



# ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

## PA17/08

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 - Svincolo Manganaro incluso) compresi raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121

### Bolognetta S.c.p.a.

## - PERIZIA DI VARIANTE N.3 -

Il Responsabile Ambientale:  
Dott. Maurizio D'angelo



Titolo elaborato:

### OPERE D'ARTE - OPERE DI SOSTEGNO

### Rivestimento corticale su paratie di pali OS04 Relazione descrittiva e di calcolo

Codice Unico Progetto (CUP): **F41B03000230001**

Codice elaborato:	OPERA	ARGOMENTO	DOC. E PROG.	FASE	REVISIONE
PA17/08	PV	OS04	RC01	6	1

CARTELLA:	FILE NAME:	NOTE:	PROT.	SCALA:
	PV_OS04RC01_61_4137	1=1	4 1 3 7	-
5				
4				
3				
2				
1	EMISSIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA ANAS		Maggio 2021	Q. Napoleoni S. Fortino N. Behmann
0	PRIMA EMISSIONE		Dicembre 2019	Q. Napoleoni S. Fortino D. Tironi
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

Progettisti:

F.A.C.E. S.r.l. - Società di ingegneria  
 via Flaminia 71 - 00196 Roma  
 tel: 06 32609519  
 e-mail: info@facesrl.com  
 pec: pec.facesrl@pec.com

Direttore Tecnico: ing. Antonio Ambrosi

Consulenti:

**E&G S.r.l.**  
 ENVIRONMENT & GEOTECHNIC  
 STUDIO DI INGEGNERIA GEOTECNICA E AMBIENTALE

Direttore Tecnico: ing. Quintilio Napoleoni



Il Progettista Responsabile  
Ing. Antonio Ambrosi



Il Geologo  
Dott. Geol. Gualtiero Bellomo



Il Coordinatore per la Sicurezza  
in fase di Esecuzione:  
Arch. Francesco Rondelli



Il Direttore dei Lavori:  
Ing. Sandro Favero



ANAS S.p.A.

DATA: \_\_\_\_\_ PROTOCOLLO: \_\_\_\_\_ VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

CODICE PROGETTO **LO410CE1101**

Dott. Ing. Luigi Mupo

## INDICE

<b>INDICE</b> .....	1
1   PREMESSA.....	2
2   NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3   MATERIALI.....	4
3.1   ACCIAIO.....	4
3.2   MISCELA CEMENTIZIA/BOIACCA PER ANCORAGGI.....	4
3.3   RIVESTIMENTO FLESSIBILE.....	5
3.4   Biostuoia antiersiva.....	5
4   DESCRIZIONE DELL'OPERA.....	6
5   CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA.....	7
5.1   PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA.....	7
5.2   AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO.....	7
6   INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO ED I DROGEOLOGICO.....	8
6.1   INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	8
6.2   INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO ED I DROGEOLOGICO.....	9
7   CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	10
7.1   MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO.....	10
8   SOFTWARE UTILIZZATI.....	11
8.1   METODOLOGIA DI CALCOLO SOFTWARE GEOSLOPE.....	11
8.1.1   Elementi di rinforzo.....	13
8.2   METODOLOGIA DI CALCOLO SOFTWARE BIOS.....	14
9   AZIONI DI CALCOLO.....	25
9.1   FALDA.....	25
10   VERIFICHE DI STABILITA' INTERVENTO.....	26
10.1   GENERALITA'.....	26
10.2   APPROCCIO NORMATIVO.....	26
10.3   RISULTATI DI CALCOLO.....	28
11   CONCLUSIONI.....	35
12   ALLEGATI FILE DI INPUT OUTPUT DEI MODELLI DI CALCOLO.....	36

## 1 PREMESSA

La presente relazione si riferisce all'opera di identificata con la WBS OS04, costituita da un rinforzo corticale a monte della paratia dei pali esistente ed ubicata in corrispondenza della viabilità principale lungo la Palermo-Lercara Friddi, dal km 1+869,867 al km 1+929,876.

A seguito dell'evento alluvionale del Novembre 2018, le scarpate a monte della paratia esistente sono state infatti oggetto di fenomeni di erosione e dilavamento superficiale, accompagnati da fenomeni di instabilità locale caratterizzati da refluito del terreno verso valle, e dalla conseguente risagomatura delle scarpate stesse.

Alla luce dei danni rilevati in seguito all'evento in oggetto, si è ritenuto necessario provvedere alla protezione delle scarpate con sistemi antiersivi, al fine di non lasciare esposta la porzione di terreno già interessata dagli eventi alluvionali, e pertanto particolarmente soggetta a futuri fenomeni di erosione e dilavamento superficiale.

Per quanto riguarda l'aspetto geotecnico, si provvederà a commentare dal punto di vista stratigrafico, fisico e meccanico i risultati delle prove di laboratorio geotecniche, delle prove in sito e dei sondaggi effettuati durante la campagna di indagine.

Si provvederà altresì a dar conto della verifica di stabilità globale dell'opera e di tutte le altre verifiche di carattere geotecnico previste in normativa.



Figura 1- SCOSCENDIMENTI SUPERFICIALI IN SOMMITÀ DELLA PARATIA OS04

## 2    **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

---

Nel presente studio, si è fatto riferimento alla seguente normativa:

- D.M. 11 marzo 1988. “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”;
- Circ. LL.PP. 24 settembre n. 30483. “Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”;
- Eurocodice 7. Progettazione geotecnica. 2004;
- Ordinanza n. 3274 del 08/05/2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e relativi allegati e s.m.i.;
- Ordinanza n. 3519 del PdCM del 28 aprile 2006 “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”;
- D.M. 27/01/2018 - “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”;
- Circolare Consiglio Superiore dei LL.PP. n. 7 del 21 Gennaio 2019 - “Istruzioni per l’applicazione dell’aggiornamento delle Norme Tecniche”;
- Raccomandazioni AGI Aspetti Geotecnici della Progettazione in Zona Sismica (1995).

### 3 MATERIALI

Salvo indicazioni diverse, espressamente indicate negli elaborati grafici, per la realizzazione dei rinforzi corticali in oggetto sono previsti i materiali di seguito descritti.

#### 3.1 ACCIAIO

Nelle verifiche illustrate in seguito, sono state considerate barre di rinforzo in acciaio ad aderenza migliorata a filettatura continua con le seguenti caratteristiche:

Acciaio S355 H		
Tensione caratteristica a rottura	510	MPa
Tensione caratteristica a snervamento	355	MPa
Diametro nominale	32	mm
Diametro medio interno	20	mm
Area sezione trasversale	430	mm <sup>2</sup>
Forza nominale a rottura	219	kN
Forza nominale a snervamento	153	kN
Punta di perforazione	70	mm

Tabella 1 Caratteristiche minime barre autoporforanti per chiodature

Per le stesse barre è possibile calcolare una resistenza al taglio utilizzando la seguente relazione

$$V_{RD} = (f_{yd} / \sqrt{3}) A_v$$

in cui

- $f_{yd}$  è la resistenza di progetto dell'acciaio
- $A_v$  è l'area resistente al taglio calcolata come:  $A_v = 2A_t / \pi$ , Con  $A_t$  pari all'area trasversale della barra

Nel presente caso

$$V_{RD} = 56 \text{ kN}$$

- Inclinazione chiodi: 30°
- Primo chiodo quota: +0.5 m da fosso di guardia
- Distanza chiodi in direzione verticale: 3 m
- Interasse chiodi: 3 m
- lunghezza chiodature: 3 m

#### 3.2 MISCELA CEMENTIZIA/BOIACCA PER ANCORAGGI

Caratteristiche miscela di iniezione:

- Densità  $\geq 1.85$  t/mc
- Cemento tipo III, IV, V
- Rapporto acqua/cemento  $\leq 0.5$
- Resistenza a compressione dopo 3 giorni  $\geq 20$  MPa
- Resistenza a compressione dopo 28 giorni  $\geq 37$  MPa (C30/37)

E' ammesso l'eventuale impiego di filler calcareo o siliceo con rapporto non superiore al 30% sul peso in cemento e di additivi fluidificanti al 5% al fine di facilitare l'iniettabilità della miscela.

### 3.3 RIVESTIMENTO FLESSIBILE

Per la protezione della superficie esposta del terreno rinforzato dai chiodi si ricorre ad un rivestimento (facing) allo scopo di contenere il terreno tra i chiodi e prevenire i fenomeni di erosione. Pertanto, il rivestimento flessibile sarà costituito da una rete metallica a doppia torsione a maglia esagonale tipo 8x10, tessuta con trafilato di acciaio avente un diametro pari a 2,70 mm (UNI EN 10223-3), galvanizzato con Galmac (lega eutettica di Zinco – 5% Alluminio) in conformità a UNI EN 10244-2 Classe A.

La rete metallica, in rotoli di larghezza pari a 3.0 m, è tessuta con l'inserimento longitudinale ad interasse di 0,50 m, direttamente in produzione, di funi di acciaio con anima metallica con grado non inferiore a 1770 N/mm<sup>2</sup> (UNI EN 12385-2) aventi un diametro pari a 8 mm, galvanizzate con Galmac (lega eutettica di Zinco – 5% Alluminio) in conformità a UNI EN 10244-2 Classe A. La protezione anticorrosiva del geocomposito metallico sarà tale da non presentare tracce di ruggine rossa a seguito di un test di invecchiamento accelerato in nebbia salina (test in accordo a UNI EN ISO 9227) per un tempo di esposizione minimo di 1000 ore. Il geocomposito metallico avrà una resistenza a trazione longitudinale non inferiore a 120 kN/m (test eseguiti in accordo alla EN 15381, Annex D). La rete sarà caratterizzata da una resistenza a punzonamento nominale non inferiore a 125 kN, quando testata in accordo a UNI 11437.

### 3.4 BIOSTUOIA ANTIEROSIVA

Al fine di incrementare la protezione dall'erosione sarà posta in opera una biostuoia antierosiva realizzata mediante l'interposizione tra due reti di una massa organica non inferiore ai 400 gr/m<sup>2</sup> costituita da fibre di paglia e cocco e comunque tali da risultare idonee allo scopo.

## 4 DESCRIZIONE DELL'OPERA

---

L'opera di rinforzo corticale è costituita dall'inserimento nel terreno di barre di rinforzo, iniettate e rese solidali al terreno per tutta la loro lunghezza, e dall'impiego di un rivestimento strutturale flessibile. Tale opera è ubicata in corrispondenza della viabilità principale lungo la Palermo-Lercara Friddi, nel tratto compreso tra le progressive km 1+869,867 e km 1+929,876.

Come detto in precedenza, l'opera in questione riguarda il rinforzo corticale di un tratto a monte della paratia esistente e sarà ottenuto attraverso l'impiego di barre di acciaio filettate e rivestimento flessibile.

L'installazione della rete metallica costituente il rivestimento flessibile sarà preceduta dalla posa di una biostuoia in fibre di paglia e cocco al fine di fornire una protezione dall'erosione.

Al fine di ridurre ulteriormente le deformazioni del rivestimento così costituito, e dunque rendere più efficace l'azione di contenimento da parte della rete, saranno installate anche delle funi in acciaio con un diametro minimo pari a 12 mm; in particolare queste funi saranno posate successivamente alla stesa del rivestimento e saranno vincolate al di sotto delle piastre di ripartizione a formare un reticolo a maglia romboidale.

Per i dettagli geometrici e ulteriori dettagli costruttivi si rimanda agli specifici elaborati grafici dell'opera in esame.

## 5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

### 5.1 PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Come stabilito nel C.S.A. la progettazione delle strutture farà riferimento a:

- vita nominale:  $V_N = 50$  anni
- classe d'uso: IV

da cui risulta:

- coefficiente d'uso:  $C_U = 2.0$
- periodo di riferimento per l'azione sismica:  $V_R = V_N \times C_U = 100$  anni

### 5.2 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Il calcolo delle azioni sismiche, viene condotto nel rispetto della normativa vigente.

Le coordinate geografiche di riferimento (secondo sistema ED50) per l'opera in esame sono:

Longitudine:  $13^\circ.48874$   
Latitudine:  $37^\circ.95316$

Per le analisi in condizioni sismiche, concordemente alle indicazioni della normativa vigente, è stato preso come riferimento lo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) e, dunque, i seguenti parametri:

- categoria di suolo: B
- coefficiente topografico: T1
- fattore di sito:  $S = 1.200$
- accelerazione orizzontale su sito di riferimento rigido:  $a_g = 0.204g$
- massima accelerazione su sottosuolo tipo B:  $a_{max} = 0.245g$
- coefficiente sismico orizzontale:  $k_h = 0.093$
- coefficiente sismico verticale:  $k_v = \pm 0.047$

Concordemente alle indicazioni di normativa i coefficienti di smorzamento sono stati posti pari a  $\beta = 0.38$ .

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

OS04 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+869,867 AL KM 1+929,876 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

## 6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO ED I DROGEOLOGICO

### 6.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le prove in sito ed i sondaggi effettuati nei pressi dell’opera sono riepilogati nelle seguente tabella e nella seguente figura.

OS 04	
indagini	S5

Tabella 2- INDAGINI IN CORRISPONDENZA DELL’OPERA

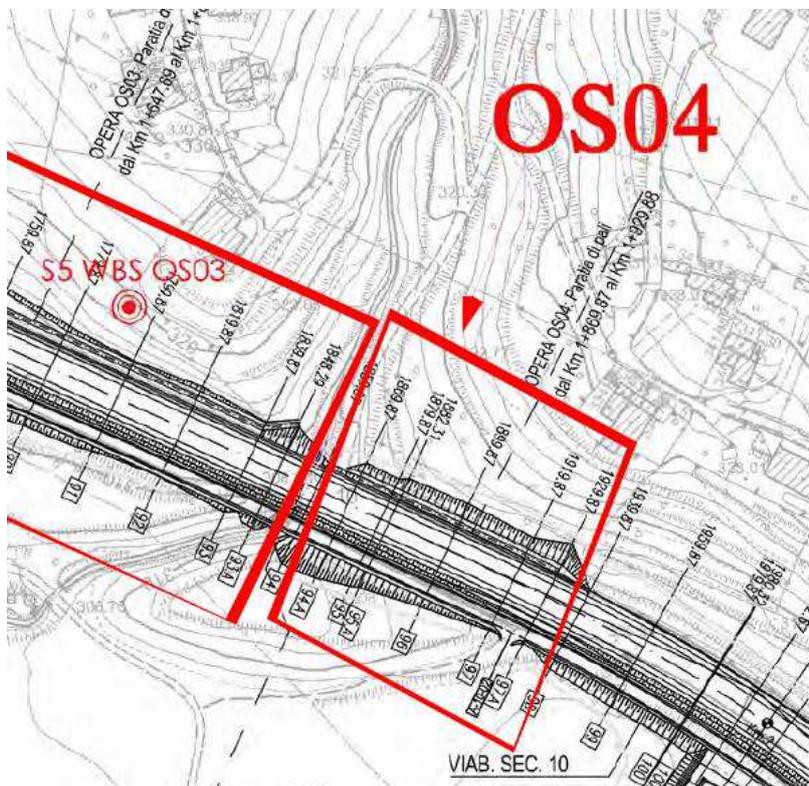


Figura 2- UBICAZIONE INDAGINI DI RIFERIMENTO

In totale sono stati eseguiti:

- n.1 sondaggio a carotaggio continuo.

In aggiunta a quanto sopra riportato è stata eseguita una campagna di indagini sismiche a rifrazione nel Novembre 2020, al fine di integrare i sondaggi geognostici nella definizione degli spessori delle diverse unità litologiche/litotecniche. L’ubicazione dei sondaggi è riportata in sezione nella seguente figura.

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

OS04 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+869,867 AL KM 1+929,876 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

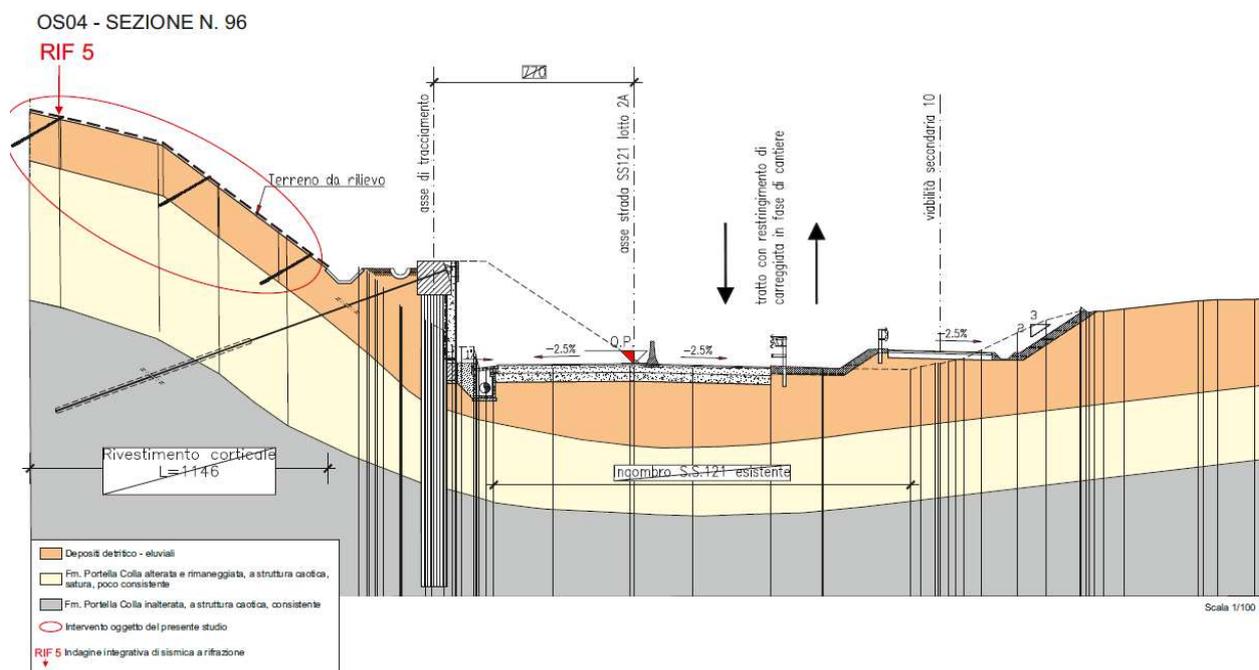


Figura 3 Ubicazione indagini a rifrazione campagna 2020 su sezione geologica stratigrafica

## 6.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO ED I DROGEOLOGICO

Per tale inquadramento si rimanda alla Relazione Geologica Generale e al documento “Indagini di sismica a rifrazione integrative aree OS01-OS03-OS04-OS05”.

