenti dovuti alla spinta del terreno sono calcolati dal programma in accordo con quanto riportato nel paragrafo 6.1.1.

7.1.4.3 Carichi permanenti

Sulla soletta di copertura si considera il carico permanente dovuto al ricopimento pari a $19 \cdot 0.8 = 15.2 \text{ kN/m}^2$.

7.1.4.4 Carichi variabili

Per il carico stradale è stata considerata una pressione pari a 20 kN/m^2 .

7.1.4.5 Azione sismica

Poiché le opere in oggetto sono classificabili, secondo il NTC 2018, come "Costruzioni temporanee e provvisorie", è prevista una vita nominale ≤ 10 anni. Premesso ciò e considerato che tali opere hanno una durata in progetto inferiore a 2 anni, per quanto riportato al §2.4.1-NTC 2018, le azioni sismiche sono state omesse.

7.1.5 Risultati delle analisi

7.1.5.1 Spostamenti orizzontali SLE

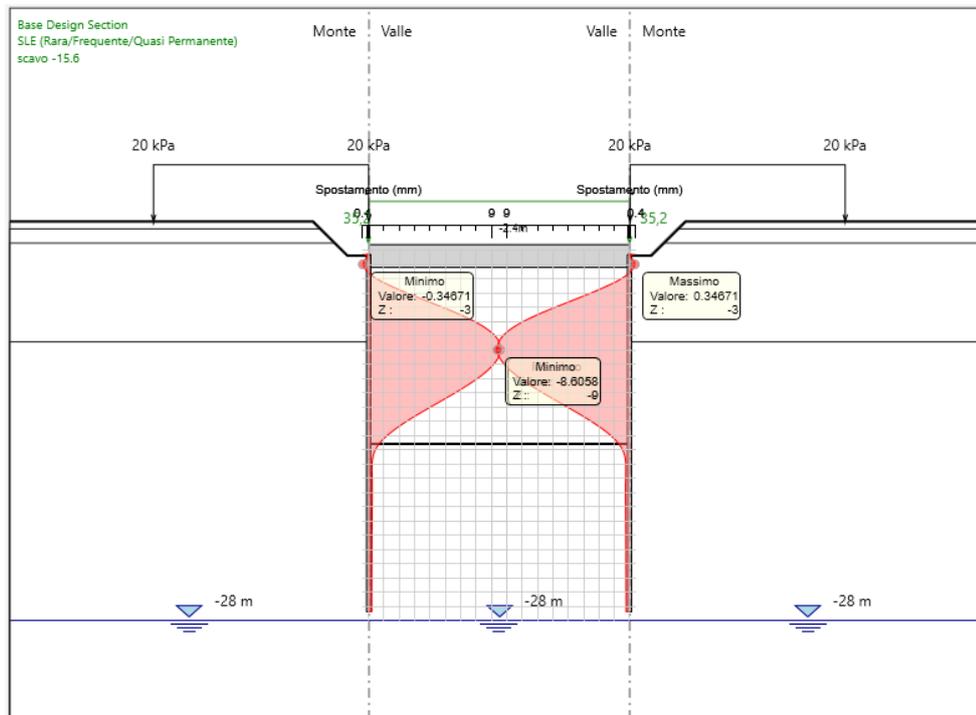


Figura 7-2: involuopo spostamenti orizzontali SLE

Il massimo spostamento orizzontale SLE è pari a 8.6 mm

7.1.5.2 Inviluppo sollecitazioni SLU - Micropali

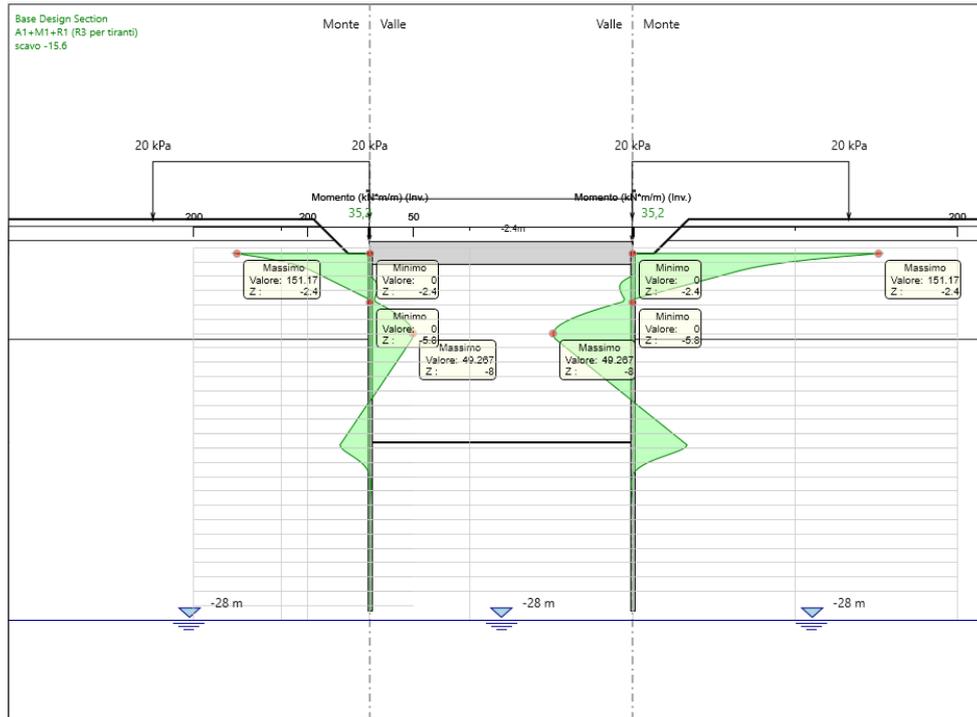


Figura 7-3: inviluppo momento flettente SLU - Micropali

Il massimo momento flettente SLU sui micropali è pari a 151.2 kNm/m.

