

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01 e s.m.i.**

**S.O.: GEOTECNICA**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**NODO DI BARI**

**BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE**

**GEOTECNICA**

**Relazione di calcolo trincee ferroviarie**

SCALA:

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

IADR 00 D 28 RH GE0000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	M. Botta 	31/10/2023	L. Giannini 	31/10/2023	G. Dimaggio 	31/10/2023	L. Berardi 31/10/2023

File: IADR00D28RHGE000001A

n. Elab.:

## INDICE

1	INTRODUZIONE.....	4
2	NORMATIVA, BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
2.1	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO .....	5
2.2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....	6
2.3	SOFTWARE .....	7
3	CARATTERISTICHE DELLE SEZIONI IN TRINCEA E IN RILEVATO.....	8
3.1	TRINCEE .....	8
3.1.1	<i>Descrizione degli interventi di protezione e rinforzo delle scarpate di scavo .....</i>	<i>9</i>
4	INQUADRAMENTO GEOTECNICO E SISMICO.....	14
4.1	MODELLO GEOTECNICO .....	14
4.2	INQUADRAMENTO SISMICO .....	15
5	CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE .....	16
5.1	CRITERI GENERALI DI VERIFICA.....	16
5.2	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO STATICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI E FRONTI DI SCAVO .....	17
5.2.1	<i>Stati limite ultimi (SLU).....</i>	<i>17</i>
5.3	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI E FRONTI DI SCAVO .....	19
5.3.1	<i>Stati limite ultimi (SLU) - Verifica allo stato limite SLV .....</i>	<i>19</i>
5.3.2	<i>Coefficienti sismici per la verifica di stabilità globale allo SLV .....</i>	<i>19</i>
6	APPROCCIO METODOLOGICO PER LE VERIFICHE GEOTECNICHE.....	21
6.1	APPROCCIO METODOLOGICO PER LE VERIFICHE SLU.....	21
7	ANALISI DELLE SEZIONI DI CALCOLO .....	23
7.1	CARICHI DI PROGETTO.....	24
7.2	ANALISI STABILITÀ TRINCEA 1.....	25
7.2.1	<i>Analisi in condizioni statiche .....</i>	<i>25</i>

7.2.2	<i>Analisi in condizioni sismiche</i>	29
7.3	ANALISI STABILITÀ TRINCEA 2	34
7.3.1	<i>Analisi in condizioni statiche</i>	35
7.4	ANALISI STABILITÀ TRINCEA 3	41
7.4.1	<i>Analisi in condizioni statiche</i>	41
7.4.2	<i>Analisi in condizioni sismiche</i>	45
7.5	ANALISI STABILITÀ TRINCEA 4	50
7.5.1	<i>Analisi in condizioni statiche</i>	51
7.6	ANALISI STABILITÀ TRINCEA 5	56
7.6.1	<i>Analisi in condizioni statiche</i>	57

## 1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione vengono descritti i risultati delle verifiche di stabilità delle trincee inclusi nel Progetto Definitivo della “Variante di tracciato tra Palese e Santo Spirito”.

L’area interessata dal progetto ricade nella zona a nord - ovest della città di Bari, nell’area compresa tra l’aeroporto internazionale di Bari e il comune di Giovinazzo.



**Figura 1-1: inquadramento planimetrico del tracciato in progetto - Google Earth.**

La nuova infrastruttura si sviluppa in rilevato solo nella porzione iniziale, tra le pk 0+850 e 1+170 circa, con altezze massime pari a circa 3m. Lungo il resto del tracciato le opere ferroviarie sono costituite da gallerie artificiali o trincee, che comportano l’apertura di scavi fino a un massimo di circa 17 metri, aventi carattere provvisorio o definitivo, rispettivamente per le due diverse tipologie di opere, gallerie artificiali o trincee.



NODO DI BARI

BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO - PALESE

**PROGETTO DEFINITIVO**

RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D28RH	GE 00 00 001	A	5 di 60

## 2 **NORMATIVA, BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

### 2.1 **NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO**

- [1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30;
- [2] Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;
- [3] RFI DTC SI CS MA IFS 001 del 2022 - “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”;
- [4] RFI DTC SI CS SP IFS 004 del 2022- Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi” – RFI.
- [5] UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [6] UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.



NODO DI BARI

BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO - PALESE

**PROGETTO DEFINITIVO**

RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D28RH	GE 00 00 001	A	6 di 60

## 2.2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

- [7] ITALFERR – Progetto Preliminare – Riassetto Nodo di Bari – Relazione Geologica e Idrogeologica (Doc. IAY100R69RGGE0001001)
- [8] ITALFERR – Progetto Preliminare – Riassetto Nodo di Bari – Planimetria ubicativa sondaggio XIA32D003 (Doc. IAY100R78P5GE0001001)
- [9] ITALFERR – Progetto Preliminare – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese – Indagini geognostiche e prove in situ (Doc. IA7X00R69SGGE0005001)
- [10] ITALFERR – Progetto Preliminare – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese – Indagini geofisiche (Doc. IA7X00R69IGGE0005001)
- [11] ITALFERR – Progetto Preliminare – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese – Schede di rilevamento degli stop geologici e geomeccanici (Doc. IA7X00R69RHGE0005001)
- [12] ITALFERR – Progetto Preliminare – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese – Prove geotecniche di laboratorio (Doc. IA7X00R69PRGE0005001)
- [13] ITALFERR – Progetto Preliminare – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese – Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica (Doc. A7X00R69RGGE0001001)
- [14] ITALFERR – Progetto Preliminare – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese – Carta e profilo geologico (Doc. IA7X00R69NZGE0001001)
- [15] ITALFERR – Progetto Preliminare – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese – Carta e profilo idrogeologico (Doc. IA7X00R69NZGE0002001)
- [16] ITALFERR – Progetto Definitivo – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese – Relazione geotecnica generale (Doc. IADR00D28GEGE0000001)
- [17] ITALFERR – Progetto Definitivo – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese – Profilo geotecnico - tav. 1 (Doc. IADR00D28L6GE0000001)
- [18] ITALFERR – Progetto Definitivo – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese – Profilo geotecnico - tav. 2 (Doc. IADR00D28L6GE0000002)



NODO DI BARI

BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO - PALESE

**PROGETTO DEFINITIVO**

RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D28RH	GE 00 00 001	A	7 di 60

[19] ITALFERR – Progetto Definitivo – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese – Profilo geotecnico - tav. 3 (Doc. IADR00D28L6GE0000003)

[20] ITALFERR – Progetto Definitivo – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese – Profilo geotecnico - tav. 4 (Doc. IADR00D28L6GE0000004)

[21] ITALFERR – Progetto Definitivo – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese – Profilo geotecnico - tav. 5 (Doc. IADR00D28L6GE0000005)

[22] ITALFERR – Progetto Definitivo – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese – Profilo geotecnico - tav. 6 (Doc. IADR00D28L6GE0000006)

[23] ITALFERR – Progetto Definitivo – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese – Profilo geotecnico - tav. 7 (Doc. IADR00D28L6GE0000007)

[24] ITALFERR – Progetto Definitivo – Nodo di Bari - Bari Nord – Variante Santo Spirito - Palese – Interventi tipo di protezione/rinforzo delle scarpate di scavo (Doc. IADR00D28WZGE0000001)

## 2.3 SOFTWARE

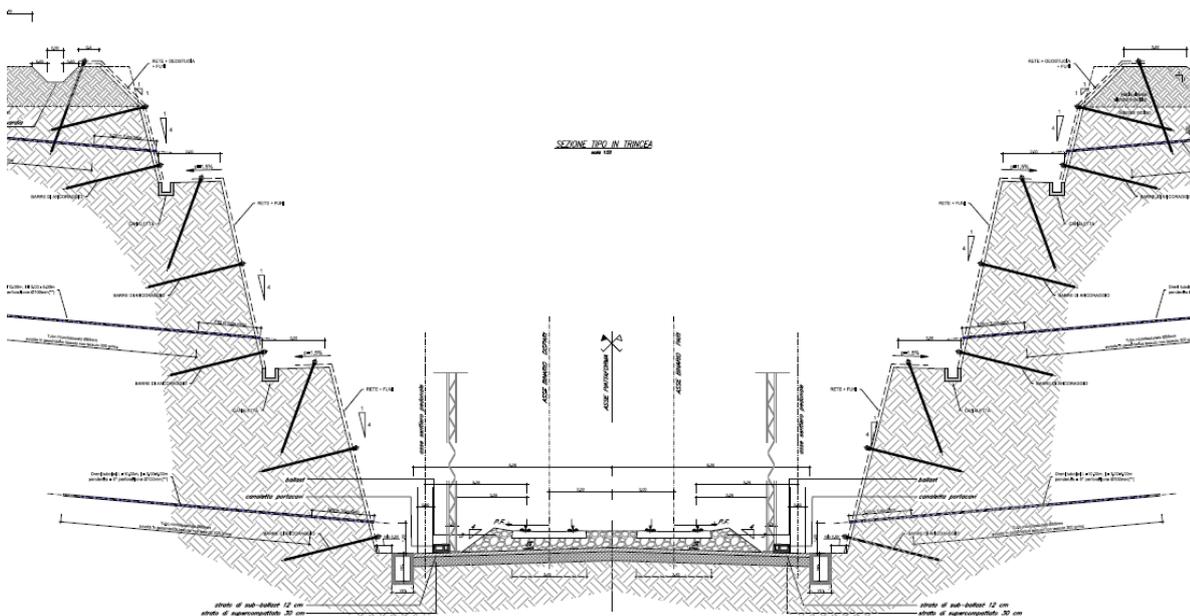
[25] Paratie Plus modulo VSP

### 3 CARATTERISTICHE DELLE SEZIONI IN TRINCEA E IN RILEVATO

Di seguito una breve descrizione delle caratteristiche delle sezioni in trincea. Tutte le opere incluse in progetto saranno realizzate con i materiali e le modalità costruttive descritte nel Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili di RFI [4].

#### 3.1 TRINCEE

Nel presente progetto è prevista l'esecuzione sia di trincee provvisorie, propedeutiche alla realizzazione delle gallerie artificiali e di muri ad U, sia di trincee definitive.



**Figura 3-1 Sezione tipo in trincea**

Nella porzione più superficiale delle trincee, caratterizzati dalla presenza di materiale classificabile come terreno a grana grossa, avente spessore massimo pari a circa 2.5 m (limitato a 1.5 m di spessore per la maggior parte dello sviluppo del tracciato), gli scavi vengono aperti con pendenza 1:1, mentre all'interno della formazione rocciosa dei Calcari la pendenza delle scarpate varia a seconda che l'opera abbia carattere definitivo o provvisorio. In particolare, nel caso di trincee definitive è prevista una

pendenza 4:1, mentre per le opere provvisionali si è adottata una pendenza 6:1. In entrambi i casi ogni 6.0 m di scavo viene inserita una banca di larghezza pari a 1.0 o 2.0 m, rispettivamente per trincee provvisionali o definitive. Unica eccezione si ha in corrispondenza delle TR03 e TR04 dove è prevista l'apertura di uno scavo senza banche intermedie (altezza massima 15.0 m e pendenza 6:1). presidiato in fase definitiva da un muro ad "U" in c.a.

**Tabella 3-1: trincee riepilogo**

WBS	Progressiva		Spessore scavo 1:1(m)	Pendenza scavo ammasso	Larghezza banca (m)
	da (km)	a (km)			
TR02	1+200	1+768	1.50	4:1	2.00
GA01	1+768	4+850	1.50	6:1	1.00
TR03	4+850	5+133	1.50	6:1	-
GA02	5+133	5+250	1.50	6:1	1.00
TR04	5+250	5+450	1.50	6:1	-
GA03	5+450	6+100	1.50	6:1	1.00
TR05	6+100	6+625	1.50	4:1/6:1	2.00/1.00
GA04	6+625	9+780	1.50 (2.50 tra le pk 8+400 - 8+700 ca e tra 9+100 - 9+575 ca)	6:1	1.00
TR06	9+780	10+550	1.50	4:1/6:1	2.00/1.00

### 3.1.1 Descrizione degli interventi di protezione e rinforzo delle scarpate di scavo

Di seguito si descrivono gli interventi previsti per le scarpate di scavo. I dettagli sono riportati nell'elaborato grafico "Interventi tipo di protezione/rinforzo delle scarpate di scavo" [17].

Gli interventi tipologici di protezione/rinforzo delle scarpate sono definiti in funzione dei valori del GSI determinati sulla base delle indagini geognostiche e del carattere provvisorio o definitivo degli scavi.

Per le trincee provvisorie, per ogni singolo intervallo di valori di GSI, sono state previste tre tipologie di protezione/rinforzo di diversa intensità, ripartite come indicato nella Tabella 3-2 sull'estensione complessiva delle superfici delle scarpate.

Per le trincee definitive, per ogni singolo intervallo di valori di GSI sono state previste due tipologie di intervento, applicate sulla superficie delle scarpate.



NODO DI BARI

BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO - PALESE

**PROGETTO DEFINITIVO**

RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D28RH	GE 00 00 001	A	10 di 60

Per entrambe le casistiche di trincee provvisorie o definitive, nella porzione più superficiale, dove è prevista una pendenza di scavo pari a 1:1, la rete a doppia torsione verrà accoppiata ad una geostuoia, atta a prevenire l'erosione e consentire l'idrosemina di specie erbacee.

### Scarpate provvisorie:

I fronti di scavo rocciosi delle scarpate provvisorie, di pendenza 6:1 V/H verranno stabilizzati e protetti con interventi che saranno differenziati in funzione della qualità dell'ammasso roccioso, definita sulla base del GSI.

Nelle zone in cui gli scavi interessano un ammasso con buone caratteristiche geomeccaniche ( $GSI > 45$ ) il fronte di scavo verrà lasciato senza protezione o protetto solo con spritz e rete elettrosaldata; con il peggiorare delle caratteristiche di qualità dell'ammasso, oltre rete e spritz, si prevede anche l'utilizzo di barre di ancoraggio auto perforanti, di lunghezza compresa tra 3 e 6m, posti in opera con una densità di chiodatura via via crescente in funzione delle caratteristiche dell'ammasso. Nello specifico sono stati definite le seguenti tipologie di interventi di protezione delle scarpate:

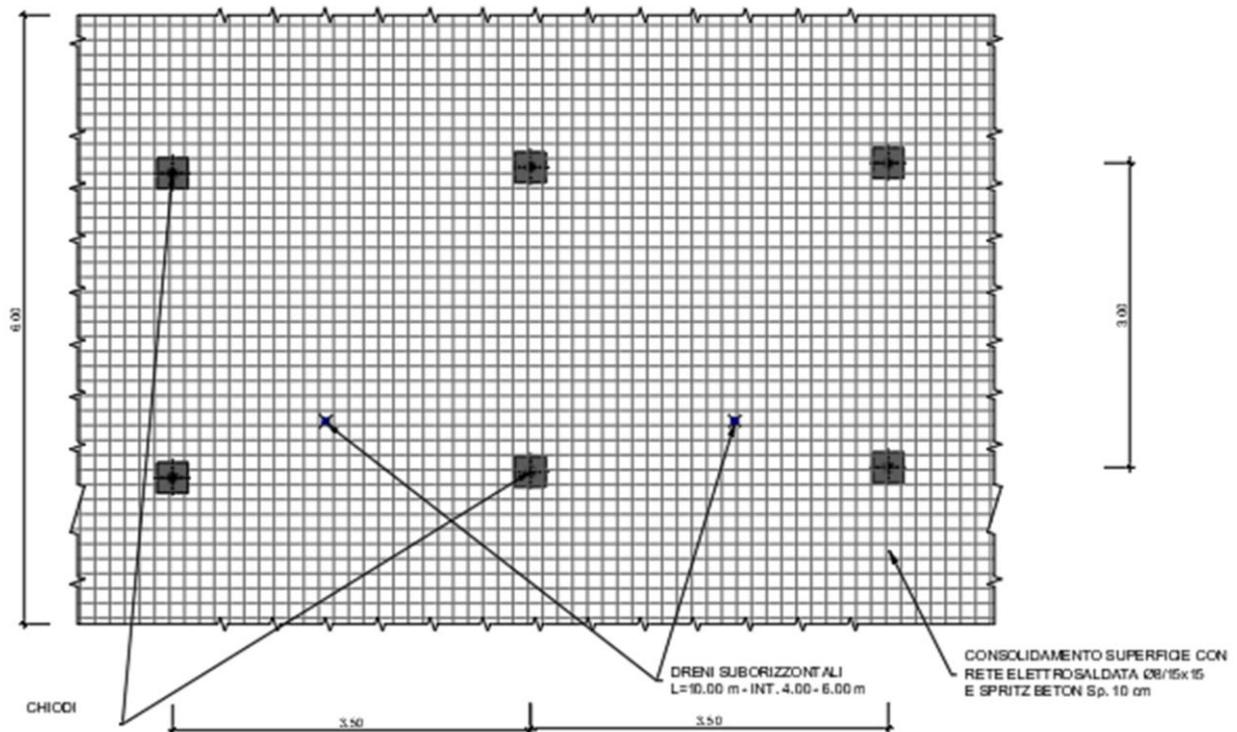
Tipo A: Spritz (sp.10cm) + Rete elettrosaldata

Tipo B: Spritz (sp.10cm) + Rete elettrosaldata + Chiodatura sporadica (incidenza: 0.05 chiodi / mq)

Tipo C: Spritz (sp.10cm) + Rete elettrosaldata + Chiodatura sistematica di tipo 1 (incidenza: 0.095 chiodi / mq)

Sebbene le opere ferroviarie si posizionino tutte al di sopra del livello di falda (rinvenuto coincidente con la quota del livello marino (0 m s.l.m.)), al fine di evitare l'istaurarsi di sovrappressioni indotte dalla infiltrazione delle acque meteoriche che potrebbero dare luogo a instabilizzazioni anche locali dei fronti di scavo, lungo le scarpate è prevista la realizzazione di dreni sub-orizzontali di lunghezza pari a 10m, inclinati di 10°. Nella figura che segue è rappresentato a titolo di esempio lo schema di intervento con chiodatura sistematica (tipo C)

**INTERVENTO DI PROTEZIONE TIPO C**  
(Spritz + R.E.S. + chiodatura sistemata  $inc=0.095$  chiodi/mq)  
SCALA 1:60



**Figura 3-2 – Esempio di chiodatura sistemata**

Nella successiva tabella sono indicate le percentuali di applicazione delle diverse tipologie degli interventi di consolidamento previsti in progetto per le diverse classi di qualità dell'ammasso roccioso riscontrate. Per ogni singolo intervallo di valori di GSI, sono state previste, due tipologie di protezione/rinforzo di diversa intensità, che sono ipotizzate ripartite in pari percentuale sull'estensione complessiva delle superfici delle scarpate.

**Tabella 3-2: Percentuale distribuzione interventi.**

GSI	PERCENTUALE DISTRIBUZIONE INTERVENTI
> 45	non previsto
35 ÷ 45	Tipo A



NODO DI BARI

BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO - PALESE

**PROGETTO DEFINITIVO**

RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE FERROVIARIE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IADR

00

D28RH

GE 00 00 001

A

12 di 60

25 ÷ 35	Tipo B
< 25	50% Tipo B – 50% Tipo C

### Scarpate definitive

Le scarpate definitive, previste con pendenza V/H pari a 4:1 nelle formazioni rocciose, verranno rivestite con un sistema di reti e funi metalliche opportunamente ancorate all'ammasso retrostante. L'intervento consentirà sia di contenere il distacco di materiale dal fronte, sia di contrastare l'instabilità di eventuali modesti cunei di roccia in condizioni di equilibrio precario.

L'intervento prevede la posa in aderenza alla scarpata di pannelli di una rete a doppia torsione con maglia esagonale ancorata all'ammasso retrostante mediante ancoraggi passivi, realizzati con barre auto perforanti  $\phi=32\text{mm}$ , ed un reticolo di contenimento a maglia romboidale, realizzata con funi in acciaio di diametro pari a 12mm.

Le chiodature avranno una lunghezza compresa tra 3.00 e 6.00 m, o comunque tale da garantire alle barre un ancoraggio nella roccia sana per una profondità di almeno 2.50 m; le barre saranno alloggiare in fori eseguiti nella roccia a roto-percussione di diametro minimo 90 mm impiegando, come fluido di spurgo, boiaccia cementizia eseguita con iniezioni a pressioni controllate.

