

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 MINORI

Muro su pali

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

CODICE PROGETTO			NOME FILE			REVISIONE	
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00OM01GETRE02B				
L	O	7	0	2	M	D	1
1	8	0	1	CODICE ELAB.			T
0	0	1	G	E	T	R	E
0	2	0	0	1	G	E	T
2	M	D	1	8	0	1	B
D							
C							
B	AGGIORNAMENTO			Luglio 2019			
A	EMISSIONE			Giugno 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	8
5.3 METODI DI ANALISI E CODICE DI CALCOLO	11
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	39

1. PREMESSA

Il presente documento analizza il consolidamento con soil nailing che verrà realizzato nell'ambito dei lavori ascrivibili alla realizzazione dell'imbocco lato Umbria 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 pareti chiodate con barre di ancoraggio passive + rivestimento in geocomposito metallico e si configura come una sistemazione a carattere definitivo degli sbancamenti da eseguire per l'adeguamento della viabilità posta a servizio del sito.

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

L'esecuzione della chiodatura sugli scavi è a carattere definitivo e necessaria per realizzare l'adeguamento della rete viaria esistente in una zona posta in prossimità dell'imbocco lato Umbria della galleria Guinza.

Segnatamente, gli scavi chiodati vengono eseguiti per consentire l'allargamento verso monte della viabilità di accesso al sito, costituita dalla SP200, che borda sul lato est il piazzale antistante l'imbocco.

L'impiego della parete chiodata è prevista su un fronte di sviluppo longitudinale pari a ca 35m.

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

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

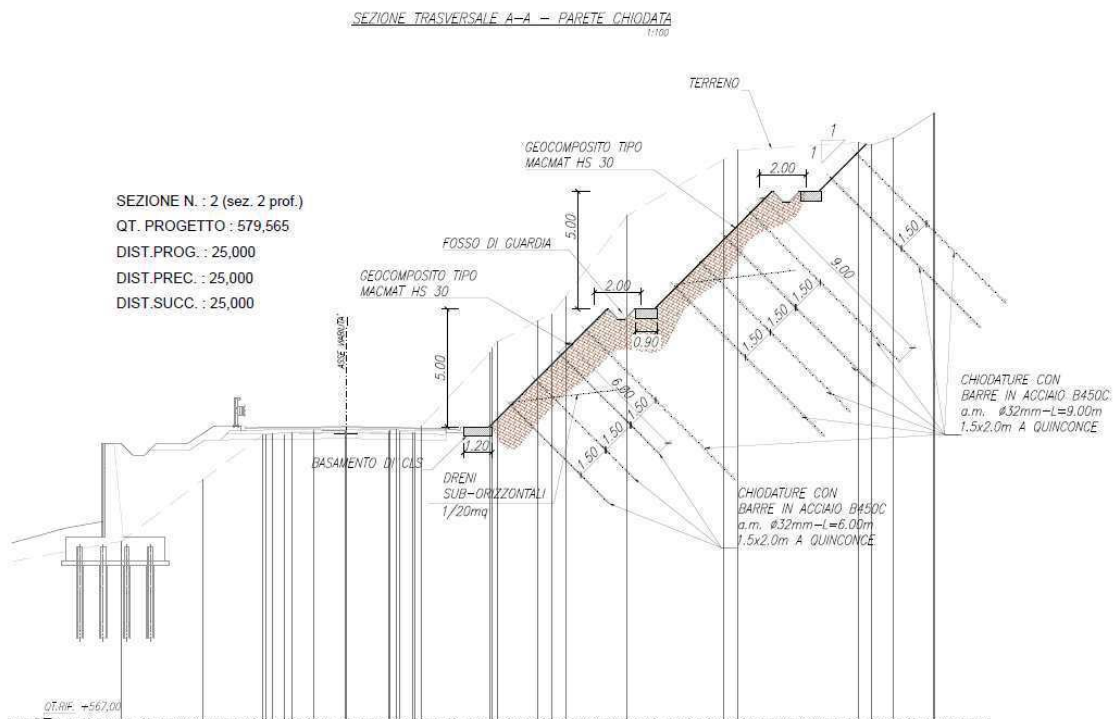


Figura 4.1 – Sezione tipologica.

Le lavorazioni di messa in sicurezza del tratto interessato dall'intervento 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 a quinconce ad interasse 1.5 m (h) x 2.0m (v), di lunghezza variabile fra 6.0m e 9.0m, alloggiate e intasate con malta cementizia C25/30 su tutta la lunghezza all'interno di perfori di diametro $\phi = 100mm$.

La parete chiodata viene profilata con pendenza di 45° sull'orizzontale, dotata di berme di ampiezza pari a 2m, eseguite con funzione rompitratta al più ogni 5m circa di altezza della banca.

Le massime altezze di scavo chiodato da sostenere risultano pari a circa 12.0m.

Gli scavi saranno rivestiti con un geocomposito metallico tipo MACMAT HS 30, composto da una rete a doppia torsione con maglia tipo 8x10cm, e filo del diametro pari a 2.7 mm, rivestito in GALMAC (lega eutettica Zn-Al al 5%), intessuta con funi di acciaio ad anima metallica aventi un diametro di 8mm con una spaziatura di 30cm ed accoppiata in fase di produzione ad una geostuoia antierosiva tridimensionale in filamenti di polipropilene. Il geocomposito evita i fenomeni di instabilizzazione e distacco di detrito tra due chiodi adiacenti e favorisce la rivegetalizzazione del fronte tramite la geostuoia, che attenua l'azione erosiva superficiale degli agenti meteorologici e previene il dilavamento delle sementi utilizzate per il rinverdimento della scarpata.

L'intervento è completato dall'installazione di dreni suborizzontali atti a deprimere eventuali sovrappressioni neutre destatesi in corrispondenza dell'opera.

Essi hanno lunghezza pari a 8m (6m di tratto finestrato captante più 2m cieco di convogliamento oltre il fronte di scavo), inclinati di 5° verso l'alto, disposti su n.2 file (densità 1dreno/20mq).

La fasizzazione dell'opera in oggetto prevede uno scavo d'approccio 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 gravità. Lo scavo procede quindi per successivi ribassi alle quota prevista per i successivi ordini di chiodatura, fino al raggiungimento della quota di fondo scavo. Segue installazione del rivestimento corticale della rete ed esecuzione della fune di monte: 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. Vengono posizionate le piastre in acciaio sugli ancoraggi di monte e serrate con dado apposito. Si opera fino a risvoltare il rivestimento intorno al cavo di base. Infine si realizza il posizionamento delle piastre in acciaio sugli ancoraggi intermedi e al piede e serraggio con dado apposito. Le piastre servono a far rimanere il rivestimento aderente al terreno per il maggior tempo possibile.

