



# 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 OS03 Relazione descrittiva e di calcolo

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

Codice elaborato:	OPERA	ARGOMENTO	DOC. E PROG.	FASE	REVISIONE
PA17/08	PV	OS03	RC01	6	1

CARTELLA:	FILE NAME:	NOTE:	PROT.	SCALA:
	PV_OS03RC01_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.....	5
3.3   RIVESTIMENTO FLESSIBILE.....	5
3.4   BIOSTUOIA ANTIEROSIVA.....	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 IDROGEOLOGICO.....	8
6.1   INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	8
6.2   INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO.....	9
7   CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	11
7.1   MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO.....	11
8   SOFTWARE UTILIZZATI.....	12
8.1   METODOLOGIA DI CALCOLO SOFTWARE GEOSLOPE.....	12
8.1.1   Elementi di rinforzo.....	14
8.2   METODOLOGIA DI CALCOLO SOFTWARE BIOS.....	15
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.....	34
12   ALLEGATI FILE DI INPUT OUTPUT DEI MODELLI DI CALCOLO.....	35

## 1 PREMESSA

La presente relazione si riferisce all’opera di identificata con la WBS OS03, 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+647,937 al km 1+848,286.

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 refluento 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 OS03

## 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

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

Inoltre, nelle analisi riportate più avanti, si fa riferimento a chiodi disposti secondo le seguenti modalità:

- Inclinazione chiodi: 30°
- Primo chiodo quota: +0.5 m da fosso di guardia
- Distanza chiodi in direzione verticale: 2,5 m
- Interasse chiodi: 2,5 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+647,937 e km 1+848,286.

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

OS03 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+647,937 AL KM 1+848,286 – 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 03		
INDAGINI	Pz2	S5

Tabella 2- INDAGINI IN CORRISPONDENZA DELL'OPERA

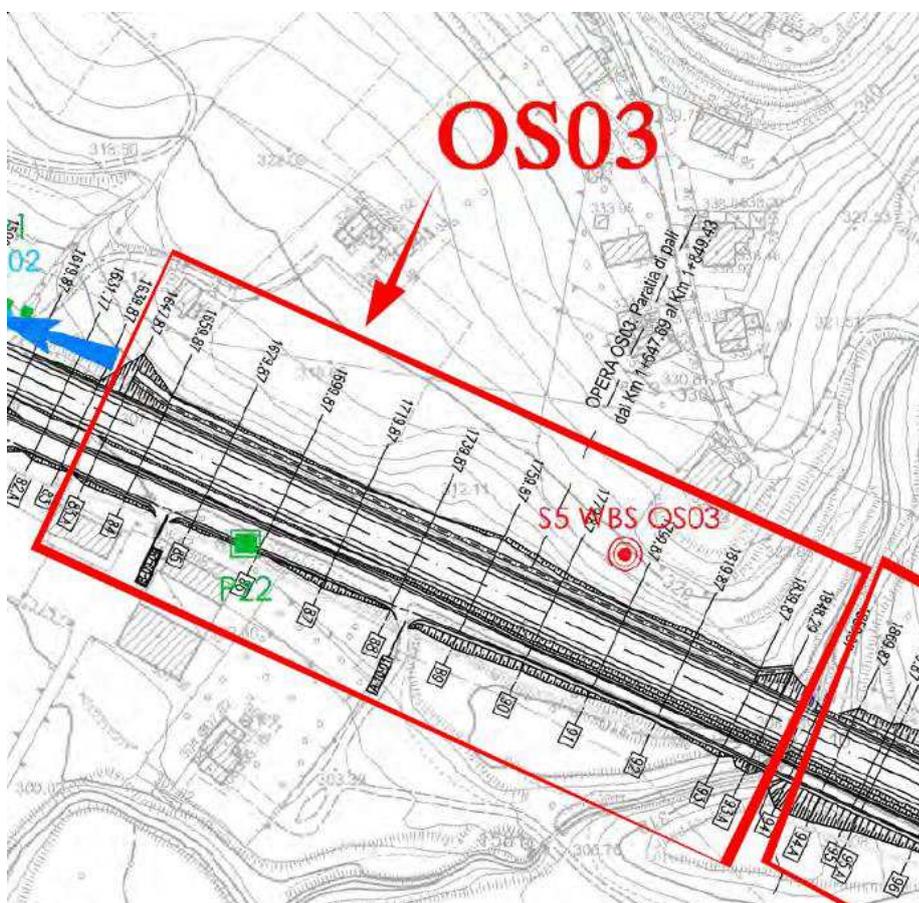


Figura 2- UBICAZIONE INDAGINI DI RIFERIMENTO

In totale sono stati eseguiti:

- n.1 pozzetto esplorativo
- 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

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

**OS03 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+647,937 AL KM 1+848,286 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO**

diverse unità litologiche/litotecniche. L'ubicazione dei sondaggi è riportata in sezione nella seguente figura.

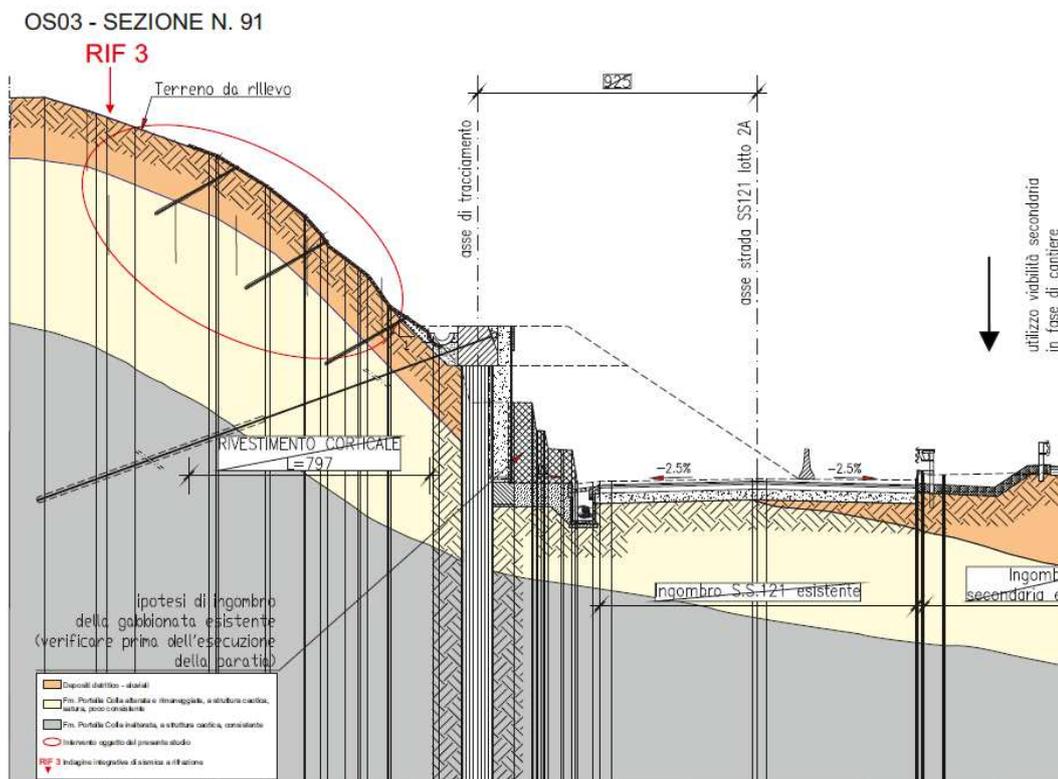


Figura 3 Ubicazione indagini a rifrazione campagna 2020 su sezione geologica stratigrafica

**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 l'opera in esame risulta essere la seguente:

Area (OS03)		
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

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**

---

**OS03 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+647,937 AL KM 1+848,286 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO**

## 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:

OS03						
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]

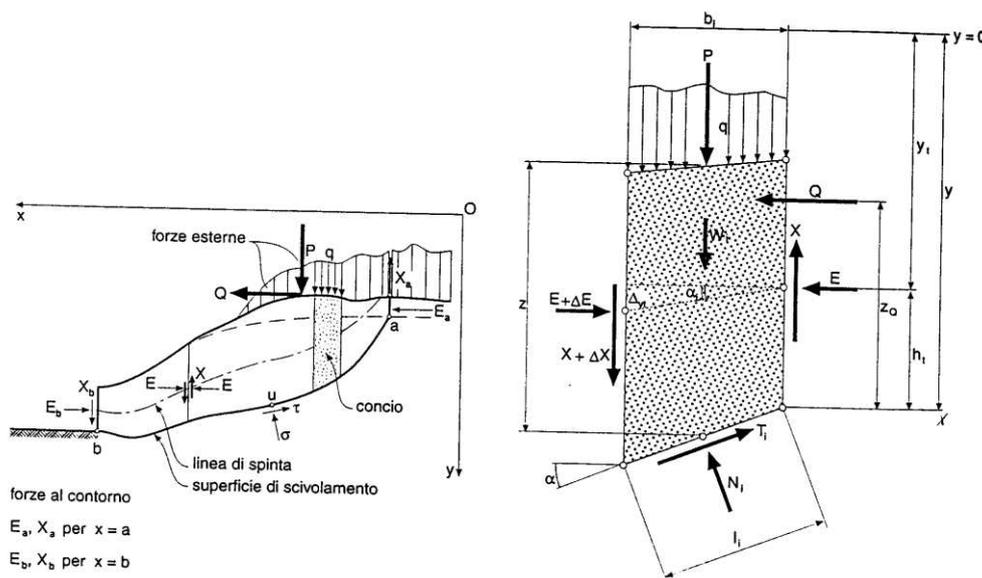


Figura 4 METODO DELLE STRISCE

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*

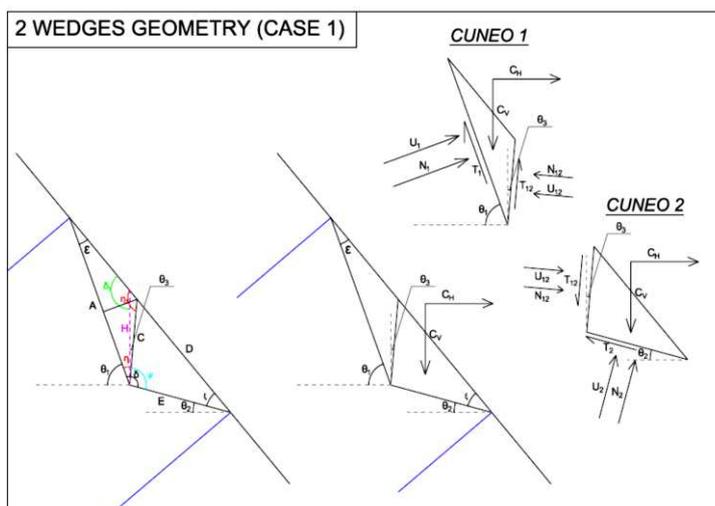
Viene analizzato il tratto di pendio compreso tra i chiodi, che deve avere fattore di sicurezza non inferiore a 1.0. Infatti, se non c'è equilibrio risulta impossibile anche installare il rivestimento in rete. Si verifica in tal modo la congruità della spaziatura tra gli ancoraggi in rapporto alle proprietà 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:

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

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

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

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

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
- $\xi = \beta - \theta_2$
- $\varepsilon = \theta_1 - \beta$
- $\delta = \pi - \theta_1 + \theta_2$
- $\eta = \frac{\pi}{2} - \theta_1 + \theta_3$
- $\eta_1 = \pi - \eta + \varepsilon$
- $\psi = \delta - \eta$
- $\delta_1 = \pi - \varepsilon - \eta + \theta_3$
- $E = a_v \cdot \frac{\sin(\varepsilon)}{\sin(\delta)}$
- $A = a_v \cdot \frac{\sin(\xi)}{\sin(\delta)}$
- $C = A \cdot \frac{\sin(\varepsilon)}{\sin(\eta_1)}$
- $D = C \cdot \frac{\sin(\psi)}{\sin(\xi)}$

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

OS03 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+647,937 AL KM 1+848,286 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

- $H = A \cdot \frac{\sin(\varepsilon)}{\sin(\delta_1)}$
- $h_1 = C \cdot \sin(\eta)$
- $Area_1 = \frac{1}{2} \cdot h_1 \cdot A$
- $h_2 = C \cdot \sin(\pi - \eta_1)$
- $Area_2 = \frac{1}{2} \cdot h_2 \cdot D$
- $W_1 = \gamma \cdot Area_1$
- $W_2 = \gamma \cdot Area_2$
- $U_1 = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot r_u \cdot H \cdot A$
- $U_2 = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot r_u \cdot H \cdot E$
- $U_{12} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot r_u \cdot H \cdot C$
- $F_{X1} = U_1 \cdot \sin(\theta_1) - U_{12} \cdot \cos(\theta_3)$
- $F_{X2} = U_2 \cdot \sin(\theta_2) + U_{12} \cdot \cos(\theta_3)$
- $F_{Y1} = W_1 - U_1 \cdot \cos(\theta_1) - U_{12} \cdot \sin(\theta_3)$
- $F_{Y2} = W_2 - U_2 \cdot \cos(\theta_2) + U_{12} \cdot \sin(\theta_3)$

Risolviendo 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:

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

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:

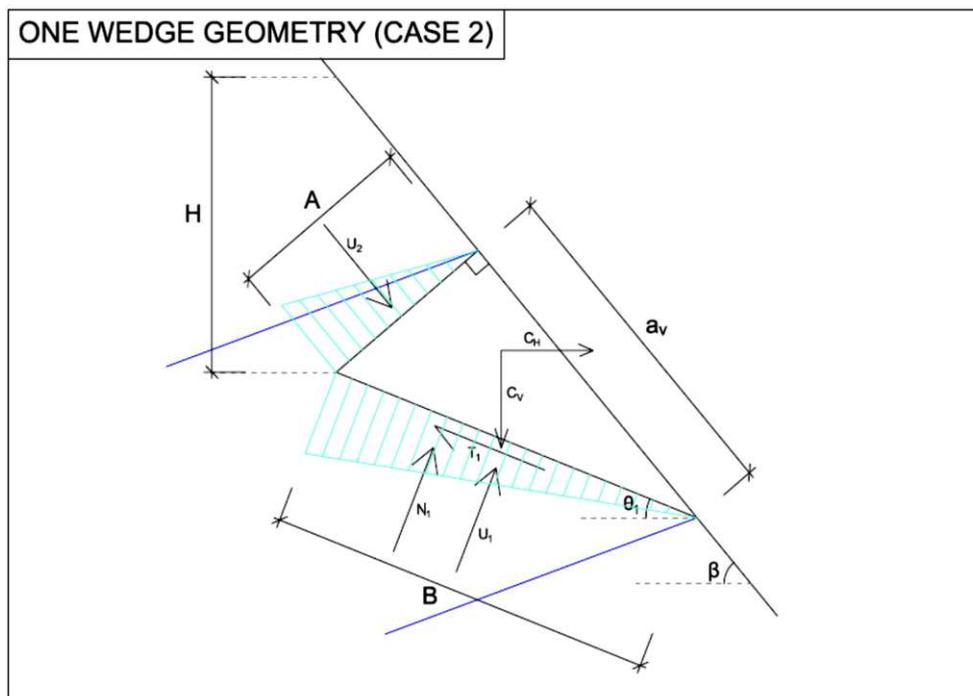
- 1)  $(FS_1; FS_2; FS_3) > 0$ ;
- 2)  $\min(FS_1; FS_2; FS_3)$ .

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:



La soluzione della stabilità è determinata come:

$$FS = \frac{K_1 + K_2 + (W^\perp - U_1^\perp + U_2^\perp) \tan \varphi'_p}{W^{\parallel} - U_2^{\parallel}}$$

dove:

$W^\perp$  (kN) Componente peso normale alla superficie di scivolamento;

$W^{\parallel}$  (kN) Componente peso parallelo alla superficie di scivolamento;

$K_1$  (kN) Coesione agente alla sommità del cuneo;

$K_2$  (kN) Coesione agente alla base del cuneo;

$U^{\perp}$  (kN) Componente della spinta idrostatica normale alla superficie di scivolamento;

$U^{\parallel}$  (kN) Componente della spinta idrostatica parallela alla superficie di scivolamento;

$\varphi_d$  (°) angolo d'attrito di progetto del terreno;

Il fattore di sicurezza FS è determinato risolvendo l'equazione sopracitata per tutti i valori di  $\vartheta_1$  ( $0 < \vartheta_1 < \beta$ ) e scegliendo il fattore di sicurezza con valore minimo.

o *Fase 2 – Analisi a lungo termine*

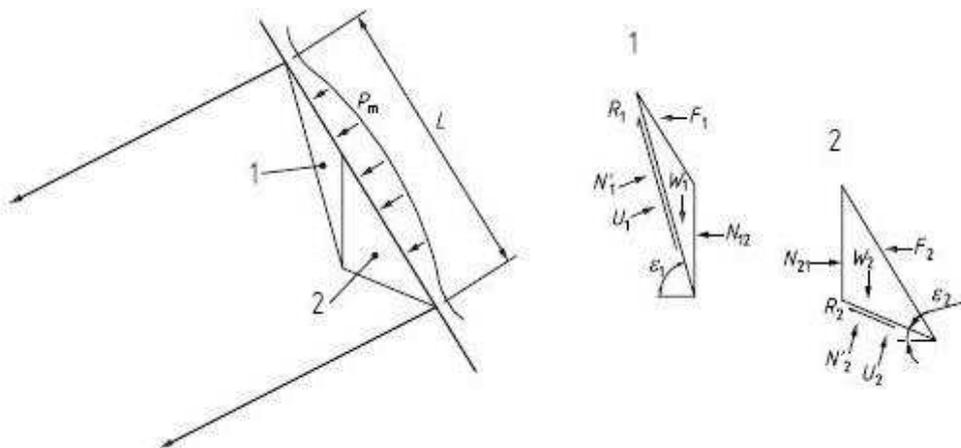
Lo scopo di questa analisi è stimare il carico che grava sul rivestimento sotteso tra gli ancoraggi. Per questo motivo in accordo alla procedura delle British standard 8006-2:2011, i parametri geotecnici che caratterizzano il terreno sono stati ridotti nell'ipotesi che il terreno decada a condizioni di resistenza residua (prossima alla rottura). I parametri sono definiti come:

- $c'$  (coesione residua) = 0;
- $\varphi_a'$  (angolo di attrito) = angolo di attrito residuo del terreno.

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).

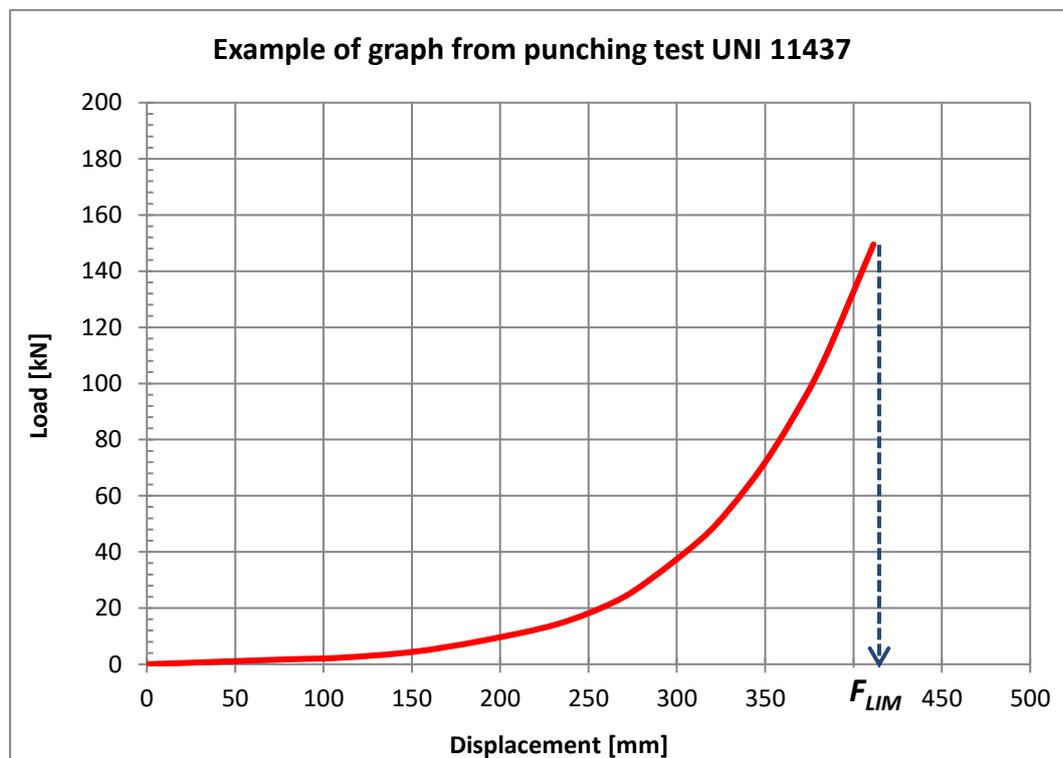
Questo procedimento risulta essere a favore di sicurezza perché considera sempre la superficie di scivolamento peggiore dal punto di vista strutturale. Infatti nella realtà si potrebbero instaurare superfici di scivolamento che provocano un'azione sulla rete inferiore rispetto a quella calcolata.

