

S.S. 45bis - Gardesana Occidentale

Opere di costruzione della galleria in variante tra il km 86+567 e il km 88+800 finalizzata a sottendere le attuali gallerie ogivali a sezione ristretta

PROGETTO DEFINITIVO

COD. MI92

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTA:

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

IL GEOLOGO

*Dott. Geol. Serena Majetta
Ordine Geol. di Roma n. 928*

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.

*Dott. Ing. Laura Troiani
Ordine Ing. di Roma n. 31890*

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. Fabio Quondam

VISTO IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Giancarlo Luongo

PROTOCOLLO

DATA

STUDI GENERALI

Geotecnica

Relazione di calcolo chiodature

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG.

DPMI0092 D 18

NOME FILE

T00GE00GETRE03A

REVISIONE

SCALA

CODICE ELAB.

T00GE00GETRE03

A

-

D

C

B

A

EMISSIONE

Gen 2020

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI.....	5
4. DESCRIZIONE DELLE OPERE	6
5. STABILITÀ DELLA PARETE CHIODATA.....	9
5.1 SEZIONE DI VERIFICA.....	9
5.2 APPROCCIO NORMATIVO	9
5.3 METODI DI ANALISI E CODICE DI CALCOLO	12
5.4 AZIONI SISMICHE.....	14
5.5 MODELLO GEOTECNICO	15
5.6 SUPERFICIE PIEZOMETRICA	18
5.7 CARICHI.....	18
5.8 RISULTATI DELLE ANALISI.....	19
5.8.1 Sfilamento barra al contatto malta-terreno e al contatto malta-barra	19
5.8.2 Stabilità globale	22
6. STABILITÀ SUPERFICIALE	25
6.1 CODICE E METODO DI CALCOLO.....	25
6.1.1 Approccio progettuale.....	26
6.1.2 Dimensionamento delle chiodature.....	26
6.1.3 Valutazione della lunghezza dei chiodi	29
6.1.4 Dimensionamento della rete: stato limite ultimo.....	29
6.1.5 Dimensionamento della rete: stato limite di servizio	31
6.1.6 Dati di input.....	31
6.2 RISULTATI DELLE ANALISI.....	34
6.2.1 Verifica statica SLU.....	35
6.2.2 Verifica sismica SLV.....	37
7. PROVE E CONTROLLI SUI CHIODI.....	39
7.1 PROVE PRELIMINARI.....	39
7.2 PROVE DI COLLAUDO.....	39
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	40
ALLEGATO DI CALCOLO	42

Relazione di calcolo chiodature

VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE, COMBINAZIONE STATICA SLU A ₂ +M ₂ +R ₂	42
VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE, COMBINAZIONE SISMICA SLV M ₂ +R ₁	56

1. PREMESSA

Il presente documento analizza il consolidamento con soil nailing che verrà realizzato nell'ambito del *Progetto Definitivo* della *Variante alla S.S.45 bis "Gardesana occidentale" tra il km 86+567 ed il km 88+800* nei comuni di Gargnano e Tignale in provincia di Brescia.

L'intervento di chiodatura, in particolare, verrà eseguito in corrispondenza della trincea prevista in progetto presso l'imbocco nord della galleria Muslone.

Più in generale, il progetto prevede principalmente lo scavo della suddetta galleria naturale, che ospiterà la carreggiata in direzione Nord-Sud della futura S.S.45 bis. La sede attuale della viabilità sarà impiegata esclusivamente come carreggiata in direzione Sud-Nord.

L'esecuzione della chiodatura sugli scavi è necessaria per ottenere l'adeguamento della rete viaria esistente.

Segnatamente, gli scavi chiodati vengono eseguiti per consentire l'allargamento verso monte della viabilità, realizzato attraverso una rotatoria in cui convergeranno le corsie dell'attuale S.P. per Tignale, la futura carreggiata Sud-Nord in sede all'attuale S.S.45 bis e la nuova carreggiata Nord-Sud. Tali scavi sono inoltre funzionali alla realizzazione di portale e dima della galleria Muslone, per la quale, da questo lato, è previsto imbocco diretto.

Il sistema di consolidamento in oggetto è realizzato con un intervento combinato chiodature con barre di ancoraggio passive + rivestimento in rete metallica e si configura come una sistemazione a carattere definitivo della parete rocciosa.

Lo scopo della presente relazione è quello di giustificare le scelte progettuali adottate per tale intervento.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- DM 17.01.2018 – Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"
- CIRCOLARE 21.01.2019 n.7 - Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018"

Per riferimenti di calcolo o in mancanza di specifiche indicazioni si farà riferimento alle seguenti norme:

- Eurocodici strutturali e geotecnici pubblicati dal CEN, con le precisazioni riportate nelle Appendici Nazionali.

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

- Acciaio chiodi autoperforanti: S460NH ad alte resilienza
 - Tensione di snervamento $f_{pyk} = 460$ MPa;
 - Tensione a rottura $f_{ptk} = 560$ MPa.
- Acciaio piastre: S355.
- Perforazione chiodature: diametro ≥ 75 mm.
- Miscela di iniezione per stabilizzazione e lavaggio foro:
 - cemento tipo R 325 C20/25;
 - A/C = 0.7;
- Miscela di iniezione finale:
 - cemento tipo R 425 C20/25;
 - A/C = 0.4;
 - Pressione di iniezione $p_i = 30\div 60$ bar.

4. DESCRIZIONE DELLE OPERE

L'esecuzione della chiodatura sugli scavi è a carattere definitivo e necessaria per ottenere l'adeguamento della rete viaria esistente.

Segnatamente, gli scavi chiodati vengono eseguiti per consentire l'allargamento verso monte della viabilità, realizzato attraverso una rotatoria in cui convergeranno le corsie dell'attuale S.P. per Tignale, la futura carreggiata Sud-Nord in sede all'attuale S.S.45 bis e la nuova carreggiata Nord-Sud.

Nella seguente immagine viene illustrata la sezione tipologica degli interventi in progetto.

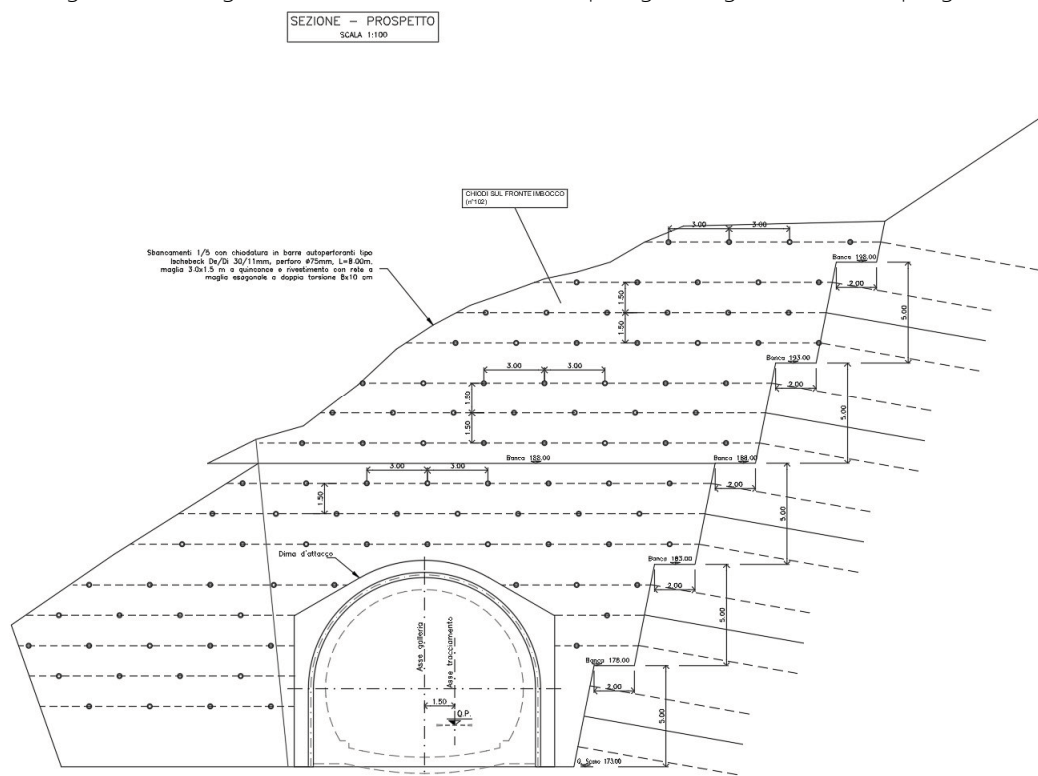


Figura 4.1 - Imbocco Nord, carreggiata Nord-Sud: intervento con chiodatura e rete metallica.

Più in particolare, le lavorazioni di messa in sicurezza della parete rocciosa prevedono la realizzazione di una diffusa maglia di rinforzo costituita da chiodatura con barre di ancoraggio passive cave, di diametro esterno nominale $d_e=30\text{mm}$, diametro interno nominale $d_i=11\text{mm}$, in acciaio a grano fine S460NH ($f_{yk} = 460\text{MPa}$ $f_{tk} = 560\text{MPa}$), a filettatura continua, disposte su maglia a quinconce ad interasse 3.0 m (h) x 1.5m (v), di lunghezza pari a 8.0m, alloggiare e intasate con malta cementizia C25/30 su tutta la lunghezza all'interno di perfori di diametro $\phi = 75\text{mm}$.

Durante le operazioni di perforazione, attraverso la barra filettata viene iniettata in fase di avanzamento una sospensione di cemento. Essa, fuoriuscendo attraverso dei fori presenti nella punta autopercorante a perdere, sostiene le pareti, stabilizza il terreno circostante ed espelle il detrito di perforazione. Una volta raggiunta la massima profondità di perforazione di progetto, viene iniettata nel foro della barra una malta d'iniezione più densa, la cui spinta provoca lo spurgo della sospensione per il sostegno del foro.

La massima altezza di chiodatura del fronte roccioso risulta pari a circa 27.0m.

Relazione di calcolo chiodature

Le scarpate chiodate vengono profilate con scarpa di progetto pari a 5/1 V/O (80° sull'orizzontale), interponendo delle banche con funzione rompitratta (ogni 5m di altezza della scarpata viene eseguita una berma di larghezza L=2m), che riducono l'acclività della scarpata effettivamente gravante.

La previsione operativa è quella di eseguire lo scavo alternando l'uso del martello demolitore, nelle porzioni più tenaci e competenti dell'ammasso, a quello della benna rinforzata da roccia, per le parti più tenere.

L'intervento di consolidamento è completato da un rivestimento in teli di rete a doppia torsione con maglia tipo 8x10, e filo del diametro pari a 3.0mm, zincato, necessario per evitare fenomeni di instabilizzazione di detrito tra 2 chiodi adiacenti, e dalla formazione del reticolo di funi in acciaio, del diametro $\phi = 12mm$, disposte longitudinalmente e diagonalmente tra le varie file di ancoraggi, in modo che il sistema risulti il meno deformabile ed il più robusto possibile.

La fasizzazione prevede in prima battuta il posizionamento dell'operatore per l'esecuzione del primo ordine di chiodi. Segue la messa in posto del chiodo di ancoraggio e la sigillatura con malta cementizia iniettata a pressione. Segue esecuzione della fune di monte, legata alle barre di estremità, risvoltata intorno agli ancoraggi stessi, messa in tensione e serrata con dei morsetti in acciaio. Lo scavo procede quindi per ribassi successivi alle quote previste per gli ordini di chiodatura inferiori, fino al raggiungimento della berma rompitratta.

Segue installazione del rivestimento corticale con rete: la rete viene srotolata lungo il pendio dopo averla fissata facendola svoltare attorno alla fune di monte. Si procede con la legatura dei rotoli di rete tramite punti metallici (graffette o lap link) o mediante fune o filo in acciaio. Vengono posizionate le piastre in acciaio sugli ancoraggi di monte e serrate con dado apposito.

Si opera il posizionamento dei cavi trasversalmente alla direzione di massima pendenza ed il risvolto del rivestimento intorno al cavo di base. Contestualmente si opera la disposizione dei cavi di rinforzo a "zig-zag" lungo il pendio. I cavi vengono fatti passare lateralmente agli ancoraggi, vengono serrati con opportuni morsetti e messi in tensione. Infine si realizza il posizionamento delle piastre in acciaio sugli ancoraggi intermedi (eventuali) e al piede e serraggio con dado apposito. Le piastre servono a far rimanere il rivestimento aderente al terreno.

Le suddette operazioni vengono ripetute per le banche inferiori, fino al raggiungimento della quota di fondo scavo.

Per le caratteristiche di dettaglio dell'opera si rimanda ai grafici allegati al progetto.

In Tabella 4.1 e Tabella 4.2 sono riportate le principali caratteristiche dell'intervento di rinforzo.

Altezza massima parete chiodata (m)	Pendenza parete chiodata (°)	Ordini massimi di chiodatura (-)	Diametro perforo (mm)	Lunghezza Chiodi (m)	Maglia chiodatura (m x m)
27.0 (5 banche h=5.0m + 1 banca h=2.0m)	60 media, 80 (V/O=5/1) ciascuna banca	16	75	8.0	A quinconce, 3.0 (O) x 1.5 (V)

Tabella 4.1 – Parete chiodata: caratteristiche della parete chiodata.

Relazione di calcolo chiodature

DIAMETRO ESTERNO BARRA De (mm)	DIAMETRO INTERNO BARRA Di (mm)	AREA SEZIONE CHIODO (mm ²)	$f_{0,2k}$ (MPa)	f_{tk} (MPa)	F_{yk} (kN)	F_{tk} (kN)
30	11	415	460	560	260	326

Tabella 4.2 – Caratteristiche barre autoperforanti.

5. STABILITÀ DELLA PARETE CHIODATA

5.1 SEZIONE DI VERIFICA

Ai fini della definizione delle sezioni di verifica, è stato condotto un esame di dettaglio delle condizioni geometriche (altezza della parete chiodata, inclinazione della superficie topografica), delle caratteristiche stratigrafiche (spessore e tipologia delle formazioni) e delle condizioni idrauliche (profondità della falda).

Tenuto conto della sostanziale costanza del modello stratigrafico e meccanico, nonché dell'assenza di falda nell'ambito del volume significativo di sottosuolo interessato dall'intervento, l'elemento di maggior criticità è risultato l'altezza dello scavo da sostenere.

Le analisi di dimensionamento della chiodatura, dunque, sono state effettuate riferendosi alla sezione caratterizzata dalla massima altezza H dell'opera, pari a 27,0 m.

Le condizioni prese a riferimento per la sezione di verifica sono quelle complessivamente più critiche per la stabilità: essa risulta rilevante e dimensionante per l'intero fronte chiodato ed i risultati delle analisi, dunque, sono da intendersi applicabili ed estrapolabili per garantire condizioni di sicurezza per l'opera nel suo complesso.

Vengono presentate le sole analisi riferite alla configurazione finale di massimo scavo, risultando questa la fase critica per le condizioni di stabilità della parete chiodata.

5.2 APPROCCIO NORMATIVO

Le analisi sono state eseguite conformemente al decreto 17 Gennaio 2018 "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" (NTC 2018), con il metodo degli stati limite ultimi SLU (sicurezza nei confronti della rottura).

Le analisi geotecniche vengono eseguite relativamente ai seguenti stati limite di verifica:

- o VERIFICHE STATICHE SLU;
- o VERIFICHE SISMICHE SLV.

Le analisi statiche SLU sono state condotte coerentemente con la combinazione "fondamentale" delle azioni (cfr. §2.5.3 di NTC 2018), di seguito riepilogata.

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

Per le analisi connesse alle azioni sismiche (SLV), si è impiegata la combinazione "sismica" seguente (cfr. §2.5.3 di NTC 2018).

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

Per i criteri di implementazione delle azioni sismiche si rimanda al §5.4.

Il dimensionamento della chiodatura avviene considerando i seguenti stati limite ultimi:

1. **sfilamento della barra al contatto malta-terreno;**
2. **sfilamento della barra al contatto malta-barra;**
3. **instabilità globale della parete chiodata.**

Le verifiche di resistenza allo **sfilamento** dei chiodi sono avvenute nel rispetto dei criteri di progetto di cui al §6.6 di NTC 2018 per i tiranti di ancoraggio.

Relazione di calcolo chiodature

Con riferimento allo stato limite di **sfilamento dell'ancoraggio malta-terreno**, la verifica va effettuata confrontando la massima azione di progetto E_d , determinata con riferimento alla combinazione SLU A1+M1+R3, con la resistenza di progetto allo sfilamento $R_{a,d}$. In tale fase, viene valutata la lunghezza di ancoraggio minima della barra $L_{s,min}$.