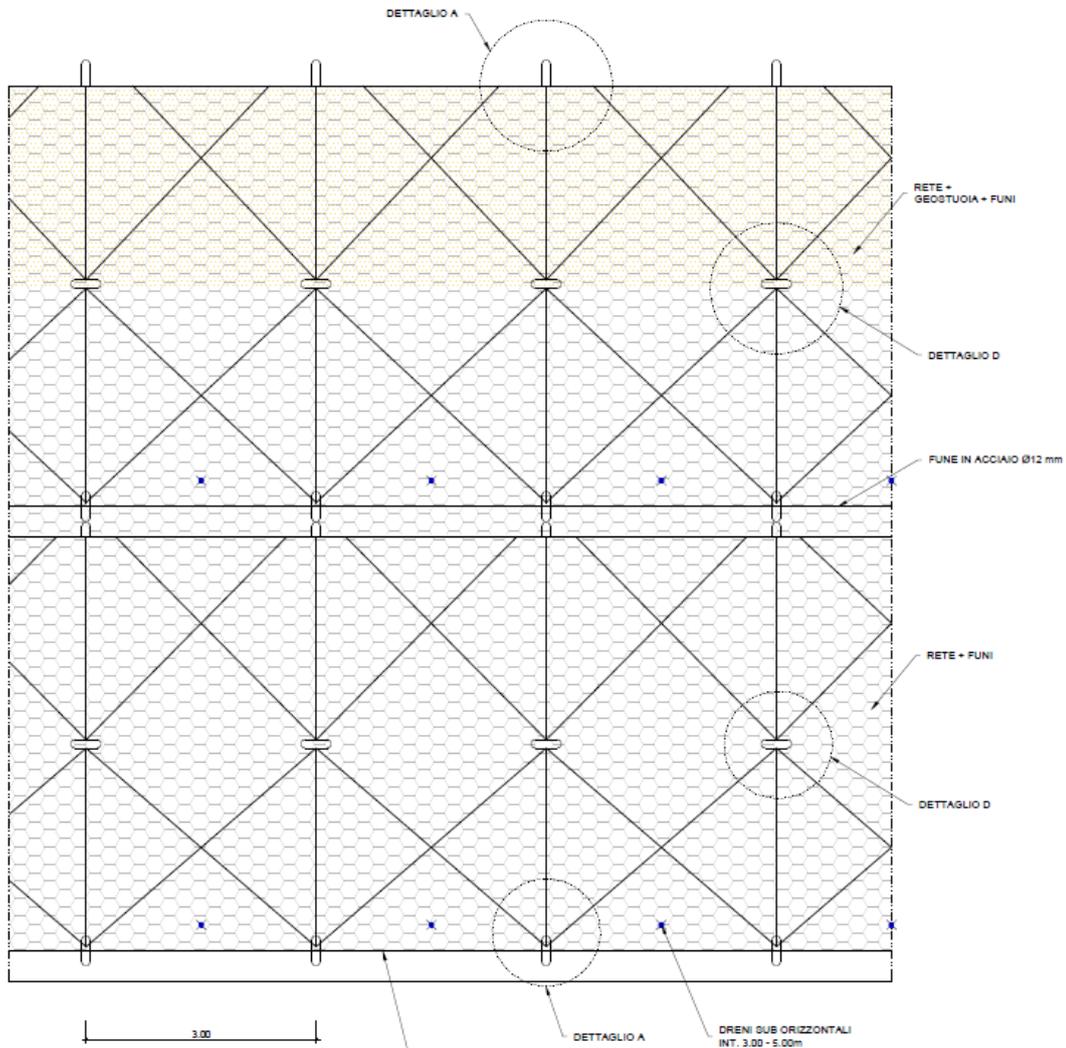


Figura 3-3 – Esempio di protezione delle scarpate definitive

In progetto sono state previste due diverse tipologie di intervento che si differenziano unicamente per la maglia del reticolo di contenimento e degli ancoraggi.

Tipo A: Maglia romboidale 6 x 3

Tipo B: Maglia romboidale 3 x 3

La prima verrà utilizzata per le scarpate realizzate in ammassi caratterizzati da un indice GSI superiore a 35, mentre la seconda per ammassi caratterizzati da indice GSI compresi tra 25 e 35.

## 4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO E SISMICO

### 4.1 MODELLO GEOTECNICO

In accordo a quanto riportato in relazione geotecnica generale, le verifiche effettuate in questa fase progettuale saranno svolte cautelativamente assumendo il limite inferiore del GSI attribuito alle unità geotecniche C1a,b,c,d/C2a,b,c. Nella tabella che segue, vengono riepilogati i valori dei parametri geotecnici delle unità presenti lungo il tracciato.

**Tabella 4-1: parametri geotecnici caratteristici associati alle unità stratigrafiche.**

Unità Geotecnica	$\gamma$	$\varphi'$	$c'$	GSI	$\sigma_{ci}$	$m_i$	$E_{op}$	$k$
	(kN/m <sup>3</sup> )	(°)	(kPa)		(MPa)		(MPa)	(m/s)
<b>TC</b>	19.0	28	5				10	
<b>CAL</b> <b>Calt</b>	20.0	35	10				50	1E-03 ÷ 1E-05
<b>C1a</b> (da 2+250 a 5+850)	24.0	*	*	30	40	9	400	1E-04 ÷ 1E-6
<b>C1b</b> (da 5+850 a 8+100)	24.0	*	*	20	40	9	300	1E-04 ÷ 1E-6
<b>C1c</b> (da inizio a 2+250)	24.0	*	*	35	40	9	500	1E-04 ÷ 1E-6
<b>C1d</b> (da 8+100 a fine)	24.0	*	*	40	40	9	800	1E-04 ÷ 1E-6
<b>C2a</b> (da 5+850 a 8+100)	24.0	*	*	30	70	9	1000	1E-04 ÷ 1E-6
<b>C2b</b> (da 2+250 a 5+850)	24.0	*	*	35	70	9	1200	1E-04 ÷ 1E-6
<b>C2c</b> (da inizio a 2+250 e da 8+100 a fine)	24.0	*	*	40	70	9	1800	1E-04 ÷ 1E-6

\* valutati caso per caso in funzione dello stato tensionale

Con:

$\gamma$  = peso specifico;

$c'$  = coesione

$m_i$  = coefficiente relativo alla roccia intatta;

$k$  = permeabilità.

$\varphi'$  = angolo d'attrito

GSI = Geological Strength Index;

E = rigidezza;



NODO DI BARI

BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO - PALESE

**PROGETTO DEFINITIVO**

RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE FERROVIARIE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IADR

00

D28RH

GE 00 00 001

A

15 di 60

Per le unità geotecniche superficiali (TC/CAL/Calt), si adotterà un valore di coesione efficace  $c'=5\text{kPa}$  in considerazione dell'applicazione di spritz-beton nella configurazione provvisoria e di una geostuoia in configurazione definitiva.

La falda, sulla base di quanto riportato in relazione geologica e geotecnica, si trova a 0 m s.l.m. e non è pertanto interferente con gli scavi.

#### 4.2 INQUADRAMENTO SISMICO

Per la valutazione dell'azione sismica, in accordo a quanto riportato nel Doc. [16], si considera  $V_R=112.5$  (=  $75 \cdot 1.5$ ) anni, categoria di sottosuolo B ( $S_S = 1.2$ ) e sito pianeggiante ( $S_T = 1$ ) e pertanto si ottiene:

**Tabella 4-2: parametri sismici.**

TRATTO	$a_g$ (g)	S (-)	$a_{max}$ (g)
A1 (da inizio a metà tracciato)	0.121	1.200	0.145
A2 (da metà a fine tracciato)	0.111	1.200	0.133

## 5 CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE

### 5.1 CRITERI GENERALI DI VERIFICA

Per le opere in esame sono svolte le seguenti verifiche (par. 6.2.4. del Doc. [1]):

- Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU);
- Verifiche agli Stati Limite d'Esercizio (SLE).

Per ogni **Stato Limite Ultimo (SLU)** deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

$E_d$  = valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

$R_d$  = valore di progetto della resistenza.

La verifica della condizione  $E_d \leq R_d$  deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I coefficienti da adottarsi nelle diverse combinazioni sono definiti in funzione del tipo di verifica da effettuare (si vedano i paragrafi seguenti). Si sottolinea che per quanto concerne le azioni di progetto  $E_d$  tali forze possono essere determinate applicando i coefficienti parziali di cui sopra alle azioni caratteristiche, oppure, a posteriori, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche (Par. 6.2.4.1 del Doc. [1]).

Per ogni **Stato Limite d'Esercizio (SLE)** deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d$$

dove:

$E_d$  = valore di progetto dell'effetto dell'azione;

$C_d$  = valore limite prescritto dell'effetto delle azioni (definito Progettista Strutturale).

La verifica della condizione  $E_d \leq C_d$  deve essere effettuata impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali.

## 5.2 VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO STATICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI E FRONTI DI SCAVO

In base a quanto indicato dalle NTC 2018 (Doc. [1]) le verifiche di sicurezza che devono essere condotte per opere costituite da materiali sciolti e per i fronti di scavo sono le seguenti:

### 5.2.1 Stati limite ultimi (SLU)

Le verifiche di stabilità in campo statico di opere in materiali sciolti e fronti di scavo devono essere eseguite secondo il seguente approccio (Par. C.6.8.6 Doc. [2]):

Approccio 1 - Combinazione 2 - A2 + M2 + R2

tenendo conto dei coefficienti parziali sotto definiti.

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

$$\frac{R_d}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{\frac{1}{\gamma_R} \cdot R}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{R}{E_d} \geq \gamma_R$$

essendo R resistenza globale del sistema calcolata sulla base delle azioni di progetto, dei parametri di progetto e della geometria di progetto.

Facendo riferimento a quanto previsto al p.to 3.5.2.3.8 del Doc Rif. [3], per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali sulle azioni in Tabella 5-1 (Tab. 5.2.V del Doc. [1]).

**Tabella 5-1: coefficienti parziali sulle azioni (Tab. 5.2.I del Doc. Rif. [1])**

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(5)</sup>	1,00 <sup>(6)</sup>	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	$\gamma_{Ce}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole	d	1,20	1,20	1,00

In Tabella 5-1 il significato dei simboli è il seguente:

- $\gamma_{G1}$  coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;
- $\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- $\gamma_B$  coefficiente parziale del peso proprio del ballast;
- $\gamma_Q$  coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
- $\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale delle azioni variabili.

I coefficienti parziali sui materiali risultano i seguenti (Tab. 6.2.II del Doc. [1]):

**Tabella 5-2: coefficienti parziali sui terreni (M1 ed M2)**

PARAMETRO	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\gamma_e'$	1.0	1.25
Coesione efficace	$\gamma_e'$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	$\gamma_{Cu}$	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_r$	1.0	1.0

	NODO DI BARI BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO - PALESE <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA <b>IADR</b>	LOTTO 00	CODIFICA D28RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

I coefficienti parziali sulle resistenze risultano i seguenti (Tab. 6.8.I del Doc. [1]):

**Tabella 5-3: coefficienti parziali sulle resistenze (R2)**

*Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo*

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1.1

### 5.3 VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI E FRONTI DI SCAVO

#### 5.3.1 Stati limite ultimi (SLU) - Verifica allo stato limite SLV

Per tutte le verifiche, l'azione sismica di progetto deve essere valutata sulla base degli Stati Limite relativi all'opera da verificare (vedasi Doc. [1]). Per le opere in oggetto, le verifiche agli Stati Limite Ultimi verranno condotte con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

Le verifiche di sicurezza agli SLU in campo sismico devono contemplare la stabilità globale in condizioni sismiche delle opere in materiali sciolti, quali rilevati, e fronti di scavo che deve essere svolta ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a  $\gamma_R = 1.2$  (vedasi Par.7.11.4 del Doc. [1]).

Come riportato al Par. 7.11.4 del Doc. [1] le verifiche possono essere condotte mediante metodi pseudostatici.

#### 5.3.2 Coefficienti sismici per la verifica di stabilità globale allo SLV

Come descritto al Par. C7.11.4 del Doc. [2], la verifica di stabilità globale va condotta mediante il metodo di analisi definito al Par. 7.11.3.5 del Doc. [1] inerente alla stabilità dei pendii.

Sulla base di quanto definito al Par.7.11.3.5.2 del Doc. Rif. [1], in mancanza di studi specifici, i coefficienti sismici  $k_h$  (orizzontale) e  $k_v$  (verticale) sono definiti come:

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

$$k_v = \pm k_h / 2$$

essendo  $a_{max}$  l'azione sismica di progetto, pari al prodotto tra la massima accelerazione alla base  $a_g$  ed il coefficiente  $S$  a sua volta pari al prodotto tra il coefficiente stratigrafico  $S_s$  ed il coefficiente topografico  $S_T$ .

Il coefficiente  $\beta_s$  di riduzione dell'accelerazione massima è pari a 0.38 per verifiche allo SLV di fronti di scavo o rilevati (Doc. [1]).

Nei casi in esame pertanto si ha:

**Tabella 5-4: coefficienti sismici.**

TRATTO	$a_{max}$ (g)	$k_h$ (-)	$K_v$ (-)
A1 (da inizio a metà tracciato)	0.145	0.055	0.027
A2 (da metà a fine tracciato)	0.133	0.051	0.025



NODO DI BARI

BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO - PALESE

**PROGETTO DEFINITIVO**

RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D28RH	GE 00 00 001	A	21 di 60

## 6 APPROCCIO METODOLOGICO PER LE VERIFICHE GEOTECNICHE

### 6.1 APPROCCIO METODOLOGICO PER LE VERIFICHE SLU

Le verifiche geotecniche allo Stato Limite Ultimo riguardano il calcolo della stabilità globale di rilevati e trincee. Per le opere definitive sono state condotte verifiche sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche mentre per le trincee provvisorie, aventi durata inferiore a 2 anni, in accordo a quanto riportato nel Doc. [1], le verifiche sismiche sono state omesse.

L'esame delle condizioni di stabilità dei rilevati e trincee è stato condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite. Il coefficiente di sicurezza a rottura lungo la superficie di scorrimento viene definito come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie e quella effettivamente mobilitata:

$$F_s = \frac{T_{disp}}{T_{mob}}$$

Il codice VSP implementato in Paratie Plus è stato utilizzato nel presente documento per condurre le analisi di stabilità, sia in campo statico sia in campo sismico (adottando il metodo pseudo-statico), per le verifiche SLU richieste dalla Normativa per le opere in terreni sciolti e fronti di scavo.

Il modulo VSP di Paratie Plus permette di calcolare la stabilità complessiva di un versante, di un fronte di scavo o di un rilevato in cui può o meno essere presente un'opera di sostegno flessibile. Paratie Plus utilizza i metodi dell'equilibrio limite, prevede la possibilità di scegliere diversi metodi di analisi e permette di prendere in considerazione superfici di scorrimento definite con metodologie differenti.

In particolare, Paratie Plus prevede il calcolo della stabilità per mezzo dei seguenti metodi:

- Metodo di Bishop semplificato;
- Metodo di Janbu semplificato;
- Metodo di Morgenstern & Price.

Tutti questi si basano sull'individuare una porzione di terreno instabile mobilitata lungo una potenziale superficie di scorrimento, suddividendo la regione di terreno mobilitata in conci verticali compresi tra la sommità del terreno e la superficie di scorrimento e applicando le condizioni di equilibrio generali e relative ai singoli conci. Poiché nella scrittura delle condizioni di equilibrio del singolo concio è necessario includere le azioni che esso scambia con i conci adiacenti, si ottiene un sistema risolvibile in



NODO DI BARI

BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO - PALESE

**PROGETTO DEFINITIVO**

RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D28RH	GE 00 00 001	A	22 di 60

cui le incognite (il coefficiente di sicurezza e le azioni interne fra i conci) superano le equazioni disponibili. La differenza fra i diversi metodi risiede nel modo in cui il problema viene reso staticamente determinato; in generale vengono introdotte ulteriori ipotesi, diverse da un metodo all'altro, relativamente alle azioni di interazione fra conci adiacenti.

Nelle analisi effettuate si è fatto riferimento al metodo di Morgenstern & Price che ipotizza che l'inclinazione delle forze tra i conci vari con la posizione  $x$  del concio, secondo una legge  $f(x)$  nota a meno di un moltiplicatore  $\lambda$  introdotto come variabile aggiuntiva. Il coefficiente di sicurezza è ottenuto imponendo condizioni di equilibrio generali sia alla traslazione sia alla rotazione. Il metodo non richiede che la superficie di scivolamento sia un arco di cerchio.

Per la definizione delle superfici da analizzare, invece, Paratie Plus offre la possibilità di scegliere tra le seguenti metodologie:

- Archi di cerchio aventi centro noto e raggi compresi in un intervallo;
- Archi di cerchio entranti e uscenti in posizioni note;
- Griglia dei centri e limiti geometrici sui raggi;
- Superficie di scivolamento generica definita tramite una spezzata.

Per le analisi dei rilevati è stato utilizzato il secondo modo e pertanto è stato definito un intervallo di entrata (a monte), uno di uscita (a valle) e il raggio massimo. Sulla base di questi intervalli il programma ha generato diversi archi di cerchio contraddistinti ovviamente da diversi centri. Sono state escluse, perché considerate non significative, le superfici di rottura corticali (con profondità minori di 1 m ca.).

Per le analisi di stabilità delle trincee invece sono stati utilizzati due diversi metodi, uno per la ricerca di superfici più superficiali, all'interno cioè dei primi strati di terreno a comportamento granulare, e una per la ricerca di potenziali superfici critiche che interessano l'ammasso roccioso. Nel primo caso è stato adottato un metodo analogo a quello utilizzato per i rilevati mentre nel secondo caso l'assunzione di superfici circolari è stata ritenuta poco realistica e si è ritenuto più opportuno considerare fasci di superfici planari. Sono state quindi definite delle linee passanti per il piede di ogni scarpata. Per ciascuna linea così inserita il software ha generato un fascio di rette, avente centro in corrispondenza del piede, che intercettano il piano campagna in punti diversi.

## 7 ANALISI DELLE SEZIONI DI CALCOLO

Per l'esecuzione delle verifiche sono state selezionate 5 sezioni in trincea ritenute le maggiormente rappresentative in funzione dell'assetto stratigrafico e della geometria della sezione. Sono state dunque analizzate:

- La sezione in trincea definitiva di massima altezza, ubicata sia nella parte di tracciato con GSI migliore (modello 1), sia nella parte di tracciato con GSI minore (modello 3)
- La sezione in trincea provvisoria di massima altezza, ubicata sia nella parte di tracciato in cui sono presenti i calcari alterati nella parte superficiale (modello 4) sia nella parte di tracciato in cui sono presenti le calcareniti (modello 2)
- La sezione in trincea provvisoria prevista per TR03 e TR04, in affiancamento al rilevato stradale della SS16, in cui lo scavo è realizzato senza banche (modello 5)

**Tabella 7-1: trincee - sezioni di analisi.**

Sezione	Progr.	Altezza banca (m)	Larghezza banca (m)	Stratigrafia			Altezza scavo (m)	Pendenza Scavo
				da (m)	a (m)	U.G.		
1 - Trincea definitiva	1+775	6.00	2.00	0.00	0.50	TC	12.00	1:1
				0.50	1.50	Calt		
				1.50	8.00	C1a		4:1
				8.00	-	C2		
2 - Trincea provvisoria	8+500	6.00	1.00	0.00	0.50	TC	19.50	1:1
				0.50	2.50	CAL		
				2.50	8.00	C1a		6:1
				8.00	-	C2		
3 - Trincea definitiva	6+100	6.00	2.00	0.00	0.50	TC	12.00	1:1
				0.50	1.50	Calt		
				1.50	8.00	C1b		4:1
				8.00	-	C2		
4 - Trincea provvisoria	7+350	6.00	1.00	0.00	0.50	TC	18.00	1:1
				0.50	1.50	Calt		
				1.50	8.00	C1b		6:1
				8.00	-	C2		
5 - Trincea provvisoria per muro ad "U"	5+450	-	-	0.00	0.50	TC	15.00	1:1
				0.50	1.50	Calt		
				1.50	8.00	C1a		6:1
				8.00	-	C2		



NODO DI BARI

BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO - PALESE

**PROGETTO DEFINITIVO**

RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE FERROVIARIE

COMMESSA

LOTTO

CODIFICA

DOCUMENTO

REV.

FOGLIO

IADR

00

D28RH

GE 00 00 001

A

24 di 60

Per la valutazione dei parametri di resistenza in termini di Mohr Coulomb ( $c'$  e  $\phi'$ ) dell'ammasso roccioso le singole unità geotecniche sono state suddivise in sottostrati e per ognuno di essi è stato considerato un valore di  $\sigma_{3max}$  determinato attraverso la relazione:

$$\sigma_{3max} = 0.72 \sigma_{cm} \left( \frac{\sigma_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.91}$$

con:

- $\sigma_{cm}$  = resistenza uniassiale dell'ammasso;
- $\gamma$  = peso specifico dell'ammasso;
- H = profondità della base del singolo sottostrato rispetto al piano campagna.

Per tutti i modelli è stata impiegata la successione stratigrafica più cautelativa.

