

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA
U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

MIGLIORAMENTO SISMICO E OPERE DI COMPLETAMENTO DEI VIADOTTI ESISTENTI DELLA LINEA FERRANDINA MATERA

GEOTECNICA

Relazione di consolidamento delle scarpate delle pile di scavalco – Viadotto VI05 Bradano

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I	A	5	F	0	1	D	0	9	R	H	V	I	0	5	0	0	0	0	3	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE DEFINITIVA	S.Gasperoni	Luglio 2019	M.E.D'Effremo	Luglio 2019	F. Gernone	Luglio 2019	A. Vittozzi Luglio 2019

ITALFERR S.p.A.
 Opere Civili - Gestione delle varianti
 Dott. Ing. Arch. Vittozzi
 negli Impianti della Provincia di Roma
 N. 120783

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.3	PROGRAMMI DI CALCOLO UTILIZZATI	5
3.	MATERIALI	6
4.	INQUADRAMENTO GEOTECNICO VIADOTTO.....	7
4.1	PREMESSA.....	7
4.2	RICONOSCIMENTO UNITÀ GEOTECNICHE	7
4.3	SINTESI DEI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO.....	7
4.4	FALDA.....	9
5.	ANALISI DI STABILITA'	10
5.1	PREMESSA.....	10
5.2	METODOLOGIE DI CALCOLO.....	11
	5.2.1 Carichi.....	12
	5.2.2 Azioni sismiche per analisi di stabilità scarpate	12
5.3	SEZIONE DI CALCOLO	13
5.4	RISULTATI.....	14
5.5	VERIFICA BARRE DI CHIODATURA	16
6.	APPENDICE A: ANALISI DI STABILITÀ. TABULATI DI CALCOLO SLIDE.....	17

1. PREMESSA

Nella presente relazione si riportano le verifiche geotecniche ed il dimensionamento delle opere di consolidamento previste per la scarpata in corrispondenza delle pile di scavalco del fiume del viadotto Bradano (VI05), nell'ambito dell'miglioramento sismico propedeutico alla realizzazione della nuova Linea Ferrandina – Matera "La Martella" per il collegamento della città di Matera alla rete ferroviaria nazionale, in particolare con Salerno, per l'accesso al sistema AV/AC, e con Taranto, attraverso la linea Battipaglia-Potenza-Metaponto-Taranto.

In particolare verranno affrontati i seguenti aspetti:

- Breve richiamo delle condizioni geotecniche;
- Verifica di stabilità della scarpata con intervento di consolidamento;
- Dimensionamento dell'intervento di consolidamento.

Tutte le analisi svolte nel seguito sono eseguite in conformità alla normativa italiana vigente sulle opere civili (DM 17/01/2018).

2. NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Normativa di riferimento

- [N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);
- [N.2]. Circolare N.7 del 21-01-2019, C.S.LL.PP. - Istruzioni per l'Applicazione Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018.
- [N.3]. RFI DTC SI PS MA IFS 001 C - Manuale di Progettazione delle Opere Civili - Parte II – Sezione 2 – Ponti e Strutture
- [N.4]. Progetto DOC-Reluis 2005-2008 – linea 3: Valutazione e riduzione del rischio sismico di ponti esistenti – “linee guida e manuale applicativo per la valutazione della sicurezza sismica e il consolidamento dei ponti esistenti in c.a.” marzo 2009

2.2 Documenti di riferimento

- [DC1]. IA5F00D78RHGE0005001 - Nuova Linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale. Progetto Definitivo. Relazione geotecnica;
- [DC2]. IA5F00D78F6GE0005001 - Nuova Linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale. Progetto Definitivo. Profilo Geotecnico.
- [DC3]. E.0.2. Progetto Esecutivo. Costruzione di un tratto di linea tra Matera e Ferrandina in funzione di collegamento diretto della città di Matera alla rete F.S.. Stazione di Ferrandina – Stazione di Matera la Martella. Relazione calcoli statici 2 a parte. Novembre 1985.
- [DC4]. V.B.2.1.EL. Progetto Esecutivo. Costruzione di un tratto di linea tra Matera e Ferrandina in funzione di collegamento diretto della città di Matera alla rete F.S.. spalla A Carpenteria fondazioni e pianta micropali.
- [DC5]. V.B.2.2.EL. Progetto Esecutivo. Costruzione di un tratto di linea tra Matera e Ferrandina in funzione di collegamento diretto della città di Matera alla rete F.S.. spalla B Carpenteria fondazioni e pianta micropali.
- [DC6]. V.B.3.1.EL. Progetto Esecutivo. Costruzione di un tratto di linea tra Matera e Ferrandina in funzione di collegamento diretto della città di Matera alla rete F.S..Pila 1 Carpenteria fondazioni e pianta micropali.
- [DC7]. V.B.3.2.EL. Progetto Esecutivo. Costruzione di un tratto di linea tra Matera e Ferrandina in funzione di collegamento diretto della città di Matera alla rete F.S..Pila 4 Carpenteria fondazioni e pianta micropali.
- [DC8]. V.B.7.E Progetto Esecutivo. Costruzione di un tratto di linea tra Matera e Ferrandina in funzione di collegamento diretto della città di Matera alla rete F.S.. Pile 2-3 opere in fondazione.
- [DC9]. IA5F 01 D 09 RH VI0000 001 A - Nuova Linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale. Progetto Definitivo. Criteri di calcolo delle fondazioni.

- [DC10]. IA5F 01 D 09 RH VI0500 001 A - Nuova Linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale. Progetto Definitivo. Relazione descrittiva dello stato di fatto e degli interventi sul versante.
- [DC11]. IA5F 01 D 09 RH VI0500 002 A - Nuova Linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale. Progetto Definitivo. Relazione stabilità delle scarpate delle pile di scavalco.
- [DC12]. IA5F 01 D 09 CL VI0503 003 A - Nuova Linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale. Progetto Definitivo. Relazione di calcolo fondazioni a pozzo P2 e P3_ verifiche e interventi.
- [DC13]. IA5F 01 D 09 P9 VI0500 004 A - Nuova Linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale. Progetto definitivo. Pianta fondazioni e sezione longitudinale 1
- [DC14]. IA5F 01 D 09 P9 VI0500 005 A - Nuova Linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale. Progetto definitivo. Pianta fondazioni e sezione longitudinale 2
- [DC15]. IA5F 01 D 09 P9 VI0500 005 A - Nuova Linea Ferrandina – Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale. Progetto definitivo. Pianta fondazioni e sezione longitudinale 3
- [DC16]. Elaborati EG1÷EG11, EGA. - Studi geologici e geotecnici: consolidamenti e calcolo fondazioni. 1987.

