

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O.: OPERE GEOTECNICHE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA

LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA

LOTTO 1A BATTIPAGLIA-ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA-POTENZA

Relazione di calcolo rilevati e trincee ferroviari

SCALA:

-

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

RC2I A1 R 11 RH GE0000 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	M. Pescara	30/09/22	L. Giannini G. Scaserra	30/09/22	I. D'Amore	30/09/22	L. Berardi 30/09/22

File: RC2IA1R11RHGE000001A

n. Elab.:

INDICE

1	INTRODUZIONE.....	6
2	NORMATIVA, BIBLIOGRAFIA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
2.1	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO	7
2.2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....	7
2.3	SOFTWARE	8
3	CARATTERISTICHE DELLE SEZIONI IN TRINCEA E IN RILEVATO.....	9
3.1	TRINCEE FERROVIARIE.....	9
3.2	RILEVATI FERROVIARI	10
4	INQUADRAMENTO GEOTECNICO E SISMICO.....	13
4.1	MODELLO GEOTECNICO	13
4.2	INQUADRAMENTO SISMICO	15
4.2.1	<i>Vita Nominale, Classe d'Uso, Tempo di Ritorno</i>	15
4.2.2	<i>Effetti di sito</i>	16
5	CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE	18
5.1	CRITERI GENERALI DI VERIFICA.....	18
5.2	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO STATICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI E FRONTI DI SCAVO	19
5.2.1	<i>Stati limite ultimi (SLU)</i>	19
5.2.2	<i>Stati limite di esercizio (SLE)</i>	21
5.3	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI E FRONTI DI SCAVO	21
5.3.1	<i>Stati limite ultimi (SLU) - Verifica allo stato limite SLV</i>	21
5.3.2	<i>Coefficienti sismici per la verifica di stabilità globale allo SLV</i>	22
6	APPROCCIO METODOLOGICO PER LE VERIFICHE GEOTECNICHE.....	23
6.1	APPROCCIO METODOLOGICO PER LE VERIFICHE SLU	23
6.1.1	<i>Equilibrio Limite statico e pseudo-statico</i>	23

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A	FOGLIO 3 di 149
6.1.2 Metodo degli spostamenti con relazioni semplificate						24
6.2 APPROCCIO METODOLOGICO PER LE VERIFICHE SLE						26
6.2.1 Consolidazione primaria - Fasi dell'analisi FEM.....						27
6.2.2 Consolidazione secondaria - Valutazione dei cedimenti tramite formulazione semplificata						27
7 ANALISI DELLE SEZIONI DI CALCOLO						29
7.1 SELEZIONE DELLE SEZIONI DI CALCOLO.....						29
7.2 CARICHI DI PROGETTO.....						31
7.2.1 Rilevati e trincee ferroviarie						31
7.3 ANALISI TRINCEA N.1 IN BPB						33
7.3.1 Analisi in condizioni statiche in condizioni drenate						35
7.3.2 Analisi in condizioni sismiche in condizioni drenate						36
7.3.3 Conclusioni						37
7.4 ANALISI TRINCEA N.2 IN BPA						38
7.4.1 Analisi in condizioni statiche in condizioni drenate						39
7.4.2 Analisi in condizioni sismiche in condizioni drenate						41
7.4.3 Conclusioni						42
7.5 ANALISI TRINCEA N.3 IN LDC/TSG						43
7.5.1 Analisi in condizioni statiche in condizioni drenate.....						44
7.5.2 Analisi in condizioni sismiche in condizioni drenate						46
7.5.3 Conclusioni						47
7.6 ANALISI TRINCEA N.4 IN BTL-PLMB.....						48
7.6.1 Analisi in condizioni statiche in condizioni drenate						49
7.6.2 Analisi in condizioni sismiche in condizioni drenate						51
7.6.3 Analisi in condizioni statiche in condizioni non drenate.....						53
7.6.4 Analisi in condizioni sismiche in condizioni non drenate						55
7.6.5 Conclusioni						56

7.7	ANALISI TRINCEA N.5 IN AVF	57
7.7.1	<i>Analisi in condizioni statiche in condizioni drenate</i>	58
7.7.1	<i>Analisi in condizioni sismiche in condizioni drenate</i>	59
7.7.2	<i>Analisi in condizioni statiche in condizioni non drenate</i>	61
7.7.3	<i>Analisi in condizioni sismiche in condizioni non drenate</i>	62
7.7.4	<i>Conclusioni</i>	63
7.8	ANALISI TRINCEA N.6 IN FMS	64
7.8.1	<i>Analisi in condizioni statiche in condizioni drenate</i>	65
7.8.1	<i>Analisi in condizioni sismiche in condizioni drenate</i>	66
7.8.2	<i>Analisi in condizioni statiche in condizioni non drenate</i>	68
7.8.3	<i>Analisi in condizioni sismiche in condizioni non drenate</i>	69
7.8.4	<i>Conclusioni</i>	70
7.9	ANALISI TRINCEA N.7 IN DEP	71
7.9.1	<i>Analisi in condizioni statiche in condizioni drenate</i>	71
7.9.1	<i>Analisi in condizioni sismiche in condizioni drenate</i>	73
7.10	ANALISI RILEVATO N.1 IN BPB	76
7.10.1	<i>Analisi di stabilità in condizioni statiche e sismiche</i>	78
7.10.2	<i>Verifica dei cedimenti in SLE – modello FEM</i>	78
7.10.2.1	Fasi del modello	79
7.10.2.2	Cedimenti	79
7.10.2.3	Curva cedimenti-tempo	82
7.10.2.4	Cedimenti differenziali del binario esistente	84
7.11	ANALISI RILEVATO N.2 IN BPB	86
7.11.1	<i>Analisi di stabilità in condizioni statiche e sismiche</i>	88
7.11.2	<i>Verifica dei cedimenti in SLE – modello FEM</i>	88
7.11.2.1	Fasi del modello	89
7.11.2.2	Cedimenti	90
7.11.2.3	Curva cedimenti-tempo	92
7.12	ANALISI RILEVATO N.3 IN BPA	95
7.12.1	<i>Analisi di stabilità in condizioni statiche e sismiche</i>	96



NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA
LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E
INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A	FOGLIO 5 di 149
7.12.2 <i>Verifica dei cedimenti in SLE – modello FEM</i>						97
7.12.2.1 Fasi del modello.....						98
7.12.2.2 Cedimenti.....						98
7.12.2.3 Cedimenti totali.....						101
7.13 ANALISI RILEVATO N.4 IN AVF						102
7.13.1 <i>Analisi di stabilità in condizioni statiche e sismiche</i>						103
7.13.2 <i>Verifica dei cedimenti in SLE – modello FEM</i>						104
7.13.2.1 Fasi del modello.....						105
7.13.2.2 Cedimenti.....						105
7.13.2.3 Curva cedimenti-tempo.....						108
7.14 ANALISI RILEVATO N.5 IN RGC E BTL-PLM						110
7.14.1 <i>Analisi di stabilità in condizioni statiche e sismiche</i>						112
7.14.2 <i>Verifica dei cedimenti in SLE – modello FEM</i>						112
7.14.2.1 Fasi del modello.....						113
7.14.2.2 Cedimenti.....						114
7.14.2.3 Curva cedimenti-tempo.....						116
7.15 ANALISI STABILITÀ RILEVATI						119
7.15.1 <i>Stabilità interna</i>						119
7.15.2 <i>Stabilità globale</i>						125
7.15.2.1 Analisi in condizioni statiche in condizioni drenate.....						126
7.15.2.2 Analisi in condizioni sismiche in condizioni drenate.....						133
7.15.2.3 Analisi in condizioni statiche in condizioni non drenate.....						142
7.15.2.4 Analisi in condizioni sismiche in condizioni non drenate.....						146

	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione vengono descritti i risultati del calcolo dei cedimenti dei rilevati e delle verifiche di stabilità di rilevati e trincee nell'ambito del PFTE+ "arricchito" – Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica della "Linea Salerno-Reggio Calabria – Nuova Linea AV Salerno-Reggio Calabria", con riferimento al Lotto 1A della tratta Battipaglia-Praia, denominato "Battipaglia-Romagnano".

L'area interessata dal progetto si ubica nel settore centro-meridionale della regione Campania, con andamento E-W tra la stazione di Battipaglia e lo svincolo per Potenza; lo sviluppo complessivo è di circa 34,4 km, di cui approssimativamente la metà (15 km) si realizzeranno in sotterraneo, mediante nove gallerie naturali. La restante porzione (19,4 km) comprende le seguenti tipologie d'opere a cielo aperto: rilevati, trincee, viadotti e gallerie artificiali. Questa relazione si riferisce ai rilevati e alle trincee ferroviari.

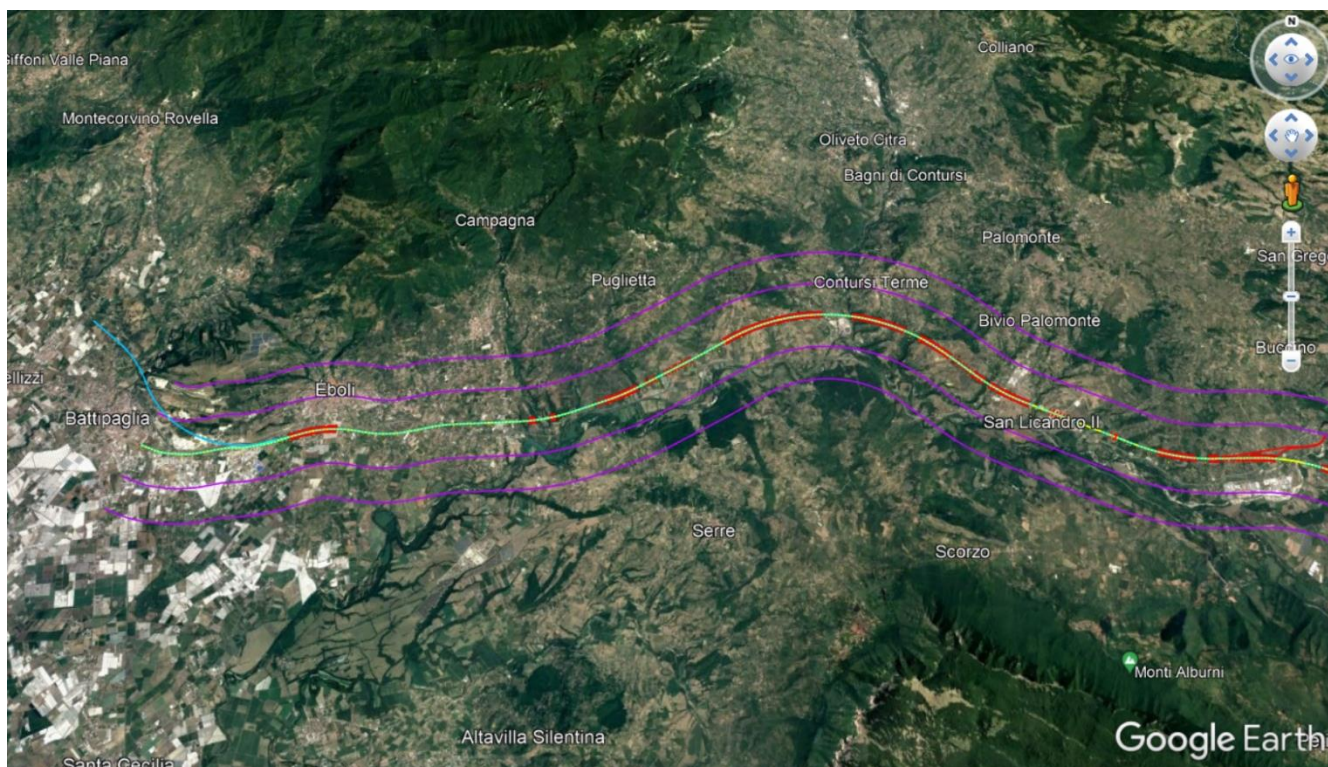


Figura 1-1: Inquadramento planimetrico del tracciato in progetto - Google Earth.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

