

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78 S.G.C. GROSSETO – FANO
Tratto Selci Lama (E45) – S. Stefano di Gaifa
Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (lotto 2)
e del tratto Guinza – Mercatello Ovest (lotto 3)
1° stralcio

PROGETTO DEFINITIVO

cod. AN58

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTI:

Ing. VINCENZO MARZI
Ordine Ingegneri di Bari n. 3594

IL GEOLOGO

Geol. FRANCESCO MATALONI
Ordine Geologici del Lazio n. 725

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.

Arch. GIOVANNI MAGARO'
Ordine Architetti di Roma n. 16183

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. FABIO QUONDAM

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Dott. ing. ACHILLE DEVITOFRANCESCHI

PROTOCOLLO

DATA:

OPERE D'ARTE MAGGIORI

Imbocco lato Marche

Relazione interventi di sistemazione dei versanti

CODICE PROGETTO			NOME FILE		REVISIONE	
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00GA03OSTRE01B			
L	O	7	0	2	M	D
1	8	0	1			
CODICE ELAB.			T00GA03OSTRE01		B	-
D						
C						
B	AGGIORNAMENTO			Luglio 2019		
A	EMISSIONE			Sett. 2018		
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1. PREMESSA	2
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	4
4. DESCRIZIONE DELLE OPERE	5
5. CALCOLI DI DIMENSIONAMENTO	8
5.1 SEZIONE DI VERIFICA.....	8
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.....	19
5.7 CARICHI.....	19
5.8 RISULTATI DELLE ANALISI	20
5.8.1 Sfilamento barra al contatto malta-terreno e al contatto malta-barra	20
5.8.2 Stabilità globale	23
ALLEGATO DI CALCOLO	26
VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE, COMBINAZIONE STATICA SLU A2+M2+R2.....	26
VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE, COMBINAZIONE SISMICA SLV M2+R1	34

1. PREMESSA

Il presente documento analizza il consolidamento con soil nailing che verrà realizzato nell'ambito dei lavori ascrivibili alla realizzazione dell'imbocco lato Marche della galleria Guinza, opera prevista nel progetto definitivo per l'adeguamento a due corsie del tratto della Galleria della Guinza (Lotto 2°) e del Tratto Guinza – Mercatello Ovest (Lotto 3°) dell'itinerario internazionale E78 S.G.C. Grosseto - Fano.

L'intervento è localizzato tra le Regioni Umbria e Marche, nei Comuni di Parnacciano (PG) e Mercatello sul Metauro (PU). Più dettagliatamente, il 2° Lotto comprende la Galleria della Guinza, mentre il 3° Lotto comprende tutte le opere dall'uscita della Guinza sul lato marchigiano, fino al termine dell'intervento.

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”
- DM 14.01.2008 – Norme tecniche per le costruzioni
- CIRCOLARE n.617 del 2.2.2009 – Istruzioni per l’applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM.14.01.2008.

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 chiodature: B450C
 - Tensione di snervamento $f_{pyk} = 450$ MPa;
 - Tensione a rottura $f_{ptk} = 540$ MPa.
- Acciaio piastre: S355.
- Perforazione chiodature: diametro ≥ 100 mm.
- Miscela di iniezione:
 - C25/30;
 - $A/C \leq 0.5$;
 - Additivi fluidificanti (2÷4%);
 - Massa volumica ≥ 1.8 g/cm³.

4. DESCRIZIONE DELLE OPERE

All’imbocco lato Marche, in direzione della località Mercatello, non sono attualmente presenti opere di sostegno, dato che il versante si prestava alla realizzazione di un imbocco diretto in naturale della galleria.

Oltre agli interventi di messa in sicurezza dell’imbocco esistente, in questa fase si procederà alla sistemazione dello sperone roccioso tramite un intervento di protezione a carattere permanente con chiodatura + rete metallica + sistema di cavi in acciaio, esemplificato dalle seguenti immagini.

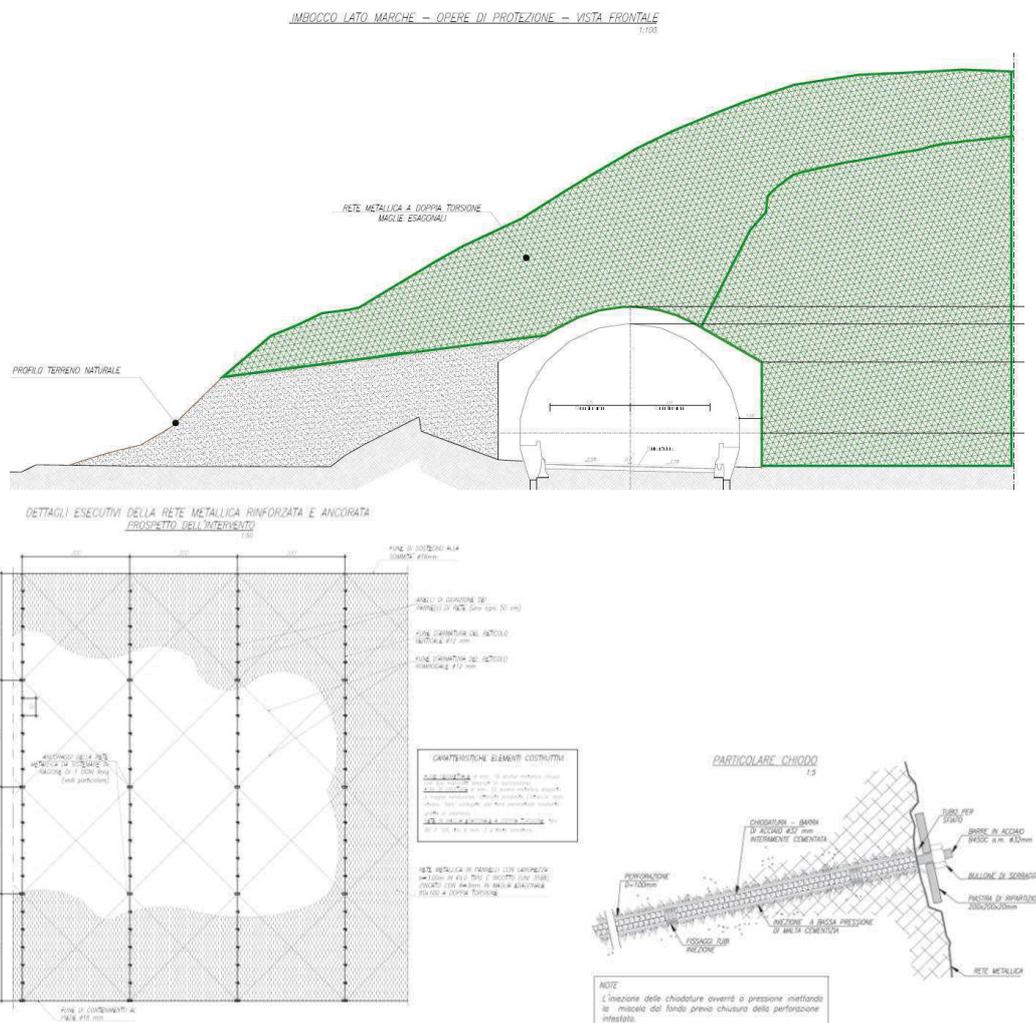


Figura 4.1 - Imbocco lato Marche galleria Guinza: intervento sulla parete rocciosa con chiodatura e rete metallica.