Per la lunghezza di ancoraggio precedentemente definita, viene verificato lo **sfilamento al contatto barra-malta** di intasamento del perforo. La verifica è soddisfatta se la forza di contatto barra-malta N_{lim} è maggiore di E_d .

L'azione di progetto applicata al chiodo viene assunta:

$$E_d = T,$$

dove:

$T = R_d = R_k / \gamma_s = A \cdot f_{yk} / \gamma_s$, resistenza al taglio limite di progetto della barra, con:

R_d resistenza di progetto dell'acciaio al limite di snervamento;

R_k resistenza caratteristica al limite di snervamento;

A sezione trasversale della barra ($415mm^2$);

f_{yk} resistenza allo snervamento dell'acciaio ($460MPa$);

$\gamma_s = 1.15$ coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio.

Nell'ipotesi che la barra sia assoggettata alla forza limite di trazione $E_d = T$, non è necessario amplificare tale sollecitazione secondo i coefficienti parziali A1 sulle azioni.

La lunghezza minima della barra per evitare lo sfilamento dal terreno può essere calcolata con l'espressione:

$$L_{s,min} = \frac{T}{\pi \times D_s \times \tau_{sd}} = \frac{T \times \gamma_R}{\pi \times D_s \times \tau_{sk}},$$

dove:

$\tau_{sd} = \tau_{sk} / \gamma_R$ = tensione limite di progetto aderenza malta – terreno;

$\tau_{sk} = \text{Min} \left\{ \frac{\tau_{s,media}}{\xi_3}; \frac{\tau_{s,minima}}{\xi_4} \right\}$ = tensione limite caratteristica di aderenza malta – terreno (cfr.

§5.5);

$\xi_3 = \xi_4 = 1.8$, fattori di correlazione con riferimento a prove geotecniche eseguite secondo n=1 profili di indagine;

γ_R = coefficiente parziale per ancoraggio definitivo = 1.2;

D_s = diametro della perforazione = 0.075m;

Per i valori di γ_R e $\xi_3 = \xi_4$ si faccia riferimento alle Tabelle 6.6.I e 6.6.III di NTC2018.

Per la verifica a **sfilamento barra-malta**, N_{lim} può essere espresso tramite:

$$N_{lim} = \pi \times D \times \tau_{cd} \times L_{s,min},$$

con:

D = diametro esterno della barra = 30mm;

Relazione di calcolo chiodature

f_{bd} = tensione limite di progetto aderenza barra-malta=2.32MPa.

Una volta definita $L_{s,\min}$, caratterizzata dalla condizione $R_{a,d,\min} = E_d = T$, assegnando una lunghezza di progetto delle barre $L_s > L_{s,\min}$, segue necessariamente:

$$R_{a,d} = \pi \times D_s \times \tau_{sd} \times L_u > E_d (= \pi \times D_s \times \tau_{sd} \times L_{u,\min}),$$

risultando in tal modo ottemperata la verifica a sfilamento all'interfaccia malta-terreno.

Per le verifiche di stabilità globale, sono state condotte analisi statiche SLU e pseudostatiche allo stato limite di salvaguardia della vita SLV.

Le verifiche agli SLU, statici e sismici, si intendono soddisfatte se avviene il rispetto della condizione $E_d \leq R_d$, con E_d valore di progetto dell'azione o del suo effetto e R_d valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Si sono adottati i criteri di verifica dei fronti di scavo e delle opere in materiali sciolti, per i quali la normativa di riferimento NTC2018 indica il medesimo approccio di verifica.

La valutazione del grado di sicurezza avviene dunque con riferimento a quanto disposto nell'impianto normativo al § 6.8.2 per le analisi statiche e al § 7.11.4 per le verifiche sismiche.

Per le verifiche statiche SLU si è impiegato l'Approccio Progettuale 1, Combinazione 2 (A2+M2+R2). La valutazione del grado di sicurezza avviene, dunque, con riferimento ai valori di progetto $X_d = X_k / \gamma_M$ dei parametri di resistenza del terreno, ottenuti fattorizzando i valori caratteristici X_k a mezzo dei coefficienti parziali di sicurezza γ_M sui materiali.

Per le verifiche sismiche SLV si è impiegata una combinazione del tipo M1+R2 (cfr. § 7.11.4 di NTC2018), in cui i coefficienti amplificativi delle azioni sono assunti unitari e i parametri geotecnici vengono utilizzati con il loro valore caratteristico X_k .

Di seguito si riassumono i valori numerici dei coefficienti parziali sulle azioni (γ_F), sui materiali (γ_M) e sulle resistenze (γ_R) in accordo con NTC 2018.

CASO	AZIONI –				PROPRIETÀ TERRENO -			RESISTENZE –
	γ_F				γ_M			
	Permanenti		Variabili		Tan	c'	γ	
	Sfavorevoli	Favorevoli	Sfavorevoli	Favorevoli	ϕ'			
SLU A2+M2+R2	1.0	1.0	1.3	0	1.25	1.25	1.0	1.1
SLV M1+R2	1.0	1.0	1.0	0	1.0	1.0	1.0	1.2

Tabella 5.1 – Stabilità globale: approccio di calcolo e coefficienti parziali di sicurezza.

La resistenza di progetto R_d del sistema geotecnico viene dedotta come (cfr. §6.2.4.1 di NTC2018):

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \cdot R \left[\gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right],$$

dove a_d è la particolare geometria del problema.

Il coefficiente di sicurezza parziale γ_R che opera direttamente sulla resistenza del sistema, coerentemente con il set R2 relativamente alle condizioni di stabilità dei fronti di scavo, è pari a 1.1 e 1.2 rispettivamente in combinazione SLU e SLV.

Ciò sta a significare che, una volta amplificate le azioni e parzializzate le caratteristiche geotecniche dei terreni nei modi sopra precisati, **si adotta un coefficiente di sicurezza minimo pari a $FS_{adm}=\gamma_R=1.1$ in condizioni statiche SLU, $FS_{adm}=\gamma_R=1.2$ in quelle pseudostatiche SLV.**

5.3 METODI DI ANALISI E CODICE DI CALCOLO

Le verifiche della **lunghezza di ancoraggio minima della barra al contatto malta-terreno** e la **verifica a sfilamento della barra al contatto barra-malta** vengono eseguite mediante l'utilizzo del foglio di calcolo CHIODI - PROGETTI E CALCOLI DI GEOTECNICA CON EXCEL VOL 1 - ED. DEL, secondo le modalità di cui al §5.2.

Le **verifiche di stabilità globale** sono state realizzate con i metodi all'equilibrio limite.

Il codice di calcolo utilizzato per effettuare le analisi è SLOPE/W, della suite di prodotti geotecnici GEOSTUDIO 2012, prodotto da GEO-SLOPE International, Ltd.

Nelle analisi di stabilità è stato utilizzato il metodo di Morgenstern e Price (1965), basato sul contemporaneo equilibrio delle forze e dei momenti e facente parte della famiglia dei cosiddetti metodi delle strisce.

Il calcolo viene effettuato in modo iterativo, calcolando i fattori di sicurezza rispetto all'equilibrio globale delle forze e dei momenti (F_f e F_m), fino ad ottenere una soddisfacente convergenza dei risultati, con la restituzione di un unico coefficiente di sicurezza FS .

Le ipotesi di calcolo e i fondamenti teorici del metodo sono diffusamente presenti in letteratura, alla quale si rimanda per un inquadramento metodologico di dettaglio.

Le ipotetiche superfici di rottura sono state fornite al programma tramite un centro di rotazione e delle condizioni di vincolo, consistenti in intervalli sulla superficie topografica che fissano le zone di immersione (a monte della parete chiodata) e di riaffioramento (al piede della parete) delle superfici di scorrimento plausibili per la geometria esaminata.

L'assegnazione di un unico arbitrario centro di istantanea rotazione si motiva tenendo conto che i metodi che soddisfano sia l'equilibrio delle forze sia quello dei momenti sono molto poco sensibili nei confronti della posizione del centro dei momenti.

Il software sottopone a verifica tutta la famiglia di superfici cinematicamente compatibili con le condizioni a contorno imposte, fino ad individuare la superficie di minima resistenza.

I chiodi sono considerati dal programma attraverso le forze che essi trasmettono al materiale circostante in funzione delle caratteristiche di resistenza specificate dall'utente. Questi supporti hanno un effetto stabilizzante solo se intersecano la superficie di scivolamento, poiché in caso contrario essi non trasmettono nessuna forza al materiale in movimento e quindi non producono aumenti del coefficiente di sicurezza del pendio.

Ogni chiodo è caratterizzato da due lunghezze (si veda la Figura 5.1):

Relazione di calcolo chiodature

- o L_i = lunghezza del chiodo all'interno della massa instabile;
- o L_o = lunghezza del chiodo ancorata al di fuori della superficie di scorrimento.

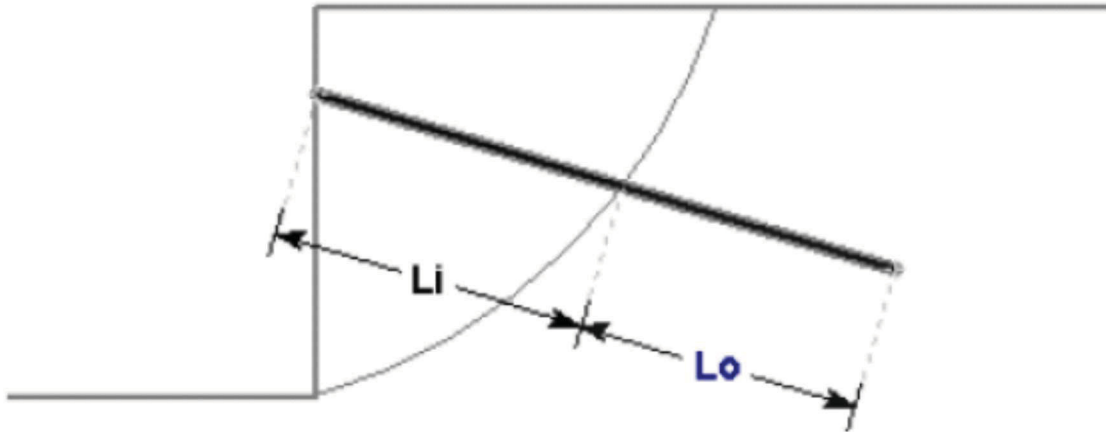


Figura 5.1 - Lunghezza del chiodo all'interno (L_i) e all'esterno (L_o) della superficie di scorrimento.

I possibili meccanismi di rottura considerati sono due:

- Sfilamento ("Pullout"), vale a dire raggiungimento della forza richiesta per sfilare dal terreno la lunghezza L_o del chiodo.
- Rottura per trazione ("Tensile failure"), cioè raggiungimento della massima azione assiale T nel chiodo.

Sono stati utilizzati i seguenti dati di progetto:

- Carico di snervamento $R_d = 161$ kN (definito riducendo il carico di snervamento massimo della barra 30/11 $R_k = 260$ kN a mezzo del coefficiente parziale $\gamma_s = 1.15$ sull'acciaio e tramite il fattore di sicurezza aggiuntivo $f_R = 1.4$ che tiene conto delle incertezze relative al meccanismo di interazione barra-terreno, Lembofazio, Graziani, Marchi, Boldini, 1999); in considerazione della spaziatura fuori piano, risulta:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_s \times f_s \times i_h} = \frac{260 \text{ kN}}{1.15 \times 1.4 \times 3.0 \text{ m}} = 54 \text{ kN}/(\text{m})$$

- Capacità della piastra = 0 kN (trattandosi di elemento passivo)
- Forza limite di aderenza laterale ancoraggio-terreno per unità di lunghezza, ricavata mediante Bustamante-Doix, considerando un attrito unitario laterale limite τ_{lim} pari a 0.300MPa, ridotto degli opportuni coefficienti derivanti dalla NTC2018:

$$R_{a,d} = \frac{\tau_{sd} \times \pi \times D_s}{i_h} = \frac{300 \text{ kPa} \times \pi \times 0.075 \text{ m}}{1.8 \times 1.2 \times 3.0 \text{ m}} = 10.9 \text{ kN}/\text{m}(\text{m})$$

- Forza limite a taglio nel chiodo:

$$T_d = 0 \text{ (cautelativamente)}$$

In definitiva, la forza massima mobilitata da ognuno dei meccanismi di rottura (per metro fuori piano) è data dai seguenti valori:

- Sfilamento: $R_{a,d} = 10.9 \text{ kN}/\text{m}(\text{m})$, per metro di chiodo ancorato a tergo della superficie di scorrimento

Relazione di calcolo chiodature

- Rottura per trazione: $R_d = 54kN(/m)$

La forza trasmessa da ogni segmento del chiodo alla superficie di scorrimento è pari alla forza minima mobilitabile dai due meccanismi di rottura:

$$F_{applicata} = \min\{R_{a,d} \cdot L_0; R_d\}.$$

5.4 AZIONI SISMICHE

L'accertamento delle condizioni di stabilità è avvenuto anche con riferimento alle "azioni sismiche", secondo le prescrizioni contenute al §7.11.4 di NTC 2018. Le azioni indotte dal sisma, tipicamente dinamiche, sono state simulate attraverso un insieme di forze statiche equivalenti all'azione inerziale ("metodo pseudo-statico"). Tali forze sono proporzionali, per il tramite di due coefficienti sismici k_h e $k_v = \pm 0.5k_h$, al peso della massa potenzialmente instabile delimitata dalla superficie di scorrimento. Nelle verifiche condotte con i metodi delle strisce, ai quali appartiene il metodo di Morgenstern e Price, la forza statica equivalente viene applicata al baricentro di ciascuna striscia.

In particolare, per l'azione sismica verticale, si è valutato il solo caso in cui essa sia rivolta nel senso opposto alla gravità ($k_v < 0$), visto che l'assunzione di k_v positivo conduce a risultati per lo più meno gravosi e comunque confrontabili.

Si riportano in Tabella 5.2 i valori delle principali grandezze sismiche ricavate dalla caratterizzazione di pericolosità sismica del sito relativamente al periodo di ritorno T_R associato allo stato limite di salvaguardia della vita SLV, riferendosi ai valori corrispondenti al 50-esimo percentile e per il caso dei fronti di scavo.

Classe	Stato limite	V_N	C_U	V_R	P_{VR}	T_R	a_g	S_S	S_T	S	a_{max}	β_s	$k_{h,s}$	$k_{v,s}$
-	-	anni	-	anni	-	anni	g	-	-	-	g	-	-	-
IV	SLV	50	2.0	100	10%	949	0.202	1.198	1.2	1.438	0.291	0.38	0.11	-0.055

Tabella 5.2 – Parametri sismici.

dove:

- o V_N vita nominale;
- o C_U coefficiente d'uso;
- o V_R vita di riferimento;
- o P_{VR} probabilità di superamento nel periodo di riferimento;
- o a_g accelerazione sismica massima attesa di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale;
- o S_S coefficiente di amplificazione stratigrafica;
- o S_T coefficiente di amplificazione topografica;
- o $S = S_S \cdot S_T$;
- o $a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g$;
- o β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

Relazione di calcolo chiodature

- $k_{h,s}$ coefficiente pseudostatico orizzontale per fronti di scavo;
- $k_{v,s}$ coefficiente pseudostatico verticale per fronti di scavo.

I dati tabulati si riferiscono ad un suolo di categoria stratigrafica B e ad un'amplificazione topografica di tipo T2, in accordo con le valutazioni contenute nella "Relazione Sismica".

In definitiva nelle verifiche si sono adottati i coefficienti pseudostatici $k_{h,s} = 0.11$ e $k_{v,s} = -0.055$.

5.5 MODELLO GEOTECNICO

Le analisi vengono condotte in condizioni di lungo termine utilizzando i parametri di resistenza al taglio drenati.

Dal punto di vista generale il riferimento è costituito dalla caratterizzazione geotecnica contenuta nell'elaborato "Relazione geotecnica" (rif. Too_GEOO_GET_RE01).

Come legame costitutivo viene adottato il criterio di rottura di Mohr-Coulomb in termini di tensioni efficaci.

Come più approfonditamente dettagliato in quella sede, nella zona dell'imbocco Nord della galleria Muslone l'ipotesi interpretativa geologica (cfr. Figura 5.2) ha ricostruito la presenza in superficie di una sottile copertura olocenica (massimo 3m) costituita dalla coltre eluvio-colluviale, dai detriti di conoide e da detrito cementato.