## 7.1 CARICHI DI PROGETTO

I carichi di progetto considerati nelle analisi oggetto del presente documento sono i seguenti:

- Sovraccarico accidentale (SLE-SLU) di 10 kPa per tenere in conto dell'eventuale presenza di mezzi di cantiere sulla sommità delle trincee.
- Azione sismica per le analisi di stabilità. (SLU). Tale carico è considerato solamente nelle verifiche delle trincee definitive. Si omette la verifica sismica per quanto riguarda gli scavi provvisori poiché avranno durata <2 anni

Il sovraccarico da traffico stradale, quanto presente, è stato posto pari a 20kPa.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto si rimanda al paragrafo 5.3.2 del presente documento.

## 7.2 ANALISI STABILITÀ TRINCEA 1

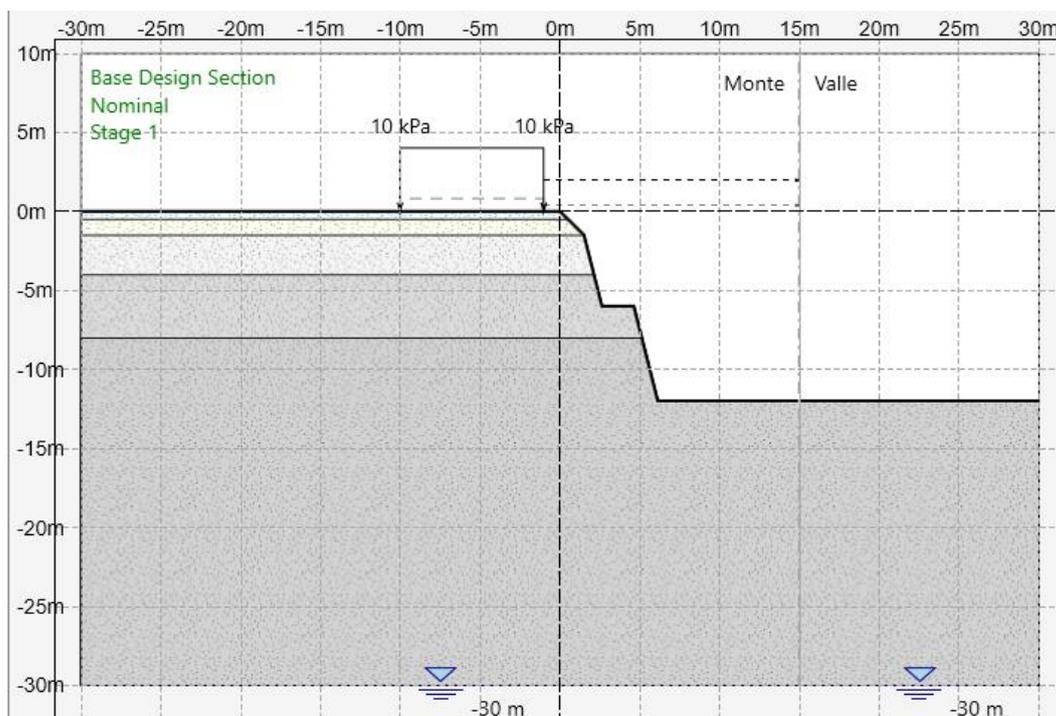


Figura 7-1: modello di calcolo.

Tabella 7-2: stratigrafia di analisi e parametri geotecnici.

U.G.	da (m)	a (m)	$\sigma_{ci}$ (MPa)	GSI	$m_i$	D	$\sigma_{3max}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\Phi'$ (°)
TC	0.00	-0.50	-	-	-	-	-	19.0	5	28
Calt	-0.50	-1.50	-	-	-	-	-	20.0	5	35
C1a	-1.50	-4.00	40	30	9	0.7	0.090	24.0	43	43
	-4.00	-8.00					0.170		60	43
C2	-8.00	-	70	35	9	0.7	0.260	24.0	122	43

### 7.2.1 Analisi in condizioni statiche

Nelle figure seguenti vengono riportate le varie superfici analizzate in condizioni statiche e i relativi fattori di sicurezza minimi ottenuti.

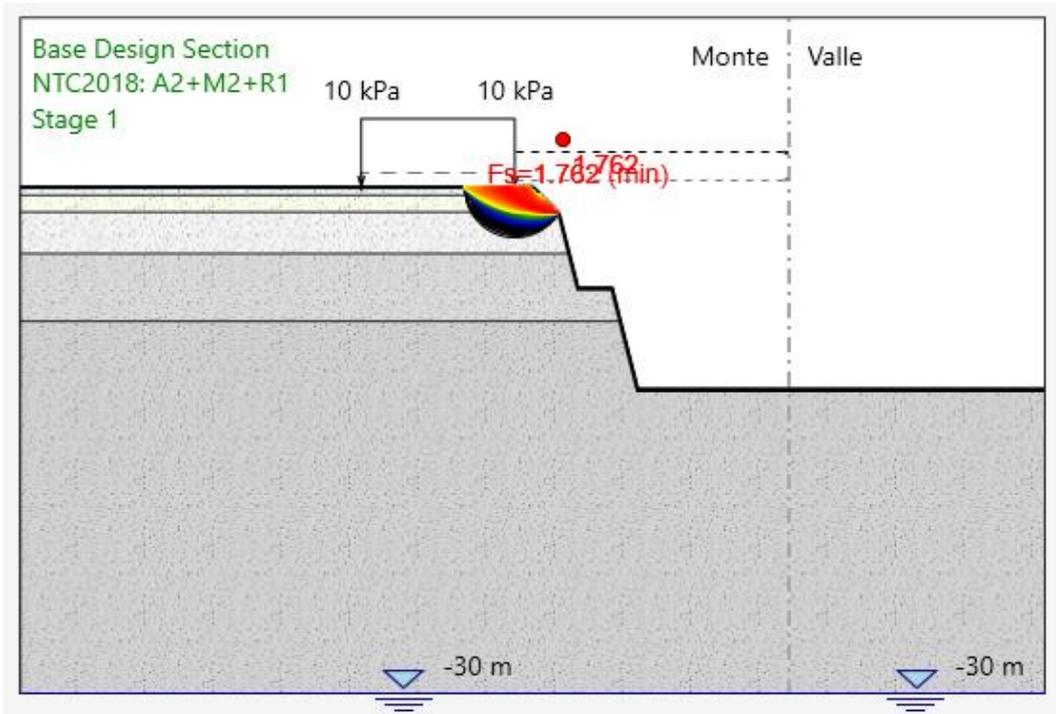


Figura 7-2: superfici analizzate su scarpata con pendenza 1:1.

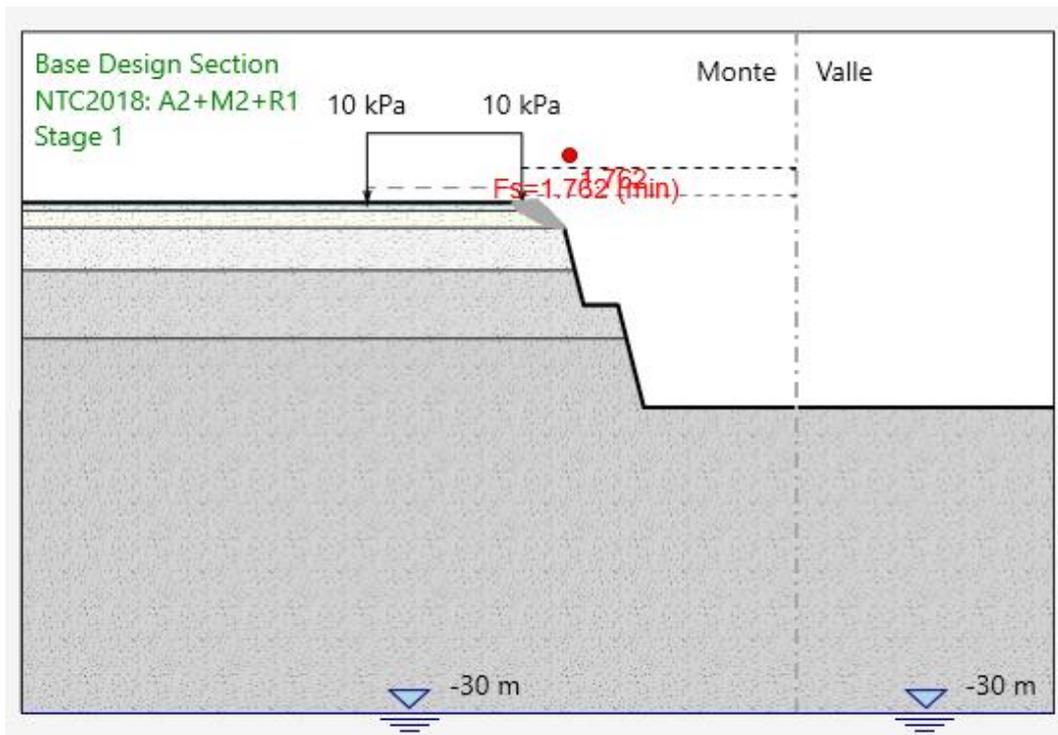


Figura 7-3: superficie critica su scarpata con pendenza 1:1.

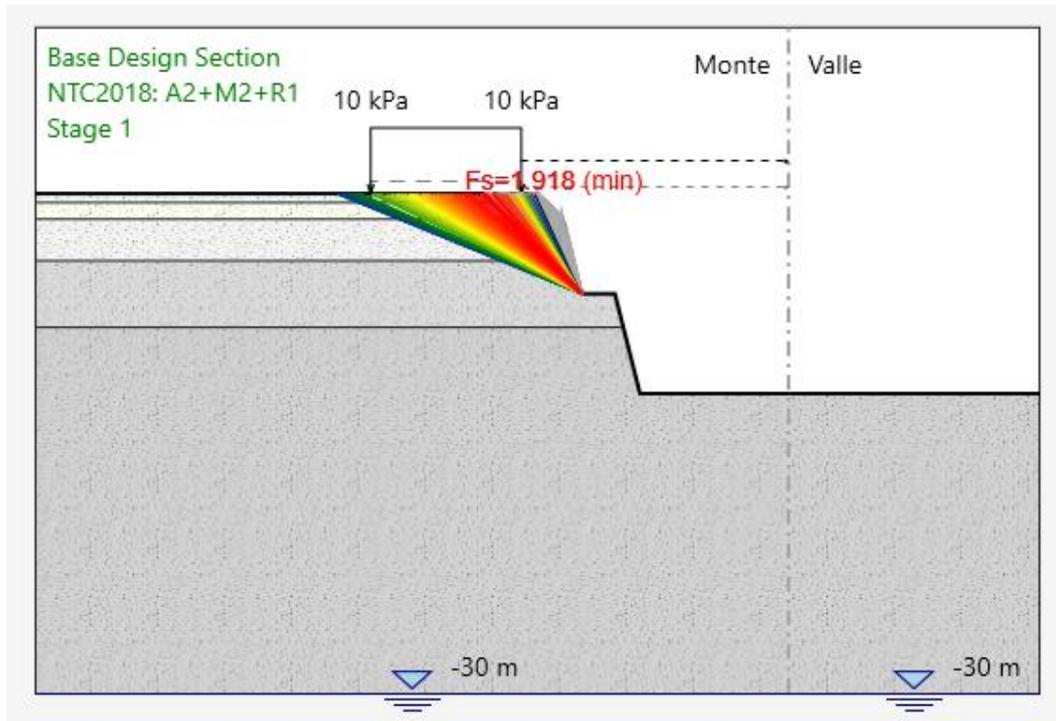


Figura 7-4: superfici analizzate sul primo tratto di scarpata con pendenza 4:1.

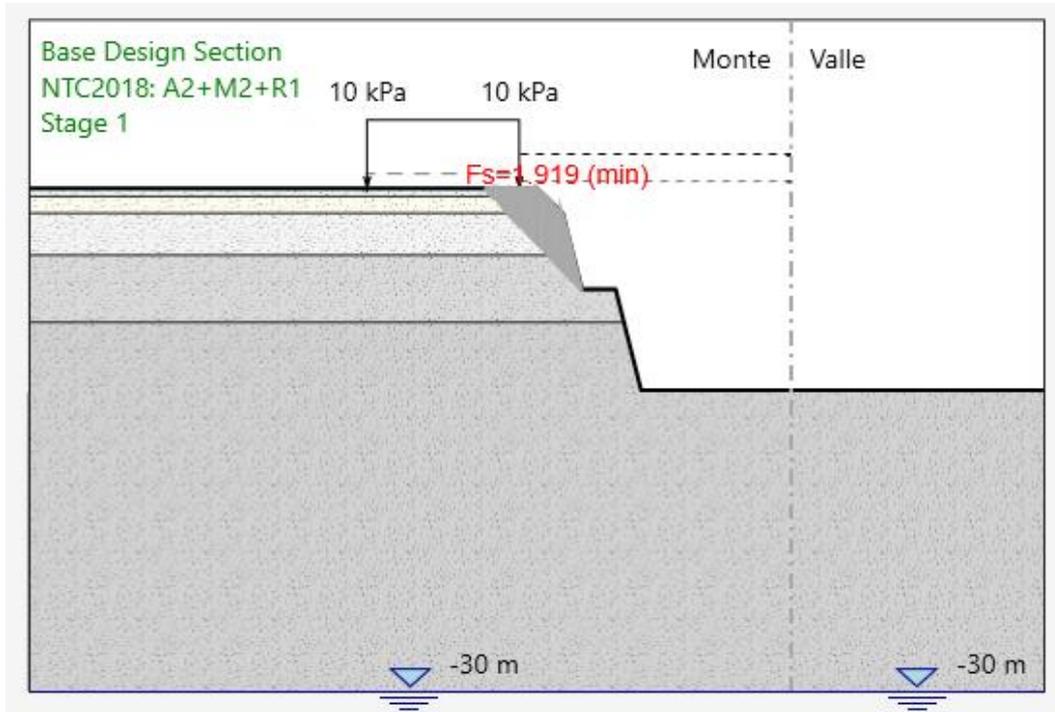


Figura 7-5: superficie critica sul primo tratto di scarpata con pendenza 4:1.

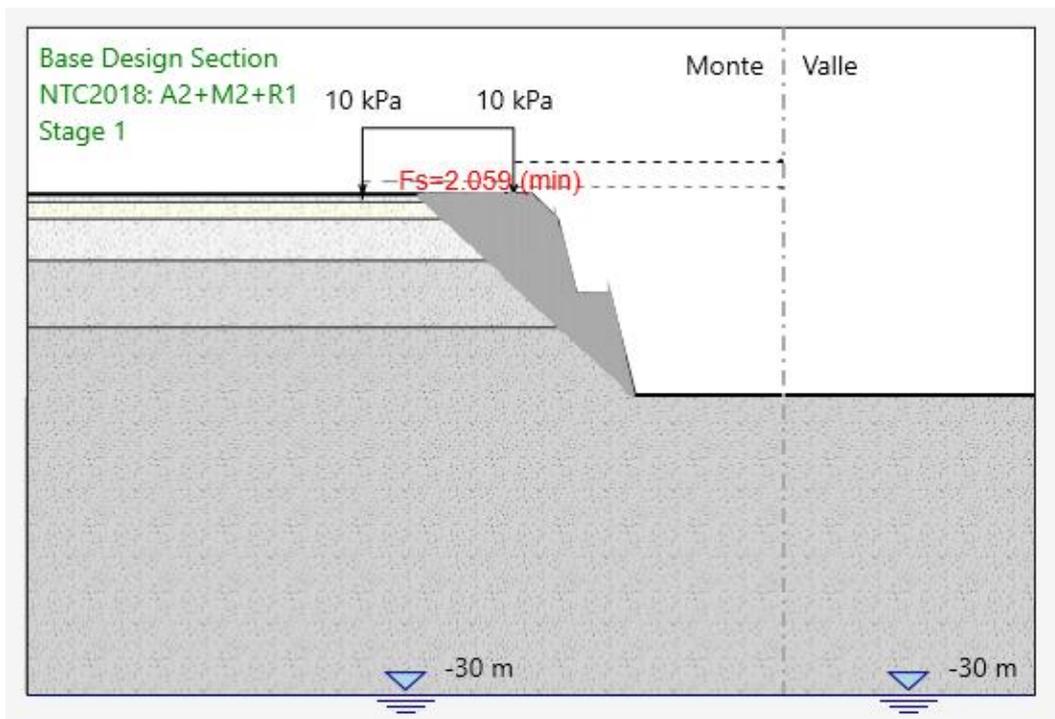
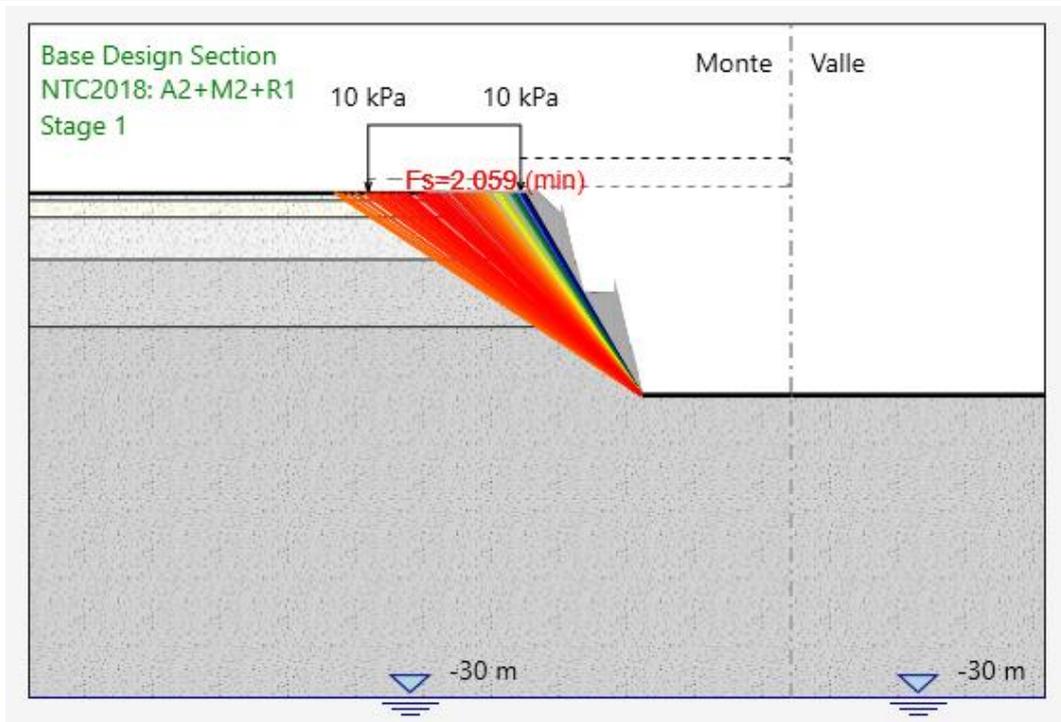


Figura 7-6: superficie critica sul secondo tratto di scarpata con pendenza 4:1.



