

NUOVE OPERE DI REGOLAZIONE PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL LAGO D'IDRO



RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI PROGETTISTI



PROGETTO ESECUTIVO

SBOCCO

OPERE PROVVISORIALI - TRATTO CON COPERTURA

Relazione di Calcolo

Fase PE	Ambito SBO	Opera OPR	Argomento TC	Progressivo 001	Tipo elaborato RC	Revisione A
Redatto C. Bartolucci		Controllato M. Ghidoli		Approvato P. Galvanin		Scala - Data 18/10/22

 Agenzia Interregionale per il fiume Po	IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO	
	Ing. M. Vergnani	
RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE ALPINA S.p.A. Ing. Paola Erba	PROGETTAZIONE STRUTTURALE ALPINA S.p.A. Ing. Paolo Galvanin	

REV.	DATA	OGGETTO REVISIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
A	18/10/2022	Prima emissione	CBA	MGI	PGA
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE	5
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	11
2.1	Riferimenti normativi	11
2.1.1	Leggi e Decreti	11
2.1.2	Circolari Nazionali	11
2.1.3	Regolamenti Regionali	11
2.1.4	Norme Europee	11
2.2	Documenti di progetto esecutivo	12
2.3	Software di calcolo	12
3	MATERIALI	13
3.1	Strutture In Cemento Armato	13
3.1.1	Calcestruzzo	13
3.1.2	Acciaio per armatura lenta	14
3.1.3	Acciaio per carpenteria metallica	14
3.1.4	Tiranti	14
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	15
4.1	Inquadramento Generale	15
4.2	Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici	15
4.3	Livelli di falda	16
5	DEFINIZIONE DELLE AZIONI DI PROGETTO	17
5.1	Vita Nominale	17
6	DESCRIZIONE DELLE OPERE	18
6.1	Geometria delle opere e Schemi di calcolo	18
6.2	Risoluzione interferenze esistenti	20
7	CRITERI VERIFICA	21
7.1	Criteri di dimensionamento e modellazione delle opere	21
7.1.1	Analisi Statica	21
7.1.2	Criteri di modellazione	22
8	TIPOLOGIA 1: MODELLAZIONE E VERIFICA	23
8.1	Schema di calcolo ‘Sez.1’	26
8.1.1	Modellazione geotecnica	26
8.1.2	Descrizione delle fasi di calcolo	27
8.1.3	Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti	27

8.1.4	Sintesi analisi strutturale	28
8.1.4.1	Verifica strutturale micropalo SLU.....	28
8.1.4.2	Verifica strutturale trefoli tiranti SLU Comb. A1+M1+R3	29
8.1.4.3	Verifica strutturale trave di ripartizione tiranti	30
8.1.5	Verifica allo SLU di tipo GEO.....	31
8.1.5.1	Verifica della spinta a valle della paratia	31
8.1.5.2	Verifica sfilamento tirante.....	32
8.2	Schema di calcolo 'Sez.2'	34
8.2.1	Modellazione geotecnica.....	34
8.2.2	Descrizione delle fasi di calcolo	35
8.2.3	Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti	35
8.2.4	Sintesi analisi strutturale	36
8.2.4.1	Verifica strutturale micropalo SLU.....	36
8.2.4.2	Verifica strutturale trefoli tiranti SLU Comb. A1+M1+R3	37
8.2.4.3	Verifica strutturale trave di ripartizione tiranti	38
8.2.5	Verifica allo SLU di tipo GEO.....	39
8.2.5.1	Verifica della spinta a valle della paratia	39
8.2.5.2	Verifica sfilamento tirante.....	40
8.3	Schema di calcolo 'Sez.3'	42
8.3.1	Modellazione geotecnica.....	42
8.3.2	Descrizione delle fasi di calcolo	43
8.3.3	Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti	43
8.3.4	Sintesi analisi strutturale	44
8.3.4.1	Verifica strutturale micropalo SLU.....	44
8.3.4.2	Verifica strutturale trefoli tiranti SLU Comb. A1+M1+R3	45
8.3.4.3	Verifica strutturale trave di ripartizione tiranti	46
8.3.5	Verifica allo SLU di tipo GEO.....	47
8.3.5.1	Verifica della spinta a valle della paratia	47
8.3.5.2	Verifica sfilamento tirante.....	48
9	TIPOLOGIA 2: MODELLAZIONE E VERIFICA.....	50
9.1	Modellazione geotecnica	51
9.2	Descrizione delle fasi di calcolo.....	51
9.3	Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti	53
9.4	Sintesi analisi strutturale.....	53

9.4.1	Verifiche allo SLU di tipo STR	54
9.4.1.1	Verifica strutturale palo SLU di tipo STR.....	54
9.4.1.2	Verifica del tirante a cavalletto costituito dal micropalo	56
9.4.1.3	Verifica strutturale del cordolo di testa.....	57
9.5	Verifica allo SLU di tipo GEO.....	59
9.5.1	Verifica di stabilità globale.....	59
9.5.2	Verifica della spinta a valle della paratia	60

1 INTRODUZIONE

Oggetto della presente relazione è il dimensionamento a livello di progettazione esecutiva delle opere provvisorie del canale di sbocco della galleria idraulica lato Lavenone. Esse ricadono nell'ambito dei lavori delle Nuove opere di regolazione per la messa in sicurezza del lago d'idro.

Il canale di sbocco della galleria idraulica lato Lavenone prevede la realizzazione di diverse opere strutturali che si estendono tra Via Nazionale S.S. 237 ed il fiume Chiese, interferendo anche con l'esistente Via Guglielmo Marconi. La lunghezza complessiva in asse del canale che è interessato dalle opere provvisorie è approssimativamente 50m. Una vista d'insieme dell'intervento è rappresentata in Figura 1 seguente.

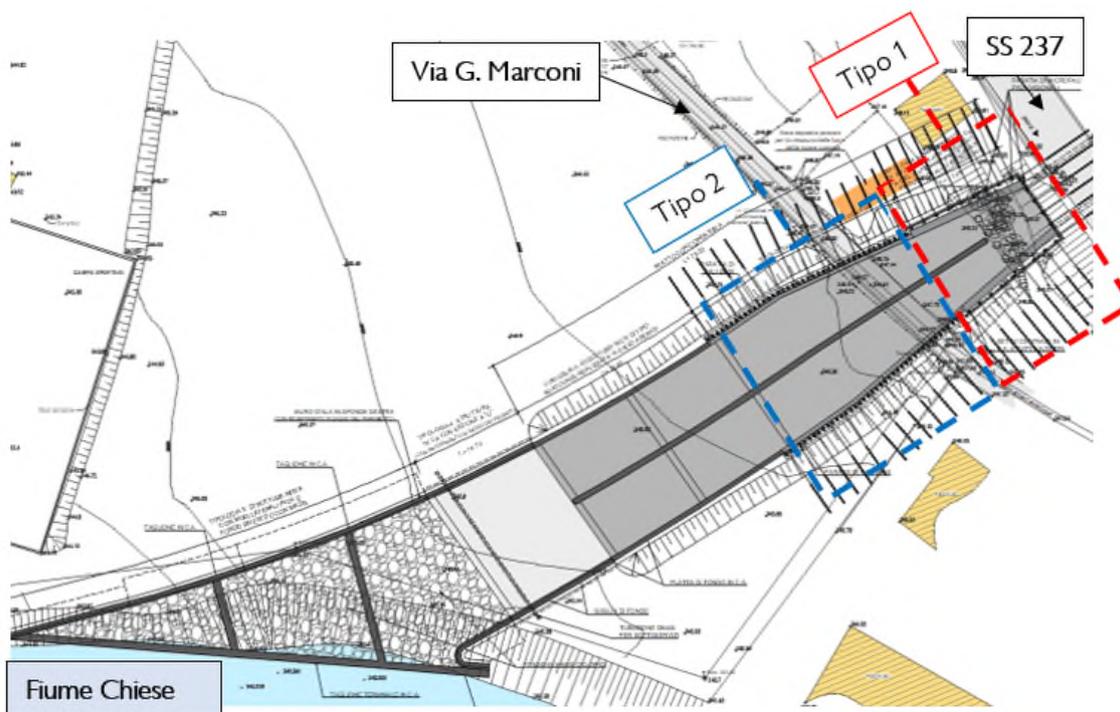


Figura 1 Planimetria di progetto opere strutturali sbocco

Come si evince dalla planimetria, si prevede la realizzazione di opere sia provvisorie che definitive. La presente relazione riporta i criteri di dimensionamento e le verifiche statiche effettuate sulle opere strutturali provvisorie che hanno lo scopo di permettere l'esecuzione delle opere strutturali definitive previste all'uscita della galleria naturale. I criteri di dimensionamento e le verifiche svolte delle opere definitive sono contenute nella relazione PE-SBO-OSD-GE-001-RC.

Le opere provvisionali previste per il canale di sbocco sono state raggruppate nelle tipologie seguenti indicate in Figura 1:

Tipologia 1: berlinese di micropali e tiranti (Figura 3):

- Berlinese L=18m:
 - o La berlinese è costituita da micropali $\varnothing 168.3$, di spessore 12.5mm, posti ad interasse 40cm. L'altezza di ritenuta varia da 9.1m ad un massimo di 12.1m. Conseguentemente, lungo lo sviluppo dell'opera sono previsti tre ordini di tiranti provvisori (posizionati nella porzione centrale della sviluppata, in maniera da evitare interferenze con l'ingombro della galleria idraulica). Il collegamento tra tiranti e berlinese è realizzato con una trave di ripartizione costituita da 2 profili HEB180. Il piano di lavoro per l'esecuzione dell'opera varia lungo lo sviluppo dell'opera stessa (da 352.80m a circa 349.80m).

- Berlinese L=15m:
 - o La berlinese è costituita da micropali $\varnothing 168.3$, di spessore 12.5mm, posti ad interasse 40cm. L'altezza di ritenuta varia da 7m ad un massimo di 9.1m. Conseguentemente, lungo lo sviluppo dell'opera sono previsti da due ordini di tiranti provvisori. Il collegamento tra tiranti e berlinese è realizzato con una trave di ripartizione costituita da 2 profili HEB180. Il piano di lavoro per l'esecuzione dell'opera varia lungo lo sviluppo dell'opera stessa (da 349.80m a circa 347.70m).

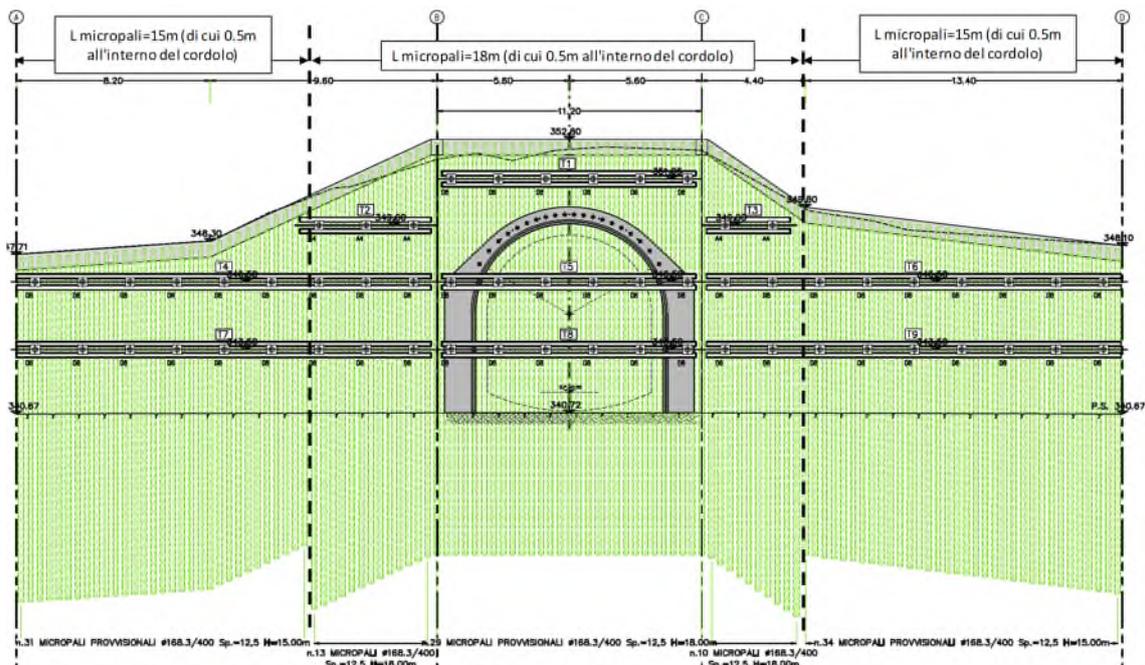


Figura 2 Sviluppata Tipologia 1- Berlinesi di micropali e tiranti

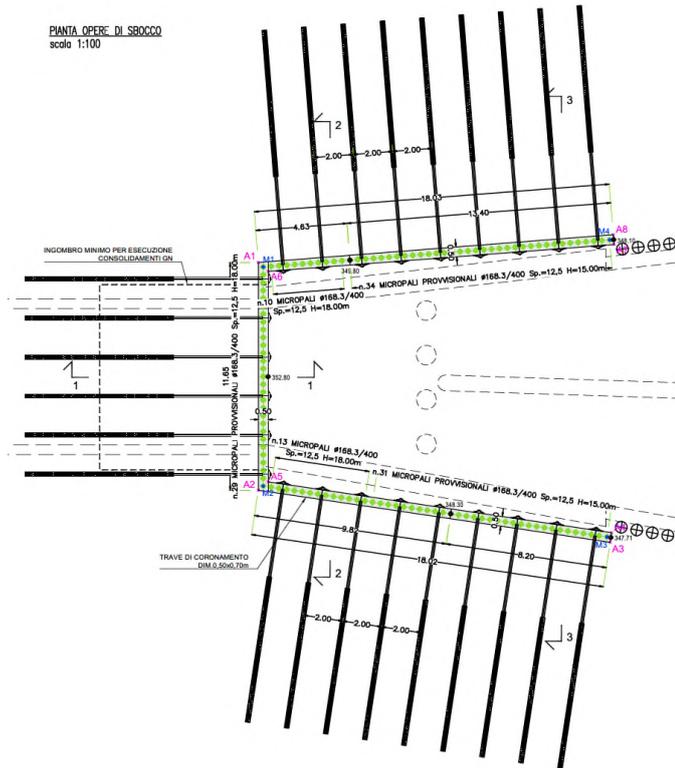


Figura 3 Planimetria Tipologia 1- Berlinesi di micropali e tiranti

Tipologia 2: berlinese di pali in c.a. a cavalletto (Figura 4):

- La berlinese è posta da entrambi i lati del canale ed è realizzata a cavalletto con pali di diametro Ø600 disposti a 0.80m uno dall'altro, di lunghezza 14.70m. I pali sono sormontati da un cordolo rettangolare di base 0.80m ed altezza 0.90m. Tale cordolo alloggia la testa dei cavalletti, i quali sono costituiti da micropali Ø139.7, spessore 16mm e lunghezza 21m.

Come si evince dalla planimetria di progetto, le operazioni di cantiere di realizzazione della berlinese e scavo del canale interferirebbero con l'esistente Via G. Marconi e sottoservizi esistenti lungo la via stessa. L'interferenza è risolta prevedendo la deviazione di Via G. Marconi al di fuori dell'area di cantiere. La deviazione è prevista in una macrofase di cantiere precedente alla realizzazione delle berlinesi.

Per quanto riguarda la risoluzione dei sottoservizi rilevati in adiacenza a Via Marconi, si rimanda alle informazioni riportate nel Par. 6.2.

SEZIONE 2-2
 scala 1:100

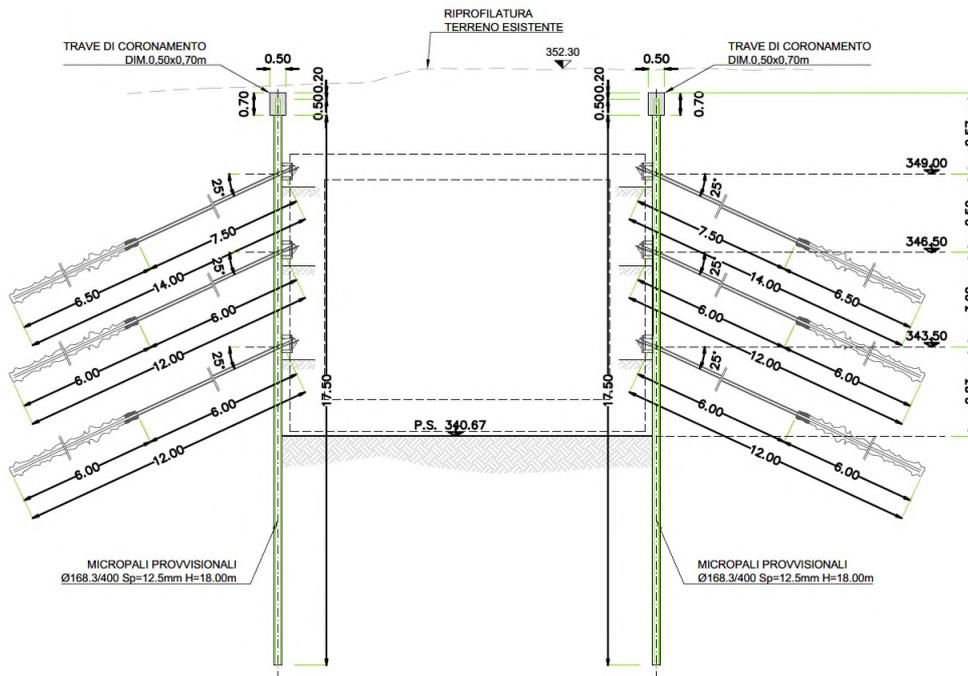


Figura 6 Sezione tipologia 'Tipo 1' – Paratia Laterale 'Sez..2-2'