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 tipo di diametro $d_e = 32mm$, in acciaio B450C ($f_{ptk} = 540MPa$), piene e a filettatura continua, disposte su maglia rettangolare ad interasse 3.0 m (h) x 3.0m (v), di lunghezza pari a 9.0m, alloggiata e intasata con malta cementizia C25/30 su

tutta la lunghezza all'interno di perfori di diametro $\phi = 100mm$.

Le massime altezze di chiodatura del fronte roccioso risultano pari a circa 12.0m.

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 previsione operativa è quella di ricorrere per l'installazione a tecniche alpinistiche di progressione su corda, a cura di rocciatori specializzati.

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 del piazzale di imbocco.

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.

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.

Gli ordini di chiodatura vengono numerati dall'alto verso il basso.

Altezza massima parete chiodata (m)	Pendenza media parete chiodata (°)	Ordine di chiodatura (-)	Diametro perforo (mm)	Diametro barra (mm)	Lunghezza Chiodi (m)	Maglia chiodatura (m x m)
12.0	65	I	100	32	9.0	3.0 (h) x 3.0 (v)
		II				
		III				
		IV				
		V				

Tabella 4.1 – Parete chiodata: caratteristiche della parete chiodata.

TABELLA SOIL NAILING					
Ø CHIODO (mm)	AREA SEZIONE CHIODO (mm ²)	f _{0,2k} (MPa)	f _{tk} (MPa)	F _{yk} (kN)	F _{tk} (kN)
32	804	450	540	362	434

Tabella 4.2 – Caratteristiche soil nailing.

5.CALCOLI DI DIMENSIONAMENTO

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, meccanico e idraulico ipotizzato, l'elemento di maggior criticità è risultato l'inclinazione della parete rocciosa.

Le analisi di verifica del fronte chiodato, dunque, sono state effettuate riferendosi alla sezione ortogonale alle isoipse (Sezione A-A di Figura 5.1), dunque caratterizzata dalla massima pendenza media del costone roccioso, pari a circa 65°.

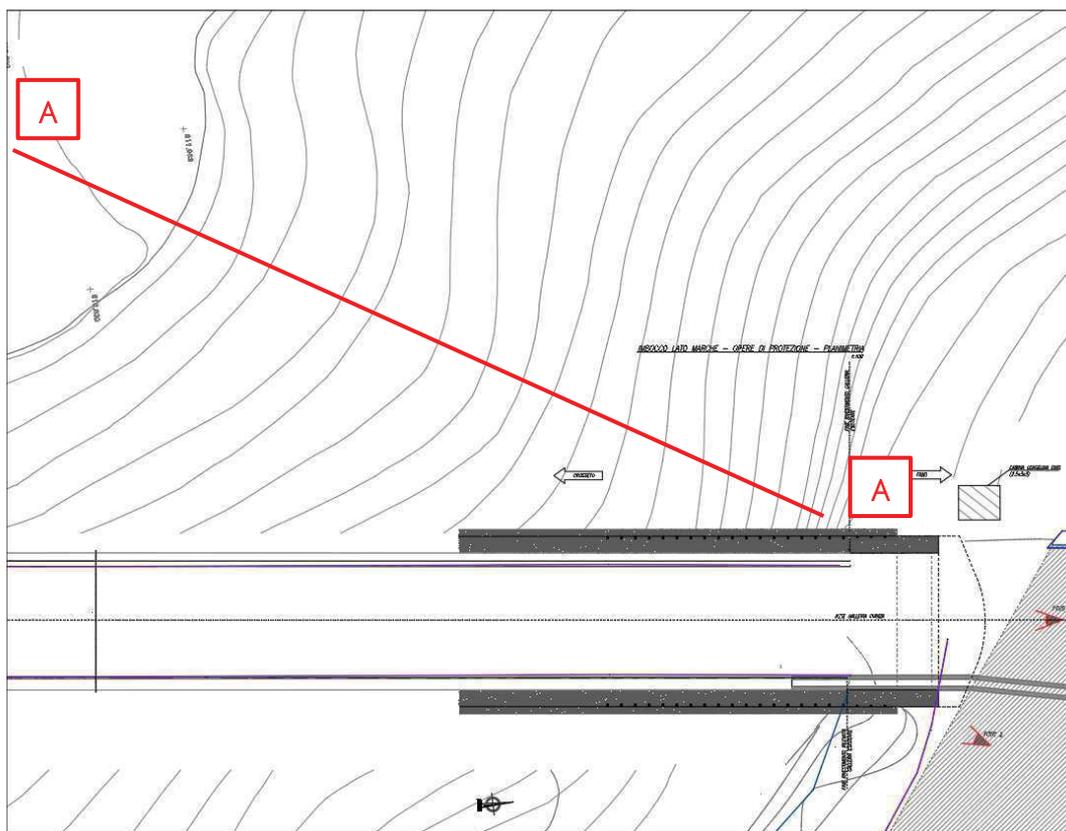


Figura 5.1 – Sezione di verifica: traccia planimetrica.

In corrispondenza della sezione di verifica A-A, l'altezza H della porzione di pendio trattata con chiodatura e rete risulta pari a ca 12.0m.

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.

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:

- **sfilamento della barra al contatto malta-terreno;**
- **sfilamento della barra al contatto malta-barra;**
- **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.

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_{iim} 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 ($804mm^2$);

f_{yk} resistenza allo snervamento dell'acciaio($450MPa$);

$\gamma_s = 1.15$ 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;

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

terreno;

$\xi_3 = \xi_4 = 1.8$, 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 = 0.1m;

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:

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

con:

D = diametro della barra = 32mm;

f_{bd} = tensione limite di progetto aderenza barra-malta=2.69MPa.

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.

Tale scelta risulta prudentiale rispetto a quella alternativa, ugualmente percorribile, di assimilare il consolidamento ad un intervento di stabilizzazione di un pendio naturale (cfr. §6.3.5. di NTC2018): in tal caso, infatti, si ricorrerebbe ai valori caratteristici X_k dei parametri geotecnici, in presenza o meno di azioni sismiche.