Con specifico riferimento a tale documento, alla relazione geotecnica generale, ed alle indagini effettuate nell’area, la stratigrafia di riferimento per le opere in esame risulta essere la seguente:

Area (OS04)		
Profondità m. da p.c.	Litologia	Formazione
0.0-2.0	Detrito	DT
2.0-11.5	Limi sabbiosi argillosi	LSA
>11.5	Argille limose grigie	AG

Tabella 2- CARATTERISTICHE LITOLOGICHE

## 7 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 7.1 MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Come riportato nella Relazione Geotecnica Generale, sulla base del modello geologico e geotecnico di riferimento le unità stratigrafiche, presenti in prossimità dell'opera di riferimento, sono le seguenti:

- **Unità DT:** detrito limoso argilloso. Si tratta di limi argillosi sabbiosi con inclusi elementi lapidei derivanti dall'alterazione e disgregazione della porzione più superficiale dei terreni di base;
- **Unità LSA:** limi sabbiosi argillosi moderatamente consistenti;
- **Unità AG:** argille limose grigie. Si tratta di argille limose grigie a struttura scagliettata con inclusi elementi lapidei, da consistenti a molto consistenti, talvolta con intercalati livelli sabbiosi e/o livelli, strati di argilliti a consistenza pseudo-litoide.

La stratigrafia di progetto è stata determinata a seguito dell'interpretazione puntuale dei sondaggi geognostici e delle indagini sismiche a rifrazione descritti nei precedenti paragrafi, coerentemente al modello geologico di progetto, e viene di seguito sinteticamente riportata unitamente ai parametri geotecnici dei terreni interessati:

OS04						
Profondità	Unità stratigrafica	$\gamma$	$c'$	$\varphi'$	$c_u$	$E'$
m	-	kN/mc	kPa	deg	kPa	MPa
2.0	DT	20	5	28	-	20
inf	LSA	20	15	25	-	-

Tabella 3- PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

Ai fini dell'opera in esame, data l'estensione superficiale del volume significativo, la modellazione non ha tenuto conto della presenza del substrato di argille limose.

## 8 SOFTWARE UTILIZZATI

---

I software utilizzati per i calcoli delle opere in esame sono di seguito indicati:

- **Geoslope** – Geostudio, per la verifica della stabilità globale;
- **BIOS** – Maccaferri, per la verifica del rivestimento strutturale flessibile.

Per quanto riguarda i suddetti software/codici di calcolo si dichiara di aver condotto una valutazione di affidabilità e dell'idoneità al caso specifico di applicazione, attraverso verifiche alternative di controllo sui modelli realizzati ed una validazione critica dei risultati degli stessi mediante analisi semplificate tradizionali, nonché di aver esaminato la documentazione fornita dal produttore o dal distributore sulle modalità e procedure seguite per la validazione dei programmi.

### 8.1 METODOLOGIA DI CALCOLO SOFTWARE GEOSLOPE

Le verifiche di stabilità con i metodi dell'equilibrio limite rispondono a requisiti di semplicità e rapidità e sono correntemente impiegate, malgrado le loro limitazioni, nella pratica professionale e nella ricerca; ognuno dei metodi disponibili fornisce un'equazione finale che permette di determinare il coefficiente di sicurezza. [Tancredi, 1996].

Ogni metodo assume una serie di ipotesi semplificative così da poter rendere risolvibile il sistema di equazioni che, come vedremo, risulta essere staticamente indeterminato.

Alcuni di questi metodi sono stati risolti con metodo iterativo, vale a dire creando una procedura di calcolo che facilita la loro implementazione su macchina. Tra questi ci interessa maggiormente approfondire il metodo implementato dal programma di calcolo SLOPE/W, che è il metodo di Bishop (1955) e la sua semplificazione.

Le analisi di stabilità che adottano tali metodi sono quelle dell'equilibrio limite globale. Tale verifica si conduce esaminando un certo numero di possibili superfici di scivolamento per ricercare quella che rappresenta il rapporto minimo tra la resistenza a rottura disponibile e quella effettivamente mobilitata; il valore di questo rapporto costituisce il coefficiente di sicurezza del pendio. Scelta quindi una superficie di rottura si suddivide in conci la parte instabile, si studia dapprima l'equilibrio della singola striscia e poi si passa alla stabilità globale.

Dato l'elevato numero di incognite, ogni metodo assume delle ipotesi semplificative che rendono risolvibile il sistema e sono proprio tali ipotesi che differenziano un metodo dall'altro.

Esistono diverse formulazioni ascrivibili a diversi autori per il calcolo e la soluzione di problemi relativi alla stabilità dei pendii tramite metodi dell'equilibrio limite, tutti questi metodi si basano su ipotesi comuni, che sono:

- Il coefficiente di sicurezza è definito come il rapporto tra la resistenza al taglio lungo un'ipotetica superficie di scorrimento e lo sforzo di taglio mobilitato lungo la stessa superficie;
- La rottura avviene, per il raggiungimento della resistenza limite, contemporaneamente in tutti i punti della superficie di scorrimento.
- Il coefficiente di sicurezza è costante in tutti i punti della superficie di scorrimento.
- La resistenza al taglio è espressa dal criterio di Coulomb.

Nell'utilizzare tali metodi di calcolo si fa sempre riferimento a problemi piani nei quali, quindi, la superficie di scorrimento è rappresentata da una curva e si trascura ogni effetto dovuto alle sezioni adiacenti. Tali schematizzazioni sono giustificabili se le proprietà meccaniche dei terreni sono omogenee in direzione trasversale e quando l'estensione del pendio è predominante sulla dimensione trasversale.

In generale la massa di terreno compresa tra la superficie di scorrimento e la superficie del suolo viene suddivisa in conci e le forze che agiscono su ciascuna striscia possono essere calcolate imponendo le condizioni di equilibrio. L'equilibrio dell'intera massa è dato poi dalla composizione delle forze che agiscono su ciascuna striscia. [Tancredi, 1996]

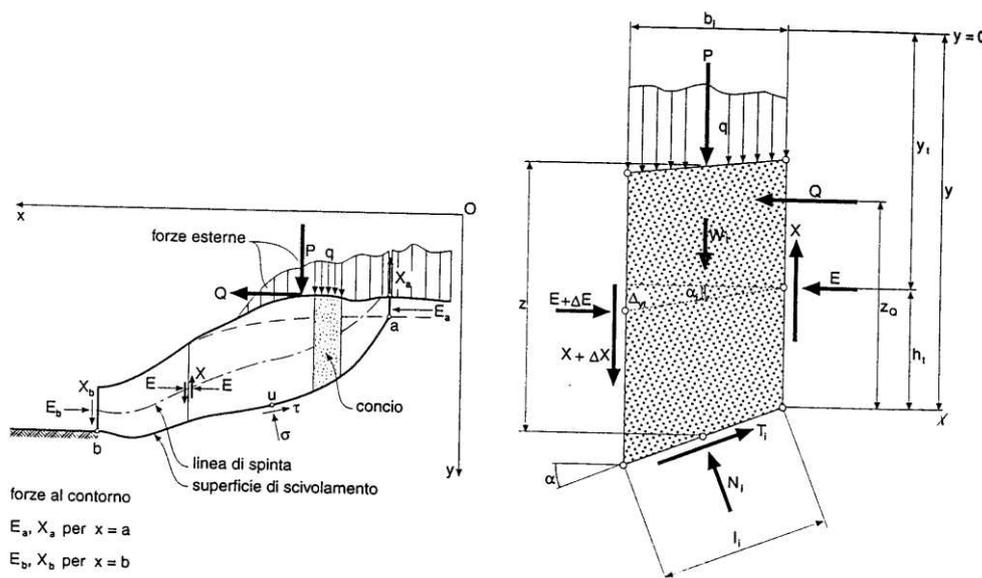


Figura 4 METODO DELLE STRISCE

Le forze agenti su ciascun concio sono, con riferimento alla figura precedente: Il peso  $W$ , l'azione tangenziale alla base  $T$ , l'azione normale efficace alla base  $N$ , la spinta dell'acqua sulla base  $U$ , gli sforzi tangenziali  $X$  e quelli normali  $E$  sulle superfici laterali (forze d'interfaccia).

Le condizioni di equilibrio di ciascun concio sono date dalle tre equazioni della statica, pertanto, ammettendo di suddividere il volume di terreno in esame in  $n$  conci, si hanno a disposizione  $3n$  equazioni, mentre le incognite del problema risultano essere  $5n-2$  così composte:

- $n$  valori per l'azione delle forze normali efficaci alla base.
- $n-1$  valori per ciascuna delle forze d'interfaccia ( $X$  ed  $E$ )
- $n-1$  valori per il punto di applicazione delle forze d'interfaccia in direzione orizzontale.
- $n$  valori per il punto di applicazione degli sforzi normali efficaci alla base.
- 1 valore del coefficiente di sicurezza.

Come già accennato, dal bilancio fra le equazioni disponibili e il numero delle incognite risulta che si hanno  $2n-2$  incognite sovrabbondanti e quindi il problema risulta staticamente indeterminato, per riportarlo a staticamente determinato e rendere possibile la soluzione del sistema di equazioni che descrivono l'equilibrio della massa di terreno potenzialmente instabile, è necessario introdurre alcune ipotesi semplificative che consentono di ridurre il numero delle incognite del problema. La prima tra tutte, che risulta, tra le altre cose, comune a tutti i metodi, è quella di considerare centrata la forza agente alla base della striscia, il che è accettabile nel caso in cui i conci siano di larghezza limitata. Le altre ipotesi necessarie per risolvere il sistema di equazioni sono diverse caso per caso e sono queste stesse che caratterizzano un metodo da un altro. L'esistenza di molti metodi di calcolo porta alcune volte alla indeterminatezza della soluzione, è bene quindi sottolineare che da studi comparativi effettuati per indagare la risposta dei diversi metodi di calcolo, indicano che, quelli che soddisfano tutte le condizioni di equilibrio danno sostanzialmente gli stessi risultati in termini di coefficiente di sicurezza, o meglio che non differiscono tra loro più del 5% [Duncan,1980].

### 8.1.1 Elementi di rinforzo

Il software di calcolo SLOPE/W della Geo-Slope international consente di inserire elementi di rinforzo quali chiodi di ancoraggio. Per la definizione di tali elementi nel codice di calcolo è necessario inserire i seguenti parametri caratterizzanti i chiodi:

- Diametro di perforazione [m]
- Coefficiente riduttivo della resistenza ad attrito laterale [-]
- Resistenza unitaria ad attrito laterale [kPa]
- Spaziatura dei chiodi in direzione orizzontale [m]

- Forza nominale della barra [kN]
- Coefficiente di sicurezza della resistenza strutturale [-]
- Resistenza al taglio [kN]
- Coefficiente riduttivo della resistenza al taglio [-]
- Direzione di applicazione dello sforzo di taglio [-]

Una volta inserite le caratteristiche degli elementi di rinforzo il software calcola la massima resistenza a sfilamento, la resistenza strutturale, e la massima resistenza applicabile ad ogni rinforzo come descritto di seguito:

- **Resistenza ad attrito laterale** = Resistenza unitaria ad attrito laterale \*  $\pi$  \* Diametro perforazione \* Lunghezza chiodo;
- **Resistenza a sfilamento** = Resistenza ad attrito laterale/coefficiente riduttivo della resistenza ad attrito laterale/ spaziatura dei chiodi;
- **Resistenza strutturale** = Forza nominale della barra/ coefficiente riduttivo della resistenza.

Nel calcolo del fattore di sicurezza relativo alla stabilità del pendio il software prende in considerazione, come carico applicabile al chiodo, il valore minimo tra la resistenza strutturale e la resistenza a sfilamento.

Una volta definita la superficie di scorrimento risultano univocamente individuate le lunghezze di fondazione di ciascun chiodo al di fuori della stessa, il programma utilizza quindi come resistenza massima offerta dal chiodo il minimo tra la resistenza offerta dalla fondazione dello stesso ed il valore della resistenza strutturale.

Per i coefficienti riduttivi delle resistenze dei materiali si veda il Par. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**della presente relazione.

## 8.2 METODOLOGIA DI CALCOLO SOFTWARE BIOS

Una volta definito che la scarpata, a livello globale, risulta essere stabile, ci si deve preoccupare di ciò che accade superficialmente, andando quindi a studiare il comportamento corticale della scarpata.

Al fine di studiare il comportamento superficiale del terreno e quindi poter definire il tipo di rete più idonea al caso in esame, si è proceduto con l'analisi del problema mediante un Software sviluppato da Maccaferri, basato sul concetto BIOS che viene di seguito descritto.

La protezione della superficie esposta del terreno rinforzato dai chiodi è ottenuta con rivestimento (facing), che ha lo scopo di contenere il terreno tra i chiodi, prevenire fenomeni di erosione e assumere una funzione estetica. Ovviamente il facing può solo collaborare con l'azione passiva dei chiodi.

Nel caso del soil nailing con flexible facing, una volta dimensionati i chiodi con software dedicato, è necessario verificare separatamente gli stati limite di servizio e ultimo del facing in accordo alle EN 1997-1. Nell'approccio BIOS di Maccaferri i carichi che vengono trasmessi dal terreno al flexible facing sono stati calcolati con il “metodo dei due cunei”, nell'ipotesi che le forze agiscano direttamente sulla rete d'acciaio come un carico distribuito e che i due cunei siano contenuti nello spazio esistente tra i due chiodi adiacenti; nel calcolo viene fatto variare l'angolo d'inclinazione dei due cunei per massimizzare la forza agente. La forza totale risulterà essere (Majoral et Al., 2008):

$$T_{tot} = T_1 + T_2 \quad (1)$$

con:

$$T_1 = \frac{[(W_1 + Q_1) \cdot (\tan \theta_1 - \tan \varphi'_1) + (U_1 \cdot \tan \varphi'_1 - K_1) / \cos \theta_1]}{(1 + \tan \theta_1 \cdot \tan \varphi'_1)} \quad (2)$$

$$T_2 = \frac{[(W_2 + Q_2) \cdot (\tan \theta_2 - \lambda_s \cdot \tan \varphi'_2) + \lambda_s \cdot (U_2 \cdot \tan \varphi'_2 - K_2) / \cos \theta_2]}{(1 + \lambda_s \cdot \tan \theta_2 \cdot \tan \varphi'_2)} \quad (3)$$

dove:

$W_1$	(kN)	Peso del cuneo 1;
$W_2$	(kN)	Peso del cuneo 2;
$Q_1$	(kN)	Sovraccarico agente sul cuneo 1;
$Q_2$	(kN)	Sovraccarico agente sul cuneo 2;
$\theta_1$	(°)	Angolo alla base del cuneo 1;
$\theta_2$	(°)	Angolo alla base del cuneo 2;
$U_1$	(kN)	Risultante della pressione dell'acqua agente alla base del cuneo 1;
$U_2$	(kN)	Risultante della pressione dell'acqua agente alla base del cuneo 2;
$K_1$	(kN)	Forza di coesione agente alla base del cuneo 1;
$K_2$	(kN)	Forza di coesione agente alla base del cuneo 2;
$\lambda_s$		Fattore di scorrimento alla base.