SEZIONE 3-3
 scala 1:100

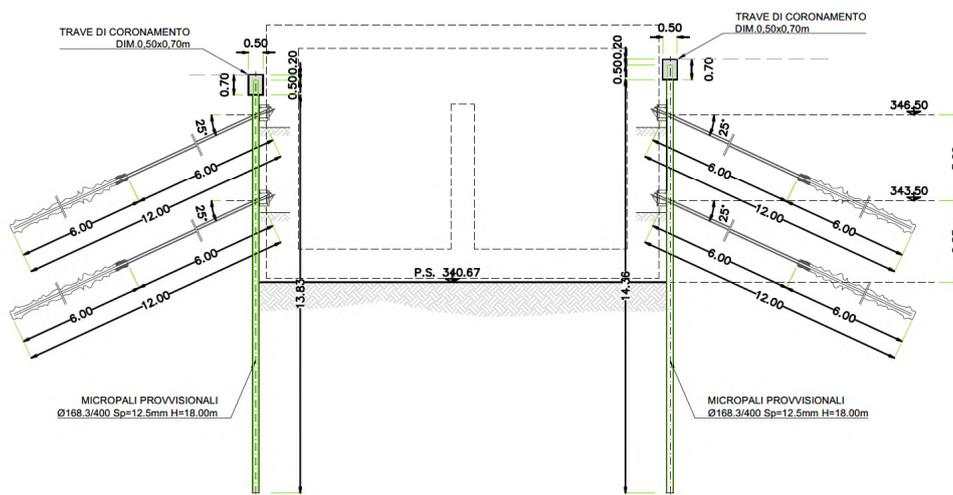


Figura 7 Sezione tipologia 'Tipo 1' - Paratia Laterale 'Sez.3-3'

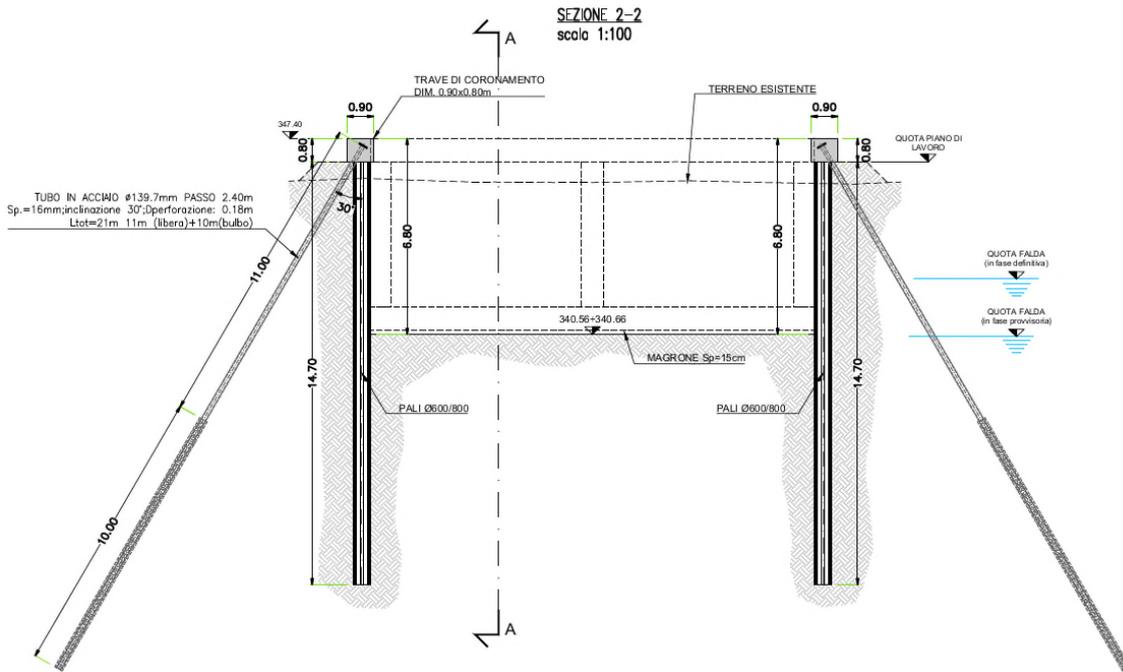


Figura 8 Sezione tipologia 'Tipo 2'

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Riferimenti normativi

2.1.1 Leggi e Decreti

- [1] Legge n.1086 del 05.11.1971
Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica. G.U. n.321 del 21.12.1971
- [2] Legge n.64 del 02.02.1974
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche. G.U. n.76 del 21.3.1974
- [3] Decreto Ministero delle Infrastrutture del 17.01.2018
Norme tecniche per le costruzioni.
- [4] Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 26.06.2014
Norme tecniche per la progettazione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse). G.U. n. 156 del 08.07.2014

2.1.2 Circolari Nazionali

- [5] Circolare del 21.01.2019 Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 7
Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

2.1.3 Regolamenti Regionali

- [6] Decreto Giunta Regionale – Regione Lombardia del 11.07.2014
Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia.

2.1.4 Norme Europee

- [7] Eurocodice 1 “Azioni sulle strutture / Parte 1-7: Azioni generali – Azioni eccezionali”
UNI EN 1991-1-7 - Settembre 2005
- [8] Eurocodice 2 “Progettazione delle strutture in calcestruzzo / Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici”
UNI EN 1992-1-1 - Novembre 2005
- [9] Eurocodice 7 (1997) – Progettazione geotecnica –Parte I: Regole Generali –
UNI EN 1997- 1 Maggio 2009
- [10] Eurocodice 8 “Progettazione delle strutture per la resistenza sismica / Parte I: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici”
UNI EN 1998-1 - Marzo 2005

- [11] Eurocodice 8 'Progettazione delle strutture per la resistenza sismica / Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici' *UNI EN 1998-5 – Gennaio 2005*
- [12] Norma UNI EN 206-1:2016 'Calcestruzzo / Parte I: Specificazione, prestazione, produzione e conformità'
- [13] Norma UNI 11104:2016 'Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206-1'

2.2 Documenti di progetto esecutivo

Di seguito si riportano gli elaborati grafici di riferimento dell'intervento in progetto a cui si rimanda per tutte le indicazioni di dettaglio.

	Opere provvisoriali	
	Tratto con copertura	
PE-SBO-OPR-TC-001-RC-A	Relazione di calcolo	-
PE-SBO-OPR-TC-002-PZ-A	Paratia di micropali - Pianta, sezioni e sviluppate	1:100
PE-SBO-OPR-TC-003-DT-A	Paratia di micropali - Particolari costruttivi	1:50 / 1:20
PE-SBO-OPR-TC-004-PZ-A	Paratia di pali - Pianta, sezioni e sviluppate	1:100
PE-SBO-OPR-TC-005-DT-A	Paratia di pali - Particolari costruttivi	1:50 / 1:20

Tabella 2-1: Elenco elaborati – Sbocco – Opere strutturali definitive

2.3 Software di calcolo

Per eseguire le analisi numeriche riportate nella presente relazione sono stati impiegati i seguenti software:

- Software di calcolo agli elementi finiti (FEM) per il calcolo delle paratie e della stabilità globale: PARATIE PLUS 2022 (Versione 22.0.8) 12 della Harpaceas
- Verifica delle Sezioni in c.a.: RC-Sec della Geostru Software di Reggio Calabria (Versione 2021.11)

3 MATERIALI

Si riporta di seguito l'elenco con le caratteristiche principali dei materiali utilizzati per il dimensionamento e le verifiche dei vari elementi strutturali.

3.1 Strutture In Cemento Armato

3.1.1 Calcestruzzo

Conglomerato per travi coronamento

Classe di resistenza	C25/30
Resistenza caratteristica cubica	$R_{ck} \geq 30\text{N/mm}^2$
Classe di esposizione	XC2
Classe di consistenza	S3
Diametro massimo dell'aggregato	25 mm
Massimo rapporto A/C	0,50
Copriferro nominale	40 mm

Conglomerato per pali

Classe di resistenza	C25/30
Resistenza caratteristica cubica	$R_{ck} \geq 30\text{N/mm}^2$
Classe di esposizione	XC2
Classe di consistenza	S4/S5
Diametro massimo dell'aggregato	32 mm
Massimo rapporto A/C	0,50
Copriferro nominale	60 mm

Malta o miscela cementizia per micropali

Classe di resistenza	C25/30
Resistenza caratteristica cubica	$R_{ck} \geq 30\text{N/mm}^2$
Classe di esposizione	XC4-XA2
Massimo rapporto A/C	0,50
Cemento tipo	42.5R

Miscela cementizia per tiranti

Classe di resistenza	C25/30
Resistenza caratteristica cubica	$R_{ck} \geq 30\text{N/mm}^2$
Classe di esposizione	XC4-XA2
Massimo rapporto A/C	0,50
Cemento tipo	42.5R

3.1.2 Acciaio per armatura lenta

Per le armature metalliche si adottano tondini in acciaio del tipo B450C saldabile, che presentano le seguenti caratteristiche:

Tipo di acciaio	B450C
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
Rapporto tensioni caratteristiche	$1,15 \leq (f_t/f_y)_k < 1,35$
Rapporto tensioni di snervamento	$(f_y/f_{y, \text{nom}})_k < 1,25$
Allungamento a carico massimo	$(A_{gt})_k \geq 7,5\%$

3.1.3 Acciaio per carpenteria metallica

Travi di ripartizione e testate tiranti

Classe	S355J2
Rottura	$f_{tk} \geq 510 \text{ MPa}$,
snervamento	$f_{yk} \geq 355 \text{ MPa}$

Tubi per micropali

Classe	S355J0H
Rottura	$f_{tk} \geq 510 \text{ MPa}$, snervamento $f_{yk} \geq 355 \text{ MPa}$

3.1.4 Tiranti

Tiranti permanenti (classe 2 di protezione) a trefoli in acciaio armonico

Perforazione	$\geq 140 \text{ mm}$
Trefoli:	Diametro nominale (pollici) 0.6" (15.24 mm) Sezione nominale: 139 mm^2
Tensione caratteristica di rottura	$f_{ptk} \geq 1860 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica all'1% di deform. tot.	$f_p(1)_k \geq 1670 \text{ N/mm}^2$

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1 Inquadramento Generale

Per un quadro completo delle condizioni geotecniche ed idrogeologiche dell'opera si rimanda ai seguenti documenti di progetto esecutivo:

- PE-000-GEO-GG-001-RH Relazione Geologica ed Idrogeologica
- PE-000-GEO-GG-002-RB Relazione di Caratterizzazione Geomeccanica
- PE-000-GEO-GG-003-RB Relazione di Caratterizzazione Geotecnica
- PE-000-GEO-SS-001-RH Relazione Sismica

4.2 Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici

Di seguito si riporta invece uno stralcio del profilo geologico del terreno interessato dall'opera ed i relativi parametri geotecnici utilizzati nel dimensionamento delle opere oggetto della presente relazione.

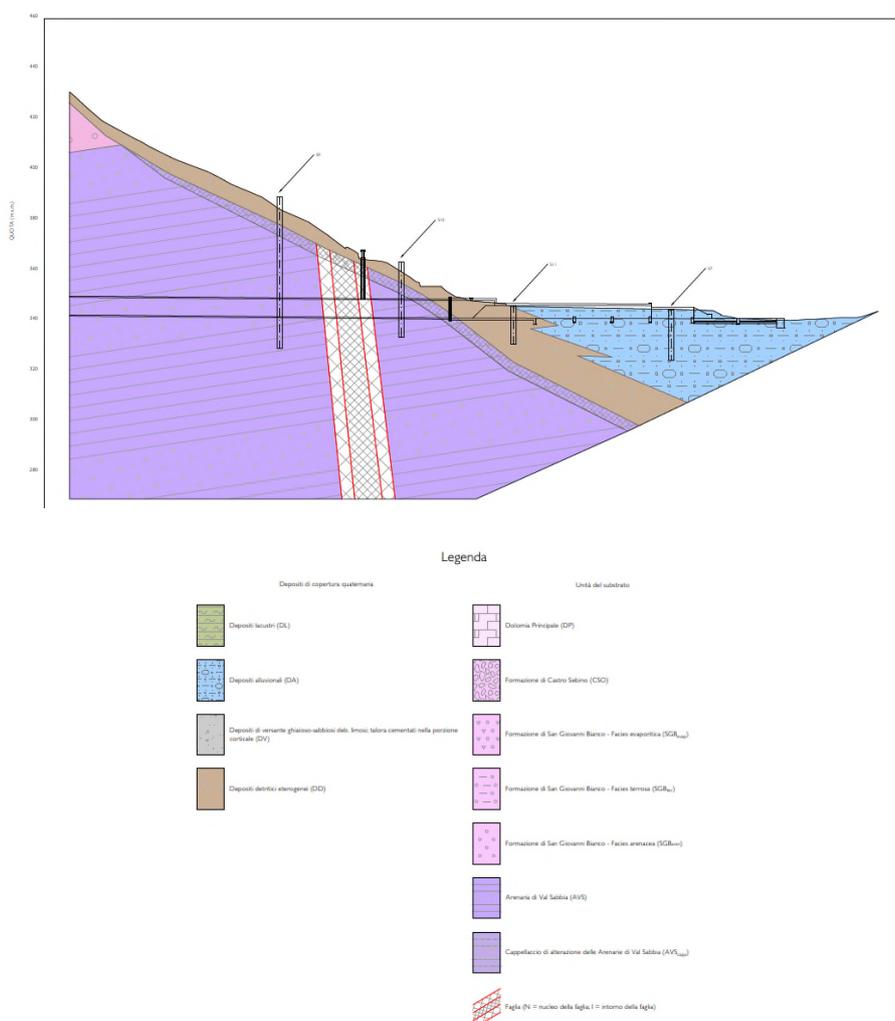


Figura 9 Profilo geologico Sbrocco

A favore di sicurezza la totalità dell'opera è stata considerata immersa nel terreno denominato “depositi alluvionali” di colore azzurro nel profilo sopra riportato. I parametri geotecnici utilizzati nei calcoli sono i seguenti:

OPERE PROVVISORIALI TIPO 1 Stratigrafia			Profondità		Parametri caratteristici			
			da [m]	a [m]	γ_n [kN/m ³]	ϕ [°]	c' [kPa]	E25 (operativo) [MPa]
Strato 1	DdV	Detriti di versante	0	5	19	36	0	25
Strato 2	C	Cappellaccio	5	9	20	49	50	80
Strato 3	AVS	AVS	9	>	20	54	115	125

Tabella 4-1 Opere provvisoriali Tipo 1 - Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici

OPERE PROVVISORIALI TIPO 2 Stratigrafia			Profondità		Parametri caratteristici			
			da [m]	a [m]	γ_n [kN/m ³]	ϕ [°]	c' [kPa]	E25 (operativo) [MPa]
Strato 1	Dall	Depositi alluvionali	0	8	19	36	0	30
Strato 2	Ddv	Detriti di versante	8	>	19	39	0	40

Tabella 4-2 Opere provvisoriali Tipo 2 - Stratigrafia e parametri geotecnici caratteristici

4.3 Livelli di falda

Nell'area del canale di sbocco della galleria idraulica la quota di falda è fissata dal livello del fiume Chiese esistente, assunta a quota 340.5. Come si evince dagli elaborati di progetto, tale quota è inferiore o coincidente con la quota di fondo scavo delle opere provvisoriali in esame.

5 DEFINIZIONE DELLE AZIONI DI PROGETTO

Si riportano di seguito le caratteristiche dell'opera strutturale secondo quanto esposto nelle "Norme tecniche per le costruzioni" – D.M. 17/01/2018 (NTC 2008) [3], e in accordo con lo specifico D.M. 26/06/2014 – "Norme tecniche per la progettazione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)" [4].

5.1 Vita Nominale

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

TIPI DI COSTRUZIONE	V_N (anni)
1 - Opere provvisorie	≤ 10
2 - Opere ordinarie	≥ 50
3 - Grandi opere	≥ 100

Tabella 5-1 Tipo e vita nominale V_N dell'opera

Nel caso in esame si è fatto riferimento al tipo 3 – Grandi opere - con vita nominale pari a $V_N = 100$ anni. Ai sensi del paragrafo 2.4.I delle NTC2018, la verifica sismica può essere omessa in quanto il tempo di realizzazione previsto per le opere provvisoriali in esame è inferiore a 2 anni.

6 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Le opere in oggetto sono costituite da paratie provvisoriali descritte di seguito.

6.1 Geometria delle opere e Schemi di calcolo

Come brevemente accennato nel §0, il canale di sbocco della galleria idraulica è costituita da una struttura scatolare in c.a. definitiva di lunghezza complessiva di circa 140m.

Le opere provvisoriali previste si estendono dalla sezione di uscita della galleria idraulica posta poco oltre Via Nazionale SS237 a Via Guglielmo Marconi per una lunghezza complessiva di circa 50m. Lungo tale tratto, il canale è costituito da una struttura in c.a. scatolare di luce interna variabile tra 7.0m e 18.5m circa.

Per i primi 18m dalla sezione di uscita della galleria idraulica, il sostegno allo scavo dello scatolare è garantito da berlinesi costituite da micropali Ø168.3, spessore 12.5mm e lunghezza 18m (per la porzione frontale alla galleria idraulica) e di lunghezza 15m per le aree laterali. Le paratie sopra descritte sono definite nel seguito come 'Tipologia 1', dimensionate e verificate nel paragrafo §8.

Proseguendo verso il fiume Chiese, lo scavo per la realizzazione del canale è sostenuto da entrambi i lati da paratie di pali a cavalletto di diametro Ø600 disposti a 0.80m uno dall'altro, di lunghezza 14.70m. I pali sono sormontati da un cordolo rettangolare di base 0.80m ed altezza 0.90m posto a quota +347.40. Tale cordolo alloggia la testa dei cavalletti, i quali sono costituiti da micropali Ø139.7, spessore 16mm e lunghezza 21m. I micropali sono inclinati di 30° sulla verticale e realizzati con perforazioni di diametro ≥ 180 mm. Il necessario attrito tubolare del micropalo -terreno è realizzato con iniezioni a gravità di malta cementizia. La quota di fondo scavo prevista in tale tratto è variabile tra 340.56 e 340.66m s.l.m., 6.8m circa al di sotto dalla testa del cordolo. Per il dimensionamento delle contropareti interne dello scatolare si è tenuto conto delle tolleranze esecutive dei pali assunto pari a 10cm.

La Tabella 6-1 dettaglia gli schemi di calcolo utilizzati riassumendone le caratteristiche principali. Le figure seguenti riportano un estratto del profilo longitudinale del canale di sbocco (Figura 10).