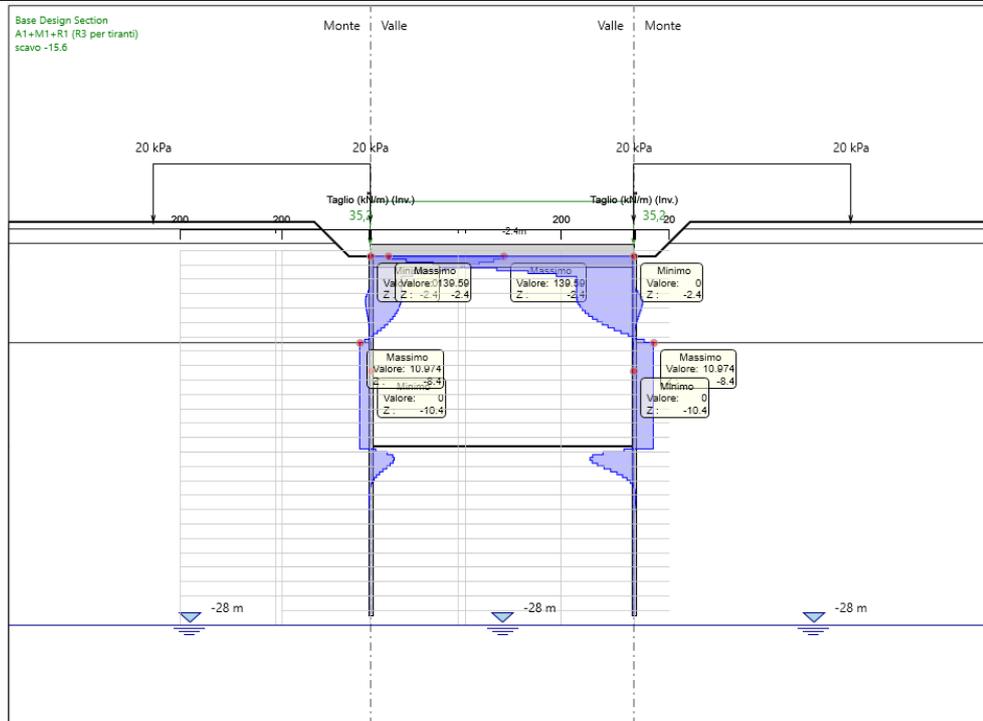
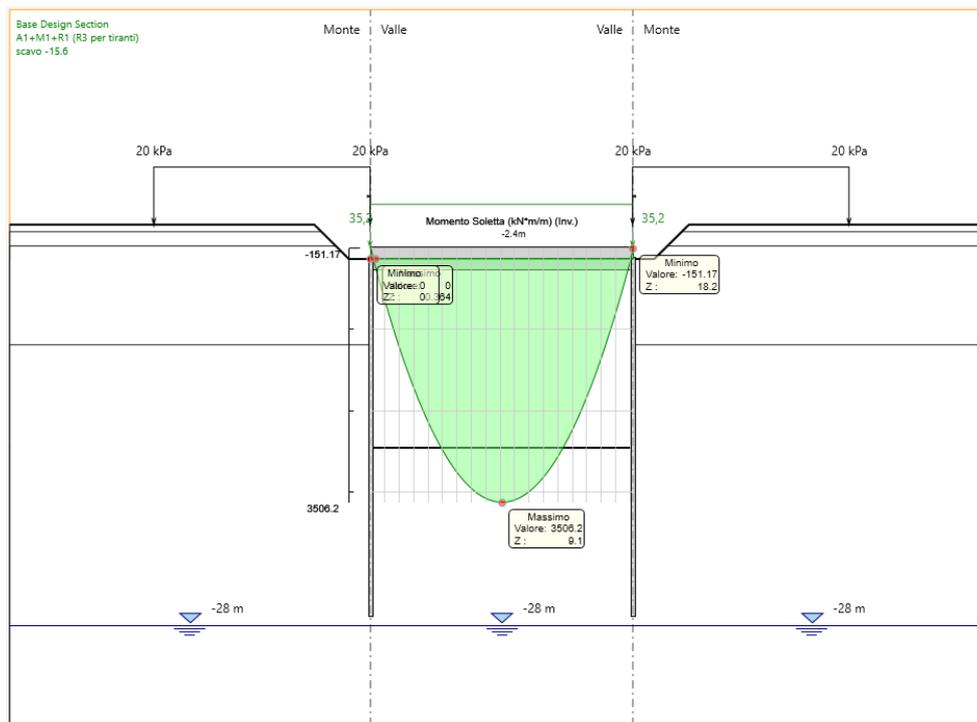


Figura 7-4: involuopo taglio SLU - Micropali

Il massimo taglio SLU sui micropali è pari a 139.6 kN/m.

7.1.5.3 Involuppo sollecitazioni SLU - Soletta

Figura 7-5: involuppo momento flettente SLU - Soletta



Il massimo momento flettente SLU sulla soletta è pari a 3506.2 kNm/m.

