

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

Nuovo Tombino Scatolare lato Umbria

Relazione di calcolo scavi provvisionali

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	T00TM01GETRE01B		
L O 7 0 2 M	D	1 8 0 1	CODICE ELAB. T 0 0 T M 0 1 G E T R E 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
4.1 SCAVI APERTI A 45°	6
4.2 SCAVI CHIODATI A 60°.....	6
5. CALCOLI DI DIMENSIONAMENTO	9
5.1 SEZIONI DI VERIFICA.....	9
5.2 APPROCCIO NORMATIVO	10
5.3 METODI DI ANALISI E CODICE DI CALCOLO	13
5.4 AZIONI SISMICHE	15
5.5 MODELLO GEOTECNICO	15
5.6 SUPERFICIE PIEZOMETRICA.....	21
5.7 CARICHI.....	21
5.8 RISULTATI DELLE ANALISI	22
5.8.1 Sfilamento barra al contatto malta-terreno e al contatto malta-barra	22
5.8.2 Stabilità globale	25
ALLEGATO DI CALCOLO	28
SCAVI APERTI A 45°, VERIFICA STATICA SLU A2+M2+R2	28
SCAVI CHIODATI A 60°, VERIFICA STATICA SLU A2+M2+R2.....	33

1. PREMESSA

Il presente documento analizza le condizioni di sicurezza degli scavi provvisionali previsti nell'ambito dei lavori di costruzione del tombino scatolare lato Umbria, opera ascrivibile al 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.

A seconda della presenza o meno di pre-esistenze attigue, gli scavi in oggetto vengono eseguiti secondo due diverse tipologie: o inclinati a 45°, protetti solo con spritz-beton proiettato armato con doppio strato di rete elettrosaldata, oppure a 60°, consolidando il profilo di scavo con un intervento combinato pareti chiodate con barre di ancoraggio passive e spritz-beton armato con doppio strato di rete elettrosaldata.

Le condizioni prese a riferimento per le sezioni di verifica sono quelle complessivamente più critiche per la stabilità: esse risultano rilevanti per l'intero scavo ed i risultati delle analisi, dunque, sono da intendersi applicabili ed estrapolabili per garantire condizioni di sicurezza per l'opera nel suo complesso.

Come discusso nell'ambito del documento, si evidenzia sin dalla premessa che le analisi svolte per gli scavi del tombino sono dimensionanti anche per gli scavi provvisori ricadenti nelle restanti aree di progetto (es.: scavi chiodati da effettuarsi per la costruzione dei muri lungo l'Asse 3 e l'Asse 5, ecc.), non direttamente sottoposti a verifica.

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 chiodature:
 - C25/30;
 - $A/C \leq 0.5$;
 - Additivi fluidificanti (2÷4%);
 - Massa volumica ≥ 1.8 g/cm³.
- Conglomerato cementizio spruzzato (spritz-beton):
 - C25/30;
- Acciaio rete elettrosaldato $\varnothing 12$ mm con maglia 20x20cm: B450C.

4. DESCRIZIONE DELLE OPERE

Come anticipato in Premessa, sono previsti degli interventi di protezione degli scavi provvisionali necessari per la costruzione del tombino scatolare idraulico prospiciente l'area di imbocco lato Umbria della galleria Guinza.

La Figura 4.1 fornisce l'ubicazione planimetrica dell'opera.

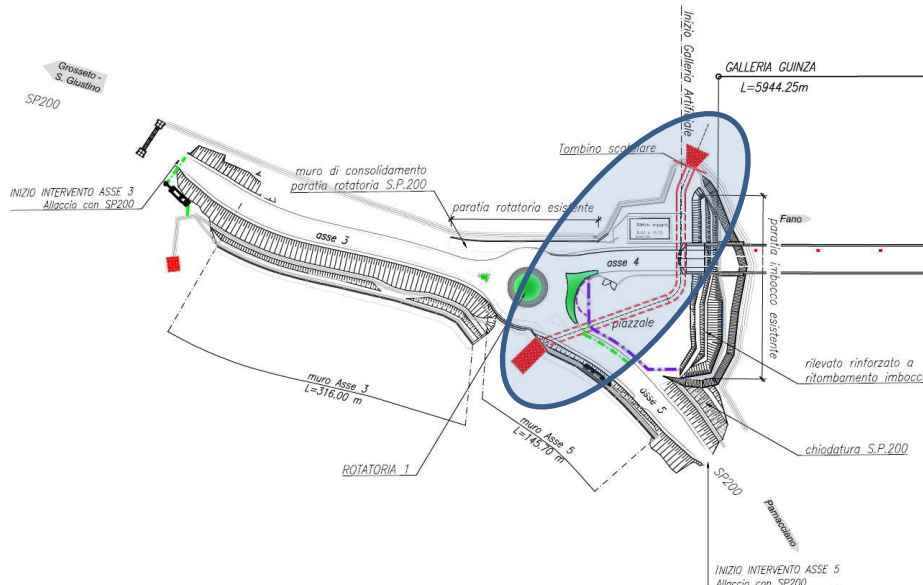


Figura 4.1 – Ubicazione tombino scatolare lato Umbria.

La Figura 4.2 riporta uno stralcio della pianta scavi, evidenziando le diverse modalità di intervento lungo lo sviluppo del tombino.



Figura 4.2 – Scavi provvisionali tombino scatolare.

Gli scavi in oggetto si configurano come interventi di natura temporanea, in attesa che, con il rinfilanco/ricoprimento finale del tombino, le spinte confluenti sulle scarpate si spengano nella risposta reattiva del terreno di riempimento.

In relazione alla presenza di flysch marnoso-arenaceo affiorante (cfr. §5.5), si prevede di eseguire lo scavo alternando l'uso del martello demolitore, nelle porzioni più tenaci e competenti dell'ammasso (tipicamente nei partimenti arenacei), a quello della benna rinforzata da roccia, per le parti più tenere.

4.1 SCAVI APERTI A 45°

Nel settore centrale e di valle, per uno sviluppo complessivo di L=90m, è possibile ricorrere a scavi aperti non sostenuti, sagomati con pendenza pari a 45°, protetti con spritz-beton proiettato (spessore 5cm+10cm) armato con doppio strato di rete elettrosaldata; durante il ribasso dello scavo, vengono eseguiti dei microdreni suborizzontali, atti all'intercettazione di eventuali accumuli di acqua immagazzinati negli strati arenacei del flysch.

Lo spritz-beton evita fenomeni di instabilizzazione e distacco di detrito dal profilo di scavo, in particolare attenuando l'azione erosiva superficiale degli agenti meteorologici.

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

La massima altezza di scavo risulta essere ca 6.0m.

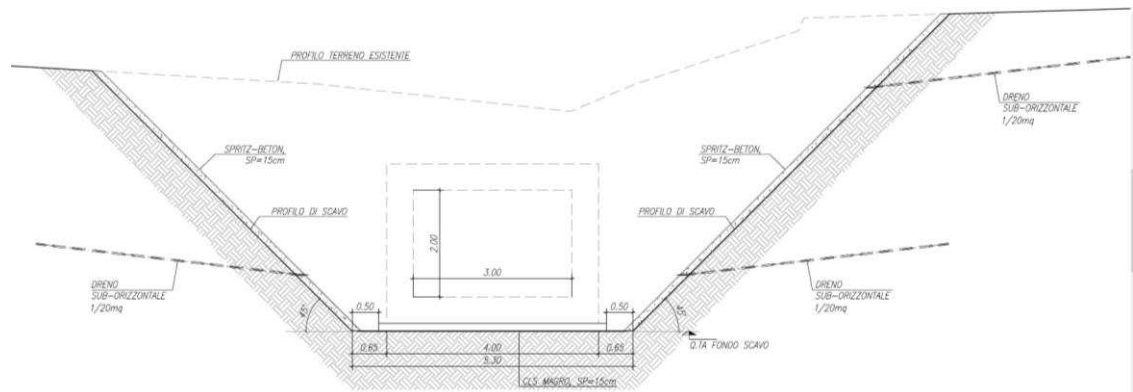


Figura 4.3 – Tombino idraulico: sezione tipo scavo aperto.