Tabella 6-1 Caratteristiche principali schemi di calcolo

Schema di calcolo	Tipologia struttura	Sezione di calcolo	Geometria Berlinese	Profondità massima scavo
Tipologia 1	Berlinese con tirante frontale	1-1	Micropali Ø168.3 sp 12.5mm L=18m 3 ordini di tiranti a 4 trefoli (0.6")	12.1m
	Berlinese con tirante laterale	2-2	Micropali Ø168.3 sp 12.5mm L=18m 3 ordini di tiranti a 4 trefoli (0.6")	12.1m
	Berlinese con tirante laterale	3-3	Micropali Ø168.3 sp 12.5mm L=15m 2 ordini di tiranti a 4 trefoli (0.6")	9.1m
Tipologia 2	Berlinese di pali a cavalletto	Tipologia 2	Pali in c.a. Ø600/0.80m, L=14.70m Tubolare cavalletto Ø139.7 sp.16mm/2.40m L=21m	6.80m

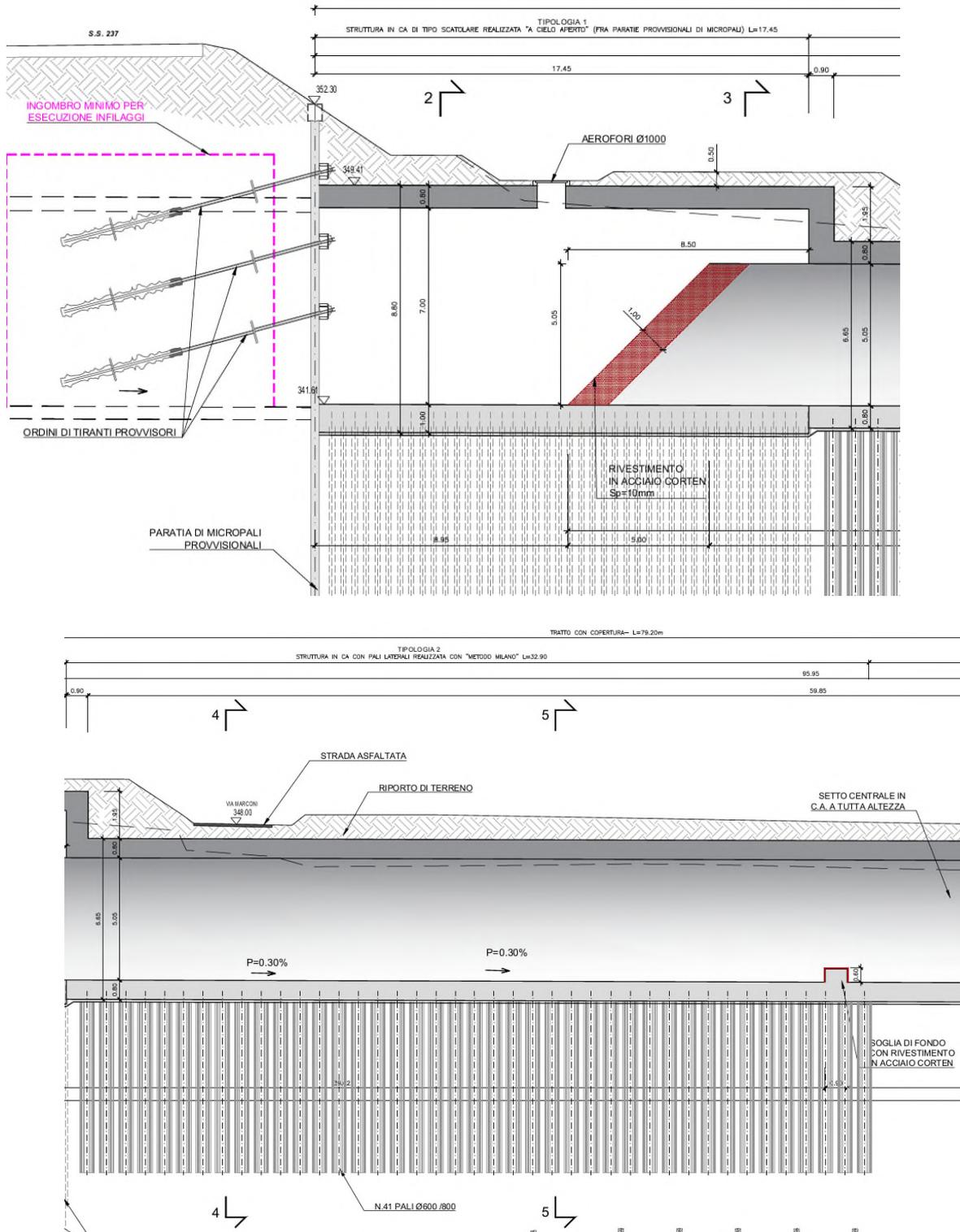


Figura 10 Estratti dal profilo longitudinale del canale (elab. PE-SBO-OSD-GE-005-PZ)

6.2 Risoluzione interferenze esistenti

La 'Tipologia 2' di paratia provvisoria descritta nel paragrafo 6.1 interferisce con l'esistente Via Marconi. In adiacenza a quest'ultima sono stati rilevati anche importanti sottoservizi che interferiscono con le paratie stesse. L'analisi delle interferenze tra le operazioni di cantiere previste per la zona di sbocco ed i sottoservizi esistenti è trattata nei documenti di Progetto Esecutivo seguenti ai quali si rimanda:

Interferenze sottoservizi	
PE-000-ISS-GE-001-RT-A	Relazione tecnica
PE-000-ISS-GE-003-PL-A	Planimetria interferenze zona di sbocco
PE-000-ISS-GE-006-PZ-A	Monografie risoluzione interferenze
PE-000-ISS-GE-007-PZ-A	Risoluzione interferenza metanodotto AP
PE-000-ISS-GE-008-PZ-A	Progetto esecutivo del metanodotto esistente

Tabella 6-2 Elenco elaborati Interferenze Sottoservizi

Dalle analisi effettuate risulta che l'area di sbocco della galleria interferisce con seguenti i sottoservizi:

- Rete di Telecomunicazione, n.2 cavi in rame interrati, cavo in fibra ottica e palo (Telecom);
- Linea di acquedotto PE90 (A2A Ciclo Idrico);
- Condotta gas a bassa pressione DN80 (A2A Retragas)
- Condotta gas ad alta pressione DN300 (A2A Retragas)
- Condotta di acque nere e di un pozzetto di ispezione (A2A Ciclo Idrico)
- Cavo corrente elettrica interrato a bassa tensione (A2A Reti Elettriche);
- N.1 palo di illuminazione pubblica.

La risoluzione delle interferenze con i sottoservizi sopra elencati avviene realizzando un ponte in acciaio provvisorio avente sezione tale da alloggiare i sottoservizi interessati dalle deviazioni. Tale ponte sarà posizionato a valle verso il fiume Chiese in modo tale da non interferire con le aree di scavo interessate dalle lavorazioni delle opere di sostegno provvisorie sopra descritte. Per maggiori informazioni, si rimanda agli elaborati specifici di Tabella 6-2.

7 CRITERI VERIFICA

Le analisi di calcolo applicate per il dimensionamento degli elementi costituenti il canale di sbocco si basano sui criteri sia di tipo statico che dinamico. Si riporta di seguito le caratteristiche dei metodi adottati per la determinazione delle sollecitazioni e le relative verifiche.

7.1 Criteri di dimensionamento e modellazione delle opere

7.1.1 Analisi Statica

La schematizzazione di calcolo delle strutture progettate, il calcolo dei parametri di sollecitazione e la valutazione delle tensioni e delle deformazioni, allo scopo di ottenere la garanzia di una sicurezza permanente e uniforme dell'opera, sono stati effettuati secondo i metodi della scienza delle costruzioni e della teoria dell'elasticità. Si sono analizzate le combinazioni più sfavorevoli delle condizioni elementari di carico al fine di individuare i valori massimi e minimi delle sollecitazioni cercate.

Il calcolo è stato eseguito in conformità alla vigente normativa tecnica e più precisamente alle già citate "Norme tecniche per le costruzioni" – D.M. 17/01/2018 (G.U. n.29 del 04/02/2008), ricorrendo al metodo degli Stati Limite.

7.1.1.1.1 Combinazione statica SLU

Le combinazioni adottate per le verifiche statiche allo stato limite ultimo sono:

Combinazione fondamentale

$$F_d = \sum_{i=1}^{ng} \gamma_{gi} \cdot G_{ki} + \gamma_{q1} \cdot Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \gamma_{qi} \cdot \psi_{0i} \cdot Q_{ik}$$

Combinazione eccezionale

$$F_d = A_d + \sum_{i=1}^{ng} G_{ki} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{2i} \cdot Q_{ik}$$

dove:

- G_{ki} è il valore caratteristico delle azioni permanenti
- A_d è il valore caratteristico dell'azione eccezionale
- Q_{1k} è il valore caratteristico di una delle azioni variabili
- Q_{ik} è il valore caratteristico delle altre azioni variabili
- γ_g coefficiente parziale per la i-esima azione permanente
- γ_q coefficiente parziale per la i-esima azione variabile
- ψ_{0i} coefficiente di combinazione
- ψ_{2i} coefficiente di combinazione per azioni eccezionali

Nelle verifiche nei confronti degli stati limite ultimi strutturali (STR) e geotecnici (GEO), si adotta come criterio progettuale l'Approccio 2.

In questo principio si impiega un'unica combinazione dei gruppi di coefficienti parziali, definiti per le Azioni (A), per la resistenza dei materiali (M) e, eventualmente, per la resistenza globale (R). In tale approccio, per le azioni si impiegano i coefficienti γ_f riportati nella colonna A1 di tabella 5.2.

Tab. 2.6.1 – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_f			
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Q1}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Tabella 7-1 Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

7.1.1.1.2 Combinazione statica SLE

Le combinazioni per le verifiche statiche allo stato limite di esercizio sono:

Combinazione rara

$$F_d = \sum_{i=1}^{ng} G_{ki} + Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{0i} \cdot Q_{ik}$$

Combinazione frequente

$$F_d = \sum_{i=1}^{ng} G_{ki} + \psi_{1i} \cdot Q_{1k} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{2i} \cdot Q_{ik}$$

Combinazione quasi permanente

$$F_d = \sum_{i=1}^{ng} G_{ki} + \sum_{i=2}^{nq} \psi_{2i} \cdot Q_{ik}$$

dove:

- G_{ki} è il valore caratteristico delle azioni permanenti
- Q_{1k} è il valore caratteristico di una delle azioni variabili
- Q_{ik} è il valore caratteristico delle altre azioni variabili
- ψ_{0i} coefficiente di combinazione per azioni rare
- ψ_{1i} coefficiente di combinazione per azioni frequenti
- ψ_{2i} coefficiente di combinazione per azioni quasi permanenti

7.1.2 Criteri di modellazione

La modellazione è stata condotta con specifici modelli di calcolo agli elementi finiti rappresentativi degli schemi di calcolo definiti in Tabella 6-1.

8 TIPOLOGIA 1: MODELLAZIONE E VERIFICA

Si riportano lo stralcio planimetrico dell'opera con le relative sezioni di calcolo (Figura 11):

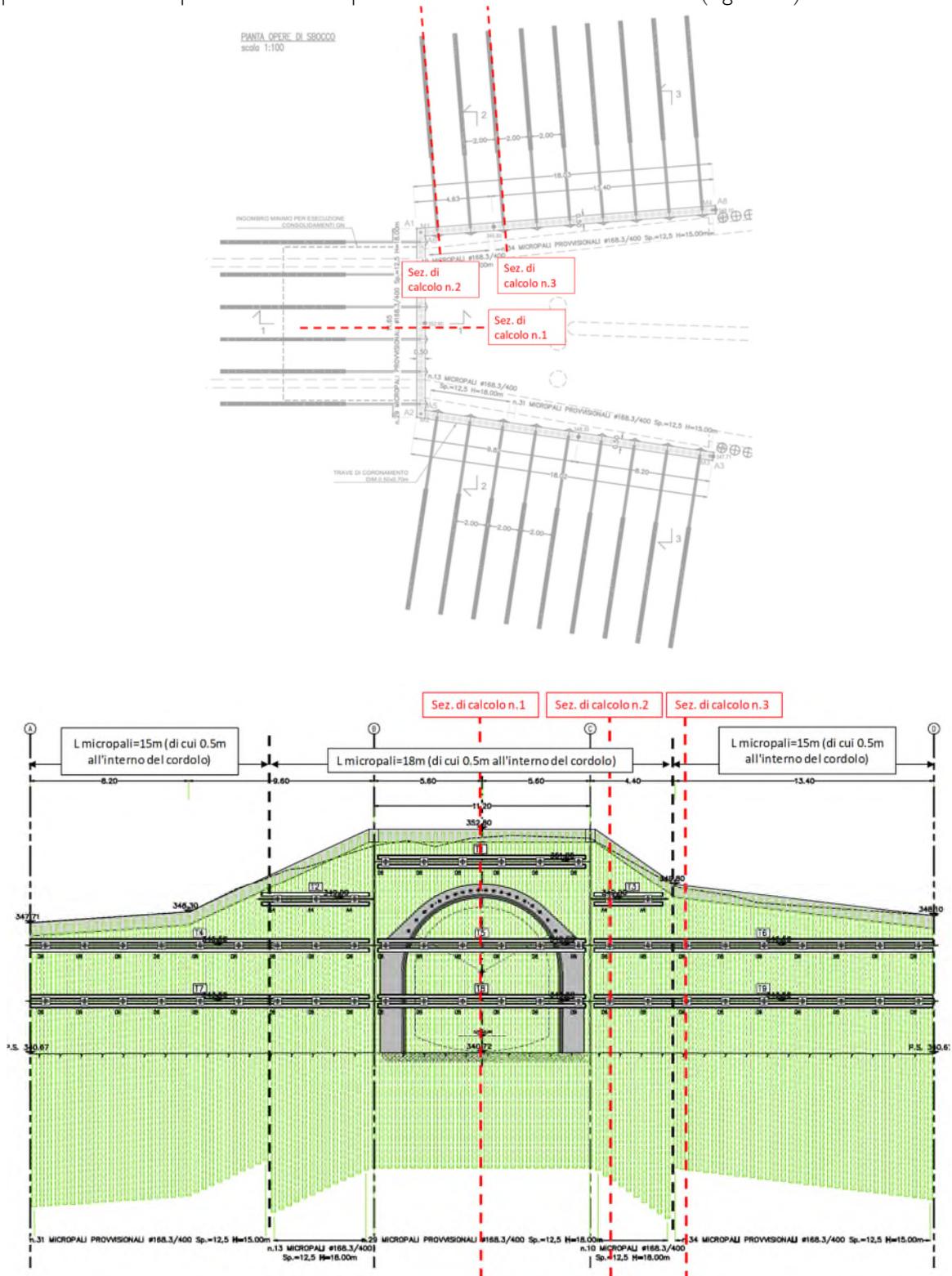


Figura 11 Berlinese di micropali con tiranti – Pianta, viste e schemi di calcolo

- Trave di ripartizione = 2 HEB 180 Diametro perforazione tiranti = Ø140 mm
- Cappellaccio/AVS:
 - o α tensione di aderenza = 1
 - o Diametro di calcolo = $\alpha\varnothing = 0.14\text{m}$
- Coefficiente parziale per resistenza a sfilamento = 1.1 (tiranti temporanei)
- Fattore di correlazione per la resistenza caratteristica = 1.8 (n° 1 verticali di indagini)

Ordine tirante	Inclinazione i	Quota da testa paratia	n° trefoli	L _{libera progetto}	L _{fondazione progetto}	L _{totale}	Interasse tiranti	Precarico	T _{bulbo-terreno}
[-]	[°]	[m]	[-]	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN/tirante]	[kPa]
I	25	3.3	4	8.0	5	13.0	2	200	400
II	25	6.30	4	6.5	5	11.5	2	200	400

Tabella 8-3 Sezione di verifica 3-3: caratteristiche tiranti e bulbi

Su tutta l'estensione dell'opera, il collegamento tra tiranti e berlinese è realizzato con una trave di ripartizione costituita da 2 profili HEB180 posta in asse ai vari ordini di tiranti. Di conseguenza, la verifica riportata nei paragrafi successivi è rappresentativa delle condizioni più gravose tra tutti gli schemi di calcolo sviluppati.

8.1 Schema di calcolo 'Sez.1'

8.1.1 Modellazione geotecnica

La figura seguente riporta la stratigrafia e il modello di calcolo sviluppato con ParatiePlus 2022.

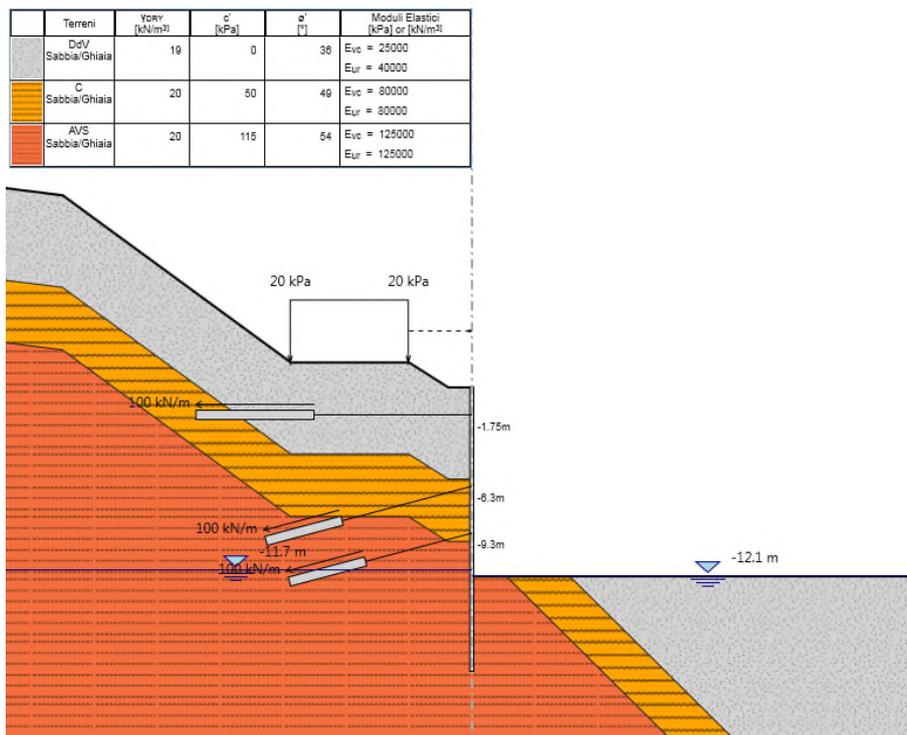


Figura 12 Modello di calcolo implementato nel software Paratie Plus 2022

La stratigrafia e i parametri geotecnici adottati nelle elaborazioni sono riportati nella figura seguente. In particolare, si è fatto riferimento alla successione stratigrafica riportata nel profilo geotecnico di cui al §4

Unità	Descrizione	Z top	Z bottom	γ	c'	ϕ'	E_{vc}	E_{ur}
		[m]	[m]					
1	DdV Sabbia/Ghiaia	352.8	346.9	19	-	36	25	$1.6 \cdot E_{vc}$
2	Cappellaccio	346.9	342.9	20	50	49	80	E_{vc}
3	AVS	342.9	>	20	115	54	125	E_{vc}

Tabella 8-4 Stratigrafia di calcolo adottata nel modello

8.1.2 Descrizione delle fasi di calcolo

Le fasi di calcolo considerate nelle elaborazioni sono le seguenti:

- Stages**
- Stage 1 - Geostatica
 - Stage 2 - Carico stradale
 - Stage 3 - Installazione Berlinese
 - Stage 4 - Prescavo 1
 - Stage 5 - Tirante 1
 - Stage 6 - Prescavo 2
 - Stage 7 - Tirante 2
 - Stage 8 - Prescavo 3
 - Stage 9 - Tirante 3
 - Stage 10 - Scavo finale
 - Stage 11 - Extra scavo NTC18

Figura 13 Fasi di calcolo considerate

8.1.3 Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti

Nel seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni in termini di deformata della paratia (Combinazione SLE rara), per la fase di calcolo 11 nella quale si raggiunge la quota di fondo scavo con falda a quota di esercizio. Il massimo spostamento è circa a 8.8mm.