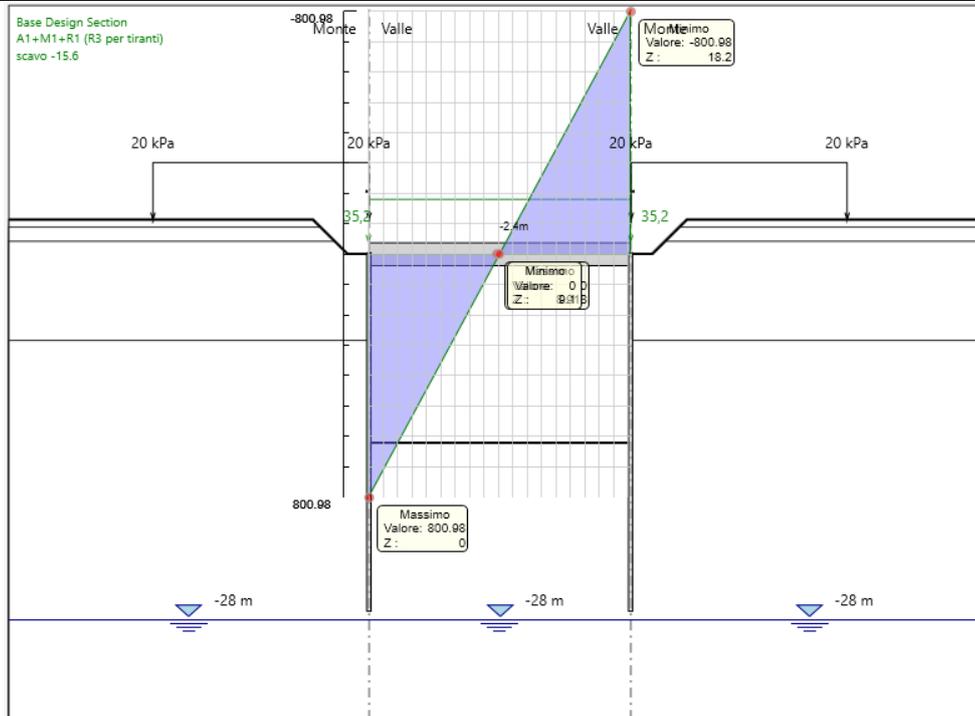


Figura 7-6: involuppo taglio SLU - Soletta

Il massimo taglio SLU sulla soletta è pari a 801 kN/m.

Lo sforzo normale di compressione agente sul singolo micropalo si ricava dal taglio massimo agente sulla soletta; considerando il passo equivalente di 40 cm, esso sarà pari a:

$$N_{Ed} = 801 \cdot 0.4 = 320.4 \text{ kN}$$

7.1.6 Conclusioni

Alla luce di quanto riportato nei paragrafi precedenti, le sollecitazioni sui micropali sono compatibili con la resistenza delle sezioni scelte; Il profilo utilizzato per il tubolare permette di scongiurare fenomeni di instabilità per carico critico. Inoltre, anche lo spessore della soletta è compatibile con le sollecitazioni derivanti dall'analisi. Gli spostamenti in esercizio sono compatibili con l'utilizzo previsto per l'opera.

7.2 PARATIA PROVVISORIALE IN CORRISPONDENZA DELLA SP210

7.2.1 Modello di calcolo

Si individua la seguente sezione di studio. Ai fini dei calcoli, con riferimento a quanto riportato al § 6.5.2.2 delle NTC 2018 l'altezza di scavo è incrementata nel calcolo:

H _{scavo} (m)	H _{scavo,calc} (m)	L _{micropali} (m)	Micropali Diametro D/int (mm)	Micropali Armatura D/sp (mm)	N° livelli tiranti	Lunghezza tiranti (m)	Interasse orizz. tiranti [m]
18.70	19.20	25.0	250/400	168.3/10	5	18.0	2.8

7.2.2 Fasi di calcolo

L'analisi si compone complessivamente di 13 fasi di calcolo:

1. Ricostruzione dello stato tensionale
2. Attivazione paratia di micropali, carichi variabili ($q=20 \text{ kN/m}^2$ carico stradale)
3. Scavo di 2.0 m
4. Inserimento 1° livello di tiranti
5. Scavo di 5.5 m
6. Inserimento 2° livello di tiranti
7. Scavo di 9.0 m
8. Inserimento 3° livello di tiranti
9. Scavo di 12.5 m
10. Inserimento 4° livello di tiranti
11. Scavo di 15.5 m
12. Inserimento 5° livello di tiranti
13. Scavo di 19.2 m (compreso sovrascavo di calcolo)

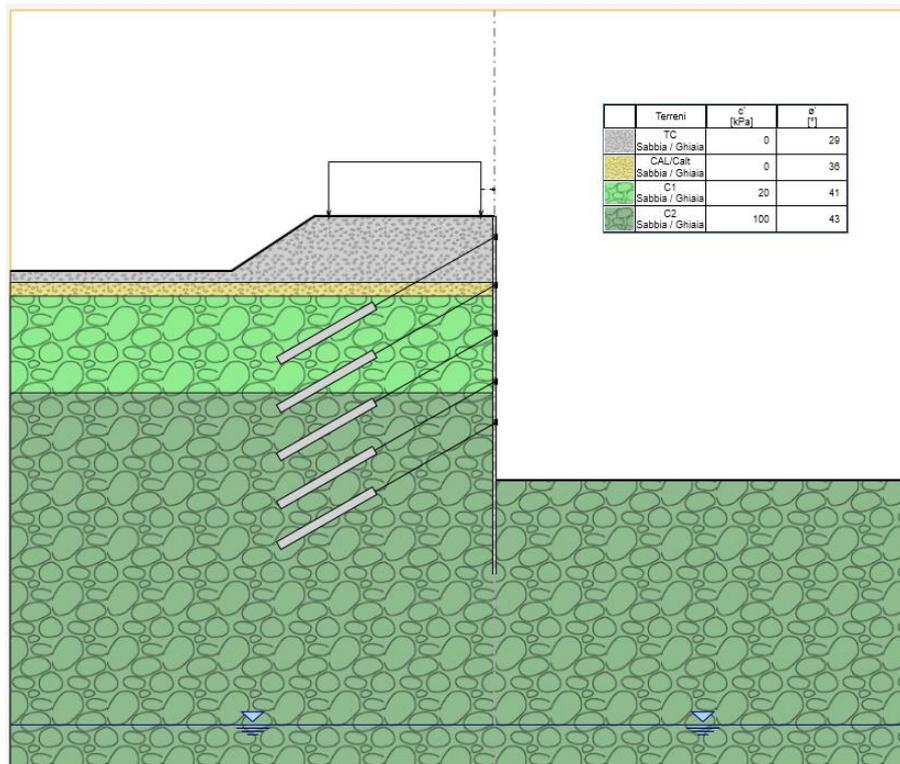


Figura 7-7: Ultima fase di calcolo

7.2.3 Modello geotecnico

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella Relazione Geotecnica e nel Profilo Geotecnico, allegati al presente progetto e ai quali si rimanda per le trattazioni di dettaglio. Si riporta a seguire una tabella che riassume i parametri geotecnici caratteristici assunti nel calcolo.