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 MA IFS 001 del 2021 - “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”;
- [4] Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili 2022– Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi” – RFI;
- [5] RFI TCAR ST AR 01 001 D: Standard di qualità geometrica del binario e parametri di dinamica di marcia per velocità fino a 300 km/h
- [6] UNI EN 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;
- [7] UNI EN 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

2.2 **DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO**

- [8] ITALFERR- Sezioni tipo ferroviarie (Doc. da RC2I.A.1.R.78.WA.IF.00.0.0.001 a RC2I.A.1.R.78.WB.IF.00.0.0.032);
- [9] ITALFERR – Relazione geotecnica opere all’aperto (Doc. RC2I.A.1.R.11.GE.GE.00.0.0.001);
- [10] ITALFERR - Profilo geotecnico (Doc. RC2I.A.1.R.11.L5.GE.00.0.0.001 a RC2I.A.1.R.11.L5.GE.00.0.0.011);
- [11] ITALFERR – Relazione tecnico descrittiva dei dissesti (Doc. RC2IA1R11RHGB0000001);
- [12] ITALFERR – Elaborati grafici dei dissesti, Interventi di stabilizzazione (Doc. RC2IA1R11PZGB0300001, RC2IA1R11PZGB0400001, RC2IA1R11PZGB0500001, RC2IA1R11PZGB0600001, RC2IA1R11PZGB0800001, RC2IA1R11PZGB2600001, RC2IA1R11PZGB1000001, RC2IA1R11PZGB1500001, RC2IA1R11PZGB1600001,



**NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA
LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E
INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2I	A1 R 11	RH	GE 00 00 001	A	8 di 149

RC2IA1R11PZGB1800001, RC2IA1R11PZGB1900001, RC2IA1R11PZGB2000001,
RC2IA1R11PZGB2100001, RC2IA1R11PZGB2200001, RC2IA1R11PZGB2200002);

[13] ITALFERR – Elaborati grafici dei dissesti, Planimetria di monitoraggio (Doc.

RC2IA1R11PZGB0300002, RC2IA1R11PZGB0400002, RC2IA1R11PZGB0500002,
RC2IA1R11PZGB0600002, RC2IA1R11PZGB0800002, RC2IA1R11PZGB2600002,
RC2IA1R11PZGB1000002, RC2IA1R11PZGB1500002, RC2IA1R11PZGB1600002,
RC2IA1R11PZGB1800002, RC2IA1R11PZGB1900002, RC2IA1R11PZGB2000002,
RC2IA1R11PZGB2100002, RC2IA1R11PZGB2200003, RC2IA1R11PZGB2200004).

2.3 SOFTWARE

[14] Paratie Plus modulo VSP

[15] Plaxis 2D

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

Tabella 3-1: Trincee ferroviarie lungo il tracciato (Binario Pari)

WBS	Unità geotecnica	Falda (m)
TR35	BPb	26.50
TR03	BPb	3.60
TR04	BPb/BPa	26.60
TR05	BPa/BPb	26.40
TR06	BPa/BPb	31.70
TR07	BPb/BPa	48.60
TR08	BPb/BPa	21.30
TR09	BPa	22.80
TR10	BPb/BPa	19.00
TR11	BPa	11.20
TR14	SGH/TUT/AVF	3.20
TR15	FMS/AVF	1.60
TR16	bn/FMS	4.00
TR17	bn/AVF	3.00
TR19	AVF	1.10
TR20	LDC/ALV/FMS	13.00
	LDC/ALV/FMS	12.00
TR21	LDC/TSG	10.20
TR22	TSG	38.60
	TSG	31.80
TR23	TSG	9.30
TR24	bn/BTL-PLMb/BTL-PLMa	4.00

3.2 RILEVATI FERROVIARI

I rilevati ferroviari sono previsti con pendenza 3H:2V; come dettagliato nel capitolo 7, le altezze massime oltre le quali è stato necessario prevedere un'opera di sostegno sono state definite in base alle verifiche di stabilità interne in condizioni sismiche (condizioni dimensionanti), contenute nel capitolo 7.15.

Al di sotto del rilevato è previsto uno scotico per uno spessore pari a 0.5 m. In Figura 3-2 si riporta una sezione tipologica.

WBS	Unità geotecnica	prof. falda dal p.c. (m)
RI06	BPa	≈3,2
RI07	Bpa/AVF	<5
RI08	FMS/AVF	≈0
RI09	SGH/DEP	≈0
RI10	SGH	≈0
RI11	AVF	≈0
RI12	FMS	5
RI13	FMS	≈0
RI14	FMS	3
RI15	FMS	≈0
RI16	FMS	≈5
RI17	TSG	≈5
RI18	DEP/BTL-PLM	≈20
RI19	TSG/DEP	≈7
RI20	TSG/DEP	≈3,4
RI21	TSG	≈16,7
RI22	TSG	≈12,5
RI23	TSG	>20
RI24	DEP	>20
RI25	BTL-PLMb	≈5
RI26	BTL-PLMb	≈5
RI27	BTL-PLMb	≈5
RI28	BTL-PLMb/RGC	≈5
RI31	ALV	≈1.5
RI32	ALV/FMS	≈1.5

Le altezze riportate nelle tabelle precedenti sono riferite al piano di posa del ballast.

4 INQUADRAMENTO GEOTECNICO E SISMICO






4.1 MODELLO GEOTECNICO


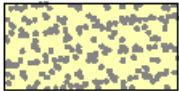
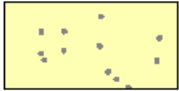





La caratterizzazione geotecnica di riferimento adottata nelle seguenti analisi fa riferimento alla Relazione Geotecnica opere all'aperto (Doc. Rif. [9]). Per l'assetto stratigrafico e la quota di falda si fa riferimento ai profili geotecnici (Doc.[10]).

I parametri geotecnici e il modello stratigrafico di riferimento sono riportati in dettaglio nel capitolo 7, per ciascuna sezione analizzata.

Le **unità geotecniche** individuate sono riepilogate nello schema seguente.

Tabella 4-1: schema riassuntivo delle unità geotecniche

UNITÀ GEOLOGICHE	UNITÀ GEOTECNICHE	
Depositi in formazione (a3)	 DEP	Questa unità geotecnica comprende i depositi non distinti in base al bacino di pertinenza assimilabili tra loro dal punto di vista della granulometria generalmente grossolano. Ghiaie e sabbie a granulometria da grossolana a media (bn), sabbie, limi e limi sabbiosi con ciottoli e blocchi (b2), deposito clastico eterometrico (a3).
Depositi in formazione (b2)		
Depositi completamente formati (bn)		
Supersistema di Battipaglia-Persano (BPa)	 BPa	La facies grossolana, BPa, è costituita da depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi (conglomerati e breccie calcaree a matrice sabbiosa, mal stratificati e da ghiaie sabbiose e travertinose, oltre che da livelli lenticolari di travertino detritico biancastro).
Supersistema di Battipaglia-Persano (BPb)	 BPb	La facies più fine, BPb, è costituita da depositi prevalentemente limoso-argillosi (alternanze di limi argillosi, limi sabbiosi e limi con localmente sabbie ghiaiose – sabbie).
Sistema di S.Licandro (LDC)	 LDC	Limi argillosi/argille limose, alternati a livelli (pluri)metrici di sabbie ghiaiose.
Sistema di Bivio – Ghiaie di Cerreto (RGC)	 RGC	Ghiaie, breccie e conglomerati da sciolti a ben cementati, con elementi eterometrici, di natura carbonatica. Si presentano sia in intervalli caratterizzati da una stratificazione più o meno definita, sia in passaggi decisamente caotici.

UNITÀ GEOLOGICHE	UNITÀ GEOTECNICHE	
Sintema di Bivio – Travertino di S.Maria di Sperlonga (TSG)	 TSG	Sabbie travertinose con diversi gradi di cementazione. Localmente includono anche sottili livelli limo-argillosi.
Sintema di Palomonte e Bottiglieri (BTL-PLMa)	 BTL-PLMa	La facies più grossolana è visibile in affioramento ed è costituita da depositi conglomeratico-ghiaiosi alternati a sabbie.
Sintema di Palomonte e Bottiglieri (BTL-PLMb)	 BTL-PLMb	La facies più fine è osservata esclusivamente nei sondaggi ed è costituita da depositi limoso-sabbiosi e limoso-argillosi.
Sintema di Palomonte e Bottiglieri (BTL-PLMc)		
Argille ed argille siltose di Saginara (SGH)	 SGH	Argille siltose, siltiti, marne argillose e rare sabbie, a stratificazione poco distinta
Tufiti di Tusa (TUT)	 TUT	Successione di arenarie e calcareniti a grana media, micacee, tenere; marne argillose a frattura concoide, siltiti e arenarie fini poco cementate in strati sottili e talora calcari marnosi in strati medi, argilliti scagliettate, con diffuse venature di calcite; strati e banchi di argille marnose, marne calcaree.
Argille Varicolori Superiori (ALV)	 ALV	Argille, argille siltose marnose a cui si intercalano calcari e calcari marnosi. Negli affioramenti maggiormente litoidi, le argille sono caratterizzate da stratificazione sottile o molto sottile e aspetto scagliettato.
Formazione di Monte S.Arcangelo (FMS)	 FMS	Alternanze irregolari di calcari marnosi e argille marnose e argilliti; in subordine sono presenti calcareniti gradate e laminate, marne siltose e arenite micacee. Gli strati calcarei più massivi, di spessore anche metrico, si intercalano alla frazione più fine costituita da livelli di argilliti e marne argillose, di spessore da centimetrico a metrico.
Argille Varicolori Inferiori (AVF):	 AVF	Argilliti, argilliti siltoso-marnose, argilliti quarzolitiche e argilliti scagliose solitamente molto tettonizzate con minori interstrati calcareo-marnosi. In sondaggio si presentano localmente caoticizzate.