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			RESISTENZE –
	γ_F				TERRENO - 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. DEI, 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 5.2):

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

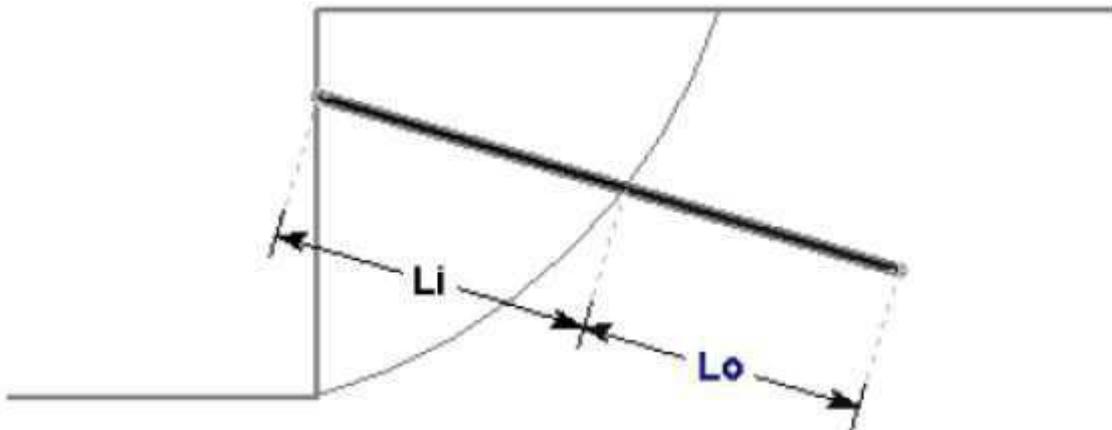


Figura 5.2 - Lunghezza del chiodo all'interno (L_i) e all'esterno (L_o) della superficie di scorrimento.

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:

- o Carico di snervamento $R_d = 225$ kN (definito riducendo il carico di snervamento massimo della barra di diametro 32 mm: $R_k = 362$ 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:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_s \times f_s \times i_h} = \frac{362 \text{ kN}}{1.15 \times 1.4 \times 2.0 \text{ m}} = 112 \text{ kN}/\text{m}$$

- o Capacità della piastra = 0 kN (trattandosi di elemento passivo)
- o 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 0.150MPa, ridotto degli opportuni coefficienti derivanti dalla NTC2018:

$$R_{a,d} = \frac{\tau_{sd} \times \pi \times D_s}{i_h} = \frac{150kPa \times \pi \times 0.1m}{1.8 \times 1.2 \times 2.0m} = 10.71 kN/m(/m)$$

- o 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: $R_{a,d} = 10.71 kN/m(/m)$, per metro di chiodo ancorato a tergo della superficie di scorrimento
- Rottura per trazione: $R_d = 112kN(/m)$

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	0.288	1.124	1.2	1.349	0.388	0.38	0.147	-0.073

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·S_T;
- o a_{max} = S_S·S_T·a_g;
- o β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
- o k_{h,s} coefficiente pseudostatico orizzontale per fronti di scavo;
- o 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} = 0.147 e
k_{v,s} = -0.073.

5.5 MODELLO GEOTECNICO

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

Da un punto di vista generale, come legame costitutivo viene adottato il criterio di rottura di Mohr-Coulomb in termini di tensioni efficaci.

Dal punto di vista generale il riferimento è costituito dalla caratterizzazione geotecnica contenuta nell'elaborato "Relazione geotecnica" (rif. T00_GE00_GET_RE01).

Come più approfonditamente dettagliato in quella sede, nella zona dell'imbocco Nord della galleria Guinza l'ipotesi interpretativa geologica ha ricostruito la presenza in affioramento della formazione marnoso-arenacea nella facies "Membro di Collina" (unità FMA5), a prevalente componente pelitica.

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

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 (°)
Flysch marnoso-arenaceo FMA		21.0	Mohr Coulomb	80	29.3	100	35

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

Rispetto alla parametrizzazione numerica indicata nella “Relazione Geotecnica”, nelle verifiche si è adottato il valore minimo del range di variazione ivi individuato per la coesione efficace c' del substrato flyschoidale, pari a 100kPa.

Le cautele adottate per c' sono dovute al fatto che, in corrispondenza dei bassi stati tensionali efficaci caratterizzanti il problema geotecnico in esame, la resistenza al taglio è molto influenzata da c' , mentre ϕ' “pesa” in misura molto più ridotta.

Inoltre, in prossimità di basse tensioni normali agenti sulla superficie di scorrimento c'è da attendersi una curvatura dell'involucro di rottura di picco particolarmente marcata, per cui la linearizzazione dell'involucro di Hoek-Brown secondo il criterio di snervamento di Mohr-Coulomb potrebbe condurre ad una sovrastima dell'intercetta coesiva c' e della resistenza al taglio del materiale.

Tali condizioni, dunque, obbligano a scelte ragionevolmente cautelative per quanto riguarda c' .

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.

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} .

Questo è stato stimato in base agli esiti delle prove dilatometriche in roccia e dai dati riportati da Bustamante e Doix (1985).

In particolare, la Tabella 5.4 riepiloga i risultati delle n.4 prove dilatometriche su roccia eseguite nel corso delle indagini integrative svolte nella campagna del 2018.

Da esse si evincono per il flysch valori della pressione limite p'_l compresi nel range 5500÷6400 kPa.

Sondaggio di riferimento	Prova (n.)	Prof. (m)	Litologia	P'l (KPa)	Riferimento di progetto
S2	1	17,5	Marna siltitica compatta	6282	Galleria "Guinza" – Pk 2+800
S4	1	16,5	Marna siltitica compatta	6302	Galleria "Guinza" – Pk 5+150
S12p	1	9,0	Marna e arenaria	6433	Galleria "Guinza" – Imbocco lato Umbria
S13p	1	14,0	Arenaria moderatamente alterata	5511	Galleria "Guinza" – Rotatoria lato Marche

Tabella 5.4 - Risultati delle prove dilatometriche in roccia.

Assumendo prudenzialmente $p'_{lim}=5\text{MPa}$, dall'abaco di Bustamante e Doix (cfr. Figura 5.4) si stima per ancoraggi iniettati a gravità/bassa pressione in rocce alterate e fratturate (involuppo R2):

- $\tau_{lim} \approx 500 \text{ kPa}$.

Tale valore è quello in definitiva adottato nelle verifiche di sfilamento della barra al contatto malta-terreno.