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 scavo chiodato (m)	Pendenza scavo chiodato (°)	Ordine di chiodatura (-)	Diametro perforo (mm)	Diametro barra (mm)	Lunghezza Chiodi (m)	Maglia chiodatura (m x m)
12.1 (2 banche h=5.0m+1 banca h=2.1m); 2 berme L=2.0m	45	I	100	32	9.0	1.5 (h) x 2.0 (v)
		II			9.0	
		III			9.0	
		IV			9.0	
		V			9.0	
		VI			9.0	
		VII			9.0	
		VIII			9.0	
		IX			9.0	
		X			6.0	
		XI			6.0	
		XII			6.0	

Tabella 4.1 – Parete chiodata: caratteristiche dei tratti di 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 del fronte di scavo chiodato, inclinazione della scarpata sottesa), delle caratteristiche stratigrafiche (spessore e tipologia delle formazioni) e delle condizioni idrauliche (profondità della falda).

Tenuto conto della sostanziale costanza dell'inclinazione della scarpata sottesa, del modello stratigrafico, meccanico e idraulico ipotizzato, l'elemento di maggior criticità è risultato l'altezza dello scavo da sostenere.

Le analisi di dimensionamento della terra rinforzata, dunque, sono state effettuate riferendosi alla sezione caratterizzata dalla massima altezza H dell'opera, pari a 12.1m.

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:

- VERIFICHE STATICHE SLU;
- 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_{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 ($804mm^2$);

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;

$\tau_{sk} = \text{Min} \left\{ \frac{\tau_{s,media}}{\xi_3}; \frac{\tau_{s,minima}}{\xi_4} \right\}$ = 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:

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

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.

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 – γ_F				PROPRIETÀ TERRENO - γ_M			RESISTENZE – γ_R
	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 (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):

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

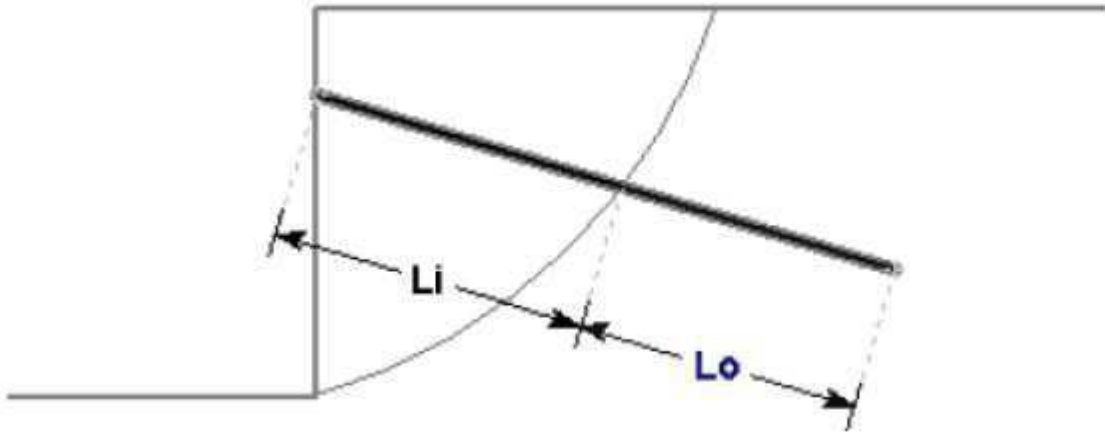


Figura 5.1 - Lunghezza del chiodo all'interno (Li) e all'esterno (Lo) della superficie di scorrimento.

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:

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

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

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 $S = S_s \cdot S_T$;
- o $a_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$;
- o β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
- 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.

I muri in c.a. su micropali dell'Asse 5, posti a valle della S.P. 200, vengono modellati come materiale "High Strength", non attraversabile dalle superfici di scivolamento. I micropali di fondazione non vengono modellati, in quanto ininfluenti ai fini delle verifiche in oggetto.

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

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 (°)
Rilevato RIL		19.0	Mohr Coulomb	0	29.3	0	35
Muri C28/35		25.0	High Strength	-			

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 FLY		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'involuppo di rottura di picco particolarmente marcata, per cui la linearizzazione dell'involuppo 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 5.2 viene schematizzata la stratigrafia di calcolo adottata nelle analisi, in cui vengono visualizzati i valori caratteristici X_k dei parametri geotecniche.

Per i terreni originari in posto si è assunto un modello stratigrafico costituito sin dalla superficie dal substrato flyschoidale, come accertato dai numerosi sopralluoghi condotti nel sito in cui sorgerà la chiodatura.

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'I (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 5.3) 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.