La coltre eluvio-colluviale è formata da terreni eterogenei, a granulometria da ghiaioso-sabbiosa a limoso-argillosa, con colorazioni variabili da rossastro a bruno, a bruno giallastro, derivati dall'alterazione delle litologie del substrato sottostante. Ad essa sono stati accorpati anche i depositi di conoide pedemontana, che hanno subito trasporto per opera dei corsi d'acqua e successivo deposito per gravità, con la tipica forma a cono/ventaglio.

Il detrito cementato, affiorante lungo il tracciato solo nella zona dello svincolo per Tignale, è costituito da alternanze di orizzonti e lenti prevalentemente ghiaiose e/o sabbiose grossolane, con ciottoli e trovanti a basso grado di arrotondamento, soggetti a cementazione.

Al di sotto dei depositi di copertura è immediatamente rinvenibile il substrato roccioso, localmente costituito dalla formazione del "Medolo", presente sotto forma di calcari marnosi. Essi si presentano di colore chiaro o scuro, ad evidente stratificazione, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, con letti e noduli di selce e con intercalazioni più o meno abbondanti di marne fino ad argilliti grigio verdastre.

Ai fini delle presenti analisi geotecniche, la coltre eluvio-colluviale, i detriti di conoide e il detrito cementato sono stati riuniti nella medesima unità geotecnica "Coltre eluvio-colluviale": tale assunzione è particolarmente lecita in considerazione delle affinità litologiche e del fatto che tali depositi interessano solo una limitata porzione sommitale del fronte chiodato.

Relazione di calcolo chiodature

DEPOSITI QUATERNARI E RECENTI

Coltre eluvio-colluviale e detriti di conoide



Terreni eterogenei, a granulometria da ghiaioso-sabbiosa a limoso-argillosa, con colorazioni variabili da rossastro a bruno, a bruno giallastro, di potenza variabile, derivati dall'alterazione delle litologie del substrato sottostante (calcarei dolomitici, calcari e marne) e dei depositi morenici. In questo gruppo sono stati accorpate anche i depositi di conoide pedemontana, che hanno subito trasporto per opera dei corsi d'acqua e successivo deposito per gravità, con la tipica forma a cono/ventaglio. OLOCENE.

Detrito cementato



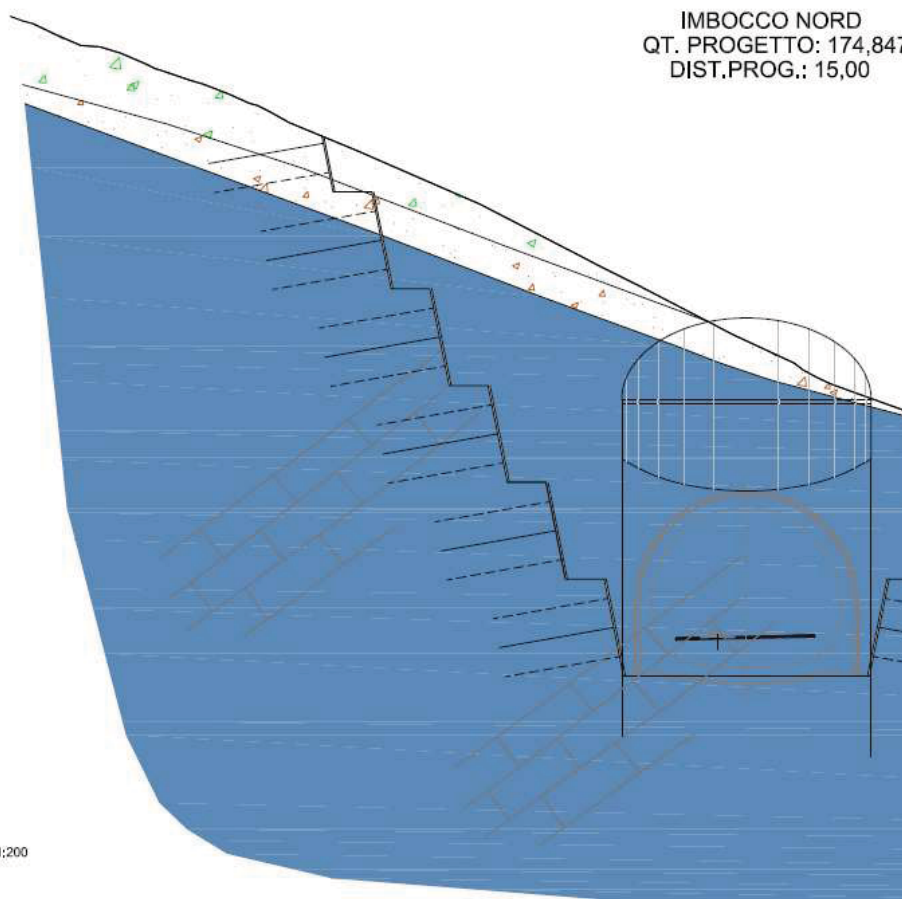
Alternanze di orizzonti e lenti prevalentemente ghiaiose e/o sabbiose grossolane, con ciottoli e trovanti a basso grado di arrotondamento, soggetti a cementazione. Tali depositi affiorano limitatamente nella zona dello svincolo sulla S.S.45bis per Tignale. PLEISTOCENE SUP. - OLOCENE.

SUCCESSIONE STRATIGRAFICA PREQUATERNARIA

Medolo



Calcari, per lo più marnosi, di colore chiaro o scuro, ad evidente stratificazione, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, con letti e noduli di selce e con intercalazioni più o meno abbondanti di marne fino ad argilliti grigio verdastre. Il letto è rappresentato dalle formazioni della Corna o del Corso, il tetto dalla Formazione di Concesio, da cui spesso non è facilmente distinguibile. (DOMERIANO - HETTANGIANO).



SCALA 1:200

QT.RIF. 160,000

QUOTE TERRENO	206,00	205,53	205,33	205,02	204,90	204,86	204,80	203,80	202,81	202,67	201,43	199,94	199,63	198,77	197,21	194,03	192,98	191,14	190,48	188,23	187,98	
DIST.PARZIALI TERRENO	1,06	1,01	1,02	1,31	1,17	1,37	0,66	0,80	1,01	1,37	3,60	0,68	1,98	3,58	5,43	0,72	2,08	3,54	1,27	3,20	1,74,847	5,79
QUOTE PROGETTO																		174,847	174,847			
DIST.PARZIALI PROGETTO																			5,00			

Figura 5.2 – Modello geologico.

A partire dai valori dei parametri indicati nella "Relazione geotecnica", nelle verifiche si sono in definitiva adottate le caratteristiche geotecniche riassunte Tabella 5.3.

Relazione di calcolo chiodature

Vengono riportati, in funzione dello stato limite preso in esame, tanto i valori caratteristici X_k delle proprietà del terreno che i valori di progetto X_d .

Unità	Colore	γ (kN/m ³)	Criterio	STABILITÀ GLOBALE			
				SLU A2+M2+R2		SLV M1+R2	
				c'_d (kPa)	ϕ'_d (°)	c'_k (kPa)	ϕ'_k (°)
Coltre eluvio-colluviale		20.0	Mohr Coulomb	0	26.6	0	32
Flysch marnoso-arenaceo FMA		26.0	Mohr Coulomb	128	33.9	160	40

Tabella 5.3 – Caratteristiche geotecniche (valori caratteristici X_k e di progetto X_d).

In Figura 5.3 viene schematizzata la stratigrafia di calcolo adottata nelle analisi, in cui vengono visualizzati i valori caratteristici X_k dei parametri geotecnici.

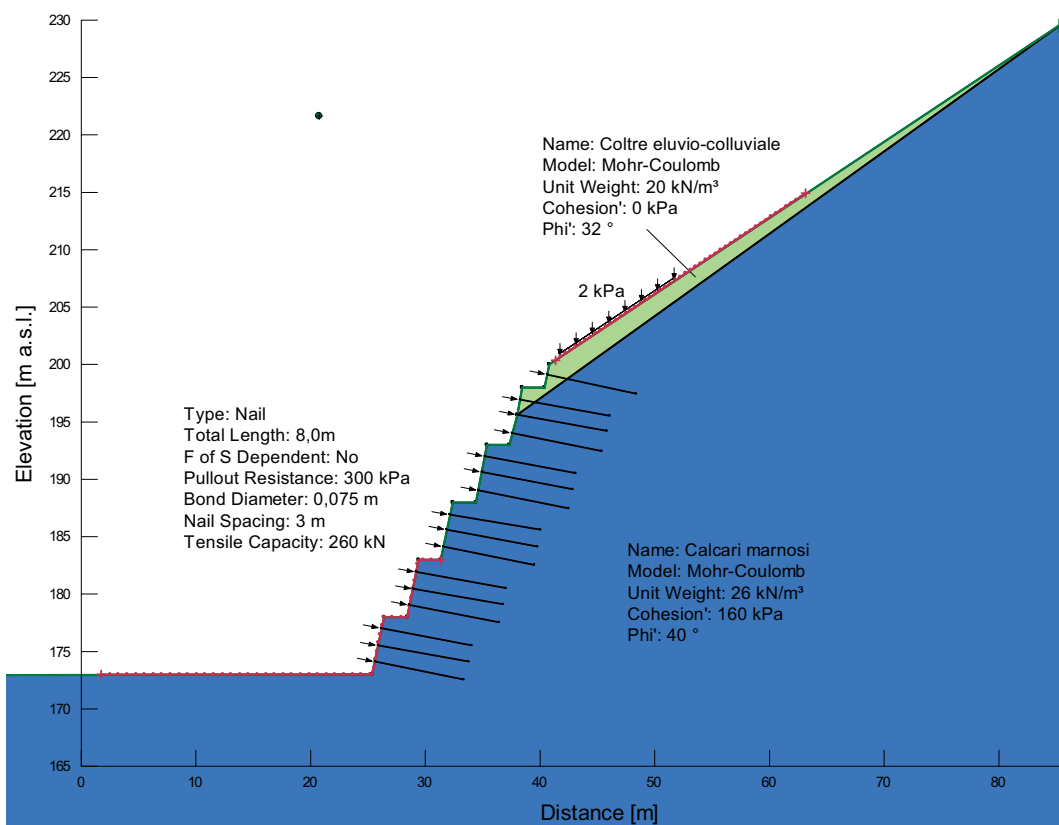


Figura 5.3 – Stratigrafia di progetto.

Oltre alle grandezze riportate in precedenza, allo scopo di valutare l'aderenza fra la malta di intasamento della perforazione dei chiodi ed il terreno è stato valutato il valore della tensione tangenziale di aderenza limite τ_{lim} .

Assumendo in via prudentiale un valore della pressione limite $p'_{lim}=4.0\text{MPa}$ (corrispondente a $N_{SPT}=80$, valore certamente riscontrabile nei calcari marnosi in oggetto), dall'abaco di Bustamante e Doix (1985, cfr. Figura 5.4) si stima per ancoraggi iniettati a gravità/bassa pressione in marne calcaree (involuppo MC2):

- $\tau_{lim} = 300 \text{ kPa}$.

Tale valore è quello in definitiva adottato nelle verifiche.

Abaco per il calcolo di s per gessi, marne, marne calcaree

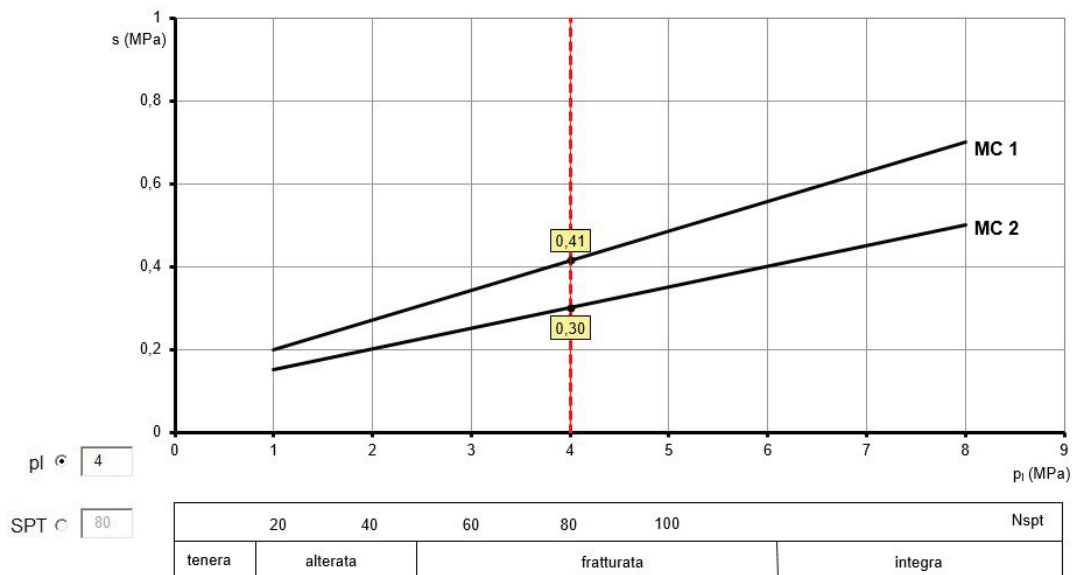


Figura 5.4 – Valori di resistenza tangenziale limite $s (= \tau_{lim})$ per marne, formazioni marnoso-calcaree e calcareo-marnose (Bustamante e Doix, 1985).

5.6 SUPERFICIE PIEZOMETRICA

Come dettagliato in sede di "Relazione Geotecnica", in rapporto alla litostratigrafia calcareo-marnosa, si esclude che le opere in progetto possano intercettare orizzonti idrici significativamente in rete.

Pertanto, non è presente una falda lateralmente continua e, dunque, nelle verifiche non viene modellata una superficie piezometrica.

5.7 CARICHI

Le verifiche includono la possibile presenza di carichi accidentali a monte della parete chiodata, schematizzati attraverso un sovraccarico distribuito di valore caratteristico $\Delta q_k = 10 \text{ kPa}$.

In Tabella 5.4 vengono riassunti il valore caratteristico Δq_k e di progetto Δq_d del sovraccarico considerato nelle analisi.

Relazione di calcolo chiodature

Carico	Δq_k (kPa)	Tipo	Δq_d (kPa)	
			SLU A2+M2+R2	SLV M1+R2
Accidentale	10	Variabile	13	2

Tabella 5.4 - Sovraccarichi: valori caratteristici Δq_k e di progetto Δq_d .

Relativamente alle verifiche SLU, l'intensità caratteristica del carico è stata opportunamente amplificata nelle analisi secondo il coefficiente parziale per azioni variabili sfavorevoli $\gamma_{Qi} = 1.3$ per la combinazione statica SLU A2+M2+R2, senza tener conto, invece, di un coefficiente di combinazione ψ_{0i} con le altre azioni, coerentemente con la combinazione "fondamentale" delle azioni di cui al §2.5.3 di NTC2018.

Per quanto attiene le verifiche sismiche SLV M2+R1, invece, coerentemente con la combinazione "sismica" delle azioni riportata al §2.5.3 di NTC2018, l'azione accidentale viene presa col suo valore caratteristico, riducendone il valore, però, a mezzo del coefficiente di combinazione ψ_{2i} , il quale evita che la struttura venga impegnata dalla contestuale applicazione di carichi di natura evidentemente accidentale con bassa probabilità di occorrenza simultanea.

E' utile ricordare che per strutture "sensibili" quali i ponti in zona urbana di intenso traffico, la normativa indica al §5.1.3.12 un valore di ψ_{2i} pari a 0.2 per i carichi dovuti al transito dei mezzi: in considerazione di quanto sopra, si è ritenuto tale valore definitivamente rappresentativo anche per le analisi in oggetto.

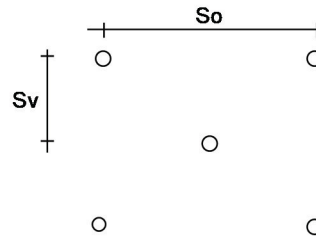
5.8 RISULTATI DELLE ANALISI

5.8.1 Sfilamento barra al contatto malta-terreno e al contatto malta-barra

In Figura 5.5 viene riportato il calcolo della lunghezza di ancoraggio minima delle barre $L_{s,min}$ e la verifica allo sfilamento al contatto barra-malta.