	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

4.2 INQUADRAMENTO SISMICO

L'azione sismica che governa il rispetto dei diversi Stati Limite per le strutture in progetto (di Esercizio – SLE e Ultimi - SLU) è qui definita in accordo alle Norme Tecniche 2018 (NTC2018), a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, espressa in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sottosuolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell'azione sismica include le ordinate dello spettro di risposta elastico di accelerazione $S_e(T)$ corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R per la vita utile della struttura.

In sintesi, la forma degli spettri di risposta di progetto (considerati su sottosuolo rigido di riferimento) è definita dai seguenti parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima per sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nei paragrafi seguenti verrà dapprima stabilito il periodo di riferimento per l'azione sismica (V_R), in base alla classificazione delle opere in progetto.

4.2.1 Vita Nominale, Classe d'Uso, Tempo di Ritorno

La Vita Nominale V_N di un'opera, intesa come il periodo temporale entro cui l'opera stessa può essere usata per lo scopo al quale è destinata purché soggetta alla manutenzione ordinaria, è così definita dalle NTC2018:

- $V_N \leq 10$ anni, per opere provvisorie e opere provvisionali;
- $V_N \geq 50$ anni, per opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale;
- $V_N \geq 100$ anni, per grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di importanza strategica.

Nel caso in esame, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è stato assunto in sede progettuale:

$$V_N = 100 \text{ anni}$$

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

Le opere sono suddivise dalle NTC2018 in classi d'uso, la cui appartenenza è stabilita sulla base dell'importanza dell'opera rispetto alle esigenze di operatività a valle di un evento sismico. In particolare, le classi d'uso sono così definite:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. Per le quali si ha un coefficiente d'uso $C_U=0.7$.
- Classe II: ... *omissis* ... Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza ... *omissis* Per le quali $C_U = 1.0$.
- Classe III: ... *omissis* ... Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV, salvo casi particolari per i quali sia necessaria la classe d'uso IV, e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza ... *omissis* ... Per le quali $C_U = 1.5$.
- Classe IV: ... *omissis* ... Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico ... *omissis* ... Per le quali $C_U = 2$.

Nel caso in esame si assume:

Classe d'uso IV ($C_U = 2.0$)

Pertanto, nel caso in esame, l'azione sismica di verifica viene associata ad un periodo di riferimento pari a:

$$V_R = V_N \times C_U = 100 \times 2.0 = 200 \text{ anni}$$

4.2.2 Effetti di sito

Per ulteriori dettagli circa l'inquadramento sismico, quali l'accelerazione di riferimento su suolo rigido, la risposta sismica locale (con particolare riferimento alla categoria di sottosuolo e al fattore di amplificazione sismica), si rimanda a quanto descritto nel capitolo 3 della Relazione Geotecnica, Doc.Rif. [9]. Per completezza, si riporta la suddivisione del tracciato in funzione della categoria di

	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A	FOGLIO 17 di 149

sottosuolo (Tabella 4-2) ed il fattore di sito S e l'azione sismica di progetto $a_{max} = S \cdot a_g$ ottenuti lungo il tracciato per il periodo di ritorno di interesse in questo documento (Tabella 4-3).

Tabella 4-2 Suddivisione del tracciato in funzione della categoria di sottosuolo

Progressiva iniziale	Progressiva finale	Unità geo	categoria di suolo
0+000	12+700	BPb/BPa	C
12+700	13+200	ALV	B
14+400	14+700	SGH	
15+000	15+300	SGH/AVF	
16+150	17+110	FMS/AVF	
20+300	21+100	FMS/ AVF / DEP(bn)	
22+800	23+200	DEP(bn)-BTL-PLMa&b	
25+500	28+100	TSG / BTL-PLMb	C
28+100	30+600	BTL-PLMb /RGC	
31+760	32+120	BTL-PLMb / ALV /FMS	B

Per le verifiche sismiche dei rilevati si è tenuto conto della suddivisione del tracciato come da Relazione geotecnica, Doc.Rif. [9]. La categoria topografica assegnata è la T1 per tutte le tratte sismiche.

Tabella 4-3 Valori dei coefficienti di sito S e dell'accelerazione di progetto a_{max} (per rilevati)

STATO LIMITE	Punto	tratta	Categoria sottosuolo	T_R , anni	a_g (g)	SS (-)	ST (-)	S (-)	a_{max} (g)
SLV	1	0+000 - 12+700	C	1898	0.180	1.41	1.00	1.41	0.2538
	2	12+700 - 28+100	B		0.292	1.12	1.00	1.12	0.3270
	3	28+100 - 30+600	C		0.336	1.22	1.00	1.22	0.4099
	4	31+760 - 32+120 34+000 - 34+500	B		0.356	1.06	1.00	1.06	0.3773

I punti 1, 2, 3 e 4 si riferiscono rispettivamente alle coordinate associate alle seguenti progressive:

- Pk 6+000 → 40°36'25.9"N 15°03'47.2"E (40.607182, 15.063113, PUNTO 1);
- Pk 20+400 → 40°38'26.3"N 15°13'25.6"E (40.640633, 15.223766, PUNTO 2);
- Pk 29+000 → 40°36'33.7"N 15°18'52.5"E (40.609367, 15.314569, PUNTO 3);
- Pk 32+000 → 40°36'09.2"N 15°20'57.1"E (40.602565, 15.349197, PUNTO 4).

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

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).



NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA
LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E
INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2I	A1 R 11	RH	GE 00 00 001	A	19 di 149

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]).

I carichi variabili da traffico ferroviario da utilizzare nelle verifiche di stabilità saranno quelli dovuti al treno di carico LM71, senza incremento dinamico.

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 ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁵⁾	1,00 ⁽⁶⁾	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{Ce}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole		1,20	1,20	1,00

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

- γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;
- γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- γ_B coefficiente parziale del peso proprio del ballast;
- γ_Q coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
- γ_{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	γ_ϕ	1.0	1.25
Coesione efficace	γ_c	1.0	1.25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ_r	1.0	1.0

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
γ_R	1,1

	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

5.2.2 Stati limite di esercizio (SLE)

Per i rilevati deve essere verificato che i cedimenti dell'opera siano compatibili con la funzionalità dell'infrastruttura. Devono essere valutati sia i cedimenti immediati, sia quelli residui dovuti agli effetti della consolidazione primaria ed eventualmente a quella secondaria, ed il loro andamento nel tempo, in funzione delle caratteristiche dei terreni di fondazione.

Nello specifico, come riportato nel Manuale di progettazione RFI, è stabilito, per i rilevati ferroviari, un valore soglia dei cedimenti residui attesi (a far data dal completamento del piano di posa del ballast), corrispondenti ad uno Stato Limite di Esercizio (SLE), pari a 5 cm. Tale valore limite è stato assunto facendo riferimento ad un arco temporale di 20 anni, corrispondente al tempo entro il quale è generalmente previsto il rinnovo dell'armamento ferroviario.

Nell'eventualità di costruzione dell'opera in concomitanza di esercizio ferroviario adiacente, dovrà esser inoltre verificato il rispetto degli *standard* di qualità geometrica del binario, in ottemperanza a quanto riportato nel Doc. [3]. In particolare, dovrà esser verificato il Livello Trasversale XL, definito come nel Doc. [3], in modo che il cedimento differenziale tra le due rotaie della linea esistente sia minore di 10 mm.

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.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

Inoltre, in condizioni sismiche, il coefficiente di combinazione ψ per il carico variabile da traffico ferroviario, da utilizzare nelle verifiche agli stati limite ultimi, deve essere posto pari a 0.2. Per analogia, tale coefficiente verrà adottato anche relativamente al carico variabile da traffico stradale.

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], i coefficienti sismici k_h (orizzontale) e k_v (verticale) sono definiti come:

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

$$k_v = \pm k_h /2$$

Il coefficiente β_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, sulla base delle categorie di sottosuolo individuate al par. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Tabella 5-4: parametri sismici rilevati.

STATO LIMITE	Punto	tratta	T_R , anni	a_{max} (g)	k_h (-)	k_v (-)
SLV	1	0+000 - 12+700	1898	0.2538	0.096	± 0.048
	2	12+700 - 28+100		0.3270	0.124	± 0.062
	3	28+100 – 30+600		0.4099	0.156	± 0.078
	4	31+760 – 32+120; 34+000 – 34+500		0.3773	0.143	± 0.072

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

6 APPROCCIO METODOLOGICO PER LE VERIFICHE GEOTECNICHE

6.1 APPROCCIO METODOLOGICO PER LE VERIFICHE SLU

6.1.1 *Equilibrio Limite statico e pseudo-statico*

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, sia in condizioni sismiche, mentre per le trincee provvisorie, che restano aperte per una 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:

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

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

VSP 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. Utilizzando 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, 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 (Metodo delle strisce). Poiché nella scrittura delle condizioni di equilibrio del singolo concio è necessario includere le azioni che esso scambia con i conci adiacenti, si

	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

ottiene un sistema risolvibile in 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 λ 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 scorrimento sia un arco di cerchio.

Per la definizione delle superfici da analizzare, invece, VSP 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 scorrimento generica definita tramite una spezzata.

Per le analisi dei rilevati e delle trincee è stato utilizzato il secondo metodo 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.

6.1.2 Metodo degli spostamenti con relazioni semplificate

Per la definizione delle altezze massime dei rilevati e delle trincee che risultino stabili in condizioni sismiche in assenza di opere di sostegno di sottoscarpa, sono state condotte specifiche analisi di stabilità intrinseche per valutare le condizioni di sicurezza delle possibili superfici di scorrimento interne al corpo in terra.

