

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

**U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)**

**GEOTECNICA**

Elaborati Generali

Relazione di stabilità fronti di scavo

SCALA:

-

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

RS3U 40 D 29 RH GE0000 005 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Apr-2020	M.Arcangeli 	Apr-2020	A.Barreca 	Apr-2020	F.Arduini Apr-2020 

1	PREMESSA .....	2
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	3
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	3
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	3
2.3	PROGRAMMI DI CALCOLO .....	4
3	CONDIZIONI GEOTECNICHE: STRATIGRAFIA E FALDA .....	5
3.1	DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INTERCETTATE .....	5
3.2	SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO .....	5
3.3	FALDA .....	6
4	ANALISI DI STABILITÀ .....	7
4.1	PREMESSA .....	7
4.2	METODOLOGIE DI CALCOLO .....	7
4.2.1	<i>Carichi</i> .....	8
4.3	SEZIONI DI CALCOLO .....	8
4.4	RISULTATI .....	9
4.4.1	<i>Rilevato H=6.22 m</i> .....	9
4.4.2	<i>Rilevato H=10.20 m</i> .....	11

## 1 PREMESSA

Nel presente documento si riportano i dimensionamenti e le verifiche geotecniche relative delle scarpate di scavo provvisionali nell'ambito del Progetto Definitivo della Direttrice Ferroviaria Messina – Catania – Palermo - Nuovo Collegamento Palermo – Catania tratta Caltanissetta Xirbi – Enna (Lotto 4a).

In particolare, si prevedono scavi provvisionali per la realizzazione delle fondazioni delle opere d'arte maggiori (galleria artificiale GA51) e per le opere minori.

Nella presente relazione sono affrontati i seguenti aspetti:

- Breve richiamo delle condizioni geotecniche;
- Verifiche di stabilità delle scarpate di scavo provvisionali.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a)</b> <b>GEOTECNICA</b>					
	Relazione di stabilità fronti di scavo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3U	40	D 29 RH	GE0000 005	A	3 di 12

## 2 NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Normativa di riferimento

La progettazione è conforme alle normative vigenti nonché alle istruzioni dell'Ente FF.SS.

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

- Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 17-01-18 (NTC-2018);
- Circolare n. 7 del 21 gennaio 2019 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018;
- Regolamento (UE) N.1299/2014 del 18 novembre 2014 della Commissione Europea. Relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema "infrastruttura" del sistema ferroviario dell'Unione Europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- Eurocodici EN 1991-2: 2003/AC:2010;
- RFI DTC SI MA IFS 001 C - Manuale di Progettazione delle Opere Civili;
- RFI DTC SI SP IFS 001 C – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili.

### 2.2 Documenti di riferimento

La presente relazione è stata redatta con riferimento ai seguenti documenti:

- *RS3U.4.0.D.29.GE.GE.00.0.0.001: "Geotecnica – Elaborati Generali - Relazione geotecnica generale delle opere all'aperto";*
- *RS3U.4.0.D.29.F6.GE.00.0.0.001 ÷ RS3U.4.0.D.29.F6.GE.00.0.0.003: "Geotecnica – Elaborati Generali – Profilo geotecnico linea – Tav. 1 di 6 ÷ Tav 3 di 6";*
- *RS3U.4.0.D.29.F6.GE.00.0.0.0010 ÷ RS3U.4.0.D.29.F6.GE.00.0.0.0012: "Geotecnica – Elaborati Generali – Profilo geotecnico linea – Tav. 4 di 6 – Tav 6 di 6";*
- *RS3U.4.0.D.29.F6.GE.00.0.0.004: "Geotecnica – Elaborati Generali - Profilo geotecnico variante linea storica";*
- *RS3U.4.0.D.29.P9.MU.10.0.0.002: "Opere di sostegno di linea – TR01: Opere di sostegno MU10 – Pianta scavi";*
- *RS3U.4.0.D.29.P9.MU.11.0.0.003 ÷ RS3U.4.0.D.29.P9.MU.11.0.0.004: "Opere di sostegno di linea – TR01: Opere di sostegno MU11 – Pianta scavi";*
- *RS3U.4.0.D.29.P9.MU.29.0.0.001: "Opere di sostegno di linea – TR01: Muro di sostegno MU29 – Pianta scavi";*
- *RS3U.4.0.D.29.P9.MU.01.0.0.003: "Opere di sostegno di linea – RI01: Muro di sostegno MU01 – Pianta scavi"*