CHIODATURA CON BARRE PASSIVE

Sv = spaziatura verticale = **1,5** (m)
So = spaziatura orizzontale = **3** (m)
De = Diametro esterno della barra **3,0** (cm)
Di = Diametro interno della barra **1,1** (cm)
A = Area nominale della barra **4,15** (cmq)



Ds = Diametro della Perforazione **0,075** (m)

Tipo di acciaio

fyk = Tensione di snervamento dell'acciaio **460** (MPa)
fyk : Tensione di snervamento dell'acciaio **460** (MPa)
γs = coefficiente parziale acciaio **1,15**

Classe di resistenza malta

fck = resistenza caratteristica della malta **20** (MPa)
γc = coefficiente parziale malta **1,5**
αcc = coeff. Riduttivo resistenze lunga durata **0,85**
fcd = resistenza di progetto della malta **11,3** (MPa)

fctm = resistenza media a trazione malta **2,21** (MPa)
fctk = resistenza caratt. a trazione malta **1,55** (MPa)

Forza limite di taglio del singolo chiodo

T = fyk * A / γs T = **166,00** (kN)

Risulta, dunque:

$$R_{a,d} = \tau_{sd} \times \pi \times D_s \times L_s = 139kPa \times \pi \times 0.075m \times 8.0m = 262kN > E_d = T = 166kN.$$

La **verifica a sfilamento all'interfaccia malta-terreno** risulta soddisfatta.

5.8.2 Stabilità globale

I risultati delle **verifiche di stabilità globale** sono riassunti nella Tabella 5.5.

Di seguito vengono allegate le figure di output delle verifiche, in cui sono riportati i risultati delle analisi in termini di superficie critica e coefficienti di sicurezza FS associati.

Per maggiori dettagli, si rimanda alla consultazione dei tabulati di calcolo allegati in calce al documento.

Combinazione di carico	Fattore di sicurezza calcolato FS	Fattore di sicurezza richiesto FS <i>min</i>	Esito verifica
Statica SLU A2+M2+R2	1.692	1.1	ok
Sismica SLV M1+R2	1.878	1.2	ok

Tabella 5.5 – Parete chiodata : risultati delle analisi di stabilità globale.

A sintesi dei risultati ottenuti **si osserva che il coefficiente di sicurezza calcolato risulta maggiore o uguale agli standard di sicurezza imposti dalla normativa di riferimento ($FS_{adm}=\gamma_R=1.10$ in condizioni SLU, $FS_{adm}=\gamma_R=1.20$ in condizioni SLV) e che, perciò, è assicurata la stabilità geotecnica delle opere.** A movimenti che fanno riferimento a potenziali superfici di rottura diverse da quelle graficate nelle figure di output competono fattori di sicurezza più elevati.

Relazione di calcolo chiodature

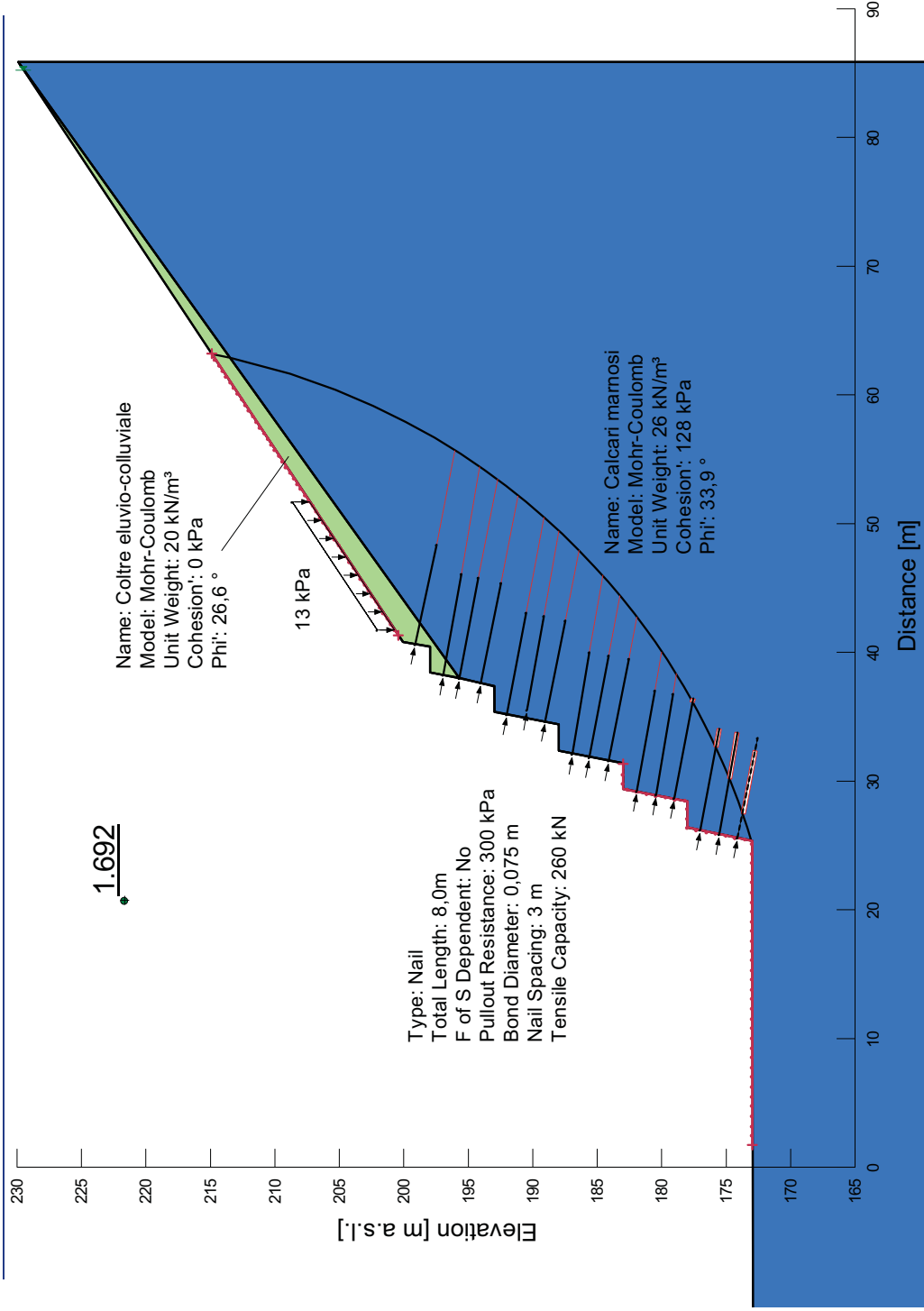


Figura 5.6 – Parete chiodata, verifica statica SLU A2+M2+R2.

Relazione di calcolo chiodature

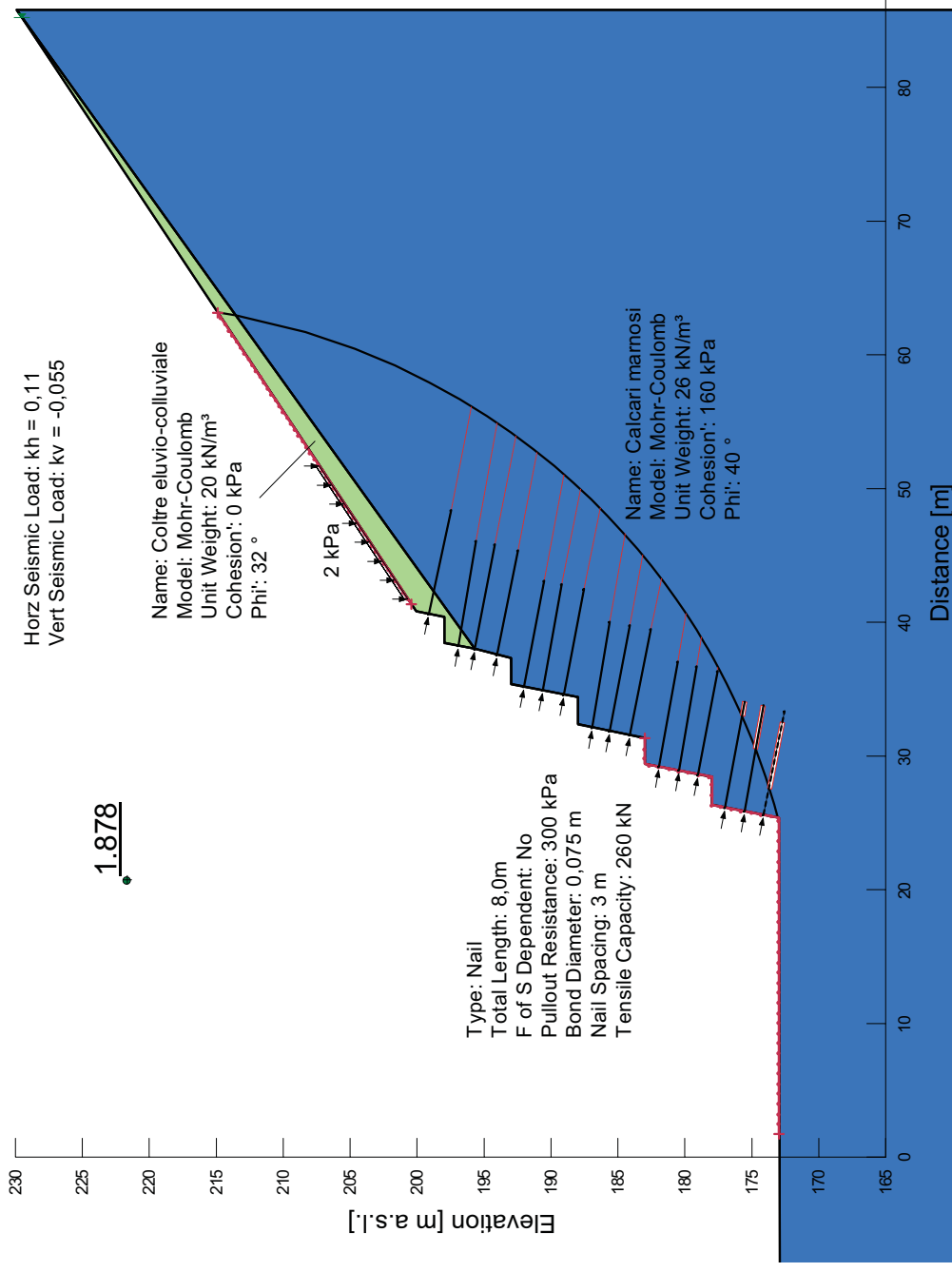


Figura 5,7 – Parete chiodata, verifica sismica SLV M1+R2.

6.STABILITÀ SUPERFICIALE

Nel presente capitolo vengono presentati i calcoli di verifica della stabilità superficiale.

6.1 CODICE E METODO DI CALCOLO

Al fine di studiare il comportamento corticale del fronte roccioso, si è proceduto con l'analisi del problema mediante lo specifico software MACRO1, sviluppato da Maccaferri.

Il metodo di calcolo considera che sul piano di scavo vi sia un ammasso roccioso superficiale disturbato. La massa disturbata è convenientemente approssimata ad un continuo equivalente, di spessore "s" e inclinazione " β " parallela al pendio. Dei giunti di scorrimento attraversano il corpo superficiale; il più sfavorevole abbia inclinazione " α " (Figura 6.1).

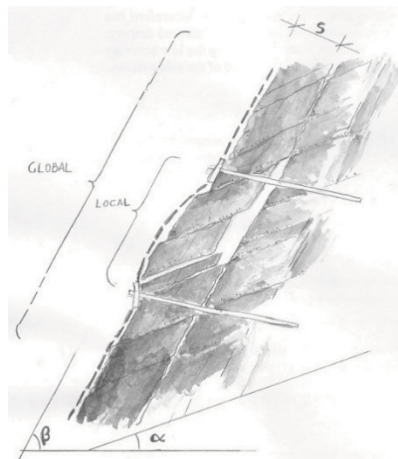


Figura 6.1 – Pendio con la superficie instabile erosa

Le forze associate a rete e ancoraggi vengono passivamente generate al verificarsi di una delle seguenti condizioni:

- o L'intero corpo disturbato scivola sul piano inclinato β . Questo è il problema della stabilità globale delle superfici disturbate; esso è risolto dal raster di ancoraggi (Figura 6.2 a sinistra).
- o Uno o più blocchi cadono dal corpo disturbato. La dinamica dell'instabilità potrebbe essere una qualsiasi (planare o a cuneo scorrevole, rotolante, in caduta, ecc...). Il software considera solo lo scorrimento planare sul piano α , che è il caso più sfavorevole. Poiché questa instabilità può avvenire solo tra gli ancoraggi, essa può essere definita come instabilità locale della superficie disturbata; la rete fissata con gli ancoraggi risponde alla instabilità locale (Figura 6.2 a destra).

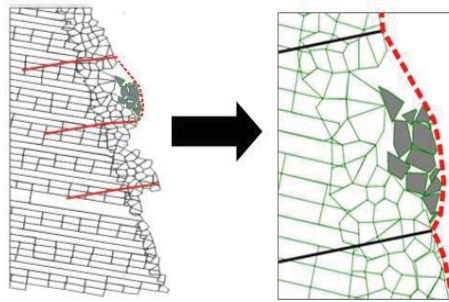


Figura 6.2 - Elementi della rete di rivestimento ancorata. Ancoraggi (sinistra) stabilizzanti la porzione superficiale. Rete (destra) trattenente il materiale tra gli ancoraggi.

Sia rete che ancoraggi possono solo sviluppare reazioni appena l'ammasso di roccia si muove (sistema passivo). Il metodo di calcolo impiegato analizza separatamente i meccanismi di ancoraggio e di rete paramassi.

6.1.1 Approccio progettuale

L'approccio progettuale adottato segue solo i concetti generali degli Eurocodici (UNI ENV 1997-1: 2005) e delle NTC 2018, intendendo con ciò che vengono incrementate le forze destabilizzanti e ridotte le resistenze per mezzo di opportuni coefficienti di sicurezza. Tuttavia, gli Eurocodici e la normativa italiana non possono pienamente essere applicati nel campo dei rivestimenti ancorati, abbastanza lontani dai problemi geotecnici più comuni. È per questo che i coefficienti di sicurezza si fondano su parametri specifici come la morfologia del pendio o il comportamento della rete. Questo approccio è più realistico nella progettazione di reti di rivestimento ancorate.

Il calcolo della rete di rivestimento viene eseguito agli stati limite ultimo e di esercizio. Lo stato limite ultimo permette di capire se la rete può essere rotta a causa del carico, mentre lo stato limite di esercizio permette di prevedere la deformazione della rete di rivestimento perpendicolarmente al piano della rete.

6.1.2 Dimensionamento delle chiodature

Come premesso, il metodo di calcolo considera che sul pendio vi sia un ammasso roccioso superficiale disturbato, di spessore "s" e inclinazione " β " parallela al pendio.

In via cautelativa, si ipotizza che i soli chiodi sostengano per intero la parte corticale disturbata dell'ammasso.

Il contributo resistente delle barre di ancoraggio inserite negli ammassi rocciosi può essere calcolato con ben note procedure descritte in letteratura (AICAP 1993, Wyllie e Mah 2004), includendo anche l'effetto dei chiodi in gruppo (Ferrero at Al. 1997).

Il calcolo dei chiodi assume che la porzione superficiale disturbata dell'ammasso versi in condizione di equilibrio limite, con fattore di sicurezza pari a 1.0.