Relazione Interventi Di Sistemazione Dei Versanti

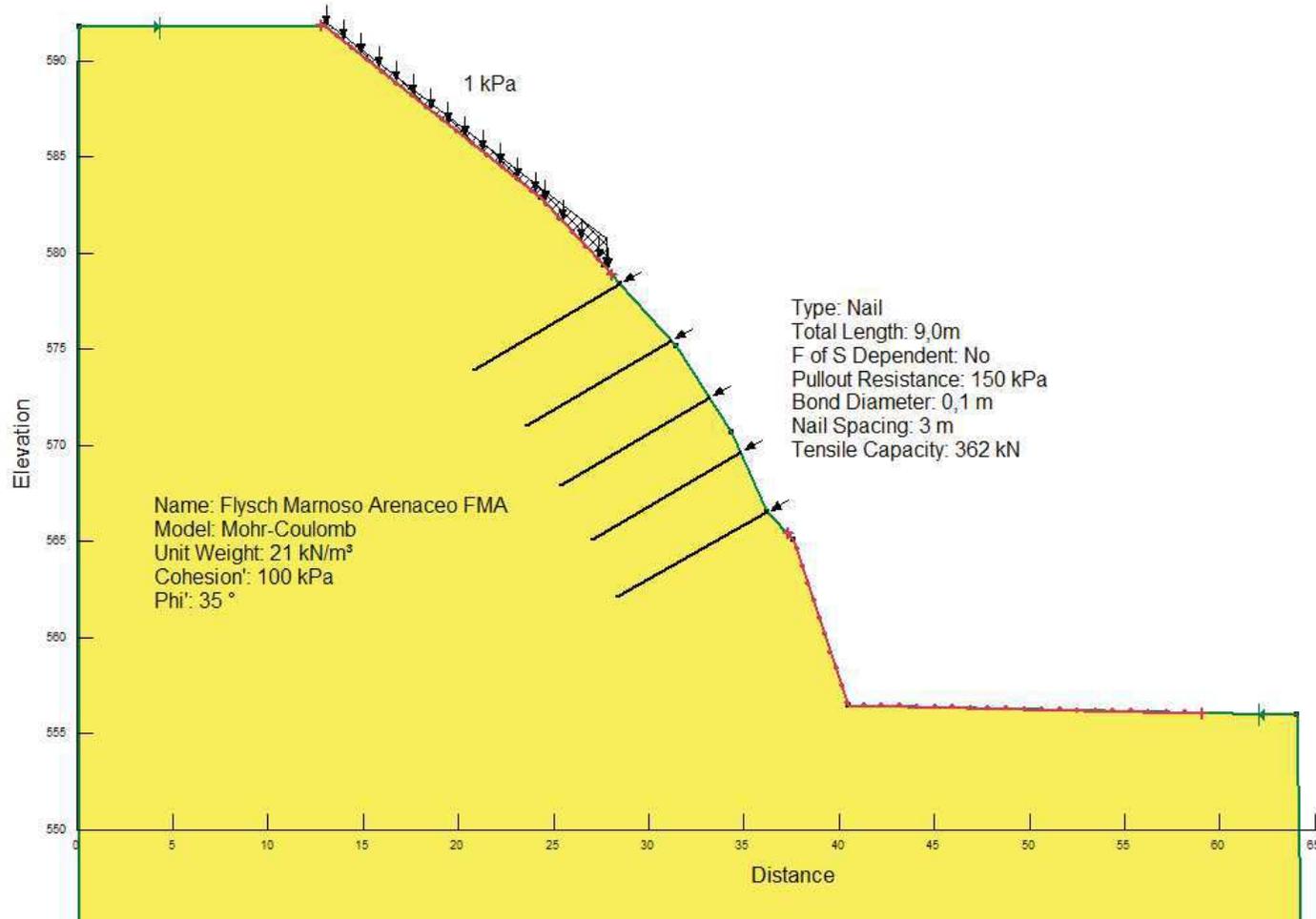


Figura 5.3 – Stratigrafia di progetto.

Abaco per il calcolo di s per rocce alterate e fratturate

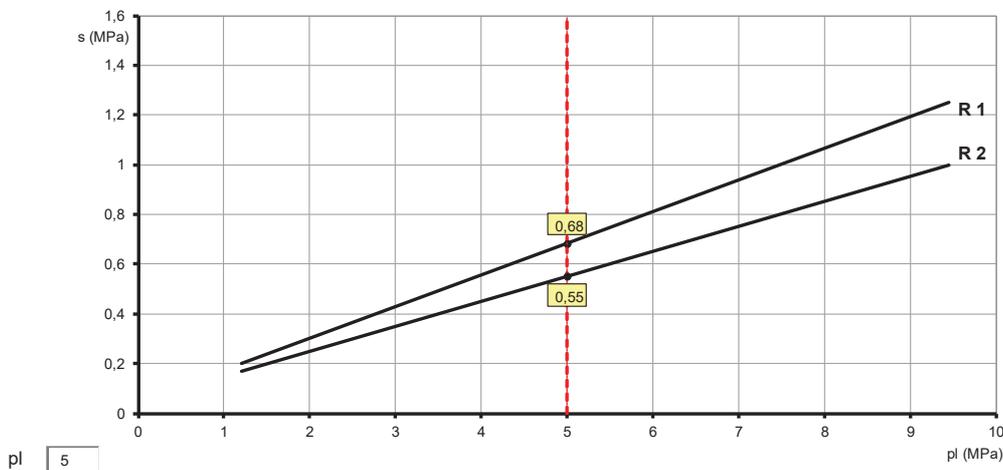


Figura 5.4 – Valori di resistenza tangenziale limite s ($=\tau_{lim}$) per marne, formazioni marnoso-calcaree e calcareo-marnose (Bustamante e Doix, 1985).

Nelle verifiche di stabilità globale, ancor più prudenzialmente ed in accordo ai valori di aderenza τ_{lim} impiegati altrove nel progetto (cfr. verifiche a carico limite verticale dei micropali di fondazione dei muri), si è assunto $\tau_{lim} \cong 150 \text{ kPa}$.

5.6 SUPERFICIE PIEZOMETRICA

Come dettagliato in sede di “Relazione Geotecnica”, in rapporto alla litostratigrafia marnoso-arenacea a prevalente componente pelitica, 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 $\Delta q_k = 5 \text{ kPa}$.

In Tabella 5.5 vengono riassunti il valore caratteristico Δq_k e di progetto Δq_d del sovraccarico considerato nelle analisi.

Carico	Δq_k (kPa)	Tipo	Δq_d (kPa)	
			SLU A2+M2+R2	SLV M1+R2
Accidentale	5	Variabile	6.5	1

Tabella 5.5 - 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**.