Unità Geotecnica	da	a	γ	φ'	c'	E _{op}
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(°)	(kPa)	(MPa)
TC	0	-4.8	19.0	29	0	10
Calt	-4.8	-5.8	20.0	36	0	50
C1b	-5.8	-12.8	24.0	41	20	500
C2	-12.8	-	24.0	43	100	1000



NODO DI BARI – BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO -
PALESE

PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE PARATIE
PROVVISORIALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00 R 11	RH	GE 00 06 002	A	30 di 41

La falda si trova ad una quota di circa 0 m s.l.m. e non interferisce con le opere in progetto.

7.2.4 Analisi dei carichi

7.2.4.1 Peso proprio

Il peso proprio è calcolato in automatico dal programma di calcolo considerando i seguenti pesi dell'unità di volume: calcestruzzo $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$, acciaio $\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$

7.2.4.2 Spinta del terreno

I carichi permanenti dovuti alla spinta del terreno sono calcolati dal programma in accordo con quanto riportato nel paragrafo 6.1.1.

7.2.4.3 Carichi variabili

Per il carico stradale è stata considerata una pressione pari a 20 kN/m^2 .

7.2.4.4 Azione sismica

Poiché le opere in oggetto sono classificabili, secondo il NTC 2018, come "Costruzioni temporanee e provvisorie", è prevista una vita nominale ≤ 10 anni. Premesso ciò e considerato che tali opere hanno una durata in progetto inferiore a 2 anni, per quanto riportato al §2.4.1-NTC 2018, le azioni sismiche sono state omesse.