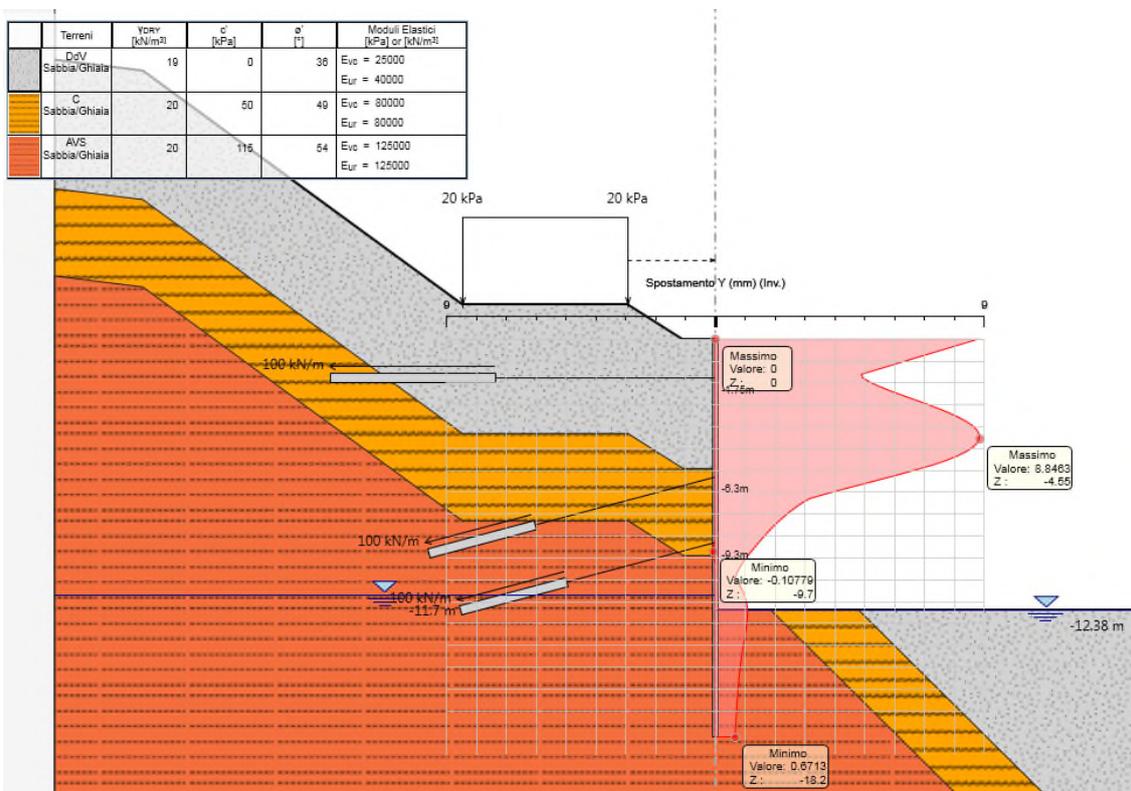


Figura 14 Spostamenti della paratia in condizione SLE (Stage 11)

8.1.4 Sintesi analisi strutturale

Nelle tabelle seguenti si riassumono i valori massimi di azione tagliante e flettente sul micropalo e sui tiranti.

M _{SLU} A1-M1 [kNm/m]	V _{SLU} A1-M1 [kN/m]	M _{SLU} A2-M2 [kNm/m]	V _{SLU} A2-M2 [kN/m]
63	97	63	87

No. Ordine tirante	Tiro tirante [kN/m]	Interasse [m]	Tiro Tirante [kN/tirante]
I	146	2	292
II	134.3	2	268.6
III	131.3	2	262.6

Tabella 8-5 Sollecitazioni di verifica

8.1.4.1 Verifica strutturale micropalo SLU

NTC18 - §4.2 Costruzioni di acciaio - Verifica di sezioni tubolari compatte (Classe 1, 2)						
L	[m]	18	f _{yk}	[MPa]	355	
d _{perforazione}	[mm]	250	γ _{M0}	-	1.05	
d _{esterno}	[mm]	168.3	N _{c,Rd}	[kN]	2069	
spessore	[mm]	12.5	V _{c,Rd}	[kN]	760	
d _{interno}	[mm]	143.3	M _{N,Rd}	[kNm]	103	
ε ²	[]	0.66				A1+M1+R1 (*) A2+M2+R1 (*)
Classe	[]	1	N _{Ed}	[kNm]		
			V _{Ed}	[kN]	39	35
A _{dperforazione}	[mm ²]	49087	M _{Ed}	[kN]	25	25
			(*) output Paratie			
A _{tubolare}	[mm ²]	6118	Effetto azioni combinate (N,M,V)			
I	[mm ⁴]	1.9E+07			A1+M1+R1	A2+M1+R2
W _{EI}	[mm ³]	2.2E+05	p = ((2V _{Ed} /V _{c,Rd})-1) ²	[]	0.00	0.00
W _{PI}	[mm ³]	3.0E+05	n	[]	0.00	0.00
E	[kPa]	2.10E+08	M _{PI,Rd}	[kNm]	106.89	106.89
ν	[-]	0.2	Fattori di utilizzo			
G	[kPa]	8.75E+07			A1+M1+R1	A2+M1+R2
GI	[kNm ²]	1.6E+15	N _{Ed} / N _{Rd}	[-]	0.00	0.00
			V _{Ed} / V _{Rd}	[-]	0.05	0.05
A _v	[mm ²]	3895	M _{Ed} / M _{Rd}	[-]	0.24	0.25
a = Av/A	[]	0.500				

Figura 15 Verifica micropalo Sez. 1

8.1.4.2 Verifica strutturale trefoli tiranti SLU Comb. A1+M1+R3

Si riporta di seguito la verifica strutturale dei trefoli dei tiranti.

I ordine					
<u>Verifica strutturale</u>					
Area singolo trefolo (mm ²)	139				
f _{ptk} (MPa)	1860				
f _{p1k} (MPa)	1670				
γ _R	1.15				
Ordine	n trefoli	A trefoli mm ²	E _d kN	<	Rtd kN
1	4	556	292		807
U.F.					0.36

Tabella 8-6 Verifica strutturale tiranti Sez. 1 – Ordine I

II ordine					
<u>Verifica strutturale</u>					
Area singolo trefolo (mm ²)	139				
f _{ptk} (MPa)	1860				
f _{p1k} (MPa)	1670				
γ _R	1.15				
Ordine	n trefoli	A trefoli mm ²	E _d kN	<	Rtd kN
2	4	556	268.6		807
U.F.					0.33

Tabella 8-7 Verifica strutturale tiranti Sez. 1 – Ordine II

III ordine					
<u>Verifica strutturale</u>					
Area singolo trefolo (mm ²)	139				
f _{ptk} (MPa)	1860				
f _{p1k} (MPa)	1670				
γ _R	1.15				
Ordine	n trefoli	A trefoli mm ²	E _d kN	<	Rtd kN
3	4	556	262.6		807
U.F.					0.33

Tabella 8-8 Verifica strutturale tiranti Sez. 1 – Ordine III

8.1.4.3 Verifica strutturale trave di ripartizione tiranti

La verifica seguente della trave di ripartizione posta in asse ai tiranti è rappresentativa delle condizioni più critiche tra tutti gli ordini di tiranti previsti.

Trave di ripartizione 2HEB180		Acciaio	355			
Nsd_SLU	292 kN					
interasse	2 m					
Msd	117 kNm/m					
Tsd	350 kN/m					
Profilo	2 HEB180					
b	180 mm					
h	180 mm					
tf	14 mm					
tw	8.5 mm					
r	15 mm					
A	6525 mm ²					
				σ singolo profilo		
Wel	425700 mm ³			137.2	Mpa	
Av	2024 mm ²					
fyk	355 Mpa					
γ_{M1}	1.05					
fyd	338 Mpa					
Combo	Tiro_SLU	L	M (qL ² /10)	T (0.6qL)	U.F. Flessione (2 HEB 180)	U.F. Taglio (2 HEB 180)
	kN	m	kN m	kN	[]	[]
SLU	292	2	117	350	2.46	2.26

Tabella 8-9 Risultati verifica strutturale trave di ripartizione tiranti

8.1.5 Verifica allo SLU di tipo GEO

8.1.5.1 Verifica della spinta a valle della paratia

La verifica delle spinte a valle della paratia è condotta in accordo all'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R1). Nella seguente figura si mostrano la risultante delle spinte agenti sulla paratia relativi all'ultima fase di calcolo (Stage 11), in particolare deve risultare che la spinta mobilitata a valle (Spinta reale efficace), moltiplicata per il coefficiente $\gamma F = 1.0$, sia inferiore alla resistenza del terreno (Massima spinta ammissibile) corrispondente alla spinta passiva divisa per il coefficiente di resistenza $\gamma R = 1.0$.

La verifica risulta soddisfatta:

- Rapporto di mobilitazione Comb. SLE: 1%
- Rapporto di mobilitazione Comb. SLU: 22%

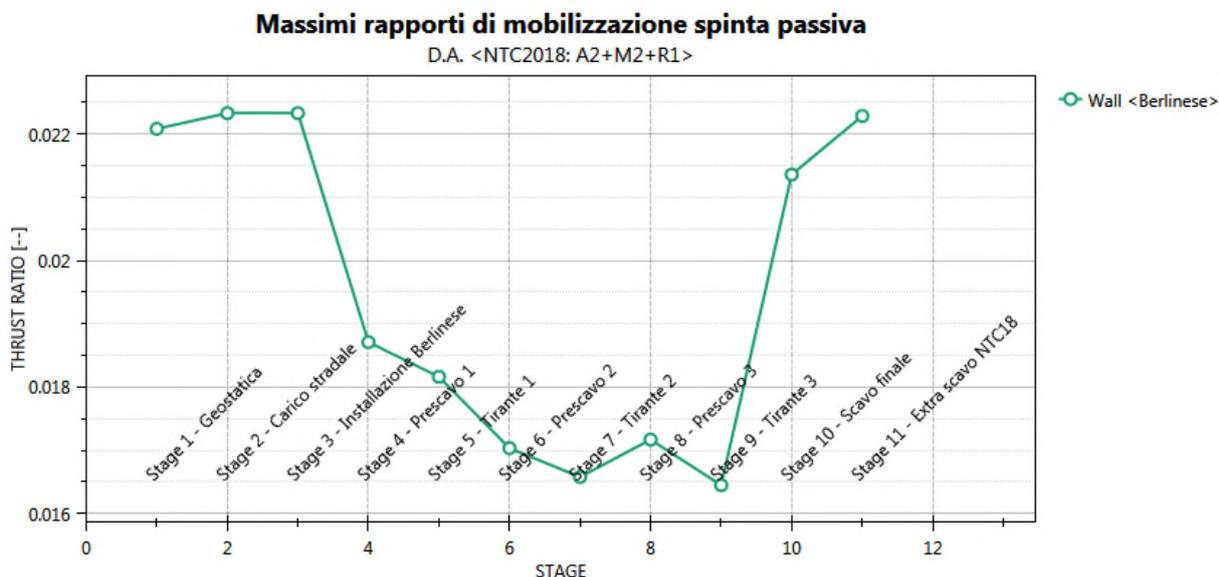


Figura 16 Verifica mobilitazione spinta passiva (Comb. A2+M2)

8.1.5.2 Verifica sfilamento tirante

Si riporta di seguito la verifica a sfilamento dei trefoli dei tiranti Comb. A1+M1+R3.

I ordine							
Verifica allo sfilamento							
ξ _a	1.8	Ordine	Strato 1 - Depositi detritici			Strato 2 - Cappellaccio	
			L bulbo	Dperf	α τ	L bulbo	Dperf
γ _R	1.1		m	m	kPa	m	m
	OK	1	7.50	0.14	238	0	400
		Ordine	Azione	Interasse	Ed	<	Rad
			kN/m	m	kN		kN
		1	146.0	2	292		397
					U.F.		0.74
Tensione tangenziale di aderenza ultima tra acciaio e cls							
ds (mm)		15.24	diametro singolo trefolo 0.6"				
f _{ck} (MPa)		24.9					
f _{ctk} (MPa)		1.79	11.2.10.2 NTC18				
η		1					
γ _C		1.5					
f _{bd} (Mpa)		2.69	4.1.2.1.1.4 NTC18				
		Ordine	E _d	<	N _u		
			kN/n trefoli		kN		
		1	73		965		
				U.F.		0.08	
Gerarchia delle resistenze							
		Ordine	R _{yk}	>	R _{ac}		
			kN		kN		
		1	929		785		
				U.F.		0.85	

Tabella 8-10 Verifica sfilamento tiranti Sez. 1 – Ordine I

II ordine								
<u>Verifica allo sfilamento</u>								
ξ_a	1.8	Ordine	Strato 1 - Depositi detritici			Strato 2 - Cappellaccio		
			L bulbo	Dperf	$\alpha \tau$	L bulbo	Dperf	$\alpha \tau$
γ_R	1.1		m	m	kPa	m	m	kPa
		OK	2	0.00	0.14	238	5	0.14
		Ordine	Azione	Interasse	Ed	<	Rad	
			kN/m	m	kN		kN	
		2	134.3	2	268.6		444	
					U.F.		0.60	
<u>Tensione tangenziale di aderenza ultima tra acciaio e cls</u>								
ds (mm)	15.24	diametro singolo trefolo 0.6"						
f_{ck} (MPa)	24.9							
f_{ctk} (MPa)	1.79	11.2.10.2 NTC18						
η	1							
γ_C	1.5							
f_{bd} (Mpa)	2.69	4.1.2.1.1.4 NTC18						
		Ordine	E_d	<	N_u			
			kN/n trefoli		kN			
		2	67.15		643			
				U.F.		0.10		
<u>Gerarchia delle resistenze</u>								
		Ordine	R_{yk}	>	R_{ac}			
			kN		kN			
		2	929		880			
				U.F.		0.95		

Tabella 8-11 Verifica sfilamento tiranti Sez. 1 – Ordine II

III ordine								
<u>Verifica allo sfilamento</u>								
ξ_a	1.8	Ordine	Strato 1 - Depositi detritici			Strato 2 - Cappellaccio		
			L bulbo	Dperf	$\alpha \tau$	L bulbo	Dperf	$\alpha \tau$
γ_R	1.1		m	m	kPa	m	m	kPa
		OK	3	0.00	0.14	238	5	0.14
		Ordine	Azione	Interasse	Ed	<	Rad	
			kN/m	m	kN		kN	
		3	131.3	2	262.6		444	
					U.F.		0.59	
<u>Tensione tangenziale di aderenza ultima tra acciaio e cls</u>								
ds (mm)	15.24	diametro singolo trefolo 0.6"						
f_{ck} (MPa)	24.9							
f_{ctk} (MPa)	1.79	11.2.10.2 NTC18						
η	1							
γ_C	1.5							
f_{bd} (Mpa)	2.69	4.1.2.1.1.4 NTC18						
		Ordine	E_d	<	N_u			
			kN/n trefoli		kN			
		3	65.65		643			
				U.F.		0.10		
<u>Gerarchia delle resistenze</u>								
		Ordine	R_{yk}	>	R_{ac}			
			kN		kN			
		3	929		880			
				U.F.		0.95		

Tabella 8-12 Verifica sfilamento tiranti Sez. 1 – Ordine III

8.2 Schema di calcolo 'Sez.2'

8.2.1 Modellazione geotecnica

La figura seguente riporta la stratigrafia e il modello di calcolo sviluppato con ParatiePlus 2022.