Coesione equivalente dovuta alla presenza della chiodatura

$$C_{eq} = T / A_{inf}$$

$$A_{inf} = (S_v) \cdot (S_o) = 9,00 \quad (mq)$$

$$C_{eq} = \boxed{34,97} \quad (kN/mq)$$

Lunghezza di ancoraggio della barra

coefficienti parziali		Terreno
Metodo di calcolo		γ_R
Stato limite ultimo chiodi Temporanei	○	1,10
Stato limite ultimo chiodi Permanenti	●	1,20
Tensioni ammissibili	○	2,50
altro	○	1,30

n	1	2	3	4	≥5	TA	altro
ξ_3	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60	1,00	1,27
ξ_4	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55	1,00	1,12

$$L_s \min = T / (\pi \cdot D_s \cdot \tau_{s,d})$$

$$\tau_{s,med} = \text{tensione di adesione media} = 0,55$$

$$\tau_{s,min} = \text{tensione di adesione minima} = 0,55 \quad (MPa)$$

$$\tau_{s,d} = \text{Min}(\tau_{s,med} / \xi_3 \gamma_R ; \tau_{s,min} / \xi_4 \gamma_R)$$

$$\tau_{s,d} = \text{tensione di adesione di calcolo} = 0,25$$

$$L_s \min = \boxed{3,93} \quad (m)$$

Verifica allo sfilamento della barra

$$N_{lim} = \pi \cdot D \cdot f_{bd} \cdot L \min$$

$$\eta = 1$$

$$L \min = \text{lunghezza di ancoraggio} = 3,93 \quad (m)$$

$$f_{bd} = \text{aderenza barra/malta} = 2.25 \eta f_{ctk} / \gamma_C = 2,69$$

$$N_{lim} = \boxed{1065,16} \quad (kN) \quad N_{lim} > T$$

Figura 5.5 – Chiodature: lunghezza minima di ancoraggio e sfilamento al contatto barra-malta.

Risulta:

$$L_{s,min} = 3.93m;$$

$$N_{lim} = 1065kN > E_d = T = 315kN.$$

Dunque, anche per una lunghezza $L_{s,min} = 3.93m$, la verifica a sfilamento all'interfaccia malta-terreno risulta soddisfatta.

Per i chiodi si è assunta lunghezza di progetto $L_s = 9.0m$ (cfr. Tabella 4.1 di pag.7).

Risulta, dunque:

$$R_{a,d} = \tau_{sd} \times \pi \times D_s \times L_s = 230kPa \times \pi \times 0.1m \times 9.0m = 650kN > E_d = T = 315kN.$$

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 5.6.

Di seguito vengono allegate le figure di output delle verifiche, in cui sono riportati i risultati delle analisi in termini di superficie critica, coefficienti di sicurezza FS e curve di livello ("isoasfaliche") dei coefficienti di sicurezza sulla griglia dei centri delle superfici circolari analizzate.

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

Combinazione di carico	Fattore di sicurezza calcolato <i>FS</i>	Fattore di sicurezza richiesto <i>FS</i> <i>min</i>	Esito verifica
Statica SLU A2+M2+R2	1.391	1.1	ok
Sismica SLV M1+R2	1.522	1.2	ok

Tabella 5.6 – 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.

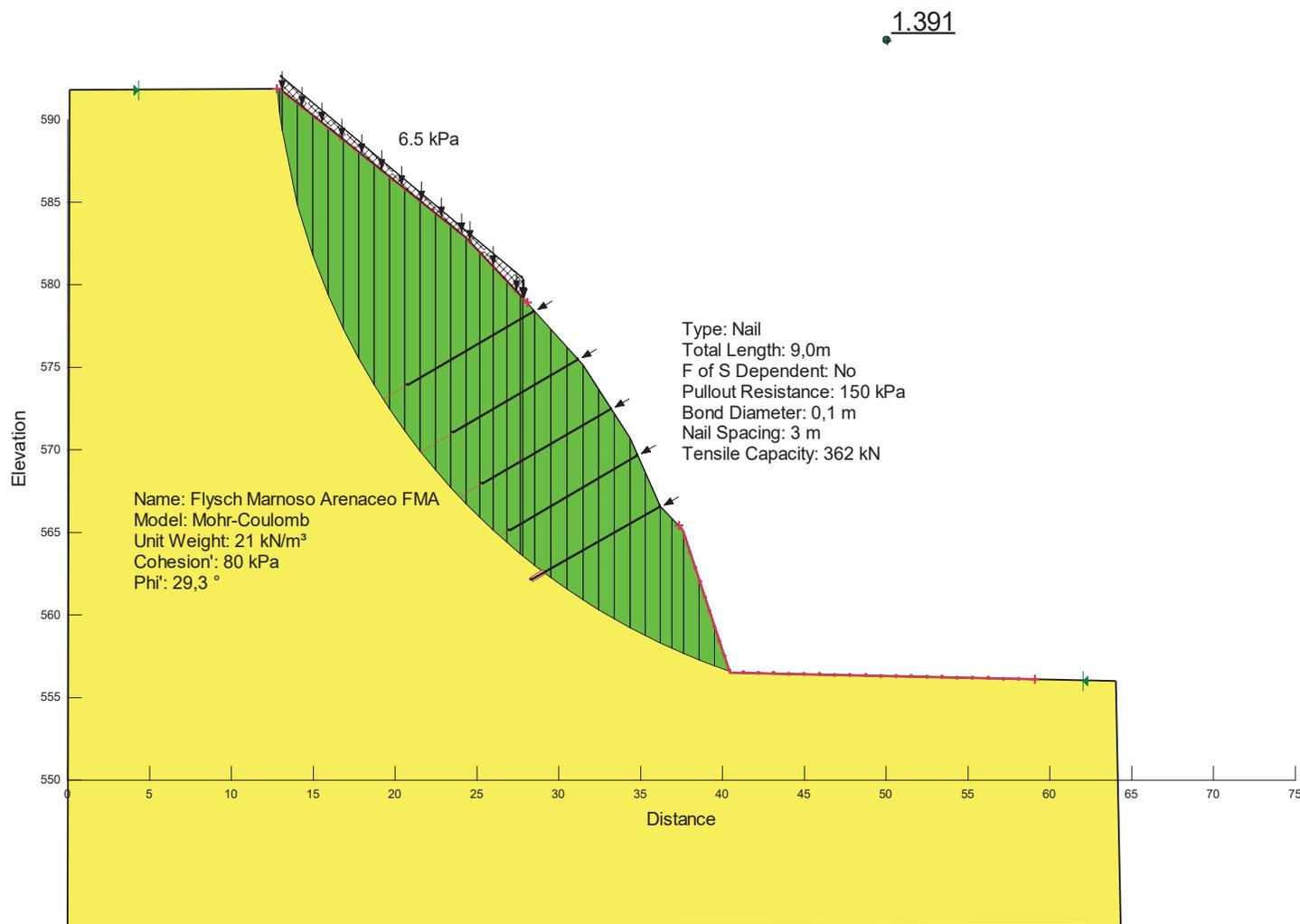


Figura 5.6 – Parete chiodata, verifica statica SLU A2+M2+R2.