E il fattore di sicurezza è determinato con

$$FS = \frac{K_1 + K_2 + (W_1 \cdot \cos(\theta_1) - U_1) \cdot \tan \varphi'_1 + (W_2 \cdot \cos(\theta_2) - U_2) \cdot \tan \varphi'_2}{W_1 \cdot \sin \theta_1 + W_2 \cdot \sin \theta_2}$$

L'analisi del facing è effettuata in 4 fasi:

○ *Fase 1 – Analisi a breve termine*

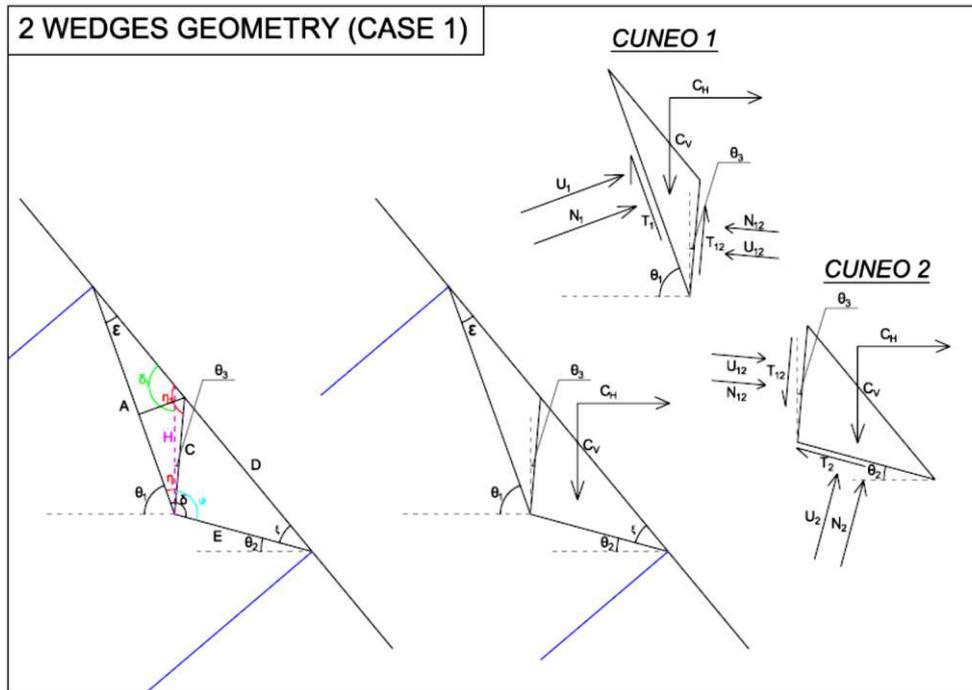
Viene analizzato il tratto di pendio compreso tra i chiodi, che deve avere fattore di sicurezza non inferiore a 1.0. Infatti, se non c'è equilibrio risulta impossibile anche installare il rivestimento in rete. Si verifica in tal modo la congruità della spaziatura tra gli ancoraggi in rapporto alle proprietà geotecniche del terreno. Qualora l'equilibrio non fosse soddisfatto, sarebbe necessario diminuire la spaziatura tra gli ancoraggi. Per assicurare condizioni di stabilità temporanea anche in assenza del rivestimento strutturale flessibile, l'analisi è condotta con due differenti procedure: metodo del singolo cuneo, e metodo dei due cunei. Il valore minimo tra i due fattori di sicurezza ( $FS_{\min}$ ) è confrontato con il valore di 1.0; se  $FS_{\min}$  è maggiore di tale valore si può procedere con le fasi successive.

Poiché il calcolo riguarda una condizione temporanea, sono stati utilizzati i valori caratteristici di resistenza del terreno, e i *coefficienti di sicurezza geotecnici*  $\gamma_{\varphi'}$  (attrito) e  $\gamma_c$  (coesione) *non sono stati presi in considerazione*. Per le medesime ragioni, in questa fase non è considerato il sovraccarico sismico.

Il codice di calcolo determina i fattori di sicurezza (FS) con i metodi del singolo e dei due cunei, scegliendo poi il risultato più gravoso, cioè con fattore di sicurezza più basso:

$$FS = \min (FS_{CUNEO\ DOPPIO}; FS_{CUNEO\ SINGOLO})$$

Analisi dei due cunei:



L'analisi è condotta considerando le forze agenti sulle facce dei due cunei e il valore del coefficiente di sicurezza. Si ottengono 2 equazioni di equilibrio alla traslazione (verticale e orizzontale) per ciascun blocco, e 3 equazioni degli sforzi tangenziali  $T_i$  che sono funzione del fattore di sicurezza:

$$\begin{cases} \sum x^{(1)} \\ \sum y^{(1)} \end{cases} \quad \begin{cases} \sum x^{(2)} \\ \sum y^{(2)} \end{cases}$$

$$T_1 = \frac{[c'_1 \cdot l_1 + (N_1 - U_1) \tan(\varphi'_1)]}{FS}$$

$$T_2 = \frac{[c'_2 \cdot l_2 + (N_2 - U_2) \tan(\varphi'_2)]}{FS}$$

$$T_{12} = \frac{[c'_{12} \cdot l_{12} + (N_{12} - U_{12}) \tan(\varphi'_{12})]}{FS}$$

Il sistema sviluppato è riportato di seguito:

$$\begin{cases} N_1 \cdot \sin(\theta_1) - T_1 \cdot \cos(\theta_1) + T_{12} \cdot \sin(\theta_3) - N_{12} \cdot \cos(\theta_3) + F_{X1} = 0 \\ F_{Y1} - N_1 \cdot \cos(\theta_1) - T_1 \cdot \sin(\theta_1) - T_{12} \cdot \cos(\theta_3) - N_{12} \cdot \sin(\theta_3) = 0 \\ N_2 \cdot \sin(\theta_2) - T_2 \cdot \cos(\theta_2) - T_{12} \cdot \sin(\theta_3) + N_{12} \cdot \cos(\theta_3) + F_{X2} = 0 \\ F_{Y2} - N_2 \cdot \cos(\theta_2) - T_2 \cdot \sin(\theta_2) + T_{12} \cdot \cos(\theta_3) + N_{12} \cdot \sin(\theta_3) = 0 \\ T_1 - \frac{1}{FS} [c'_d \cdot A + (N_1 - U_1) \cdot \tan(\varphi'_d)] = 0 \\ T_2 - \frac{1}{FS} [c'_d \cdot E + (N_2 - U_2) \cdot \tan(\varphi'_d)] = 0 \\ T_{12} - \frac{1}{FS} [c'_d \cdot C + (N_{12} - U_{12}) \cdot \tan(\varphi'_d)] = 0 \end{cases}$$

Dove:

- $c'_d = \frac{c'}{\gamma_{c'}}$
- $\varphi'_d = \tan^{-1} \left( \frac{\tan \varphi'}{\gamma_{\varphi'}} \right)$
- $a_v$  = spaziatura media dei chiodi
- $\beta$  = inclinazione del pendio
- $\gamma$  = peso specifico del terreno
- $r_u$  = coefficiente di pressione interstiziale
- $\xi = \beta - \theta_2$
- $\varepsilon = \theta_1 - \beta$
- $\delta = \pi - \theta_1 + \theta_2$
- $\eta = \frac{\pi}{2} - \theta_1 + \theta_3$
- $\eta_1 = \pi - \eta + \varepsilon$
- $\psi = \delta - \eta$
- $\delta_1 = \pi - \varepsilon - \eta + \theta_3$
- $E = a_v \cdot \frac{\sin(\varepsilon)}{\sin(\delta)}$
- $A = a_v \cdot \frac{\sin(\xi)}{\sin(\delta)}$
- $C = A \cdot \frac{\sin(\varepsilon)}{\sin(\eta_1)}$
- $D = C \cdot \frac{\sin(\psi)}{\sin(\xi)}$
- $H = A \cdot \frac{\sin(\varepsilon)}{\sin(\delta_1)}$
- $h_1 = C \cdot \sin(\eta)$
- $Area_1 = \frac{1}{2} \cdot h_1 \cdot A$
- $h_2 = C \cdot \sin(\pi - \eta_1)$
- $Area_2 = \frac{1}{2} \cdot h_2 \cdot D$
- $W_1 = \gamma \cdot Area_1$
- $W_2 = \gamma \cdot Area_2$
- $U_1 = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot r_u \cdot H \cdot A$
- $U_2 = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot r_u \cdot H \cdot E$
- $U_{12} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot r_u \cdot H \cdot C$
- $F_{X1} = U_1 \cdot \sin(\theta_1) - U_{12} \cdot \cos(\theta_3)$
- $F_{X2} = U_2 \cdot \sin(\theta_2) + U_{12} \cdot \cos(\theta_3)$
- $F_{Y1} = W_1 - U_1 \cdot \cos(\theta_1) - U_{12} \cdot \sin(\theta_3)$
- $F_{Y2} = W_2 - U_2 \cdot \cos(\theta_2) + U_{12} \cdot \sin(\theta_3)$

Risolvendo il sistema si ottiene un'unica equazione di terzo grado nell'incognita FS (fattore di sicurezza):

$$A \cdot FS^3 + B \cdot FS^2 + C \cdot FS + D = 0$$

Di seguito è riportata la precedente formula esplicitata:

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

OS04 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+869,867 AL KM 1+929,876 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

$$\left\{ \frac{F_{Y1} - \left[ \frac{1}{FS} (c'_d \cdot A - U_1 \cdot \tan(\varphi'_d)) \right] \cdot \sin(\theta_1) - \left[ \frac{1}{FS} (c'_d \cdot C - U_{12} \cdot \tan(\varphi'_d)) \right] \cdot \cos(\theta_2) - N_{12}(FS) \cdot \left[ \sin(\theta_2) + \frac{\tan(\varphi'_d) \cdot \cos(\theta_2)}{FS} \right]}{\left[ \cos(\theta_2) + \frac{\tan(\varphi'_d) \cdot \sin(\theta_2)}{FS} \right]} \right\} \\ \cdot \left[ \sin(\theta_2) - \frac{\tan(\varphi'_d) \cdot \cos(\theta_2)}{FS} \right] - \left[ \frac{1}{FS} (c'_d \cdot A - U_1 \cdot \tan(\varphi'_d)) \right] \cdot \cos(\theta_1) + \left[ \frac{1}{FS} (c'_d \cdot C - U_{12} \cdot \tan(\varphi'_d)) \right] \cdot \sin(\theta_2) - \\ - N_{12}(FS) \cdot \left[ \cos(\theta_2) - \frac{\tan(\varphi'_d) \cdot \cos(\theta_2)}{FS} \right] + F_{X1} = 0$$

Dove:

$$N_{12}(FS) = - \frac{(X_A + X_B)}{X_C}$$

$$X_A = \frac{F_{Y2} - \left[ \frac{1}{FS} (c'_d \cdot E - U_2 \cdot \tan(\varphi'_d)) \right] \cdot \sin(\theta_2) + \left[ \frac{1}{FS} (c'_d \cdot C - U_{12} \cdot \tan(\varphi'_d)) \right] \cdot \cos(\theta_3)}{\left[ \cos(\theta_2) + \frac{\tan(\varphi'_d) \cdot \sin(\theta_2)}{FS} \right]} \\ \cdot \left[ \sin(\theta_2) - \frac{\tan(\varphi'_d) \cdot \cos(\theta_2)}{FS} \right]$$

$$X_B = - \left[ \frac{1}{FS} (c'_d \cdot E - U_2 \cdot \tan(\varphi'_d)) \right] \cdot \cos(\theta_2) + F_{X2} - \left[ \frac{1}{FS} (c'_d \cdot C - U_{12} \cdot \tan(\varphi'_d)) \right] \cdot \sin(\theta_3)$$

$$X_C = \cos(\theta_3) - \frac{\tan(\varphi'_d) \cdot \sin(\theta_3)}{FS} + \left[ \frac{\sin(\theta_3) + \frac{\tan(\varphi'_d) \cdot \cos(\theta_3)}{FS}}{\cos(\theta_2) + \frac{\tan(\varphi'_d) \cdot \sin(\theta_2)}{FS}} \right] \cdot \sin(\theta_2) - \frac{\tan(\varphi'_d) \cdot \cos(\theta_2)}{FS}$$

L'equazione di terzo grado avrà tre soluzioni reali, delle quali solo una risulterà significativa. Tale valore risponderà in sequenza alle 2 seguenti condizioni:

1)  $(FS_1; FS_2; FS_3) > 0$ ;

2)  $\min(FS_1; FS_2; FS_3)$ .

L'equazione di terzo grado verrà risolta per ogni combinazione degli angoli  $\vartheta_1$ ,  $\vartheta_2$  e  $\vartheta_3$ , considerando i seguenti limiti geometrici:

$$\begin{cases} \beta < \theta_1 < 90 \\ 0 < \theta_2 < \beta \\ 0 < \theta_3 < 85 \end{cases}$$

Una volta calcolati tutti i fattori di sicurezza possibili, e selezionati i FS corretti secondo le condizioni sopracitate, si sceglierà il valore minimo tra tutti.

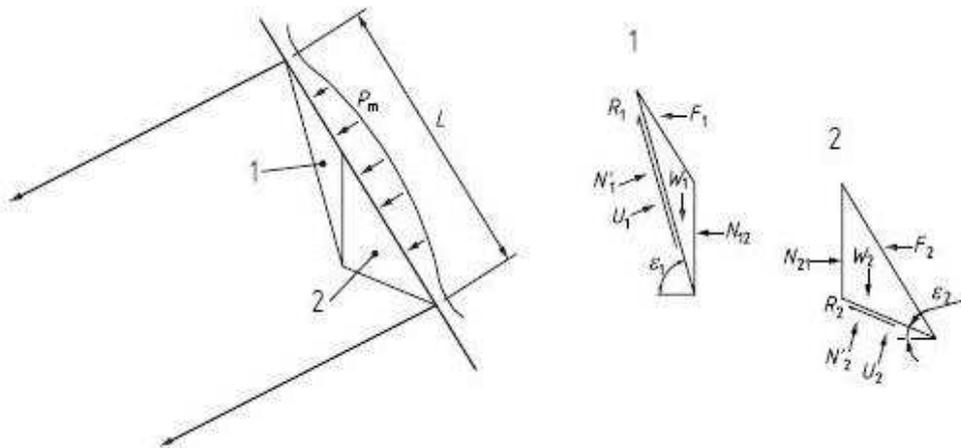
Analisi del singolo cuneo:



L'angolo di attrito  $\varphi_a'$  del detrito sarà quindi pari all'angolo di attrito residuo del terreno in esame. In assenza di dati sperimentali, si utilizza un valore consigliato pari a  $\varphi_a' = \varphi'/2$ .

La procedura di calcolo delle forze agenti sul rivestimento è condotta con analisi reiterativa secondo il metodo dei due cunei in accordo alla BS 8006-2 (con eventuale carico sismico). Il metodo di calcolo massimizza la forza agente sulla rete analizzando tutte le possibili configurazioni geometriche dei due cunei (combinazioni degli angoli  $\varepsilon_1$  e  $\varepsilon_2$  - vedi figura 32 BS 8006-2).

L'analisi determina la spinta agente sul rivestimento strutturale flessibile in accordo alle BS 8006-2.



La forza trasmessa al rivestimento flessibile vale nel caso sismico vale:

$$F_1 + F_2 = \frac{W_1(\tan \varepsilon_1 - \tan \varphi_a) + W_1 C_V(\tan \varepsilon_1 - \tan \varphi_a) + \frac{U_1 \tan \varphi_a}{\cos \varepsilon_1}}{1 + \tan \varepsilon_1 \tan \varphi_a} + \frac{W_2(\tan \varepsilon_2 - \tan \varphi_a) + W_2 C_V(\tan \varepsilon_2 - \tan \varphi_a) + \frac{U_2 \tan \varphi_a}{\cos \varepsilon_2}}{1 + \tan \varepsilon_2 \tan \varphi_a} + C_H(W_1 + W_2)$$

dove:

$W_1$  (kN) peso del cuneo 1;

$W_2$  (kN) peso del cuneo 2;

$\varepsilon_1$  (°) Angolo alla base del cuneo 1;

$\varepsilon_2$  (°) Angolo alla base del cuneo 2;

$U_1$  (kN) Risultante della pressione dell'acqua alla base del cuneo 1;

$U_2$  (kN) Risultante della pressione dell'acqua alla base del cuneo 2;

$\varphi_a$  (°) Angolo d'attrito del detrito;

$\lambda_s$  fattore di scivolamento alla base.

$C_V$  Coefficiente sismico verticale;

$C_H$  coefficiente sismico orizzontale;

L'obiettivo di tale metodologia è quello di massimizzare la forza agente sulla rete analizzando tutte le possibili configurazioni geometriche dei due cunei (combinazioni degli angoli  $\varepsilon_1$  e  $\varepsilon_2$  - vedi figura 32 BS 8006-2).