7.2.5 Risultati delle analisi

7.2.5.1 Spostamenti orizzontali SLE

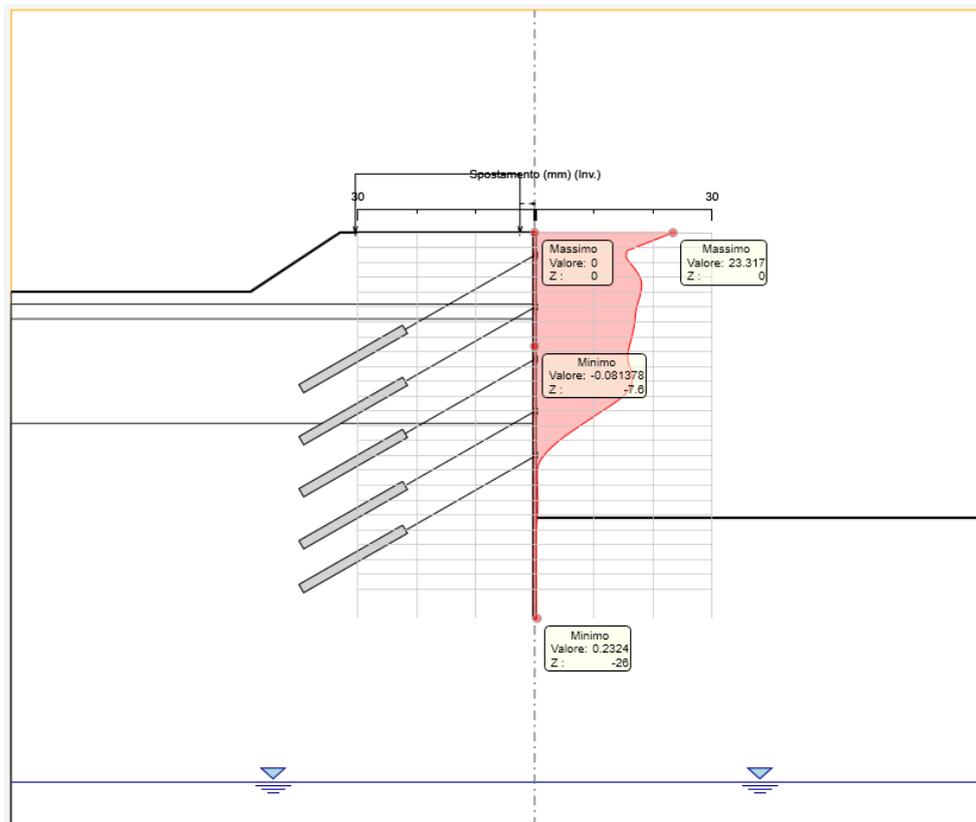


Figura 7-8: involucro spostamenti orizzontali SLE

Il massimo spostamento orizzontale SLE è pari a 23.3 mm

7.2.5.2 Involuppo sollecitazioni SLU

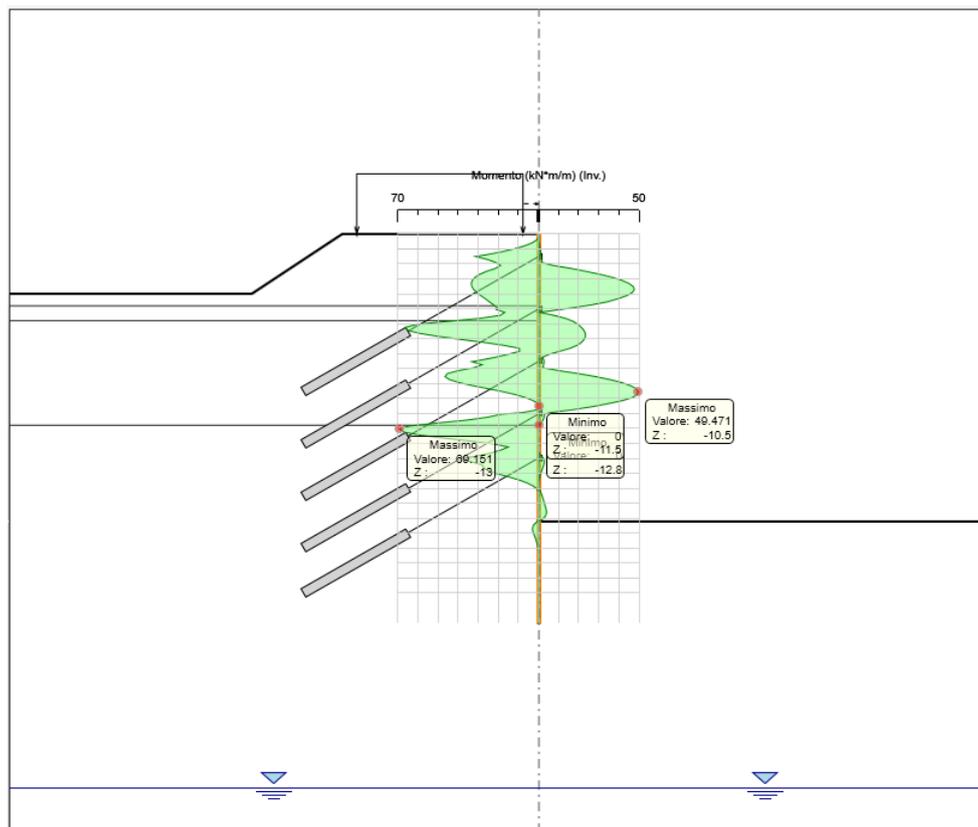


Figura 7-9: involuppo momento flettente SLU

Il massimo momento flettente SLU è pari a 69.1 kNm/m.

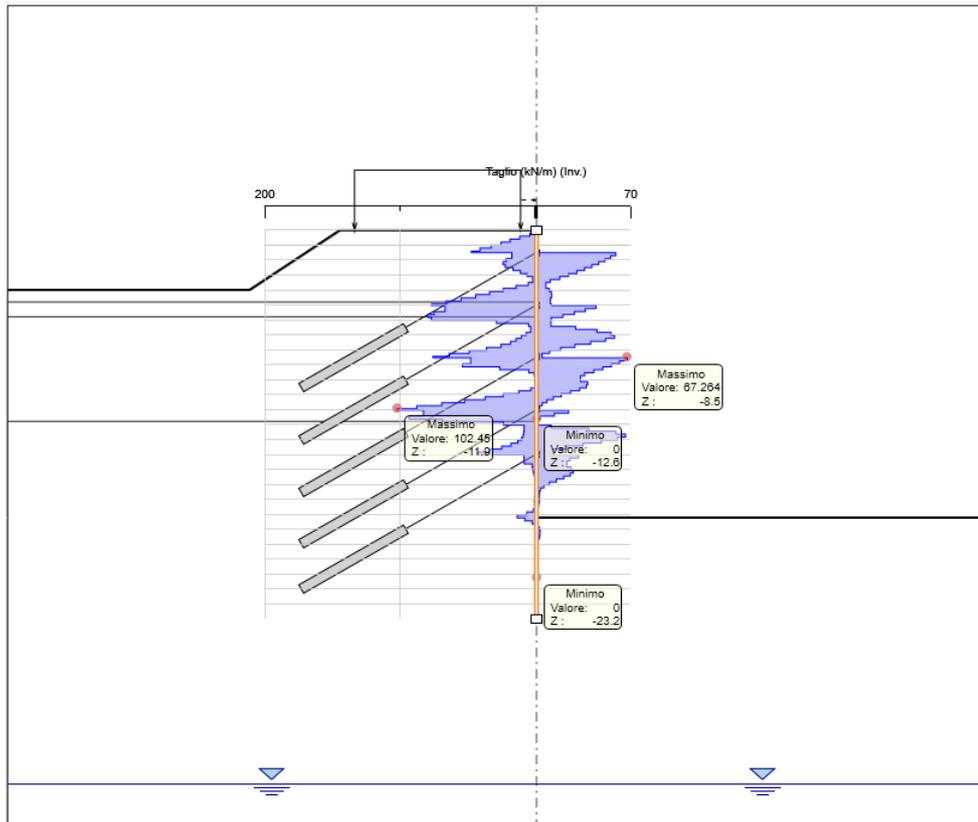


Figura 7-10: inviluppo taglio SLU

Il massimo taglio SLU è pari a 102.5 kN/m.