4.2 SCAVI CHIODATI A 60°

Nel settore di monte, ad ovest del piazzale, la riprofilatura del terreno è condizionata da soggezioni di ingombro planimetrico, imposte dalla presenza delle pre-esistenze che si affacciano sul perimetro dello scavo (berlinesi esistenti, manufatti esistenti di imbocco della galleria Guinza, ecc.).

Si è dunque reso necessario profilare gli scavi con inclinazione pari a 60° sull'orizzontale, prevedendo il consolidamento delle scarpate con intervento combinato

pareti chiodate con barre di ancoraggio passive + microdreni suborizzontali + spritz-beton proiettato (spessore 5cm+10cm) armato con doppio strato di rete elettrosaldata.

L'impiego della parete chiodata è prevista su un doppio fronte di sviluppo longitudinale pari a ca 20m (cfr. Figura 4.2).

Le massime altezze di scavo chiodato da sostenere risultano pari a circa 10.0m.

La chiodatura è realizzata 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 2.0 m (h) x 1.5m (v), di lunghezza pari a 6.0m, alloggiare e intasate con malta cementizia C25/30 su tutta la lunghezza all'interno di perfori di diametro $\phi = 100mm$.

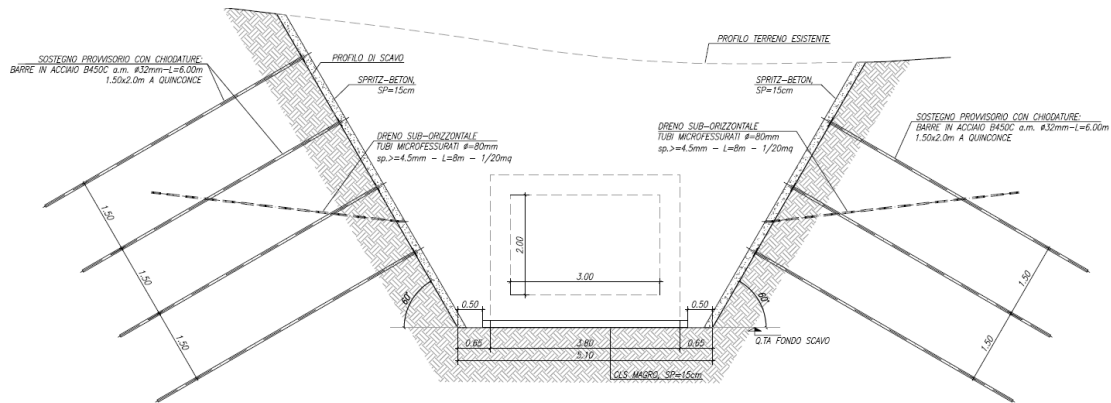


Figura 4.4 – Tombino idraulico: sezione tipo scavo con chiodatura e spritz beton con rete e.s..

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)
10	60	I	100	32	6.0	2.0 (h) x 1.5 (v)
		II			6.0	
		III			6.0	
		IV			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.

Il procedimento di lavoro è di seguito dettagliato:

1. scavo di sbancamento fino alla profondità di -0.50 m rispetto alla quota del livello di ancoraggi più in alto;
2. proiezione di uno strato di spritz-beton di regolarizzazione dello spessore di 5 cm;
3. perforazione e messa in opera degli ancoraggi passivi del livello in esame;
4. posa in opera della rete elettrosaldata;
5. proiezione del secondo strato di spitz-beton dello spessore di 10cm;
6. ripetizione fasi precedenti per ogni livello di ancoraggio passivo, fino alla quota di fondo scavo finale.

5.CALCOLI DI DIMENSIONAMENTO

5.1 SEZIONI 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, 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 degli scavi, dunque, sono state effettuate riferendosi alla sezione caratterizzata dalla massima altezza H dell'opera:

- scavi aperti a 45°: Sezione n.3, $H=6.0\text{m}$;
- scavi chiodati a 60°: Sezione n.1, $H=10.0\text{m}$.

La traccia planimetrica di tali sezioni è illustrata in Figura 4.2 di pag.5.

La geometria delle sezioni è rappresentata nelle seguenti immagini.

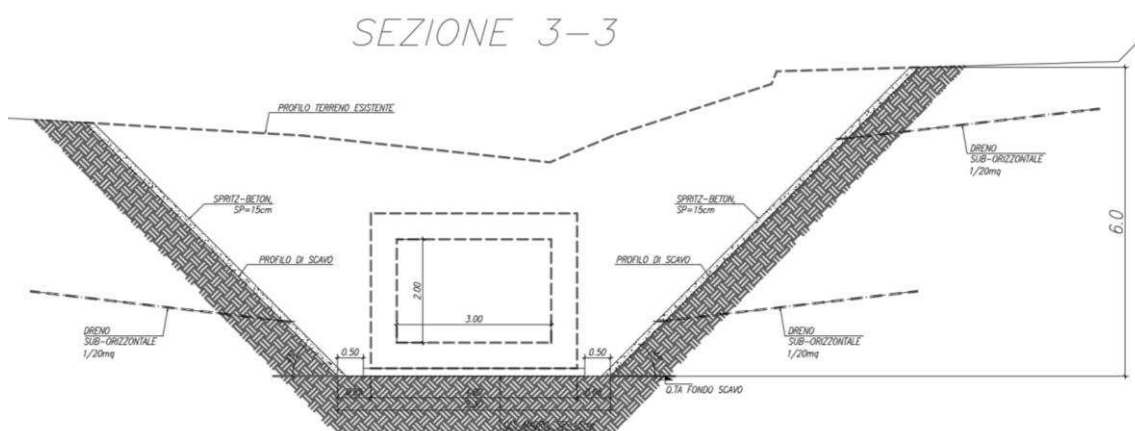


Figura 5.1 - Scavi aperti a 45°: Sezione n.3.

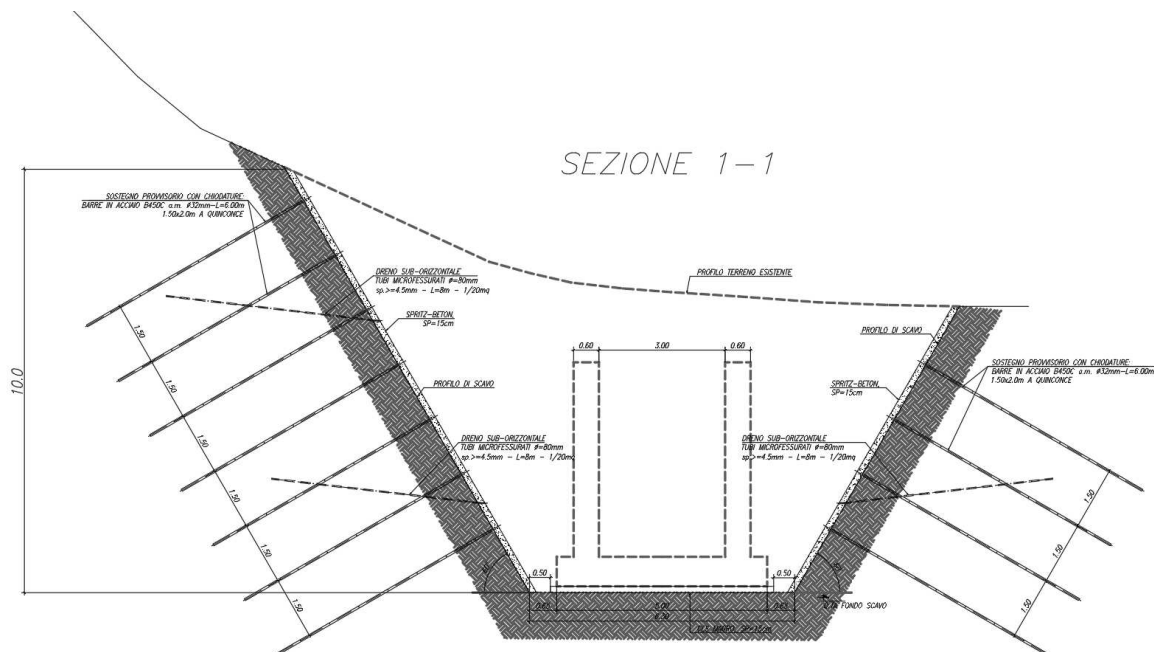


Figura 5.2 - Scavi chiodati a 60°: Sezione n.1.