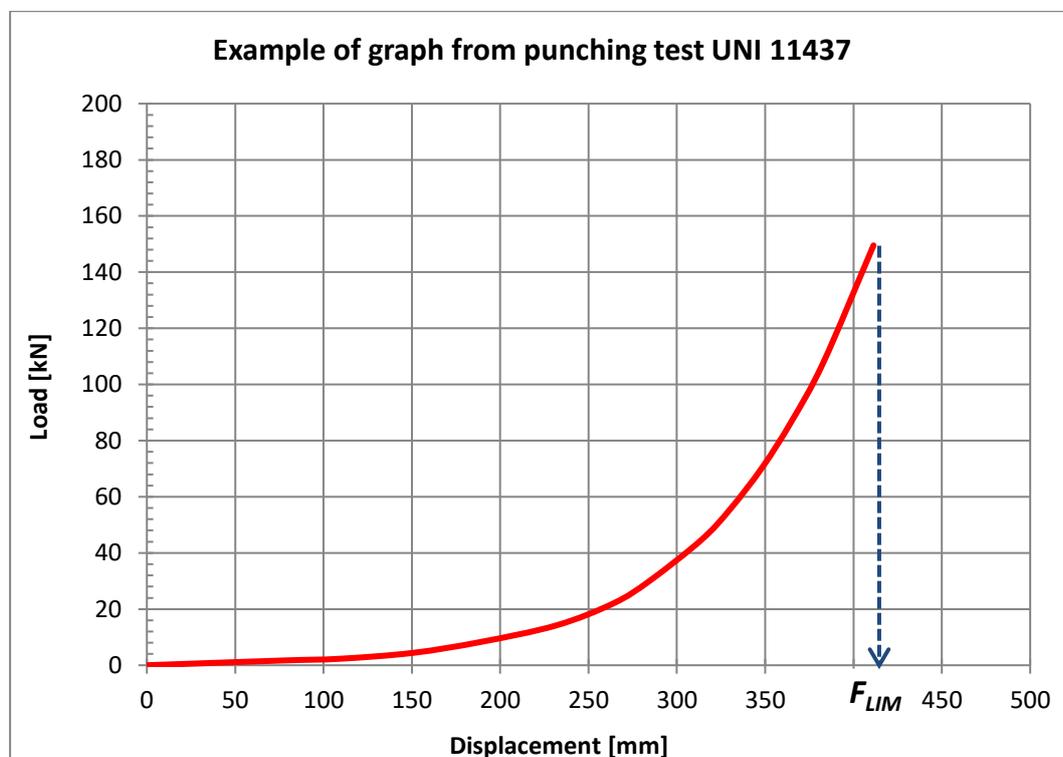
Questo procedimento risulta essere a favore di sicurezza perché considera sempre la superficie di scivolamento peggiore dal punto di vista strutturale. Infatti nella realtà si potrebbero instaurare superfici di scivolamento che provocano un'azione sulla rete inferiore rispetto a quella calcolata.

○ *Fase 3 – Verifica dello stato limite ultimo SLU*

Le forze, calcolate nel punto precedente, sono confrontate con la resistenza a punzonamento della rete ottenuta dalle prove di laboratorio normate (UNI 11437: 2012). Il sistema è soddisfatto se la resistenza della rete è maggiore della spinta del terreno.

Il carico determinato nella fase di calcolo 2 è incrementato con un coefficiente di sicurezza per considerare le incertezze del modello geotecnico ( $F_{TOT,Design} = (F_1+F_2) \times \gamma_{DF}$ ).

Il carico tollerato del rivestimento  $F_{lim}$  è determinato direttamente dalla curva caratteristica del test, prendendo in considerazione un fattore di correlazione di scala (in funzione dell'interasse tra i chiodi) e un fattore di sicurezza legato alla differente configurazione di installazione e connessione ai vincoli (ancoraggi) della rete sul pendio rispetto a alle condizioni di laboratorio.



Deve essere che:

$$F_{TOT,Design} < F_{lim}$$

○ *Fase 4 – Verifica dello stato limite di esercizio SLE*

Questa analisi verifica che le deformazioni indotte dal terreno sul rivestimento strutturale flessibile siano accettabili. Qualora siano giudicate eccessive, è necessario scegliere un rivestimento più rigido.

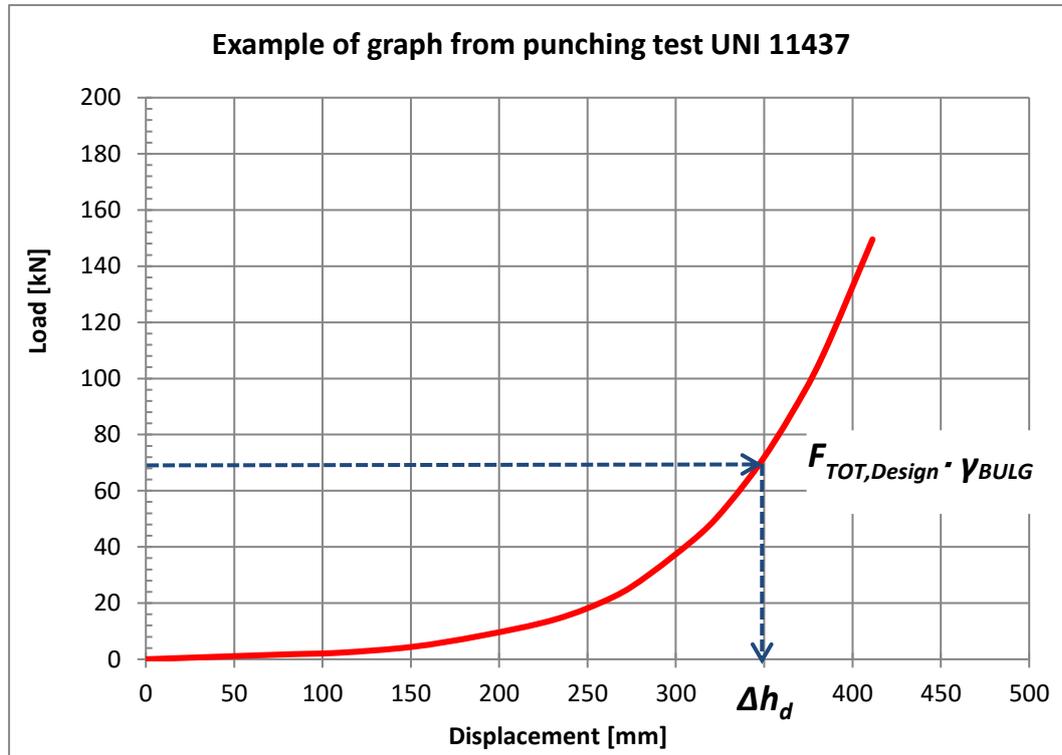
Il progettista deve verificare se le deformazioni il flexible facing indotte dal carico atteso a lungo termine sono accettabili. Trattandosi di un problema carico-deformazione, il metodo dell'equilibrio limite non consente soluzioni dirette. Perciò si utilizzano le curve carico-deformazione ottenute nelle prove di punzonamento per risalire al volume di terreno che determina la massima deformazione ammessa. Se il volume così determinato è maggiore di quello atteso a lungo termine, il flexible facing soddisfa i requisiti di progetto. La massima deformazione ammessa è decisa dal progettista sulla base di uno o più criteri di ordine geotecnico (effetti della deformazione della rete sullo stripping degli ancoraggi, innesco di processi erosivi, effetto di cedimenti indotti al contorno del soil nailing), funzionale (ingombro massimo ammesso per le sacche di detrito) ed estetico.

Quando è soggetta al carico a lungo termine, la rete non deve deformare eccessivamente.

Il valore della deformazione ( $\Delta h_d$ ) è ottenuto dal grafico caratteristico del test di punzonamento dopo aver amplificato il carico di progetto per tenere conto delle irregolarità del pendio e anomalie di installazione

$$F_{TOT,Design} \cdot \gamma_{BULG} \rightarrow \Delta h_d$$

dove  $\gamma_{BULG}$  rappresenta il coefficiente di amplificazione per l'irregolarità del pendio. Esso non dovrebbe mai essere inferiore a 1.5.



Al valore  $\Delta h_d$  viene sommato uno spostamento aggiuntivo dovuto all'inaccuratezza di installazione della rete ( $\Delta h_{error}$ ):

$$\Delta h = \Delta h_d + \Delta h_{error}$$

Se la rete non viene installata perfettamente in aderenza alla parete e non viene tesata si potrebbero avere degli spostamenti aggiuntivi; infatti la rete, essendo lasca, prima di iniziare la sua funzione di tenuta si deformerebbe.

Valori consigliati di  $\Delta h_{error}$  vanno dai 0,20 m ai 0,35 m.

Il controllo finale confronta la deformazione ritenuta ammissibile con quella limite ottenuta per via grafica. Deve essere che:

$$\Delta h < Limit\ Bulging$$

Quando la deformazione eccede quella di progetto, la rete non si rompe, ma sono necessari interventi di manutenzione quali: svuotamento controllato delle reti, ritesatura delle piastre di ancoraggio, posa di reticolo in funi a irrigidimento del rivestimento.

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

---

OS04 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+869,867 AL KM 1+929,876 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

## **9 AZIONI DI CALCOLO**

---

Per il progetto e la verifica delle opere sono state esaminate le azioni riportate nei paragrafi seguenti.

### **9.1 FALDA**

Il piano libero di falda è stato ubicato alla profondità di 6,5 m dalla quota di testa della trave di coronamento della paratia esistente.

## 10 VERIFICHE DI STABILITA' INTERVENTO

### 10.1 GENERALITA'

Come detto le verifiche di stabilità dell'intervento sono state eseguite con il codice di calcolo SLOPE/W, adottando il criterio di verifica all'equilibrio limite globale.

Le analisi di stabilità hanno investigato diverse superfici di scorrimento al fine di determinare i coefficienti di sicurezza in funzione dei possibili meccanismi di rottura ed in particolare le superfici di scorrimento (statiche e sismiche) adottando i parametri caratteristici desunti dalla caratterizzazione.

Le analisi sono state condotte secondo quanto previsto nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17/01/2018), determinando il valore del coefficiente di sicurezza minimo che è risultato sempre maggiore del minimo di normativa.

### 10.2 APPROCCIO NORMATIVO

Come detto, le verifiche di stabilità, nel seguito riportate, sono state eseguite seguendo i metodi dell'equilibrio limite globale secondo quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni approvate con il D.M. 17 gennaio 2018 come suggerito ai punti §6.8 e §7.11.

Per tali opere deve essere verificata la condizione  $E_d < R_d$  in cui  $E_d$  è il valore di progetto delle azioni ed è pari a

$$E_d = \gamma_E E [F_k; X_k / \gamma_M; a_d]$$

mentre  $R_d$  è il valore della resistenza del sistema geotecnico pari a

$$R_d = R / \gamma_R [\gamma_F F_k; X_k / \gamma_M; a_d]$$

Con riferimento alle verifiche agli SLU la norma distingue la verifica statica da quella sismica, nello specifico gli approcci da adottare sono:

- Condizione statica: approccio 1, combinazione 2 - A2+M2+R2, coefficiente  $\gamma_R = 1.1$  (§6.8 delle NTC18);
- Condizione sismica: coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici pari a 1 e coefficiente  $\gamma_R = 1.2$  (§7.11.1 e §7.11.4 delle NTC18).

Relativamente alla sola verifica statica i coefficienti correttivi delle azioni sono stati scelti secondo la tab. 6.2.I nel seguito riportata mentre per le resistenze va applicata la tab. 6.2.II relativa ai coefficienti correttivi dei parametri geotecnici.

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

OS04 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+869,867 AL KM 1+929,876 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

Carichi	Effetto	Coefficiente parziale $\gamma_F$ o $\gamma_E$	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0.8	0.8	0.8
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Figura 5- COEFFICIENTI PARZIALI PER LE AZIONI E PER L'EFFETTO DELLE AZIONI (TAB. 6.2.I DELLE NTC18)

Parametro	Grandezza alla quale applicare Il coefficiente parziale	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di Resistenza al taglio	$\tan \varphi'$	$\gamma_\varphi$	1.0	1.25
Coesione efficace	$c'$	$\gamma_c$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	$c_u$	$\gamma_{cu}$	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1.0	1.0

Figura 6- COEFFICIENTI PARZIALI PER I PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO (TAB. 6.2.II DELLE NTC18)

Nello specifico, per Ed si intende lo sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento critica e per Rd la resistenza al taglio disponibile.

Pertanto, la verifica di stabilità si ritiene superata se il coefficiente di sicurezza ottenuto dal calcolo (pari a  $Rd/Ed$ ) risulterà superiore a

- 1,1 per le analisi statiche;
- 1,2 per le analisi sismiche.

Le verifiche di stabilità sono state condotte introducendo un coefficiente parziale sui parametri di resistenza dei chiodi pari a:

-  $\gamma_r=1,2$

Tale coefficiente è stato moltiplicato per un coefficiente di correlazione pari a 1,7 (scelto in base al numero di verticali indagate).

Il coefficiente parziale riduttivo sulla resistenza strutturale dell'acciaio è stato posto pari a :

-  $\gamma_m=1,05$

### 10.3 RISULTATI DI CALCOLO

Per l'opera prevista in progetto sono state condotte analisi sia in condizioni statiche sia in condizioni sismiche nelle seguenti configurazioni:

- Anteoperam configurazione di PEA
- Anteoperam stato di fatto (scarpate da rilievo 2020)
- Postoperam stato di fatto (scarpate da rilievo 2020)

I risultati delle analisi sono presentati nelle diverse configurazioni per dare evidenza delle condizioni di stabilità delle scarpate nelle differenti fasi progettuali.

La tabella seguente mostra i risultati delle analisi condotte, riportando per l'analisi sismica il coefficiente di sicurezza minimo ottenuto considerando positivo il segno di kv, mentre nelle figure seguenti è possibile osservare i modelli utilizzati e ricavare l'andamento e l'estensione delle superfici critiche.

	PEA		PV3			
	Ante operam		Ante operam		Post operam	
	Statica	Sismica	Statica	Sismica	Statica	Sismica
FS	1.29	1.33	1.14	1.25	1.41	1.45

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

OS04 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+869,867 AL KM 1+929,876 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

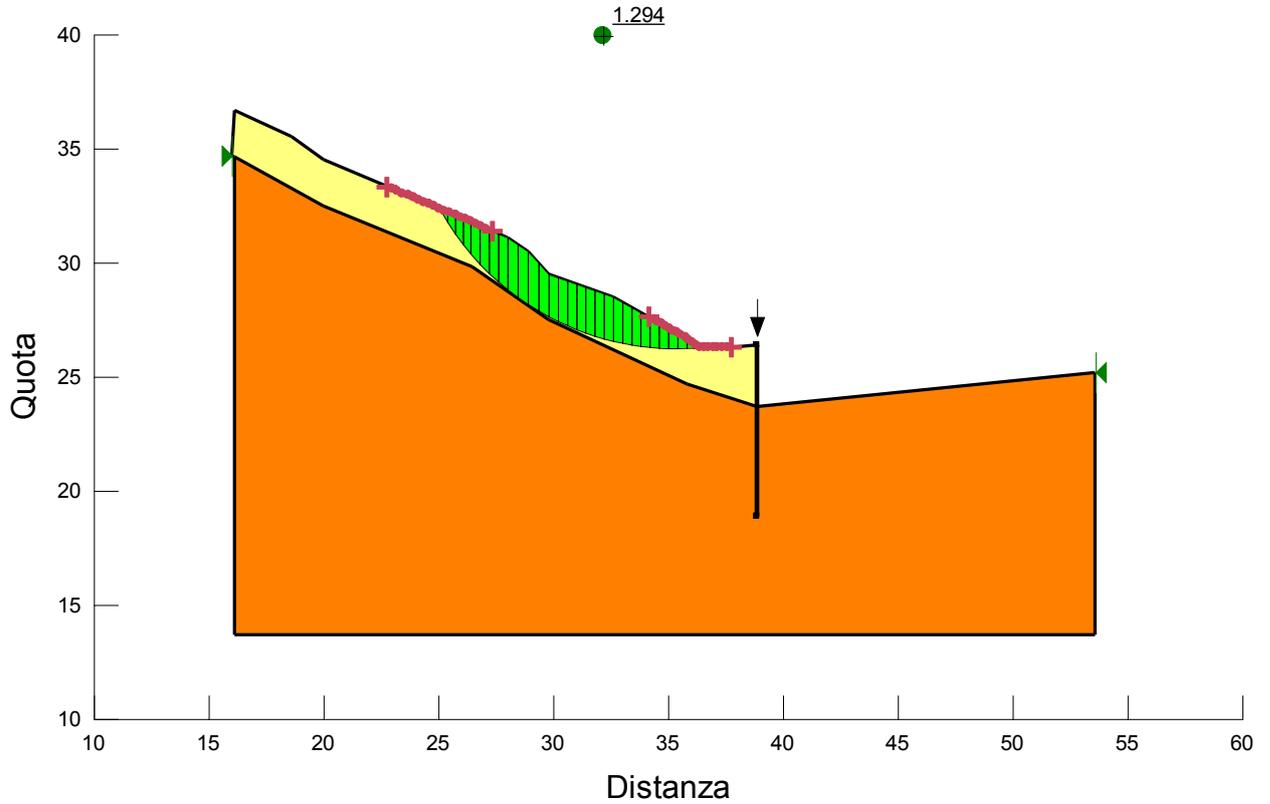


Figura 7- VERIFICA STATICA ANTE OPERAM di PEA

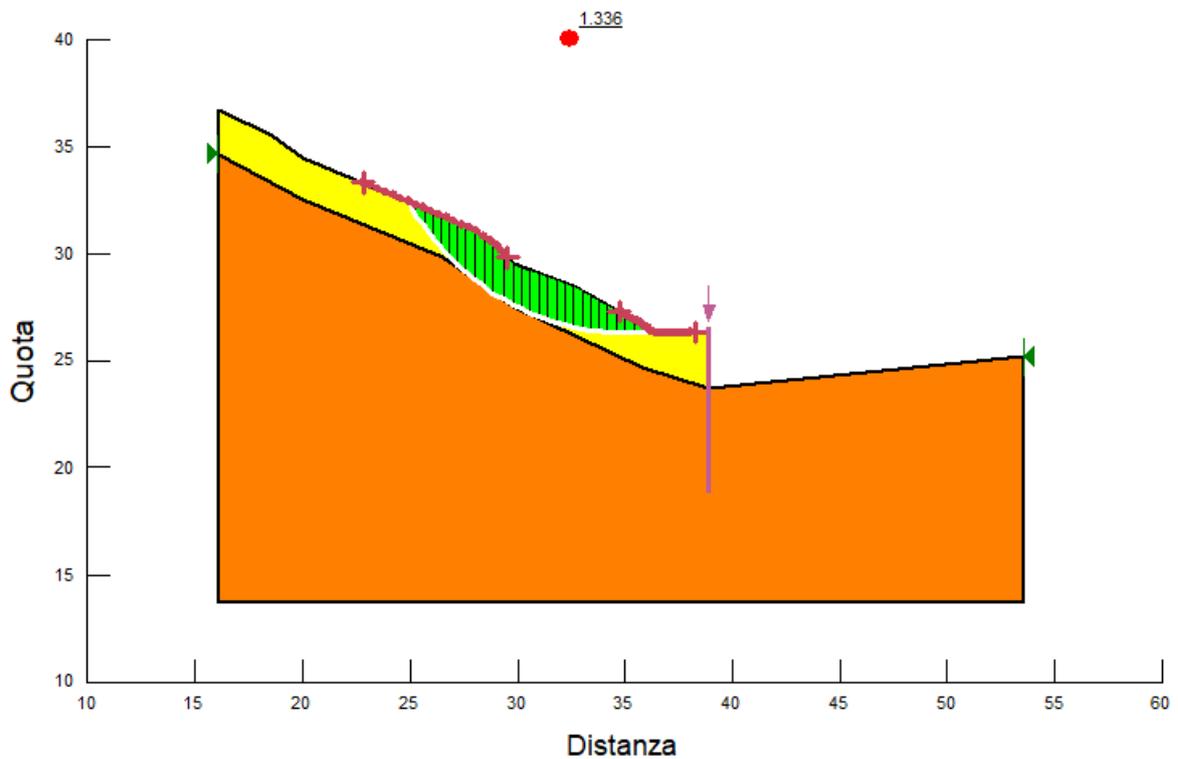


Figura 8- VERIFICA SISMICA ANTE OPERAM di PEA

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

OS04 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+869,867 AL KM 1+929,876 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