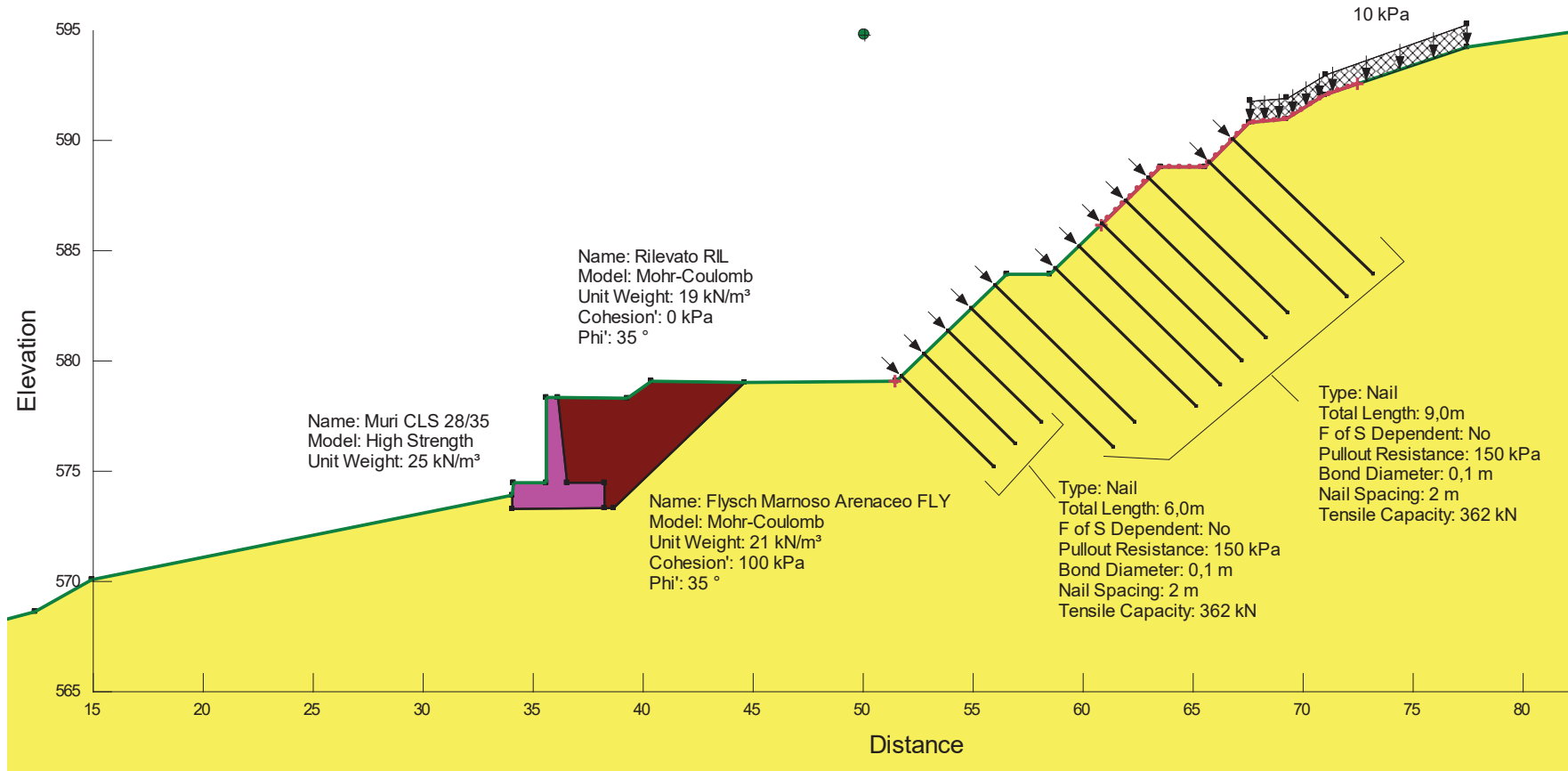


Figura 5.2 – Stratigrafia di progetto.

Abaco per il calcolo di s per rocce alterate e fratturate

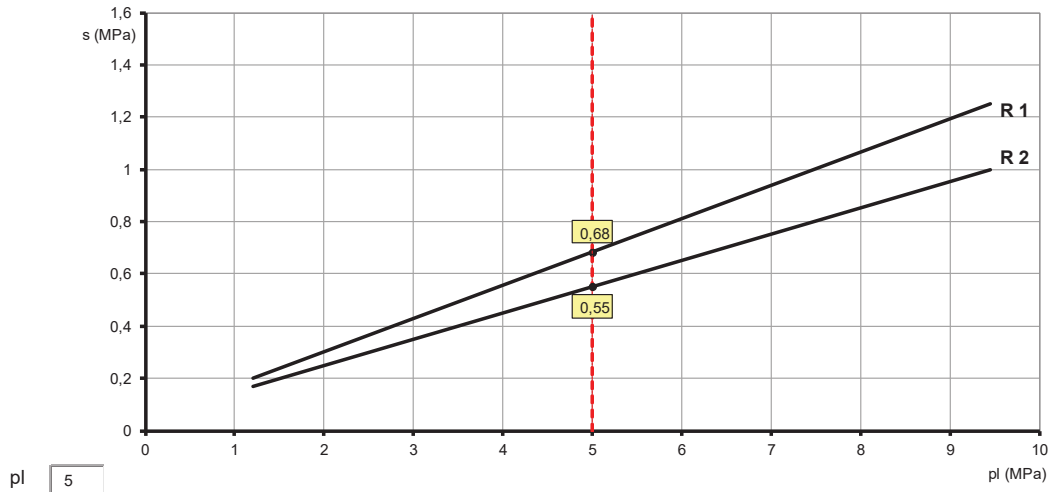


Figura 5.3 – Valori di resistenza tangenziale limite $s (= \tau_{lim})$ per marne, formazioni marnoso-calcaree e calcareo-marnose (Bustamante e Doix, 1985).

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 $\tau_{lim} = 150 \text{ kPa}$.

5.6 SUPERFICIE PIEZOMETRICA

Come dettagliato in sede di “Relazione Geotecnica”, la superficie piezometrica non interviene nel “volume significativo” di sottosuolo interagente con le opere e, dunque, non viene modellata.

5.7 CARICHI

Le verifiche includono la possibile presenza di carichi accidentali in testa all’opera, schematizzati attraverso un sovraccarico distribuito di valore caratteristico $\Delta q_k = 10 \text{ kPa}$.

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	10	Variabile	13	2

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.

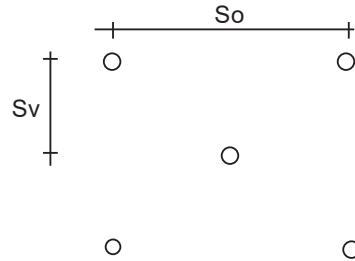
5.8 RISULTATI DELLE ANALISI

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

In Figura 5.4 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 = 2 (m)
 So = spaziatura orizzontale = 1,5 (m)
 D = Diametro del tondino = 3,2 (cm)
 A = Area del tondino = 8,04 (cmq)
 Ds = Diametro della Perforazione 0,1 (m)
 Tipo di acciaio
 fyk = Tensione di snervamento dell'acciaio 450 (MPa)



γ_s = coefficiente parziale acciaio 1,15
 Classe di resistenza malta
 fck = resistenza caratteristica della malta 25
 γ_c = coefficiente parziale malta 1,5
 α_{cc} = coeff. Riduttivo resistenze lunga durata 0,85
 fcd = resistenza di progetto della malta 14,2
 fctm = resistenza media a trazione malta 2,56
 fctk = resistenza caratt. a trazione malta 1,80

Forza limite di taglio del singolo chiodo

$T = f_{yk} \cdot A / \gamma_s$ $T =$ (kN)

Lunghezza di ancoraggio della barra

coefficienti parziali		Terreno
Metodo di calcolo		γ_R
Stato limite ultimo chiodi Temporanei	<input type="radio"/>	1,10
Stato limite ultimo chiodi Permanenti	<input checked="" type="radio"/>	1,20
Tensioni ammissibili	<input type="radio"/>	2,50
altro	<input type="radio"/>	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

$$L_{s \text{ min}} = T / (\pi * D_s * \tau_{s,d})$$

$$\tau_{s \text{ med}} = \text{tensione di adesione media} = 0,50$$

$$\tau_{s \text{ min}} = \text{tensione di adesione minima} = 0,50 \quad (\text{MPa})$$

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

$$\tau_{s,d} = \text{tensione di adesione di calcolo} = 0,23$$

$$L_{s \text{ min}} = \boxed{4,33} \text{ (m)}$$

Verifica allo sfilamento della barra

$$N_{\text{lim}} = \pi * D * f_{bd} * L_{\text{min}}$$

$$\eta = 1$$

$$L_{\text{min}} = \text{lunghezza di ancoraggio} = 4,33 \text{ (m)}$$

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

$$N_{\text{lim}} = \boxed{1171,68} \text{ (kN)} \quad \mathbf{N_{\text{lim}} > T}$$

Figura 5.4 – Chiodature: lunghezza minima di ancoraggio e sfilamento al contatto barra-malta.