Le sezioni studiate sono state dapprima sottoposte ad analisi all'equilibrio limite con metodo pseudo-statico (come da par. 6.1.1), differenziando poi gli approcci delle ulteriori analisi in funzione dei risultati delle analisi pseudo-statiche:

1. Verifica soddisfatta secondo NTC18 con metodo pseudo-statico ($F_s \geq 1.2$): la sezione è ritenuta idonea;

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

2. Verifica **non soddisfatta** secondo NTC18 con metodo pseudo-statico:

- **Caso 2a:** - $1 \leq F_s < 1.2$: la sezione viene verificata nuovamente con controllo degli spostamenti residui attesi (come descritto a seguire);
- **Caso 2b – $F_s < 1$:** la sezione non è soddisfatta e va rivisitata con altezza ridotta.

Metodi semplificati per la stima degli spostamenti residui

In letteratura sono disponibili numerose relazioni semplificate che forniscono una stima degli spostamenti di in condizioni sismiche. Queste relazioni sono basate su applicazioni estensive del metodo del blocco rigido alla Newmark a partire da registrazioni accelerometriche, opportunamente selezionate in banche dati nazionali o internazionali. Gli spostamenti calcolati sono generalmente espressi in funzione di uno o più parametri rappresentativi del moto sismico. Uno dei parametri più utilizzati è il rapporto $\mu = a_c / a_{max}$ (ovvero k_c / a_{ma}) tra l'accelerazione critica e l'accelerazione massima.

L'accelerazione critica si determina mediante le analisi pseudo-statiche inverse, facendo cioè variare la forza statica equivalente al sisma, applicata al baricentro della massa potenzialmente instabile, e ricercando la condizione di collasso incipiente ($F_s = 1$).

Ritenendo opportuno valutare la affidabilità dei risultati delle analisi semplificate mediante un confronto dei valori ottenibili dall'applicazione delle diverse relazioni empiriche disponibili in letteratura, sono state selezionate le espressioni semplificate riportate nella Tabella 6-1.

Sulla base delle citate relazioni semplificate, è stata quindi criticamente valutata l'ammissibilità degli spostamenti residui attesi caso per caso.

Tabella 6-1: Indicazione delle relazioni semplificate utilizzate per la stima degli spostamenti residui attesi

Autori	Anno	Relazione empirica
Ambraseys e Menu	1988	$\log d = 0.90 + \log \left[\left(1 - \frac{a_c}{a_{max}} \right)^{2.53} \cdot \left(\frac{a_c}{a_{max}} \right)^{-1.09} \right]$
Rampello et al.	2006	$\log d = 1.505 - 3.431 \left(\frac{a_c}{a_{max}} \right)$
Jibson	2007	$\log d = 0.215 + \log \left[\left(1 - \frac{a_c}{a_{max}} \right)^{2.341} \left(\frac{a_c}{a_{max}} \right)^{-1.438} \right]$
Ausilio et al.	2007	$1.669 - 4.039\eta$
Madiai	2009	$\log d = 1.096 - 3.739 \frac{a_c}{a_{max}}$
Rathje e Saygili	2009	$\ln d = 4.89 - 4.85 \left(\frac{a_c}{a_{max}} \right) - 19.64 \left(\frac{a_c}{a_{max}} \right)^2 + 42.49 \left(\frac{a_c}{a_{max}} \right)^3 - 29.06 \left(\frac{a_c}{a_{max}} \right)^4 + 0.72 \ln(a_{max}) + 0.89(M - 6)$
Biondi et al.	2011	$\log d = 1.442 - 3.428 \frac{a_c}{a_{max}}$
Saygili e Rathje	2008	$\ln D_n = 5.52 - 4.43 \left(a_c / a_{max} \right) - 20.39 \left(a_c / a_{max} \right)^2 + 42.61 \left(a_c / a_{max} \right)^3 - 28.74 \left(a_c / a_{max} \right)^4 + 0.72 \ln a_{max}$

6.2 APPROCCIO METODOLOGICO PER LE VERIFICHE SLE

Le verifiche geotecniche allo Stato Limite di Esercizio hanno riguardato il calcolo dei cedimenti del rilevato ferroviario. A tal scopo sono state considerate le sezioni ritenute più rappresentative per la tratta in esame.

Date le caratteristiche geotecniche dell'area sono stati valutati per mezzo di analisi FEM i cedimenti di consolidazione primaria e poi, dove necessario, i cedimenti secondari con formulazione analitica.

	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

Per i materiali granulari è stato adottato il legame costitutivo di *Mohr-Coulomb* (MC), mentre per i materiali coesivi in genere è stato introdotto il legame costitutivo *Soft Soil* (SS), dove il comportamento in termini di rigidità del materiale è descritto dai parametri geotecnici Cc e Cs.

Per i muri in calcestruzzo, dove presenti, è stato considerato il legame costitutivo Elastico Lineare.

6.2.1 Consolidazione primaria - Fasi dell'analisi FEM

Per la modellazione delle sezioni di rilevati è stata adottata la seguente procedura in termini generali:

- Fase geostatica di inizializzazione del modello;
- Fasi di applicazione degli eventuali carichi esistenti e consolidazione a 50 anni dei rilevati esistenti, se presenti;
- Fasi di costruzione del nuovo rilevato in strati di 1 – 1.5 m d'altezza (durata complessiva 9 mesi)
- Fase di applicazione del carico dovuto al pacchetto di armamento ferroviario del nuovo rilevato in 1 giorno; a partire dall'inizio di questa fase, ha inizio il calcolo del cedimento residuo;
- Fase di consolidazione.

6.2.2 Consolidazione secondaria - Valutazione dei cedimenti tramite formulazione semplificata

Stante la natura dei materiali coesivi incontrati, laddove la possibilità di sviluppo di cedimenti secondari non sia ritenuta trascurabile, al contributo di cedimento residuo dovuto alla consolidazione primaria calcolato con il modello ad elementi finiti con il codice di calcolo Plaxis sono stati poi sommati quelli dovuti alla consolidazione secondaria.

Per la valutazione dei cedimenti secondari legati alla componente viscosa sono stati tenuto in conto i seguenti elementi:

- valutazione del tempo di inizio consolidazione secondaria sulla base della curva cedimenti tempo, in corrispondenza del tempo in cui si è sviluppato il 99.9%=100% del cedimento da consolidazione primaria primario;
- definizione dello spessore di calcolo corrispondente alla profondità di terreno sino alla quale il rapporto $\Delta\sigma_v$ risulta circa 10-15% della tensione geostatica iniziale.



NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA
LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E
INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2I	A1 R 11	RH	GE 00 00 001	A	28 di 149

Per il calcolo dei coefficienti di consolidazione secondaria, è stato fatto riferimento alle prove di laboratorio specifiche per le unità geotecniche in esame. Per ulteriori approfondimenti si rimanda al documento citato e a quanto riportato nella relazione geotecnica (Doc. [N.15])

Per il calcolo dei cedimenti è stato fatto riferimento alla seguente equazione:

$$s_s = \sum_1^n \log \left(\frac{t}{t_{100,i}} \right) \cdot c_{\alpha,\varepsilon,i} \cdot h_i$$

essendo:

- s_s = cedimento secondario (m);
- t = tempo di calcolo (anni);
- $t_{100,i}$ = tempo di esaurimento della consolidazione primaria (qui considerata conclusa al 99.9% del suo sviluppo);
- h_i = altezza dello strato i -esimo di terreno interessato da consolidazione secondaria (m);
- n = numero di strati di terreno interessato da consolidazione secondaria (-);
- $c_{\alpha,\varepsilon}$ = coefficiente di consolidazione secondaria nello strato i -esimo.

In presenza di più strati potenzialmente interessati da consolidazione secondaria, sarà utilizzato un coefficiente $c_{\alpha,\varepsilon}$, medio, pesato sullo spessore degli strati di terreno coinvolti.

7 ANALISI DELLE SEZIONI DI CALCOLO

7.1 SELEZIONE DELLE SEZIONI DI CALCOLO

Per l'esecuzione delle verifiche sono state selezionate 7 sezioni in trincea e 5 sezioni in rilevato, ritenute quelle maggiormente rappresentative in funzione dell'assetto stratigrafico e della geometria della sezione. Per quanto riguarda rilevati e trincee ubicate in aree di dissesto (cfr. Profili Geotecnici), si considerano tali aree generalmente stabilizzate attraverso gli interventi opportunamente dimensionati e riportati nella relazione [11] ed elaborati grafici [12] e [13].

Per le trincee si è deciso di inserire opere quali muri di sostegno e/o paratie per altezze dei tagli superiori ai 5 m, ad eccezione dei casi ricadenti nell'unità geotecnica DEP per le quali si farà riferimento ad un'altezza critica $H=2m$. La pendenza di scavo analizzata per tutti i casi è 3H:2V.

Con riferimento alle unità geotecniche presenti ed alla posizione della falda di progetto (si veda Tabella 3-1), si è deciso di eseguire le analisi sulle seguenti sezioni:

Tabella 7-1: Trincee ferroviarie - sezioni di analisi.

Sezione	Trincea di riferimento	Unità geotecnica	Altezza scavo max.* (m)
No.1	(TR04, BP)	BPb	5
No.2	(TR06, BP)	BPa	5
No.3	(TR21, BP)	LDC/TSG	5
No.4	(TR24, BP)	BTL-PLMb	5
No.5	-	AVF	5
No.6	(TR15, BP)	FMS	5
No.7	(TR16, BP)	DEP	2

Si pone in evidenza che la geometria analizzata corrisponde alla fase provvisoria (i.e. precedente alla messa in opera del ballast) perché in tale fase l'altezza della scarpata considerata è maggiore rispetto a quella in condizione definitiva; per questo motivo è da considerarsi la condizione più critica, anche se provvisoria.

Per quanto riguarda la stabilità globale dei rilevati, stanti le loro caratteristiche geometriche (altezza, presenza di muri di sottoscampa, ecc.), i parametri geotecnici delle unità di fondazione e la posizione del livello di falda di progetto (si veda Tabella 3-2), si è stabilito di eseguire le analisi sulle seguenti sezioni:

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A	FOGLIO 30 di 149

Tabella 7-2: Rilevati ferroviari - sezioni di analisi.

Sezione	Progressiva indicativa	Max. altezza (m)	Unità geotecnica
No.1	1+350	5,7	BPb
No.2	3+550	9,0	DEP/BPb
No.3	12+300	9,4	BPa
No.4	20+500	7,0	AVF
No.5	30+450	12,1	RGC / BTL-PLM

Le sezioni selezionate sono state repute come rappresentative e/o caratterizzate da maggiori criticità dal punto di vista geometrico e geotecnico, ricoprendo in questo modo la quasi totalità del tracciato.