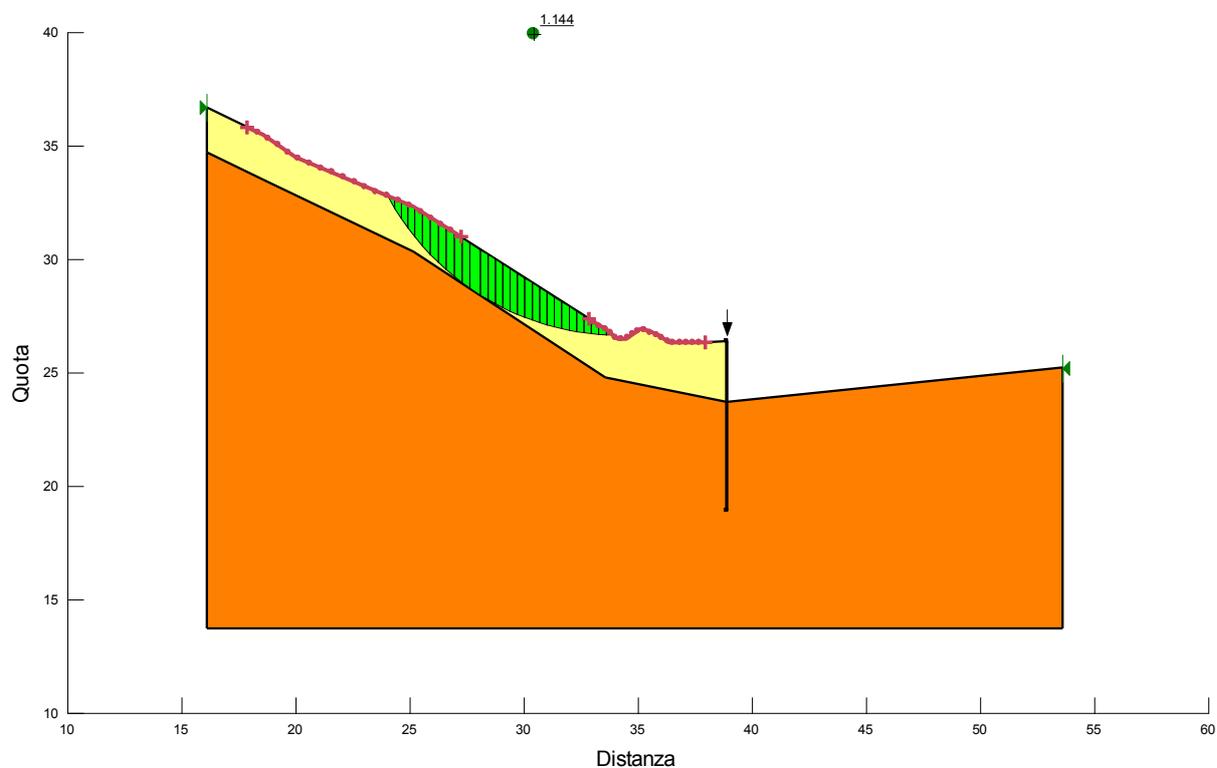


Figura 9- VERIFICA STATICA ANTE OPERAM di PV3

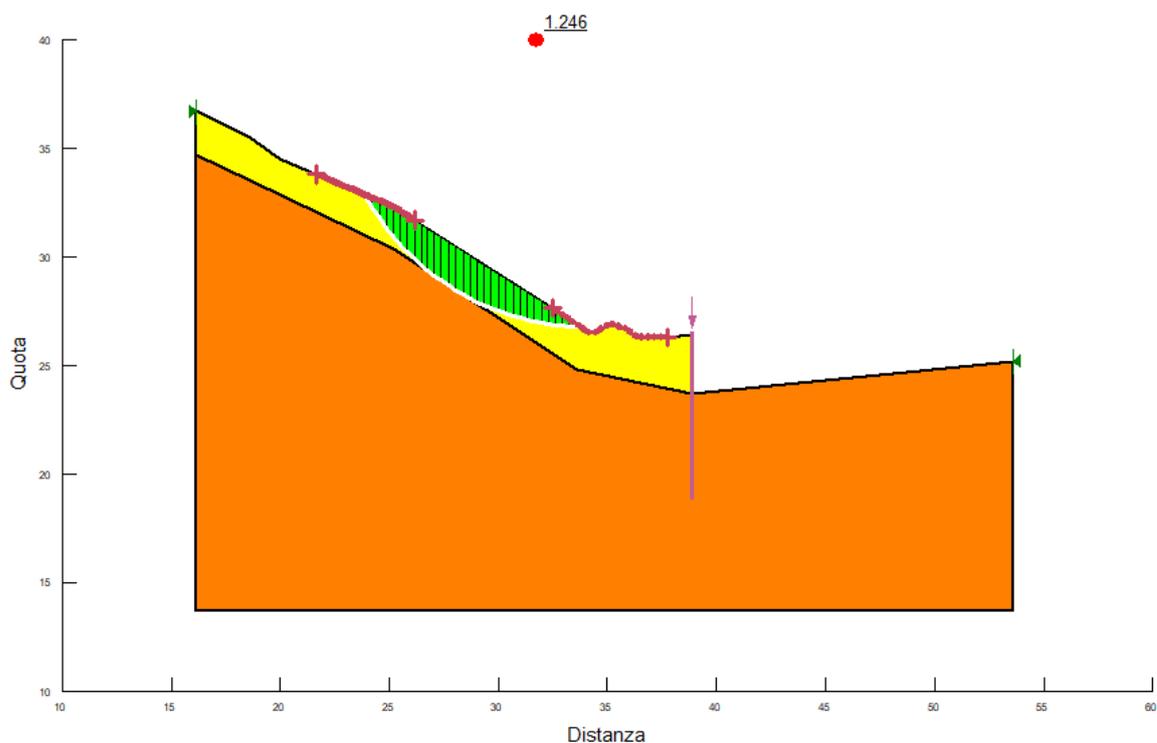


Figura 10- VERIFICA SISMICA ANTE OPERAM di PV3

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

OS04 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+869,867 AL KM 1+929,876 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

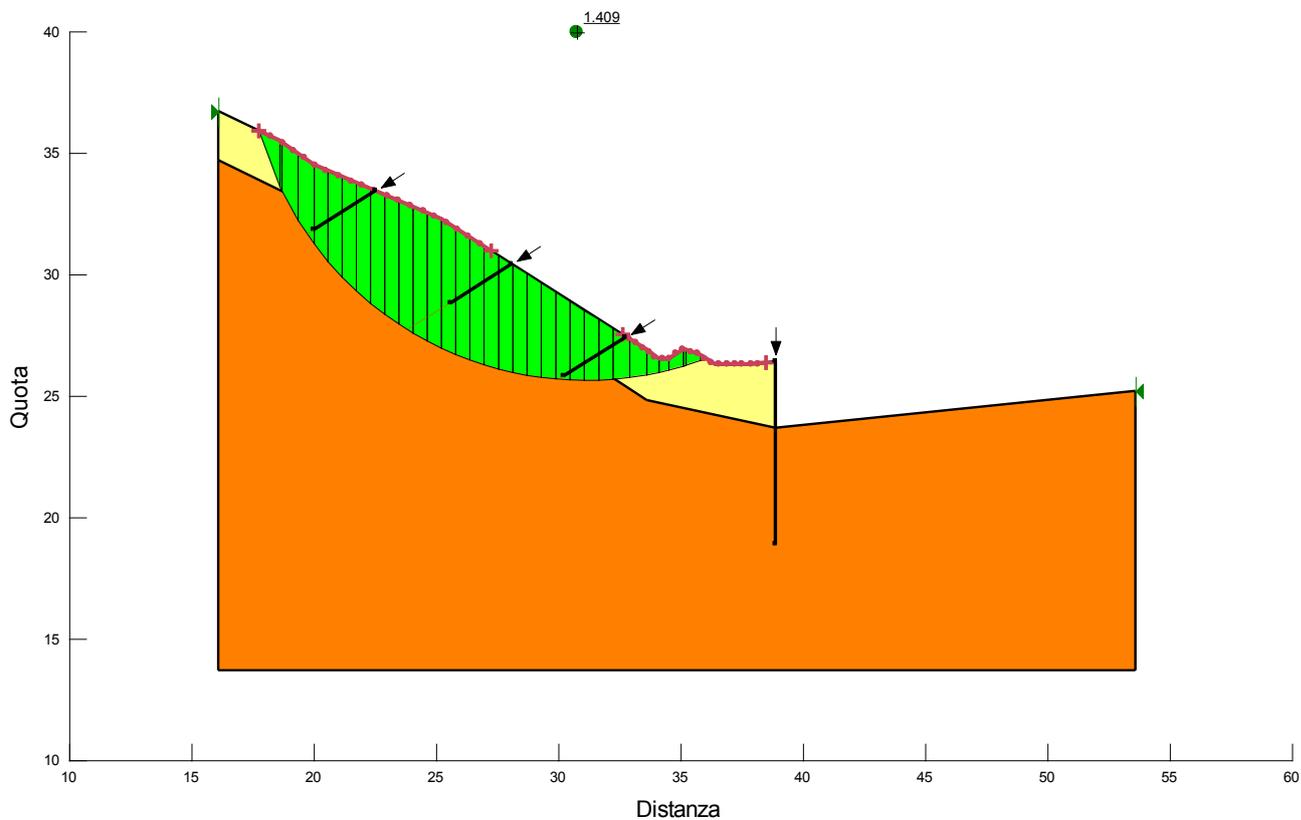


Figura 11- VERIFICA STATICA POST OPERAM di PV3

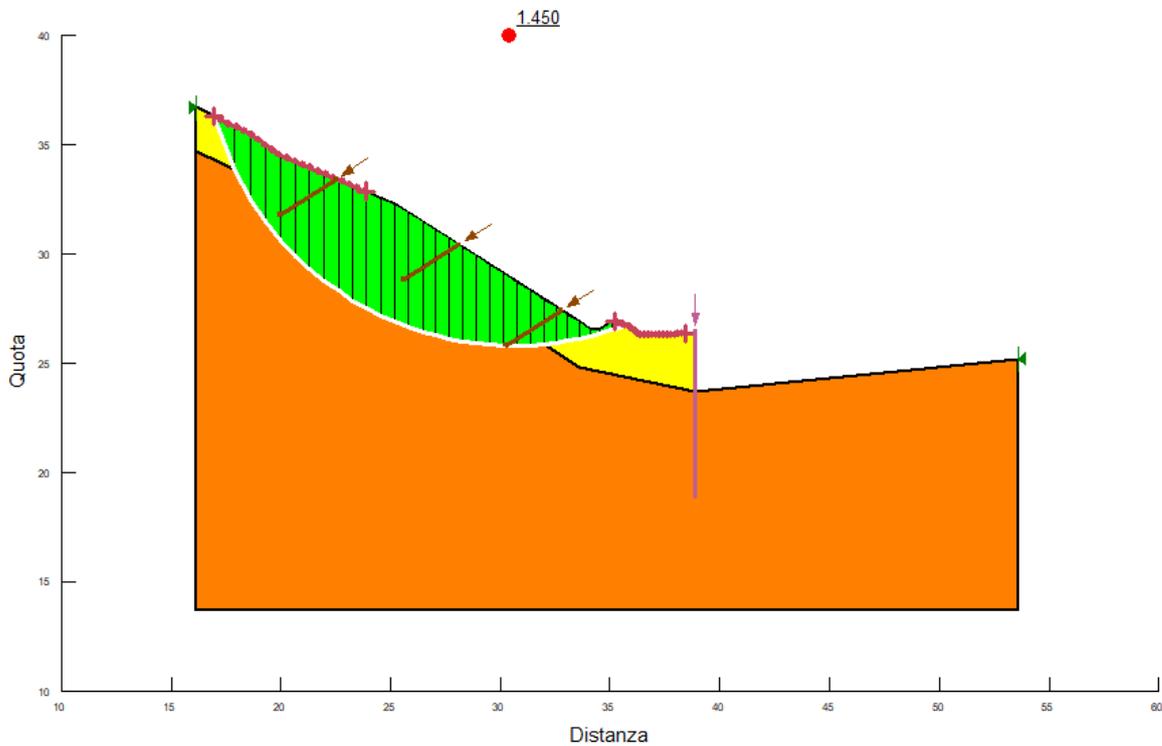


Figura 12- VERIFICA SISMICA POST OPERAM di PV3

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

**PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE**

---

**OS04 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+869,867 AL KM 1+929,876 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO**

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

**OS04 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+869,867 AL KM 1+929,876 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO**

Per quanto riguarda la verifica del rivestimento flessibile si riportano di seguito gli output del software BIOS nella condizione maggiormente gravosa, ovvero la condizione pseudo-statica kh/+kv.

<b>Geotechnical model</b>		<b>INPUT DATA</b>	
a <sub>v</sub>	3.00	(m)	: Nail spacing or equivalent spacing (on the slope)
γ	20.00	(kN/m <sup>3</sup> )	: Unit weight of soil
β	37.00	(°)	: Slope inclination
φ'	28.00	(°)	: Peak soil friction angle
c'	5.00	(kN/m <sup>2</sup> )	: Effective cohesion at the base of wedge
r <sub>u</sub>	0.10		: Pore water pressure ratio = u/(gh)
λ <sub>s</sub>	1.00		: Base sliding coefficient
γ <sub>φ</sub>	1.25		: Peak friction angle safety coefficient (short term only)
γ <sub>c'</sub>	1.25		: Cohesion safety coefficient (short term only)
C <sub>h</sub>	0.093		: Seismic horizontal coefficient
C <sub>v</sub>	0.047		: Seismic vertical coefficient (positive down)
<b>Ultimate Limit State model (research of the surface with the max load and mesh analysis)</b>			
φ' <sub>a</sub>	14.00	(°)	: Friction angle of the debris bulging (lower than peak friction angle)
δ	14.00	(°)	: Friction angle between debris and slope surface
Facing	HR50		: Kind of mesh
<b>Partial safety coefficients</b>			
γ <sub>DF</sub>	1.20	(°)	: Uncertainty of the geotechnical model (range 1.15 - 1.20)
<b>Serviceability Limit State model (analysis of the max load on the mesh)</b>			
Limit bulging	0.6	(m)	: Bulging imposed value
γ <sub>bulg</sub>	2.0	(-)	: Bulging safety coefficient
Δh <sub>error</sub>	0.25	(m)	: Typical installation inaccuracy (range 0.20 - 0.35 m)

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotonda Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121".