Le condizioni prese a riferimento per le sezioni di verifica sono quelle complessivamente più critiche per la stabilità: esse risultano rilevanti per l'intero scavo ed i risultati delle analisi, dunque, sono da intendersi applicabili ed estrapolabili per garantire condizioni di sicurezza per l'opera nel suo complesso.

Si sottolinea, inoltre, che gli scavi necessari per la costruzione del tombino sono dimensionanti nei confronti di tutti i restanti scavi provvisori previsti dal progetto: in particolare, gli scavi chiodati analizzati sono più gravosi di quelli da effettuarsi per la costruzione dei muri lungo l'Asse 3 e l'Asse 5, che, a parità di modello geotecnico, sono profilati a 45° e contraddistinti da altezze inferiori. L'ottemperanza delle analisi di stabilità svolte nel presente documento garantisce, quindi, opportuni livelli di sicurezza anche per gli scavi non direttamente soggetti a verifica.

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

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).

La configurazione provvisoria, coerentemente con la natura temporanea di tale scenario, viene analizzata riferendosi alle sole condizioni statiche SLU.

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

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

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;

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

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 temporaneo = 1.2 (assunzione cautelativa, valore valido per chiodi permanenti);

D_s = diametro della perforazione = 0.1 m;

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.

Le **verifiche di stabilità globale** statiche SLU 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.

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.

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

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 in combinazione SLU statica.

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 $FS_{adm}=\gamma_R=1.1$.**

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 dello scavo) e di riaffioramento (al piede dello scavo) 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 5.3):

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

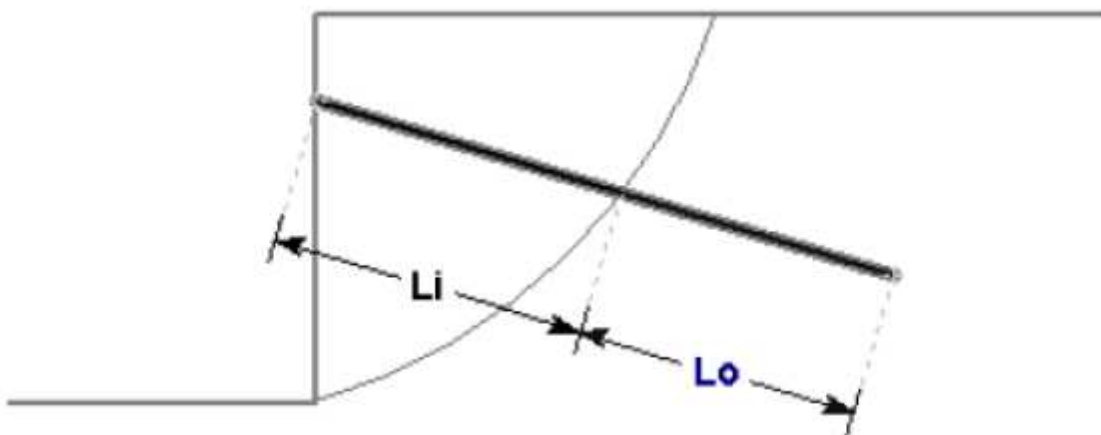


Figura 5.3 - Lunghezza del chiodo all'interno (L_i) e all'esterno (L_o) della superficie di scorrimento.

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:

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

- o Forza limite a taglio nel chiodo:
 $T_d = 0$ (cautelativamente)

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

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

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

Come anticipato, gli scavi temporanei in oggetto non sono stati verificati nei confronti delle "azioni sismiche", assodandone il carattere provvisorio: come esplicitato dalla normativa al § 2.4.1, infatti, le verifiche sismiche di opere provvisorie possono omettersi quando la relativa vita nominale sia inferiore a 2 anni. Per gli scavi temporanei sono, quindi, sufficienti le sole analisi statiche SLU.

5.5 MODELLO GEOTECNICO

Per gli aspetti geotecnici generali dell'area entro cui ricadono gli scavi in progetto il riferimento è costituito dalle valutazioni contenute nell'elaborato "Relazione geotecnica" (rif. T00_GE00_GET_RE01) allegato al Progetto Definitivo.

Di seguito si riferisce unicamente circa gli aspetti salienti della caratterizzazione geotecnica ivi contenuta, rimandando alla consultazione del documento di riferimento per ogni eventuale approfondimento.

Dal punto di vista generale, le elaborazioni contenute nella Relazione Geotecnica si basano sui risultati del programma di indagini in sito ed in laboratorio pianificato ad hoc nell'ambito della corrente fase di progettazione del sito, attuato nel periodo Maggio-Agosto 2018.

Nella planimetrie di Figura 5.4 viene riportata l'ubicazione di tutte le indagini geognostiche e geofisiche eseguite in corrispondenza dello svincolo lato Umbria.

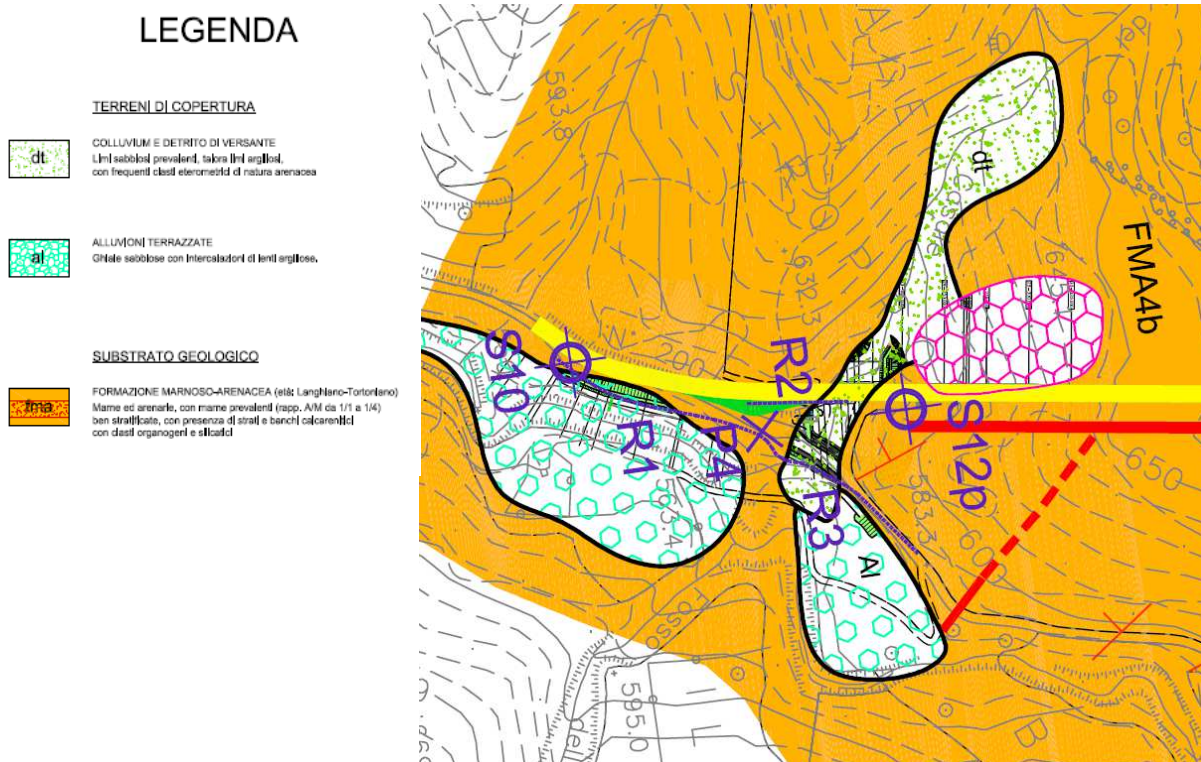


Figura 5.4 – Collegamento lato Umbria: stralcio planimetrico con indagini geognostiche e geofisiche.

