

VARIANTE ALLA S.S. 1 "VIA AURELIA"
Viabilità di accesso all'hub portuale di La Spezia
Lavori di costruzione della variante alla S.S. 1 Via Aurelia - 3°Lotto
2° Stralcio Funzionale B dallo Svincolo di Buon Viaggio allo Svincolo di San Venerio
COMPLETAMENTO

PRECEDENTI LIVELLI DI PROGETTAZIONE DELL'APPALTO INTEGRATO ORIGINALE

PD n°1861 del 09/07/03 aggiornato al 10/12/08 - Delibera CIPE n°60 del 02/04/08

PE n° 103 del 14/07/2011 - D.A. CDG-103321-P del 20/07/11

PVT n°112 del 21/01/16 aggiornata al 28/10/16 - D.A. CDG-92950-P del 21/02/17

Progetto Esecutivo Cantierabile Opere da Completare

PROGETTO ESECUTIVO

COD. GE266

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTA:

Dott. Ing. Antonio Scalamandrè
Ordine Ing. di Frosinone n. 1063

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Flavio Capozucca
Ordine Geol. del Lazio n. 1599

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. Emiliano Paiella

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Fabrizio Cardone

PROTOCOLLO

DATA

GALLERIA ARTIFICIALE da Pk 2+308 A Pk 2+444

GALLERIA FELETTINO I

GALLERIA ARTIFICIALE da Pk 2+308 A Pk 2+444

RELAZIONE DI CALCOLO OPERE PROVVISORIALI

CODICE PROGETTO

NOME FILE

T00GA01OSTRE03A.dwg

REVISIONE

SCALA

PROGETTO

LIV. PROG.

DPGE0266 E 20

CODICE ELAB.

T00GA01OSTRE03

A

-

D

C

B

A

Emissione

Luglio 2020

Ing.

Ing.

Ing.

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

VARIANTE ALLA S.S.1 “VIA AURELIA”

Viabilità di accesso all’hub portuale di La Spezia

Lavori di costruzione della variante alla S.S. 1 Via Aurelia – 3°Lotto

2°Stralcio Funzionale B dallo Svincolo di Buon Viaggio allo Svincolo di San Venerio

COMPLETAMENTO



Opere provvisionali per la realizzazione della Galleria Artificiale in zona Frana Carozzo

RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE PROVVISORIALI

-	24.07.2020	AGI	CR
Versione	Data	Redatto	Verificato

Lombardi Ingegneria S.r.l. – Socio Unico

Via Giotto 36, IT-20145 Milano

Telefono +39 02 583 03 324, Fax +39 02 583 03 190

milano@lombardi.group, www.lombardi.group

Unità locale Torino

Via R. Montecuccoli 9, IT-10121 Torino, Italy

Telefono: +39 011 192 149 20, Fax: +39 02 583 03 190

torino@lombardi.group, www.lombardi.group

INDICE

1.	INTRODUZIONE	3
2.	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	4
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
2.2	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO	4
2.3	BIBLIOGRAFIA	4
2.4	CODICI DI CALCOLO	5
3.	MATERIALI	6
4.	DESCRIZIONE DELLE OPERE E SEZIONI DI CALCOLO	7
4.1	PREMESSA	7
4.1.1	La berlinese	7
4.1.2	Le scarpate chiodate	10
5.	I CODICI DI CALCOLO	11
5.1	IL CODICE DI CALCOLO PLAXIS 2D	11
5.2	IL CODICE DI CALCOLO TALREN	12
6.	I CRITERI DI PROGETTAZIONE AGLI STATI LIMITE	14
6.1	La paratia	14
6.2	I tiranti	15
6.3	Le scarpate chiodate	16
7.	IL CONTESTO GEOLOGICO - GEOTECNICO	17
7.1	Il contesto geologico	17
7.2	Le Unità Geologiche	18
7.3	Il modello geotecnico	18
8.	I MODELLI E LE FASI DI CALCOLO	21
8.1	Sezioni e modelli di calcolo	21
8.2	Fasi di calcolo	23

Variante alla S.S.1 " Via Aurelia" Viabilità di accesso all'hub di La Spezia
Lavori di costruzione della variante alla S.S.1 Aurelia – 3° Lotto
2° Stralcio funzionale B dallo Svincolo di Buon Viaggio allo Svincolo di S. Venerio
Completamento – PE

RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE PROVVISORIALI

II

9.	RISULTATI DEI CALCOLI	25
10.	VERIFICHE DI RESISTENZA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI E VERIFICHE DI STABILITA'	33
10.1	Verifica della resistenza strutturale della paratia	33
10.2	Verifica della resistenza strutturale degli ancoraggi	34
10.3	Verifica della resistenza a sfilamento degli ancoraggi	35
10.4	Verifica della resistenza strutturale delle travi di ripartizione	36
10.5	Verifica della stabilità globale dell'opera	38
11.	LE SCARPATE CHIODATE	39
11.1	Criteri di modellazione	39
11.2	Risultati	39

1. INTRODUZIONE

L'oggetto della presente Relazione sono le opere di contenimento degli scavi necessari alla realizzazione della tratta in artificiale della Galleria Felettino I (pk da 2+440.1 a 2+308, per un totale di circa 136 m) che interferisce con l'area in frana del Versante di Carozzo.

La presente relazione illustra i criteri di dimensionamento e le verifiche geotecniche e strutturali delle opere di contenimento degli scavi necessari alla realizzazione della GA.

Le opere di sostegno in oggetto sono costituite da paratie di micropali multitirantate.

Le posizioni in pianta delle paratie sono studiate in maniera tale minimizzare le aree di cantiere e dunque le aree di esproprio. La quota di scavo del piazzale è definita in funzione delle quote di progetto e delle geometrie delle sezioni tipo della galleria artificiale.

Il presente documento riporta in dettaglio le verifiche geotecniche di tali opere, condotte ai sensi della Normativa vigente (Doc. Rif.[1] e **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

2. DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- [1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: "Aggiornamento delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".
- [2] Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

2.2 DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO

- [3] T00GE00GETRE01A – Relazione geotecnica e sismica – Versante di Carozzo.
- [4] T00GE00GETRE02A – Relazione di analisi del monitoraggio – Versante di Carozzo.
- [5] T00GE00GETFG01A – Profilo geotecnico – Versante di Carozzo
- [6] T00GE00GETSG04A Sezioni geotecniche 4/4 – Sezione Geotecnica 5-5'
- [7] T00GA01OSTPP02A Galleria artificiale – Scavi e opere provvisionali – Pianta
- [8] T00GA01OSTDI05A Galleria artificiale – Soil nailing – Pianta e sezione tipologica
- [9] T00GA01OSTFP02A Galleria artificiale – Scavi e opere di sostegno – Profilo berlinese e dettagli costruttivi
- [10] T00GA01OSTPP03A Galleria artificiale – Scavi e opere di sostegno – Pianta berlinese
- [11] T00GA01OSTSZ05A Galleria artificiale – Scavi e opere di sostegno – Sezioni berlinese
- [12] T00OM00GETRE02A Versante di Carozzo – Relazione di calcolo Modello 3D – Back Analysis
- [13] T00OM00GETRE03A Versante di Carozzo – Relazione di calcolo geotecnico

2.3 BIBLIOGRAFIA

- [14] Bustamante M. et Doix B., "Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés", Bulletin liaison LCPC, Nov. - Dec. 1985.
- [15] Caquot A., Kerisel J. [1948] "Tables for the calculation of passive pressure, active pressure and bearing capacity of foundations" Gautiers-Villars, Paris.
- [16] Lancellotta R. (2007), "Lower Bound approach for seismic passive earth resistance", Geotechnique, Technical Note, 57, 1-3.
- [17] Mueller-Breslau (1906), "Erddruck an Stuetzmaern" Kroener.
- [18] Mononobe N. (1929) "Earthquake-proof construction of masonry dams", Proc. of World Engineering Conference, vol.9, p.275.
- [19] NAVFAC (1982), "Foundations and earth Structures. Design manual 7.2". Department of the Navy, Naval Facilities Engineering Command.

Variante alla S.S.1 " Via Aurelia" Viabilità di accesso all'hub di La Spezia
Lavori di costruzione della variante alla S.S.1 Aurelia – 3° Lotto
2° Stralcio funzionale B dallo Svincolo di Buon Viaggio allo Svincolo di S. Venerio
Completamento – PE

RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE PROVVISORIALI

5

2.4 CODICI DI CALCOLO

[20] PLAXIS 2D 2019

[21] Terrasol - Talren v.5.2.5 - <http://www.terrasol.fr/en>

3. MATERIALI

I materiali che costituiscono le opere di sostegno sono i seguenti:

Calcestruzzo per cordoli:

- Caratteristica di resistenza minima C25/30
- Classe di esposizione XC2
- Eventuali additivi secondo NTA

Malta e/o miscela cementizia per micropali:

- Caratteristica di resistenza minima C25/30
- Classe di esposizione XC2
- Eventuali additivi secondo NTA

Acciaio per armature ordinarie:

- Barre nervate tipo B450C
fyk > 450 Mpa
ftk > 540 Mpa

Acciaio in profili a sezione cava (per micropali):

- Tipo EN 10210-1 S355 J0H+N

Barre per chiodature temporanee:

Barre ad aderenza migliorata tipo definitivo

- Qualità acciaio B450C
- Perforazione ≥ 100 mm

Tiranti a trefoli

- Tiranti a trefoli in acciaio armonico
*anche se con funzione provvisoria i tiranti vengono realizzati con la doppia protezione
- Diametro perforazione ≥ 160 mm per tiranti con meno di 6 trefoli; ≥ 180 mm per tiranti con 6 o 7 trefoli
- Acciaio per tiranti in trefoli da 0.6" stabilizzati:
- Tensione caratteristica di rottura $f_{ptk} \geq 1860$ N/mm²
- Tensione caratteristica all'1% di deform. tot. $f_{p(1)k} \geq 1670$ N/mm²

Miscela cementizia di iniezione dei tiranti:

- Secondo NTA - soggetto ad approvazione della Direzione Lavori
- Caratteristica di resistenza minima C25/30
- Classe di esposizione XC2
- Eventuali additivi secondo NTA

4. DESCRIZIONE DELLE OPERE E SEZIONI DI CALCOLO

4.1 PREMESSA

La tratta in artificiale della galleria Felettino I tra le pk 2+308 e 2+444 interferisce con il piede del versante Carozzo, interessato da movimenti gravitativi diffusi che sono stato oggetto di indagini in sito e analisi di dettaglio condotte con metodi di calcolo avanzati (per approfondimenti si rimanda alle relazioni dedicate, cfr. doc. [4], [12], [13]).

A presidio degli sbancamenti necessari alla realizzazione sarà realizzata una berlinese di micropali multirantata, e le scarpate a monte saranno opportunamente sagomate e chiodate.

L'immagine in basso (Figura 1) riporta la planimetria degli scavi e delle opere provvisionali necessarie a garantire la sicurezza dei lavori: il contorno delineato dalla linea tratteggiata in rosso rappresenta l'unghia del versante in frana, che interferisce con gli scavi della GA; a ridosso dei pali della GA, nelle zone in cui le altezze di scavo sono maggiori (altezze fuori terra massime di circa 6 m) è rappresentata la berlinese che sarà realizzata a presidio degli sbancamenti, le aree campite in verde rappresentano le scarpate chiodate, sagomate con pendenza 1:1.



Figura 1 Galleria artificiale Felettino I (pk 2+308 e 2+444) – Pianta degli scavi e delle opere provvisionali

L'avvio del cantiere per gli sbancamenti necessari alla realizzazione della GA è subordinato alla realizzazione di un intervento di drenaggio con pozzi drenanti ubicati a monte della berlinese e delle scarpate chiodate. I pozzi garantiranno l'abbassamento della falda nel corpo in frana del versante ad un livello tale da stabilizzare il versante durante tutto il periodo di costruzione dell'opera.

4.1.1 La berlinese

La berlinese a presidio degli scavi sarà realizzata con micropali in acciaio, e sarà tirantata con tiranti a trefoli.

Di seguito si riportano le caratteristiche principali della berlinese in oggetto:

- Diametro esterno tubo acciaio = 168.3 mm con spessore = 12.5 mm
- Diametro perforazione = 240 mm
- Spaziatura = 0.4 m
- Lunghezza massima = 10 m
- Trave di coronamento in c.a. di dimensioni 0.50x0.70 m
- Travi di ripartizione dei tiranti n° 2 UPN160
- Tiranti a trefoli.

La paratia sarà tirantata con uno o due ordini di tiranti a seconda dell'altezza fuori terra. Il diametro di perforazione per i tiranti è di 160 mm. Le lunghezze del bulbo di fondazione saranno variabili a seconda delle sezioni e tali da garantire il soddisfacimento delle verifiche a sfilamento.

La berlinese è da considerarsi opera di tipo provvisoria, in quanto gli scavi che dovrà sostenere verranno ritombati una volta realizzata la soletta di copertura della Galleria Artificiale (per maggiori dettagli cfr. elaborati grafici di progetto), proprio per questo motivo nelle verifiche non si considereranno le azioni sismiche.

Le verifiche per il dimensionamento della paratia saranno condotte con il codice di calcolo agli elementi finiti PLAXIS 2D.

La Figura 2 mostra la posizione planimetrica delle sezioni scelte come rappresentative del dimensionamento delle paratie in oggetto.