2.3 Programmi di calcolo utilizzati

- “SLIDE 7” - Il programma di calcolo è stato adottato per le verifiche di stabilità, è prodotto da Rocscience. E’ validato ed utilizzato in svariati ambiti progettuali (Italferr, Autostrade, ecc.). In accordo a quanto prescritto nel paragrafo 10.2 del D.M. 14/01/2008, il progettista certifica la affidabilità del suddetto codice di calcolo e l’idoneità di utilizzo nel caso specifico.

3. MATERIALI

Nel presente progetto si verificano le fondazioni esistenti realizzate con i seguenti materiali.

Calcestruzzo plinto di fondazione $R_{ck} > 25 \text{ MPa}$ C25/30

Calcestruzzo sottoplinto (magrone) $R_{ck} > 15 \text{ MPa}$ C16/20

Acciaio in barre per c.a. FeB 38 K B450C
 $f_{yk}=380 \text{ MPa}$
 $E=210000 \text{ MPa}$

Acciaio per armatura micropali Fe 360 S235
 $f_{yk}=235 \text{ MPa}$
 $E=210000 \text{ MPa}$

Per i materiali delle opere esistenti si definisce livello di conoscenza $LC = 2$ e quindi nelle verifiche si assume un fattore di confidenza $FC = 1.2$.

Per i nuovi micropali integrativi previsti come intervento di miglioramento sismico, si prevedono i seguenti materiali.

Acciaio per armatura micropali S355
 $f_{yk}=355 \text{ MPa}$
 $E=210000 \text{ MPa}$

Chiodature:

barre tipo "Gewi Plus" / bulloni da roccia Barre S670/800
 $f_{0,2k} / f_{tk}=670/800 \text{ MPa}$
 $E=210000 \text{ MPa}$

4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO VIADOTTO

4.1 Premessa

Di seguito si riportano le principali unità geotecniche intercettate lungo il tracciato ed una sintesi dei parametri di progetto. Per il dettaglio delle indagini eseguite e la scelta dei parametri si rimanda alla Relazione descrittiva dello stato di fatto e degli interventi sul versante [DC10].

4.2 Riconoscimento unità geotecniche

Le indagini hanno intercettato le seguenti unità geotecniche:

Unità 1e – Depositi terrazzati del Fiume Bradano: Si tratta di depositi alluvionali terrazzati.

Unità ASP – Argille subappennine: Si tratta di argille limose e argille marnose grigie da consistenti a dure.

Unità GRA – Calcareniti di Gravina: Si tratta di rocce, calcareniti di colore avana-giallastro passante ad avana-biancastro, a struttura granulare da fine a grossolana, con alterazione da debole a media, medio dura, poco fratturata, RQD da 40 a 100%.

Unità Cc – Calcarea di Altamura: Si tratta di rocce, calcilutiti di colore da nocciola-grigiastra a nocciola-biancastra, a struttura compatta, alterazione da media ad elevata, dura, con talvolta fratture, RQD da 30 a 90%.

4.3 Sintesi dei parametri geotecnici di progetto

Nella seguente tabella si riassumono i parametri geotecnici di progetto per le unità geotecniche interferenti con le opere di fondazione.

Unità 2 – Argille subappennine

$\gamma = 19.0 \div 20.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 29 \div 31 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\varphi' = 21 \div 23^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$c_u = 165 \div 230 \text{ kPa}$	resistenza al taglio in condizioni non drenate
$V_s = 300 \div 500 \text{ m/s}$	velocità delle onde di taglio
$E_o = 600 \div 1000 \text{ MPa}$	modulo di deformazione elastico iniziale
$k = 7.0 \cdot 10^{-9} \div 1.5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$	coefficiente di permeabilità

Unità 3 – Calcareniti di Gravina

$\gamma = 19 \div 21.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
--	-------------------------

GSI = 40	Geological Strength Index
$\sigma_{ci} = 4 \div 7$ MPa	resistenza a compressione della roccia intatta
$m_i = 9$	costante per la roccia intatta
$c' = 30$ kPa	coesione drenata
$\phi' = 37^\circ$	angolo di resistenza al taglio
$V_s = 800 \div 1000$ m/s	velocità delle onde di taglio
$E_0 = 5000 \div 5500$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$E = 200$ MPa	modulo di deformazione elastico operativo
$k = 8.5 \cdot 10^{-8} \div 1.5 \cdot 10^{-7}$ m/s	coefficiente di permeabilità

Unità 4 – Calcare di Altamura

$\gamma = 24.0 \div 26.0$ kN/m ³	peso di volume naturale
GSI = 37	Geological Strength Index
$\sigma_{ci} = 28 \div 35$ MPa	resistenza a compressione della roccia intatta
$m_i = 9$	costante per la roccia intatta
$c' = 130$ kPa	coesione drenata per profondità < 20 m
$\phi' = 40^\circ$	angolo di resistenza al taglio per profondità < 20 m
$c' = 190$ kPa	coesione drenata per profondità > 20 m
$\phi' = 39^\circ$	angolo di resistenza al taglio per profondità > 20 m
$V_s = 850 \div 1050$ m/s	velocità delle onde di taglio
$E_0 = 5000 \div 6500$ MPa	modulo di deformazione elastico iniziale
$k = 2.0 \cdot 10^{-8} \div 1.0 \cdot 10^{-5}$ m/s	coefficiente di permeabilità

I moduli di deformabilità "operativi" (E') da adottare per le opere di sostegno e per le fondazioni, saranno assunti pari a 1/3÷1/5 di quello iniziale (E0).

4.4 Falda

Non sono disponibili misure piezometriche in corrispondenza del viadotto in esame.

Il foro di sondaggio S7_30_PZ doveva essere strumentato con piezometro, ma la strumentazione non è stata installata. Durante la perforazione dei sondaggi è rilevata falda solo nel piezometro S7_DH_50 a 18 m da p.c., negli altri fori la falda è assente.

Il livello di falda viene assunto come indicato nel profilo geologico/geotecnico (vedasi stralcio di figura seguente).

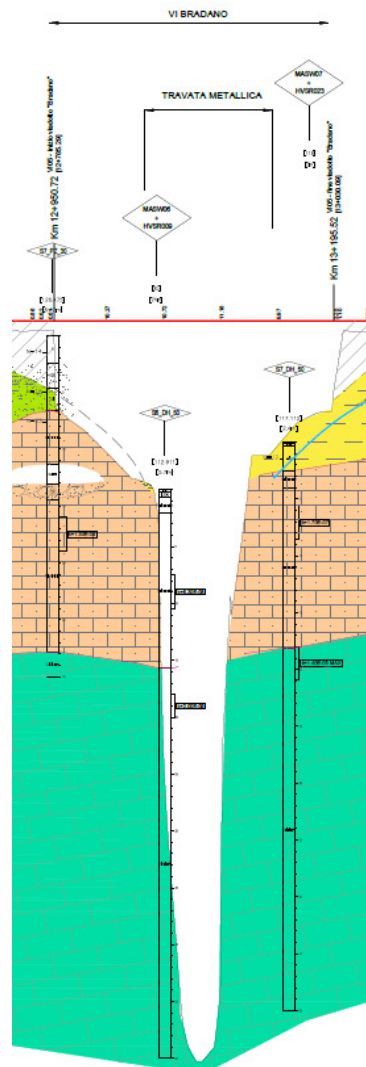


Figura 1 – Stralcio profilo geologico con indicazione falda

5. ANALISI DI STABILITA'

5.1 Premessa

Nel seguente capitolo si riporta l'analisi di stabilità globale fondazione pila-scarpata in corrispondenza delle pile di scavalco del fiume Bradano, eseguita considerando la configurazione di progetto a seguito dell'miglioramento sismico (vedasi [DC13]): in particolare per le fondazioni di queste pile si prevede ampliamento del plinto di fondazione con inserimento di nuovi micropali verticali.