Il sondaggio S10, eseguito lungo la S.P.200, ha mostrato in copertura, fino a 0.5m di profondità, la presenza di terreni di riporto correlabili al corpo stradale, immediatamente seguiti da argille marnose dure intercalate da livelli sabbiosi centimetrici molto addensati. Tale strato, rinvenuto fino a 1.5m da quota boccaforo, è riconducibile ad un episodio terrigeno posto a sormonto della formazione basale, con quest'ultima che segue fino a fondo foro sotto forma di alternanze decimetriche di marne compatte e arenarie fini dure. L'analisi delle carote del sondaggio ha evidenziato per l'indice di recupero percentuale modificato di carotaggio RQD valori compresi in media fra 60% e 100%.

Il sondaggio S12p è stato eseguito in corrispondenza del ripiano morfologico a monte della berlinese esistente, carotando circa in asse rispetto alla seconda canna di futura realizzazione.

Il modulo stratigrafico evidenzia la presenza fino a 1.5m di profondità di riporti antropici associabili ai movimenti terra eseguiti durante la costruzione della paratia. Inferiormente, è stata rinvenuta una sequenza alternata di livelli decimetrici marnosi e arenacei, caratterizzata da valori di RQD progressivamente crescenti con la profondità, variabili fra 40% più in superficie e 80÷100% oltre la profondità di 6.0m da quota boccaforo, in corrispondenza della sagoma della futura canna.

Il modello stratigrafico di riferimento è più compiutamente ricostruibile sulla base della sezione longitudinale di Figura 5.5 che confermano la presenza nel volume “significativo” delle opere (volume di terreno che influenza il comportamento dell’opera e dal quale l’opera ne risulta a sua volta influenzata), in pratica, del solo flysch marnoso-arenaceo.

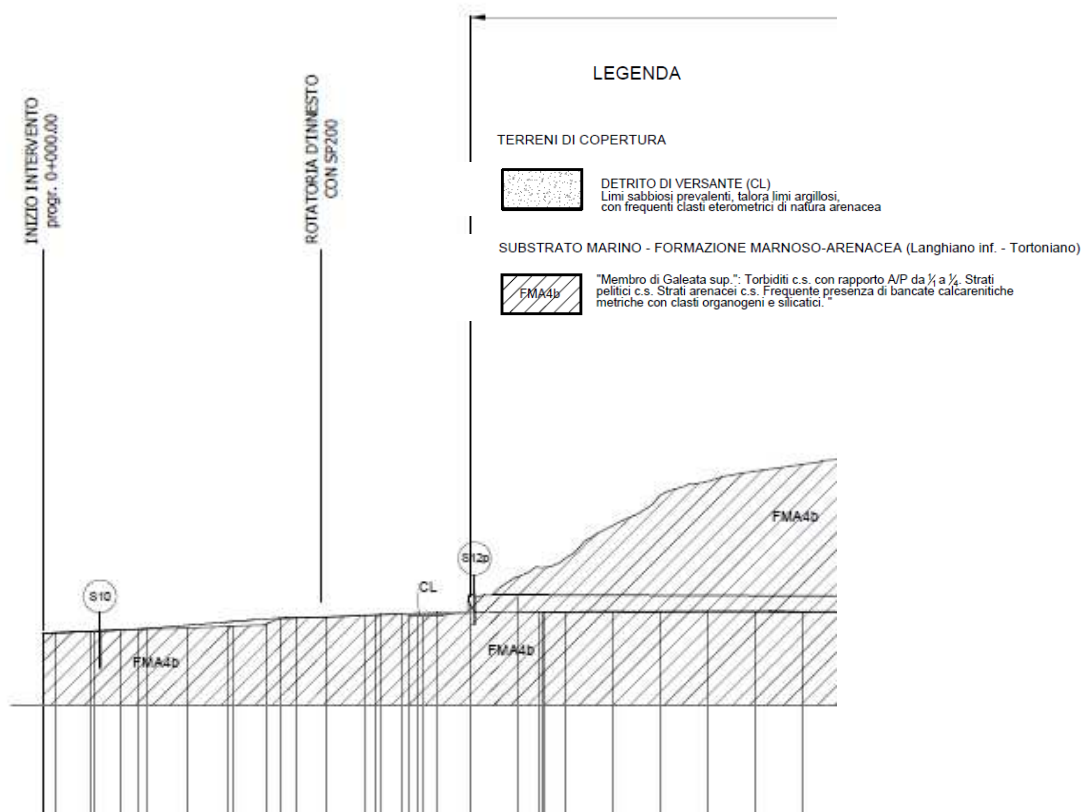


Figura 5.5 – Collegamento lato Umbria: sezione stratigrafica lungo l'asse stradale.

Prudenzialmente rispetto ai dati restituiti dalle indagini, si è comunque ipotizzata nelle verifiche la presenza in superficie di una copertura detritica costituita dai depositi di versante CL.

In definitiva, dalla valutazione congiunta delle stratigrafie di sondaggio, dei dati sismostratigrafici e dalle informazioni desumibili dalle indagini in situ e dai campioni analizzati in laboratorio, ai fini geotecnici sono stati distinti i seguenti tipi di terreno in relazione alle loro litologie, caratteristiche granulometriche, di resistenza al taglio e di deformabilità:

- Detrito di versante (TERRENO CL);
- Formazione Marnoso-Arenacea (TERRENO FMA4b).

Le stratigrafie adottate in corrispondenza delle sezioni di verifica vengono schematizzate in Figura 5.6 e Figura 5.7.

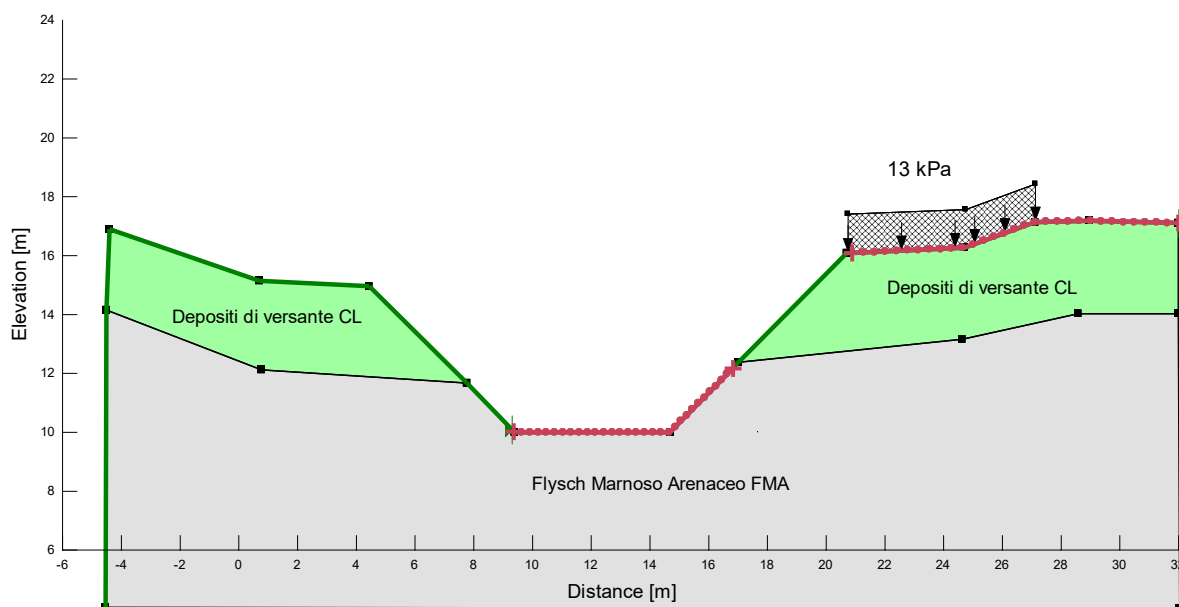


Figura 5.6 – Stratigrafia di calcolo scavi aperti a 45°, Sezione n.3.