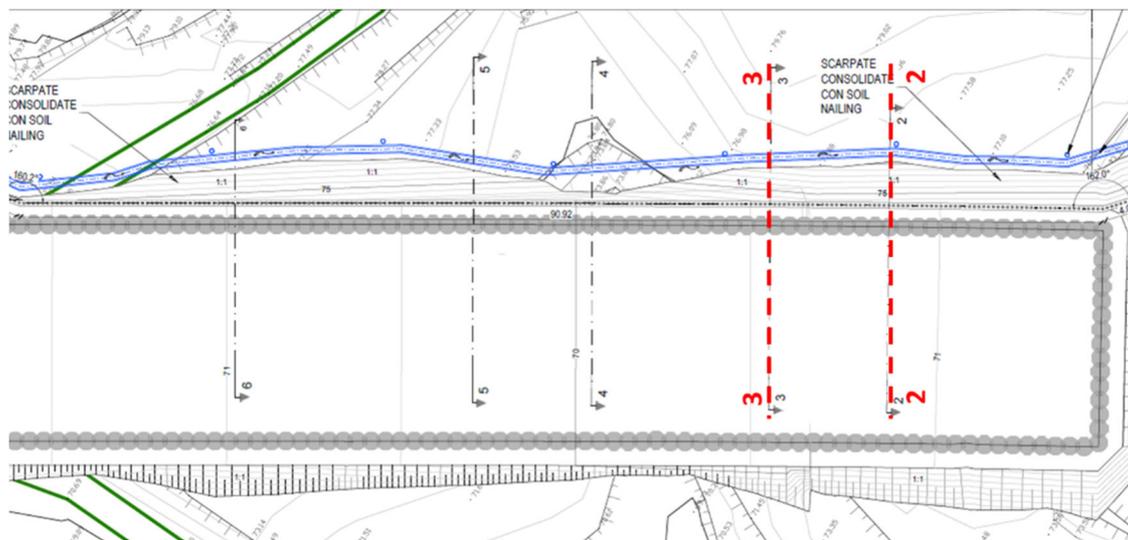


Figura 2 Sezioni di analisi per la berlinese di presidio agli scavi della GA

Le sezioni di calcolo sono mostrate nelle figure a seguire e le caratteristiche dei sistemi di ancoraggio di ciascuna sezione sono indicate nelle rispettive tabelle.

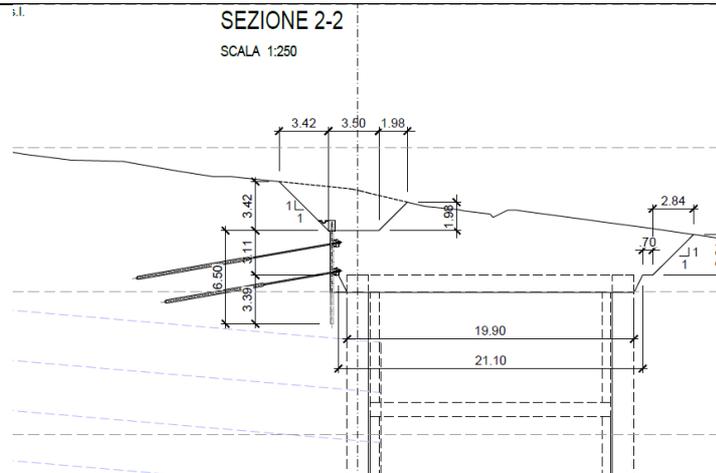


Figura 3 Sezione berlinese di presidio agli scavi della GA 2-2

	Quota da testa cordolo [m]	N° trefoli [-]	L _L lunghezza libera [m]	Inclinazione [°]	L _A lunghezza attiva [m]	Pretiro [kN]	Interasse [m]
1° Ordine	1.0	3	6	10	8	150	2.0
2° Ordine	3.0	3	5	10	7	150	2.0

Tabella 1: Sezione 2-2 - Caratteristiche dei tiranti

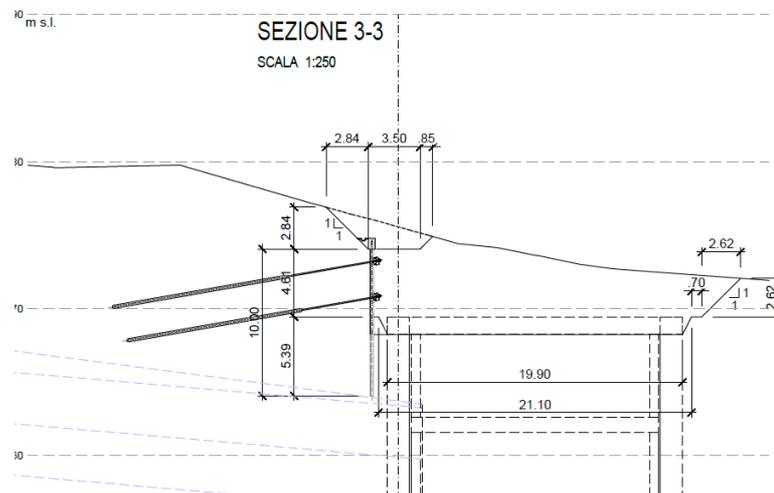


Figura 4 Sezione berlinese di presidio agli scavi della GA 3-3

	Quota da testa cordolo [m]	N° trefoli [-]	L _L lunghezza libera [m]	Inclinazione [°]	L _A lunghezza attiva [m]	Pretiro [kN]	Interasse [m]
1° Ordine	1.0	3	6	10	12	250	2.0
2° Ordine	3.5	3	5	10	12	250	2.0

Tabella 2 Sezione 3-3 - Caratteristiche dei tiranti a trefoli

4.1.2 Le scarpate chiodate

Le scarpate al di sopra della berlinese sono sagomate con pendenza 1:1 e consolidate mediante chiodatura con barre in acciaio Ø 24 mm, lunghezza 6m e disposte secondo una maglia 1,5m x 1,5m. Il diametro di perforazione dei chiodi è pari a Ø 50 mm.

Le analisi di stabilità delle scarpate saranno condotte con il codice di calcolo Talren.

Di seguito si riporta la sezione in corrispondenza della quale la scarpata raggiunge la massima altezza, pari a 4m, e che è stata considerata nelle verifiche di dimensionamento dell'intervento



Figura 5 Planimetria delle scarpate chiodate

SEZIONE 3-3

SCALA 1:250

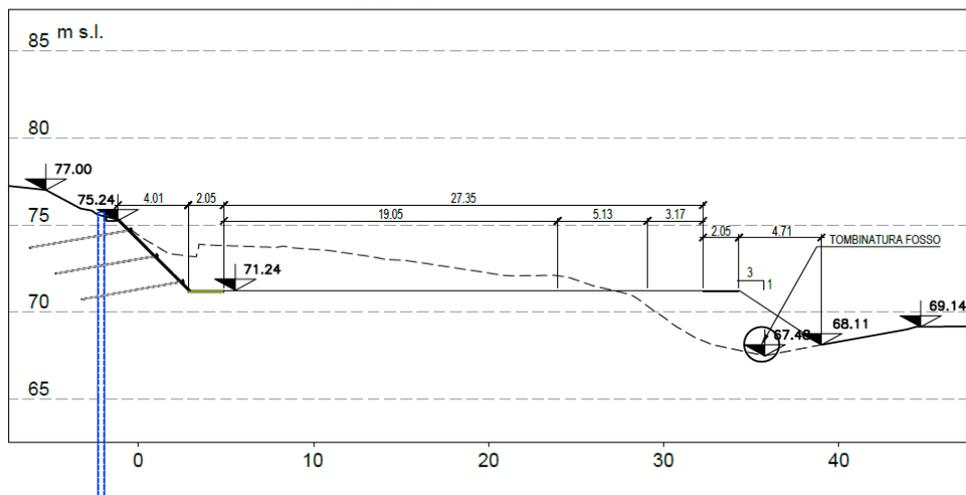


Figura 6 Sezione di riferimento per il dimensionamento delle scarpate chiodate

5. I CODICI DI CALCOLO

Per il calcolo strutturale e geotecnico della berlinese ci si è avvalsi del codice di calcolo agli elementi finiti (FEM) PLAXIS 2D release 2019.0.

Le verifiche di stabilità delle scarpate sono state invece condotte con il codice di calcolo TALREN v5.2.5 sviluppato dalla Società Terrasol, (Montreuil Cedex, France).

5.1 IL CODICE DI CALCOLO PLAXIS 2D

Plaxis 2D è un codice di calcolo agli elementi finiti utilizzabile per eseguire analisi di stabilità e di deformazione nell'ambito di molteplici applicazioni geotecniche. Il programma permette di simulare situazioni riconducibili a condizioni di deformazione piane (plain strain) o a condizioni assialsimetriche (axisymmetric).

Il terreno è generalmente discretizzato tramite elementi triangolari a 15 nodi, disposti a generare un reticolo nodale (mesh) di calcolo opportunamente infittito nelle zone di massimo gradiente tensionale. Le paratie sono simulate tramite l'introduzione di elementi 'plate' basati sulla teoria di Mindlin, caratterizzati da rigidità flessionale (EI) ed assiale (EA). La discontinuità (e dunque il mutuo scorrimento) tra strutture e terreno è modellata tramite opportuni elementi di interfaccia, dotati di uno spessore virtuale e di una resistenza pari ad una frazione di quella del terreno naturale. Il programma consente inoltre di modellare la presenza di tiranti e relativi bulbi di fondazione, permettendo di simulare lo stato tensionale generato nel terreno dalla presenza dell'ancoraggio attivo.

Il codice consente di eseguire anche analisi di stabilità, con la procedura di riduzione delle caratteristiche meccaniche ($\varphi - c$ reduction) e di calcolare i coefficienti di sicurezza. Il programma esegue una serie di passi durante i quali la resistenza dei materiali viene progressivamente abbattuta mediante un coefficiente via via crescente, al fine di valutare il fattore di sicurezza del pendio (pari al valore del coefficiente riduttivo che rende il modello numericamente instabile, e che individua dunque una condizione di instabilità/rottura).

$$M_{SF} = \frac{\tan\varphi_{iniz}}{\tan\varphi_{rid}} = \frac{c'_{iniz}}{c'_{rid}}$$

in cui:

$\tan\varphi_{iniz}$ e c'_{iniz} sono i parametri meccanici iniziali attribuiti ai materiali

$\tan\varphi_{rid}$ e c'_{rid} sono i parametri meccanici ridotti nello specifico step di calcolo della fase di $\varphi - c$ reduction.

5.2 IL CODICE DI CALCOLO TALREN

Il programma di calcolo TALREN opera secondo i metodi classici dell'equilibrio limite, e consente la valutazione del coefficiente di sicurezza di un versante in condizioni statiche e in condizioni sismiche, attraverso una verifica pseudostatica.

I metodi di calcolo utilizzati nel programma sono il metodo di Fellenius, il metodo di Bishop semplificato e il metodo sviluppato da Raulin, Rouques e Toubol. Tutti i metodi operano suddividendo il volume di terreno potenzialmente instabile in conci elementari a lati verticali e paralleli (metodi delle "strisce"). La superficie di scivolamento ipotizzata è di forma circolare per i metodi di Fellenius e di Bishop, e di forma qualsiasi per il terzo metodo. Per ciascuna delle superfici di scorrimento analizzate viene valutato il valore del coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto tra il momento stabilizzante e quello instabilizzante.

La superficie critica è quella che presenta il minimo coefficiente di sicurezza. La ricerca della superficie critica è facilitata nel programma da alcune subroutine di calcolo (ricerca automatica, griglia di centri con mesh a forma di quadrilatero, tangenti della superficie di rottura, ecc.).

Caratteristica peculiare del programma è la possibilità di adottare 4 tipi di elementi di rinforzo di tipologia e comportamento strutturale differente, che consentono di modellare il comportamento dei più comuni elementi strutturali (chiodi, tiranti, pali, micropali, geotessili, geogriglie, puntoni, ecc.).

L'azione stabilizzante degli elementi di rinforzo è tenuta in conto considerando le forze generate all'intersezione fra la superficie di rottura ed il singolo elemento. La forza resistente alla base dell'iesimo cono attraversato dal rinforzo può essere scomposta in due componenti, T_n (forza assiale nel rinforzo) e T_c (forza di taglio nel rinforzo) (v. figura Figura 7).

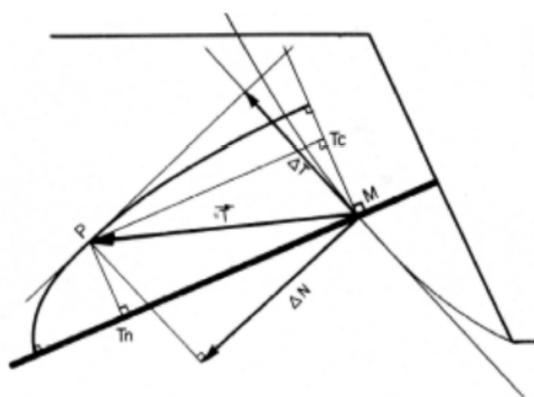


Figura 7 Componenti delle forze resistenti (Talren Manual)

Le forze T_n e T_c entrano a far parte del calcolo di stabilità come forze resistenti, ed il loro valore dipende dalle caratteristiche di resistenza dell'elemento fornite dall'utente a seconda della tipologia dell'elemento stesso (resistenza a trazione, resistenza a taglio e a flessione, ecc.).

La reazione dell'elemento di rinforzo viene assunta pari ad un valore a rottura scelto in base ad un "multicriterio di rottura" (snervamento a trazione o a taglio dell'elemento, scorrimento lungo l'interfaccia terrenoancoraggio, rottura per superamento della pressione limite laterale esercitata dal rinforzo sul terreno, plasticizzazione a flessione dell'elemento di rinforzo, ecc.).

I criteri di rottura per il terreno direttamente disponibili nel programma sono quello classico di Mohr-Coulomb, ovvero modelli tipo Mohr-Coulomb con coesione anisotropa o variabile con la profondità. È anche possibile definire nel piano s-t una curva di resistenza definita per punti, quindi un involucro di rottura definito tramite una spezzata con una forma qualsiasi.

È poi possibile ipotizzare una linea piezometrica di forma qualsiasi, schematizzare carichi esterni verticali o inclinati, distribuiti su una superficie o lineari lungo una retta.

6. I CRITERI DI PROGETTAZIONE AGLI STATI LIMITE

In accordo con quanto definito nel par. 6.2.4. del Doc. Rif.[1], per ogni Stato Limite Ultimo (SLU) deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 6.2.1 del Doc. Rif.}[1]),$$

dove

E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, e

R_d è il valore di progetto della resistenza.