In ordine di numerazione di rilevato, i criteri di selezione per ciascuna analisi sono stati i seguenti:

- 1) Rilevato ferroviario di massima altezza in affiancamento alla linea ferroviaria esistente;
- 2) Rilevato ferroviario di massima altezza in BPb e con larghezza dell'impronta limitata vista la presenza di un muro di sottoscarpa;
- 3) Rilevato ferroviario di massima altezza in assoluto lungo tutto il tracciato (in BPa);
- 4) Rilevato ferroviario di massima altezza in AVF con falda di progetto coincidente con p.c.;
- 5) Rilevato ferroviario di massima altezza in RGC e BTL-PLMb con falda di progetto non profonda.

I parametri geotecnici sono riassunti per ogni analisi svolta, in base alla caratterizzazione geotecnica contenuta nella Relazione Geotecnica, Doc.Rif. [9].

Per le verifiche sismiche si è tenuto conto della suddivisione del tracciato in base a quanto contenuto nella Relazione Geotecnica, Doc.Rif. [9] (si veda Tabella 5-4). Visto l'elevato valore assunto dalle accelerazioni di progetto è stata dapprima eseguita la verifica della stabilità interna del rilevato (i.e. indipendente dalle condizioni geotecniche del materiale di fondazione) in condizioni sismiche. Le relative analisi di stabilità sono incluse nel paragrafo 7.15; da questa analisi si identificano le altezze massime dei rilevati oltre le quali è stato necessario inserire opere di sostegno (Tabella 7-17).

Per i rilevati ferroviari vengono considerati i parametri geotecnici riportati nella tabella seguente, secondo quanto indicato dal Manuale di Progettazione RFI.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

Tabella 7-3: Parametri geotecnici per i rilevati

Strato	γ	ϕ'	c'	E'
[-]	[kN/m ³]	[°]	[kPa]	[MPa]
Rilevati ferroviari di nuova realizzazione	20	38	0	30
Rilevati ferroviari esistenti	20	35	0	30
Supercompattato (*)	20	40	10	-

(*) lo strato di supercompattato è tenuto in conto nelle analisi di stabilità (capitolo 7.15) con i parametri riportati in questa tabella e assunti con approccio cautelativo in relazione alle caratteristiche esecutive e dei materiali dello stesso.

7.2 CARICHI DI PROGETTO

7.2.1 Rilevati e trincee ferroviarie

I carichi di progetto considerati nelle analisi delle opere ferroviarie del presente documento sono i seguenti:

- Carico rappresentativo del pacchetto di armamento ferroviario (ballast, traversine, rotaie); tale carico è considerato solamente nelle verifiche dei rilevati (SLE, SLU, SLV), in quanto per le trincee questo carico avrebbe una funzione stabilizzante;
- Sovraccarico rappresentativo del traffico ferroviario; tale carico è considerato solamente nelle verifiche di stabilità globale SLU e SLV dei rilevati, in quanto agirebbe come fattore stabilizzante per le trincee; nelle verifiche SLE, coerentemente con quanto riportato nel manuale di progettazione RFI, non si considera il sovraccarico ferroviario, essendo l'analisi da svolgersi con i soli carichi permanenti;
- Sovraccarico accidentale 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: tale carico è considerato solamente nelle verifiche delle trincee e dei rilevati allo SLV.

L'armamento ferroviario, come da Manuale di Progettazione (Doc. [3]), è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 14.4 kPa, rappresentativo di uno strato di spessore pari a circa 0.80 m con un peso pari a 18 kN/m³. Il carico è stato applicato sulla sommità del rilevato su una fascia di larghezza pari a:

- 5.4 m quando c'è un unico binario ferroviario;
- 9.4 m quando ci sono due binari paralleli, con interasse binario 4 m ;
- 9.9 m quando ci sono due binari paralleli, con interasse binario 4.5 m .

Il sovraccarico da traffico ferroviario è stato valutato, in accordo a quanto riportato nel Doc. [3], considerando il treno di carico LM71 (con $\alpha=1.1$), che per i casi in esame risulta essere più gravoso rispetto al treno di carico SW2. In particolare, si è fatto riferimento ai quattro assi da 250 kN disposti ad interasse di 1.60 m e pertanto si è considerato un carico pari a $\alpha \cdot Q_{vk}/i = 1.1 \cdot (4 \cdot 250) / (4 \cdot 1.6) = 171.88$ kN/m. Per riportare tale carico dalla traversina, di larghezza pari a 2.6 m, al piano al di sotto dell'armamento si è considerata una diffusione con pendenza 1H:4V su un'altezza di 40 cm. Pertanto, la pressione equivalente per ogni linea ferroviaria è stata considerata applicata su una fascia di larghezza pari a 2.8 m, centrata in corrispondenza dell'asse della linea ferroviaria, e pari a 61.4 kPa.

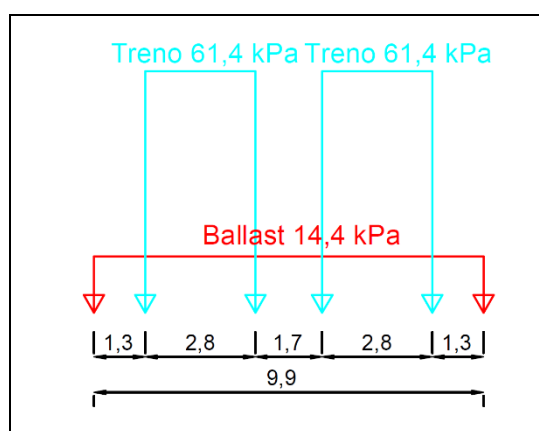


Figura 7-1: diagramma di applicazione del sovraccarico del ballast e del traffico ferroviario (tratte AV con doppio binario)

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

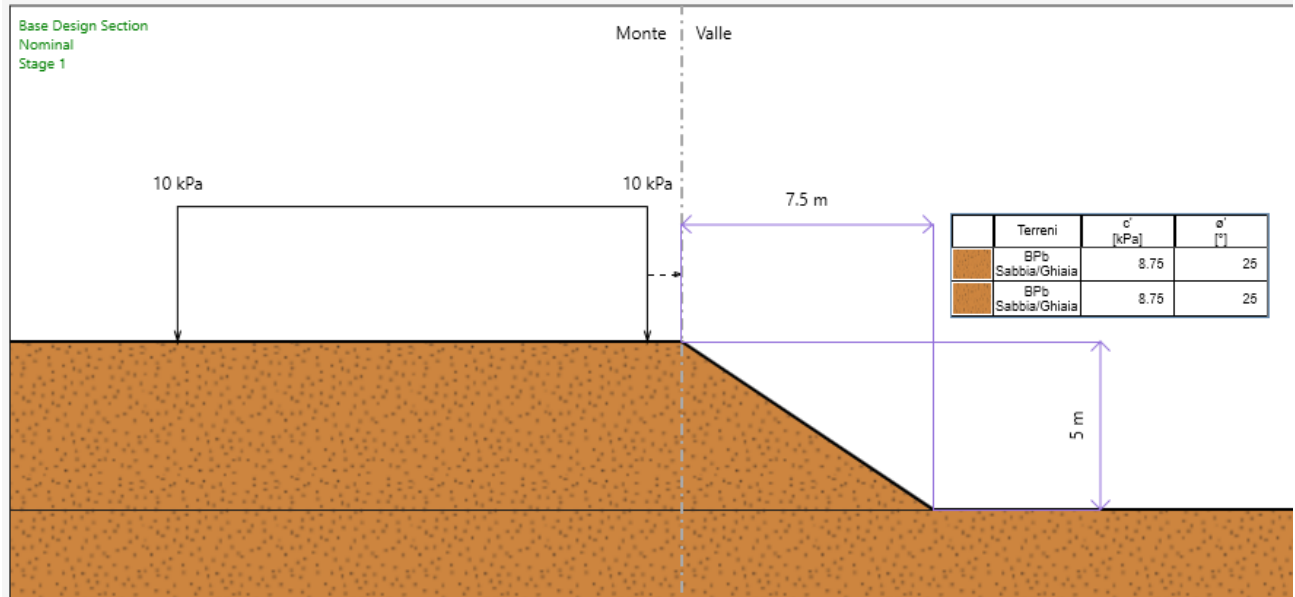


Figura 7-3: Modello di calcolo.

I parametri geotecnici caratteristici assunti sono quelli riportati nella tabella sottostante. Si fa notare che per le verifiche delle trincee si è ritenuto opportuno considerare valori della coesione efficace più cautelativi rispetto a quanto fatto per le altre opere. Tale decisione deriva dal voler tenere in conto il fatto che si tratta di tagli negli spessori più superficiali delle unità, quindi generalmente più alterate o comunque soggette all'effetto di agenti esogeni, soprattutto a lungo termine.

Tabella 7-4: Parametri geotecnici.

U.G.	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (°)
BPb	19.5	8.75 ⁽¹⁾	25

⁽¹⁾ In generale, il valore di c' su cui ci si è orientati è pari circa al 50% del valor medio relativo all'intervallo definito nelle Relazione Geotecnica [9].

7.3.1 Analisi in condizioni statiche in condizioni drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni statiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto.

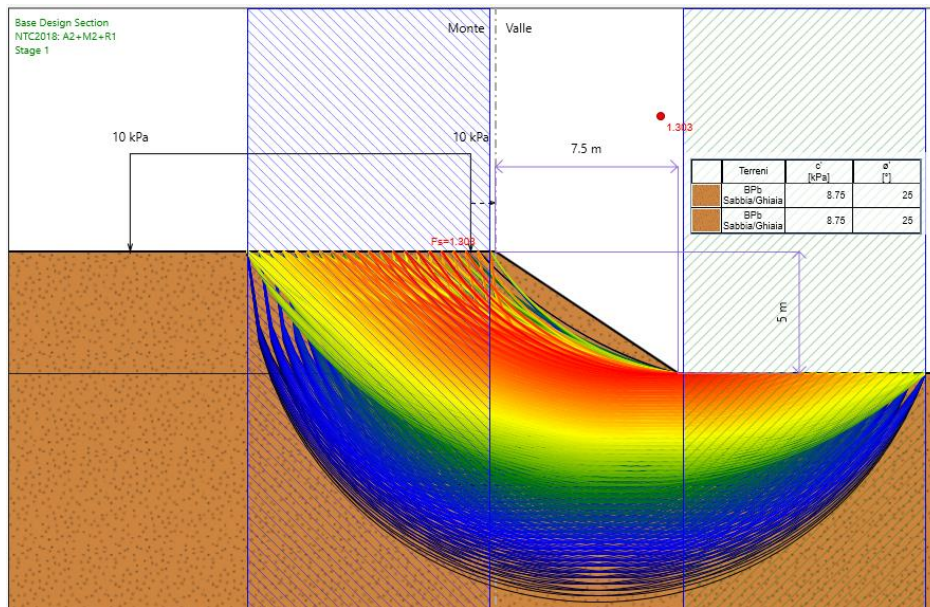


Figura 7-4: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2.