- RS3U.4.0.D.29.P9.MU.02.0.0.002: “Opere di sostegno di linea – TR02 - RI02: Muro di sostegno MU02 – Pianta scavi”;
- RS3U.4.0.D.29.P9.MU.03.0.0.002: “Opere di sostegno di linea – RI06: Muro di sostegno MU03 – Pianta scavi”;
- RS3U.4.0.D.29.P9.MU.04.0.0.002: “Opere di sostegno di linea – TR04: Muro ad U MU04 – Pianta scavi”;
- RS3U.4.0.D.29.P9.MU.05.0.0.002: “Opere di sostegno di linea – TR05: Muro ad U MU05 – Pianta scavi”;
- RS3U.4.0.D.29.P9.MU.07.0.0.002: “Opere di sostegno di linea – RI12: Muro di sottoscarpa MU07 – Pianta scavi”;
- RS3U.4.0.D.29.P9.MU.09.0.0.002: “Opere di sostegno di linea – TR12: Muro di sostegno MU09 – Pianta scavi”;
- RS3U.4.0.D.29.P9.MU.51.0.0.002: “Opere di sostegno variante linea storica – RI51: Muro ad U MU51 – Pianta scavi”;
- RS3U.4.0.D.29.P9.MU.52.0.0.002: “Opere di sostegno variante linea storica – RI52: Muro ad U MU52 – Pianta scavi”;
- RS3U.4.0.D.29.P9.MU.52.0.0.002: “Opere di sostegno variante linea storica – RI52: Muro ad U MU52 – Pianta scavi”;
- RS3U.4.0.D.29.P9.MU.54.0.0.002: “Opere di sostegno variante linea storica – RI53 – TR52: Opere di sostegno MU54 – Pianta scavi”;

### 2.3 Programmi di calcolo

Nella redazione del presente documento sono stati utilizzati i seguenti programmi di calcolo:

- Paratie Plus – Software dedicato al calcolo e alla progettazione delle opere di sostegno flessibili e alle analisi di stabilità.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a)</b> <b>GEOTECNICA</b>					
	Relazione di stabilità fronti di scavo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3U	40	D 29 RH	GE0000 005	A	5 di 12

### 3 CONDIZIONI GEOTECNICHE: STRATIGRAFIA E FALDA

La successione stratigrafica è stata desunta sulla base delle indagini eseguite e dai rilievi e studi geologico-geomorfologici. . Nel seguito vengono definite le unità geotecniche presenti in corrispondenza dei rilevati di progetto.

#### 3.1 Definizione delle unità geotecniche intercettate

Sulla base dei risultati delle indagini (in sito ed in laboratorio) delle campagne geognostiche, si perviene ad una caratterizzazione geotecnica dei terreni e quindi alla definizione della stratigrafia e dei parametri geotecnici di progetto.

Unità geotecniche:

- **Unità a2 – Depositi alluvionali:** limi e limi argillosi con subordinate sabbie e sabbie limose di colore marrone, grigio e giallastro, a stratificazione più o meno ben definita, talora con laminazione incrociata;
- **Unità TRV – Formazione di Terravecchia:** argille limose e argille marnose di colore grigio, grigio-azzurro e grigio-verdastro, marrone per alterazione, a struttura scagliosa o sottilmente stratificata, con frequenti livelli millimetrici di sabbie e sabbie limose grigie e giallastre; localmente si rinvengono passaggi di marne, marne argillose e argilliti di colore grigio-verdastro.
- **Unità FYN4 – Flysch Numidico:** un'alternanza di prevalenti argille e argille siltose di colore da bruno a bruno tabacco con sottili interstrati siltitici, in intervalli di spessore da decametrico a centimetrico, e di quarzoareniti torbiditiche bruno-giallastre in strati, in genere, lenticolari di spessore generalmente metrico.