Risulta:

$$L_{s,\text{min}} = 4,33\text{m};$$

$$N_{\text{lim}} = 1172\text{kN} > E_d = T = 315\text{kN}.$$

Dunque, anche per una lunghezza $L_{s,\text{min}} = 4,33\text{m}$, la verifica a sfilamento all'interfaccia malta-terreno risulta soddisfatta.

Per i chiodi si è assunta lunghezza di progetto minima $L_s = \underline{6.0m}$ (cfr. Tabella 4.1 di pag.7).

Risulta, dunque:

$$R_{a,d} = \tau_{sd} \times \pi \times D_s \times L_s = 230kPa \times \pi \times 0.1m \times 6.0m = 433kN > E_d = T = 315kN.$$

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	3.932	1.1	ok
Sismica SLV M1+R2	4.147	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.

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

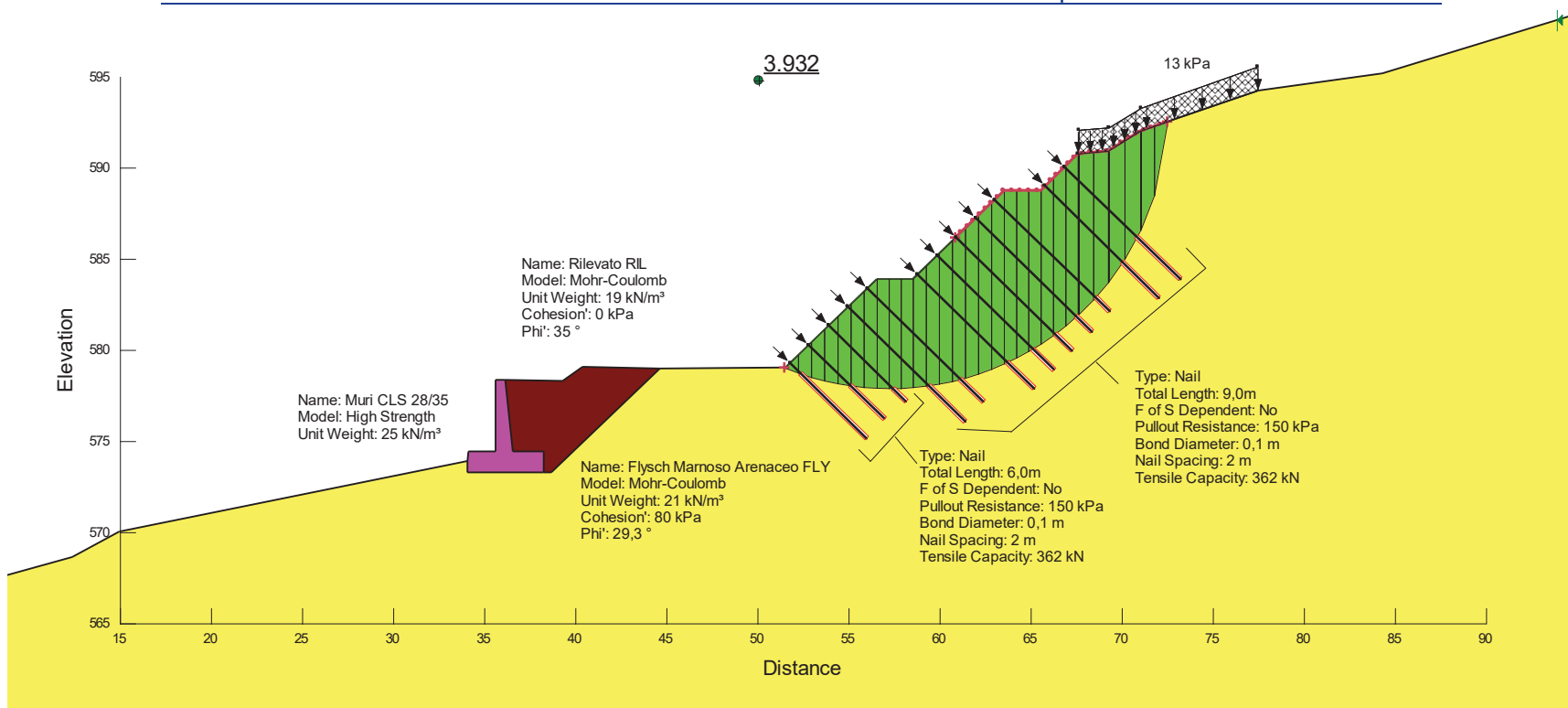


Figura 5.5 – Parete chiodata, verifica statica SLU A2+M2+R2.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