La verifica della condizione ($E_d \leq R_d$) deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

6.1 La paratia

Per le paratie, secondo quanto riportato al par. 6.5.3.1.2 del Doc. Rif.[1], devono essere verificati i seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO):
 - Collasso per rotazione intorno a un punto dell'opera (atto di moto rigido);
 - Sfilamento di uno o più ancoraggi;
 - Instabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;
- SLU di tipo strutturale (STR):
 - Raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;
 - Raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle riproposte di seguito, per le azioni, i parametri geotecnici e le resistenze globali:

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.3	1.0
Permanenti non strutturali (1)	Favorevole	γ_{G2}	0.8	0.8
	Sfavorevole		1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.3

Tabella 3 Coefficienti parziali sulle azioni (A1 ed A2)

PARAMETRO	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	γ_{Cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1.0	1.0

Tabella 4 Coefficienti parziali sui terreni (M1 ed M2)

Coefficiente parziale	(R2)
γ_R	1.1

Tabella 5 Coefficienti parziali per le verifiche di stabilità globale (R2)

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 1 considerando le due combinazioni di coefficienti:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R1)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 4 e 5, con i coefficienti del gruppo R1 pari all'unità.

In tutti i casi, nelle condizioni di esercizio, gli spostamenti dell'opera di sostegno e del terreno circostante devono essere valutati per verificarne la compatibilità con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità di manufatti adiacenti, qualora presenti.

6.2 I tiranti

Per quanto concerne il dimensionamento geotecnico dei tiranti, deve essere verificato lo stato limite di sfilamento della fondazione dell'ancoraggio. La verifica di tale condizione è effettuata con riferimento alla combinazione A1+M1+R3, tenendo conto dei coefficienti per le azioni e i parametri geotecnici riportati nelle Tabelle 4 e 5 e dei coefficienti parziali per le resistenze globali indicati nella tabella in basso:

Coefficiente parziale Per tiranti temporanei	(R3)
γ_R	1.1

Tabella 6 Coefficienti parziali per le verifiche a sfilamento dei tiranti

Nelle verifiche, la resistenza caratteristica allo sfilamento dell'ancoraggio R_{ak} deve inoltre essere ridotta dei fattori di correlazione ξ che tengono conto del numero di profili d'indagine che consentono la completa identificazione del modello geotecnico di sottosuolo per il terreno di fondazione dell'ancoraggio.

Nel caso in esame, poichè la resistenza R_{ak} viene determinata con metodi di calcolo analitici (abachi Bustamante&Doix) e i profili d'indagine sono assunti cautelativamente in numero pari a 2, il fattore di correlazione da assumere nelle verifiche è pari a $\xi=1.70$.

6.3 Le scarpate chiodate

Le verifiche di stabilità sono condotte secondo la combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 4, 5 e 6, rispettivamente per le azioni, i parametri geotecnici e le resistenze globali.

7. IL CONTESTO GEOLOGICO - GEOTECNICO

7.1 Il contesto geologico

Il versante al cui piede si inserisce la tratta in artificiale della Galleria Felettino I, e dunque le opere di sostegno agli scavi oggetto della presente nota, è ubicato ad Ovest della dorsale che divide il Golfo di La Spezia dalla bassa Val di Magra, nei pressi dell'abitato di Carozzo, come mostrato nella Figura 8. I territori interessati appartengono ai comuni di La Spezia e di Vezzano Ligure.

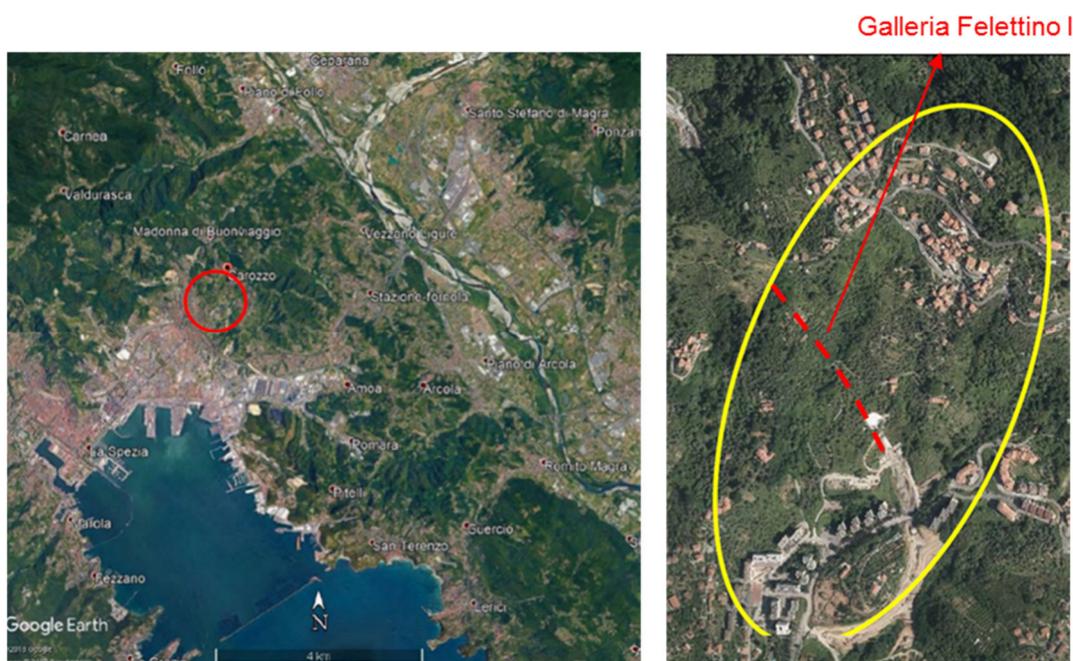


Figura 8 Ubicazione della tratta in artificiale della Galleria Felettino I (pk da 2+308 a 2+444)

Il versante di Carozzo si sviluppa a quote comprese tra circa 30 e 210 m s.l.m. in direzione SO; la porzione superiore risulta fortemente antropizzata in corrispondenza dell'abitato di Carozzo, mentre la porzione sottostante, pur essendo meno antropizzata è interessata da rimodellamento antropico sottoforma di terrazzamenti agricoli, attualmente in uso.

Le cartografie disponibili mostrano la presenza di diversi corpi di frana ubicati sia nella porzione alta del versante che nella parte inferiore. La perimetrazione tratta dal Geoportale Nazionale evidenzia, invece, un grosso corpo di frana che si estende dalla cima del versante fino a valle, unito ad altre due frane minori situate sui fianchi. Ciò è evidentemente testimonianza di fenomeni morfologici e gravitativi in continua evoluzione, con episodi di innesco di porzioni di versante circoscritte o più estese, e che si evolvono nel tempo.

La tratta in artificiale della Galleria Felettino I lambisce il piede del versante.

7.2 Le Unità Geologiche

Sul settore di versante oggetto di studio è possibile distinguere due unità tettoniche principali, denominate Unità Canetolo e Unità Bratica s.l..

L'Unità Canetolo è composta dalle Argille e Calcari di Canetolo (parte bassa della stratigrafia locale), al cui tetto si trova una lente abbastanza circoscritta di Calcari di Groppo del Vescovo. Le Argille e Calcari di Canetolo affiorano nell'area di studio prevalentemente sottoforma di argilliti foliate molto deformate in cui sono immersi sporadici livelli lentiformi di calcilutiti.

I Calcari di Groppo del Vescovo affiorano a Ovest di Villa Castagnola, e sono geometricamente posti al di sopra delle Argille e Calcari di Canetolo; gli affioramenti si presentano come calcari e calcari marnosi in cui si intercalano livelli più o meno spessi di argilliti.

L'Unità Bratica s.l. nell'area di studio (parte alta della stratigrafia locale) è suddivisibile in tre sub-unità, denominate uB1, uB2 e uB3, separate da contatti tettonizzati, nel dettaglio:

- **L'unità uB1** è quella geometricamente più bassa e poggia direttamente sulla sottostante Unità Canetolo. Essa è rappresentata prevalentemente da calcari marnosi, marne siltose e argilliti, spesso micacee.
- **L'unità sovrastante uB2** si presenta invece sottoforma di argilliti e siltiti subordinate, con intercalazioni più carbonatiche sottoforma di strati calcarei.
- **L'unità più alta, uB3**, rispecchia una facies prevalentemente silicoclastica sottoforma di siltiti, argilliti e arenarie fini, raramente anche a granulometria medio-grossolana, in strati da centimetrici a decimetrici.

Dal punto di vista geologico-strutturale, nell'area di studio, l'Unità Bratica s.l. è coinvolta da contatti tettonici riconducibili ai sistemi di faglie a basso angolo che interessano l'entroterra della Spezia. Il contatto basale Arenarie di Bratica - Calcari di Canetolo, ne rappresenta localmente l'espressione di primo ordine, elidendo progressivamente verso nord-est la sub-unità basale uB1 e portando uB2 direttamente a contatto con l'Unità Canetolo. L'elisione tettonica si manifesta attraverso zone di taglio, spesse diversi metri, in cui il protolite originario viene profondamente deformato e disarticolato, producendo delle rocce di faglia maggiormente esposte all'alterazione chimico-fisica, già di per se molto spinta nei litotipi presenti nella zona. Nell'Unità Bratica s.l. si riconosce, inoltre, una strutturazione in treni di pieghe asimmetriche mediamente vergenti verso NE con assi a direzione appenninica.

7.3 Il modello geotecnico

In base alle campagne d'indagine che si sono succedute nelle varie fasi di progettazione, dalla fase Definitiva a quella Esecutiva, fino alla presente fase di completamento della progettazione, è stato

possibile ricostruire il modello geotecnico del versante in asse alla galleria Felettino I. Per la documentazione di dettaglio si rimanda agli elaborati [3], [5], [6].

Di seguito vengono riproposte le unità geotecniche individuate nel modello geotecnico e i loro parametri meccanici:

- **Unità UG1:** è l'unità più superficiale, inglobante sia i depositi eluvio-colluviali che la porzione superiore del substrato roccioso che si presenta alterata e fortemente destrutturata per effetto dei processi gravitativi che si sono succeduti negli anni. Si caratterizza, nelle zone più superficiali, per un colore che va dal giallastro al marrone brunastro, con frequenti e diffuse tracce di ossidazione; nelle porzioni più profonde invece, i terreni assumono un colore grigiastro e si presentano con un grado maggiore di consistenza/addensamento. A sua volta questa unità si suddivide in 2 sub – unità: UG1b, costituita dalle porzioni di unità UG1 interessate dai fenomeni gravitativi, e UG1a, che rappresenta invece la sub unità al di sotto della superficie basale ricostruita dalle indagini e non interessata, dunque, dai cinematismi di frana;
- **Unità UG2:** orizzonte intermedio, costituito dal substrato roccioso indifferenziato, con ammasso roccioso generalmente di aspetto litoide, di debole resistenza, costituito da Argilliti, Calcari, Calcari marnosi, Marne siltose e Siltiti, da fratturato a molto fratturato, con porzioni da poco consistenti a inconsistenti.
- **Unità UG3,** è costituita da ammasso roccioso in maggioranza tettonizzato, da molto disturbato a parzialmente destrutturato-brecciato.

La Figura 9 riporta il profilo stratigrafico del versante nella sezione di massima pendenza:

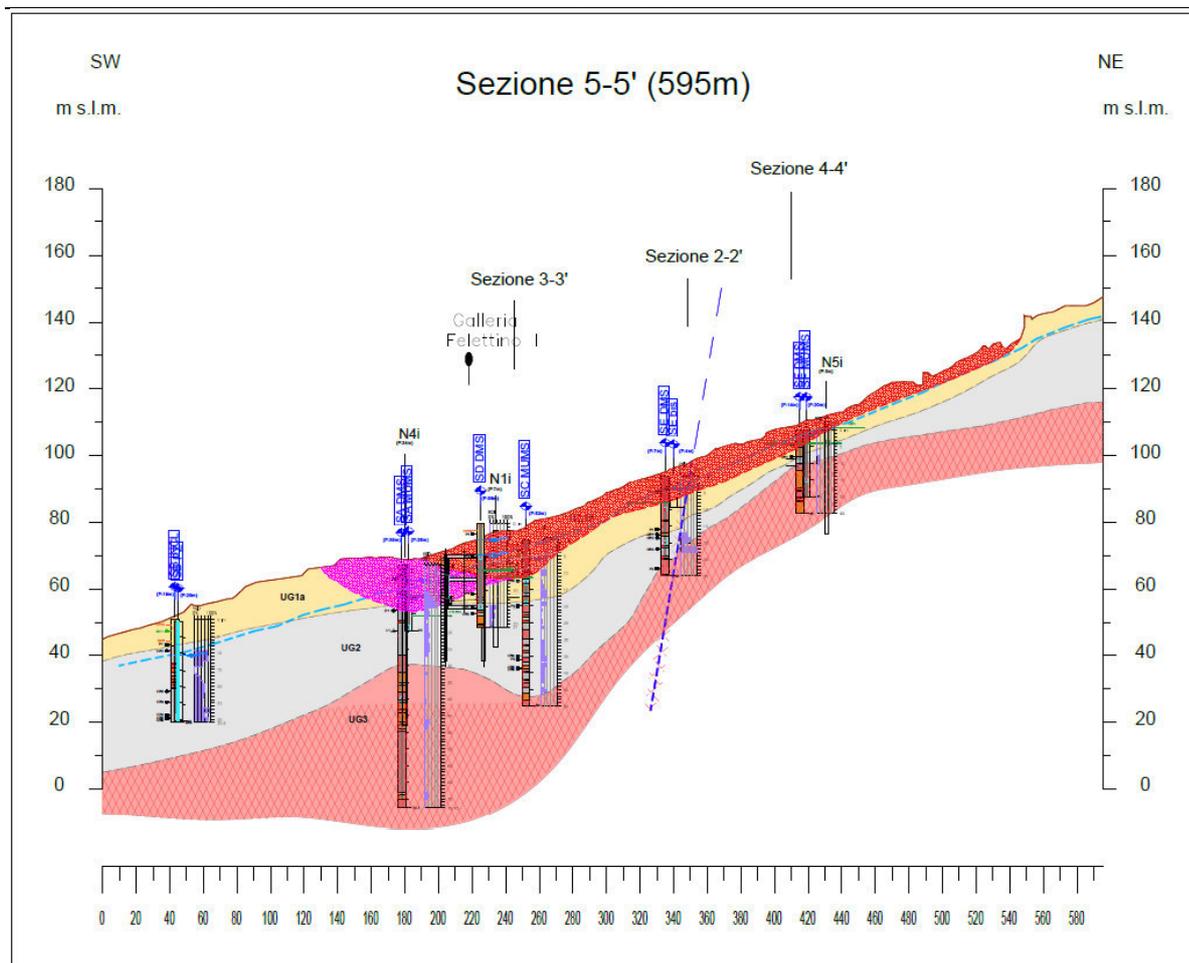


Figura 9 Sezione geotecnica 5-5', ricostruita lungo la massima pendenza del versante nel settore identificato in frana. Con la campitura puntinata rossa è indicata l'area in frana riconosciuta come certa, con la campitura puntinata magenta l'area in frana riconosciuta come incerta, entrambe ricadenti nell'unità UG1b, in giallo l'unità UG1a (non in frana), in grigio l'unità UG2 e in rosso l'unità UG3

La **Tabella 7** riporta le caratteristiche meccaniche e idrauliche delle differenti unità geotecniche individuate:

Unità Geotecnica	γ (kN/m ³)	φ (°)	c' (kPa)	E (MPa)	k (m/s)
UG1b	20.0	19.0	5.0	15.0	1.00E-05
UG1a	20.0	22.0	10.0	50.0	1.00E-06
UG2	24.0	--	--	600.0	1.00E-07
UG3	24.0	--	--	100.0	1.00E-06

Tabella 7: Parametri meccanici delle unità geotecniche del Versante di Carozzo

8. I MODELLI E LE FASI DI CALCOLO

8.1 Sezioni e modelli di calcolo

Il calcolo di dimensionamento e verifica della paratia è stato condotto con il codice di calcolo PLAXIS 2D, modellando le diverse condizioni di carico cui è soggetta la struttura durante le successive fasi di scavo parziale ed esecuzione dei tiranti.