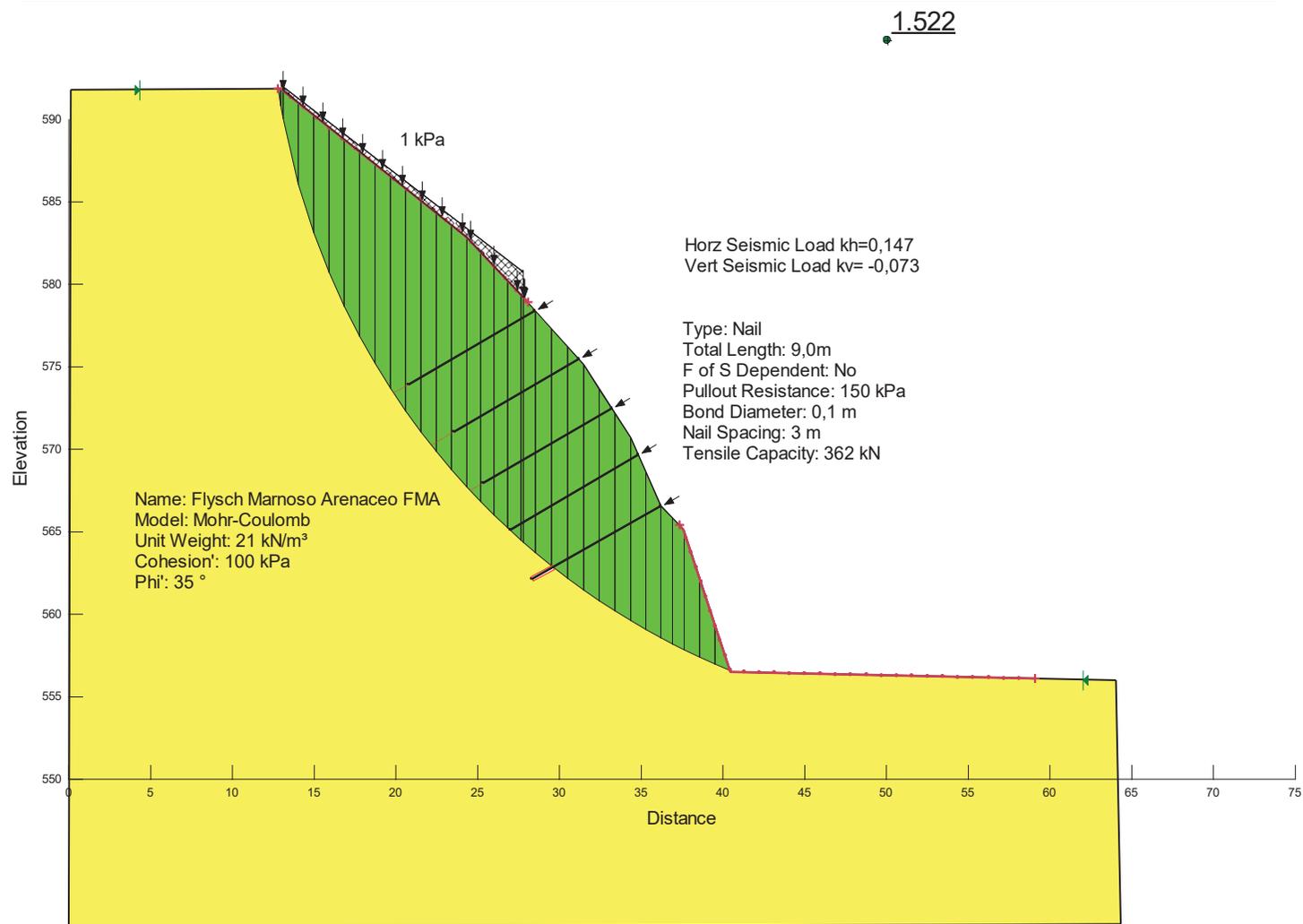


Figura 5.7 - Parete chiodata, verifica sismica SLV M1+R2.

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: 69
Last Edited By: [Seghetta Marco](#)
Date: [31/07/2019](#)
Time: [09:01:08](#)
File Name: [Imbocco N Guinza_SLU A2+M2+R2.gsz](#)
Directory: [Z:\Ingeos\PROGETTI\LO702M_Galleria Guinza-Cunicolo_Materiale_lavoro_per_consegna_28_giugno\Muri e ritombamenti\PE\Stab glob\](#)
Last Solved Date: [31/07/2019](#)
Last Solved Time: [09:01:30](#)

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](#)

Relazione Interventi Di Sistemazione Dei Versanti

Lambda 9: 0,6

Lambda 10: 0,8

Lambda 11: 1

PWP Conditions Source: (none)

Slip Surface

Direction of movement: Left to Right

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

Flysch Marnoso Arenaceo FMA

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 21 kN/m³

Cohesion': 80 kPa

Phi': 29,3 °

Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Range

Left-Zone Left Coordinate: (12.79862, 591.8075) m

Left-Zone Right Coordinate: (28.08792, 578.8688) m

Left-Zone Increment: 20

Right Projection: Range

Right-Zone Left Coordinate: (37.34956, 565.3874) m

Right-Zone Right Coordinate: (59.08461, 556.0687) m

Right-Zone Increment: 30

Radius Increments: 20

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (4.3401458, 591.76767) m

Right Coordinate: (62.024848, 556.00281) m

Surcharge Loads

Relazione Interventi Di Sistemazione Dei Versanti

Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 10 kN/m³

Direction: Vertical

Coordinates

	X (m)	Y (m)
	13,08632	592,5629
	27,7969	580,4031

Reinforcements

Reinforcement 1

Type: Nail

Outside Point: (28,5327, 578,3947) m

Inside Point: (20,80219, 573,9272) m

Slip Surface Intersection: (19.2825, 573.04896) m

Total Length: 8,9285688 m

Reinforcement Direction: 30,024 °

F of S Dependent: No

Pullout Resistance: 150 kPa

Resistance Reduction Factor: 2,2

Bond Diameter: 0,1 m

Nail Spacing: 3 m

Force Distribution: Concentrated

Tensile Capacity: 362 kN

Reduction Factor: 1,61

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Shear Option: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 7,1399833 kN/m

Max. Pullout Force: 63,749832 kN

Factored Tensile Capacity: 74,94824 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: (31,17994, 575,4489) m

Inside Point: (23,56844, 571,0032) m

Slip Surface Intersection: (21.586199, 569.84542) m

Total Length: 8,8147139 m

Reinforcement Direction: 30,288 °

F of S Dependent: No

Pullout Resistance: 150 kPa

Resistance Reduction Factor: 2,2

Bond Diameter: 0,1 m

Relazione Interventi Di Sistemazione Dei Versanti

Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Concentrated
Tensile Capacity: 362 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 7,1399833 kN/m
Max. Pullout Force: 62,93691 kN
Factored Tensile Capacity: 74,94824 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: (33,19477, 572,4624) m
Inside Point: (25,36406, 567,9337) m
Slip Surface Intersection: (23.965266, 567.12474) m
Total Length: 9,0459462 m
Reinforcement Direction: 30,042 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Concentrated
Tensile Capacity: 362 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 7,1399833 kN/m
Max. Pullout Force: 64,587905 kN
Factored Tensile Capacity: 74,94824 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: (34,82067, 569,6183) m
Inside Point: (27,02624, 565,0825) m
Slip Surface Intersection: (26.43647, 564.7393) m