**Figura 7-7: superfici analizzate sul secondo tratto di scarpata con pendenza 4:1.**

Il fattore di sicurezza FS minimo, tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS_{\min} = 1.918$$

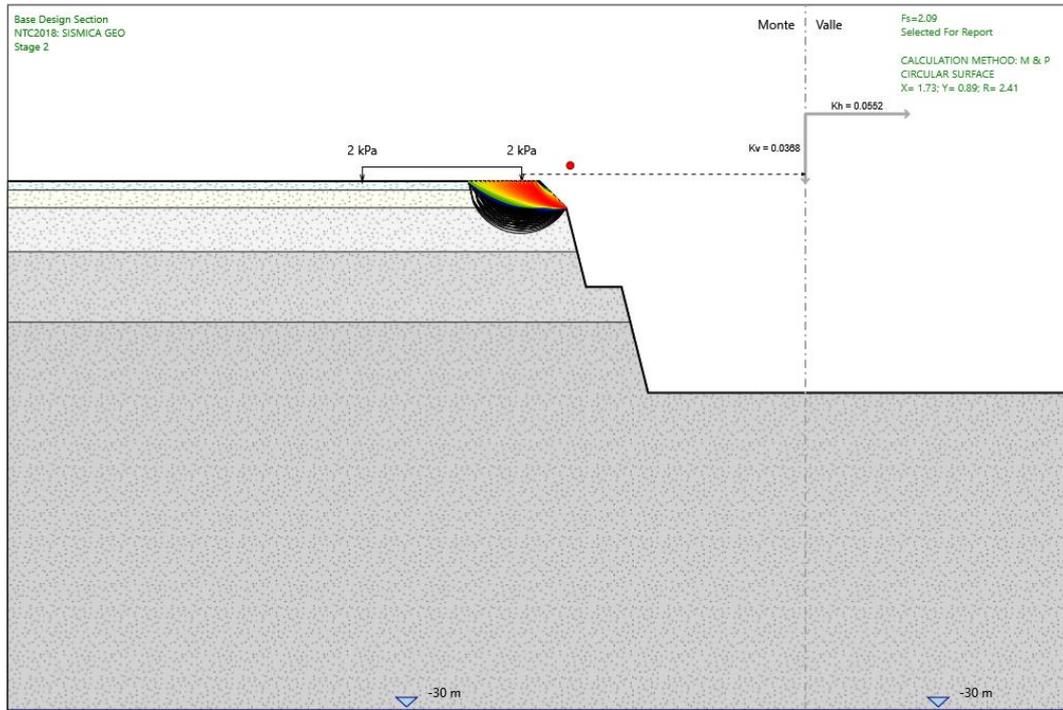
Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS_{\min} \geq R_2 = 1.1$$

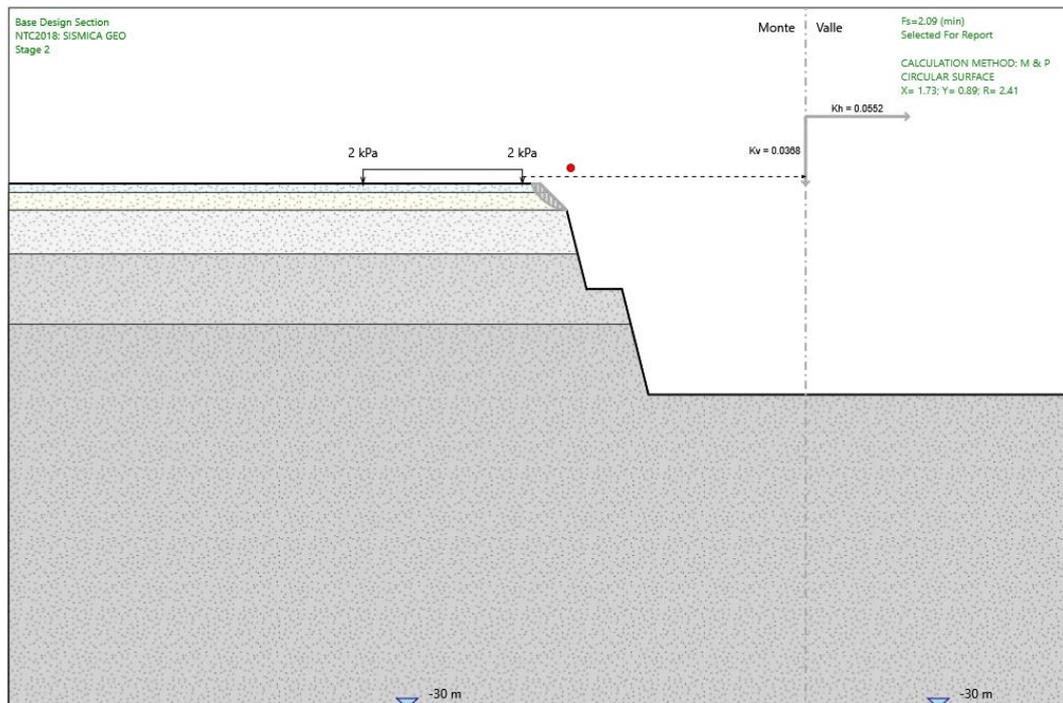
La verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

### **7.2.2 Analisi in condizioni sismiche**

Nelle figure seguenti vengono riportate le varie superfici analizzate in condizioni statiche e i relativi fattori di sicurezza minimi ottenuti.



**Figura 7-8: superfici analizzate su scarpata con pendenza 1:1.**



**Figura 7-9: superficie critica su scarpata con pendenza 1:1.**

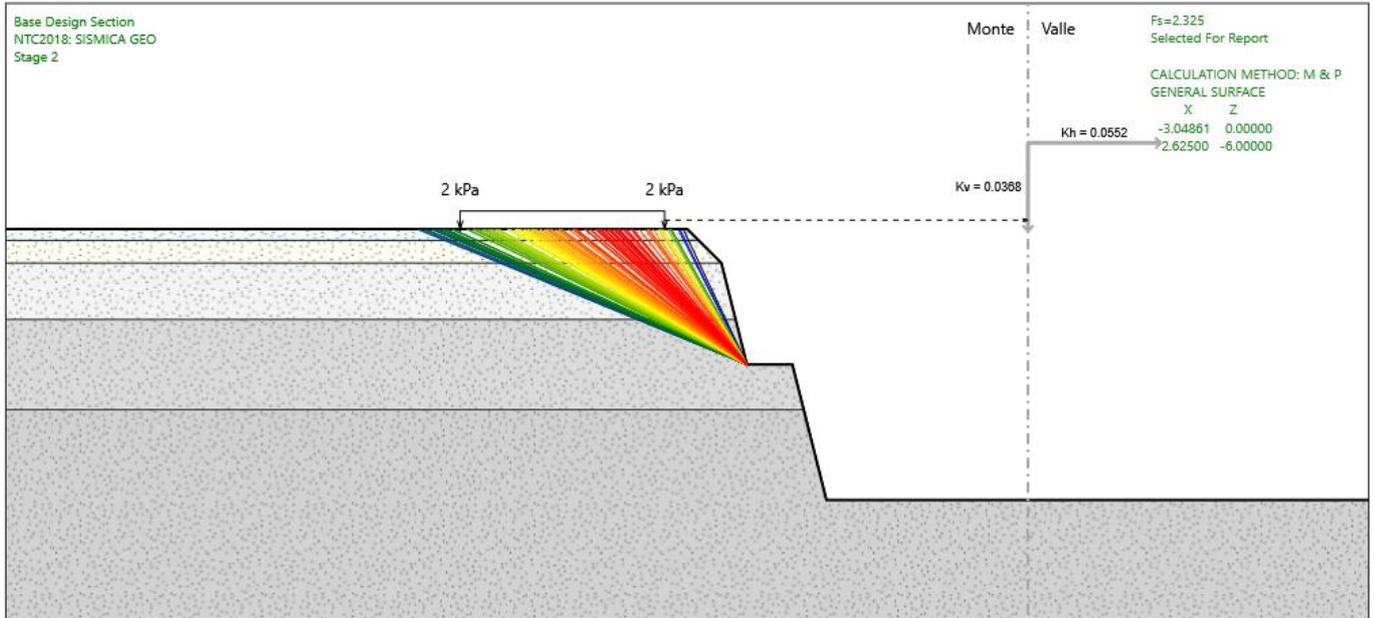


Figura 7-10: superfici analizzate sul primo tratto di scarpata con pendenza 4:1.

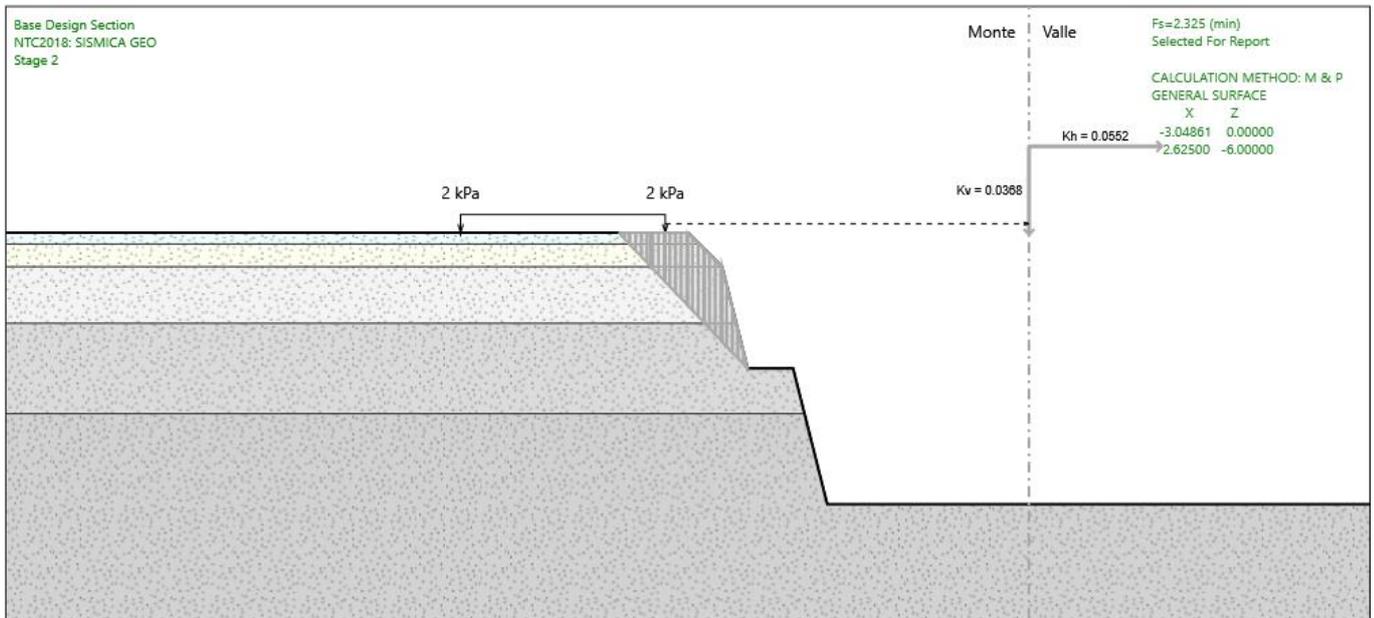
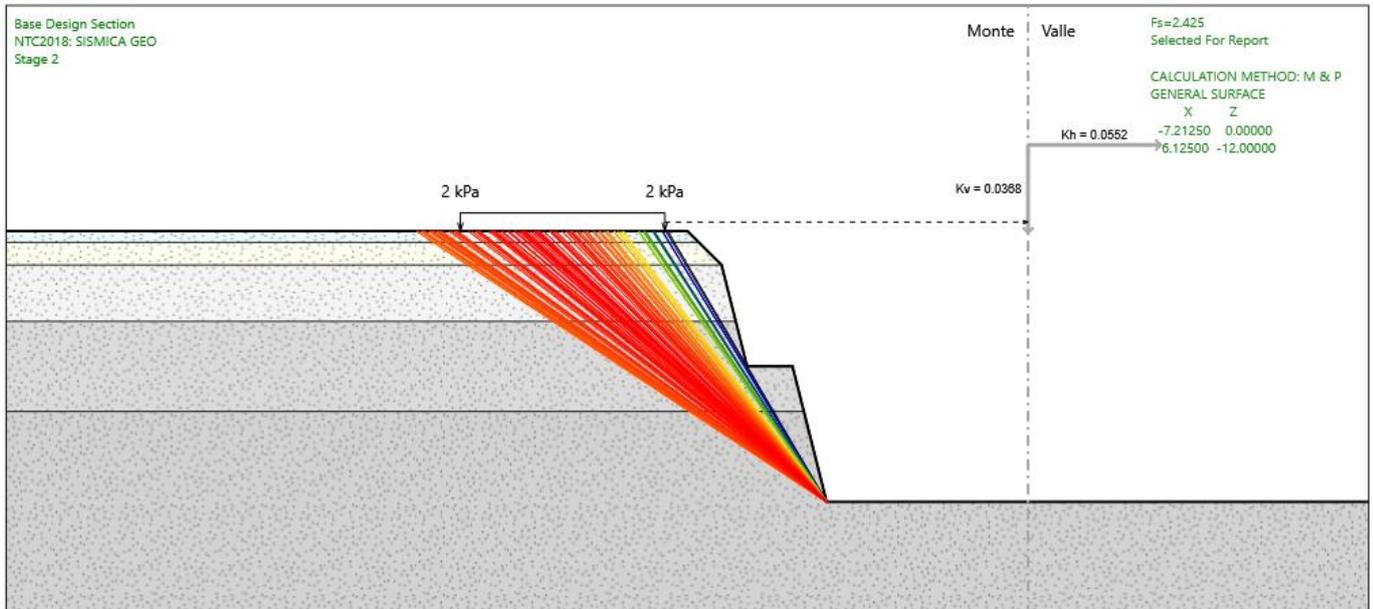
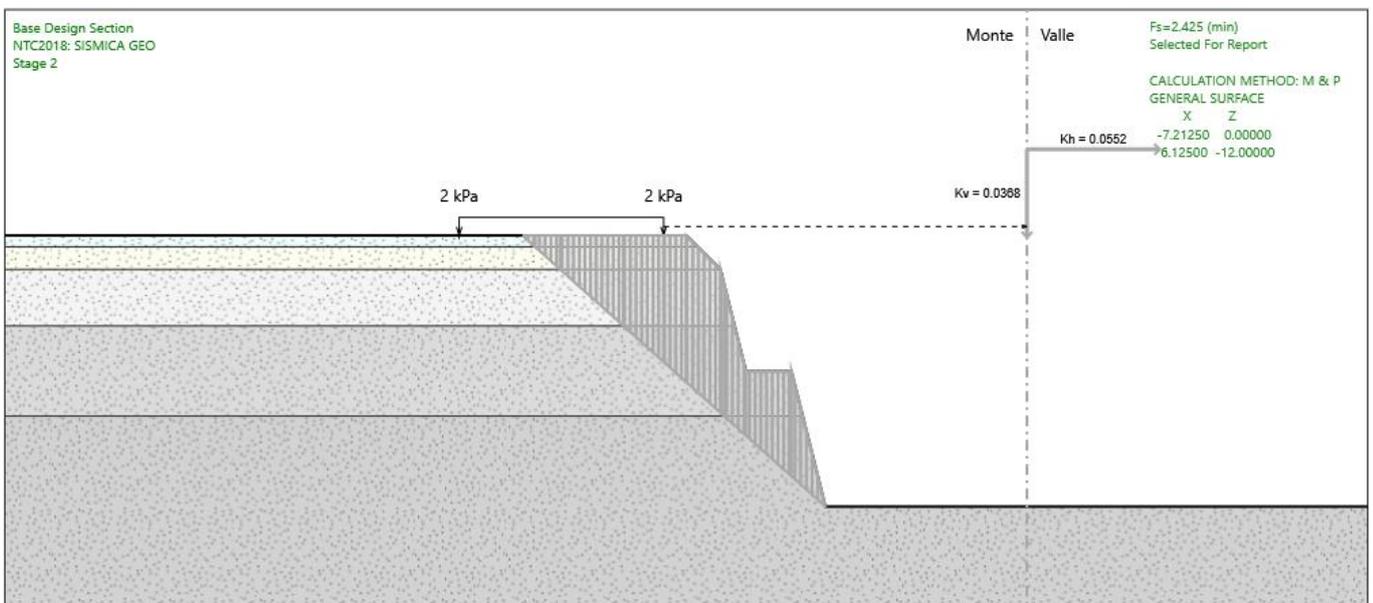


Figura 7-11: superficie critica sul primo tratto di scarpata con pendenza 4:1.



**Figura 7-12: superfici analizzate sul secondo tratto di scarpata con pendenza 4:1.**



**Figura 7-13: superficie critica sul secondo tratto di scarpata con pendenza 4:1.**



NODO DI BARI

BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO - PALESE

**PROGETTO DEFINITIVO**

RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D28RH	GE 00 00 001	A	33 di 60

Il fattore di sicurezza FS minimo, tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS_{\text{MIN}} = 2.09$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS_{\text{MIN}} \geq R_2 = 1.2$$

La verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.

### 7.3 ANALISI STABILITÀ TRINCEA 2

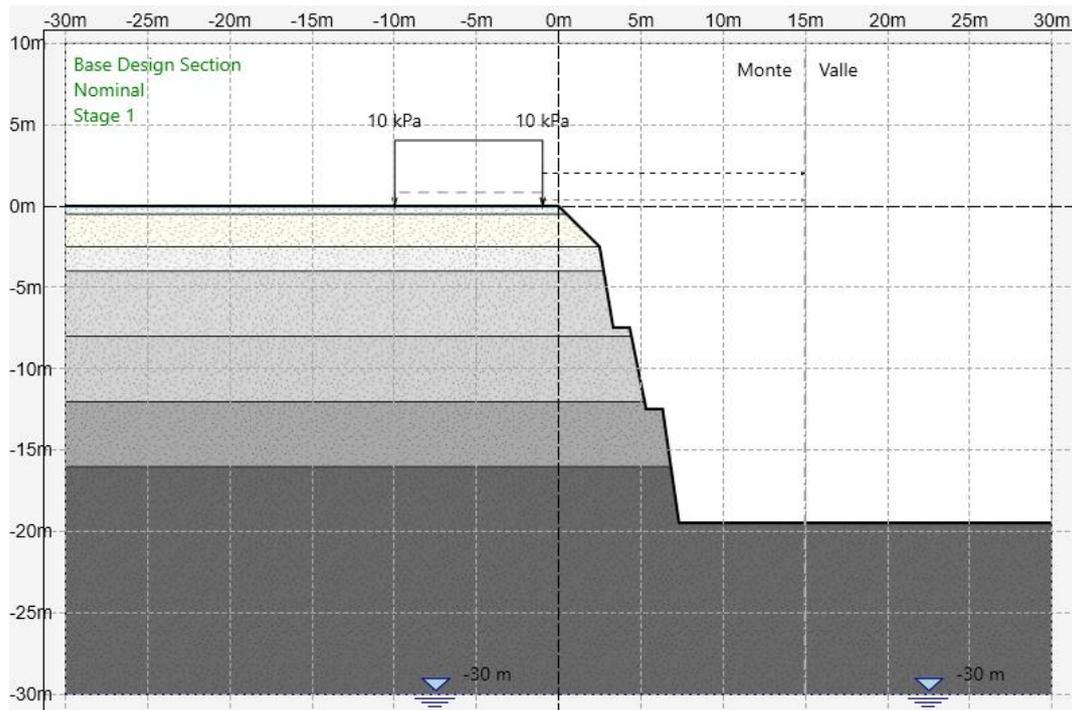


Figura 7-14: modello di calcolo.

Tabella 7-3: stratigrafia di analisi e parametri geotecnici.

U.G.	da (m)	a (m)	$\sigma_{ci}$ (MPa)	GSI	$m_i$	D	$\sigma_{3max}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\Phi'$ (°)
TC	0.00	-0.50	-	-	-	-	-	19.0	5	28
CAL	-0.50	-2.50	-	-	-	-	-	20.0	5	35
C1a	-2.50	-4.00	40	30	9	0.7	0.090	24.0	43	43
	-4.00	-8.00					0.170		60	43
C2	-8.00	-12.00	70	35	9	0.7	0.260	24.0	122	43
	-12.00	-16.00					0.340		140	43
	-16.00	-					0.400		152	43

### 7.3.1 Analisi in condizioni statiche

Nelle figure seguenti vengono riportate le varie superfici analizzate in condizioni statiche e i relativi fattori di sicurezza minimi ottenuti.

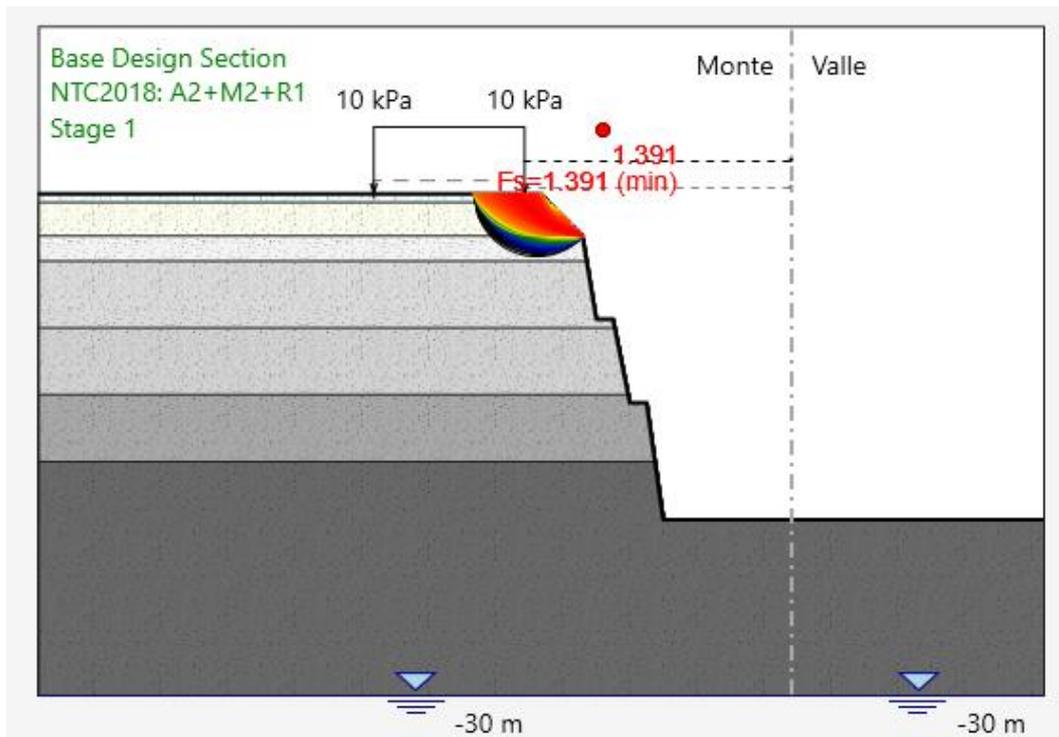


Figura 7-15: superfici analizzate su scarpata con pendenza 1:1.