Le sezioni prese in considerazione sono quelle indicate al capitolo 4, che massimizzano le altezze di ritenuta e/o i carichi a ridosso della paratia.

In Figura 10 e in Figura 11 è possibile visualizzare l'estensione e la discretizzazione del modello generato in corrispondenza dell'ultima fase di calcolo (raggiungimento del fondo scavo) per le sezioni in esame.

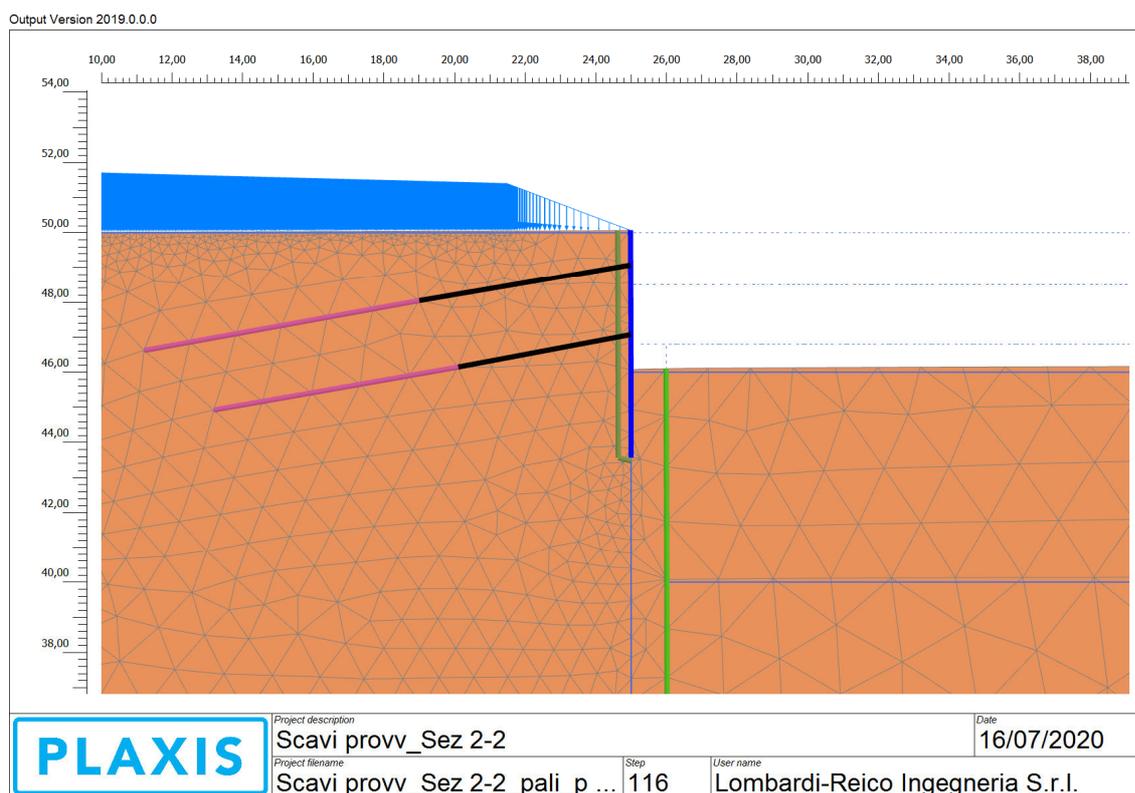


Figura 10 Modello di calcolo Sezione 2-2

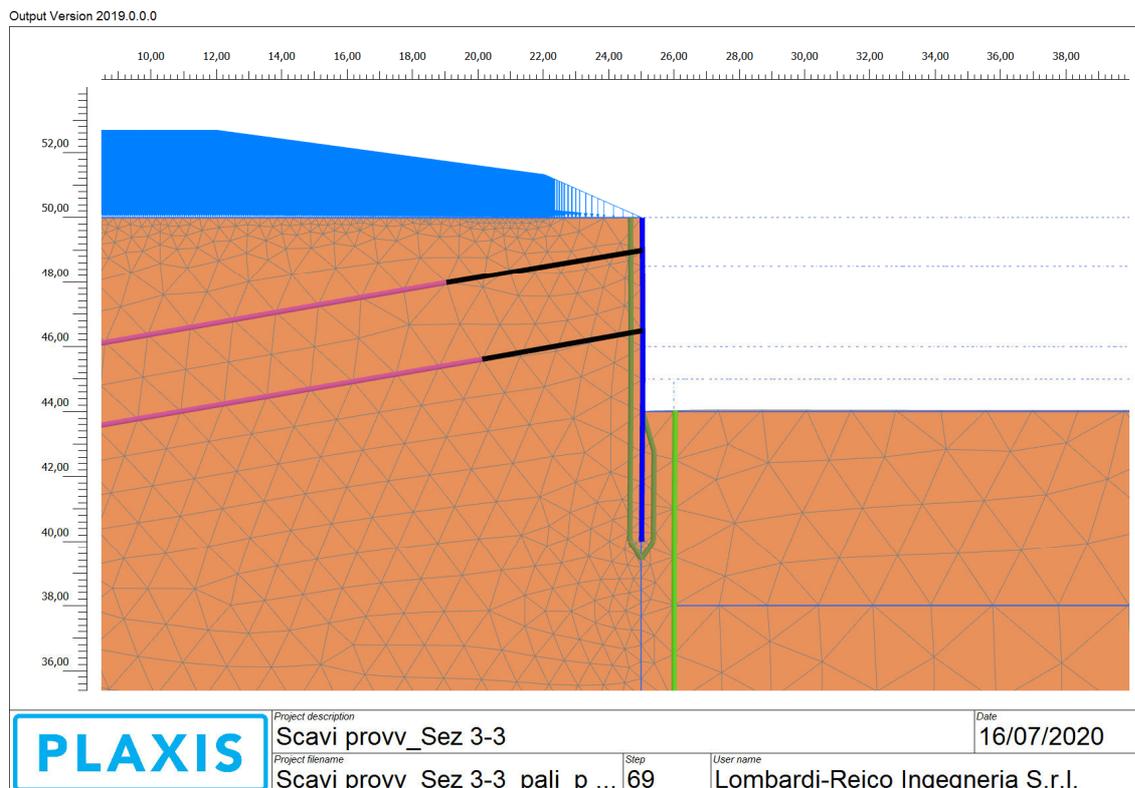


Figura 11 Modello di calcolo Sezione 3-3

Nel modello di calcolo la legge costitutiva che è stata adottata per caratterizzare i terreni del versante in cui si ammorsano le paratie di presidio agli scavi è di tipo incoerente (Hardening Soil della biblioteca modelli costitutivi PLAXIS).

La stratigrafia di calcolo considerata è costituita da un unico terreno, rappresentato dall'unità geotecnica UG1b; i parametri del modello sono riportati nella tabella a seguire.

Parametri del modello		UG1b_HS
γ	kN/m ³	20
E_{50}^{ref}	kN/m ²	1.50E+04
E_{oed}^{ref}	kN/m ²	1.50E+04
E_{ur}^{ref}	kN/m ²	4.50E+04
power (m)		0
c_{ref}	kN/m ²	5
ϕ (phi)	°	19

Tabella 8 Parametri meccanici del modello costitutivo HS utilizzato per simulare i terreni

In maniera cautelativa, le scarpate al di sopra delle berlinesi sono state simulate come carichi.

Nelle analisi non è stata considerata la presenza della falda, in quanto, come specificato nella premessa alla nota, le operazioni di scavo saranno precedute da una fase di abbattimento della falda mediante pozzi, che garantiranno il livello freatico al di sotto del piede delle paratie.

Trattandosi di un'opera provvisoria non si considerano le azioni sismiche.

Nelle analisi numeriche gli elementi strutturali sono stati modellati attraverso elementi diversi, secondo quanto sinteticamente rappresentato nella tabella seguente:

Struttura	Elemento	EA [kN/m]	EJ [kNm ² /m]
Berlinese di micropali	Plate	3,15E6	9,6E3
Paratia GA Pali	Plate	30,0E6	2,5E6
Tiranti a trefoli	Node to node anchor	42,E3	-

Tabella 9: Caratteristiche degli elementi strutturali

La fondazione dei tiranti (bulbo iniettato) è stata simulata per mezzo di elementi embedded pile row, aventi la stessa rigidità assiale dei corrispondenti tiranti. La tensione tangenziale limite di aderenza bulbo-terreno è stata posta pari a 90 kPa; il coefficiente α di Bustamante&Doix è stato assunto pari a 1,4.

8.2 Fasi di calcolo

La procedura di calcolo è stata sviluppata simulando tutte le fasi di scavo e di esecuzione delle opere.

Le fasi di calcolo considerate nell'analisi sono riassunte nella tabella riportate di seguito:

Variante alla S.S.1 " Via Aurelia" Viabilità di accesso all'hub di La Spezia
 Lavori di costruzione della variante alla S.S.1 Aurelia – 3° Lotto
 2° Stralcio funzionale B dallo Svincolo di Buon Viaggio allo Svincolo di S. Venerio
 Completamento – PE

RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE PROVVISORIALI

24

ANALISI PLAXIS - Sezione di calcolo 2 -2			
Fase	Descrizione	N/A	Note
0	Inizializzazione dello stato tensionale	Analisi plastica	
1	Applicazione dei carichi in superficie, a simulazione delle scarpate	Analisi plastica	Annullamento degli spostamenti accumulate nelle fasi precedenti
2	Realizzazione berlinese	Analisi plastica	Annullamento degli spostamenti accumulate nelle fasi precedenti
3	Scavo -1,5m da p.c.	Analisi plastica	-
4	Realizzazione e pretiro dei tiranti (1°ordine) a -1 m da p.c.	Analisi plastica	-
5	Scavo -3,2 m da p.c.	Analisi plastica	-
6	Realizzazione e pretiro dei tiranti (2°ordine) a 3,0 m da pc.	Analisi plastica	-
7	Realizzazione pali GA	Analisi plastica	-
8	Fondoscavo a 4,0m da p.c.	Analisi plastica	-
9	Analisi di stabilità	Riduzione $\phi - c$	Annullamento degli spostamenti accumulate nelle fasi precedenti

Tabella 10: Analisi PLAXIS Fasi di calcolo per la sezione 2 -2

ANALISI PLAXIS - Sezione di calcolo 3 -3			
Fase	Descrizione	N/A	Note
0	Inizializzazione dello stato tensionale	Analisi plastica	
1	Applicazione dei carichi in superficie, a simulazione delle scarpate	Analisi plastica	Annullamento degli spostamenti accumulate nelle fasi precedenti
2	Realizzazione paratia	Analisi plastica	Annullamento degli spostamenti accumulate nelle fasi precedenti
3	Scavo -1,5m da p.c.	Analisi plastica	
4	Realizzazione e pretiro dei tiranti (1°ordine) a -1m da p.c.	Analisi plastica	
5	Scavo -4,0m da p.c.	Analisi plastica	
6	Realizzazione e pretiro dei tiranti (2°ordine) a -3,5 m da p.c.	Analisi plastica	
	Ribasso a -5m da p.c.	Analisi plastica	
7	Realizzazione pali GA	Analisi plastica	
8	Fondoscavo a -6m da p.c.	Analisi plastica	
9	Analisi di stabilità	Riduzione $\phi - c$	Annullamento degli spostamenti accumulate nelle fasi precedenti

Tabella 11: Analisi PLAXIS Fasi di calcolo per la sezione 3 -3

9. RISULTATI DEI CALCOLI

I principali risultati dei calcoli FEM svolti sono riportati qui di seguito, in forma di grafici rappresentativi dell'output di calcolo.