#### 3.2 Sintesi parametri geotecnici di progetto

Nel seguito si sintetizzano le caratteristiche geotecniche di progetto per le varie unità geotecniche, in accordo a quanto definito nella relazione geotecnica generale, a cui si rimanda per i dettagli.

##### Unità a2 – Depositi alluvionali

- $\gamma = 18\div 20 \text{ kN/m}^3$  peso di volume naturale
- $c' = 11\text{-}30 \text{ kPa}$  coesione drenata
- $c_u = 50\div 100 \text{ kPa}$  coesione non drenata
- $\varphi' = 20\div 29^\circ$  angolo di resistenza al taglio
- $E_0 = 100\div 150 \text{ MPa}$  modulo di deformazione elastico iniziale

##### Unità TRV – Formazione di Terravecchia

- $\gamma = 20\div 22 \text{ kN/m}^3$  peso di volume naturale

Relazione di stabilità fronti di scavo

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3U	40	D 29 RH	GE0000 005	A	6 di 12

- $c' = 9\div 49$  kPa coesione drenata
- $c_u = 100\div 300$  kPa resistenza al taglio in condizioni non drenate
- $\varphi' = 16\div 26$  ° angolo di resistenza al taglio
- $E = 30\div 300$  MPa modulo di deformazione elastico operativo

#### Unità FYN4 – Flysch Numidico

- $\gamma = 19\div 21$  kN/m<sup>3</sup> peso di volume naturale
- $c' = 12\div 41$  kPa coesione drenata
- $c_u = 50\div 300$  kPa resistenza al taglio in condizioni non drenate
- $\varphi' = 17.5\div 31$  ° angolo di resistenza al taglio
- $E = 40\div 600$  MPa modulo di deformazione elastico operativo

### 3.3 Falda

La profondità della falda varia per tutto lo sviluppo della tratta; nel profilo stratigrafico longitudinale è riportato il livello massimo di falda di progetto derivante dall'interpretazione di tutte le misure piezometriche. Per il dimensionamento delle singole opere d'arte si è fatto riferimento al livello di falda indicato nel profilo e nella relazione geotecnica.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a)</b> <b>GEOTECNICA</b>					
	Relazione di stabilità fronti di scavo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3U	40	D 29 RH	GE0000 005	A	7 di 12

## 4 ANALISI DI STABILITÀ

### 4.1 Premessa

Nel presente capitolo si riportano le verifiche di stabilità globali delle scarpate di scavo provvisoriale per la realizzazione delle opere d'arte. In generale si prevedono scarpate con pendenza 2 (verticale) / 3 (orizzontale).

### 4.2 Metodologie di calcolo

Le verifiche di stabilità sono state svolte nelle sole condizioni statiche SLU in quanto si tratta di scavi provvisoriale, in accordo a quanto previsto da normativa vigente.

L'esame delle condizioni di stabilità è stato condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite. Per la valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità globale si è impiegato il software Paratie Plus in cui la ricerca delle superfici critiche viene svolta attraverso la generazione automatica di un elevato numero di superfici di potenziale scivolamento.

Sono state cautelativamente considerate ipotesi di deformazione piana. In particolare, in questa sede si fa riferimento al metodo di Bishop che prevede superfici di scorrimento circolari nei terreni. Nelle analisi sono state ovviamente trascurate le superfici più corticali in quanto poco significative e per le quali non risulta idonea una analisi convenzionale all'equilibrio limite.

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

In accordo alla normativa vigente per fronti di scavo, le analisi di stabilità vengono condotte secondo la combinazione (A2+M2+R2).

Secondo quanto previsto da normativa, per le analisi di stabilità in condizioni statiche SLU, i parametri di resistenza del terreno devono essere abbattuti a mezzo dei coefficienti parziali di seguito riportati.