Relazione Interventi Di Sistemazione Dei Versanti

Total Length: 9,0181273 m
Reinforcement Direction: 30,196 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Concentrated
Tensile Capacity: 362 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 7,1399833 kN/m
Max. Pullout Force: 64,389279 kN
Factored Tensile Capacity: 74,94824 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: (36,19851, 566,5384) m
Inside Point: (28,36083, 562,1221) m
Slip Surface Intersection: (29.124948, 562.55266) m
Total Length: 8,9962733 m
Reinforcement Direction: 29,4 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Concentrated
Tensile Capacity: 362 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 7,1399833 kN/m
Max. Pullout Force: 64,233241 kN
Factored Tensile Capacity: 74,94824 kN
Pullout Force: 6,2622855 kN
Pullout Force per Length: 7,1399833 kN/m
Available Length: 0,87707285 m
Required Length: 0,87707285 m

Relazione Interventi Di Sistemazione Dei Versanti

Governing Component: Pullout Resistance

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	0,12005	591,7478
Point 2	12,95075	591,8082
Point 3	24,33233	582,872
Point 4	28,5327	578,3947
Point 5	31,47891	575,1162
Point 6	34,34221	570,6878
Point 7	36,19851	566,5384
Point 8	37,63016	565,1068
Point 9	40,48375	556,4853
Point 10	64,03873	555,9577
Point 11	64,35405	541,1798
Point 12	0,02948	540,9986
Point 13	27,64539	579,3405
Point 14	13,08632	592,5629
Point 15	27,7969	580,4031

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Flysch Marnoso Arenaceo FMA	1,2,3,13,4,5,6,7,8,9,10,11,12	2.042,9

Current Slip Surface

Slip Surface: 229

F of S: 1.391

F of S Rank: 1

Exit: (40,446977, 556,5964) m

Entry: (12,79862, 591,80748) m

Radius: 40,974311 m

Center: (53,6154, 595,397) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
Slice 1	12,874685	591,08826	0	-107,03405	-60,064709	80
Slice 2	13,018535	589,87105	0	-88,792085	-49,827794	80

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Interventi Di Sistemazione Dei Versanti

Slice 3	13,554904	587,10833	0	-44,680377	-25,073458	80
Slice 4	14,492071	583,32499	0	8,8512279	4,9670775	80
Slice 5	15,429239	580,59735	0	41,311952	23,183186	80
Slice 6	16,366406	578,36359	0	64,271804	36,067654	80
Slice 7	17,303574	576,44126	0	81,978056	46,00394	80
Slice 8	18,240741	574,74115	0	96,545974	54,179074	80
Slice 9	19,177909	573,21132	0	109,1859	61,272267	80
Slice 10	20,115076	571,81821	0	120,65387	67,707793	80
Slice 11	21,052244	570,53863	0	131,45225	73,767565	80
Slice 12	21,989411	569,35574	0	141,92889	79,646778	80
Slice 13	22,926579	568,25681	0	152,32857	85,482809	80
Slice 14	23,863746	567,23198	0	162,82	91,370323	80
Slice 15	24,746463	566,32575	0	172,22688	96,649219	80
Slice 16	25,574728	565,52574	0	180,45424	101,2662	80
Slice 17	26,402992	564,76904	0	188,77518	105,93569	80
Slice 18	27,231257	564,0525	0	197,13765	110,62849	80
Slice 19	27,721145	563,64213	0	202,13127	113,43078	80
Slice 20	28,1648	563,28874	0	198,56963	111,43208	80

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Interventi Di Sistemazione Dei Versanti

Slice 21	29,023735	562,62862	0	209,69225	117,6738	80
Slice 22	30,005805	561,91387	0	211,34731	118,60258	80
Slice 23	30,987875	561,24232	0	216,64403	121,57496	80
Slice 24	31,956127	560,6198	0	217,30373	121,94516	80
Slice 25	32,91056	560,04311	0	212,58445	119,29683	80
Slice 26	33,864993	559,50106	0	205,10775	115,1011	80
Slice 27	34,806285	558,99867	0	189,43059	106,30349	80
Slice 28	35,734435	558,53375	0	164,96344	92,573163	80
Slice 29	36,556422	558,14475	0	147,8723	82,982064	80
Slice 30	37,272247	557,82516	0	139,72276	78,408757	80
Slice 31	38,099629	557,47738	0	111,3731	62,499668	80
Slice 32	39,038568	557,10656	0	61,61135	34,574677	80
Slice 33	39,977507	556,76212	0	9,3818756	5,264863	80

Slope Stability

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

File Information

Title: [Asse5_Sez 2](#)

Created By: [Seghetta Marco](#)

Revision Number: [83](#)

Last Edited By: [Seghetta Marco](#)

Date: [31/07/2019](#)

Time: [10:25:23](#)

File Name: [Imbocco N Guinza_SLV M1+R2.gsz](#)

Directory: [Z:\Ingeos\PROGETTI\LO702M_Galleria Guinza-](#)

[Cunicolo_Materiale_lavoro_per_consegna_28_giugno\Muri e ritombamenti\PE\Stab glob\](#)

Last Solved Date: [31/07/2019](#)

Last Solved Time: [10:25:44](#)

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](#)

Relazione Interventi Di Sistemazione Dei Versanti

Lambda 11: 1

PWP Conditions Source: (none)

Slip Surface

Direction of movement: Left to Right

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

Flysch Marnoso Arenaceo FMA

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 21 kN/m³

Cohesion': 100 kPa

Phi': 35 °

Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Range

Left-Zone Left Coordinate: (12.79862, 591.8075) m

Left-Zone Right Coordinate: (28.08792, 578.8688) m

Left-Zone Increment: 20

Right Projection: Range

Right-Zone Left Coordinate: (37.34956, 565.3874) m

Right-Zone Right Coordinate: (59.08461, 556.0687) m

Right-Zone Increment: 30

Radius Increments: 20

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (4.3401458, 591.76767) m

Right Coordinate: (62.024848, 556.00281) m

Surcharge Loads

Relazione Interventi Di Sistemazione Dei Versanti

Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 10 kN/m³

Direction: Vertical

Coordinates

	X (m)	Y (m)
	13,08632	591,9831
	27,7969	580,7457

Seismic Loads

Horz Seismic Load: 0,147

Vert Seismic Load: -0,073

Ignore seismic load in strength: No

Reinforcements

Reinforcement 1

Type: Nail

Outside Point: (28,5327, 578,3947) m

Inside Point: (20,80219, 573,9272) m

Slip Surface Intersection: (19.869498, 573.38819) m

Total Length: 8,9285688 m

Reinforcement Direction: 30,024 °

F of S Dependent: No

Pullout Resistance: 150 kPa

Resistance Reduction Factor: 2,2

Bond Diameter: 0,1 m

Nail Spacing: 3 m

Force Distribution: Concentrated

Tensile Capacity: 362 kN

Reduction Factor: 1,61

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Shear Option: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 7,1399833 kN/m