In particolare, nelle seguenti figure e tabelle sono riportati:

- La deformata della paratia a fondo scavo;
- L'involuppo dei diagrammi del momento flettente (per unità di lunghezza);
- L'involuppo dei diagrammi del taglio (per unità di lunghezza);
- Il massimo sforzo nei tiranti della paratia;
- La distribuzione dei punti plastici nei dintorni della paratia a fondo scavo
- Le deformazioni di taglio e gli spostamenti nella fase di abbattimento dei parametri meccanici e il coefficiente di abbattimento finale (coefficiente di sicurezza)

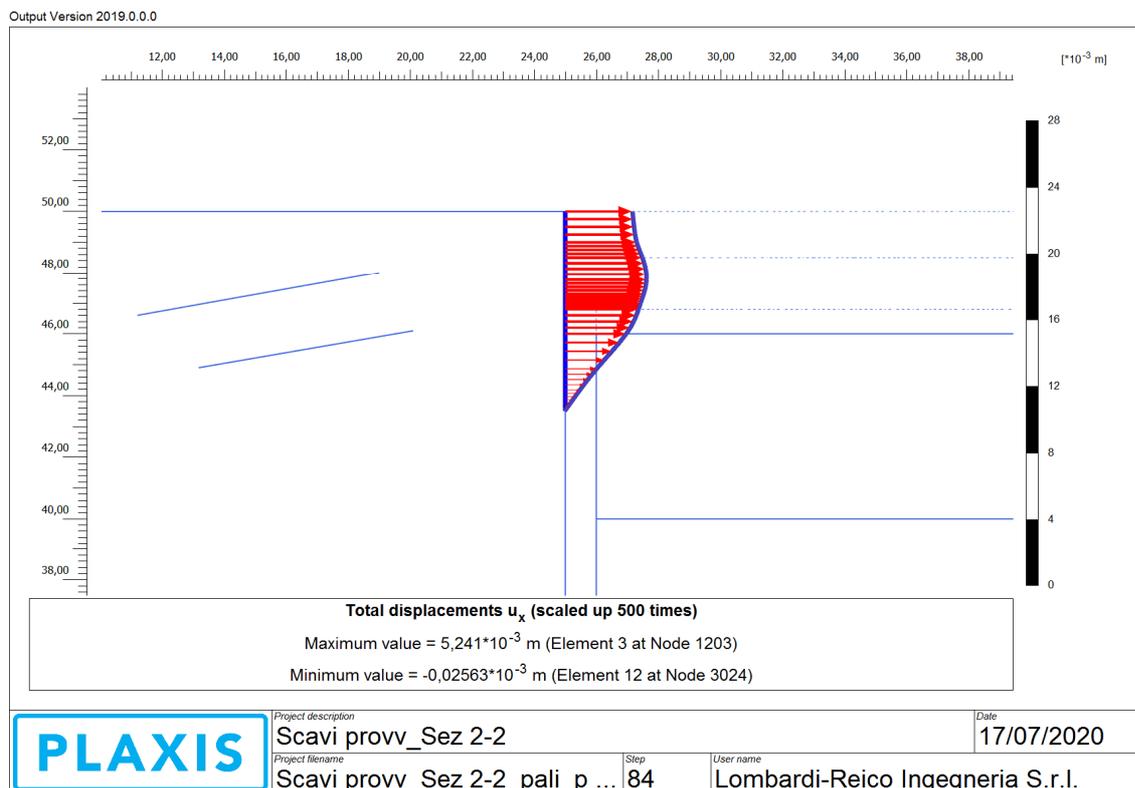


Figura 12 Sezione di calcolo 2-2 – Deformata della paratia a fondo scavo

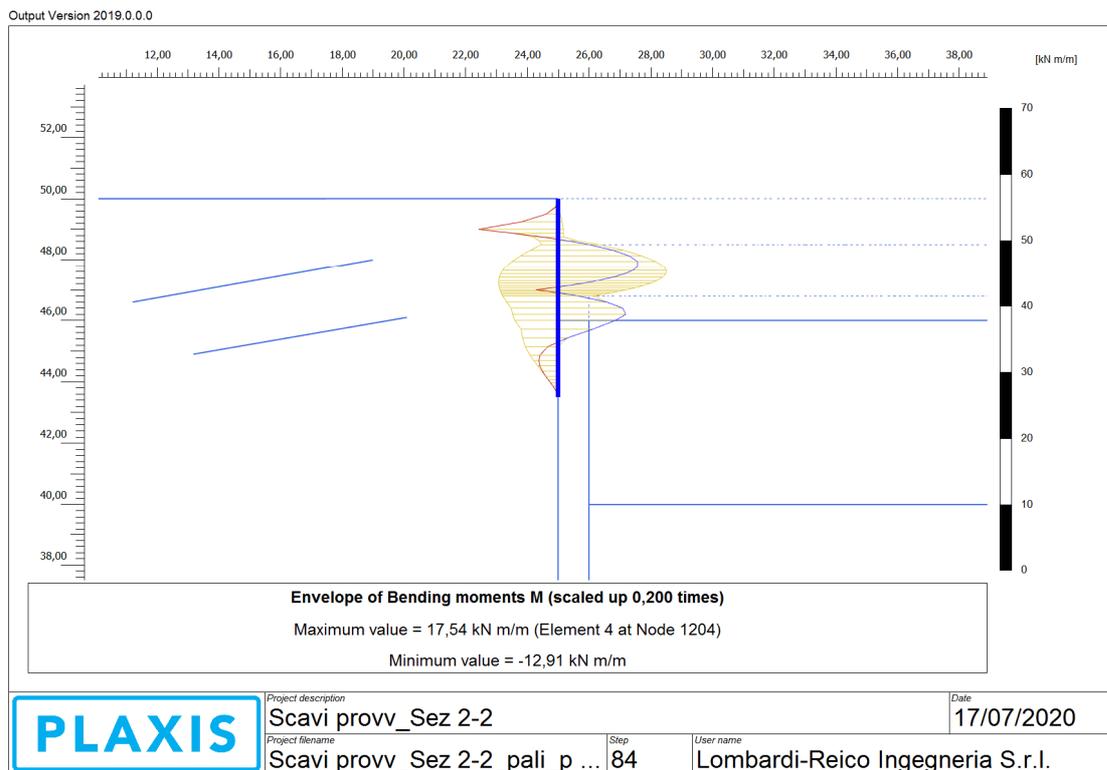


Figura 13 Sezione di calcolo 2-2 – Inviluppo dei diagrammi del momento flettente

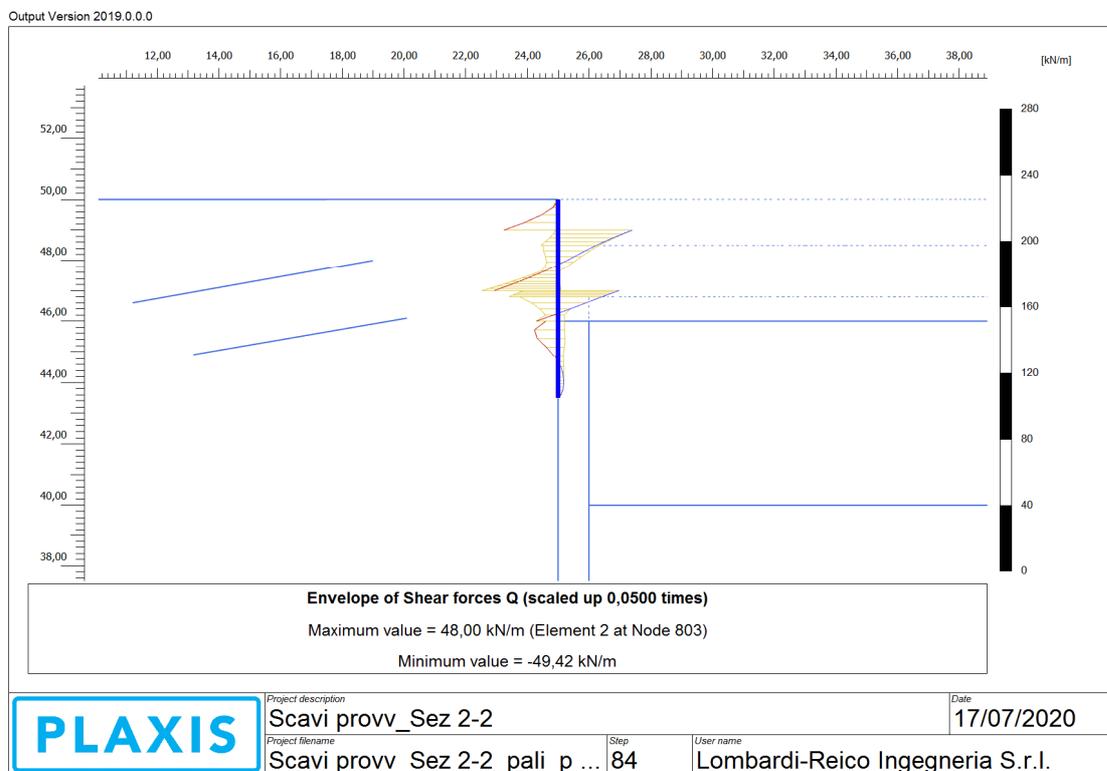


Figura 14 Sezione di calcolo 2-2 – Inviluppo dei diagrammi di taglio

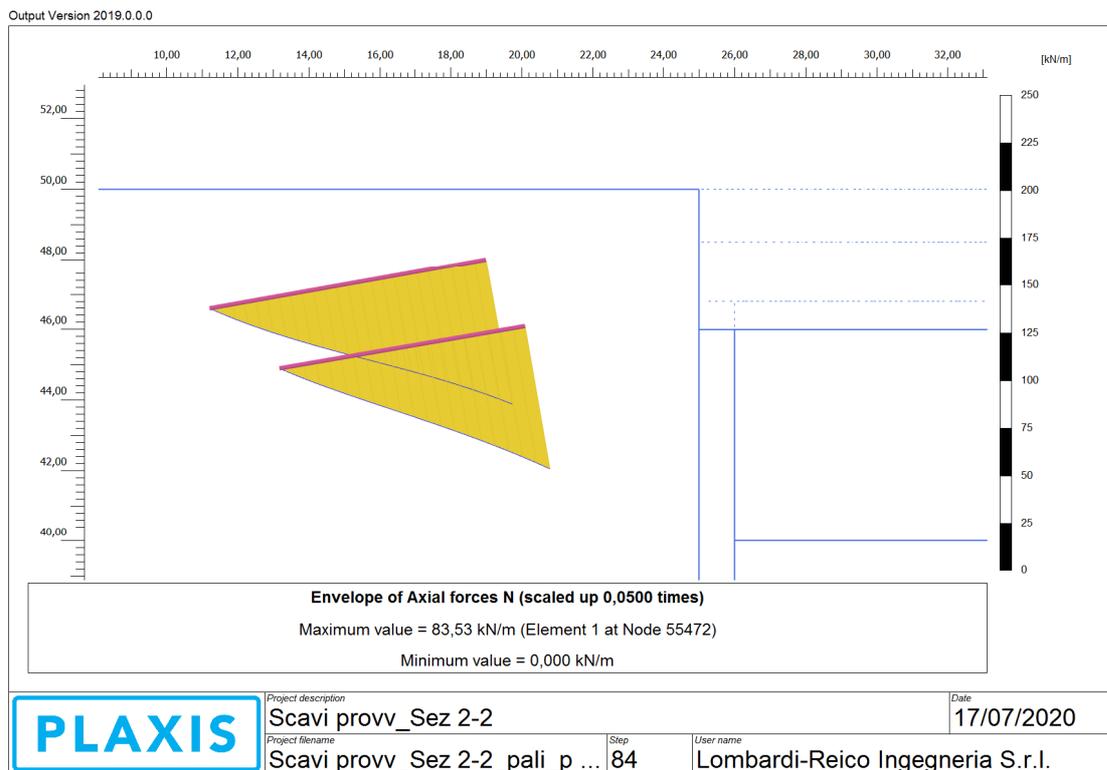


Figura 15 Sezione di calcolo 2-2 – Massimo sforzo assiale nei tiranti per metro lineare

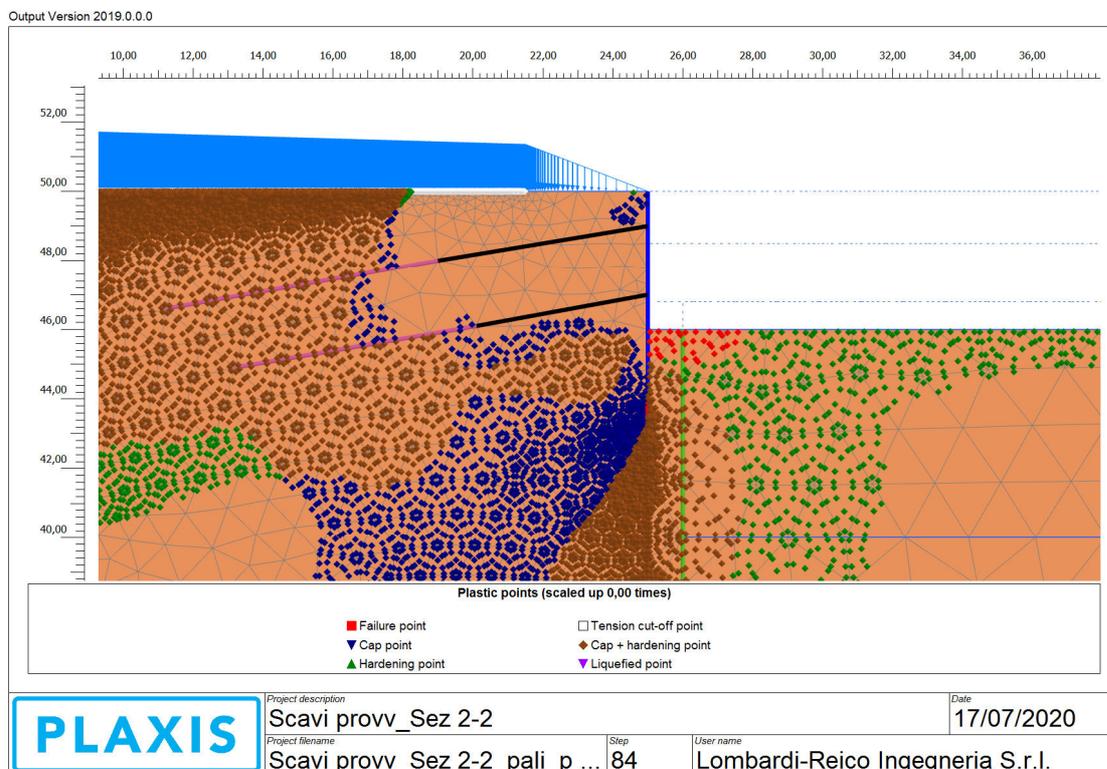


Figura 16 Sezione di calcolo 2-2 - Distribuzione dei punti plastici nella fase di raggiungimento del fondo scavo