$\gamma_{\phi}' = 1.25$  coefficiente parziale per l'angolo di resistenza al taglio

$\gamma_c' = 1.25$  coefficiente parziale per la coesione drenata

$\gamma_{cu} = 1.4$  coefficiente parziale per la coesione non drenata

L'analisi viene quindi condotta con i seguenti parametri geotecnici di calcolo:

$\tan(\phi'_k) = \tan(\phi'_k) / \gamma_{\phi}'$  angolo di resistenza al taglio

$c'_k = c'_k / \gamma_c'$  coesione drenata

Il coefficiente di sicurezza minimo per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo è pari ad 1.1 ( $\gamma_R$ ) in condizioni SLU statiche, quindi il fattore di sicurezza alla stabilità da verificare è FS  $\geq$  1.1.

#### 4.2.1 Carichi

Si considera cautelativamente un sovraccarico accidentale di 10 kPa agente a monte.

#### 4.3 Sezioni di calcolo

Per la verifica della stabilità dei fronti di scavo è stata eseguita una disamina di ciascuno di questi presenti all'interno del lotto 4.

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva delle opere, con le rispettive altezze massime dei fronti di scavo, la quota falda da piano campagna e l'unità geotecnica in cui ricadono:

OPERA	WBS	FALDA	UNITA' GEOTECNICA	L <sub>fronte scavo</sub>	H <sub>fronte scavo</sub>
MU10	TR01	4.3	FYN4	2.47	1.65
MU11	TR01	4.3	FYN4	12	8.00
MU01	RI01	1.5	a2 / TRV	9.5	6.33
MU02	TR02	10.6	TRV	10	6.67
MU02	RI02	10	TRV	4.5	3.00
MU03	RI06	7	TRV	7.55	5.03
MU04	TR04	2	TRV	9	6.00
MU05	TR05	10	TRV	7.76	5.17
MU07	RI12	1.8	a2	3.13	2.09
MU09	TR12	1.8	TRV	15.3	10.20
MU51	RI51	7.9	TRV	9.5	6.33
MU52	RI52	-	TRV	10	6.67
MU54	RI53	-	TRV	5.87	3.91
GA51	TR03	-	TRV	12.7	8.47

L'analisi di stabilità per le scarpate di scavo provvisoria è stata condotta cautelativamente per le seguenti sezioni ritenute rappresentative delle condizioni di tutta la tratta:

-scarpata di scavo di altezza H=6.33 m, sezione con pendenza 2 (verticale) / 3 (orizzontale), con terreno coesivo alluvionale (Unità a2) per i primi 4 m e Formazione di Terravecchia successivi (TRV) e falda a 1.5 m da p.c.; sezione rappresentativa delle condizioni geotecniche peggiori ed altezza di scavo massima (non protetta) per realizzazione fondazioni;

- scarpata di scavo di altezza H=10.20 m, sezione con pendenza 2 (verticale) / 3 (orizzontale), con terreno Formazione di Terravecchia (Unità TRV) e falda a 1.8 m da p.c.; sezione rappresentativa delle condizioni geotecniche peggiori ed altezza di scavo massima (non protetta) per realizzazione fondazioni.

In entrambe le condizioni si prevede aggotamento di acqua in fase di scavo per abbassare il livello di falda a fondo scavo.