#### ○ 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.

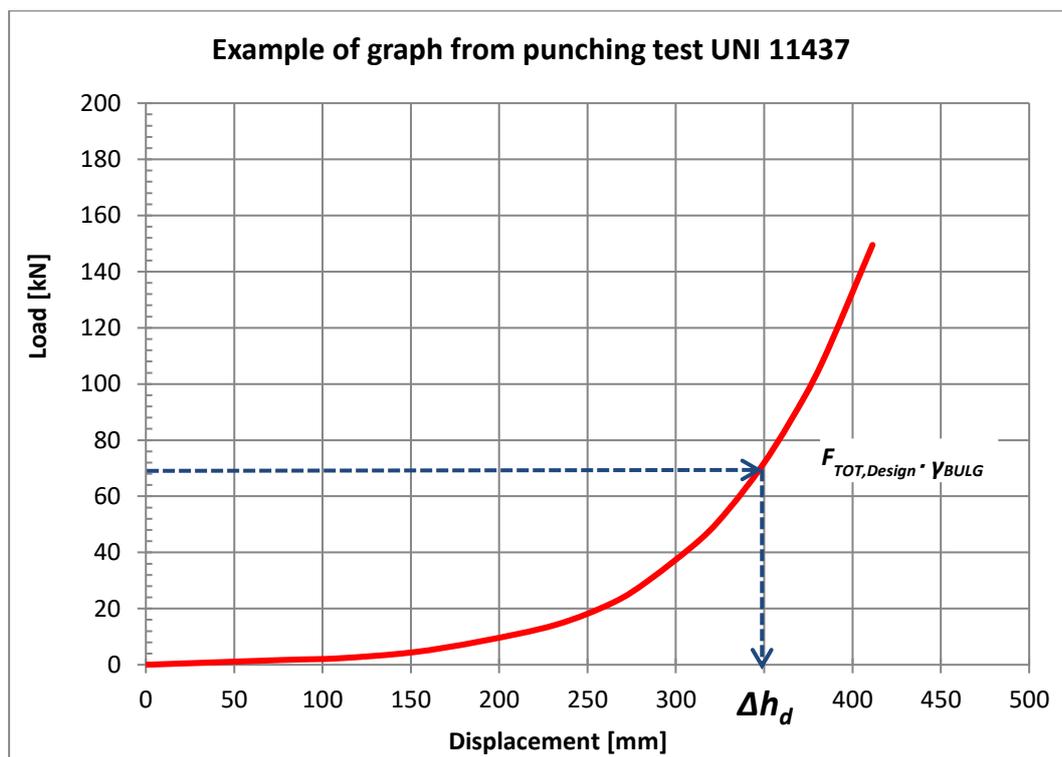
Il progettista deve verificare se le deformazioni il flexible facing indotte dal carico atteso a lungo termine sono accettabili. Trattandosi di un problema carico-deformazione, il metodo dell'equilibrio limite non consente soluzioni dirette. Perciò si utilizzano le curve carico-deformazione ottenute 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

---

OS03 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+647,937 AL KM 1+848,286 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

## **9 AZIONI DI CALCOLO**

---

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

### **9.1 FALDA**

Il livello di falda è stato ubicato alla profondità di 7,5 m da piano campagna.

## 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.

Carichi	Effetto	Coefficiente parziale	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
---------	---------	-----------------------	-----	----------	----------

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

OS03 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+647,937 AL KM 1+848,286 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

		$\gamma_F \circ \gamma_E$			
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	1.12	1.21	1.13	1.23	1.42	1.77

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

OS03 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+647,937 AL KM 1+848,286 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

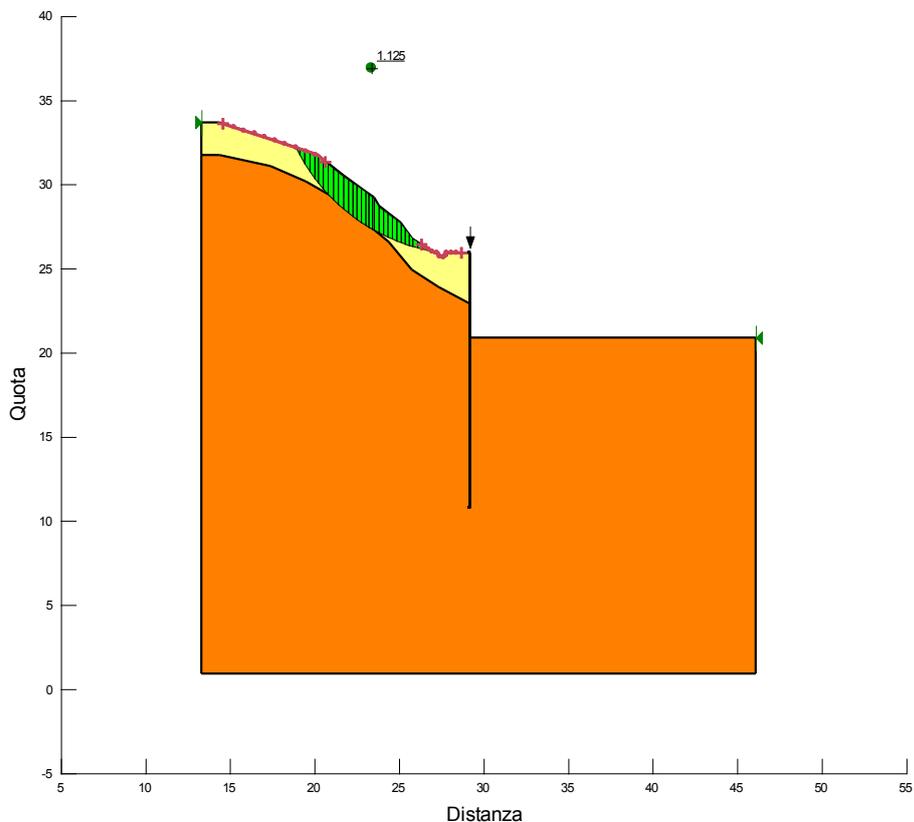


Figura 7- VERIFICA STATICA ANTE OPERAM di PEA

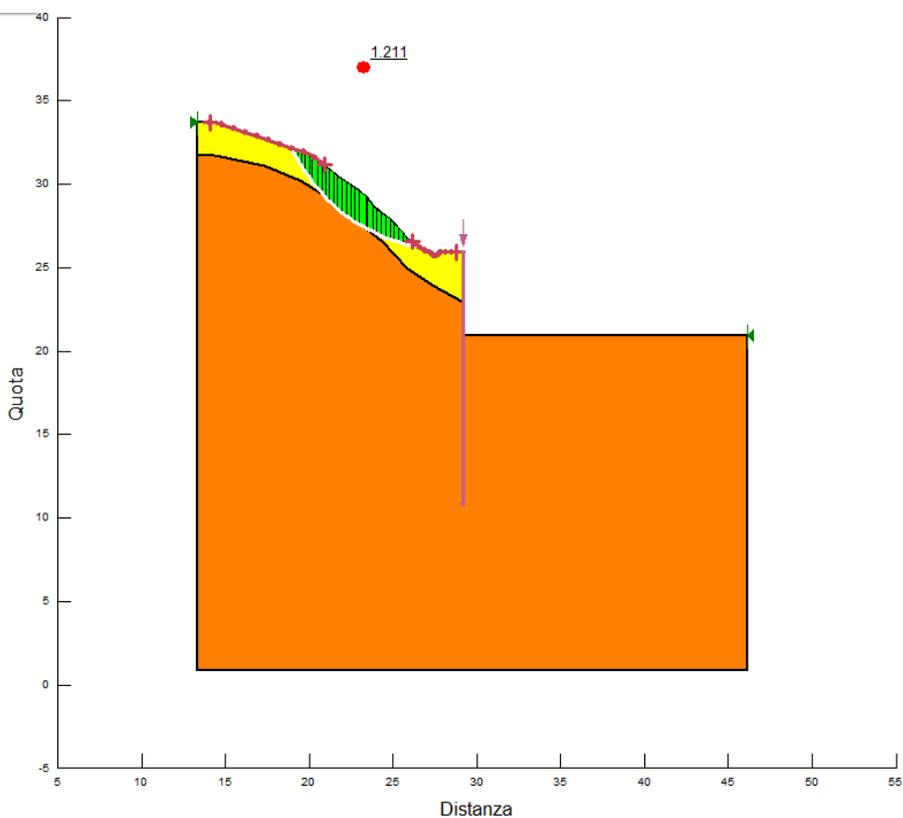


Figura 8- VERIFICA SISMICA ANTE OPERAM di PEA

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

OS03 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+647,937 AL KM 1+848,286 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