Dalla verifica di stabilità globale dell'intervento in fondazione per le pile P2, P3, si è osservato un fattore di sicurezza inferiore a quello di normativa.

Allo stato attuale delle informazioni, non è stato possibile accertare la effettiva presenza degli interventi di consolidamento sulle scarpate con micropali del 1987. Quindi considerando la particolarità geologico-geotecnica del sito, i carichi agenti e la vicinanza delle fondazioni alla scarpata, si prevede un intervento di consolidamento sulla parete della scarpata interagente con la fondazione delle pile di scavalco.

In particolare si prevede un intervento di consolidamento costituito da chiodature profonde e protezione corticale con reti metalliche e funi romboidali con le seguenti caratteristiche:

- Chiodature: barre metalliche tipo Gewi $\phi 30$ mm con limite di snervamento dell'acciaio > 670 MPa, tensione di rottura > 800 MPa, lunghezza barre $L=21, 18, 15, 12, 9$ e 6 m, maglia 1.8 m x 1.8 m, inclinazione di 15° rispetto all'orizzontale. Diametro di perforazione chiodature: $D_p \geq 100$ mm.
- La rete metallica è a doppia torsione con maglia esagonale tipo 8×10 cm. Le funi metalliche sono previste d'acciaio ad anima metallica con resistenza nominale dei fili elementari di acciaio non inferiore a 1770 N/mm², carico di rottura minimo 40.3 kN (per diametro fune 16 mm). Geostuoia tridimensionale per facilitare il rinverdimento della parete.

Di seguito si riepilogano le caratteristiche dell'intervento.

Per maggiori dettagli si rimanda alla Figura 2.

Estensione trasversale dell'intervento [m]	Maglia [m]	D_p [mm]	ϕ barre [mm]	Tensione snerv./rottura chiodature [N/mm ²]	n°livelli chiodatura (su sezione)	Lunghezza barre [m]	Inclinazione rispetto all'orizzontale [°]
50	1.8x1.8 (quinconce)	≥ 100	30	670/800	12	1°-2°livello: 21 3°-4°livello: 18 5°-6°livello: 15 7°-8°livello: 12 9°-10°livello: 9 11°-12°livello: 6	15

N.B: I livelli sono definiti dal basso verso l'alto

L'analisi è stata svolta per la situazione più critica in relazione alla conformazione della scarpata (Pila P2) con le condizioni sismiche di progetto ed analizzando tutte le superfici di scorrimento sia quelle che interessano anche il

blocco di fondazione sia quelle davanti alla pila della scarpata lato fiume che interagiscono comunque con il blocco di fondazione.

Nell'analisi è stata trascurata la presenza dell'intervento di consolidamento con tiranti attivi del Progetto Esecutivo del 1985, per le motivazioni precedentemente discusse.

5.2 Metodologie di calcolo

L'esame delle condizioni di stabilità è stato condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite. Per la valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità globale si è impiegato il codice di calcolo denominato Slide 8.0, in cui la ricerca delle superfici critiche viene svolta attraverso la generazione automatica di un elevato numero di superfici di potenziale scivolamento. Sono state cautelativamente considerate ipotesi di deformazione piana. In particolare, in questa sede si fa riferimento al metodo di Bishop che prevede superfici di scorrimento circolari nei terreni. Nelle analisi sono state ovviamente tralasciate le superfici più corticali in quanto poco significative e per le quali non risulta idonea una analisi convenzionale all'equilibrio limite.

Il coefficiente di sicurezza FS a rottura lungo la superficie di scorrimento viene definito come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie S e quella effettivamente mobilitata lungo la stessa superficie:

$$FS = \frac{\int_S \tau_{\text{disp}}}{\int_S \tau_{\text{mob}}}$$

In condizioni sismiche le verifiche di sicurezza sono mirate a controllare che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni (condizione $Ed < Rd$ [6.2.1] delle NTC 2018) impiegando lo stesso approccio delle condizioni statiche SLU (§ 6.8.2 delle NTC 2018) Combinazione (A2+M2+R2), ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1 delle NTC 2018) e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a $\gamma_R = 1.1$.

Nel modello è stata considerata la fondazione del pozzo con alla base i micropali, modellati come elementi "support", con lunghezza $L=30$ m, interasse longitudinale e trasversale pari a 1.5m. La resistenza a taglio dei micropali è pari a 600 kN, valutata considerando la resistenza del solo acciaio del tubo del micropalo. Nell'analisi sono stati trascurati i tiranti attivi e passivi posizionati a vari livelli del pozzo.

Le chiodature sono modellate come elementi "support" (tipologia "soil-nail"), a cui viene assegnata la forza limite dell'acciaio, la forza limite allo sfilamento, l'interasse chiodi e la lunghezza. Nel caso in esame sono state considerate chiodature costituite da barre $\phi 30$ mm tipo "GEWI Plus" di lunghezza pari a 21, 18, 15, 12, 9 e 6 m, inclinazione di 15° rispetto all'orizzontale, disposte con maglia a quinquonce 1.8 m x 1.8 m ed un diametro di perforazione $D_p \geq 100$ mm, che hanno le seguenti caratteristiche:

- limite di snervamento dell'acciaio non minore di 670 MPa;
- tensione di rottura 800 MPa.

In base alle caratteristiche delle chiodature i dati di input sono i seguenti (vedasi tabulati di calcolo in Appendice A):

Relazione di consolidamento delle scarpate delle pile di scavalco

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	01	D09 RH	VI 0500003	A	12 di 27

 $F_s = 412 \text{ kN}$ forza assiale limite acciaio

 $B = 33 \text{ kN/m}$ forza assiale limite fondazione a metro della barra (Bond Strength), valutata come:

$$B = (\pi \cdot D_p \cdot \alpha \tau) / FS = \text{kN/m}$$

dove

 $D_p = 100 \text{ mm}$ diametro di perforazione

 $\alpha \tau = 200 \text{ kPa}$ tensione di adesione fondazione-terreno, valutata in accordo alle indicazioni di Bustamante e Doix e sulla base delle esperienze maturate in condizioni simili su terreni simili.