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

OS04 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+869,867 AL KM 1+929,876 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

## RESULTS

### SHORT TERM SOLUTION

<b>FS</b>	<b>2.11</b>	<b>(-)</b>	<b><u>VERIFIED</u></b>
<b>FS</b>	<b>: Safety factor</b>		

### ULTIMATE LIMIT STATE

$\theta_1$	68	(°)	
$\theta_2$	1	(°)	
$W_1$	8.87	(kN)	: Weight of the wedge 1
$W_2$	20.73	(kN)	: Weight of the wedge 2
$U_1$	2.37	(kN)	: Water force on the joint 1
$U_2$	2.07	(kN)	: Water force on the joint 2
<b>HR50</b>		<b>: Type of net choose</b>	
$F_{TOT}$	<b>12.01</b>	(kN)	<b>: Load on the net</b>
$F_{TOT,Design}$	<b>14.41</b>	(kN)	<b>: Design Load on the net</b>
$F_{LIM}$	<b>50.00</b>	(kN)	<b>: Limit load on the net</b>
$F_{TOT,Design}$	<b>&lt;</b>	$F_{LIM}$	<b><u>VERIFIED</u></b>

### SERVICEABILITY LIMIT STATE

<b>HR50</b>		<b>: Type of net choose</b>	
$F_{TOT,Design}$	<b>14.41</b>	(kN)	<b>: Design Load on the net</b>
$\Delta h$	<b>557.87</b>	(mm)	<b>: Deformation of the net</b>
<b>Limit Bulg.</b>	<b>600.00</b>	(mm)	<b>: Max bulging permitted</b>
<b>Bulging</b>	<b>&lt;</b>	<b>Limit Bulg.</b>	<b><u>DEFORMATION VERIFIED</u></b>

## 11 CONCLUSIONI

---

Nella presente Relazione Descrittiva e di Calcolo, a valle di una breve panoramica circa i danneggiamenti avvenuti a seguito dell'evento alluvionale del Novembre 2018 sono state fornite le verifiche geotecniche relative alla stabilità delle scarpate nelle differenti configurazioni progettuali.

Gli esiti delle verifiche hanno mostrato come le scarpate siano di fatto verificate in tutte le configurazioni esaminate. I rinforzi corticali di progetto sono infatti previsti al fine di garantire l'assenza di futuri fenomeni di erosione e dilavamento delle scarpate che porterebbero all'innescarsi di fenomeni di instabilità locale come già accaduto a seguito degli eventi alluvionali del Novembre 2018, e quindi a garantire il mantenimento nel tempo dell'attuale geometria.

Visti i risultati delle verifiche presentate nel presente documento tutti gli interventi si ritengono verificati ai sensi della vigente normativa.

Affidamento a Contraente Generale dei “Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121”.

PROGETTO ESECUTIVO DI VARIANTE

---

OS04 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+869,867 AL KM 1+929,876 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

## 12 ALLEGATI FILE DI INPUT OUTPUT DEI MODELLI DI CALCOLO

---

# Sez 97A sisma\_ante operam

Report generated using GeoStudio 2021. Copyright © 1991-2020 GEOSLOPE International Ltd.

## File Information

File Version: 11.00

Title: OS04 sez\_97A

Last Edited By: Francesca Lupino

Revision Number: 161

Date: 06-May-21

Time: 06:42:39 PM

Tool Version: 11.0.1.21429

File Name: OS04\_sez97A\_\_PV3\_GEO\_.gsz

Directory: W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\CALCOLI\ISTRUTTORIA\_PV3\OS\_RINFORZI\_2020\GEOSLOPE\NUOVA GEOLOGIA\OS04\SLOPE 2021\

Last Solved Date: 06-May-21

Last Solved Time: 06:42:43 PM

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

## Analysis Settings

### Sez 97A sisma\_ante operam

Kind: SLOPE/W

Method: Morgenstern-Price

Settings

Side Function

Interslice force function option: Half-Sine

PWP Conditions from: (none)

Unit Weight of Water: 9.807 kN/m<sup>3</sup>

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 Option: (none)

Distribution

F of S Calculation Option: Constant

Advanced

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: 2 m

Number of Slices: 30

Factor of Safety Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: 100

Tolerable difference in F of S: 0.001

Solution Settings

Search Method: [Root Finder](#)

Tolerable difference between starting and converged F of S: [3](#)

Maximum iterations to calculate converged lambda: [20](#)

Max Absolute Lambda: [2](#)

## Materials

### DT sisma

Model: [Mohr-Coulomb](#)

Unit Weight: [20 kN/m<sup>3</sup>](#)

Effective Cohesion: [5 kPa](#)

Effective Friction Angle: [28 °](#)

Phi-B: [0 °](#)

### LSA SISMA

Model: [Mohr-Coulomb](#)

Unit Weight: [20 kN/m<sup>3</sup>](#)

Effective Cohesion: [15 kPa](#)

Effective Friction Angle: [25 °](#)

Phi-B: [0 °](#)

## Reinforcements

### New Reinforcement

Type: [Pile](#)

Shear Force: [300 kN](#)

Shear Force Reduction Factor: [1](#)

Apply Shear: [Parallel to Slip](#)

Out-of-Plane Spacing: [0.3048 m](#)

## Slip Surface Entry and Exit

Left Type: [Range](#)

Left-Zone Left Coordinate: [\(21.65887, 33.798171\) m](#)

Left-Zone Right Coordinate: [\(26.160778, 31.682357\) m](#)

Left-Zone Increment: [35](#)

Right Type: [Range](#)

Right-Zone Left Coordinate: [\(32.445241, 27.642344\) m](#)

Right-Zone Right Coordinate: [\(37.764713, 26.3\) m](#)

Right-Zone Increment: [20](#)

Radius Increments: [4](#)

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: [\(16.099999, 36.699999\) m](#)

Right Coordinate: [\(53.6, 25.200001\) m](#)

## Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0.093

Vert Seismic Coef.: 0.047

## Reinforcement Lines

### Reinforcement Line 1

Reinforcement: [New Reinforcement](#)Lock to Ground Surface: [No](#)Outside Point: [\(38.9, 26.4\) m](#)Inside Point: [\(38.9, 18.9\) m](#)Length: [7.5 m](#)Orientation: [-90 °](#)Pullout Force: [0 kN](#)Pullout Force per Length: [0 kN/m](#)

## Geometry

Name: [Default Geometry](#)

### Settings

View: [2D](#)Element Thickness: [1 m](#)Elevation: [0 m](#)Thickness Function: [New Mesh Thickness Function](#)

### Points

	X	Y
Point 1	16.099999 m	36.699999 m
Point 2	16.099999 m	13.700001 m
Point 3	53.6 m	13.700001 m
Point 4	53.6 m	25.200001 m
Point 5	38.899999 m	18.899999 m
Point 6	38.899999 m	23.700001 m
Point 7	38.899999 m	26.399999 m
Point 8	37.800001 m	26.3 m
Point 9	36.399999 m	26.3 m
Point 10	35.800001 m	26.700001 m
Point 11	20.000001 m	34.500001 m
Point 12	18.599999 m	35.500001 m
Point 13	35.199999 m	26.899999 m
Point 14	35.1 m	26.899999 m
Point 15	34.500001 m	26.500001 m
Point 16	34.1 m	26.500001 m
Point 17	33.6 m	26.899999 m
Point 18	25.200001 m	32.3 m
Point 19	16.099999 m	34.699999 m
Point 20	18.599999 m	33.500001 m
Point 21	25.200001 m	30.35 m

Point 22	33.6 m	24.8 m
----------	--------	--------

## Regions

	Material	Points	Area
Region 1	DT sisma	1,19,20,21,22,6,7,8,9,10,14,15,16,17,18,11,12	45.895 m <sup>2</sup>
Region 2	LSA SISMA	2,3,4,6,22,21,20,19	501.78 m <sup>2</sup>
Region 3	DT sisma	13,14,10	0.0099998 m <sup>2</sup>

## Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 1868 of 3780 converged

## Current Slip Surface

Slip Surface: 1,838

Factor of Safety: 1.246

Volume: 13.488144 m<sup>3</sup>

Weight: 269.76288 kN

Resisting Moment: 2,264.3713 kN·m

Activating Moment: 1,817.3702 kN·m

Resisting Force: 166.03536 kN

Activating Force: 133.31652 kN

Slip Rank: 1 of 3,780 slip surfaces

Exit: (33.747704, 26.781836) m

Entry: (23.889776, 32.854326) m

Radius: 11.564415 m

Center: (34.069343, 38.341778) m

## Slip Slices

	X	Y	PWP	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	24.053554 m	32.570116 m	0 kPa	-0.62286299 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 2	24.38111 m	32.034342 m	0 kPa	2.1851803 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 3	24.708667 m	31.556826 m	0 kPa	4.4449831 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 4	25.036223 m	31.125851 m	0 kPa	6.3329549 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 5	25.353968 m	30.744209 m	0 kPa	7.7190063 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 6	25.661902 m	30.404502 m	0 kPa	8.6912455 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 7	25.969836 m	30.090284 m	0 kPa	9.5619645 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 8	26.27777 m	29.79873 m	0 kPa	10.363351 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 9	26.585704 m	29.527581 m	0 kPa	11.119354 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 10	26.893638 m	29.275003 m	0 kPa	11.847396 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma

Slice 11	27.201572 m	29.039477 m	0 kPa	12.55929 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 12	27.526969 m	28.808162 m	0 kPa	11.766318 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 13	27.869831 m	28.581629 m	0 kPa	12.665641 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 14	28.204754 m	28.376522 m	0 kPa	14.895532 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 15	28.531739 m	28.191115 m	0 kPa	15.547194 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 16	28.858723 m	28.019394 m	0 kPa	16.148983 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 17	29.185708 m	27.860686 m	0 kPa	16.67392 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 18	29.512692 m	27.714408 m	0 kPa	17.087947 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 19	29.839677 m	27.580051 m	0 kPa	17.350951 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 20	30.166662 m	27.457173 m	0 kPa	17.418811 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 21	30.493646 m	27.34539 m	0 kPa	17.246596 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 22	30.820631 m	27.244366 m	0 kPa	16.792905 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 23	31.147615 m	27.153808 m	0 kPa	16.024973 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 24	31.4746 m	27.073465 m	0 kPa	14.923837 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 25	31.801585 m	27.003119 m	0 kPa	13.488573 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 26	32.128569 m	26.942585 m	0 kPa	11.738546 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 27	32.455554 m	26.891707 m	0 kPa	9.7128776 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 28	32.782538 m	26.850356 m	0 kPa	7.4669168 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 29	33.109523 m	26.818431 m	0 kPa	5.0662089 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 30	33.436508 m	26.795852 m	0 kPa	2.5791335 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 31	33.673852 m	26.784363 m	0 kPa	0.63330238 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma

# Sez 97A sisma\_ante operam

---

Report generated using GeoStudio 2021. Copyright © 1991-2020 GEOSLOPE International Ltd.

## File Information

File Version: 11.00

Title: OS04 sez 97A

Last Edited By: Francesca Lupino

Revision Number: 121

Date: 06-May-21

Time: 06:52:22 PM

Tool Version: 11.0.1.21429

File Name: OS04\_sez97A\_PRG\_GEO.gsz

Directory: W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\CALCOLI\ISTRUTTORIA\_PV3\OS\_RINFORZI\_2020\GEOSLOPE\NUOVA GEOLOGIA\OS04\SLOPE 2021\

Last Solved Date: 06-May-21

Last Solved Time: 06:52:35 PM

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

## Analysis Settings

### Sez 97A sisma\_ante operam

Kind: SLOPE/W

Method: Morgenstern-Price

Settings

Side Function

Interslice force function option: Half-Sine

PWP Conditions from: (none)

Unit Weight of Water: 9.807 kN/m<sup>3</sup>

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 Option: (none)

Distribution

F of S Calculation Option: Constant

Advanced

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: 0.5 m

Number of Slices: 30

Factor of Safety Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: 100

Tolerable difference in F of S: 0.001

Solution Settings

Search Method: [Root Finder](#)

Tolerable difference between starting and converged F of S: 3

Maximum iterations to calculate converged lambda: 20

Max Absolute Lambda: 2

## Materials

### DT sisma

Model: [Mohr-Coulomb](#)

Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>

Effective Cohesion: 5 kPa

Effective Friction Angle: 28 °

Phi-B: 0 °

### LSA SISMA

Model: [Mohr-Coulomb](#)

Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>

Effective Cohesion: 15 kPa

Effective Friction Angle: 25 °

Phi-B: 0 °

## Reinforcements

### New Reinforcement

Type: [Pile](#)

Shear Force: 300 kN

Shear Force Reduction Factor: 1

Apply Shear: [Parallel to Slip](#)

Out-of-Plane Spacing: 0.3048 m

## Slip Surface Entry and Exit

Left Type: [Range](#)

Left-Zone Left Coordinate: (22.804612, 33.316805) m

Left-Zone Right Coordinate: (29.54227, 29.786367) m

Left-Zone Increment: 20

Right Type: [Range](#)

Right-Zone Left Coordinate: (34.749656, 27.29082) m

Right-Zone Right Coordinate: (38.236309, 26.339664) m

Right-Zone Increment: 20

Radius Increments: 4

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: (16.000001, 34.699999) m

Right Coordinate: (53.6, 25.200001) m

## Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0.093

Vert Seismic Coef.: 0.047

## Reinforcement Lines

### Reinforcement Line 1

Reinforcement: [New Reinforcement](#)Lock to Ground Surface: [No](#)Outside Point: [\(38.9, 26.4\) m](#)Inside Point: [\(38.9, 18.9\) m](#)Length: [7.5 m](#)Orientation: [-90 °](#)Pullout Force: [0 kN](#)Pullout Force per Length: [0 kN/m](#)

## Geometry

Name: [Default Geometry](#)

### Settings

View: [2D](#)Element Thickness: [1 m](#)Elevation: [0 m](#)Thickness Function: [New Mesh Thickness Function](#)

### Points

	X	Y
Point 1	16.099999 m	36.699999 m
Point 2	16.099999 m	13.700001 m
Point 3	53.6 m	13.700001 m
Point 4	53.6 m	25.200001 m
Point 5	38.899999 m	18.899999 m
Point 6	38.899999 m	23.700001 m
Point 7	38.899999 m	26.399999 m
Point 8	37.800001 m	26.3 m
Point 9	36.399999 m	26.3 m
Point 10	35.800001 m	26.700001 m
Point 11	32.6 m	28.500001 m
Point 12	29.8 m	29.500001 m
Point 13	28.899999 m	30.500001 m
Point 14	26.399999 m	31.8 m
Point 15	28.000001 m	31.1 m
Point 16	20.000001 m	34.500001 m
Point 17	18.599999 m	35.500001 m
Point 18	16.000001 m	34.699999 m
Point 19	20.000001 m	32.500001 m
Point 20	26.500001 m	29.8 m
Point 21	29.8 m	27.500001 m

Point 22	35.800001 m	24.700001 m
Point 23	16.099999 m	34.645001 m

## Regions

	Material	Points	Area
Region 1	DT sisma	1,18,23,19,20,21,22,6,7,8,9,10,11,12,13,15,14,16,17	48.205 m <sup>2</sup>
Region 2	LSA SISMA	2,3,4,6,22,21,20,19,23	505.24 m <sup>2</sup>

## Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 1640 of 2205 converged

## Current Slip Surface

Slip Surface: 683

Factor of Safety: 1.336

Volume: 17.93587 m<sup>3</sup>

Weight: 358.7174 kN

Resisting Moment: 2,928.3891 kN·m

Activating Moment: 2,191.5687 kN·m

Resisting Force: 217.41228 kN

Activating Force: 162.64601 kN

Slip Rank: 1 of 2,205 slip surfaces

Exit: (36.363343, 26.324438) m

Entry: (24.930318, 32.420022) m

Radius: 11.767259 m

Center: (35.268448, 38.040648) m

## Slip Slices

	X	Y	PWP	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	25.114028 m	32.105703 m	0 kPa	-0.367185 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 2	25.481448 m	31.515824 m	0 kPa	2.7646508 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 3	25.848869 m	30.994668 m	0 kPa	5.3106475 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 4	26.216289 m	30.527723 m	0 kPa	7.4483766 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 5	26.599999 m	30.088363 m	0 kPa	9.3490873 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 6	27 m	29.672728 m	0 kPa	11.090413 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 7	27.4 m	29.295162 m	0 kPa	12.677263 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 8	27.800001 m	28.950892 m	0 kPa	14.168761 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 9	28.225001 m	28.618371 m	0 kPa	15.325131 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 10	28.674999 m	28.297907 m	0 kPa	16.156364 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma

Slice 11	29.124999 m	28.007861 m	0 kPa	16.174453 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 12	29.575 m	27.745653 m	0 kPa	15.285025 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 13	30 m	27.521057 m	0 kPa	15.500208 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 14	30.4 m	27.329984 m	0 kPa	16.940621 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 15	30.8 m	27.156963 m	0 kPa	18.326573 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 16	31.2 m	27.001143 m	0 kPa	19.623628 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 17	31.6 m	26.861804 m	0 kPa	20.785252 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 18	32 m	26.738335 m	0 kPa	21.754348 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 19	32.4 m	26.63022 m	0 kPa	22.466577 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 20	32.8 m	26.537027 m	0 kPa	22.414891 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 21	33.2 m	26.458393 m	0 kPa	21.502926 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 22	33.6 m	26.394024 m	0 kPa	20.127166 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 23	34 m	26.343685 m	0 kPa	18.283108 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 24	34.400001 m	26.307193 m	0 kPa	15.996942 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 25	34.800001 m	26.284421 m	0 kPa	13.324969 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 26	35.200001 m	26.275288 m	0 kPa	10.348038 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 27	35.600001 m	26.279763 m	0 kPa	7.1618753 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 28	36.081672 m	26.304919 m	0 kPa	2.8420011 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma

# Sez 97A sisma\_chiodi

---

Report generated using GeoStudio 2021. Copyright © 1991-2020 GEOSLOPE International Ltd.