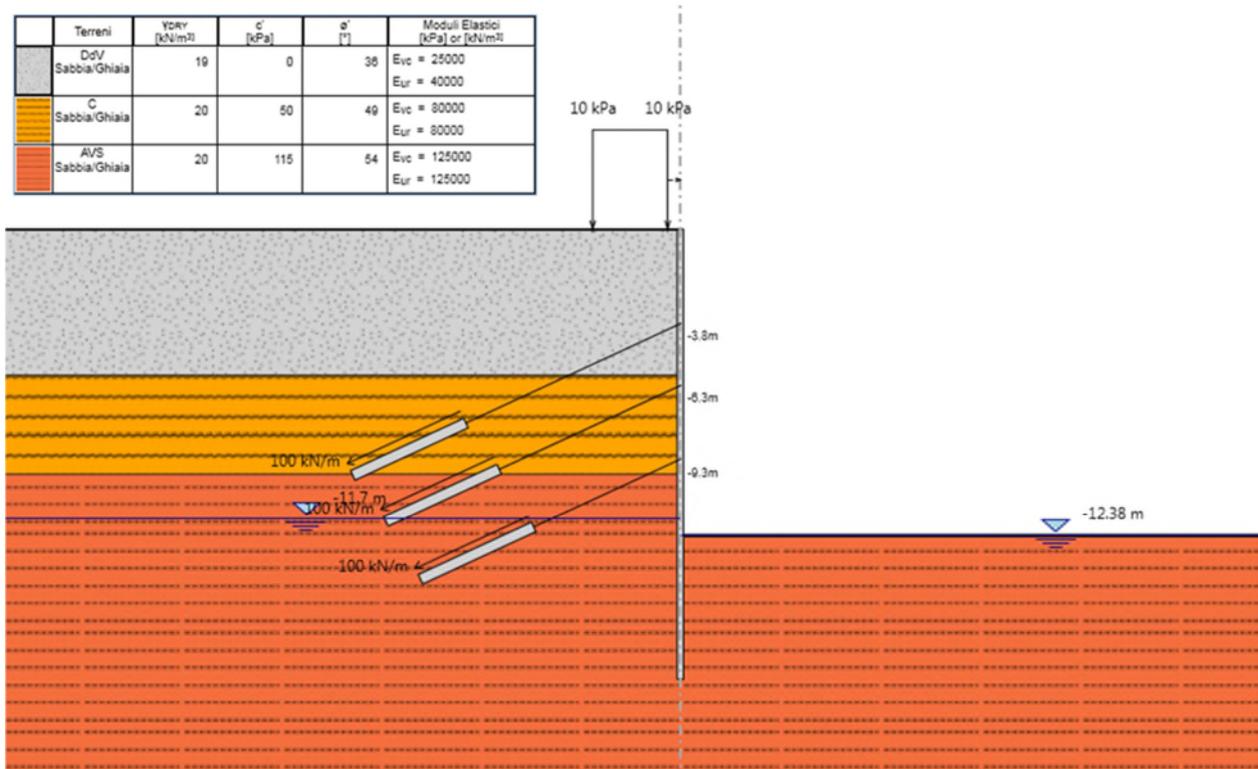


Figura 17 Modello di calcolo implementato nel software Paratie Plus 2022

La stratigrafia e i parametri geotecnici adottati nelle elaborazioni sono riportati nella figura seguente. In particolare, si è fatto riferimento alla successione stratigrafica riportata nel profilo geotecnico di cui al §4

Unità	Descrizione	Z top	Z bottom	γ	c'	φ'	E _{vc}	E _{ur}
		[m]	[m]					
1	DdV Sabbia/Ghiala	352.8	346.9	19	-	36	25	1.6*E _{vc}
2	Cappellaccio	346.9	342.9	20	50	49	80	E _{vc}
3	AVS	342.9	>	20	115	54	125	E _{vc}

Tabella 8-13 Stratigrafia di calcolo adottata nel modello

8.2.2 Descrizione delle fasi di calcolo

Le fasi di calcolo considerate nelle elaborazioni sono le seguenti:

- Stages**
- Stage 1 - Geostatica
 - Stage 2 - Prescavo, Carico cantiere
 - Stage 3 - Installazione Berlinese
 - Stage 4 - Prescavo 1
 - Stage 5 - Tirante 1
 - Stage 6 - Prescavo 2
 - Stage 7 - Tirante 2
 - Stage 8 - Scavo 3
 - Stage 9 - Tirante 3
 - Stage 10 - Scavo finale
 - Stage 11 - Extra scavo NTC18

Figura 18 Fasi di calcolo considerate

8.2.3 Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti

Nel seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni in termini di deformata della paratia (Combinazione SLE rara), per la fase di calcolo 11 nella quale si raggiunge la quota di fondo scavo con falda a quota di esercizio. Il massimo spostamento è circa a 99mm.

Lo spostamento riportato è sovrastimato, visto che la sezione in esame risentirà della rigidità fornita dalla trave di coronamento della tratta centrale (frontale alla galleria idraulica).

Tale sezione si considera dimensionante, in quanto massimizza le sollecitazioni dei micropali e tiranti.

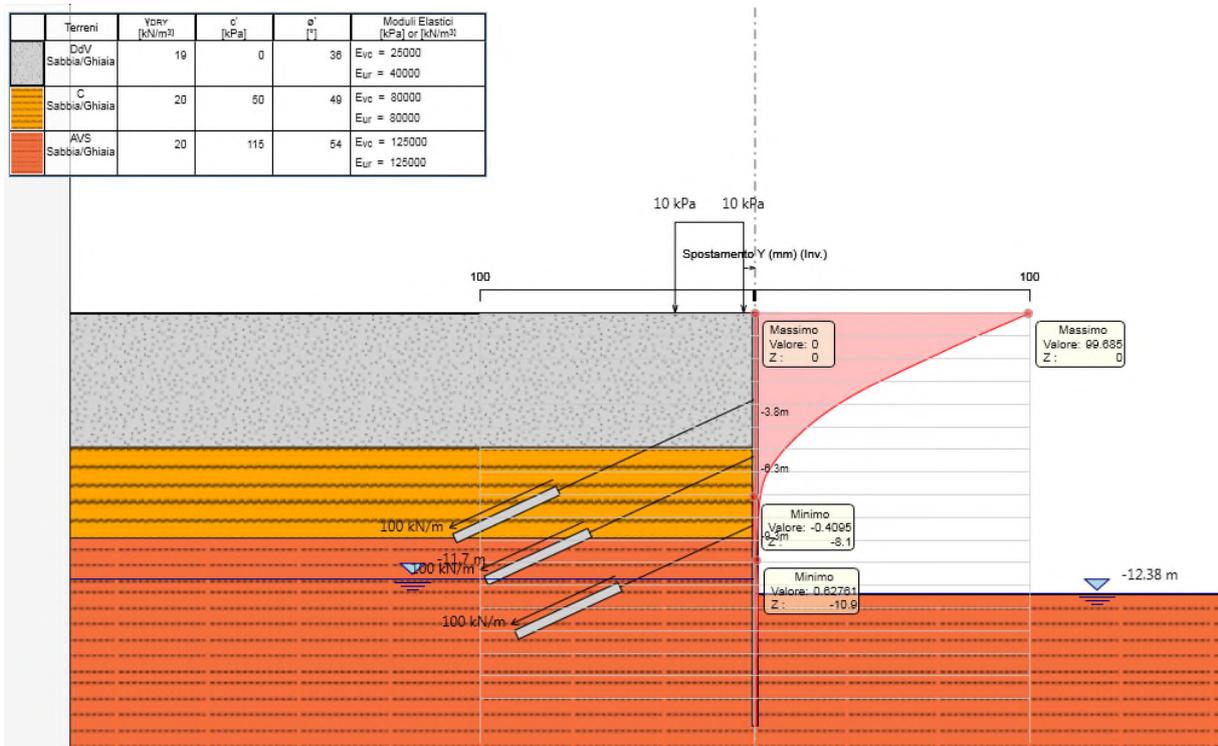


Figura 19 Spostamenti della paratia in condizione SLE (Stage 11)

8.2.4 Sintesi analisi strutturale

Nelle tabelle seguenti si riassumono i valori massimi di azione tagliante e flettente sul micropalo e sui tiranti.

M _{SLU} A1-M1 [kNm/m]	V _{SLU} A1-M1 [kN/m]	M _{SLU} A2-M2 [kNm/m]	V _{SLU} A2-M2 [kN/m]
159	98	188	90

No. Ordine tirante	Tiro tirante [kN/m]	Interasse [m]	Tiro Tirante [kN/tirante]
I	153	2	306
II	134	2	269
III	131	2	262

Tabella 8-14 Sollecitazioni di verifica

8.2.4.1 Verifica strutturale micropalo SLU

NTC18 - §4.2 Costruzioni di acciaio - Verifica di sezioni tubolari compatte (Classe 1, 2)						
L	[m]	16	f _{yk}	[MPa]	355	
d _{perforazione}	[mm]	250	γ _{MO}	-	1.05	
d _{esterno}	[mm]	168.3	N _{c,Rd}	[kN]	2069	
spessore	[mm]	12.5	V _{c,Rd}	[kN]	760	
d _{interno}	[mm]	143.3	M _{N,Rd}	[kNm]	103	
ε ²	[]	0.66				A1+M1+R1 (*) A2+M2+R1 (*)
Classe	[]	1	N _{Ed}	[kNm]		
			V _{Ed}	[kN]	39	36
A _{dperforazione}	[mm ²]	49087	M _{Ed}	[kN]	64	75
			(*) output Paratie			
A _{tubolare}	[mm ²]	6118	Effetto azioni combinate (N,M,V)			
I	[mm ⁴]	1.9E+07			A1+M1+R1	A2+M1+R2
W _{El}	[mm ³]	2.2E+05	p = ((2V _{Ed} /V _{c,Rd})-1) ²	[]	0.00	0.00
W _{pl}	[mm ³]	3.0E+05	n	[]	0.00	0.00
E	[kPa]	2.10E+08	M _{pl,Rd}	[kNm]	106.89	106.89
v	[-]	0.2	Fattori di utilizzo			
G	[kPa]	8.75E+07			A1+M1+R1	A2+M1+R2
GI	[kNm ²]	1.6E+15	N _{Ed} / N _{Rd}	[-]	0.00	0.00
A _v	[mm ²]	3895	V _{Ed} / V _{Rd}	[-]	0.05	0.05
a = Av/A	[]	0.500	M _{Ed} / M _{Rd}	[-]	0.62	0.73

Figura 20 Verifica micropalo Sez. 2

8.2.4.2 Verifica strutturale trefoli tiranti SLU Comb. A1+M1+R3

Si riporta di seguito la verifica strutturale dei trefoli dei tiranti.

I ordine						
<u>Verifica strutturale</u>						
Area singolo trefolo (mm ²)	139					
f _{ptk} (MPa)	1860					
f _{p1k} (MPa)	1670					
γ _R	1.15					
		Ordine	n trefoli	A trefoli mm ²	E _d kN	Rtd kN
		1	4	556	305.6	807
		U.F.				0.38

Tabella 8-15 Verifica strutturale tiranti Sez. 2 – Ordine I

II ordine						
<u>Verifica strutturale</u>						
Area singolo trefolo (mm ²)	139					
f _{ptk} (MPa)	1860					
f _{p1k} (MPa)	1670					
γ _R	1.15					
		Ordine	n trefoli	A trefoli mm ²	E _d kN	Rtd kN
		2	4	556	268.8	807
		U.F.				0.33

Tabella 8-16 Verifica strutturale tiranti Sez. 2 – Ordine II

III ordine						
<u>Verifica strutturale</u>						
Area singolo trefolo (mm ²)	139					
f _{ptk} (MPa)	1860					
f _{p1k} (MPa)	1670					
γ _R	1.15					
		Ordine	n trefoli	A trefoli mm ²	E _d kN	Rtd kN
		3	4	556	261.8	807
		U.F.				0.32

Tabella 8-17 Verifica strutturale tiranti Sez. 2 – Ordine III

8.2.4.3 Verifica strutturale trave di ripartizione tiranti

La verifica seguente della trave di ripartizione posta in asse ai tiranti è rappresentativa delle condizioni più critiche tra tutti gli ordini di tiranti previsti.

Trave di ripartizione 2HEB180		Acciaio	355			
Nsd_SLU	306 kN					
interasse	2 m					
Msd	122 kNm/m					
Tsd	367 kN/m					
Profilo	2 HEB180					
b	180 mm					
h	180 mm					
tf	14 mm					
tw	8.5 mm					
r	15 mm					
A	6525 mm ²					
				σ singolo profilo		
Wel	425700 mm ³			143.6	Mpa	
Av	2024 mm ²					
fyk	355 Mpa					
γ_{M1}	1.05					
fyd	338 Mpa					
Combo	Tiro_SLU	L	M (qL ² /10)	T (0.6qL)	F.S. Flessione (2 HEB 180)	F.S. Taglio (2 HEB 180)
	kN	m	kN m	kN	[]	[]
SLU	306	2	122	367	2.35	2.15

Tabella 8-18 Risultati verifica strutturale trave di ripartizione tiranti

8.2.5 Verifica allo SLU di tipo GEO

8.2.5.1 Verifica della spinta a valle della paratia

La verifica delle spinte a valle della paratia è condotta in accordo all'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R1). Nella seguente figura si mostrano la risultante delle spinte agenti sulla paratia relativi all'ultima fase di calcolo (Stage 11), in particolare deve risultare che la spinta mobilitata a valle (Spinta reale efficace), moltiplicata per il coefficiente $\gamma_F = 1.0$, sia inferiore alla resistenza del terreno (Massima spinta ammissibile) corrispondente alla spinta passiva divisa per il coefficiente di resistenza $\gamma_R = 1.0$.

La verifica risulta soddisfatta:

- Rapporto di mobilitazione Comb. SLE: 1%
- Rapporto di mobilitazione Comb. SLU: 2%

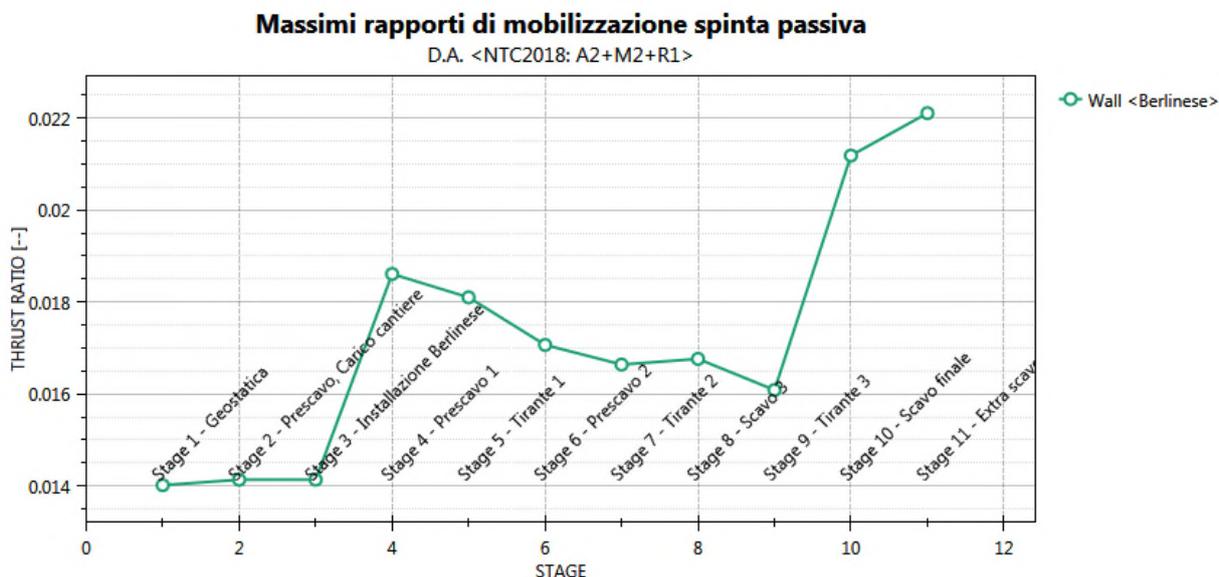


Figura 21 Verifica mobilitazione spinta passiva (Comb. A2+M2)

8.2.5.2 Verifica sfilamento tirante

Si riporta di seguito la verifica a sfilamento dei trefoli dei tiranti Comb. A1+M1+R3.

I ordine							
<u>Verifica allo sfilamento</u>							
ξ_a	1.8	Ordine	Strato 1 - Depositi detritici			Strato 2 - Cappellaccio	
			L bulbo	Dperf	αT	L bulbo	Dperf
γ_R	1.1		m	m	kPa	m	m
		OK	1	0	0.14	238	5
		Ordine	Azione	Interasse	Ed	<	Rad
			kN/m	m	kN		kN
		1	152.8	2	305.6		444
					U.F.		0.69
<u>Tensione tangenziale di aderenza ultima tra acciaio e cls</u>							
ds (mm)	15.24	diametro singolo trefolo 0.6"					
f_{ck} (MPa)	24.9						
f_{ctk} (MPa)	1.79	11.2.10.2 NTC18					
η	1						
γ_C	1.5						
f_{bd} (Mpa)	2.69	4.1.2.1.1.4 NTC18					
		Ordine	E_d	<	N_u		
			kN/n trefoli		kN		
		1	76.4		643		
				U.F.	0.12		
<u>Gerarchia delle resistenze</u>							
		Ordine	R_{yk}	>	R_{sc}		
			kN		kN		
		1	929		880		
				U.F.	0.95		

Tabella 8-19 Verifica sfilamento tiranti Sez. 2 – Ordine I

II ordine								
Verifica allo sfilamento								
ξ_a	1.8	Ordine	Strato 1 - Depositi detritici			Strato 2 - Cappellaccio		
			L bulbo	Dperf	αT	L bulbo	Dperf	αT
γ_R	1.1		m	m	kPa	m	m	kPa
	OK	2	0	0.14	238	5	0.14	400
		Ordine	Azione	Interasse	Ed	<	Rad	
			kN/m	m	kN		kN	
		2	134.4	2	268.8		444	
					U.F.		0.61	
Tensione tangenziale di aderenza ultima tra acciaio e cls								
ds (mm)	15.24	diametro singolo trefolo 0.6"						
f_{ck} (MPa)	24.9							
f_{ctk} (MPa)	1.79	11.2.10.2 NTC18						
η	1							
γ_C	1.5							
f_{bd} (Mpa)	2.69	4.1.2.1.1.4 NTC18						
		Ordine	E_d	<	N_u			
			kN/n trefoli		kN			
		2	67.2		643			
				U.F.	0.10			
Gerarchia delle resistenze								
		Ordine	R_{yk}	>	R_{ac}			
			kN		kN			
		2	929		880			
				U.F.	0.95			

Tabella 8-20 Verifica sfilamento tiranti Sez. 2 – Ordine II

III ordine								
Verifica allo sfilamento								
ξ_a	1.8	Ordine	Strato 1 - Depositi detritici			Strato 2 - Cappellaccio		
			L bulbo	Dperf	αT	L bulbo	Dperf	αT
γ_R	1.1		m	m	kPa	m	m	kPa
	OK	3	0	0.14	238	5	0.14	400
		Ordine	Azione	Interasse	Ed	<	Rad	
			kN/m	m	kN		kN	
		3	130.9	2	261.8		444	
					U.F.		0.59	
Tensione tangenziale di aderenza ultima tra acciaio e cls								
ds (mm)	15.24	diametro singolo trefolo 0.6"						
f_{ck} (MPa)	24.9							
f_{ctk} (MPa)	1.79	11.2.10.2 NTC18						
η	1							
γ_C	1.5							
f_{bd} (Mpa)	2.69	4.1.2.1.1.4 NTC18						
		Ordine	E_d	<	N_u			
			kN/n trefoli		kN			
		3	65.5		643			
				U.F.	0.10			
Gerarchia delle resistenze								
		Ordine	R_{yk}	>	R_{ac}			
			kN		kN			
		3	929		880			
				U.F.	0.95			

Tabella 8-21 Verifica sfilamento tiranti Sez. 2 – Ordine III

8.3 Schema di calcolo 'Sez.3'

8.3.1 Modellazione geotecnica

La figura seguente riporta la stratigrafia e il modello di calcolo sviluppato con ParatiePlus 2022.