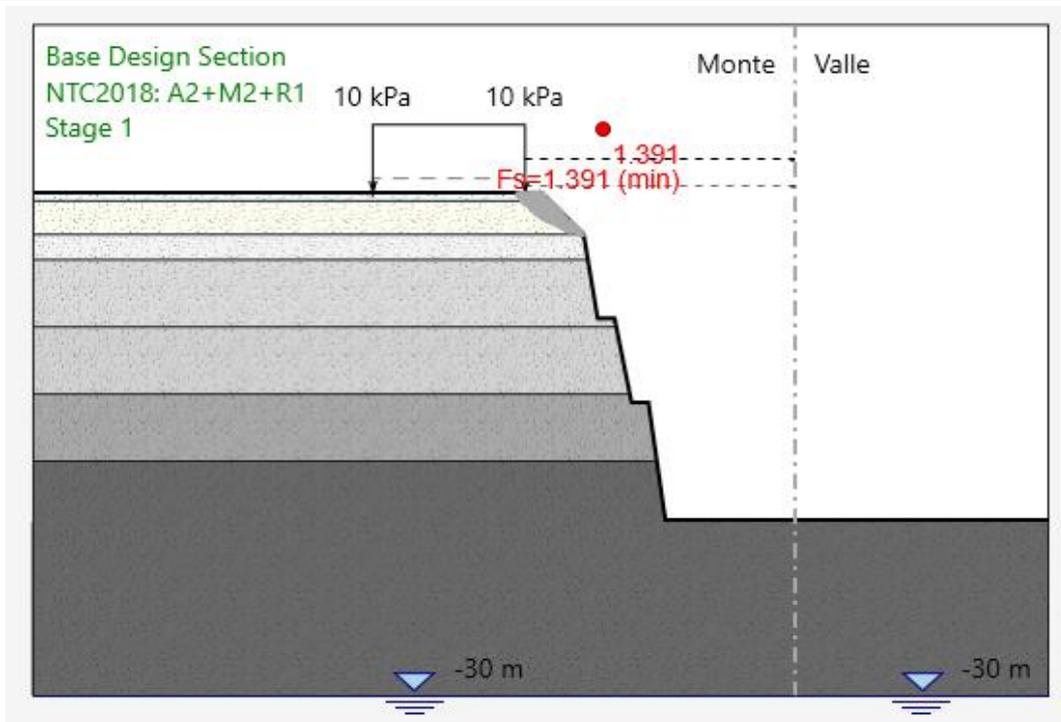
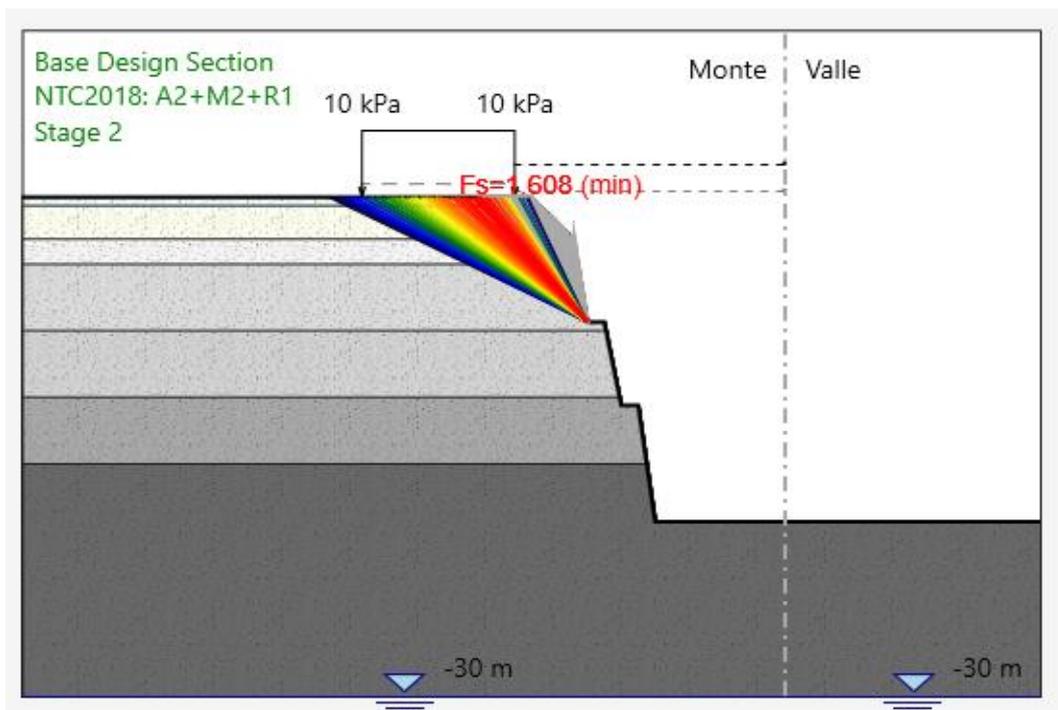
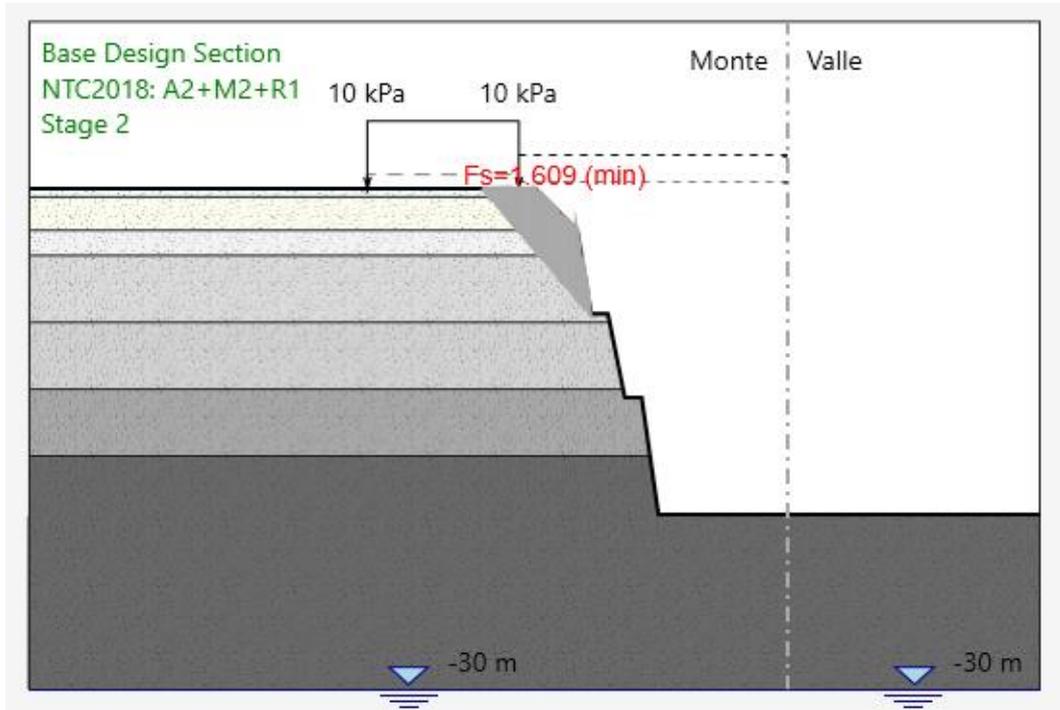


Figura 7-16: superficie critica su scarpata con pendenza 1:1.



**Figura 7-17: superfici analizzate sul primo tratto di scarpata con pendenza 6:1.**



**Figura 7-18: superficie critica sul primo tratto di scarpata con pendenza 6:1.**

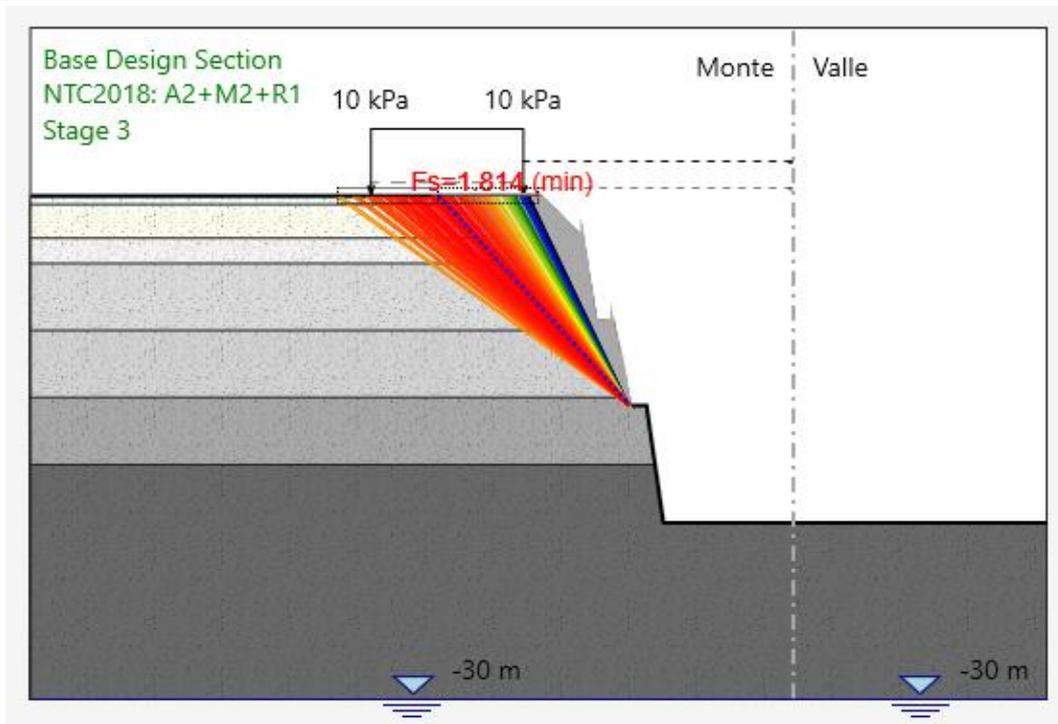


Figura 7-19: superfici analizzate sul secondo tratto di scarpata con pendenza 6:1.

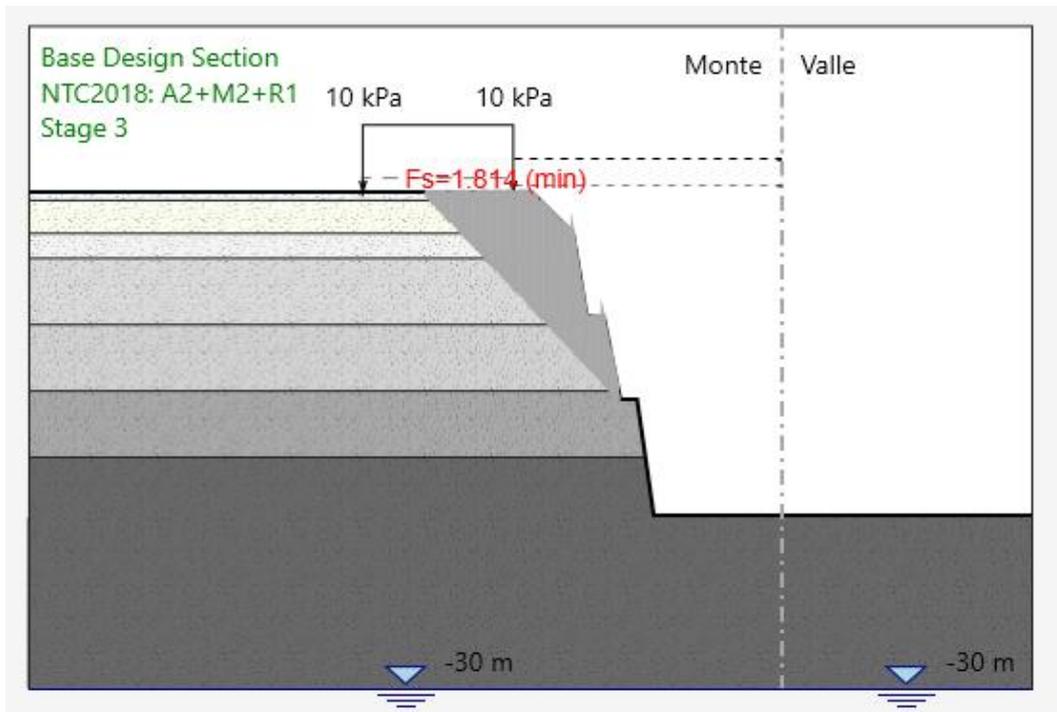


Figura 7-20: superficie critica sul secondo tratto di scarpata con pendenza 6:1.

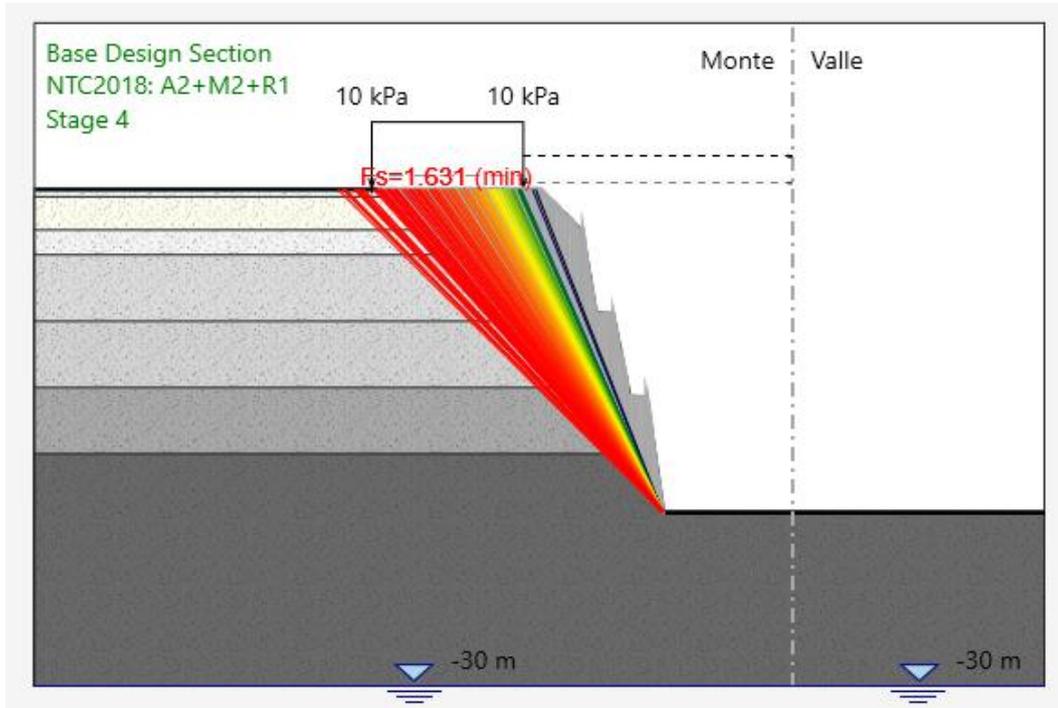
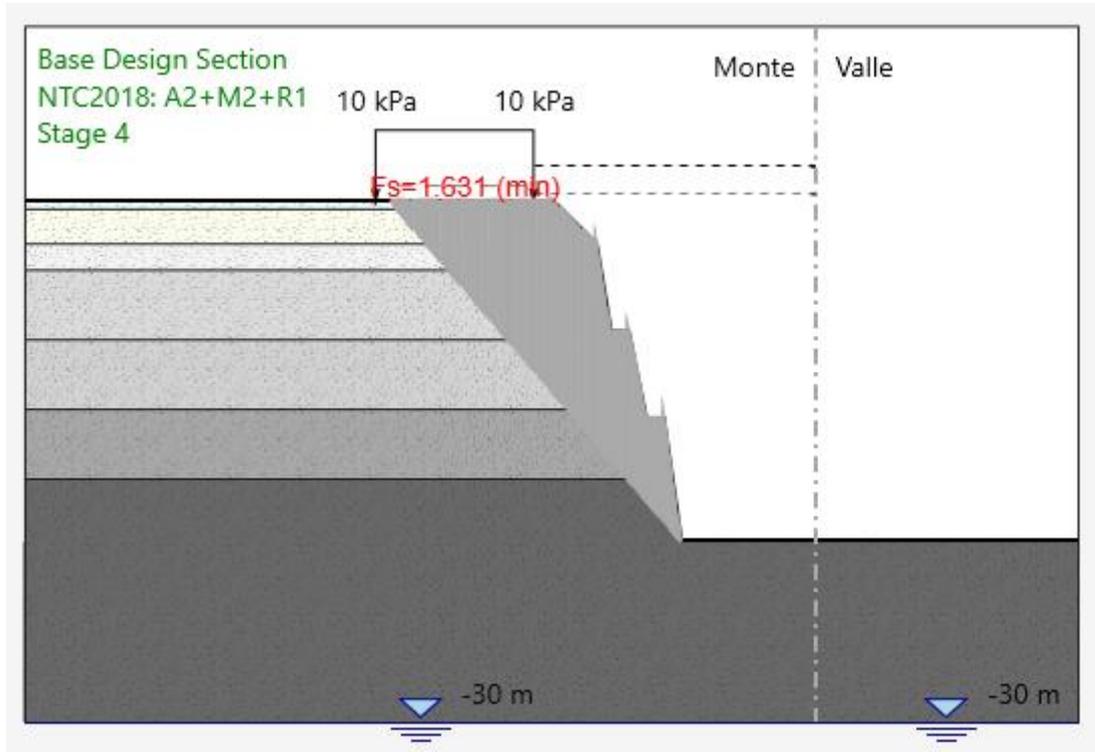


Figura 7-21: superfici analizzate sul terzo tratto di scarpata con pendenza 6:1.



**Figura 7-22: superficie critica sul terzo tratto di scarpata con pendenza 6:1.**

Il fattore di sicurezza FS minimo, tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$F_{S_{MIN}} = 1.391$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$F_{S_{MIN}} \geq R_2 = 1.1$$

La verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

## 7.4 ANALISI STABILITÀ TRINCEA 3

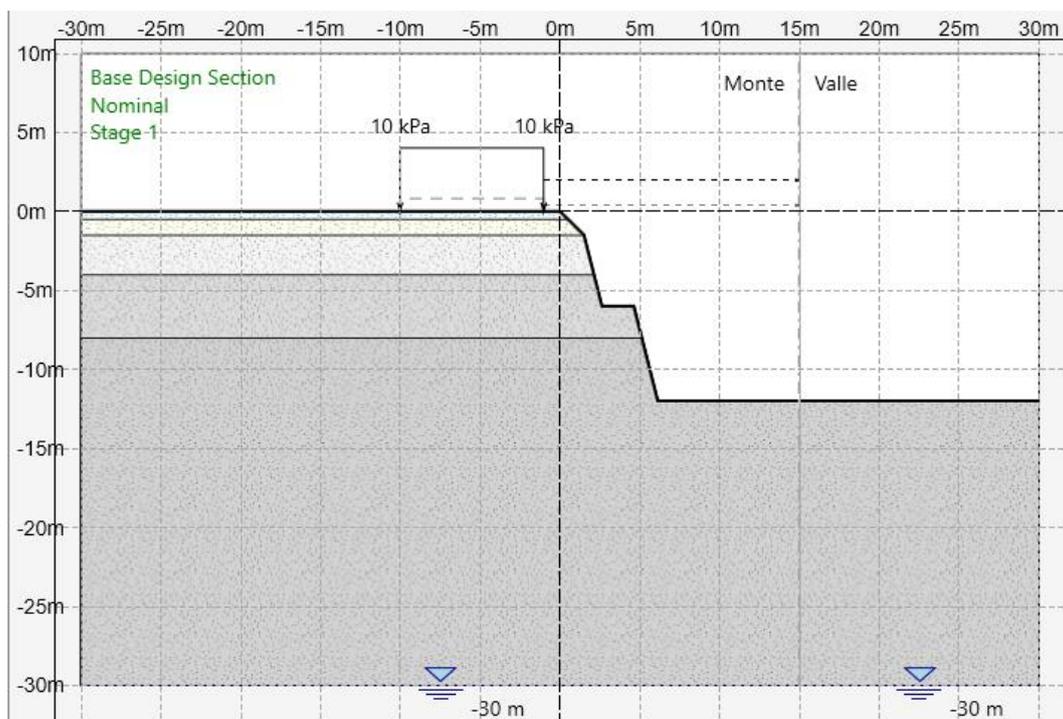


Figura 7-23: modello di calcolo.