## File Information

File Version: 11.00

Title: OS04 sez\_97A

Last Edited By: Francesca Lupino

Revision Number: 161

Date: 06-May-21

Time: 06:42:39 PM

Tool Version: 11.0.1.21429

File Name: OS04\_sez97A\_\_PV3\_GEO\_.gsz

Directory: W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\CALCOLI\ISTRUTTORIA\_PV3\OS\_RINFORZI\_2020\GEOSLOPE\NUOVA GEOLOGIA\OS04\SLOPE 2021\

Last Solved Date: 06-May-21

Last Solved Time: 06:42:43 PM

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

## Analysis Settings

### Sez 97A sisma\_chiodi

Kind: SLOPE/W

Method: Morgenstern-Price

Settings

Side Function

Interslice force function option: Half-Sine

PWP Conditions from: (none)

Unit Weight of Water: 9.807 kN/m<sup>3</sup>

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 Option: (none)

Distribution

F of S Calculation Option: Constant

Advanced

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: 0.5 m

Number of Slices: 30

Factor of Safety Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: 100

Tolerable difference in F of S: 0.001

Solution Settings

Search Method: [Root Finder](#)

Tolerable difference between starting and converged F of S: [3](#)

Maximum iterations to calculate converged lambda: [20](#)

Max Absolute Lambda: [2](#)

## Materials

### DT sisma

Model: [Mohr-Coulomb](#)

Unit Weight: [20 kN/m<sup>3</sup>](#)

Effective Cohesion: [5 kPa](#)

Effective Friction Angle: [28 °](#)

Phi-B: [0 °](#)

### LSA SISMA

Model: [Mohr-Coulomb](#)

Unit Weight: [20 kN/m<sup>3</sup>](#)

Effective Cohesion: [15 kPa](#)

Effective Friction Angle: [25 °](#)

Phi-B: [0 °](#)

## Reinforcements

### New Reinforcement

Type: [Pile](#)

Shear Force: [300 kN](#)

Shear Force Reduction Factor: [1](#)

Apply Shear: [Parallel to Slip](#)

Out-of-Plane Spacing: [0.3048 m](#)

### New Reinforcement (2)

Type: [Nail](#)

Pullout Resistance: [200 kPa](#)

Pullout Resistance Reduction Factor: [2.04](#)

Tensile Capacity: [153 kN](#)

Tensile Capacity Reduction Factor: [1.05](#)

Shear Force: [56 kN](#)

Shear Force Reduction Factor: [1.05](#)

Apply Shear: [Parallel to Slip](#)

F of S Dependent: [No](#)

Force Distribution: [Concentrated](#)

Bond Diameter: [0.07 m](#)

Out-of-Plane Spacing: [3 m](#)

Face Anchorage: [Yes](#)

Factored Pullout Resistance: [7.1866 kN/m/m](#)

Factored Tensile Capacity: [48.571 kN/m](#)

## Slip Surface Entry and Exit

Left Type: [Range](#)

Left-Zone Left Coordinate: (16.934352, 36.29951) m

Left-Zone Right Coordinate: (23.847608, 32.872166) m

Left-Zone Increment: 20

Right Type: [Range](#)

Right-Zone Left Coordinate: (35.2, 26.899999) m

Right-Zone Right Coordinate: (38.45062, 26.359147) m

Right-Zone Increment: 20

Radius Increments: 4

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: (16.099999, 36.699999) m

Right Coordinate: (53.6, 25.200001) m

## Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0.093

Vert Seismic Coef.: 0.047

## Reinforcement Lines

### Reinforcement Line 1

Reinforcement: [New Reinforcement](#)

Lock to Ground Surface: No

Outside Point: (38.9, 26.4) m

Inside Point: (38.9, 18.9) m

Length: 7.5 m

Orientation: -90 °

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

### Reinforcement Line 2

Reinforcement: [New Reinforcement \(2\)](#)

Lock to Ground Surface: No

Outside Point: (32.77, 27.43) m

Inside Point: (30.24, 25.82) m

Length: 2.9988331 m

Orientation: -147.53 °

Max. Pullout Force: 0 kN

Available Length: 0 m

Required Length: 0 m

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

Governing Component: (none)

### Reinforcement Line 3

Reinforcement: [New Reinforcement \(2\)](#)

Lock to Ground Surface: No

Outside Point: (28.1, 30.43) m

Inside Point: (25.58, 28.82) m

Length: 2.9904013 m  
 Orientation: -147.43 °  
 Max. Pullout Force: 0 kN  
 Available Length: 0 m  
 Required Length: 0 m  
 Pullout Force: 0 kN  
 Pullout Force per Length: 0 kN/m  
 Governing Component: (none)

## Reinforcement Line 4

Reinforcement: [New Reinforcement \(2\)](#)  
 Lock to Ground Surface: [No](#)  
 Outside Point: [\(22.51, 33.43\) m](#)  
 Inside Point: [\(20, 31.82\) m](#)  
 Length: 2.9819792 m  
 Orientation: -147.32 °  
 Max. Pullout Force: 0 kN  
 Available Length: 0 m  
 Required Length: 0 m  
 Pullout Force: 0 kN  
 Pullout Force per Length: 0 kN/m  
 Governing Component: (none)

## Geometry

Name: [Default Geometry](#)

## Settings

View: [2D](#)  
 Element Thickness: [1 m](#)  
 Elevation: [0 m](#)  
 Thickness Function: [New Mesh Thickness Function](#)

## Points

	X	Y
Point 1	16.099999 m	36.699999 m
Point 2	16.099999 m	13.700001 m
Point 3	53.6 m	13.700001 m
Point 4	53.6 m	25.200001 m
Point 5	38.899999 m	18.899999 m
Point 6	38.899999 m	23.700001 m
Point 7	38.899999 m	26.399999 m
Point 8	37.800001 m	26.3 m
Point 9	36.399999 m	26.3 m
Point 10	35.800001 m	26.700001 m
Point 11	20.000001 m	34.500001 m
Point 12	18.599999 m	35.500001 m
Point 13	35.199999 m	26.899999 m
Point 14	35.1 m	26.899999 m
Point 15	34.500001 m	26.500001 m

Point 16	34.1 m	26.500001 m
Point 17	33.6 m	26.899999 m
Point 18	25.200001 m	32.3 m
Point 19	16.099999 m	34.699999 m
Point 20	18.599999 m	33.500001 m
Point 21	25.200001 m	30.35 m
Point 22	33.6 m	24.8 m

## Regions

	Material	Points	Area
Region 1	DT sisma	1,19,20,21,22,6,7,8,9,10,14,15,16,17,18,11,12	45.895 m <sup>2</sup>
Region 2	LSA SISMA	2,3,4,6,22,21,20,19	501.78 m <sup>2</sup>
Region 3	DT sisma	13,14,10	0.0099998 m <sup>2</sup>

## Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 1171 of 2205 converged

## Current Slip Surface

Slip Surface: 19

Factor of Safety: 1.450

Volume: 63.691255 m<sup>3</sup>

Weight: 1,273.8251 kN

Resisting Moment: 12,543.611 kN·m

Activating Moment: 8,646.5961 kN·m

Resisting Force: 761.42994 kN

Activating Force: 525.17069 kN

Slip Rank: 1 of 2,205 slip surfaces

Exit: (35.684806, 26.738399) m

Entry: (16.934352, 36.29951) m

Radius: 14.184577 m

Center: (30.629962, 39.991729) m

## Slip Slices

	X	Y	PWP	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	17.38515 m	35.083127 m	0 kPa	2.8301299 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 2	18.217974 m	33.171505 m	0 kPa	8.4935709 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 3	18.95 m	31.96685 m	0 kPa	13.845873 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 4	19.650001 m	31.028676 m	0 kPa	17.105489 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 5	20.325001 m	30.255917 m	0 kPa	20.09434 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 6	20.975001 m	29.609679 m	0 kPa	23.148533 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA

Slice 7	21.625001 m	29.040206 m	0 kPa	25.990555 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 8	22.275001 m	28.535943 m	0 kPa	28.732195 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 9	22.925001 m	28.08854 m	0 kPa	31.4499 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 10	23.575001 m	27.691755 m	0 kPa	34.19268 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 11	24.225001 m	27.340801 m	0 kPa	36.985077 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 12	24.875001 m	27.031938 m	0 kPa	39.826992 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 13	25.508111 m	26.768277 m	0 kPa	42.087075 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 14	26.124332 m	26.545692 m	0 kPa	43.634066 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 15	26.740553 m	26.354572 m	0 kPa	44.970358 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 16	27.356774 m	26.193607 m	0 kPa	45.983375 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 17	27.972995 m	26.061749 m	0 kPa	46.538769 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 18	28.589216 m	25.958175 m	0 kPa	46.486883 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 19	29.205437 m	25.882263 m	0 kPa	45.674174 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 20	29.821657 m	25.833565 m	0 kPa	43.959851 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 21	30.437878 m	25.811801 m	0 kPa	41.236618 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 22	31.054099 m	25.816846 m	0 kPa	37.452495 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 23	31.67032 m	25.84873 m	0 kPa	32.628965 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 24	32.248692 m	25.902445 m	0 kPa	29.816149 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 25	32.789215 m	25.975129 m	0 kPa	23.447367 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 26	33.329738 m	26.06917 m	0 kPa	16.633741 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 27	33.85 m	26.179862 m	0 kPa	9.3163278 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 28	34.300001 m	26.291723 m	0 kPa	4.6246041 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 29	34.800001 m	26.437598 m	0 kPa	4.9437922 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 30	35.149999 m	26.546704 m	0 kPa	5.834879 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 31	35.438289 m	26.649389 m	0 kPa	3.2027431 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma

Slice 32	35.680693 m	26.736831 m	0 kPa	0.8516275 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
-------------	----------------	----------------	----------	---------------	-------	-------	----------

# Sez 97A statica\_ante operam

---

Report generated using GeoStudio 2021. Copyright © 1991-2020 GEOSLOPE International Ltd.

## File Information

File Version: 11.00

Title: OS04 sez\_97A

Last Edited By: Francesca Lupino

Revision Number: 161

Date: 06-May-21

Time: 06:42:39 PM

Tool Version: 11.0.1.21429

File Name: OS04\_sez97A\_\_PV3\_GEO\_.gsz

Directory: W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\CALCOLI\ISTRUTTORIA\_PV3\OS\_RINFORZI\_2020\GEOSLOPE\NUOVA GEOLOGIA\OS04\SLOPE 2021\

Last Solved Date: 06-May-21

Last Solved Time: 06:42:42 PM

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

## Analysis Settings

### Sez 97A statica\_ante operam

Kind: SLOPE/W

Method: Morgenstern-Price

Settings

Side Function

Interslice force function option: Half-Sine

PWP Conditions from: (none)

Unit Weight of Water: 9.807 kN/m<sup>3</sup>

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 Option: (none)

Distribution

F of S Calculation Option: Constant

Advanced

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: 2 m

Number of Slices: 30

Factor of Safety Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: 100

Tolerable difference in F of S: 0.001

Solution Settings

Search Method: [Root Finder](#)

Tolerable difference between starting and converged F of S: [3](#)

Maximum iterations to calculate converged lambda: [20](#)

Max Absolute Lambda: [2](#)

## Materials

### DT

Model: [Mohr-Coulomb](#)

Unit Weight: [20 kN/m<sup>3</sup>](#)

Effective Cohesion: [4 kPa](#)

Effective Friction Angle: [23 °](#)

Phi-B: [0 °](#)

### LSA

Model: [Mohr-Coulomb](#)

Unit Weight: [20 kN/m<sup>3</sup>](#)

Effective Cohesion: [12 kPa](#)

Effective Friction Angle: [20.5 °](#)

Phi-B: [0 °](#)

## Reinforcements

### New Reinforcement

Type: [Pile](#)

Shear Force: [300 kN](#)

Shear Force Reduction Factor: [1](#)

Apply Shear: [Parallel to Slip](#)

Out-of-Plane Spacing: [0.3048 m](#)

## Slip Surface Entry and Exit

Left Type: [Range](#)

Left-Zone Left Coordinate: [\(17.90619, 35.833029\) m](#)

Left-Zone Right Coordinate: [\(27.262864, 30.973874\) m](#)

Left-Zone Increment: [20](#)

Right Type: [Range](#)

Right-Zone Left Coordinate: [\(32.858346, 27.376777\) m](#)

Right-Zone Right Coordinate: [\(37.989922, 26.317265\) m](#)

Right-Zone Increment: [20](#)

Radius Increments: [4](#)

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: [\(16.099999, 36.699999\) m](#)

Right Coordinate: [\(53.6, 25.200001\) m](#)

## Reinforcement Lines

## Reinforcement Line 1

Reinforcement: [New Reinforcement](#)

Lock to Ground Surface: [No](#)

Outside Point: [\(38.9, 26.4\) m](#)

Inside Point: [\(38.9, 18.9\) m](#)

Length: [7.5 m](#)

Orientation: [-90 °](#)

Pullout Force: [0 kN](#)

Pullout Force per Length: [0 kN/m](#)

## Geometry

Name: [Default Geometry](#)

## Settings

View: [2D](#)

Element Thickness: [1 m](#)

Elevation: [0 m](#)

Thickness Function: [New Mesh Thickness Function](#)

## Points

	X	Y
Point 1	16.099999 m	36.699999 m
Point 2	16.099999 m	13.700001 m
Point 3	53.6 m	13.700001 m
Point 4	53.6 m	25.200001 m
Point 5	38.899999 m	18.899999 m
Point 6	38.899999 m	23.700001 m
Point 7	38.899999 m	26.399999 m
Point 8	37.800001 m	26.3 m
Point 9	36.399999 m	26.3 m
Point 10	35.800001 m	26.700001 m
Point 11	20.000001 m	34.500001 m
Point 12	18.599999 m	35.500001 m
Point 13	35.199999 m	26.899999 m
Point 14	35.1 m	26.899999 m
Point 15	34.500001 m	26.500001 m
Point 16	34.1 m	26.500001 m
Point 17	33.6 m	26.899999 m
Point 18	25.200001 m	32.3 m
Point 19	16.099999 m	34.699999 m
Point 20	18.599999 m	33.500001 m
Point 21	25.200001 m	30.35 m
Point 22	33.6 m	24.8 m

## Regions

	Material	Points	Area
Region 1	DT	1,19,20,21,22,6,7,8,9,10,14,15,16,17,18,11,12	45.895 m <sup>2</sup>
Region 2	LSA	2,3,4,6,22,21,20,19	501.78 m <sup>2</sup>

Region 3	DT	13,14,10	0.0099998 m <sup>2</sup>
----------	----	----------	--------------------------

## Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 1221 of 2205 converged

### Current Slip Surface

Slip Surface: 1,408

Factor of Safety: 1.145

Volume: 13.475651 m<sup>3</sup>

Weight: 269.51303 kN

Resisting Moment: 1,734.8934 kN·m

Activating Moment: 1,515.8091 kN·m

Resisting Force: 127.16881 kN

Activating Force: 111.10901 kN

Slip Rank: 1 of 2,205 slip surfaces

Exit: (33.868001, 26.685599) m

Entry: (24.045404, 32.788484) m

Radius: 11.502522 m

Center: (34.204392, 38.183201) m

### Slip Slices

	X	Y	PWP	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	24.189729 m	32.53269 m	0 kPa	-0.51332168 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 2	24.478378 m	32.048098 m	0 kPa	1.5487244 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 3	24.767027 m	31.612024 m	0 kPa	3.2826032 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 4	25.055676 m	31.215255 m	0 kPa	4.7794391 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 5	25.37404 m	30.817125 m	0 kPa	6.028882 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 6	25.722117 m	30.418371 m	0 kPa	7.0586495 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 7	26.070194 m	30.054104 m	0 kPa	7.9600406 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 8	26.418271 m	29.719845 m	0 kPa	8.7677548 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 9	26.766348 m	29.412144 m	0 kPa	9.5055063 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 10	27.114425 m	29.128284 m	0 kPa	10.188635 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 11	27.462502 m	28.866078 m	0 kPa	10.825574 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 12	27.865345 m	28.588969 m	0 kPa	11.498579 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 13	28.256086 m	28.339936 m	0 kPa	12.109567 kPa	4 kPa	0 kPa	DT

Slice 14	28.57996 m	28.151287 m	0 kPa	12.551045 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 15	28.903833 m	27.9764 m	0 kPa	12.92904 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 16	29.227707 m	27.814578 m	0 kPa	13.227733 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 17	29.55158 m	27.665217 m	0 kPa	13.428179 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 18	29.875454 m	27.527791 m	0 kPa	13.509072 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 19	30.199327 m	27.401846 m	0 kPa	13.447883 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 20	30.523201 m	27.28698 m	0 kPa	13.222423 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 21	30.847075 m	27.182848 m	0 kPa	12.812757 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 22	31.170948 m	27.089147 m	0 kPa	12.203371 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 23	31.494822 m	27.005613 m	0 kPa	11.385329 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 24	31.818695 m	26.932021 m	0 kPa	10.358099 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 25	32.142569 m	26.868176 m	0 kPa	9.1306937 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 26	32.466442 m	26.813913 m	0 kPa	7.7218234 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 27	32.790316 m	26.769097 m	0 kPa	6.1588787 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 28	33.11419 m	26.733616 m	0 kPa	4.4758057 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 29	33.438063 m	26.707383 m	0 kPa	2.7101343 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 30	33.734001 m	26.691084 m	0 kPa	0.88223012 kPa	4 kPa	0 kPa	DT

# Sez 97A statica\_ante operam

---

Report generated using GeoStudio 2021. Copyright © 1991-2020 GEOSLOPE International Ltd.