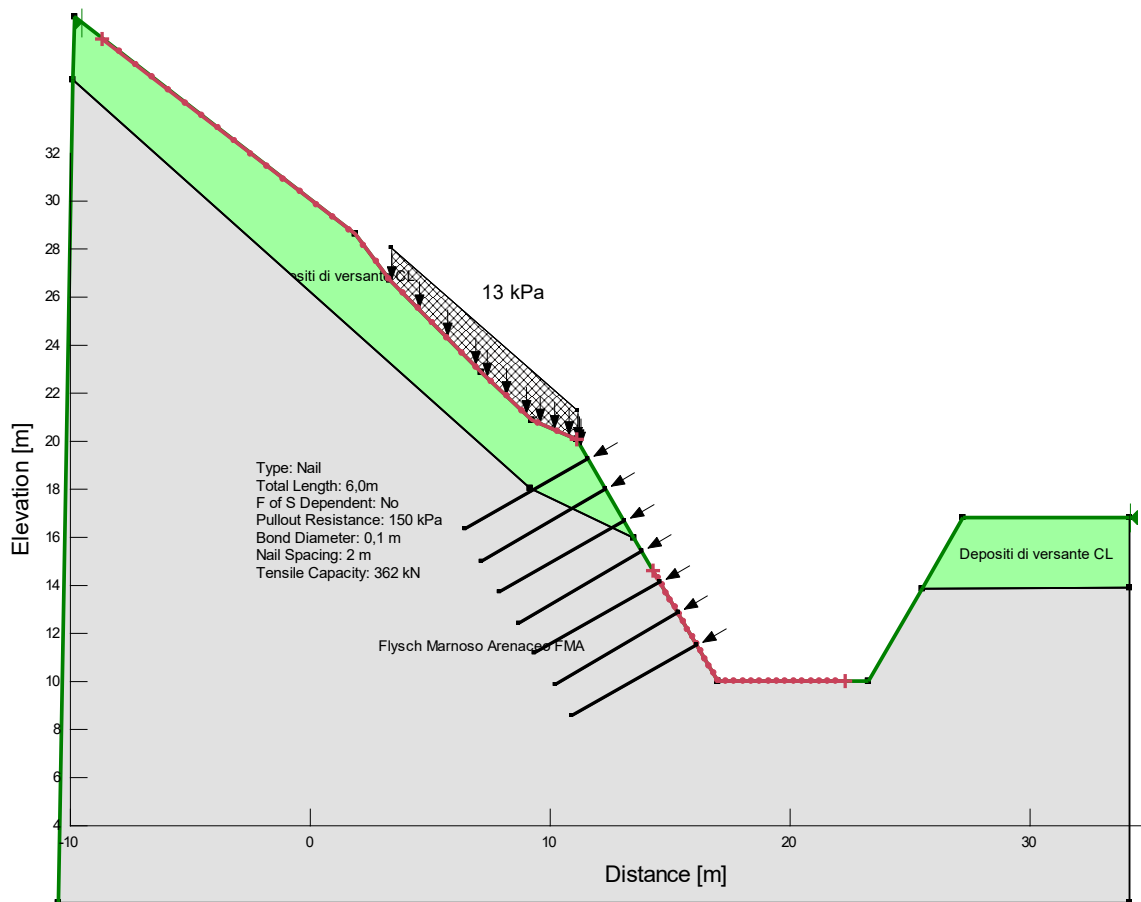


Figura 5.7 – Stratigrafia di calcolo scavi chiodati a 60°, Sezione n.1.

Come discusso, a favore di sicurezza si è adottata nei calcoli la seguente sequenza stratigrafica:

- $z = 0.0 \div 3.0\text{m}$: detriti di versante CL;
- $z \geq 3.0\text{m}$: flysch marnoso-arenaceo FMA.

In Tabella 5.2 viene riepilogato il quadro di sintesi delle caratteristiche geotecniche adottate nelle verifiche e desunte nell'ambito degli intervalli di variazione individuati nella Relazione Geotecnica.

In funzione dello stato limite preso in esame, vengono riportati unicamente i valori di progetto X_d delle proprietà del terreno, di diretto utilizzo nelle verifiche.

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

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

Unità	γ (kN/m ³)	Criterio	STABILITÀ GLOBALE	
			SLU A2+M2+R2	
			c'_d (kPa)	ϕ'_d (°)
Depositi di versante CL	19.0	Mohr Coulomb	0	24.8
Flysch marnoso-arenaceo FLY	21.0	Mohr Coulomb	80	29.3

Tabella 5.2 – Caratteristiche geotecniche (valori di progetto X_d).

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 5.3 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 5.3 - Risultati delle prove dilatometriche in roccia.

Assumendo prudenzialmente $p'_{lim}=5$ MPa, dall'abaco di Bustamante e Doix (cfr. Figura 5.8) si stima per ancoraggi iniettati a gravità/bassa pressione in rocce alterate e fratturate (involuppo R2):

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

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

Abaco per il calcolo di s per rocce alterate e fratturate

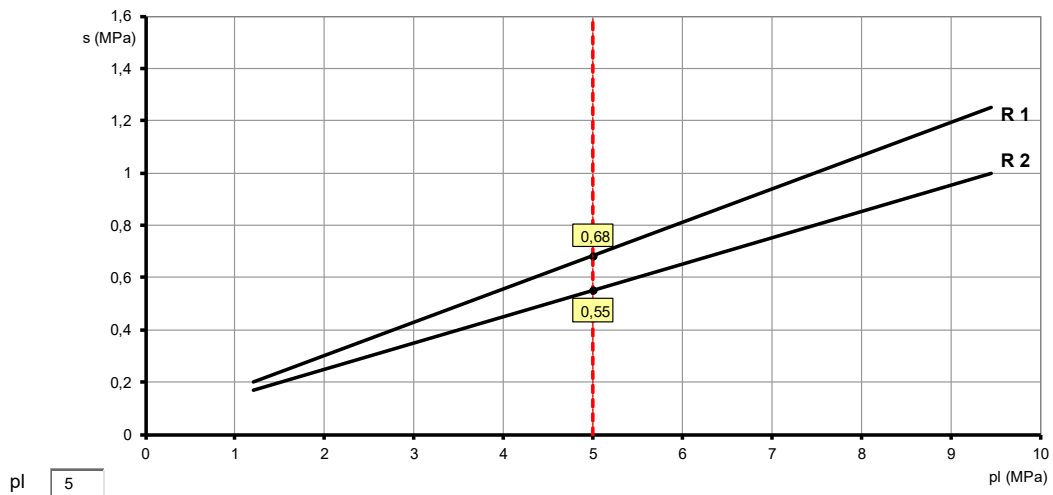


Figura 5.8 – Valori di resistenza tangenziale limite $s (= \tau_{lim})$ per marne, formazioni marnoso-calcaree e calcareo-marnose (Bustamante e Doix, 1985).

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”, 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 in testa all’opera, schematizzati attraverso un sovraccarico distribuito di valore caratteristico $\Delta q_k = 10 \text{ kPa}$.

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

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

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

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.