Tabella 7-4: stratigrafia di analisi e parametri geotecnici.

U.G.	da (m)	a (m)	$\sigma_{ci}$ (MPa)	GSI	$m_i$	D	$\sigma_{3max}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\Phi'$ (°)
TC	0.00	-0.50	-	-	-	-	-	19.0	5	28
Calt	-0.50	-1.50	-	-	-	-	-	20.0	5	35
C1b	-1.50	-4.00	40	20	9	0.7	0.085	24.0	25	42
	-4.00	-8.00					0.160		37	37
C2	-8.00	-	70	35	9	0.7	0.260	24.0	122	43

### 7.4.1 Analisi in condizioni statiche

Nelle figure seguenti vengono riportate le varie superfici analizzate in condizioni statiche e i relativi fattori di sicurezza minimi ottenuti.

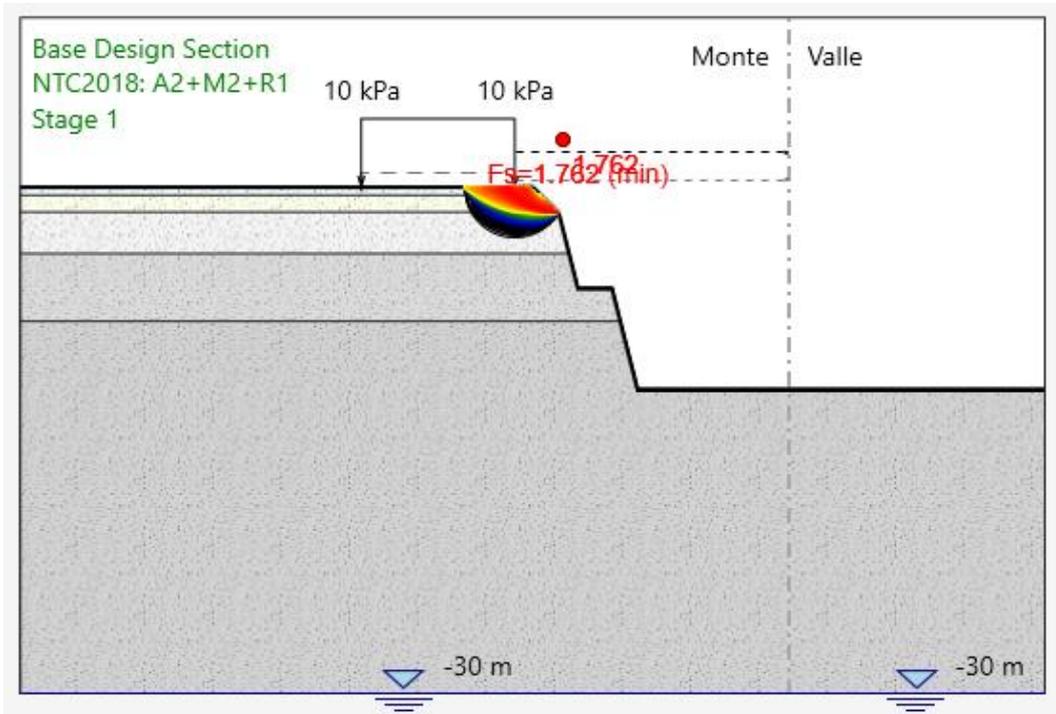


Figura 7-24: superfici analizzate su scarpata con pendenza 1:1.

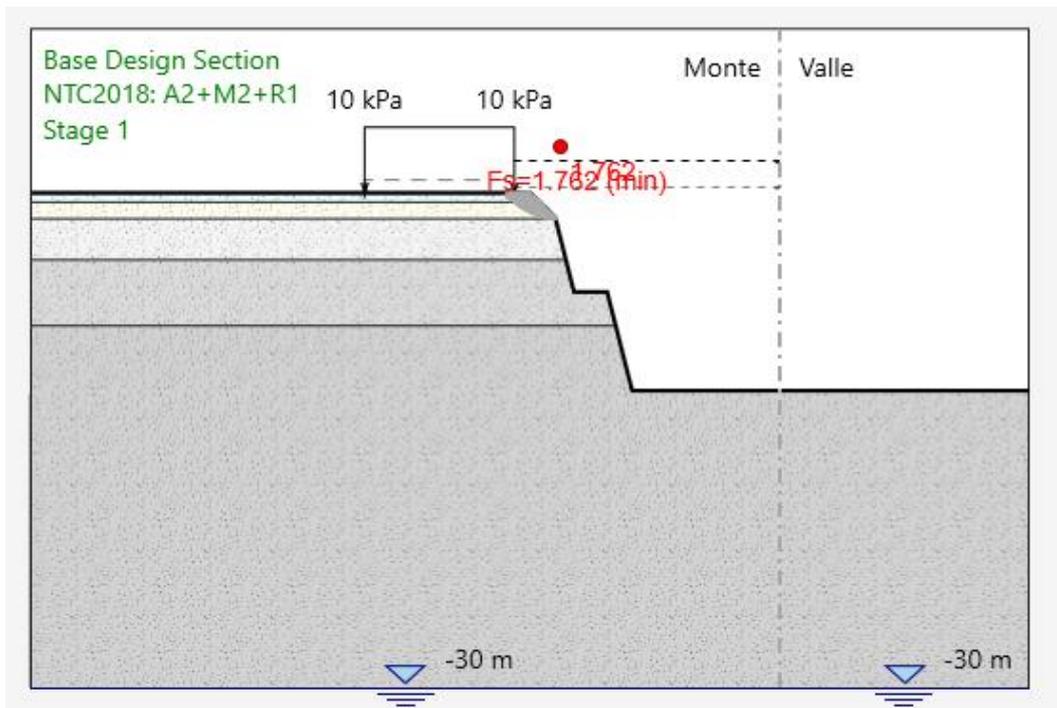


Figura 7-25: superficie critica su scarpata con pendenza 1:1.

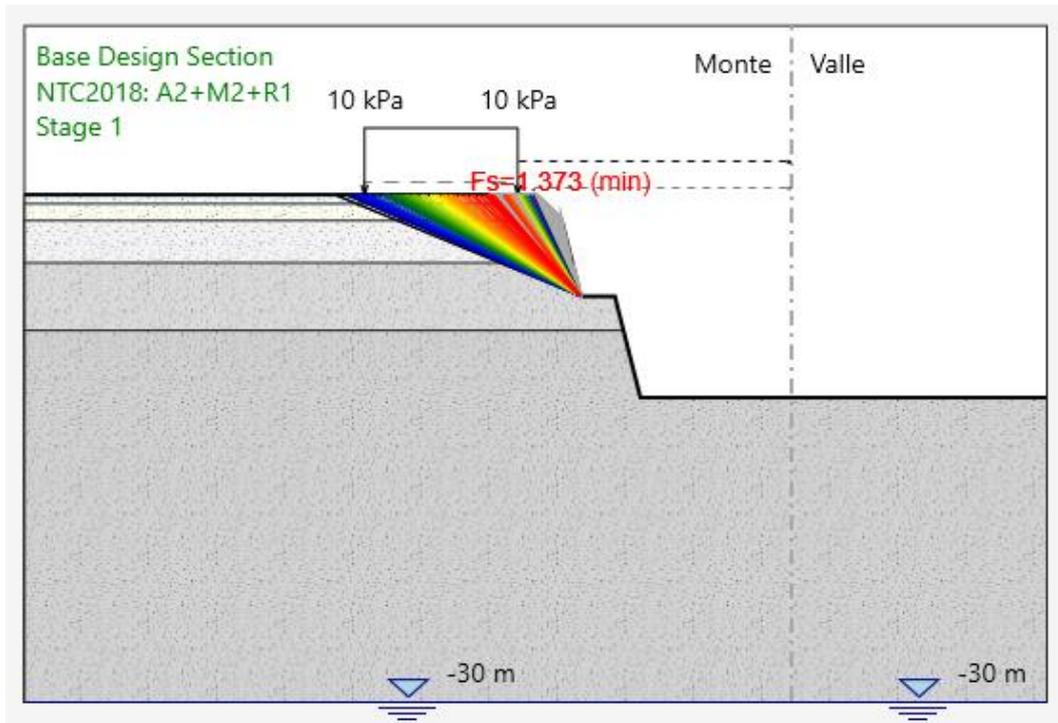
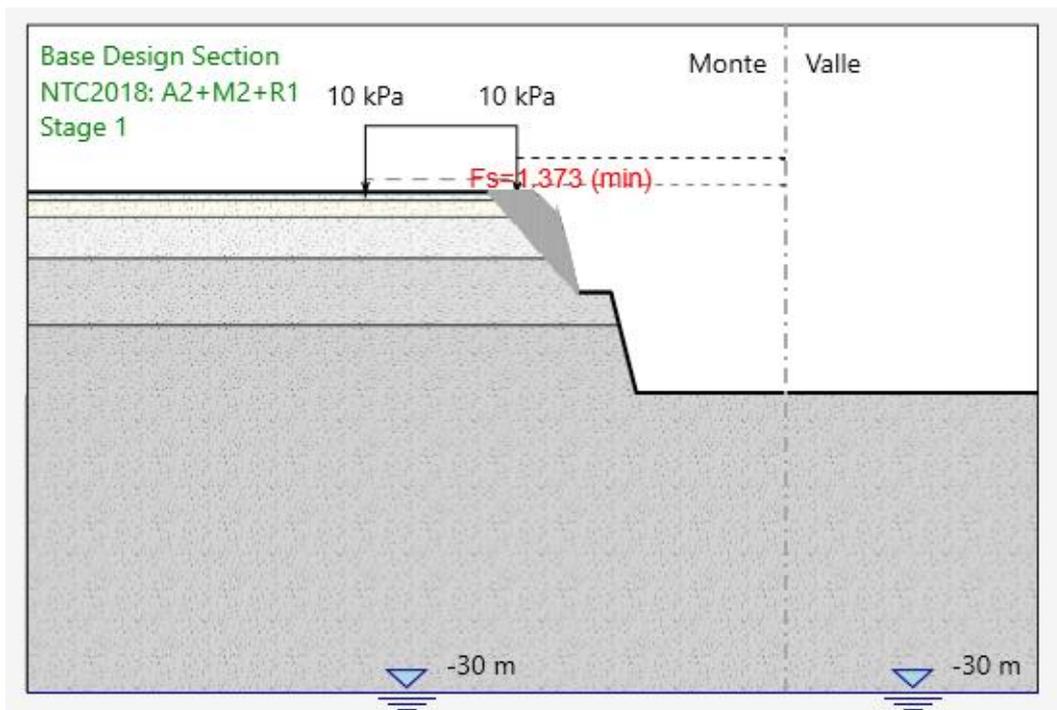
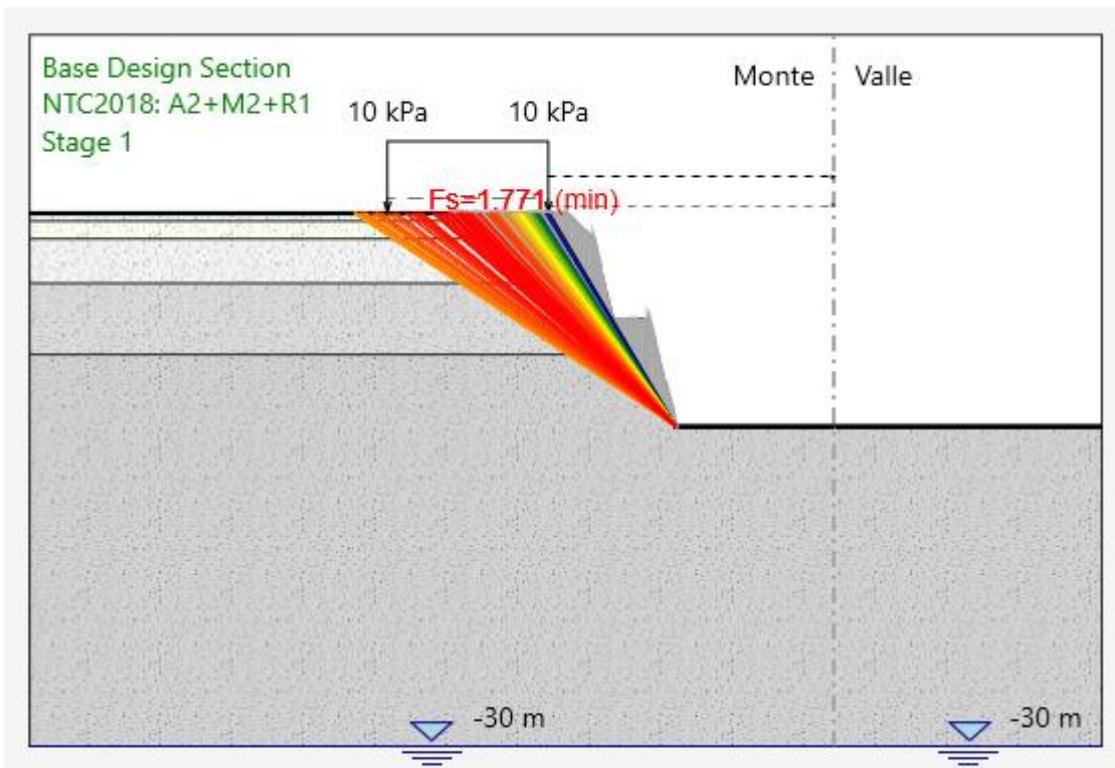


Figura 7-26: superfici analizzate sul primo tratto di scarpata con pendenza 4:1.

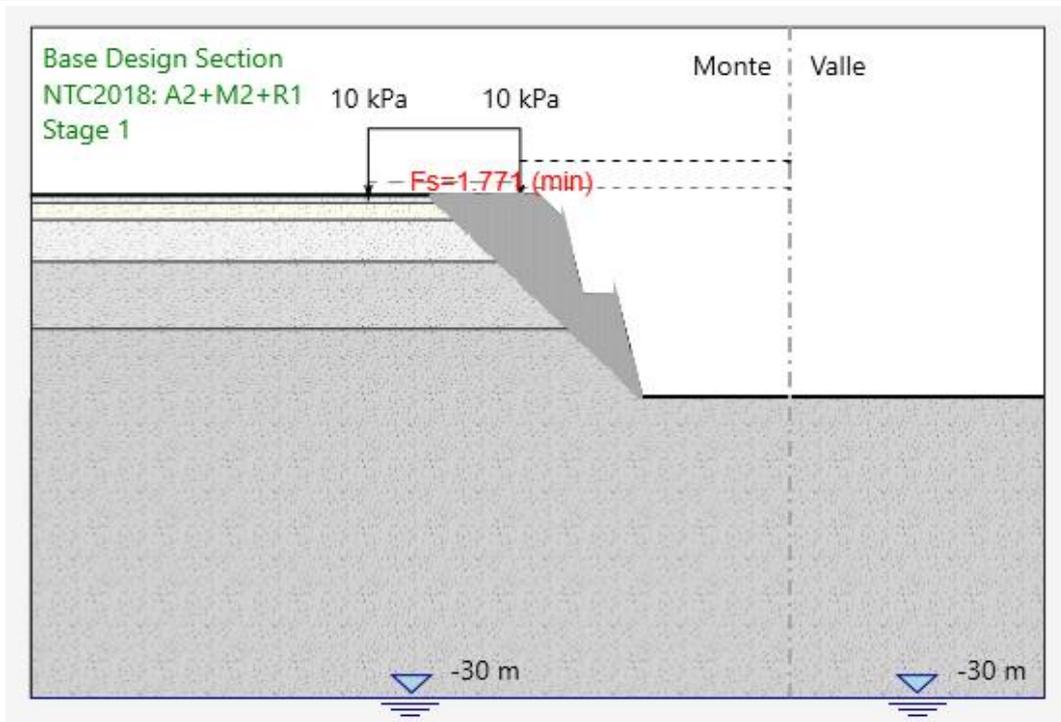


	NODO DI BARI BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO - PALESE <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA <b>IADR</b>	LOTTO 00	CODIFICA D28RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

**Figura 7-27: superficie critica sul primo tratto di scarpata con pendenza 4:1.**



**Figura 7-28: superfici analizzate sul secondo tratto di scarpata con pendenza 4:1.**



**Figura 7-29: superficie critica sul secondo tratto di scarpata con pendenza 4:1.**

Il fattore di sicurezza FS minimo, tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS_{\text{MIN}} = 1.373$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS_{\text{MIN}} \geq R2 = 1.1$$

La verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

#### **7.4.2 Analisi in condizioni sismiche**

Nelle figure seguenti vengono riportate le varie superfici analizzate in condizioni statiche e i relativi fattori di sicurezza minimi ottenuti.



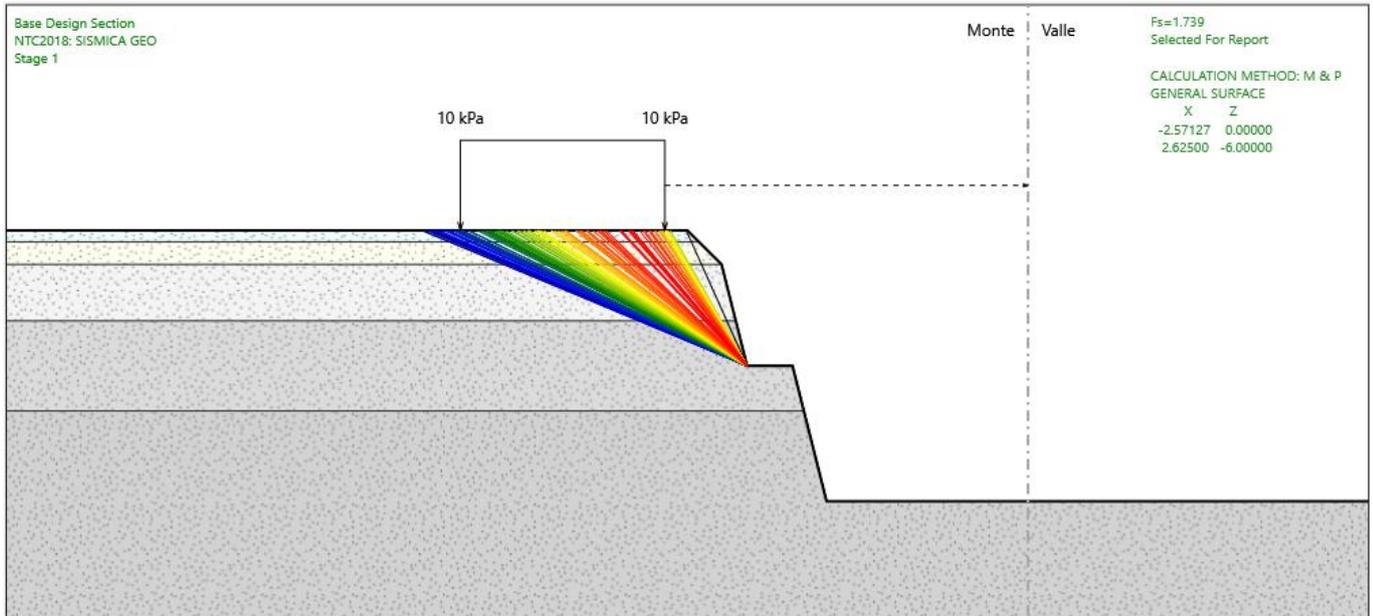


Figura 7-32: superfici analizzate sul primo tratto di scarpata con pendenza 4:1.