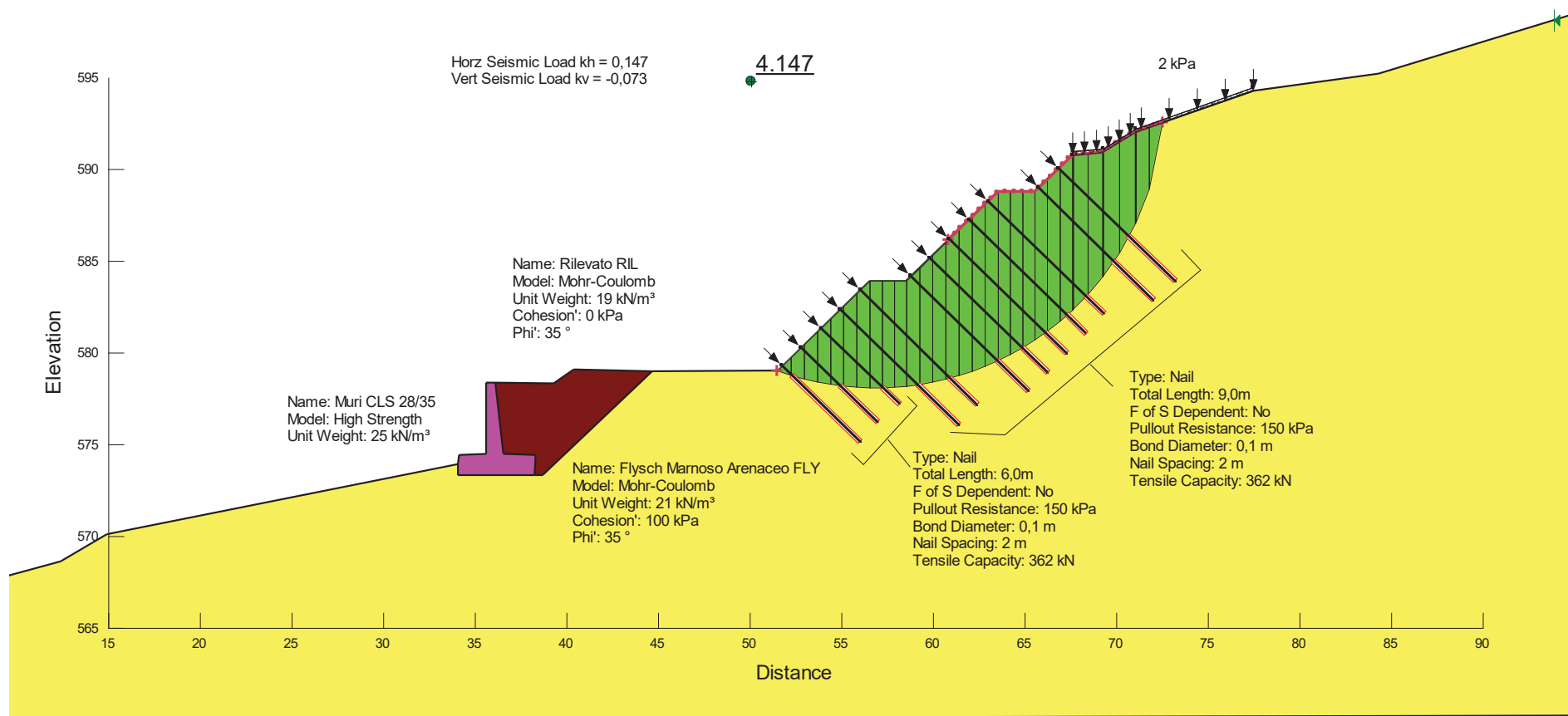


Figura 5.6 – Parete chiodata, verifica sismica SLV M1+R2.

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: 58

Last Edited By: [Seghetta Marco](#)

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

Time: [16:09:26](#)

File Name: [Asse 5_Seiz 2_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: [16:09:27](#)

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 di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

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
Rilevato RIL
Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion': 0 kPa
Phi': 35 °
Phi-B: 0 °
Muri CLS 28/35
Model: High Strength
Unit Weight: 25 kN/m³
Flysch Marnoso Arenaceo FLY
Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m³
Cohesion': 80 kPa
Phi': 29,3 °
Phi-B: 0 °
Slip Surface Entry and Exit
Left Projection: Point
Left Coordinate: (51.46786, 579.03613) m
Left-Zone Increment: 20
Right Projection: Range

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

Right-Zone Left Coordinate: (60.8422, 586.14585) m
 Right-Zone Right Coordinate: (72.51028, 592.52431) m
 Right-Zone Increment: 30
 Radius Increments: 20
 Slip Surface Limits
 Left Coordinate: (1.0427841, 566.57934) m
 Right Coordinate: (93.886852, 598.1037) m
 Surcharge Loads
 Surcharge Load 1
 Surcharge (Unit Weight): 10 kN/m³
 Direction: Vertical
 Coordinates

	X (m)	Y (m)
	67,59543	590,77894
	67,63962	592,07464
	69,28797	592,21383
	71,06087	593,28343
	77,45647	595,54716

Reinforcements
 Reinforcement 1
 Type: Nail
 Outside Point: (51,77518, 579,28709) m
 Inside Point: (56,01166, 575,15994) m
 Slip Surface Intersection: (52.377073, 578.70073) m
 Total Length: 5,9144848 m
 Reinforcement Direction: 135,75 °
 F of S Dependent: No
 Pullout Resistance: 150 kPa
 Resistance Reduction Factor: 2,2
 Bond Diameter: 0,1 m
 Nail Spacing: 2 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: 10,709975 kN/m
 Max. Pullout Force: 63,343984 kN
 Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
 Pullout Force: 54,344459 kN
 Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
 Available Length: 5,074191 m

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

Required Length: 5,074191 m
Governing Component: Pullout Resistance
Reinforcement 2
Type: Nail
Outside Point: (52,80617, 580,2858) m
Inside Point: (56,98048, 576,22205) m
Slip Surface Intersection: (55.10097, 578.05178) m
Total Length: 5,8257127 m
Reinforcement Direction: 135,77 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 2 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: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 62,393237 kN
Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
Pullout Force: 28,092964 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 2,6230653 m
Required Length: 2,6230653 m
Governing Component: Pullout Resistance
Reinforcement 3
Type: Nail
Outside Point: (53,88561, 581,33143) m
Inside Point: (58,17893, 577,19086) m
Slip Surface Intersection: (57.439341, 577.90414) m
Total Length: 5,9646388 m
Reinforcement Direction: 136,04 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 2 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 di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

Factored Pullout Resistance: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 63,881133 kN
Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
Pullout Force: 11,004491 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 1,0274992 m
Required Length: 1,0274992 m
Governing Component: Pullout Resistance
Reinforcement 4
Type: Nail
Outside Point: (54,96551, 582,37752) m
Inside Point: (61,40869, 576,0793) m
Slip Surface Intersection: (59.389526, 578.05304) m
Total Length: 9,0101134 m
Reinforcement Direction: 135,65 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 2 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: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 96,498089 kN
Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
Pullout Force: 30,240581 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 2,8235903 m
Required Length: 2,8235903 m
Governing Component: Pullout Resistance
Reinforcement 5
Type: Nail
Outside Point: (56,01551, 583,39464) m
Inside Point: (62,41353, 577,16143) m
Slip Surface Intersection: (61.135448, 578.40659) m
Total Length: 8,9323886 m
Reinforcement Direction: 135,75 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 2 m

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

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: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 95,665659 kN
Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
Pullout Force: 19,110374 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 1,7843528 m
Required Length: 1,7843528 m
Governing Component: Pullout Resistance
Reinforcement 6
Type: Nail
Outside Point: (58,80462, 584,16177) m
Inside Point: (65,19613, 577,90539) m
Slip Surface Intersection: (63.725788, 579.34465) m
Total Length: 8,9439192 m
Reinforcement Direction: 135,61 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 2 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: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 95,789151 kN
Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
Pullout Force: 22,03592 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 2,0575137 m
Required Length: 2,0575137 m
Governing Component: Pullout Resistance
Reinforcement 7
Type: Nail
Outside Point: (59,84679, 585,17657) m
Inside Point: (66,28792, 578,91022) m
Slip Surface Intersection: (65.093126, 580.07259) m
Total Length: 8,9863952 m