Max. Pullout Force: 63,749832 kN

Factored Tensile Capacity: 74,94824 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: (31,17994, 575,4489) m

Inside Point: (23,56844, 571,0032) m

Slip Surface Intersection: (22.196803, 570.20206) m

Relazione Interventi Di Sistemazione Dei Versanti

Total Length: 8,8147139 m
Reinforcement Direction: 30,288 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Concentrated
Tensile Capacity: 362 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 7,1399833 kN/m
Max. Pullout Force: 62,93691 kN
Factored Tensile Capacity: 74,94824 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: (33,19477, 572,4624) m
Inside Point: (25,36406, 567,9337) m
Slip Surface Intersection: (24.564977, 567.47157) m
Total Length: 9,0459462 m
Reinforcement Direction: 30,042 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 3 m
Force Distribution: Concentrated
Tensile Capacity: 362 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Shear Option: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 7,1399833 kN/m
Max. Pullout Force: 64,587905 kN
Factored Tensile Capacity: 74,94824 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m

Relazione Interventi Di Sistemazione Dei Versanti

Governing Component: (none)

Reinforcement 4

Type: Nail

Outside Point: (34,82067, 569,6183) m

Inside Point: (27,02624, 565,0825) m

Slip Surface Intersection: (27.003584, 565.06932) m

Total Length: 9,0181273 m

Reinforcement Direction: 30,196 °

F of S Dependent: No

Pullout Resistance: 150 kPa

Resistance Reduction Factor: 2,2

Bond Diameter: 0,1 m

Nail Spacing: 3 m

Force Distribution: Concentrated

Tensile Capacity: 362 kN

Reduction Factor: 1,61

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Shear Option: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 7,1399833 kN/m

Max. Pullout Force: 64,389279 kN

Factored Tensile Capacity: 74,94824 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: (36,19851, 566,5384) m

Inside Point: (28,36083, 562,1221) m

Slip Surface Intersection: (29.6395, 562.84259) m

Total Length: 8,9962733 m

Reinforcement Direction: 29,4 °

F of S Dependent: No

Pullout Resistance: 150 kPa

Resistance Reduction Factor: 2,2

Bond Diameter: 0,1 m

Nail Spacing: 3 m

Force Distribution: Concentrated

Tensile Capacity: 362 kN

Reduction Factor: 1,61

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Shear Option: Parallel to Slip

Relazione Interventi Di Sistemazione Dei Versanti

Factored Pullout Resistance: 7,1399833 kN/m
 Max. Pullout Force: 64,233241 kN
 Factored Tensile Capacity: 74,94824 kN
 Pullout Force: 10,479266 kN
 Pullout Force per Length: 7,1399833 kN/m
 Available Length: 1,4676878 m
 Required Length: 1,4676878 m
 Governing Component: Pullout Resistance

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	0,12005	591,7478
Point 2	12,95075	591,8082
Point 3	24,33233	582,872
Point 4	28,5327	578,3947
Point 5	31,47891	575,1162
Point 6	34,34221	570,6878
Point 7	36,19851	566,5384
Point 8	37,63016	565,1068
Point 9	40,48375	556,4853
Point 10	64,03873	555,9577
Point 11	64,35405	541,1798
Point 12	0,02948	540,9986
Point 13	27,64539	579,3405

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Flysch Marnoso Arenaceo FMA	1,2,3,13,4,5,6,7,8,9,10,11,12	2.042,9

Current Slip Surface

Slip Surface: 227
 F of S: 1.522
 F of S Rank: 1
 Exit: (40,446977, 556,5964) m
 Entry: (12,79862, 591,80748) m
 Radius: 45,026387 m
 Center: (57,350137, 598,32959) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Interventi Di Sistemazione Dei Versanti

Slice 1	12,874685	591,32454	0	-101,57234	-71,121719	100
Slice 2	13,018535	590,45976	0	-89,583321	-62,726916	100
Slice 3	13,554904	588,07642	0	-56,808373	-39,777651	100
Slice 4	14,492071	584,61102	0	-13,009906	-9,1096342	100
Slice 5	15,429239	581,948	0	15,983097	11,191485	100
Slice 6	16,366406	579,71709	0	36,947602	25,870989	100
Slice 7	17,303574	577,77246	0	53,01702	37,122917	100
Slice 8	18,240741	576,03754	0	65,95199	46,180081	100
Slice 9	19,177909	574,46591	0	76,850146	53,811051	100
Slice 10	20,115076	573,02681	0	86,443014	60,52805	100
Slice 11	21,052244	571,69857	0	95,241082	66,688524	100
Slice 12	21,989411	570,46525	0	103,61242	72,550198	100
Slice 13	22,926579	569,31467	0	111,82829	78,303011	100
Slice 14	23,863746	568,2373	0	120,09047	84,088251	100
Slice 15	24,746463	567,28099	0	127,63987	89,374397	100
Slice 16	25,574728	566,43355	0	134,46461	94,153136	100
Slice 17	26,402992	565,62906	0	141,50351	99,081822	100
Slice 18	27,231257	564,86441	0	148,74994	104,15583	100
Slice 19	27,721145	564,42548	0	153,16158	107,24489	100
Slice 20	28,1648	564,04609	0	147,22039	103,08483	100
Slice 21	29,023735	563,33542	0	152,76678	106,96845	100
Slice 22	30,005805	562,56255	0	166,25943	116,4161	100

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione Interventi Di Sistemazione Dei Versanti

Slice 23	30,987875	561,83247	0	163,81858	114,707	100
Slice 24	31,956127	561,15183	0	165,72051	116,03875	100
Slice 25	32,91056	560,51742	0	163,52395	114,5007	100
Slice 26	33,864993	559,91721	0	159,26412	111,51794	100
Slice 27	34,806285	559,357	0	148,30334	103,84311	100
Slice 28	35,734435	558,83456	0	129,84507	90,918496	100
Slice 29	36,556422	558,39421	0	117,07766	81,978661	100
Slice 30	37,272247	558,02954	0	111,55521	78,111802	100
Slice 31	38,099629	557,62917	0	88,792447	62,173141	100
Slice 32	39,038568	557,19812	0	46,875322	32,822454	100
Slice 33	39,977507	556,79276	0	1,3841896	0,96921998	100