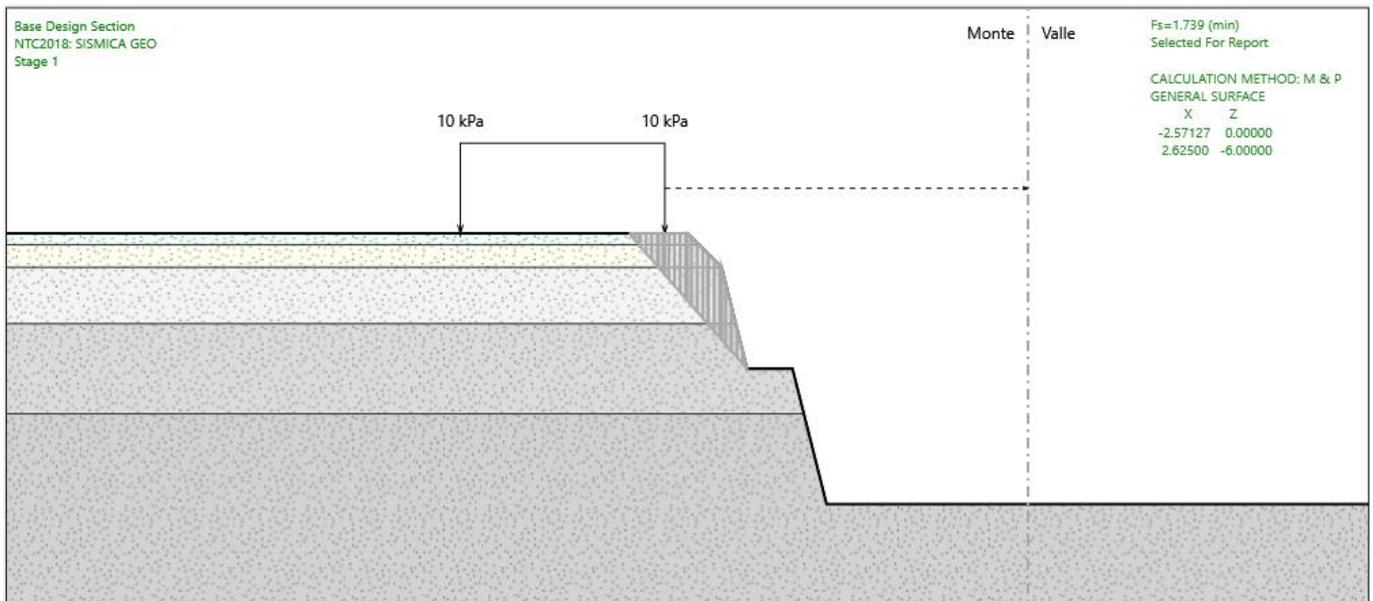


Figura 7-33: superficie critica su scarpata con pendenza 1:1.

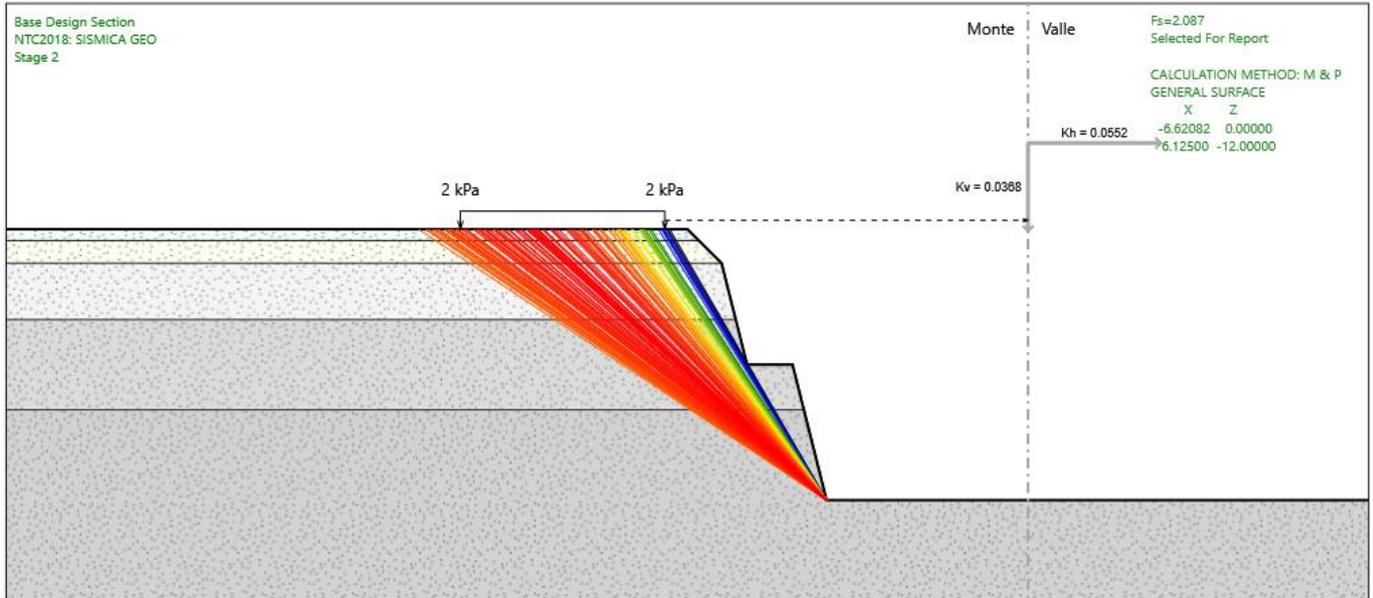


Figura 7-34: superfici analizzate sul secondo tratto di scarpata con pendenza 4:1.

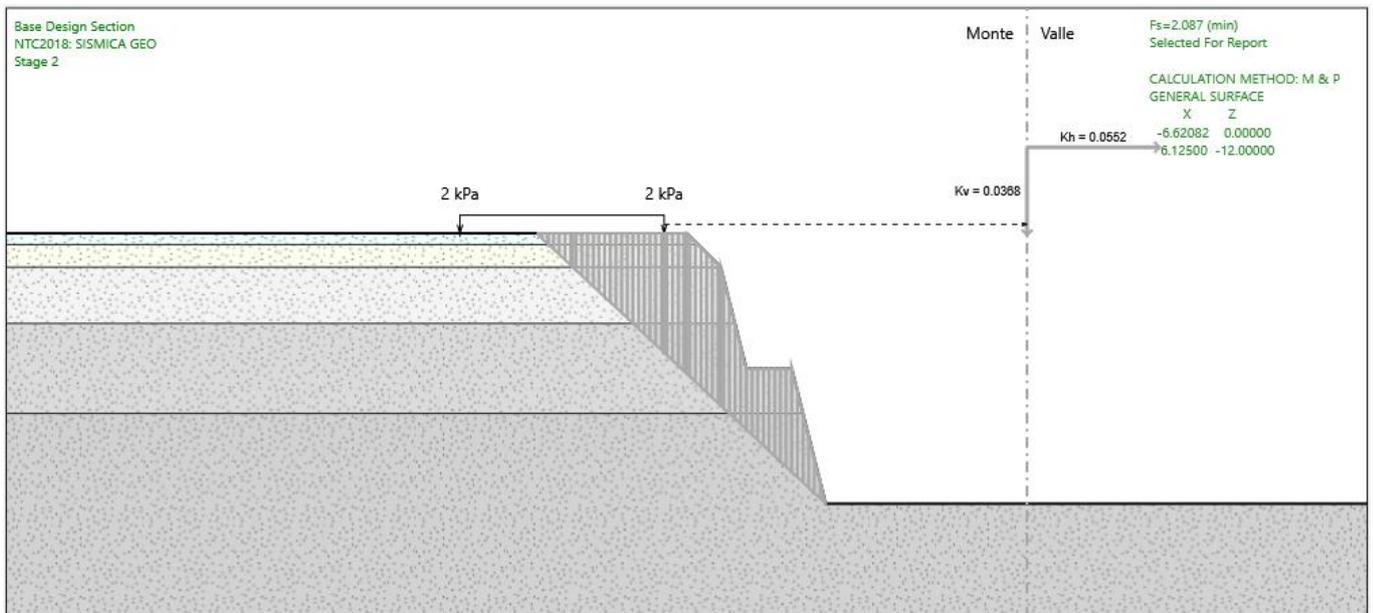


Figura 7-35: superficie critica sul secondo tratto di scarpata con pendenza 4:1.



NODO DI BARI

BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO - PALESE

**PROGETTO DEFINITIVO**

RELAZIONE DI CALCOLO TRINCEE FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D28RH	GE 00 00 001	A	49 di 60

Il fattore di sicurezza FS minimo, tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS_{\text{MIN}} = 1.739$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS_{\text{MIN}} \geq R2 = 1.2$$

La verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.

## 7.5 ANALISI STABILITÀ TRINCEA 4

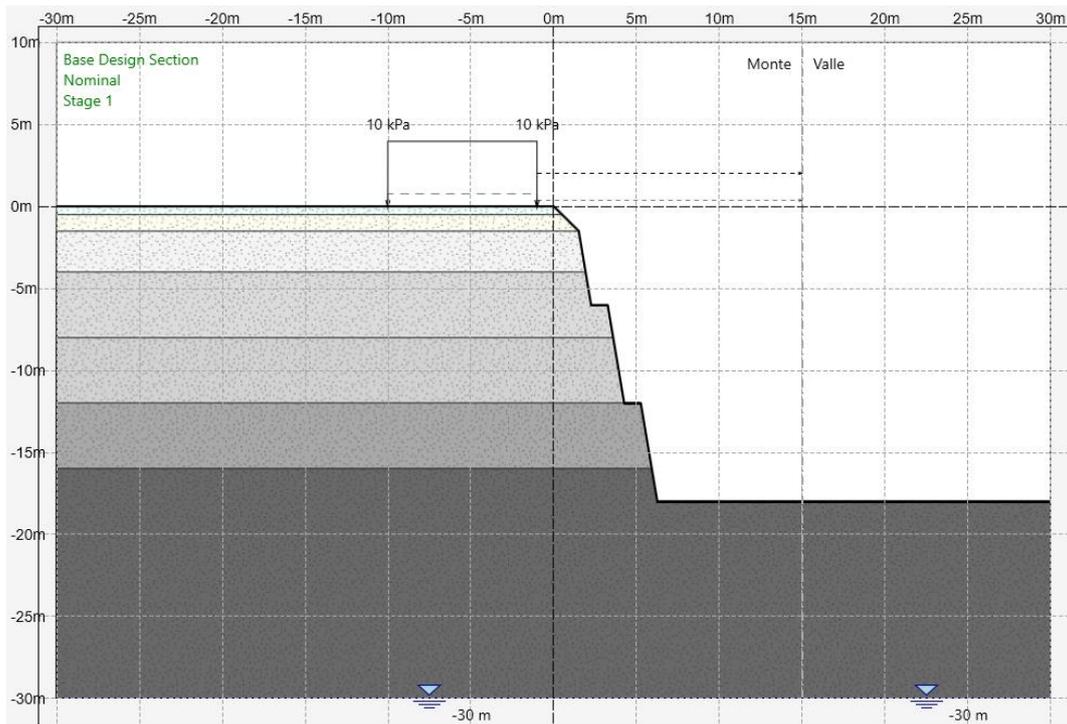


Figura 7-36: modello di calcolo.

Tabella 7-5: stratigrafia di analisi e parametri geotecnici.

U.G.	da (m)	a (m)	$\sigma_{ci}$ (MPa)	GSI	$m_i$	D	$\sigma_{3max}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\Phi'$ (°)
TC	0.00	-0.50	-	-	-	-	-	19.0	5	28
Calt	-0.50	-1.50	-	-	-	-	-	20.0	5	35
C1b	-1.50	-4.00	40	20	9	0.7	0.085	24.0	25	42
	-4.00	-8.00					0.160		37	37
C2	-8.00	-12.00	70	35	9	0.7	0.260	24.0	122	43
	-12.00	-16.00					0.340		140	43
	-16.00	-					0.380		148	43

### 7.5.1 Analisi in condizioni statiche

Nelle figure seguenti vengono riportate le varie superfici analizzate in condizioni statiche e i relativi fattori di sicurezza minimi ottenuti.

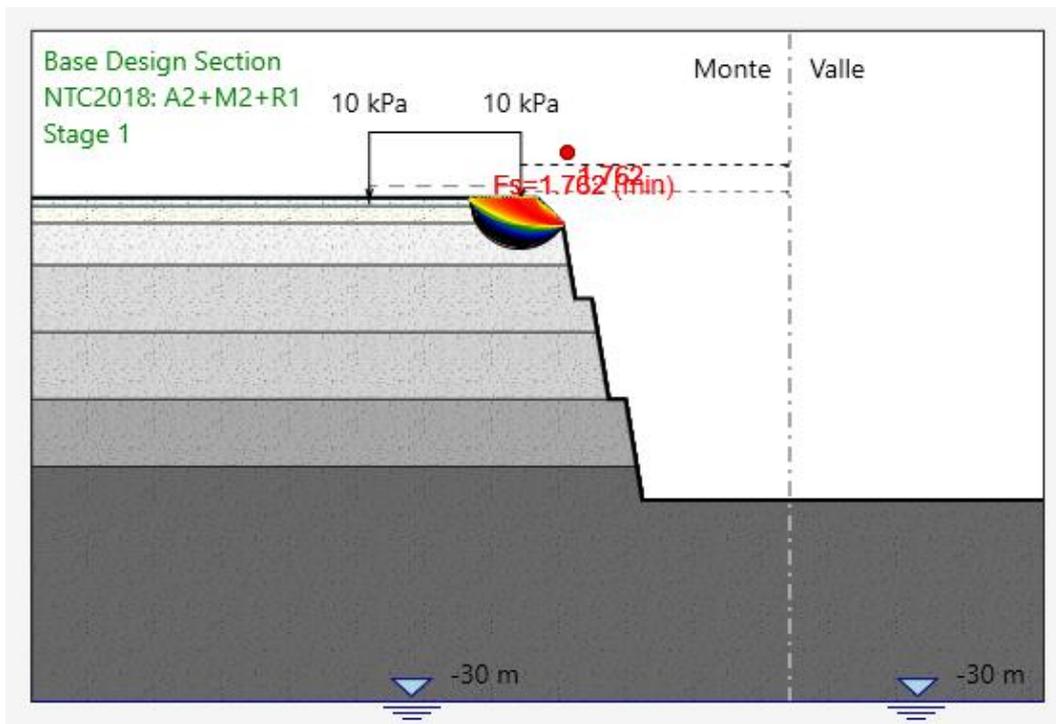


Figura 7-37: superfici analizzate su scarpata con pendenza 1:1.

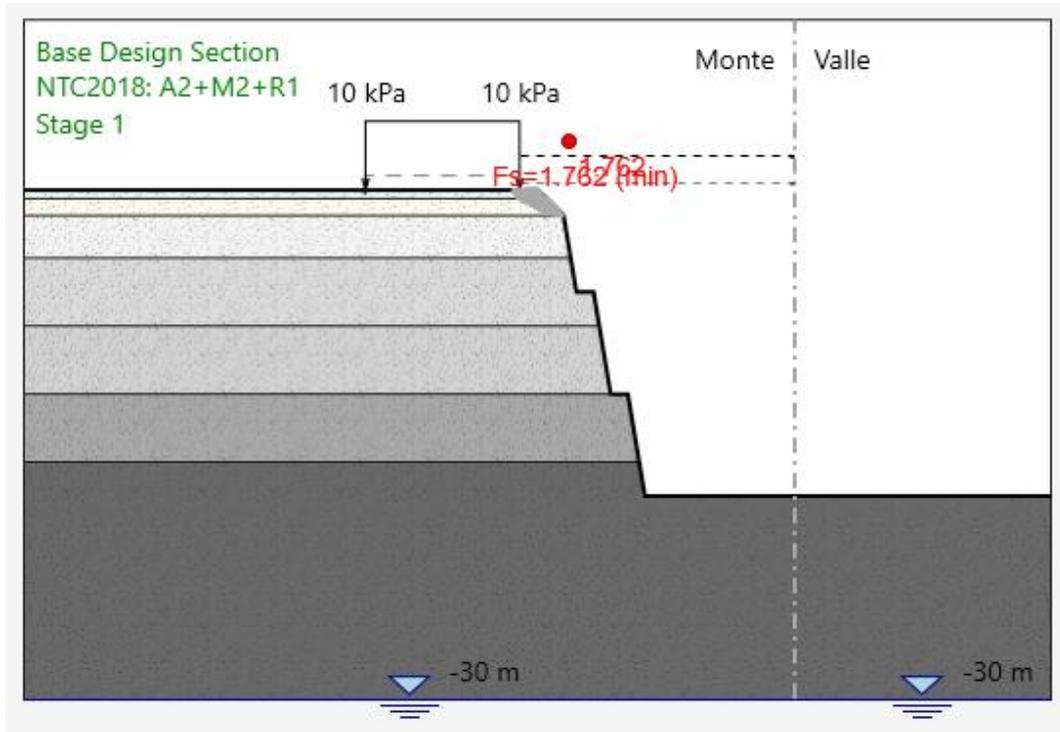


Figura 7-38: superficie critica su scarpata con pendenza 1:1.

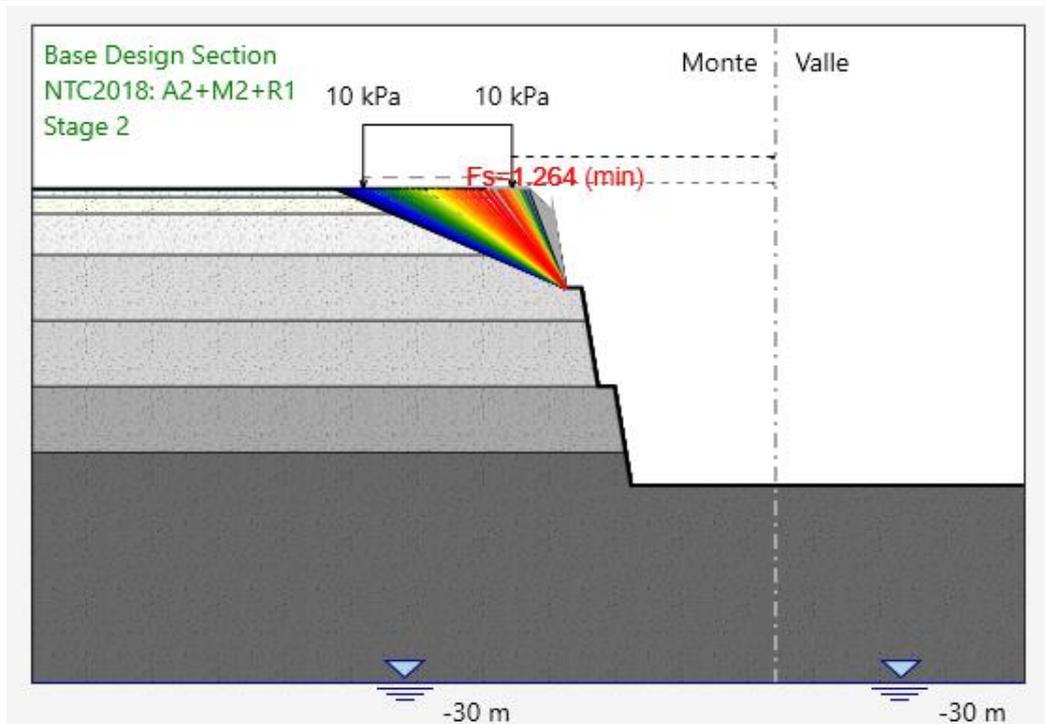


Figura 7-39: superfici analizzate sul primo tratto di scarpata con pendenza 6:1.

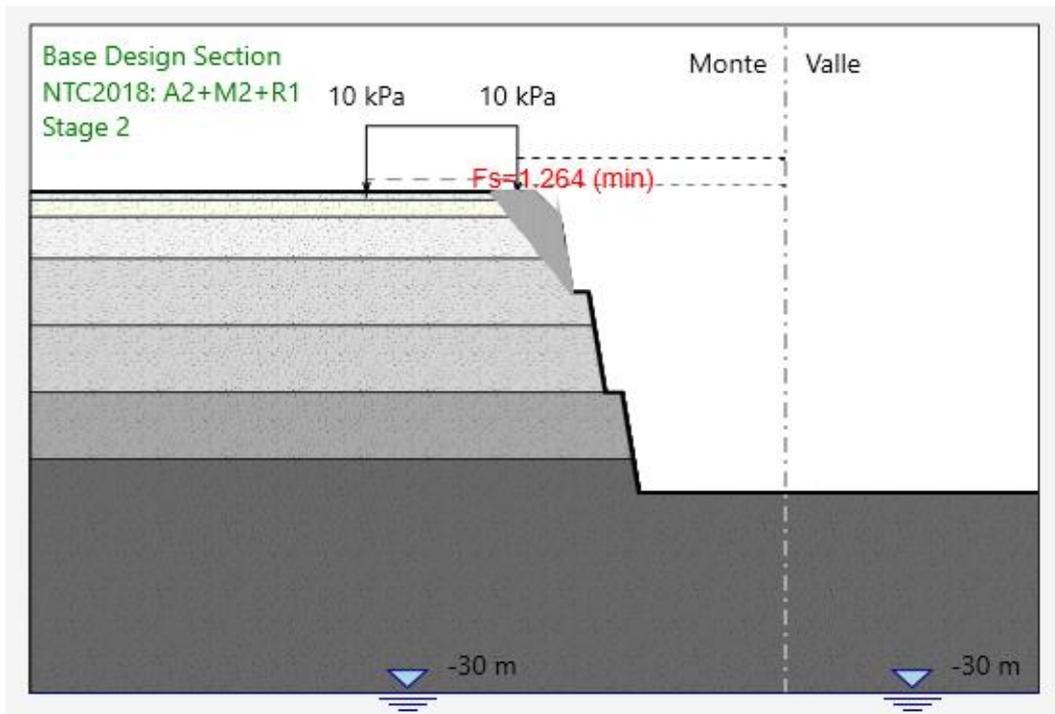


Figura 7-40: superficie critica sul primo tratto di scarpata con pendenza 6:1.