 $FS = \gamma_R \cdot \xi_3 = 1.2 \cdot 1.6 = 1.92$ fattori parziali da normativa per tiranti permanenti

Interasse = 1.8 m.

5.2.1 Carichi

Agente sulla fondazione, si considera il carico massimo a intradosso plinto derivante dalla sovrastruttura in condizioni sismiche (forza verticale pari a 2200 kN/m ed una forza orizzontale pari a 455 kN/m).

5.2.2 Azioni sismiche per analisi di stabilità scarpate

 In generale, il metodo pseudo-statico modella l'azione sismica considerando in luogo delle azioni dinamiche azioni statiche equivalenti ovvero forze statiche orizzontali f_h e verticali f_v per unità di volume, d'intensità pari al prodotto fra il peso specifico del corpo γ sottoposto all'azione dinamica ed un coefficiente sismico:

$$f_h = \gamma \cdot k_h \text{ forza orizzontale per unità di volume}$$

$$f_v = \gamma \cdot k_v \text{ forza verticale per unità di volume}$$

dove:

 γ = peso specifico del volume considerato.

 In accordo alla normativa vigente per le analisi in esame, la componente orizzontale (a_h) dell'accelerazione può essere legata all'accelerazione massima attraverso la seguente relazione:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{\max} / g$$

$$k_v = \pm k_h / 2$$

dove:

 k_h = coefficiente sismico in direzione orizzontale;

 k_v = coefficiente sismico in direzione verticale;

 a_{\max} = accelerazione massima attesa al sito; g = accelerazione di gravità;

 β_s = coefficiente di riduzione dall'accelerazione massima attesa al sito. $\beta_s = 0.24$, coefficiente di riduzione che dipende dall'accelerazione massima e dalla categoria di suolo.

Nel caso in esame con riferimento a $V_N = 50$ anni, $C_U = 1$ e categoria di sottosuolo tipo E si ha:

$a_g = 0.159$ Accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido;

$S_s = 1.567$ Coefficiente di amplificazione stratigrafica;

$S_T = 1.4$ (T4) Coefficiente di amplificazione topografica

Da cui si ricava un'accelerazione massima attesa al piano campagna pari a $a_{max} = 0.349$ g; da cui:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max} / g = 0.38 \cdot 0.285 = 0.084$$

$$k_v = \pm k_h / 2 = \pm 0.042$$

5.3 Sezione di calcolo

L'analisi di stabilità è stata condotta per il pendio in corrispondenza della pila P2. La stratigrafia è costituita da uno strato superficiale di argille limose ASP (unità 2), seguito dalle calcareniti di Gravina (unità 3) ed infine dal calcare di Altamura (unità 4).

Il livello di falda è stato come da profilo geologico.

Sono stati considerati i seguenti parametri geotecnici:

Unità 2 – Argille subappennine

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 25 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 22^\circ$	angolo di resistenza al taglio

Unità 3 – Calcareniti di Gravina

$\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 30 \text{ kPa}$	coesione drenata
$\phi' = 37^\circ$	angolo di resistenza al taglio

Unità 4 – Calcare di Altamura

$\gamma = 25.5 \text{ kN/m}^3$	peso di volume naturale
$c' = 130 \text{ kPa}$	coesione drenata per profondità < 20 m
$\phi' = 40^\circ$	angolo di resistenza al taglio per profondità < 20 m
$c' = 190 \text{ kPa}$	coesione drenata per profondità > 20 m
$\phi' = 39^\circ$	angolo di resistenza al taglio per profondità > 20 m

Di seguito si riporta uno schema della sezione analizzata.

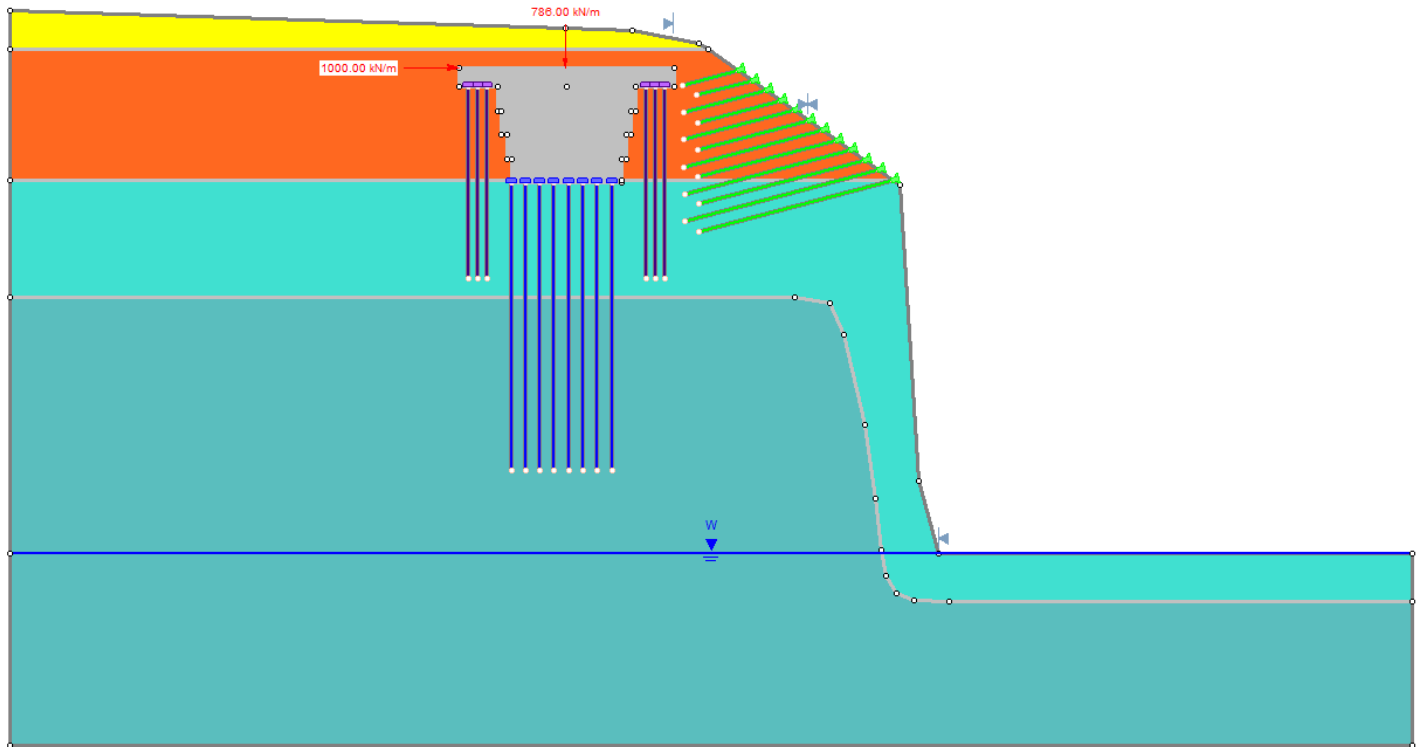


Figura 2 – Sezione in corrispondenza della pila P2

5.4 Risultati

Nelle seguenti figure sono mostrati i risultati delle verifiche di stabilità in condizioni sismiche.