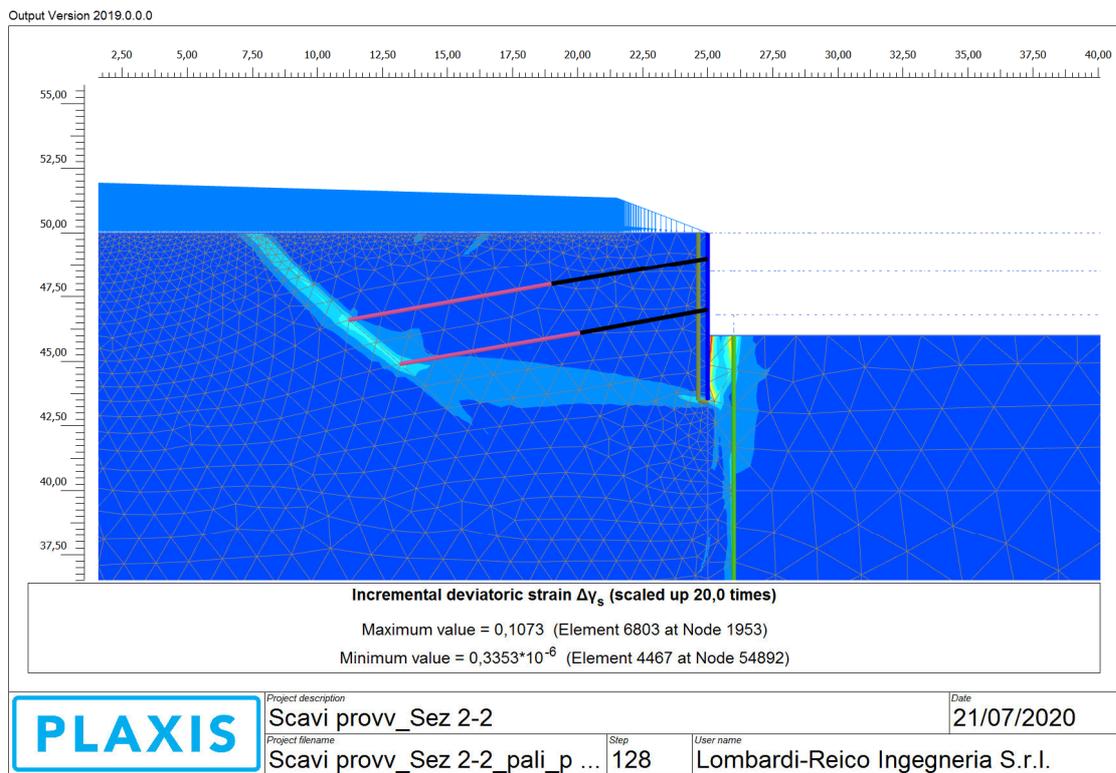


Figura 17 Sezione di calcolo 2-2 – Deformazioni di taglio fase di riduzione dei parametri meccanici (FS =2,05)

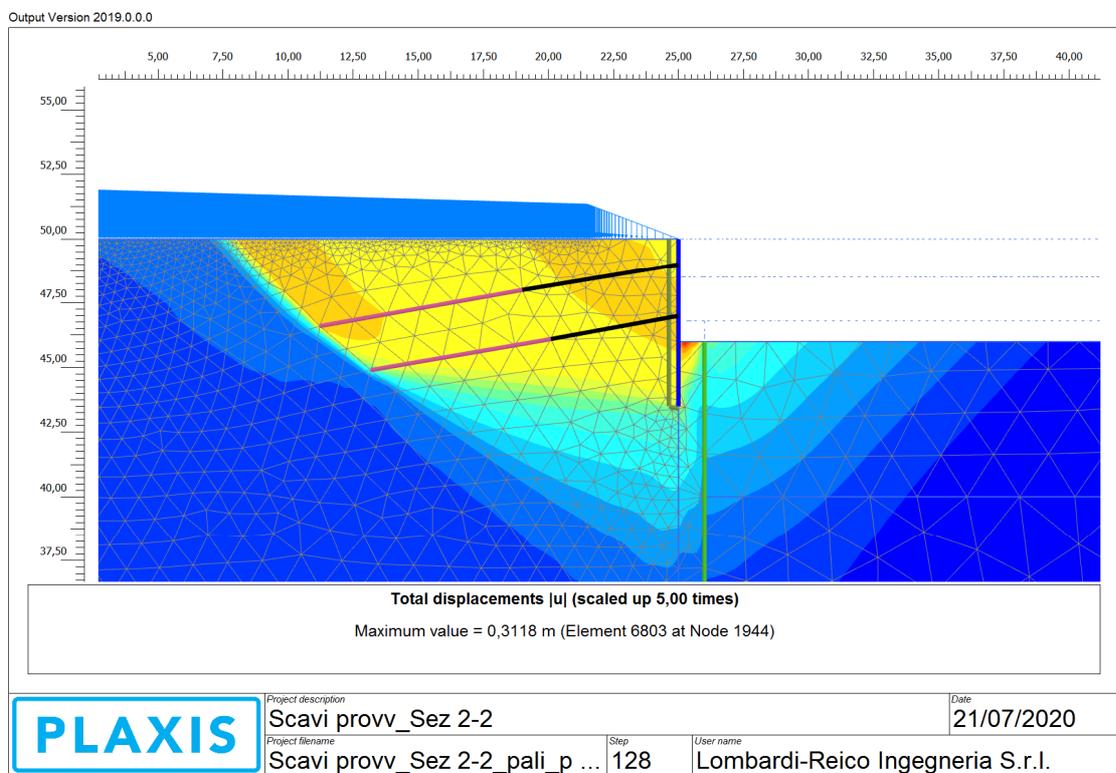


Figura 18 Sezione di calcolo 2-2 – Spostamenti totali fase di riduzione dei parametri meccanici (FS =2,05)