Pertanto, può scriversi:

$$[1] \quad \text{forze stabilizzanti} = W \cdot \text{sen } \beta = \text{forze destabilizzanti}$$

dove:

W = peso dell'ammasso roccioso instabile da consolidare

β = inclinazione della superficie secondo cui può manifestarsi lo scivolamento

Relazione di calcolo chiodature

Utilizzando il criterio di rottura di Barton-Bandis per i giunti, l'equazione [1] può essere riscritta per descrivere il miglioramento della stabilità (Hoek and Brown, 1981):

$$[2] \quad W \cdot \text{sen}\beta - c \cdot \text{sen}\beta \tan\phi + R \geq W(\text{sen}\beta + c \cdot \cos\beta)$$

con

R = contributo stabilizzate dei chiodi

c = coefficienti sismici

ϕ = angolo di attrito residuo del giunto

Assumendo $\tan\phi \approx 1$ (angolo di attrito = 45°), e introducendo dei fattori di sicurezza per ridurre le forze stabilizzanti (γ_{RW}) e incrementare le forze destabilizzanti (γ_{DW}), la condizione di stabilità sarebbe:

$$[3] \quad W \cdot \text{sen}\beta \cdot (1 - c) / \gamma_{RW} + R \geq W \cdot \gamma_{DW} \cdot (\text{sen}\beta + c \cdot \cos\beta)$$

oppure

$$F_{Sslp} \geq F_{Dslp}$$

assumendo

$F_{Dslp} = (W \cdot \text{sen}\beta + c \cdot \cos\beta) \gamma_{DW}$ = somma delle forze destabilizzanti

$F_{Sslp} = ((W \cdot \text{sen}\beta) (1 - c)) / \gamma_{RW} + R$ = soma delle forze stabilizzanti

L'equazione [3] consente di determinare la forza del chiodo che consolida una massa rocciosa allo stato di equilibrio limite. È un'equazione conservativa ed è semplice da utilizzare in quanto l'unica variabile geotecnica è l'inclinazione del piano di scorrimento. I coefficienti di sicurezza (γ_{RW} , γ_{DW}) dipendono da diversi fattori. Le caratteristiche della massa rocciosa influenzano l'entità delle forze stabilizzanti, in modo che il loro coefficiente di sicurezza può essere descritto come:

$$\gamma_{RW} = \gamma_{THI} \gamma_{WG} \gamma_{BH}$$

dove:

- γ_{THI} descrive le incertezze nel determinare spessore superficiale instabile s;
- γ_{WG} descrive le incertezze nella determinazione del peso unitario della massa rocciosa;
- γ_{BH} descrive le incertezze relative al comportamento della massa rocciosa. Un'elevata erodibilità della superficie della roccia può provocare un denudamento dei chiodi e innescare un indebolimento dell'intero sistema.

Le condizioni esterne, in particolare la morfologia del versante, svolgono un ruolo importante nell'entità delle forze destabilizzanti, il cui coefficiente di sicurezza è definito come:

$$\gamma_{DW} = \gamma_{MO} \gamma_{OL}$$

dove

- γ_{MO} descrive le incertezze relative alla morfologia del versante. Se la scarpata è molto accidentata, la rete di rivestimento non è in perfetta aderenza con la superficie della parete, e i blocchi instabili possono

Relazione di calcolo chiodature

liberamente muoversi, mentre se la superficie del pendio è regolare, la rete di rivestimento è in aderenza con la parete e i movimenti dei blocchi instabili sono limitati.

- γ_{OL} descrive le incertezze relative ai carichi accidentali/addizionali applicati sul sistema di rivestimento. I carichi addizionali potrebbero essere correlati alla presenza di ghiaccio e neve, o di vegetazione che cresce sul pendio.

I chiodi di rinforzo lavorano principalmente in prossimità del giunto di scorrimento, dove sono sottoposti sia a sollecitazioni di taglio che di trazione. La forza resistente R , che viene mobilitata in funzione della presenza della barra lungo il piano di scorrimento, è derivata utilizzando la direttrice di lavoro massima:

$$[4] \quad R = \left[\frac{1 + \frac{m^2}{16}}{1 + \frac{m^2}{4}} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot N_e$$

dove:

$$m = \cotg(\varepsilon + \delta)$$

ε = angolo tra l'asse della barra e la perpendicolare ai giunti di scivolamento = $90^\circ - \beta - \theta_0$, dove θ_0 è l'inclinazione della perforazione rispetto all'orizzontale

δ = dilatanza della superficie di scivolamento

N_e = resistenza della barra (in condizioni di limite elastico) = $ESS \sigma_{adm} = ESS \sigma_{ST} / \gamma_{ST}$

γ_{ST} = coefficiente di riduzione della resistenza dell'acciaio

ESS = area efficace della barra di acciaio = $\pi / 4 \cdot ((f_e - 2 f_c)^2 - f_i^2)$

f_e = diametro esterno della barra di acciaio

f_c = spessore di corrosione della corona esterna

f_i = diametro minore della barra di acciaio

In accordo con il criterio di rottura di Barton – Bandis, il valore δ è approssimato come:

$$\delta \approx \frac{JRC \cdot \log \left[\frac{JCS}{\sigma_{plan}} \right]}{3}$$

dove:

$$\sigma_{plan} = \frac{i_x \cdot i_y \cdot S \cdot \gamma \cdot \cos \alpha}{i_x \cdot i_y}$$

α = inclinazione del piano di scorrimento più sfavorevole

σ_{plan} = sforzo di trazione sul piano di scivolamento

JRC = coefficiente di rugosità del giunto = $JRC_0 \cdot \left[\frac{L_g}{L_0} \right]^{(-0.02 \cdot JRC_0)}$

JCS = resistenza a compressione semplice del giunto = $JCS_0 \cdot \left[\frac{L_g}{L_0} \right]^{(-0.03 \cdot JRC_0)}$

JCS_0 = resistenza a compressione semplice del giunto riferita alla scala del giunto campione

JRC_0 = coefficiente di rugosità del giunto riferita alla scala del giunto campione

L_o = lunghezza del giunto

L_g = lunghezza del giunto

6.1.3 Valutazione della lunghezza dei chiodi

Nella valutazione della lunghezza dei chiodi viene considerato quanto segue:

1. La lunghezza del chiodo deve essere maggiore dello spessore instabile e dovrebbe permettere l'ammorsamento della barra nella porzione stabile.
2. La barra di acciaio e la malta sono esposti agli agenti atmosferici (ghiaccio, pioggia, salinità, variazioni di temperatura, ecc.).

La lunghezza minima teorica è calcolata come segue:

$$L_t = L_s + L_i + L_p$$

Assumendo:

L_s = lunghezza nella porzione stabile dall'ammasso roccioso = $P / (\pi \phi_{\text{drill}} \tau_{\text{lim}} / \gamma_{\text{gt}})$

L_i = lunghezza nella porzione alterata = $s / \cos \epsilon \gamma_{\text{dw}}$

L_p = lunghezza del foro con fenomeni di plasticità nella parte stabile dell'ammasso roccioso, assunta essere pari a 0.3 m.

con

ϕ_{drill} = diametro della perforazione

τ_{lim} = tensione di aderenza tra malta e roccia

γ_{gt} = coefficiente di sicurezza per l'aderenza tra malta e roccia

P = carico di sfilamento; più grande di:

$$P_{\text{Mesh}} = ((W_{\text{Sbar}} - W_{\text{Dbar}}) \cos(\alpha + \theta_o)) i_x = \text{carico di sfilamento dovuto alla rete}$$

$$P_{\text{Rock}} = (F_{\text{Sslp}} - R - F_{\text{Dslp}}) \cos(\beta + \theta_o) = \text{carico di sfilamento dovuto all'instabilità del versante.}$$

La lunghezza del chiodo in questo modo viene definita in maniera preliminare. La lunghezza finale appropriata delle barre deve essere valutata durante le operazioni di perforazione e validata da prove di sfilamento (cfr. §7).

6.1.4 Dimensionamento della rete: stato limite ultimo

Alcuni blocchi secondari potrebbero scivolare tra i chiodi su un piano con inclinazione α , dove α è minore della pendenza del versante β , e spingere sulla rete di rivestimento. La dimensione massima del blocco che esercita un carico per metro lineare del rivestimento dipende dallo spessore s e dalla spaziatura verticale i_y tra due chiodi.

Poiché il carico di spinta è asimmetrico e la rete si deforma in maniera non uniforme, le forze che agiscono sul paramento sono rappresentate con il seguente schema semplificato (vedi Figura 6.3):

F - la forza sviluppata dai blocchi che scivolano tra i chiodi su un piano con inclinazione α .

T - la forza agente sul piano del rivestimento, che si presenta quando i blocchi, scivolando, spingono sul rivestimento. La forza può svilupparsi perché c'è un grande attrito tra la rete e i blocchi, e si forma una tasca. Il rivestimento, che è considerato essere chiodato solo sulla porzione superiore, reagisce a T mobilizzando la resistenza a trazione della rete.

Relazione di calcolo chiodature

M – la forza di punzonamento sviluppata dai blocchi perpendicolari al piano del rivestimento. La forza si sviluppa in quanto ci sono diversi vincoli laterali, come la chiodatura (vincolo forte) e la rete (vincolo più debole). L'entità di M dipende largamente dalla rigidità della rete: maggiore è la rigidità della rete, maggiore sarà l'efficacia del rivestimento.

Nel caso della rete, lo stato limite ultimo è soddisfatto quando:

$$T_{adm} - T >= 0$$

Dove:

T_{adm} = resistenza a trazione ammissibile della rete

La resistenza ammissibile della rete sarà:

$$T_{adm} = T_m / \gamma_{MH}$$

dove:

T_m = Resistenza a trazione della rete

γ_{MH} = coefficiente di sicurezza per la riduzione della resistenza a trazione. Tenendo in considerazione lo stato disomogeneo di stress agente sulla rete, il minimo coefficiente di sicurezza sarà non inferiore a 2.0.

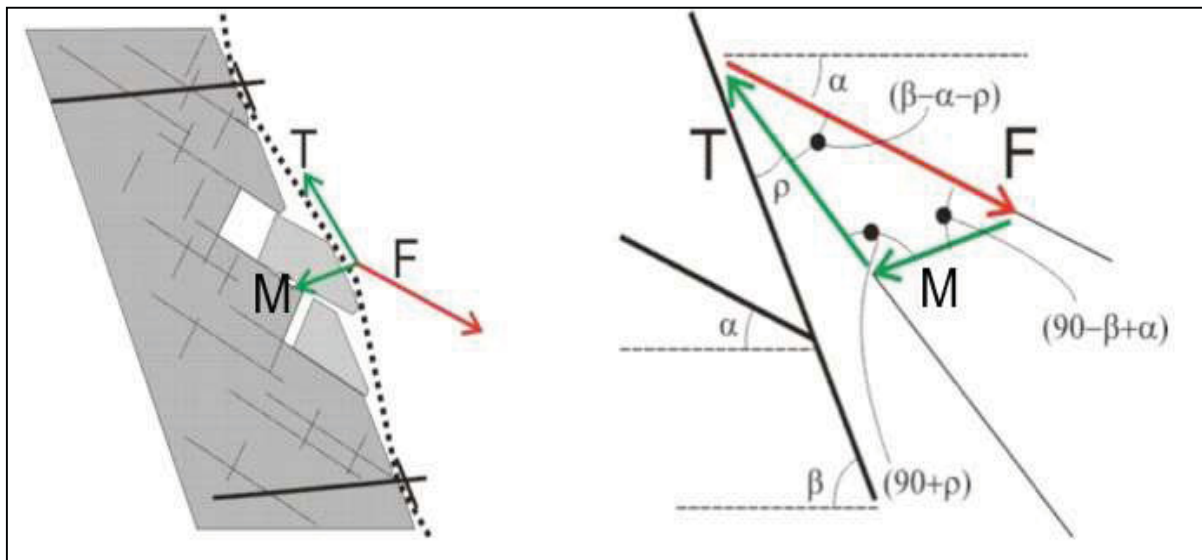


Figura 6.3 – Schematizzazione delle forze agenti sulla rete.

Il carico T agente sulla rete dipende dalla spinta agente sulla rete (M, cfr. Figura 6.3), che può essere calcolata utilizzando gli stessi principi della formula [3]:

$$M = F \text{ sen } (\beta - \alpha) \quad i_x = (M_{bdrv} - M_{bstb}) \text{ sen } (\beta - \alpha) \quad i_x$$

dove:

$M_{bdrv} = (Mb \text{ sen } \alpha + c \text{ cos } \alpha) \gamma_{Dw}$ = forze agenti

Relazione di calcolo chiodature

$M_{bstb} = (M_b \sin \alpha (1 - c)) \gamma_{RW}$ = forse resistenti

$M_b = V \gamma$ = peso della massa di roccia instabile

V = volume instabile massimo tra i chiodi che è calcolato come segue:

(Caso A): se $\alpha \geq (\beta - \arctan(s/i_y))$ e $\alpha < \beta$
$$V = \frac{1}{2} \cdot i_y^2 \cdot \tan(\beta - \alpha)$$

(Caso B): se $\alpha < (\beta - \arctan(s/i_y))$
$$V = i_y \cdot s - \frac{1}{2} \cdot \frac{s^2}{\tan(\beta - \alpha)}$$

(Caso C): se $\alpha < (\beta - \arctg(s/i_y))$
$$V = 0.5 s^2 / \tan(\beta - \alpha)$$

Infine,

se $M/i_x / \sin(\beta - \alpha) - \rho_p < M_b \sin \beta$

allora $T = M / i_x / \sin(\beta - \alpha) - \rho_p$ quindi $T = M_b \sin \beta$

con

$\rho_p \approx \arctg(Z_{bulg} / 1.5)$ = angolo della deformazione della rete

Z_{bulg} = deformazione correlata al carico di punzonamento M . È direttamente misurata da dati sperimentali di Maccaferri.

6.1.5 Dimensionamento della rete: stato limite di servizio

Lo stato limite di servizio fornisce informazioni riguardanti quanto segue:

- attività di manutenzione sul rivestimento necessaria;
- rischi di denudamento degli ancoraggi;
- interferenza tra l'infrastruttura e il rivestimento del versante come conseguenza di deformazioni eccessive.

Lo stato limite di servizio è soddisfatto se

$$B_{bulg} - Z_{bulg} \geq 0$$

dove:

$B_{bulg} = D_{mbulg} / \gamma_{mbulg}$ = deformazione ammissibile

D_{mbulg} = deformazione di progetto massima

γ_{mbulg} = coefficiente di sicurezza; varia tra 1.2 (rivestimento correttamente installato su un versante con una superficie regolare) e 2.0 (rivestimento installato non correttamente su un versante con una morfologia irregolare).

Z_{bulg} = deformazione del rivestimento derivato dai risultati dei test condotti da Maccaferri sulla base del carico di punzonamento M .

6.1.6 Dati di input

Qui di seguito si riassumono i dati di input utilizzati ai fini del dimensionamento della rete di rivestimento e delle barre di ancoraggio.

Relazione di calcolo chiodature

• Inclinazione parete:	80°
• Spessore di materiale potenzialmente instabile:	2.0 m
• Peso di volume roccia:	26.0 kN/m ³
• Inclinazione del giunto più pericoloso:	50°
• Resistenza alla compressione semplice dei giunti (JCS):	36 MPa
• Rugosità (JRC):	5.0
• Coefficiente sismico orizzontale (k_h): sismica SLV)	0.11 (solo per la verifica sismica SLV)
• Rete:	DT 8x10cm, sp. 3mm
• Interasse orizzontale chiodi:	3.0m
• Interasse verticale chiodi:	1.5m
• Inclinazione barra sull'orizzontale:	10°
• Diametro esterno D_e barra:	29mm
• Diametro interno D_i barra:	11mm
• Tensione di snervamento:	460 MPa
• Tensione unitaria di adesione all'interfaccia tra miscela di intasamento e roccia ("Coefficiente di adesione roccia-iniezione"):	0.3 MPa

In proposito, si puntualizza quanto segue:

- Inclinazione parete. Il codice di calcolo analizza la stabilità del pendio indefinito, pertanto viene considerata la pendenza della singola banca e non la pendenza media piede-testa scavo chiodato.
- Inclinazione del giunto più pericoloso. Dall'analisi cinematica contenuta nella Relazione Strutturale-Geomeccanico (TooGEooGEOREo2) si conclude che sono potenzialmente attivabili scivolamenti con cinematisimo planare o di cunei secondo famiglie di giunti di inclinazione compresa fra 40° e 70°. In base a delle analisi di sensitività svolte in via preliminare, i giunti inclinati a 50° si sono dimostrati i più critici.
- Resistenza alla compressione semplice dei giunti (JCS). Tenuto conto che, come riportato dalla Relazione Strutturale-Geomeccanica (rif.: TooGEooGEOREo2), le discontinuità degli strati calcarei si presentano generalmente inalterate/leggermente alterate e che i dati restituiti dalle prove sclerometriche sono da ritenersi inattendibili, è legittimo assumere che la resistenza in parete JCS possa essere assimilata alla resistenza monoassiale della roccia intatta $\sigma_{c,i}$. Si è fatto quindi riferimento al valore di $\sigma_{c,i}$ previsto per i calcari marnosi della formazione del Medolo nell'elaborato "Relazione geotecnica" (rif. TooGEooGETREo1).
- Rugosità (JRC). Il valore assunto risulta prudenziale rispetto al range di variazione di JRC indicato nella Relazione Strutturale-Geomeccanica (rif.: TooGEooGEOREo2), compreso tra 4 e 12.
- Coefficiente sismico orizzontale (k_h). Nelle verifiche sismiche, le azioni indotte dal sisma, tipicamente dinamiche, sono state simulate per via pseudo-statica, in accordo con le grandezze sismiche specificate al §5.4.