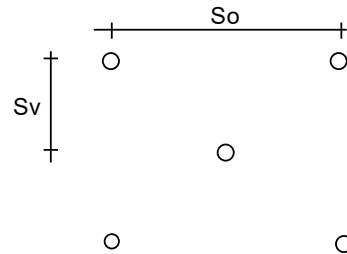
5.8 RISULTATI DELLE ANALISI

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

Relativamente agli scavi chiodati (Sezione n.1), in Figura 5.9 viene riportato il calcolo della lunghezza di ancoraggio minima delle barre $L_{s,min}$ e la verifica allo sfilamento al contatto barra-malta.

CHIODATURA CON BARRE PASSIVE

Sv = spaziatura verticale = 1,5 (m)
 So = spaziatura orizzontale = 2 (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

$T = f_{yk} \cdot A / \gamma_s$ $T = 314,71$ (kN)

Coesione equivalente dovuta alla presenza della chiodatura

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

$$A_{inf} = (S_v) \cdot (S_o) = 3,00 \text{ (mq)}$$

$$C_{eq} = \boxed{104,90} \text{ (kN/mq)}$$

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

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

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

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

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

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

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

Verifica allo sfilamento della barra

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

$$\eta = 1$$

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

$$f_{bd} = \text{aderenza barra/malta} = 2,25 \eta f_{ctk} / \gamma_C = 2,69$$

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

Figura 5.9 – Chiodature: lunghezza minima di ancoraggio e sfilamento al contatto barra-malta.

Risulta:

$$L_{s,min} = 4.33m;$$

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

Dunque, anche per una lunghezza $L_{s,min} = 4.33m$, la verifica a sfilamento all'interfaccia malta-terreno risulta soddisfatta.

Per i chiodi si è assunta lunghezza di progetto $L_s = 6.0m$ (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 5.5.

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

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

Tipologia scavo	Sezione di verifica	Combinazione di carico	Fattore di sicurezza calcolato FS	Fattore di sicurezza richiesto FS min	Esito verifica
45°, aperto	3	Statica SLU A2+M2+R2	1.230	1.1	ok
60°, chiodato	1	Statica SLU A2+M2+R2	1.911	1.1	ok

Tabella 5.5 – Scavi provvisori : 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) 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.

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo scavi provvisionali

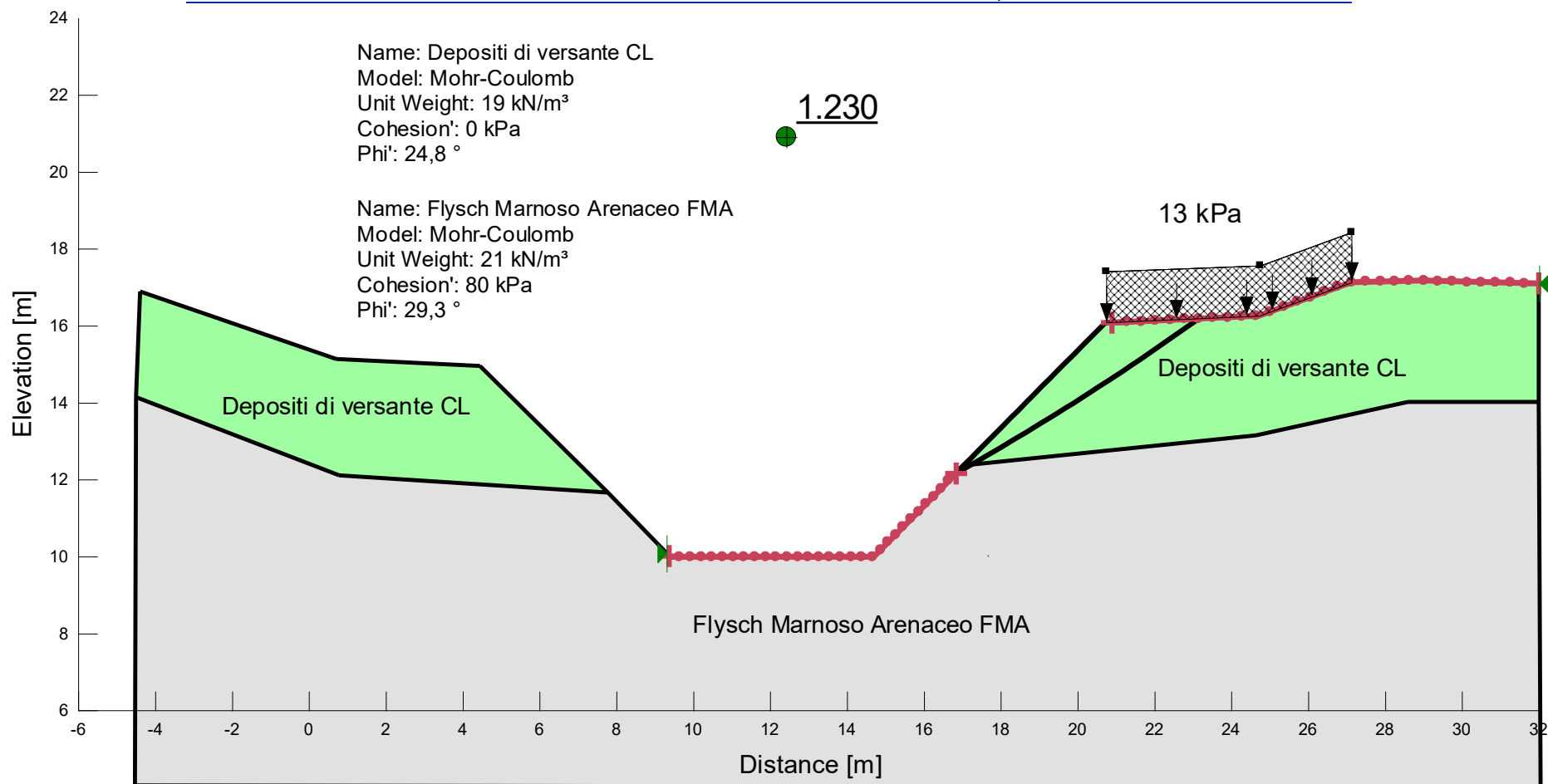


Figura 5.10 – Scavi aperti a 45°, verifica statica SLU A2+M2+R2.