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

Reinforcement Direction: 135,79 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 2 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: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 96,244067 kN
Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
Pullout Force: 17,852744 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 1,6669268 m
Required Length: 1,6669268 m
Governing Component: Pullout Resistance
Reinforcement 8
Type: Nail
Outside Point: (60,89456, 586,19683) m
Inside Point: (67,29275, 579,97302) m
Slip Surface Intersection: (66.337859, 580.90189) m
Total Length: 8,9259535 m
Reinforcement Direction: 135,79 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 2 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: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 95,596739 kN
Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
Pullout Force: 14,267234 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 1,3321445 m
Required Length: 1,3321445 m
Governing Component: Pullout Resistance

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

Reinforcement 9

Type: Nail

Outside Point: (61,96675, 587,24087) m

Inside Point: (68,35555, 581,02616) m

Slip Surface Intersection: (67.502178, 581.85628) m

Total Length: 8,9128775 m

Reinforcement Direction: 135,79 °

F of S Dependent: No

Pullout Resistance: 150 kPa

Resistance Reduction Factor: 2,2

Bond Diameter: 0,1 m

Nail Spacing: 2 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: 10,709975 kN/m

Max. Pullout Force: 95,456695 kN

Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN

Pullout Force: 12,750443 kN

Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m

Available Length: 1,1905203 m

Required Length: 1,1905203 m

Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 10

Type: Nail

Outside Point: (63,00486, 588,25172) m

Inside Point: (69,3314, 582,13727) m

Slip Surface Intersection: (68.543511, 582.89875) m

Total Length: 8,7983866 m

Reinforcement Direction: 135,98 °

F of S Dependent: No

Pullout Resistance: 150 kPa

Resistance Reduction Factor: 2,2

Bond Diameter: 0,1 m

Nail Spacing: 2 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: 10,709975 kN/m

Max. Pullout Force: 94,2305 kN

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
Pullout Force: 11,735188 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 1,0957251 m
Required Length: 1,0957251 m
Governing Component: Pullout Resistance
Reinforcement 11
Type: Nail
Outside Point: (65,77157, 589,00233) m
Inside Point: (72,03188, 582,86463) m
Slip Surface Intersection: (70.030369, 584.82694) m
Total Length: 8,7671456 m
Reinforcement Direction: 135,57 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 2 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: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 93,89591 kN
Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
Pullout Force: 30,019875 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 2,8029828 m
Required Length: 2,8029828 m
Governing Component: Pullout Resistance
Reinforcement 12
Type: Nail
Outside Point: (66,84279, 590,0458) m
Inside Point: (73,2157, 583,90894) m
Slip Surface Intersection: (70.823968, 586.21208) m
Total Length: 8,8473178 m
Reinforcement Direction: 136,08 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 2 m
Force Distribution: Concentrated
Tensile Capacity: 362 kN

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

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: 94,754552 kN
 Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
 Pullout Force: 35,561063 kN
 Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
 Available Length: 3,3203684 m
 Required Length: 3,3203684 m
 Governing Component: Pullout Resistance
 Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	0,9959	560,0074
Point 2	1,04374	566,71334
Point 3	6,73701	567,0881
Point 4	12,39838	568,61907
Point 5	14,94201	570,06232
Point 6	34,08302	573,9093
Point 7	34,07148	573,2902
Point 8	38,69362	573,29212
Point 9	44,66133	578,97565
Point 10	51,51655	579,03656
Point 11	56,54833	583,91077
Point 12	58,54	583,9041
Point 13	63,54032	588,77312
Point 14	65,54312	588,7798
Point 15	67,59543	590,77894
Point 16	69,24124	590,9366
Point 17	71,0255	592,01331
Point 18	77,45949	594,2276
Point 19	84,29141	595,19402
Point 20	95,48944	598,58966
Point 21	95,51801	560,19747
Point 22	34,11378	574,43227
Point 23	35,63655	574,4515

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

Point 24	35,64135	578,3381
Point 25	36,14072	578,33276
Point 26	36,55196	574,44466
Point 27	38,29573	574,43131
Point 28	38,28772	573,29195
Point 29	39,30119	578,30379
Point 30	40,40404	579,06517
Point 31	15	602
Point 32	21	602

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Flysch Marnoso Arenaceo FLY	1,2,3,4,5,6,7,28,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	1.992,2
Region 2	Muri CLS 28/35	6,22,23,24,25,26,27,28,7	7,5862
Region 3	Rilevato RIL	25,29,30,9,8,28,27,26	25,993

Current Slip Surface

Slip Surface: 651

F of S: 3.932

F of S Rank: 1

Exit: (51,46786, 579,03613) m

Entry: (72,510282, 592,52431) m

Radius: 15,274772 m

Center: (57,249353, 593,17448) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
Slice 1	51,492205	579,02622	0	9,0644364	5,0867245	80
Slice 2	51,875963	578,8812	0	20,369562	11,430865	80
Slice 3	52,594789	578,63105	0	103,06711	57,838564	80

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

Slice 4	53,313614	578,42015	0	66,386869	37,254573	80
Slice 5	54,03244	578,24682	0	86,748778	48,681144	80
Slice 6	54,751266	578,10977	0	139,52507	78,297818	80
Slice 7	55,470091	578,00801	0	124,31519	69,76243	80
Slice 8	56,188917	577,94082	0	139,94236	78,531989	80
Slice 9	56,880275	577,90778	0	146,13975	82,009805	80
Slice 10	57,544165	577,90616	0	157,97957	88,654	80
Slice 11	58,208055	577,93345	0	139,46752	78,265522	80
Slice 12	58,897166	577,9931	0	141,33102	79,311267	80
Slice 13	59,611497	578,08779	0	185,66947	104,19285	80
Slice 14	60,325829	578,21717	0	154,97038	86,965323	80
Slice 15	61,04016	578,38217	0	182,03563	102,15363	80
Slice 16	61,754491	578,58398	0	162,80871	91,363985	80
Slice 17	62,468823	578,82417	0	165,04553	92,619231	80
Slice 18	63,183154	579,10471	0	166,40779	93,383694	80
Slice 19	63,87412	579,41607	0	186,55287	104,68859	80
Slice 20	64,54172	579,75823	0	149,6273	83,966925	80
Slice 21	65,20932	580,14357	0	157,45713	88,360821	80