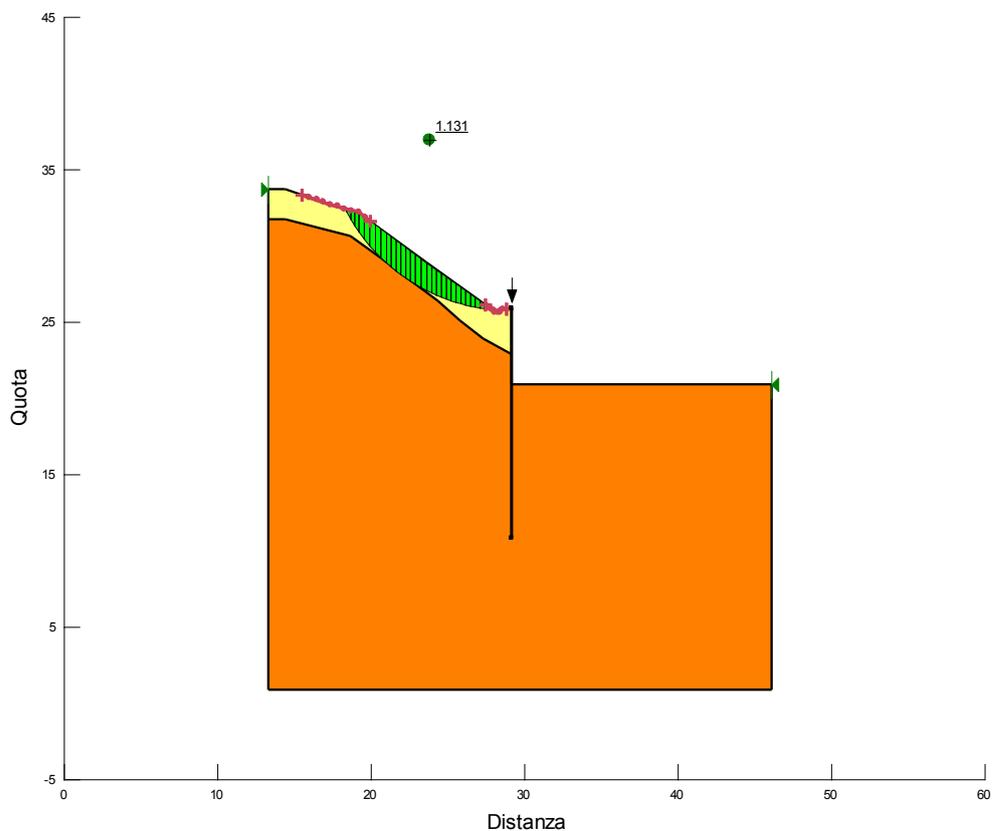


Figura 9- VERIFICA STATICA ANTE OPERAM di PV3

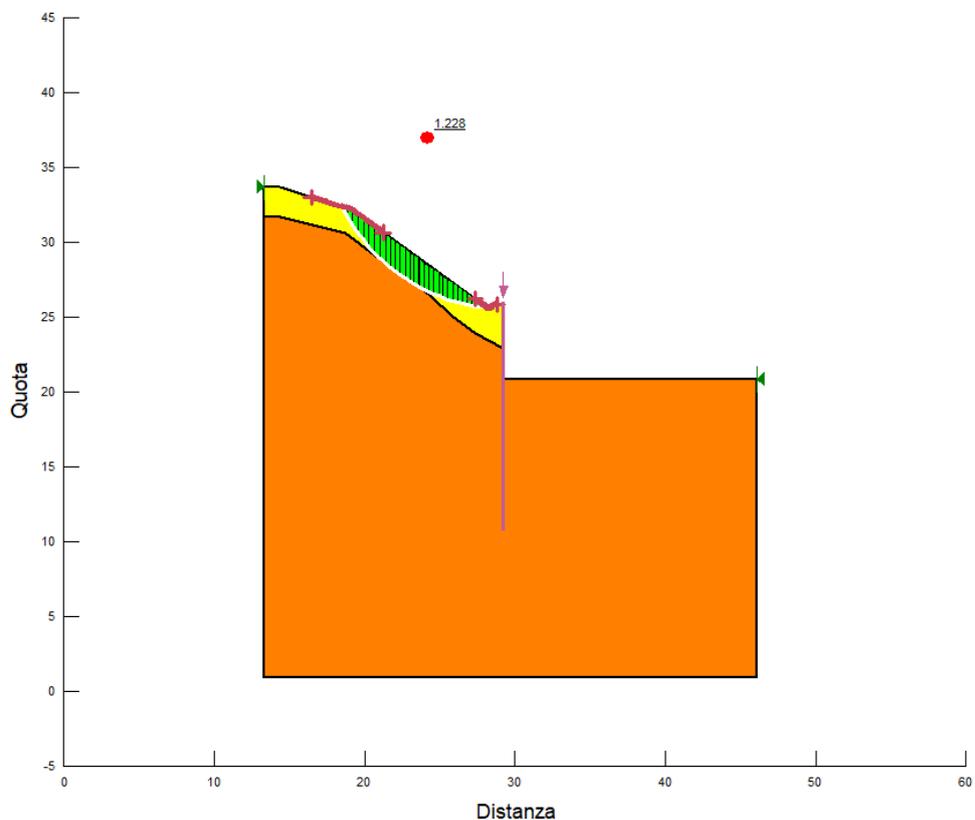


Figura 10- VERIFICA SISMICA ANTE OPERAM di PV3

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

OS03 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+647,937 AL KM 1+848,286 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

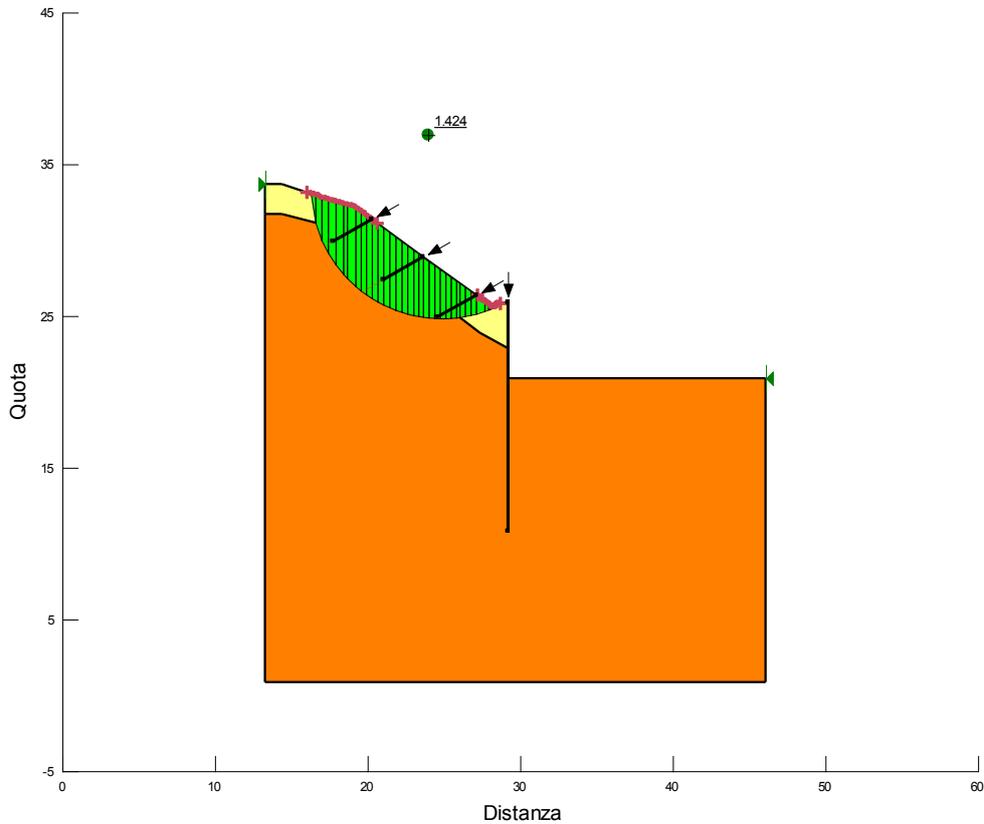


Figura 11- VERIFICA STATICA POST OPERAM di PV3

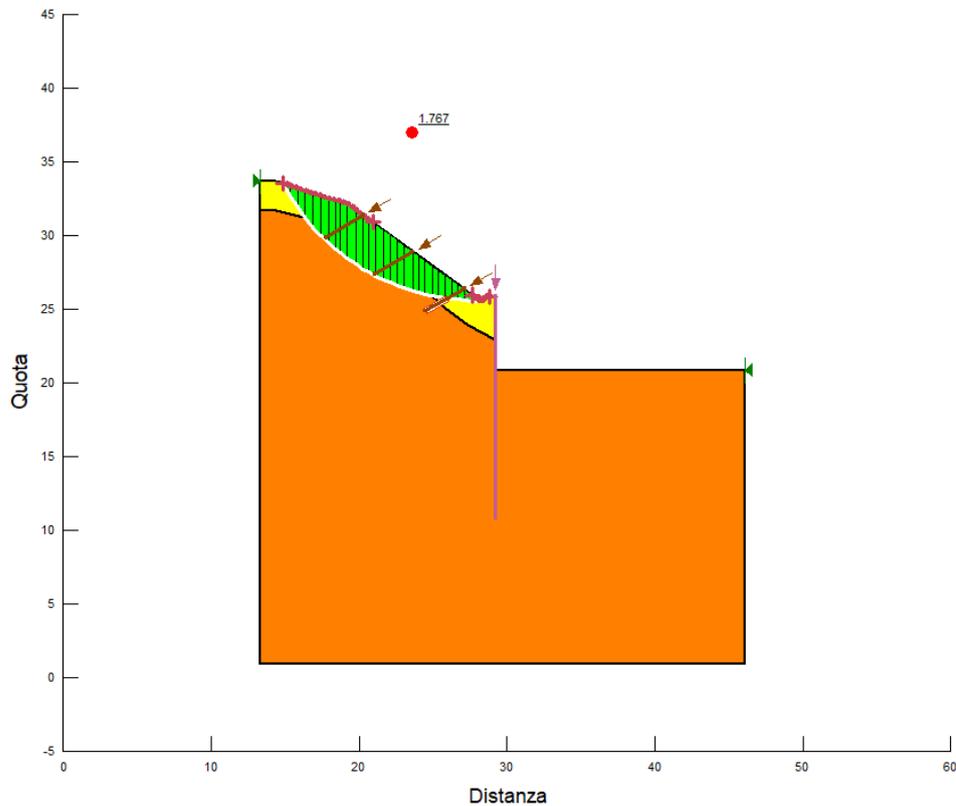


Figura 12- VERIFICA SISMICA POST OPERAM di PV3

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 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