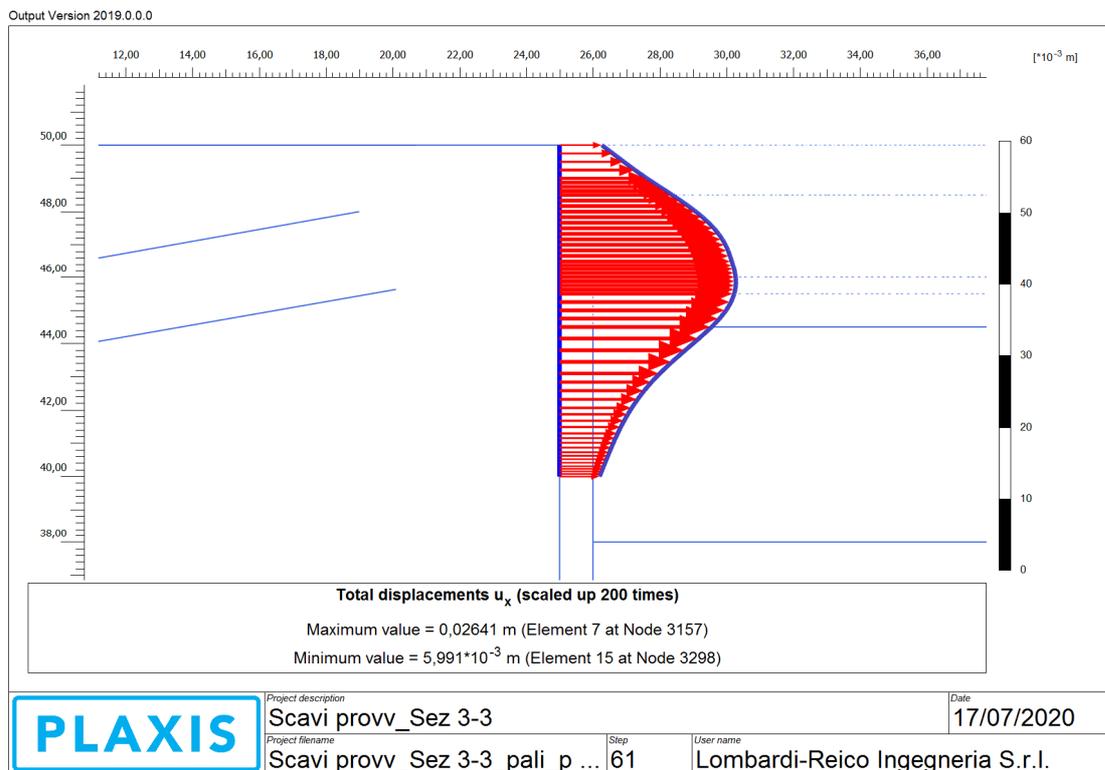


Figura 19 Sezione di calcolo 3-3 - Deformata della paratia a fondo scavo

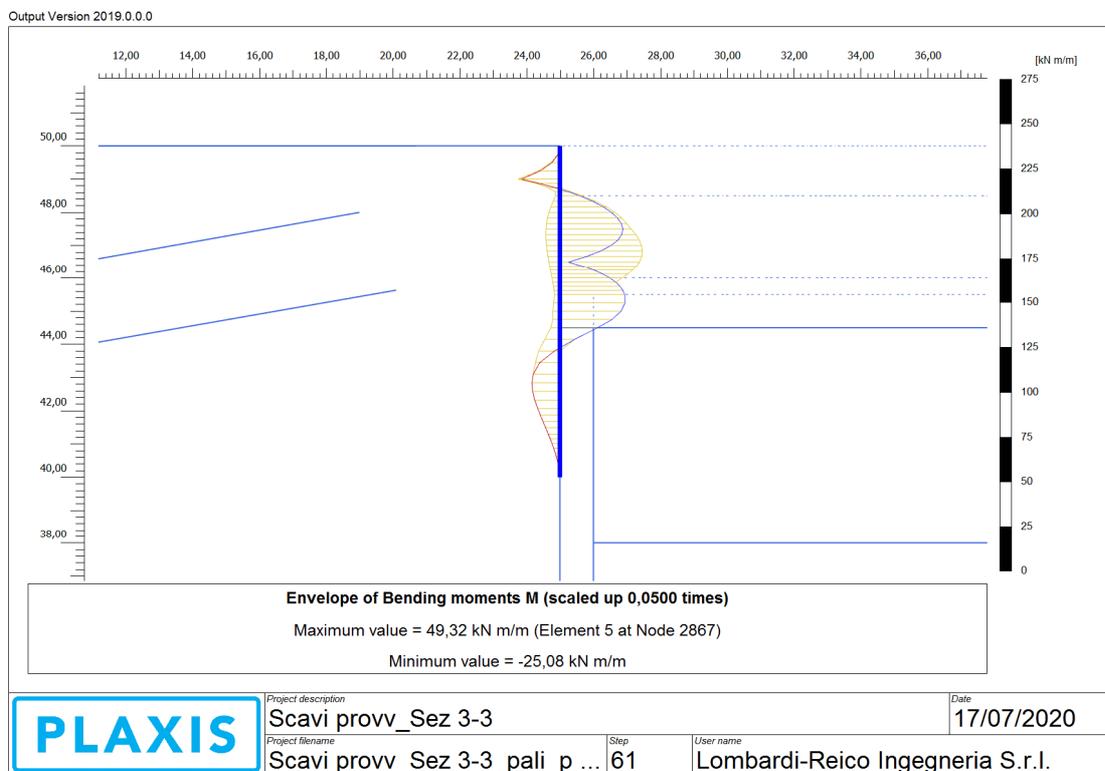


Figura 20 Sezione di calcolo 3-3 - Involuppo dei diagrammi del momento flettente

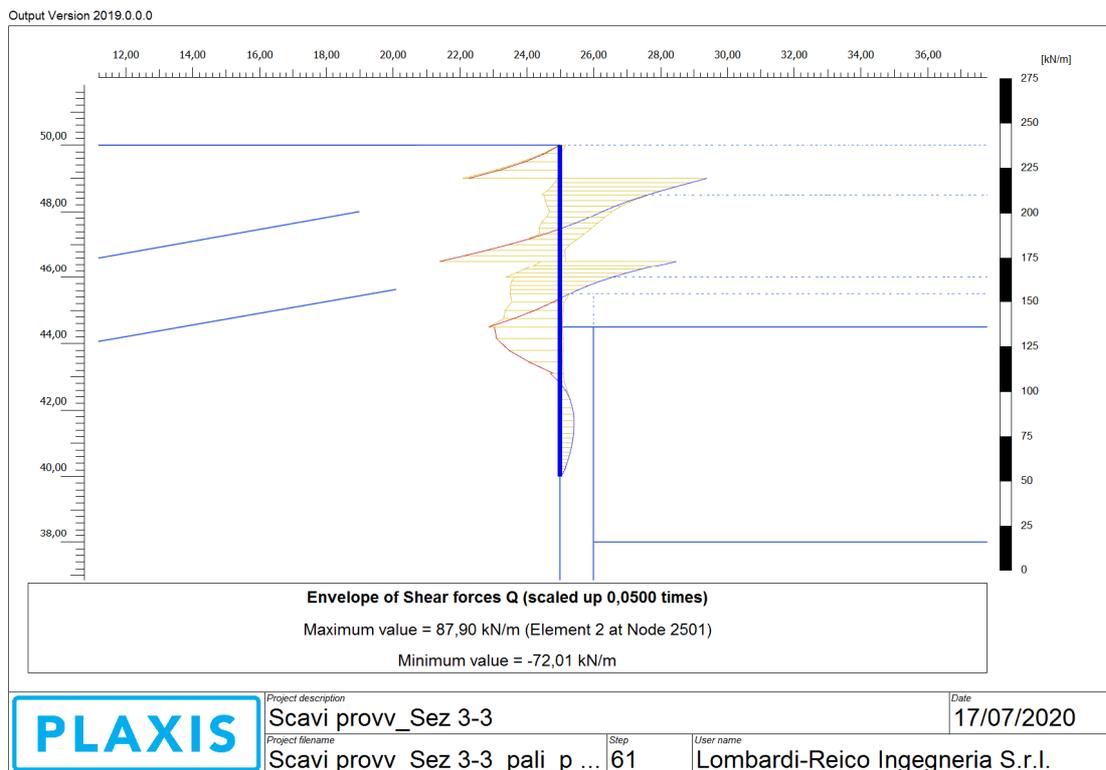


Figura 21 Sezione di calcolo 3.3 - Involuppo dei diagrammi di taglio

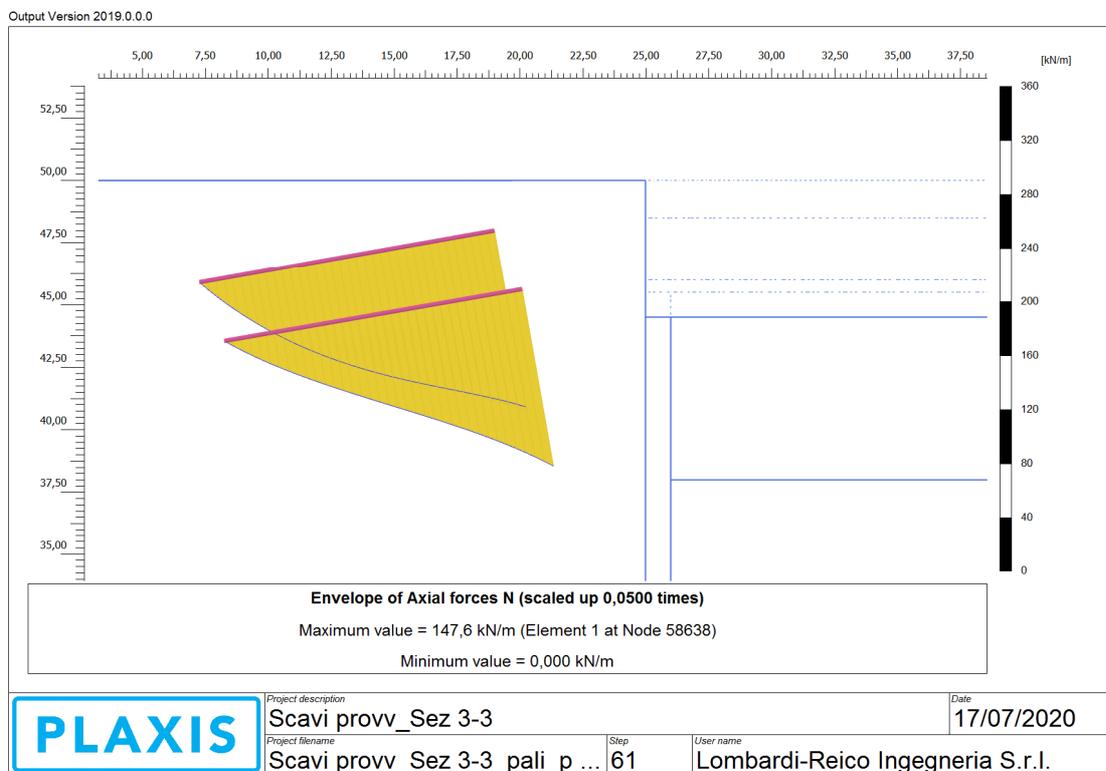


Figura 22 Sezione di calcolo 3-3 - Massimo sforzo assiale nei tiranti per metro lineare

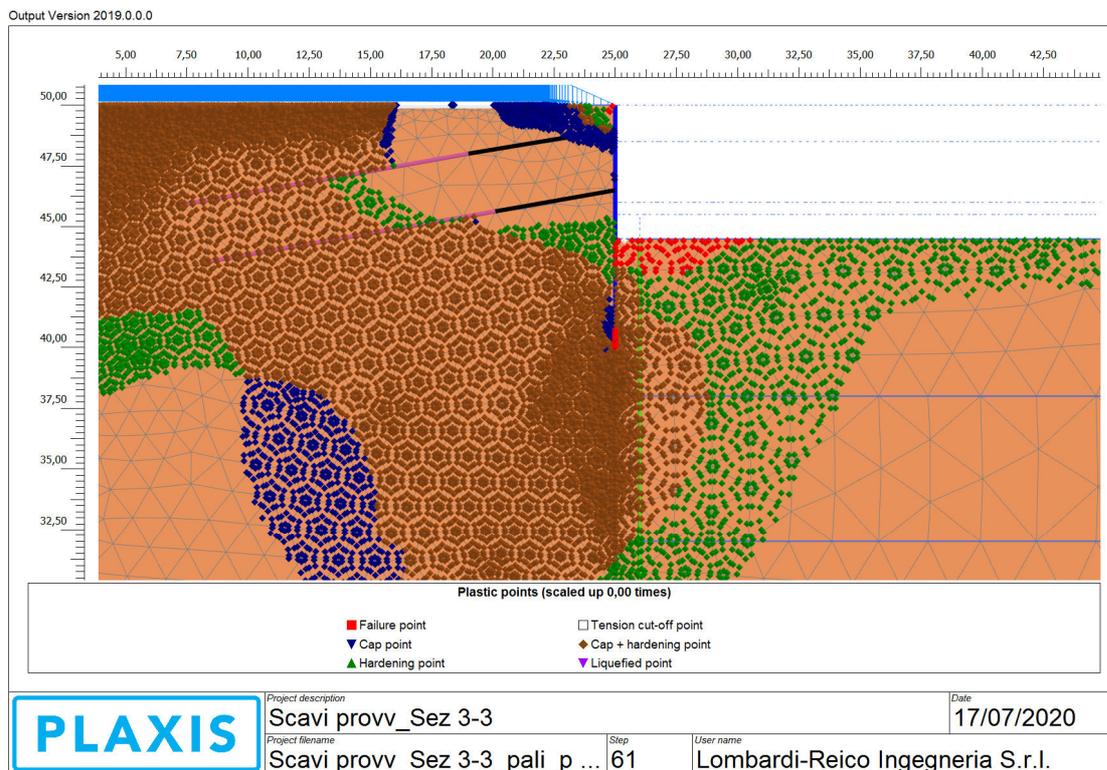


Figura 23 Sezione di calcolo 3-3 - Distribuzione dei punti plastici nella fase di raggiungimento del fondo scavo

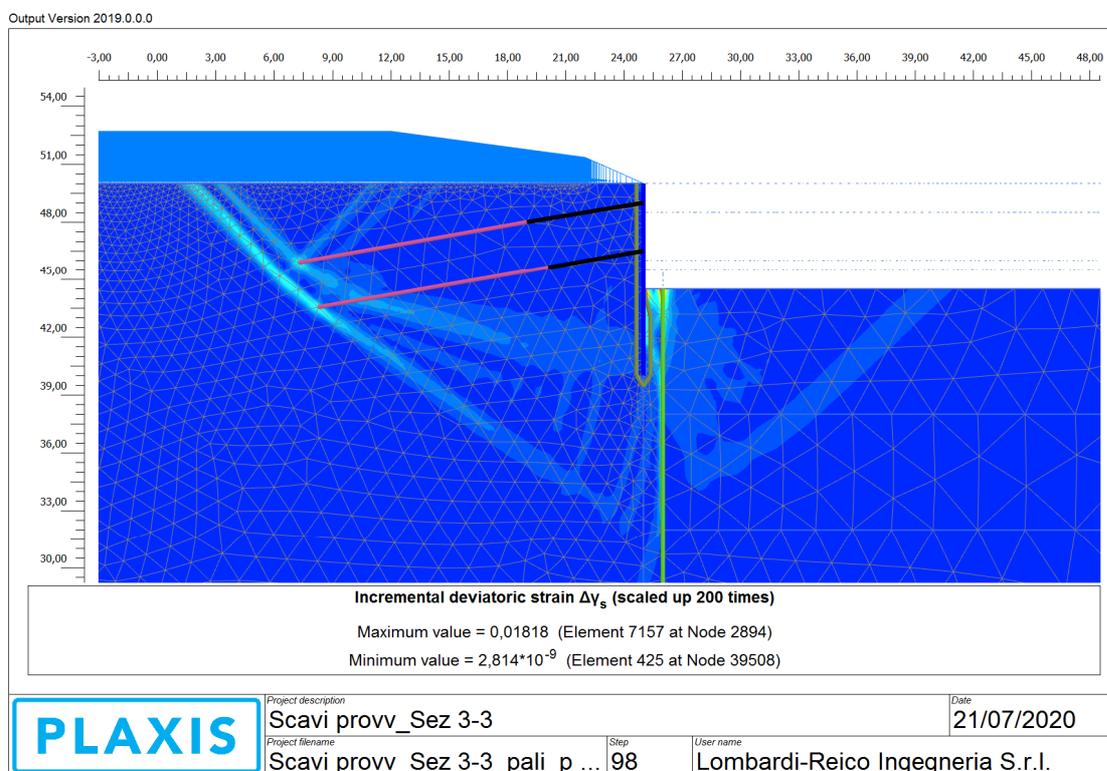


Figura 24 Sezione di calcolo 3-3 Deformazioni di taglio fase di riduzione dei parametri meccanici (FS =1,60)

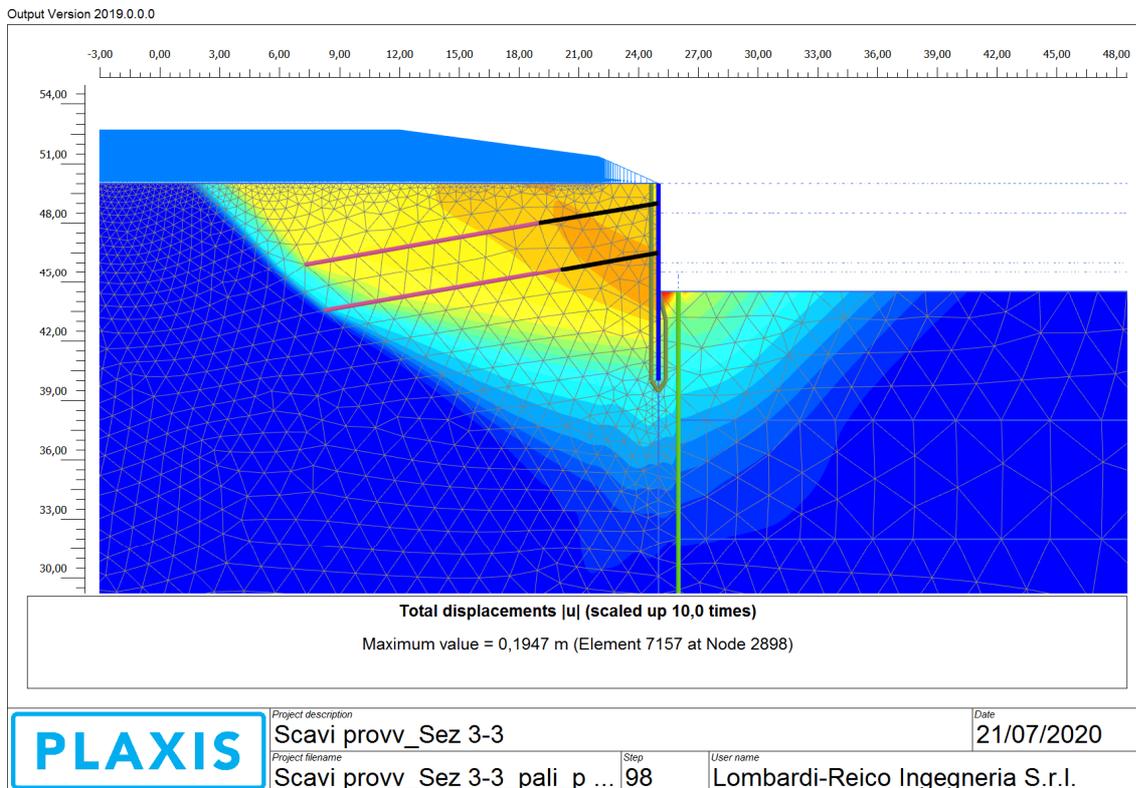


Figura 25 Sezione di calcolo 3-3 Deformazioni di taglio fase di riduzione dei parametri meccanici (FS =1,60)

10. VERIFICHE DI RESISTENZA DEGLI ELEMENTI STRUTTURALI E VERIFICHE DI STABILITA'

In questo capitolo si riportano le verifiche di resistenza degli elementi strutturali che costituiscono la paratia (micropali, tiranti attivi e travi di ripartizione).

Le verifiche di resistenza delle strutture sono state condotte in accordo a quanto prescritto dalle NTC 2018, come specificato al capitolo 6.

10.1 Verifica della resistenza strutturale della paratia

Gli andamenti delle sollecitazioni di momento flettente e taglio lungo le paratie per le sezioni di calcolo sono state riportate al cap.9; con riferimento ad esse i valori massimi caratteristici delle sollecitazioni, definiti a metro lineare, sono riportati di seguito:

Sezione	M_{EK} [kNm/m]	V_{EK} [kN/m]
2 -2	17,54	49,42
3 -3	49,32	87,90

Tabella 12 Sollecitazioni caratteristiche massime sulla paratia di micropali per metro lineare

Considerando:

l'interasse fra i pali $i=0,4m$;

il coefficiente di amplificazione delle azioni pari a 1,3;

le azioni massime sollecitanti allo SLU sul singolo micropalo sono:

Sezione	M_{SLU} [kNm]	V_{SLU} [kN]
2 -2	9,12	25,70
3 -3	25,65	45,71

Tabella 13 Sollecitazioni di progetto allo SLU sul singolo micropalo

I micropali sono costituiti da tubi $\varnothing 168.3$ mm; spessore $sp=12,5$ mm ($A=6120$ mm²; $Wpl=304000$ mm³).

Considerando acciaio S355, devono essere verificate disuguaglianze riportate di seguito.

Verifica a flessione:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

con $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$ per le sezioni di classe 1

Se il taglio di calcolo V_{Ed} è superiore a metà della resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$ bisogna tener conto dell'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

Posto
$$\rho = \left[\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2$$

La resistenza a flessione si determina assumendo per l'area resistente a taglio A_v la tensione di snervamento ridotta $(1-\rho)f_{yk}$.

Verifica a taglio:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

con $V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$ e $A_v = 2A/\pi$ per sezioni circolari cave e tubi di spessore uniforme.

Come evidente dalla seguente tabella, le verifiche risultano essere sempre soddisfatte.