Relazione di calcolo chiodature

- Diametro esterno D_e barra. Il software determina il carico di snervamento della barra a partire dalla sezione trasversale, quest'ultima calcolata come corona circolare. Non essendo tuttavia le barre di progetto perfettamente a sezione di corona circolare, si è comunque modificato fittiziamente il D_e (29mm, in luogo dei 30mm nominali), in modo da ottenere comunque l'effettivo carico di snervamento di progetto della barra.
- Tensione unitaria di adesione all'interfaccia tra miscela di intasamento e roccia ("Coefficiente di adesione roccia-iniezione"). Per il valore di τ_{lim} , si rimanda al §5.5.

6.2 RISULTATI DELLE ANALISI

Di seguito si riportano i calcoli effettuati con il software MACRO₁ per le due condizioni statica SLU e sismica SLV.

Come si evince dalle immagini allegate, le verifiche soddisfano i criteri di sicurezza e funzionalità prefissati al §6.1.

6.2.1 Verifica statica SLU

MACRO 1 Reinforced System

Rock and Soil Slope Protection Design Software

MACCAFERRI

www.maccaferri.com

Cliente 1 /

pag. 1 of 2

● Informazioni sul progetto

Titolo	Descrizione
Numero	
Cliente	1
Progettista	

● Input

Parete rocciosa

Inclinazione della parete [°]	80
Spessore instabile [m]	2.00
Peso dell'unità di volume della roccia [kN/m³]	26.00
Lunghezza di plasticizzazione nella roccia stabile [m]	0.30

Giunto più pericoloso

Inclinazione del giunto più pericoloso [°]	50
Resistenza a compressione semplice JCS [MPa]	36.00
Rugosità JCR	5.00

Accelerazione sismica

Coefficiente sismico orizzontale	0.00
----------------------------------	------

Rete

Tipo di rete	Rete DT 8x10/3,00
Resistenza a trazione nominale [kN/m]	60.00
Massima deformazione ammissibile [m]	0.30

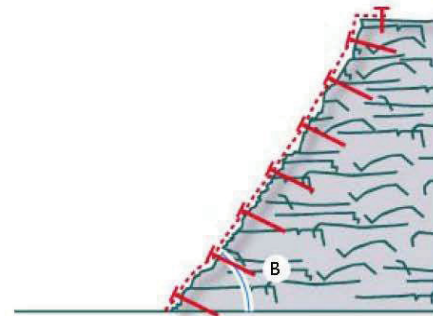
Barre di Ancoraggio

Geometria

Interasse orizzontale dei chiodi [m]	3.00
Interasse verticale dei chiodi [m]	1.50
Inclinazione della barra rispetto all'orizzontale	10

Tipo di ancoraggio

Tipo di barra	Barre autopерforanti in acciaio S460NH
Diametro interno della barra [mm]	11
Diametro esterno della barra [mm]	29
Spessore della corona di corrosione [mm]	0
Tensione di snervamento [MPa]	460
Coefficiente di adesione tra roccia e iniezione [MPa]	0.30



FS Fattore di Sicurezza

Incertezza sullo spessore medio della zona instabile	1.25
Incertezza sul peso di volume della roccia	1.01
Incertezza sulle condizioni ambientali di applicazione	1.01
Coefficiente di riduzione delle forze stabilizzanti	1.28
Morfologia del pendio da consolidare	1.01
Sovraccarichi esterni sul pendio	1.02
Coefficiente di aumento delle forze destabilizzanti	1.02
Fattore di sicurezza globale	1.31
Coefficiente della resistenza a trazione della rete	2.50
Coefficiente della deformazione massima ammissibile	1.20
Coefficiente della resistenza dell'acciaio	1.15
Coefficiente della adesione tra roccia e iniezione	2.16

MACRO 1 Reinforced System

Rock and Soil Slope Protection Design Software

MACCAFERRI

www.maccaferri.com

Cliente 1 /

pag. 2 of 2

● Risultati

Bar design check (Slope SF)

1.26 Satisfied

Mesh design check

6.47 Satisfied

Serviceability design check

1.79 Satisfied

Progettazione degli ancoraggi

Forze stabilizzanti sul piano di scivolamento corticale [kN]	295.79
Forze destabilizzanti sul piano di scivolamento corticale [kN]	235.05
Rapporto forze stabilizzanti/destabilizzanti	1.26
Angolo tra perpendicolare alla parete e asse della barra [°]	0.00
Snervamento ammissibile dell'acciaio [MPa]	400.00
Sezione di acciaio utile della barra [mm ²]	565.49
Contributo stabilizzante di ogni ancoraggio [kN]	115.75
Diametro minimo di perforazione (nominale) [mm]	44.00
Forza di sfilamento dell'ancoraggio dovuta al carico trasmesso dalla rete [kN]	4.63
Forza di sfilamento dell'ancoraggio dovuta all'instabilità globale [kN]	0.00
Forza totale di sfilamento (totale) [kN]	4.63
Lunghezza minima di ancoraggio nella parte stabile della roccia [m]	0.30
Lunghezza minima di ancoraggio nella parte instabile della roccia [m]	2.10
Lunghezza minima delle barre (nominale) [m]	2.70

Stato Limite di Servizio

Deformazione ammissibile [m]	0.25
Deformazione attesa [m]	0.14
Rapporto tra deformazione ammissibile e def. attesa	1.79

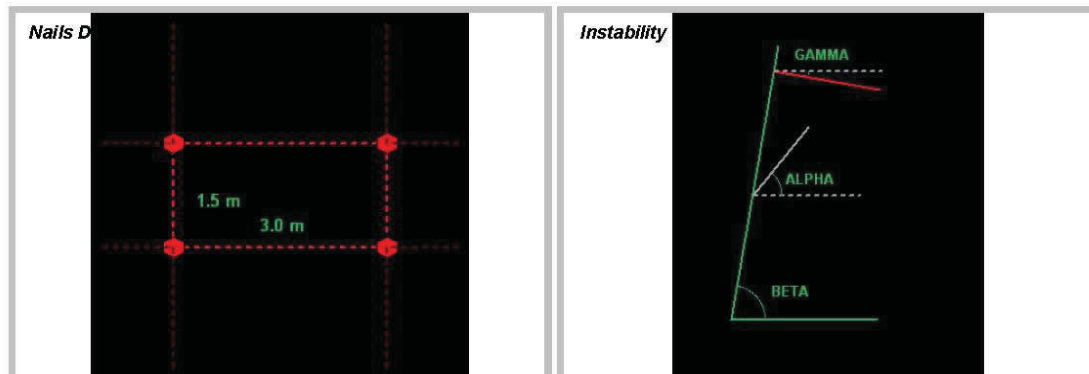
Geometry

Progettazione della rete

Resistenza a trazione ammissibile della rete [kN/m]	24.00
Massimo carico di trazione agente sulla rete [kN/m]	3.71
Rapporto tra resistenza a trazione e carico	6.47
Volume potenzialmente instabile - caso A [m ³ /m]	0.65
Volume potenzialmente instabile - caso B [m ³ /m]	0.00
Volume potenzialmente instabile - caso C [m ³ /m]	0.00
Massimo volume che può agire tra la maglia di chiodi. [m ³ /m]	0.65
Massimo peso che può agire tra la maglia di chiodi. [kN/m]	16.89
Sommatoria delle forze destabilizzanti agenti sulla superficie di scivolamento corticale [kN/m]	13.20
Sommatoria delle forze stabilizzanti agenti sulla superficie di scivolamento corticale [kN/m]	10.11
Forze di punzonamento agenti sulla rete [kN]	4.63
Angolo di deformazione della rete rispetto al pendio (valore medio) [°]	5.40

Caratteristiche dell'instabilità

Pressione di contatto sul piano di scivolamento [MPa]	0.03
Dilatanza iniziale del giunto più pericoloso	3.63
Volume totale che spetta al singolo ancoraggio [m ³]	9.00
Peso totale che spetta al singolo ancoraggio [kN]	234.00



6.2.2 Verifica sismica SLV

MACRO 1 Reinforced System

Rock and Soil Slope Protection Design Software

MACCAFERRI

www.maccaferri.com

Cliente 1 /

pag. 1 of 2

● Informazioni sul progetto

Titolo	Descrizione
Numero	
Cliente	1
Progettista	

● Input

Parete rocciosa

Inclinazione della parete [°]	80
Spessore instabile [m]	2.00
Peso dell'unità di volume della roccia [kN/m³]	26.00
Lunghezza di plasticizzazione nella roccia stabile [m]	0.30

Giunto più pericoloso

Inclinazione del giunto più pericoloso [°]	50
Resistenza a compressione semplice JCS [MPa]	36.00
Rugosità JCR	5.00

Accelerazione sismica

Coefficiente sismico orizzontale	0.11
----------------------------------	------

Rete

Tipo di rete	Rete DT 8x10/3,00
Resistenza a trazione nominale [kN/m]	60.00
Massima deformazione ammissibile [m]	0.30

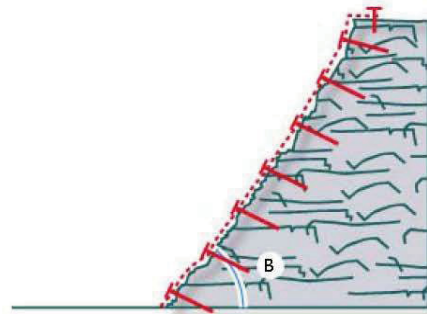
Barre di Ancoraggio

Geometria

Interasse orizzontale dei chiodi [m]	3.00
Interasse verticale dei chiodi [m]	1.50
Inclinazione della barra rispetto all'orizzontale	10

Tipo di ancoraggio

Tipo di barra	Barre autopercoranti in acciaio S460NH
Diametro interno della barra [mm]	11
Diametro esterno della barra [mm]	29
Spessore della corona di corrosione [mm]	0
Tensione di snervamento [MPa]	460
Coefficiente di adesione tra roccia e iniezione [MPa]	0.30



FS Fattore di Sicurezza

Incertezza sullo spessore medio della zona instabile	1.00
Incertezza sul peso di volume della roccia	1.00
Incertezza sulle condizioni ambientali di applicazione	1.00
Coefficiente di riduzione delle forze stabilizzanti	1.00
Morfologia del pendio da consolidare	1.00
Sovraccarichi esterni sul pendio	1.02
Coefficiente di aumento delle forze destabilizzanti	1.00
Fattore di sicurezza globale	1.00
Coefficiente della resistenza a trazione della rete	2.50
Coefficiente della deformazione massima ammissibile	1.20
Coefficiente della resistenza dell'acciaio	1.15
Coefficiente della adesione tra roccia e iniezione	2.16

MACRO 1 Reinforced System

Rock and Soil Slope Protection Design Software

MACCAFERRI

www.maccaferri.com

Cliente **1 /**

pag. 2 of 2

● Risultati

Bar design check (Slope SF)

1.37 Soddisfatta

Mesh design check

7.74 Soddisfatta

Serviceability design check

1.92 Soddisfatta

Progettazione degli ancoraggi

Forze stabilizzanti sul piano di scivolamento corticale [kN]	320.85
Forze destabilizzanti sul piano di scivolamento corticale [kN]	234.91
Rapporto forze stabilizzanti/destabilizzanti	1.37
Angolo tra perpendicolare alla parete e asse della barra [°]	0.00
Snervamento ammissibile dell'acciaio [MPa]	400.00
Sezione di acciaio utile della barra [mm ²]	565.49
Contributo stabilizzante di ogni ancoraggio [kN]	115.75
Diametro minimo di perforazione (nominale) [mm]	44.00
Forza di sfilamento dell'ancoraggio dovuta al carico trasmesso dalla rete [kN]	3.93
Forza di sfilamento dell'ancoraggio dovuta all'instabilità globale [kN]	0.00
Forza totale di sfilamento (totale) [kN]	3.93
Lunghezza minima di ancoraggio nella parte stabile della roccia [m]	0.30
Lunghezza minima di ancoraggio nella parte instabile della roccia [m]	2.00
Lunghezza minima delle barre (nominale) [m]	2.60

Stato Limite di Servizio

Deformazione ammissibile [m]	0.25
Deformazione attesa [m]	0.13
Rapporto tra deformazione ammissibile e def. attesa	1.92

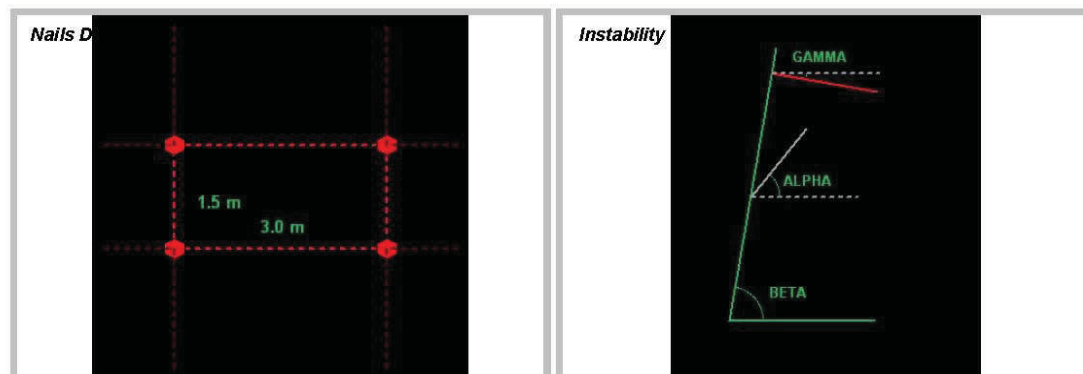
Geometry

Progettazione della rete

Resistenza a trazione ammissibile della rete [kN/m]	24.00
Massimo carico di trazione agente sulla rete [kN/m]	3.10
Rapporto tra resistenza a trazione e carico	7.74
Volume potenzialmente instabile - caso A [m ³ /m]	0.65
Volume potenzialmente instabile - caso B [m ³ /m]	0.00
Volume potenzialmente instabile - caso C [m ³ /m]	0.00
Massimo volume che può agire tra la maglia di chiodi. [m ³ /m]	0.65
Massimo peso che può agire tra la maglia di chiodi. [kN/m]	16.89
Sommatoria delle forze destabilizzanti agenti sulla superficie di scivolamento corticale [kN/m]	14.13
Sommatoria delle forze stabilizzanti agenti sulla superficie di scivolamento corticale [kN/m]	11.51
Forze di punzonamento agenti sulla rete [kN]	3.93
Angolo di deformazione della rete rispetto al pendio (valore medio) [°]	5.03

Caratteristiche dell'instabilità

Pressione di contatto sul piano di scivolamento [MPa]	0.03
Dilatanza iniziale del giunto più pericoloso	3.63
Volume totale che spetta al singolo ancoraggio [m ³]	9.00
Peso totale che spetta al singolo ancoraggio [kN]	234.00



7. PROVE E CONTROLLI SUI CHIODI

7.1. PROVE PRELIMINARI

Le prove dovranno essere eseguite su chiodi con lunghezza di fondazione pari a 0,85 volte la lunghezza prevista nel primo dimensionamento. La prova si effettuerà tesando il chiodo e rilevando la forza corrispondente alla rottura della fondazione o, nel caso che tale rottura non si verifichi, spingendo la prova fino a raggiungere lo snervamento dell'armatura (limite allo 0,2%).

Quale forza limite ultima del chiodo si assumerà il valore della forza corrispondente alla rottura della fondazione diviso per 0,85 o, nel caso tale rottura non si determini, il valore della forza corrispondente al limite allo 0,2% dell'acciaio della barra impiegata.

Si eseguirà una prova ogni 100 chiodi o frazione di 100.

Nel caso di rottura della fondazione e nell'ambito dello stessa tratta omogenea di ammasso roccioso, il carico limite viene definito come il valore medio delle forze limiti di rottura di almeno 5 prove di ancoraggio.

7.2. PROVE DI COLLAUDO

È facoltà della Direzione Lavori richiedere la verifica dei chiodi messi in opera. Il numero di ancoraggi da sottoporre alla prova sarà stabilito a esclusiva discrezione della Direzione lavori in ragione della possibilità di accedere agli ancoraggi senza interferire con altre opere e delle condizioni geomeccaniche dell'ammasso roccioso. In via orientativa, il numero di ancoraggi da sottoporre alla prova di collaudo è $n = 2 + N/100$, dove N è il numero complessivo degli ancoraggi realizzati.