## File Information

File Version: 11.00

Title: OS04 sez 97A

Last Edited By: Francesca Lupino

Revision Number: 121

Date: 06-May-21

Time: 06:52:22 PM

Tool Version: 11.0.1.21429

File Name: OS04\_sez97A\_PRG\_GEO.gsz

Directory: W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\CALCOLI\ISTRUTTORIA\_PV3\OS\_RINFORZI\_2020\GEOSLOPE\NUOVA GEOLOGIA\OS04\SLOPE 2021\

Last Solved Date: 06-May-21

Last Solved Time: 06:52:34 PM

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

## Analysis Settings

### Sez 97A statica\_ante operam

Kind: SLOPE/W

Method: Morgenstern-Price

Settings

Side Function

Interslice force function option: Half-Sine

PWP Conditions from: (none)

Unit Weight of Water: 9.807 kN/m<sup>3</sup>

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 Option: (none)

Distribution

F of S Calculation Option: Constant

Advanced

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: 0.5 m

Number of Slices: 30

Factor of Safety Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: 100

Tolerable difference in F of S: 0.001

Solution Settings

Search Method: [Root Finder](#)

Tolerable difference between starting and converged F of S: [3](#)

Maximum iterations to calculate converged lambda: [20](#)

Max Absolute Lambda: [2](#)

## Materials

### DT

Model: [Mohr-Coulomb](#)

Unit Weight: [20 kN/m<sup>3</sup>](#)

Effective Cohesion: [4 kPa](#)

Effective Friction Angle: [23 °](#)

Phi-B: [0 °](#)

### LSA

Model: [Mohr-Coulomb](#)

Unit Weight: [20 kN/m<sup>3</sup>](#)

Effective Cohesion: [12 kPa](#)

Effective Friction Angle: [20.5 °](#)

Phi-B: [0 °](#)

## Reinforcements

### New Reinforcement

Type: [Pile](#)

Shear Force: [300 kN](#)

Shear Force Reduction Factor: [1](#)

Apply Shear: [Parallel to Slip](#)

Out-of-Plane Spacing: [0.3048 m](#)

## Slip Surface Entry and Exit

Left Type: [Range](#)

Left-Zone Left Coordinate: [\(22.766309, 33.332964\) m](#)

Left-Zone Right Coordinate: [\(27.332836, 31.391884\) m](#)

Left-Zone Increment: [20](#)

Right Type: [Range](#)

Right-Zone Left Coordinate: [\(34.198022, 27.601114\) m](#)

Right-Zone Right Coordinate: [\(37.778058, 26.3\) m](#)

Right-Zone Increment: [20](#)

Radius Increments: [4](#)

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: [\(16.000001, 34.699999\) m](#)

Right Coordinate: [\(53.6, 25.200001\) m](#)

## Reinforcement Lines

## Reinforcement Line 1

Reinforcement: [New Reinforcement](#)

Lock to Ground Surface: **No**

Outside Point: (38.9, 26.4) m

Inside Point: (38.9, 18.9) m

Length: 7.5 m

Orientation: -90 °

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

## Geometry

Name: [Default Geometry](#)

## Settings

View: 2D

Element Thickness: 1 m

Elevation: 0 m

Thickness Function: [New Mesh Thickness Function](#)

## Points

	X	Y
Point 1	16.099999 m	36.699999 m
Point 2	16.099999 m	13.700001 m
Point 3	53.6 m	13.700001 m
Point 4	53.6 m	25.200001 m
Point 5	38.899999 m	18.899999 m
Point 6	38.899999 m	23.700001 m
Point 7	38.899999 m	26.399999 m
Point 8	37.800001 m	26.3 m
Point 9	36.399999 m	26.3 m
Point 10	35.800001 m	26.700001 m
Point 11	32.6 m	28.500001 m
Point 12	29.8 m	29.500001 m
Point 13	28.899999 m	30.500001 m
Point 14	26.399999 m	31.8 m
Point 15	28.000001 m	31.1 m
Point 16	20.000001 m	34.500001 m
Point 17	18.599999 m	35.500001 m
Point 18	16.000001 m	34.699999 m
Point 19	20.000001 m	32.500001 m
Point 20	26.500001 m	29.8 m
Point 21	29.8 m	27.500001 m
Point 22	35.800001 m	24.700001 m
Point 23	16.099999 m	34.645001 m

## Regions

	Material	Points	Area
Region 1	DT	1,18,23,19,20,21,22,6,7,8,9,10,11,12,13,15,14,16,17	48.205 m <sup>2</sup>

Region 2	LSA	2,3,4,6,22,21,20,19,23	505.24 m <sup>2</sup>
----------	-----	------------------------	-----------------------

## Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 1775 of 2205 converged

### Current Slip Surface

Slip Surface: 1,118

Factor of Safety: 1.294

Volume: 17.631649 m<sup>3</sup>

Weight: 352.63297 kN

Resisting Moment: 2,276.3618 kN·m

Activating Moment: 1,759.3057 kN·m

Resisting Force: 168.94628 kN

Activating Force: 130.57678 kN

Slip Rank: 1 of 2,205 slip surfaces

Exit: (36.40004, 26.3) m

Entry: (25.052223, 32.368593) m

Radius: 11.701443 m

Center: (35.335189, 37.952891) m

### Slip Slices

	X	Y	PWP	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	25.220695 m	32.078518 m	0 kPa	-0.20447454 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 2	25.557639 m	31.531903 m	0 kPa	2.1661328 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 3	25.894583 m	31.045118 m	0 kPa	4.1430985 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 4	26.231527 m	30.606113 m	0 kPa	5.8356362 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 5	26.599999 m	30.172801 m	0 kPa	7.4224129 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 6	27 m	29.745142 m	0 kPa	8.9405732 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 7	27.4 m	29.357401 m	0 kPa	10.309518 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 8	27.800001 m	29.004352 m	0 kPa	11.574533 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 9	28.225001 m	28.66372 m	0 kPa	12.531506 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 10	28.674999 m	28.33568 m	0 kPa	13.180437 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 11	29.124999 m	28.03892 m	0 kPa	13.11902 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 12	29.575 m	27.770693 m	0 kPa	12.280595 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 13	30 m	27.540925 m	0 kPa	12.323903 kPa	4 kPa	0 kPa	DT

Slice 14	30.4 m	27.345393 m	0 kPa	13.339751 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 15	30.8 m	27.168237 m	0 kPa	14.282632 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 16	31.2 m	27.008565 m	0 kPa	15.131805 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 17	31.6 m	26.865619 m	0 kPa	15.860572 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 18	32 m	26.738759 m	0 kPa	16.437442 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 19	32.4 m	26.627444 m	0 kPa	16.828034 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 20	32.8 m	26.531218 m	0 kPa	16.658258 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 21	33.2 m	26.449702 m	0 kPa	15.875474 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 22	33.6 m	26.382584 m	0 kPa	14.796802 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 23	34 m	26.329616 m	0 kPa	13.421129 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 24	34.400001 m	26.290604 m	0 kPa	11.762741 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 25	34.800001 m	26.265408 m	0 kPa	9.8514317 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 26	35.200001 m	26.253938 m	0 kPa	7.7304977 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 27	35.600001 m	26.256155 m	0 kPa	5.45275 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 28	35.950001 m	26.268576 m	0 kPa	3.2426928 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 29	36.25 m	26.288232 m	0 kPa	1.1608398 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 30	36.400019 m	26.299998 m	0 kPa	0.12361745 kPa	4 kPa	0 kPa	DT

# Sez 97A statica\_chiodi

---

Report generated using GeoStudio 2021. Copyright © 1991-2020 GEOSLOPE International Ltd.

## File Information

File Version: 11.00

Title: OS04 sez\_97A

Last Edited By: Francesca Lupino

Revision Number: 161

Date: 06-May-21

Time: 06:42:39 PM

Tool Version: 11.0.1.21429

File Name: OS04\_sez97A\_\_PV3\_GEO\_.gsz

Directory: W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\CALCOLI\ISTRUTTORIA\_PV3\OS\_RINFORZI\_2020\GEOSLOPE\NUOVA GEOLOGIA\OS04\SLOPE 2021\

Last Solved Date: 06-May-21

Last Solved Time: 06:42:43 PM

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

## Analysis Settings

### Sez 97A statica\_chiodi

Kind: SLOPE/W

Method: Morgenstern-Price

Settings

Side Function

Interslice force function option: Half-Sine

PWP Conditions from: (none)

Unit Weight of Water: 9.807 kN/m<sup>3</sup>

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 Option: (none)

Distribution

F of S Calculation Option: Constant

Advanced

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: 2 m

Number of Slices: 30

Factor of Safety Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: 100

Tolerable difference in F of S: 0.001

Solution Settings

Search Method: **Root Finder**

Tolerable difference between starting and converged F of S: **3**

Maximum iterations to calculate converged lambda: **20**

Max Absolute Lambda: **2**

## Materials

### DT

Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **20 kN/m<sup>3</sup>**

Effective Cohesion: **4 kPa**

Effective Friction Angle: **23 °**

Phi-B: **0 °**

### LSA

Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **20 kN/m<sup>3</sup>**

Effective Cohesion: **12 kPa**

Effective Friction Angle: **20.5 °**

Phi-B: **0 °**

## Reinforcements

### New Reinforcement

Type: **Pile**

Shear Force: **300 kN**

Shear Force Reduction Factor: **1**

Apply Shear: **Parallel to Slip**

Out-of-Plane Spacing: **0.3048 m**

### New Reinforcement (2)

Type: **Nail**

Pullout Resistance: **200 kPa**

Pullout Resistance Reduction Factor: **2.04**

Tensile Capacity: **153 kN**

Tensile Capacity Reduction Factor: **1.05**

Shear Force: **56 kN**

Shear Force Reduction Factor: **1.05**

Apply Shear: **Parallel to Slip**

F of S Dependent: **No**

Force Distribution: **Concentrated**

Bond Diameter: **0.07 m**

Out-of-Plane Spacing: **3 m**

Face Anchorage: **Yes**

Factored Pullout Resistance: **7.1866 kN/m/m**

Factored Tensile Capacity: **48.571 kN/m**

## Slip Surface Entry and Exit

Left Type: [Range](#)

Left-Zone Left Coordinate: (17.77365, 35.896648) m

Left-Zone Right Coordinate: (27.249573, 30.982418) m

Left-Zone Increment: 20

Right Type: [Range](#)

Right-Zone Left Coordinate: (32.639358, 27.517555) m

Right-Zone Right Coordinate: (38.52571, 26.365973) m

Right-Zone Increment: 20

Radius Increments: 4

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: (16.099999, 36.699999) m

Right Coordinate: (53.6, 25.200001) m

## Reinforcement Lines

### Reinforcement Line 1

Reinforcement: [New Reinforcement](#)

Lock to Ground Surface: [No](#)

Outside Point: (38.9, 26.4) m

Inside Point: (38.9, 18.9) m

Length: 7.5 m

Orientation: -90 °

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

### Reinforcement Line 2

Reinforcement: [New Reinforcement \(2\)](#)

Lock to Ground Surface: [No](#)

Outside Point: (32.77, 27.43) m

Inside Point: (30.24, 25.82) m

Length: 2.9988331 m

Orientation: -147.53 °

Max. Pullout Force: 0 kN

Available Length: 0 m

Required Length: 0 m

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

Governing Component: (none)

### Reinforcement Line 3

Reinforcement: [New Reinforcement \(2\)](#)

Lock to Ground Surface: [No](#)

Outside Point: (28.1, 30.43) m

Inside Point: (25.58, 28.82) m

Length: 2.9904013 m

Orientation: -147.43 °

Max. Pullout Force: 0 kN

Available Length: 0 m

Required Length: 0 m

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

Governing Component: (none)

## Reinforcement Line 4

Reinforcement: [New Reinforcement \(2\)](#)

Lock to Ground Surface: No

Outside Point: (22.52, 33.43) m

Inside Point: (20, 31.82) m

Length: 2.9904013 m

Orientation: -147.43 °

Max. Pullout Force: 0 kN

Available Length: 0 m

Required Length: 0 m

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

Governing Component: (none)

## Geometry

Name: [Default Geometry](#)

## Settings

View: 2D

Element Thickness: 1 m

Elevation: 0 m

Thickness Function: [New Mesh Thickness Function](#)

## Points

	X	Y
Point 1	16.099999 m	36.699999 m
Point 2	16.099999 m	13.700001 m
Point 3	53.6 m	13.700001 m
Point 4	53.6 m	25.200001 m
Point 5	38.899999 m	18.899999 m
Point 6	38.899999 m	23.700001 m
Point 7	38.899999 m	26.399999 m
Point 8	37.800001 m	26.3 m
Point 9	36.399999 m	26.3 m
Point 10	35.800001 m	26.700001 m
Point 11	20.000001 m	34.500001 m
Point 12	18.599999 m	35.500001 m
Point 13	35.199999 m	26.899999 m
Point 14	35.1 m	26.899999 m
Point 15	34.500001 m	26.500001 m
Point 16	34.1 m	26.500001 m
Point 17	33.6 m	26.899999 m
Point 18	25.200001 m	32.3 m
Point 19	16.099999 m	34.699999 m
Point 20	18.599999 m	33.500001 m

Point 21	25.200001 m	30.35 m
Point 22	33.6 m	24.8 m

## Regions

	Material	Points	Area
Region 1	DT	1,19,20,21,22,6,7,8,9,10,14,15,16,17,18,11,12	45.895 m <sup>2</sup>
Region 2	LSA	2,3,4,6,22,21,20,19	501.78 m <sup>2</sup>
Region 3	DT	13,14,10	0.0099998 m <sup>2</sup>

## Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 1208 of 2205 converged

## Current Slip Surface

Slip Surface: 64

Factor of Safety: 1.409

Volume: 59.92271 m<sup>3</sup>

Weight: 1,198.4542 kN

Resisting Moment: 9,199.3965 kN·m

Activating Moment: 6,527.2377 kN·m

Resisting Force: 567.91533 kN

Activating Force: 403.05724 kN

Slip Rank: 1 of 2,205 slip surfaces

Exit: (36.012614, 26.558258) m

Entry: (17.77365, 35.896648) m

Radius: 13.826564 m

Center: (31.124586, 39.491976) m

## Slip Slices

	X	Y	PWP	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	18.186824 m	34.765635 m	0 kPa	2.3551113 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 2	18.64148 m	33.547514 m	0 kPa	7.6443028 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 3	19.012221 m	32.859137 m	0 kPa	6.9621875 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 4	19.670741 m	31.769515 m	0 kPa	10.642339 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 5	20.28889 m	30.916145 m	0 kPa	13.602721 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 6	20.866668 m	30.231137 m	0 kPa	16.285281 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 7	21.444445 m	29.62765 m	0 kPa	18.658912 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 8	22.022223 m	29.091327 m	0 kPa	20.825085 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 9	22.600001 m	28.612149 m	0 kPa	22.852087 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA

Slice 10	23.177779 m	28.1828 m	0 kPa	24.785715 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 11	23.755557 m	27.79776 m	0 kPa	26.655067 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 12	24.333334 m	27.452758 m	0 kPa	28.475659 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 13	24.911112 m	27.144425 m	0 kPa	30.250985 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 14	25.492665 m	26.86848 m	0 kPa	31.585545 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 15	26.077993 m	26.62314 m	0 kPa	32.418842 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 16	26.663321 m	26.408575 m	0 kPa	33.087109 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 17	27.248648 m	26.22329 m	0 kPa	33.542656 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 18	27.833976 m	26.06607 m	0 kPa	33.729285 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 19	28.419304 m	25.935935 m	0 kPa	33.584541 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 20	29.004632 m	25.832109 m	0 kPa	33.043185 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 21	29.58996 m	25.753997 m	0 kPa	32.04206 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 22	30.175288 m	25.701158 m	0 kPa	30.526226 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 23	30.760615 m	25.673304 m	0 kPa	28.455957 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 24	31.345943 m	25.670283 m	0 kPa	25.813747 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 25	31.931271 m	25.692078 m	0 kPa	22.610162 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 26	32.567951 m	25.745307 m	0 kPa	20.336409 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 27	33.255984 m	25.835117 m	0 kPa	14.722175 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 28	33.85 m	25.939081 m	0 kPa	9.1157302 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 29	34.300001 m	26.036554 m	0 kPa	5.9037314 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 30	34.800001 m	26.166498 m	0 kPa	6.3311735 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 31	35.149999 m	26.26446 m	0 kPa	7.1159611 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 32	35.5 m	26.379783 m	0 kPa	4.7947005 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 33	35.906307 m	26.519074 m	0 kPa	1.5977199 kPa	4 kPa	0 kPa	DT