7.2.5.3 Inviluppo azioni sui tiranti

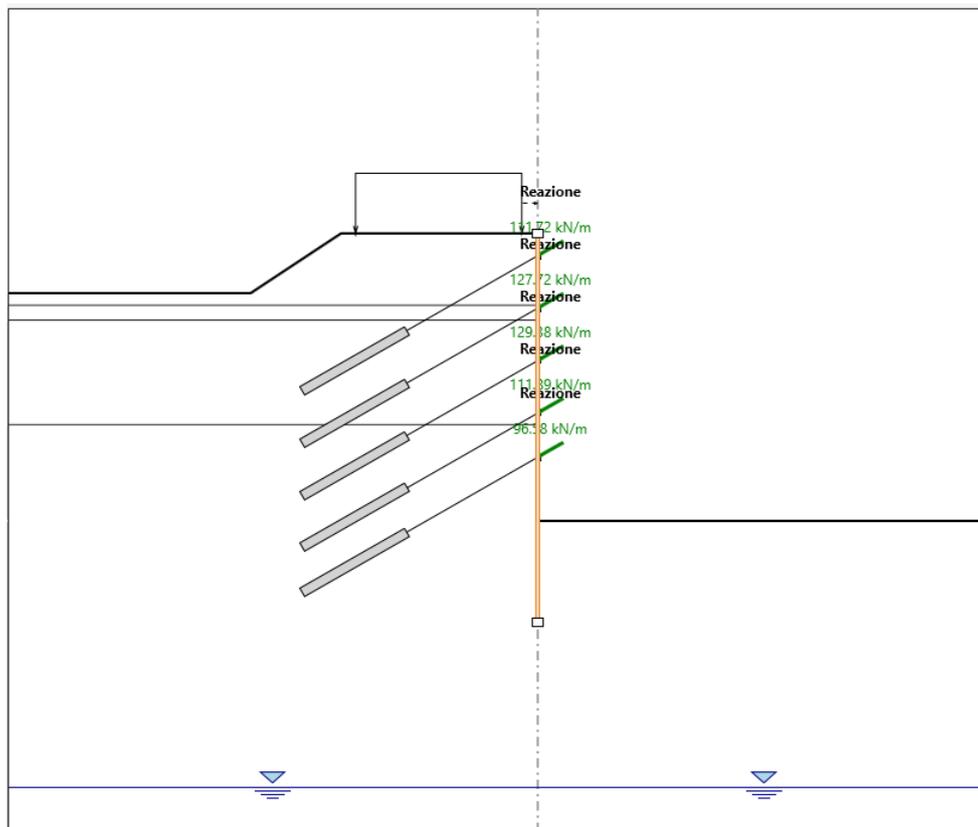


Figura 7-11: Azioni sui tiranti al metro – combinazione STR

Considerando quindi il passo orizzontale dei tiranti di 2.8 m, la massima forza di trazione sui tiranti in combinazione STR è pari a:

$$129.38 \cdot 2.8 = 362.3 \text{ kN}$$



NODO DI BARI – BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO -
PALESE

PROGETTO PRELIMINARE

RELAZIONE DI PREDIMENSIONAMENTO DELLE PARATIE
PROVISIONALI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7X	00 R 11	RH	GE 00 06 002	A	35 di 41

7.2.6 Conclusioni

Alla luce di quanto riportato nei paragrafi precedenti, le sollecitazioni sui micropali sono compatibili con la resistenza delle sezioni scelte; inoltre, anche l'armatura e la lunghezza della fondazione dei tiranti sono idonei allo sforzo massimo agenti su di essi. Gli spostamenti in esercizio sono compatibili con l'utilizzo previsto per l'opera.

7.3 OPERE DI SOSTEGNO E INTERVENTI DI PROTEZIONE SCAVI AL KM 8+550

7.3.1 Modello di calcolo

Si individua la seguente sezione di studio. Ai fini dei calcoli, con riferimento a quanto riportato al § 6.5.2.2 delle NTC 2018 l'altezza di scavo è incrementata nel calcolo:

H _{scavo} (m)	H _{scavo,calc} (m)	L _{micropali} (m)	Micropali Diametro D/int (mm)	Micropali Armatura D/sp (mm)	N° livelli bulloni	Lunghezza tiranti (m)	Interasse orizz. bulloni [m]
18.50	19.00	6.0	250/400	168.3/10	2+4	8 (primi 2) e 5 (restanti 4)	3.0

Per analizzare tale soluzione è stato effettuato un modello di calcolo agli elementi finiti con il software Plaxis 2D. A seguire si riporta un'immagine del modello di calcolo.

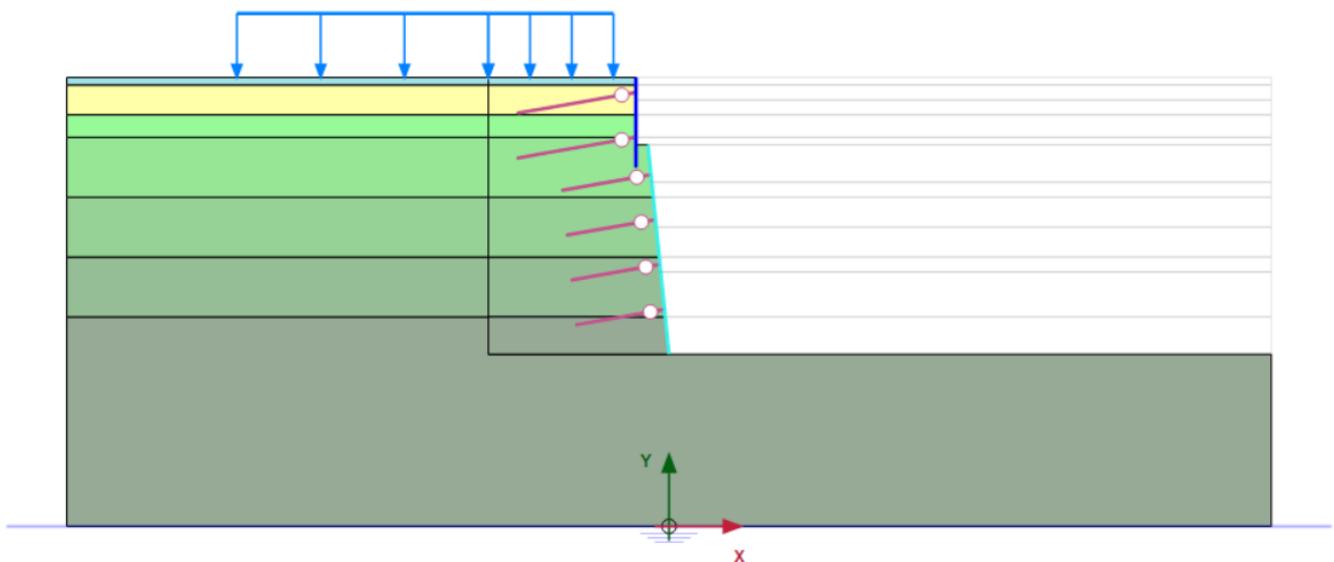


Figura 7-12: Modello di calcolo.