La prova consiste nel caricare l'ancoraggio a velocità costante fino alla forza di collaudo N_c . Si registra l'allungamento, che non deve superare il 2% della lunghezza libera dell'ancoraggio e la perdita di tensione non deve superare il 2% della tensione di prova.

La forza di collaudo N_c è definita quale maggior valore fra 1,2 volte la forza di esercizio, ovvero 0,85 volte la forza ultima caratteristica del tipo di ancoraggio determinata nel corso delle prove preliminari.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- AICAP, (1993): Ancoraggi nei terreni e nelle rocce - Raccomandazioni.
- Bertolo P., Giacchetti G., 2008 - An approach to the design of nets and nails for surficial rock slope revetment – in Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection, June 23-25 2008, Morshach, Switzerland.
- Bertolo P., Ferraiolo F., Giacchetti G., Oggeri C., Peila D., e Rossi B., (2007): Metodologia per prove in vera grandezza su sistemi di protezione corticale dei versanti – GEAM Geingegneria Ambientale e mineraria, Anno XLIV, N. 2, Maggio-Agosto 2007.
- Bertolo P., Oggeri C., Peila D., 2009 – Full scale testing of draped nets for rock fall protection - Canadian Geotechnical Journal, No. 46 pp. 306-317.
- Besseghini F., Deana M., Di Prisco C., Guasti G., 2008 – Modellazione meccanica di un sistema corticale attivo per il consolidamento di versanti di terreno, Rivista GEAM Geingegneria ambientale e Mineraria, Anno XLV, N. III dicembre 2008 (125) pp. 25-30
- Bonati A., e Galimberti V., (2004): Valutazione sperimentale di sistemi di difesa attiva dalla caduta massi – in atti "Bonifica dei versanti rocciosi per la difesa del territorio" - Trento 2004, Peila D. Editor.
- Castro D., 2008 – Proyetos de investigaciòn en la Universidad de Cantabria - Il Curso sobre protecciòn contra caida de rocas – Madrid, 26 – 27 de Febrero. Organiza STMR Servicios técnicos de mecànica de rocas.
- Cravero M., Iabichino G., Oreste P.P., e Teodori S.P. 2004: Metodi di analisi e dimensionamento di sostegni e rinforzi per pendii naturali o di scavo in roccia – in atti "Bonifica dei versanti rocciosi per la difesa del territorio" – Trento 2004, Peila D. Editor.
- Ferraiolo F., e Giacchetti G., (2004): Rivestimenti corticali: alcune considerazioni sull'applicazione delle reti di protezione in parete rocciosa – in atti "Bonifica dei versanti rocciosi per la difesa del territorio" – Trento 2004, Peila D. Editor.
- Ferrero A.M., Giani G.P., Migliazza M., (1997): Interazione tra elementi di rinforzo di discontinuità in roccia - atti "Il modello geotecnico del sottosuolo nella progettazione delle opere di sostegno e degli scavi" – IV Conv. Naz. Ricercatori universitari – Hevelius pp. 259 – 275.
- Flumm D., Ruegger R. (2001): Slope stabilization with high performance steel wire meshes with nails and anchors – International Symposium Earth reinforcement, Fukuoka, Japan.
- Goodman, R.E. and Shi, G. (1985), Block Theory and Its Application to Rock Engineering, Prentice-Hall, London.
- Hoek E., e Bray J.W., (1981): Rock slope engineering - IMM – London.
- Jacob V., (2009): Engineering, unpublished thesis, Technical University Torino.
- LCPC, (2001): Parades contre les instabilités rocheuses - Guide technique - Paris.
- Majoral R., Giacchetti G., Bertolo P., 2008 – Las mallas en la estabilizaciòn de taludes – Il Curso sobre protecciòn contra caida de rocas – Madrid, 26 – 27 de Febrero. Organiza STMR Servicios técnicos de mecànica de rocas.
- Muhunthan B., Shu S., Sasiharan N., Hattamleh O.A., Badger T.C., Lowell S.M., Duffy J.D., (2005): Analysis and design of wire mesh/cable net slope protection - Final Research Report WA-RD 612.1 - Washington State Transportation Commission Department of Transportation/U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration.

Relazione di calcolo chiodature

- Pellet F., e Egger P., (1995): Analytical model for the behaviour of bolted rock joints and practical applications. In proceedings of international symposium Anchors theory and practice. Widmann R. Editor. A.A. Balkema.
- Phear A., Dew C., Ozsoy B., Wharmby N.J., Judge J., e Barley A.D., (2005): Soil nailing – Best practice guidance - CIRIA C637, London, 2005.
- Ruegger R., e Flumm D., (2000): High performance steel wire mesh for surface protection in combination with nails and anchors – Contribution to the 2nd colloquium "Construction in soil and rock" – Accademy of Esslingen (Germany).
- Saderis A., (2004): Reti in aderenza su versanti rocciosi per il controllo della caduta massi: aspetti tecnologici e progettuali – Tesi di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, unpublished thesis, Technical University Torino.
- Torres Vila J.A., Torres Vila M.A., e Castro Fresno D., (2000): Validation de los modelos fisicos de analisis y diseno para el empleo de membranas flexible Tecco G-65 como elemento de soporte superficial en la estabilizacion de taludes.
- Valfrè A., (2007): Dimensionamento di reti metalliche in aderenza per scarpate rocciose mediante modellazioni numeriche – GEAM Geingegneria Ambientale e mineraria, Anno XLIII, N. 4, Dicembre 2006.
- Wyllie D.C., e Mah C.W., (2004): Rock slope engineering civil and mining - 4th edition – Spon Press London and New York.

ALLEGATO DI CALCOLO

VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE, COMBINAZIONE STATICA SLU A2+M2+R2

Slope Stability

Report generated using GeoStudio 2012. Copyright © 1991-2012 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

Title: [Asse5_Seiz 2](#)

Created By: [Seghetta Marco](#)

Revision Number: 94

Last Edited By: [Seghetta Marco](#)

Date: 13/11/2019

Time: 15:53:01

File Name: [SN Imbocco Nord_SLU A2+M2+R2.gsz](#)

Directory: [Z:\Ingeos\PROGETTI\DPMI03 SS45bis Gardesana\Opere in Sotterraneo\LAVORAZIONE\PD\Relazioni\03_Imbocchi\Imbocco nord\Trincea 5 su 1\](#)

Last Solved Date: 13/11/2019

Last Solved Time: 15:53:56

Project Settings

Length(L) Units: [meters](#)

Time(t) Units: [Seconds](#)

Force(F) Units: [kN](#)

Pressure(p) Units: [kPa](#)

Strength Units: [kPa](#)

Unit Weight of Water: [9,807 kN/m³](#)

View: [2D](#)

Analysis Settings

Slope Stability

Kind: [SLOPE/W](#)

Method: [Morgenstern-Price](#)

Settings

Side Function

Interslice force function option: [Half-Sine](#)

Lambda

Lambda 1: [-1](#)

Lambda 2: [-0,8](#)

Lambda 3: [-0,6](#)

Lambda 4: [-0,4](#)

Lambda 5: [-0,2](#)

Lambda 6: [0](#)

Lambda 7: [0,2](#)

Lambda 8: [0,4](#)

Lambda 9: [0,6](#)

Lambda 10: [0,8](#)

Lambda 11: 1
PWP Conditions Source: (none)
Slip Surface
Direction of movement: Right to Left
Use Passive Mode: No
Slip Surface Option: Entry and Exit
Critical slip surfaces saved: 1
Optimize Critical Slip Surface Location: No
Tension Crack
Tension Crack Option: (none)
F of S Distribution
F of S Calculation Option: Constant
Advanced
Number of Slices: 30
F of S Tolerance: 0,01
Minimum Slip Surface Depth: 0,1 m
Optimization Maximum Iterations: 2.000
Optimization Convergence Tolerance: 1e-007
Starting Optimization Points: 8
Ending Optimization Points: 16
Complete Passes per Insertion: 1
Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °
Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °
Materials
Coltre eluvio-colluviale
Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Cohesion': 0 kPa
Phi': 26,6 °
Phi-B: 0 °
Calcari marnosi
Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 26 kN/m³
Cohesion': 128 kPa
Phi': 33,9 °
Phi-B: 0 °
Slip Surface Entry and Exit
Left Projection: Range
Left-Zone Left Coordinate: (1.73472, 172.96488) m
Left-Zone Right Coordinate: (31.33299, 182.98858) m
Left-Zone Increment: 50
Right Projection: Range
Right-Zone Left Coordinate: (41.33742, 200.3988) m
Right-Zone Right Coordinate: (63.1868, 214.89083) m
Right-Zone Increment: 50
Radius Increments: 20

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (-15.763779, 172.93713) m

Right Coordinate: (85.221601, 229.50585) m

Surcharge Loads

Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 10 kN/m³

Direction: Vertical

Coordinates

	X (m)	Y (m)
	41,7341	202,07402
	51,67664	208,65725

Reinforcements

Reinforcement 1

Type: Nail

Outside Point: (40,61797, 199,09415) m

Inside Point: (48,40105, 197,49808) m

Slip Surface Intersection: (55.665108, 196.00845) m

Total Length: 7,9450471 m

Reinforcement Direction: 168,41 °

F of S Dependent: No

Pullout Resistance: 300 kPa

Resistance Reduction Factor: 2,2

Bond Diameter: 0,075 m

Nail Spacing: 3 m

Force Distribution: Distributed

Tensile Capacity: 260 kN

Reduction Factor: 1,61

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Shear Option: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m

Max. Pullout Force: 53,830228 kN

Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

Available Length: 0 m

Required Length: 0 m

Governing Component: (none)

Reinforcement 2

Type: Nail

Outside Point: (38,24868, 196,93677) m

Inside Point: (46,04337, 195,56907) m

Slip Surface Intersection: (54.398437, 194.10304) m

Total Length: 7,9137725 m

Reinforcement Direction: 170,05 °

Relazione di calcolo chiodature

F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 3
Type: Nail
Outside Point: (38,01189, 195,6523) m
Inside Point: (45,80224, 194,17589) m
Slip Surface Intersection: (53.409708, 192.73414) m
Total Length: 7,9290188 m
Reinforcement Direction: 169,27 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 4

Type: Nail
Outside Point: (37,61617, 194,03638) m
Inside Point: (45,3825, 192,488) m
Slip Surface Intersection: (52.174221, 191.13393) m
Total Length: 7,9191769 m
Reinforcement Direction: 168,72 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 5
Type: Nail
Outside Point: (35,21724, 192,02759) m
Inside Point: (43,1052, 190,52327) m
Slip Surface Intersection: (50.482536, 189.11633) m
Total Length: 8,030124 m
Reinforcement Direction: 169,2 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN

Relazione di calcolo chiodature

Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 6
Type: Nail
Outside Point: (35,53204, 190,47862) m
Inside Point: (42,83728, 189,15689) m
Slip Surface Intersection: (49.427863, 187.96446) m
Total Length: 7,4238468 m
Reinforcement Direction: 169,74 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 7
Type: Nail
Outside Point: (34,62856, 189,05532) m
Inside Point: (42,49792, 187,51365) m
Slip Surface Intersection: (47.952501, 186.44505) m
Total Length: 8,0189509 m
Reinforcement Direction: 168,92 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61

Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 8
Type: Nail
Outside Point: (32,14798, 186,92191) m
Inside Point: (40,02414, 185,6025) m
Slip Surface Intersection: (45.982361, 184.60438) m
Total Length: 7,9859088 m
Reinforcement Direction: 170,49 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 9
Type: Nail
Outside Point: (31,88461, 185,58303) m
Inside Point: (39,77408, 184,12895) m
Slip Surface Intersection: (44.43472, 183.26996) m
Total Length: 8,0223491 m
Reinforcement Direction: 169,56 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa

Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 10
Type: Nail
Outside Point: (31,59906, 184,1314) m
Inside Point: (39,47937, 182,5393) m
Slip Surface Intersection: (42.69547, 181.88953) m
Total Length: 8,0395316 m
Reinforcement Direction: 168,58 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 11
Type: Nail
Outside Point: (29,21092, 181,95654) m

Relazione di calcolo chiodature

Inside Point: (37,05917, 180,52991) m
Slip Surface Intersection: (40.037894, 179.98845) m
Total Length: 7,9768604 m
Reinforcement Direction: 169,7 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 12
Type: Nail
Outside Point: (28,91824, 180,46474) m
Inside Point: (36,7466, 179,16353) m
Slip Surface Intersection: (38.348661, 178.89724) m
Total Length: 7,9357651 m
Reinforcement Direction: 170,56 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m

Relazione di calcolo chiodature

Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 13
Type: Nail
Outside Point: (28,64028, 179,04798) m
Inside Point: (36,39831, 177,54709) m
Slip Surface Intersection: (36.130222, 177.59895) m
Total Length: 7,9018795 m
Reinforcement Direction: 169,05 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 2,9244503 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 0,27305856 m
Required Length: 0,27305856 m
Governing Component: Pullout Resistance
Reinforcement 14
Type: Nail
Outside Point: (26,17577, 177,00695) m
Inside Point: (34,04062, 175,5377) m
Slip Surface Intersection: (32.603355, 175.8062) m
Total Length: 8,00091 m
Reinforcement Direction: 169,42 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1

Shear Option: **Parallel to Slip**
Factored Pullout Resistance: **10,709975 kN/m**
Max. Pullout Force: **53,830228 kN**
Factored Tensile Capacity: **53,830228 kN**
Pullout Force: **15,659372 kN**
Pullout Force per Length: **10,709975 kN/m**
Available Length: **1,4621296 m**
Required Length: **1,4621296 m**
Governing Component: **Pullout Resistance**
Reinforcement 15
Type: **Nail**
Outside Point: **(25,89018, 175,54055) m**
Inside Point: **(33,77271, 174,14453) m**
Slip Surface Intersection: **(30.227652, 174.77237) m**
Total Length: **8,0051953 m**
Reinforcement Direction: **169,96 °**
F of S Dependent: **No**
Pullout Resistance: **300 kPa**
Resistance Reduction Factor: **2,2**
Bond Diameter: **0,075 m**
Nail Spacing: **3 m**
Force Distribution: **Distributed**
Tensile Capacity: **260 kN**
Reduction Factor: **1,61**
Shear Force: **0 kN**
Shear Reduction Factor: **1**
Shear Option: **Parallel to Slip**
Factored Pullout Resistance: **10,709975 kN/m**
Max. Pullout Force: **53,830228 kN**
Factored Tensile Capacity: **53,830228 kN**
Pullout Force: **38,558315 kN**
Pullout Force per Length: **10,709975 kN/m**
Available Length: **3,6002245 m**
Required Length: **3,6002245 m**
Governing Component: **Pullout Resistance**
Reinforcement 16
Type: **Nail**
Outside Point: **(25,60553, 174,07896) m**
Inside Point: **(33,32618, 172,55488) m**
Slip Surface Intersection: **(27.425223, 173.71975) m**
Total Length: **7,8696414 m**
Reinforcement Direction: **168,83 °**
F of S Dependent: **No**
Pullout Resistance: **300 kPa**
Resistance Reduction Factor: **2,2**
Bond Diameter: **0,075 m**

Relazione di calcolo chiodature

Nail Spacing: 3 m
 Force Distribution: Distributed
 Tensile Capacity: 260 kN
 Reduction Factor: 1,61
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Shear Option: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
 Max. Pullout Force: 53,830228 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
 Pullout Force: 53,830228 kN
 Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
 Available Length: 6,0148326 m
 Required Length: 5,0261768 m
 Governing Component: Tensile Capacity
 Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	38,01189	195,6523
Point 2	85,84399	229,91866
Point 3	40,79561	200,03943
Point 4	40,40804	197,977
Point 5	38,43907	197,96952
Point 6	37,35987	192,98977
Point 7	35,40336	192,96733
Point 8	34,41621	187,98317
Point 9	32,35704	187,98465
Point 10	31,37424	182,98853
Point 11	29,41386	182,99093
Point 12	28,43379	177,99549
Point 13	26,36798	177,99391
Point 14	25,39587	173,00241
Point 15	-25,07453	172,92236
Point 16	-25,10534	155,91879
Point 17	85,84055	156,11786

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Coltre eluvio-colluviale	1,2,3,4,5	57,488
Region 2	Calcari marnosi	1,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,2	3.937,9