**OS03 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+647,937 AL KM 1+848,286 – 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>																			
<table border="1"> <tr><td><math>a_v</math></td><td>2.50</td></tr> <tr><td><math>\gamma</math></td><td>20.00</td></tr> <tr><td><math>\beta</math></td><td>36.00</td></tr> <tr><td><math>\phi'</math></td><td>28.00</td></tr> <tr><td><math>c'</math></td><td>5.00</td></tr> <tr><td><math>r_u</math></td><td>0.10</td></tr> <tr><td><math>\lambda_s</math></td><td>1.00</td></tr> <tr><td><math>\gamma_\phi</math></td><td>1.25</td></tr> <tr><td><math>\gamma_{c'}</math></td><td>1.25</td></tr> </table>	$a_v$	2.50	$\gamma$	20.00	$\beta$	36.00	$\phi'$	28.00	$c'$	5.00	$r_u$	0.10	$\lambda_s$	1.00	$\gamma_\phi$	1.25	$\gamma_{c'}$	1.25		(m)	: Nail spacing or equivalent spacing (on the slope)
$a_v$	2.50																				
$\gamma$	20.00																				
$\beta$	36.00																				
$\phi'$	28.00																				
$c'$	5.00																				
$r_u$	0.10																				
$\lambda_s$	1.00																				
$\gamma_\phi$	1.25																				
$\gamma_{c'}$	1.25																				
		(kN/m <sup>3</sup> )	: Unit weight of soil																		
		(°)	: Slope inclination																		
		(°)	: Peak soil friction angle																		
		(kN/m <sup>2</sup> )	: Effective cohesion at the base of wedge																		
			: Pore water pressure ratio = u/(gh)																		
			: Base sliding coefficient																		
			: Peak friction angle safety coefficient (short term only)																		
			: Cohesion safety coefficient (short term only)																		
<table border="1"> <tr><td><math>C_h</math></td><td>0.093</td></tr> <tr><td><math>C_v</math></td><td>0.047</td></tr> </table>	$C_h$	0.093	$C_v$	0.047			: Seismic horizontal coefficient														
$C_h$	0.093																				
$C_v$	0.047																				
			: Seismic vertical coefficient (positive down)																		
<b>Ultimate Limit State model (research of the surface with the max load and mesh analysis)</b>																					
<table border="1"> <tr><td><math>\phi'_a</math></td><td>14.00</td></tr> <tr><td><math>\delta</math></td><td>14.00</td></tr> <tr><td>Facing</td><td>HR50</td></tr> </table>	$\phi'_a$	14.00	$\delta$	14.00	Facing	HR50		(°)	: Friction angle of the debris bulging (lower than peak friction angle)												
$\phi'_a$	14.00																				
$\delta$	14.00																				
Facing	HR50																				
		(°)	: Friction angle between debris and slope surface																		
			: Kind of mesh																		
<b>Partial safety coefficients</b>																					
<table border="1"> <tr><td><math>\gamma_{DF}</math></td><td>1.20</td></tr> </table>	$\gamma_{DF}$	1.20		(°)	: Uncertainty of the geotechnical model (range 1.15 - 1.20)																
$\gamma_{DF}$	1.20																				
<b>Serviceability Limit State model (analysis of the max load on the mesh)</b>																					
<table border="1"> <tr><td>Limit bulging</td><td>0.6</td></tr> <tr><td><math>\gamma_{bulg}</math></td><td>2.0</td></tr> <tr><td><math>\Delta h_{error}</math></td><td>0.25</td></tr> </table>	Limit bulging	0.6	$\gamma_{bulg}$	2.0	$\Delta h_{error}$	0.25		(m)	: Bulging imposed value												
Limit bulging	0.6																				
$\gamma_{bulg}$	2.0																				
$\Delta h_{error}$	0.25																				
		(-)	: Bulging safety coefficient																		
		(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

OS03 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+647,937 AL KM 1+848,286 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

## RESULTS

SHORT TERM SOLUTION			
FS	2.27	(-)	<b>VERIFIED</b>
FS	: Safety factor		

ULTIMATE LIMIT STATE			
$\theta_1$	67	(°)	
$\theta_2$	1	(°)	
$W_1$	6.13	(kN)	: Weight of the wedge 1
$W_2$	14.08	(kN)	: Weight of the wedge 2
$U_1$	1.57	(kN)	: Water force on the joint 1
$U_2$	1.41	(kN)	: Water force on the joint 2
<b>HR50</b>			: Type of net choose
$F_{TOT}$	7.97	(kN)	: Load on the net
$F_{TOT,Design}$	9.57	(kN)	: Design Load on the net
$F_{LIM}$	41.67	(kN)	: Limit load on the net
$F_{TOT,Design}$	<	$F_{LIM}$	<b>VERIFIED</b>

SERVICEABILITY LIMIT STATE			
<b>HR50</b>			: Type of net choose
$F_{TOT,Design}$	9.57	(kN)	: Design Load on the net
$\Delta h$	490.56	(mm)	: Deformation of the net
Limit Bulg.	600.00	(mm)	: Max bulging permitted
Bulging	<	Limit Bulg.	<b>DEFORMATION VERIFIED</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

---

OS03 – RINFORZO CORTICALE SX DAL KM 1+647,937 AL KM 1+848,286 – RELAZIONE DESCRITTIVA E DI CALCOLO

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

---

# Sez 91 sisma\_chiodi

---

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

## File Information

File Version: 11.00

Title: OS03 sez 91

Last Edited By: Francesca Lupino

Revision Number: 129

Date: 06-May-21

Time: 06:10:37 PM

Tool Version: 11.0.1.21429

File Name: OS03\_sez91\_PV3\_GEO\_REV.gsz

Directory: W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\CALCOLI\ISTRUTTORIA\_PV3\OS\_RINFORZI\_2020\GEOSLOPE\NUOVA GEOLOGIA\OS03\SLOPE 2021\

Last Solved Date: 06-May-21

Last Solved Time: 06:10:43 PM

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

## Analysis Settings

### Sez 91 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: 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](#)

### 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: [2.5 m](#)

Face Anchorage: [Yes](#)

Factored Pullout Resistance: [8.624 kN/m/m](#)

Factored Tensile Capacity: [58.286 kN/m](#)

## Slip Surface Entry and Exit

Left Type: [Range](#)

Left-Zone Left Coordinate: (14.819633, 33.560121) m

Left-Zone Right Coordinate: (20.892137, 30.925256) m

Left-Zone Increment: 20

Right Type: [Range](#)

Right-Zone Left Coordinate: (27.66763, 25.974276) m

Right-Zone Right Coordinate: (28.812142, 25.844591) m

Right-Zone Increment: 20

Radius Increments: 4

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: (13.3, 33.699999) m

Right Coordinate: (46.1, 20.899999) m

## Reinforcement Lines

### Reinforcement Line 1

Reinforcement: [New Reinforcement](#)

Lock to Ground Surface: [No](#)

Outside Point: (29.2, 25.9) m

Inside Point: (29.2, 10.8) m

Length: 15.1 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: (20.26, 31.39) m

Inside Point: (17.7, 29.89) m

Length: 2.9670861 m

Orientation: -149.63 °

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: (23.63, 28.88) m

Inside Point: (21.03, 27.38) m

Length: 3.0016662 m

Orientation: -150.02 °

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: (27.1, 26.4) m

Inside Point: (24.5, 24.9) m

Length: 3.0016662 m

Orientation: -150.02 °

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	13.3 m	33.699999 m
Point 2	14.399999 m	33.699999 m
Point 3	17.399999 m	32.699999 m
Point 4	18.399999 m	32.399999 m
Point 5	19.200001 m	32.199999 m
Point 6	27.1 m	26.399999 m
Point 7	27.899999 m	25.8 m
Point 8	28.000001 m	25.8 m
Point 9	28.1 m	25.6 m
Point 10	28.399999 m	25.6 m
Point 11	28.500001 m	25.8 m
Point 12	29.199998 m	25.899999 m
Point 13	29.199998 m	20.899999 m
Point 14	29.199998 m	10.8 m
Point 15	46.1 m	20.899999 m
Point 16	46.1 m	0.900001 m
Point 17	13.3 m	0.900001 m
Point 18	23.631696 m	28.877359 m
Point 19	20.264543 m	31.3944 m
Point 20	13.3 m	31.699999 m

Point 21	14.399999 m	31.699999 m
Point 22	18.656397 m	30.649999 m
Point 23	20.643278 m	29.2 m
Point 24	23.000001 m	27.5 m
Point 25	24.377096 m	26.399999 m
Point 26	25.8 m	25.1 m
Point 27	27.362061 m	23.899999 m
Point 28	29.199998 m	22.899999 m
Point 29	27.65159 m	25.986306 m

## Regions

	Material	Points	Area
Region 1	DT sisma	20,21,22,23,24,25,26,27,28,12,11,10,9,7,29,6,18,19,5,4,3,2,1	31.741 m <sup>2</sup>
Region 2	DT sisma	8,7,9	0.01 m <sup>2</sup>
Region 3	LSA SISMA	17,16,15,13,28,27,26,25,24,23,22,21,20	772.55 m <sup>2</sup>

## Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 1017 of 2205 converged

## Current Slip Surface

Slip Surface: 595

Factor of Safety: 1.772

Volume: 41.059067 m<sup>3</sup>

Weight: 821.18134 kN

Resisting Moment: 4,972.7854 kN·m

Activating Moment: 2,806.3789 kN·m

Resisting Force: 481.19434 kN

Activating Force: 271.58734 kN

Slip Rank: 1 of 2,205 slip surfaces

Exit: (28.352513, 25.6) m

Entry: (16.410377, 33.029873) m

Radius: 8.5183846 m

Center: (24.920865, 33.39658) m

## Slip Slices

	X	Y	PWP	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	16.559931 m	32.080075 m	0 kPa	0.034093145 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 2	16.882114 m	30.628881 m	0 kPa	4.9481585 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 3	17.227371 m	29.762066 m	0 kPa	10.964904 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 4	17.566666 m	29.110666 m	0 kPa	15.168145 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 5	17.899999 m	28.581658 m	0 kPa	18.476541 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA

Slice 6	18.233332 m	28.127115 m	0 kPa	21.303853 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 7	18.528198 m	27.769944 m	0 kPa	23.613664 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 8	18.928199 m	27.354703 m	0 kPa	26.512071 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 9	19.377425 m	26.93295 m	0 kPa	29.171415 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 10	19.732272 m	26.644447 m	0 kPa	30.464856 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 11	20.087119 m	26.385779 m	0 kPa	31.717792 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 12	20.45391 m	26.146772 m	0 kPa	32.994554 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 13	20.839672 m	25.922849 m	0 kPa	34.323876 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 14	21.232459 m	25.721226 m	0 kPa	35.640534 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 15	21.625246 m	25.544421 m	0 kPa	36.894082 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 16	22.018033 m	25.390782 m	0 kPa	38.046404 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 17	22.41082 m	25.258994 m	0 kPa	39.045707 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 18	22.803607 m	25.148006 m	0 kPa	39.827058 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 19	23.157925 m	25.064182 m	0 kPa	40.292559 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 20	23.473772 m	25.003541 m	0 kPa	40.445945 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 21	23.818046 m	24.951976 m	0 kPa	40.336095 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 22	24.190746 m	24.911604 m	0 kPa	39.834463 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 23	24.554959 m	24.88792 m	0 kPa	38.83594 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 24	24.910685 m	24.880059 m	0 kPa	37.319456 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 25	25.266411 m	24.887069 m	0 kPa	35.240514 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 26	25.622137 m	24.908987 m	0 kPa	32.592819 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 27	25.899738 m	24.935221 m	0 kPa	30.163202 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 28	26.182896 m	24.974244 m	0 kPa	30.268248 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 29	26.549738 m	25.03747 m	0 kPa	25.654214 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 30	26.916579 m	25.117426 m	0 kPa	20.626305 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma

Slice 31	27.375795 m	25.244695 m	0 kPa	13.819932 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 32	27.775794 m	25.371939 m	0 kPa	7.7235296 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 33	27.95 m	25.435151 m	0 kPa	5.5426657 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 34	28.05 m	25.473923 m	0 kPa	3.7156425 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 35	28.226257 m	25.546836 m	0 kPa	1.4688968 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma

# Sez 91 sisma+\_ante operam

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

## File Information

File Version: 11.00

Title: OS03 sez 91

Last Edited By: Francesca Lupino

Revision Number: 120

Date: 06-May-21

Time: 05:55:53 PM

Tool Version: 11.0.1.21429

File Name: OS03\_sez91\_PRG\_GEO.gsz

Directory: W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\CALCOLI\ISTRUTTORIA\_PV3\OS\_RINFORZI\_2020\GEOSLOPE  
\NUOVA GEOLOGIA\OS03\SLOPE 2021\

Last Solved Date: 06-May-21

Last Solved Time: 05:56:02 PM

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

## Analysis Settings

### Sez 91 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: (14.091549, 33.699999) m  
Left-Zone Right Coordinate: (20.91595, 31.127241) m  
Left-Zone Increment: 10  
Right Type: [Range](#)  
Right-Zone Left Coordinate: (26.145081, 26.561097) m  
Right-Zone Right Coordinate: (28.802368, 25.899999) m  
Right-Zone Increment: 10  
Radius Increments: 4

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: (13.3, 33.699999) m  
Right Coordinate: (46.1, 20.899999) 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: (29.2, 25.9) m

Inside Point: (29.2, 10.8) m

Length: 15.1 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	13.3 m	33.699999 m
Point 2	14.399999 m	33.699999 m
Point 3	17.399999 m	32.699999 m
Point 4	29.199998 m	25.899999 m
Point 5	29.199998 m	20.899999 m
Point 6	29.199998 m	10.8 m
Point 7	46.1 m	20.899999 m
Point 8	46.1 m	0.900001 m
Point 9	13.3 m	0.900001 m
Point 10	19.099999 m	32.1 m
Point 11	20.000001 m	31.8 m
Point 12	20.200001 m	31.699999 m
Point 13	21.700001 m	30.500001 m
Point 14	23.000001 m	29.6 m
Point 15	23.500001 m	29.199998 m
Point 16	23.8 m	28.699998 m
Point 17	25.1 m	27.700001 m
Point 18	25.8 m	26.8 m
Point 19	27.1 m	25.899999 m
Point 20	27.3 m	25.899999 m
Point 21	27.3 m	25.8 m
Point 22	27.399999 m	25.738147 m
Point 23	27.6 m	25.648746 m
Point 24	27.700001 m	25.728122 m
Point 25	27.8 m	25.8 m
Point 26	27.8 m	25.899999 m
Point 27	13.3 m	31.699999 m
Point 28	14.399999 m	31.699999 m
Point 29	19.526399 m	30.199999 m
Point 30	21.986967 m	28.699998 m
Point 31	23.000001 m	27.700001 m
Point 32	24.377096 m	26.538683 m
Point 33	25.8 m	24.94621 m
Point 34	27.362061 m	23.899999 m
Point 35	29.199998 m	22.899999 m

Point 36	17.367068 m	31.1 m
----------	-------------	--------

## Regions

	Material	Points	Area
Region 1	DT sisma	27,1,2,3,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,4,35,34,33,32,31,30,29,36,28	29.862 m <sup>2</sup>
Region 2	LSA SISMA	27,28,36,29,30,31,32,33,34,35,5,7,8,9	774.07 m <sup>2</sup>

## Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 364 of 605 converged

## Current Slip Surface

Slip Surface: 398

Factor of Safety: 1.211

Volume: 10.306248 m<sup>3</sup>

Weight: 206.12496 kN

Resisting Moment: 1,759.2399 kN·m

Activating Moment: 1,453.0702 kN·m

Resisting Force: 133.18333 kN

Activating Force: 110.0116 kN

Slip Rank: 1 of 605 slip surfaces

Exit: (26.663272, 26.202349) m

Entry: (18.987177, 32.13982) m

Radius: 10.482857 m

Center: (28.510522, 36.521165) m

## Slip Slices

	X	Y	PWP	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	19.043588 m	32.021144 m	0 kPa	-1.6901587 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 2	19.212499 m	31.686125 m	0 kPa	0.25507707 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 3	19.4375 m	31.27521 m	0 kPa	2.3513109 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 4	19.6625 m	30.903447 m	0 kPa	4.0049687 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 5	19.887501 m	30.563428 m	0 kPa	5.3717795 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 6	20.100001 m	30.266139 m	0 kPa	6.4101774 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 7	20.347693 m	29.948262 m	0 kPa	7.1433604 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 8	20.643076 m	29.597033 m	0 kPa	7.770885 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 9	20.904422 m	29.309352 m	0 kPa	6.9648878 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 10	21.13173 m	29.076831 m	0 kPa	7.7279086 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 11	21.359038 m	28.85811 m	0 kPa	8.4513611 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 12	21.586347 m	28.652037 m	0 kPa	9.1471302 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA

Slice 13	21.843484 m	28.433748 m	0 kPa	9.9807441 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 14	22.113596 m	28.217908 m	0 kPa	10.908632 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 15	22.366855 m	28.028744 m	0 kPa	11.760987 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 16	22.620113 m	27.851105 m	0 kPa	12.593296 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 17	22.873372 m	27.684295 m	0 kPa	13.393674 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 18	23.189884 m	27.491628 m	0 kPa	14.183647 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 19	23.439884 m	27.346515 m	0 kPa	15.251436 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 20	23.650001 m	27.234779 m	0 kPa	14.621318 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 21	23.93 m	27.09311 m	0 kPa	13.938039 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 22	24.19 m	26.971138 m	0 kPa	14.080038 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 23	24.45 m	26.857699 m	0 kPa	14.013381 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 24	24.71 m	26.752498 m	0 kPa	13.691304 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 25	24.97 m	26.655268 m	0 kPa	13.07631 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 26	25.216667 m	26.569999 m	0 kPa	11.617806 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 27	25.45 m	26.495767 m	0 kPa	9.3150277 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 28	25.683333 m	26.427473 m	0 kPa	6.7425329 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 29	25.943879 m	26.358458 m	0 kPa	4.4955637 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 30	26.231636 m	26.290073 m	0 kPa	2.6192236 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 31	26.519393 m	26.230187 m	0 kPa	0.63619773 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma

# Sez 91 sisma+\_ante operam

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

## File Information

File Version: 11.00

Title: OS03 sez 91

Last Edited By: Francesca Lupino

Revision Number: 128

Date: 06-May-21

Time: 06:01:59 PM

Tool Version: 11.0.1.21429

File Name: OS03\_sez91\_PV3\_GEO\_REV.gsz

Directory: W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\CALCOLI\ISTRUTTORIA\_PV3\OS\_RINFORZI\_2020\GEOSLOPE\NUOVA GEOLOGIA\OS03\SLOPE 2021\

Last Solved Date: 06-May-21

Last Solved Time: 06:02:10 PM

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

## Analysis Settings

### Sez 91 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: (16.448074, 33.017307) m

Left-Zone Right Coordinate: (21.228606, 30.673736) m

Left-Zone Increment: 20

Right Type: [Range](#)

Right-Zone Left Coordinate: (27.301475, 26.248892) m

Right-Zone Right Coordinate: (28.791629, 25.841661) m

Right-Zone Increment: 20

Radius Increments: 4

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: (13.3, 33.699999) m

Right Coordinate: (46.1, 20.899999) 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: [\(29.2, 25.9\) m](#)Inside Point: [\(29.2, 10.8\) m](#)Length: [15.1 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	13.3 m	33.699999 m
Point 2	14.399999 m	33.699999 m
Point 3	17.399999 m	32.699999 m
Point 4	18.399999 m	32.399999 m
Point 5	19.200001 m	32.199999 m
Point 6	27.1 m	26.399999 m
Point 7	27.899999 m	25.8 m
Point 8	28.000001 m	25.8 m
Point 9	28.1 m	25.6 m
Point 10	28.399999 m	25.6 m
Point 11	28.500001 m	25.8 m
Point 12	29.199998 m	25.899999 m
Point 13	29.199998 m	20.899999 m
Point 14	29.199998 m	10.8 m
Point 15	46.1 m	20.899999 m
Point 16	46.1 m	0.900001 m
Point 17	13.3 m	0.900001 m
Point 18	23.631696 m	28.877359 m
Point 19	20.264543 m	31.3944 m
Point 20	13.3 m	31.699999 m
Point 21	14.399999 m	31.699999 m

Point 22	18.656397 m	30.649999 m
Point 23	20.643278 m	29.2 m
Point 24	23.000001 m	27.5 m
Point 25	24.377096 m	26.399999 m
Point 26	25.8 m	25.1 m
Point 27	27.362061 m	23.899999 m
Point 28	29.199998 m	22.899999 m
Point 29	27.65159 m	25.986306 m

## Regions

	Material	Points	Area
Region 1	DT sisma	20,21,22,23,24,25,26,27,28,12,11,10,9,7,29,6,18,19,5,4,3,2,1	31.741 m <sup>2</sup>
Region 2	DT sisma	8,7,9	0.01 m <sup>2</sup>
Region 3	LSA SISMA	17,16,15,13,28,27,26,25,24,23,22,21,20	772.55 m <sup>2</sup>

## Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 956 of 2205 converged

## Current Slip Surface

Slip Surface: 913

Factor of Safety: 1.228

Volume: 13.305337 m<sup>3</sup>

Weight: 266.10674 kN

Resisting Moment: 2,518.9812 kN·m

Activating Moment: 2,051.2995 kN·m

Resisting Force: 169.42142 kN

Activating Force: 137.99669 kN

Slip Rank: 1 of 2,205 slip surfaces

Exit: (28.086768, 25.626464) m

Entry: (18.513353, 32.37166) m

Radius: 12.144653 m

Center: (29.428275, 37.696798) m

## Slip Slices

	X	Y	PWP	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	18.685015 m	32.045336 m	0 kPa	-0.37704681 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 2	19.028339 m	31.433954 m	0 kPa	3.0081859 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 3	19.377425 m	30.887029 m	0 kPa	5.1812391 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 4	19.732272 m	30.389731 m	0 kPa	6.459473 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 5	20.087119 m	29.940621 m	0 kPa	7.4796063 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 6	20.459085 m	29.513711 m	0 kPa	8.3855021 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma

Slice 7	20.848168 m	29.106177 m	0 kPa	9.2446122 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 8	21.205817 m	28.761774 m	0 kPa	8.5288559 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 9	21.532032 m	28.472056 m	0 kPa	9.4601961 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 10	21.858248 m	28.202391 m	0 kPa	10.337441 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 11	22.184463 m	27.951107 m	0 kPa	11.167709 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 12	22.510678 m	27.716815 m	0 kPa	11.950273 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 13	22.836893 m	27.498339 m	0 kPa	12.676658 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 14	23.128384 m	27.315015 m	0 kPa	13.269962 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 15	23.38515 m	27.163454 m	0 kPa	13.726898 kPa	15 kPa	0 kPa	LSA SISMA
Slice 16	23.572614 m	27.057283 m	0 kPa	14.884768 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 17	23.789346 m	26.942106 m	0 kPa	15.189346 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 18	24.104647 m	26.78255 m	0 kPa	15.591504 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 19	24.419947 m	26.63428 m	0 kPa	15.865875 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 20	24.735247 m	26.496848 m	0 kPa	15.967523 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 21	25.050548 m	26.36986 m	0 kPa	15.849323 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 22	25.365848 m	26.252966 m	0 kPa	15.466338 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 23	25.681148 m	26.14586 m	0 kPa	14.781303 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 24	25.996449 m	26.048272 m	0 kPa	13.77048 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 25	26.311749 m	25.959965 m	0 kPa	12.428755 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 26	26.627049 m	25.880729 m	0 kPa	10.772694 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 27	26.94235 m	25.810384 m	0 kPa	8.8405065 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 28	27.237897 m	25.752126 m	0 kPa	6.7785416 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 29	27.513693 m	25.704823 m	0 kPa	4.6711016 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 30	27.775794 m	25.665747 m	0 kPa	2.6047177 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 31	27.95 m	25.642556 m	0 kPa	1.6178195 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma

Slice 32	28.035936 m	25.632277 m	0 kPa	0.85092063 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma
Slice 33	28.079319 m	25.627297 m	0 kPa	-0.071483793 kPa	5 kPa	0 kPa	DT sisma

# Sez 91 statica\_ante operam

---

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

## File Information

File Version: 11.00

Title: OS03 sez 91

Last Edited By: Francesca Lupino

Revision Number: 120

Date: 06-May-21

Time: 05:55:53 PM

Tool Version: 11.0.1.21429

File Name: OS03\_sez91\_PRG\_GEO.gsz

Directory: W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\CALCOLI\ISTRUTTORIA\_PV3\OS\_RINFORZI\_2020\GEOSLOPE\NUOVA GEOLOGIA\OS03\SLOPE 2021\

Last Solved Date: 06-May-21

Last Solved Time: 05:56:02 PM

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

## Analysis Settings

### Sez 91 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: (14.626847, 33.624383) m  
Left-Zone Right Coordinate: (20.627737, 31.357811) m  
Left-Zone Increment: 10  
Right Type: [Range](#)  
Right-Zone Left Coordinate: (26.300177, 26.453723) m  
Right-Zone Right Coordinate: (28.663348, 25.899999) m  
Right-Zone Increment: 10  
Radius Increments: 4

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: (13.3, 33.699999) m  
Right Coordinate: (46.1, 20.899999) m

## Reinforcement Lines

### Reinforcement Line 1

Reinforcement: [New Reinforcement](#)  
Lock to Ground Surface: [No](#)  
Outside Point: (29.2, 25.9) m  
Inside Point: (29.2, 10.8) m  
Length: 15.1 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	13.3 m	33.699999 m
Point 2	14.399999 m	33.699999 m
Point 3	17.399999 m	32.699999 m
Point 4	29.199998 m	25.899999 m
Point 5	29.199998 m	20.899999 m
Point 6	29.199998 m	10.8 m
Point 7	46.1 m	20.899999 m
Point 8	46.1 m	0.900001 m
Point 9	13.3 m	0.900001 m
Point 10	19.099999 m	32.1 m
Point 11	20.000001 m	31.8 m
Point 12	20.200001 m	31.699999 m
Point 13	21.700001 m	30.500001 m
Point 14	23.000001 m	29.6 m
Point 15	23.500001 m	29.199998 m
Point 16	23.8 m	28.699998 m
Point 17	25.1 m	27.700001 m
Point 18	25.8 m	26.8 m
Point 19	27.1 m	25.899999 m
Point 20	27.3 m	25.899999 m
Point 21	27.3 m	25.8 m
Point 22	27.399999 m	25.738147 m
Point 23	27.6 m	25.648746 m
Point 24	27.700001 m	25.728122 m
Point 25	27.8 m	25.8 m
Point 26	27.8 m	25.899999 m
Point 27	13.3 m	31.699999 m
Point 28	14.399999 m	31.699999 m
Point 29	19.526399 m	30.199999 m
Point 30	21.986967 m	28.699998 m
Point 31	23.000001 m	27.700001 m
Point 32	24.377096 m	26.538683 m
Point 33	25.8 m	24.94621 m
Point 34	27.362061 m	23.899999 m
Point 35	29.199998 m	22.899999 m
Point 36	17.367068 m	31.1 m

## Regions

	Material	Points	Area
Region 1	DT	27,1,2,3,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,4,35,34,33,32,31,30,29,36,28	29.862 m <sup>2</sup>

Region 2	LSA	27,28,36,29,30,31,32,33,34,35,5,7,8,9	774.07 m <sup>2</sup>
-------------	-----	---------------------------------------	--------------------------

## Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 369 of 605 converged

### Current Slip Surface

Slip Surface: 428

Factor of Safety: 1.125

Volume: 10.536635 m<sup>3</sup>

Weight: 210.7327 kN

Resisting Moment: 1,554.3897 kN·m

Activating Moment: 1,381.479 kN·m

Resisting Force: 108.97942 kN

Activating Force: 96.872295 kN

Slip Rank: 1 of 605 slip surfaces

Exit: (26.850637, 26.072635) m

Entry: (18.898447, 32.171136) m

Radius: 11.267777 m

Center: (29.016202, 37.130353) m

### Slip Slices

	X	Y	PWP	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	18.999223 m	31.975314 m	0 kPa	-0.79918728 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 2	19.249999 m	31.518451 m	0 kPa	1.2342757 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 3	19.55 m	31.024844 m	0 kPa	3.212129 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 4	19.850001 m	30.582302 m	0 kPa	4.8343272 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 5	20.100001 m	30.242871 m	0 kPa	5.9540131 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 6	20.347778 m	29.935376 m	0 kPa	6.629345 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 7	20.643333 m	29.593173 m	0 kPa	7.2141396 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 8	20.942592 m	29.273353 m	0 kPa	6.3294169 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 9	21.245555 m	28.973388 m	0 kPa	7.061696 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 10	21.548519 m	28.694976 m	0 kPa	7.728769 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 11	21.843484 m	28.442413 m	0 kPa	8.3949786 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 12	22.113596 m	28.225794 m	0 kPa	9.0333806 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 13	22.366855 m	28.035059 m	0 kPa	9.5956212 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 14	22.620113 m	27.855161 m	0 kPa	10.120871 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 15	22.873372 m	27.68548 m	0 kPa	10.602259 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA

Slice 16	23.100649 m	27.541034 m	0 kPa	10.935494 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 17	23.301944 m	27.419718 m	0 kPa	11.117791 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 18	23.451297 m	27.332828 m	0 kPa	12.299632 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 19	23.650001 m	27.223912 m	0 kPa	11.563722 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 20	23.93 m	27.07689 m	0 kPa	10.759026 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 21	24.19 m	26.949495 m	0 kPa	10.69343 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 22	24.45 m	26.830237 m	0 kPa	10.503756 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 23	24.71 m	26.718838 m	0 kPa	10.172654 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 24	24.97 m	26.615048 m	0 kPa	9.686204 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 25	25.216667 m	26.523234 m	0 kPa	8.6209138 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 26	25.45 m	26.442515 m	0 kPa	6.9734182 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 27	25.683333 m	26.36746 m	0 kPa	5.1771701 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 28	25.93133 m	26.293946 m	0 kPa	3.7394172 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 29	26.193989 m	26.22258 m	0 kPa	2.682343 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 30	26.456648 m	26.157965 m	0 kPa	1.5385289 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 31	26.719308 m	26.099982 m	0 kPa	0.33564132 kPa	4 kPa	0 kPa	DT

# Sez 91 statica\_ante operam

---

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

## File Information

File Version: 11.00

Title: OS03 sez 91

Last Edited By: Francesca Lupino

Revision Number: 128

Date: 06-May-21

Time: 06:01:59 PM

Tool Version: 11.0.1.21429

File Name: OS03\_sez91\_PV3\_GEO\_REV.gsz

Directory: W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\CALCOLI\ISTRUTTORIA\_PV3\OS\_RINFORZI\_2020\GEOSLOPE\NUOVA GEOLOGIA\OS03\SLOPE 2021\

Last Solved Date: 06-May-21

Last Solved Time: 06:02:10 PM

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

## Analysis Settings

### Sez 91 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: [\(15.545943, 33.318018\) m](#)

Left-Zone Right Coordinate: [\(20.006409, 31.589744\) m](#)

Left-Zone Increment: [10](#)

Right Type: [Range](#)

Right-Zone Left Coordinate: [\(27.463342, 26.127492\) m](#)

Right-Zone Right Coordinate: [\(28.825817, 25.846545\) m](#)

Right-Zone Increment: [10](#)

Radius Increments: [4](#)

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: [\(13.3, 33.699999\) m](#)

Right Coordinate: [\(46.1, 20.899999\) m](#)

## Reinforcement Lines

## Reinforcement Line 1

Reinforcement: [New Reinforcement](#)

Lock to Ground Surface: [No](#)

Outside Point: [\(29.2, 25.9\) m](#)

Inside Point: [\(29.2, 10.8\) m](#)

Length: [15.1 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	13.3 m	33.699999 m
Point 2	14.399999 m	33.699999 m
Point 3	17.399999 m	32.699999 m
Point 4	18.399999 m	32.399999 m
Point 5	19.200001 m	32.199999 m
Point 6	27.1 m	26.399999 m
Point 7	27.899999 m	25.8 m
Point 8	28.000001 m	25.8 m
Point 9	28.1 m	25.6 m
Point 10	28.399999 m	25.6 m
Point 11	28.500001 m	25.8 m
Point 12	29.199998 m	25.899999 m
Point 13	29.199998 m	20.899999 m
Point 14	29.199998 m	10.8 m
Point 15	46.1 m	20.899999 m
Point 16	46.1 m	0.900001 m
Point 17	13.3 m	0.900001 m
Point 18	23.631696 m	28.877359 m
Point 19	20.264543 m	31.3944 m
Point 20	13.3 m	31.699999 m
Point 21	14.399999 m	31.699999 m
Point 22	18.656397 m	30.649999 m
Point 23	20.643278 m	29.2 m
Point 24	23.000001 m	27.5 m
Point 25	24.377096 m	26.399999 m
Point 26	25.8 m	25.1 m
Point 27	27.362061 m	23.899999 m