7.3.2 Fasi di calcolo

Nel codice di calcolo sono state implementate le seguenti fasi, che schematizzano le reali fasi costruttive:

Fase 0: geostatica;

Fase 1: simulazione edificio attraverso un sovraccarico di 15 kPa;

Fase 2: azzeramento cedimenti e realizzazione paratia;

Fase 3: scavo fino a quota -1.5m da p.c.;

Fase 4: realizzazione primo ordine di bulloni a quota -1.0 m da p.c.;

Fase 5: scavo fino a quota -4.5 m da p.c.;

Fase 6: realizzazione secondo ordine di bulloni a quota -4.0 m da p.c.;

Fase 7: scavo di 3.0 m con pendenza 10:1 fino a quota -7.0 m p.c.;

Fase 8: realizzazione bulloni e spritz-beton;

Fase 9: scavo di 3.0 m con pendenza 10:1 fino a quota -10.0 m p.c.;

Fase 10: realizzazione bulloni e spritz-beton;

Fase 11: scavo di 3.0 m con pendenza 10:1 fino a quota -13.0 m p.c.;

Fase 12: realizzazione bulloni e spritz-beton;

Fase 13: scavo di 3.0 m con pendenza 10:1 fino a quota -16.0 m p.c.;

Fase 14: realizzazione bulloni e spritz-beton;

Fase 15: scavo di 2.5 m con pendenza 10:1 fino a quota fondo scavo (-18.5 m p.c.);

Fase 16: realizzazione bulloni e spritz-beton;

Fase 17: analisi di stabilità.

7.3.3 Modello geotecnico

Il modello geotecnico di calcolo è stato definito sulla base di quanto riportato nella Relazione Geotecnica e nel Profilo Geotecnico, allegati al presente progetto e ai quali si rimanda per le trattazioni di dettaglio. Si riporta a seguire una tabella che riassume i parametri geotecnici caratteristici assunti nel calcolo.

U.G.	da (m)	a (m)	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (°)	E (MPa)
TC	0.00	-0.50	19.0	1	28	10
CAL	-0.50	-2.50	20.0	1	35	50
C1a	-2.50	-4.00	24.0	43	43	500
	-4.00	-8.00		60	43	
C2	-8.00	-12.00-	24.0	122	43	1000
	-12.00	-16.00		140	43	
	-16.00	-		148	43	

La falda si trova ad una quota di circa 0 m s.l.m. e non interferisce con le opere in progetto.

7.3.4 Analisi dei carichi

7.3.4.1 Peso proprio

Il peso proprio è calcolato in automatico dal programma di calcolo considerando i seguenti pesi dell'unità di volume: calcestruzzo $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$, acciaio $\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$

7.3.4.2 Spinta del terreno

I carichi permanenti dovuti alla spinta del terreno sono calcolati in maniera automatica dal programma

7.3.4.3 Carichi permanenti

Per tenere in conto della presenza della civile abitazione ad una distanza di 1.5 m dall'asse della paratia è stato inserito un sovraccarico permanente di 15 kPa.

7.3.4.4 Azione sismica

Poiché le opere in oggetto sono classificabili, secondo il NTC 2018, come "Costruzioni temporanee e provvisorie", è prevista una vita nominale ≤ 10 anni. Premesso ciò e considerato che tali opere hanno una durata in progetto inferiore a 2 anni, per quanto riportato al §2.4.1-NTC 2018, le azioni sismiche sono state omesse.

7.3.5 Risultati delle analisi

Di seguito si riportano i risultati delle analisi svolte.

7.3.5.1 Spostamenti

Come mostrato in Figura 7-13 la soluzione adottata permette sostanzialmente di azzerare gli spostamenti orizzontali (valore massimo di circa 3 mm) e di conseguenza i cedimenti del piano campagna garantendo pertanto la piena funzionalità dell'abitazione. I cedimenti del terreno a tergo dello scavo sono infatti dello stesso ordine di grandezza, o di poco inferiori, degli spostamenti orizzontali.

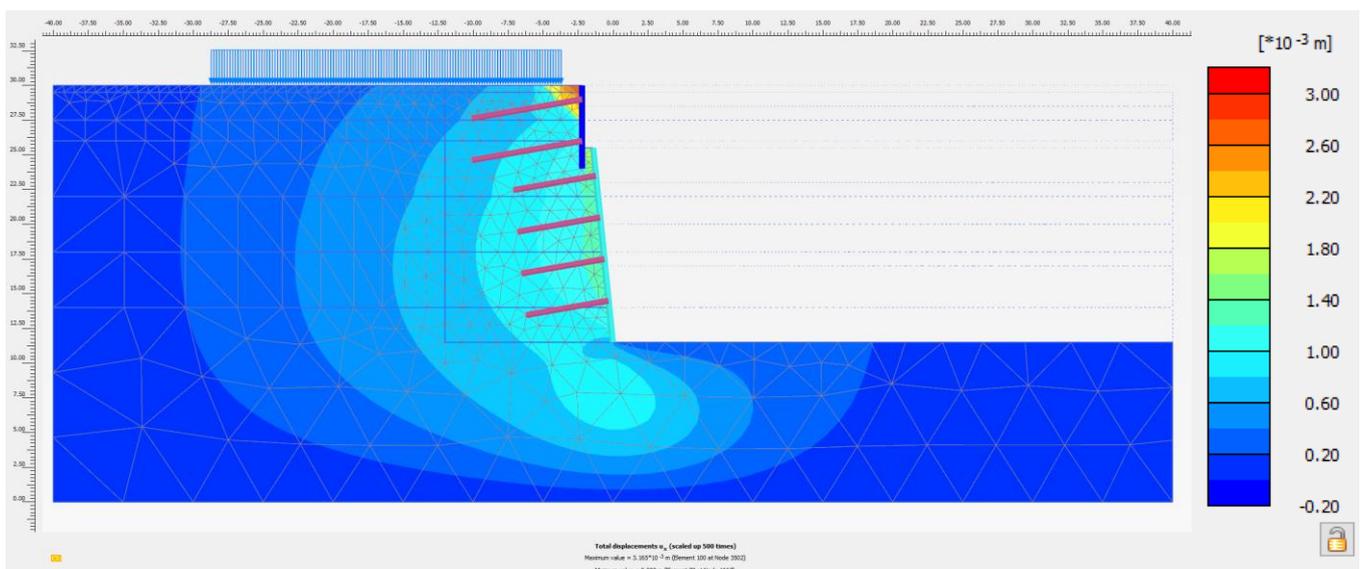


Figura 7-13: spostamenti orizzontali.