Relazione di calcolo scavi provvisionali

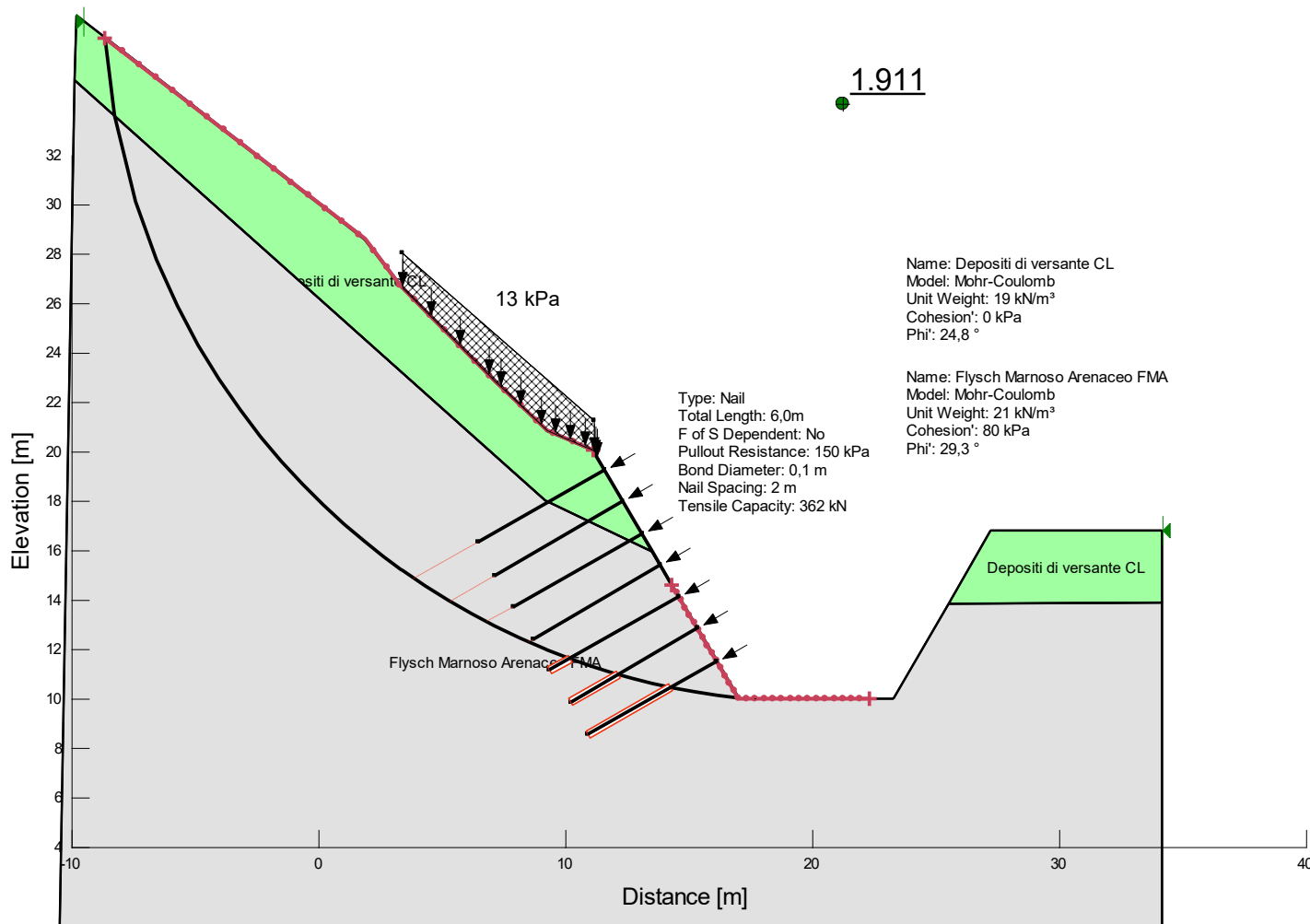


Figura 5.11 – Scavi chiodati a 60°, verifica statica SLU A2+M2+R2.

ALLEGATO DI CALCOLO

SCAVI APERTI A 45°, VERIFICA STATICA SLU A2+M2+R2

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: [86](#)

Last Edited By: [Seghetta Marco](#)

Date: [28/08/2019](#)

Time: [12:25:32](#)

File Name: [Sez 3 TOMBINO LATO UMBRIA_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: [28/08/2019](#)

Last Solved Time: [12:25:40](#)

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 scavi provvisionali

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

Depositi di versante CL

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 0 kPa

Phi': 24,8 °

Phi-B: 0 °

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: (9.38065, 10.0152) m

Left-Zone Right Coordinate: (16.83606, 12.15994) m

Left-Zone Increment: 30

Right Projection: Range

Right-Zone Left Coordinate: (20.90712, 16.08325) m

Right-Zone Right Coordinate: (32.00702, 17.09726) m

Right-Zone Increment: 30

Radius Increments: 20

Slip Surface Limits

Relazione di calcolo scavi provvisionali

Left Coordinate: (9.3096608, 10.088342) m

Right Coordinate: (32.00702, 17.09726) m

Surcharge Loads

Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): 10 kN/m³

Direction: Vertical

Coordinates

	X (m)	Y (m)
	20,74242	17,41541
	24,75293	17,56099
	27,13121	18,42883

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	-4,40254	16,89189
Point 2	0,72501	15,12971
Point 3	4,46481	14,95366
Point 4	7,78365	11,66052
Point 5	0,79236	12,1011
Point 6	-4,50743	14,14373
Point 7	17,03723	12,36379
Point 8	20,72147	16,07487
Point 9	24,73306	16,25592
Point 10	27,13121	17,13701
Point 11	28,98614	17,16351
Point 12	32,00702	17,09726
Point 13	31,98715	14,02338
Point 14	28,60853	14,01013
Point 15	24,66019	13,15554
Point 16	-4,51648	4,046
Point 17	32,04698	4,00021

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo scavi provvisionali

Point 18	14,69512	9,99048
Point 19	9,41188	9,98303

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Depositi di versante CL	1,2,3,4,5,6	31,533
Region 2	Depositi di versante CL	7,8,9,10,11,12,13,14,15	42,276
Region 3	Flysch Marnoso Arenaceo FMA	6,16,17,13,14,15,7,18,19,4,5	300,95

Current Slip Surface

Slip Surface: 19.657

F of S: 1.230

F of S Rank: 1

Exit: (16,83606, 12,15994) m

Entry: (23,157119, 16,184795) m

Radius: 68,328113 m

Center: (-16,647215, 71,721684) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
Slice 1	16,936645	12,216709	0	-23,256322	-13,050839	80
Slice 2	17,134357	12,328722	0	-12,392977	-6,9546145	80
Slice 3	17,334131	12,442808	0	12,830103	5,92834	0
Slice 4	17,539424	12,560965	0	13,459389	6,2191108	0
Slice 5	17,744717	12,680072	0	13,966343	6,4533565	0
Slice 6	17,950011	12,800136	0	14,37102	6,6403436	0
Slice 7	18,155304	12,921161	0	14,692638	6,7889517	0
Slice 8	18,360597	13,043154	0	14,949308	6,9075499	0

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo scavi provvisionali

Slice 9	18,565891	13,166122	0	15,158004	7,0039812	0
Slice 10	18,771184	13,290069	0	15,334715	7,0856331	0
Slice 11	18,976477	13,415002	0	15,49471	7,1595613	0
Slice 12	19,18177	13,540928	0	15,652846	7,2326303	0
Slice 13	19,387064	13,667854	0	15,823833	7,3116375	0
Slice 14	19,592357	13,795785	0	16,022408	7,403392	0
Slice 15	19,79765	13,924728	0	16,263373	7,5147333	0
Slice 16	20,002944	14,054691	0	16,561499	7,652487	0
Slice 17	20,208237	14,185679	0	16,931322	7,8233689	0
Slice 18	20,41353	14,317701	0	17,386872	8,0338628	0
Slice 19	20,618823	14,450763	0	17,941423	8,2901011	0
Slice 20	20,731945	14,5244	0	18,161425	8,3917567	0
Slice 21	20,852179	14,603305	0	26,124061	12,071011	0
Slice 22	21,071697	14,748029	0	24,375911	11,263252	0
Slice 23	21,291215	14,89397	0	22,751657	10,512741	0
Slice 24	21,510733	15,041136	0	21,226866	9,8081892	0
Slice 25	21,730251	15,189538	0	19,77661	9,1380767	0
Slice 26	21,949769	15,339186	0	18,375798	8,4908105	0
Slice 27	22,169288	15,490088	0	16,999213	7,8547392	0
Slice 28	22,388806	15,642256	0	15,621233	7,218023	0

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo scavi provvisionali

Slice 29	22,608324	15,7957	0	14,215272	6,5683776	0
Slice 30	22,827842	15,950429	0	12,753107	5,8927626	0
Slice 31	23,04736	16,106456	0	11,204301	5,1771139	0

SCAVI CHIODATI A 60°, VERIFICA 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: 75
 Last Edited By: [Seghetta Marco](#)
 Date: [29/08/2019](#)
 Time: [11:16:29](#)
 File Name: [Sez 1 TOMBINO LATO UMBRIA_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: [29/08/2019](#)
 Last Solved Time: [11:16:52](#)

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](#)

Relazione di calcolo scavi provvisionali

Lambda 6: 0

Lambda 7: 0,2

Lambda 8: 0,4

Lambda 9: 0,6

Lambda 10: 0,8

Lambda 11: 1

PWP Conditions Source: (none)