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

Slice 22	65,885172	580,58205	0	131,62927	73,866904	80
Slice 23	66,569275	581,08021	0	144,5855	81,137599	80
Slice 24	67,253378	581,64048	0	140,55468	78,875608	80
Slice 25	67,617525	581,95758	0	131,6249	73,864447	80
Slice 26	68,040025	582,3782	0	128,31854	72,009004	80
Slice 27	68,840835	583,24587	0	120,62811	67,693337	80
Slice 28	69,264605	583,7431	0	102,54411	57,545073	80
Slice 29	69,722353	584,38961	0	114,15073	64,058401	80
Slice 30	70,591117	585,79131	0	96,569427	54,192235	80
Slice 31	71,043185	586,61345	0	61,73118	34,641923	80
Slice 32	71,423223	587,56644	0	42,802027	24,019377	80
Slice 33	72,147929	590,50328	0	-30,69051	-17,222711	80

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: [61](#)
Last Edited By: [Seghetta Marco](#)
Date: [26/06/2019](#)
Time: [12:55:41](#)
File Name: [Asse 5_Seiz 2_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: [26/06/2019](#)
Last Solved Time: [12:55:42](#)

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](#)

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

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: 0,001

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

Rilevato RIL

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 0 kPa

Phi': 35 °

Phi-B: 0 °

Muri CLS 28/35

Model: High Strength

Unit Weight: 25 kN/m³

Flysch Marnoso Arenaceo FLY

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 21 kN/m³

Cohesion': 100 kPa

Phi': 35 °

Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Projection: Point

Left Coordinate: (51.46786, 579.03613) m

Left-Zone Increment: 20

Right Projection: Range

Right-Zone Left Coordinate: (60.8422, 586.14585) m

Right-Zone Right Coordinate: (72.51028, 592.52431) m

Right-Zone Increment: 30

Radius Increments: 20

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (1.0427841, 566.57934) m

Right Coordinate: (93.886852, 598.1037) m

Surcharge Loads

Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 10 kN/m³

Direction: Vertical

Coordinates

	X (m)	Y (m)
	67,59543	590,77894
	67,63962	590,97464
	69,28797	591,11383
	71,06087	592,18343
	77,45647	594,44716

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: (51,77518, 579,28709) m

Inside Point: (56,01166, 575,15994) m

Slip Surface Intersection: (52.321609, 578.75476) m

Total Length: 5,9144848 m

Reinforcement Direction: 135,75 °

F of S Dependent: No

Pullout Resistance: 150 kPa

Resistance Reduction Factor: 2,2

Bond Diameter: 0,1 m

Nail Spacing: 2 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: 10,709975 kN/m

Max. Pullout Force: 63,343984 kN

Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN

Pullout Force: 55,173767 kN

Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

Available Length: 5,1516242 m
Required Length: 5,1516242 m
Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 2

Type: Nail
Outside Point: (52,80617, 580,2858) m
Inside Point: (56,98048, 576,22205) m
Slip Surface Intersection: (54.941676, 578.20685) m
Total Length: 5,8257127 m
Reinforcement Direction: 135,77 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 2 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: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 62,393237 kN
Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
Pullout Force: 30,473917 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 2,845377 m
Required Length: 2,845377 m
Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 3

Type: Nail
Outside Point: (53,88561, 581,33143) m
Inside Point: (58,17893, 577,19086) m
Slip Surface Intersection: (57.242463, 578.09401) m
Total Length: 5,9646388 m
Reinforcement Direction: 136,04 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 2 m
Force Distribution: Concentrated
Tensile Capacity: 362 kN
Reduction Factor: 1,61
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

Shear Option: **Parallel to Slip**
Factored Pullout Resistance: **10,709975 kN/m**
Max. Pullout Force: **63,881133 kN**
Factored Tensile Capacity: **112,42236 kN**
Pullout Force: **13,933879 kN**
Pullout Force per Length: **10,709975 kN/m**
Available Length: **1,3010188 m**
Required Length: **1,3010188 m**
Governing Component: **Pullout Resistance**

Reinforcement 4

Type: **Nail**
Outside Point: **(54,96551, 582,37752) m**
Inside Point: **(61,40869, 576,0793) m**
Slip Surface Intersection: **(59.17401, 578.2637) m**
Total Length: **9,0101134 m**
Reinforcement Direction: **135,65 °**
F of S Dependent: **No**
Pullout Resistance: **150 kPa**
Resistance Reduction Factor: **2,2**
Bond Diameter: **0,1 m**
Nail Spacing: **2 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: **10,709975 kN/m**
Max. Pullout Force: **96,498089 kN**
Factored Tensile Capacity: **112,42236 kN**
Pullout Force: **33,468309 kN**
Pullout Force per Length: **10,709975 kN/m**
Available Length: **3,1249661 m**
Required Length: **3,1249661 m**
Governing Component: **Pullout Resistance**

Reinforcement 5

Type: **Nail**
Outside Point: **(56,01551, 583,39464) m**
Inside Point: **(62,41353, 577,16143) m**
Slip Surface Intersection: **(60.909116, 578.62709) m**
Total Length: **8,9323886 m**
Reinforcement Direction: **135,75 °**
F of S Dependent: **No**
Pullout Resistance: **150 kPa**
Resistance Reduction Factor: **2,2**
Bond Diameter: **0,1 m**

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

Nail Spacing: 2 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: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 95,665659 kN
Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
Pullout Force: 22,494579 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 2,1003391 m
Required Length: 2,1003391 m
Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 6

Type: Nail
Outside Point: (58,80462, 584,16177) m
Inside Point: (65,19613, 577,90539) m
Slip Surface Intersection: (63.498068, 579.56755) m
Total Length: 8,9439192 m
Reinforcement Direction: 135,61 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 2 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: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 95,789151 kN
Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
Pullout Force: 25,448742 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 2,376172 m
Required Length: 2,376172 m
Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 7

Type: Nail
Outside Point: (59,84679, 585,17657) m
Inside Point: (66,28792, 578,91022) m
Slip Surface Intersection: (64.868369, 580.29125) m

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

Total Length: 8,9863952 m
Reinforcement Direction: 135,79 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 2 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: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 96,244067 kN
Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
Pullout Force: 21,211089 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 1,9804984 m
Required Length: 1,9804984 m
Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 8

Type: Nail
Outside Point: (60,89456, 586,19683) m
Inside Point: (67,29275, 579,97302) m
Slip Surface Intersection: (66.115724, 581.11797) m
Total Length: 8,9259535 m
Reinforcement Direction: 135,79 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 2 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: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 95,596739 kN
Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
Pullout Force: 17,586199 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 1,6420393 m
Required Length: 1,6420393 m

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 9

Type: Nail

Outside Point: (61,96675, 587,24087) m

Inside Point: (68,35555, 581,02616) m

Slip Surface Intersection: (67.285821, 582.06674) m

Total Length: 8,9128775 m

Reinforcement Direction: 135,79 °

F of S Dependent: No

Pullout Resistance: 150 kPa

Resistance Reduction Factor: 2,2

Bond Diameter: 0,1 m

Nail Spacing: 2 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: 10,709975 kN/m