Point 28	29.199998 m	22.899999 m
Point 29	27.65159 m	25.986306 m

## Regions

	Material	Points	Area
Region 1	DT	20,21,22,23,24,25,26,27,28,12,11,10,9,7,29,6,18,19,5,4,3,2,1	31.741 m <sup>2</sup>
Region 2	DT	8,7,9	0.01 m <sup>2</sup>
Region 3	LSA	17,16,15,13,28,27,26,25,24,23,22,21,20	772.55 m <sup>2</sup>

## Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 335 of 605 converged

## Current Slip Surface

Slip Surface: 373

Factor of Safety: 1.173

Volume: 13.266313 m<sup>3</sup>

Weight: 265.32626 kN

Resisting Moment: 2,014.4154 kN·m

Activating Moment: 1,717.5974 kN·m

Resisting Force: 136.36415 kN

Activating Force: 116.32136 kN

Slip Rank: 1 of 605 slip surfaces

Exit: (27.853951, 25.834536) m

Entry: (18.30632, 32.428103) m

Radius: 12.0466 m

Center: (29.079566, 37.818627) m

## Slip Slices

	X	Y	PWP	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	18.353159 m	32.336457 m	0 kPa	-1.2250813 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 2	18.533333 m	32.003018 m	0 kPa	0.37739186 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 3	18.8 m	31.54283 m	0 kPa	2.4686723 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 4	19.066667 m	31.124982 m	0 kPa	4.2368369 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 5	19.377425 m	30.68425 m	0 kPa	5.5773885 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 6	19.732272 m	30.224583 m	0 kPa	6.5340038 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 7	20.087119 m	29.807051 m	0 kPa	7.3370716 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 8	20.492213 m	29.376323 m	0 kPa	8.1307909 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 9	20.882749 m	28.993471 m	0 kPa	7.3573667 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA

Slice 10	21.20848 m	28.701594 m	0 kPa	8.0600306 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 11	21.534211 m	28.430094 m	0 kPa	8.7017273 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 12	21.859942 m	28.177246 m	0 kPa	9.2874744 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 13	22.185673 m	27.941614 m	0 kPa	9.8168318 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 14	22.511404 m	27.72199 m	0 kPa	10.284368 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 15	22.837135 m	27.517347 m	0 kPa	10.679959 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 16	23.172328 m	27.321674 m	0 kPa	10.995238 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 17	23.488176 m	27.149481 m	0 kPa	12.302894 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 18	23.789346 m	26.997196 m	0 kPa	12.408697 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 19	24.104647 m	26.848632 m	0 kPa	12.44746 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 20	24.419947 m	26.711003 m	0 kPa	12.354468 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 21	24.735247 m	26.583908 m	0 kPa	12.106211 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 22	25.050548 m	26.466992 m	0 kPa	11.68116 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 23	25.365848 m	26.359944 m	0 kPa	11.062142 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 24	25.681148 m	26.262489 m	0 kPa	10.238801 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 25	25.996449 m	26.174385 m	0 kPa	9.209767 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 26	26.311749 m	26.095422 m	0 kPa	7.9840868 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 27	26.627049 m	26.025417 m	0 kPa	6.5815128 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 28	26.94235 m	25.964209 m	0 kPa	5.0314185 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 29	27.237897 m	25.914453 m	0 kPa	3.4380569 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 30	27.513693 m	25.87504 m	0 kPa	1.8485105 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 31	27.752771 m	25.845748 m	0 kPa	0.44999766 kPa	4 kPa	0 kPa	DT

# Sez 91 statica\_chiodi

---

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

## File Information

File Version: 11.00

Title: OS03 sez 91

Last Edited By: Francesca Lupino

Revision Number: 129

Date: 06-May-21

Time: 06:10:37 PM

Tool Version: 11.0.1.21429

File Name: OS03\_sez91\_PV3\_GEO\_REV.gsz

Directory: W:\public\CMC-BLG-Dissesto idrologico Bolognetta\CALCOLI\ISTRUTTORIA\_PV3\OS\_RINFORZI\_2020\GEOSLOPE\NUOVA GEOLOGIA\OS03\SLOPE 2021\

Last Solved Date: 06-May-21

Last Solved Time: 06:10:42 PM

## Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

## Analysis Settings

### Sez 91 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: **2.5 m**

Face Anchorage: **Yes**

Factored Pullout Resistance: **8.624 kN/m/m**

Factored Tensile Capacity: **58.286 kN/m**

## Slip Surface Entry and Exit

Left Type: [Range](#)

Left-Zone Left Coordinate: (16.021079, 33.159639) m

Left-Zone Right Coordinate: (20.619705, 31.128906) m

Left-Zone Increment: 20

Right Type: [Range](#)

Right-Zone Left Coordinate: (27.178679, 26.340989) m

Right-Zone Right Coordinate: (28.700788, 25.828684) m

Right-Zone Increment: 20

Radius Increments: 4

## Slip Surface Limits

Left Coordinate: (13.3, 33.699999) m

Right Coordinate: (46.1, 20.899999) m

## Reinforcement Lines

### Reinforcement Line 1

Reinforcement: [New Reinforcement](#)

Lock to Ground Surface: [No](#)

Outside Point: (29.2, 25.9) m

Inside Point: (29.2, 10.8) m

Length: 15.1 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: (20.26, 31.39) m

Inside Point: (17.7, 29.89) m

Length: 2.9670861 m

Orientation: -149.63 °

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: (23.63, 28.88) m

Inside Point: (21.03, 27.38) m

Length: 3.0016662 m

Orientation: -150.02 °

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: (27.1, 26.4) m

Inside Point: (24.5, 24.9) m

Length: 3.0016662 m

Orientation: -150.02 °

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	13.3 m	33.699999 m
Point 2	14.399999 m	33.699999 m
Point 3	17.399999 m	32.699999 m
Point 4	18.399999 m	32.399999 m
Point 5	19.200001 m	32.199999 m
Point 6	27.1 m	26.399999 m
Point 7	27.899999 m	25.8 m
Point 8	28.000001 m	25.8 m
Point 9	28.1 m	25.6 m
Point 10	28.399999 m	25.6 m
Point 11	28.500001 m	25.8 m
Point 12	29.199998 m	25.899999 m
Point 13	29.199998 m	20.899999 m
Point 14	29.199998 m	10.8 m
Point 15	46.1 m	20.899999 m
Point 16	46.1 m	0.900001 m
Point 17	13.3 m	0.900001 m
Point 18	23.631696 m	28.877359 m
Point 19	20.264543 m	31.3944 m
Point 20	13.3 m	31.699999 m

Point 21	14.399999 m	31.699999 m
Point 22	18.656397 m	30.649999 m
Point 23	20.643278 m	29.2 m
Point 24	23.000001 m	27.5 m
Point 25	24.377096 m	26.399999 m
Point 26	25.8 m	25.1 m
Point 27	27.362061 m	23.899999 m
Point 28	29.199998 m	22.899999 m
Point 29	27.65159 m	25.986306 m

## Regions

	Material	Points	Area
Region 1	DT	20,21,22,23,24,25,26,27,28,12,11,10,9,7,29,6,18,19,5,4,3,2,1	31.741 m <sup>2</sup>
Region 2	DT	8,7,9	0.01 m <sup>2</sup>
Region 3	LSA	17,16,15,13,28,27,26,25,24,23,22,21,20	772.55 m <sup>2</sup>

## Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 886 of 2205 converged

## Current Slip Surface

Slip Surface: 190

Factor of Safety: 1.424

Volume: 42.191444 m<sup>3</sup>

Weight: 843.82888 kN

Resisting Moment: 4,113.0686 kN·m

Activating Moment: 2,887.9591 kN·m

Resisting Force: 395.07995 kN

Activating Force: 277.57132 kN

Slip Rank: 1 of 2,205 slip surfaces

Exit: (28.344544, 25.6) m

Entry: (16.263021, 33.078992) m

Radius: 8.5930888 m

Center: (24.848115, 33.449596) m

## Slip Slices

	X	Y	PWP	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Slice 1	16.413492 m	32.122584 m	0 kPa	0.053545149 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 2	16.772972 m	30.578355 m	0 kPa	4.5003266 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 3	17.19099 m	29.577243 m	0 kPa	9.9890405 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 4	17.649999 m	28.778689 m	0 kPa	14.029784 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 5	18.149999 m	28.081485 m	0 kPa	17.514997 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA

Slice 6	18.528198 m	27.630317 m	0 kPa	19.873292 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 7	18.928199 m	27.232288 m	0 kPa	22.156424 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 8	19.377425 m	26.826925 m	0 kPa	24.258599 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 9	19.732272 m	26.548832 m	0 kPa	25.280093 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 10	20.087119 m	26.299165 m	0 kPa	26.274495 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 11	20.45391 m	26.068297 m	0 kPa	27.290162 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 12	20.839672 m	25.851948 m	0 kPa	28.347281 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 13	21.232459 m	25.657207 m	0 kPa	29.391136 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 14	21.625246 m	25.486594 m	0 kPa	30.379192 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 15	22.018033 m	25.338582 m	0 kPa	31.279005 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 16	22.41082 m	25.211949 m	0 kPa	32.047583 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 17	22.803607 m	25.105719 m	0 kPa	32.631931 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 18	23.157925 m	25.02591 m	0 kPa	32.958841 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 19	23.473772 m	24.968631 m	0 kPa	33.034086 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 20	23.818046 m	24.920534 m	0 kPa	32.888238 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 21	24.190746 m	24.883727 m	0 kPa	32.418241 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 22	24.554959 m	24.863353 m	0 kPa	31.548089 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 23	24.910685 m	24.858576 m	0 kPa	30.263862 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 24	25.266411 m	24.868542 m	0 kPa	28.531112 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 25	25.622137 m	24.893302 m	0 kPa	26.347481 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 26	25.906798 m	24.922652 m	0 kPa	24.301441 kPa	12 kPa	0 kPa	LSA
Slice 27	26.194664 m	24.964646 m	0 kPa	24.186385 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 28	26.556798 m	25.030128 m	0 kPa	20.495948 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 29	26.918933 m	25.111846 m	0 kPa	16.49499 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 30	27.375795 m	25.24175 m	0 kPa	11.054515 kPa	4 kPa	0 kPa	DT

Slice 31	27.775794 m	25.371699 m	0 kPa	6.1643711 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 32	27.95 m	25.436069 m	0 kPa	4.4141117 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 33	28.05 m	25.4755 m	0 kPa	2.9502711 kPa	4 kPa	0 kPa	DT
Slice 34	28.222272 m	25.547789 m	0 kPa	1.1659666 kPa	4 kPa	0 kPa	DT