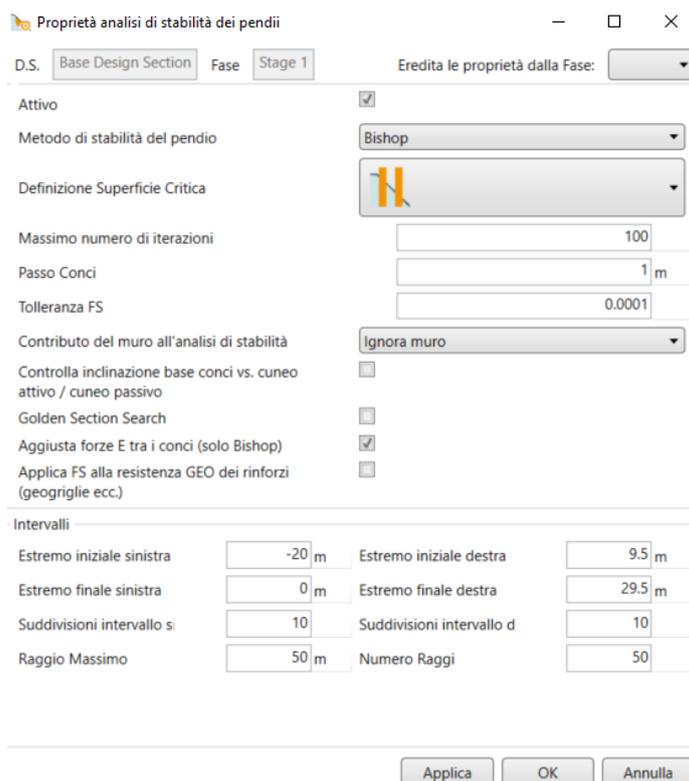
Le verifiche statiche sono state condotte sia in condizioni drenate che non drenate.

## 4.4 Risultati

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

I fattori di sicurezza minimi ottenuti dalle verifiche sono sempre maggiori di quanto prescritto da normativa ( $\gamma_R \geq 1.1$ ); quindi le verifiche di stabilità sono sempre soddisfatte.

### 4.4.1 Rilevato H=6.22 m



Proprietà analisi di stabilità dei pendii

D.S. Base Design Section Fase Stage 1 Eredita le proprietà dalla Fase: [dropdown]

Attivo

Metodo di stabilità del pendio Bishop [dropdown]

Definizione Superficie Critica [dropdown with diagram]

Massimo numero di iterazioni 100

Passo Conci 1 m

Tolleranza FS 0.0001

Contributo del muro all'analisi di stabilità Ignora muro [dropdown]

Controlla inclinazione base conci vs. cuneo attivo / cuneo passivo

Golden Section Search

Aggiusta forze E tra i conci (solo Bishop)

Applica FS alla resistenza GEO dei rinforzi (geogriglie ecc.)

Intervalli

Estremo iniziale sinistra -20 m Estremo iniziale destra 9.5 m

Estremo finale sinistra 0 m Estremo finale destra 29.5 m

Suddivisioni intervallo s 10 Suddivisioni intervallo d 10

Raggio Massimo 50 m Numero Raggi 50

[Applica] [OK] [Annulla]

Figura 1: Rilevato H=6.22 m – definizione superfici da analizzare.

Fattori di Sicurezza		
	Condizioni drenate	Condizioni non drenate
Analisi statica (FS $\geq 1.1$ )	1.969	5.448