Max. Pullout Force: 95,456695 kN

Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN

Pullout Force: 15,983093 kN

Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m

Available Length: 1,4923558 m

Required Length: 1,4923558 m

Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 10

Type: Nail

Outside Point: (63,00486, 588,25172) m

Inside Point: (69,3314, 582,13727) m

Slip Surface Intersection: (68.340785, 583.09468) m

Total Length: 8,7983866 m

Reinforcement Direction: 135,98 °

F of S Dependent: No

Pullout Resistance: 150 kPa

Resistance Reduction Factor: 2,2

Bond Diameter: 0,1 m

Nail Spacing: 2 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: 10,709975 kN/m

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

Max. Pullout Force: 94,2305 kN
Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
Pullout Force: 14,754685 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 1,3776582 m
Required Length: 1,3776582 m
Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 11

Type: Nail
Outside Point: (65,77157, 589,00233) m
Inside Point: (72,03188, 582,86463) m
Slip Surface Intersection: (69.847482, 585.00625) m
Total Length: 8,7671456 m
Reinforcement Direction: 135,57 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 2 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: 10,709975 kN/m
Max. Pullout Force: 93,89591 kN
Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
Pullout Force: 32,762925 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 3,0591038 m
Required Length: 3,0591038 m
Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 12

Type: Nail
Outside Point: (66,84279, 590,0458) m
Inside Point: (73,2157, 583,90894) m
Slip Surface Intersection: (70.66221, 586.36785) m
Total Length: 8,8473178 m
Reinforcement Direction: 136,08 °
F of S Dependent: No
Pullout Resistance: 150 kPa
Resistance Reduction Factor: 2,2
Bond Diameter: 0,1 m
Nail Spacing: 2 m
Force Distribution: Concentrated

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

Tensile Capacity: **362 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: **94,754552 kN**
 Factored Tensile Capacity: **112,42236 kN**
 Pullout Force: **37,966136 kN**
 Pullout Force per Length: **10,709975 kN/m**
 Available Length: **3,5449323 m**
 Required Length: **3,5449323 m**
 Governing Component: **Pullout Resistance**

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	0,9959	560,0074
Point 2	1,04374	566,71334
Point 3	6,73701	567,0881
Point 4	12,39838	568,61907
Point 5	14,94201	570,06232
Point 6	34,08302	573,9093
Point 7	34,07148	573,2902
Point 8	38,69362	573,29212
Point 9	44,66133	578,97565
Point 10	51,51655	579,03656
Point 11	56,54833	583,91077
Point 12	58,54	583,9041
Point 13	63,54032	588,77312
Point 14	65,54312	588,7798
Point 15	67,59543	590,77894
Point 16	69,24124	590,9366
Point 17	71,0255	592,01331
Point 18	77,45949	594,2276
Point 19	84,29141	595,19402
Point 20	95,48944	598,58966
Point 21	95,51801	560,19747

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

Point 22	34,11378	574,43227
Point 23	35,63655	574,4515
Point 24	35,64135	578,3381
Point 25	36,14072	578,33276
Point 26	36,55196	574,44466
Point 27	38,29573	574,43131
Point 28	38,28772	573,29195
Point 29	39,30119	578,30379
Point 30	40,40404	579,06517
Point 31	67,63962	590,97464
Point 32	69,28797	591,11383
Point 33	71,06087	592,18343
Point 34	77,45647	594,44716
Point 35	15	602
Point 36	21	602

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Flysch Marnoso Arenaceo FLY	1,2,3,4,5,6,7,28,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21	1.992,2
Region 2	Muri CLS 28/35	6,22,23,24,25,26,27,28,7	7,5862
Region 3	Rilevato RIL	25,29,30,9,8,28,27,26	25,993

Current Slip Surface

Slip Surface: 650

F of S: 4.147

F of S Rank: 1

Exit: (51,46786, 579,03613) m

Entry: (72,510282, 592,52431) m

Radius: 15,719138 m

Center: (56,843604, 593,80747) m

Slip Slices

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

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

Slice 1	51,492205	579,02731	0	9,6004365	6,722298	100
Slice 2	51,875963	578,89874	0	20,676291	14,477695	100
Slice 3	52,594789	578,67805	0	108,42359	75,919018	100
Slice 4	53,313614	578,49426	0	68,197174	47,752175	100
Slice 5	54,03244	578,34606	0	87,882647	61,536092	100
Slice 6	54,751266	578,23243	0	147,51302	103,28973	100
Slice 7	55,470091	578,15262	0	123,41707	86,417565	100
Slice 8	56,188917	578,1061	0	136,29621	95,435635	100
Slice 9	56,880275	578,09188	0	139,9098	97,965897	100
Slice 10	57,544165	578,10747	0	156,8256	109,81047	100
Slice 11	58,208055	578,15121	0	129,34905	90,571177	100
Slice 12	58,897166	578,22722	0	176,04135	123,26548	100
Slice 13	59,611497	578,3382	0	131,6997	92,217122	100
Slice 14	60,325829	578,48327	0	133,16364	93,242182	100
Slice 15	61,04016	578,6634	0	163,80824	114,69976	100
Slice 16	61,754491	578,87988	0	133,13218	93,220157	100
Slice 17	62,468823	579,1343	0	132,09031	92,490634	100
Slice 18	63,183154	579,4287	0	161,76735	113,27072	100
Slice 19	63,87412	579,75316	0	124,4944	87,171914	100
Slice 20	64,54172	580,1077	0	139,59371	97,744568	100

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo consolidamento scarpata a monte della S.P.200

Slice 21	65,20932	580,5052	0	103,63244	72,564215	100
Slice 22	65,885172	580,95576	0	117,07377	81,975933	100
Slice 23	66,569275	581,46596	0	96,564777	67,615385	100
Slice 24	67,253378	582,03805	0	110,85345	77,620419	100
Slice 25	67,617525	582,36138	0	94,529162	66,190032	100
Slice 26	68,040025	582,78905	0	100,64324	70,471153	100
Slice 27	68,840835	583,66978	0	76,256692	53,395511	100
Slice 28	69,264605	584,17375	0	69,280622	48,510814	100
Slice 29	69,722353	584,8268	0	84,044713	58,848742	100
Slice 30	70,591117	586,23872	0	69,711854	48,812766	100
Slice 31	71,043185	587,06496	0	36,642774	25,657547	100
Slice 32	71,423223	588,0141	0	20,316374	14,225678	100
Slice 33	72,147929	590,72515	0	-40,179934	-28,134293	100