Current Slip Surface

Relazione di calcolo chiodature

Slip Surface: 34.267

F of S: 1.692

F of S Rank: 1

Exit: (25,40887, 173,06916) m

Entry: (63,1868, 214,89083) m

Radius: 54,480367 m

Center: (9,6974448, 225,23487) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
Slice 1	25,888425	173,21843	0	31,723777	21,317493	128
Slice 2	26,884432	173,5394	0	82,784854	55,629113	128
Slice 3	27,917337	173,89439	0	69,903688	46,973329	128
Slice 4	28,923825	174,2625	0	110,41749	74,197474	128
Slice 5	29,903955	174,64309	0	154,03687	103,50848	128
Slice 6	30,884145	175,04572	0	140,13907	94,169546	128
Slice 7	31,86564	175,47151	0	182,49285	122,63011	128
Slice 8	32,871832	175,93239	0	223,68464	150,30984	128
Slice 9	33,901417	176,42967	0	208,85403	140,34408	128
Slice 10	34,909785	176,94266	0	248,62831	167,07129	128
Slice 11	35,892488	177,46858	0	288,13642	193,61964	128
Slice 12	36,870742	178,01831	0	273,2433	183,61188	128
Slice 13	37,68588	178,49502	0	289,1746	194,31727	128
Slice 14	38,22548	178,82153	0	328,87474	220,99465	128
Slice 15	38,931313	179,26585	0	338,64914	227,56277	128
Slice 16	39,915797	179,90705	0	325,31238	218,60085	128
Slice 17	40,601825	180,36869	0	332,52449	223,44718	128
Slice 18	41,264855	180,8358	0	344,52514	231,51129	128
Slice 19	42,355509	181,63489	0	350,68768	235,65234	128
Slice 20	43,598326	182,5944	0	343,32097	230,70212	128
Slice 21	44,841144	183,61313	0	334,24727	224,60484	128
Slice 22	46,083961	184,69558	0	323,26147	217,22269	128
Slice 23	47,326779	185,84699	0	310,1612	208,41968	128
Slice 24	48,569596	187,07364	0	294,75193	198,06508	128
Slice 25	49,812414	188,38306	0	276,85143	186,03644	128
Slice 26	51,055231	189,78446	0	256,29282	172,22163	128

Relazione di calcolo chiodature

Slice 27	52,299828	191,29158	0	222,8493	149,74851	128
Slice 28	53,546204	192,91935	0	196,80375	132,24663	128
Slice 29	54,79258	194,68484	0	167,7165	112,70081	128
Slice 30	56,038957	196,61376	0	135,44459	91,014987	128
Slice 31	57,285333	198,7422	0	99,803621	67,06525	128
Slice 32	58,531709	201,12381	0	60,515039	40,664419	128
Slice 33	59,778085	203,8451	0	17,105276	11,494269	128
Slice 34	61,024461	207,06456	0	-31,322135	-21,047602	128
Slice 35	62,270838	211,15125	0	-86,816174	-58,338048	128
Slice 36	63,040413	214,1842	0	5,0617583	2,5347398	0

VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE, COMBINAZIONE SISMICA SLV M2+R1

Slope Stability

Report generated using GeoStudio 2012. Copyright © 1991-2012 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

Title: [Asse5_Seiz 2](#)

Created By: [Seghetta Marco](#)

Revision Number: 103

Last Edited By: [Seghetta Marco](#)

Date: 14/11/2019

Time: 15:52:03

File Name: [SN Imbocco Nord_SLV M1+R2.gsz](#)

Directory: [Z:\Ingeos\PROGETTI\DPMI03 SS45bis Gardesana\Opere in Sotterraneo\LAVORAZIONE\PD\Relazioni\03_Imbocchi\Imbocco nord\Trincea 5 su 1\](#)

Last Solved Date: 14/11/2019

Last Solved Time: 15:52:56

Project Settings

Length(L) Units: [meters](#)

Time(t) Units: [Seconds](#)

Force(F) Units: [kN](#)

Pressure(p) Units: [kPa](#)

Strength Units: [kPa](#)

Unit Weight of Water: [9,807 kN/m³](#)

View: [2D](#)

Analysis Settings

Slope Stability

Kind: [SLOPE/W](#)

Method: [Morgenstern-Price](#)

Settings

Side Function

Interslice force function option: [Half-Sine](#)

Lambda

Lambda 1: -1

Lambda 2: -0,8

Lambda 3: -0,6

Lambda 4: -0,4

Lambda 5: -0,2

Lambda 6: 0

Lambda 7: 0,2

Lambda 8: 0,4

Lambda 9: 0,6

Lambda 10: 0,8

Lambda 11: 1

PWP Conditions Source: [\(none\)](#)

Slip Surface

Direction of movement: **Right to Left**

Use Passive Mode: **No**

Slip Surface Option: **Entry and Exit**

Critical slip surfaces saved: **1**

Optimize Critical Slip Surface Location: **No**

Tension Crack

Tension Crack Option: **(none)**

F of S Distribution

F of S Calculation Option: **Constant**

Advanced

Number of Slices: **30**

F of S Tolerance: **0,01**

Minimum Slip Surface Depth: **0,1 m**

Optimization Maximum Iterations: **2.000**

Optimization Convergence Tolerance: **1e-007**

Starting Optimization Points: **8**

Ending Optimization Points: **16**

Complete Passes per Insertion: **1**

Driving Side Maximum Convex Angle: **5 °**

Resisting Side Maximum Convex Angle: **1 °**

Materials

Coltre eluvio-colluviale

Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **20 kN/m³**

Cohesion': **0 kPa**

Phi': **32 °**

Phi-B: **0 °**

Calcari marnosi

Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **26 kN/m³**

Cohesion': **160 kPa**

Phi': **40 °**

Phi-B: **0 °**

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: **Range**

Left-Zone Left Coordinate: **(1.73472, 172.96488) m**

Left-Zone Right Coordinate: **(31.33299, 182.98858) m**

Left-Zone Increment: **50**

Right Projection: **Range**

Right-Zone Left Coordinate: **(41.33742, 200.3988) m**

Right-Zone Right Coordinate: **(63.1868, 214.89083) m**

Right-Zone Increment: **50**

Radius Increments: **20**

Slip Surface Limits

Left Coordinate: **(-15.763779, 172.93713) m**

Right Coordinate: (85.221601, 229.50585) m

Surcharge Loads

Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 10 kN/m³

Direction: Vertical

Coordinates

	X (m)	Y (m)
	41,7341	200,97402
	51,67664	207,55725

Seismic Loads

Horz Seismic Load: 0,11

Vert Seismic Load: -0,055

Ignore seismic load in strength: No

Reinforcements

Reinforcement 1

Type: Nail

Outside Point: (40,61797, 199,09415) m

Inside Point: (48,40105, 197,49808) m

Slip Surface Intersection: (56.120904, 195.91498) m

Total Length: 7,9450471 m

Reinforcement Direction: 168,41 °

F of S Dependent: No

Pullout Resistance: 300 kPa

Resistance Reduction Factor: 2,2

Bond Diameter: 0,075 m

Nail Spacing: 3 m

Force Distribution: Distributed

Tensile Capacity: 260 kN

Reduction Factor: 1,61

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Shear Option: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m

Max. Pullout Force: 53,830228 kN

Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

Available Length: 0 m

Required Length: 0 m

Governing Component: (none)

Reinforcement 2

Type: Nail

Outside Point: (38,24868, 196,93677) m

Inside Point: (46,04337, 195,56907) m

Slip Surface Intersection: (54.893915, 194.0161) m

Total Length: 7,9137725 m
Reinforcement Direction: 170,05 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 3
Type: Nail
Outside Point: (38,01189, 195,6523) m
Inside Point: (45,80224, 194,17589) m
Slip Surface Intersection: (53.929666, 192.6356) m
Total Length: 7,9290188 m
Reinforcement Direction: 169,27 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m

Governing Component: (none)
Reinforcement 4
Type: Nail
Outside Point: (37,61617, 194,03638) m
Inside Point: (45,3825, 192,488) m
Slip Surface Intersection: (52.712377, 191.02664) m
Total Length: 7,9191769 m
Reinforcement Direction: 168,72 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 5
Type: Nail
Outside Point: (35,21724, 192,02759) m
Inside Point: (43,1052, 190,52327) m
Slip Surface Intersection: (51.034072, 189.01115) m
Total Length: 8,030124 m
Reinforcement Direction: 169,2 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m

Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 6
Type: Nail
Outside Point: (34,92178, 190,64235) m
Inside Point: (42,83728, 189,15689) m
Slip Surface Intersection: (49.960995, 187.82002) m
Total Length: 8,0536781 m
Reinforcement Direction: 169,37 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 7
Type: Nail
Outside Point: (34,62856, 189,05532) m
Inside Point: (42,49792, 187,51365) m
Slip Surface Intersection: (48.521387, 186.33361) m
Total Length: 8,0189509 m
Reinforcement Direction: 168,92 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed

Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 8
Type: Nail
Outside Point: (32,14798, 186,92191) m
Inside Point: (40,02414, 185,6025) m
Slip Surface Intersection: (46.586035, 184.50325) m
Total Length: 7,9859088 m
Reinforcement Direction: 170,49 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 9
Type: Nail
Outside Point: (31,88461, 185,58303) m
Inside Point: (39,77408, 184,12895) m
Slip Surface Intersection: (45.020261, 183.16205) m
Total Length: 8,0223491 m
Reinforcement Direction: 169,56 °

Relazione di calcolo chiodature

F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 10
Type: Nail
Outside Point: (31,59906, 184,1314) m
Inside Point: (39,47937, 182,5393) m
Slip Surface Intersection: (43.265478, 181.77437) m
Total Length: 8,0395316 m
Reinforcement Direction: 168,58 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 11

Relazione di calcolo chiodature

Type: Nail

Outside Point: (29,21092, 181,95654) m

Inside Point: (37,05917, 180,52991) m

Slip Surface Intersection: (40.600492, 179.88618) m

Total Length: 7,9768604 m

Reinforcement Direction: 169,7 °

F of S Dependent: No

Pullout Resistance: 300 kPa

Resistance Reduction Factor: 2,2

Bond Diameter: 0,075 m

Nail Spacing: 3 m

Force Distribution: Distributed

Tensile Capacity: 260 kN

Reduction Factor: 1,61

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Shear Option: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m

Max. Pullout Force: 53,830228 kN

Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

Available Length: 0 m

Required Length: 0 m

Governing Component: (none)

Reinforcement 12

Type: Nail

Outside Point: (28,91824, 180,46474) m

Inside Point: (36,7466, 179,16353) m

Slip Surface Intersection: (38.890471, 178.80718) m

Total Length: 7,9357651 m

Reinforcement Direction: 170,56 °

F of S Dependent: No

Pullout Resistance: 300 kPa

Resistance Reduction Factor: 2,2

Bond Diameter: 0,075 m

Nail Spacing: 3 m

Force Distribution: Distributed

Tensile Capacity: 260 kN

Reduction Factor: 1,61

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Shear Option: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m

Max. Pullout Force: 53,830228 kN

Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN

Relazione di calcolo chiodature

Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 13
Type: Nail
Outside Point: (28,64028, 179,04798) m
Inside Point: (36,39831, 177,54709) m
Slip Surface Intersection: (36.615045, 177.50516) m
Total Length: 7,9018795 m
Reinforcement Direction: 169,05 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)
Reinforcement 14
Type: Nail
Outside Point: (26,17577, 177,00695) m
Inside Point: (34,04062, 175,5377) m
Slip Surface Intersection: (32.992799, 175.73345) m
Total Length: 8,00091 m
Reinforcement Direction: 169,42 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61

Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 11,416272 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 1,0659476 m
Required Length: 1,0659476 m
Governing Component: Pullout Resistance
Reinforcement 15
Type: Nail
Outside Point: (25,89018, 175,54055) m
Inside Point: (33,77271, 174,14453) m
Slip Surface Intersection: (30.531056, 174.71864) m
Total Length: 8,0051953 m
Reinforcement Direction: 169,96 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,075 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Distributed
Tensile Capacity: 260 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 53,830228 kN
Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
Pullout Force: 35,258306 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 3,2920998 m
Required Length: 3,2920998 m
Governing Component: Pullout Resistance
Reinforcement 16
Type: Nail
Outside Point: (25,60553, 174,07896) m
Inside Point: (33,32618, 172,55488) m
Slip Surface Intersection: (27.572092, 173.69075) m
Total Length: 7,8696414 m
Reinforcement Direction: 168,83 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 300 kPa

Relazione di calcolo chiodature

Resistance Reduction Factor: 2,2
 Bond Diameter: 0,075 m
 Nail Spacing: 3 m
 Force Distribution: Distributed
 Tensile Capacity: 260 kN
 Reduction Factor: 1,61
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Shear Option: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
 Max. Pullout Force: 53,830228 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,830228 kN
 Pullout Force: 53,830228 kN
 Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
 Available Length: 5,8651294 m
 Required Length: 5,0261768 m
 Governing Component: Tensile Capacity
 Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	38,01189	195,6523
Point 2	85,84399	229,91866
Point 3	40,79561	200,03943
Point 4	40,40804	197,977
Point 5	38,43907	197,96952
Point 6	37,35987	192,98977
Point 7	35,40336	192,96733
Point 8	34,41621	187,98317
Point 9	32,35704	187,98465
Point 10	31,37424	182,98853
Point 11	29,41386	182,99093
Point 12	28,43379	177,99549
Point 13	26,36798	177,99391
Point 14	25,39587	173,00241
Point 15	-25,07453	172,92236
Point 16	-25,10534	155,91879
Point 17	85,84055	156,11786

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Coltre eluvio-colluviale	1,2,3,4,5	57,488

Relazione di calcolo chiodature

Region 2	Calcari marnosi	1,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,2	3.937,9
----------	-----------------	-------------------------------------	---------

Current Slip Surface

Slip Surface: 34.268

F of S: 1.878

F of S Rank: 1

Exit: (25,407278, 173,06099) m

Entry: (63,1868, 214,89083) m

Radius: 51,773328 m

Center: (12,066176, 223,08591) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
Slice 1	25,887629	173,19406	0	24,806785	20,815364	160
Slice 2	26,884432	173,48141	0	60,985804	51,173165	160
Slice 3	27,917337	173,80179	0	37,444682	31,419818	160
Slice 4	28,923825	174,13666	0	70,872796	59,469337	160
Slice 5	29,903955	174,4853	0	106,33812	89,228281	160
Slice 6	30,884145	174,85641	0	88,894476	74,591322	160
Slice 7	31,86564	175,25103	0	127,8315	107,26337	160
Slice 8	32,871832	175,68036	0	166,6958	139,87438	160
Slice 9	33,901417	176,14576	0	152,52794	127,98614	160
Slice 10	34,909785	176,62792	0	194,08385	162,85568	160
Slice 11	35,892488	177,12417	0	238,13028	199,81503	160
Slice 12	36,870742	177,64473	0	227,55939	190,945	160
Slice 13	37,68588	178,09738	0	249,51444	209,36748	160
Slice 14	38,22548	178,40809	0	296,56813	248,85021	160
Slice 15	38,931313	178,83198	0	313,887	263,38247	160
Slice 16	39,915797	179,44493	0	309,00717	259,2878	160
Slice 17	40,601825	179,88706	0	324,63476	272,40091	160
Slice 18	41,264855	180,33557	0	346,31223	290,59046	160
Slice 19	42,355509	181,1044	0	356,48655	299,12773	160
Slice 20	43,598326	182,03001	0	363,08823	304,6672	160
Slice 21	44,841144	183,01554	0	366,58412	307,6006	160
Slice 22	46,083961	184,06555	0	365,63444	306,80373	160
Slice 23	47,326779	185,18542	0	358,84281	301,10487	160
Slice 24	48,569596	186,38155	0	344,91394	289,41716	160

Relazione di calcolo chiodature

Slice 25	49,812414	187,6617	0	322,86787	270,91831	160
Slice 26	51,055231	189,03538	0	292,28101	245,25288	160
Slice 27	52,302788	190,52056	0	250,40258	210,11271	160
Slice 28	53,555084	192,1335	0	204,51991	171,61258	160
Slice 29	54,807381	193,88942	0	153,79014	129,04525	160
Slice 30	56,059677	195,8162	0	100,97844	84,73097	160
Slice 31	57,311973	197,95361	0	49,043017	41,151977	160
Slice 32	58,564269	200,36211	0	0,57115269	0,47925401	160
Slice 33	59,816566	203,14253	0	-42,811371	-35,923006	160
Slice 34	61,068862	206,49061	0	-81,002795	-67,969415	160
Slice 35	62,321158	210,92762	0	-116,46837	-97,72857	160
Slice 36	63,067053	214,20329	0	4,0991099	2,5614081	0