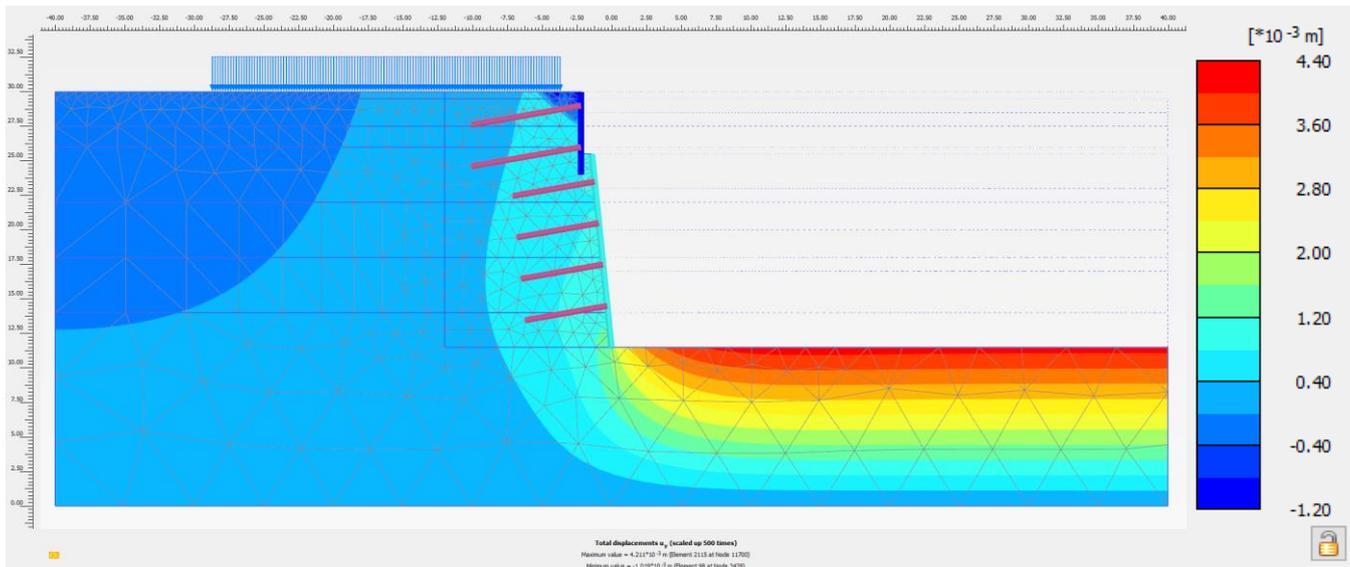
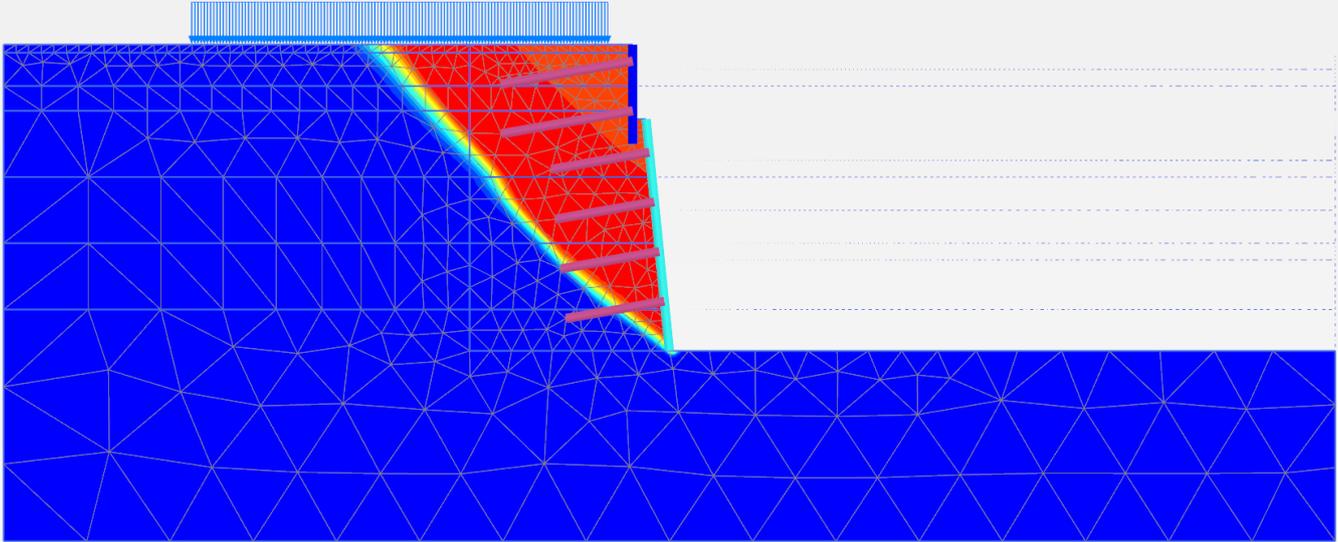


Figura 7-14: spostamenti verticali.

7.3.5.2 Stabilità

Nell'ultimo step di calcolo è stata effettuata un'analisi di stabilità disponibile in Plaxis con la tecnica phi-c reduction. I parametri di resistenza al taglio $\tan\phi$ e c' del terreno sono successivamente ridotti fino ad arrivare a rottura. Come mostrato in Figura 7-15 si ottiene un fattore di sicurezza pari a 1.537 e pertanto la stabilità risulta assicurata.



Reached values

Reached total time	0.000 day
CSP - Relative stiffness	0.1649E-3
ForceX - Reached total force X	0.000 kN
ForceY - Reached total force Y	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	0.000 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase proportion	0.000
ΣM_{weight} - Reached weight proportion	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety factor	1.537

Figura 7-15: verifica di stabilità.