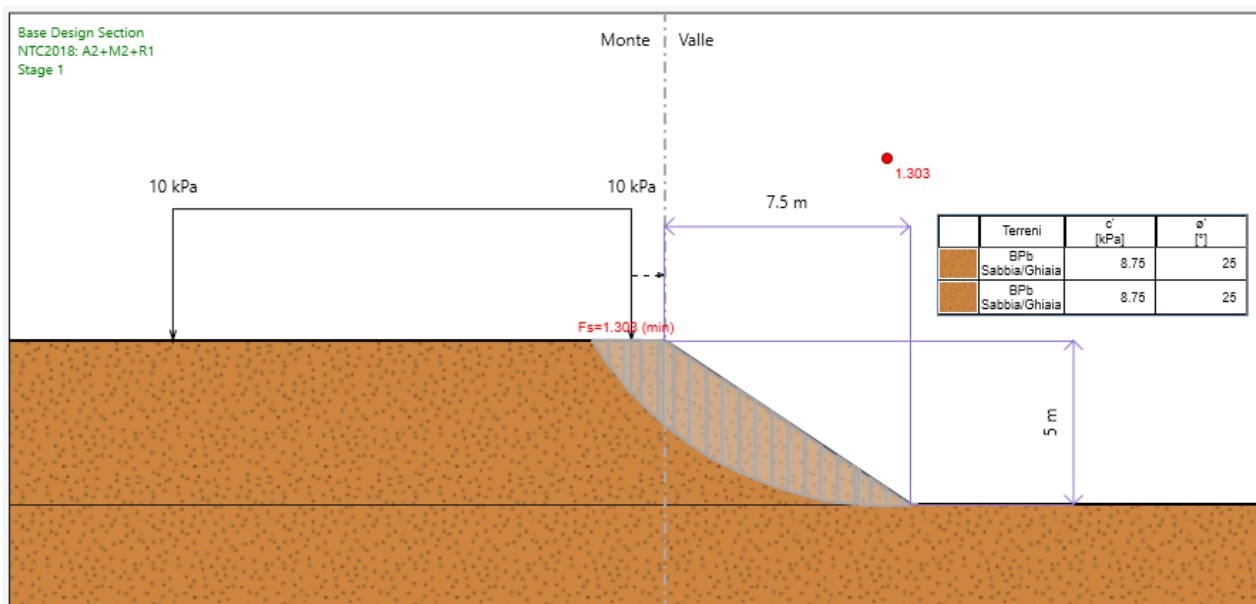


Figura 7-5: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2.

Il fattore di sicurezza FS minimo è pari a: $FS_{MIN} = 1.30$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.1$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

7.3.2 *Analisi in condizioni sismiche in condizioni drenate*

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni sismiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto.

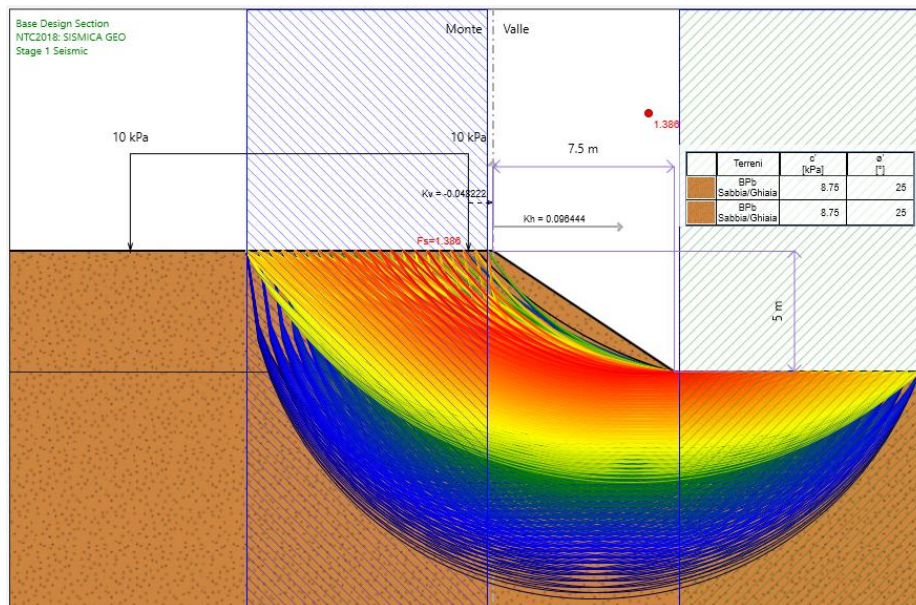


Figura 7-6: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2.

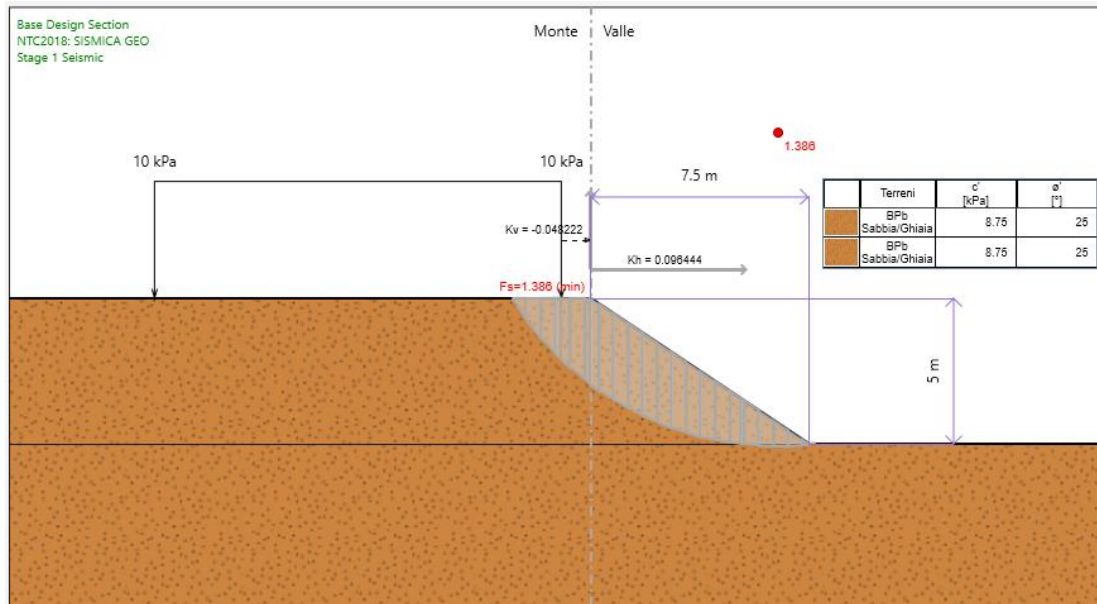


Figura 7-7: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2.

Il fattore di sicurezza FS minimo è pari a: $FS_{MIN} = 1.39$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.2$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.

7.3.3 Conclusioni

Le analisi precedenti hanno confermato la possibilità di eseguire trincee aperte con altezza massima pari a 5 m nell'unità geotecnica BPb.

7.4 ANALISI TRINCEA N.2 IN BPA

In questo paragrafo si analizza la scarpata definitiva nell'unità geotecnica BPa; si prende come modello geotecnico di riferimento quello corrispondente alla trincea TR06 (PK 10+930 -10+947, aprox.), in approccio alla galleria artificiale GA03. Si analizza la scarpata con 5 m di altezza come massimo dislivello e con pendenza 3H:2V.

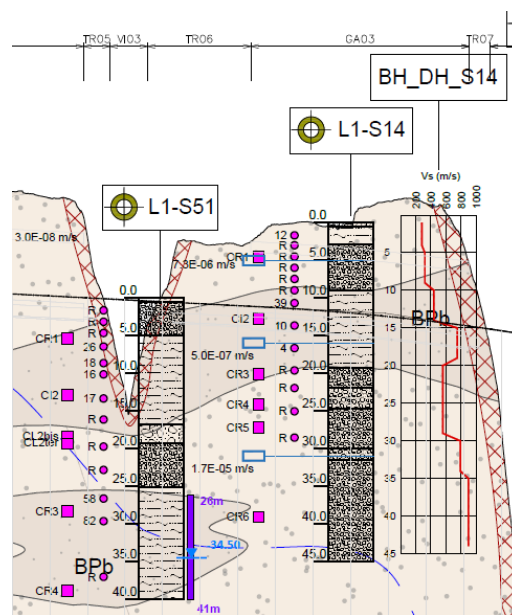


Figura 7-8: modello geotecnico per la TR06.

In base al Profilo Geotecnico, il livello di falda di progetto è ubicato a profondità talmente elevata (oltre 30 m) da non avere influenza sulla verifica di stabilità nel modello geotecnico in esame. Per questo motivo si esegue solamente l'analisi di stabilità in condizioni drenate.

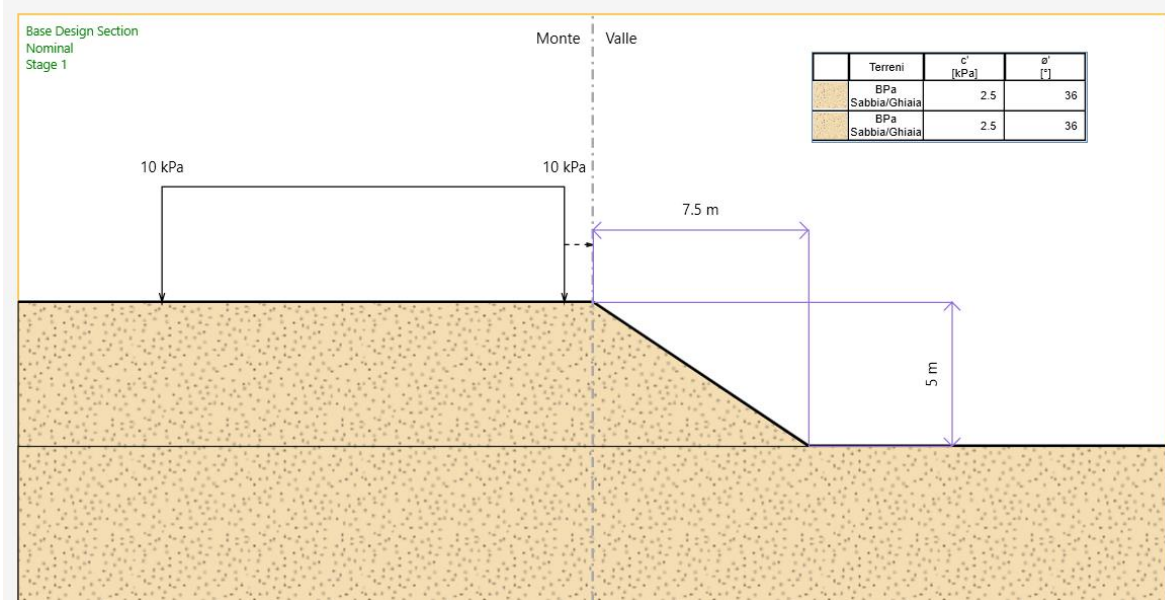


Figura 7-9: modello di calcolo.