Slip Surface

Direction of movement: 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

Depositi di versante CL

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 0 kPa

Phi': 24,8 °

Phi-B: 0 °

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: (-8.62678, 36.7305) m

Left-Zone Right Coordinate: (11.11334, 20.06428) m

Left-Zone Increment: 30

Relazione di calcolo scavi provvisionali

Right Projection: **Range**
 Right-Zone Left Coordinate: (14.32814, 14.59557) m
 Right-Zone Right Coordinate: (22.30939, 10.00035) m
 Right-Zone Increment: **30**
 Radius Increments: **20**

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (-9.5154725, 37.417884) m
 Right Coordinate: (34.18208, 16.81643) m

Surcharge Loads

Surcharge Load 1

Surcharge (Unit Weight): **10 kN/m³**
 Direction: **Vertical**

Coordinates

	X (m)	Y (m)
	3,39663	28,02964
	11,17163	21,2657

Reinforcements

Reinforcement 1

Type: **Nail**
 Outside Point: (11,5959, 19,24293) m
 Inside Point: (6,4776, 16,35323) m
 Slip Surface Intersection: (3.8661602, 14.878858) m
 Total Length: **5,8777003 m**
 Reinforcement Direction: **29,448 °**
 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: **Distributed**
 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: **62,950023 kN**
 Factored Tensile Capacity: **112,42236 kN**
 Pullout Force: **0 kN**
 Pullout Force per Length: **0 kN/m**
 Available Length: **0 m**
 Required Length: **0 m**
 Governing Component: **(none)**

Relazione di calcolo scavi provvisori

Reinforcement 2

Type: Nail
Outside Point: (12,3321, 17,98984) m
Inside Point: (7,15046, 14,97337) m
Slip Surface Intersection: (5.3507949, 13.925702) m
Total Length: 5,9957055 m
Reinforcement Direction: 30,206 °
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: Distributed
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: 64,213856 kN
Factored Tensile Capacity: 112,42236 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: (13,11091, 16,66424) m
Inside Point: (7,92572, 13,73003) m
Slip Surface Intersection: (6.8249558, 13.107126) m
Total Length: 5,9578338 m
Reinforcement Direction: 29,505 °
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: Distributed
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: 63,808251 kN

Relazione di calcolo scavi provvisori

Factored Tensile Capacity: 112,42236 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: (13,84328, 15,41894) m
Inside Point: (8,72536, 12,42331) m
Slip Surface Intersection: (8.5130126, 12.299018) m
Total Length: 5,930169 m
Reinforcement Direction: 30,341 °
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: Distributed
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: 63,511961 kN
Factored Tensile Capacity: 112,42236 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: (14,60993, 14,11704) m
Inside Point: (9,37384, 11,15721) m
Slip Surface Intersection: (10.1901, 11.618621) m
Total Length: 6,0147512 m
Reinforcement Direction: 29,478 °
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: Distributed
Tensile Capacity: 362 kN

Relazione di calcolo scavi provvisori

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: 64,417835 kN
Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
Pullout Force: 10,042165 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 0,93764594 m
Required Length: 0,93764594 m
Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 6

Type: Nail
Outside Point: (15,3585, 12,84585) m
Inside Point: (10,23118, 9,87325) m
Slip Surface Intersection: (12.144616, 10.982578) m
Total Length: 5,926699 m
Reinforcement Direction: 30,103 °
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: Distributed
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: 63,474798 kN
Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
Pullout Force: 23,687803 kN
Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
Available Length: 2,2117514 m
Required Length: 2,2117514 m
Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 7

Type: Nail
Outside Point: (16,13804, 11,52207) m
Inside Point: (10,93411, 8,54864) m
Slip Surface Intersection: (14.273972, 10.456976) m
Total Length: 5,9935109 m
Reinforcement Direction: 29,743 °
F of S Dependent: No

Relazione di calcolo scavi provvisionali

Pullout Resistance: 150 kPa
 Resistance Reduction Factor: 2,2
 Bond Diameter: 0,1 m
 Nail Spacing: 2 m
 Force Distribution: Distributed
 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: 64,190352 kN
 Factored Tensile Capacity: 112,42236 kN
 Pullout Force: 41,19712 kN
 Pullout Force per Length: 10,709975 kN/m
 Available Length: 3,8466121 m
 Required Length: 3,8466121 m
 Governing Component: Pullout Resistance

Points

	X (m)	Y (m)
Point 1	-9,79696	37,63561
Point 2	1,89016	28,59583
Point 3	3,34608	26,69101
Point 4	7,14359	22,86923
Point 5	9,27145	20,84875
Point 6	11,11334	20,06428
Point 7	13,5227	15,96334
Point 8	9,19839	18,02022
Point 9	-9,87712	35,04432
Point 10	17,03413	10,00035
Point 11	23,30998	10,00035
Point 12	25,5405	13,84863
Point 13	34,16297	13,86479
Point 14	34,18238	0,76599
Point 15	-10,456	0,76599

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo scavi provvisionali

Point 16	27,24855	16,7841
Point 17	34,18208	16,81643

Regions

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	Depositi di versante CL	1,2,3,4,5,6,7,8,9	72,289
Region 2	Flysch Marnoso Arenaceo FMA	7,10,11,12,13,14,15,9,8	810,33
Region 3	Depositi di versante CL	12,16,17,13	22,874

Current Slip Surface

Slip Surface: 335

F of S: 1.911

F of S Rank: 1

Exit: (17,019539, 10,025128) m

Entry: (-8,6267817, 36,730498) m

Radius: 28,787976 m

Center: (20,097255, 38,648112) m

Slip Slices

	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
Slice 1	-8,4343855	35,157766	0	8,5302909	3,9415477	0
Slice 2	-7,8198164	31,851069	0	-34,237031	-19,212926	80
Slice 3	-6,9754707	28,939825	0	12,986591	7,2877348	80
Slice 4	-6,1311249	26,825924	0	42,072814	23,610162	80
Slice 5	-5,2867791	25,098404	0	62,880124	35,28668	80
Slice 6	-4,4424333	23,618212	0	79,00525	44,335679	80
Slice 7	-3,5980876	22,316398	0	92,244596	51,765253	80
Slice 8	-2,7537418	21,152478	0	103,629	58,153885	80

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo scavi provvisionali

Slice 9	-1,909396	20,100181	0	113,79762	63,860244	80
Slice 10	-1,0650502	19,141283	0	123,16355	69,116162	80
Slice 11	-0,22070445	18,262509	0	131,99684	74,073169	80
Slice 12	0,62364133	17,453839	0	140,46923	78,827656	80
Slice 13	1,4679871	16,707483	0	148,67949	83,435039	80
Slice 14	2,25414	16,061487	0	153,6731	86,237322	80
Slice 15	2,9821	15,504774	0	155,25018	87,122337	80
Slice 16	3,371355	15,217558	0	156,06838	87,581489	80
Slice 17	3,865	14,87965	0	168,88283	94,772625	80
Slice 18	4,80174	14,265965	0	174,5933	97,977193	80
Slice 19	5,73848	13,70255	0	179,49288	100,72671	80
Slice 20	6,67522	13,186058	0	183,32254	102,87581	80
Slice 21	7,65729	12,692952	0	186,04695	104,40468	80
Slice 22	8,68469	12,224868	0	187,13029	105,01262	80
Slice 23	9,23492	11,988111	0	186,92809	104,89915	80
Slice 24	9,7319225	11,795481	0	189,15249	106,14743	80
Slice 25	10,652868	11,457792	0	190,01046	106,62889	80
Slice 26	11,142485	11,288311	0	206,09067	115,65269	80
Slice 27	11,563475	11,157135	0	169,18985	94,944916	80
Slice 28	12,347165	10,925953	0	156,40189	87,768646	80

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo scavi provvisionali

Slice 29	13,130855	10,71867	0	135,76261	76,186421	80
Slice 30	13,959805	10,525539	0	124,54241	69,88994	80
Slice 31	14,834015	10,348851	0	92,051849	51,657088	80
Slice 32	15,708224	10,200118	0	42,789029	24,012083	80
Slice 33	16,582434	10,078904	0	11,46822	6,4356648	80