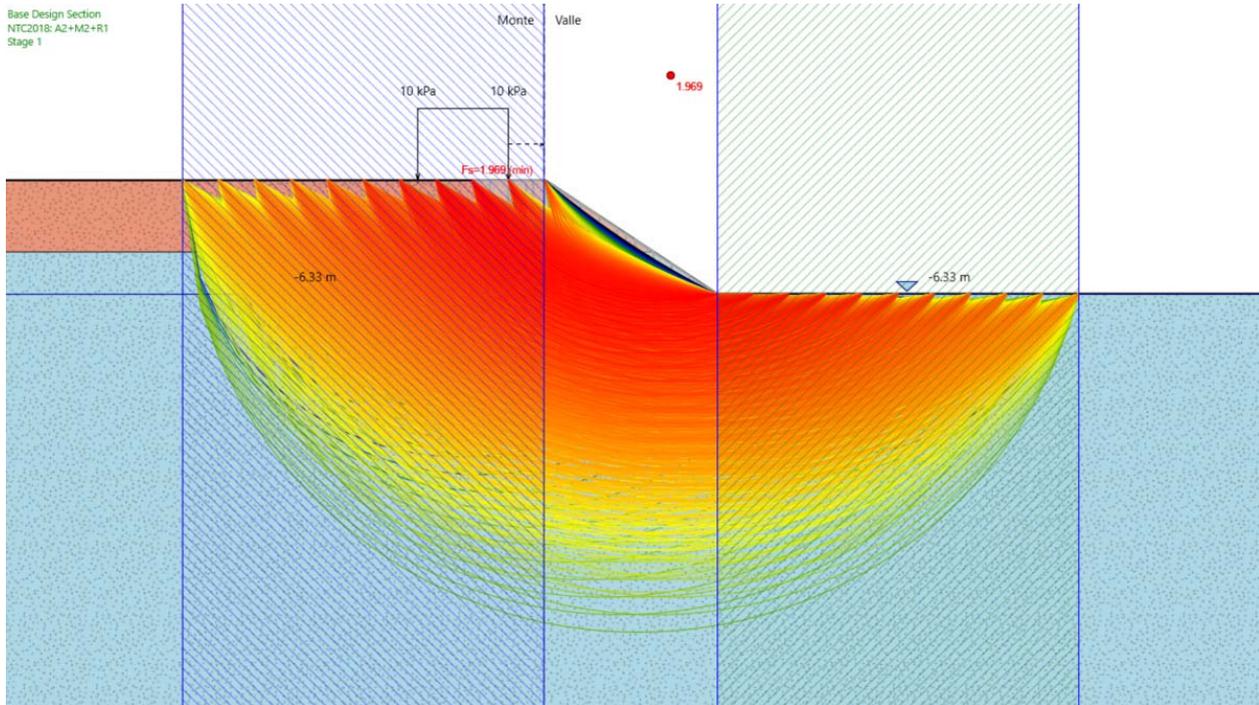


Figura 2: Fronte di scavo  $H = 6.33$  m – analisi statica in condizioni drenate.