In Figura 3 si riporta la verifica di stabilità della scarpata da cui si evince che il fattore di sicurezza minimo è $FS=1.10$, quindi la verifica di stabilità è soddisfatta.

In Figura 4, si riporta per la superficie di scorrimento con fattore di sicurezza minimo, le sollecitazioni sui chiodi, utilizzate nel seguente paragrafo per le verifiche sugli elementi di consolidamento.

I tabulati di calcolo completi sono riportati in **Appendice A**.

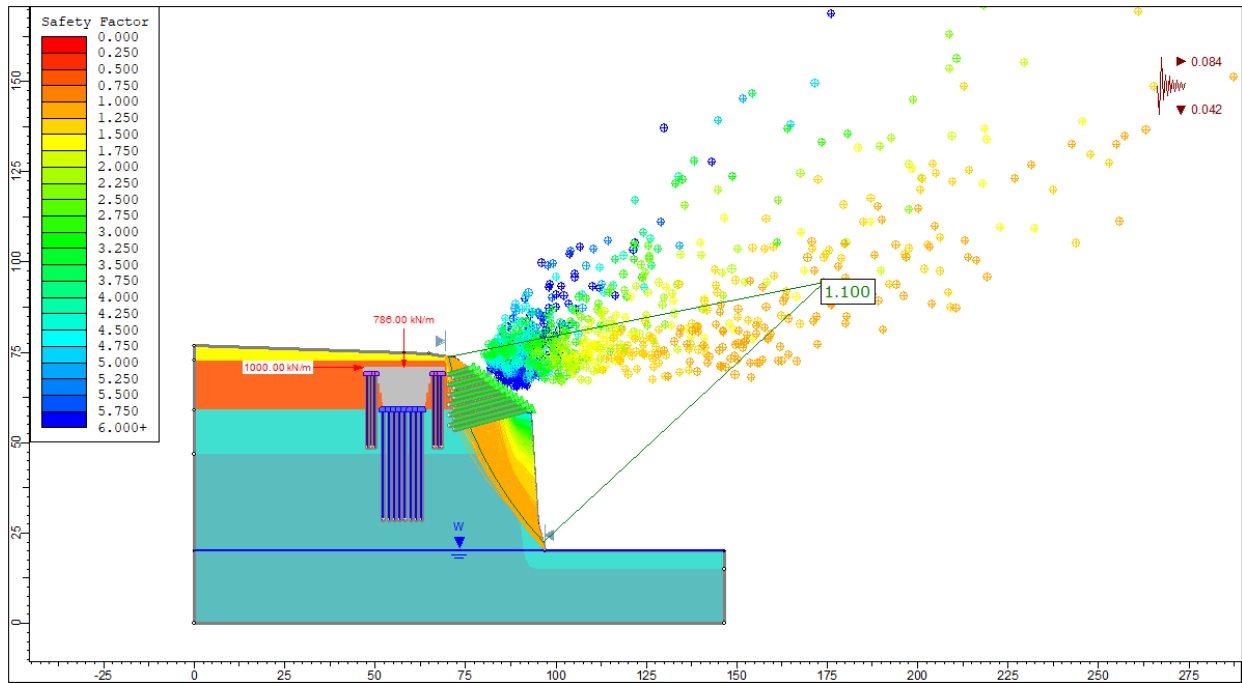


Figura 3 – Analisi sismica – Superfici di scorrimento scarpata davanti alla pila

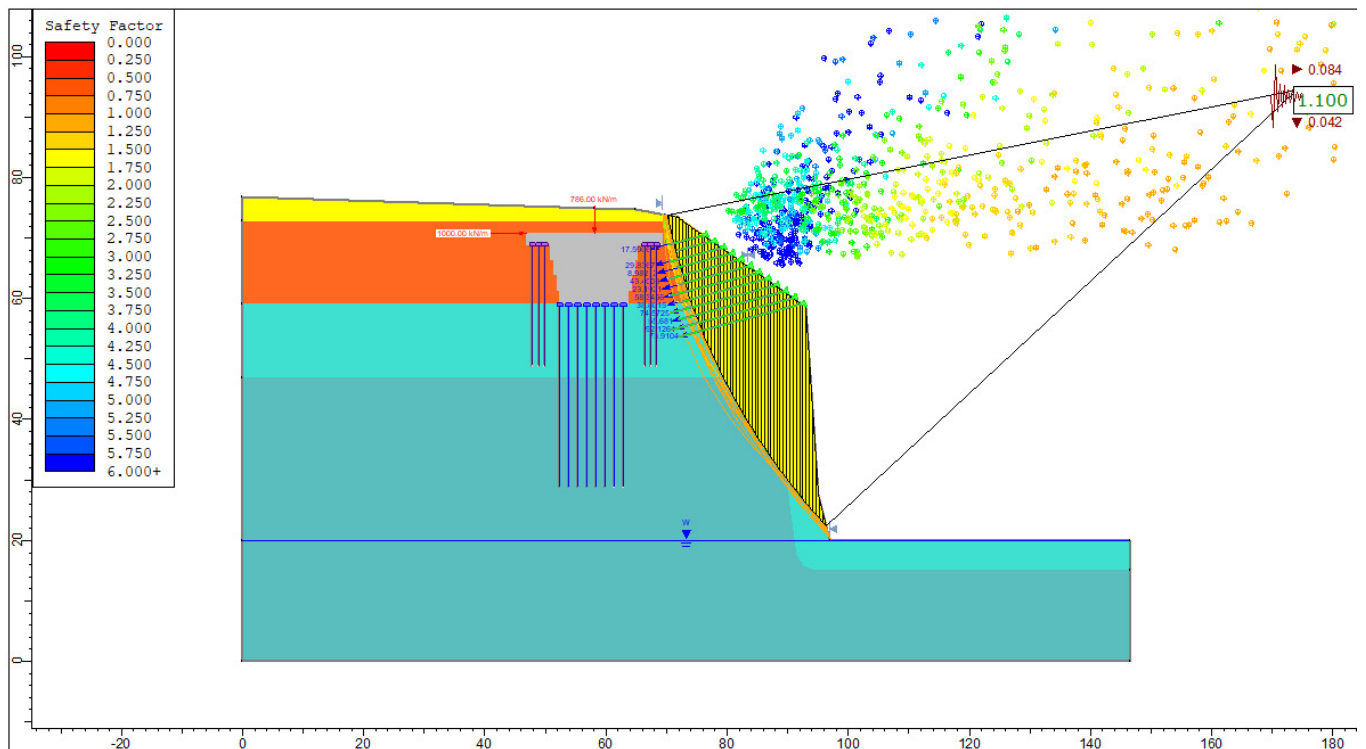


Figura 4 – Analisi sismica – Superfici di scorrimento scarpata davanti alla pila – Azioni sui chiodi

5.5 Verifica barre di chiodatura

Sulla base delle caratteristiche delle chiodature definite in input, il programma di calcolo SLIDE su ogni superficie di scorrimento per la lunghezza di barra intercettata, valuta la resistenza minima tra la resistenza dell'acciaio (F2) e quella di sfilamento della fondazione (F1):

$$F1 = B \cdot L_{\text{eff}} / i = 33 \cdot 17 / 1.8 = 312 \text{ kN / m}$$

$$F2 = F_s / i = 412 / 1.8 = 229 \text{ kN / m}$$

Dove L_{eff} è la lunghezza utile del chiodo, ovvero la porzione di barra al di fuori della superficie di rottura.