I parametri geotecnici caratteristici assunti sono quelli riportati nella tabella sottostante. Si fa notare che per le verifiche delle trincee si è ritenuto opportuno considerare valori della coesione efficace più cautelativi rispetto a quanto fatto per le altre opere. Tale decisione deriva dal voler tenere in conto il fatto che si tratta di tagli negli spessori più superficiali delle unità, quindi generalmente più alterate o comunque soggette all'effetto di agenti esogeni, soprattutto a lungo termine.

Tabella 7-5: Parametri geotecnici.

U.G.	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (°)
BPa	19.5	2.5 ⁽¹⁾	36

⁽¹⁾ In generale, il valore di c' su cui ci si è orientati è pari circa al 50% del valor medio relativo all'intervallo definito nelle Relazione Geotecnica [9].

7.4.1 Analisi in condizioni statiche in condizioni drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni statiche ed il fattore di sicurezza minimo ottenuto.

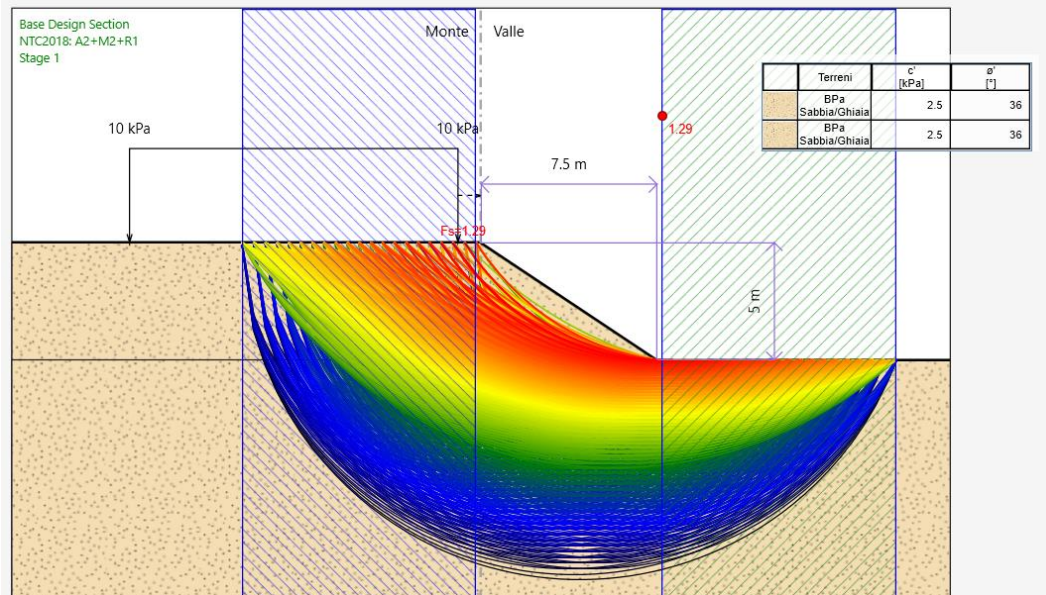


Figura 7-10: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2.

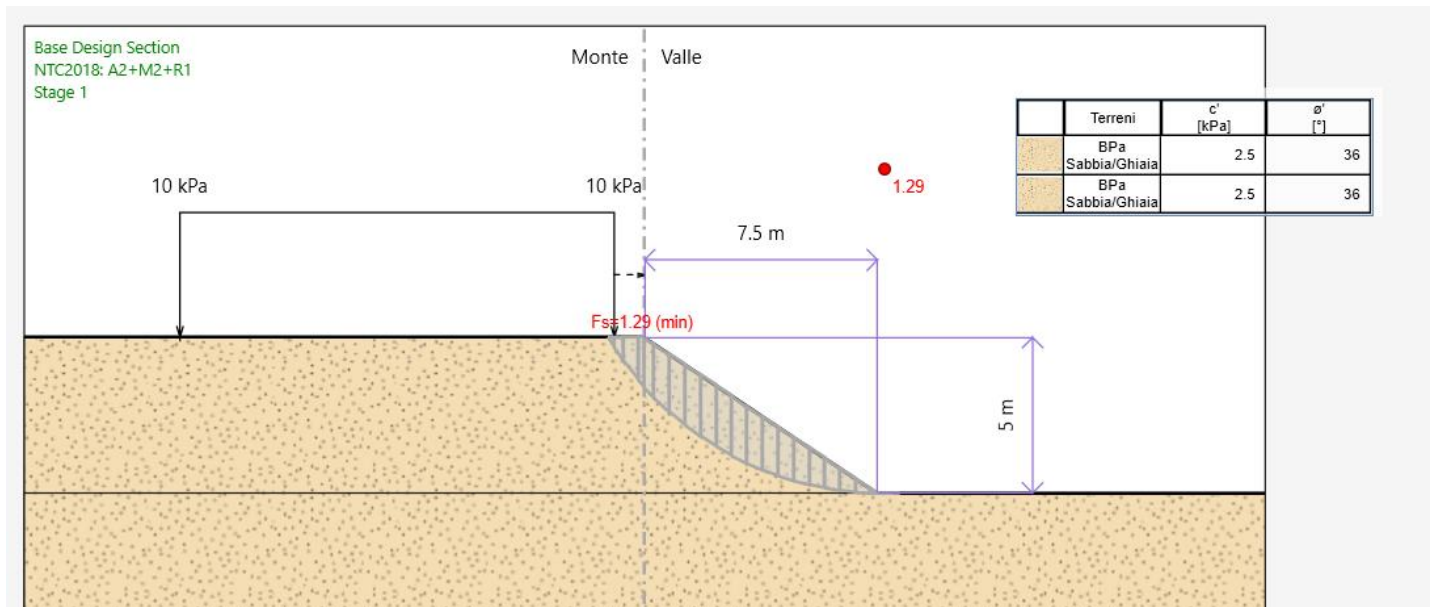


Figura 7-11: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2.

Il fattore di sicurezza FS minimo è pari a: $FS_{MIN} = 1.29$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.1$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

7.4.2 Analisi in condizioni sismiche in condizioni drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni sismiche ed il fattore di sicurezza minimo ottenuto.

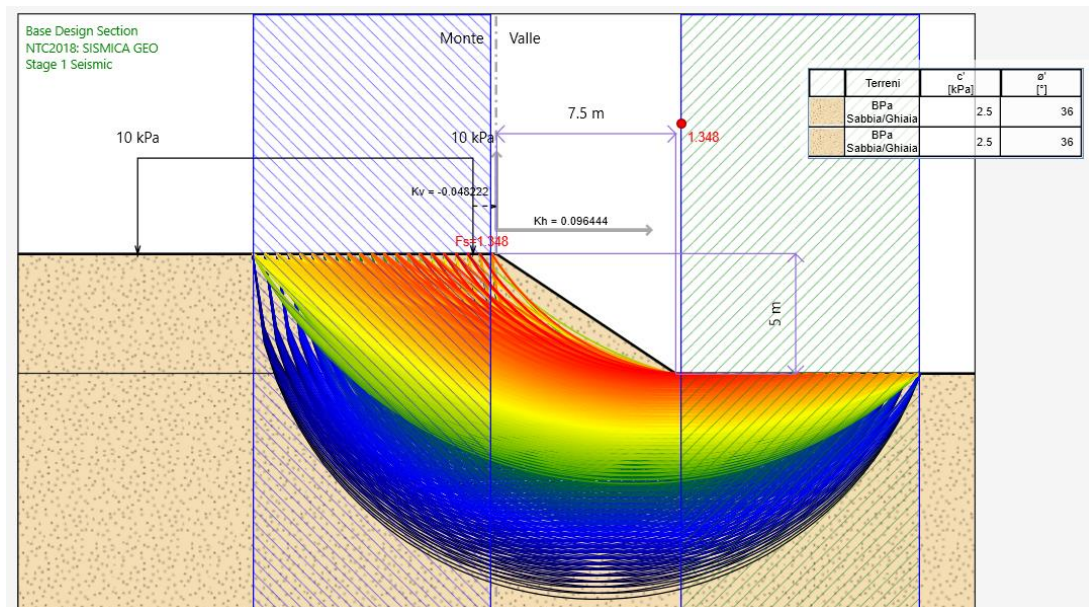


Figura 7-12: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2.

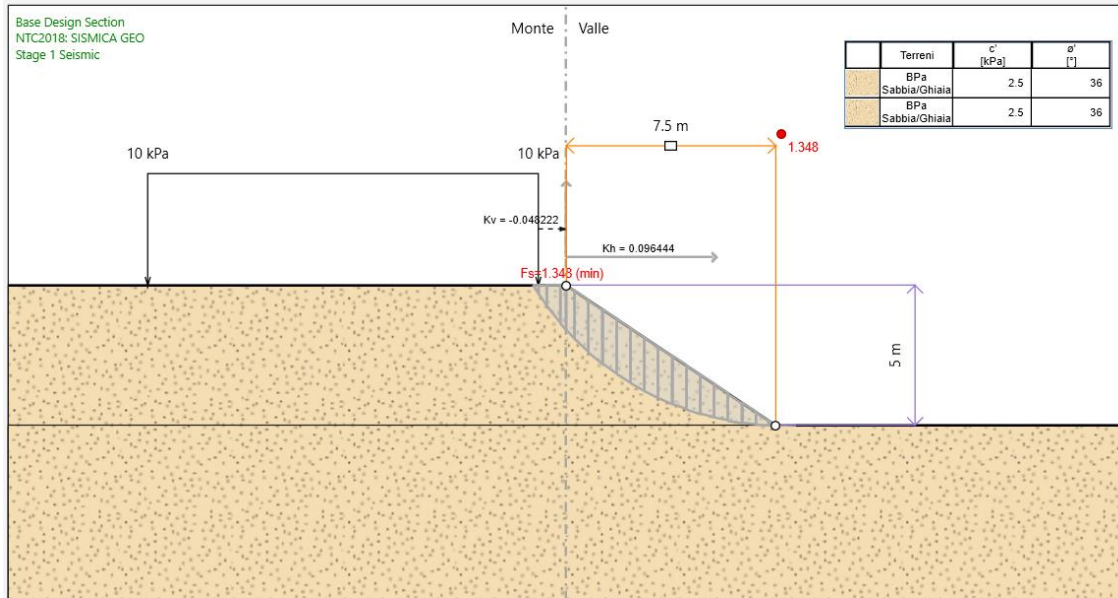


Figura 7-13: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2.