	D	t	A	W_{pl}	f_{yk}	A_v	M_{ed}	V_{ed}	M_{Rd}	V_{Rd}
Sezione	[mm]	[mm]	[mm ²]	[mm ³]	[Mpa]	[mm ²]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]
2 -2	168,3	12,5	6120	3,04E+05	355	3896	9,1	25,7	102,8	760,5
3 -3	168,3	12,5	6120	3,04E+05	355	3896	25,7	45,7	102,8	760,5

Tabella 14 Verifica della resistenza strutturale dei micropali

10.2 Verifica della resistenza strutturale degli ancoraggi

Il valore della resistenza a snervamento caratteristica $R_{p(1)k}$ si ottiene mediante la seguente formula, in funzione del numero "n" dei trefoli:

$$R_{p(1)k} = n \cdot A_{tirante} \cdot f_{p(1)k}$$

Alle resistenze caratteristiche andrà applicato un coefficiente riduttivo di 1,15.

Per il soddisfacimento delle verifiche, gli sforzi nei tiranti dedotti dai calcoli e moltiplicati per il coefficiente amplificativo di 1,3 dovranno risultare inferiori alla resistenza a snervamento della struttura.

La tabella in basso mostra che le verifiche risultano sempre soddisfatte:

	$R_{p(1)k}$	$1,3 \cdot N_{max}$
Sezione	[kN]	[kN]
2 -2	605,6	217,4
3 -3	605,6	383,9

Tabella 15 Verifica della resistenza strutturale degli ancoraggi

10.3 Verifica della resistenza a sfilamento degli ancoraggi

Le fondazioni dei tiranti devono avere dimensioni sufficienti ad assorbire, con un adeguato margine di sicurezza, le massime tensioni indotte durante la vita dell'opera.

Per ogni tipologia di tirante va valutata la resistenza di progetto della fondazione N_{ED} che deve risultare superiore al massimo sforzo calcolato N_{max} per il tirante in esame.

La resistenza caratteristica della fondazione può essere stimata attraverso la formula:

$$N_{EK} = \pi \cdot D_n \cdot k \cdot t_{lim} \cdot L_{fon}$$

$D_n = 0,16m$

diametro nominale della perforazione;

$k=1,4$

coefficiente empirico che dipende dalla natura, dal grado di addensamento e di compattezza del terreno e dalle modalità esecutive dei tiranti;

$t_{lim}=90 \text{ kPa}$

tensione tangenziale limite tra la fondazione dell'ancoraggio e il terreno;

$L_{fon}=\text{var.}$

lunghezza di fondazione dell'ancoraggio.

La resistenza di progetto N_{ED} , si ottiene dividendo la resistenza caratteristica per un coefficiente γ_R pari a 1,1 (tiranti provvisori) e per un fattore di correlazione ξ che tiene conto del grado di conoscenza dei terreni interessati dall'intervento; nel caso in esame $\xi=1,70$.

La tabella riportata di seguito riporta le resistenze a sfilamento degli ancoraggi e gli sforzi massimi dedotti dalle analisi. Le verifiche risultano sempre soddisfatte.

Si ricorda che, in accordo con gli orientamenti normativi, la conferma sperimentale con prove di trazione in sito nelle fasi di progetto e di collaudo risulta sempre necessaria.

Sezione	Dn	t _{lim}	k	L _{fon}	N _{ED}	1,3*N _{max}
	[m]	[kPa]	[-]	[m]	[kN]	[kN]
2-2	0,16	90	1,4	8	271	217,4
	0,16	90	1,4	7	237	213,9
3-3	0,16	90	1,4	12	406	383,9

Tabella 16 Verifica della resistenza a sfilamento dei tiranti

10.4 Verifica della resistenza strutturale delle travi di ripartizione

Le travi metalliche per la ripartizione sulla paratia dello sforzo assiale agente nei tiranti d'ancoraggio sono costituite da coppie di profilati metallici, del tipo UPN 160 (v. disegni di progetto).

La verifica di tali elementi strutturali è stata eseguita secondo lo schema di trave continua su infiniti appoggi, soggetta ad un carico uniforme pari al valore dell'azione del singolo tirante distribuito sulla sua zona di competenza, pari all'interasse orizzontale tra i tiranti stessi (v. figura seguente). Viene verificata la trave soggetta a maggiori sollecitazioni (maggiore interasse tra i tiranti e maggiore trazione tra i tiranti).

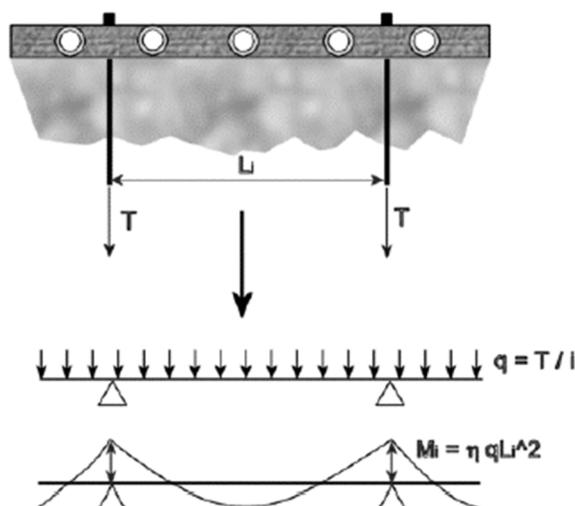


Figura 26 – Trave di ripartizione – Schema statico

Considerando acciaio S355, devono essere soddisfatte le disuguaglianze riportate di seguito.

Verifica a flessione:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

con $M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$ per le sezioni di classe 1

Se il taglio di calcolo V_{Ed} è superiore a metà della resistenza di calcolo a taglio $V_{c,Rd}$ bisogna tener conto dell'influenza del taglio sulla resistenza a flessione.

Posto
$$\rho = \left[\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{c,Rd}} - 1 \right]^2$$

La resistenza a flessione si determina assumendo per l'area resistente a taglio A_v la tensione di snervamento ridotta $(1-\rho)f_{yk}$.

Verifica a taglio:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

con $V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$ e $A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$ per profilati ad I e ad H caricati nel piano dell'anima.

Si riportano di seguito le verifiche eseguite sulle travi critiche di ciascuna sezione di calcolo.

Profilo	W_{pl}	A_v	f_{yk}	numero profili	i	q_{ed}	M_{ed}	V_{ed}	M_{Rd}	V_{Rd}
	[cm ³]	[m ²]	[Mpa]	-	[m]	[kN/m]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]
UPN 160	138	0.00133425	355	2	2	192	77	192	93	521

Tabella 17 Verifiche strutturali delle travi di ripartizione

$N_{Qd} =$ massima trazione di progetto nei tiranti (v. par. precedenti);

$i =$ interasse tra i tiranti;

$q_{ed} = N_Q / i$ carico uniforme di progetto agente sulla trave di ripartizione;

$M_{ed} = q_{ed} \cdot i^2 / 10$ momento flettente di progetto agente sulla trave di ripartizione;

$T_{ed} = q_{ed} \cdot i / 2$ taglio di progetto agente sulla trave di ripartizione;

$W_{pl} =$ modulo di resistenza plastico del profilato;

$A_v =$ area a taglio lungo l'anima del profilato.

Tutti i termini riportati col pedice "ed" in tabella sono valori di progetto che tengono già in conto del coefficiente parziale da normativa pari a 1.3.

Come evidente dalla precedente tabella, le verifiche risultano essere sempre soddisfatte.

10.5 Verifica della stabilità globale dell'opera

Le valutazioni sulla stabilità globale dell'opera sono state condotte con la procedura di abbattimento dei parametri meccanici ($\varphi - c$ reduction) del codice di calcolo PLAXIS. Il coefficiente di sicurezza restituito dal programma è definito come:

$$M_{SF} = \frac{\tan\varphi_{iniz}}{\tan\varphi_{rid}} = \frac{c'_{iniz}}{c'_{rid}}$$

in cui:

$\tan\varphi_{iniz}$ e c'_{iniz} sono i parametri meccanici iniziali attribuiti ai materiali

$\tan\varphi_{rid}$ e c'_{rid} sono i parametri meccanici ridotti nello specifico step di calcolo della fase di $\varphi - c$ reduction.

I risultati del calcolo sono riportati per le sezioni di analisi 2-2 e 3-3 in Figura 17 e in Figura 24. I coefficienti di sicurezza sono pari, rispettivamente, a 2,05 e 1,60.

Considerando che i parametri meccanici sono inseriti nel codice di calcolo con i valori caratteristici e che l'approccio di verifica prevede l'abbattimento degli stessi per il coefficiente $M2=1,25$; la verifica di stabilità globale è soddisfatta anche nel rispetto del coefficiente di sicurezza sulla resistenza globale $R2=1,1$ ($M2 \cdot R2=1,38$).

11. LE SCARPATE CHIODATE

Come anticipato nei capitoli introduttivi, le scarpate al di sopra della berlinese sono sagomate con pendenza 1:1 e sono consolidate mediante interventi di chiodatura realizzati con chiodi \varnothing 24 mm, diametro di perforazione \varnothing 50 mm, lunghezza $L= 6m$ e maglia $1,5m \times 1,5m$; per sfruttare al meglio le resistenze a sfilamento dei chiodi essi sono realizzati con inclinazione di 10° sull'orizzontale.

Le verifiche di stabilità delle scarpate sono state condotte con il codice di calcolo TALREN.

La sezione analizzata è quella che presenta la massima altezza, circa 4 m, indicata in Figura 6.

11.1 Criteri di modellazione

I parametri geotecnici (peso di volume e angolo di resistenza a taglio) caratteristici per il terreno sono concordi a quelli indicati al paragrafo 7.3.

L'analisi è stata condotta secondo la combinazione A2+M2+R2 che richiede, oltre all'abbattimento dei parametri geotecnici caratteristici, il conseguimento di un fattore di sicurezza nei confronti della stabilità globale, pari almeno a 1.10.

La verifica è stata condotta in condizioni statiche, in quanto gli scavi sono provvisori.

I chiodi sono stati modellati mediante elementi "nail" presenti nella libreria interna del codice di calcolo "TalRen". Questi elementi sono caratterizzati, oltre che dalla geometria (diametro delle barre, diametro di perforazione, lunghezza, inclinazione, spaziatura nel piano normale a quello delle analisi), anche dai valori di resistenza a trazione della sezione metallica e di resistenza a sfilamento (dipendente dal terreno circostante), mentre è stata trascurata la resistenza a taglio dell'elemento. Il valore di aderenza tra chiodo e terreno è stato assunto pari a $q_s=90 \text{ kN/m}^2$.

Si ricorda che, in accordo alle indicazioni di normativa, risulta sempre necessaria la conferma sperimentale con prove di trazione in sito.

La sezione considerata nelle verifiche è quella che presenta la massima altezza della scarpata (4 m), riportata in Figura 6.

11.2 Risultati

La figura in basso mostra i risultati del calcolo per la sezione analizzata.

Il coefficiente di sicurezza è pari a 1.1, per cui la verifica è soddisfatta.

Variante alla S.S.1 " Via Aurelia" Viabilità di accesso all'hub di La Spezia
Lavori di costruzione della variante alla S.S.1 Aurelia – 3° Lotto
2° Stralcio funzionale B dallo Svincolo di Buon Viaggio allo Svincolo di S. Venerio
Completamento – PE
RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE PROVVISORIALI

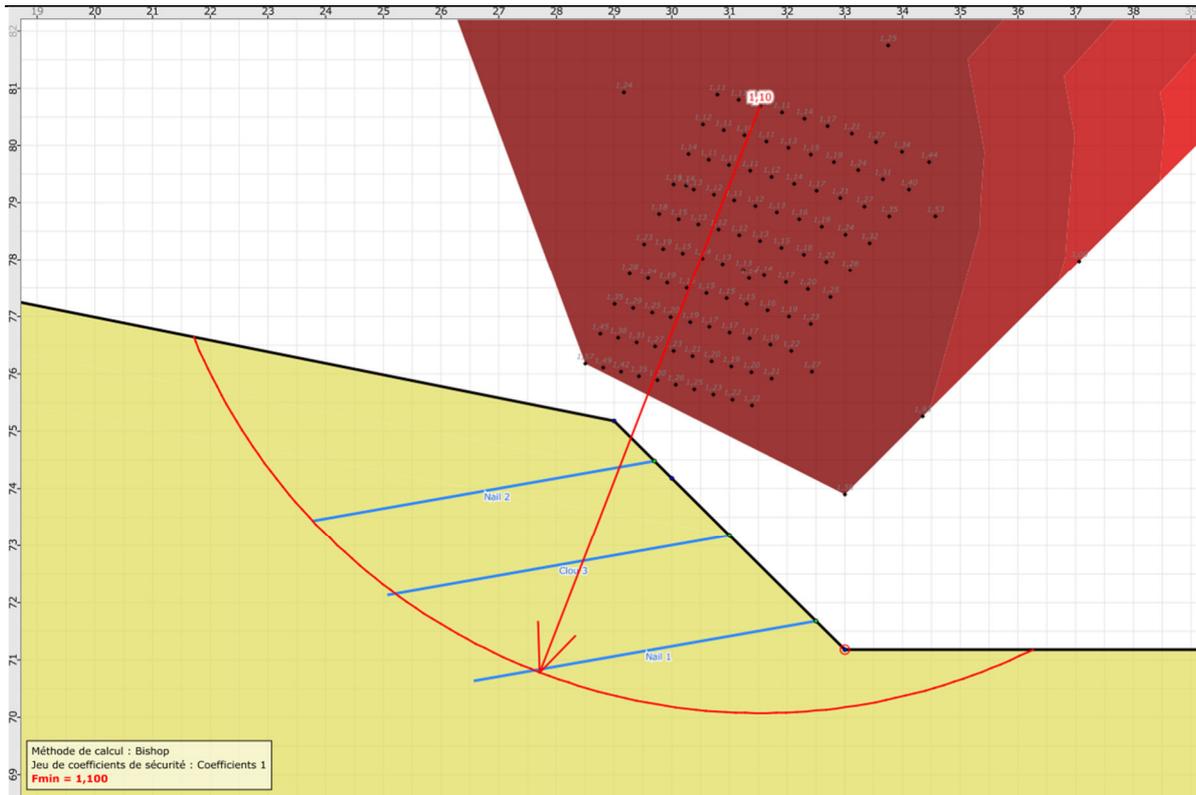


Figura 27 Risultati delle verifiche di stabilità delle scarpate chiodate