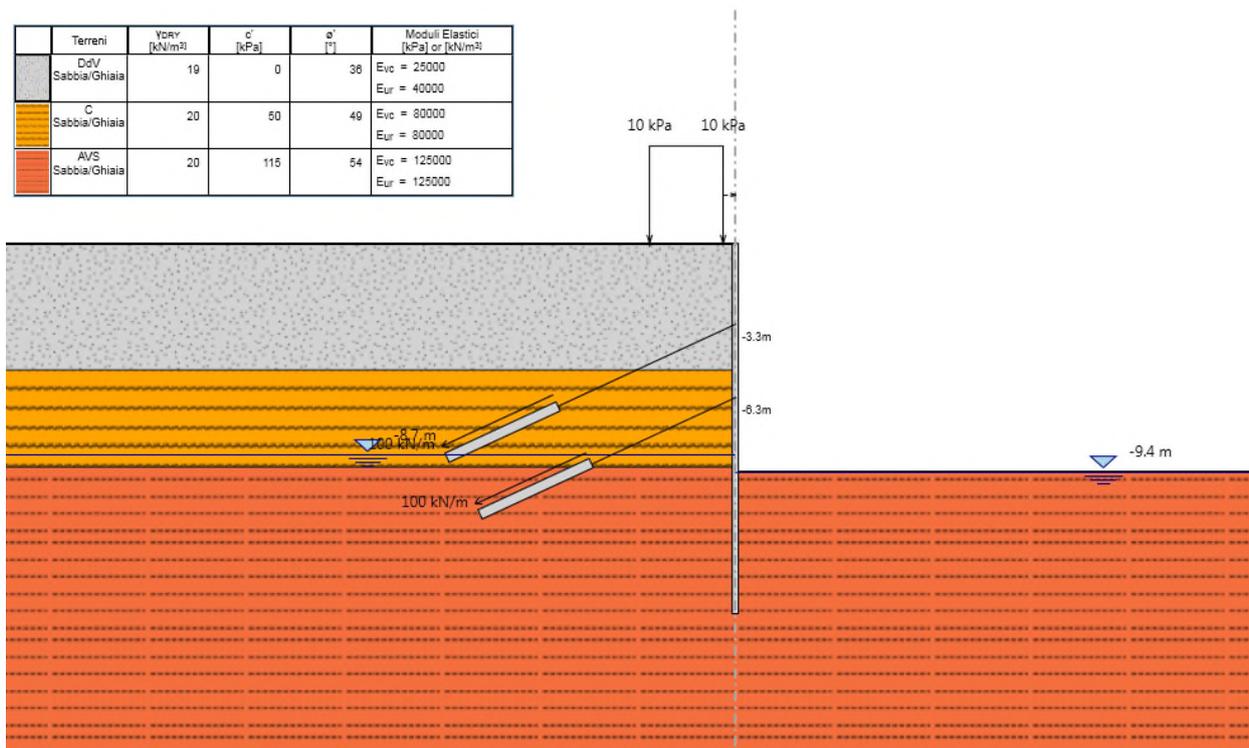


Figura 22 Modello di calcolo implementato nel software Paratie Plus 2022

La stratigrafia e i parametri geotecnici adottati nelle elaborazioni sono riportati nella figura seguente. In particolare, si è fatto riferimento alla successione stratigrafica riportata nel profilo geotecnico di cui al §4

Unità	Descrizione	Z top	Z bottom	γ	c'	ϕ'	E_{vc}	E_{ur}
		[m]	[m]	[kN/m ³]	[kPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
1	DdV Sabbia/Ghiaia	349.8	344.6	19	-	36	25	1.6* E_{vc}
2	Cappellaccio	344.6	340.6	20	50	49	80	E_{vc}
3	AVS	340.6	>	20	115	54	125	E_{vc}

Tabella 8-22 Stratigrafia di calcolo adottata nel modello

8.3.2 Descrizione delle fasi di calcolo

Le fasi di calcolo considerate nelle elaborazioni sono le seguenti:

- Stages
 - Stage 1 - Geostatica
 - Stage 2 - Carico cantiere
 - Stage 3 - Installazione Berlinese
 - Stage 4 - Prescavo 1
 - Stage 5 - Tirante 1
 - Stage 6 - Prescavo 2
 - Stage 7 - Tirante 2
 - Stage 8 - Scavo finale
 - Stage 9 - Extra scavo NTC18

Figura 23 Fasi di calcolo considerate

8.3.3 Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti

Nel seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni in termini di deformata della paratia (Combinazione SLE rara), per la fase di calcolo 9 nella quale si raggiunge la quota di fondo scavo con falda a quota di esercizio. Il massimo spostamento è circa a 59mm.

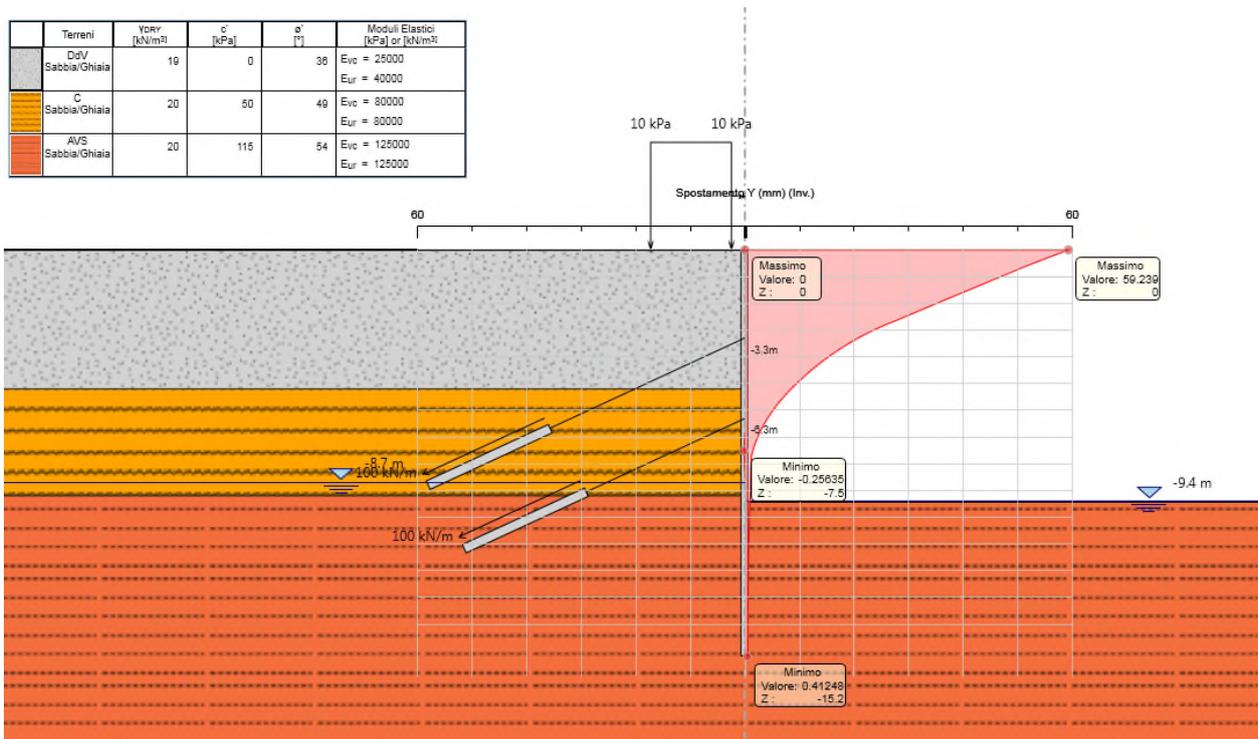


Figura 24 Spostamenti della paratia in condizione SLE (Stage 11)

8.3.4 Sintesi analisi strutturale

Nelle tabelle seguenti si riassumono i valori massimi di azione tagliante e flettente sul micropalo e sui tiranti.

M _{SLU} A1-M1 [kNm/m]	V _{SLU} A1-M1 [kN/m]	M _{SLU} A2-M2 [kNm/m]	V _{SLU} A2-M2 [kN/m]
114	88	132	76

No. Ordine tirante	Tiro tirante [kN/m]	Interasse [m]	Tiro Tirante [kN/tirante]
I	145	2	291
II	132	2	264

Tabella 8-23 Sollecitazioni di verifica

8.3.4.1 Verifica strutturale micropalo SLU

NTC18 - §4.2 Costruzioni di acciaio - Verifica di sezioni tubolari compatte (Classe 1, 2)						
L	[m]	16	f _{yk}	[MPa]	355	
d _{perforazione}	[mm]	250	γ _{M0}	-	1.05	
d _{esterno}	[mm]	168.3	N _{c,Rd}	[kN]	2069	
spessore	[mm]	12.5	V _{c,Rd}	[kN]	760	
d _{interno}	[mm]	143.3	M _{N,Rd}	[kNm]	103	
ε ²	[]	0.66				A1+M1+R1 (*) A2+M2+R1 (*)
Classe	[]	1	N _{Ed}	[kNm]		
			V _{Ed}	[kN]	35	31
A _{dperforazione}	[mm ²]	49087	M _{Ed}	[kN]	46	53
			(*) output Paratie			
A _{tubolare}	[mm ²]	6118	Effetto azioni combinate (N,M,V)			
I	[mm ⁴]	1.9E+07			A1+M1+R1	A2+M1+R2
W _{El}	[mm ³]	2.2E+05	p = ((2V _{Ed} /V _{c,Rd})-1) ²	[]	0.00	0.00
W _{pI}	[mm ³]	3.0E+05	n	[]	0.00	0.00
E	[kPa]	2.10E+08	M _{pI,Rd}	[kNm]	106.89	106.89
v	[-]	0.2	Fattori di utilizzo			
G	[kPa]	8.75E+07			A1+M1+R1	A2+M1+R2
GI	[kNm ²]	1.6E+15	N _{Ed} / N _{Rd}	[-]	0.00	0.00
			V _{Ed} / V _{Rd}	[-]	0.05	0.04
A _v	[mm ²]	3895	M _{Ed} / M _{Rd}	[-]	0.44	0.51
a = A _v /A	[]	0.500				

Figura 25 Verifica micropalo Sez. 3

8.3.4.2 Verifica strutturale trefoli tiranti SLU Comb. A1+M1+R3

Si riporta di seguito la verifica strutturale dei trefoli dei tiranti.

I ordine					
<u>Verifica strutturale</u>					
Area singolo trefolo (mm ²)	139				
f _{ptk} (MPa)	1860				
f _{p1k} (MPa)	1670				
γ _R	1.15				
Ordine	n trefoli	A trefoli mm ²	E _d kN	<	Rtd kN
1	4	556	290.8		807
U.F.					0.36

Tabella 8-24 Verifica strutturale tiranti Sez. 3 – Ordine I

II ordine					
<u>Verifica strutturale</u>					
Area singolo trefolo (mm ²)	139				
f _{ptk} (MPa)	1860				
f _{p1k} (MPa)	1670				
γ _R	1.15				
Ordine	n trefoli	A trefoli mm ²	E _d kN	<	Rtd kN
2	4	556	263.6		807
U.F.					0.33

Tabella 8-25 Verifica strutturale tiranti Sez. 3 – Ordine II

8.3.4.3 Verifica strutturale trave di ripartizione tiranti

La verifica seguente della trave di ripartizione posta in asse ai tiranti è rappresentativa delle condizioni più critiche tra tutti gli ordini di tiranti previsti.

Trave di ripartizione 2HEB180		Acciaio	355			
Nsd_SLU	291 kN					
interasse	2 m					
Msd	116 kNm/m					
Tsd	349 kN/m					
Profilo	2 HEB180					
b	180 mm					
h	180 mm					
tf	14 mm					
tw	8.5 mm					
r	15 mm					
A	6525 mm ²					
				σ singolo profilo		
Wel	425700 mm ³			136.6	Mpa	
Av	2024 mm ²					
fyk	355 Mpa					
γ_{M1}	1.05					
fyd	338 Mpa					
Combo	Tiro_SLU	L	M (qL ² /10)	T (0.6qL)	F.S. Flessione (2 HEB 180)	F.S. Taglio (2 HEB 180)
	kN	m	kN m	kN	[]	[]
SLU	291	2	116	349	2.47	2.26

Tabella 8-26 Risultati verifica strutturale trave di ripartizione tiranti

8.3.5 Verifica allo SLU di tipo GEO

8.3.5.1 Verifica della spinta a valle della paratia

La verifica delle spinte a valle della paratia è condotta in accordo all'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R1). Nella seguente figura si mostrano la risultante delle spinte agenti sulla paratia relativi all'ultima fase di calcolo (Stage 11), in particolare deve risultare che la spinta mobilitata a valle (Spinta reale efficace), moltiplicata per il coefficiente $\gamma F = 1.0$, sia inferiore alla resistenza del terreno (Massima spinta ammissibile) corrispondente alla spinta passiva divisa per il coefficiente di resistenza $\gamma R = 1.0$.

La verifica risulta soddisfatta:

- Rapporto di mobilitazione Comb. SLE: 1%
- Rapporto di mobilitazione Comb. SLU: 2%

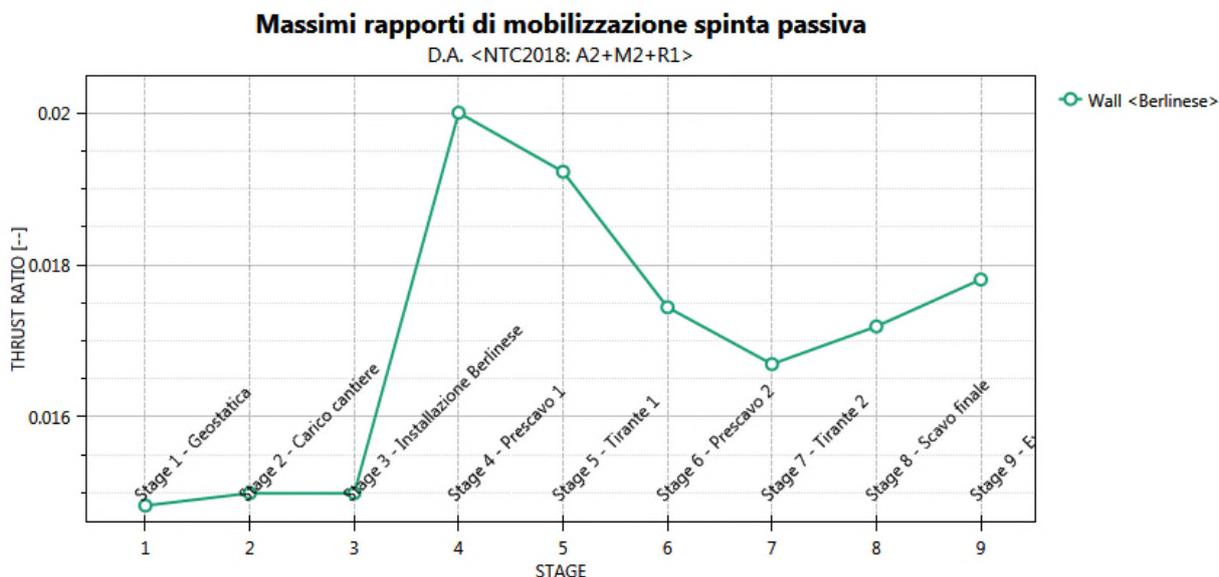


Figura 26 Verifica mobilitazione spinta passiva (Comb. A2+M2)

8.3.5.2 Verifica sfilamento tirante

Si riporta di seguito la verifica a sfilamento dei trefoli dei tiranti Comb. A1+M1+R3.

I ordine							
Verifica allo sfilamento							
ε _a	1.8	Ordine	Strato 1 - Depositi detritici			Strato 2 - Cappellaccio	
			L bulbo	Dperf	α τ	L bulbo	Dperf
γ _R	1.1		m	m	kPa	m	m
	OK	1	0.14	238	5	0.14	400
		Ordine	Azione	Interasse	Ed	<	Rad
			kN/m	m	kN		kN
		1	145.4	2	290.8		444
					U.F.		0.65
Tensione tangenziale di aderenza ultima tra acciaio e cls							
ds (mm)	15.24	diametro singolo trefolo 0.6"					
f _{ck} (MPa)	24.9						
f _{ctk} (MPa)	1.79	11.2.10.2 NTC18					
η	1						
γ _C	1.5						
f _{bd} (Mpa)	2.69	4.1.2.1.1.4 NTC18					
		Ordine	E _d	<	N _d		
			kN/n trefoli		kN		
		1	72.7		643		
				U.F.	0.11		
Gerarchia delle resistenze							
		Ordine	R _{yk}	>	R _{ac}		
			kN		kN		
		1	929		880		
				U.F.	0.95		

Tabella 8-27 Verifica sfilamento tiranti Sez. 3 – Ordine I

Il ordine								
Verifica allo sfilamento								
ϵ_a	1.8	Ordine	Strato 1 - Depositi detritici			Strato 2 - Cappellaccio		
	γ_R		1.1	L bulbo	Dperf	αT	L bulbo	Dperf
			m	m	kPa	m	m	kPa
	OK	2		0.14	238	5	0.14	400
		Ordine	Azione	Interasse	Ed	<	Rad	
			kN/m	m	kN		kN	
		2	131.8	2	263.6		444	
					U.F.		0.59	
Tensione tangenziale di aderenza ultima tra acciaio e cls								
ds (mm)	15.24	diametro singolo trefolo 0.6"						
f_{ck} (MPa)	24.9							
f_{ctk} (MPa)	1.79	11.2.10.2 NTC18						
η	1							
γ_C	1.5							
f_{bd} (Mpa)	2.69	4.1.2.1.1.4 NTC18						
		Ordine	E_d	<	N_u			
			kN/n trefoli		kN			
		2	65.9		643			
				U.F.	0.10			
Gerarchia delle resistenze								
		Ordine	R_{yk}	>	R_{ac}			
			kN		kN			
		2	929		880			
				U.F.	0.95			

Tabella 8-28 Verifica sfilamento tiranti Sez. 3 – Ordine II

9 TIPOLOGIA 2: MODELLAZIONE E VERIFICA

Le immagini seguenti riportano lo stralcio planimetrico dell'opera e la relativa sezione (Figura 27).