Nel caso in esame la resistenza minima è data da: $F_{\text{min}} = F2 = 229 \text{ kN/m}$

Per la sezione analizzata la forza massima di utilizzo è $F_{\text{max}} = 92 \text{ kN / m}$ (vedasi Figura 3), inferiore alla resistenza dell'acciaio (F2). Quindi la verifica è soddisfatta.



Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella
VIADOTTO "BRADANO"

Relazione di consolidamento delle scarpate delle pile di scavalco

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	01	D09 RH	VI 0500003	A	17 di 27

6. APPENDICE A: ANALISI DI STABILITÀ. TABULATI DI CALCOLO SLIDE

Slide Analysis Information

Bradano_consolidamento versanti

Project Summary

File Name: Bradano_consolidamento versanti.slmd
Slide Modeler Version: 8.024
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 02/10/2017, 09:00:02

Currently Open Scenarios

Group Name	Scenario Name	Global Minimum	Compute Time
	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.099790	00h:00m:00.264s
Group 2			

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Data Output: Standard
Failure Direction: Left to Right

Analysis Options

All Open Scenarios	
Slices Type:	Vertical
Analysis Methods Used	
	Bishop simplified
Number of slices:	50
Tolerance:	0.005
Maximum number of iterations:	75
Check malpha < 0.2:	Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos:	Yes
Initial trial value of FS:	1
Steffensen Iteration:	Yes

Relazione di consolidamento delle scarpate delle pile di scavalco

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	01	D09 RH	VI 0500003	A	18 di 27

Groundwater Analysis

All Open Scenarios	
Groundwater Method:	Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m3]:	9.81
Use negative pore pressure cutoff:	Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]:	0
Advanced Groundwater Method:	None

Random Numbers

All Open Scenarios	
Pseudo-random Seed:	10116
Random Number Generation Method:	Park and Miller v.3

Surface Options

Group 2	
Surface Type:	Circular
Search Method:	Slope Search
Number of Surfaces:	5000
Upper Angle [°]:	Not Defined
Lower Angle [°]:	Not Defined
Composite Surfaces:	Disabled
Reverse Curvature:	Invalid Surfaces
Minimum Elevation:	Not Defined
Minimum Depth [m]:	2
Minimum Area:	Not Defined
Minimum Weight:	Not Defined

Seismic Loading

All Open Scenarios	
Advanced seismic analysis:	No
Staged pseudostatic analysis:	No
Seismic Load Coefficient (Horizontal):	0.084
Seismic Load Coefficient (Vertical):	0.042

Loading

All Open Scenarios
<ul style="list-style-type: none"> • 2 Line Loads present

Line Load #1

Angle from horizontal [°]: 270
Magnitude: 786

Line Load #2

Angle from horizontal [°]: 0
Magnitude: 1000

Materials

Property	ASP	GRA	Cc	Pozzo	Cc*
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Infinite strength	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	19	19	25.5	25	25.5
Allow Sliding Along Boundary				Yes	
Cohesion [kPa]	25	30	130		190
Friction Angle [°]	22	37	40		39
Water Surface	Assigned per scenario	Assigned per scenario	Assigned per scenario	Assigned per scenario	Assigned per scenario
Hu Value	1	1	1	0	1

Materials In Use

Material	Master Scenario	Master Scenario
ASP		
GRA		
Cc		
Pozzo		
Cc*		

Support

Support 1

- Support Type: Pile/Micro Pile
- Force Application: Passive
- Out-of-Plane Spacing: 1.5 m

- Failure Mode: Shear
- Pile Shear Strength: 600 kN
- Force Direction: Parallel to surface

Support 2

- Support Type: Pile/Micro Pile
- Force Application: Passive
- Out-of-Plane Spacing: 2 m
- Failure Mode: Shear
- Pile Shear Strength: 600 kN
- Force Direction: Parallel to surface

Support 3

- Support Type: Soil Nail
- Force Application: Passive
- Force Orientation: Parallel to Reinforcement
- Out-of-Plane Spacing: 1.8 m
- Tensile Capacity: 412 kN
- Plate Capacity: 412 kN
- Bond Strength: 33 kN/m

Global Minimums

Group 2

Method: bishop simplified

FS	1.099790
Center:	174.161, 94.411
Radius:	105.990
Left Slip Surface Endpoint:	70.211, 73.711
Right Slip Surface Endpoint:	96.350, 22.443
Resisting Moment:	1.34049e+06 kN-m
Driving Moment:	1.21886e+06 kN-m
Passive Support Moment:	4255.02 kN-m
Maximum Single Support Force:	92.1261 kN
Total Support Force:	516.439 kN
Total Slice Area:	532.627 m2
Surface Horizontal Width:	26.1387 m
Surface Average Height:	20.377 m