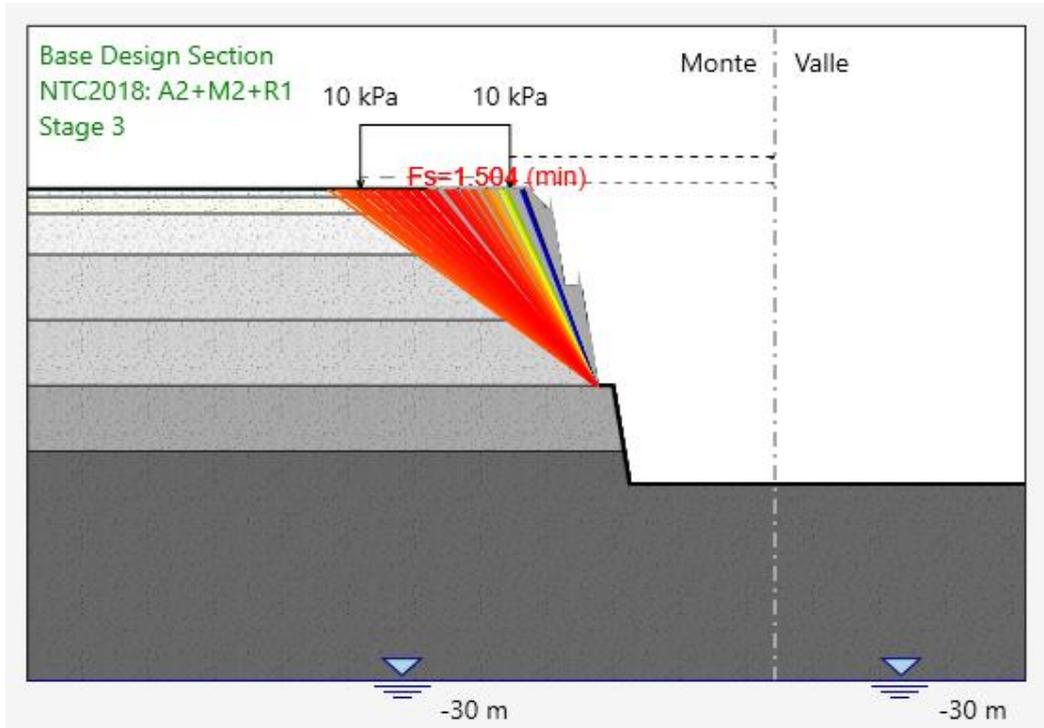


Figura 7-41: superfici analizzate sul secondo tratto di scarpata con pendenza 6:1.

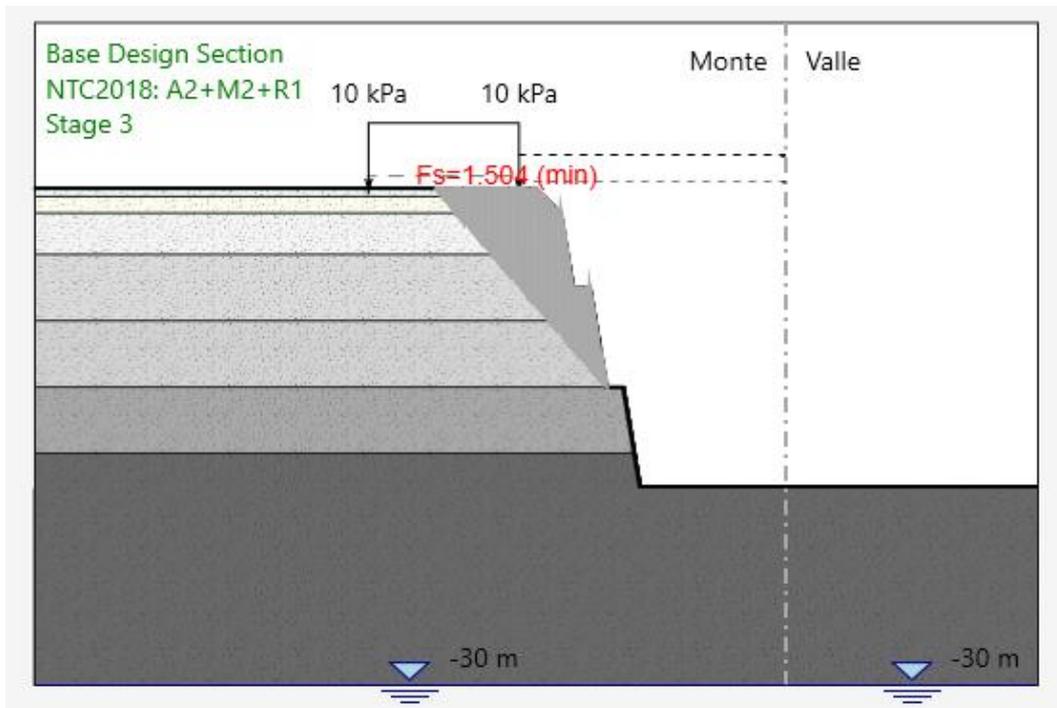


Figura 7-42: superficie critica sul secondo tratto di scarpata con pendenza 6:1.

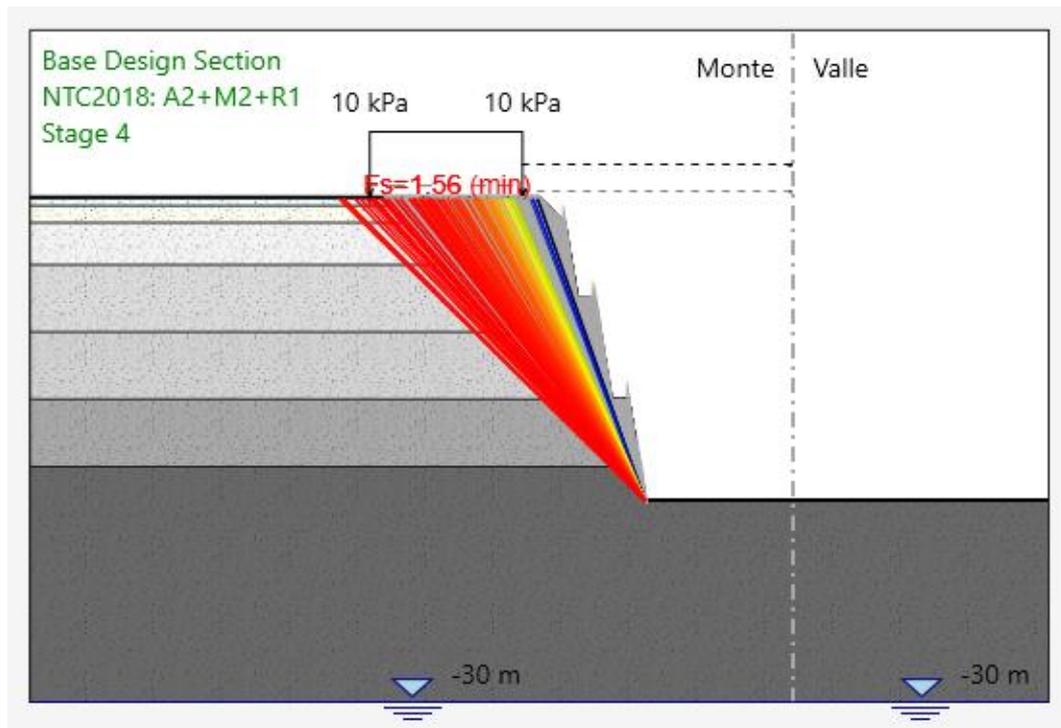


Figura 7-43: superfici analizzate sul terzo tratto di scarpata con pendenza 6:1.

Il fattore di sicurezza FS minimo, tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS_{MIN} (A1C2) = 1.264$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS_{MIN} \geq R2 = 1.1$$

La verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

## 7.6 ANALISI STABILITÀ TRINCEA 5



Figura 7-44: modello di calcolo.

Tabella 7-6: stratigrafia di analisi e parametri geotecnici.

U.G.	da (m)	a (m)	$\sigma_{ci}$ (MPa)	GSI	$m_i$	D	$\sigma_{3max}$ (MPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\Phi'$ (°)
Rilevato SS16	6.00	0.00	-	-	-	-	-	20.0	0	35
Calt	-0.50	-1.50	-	-	-	-	-	20.0	5	35
C1a	-1.50	-4.00	40	30	9	0.7	0.090	24.0	43	43
	-4.00	-8.00					0.170		60	43
C2	-8.00	-12.00	70	35	9	0.7	0.260		122	43
	-12.00	-					0.320		135	43

### 7.6.1 Analisi in condizioni statiche

Nelle figure seguenti vengono riportate le varie superfici analizzate in condizioni statiche e i relativi fattori di sicurezza minimi ottenuti.

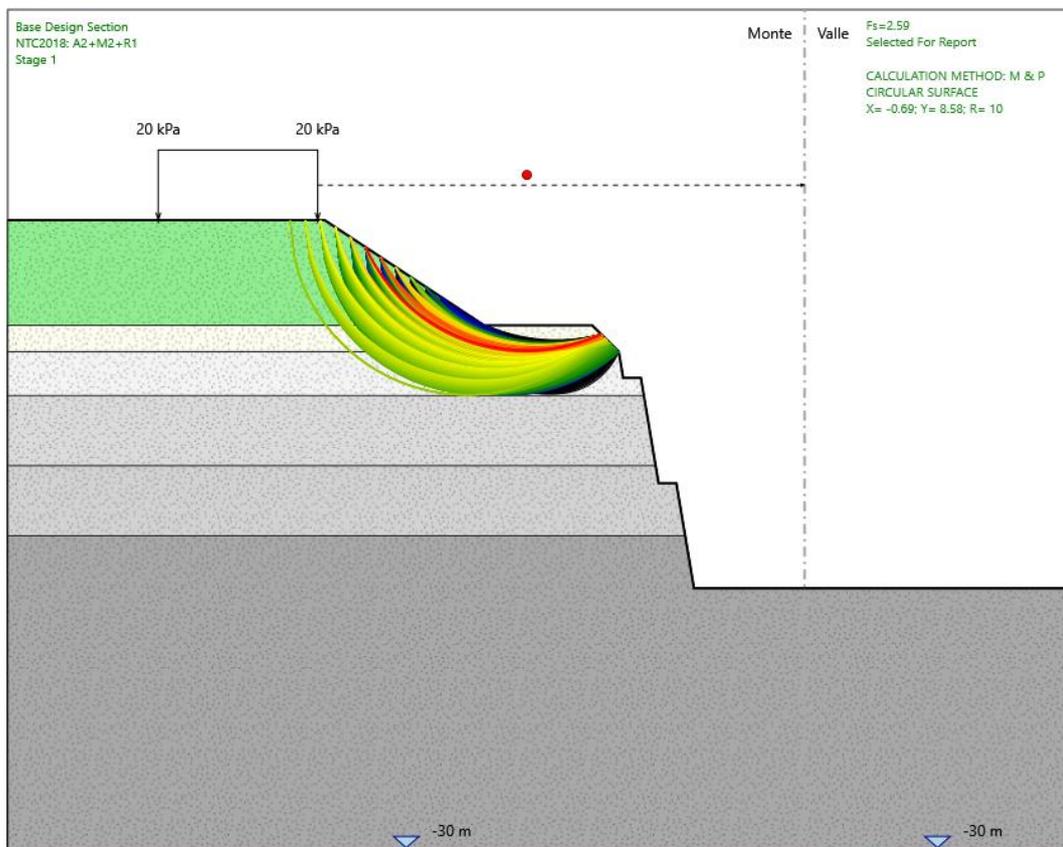
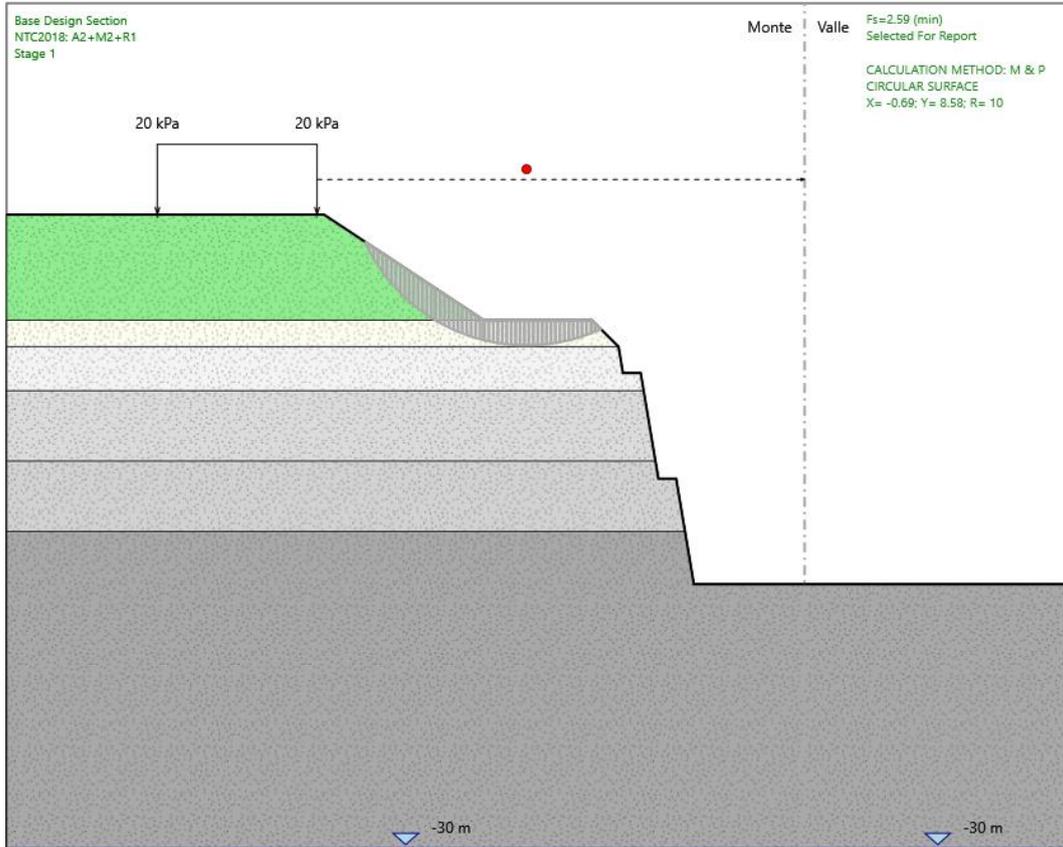
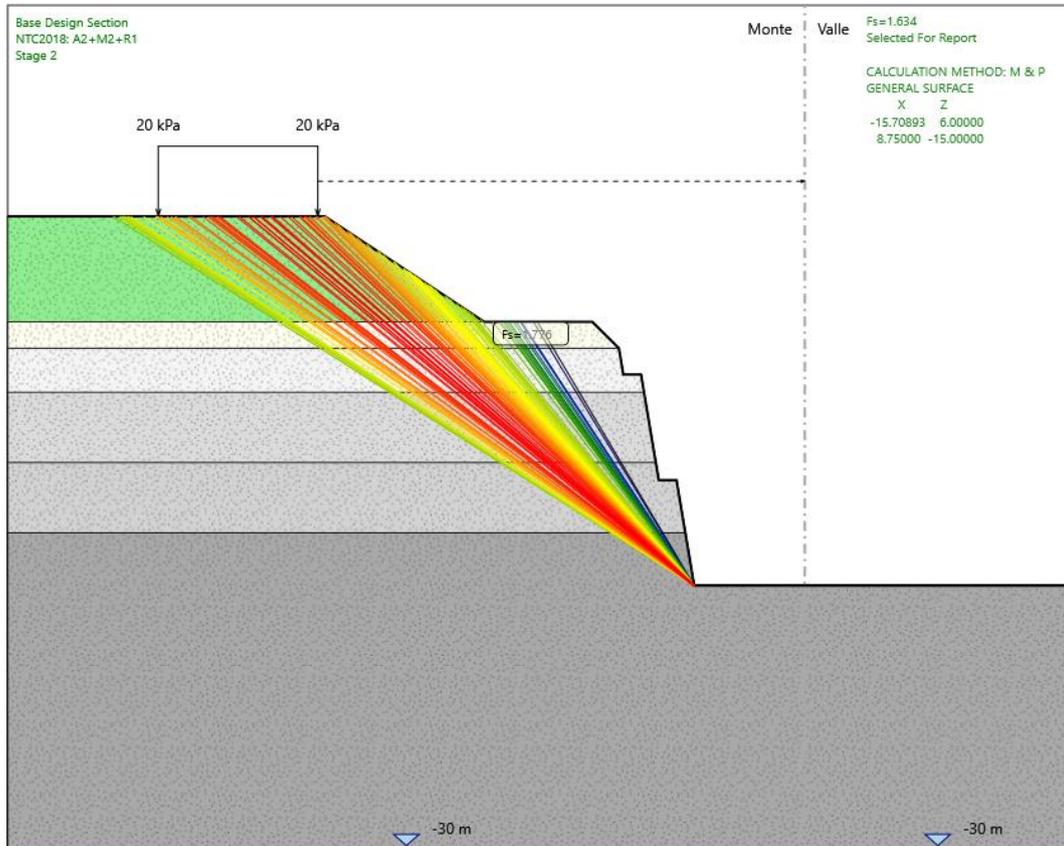


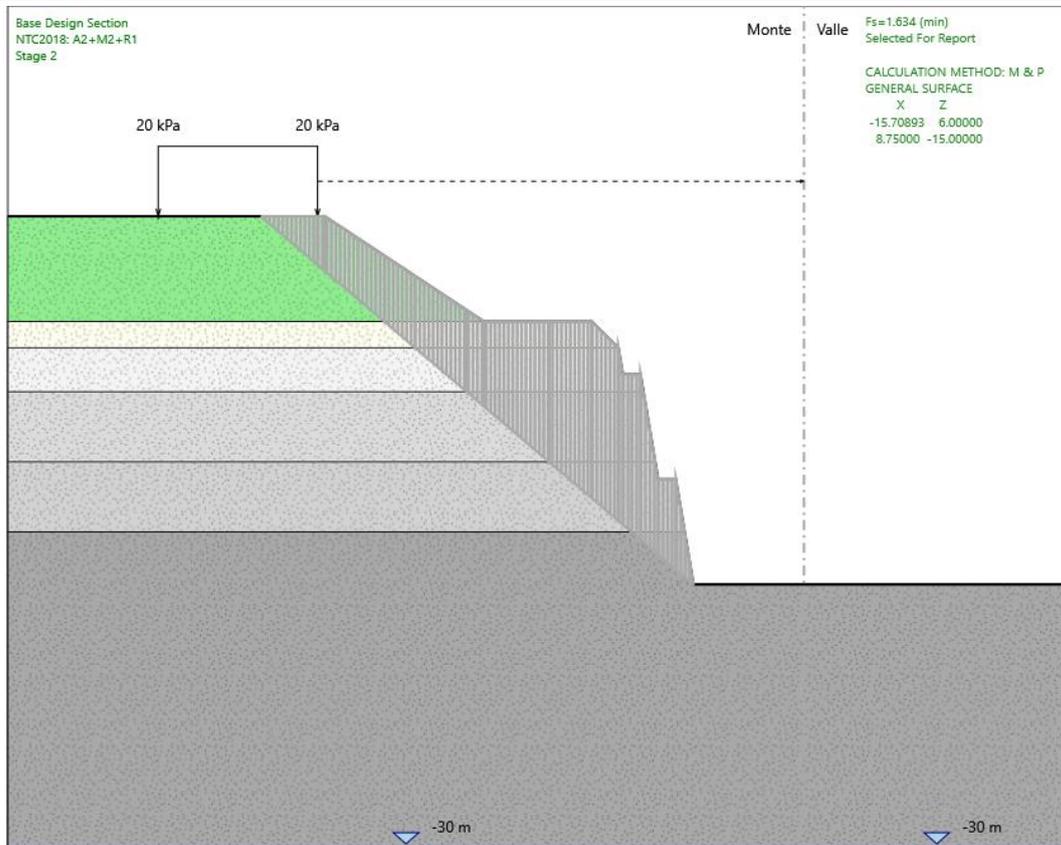
Figura 7-45: superfici analizzate su scarpata con pendenza 1:1.



**Figura 7-46: superficie critica su scarpata con pendenza 1:1.**



**Figura 7-47: superfici analizzate sul scarpata con pendenza 6:1.**



**Figura 7-48: superficie critica sul scarpata con pendenza 6:1.**

Il fattore di sicurezza FS minimo, tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS_{MIN} (A1C2) = 1.634$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS_{MIN} \geq R2 = 1.1$$

La verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.