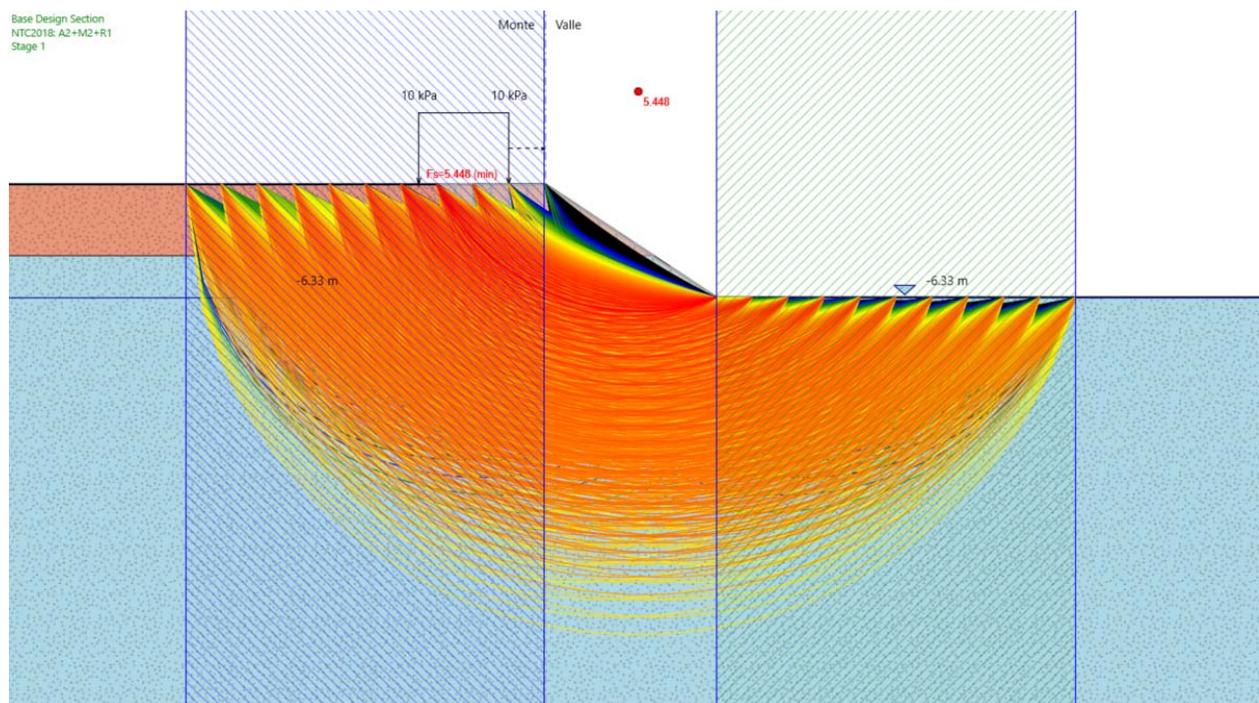


Figura 3: Fronte di scavo  $H = 6.33$  m – analisi statica in condizioni non drenate.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - ENNA (LOTTO 4a)</b> <b>GEOTECNICA</b>					
	Relazione di stabilità fronti di scavo	COMMESSA <b>RS3U</b>	LOTTO <b>40</b>	CODIFICA <b>D 29 RH</b>	DOCUMENTO <b>GE0000 005</b>	REV. <b>A</b>

#### 4.4.2 Rilevato H=10.20 m

Proprietà analisi di stabilità dei pendii

D.S. Base Design Section Fase Stage 1 Eredita le proprietà dalla Fase: ▼

Attivo

Metodo di stabilità del pendio Bishop ▼

Definizione Superficie Critica  ▼

Massimo numero di iterazioni

Passo Conci  m

Tolleranza FS

Contributo del muro all'analisi di stabilità Ignora muro ▼

Controlla inclinazione base conci vs. cuneo attivo / cuneo passivo

Golden Section Search

Aggiusta forze E tra i conci (solo Bishop)

Applica FS alla resistenza GEO dei rinforzi (geogriglie ecc.)

---

Intervalli

Estremo iniziale sinistra  m Estremo iniziale destra  m

Estremo finale sinistra  m Estremo finale destra  m

Suddivisioni intervallo sinistra  Suddivisioni intervallo destra

Raggio Massimo  m Numero Raggi

Applica
OK
Annulla

Figura 4: Rilevato H=10.20 m – definizione superfici da analizzare.

Fattori di Sicurezza		
	Condizioni drenate	Condizioni non drenate
Analisi statica (FS ≥ 1.1)	1.519	3.781