Valid/Invalid Surfaces

Group 2

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 903

Number of Invalid Surfaces: 4097

Slice Data
Group 2

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.09979

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.202619	1.83513	-78.4639	ASP	25	22	9.36461	10.2991	-36.386	0	-36.386	9.49449	9.49449
2	0.545864	22.1151	-77.5079	GRA	30	37	13.7456	15.1173	-19.7501	0	-19.7501	42.293	42.293
3	0.545864	45.3236	-76.207	GRA	30	37	24.2099	26.6258	-4.47774	0	-4.47774	94.1389	94.1389
4	0.545864	66.3121	-75.0174	GRA	30	37	34.5017	37.9446	10.5429	0	10.5429	139.462	139.462
5	0.545864	83.8409	-73.9142	GRA	30	37	41.3743	45.503	20.5731	0	20.5731	164.051	164.051
6	0.545864	98.8604	-72.8805	GRA	30	37	54.6382	60.0905	39.9314	0	39.9314	217.32	217.32
7	0.545864	112.726	-71.9043	GRA	30	37	61.9726	68.1569	50.6359	0	50.6359	240.289	240.289
8	0.545864	125.612	-70.9766	GRA	30	37	67.9789	74.7625	59.4019	0	59.4019	256.565	256.565
9	0.522695	134.033	-70.1087	Cc	130	40	111.844	123.005	-8.3363	0	-8.3363	300.776	300.776
10	0.522695	149.22	-69.2939	Cc	130	40	120.716	132.763	3.29235	0	3.29235	322.656	322.656
11	0.522695	163.627	-68.5087	Cc	130	40	135.714	149.256	22.949	0	22.949	367.632	367.632
12	0.522695	177.333	-67.75	Cc	130	40	144.283	158.681	34.1813	0	34.1813	386.856	386.856
13	0.522695	190.405	-67.015	Cc	130	40	145.827	160.379	36.2044	0	36.2044	380.002	380.002
14	0.522695	202.898	-66.3017	Cc	130	40	155.993	171.56	49.5293	0	49.5293	404.921	404.921
15	0.522695	214.86	-65.6081	Cc	130	40	166.016	182.582	62.6651	0	62.6651	428.782	428.782
16	0.522695	226.334	-64.9326	Cc	130	40	175.895	193.448	75.6145	0	75.6145	451.668	451.668
17	0.522695	237.355	-64.2737	Cc	130	40	185.636	204.16	88.3809	0	88.3809	473.65	473.65
18	0.522695	247.955	-63.6301	Cc	130	40	195.239	214.722	100.967	0	100.967	494.793	494.793
19	0.515221	254.402	-63.0052	Cc*	190	39	225.731	248.257	71.9411	0	71.9411	515.063	515.063
20	0.515221	263.968	-62.3979	Cc*	190	39	235.127	258.59	84.7017	0	84.7017	534.417	534.417
21	0.515221	273.202	-61.8026	Cc*	190	39	244.385	268.772	97.2754	0	97.2754	553.1	553.1
22	0.515221	282.124	-61.2186	Cc*	190	39	253.508	278.806	109.666	0	109.666	571.152	571.152
23	0.515221	290.751	-60.6453	Cc*	190	39	262.501	288.696	121.879	0	121.879	588.605	588.605
24	0.515221	299.098	-60.082	Cc*	190	39	271.365	298.444	133.918	0	133.918	605.493	605.493
25	0.515221	307.18	-59.5282	Cc*	190	39	280.104	308.056	145.786	0	145.786	621.845	621.845
26	0.515221	315.01	-58.9834	Cc*	190	39	288.721	317.532	157.488	0	157.488	637.684	637.684
27	0.515221	322.599	-58.447	Cc*	190	39	297.217	326.876	169.029	0	169.029	653.036	653.036
28	0.515221	329.958	-57.9187	Cc*	190	39	305.597	336.092	180.408	0	180.408	667.924	667.924
29	0.515221	337.097	-57.398	Cc*	190	39	313.862	345.182	191.633	0	191.633	682.368	682.368
30	0.515221	344.026	-56.8846	Cc*	190	39	322.013	354.147	202.705	0	202.705	696.383	696.383
31	0.515221	350.752	-56.3782	Cc*	190	39	330.056	362.992	213.627	0	213.627	709.992	709.992
32	0.515221	357.285	-55.8785	Cc*	190	39	337.989	371.717	224.402	0	224.402	723.207	723.207

Relazione di consolidamento delle scarpate delle pile di scavalco

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	01	D09 RH	VI 0500003	A	22 di 27

33	0.515221	363.632	-55.3851	Cc*	190	39	345.817	380.326	235.033	0	235.033	736.044	736.044
34	0.515221	369.799	-54.8978	Cc*	190	39	353.541	388.821	245.523	0	245.523	748.519	748.519
35	0.515221	375.792	-54.4163	Cc*	190	39	361.163	397.203	255.874	0	255.874	760.644	760.644
36	0.515221	381.619	-53.9404	Cc*	190	39	368.683	405.474	266.088	0	266.088	772.428	772.428
37	0.515221	387.284	-53.4698	Cc*	190	39	376.105	413.637	276.169	0	276.169	783.888	783.888
38	0.515221	392.793	-53.0045	Cc*	190	39	383.431	421.694	286.119	0	286.119	795.032	795.032
39	0.548639	424.156	-52.5293	Cc	130	40	367.494	404.166	326.738	0	326.738	806.172	806.172
40	0.548639	430.055	-52.0444	Cc	130	40	375.022	412.445	336.604	0	336.604	817.378	817.378
41	0.548639	435.784	-51.5648	Cc	130	40	382.448	420.613	346.339	0	346.339	828.26	828.26
42	0.548639	441.347	-51.0901	Cc	130	40	389.775	428.671	355.943	0	355.943	838.827	838.827
43	0.548639	446.633	-50.6203	Cc	130	40	396.917	436.525	365.302	0	365.302	848.866	848.866
44	0.548639	449.658	-50.1551	Cc	130	40	402.366	442.518	372.444	0	372.444	854.611	854.611
45	0.548639	381.997	-49.6944	Cc	130	40	353.852	389.163	308.858	0	308.858	726.024	726.024
46	0.548639	272.009	-49.2381	Cc	130	40	271.956	299.094	201.518	0	201.518	517.005	517.005
47	0.548639	161.879	-48.7859	Cc	130	40	188.649	207.474	92.3304	0	92.3304	307.715	307.715
48	0.548639	62.5391	-48.3377	Cc	130	40	112.49	123.716	-7.4894	0	-7.4894	118.934	118.934
49	0.548639	30.6519	-47.8935	Cc	130	40	88.2299	97.0344	-39.2869	0	-39.2869	58.3369	58.3369
50	0.548639	10.239	-47.453	Cc	130	40	72.6912	79.945	-59.6532	0	-59.6532	19.5449	19.5449

Interslice Data
Group 2

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.09979

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	70.2112	73.7113	0	0	0
2	70.4138	72.7186	-37.8613	0	0
3	70.9597	70.2548	-92.1587	0	0
4	71.5055	68.0312	-126.967	0	0
5	72.0514	65.9916	-144.927	0	0
6	72.5973	64.0986	-129.391	0	0
7	73.1431	62.3264	-138.637	0	0
8	73.689	60.6559	-129.649	0	0
9	74.2348	59.0727	-96.2163	0	0
10	74.7575	57.6281	-220.931	0	0
11	75.2802	56.2453	-315.802	0	0
12	75.8029	54.9177	-423.411	0	0
13	76.3256	53.6401	-505.127	0	0
14	76.8483	52.4078	-520.647	0	0
15	77.371	51.217	-526.058	0	0
16	77.8937	50.0643	-522.443	0	0
17	78.4164	48.9468	-510.758	0	0
18	78.9391	47.862	-491.854	0	0
19	79.4618	46.8076	-466.494	0	0
20	79.977	45.7962	-488.519	0	0
21	80.4922	44.8108	-503.869	0	0
22	81.0075	43.8498	-513.195	0	0

Relazione di consolidamento delle scarpate delle pile di scavalco

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	01	D09 RH	VI 0500003	A	23 di 27