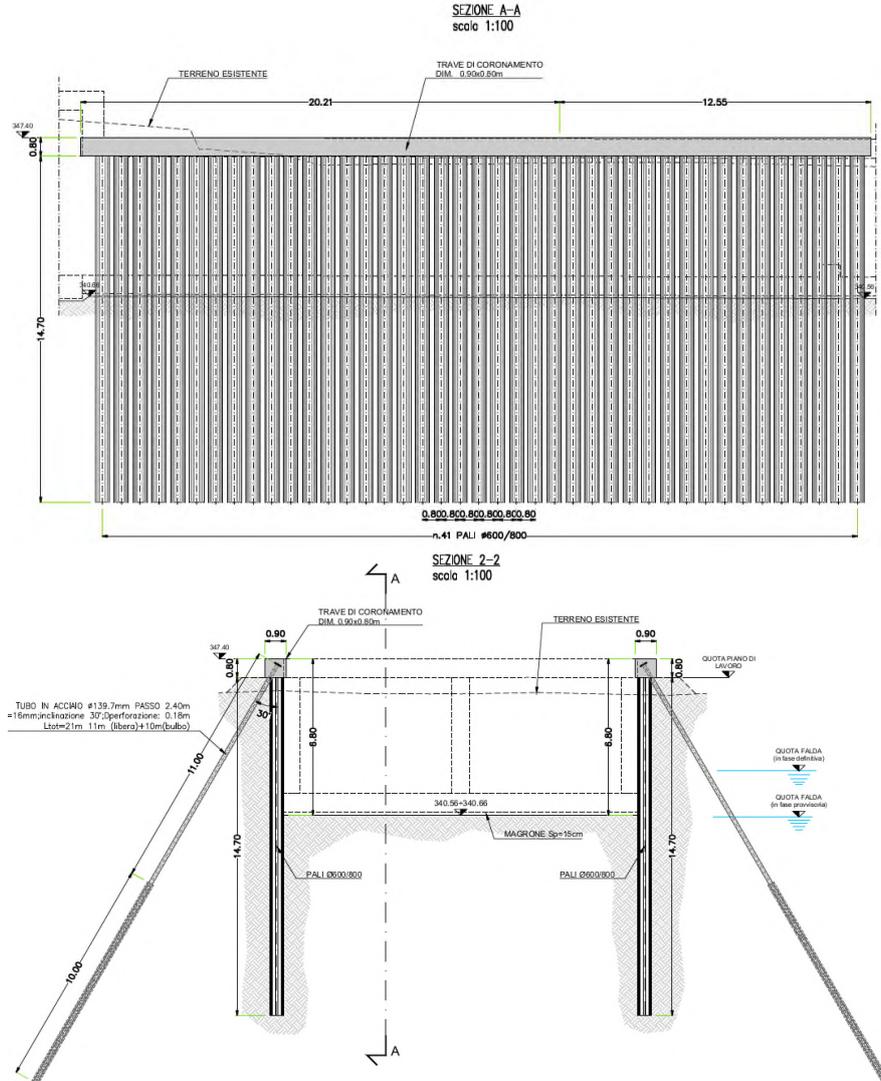


Figura 27 Sezione caratteristica 'Tipologia 2'

Dimensioni geometriche:

- H (altezza di scavo) = 6.80 m
- Paratia pali = Ø600/800mm
- L_{palo} (profondità palo) = 14.70 m
- Tubolari micropalo = Ø139/16mm/2.4m
- $L_{\text{micropalo}}$ (lunghezza micropalo) = 21.0 m
- $\alpha_{\text{micropalo}}$ (inclinazione micropalo) = 30° sulla verticale
- $D_{\text{perfor_micropalo}}$ (diam. perforazione) \geq Ø180

La quota della falda di progetto è assunta a quota fondo scavo.

9.1 Modellazione geotecnica

La figura seguente riporta la stratigrafia e il modello di calcolo sviluppato con ParatiePlus 2022.

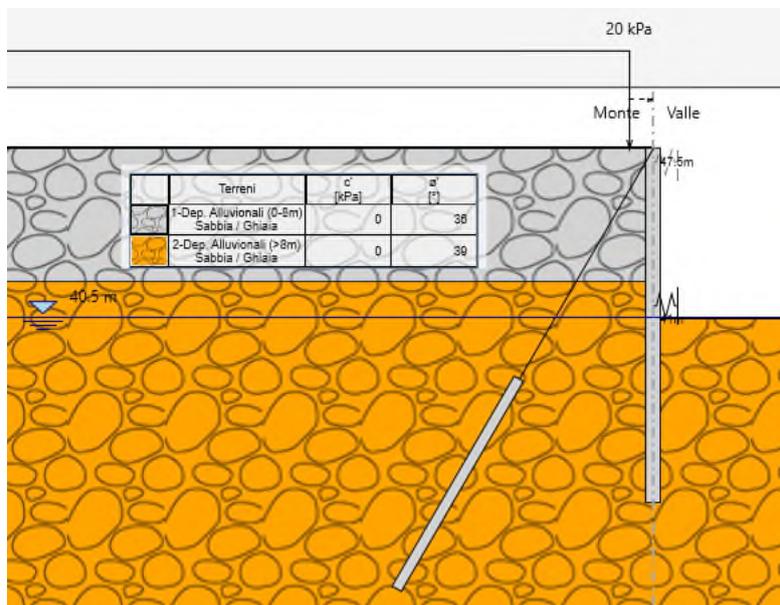


Figura 28 Modello di calcolo implementato nel software Paratie Plus 2022

La stratigrafia e i parametri geotecnici adottati nelle elaborazioni sono riportati nella figura seguente. In particolare, si è fatto riferimento alla successione stratigrafica riportata nel profilo geotecnico di cui al §4.

Unità	Descrizione	Z top	Z bottom	γ	c'	φ'	Evc	Eur
		[m]	[m]	[kN/m³]	[kPa]	[°]	[MPa]	[MPa]
1	Depositi alluvionali 0-8m	0	5.5	19	-	36	30	1.6*Evc
6	Depositi alluvionali >8m	5.5	-	19	-	39	40	1.6*Evc

Tabella 9-1 Stratigrafia di calcolo adottata nel modello

I coefficienti di spinta corrispondenti allo stato attivo e passivo sono valutati dal programma di calcolo a partire dai parametri geotecnici riportati al §4. In particolare, i coefficienti di spinta attiva (k_a) sono calcolati secondo la formulazione di Coulomb, considerando un angolo di attrito terreno/calcestruzzo (δ) pari a $0.50\phi'$; i coefficienti di spinta passiva (k_p) sono calcolati secondo la formulazione di Lancellotta (2007), considerando un angolo di attrito terreno/calcestruzzo (δ) pari a $0.5\phi'$

9.2 Descrizione delle fasi di calcolo

Le fasi di calcolo considerate nelle elaborazioni sono le seguenti:

- ▾ Stages
 - ▾ **Stage 1-Geostatica (Falda di Costr)**
 - ▾ Stage 2-Savo piano di lavoro pali 47.5m
 - ▾ Stage 3-Realizzazione pali
 - ▾ Stage 4-Carico accidentale 20kPa
 - ▾ Stage 5-Scavo intradosso soletta copertura
 - ▾ Stage 6-realizzazione cavalletto
 - ▾ Stage 7-Scavo fondo +40.50
 - ▾ Stage 8-Extra NTC

Figura 29 Fasi di calcolo considerate

La presenza del traffico stradale di Via G. Marconi è stata modellata considerando un sovraccarico accidentale uniforme pari a 20kPa.

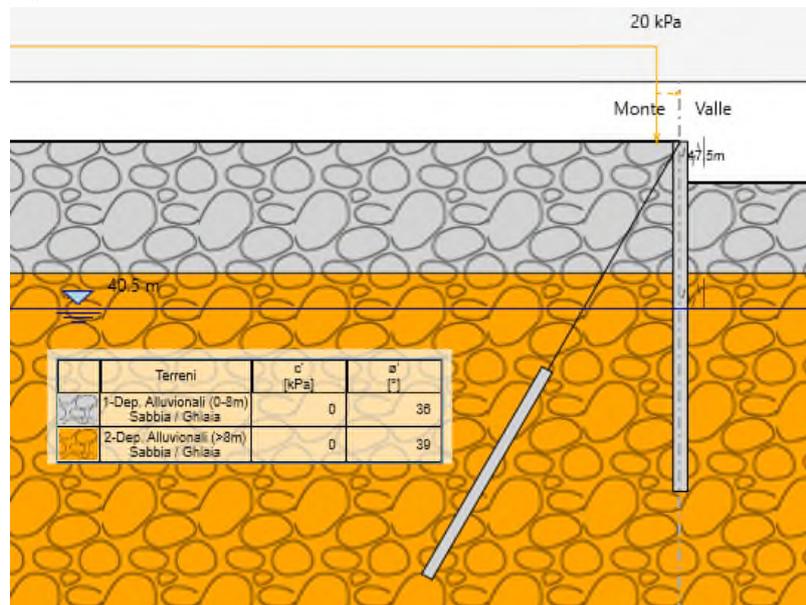


Figura 30 Realizzazione cavalletto (Stage 6)

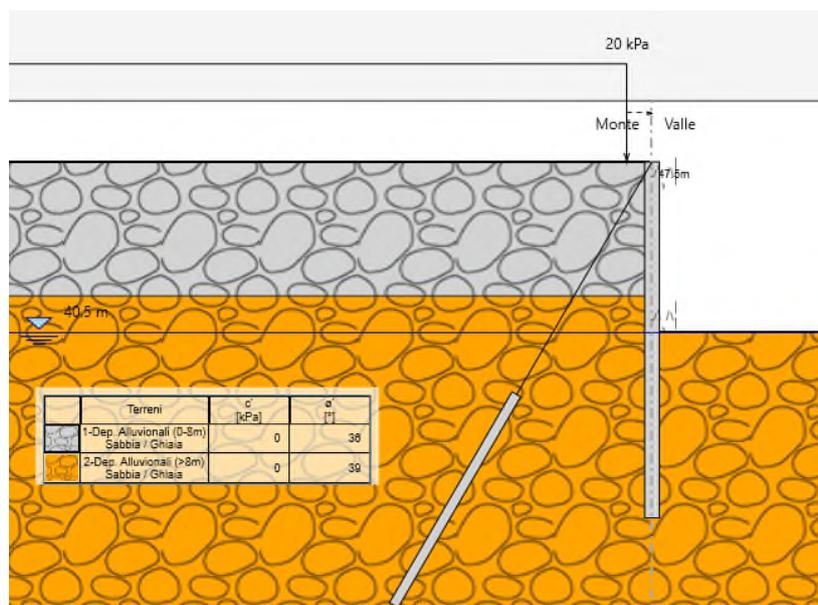


Figura 31 Scavo quota fondo +340.5m slm (Stage 7)

9.3 Sintesi risultati allo SLE – Spostamenti

Nel seguito vengono riportati i risultati delle elaborazioni in termini di deformata della paratia (Combinazione SLE rara), per la fase di calcolo 7 nella quale si raggiunge la quota di fondo scavo. Il massimo spostamento a testa palo è circa 4m da testa palo ed è pari a circa 14mm. Lo spostamento stimato a quota testa palo è di circa 7mm. Tali valori si ritengono compatibili con le condizioni provvisorie di cantiere a tergo della berlinese.

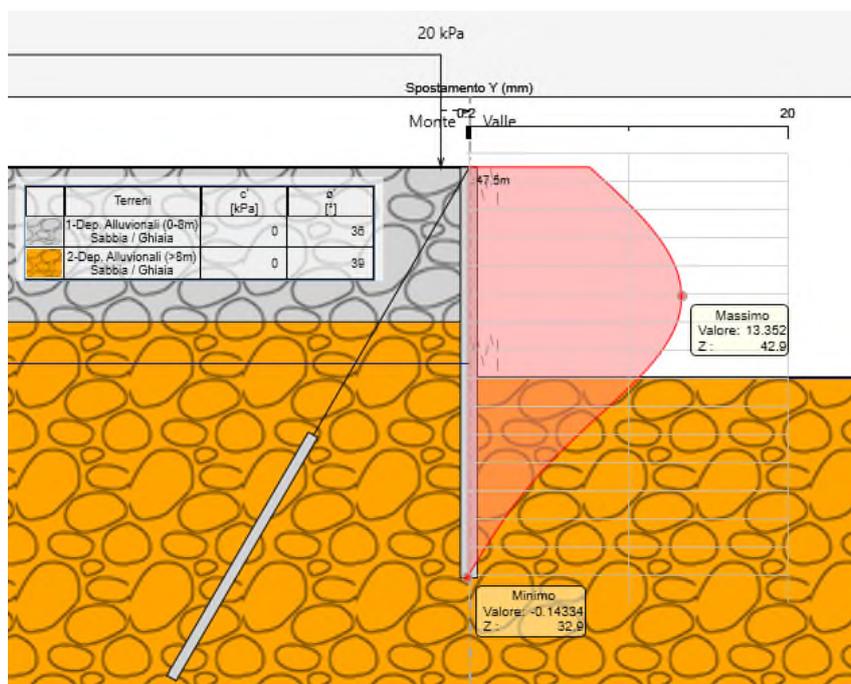


Figura 32 Spostamenti della paratia in condizione SLE (Stage 8)

9.4 Sintesi analisi strutturale

Nelle tabelle seguenti si riassumono i valori massimi di azione tagliante e flettente sul singolo palo allo stato limite ultimo (SLU in approccio 1 – Combinazione 1). Si ricorda che le sollecitazioni riportate in tabella corrispondono a quelle risultanti dal calcolo moltiplicate per l'interasse dei pali.

Fase	M SLE [kNm/palo]	M SLU [kNm/palo]	V SLU [kN/palo]	Tiro cavalletto SLE [kN]	Tiro cavalletto SLU [kN]
8	180x0.8=144	191x0.8=153	105x0.8=84	97x2.4=233	150x2.4=360

Tabella 9-2 Sollecitazioni agenti sul singolo palo e singolo cavalletto

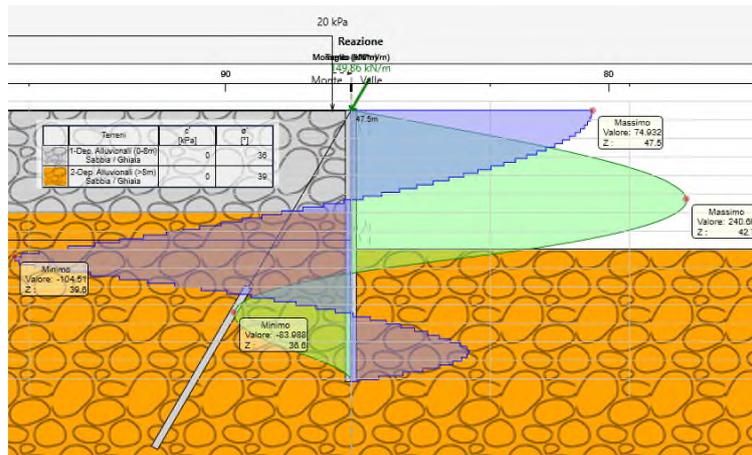


Figura 33 Sollecitazioni flettenti e taglianti SLU A1+M1+R1 – (Stage 7, quota fondo scavo)

9.4.1 Verifiche allo SLU di tipo STR

Di seguito si riportano le verifiche strutturali della berlinese a cavalletto.

9.4.1.1 Verifica strutturale palo SLU di tipo STR

Nella seguente tabella si riassume l'armatura longitudinale e trasversale prevista che verifica le massime sollecitazioni agenti.