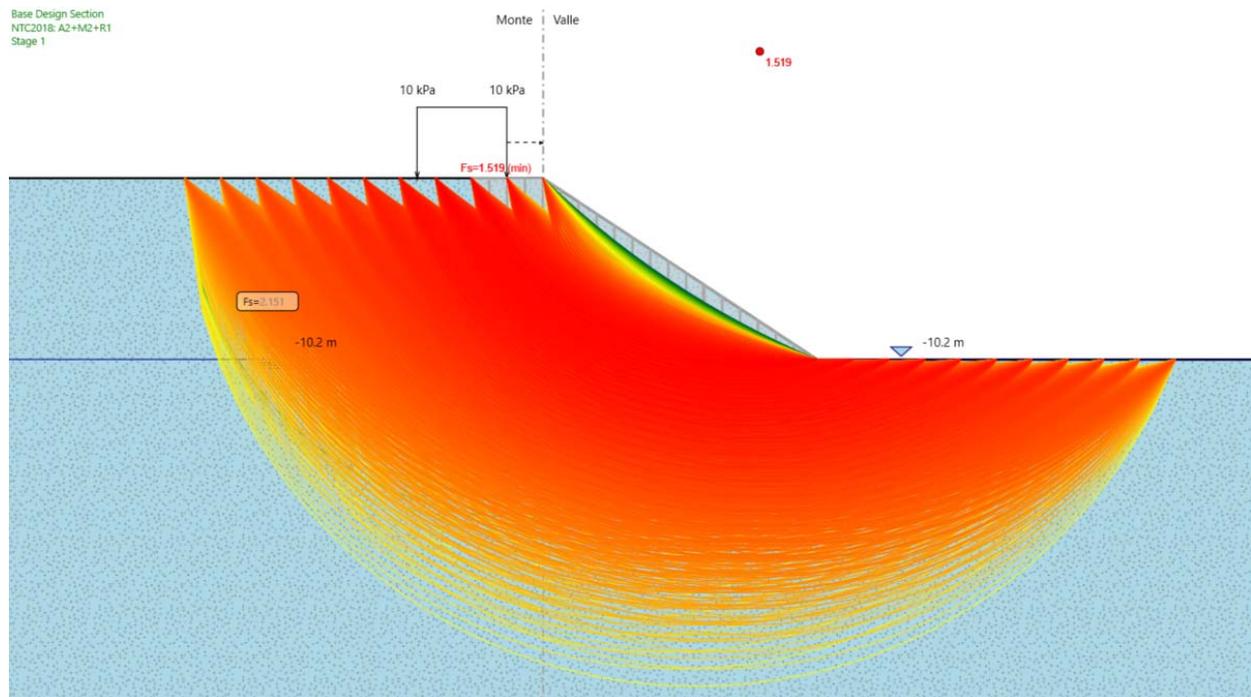


Figura 5: Fronte di scavo  $H = 10.20$  m – analisi statica in condizioni drenate.

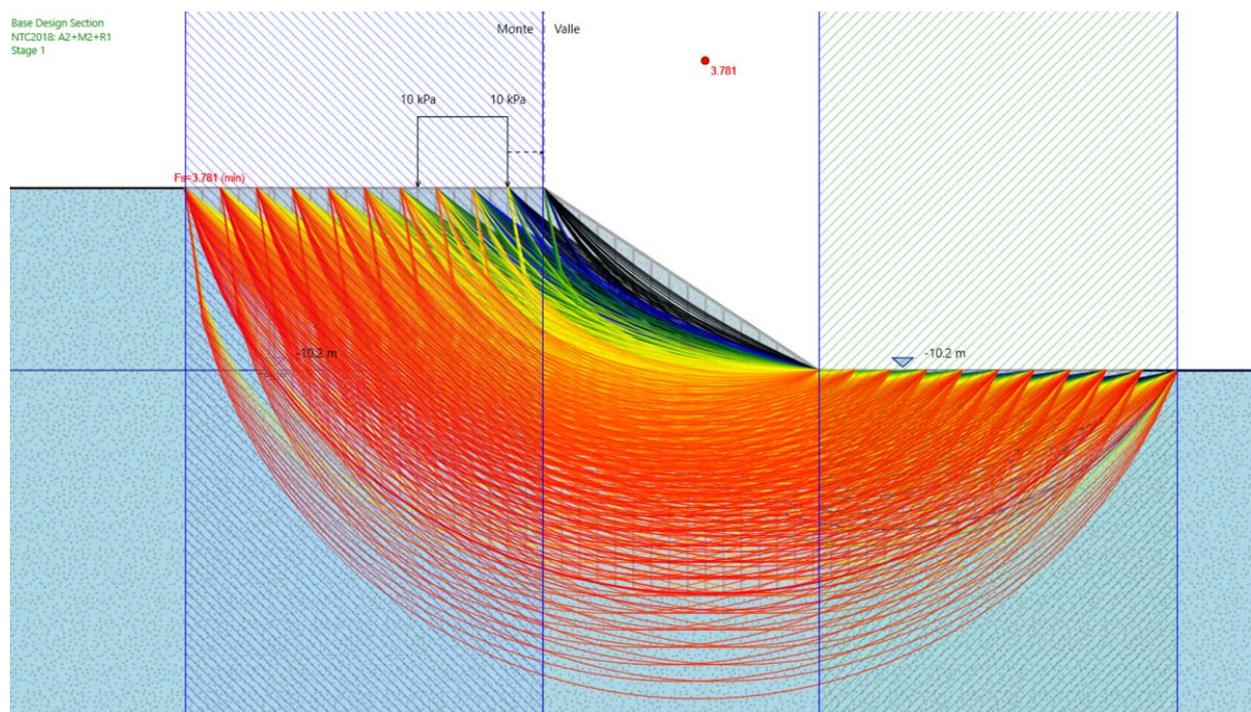


Figura 6: Fronte di scavo  $H = 10.20$  m – analisi statica in condizioni non drenate.