23	81.5227	42.9119	-517.091	0	0
24	82.0379	41.9958	-516.096	0	0
25	82.5531	41.1005	-510.708	0	0
26	83.0683	40.2248	-501.382	0	0
27	83.5836	39.3679	-488.537	0	0
28	84.0988	38.5289	-472.563	0	0
29	84.614	37.707	-453.817	0	0
30	85.1292	36.9014	-432.634	0	0
31	85.6444	36.1115	-409.324	0	0
32	86.1597	35.3367	-384.176	0	0
33	86.6749	34.5763	-357.46	0	0
34	87.1901	33.8299	-329.427	0	0
35	87.7053	33.0969	-300.315	0	0
36	88.2205	32.3768	-270.344	0	0
37	88.7358	31.6692	-239.723	0	0
38	89.251	30.9737	-208.648	0	0
39	89.7662	30.2898	-177.302	0	0
40	90.3148	29.5741	-109.178	0	0
41	90.8635	28.8707	-41.798	0	0
42	91.4121	28.1794	24.6797	0	0
43	91.9608	27.4997	90.1057	0	0
44	92.5094	26.8313	154.301	0	0
45	93.058	26.1738	216.456	0	0
46	93.6067	25.527	254.42	0	0
47	94.1553	24.8906	256.507	0	0
48	94.704	24.2642	224.569	0	0
49	95.2526	23.6476	163.564	0	0
50	95.8012	23.0405	93.9435	0	0
51	96.3499	22.4428	0	0	0

Entity Information

Group: Group 2

Shared Entities

Type	Coordinates	
	X	Y
External Boundary	0	0
	146.605	0
	146.605	15
	146.605	20
	95.9821	20
	92.9823	58.5808
	92.2838	59.0727
	72.9097	72.7167
	71.9868	73.3667
	64.9874	74.7253
	58.0689	74.947






Relazione di consolidamento delle scarpate delle pile di scavalco

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	01	D09 RH	VI 0500003	A	24 di 27

		0	76.8076
		0	72.7727
		0	59.0727
		0	46.8076
		X	Y
		0	59.0727
Material Boundary		52.3554	59.0727
		63.8804	59.0727
		92.2838	59.0727
		X	Y
		0	72.7727
Material Boundary		72.9097	72.7167
		X	Y
		50.8805	68.7566
		58.1423	68.7566
		65.4042	68.7566
Material Boundary		65.4042	66.2566
		64.8798	66.2566
		51.356	66.2566
		50.8805	66.2566
		50.8805	68.7566
		X	Y
		51.356	66.2566
		51.356	63.7566
Material Boundary		51.8554	63.7566
		64.3804	63.7566
		64.8798	63.7566
		64.8798	66.2566
		X	Y
		51.8554	63.7566
		51.8554	61.2566
Material Boundary		52.3554	61.2566
		63.8804	61.2566
		64.3804	61.2566
		64.3804	63.7566
		X	Y
		52.3554	61.2566
		52.3554	59.0727
Material Boundary		52.3554	58.7566
		63.8804	58.7566
		63.8804	59.0727
		63.8804	61.2566
		X	Y
		46.8923	68.7566
Material Boundary		50.8805	68.7566
Material Boundary		X	Y

	46.8923	68.7566
	46.8923	70.7566
	69.3923	70.7566
	69.3923	68.7566
	65.4042	68.7566
	X	Y
	0	46.8076
	82.0035	46.8076
	85.6532	46.1722
	87.0967	42.856
	89.3282	33.4816
	90.3835	25.7915
	91.0224	20.3958
	X	Y
	98.1203	15
	146.605	15
	X	Y
	91.0224	20.3958
	91.467	18.125
	92.373	16.683
	93.849	15.676
	96.029	15.005
	98.1203	15

Scenario-based Entities

Type	Coordinates	Master Scenario						
		Assigned to materials:						
		 ASP						
		 GRA						
		 Cc						
		 Pozzo						
		 Cc*						
Water Table	<table border="1"> <thead> <tr><th>X</th><th>Y</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td>-2.77556e-17</td><td>20</td></tr> <tr><td>146.605</td><td>20</td></tr> </tbody> </table>	X	Y	-2.77556e-17	20	146.605	20	
X	Y							
-2.77556e-17	20							
146.605	20							

Group: Group 2

Shared Entities

Type	Coordinates		
External Boundary	<table border="1"> <thead> <tr><th>X</th><th>Y</th></tr> </thead> </table>	X	Y
X	Y		

Relazione di consolidamento delle scarpate delle pile di scavalco

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	01	D09 RH	VI 0500003	A	26 di 27

		0	0
		146.605	0
		146.605	15
		146.605	20
		97	20
		94.9824	27.581
		92.9823	58.5808
		92.2838	59.0727
		72.9097	72.7167
		71.9868	73.3667
		64.9874	74.7253
		58.0689	74.947
		0	76.8076
		0	72.7727
		0	59.0727
		0	46.8076
		X	Y
		0	59.0727
Material Boundary		52.3554	59.0727
		63.8804	59.0727
		92.2838	59.0727
		X	Y
		0	72.7727
Material Boundary		72.9097	72.7167
		X	Y
		50.8805	68.7566
		58.1423	68.7566
		65.4042	68.7566
Material Boundary		65.4042	66.2566
		64.8798	66.2566
		51.356	66.2566
		50.8805	66.2566
		50.8805	68.7566
		X	Y
		51.356	66.2566
		51.356	63.7566
Material Boundary		51.8554	63.7566
		64.3804	63.7566
		64.8798	63.7566
		64.8798	66.2566
		X	Y
		51.8554	63.7566
		51.8554	61.2566
Material Boundary		52.3554	61.2566
		63.8804	61.2566
		64.3804	61.2566
		64.3804	63.7566

Relazione di consolidamento delle scarpate delle pile di scavalco

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENT	REV.	FOGLIO
IA5F	01	D09 RH	VI 0500003	A	27 di 27

Material Boundary	X	Y
	52.3554	61.2566
	52.3554	59.0727
	52.3554	58.7566
	63.8804	58.7566
	63.8804	61.2566
Material Boundary	X	Y
	46.8923	68.7566
Material Boundary	X	Y
	46.8923	68.7566
	46.8923	70.7566
	69.3923	70.7566
	69.3923	68.7566
Material Boundary	X	Y
	0	46.8076
	82.0035	46.8076
	85.6532	46.1722
	87.0967	42.856
	89.3282	33.4816
	90.3835	25.7915
Material Boundary	X	Y
	98.1203	15
Material Boundary	X	Y
	91.0224	20.3958
	91.532	17.664
	92.568	15.883
	94.473	15.138
	98.1203	15

Scenario-based Entities

Type	Coordinates	Master Scenario
		Assigned to materials:
Water Table	X	Y
	0	20
	146.605	20
		