	Lunghezza gabbia [m]	Armatura longitudinale	Armatura trasversale
GABBIA 1	10.0	12Ø22	Spirale Ø10/25cm
GABBIA 2	5.0	12Ø20	Spirale Ø10/25cm

Tabella 9-3 Armatura pali

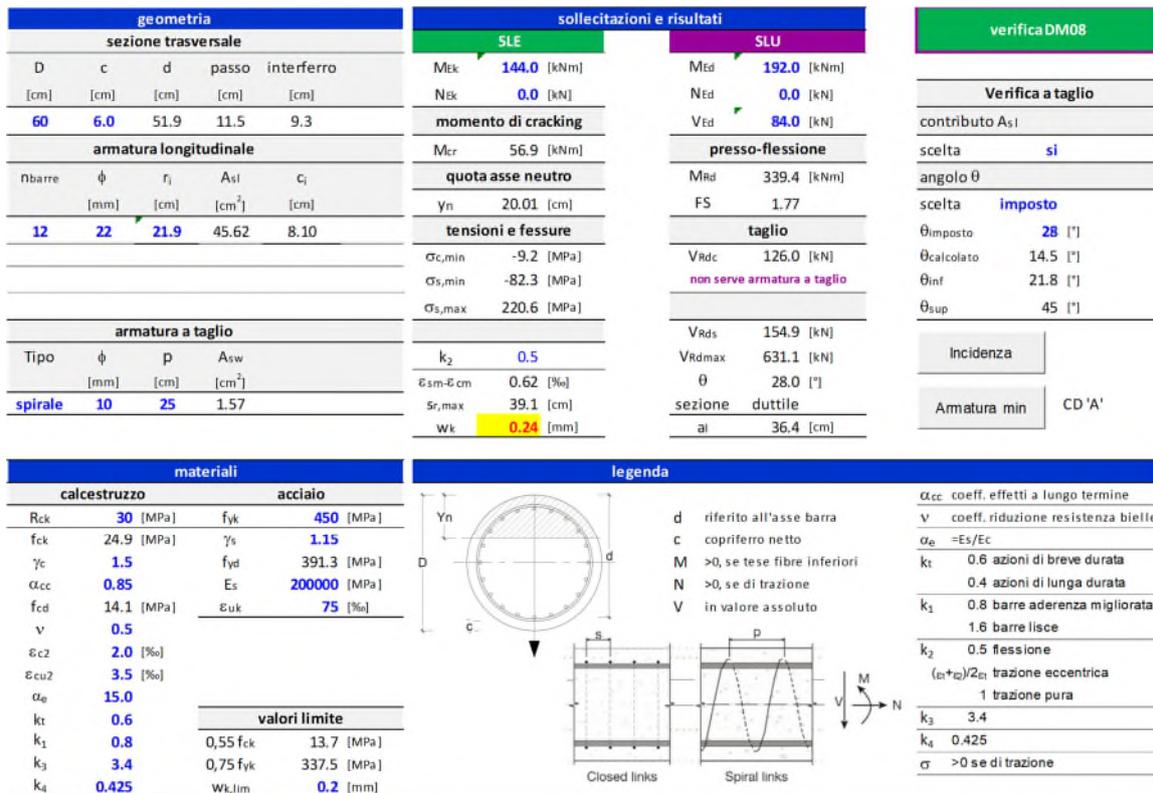


Figura 34 Verifica strutturale palo gabbia 1

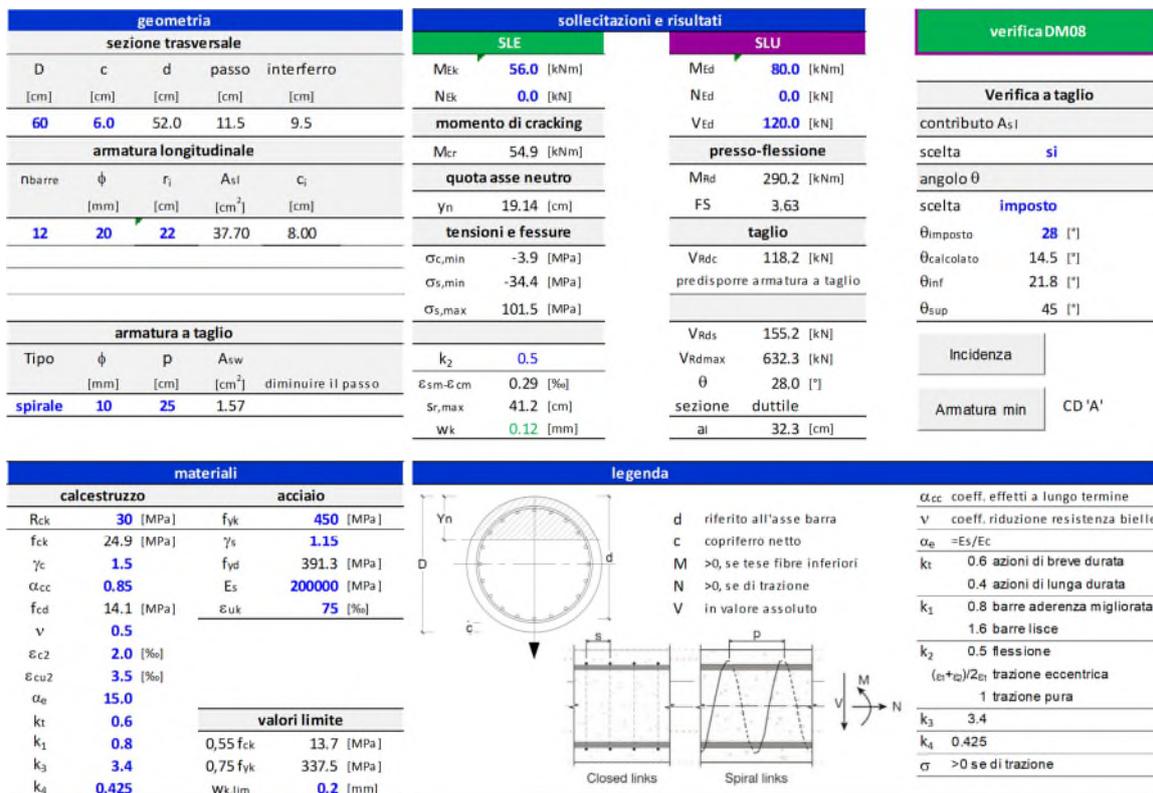


Figura 35 Verifica strutturale palo gabbia 2

9.4.1.2 Verifica del tirante a cavalletto costituito dal micropalo

- tiranti tipo: passivo costituito da micropalo
 - tubolare: $\varnothing 139.7$ sp.16mm
 - diametro perforazione 1800mm
 - inclinazione sulla verticale: 30°
 - tensione di snervamento per acciaio fyd: 355 MPa
- lunghezza totale: L_{totale} 21m
 tratto di fondazione: 10m
 interasse orizzontale i: 2.4m
 inclinazione sull'orizzontale: 0°

Sulla base delle informazioni geognostiche disponibili, è stata assunta una aderenza $\alpha\tau = 130$ kPa per iniezione a gravità. Il tratto di fondazione del micropalo ricade all'interno dell'Unità 2 (Detriti di versante). Il valore di aderenza assunto può essere considerato un limite inferiore dell'intervallo di valori di aderenza tipici per iniezioni a gravità (Type A) suggerito da FHWA (Federal Highway Administration) per sabbie aventi un addensamento medio, per confronto con analoghi limiti indicati per sabbie sciolte a mediamente addensate.

Soil / Rock Description	Typical Range of Grout-to-Ground Bond Nominal Strengths (kPa)			
	Type A	Type B	Type C	Type D
Silt & Clay (some sand) (soft, medium plastic)	35-70	35-95	50-120	50-145
Silt & Clay (some sand) (stiff, dense to very dense)	50-120	70-190	95-190	95-190
Sand (some silt) (fine, loose-medium dense)	70-145	70-190	95-190	95-240
Sand (some silt, gravel) (fine-coarse, med.-very dense)	95-215	120-360	145-360	145-385
Gravel (some sand) (medium-very dense)	95-265	120-360	145-360	145-385
Glacial Till (silt, sand, gravel) (medium-very dense, cemented)	95-190	95-310	120-310	120-335
Soft Shales (fresh-moderate fracturing, little to no weathering)	205-550	N/A	N/A	N/A
Slates and Hard Shales (fresh-moderate fracturing, little to no weathering)	515-1,380	N/A	N/A	N/A
Limestone (fresh-moderate fracturing, little to no weathering)	1,035-2,070	N/A	N/A	N/A
Sandstone (fresh-moderate fracturing, little to no weathering)	520-1,725	N/A	N/A	N/A
Granite and Basalt (fresh-moderate fracturing, little to no weathering)	1,380-4,200	N/A	N/A	N/A

Tabella 9-4 Valori tipici di aderenza (grout-to-ground bond)

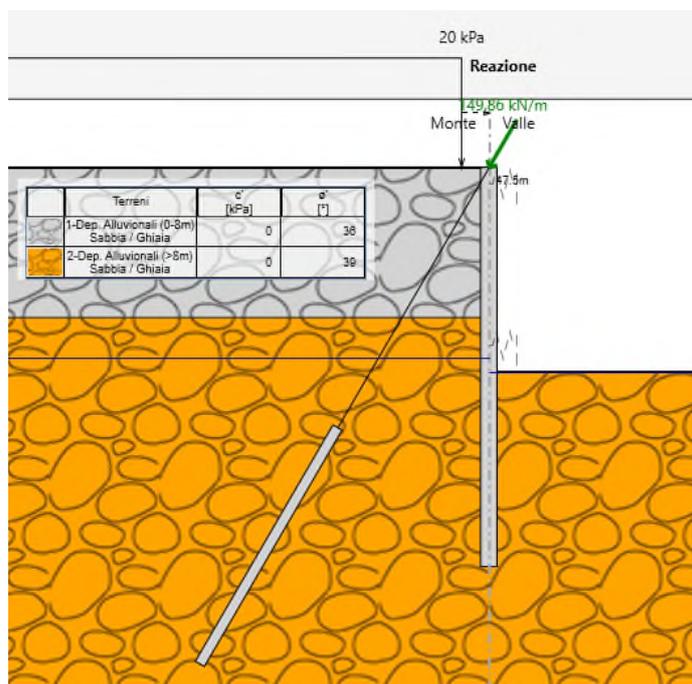


Figura 36 Reazioni micropalo a cavalletto SLU A1+M1+R1

f_{yk}	355	(MPa)	Tensione di snervamento dell'acciaio
$\gamma_{s,MO}$	1.15	(-)	Coefficiente parziale di sicurezza per l'acciaio (NTC §4.1.2.1.1.3)
A	0.006218	(m ²)	Area sezione nominale
$H_{berlinese}$	14.6	(m)	Altezza totale della berlinese
ϕ	36	(°)	Angolo di attrito
α	27	(°)	Cuneo di spinta attiva

Ordine	GEOMETRIA				RESISTENZA CARATTERISTICA			LUNGHEZZE CARATTERISTICHE			
	Quota (m da t.p.)	Interasse (m)	D _{perforazione} (m)	α (-)	$T_{ad,k}$ (kPa)	ξ_a (-)	r_{ak} (kN/ml)	$L_{libera,min}$ (m)	L_{libera} (m)	L_{bulbo} (m)	L_{tot} (m)
1	0.50	2.40	0.18	1.0	130	1.8	40.8	8.0	11.0	10.0	21.0

Ordine	COMBINAZIONE STATICA			VERIFICA A SFILAMENTO				VERIFICA STRUTTURALE			
	$T_{es,k}$ (kN/ml)	$T_{es,k}$ (kN)	γ_E (-)	$T_{d,tot}$ (kN)	γ_R (-)	R_{ad} (kN)	Verifica	$L_{bulbo,min}$ (m)	$T_{d,tot}$ (kN)	R_{yd} (kN)	Verifica
1	150.0	360.0	1.0	360	1.1	371.3	OK	9.7	360	1919	OK

Figura 37 Verifica allo sfilamento cavalletto - STR

9.4.1.3 Verifica strutturale del cordolo di testa

Il cordolo di testa della paratia è realizzato con una trave in c.a. di dimensioni BxH=90cmx80cm, in calcestruzzo classe C25/30. Il cordolo di coronamento è schematizzato come una trave continua su più appoggi e soggetta ad un carico uniformemente distribuito. Definito $N_{s,d}$ il massimo tiro di calcolo, il carico agente è pari a:

$$q_{s,d} = N_{s,d} / l$$

In cui "l" è l'interasse tra tiranti. Le massime azioni sulla trave di coronamento sono le seguenti:

$$M_{s,d} = \frac{1}{10} \cdot q_{s,d} \cdot l^2; \quad V_{s,d} = 0.6 \cdot q_{s,d} \cdot l$$

Le sollecitazioni agenti sono:

Comb.	q agente [kN/m]	Luce [m]	M [kNm/m]	V [kN/m]
SLE	115	2.4	66	166

geometria				
piastra	b _x	30	cm	larghezza piastra asse x
	b _y	30	cm	larghezza piastra asse y
cordolo	h	55	cm	altezza di verifica (cilindro di impronta piastra)
	c	8	cm	copriferro medio
	a	1	d	distanza contorno pilastro - perimetro verifica
	d	47	cm	altezza utile della piastra
	u	120.0	cm	perimetro sezione critica
sollecitazioni				
	V _{Ed}	360	kN	valore di calcolo della forza di taglio agente
	β	1.15		coeff. di distribuzione non uniforme sforzi
	p	0	kPa	pressione terreno a meno del peso della fondazione
	V _{Ed,red}	414	kN	valore di calcolo della forza di taglio netta
armatura				
longitudinale	φ _x	20	mm	di diametro armature longitudinali tese x
	s _x	17	cm	passo armature longitudinali tese x
	φ _y	20	mm	di diametro armature longitudinali tese y
	s _y	17	cm	passo armature longitudinali tese y
a taglio	φ	12	mm	di diametro armatura punzonamento
	nφ	12		numero ferri punzonamento in un perimetro
	s _r	20	cm	passo radiale armatura punzonamento
	α	90	°	angolo tra armatura a taglio e piano medio piastra
	A _{s,w}	1357	mm ²	area di un perimetro armatura punzonamento
	d/s _r	2.4		0,67 se esiste una sola linea di ferri piegati
materiali				
calcestruzzo	R _{ck}	37	MPa	resistenza cubica caratteristica cls
	γ _c	1.5		coeff. sicurezza calcestruzzo
	f _{ck}	30.7	MPa	resistenza cilindrica caratteristica cls
	f _{cd}	20.5	MPa	resistenza di progetto cls
acciaio	f _{yk}	450	MPa	resistenza snervamento caratteristica
	γ _s	1.15		coeff. sicurezza acciaio
	f _{ywd}	391.3	MPa	resistenza di progetto acciaio
	f _{ywd,eff}	367.5	MPa	resistenza di progetto efficace

verifica bordo				
v	0.53	coeff. riduzione resistenza bielle		
V _{Ed}	0.73	MPa	azione sollecitante a ridosso colonna	
V _{Rd,max}	5.39	MPa	azione resistente solo cls a ridosso colonna	
verifica a punzonamento				
V _{Ed}	0.73	MPa	valore di calcolo dell'azione sollecitante	
senza armatura	C _{Rd,c}	0.12		
	k	1.65	coeff. ingranamento	
	L _{cx}	0.25	m	larghezza fascia piastra per calcolo p _{lx}
	L _{cy}	0.25	m	larghezza fascia piastra per calcolo p _{ly}
	nφ _x	0.0		numero ferri longitudinali tesi x
	ρ _{lx}	0.000		percentuale armatura longitudinale tesa x
	nφ _y	0.0		numero ferri longitudinali tesi y
	ρ _{ly}	0.000		percentuale armatura longitudinale tesa y
	ρ _l	0.000		percentuale armatura longitudinale tesa
	V _{min}	0.41	MPa	valore minimo azione resistente
	V _{Rd,c}	0.62	MPa	azione resistente senza armatura a punzonamento
con armatura	V _{Rd,c}	0.62	MPa	contributo azione resistente cls
	V _{Rd,s}	3.12	MPa	contributo azione resistente armatura
	V _{Rd,cs}	3.74	MPa	azione resistente con armatura a punzonamento
perimetro esterno e prescrizioni geometriche				
	r _{out}	34	cm	perimetro oltre cui non è necessaria armatura
	r _{spilli}	-36	cm	distanza oltre cui non è necessaria armatura
	nφ _{tot}	-24		numero totale spilli
	s _t	-19.1	cm	passo tangenziale lungo il perimetro più esterno
	s _{t,max}	70.5	cm	passo tangenziale massimo
	s _{r,max}	35.3	cm	passo radiale massimo
	A _{sw,min}	-301	mm ²	area minima

Figura 39 Risultati verifica punzonamento cordolo

9.5 Verifica allo SLU di tipo GEO

9.5.1 Verifica di stabilità globale

La verifica di stabilità globale dell'opera provvisoria deve essere condotta in accordo all'approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R3). Nella figura seguente è riportato il risultato delle verifiche in accordo con il metodo di Janbu. L'analisi di stabilità risulta essere soddisfatta con un coefficiente di sicurezza di 1.8.

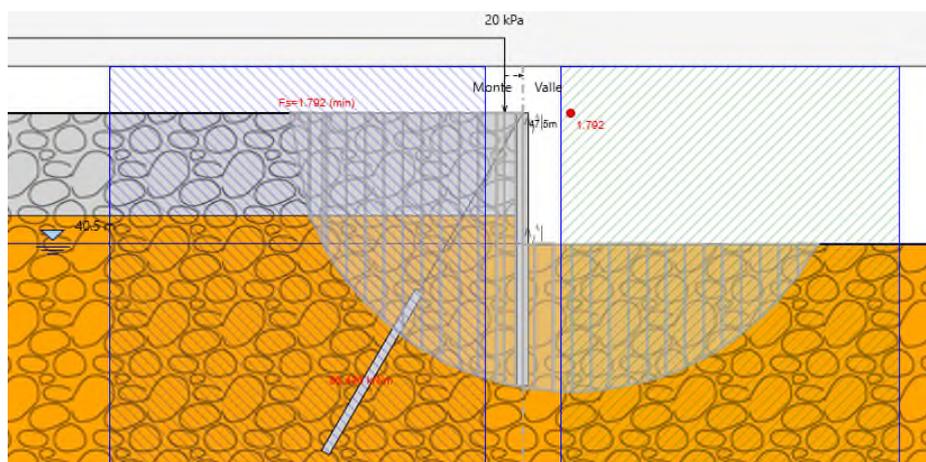


Figura 40 Risultati verifica stabilità globale

9.5.2 Verifica della spinta a valle della paratia

La verifica delle spinte a valle della paratia è condotta in accordo all'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R1). Nella seguente figura si mostrano la risultante delle spinte agenti sulla paratia relativi all'ultima fase di calcolo (Stage 7), in particolare deve risultare che la spinta mobilitata a valle (Spinta reale efficace), moltiplicata per il coefficiente $\gamma F = 1.0$, sia inferiore alla resistenza del terreno (Massima spinta ammissibile) corrispondente alla spinta passiva divisa per il coefficiente di resistenza $\gamma R = 1.0$. La verifica risulta soddisfatta in quanto la resistenza passiva mobilitata risulta pari al 20% e al 35%, rispettivamente per la combinazione allo SLE e SLU GEO.

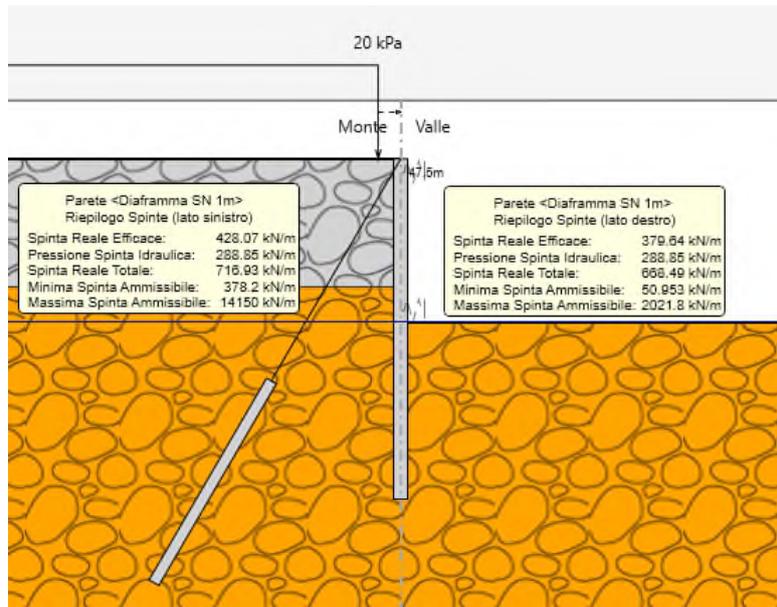


Figura 41 Verifica Resistenza del terreno a valle (SLE)