Il fattore di sicurezza FS minimo è pari a: $FS_{MIN} = 1.35$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.2$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.

7.4.3 Conclusioni

Le analisi precedenti hanno confermato la possibilità di eseguire trincee aperte con altezza massima pari a 5 m nell'unità geotecnica BPa.

7.5 ANALISI TRINCEA N.3 IN LDC/TSG

In questo paragrafo si analizza la scarpata definitiva con massima altezza che potrà realizzarsi in sezioni con geologia variabile, nelle unità geotecniche LDC e TSG. Si prende come modello geotecnico quello corrispondente alla trincea TR21 (PK 26+917 – 26+920, aprox.), in uscita della galleria artificiale GA17, anche se non si prevedono trincee aperte in questa ubicazione. Si analizza la scarpata con 5 m di altezza come massimo dislivello e con pendenza 3H:2V.

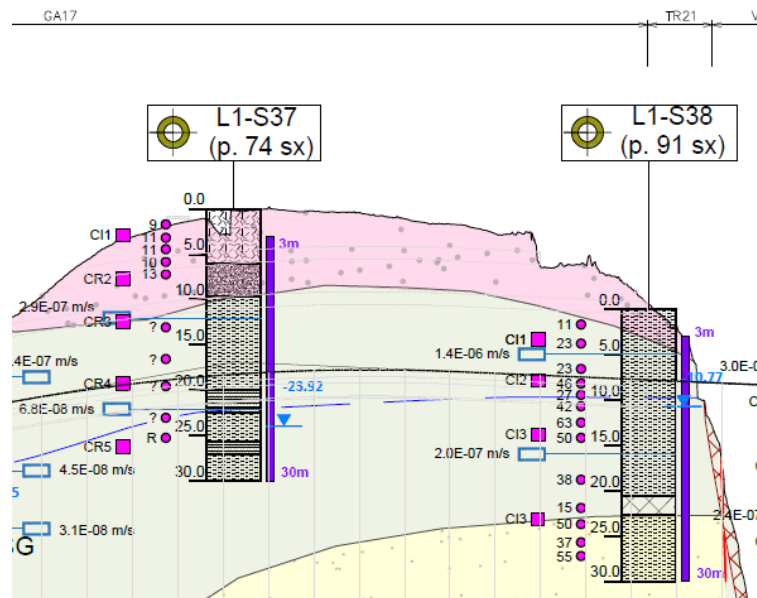


Figura 7-14: modello geotecnico per la TR21.

In base al Profilo Geotecnico, il livello di falda di progetto è ubicato a 10 m di profondità, come da lettura piezometrica disponibile.

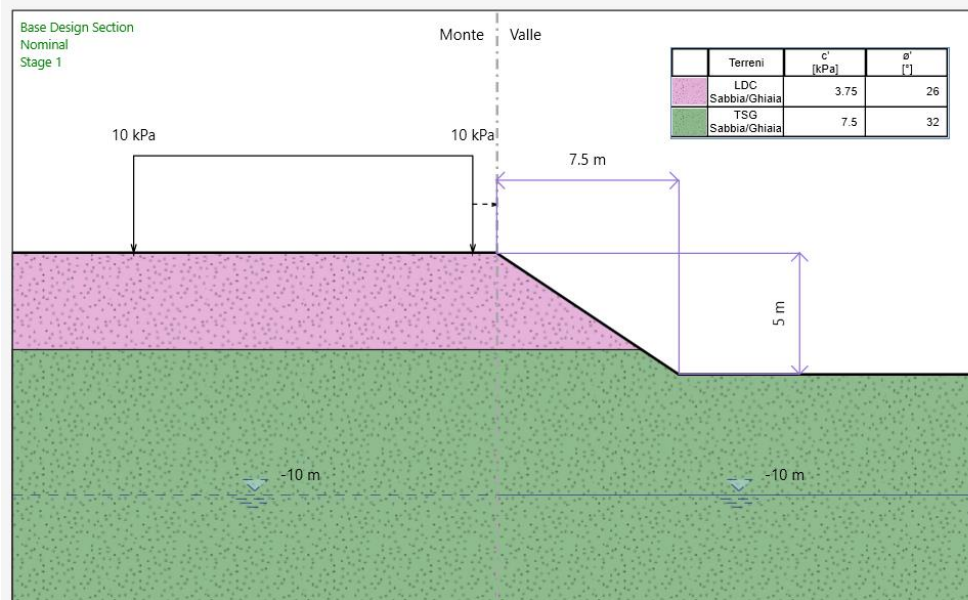


Figura 7-15: modello di calcolo.

I parametri geotecnici caratteristici assunti sono quelli riportati nella tabella sottostante. Si fa notare che per le verifiche delle trincee si è ritenuto opportuno considerare valori della coesione efficace più cautelativi rispetto a quanto fatto per le altre opere. Tale decisione deriva dal voler tenere in conto il fatto che si tratta di tagli negli spessori più superficiali delle unità, quindi generalmente più alterate o comunque soggette all'effetto di agenti esogeni, soprattutto a lungo termine.

Tabella 7-6: Parametri geotecnici.

U.G.	Da (m)	A (m)	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (°)
LDC	0	-4.0	18.0	3.75 ⁽¹⁾	26
TSG	-4.0	Fine modello	18.0	7.5 ⁽¹⁾	32

⁽¹⁾ In generale, il valore di c' su cui ci si è orientati è pari circa al 50% del valor medio relativo all'intervallo definito nelle Relazione Geotecnica [9].

7.5.1 Analisi in condizioni statiche in condizioni drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni statiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto.

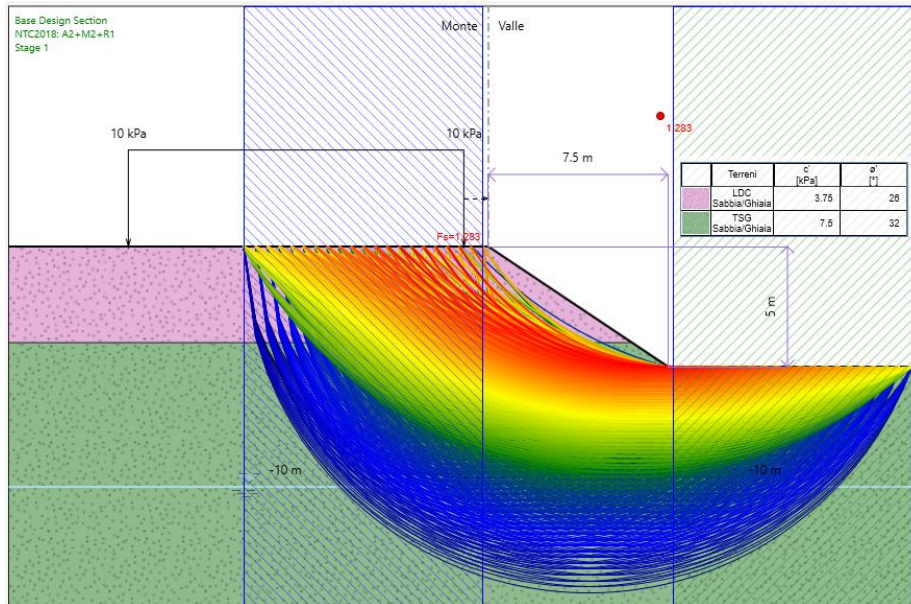


Figura 7-16: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2.

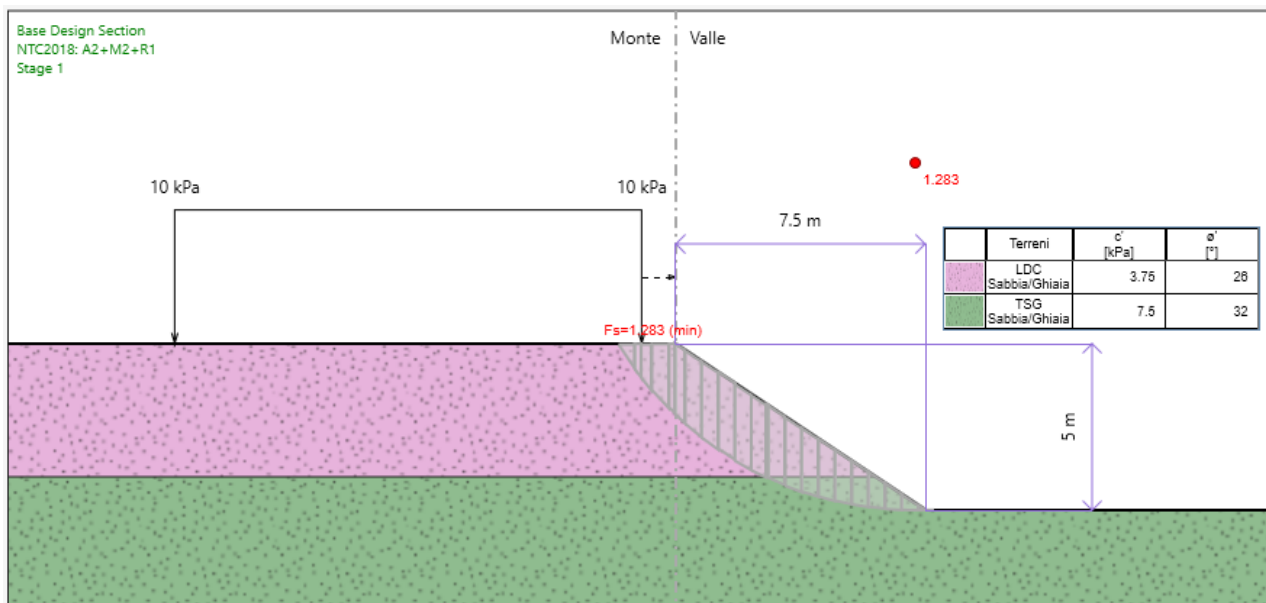


Figura 7-17: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2.

Il fattore di sicurezza FS minimo è pari a: $FS_{MIN} = 1.28$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.1$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

7.5.2 Analisi in condizioni sismiche in condizioni drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici analizzate in condizioni sismiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto.

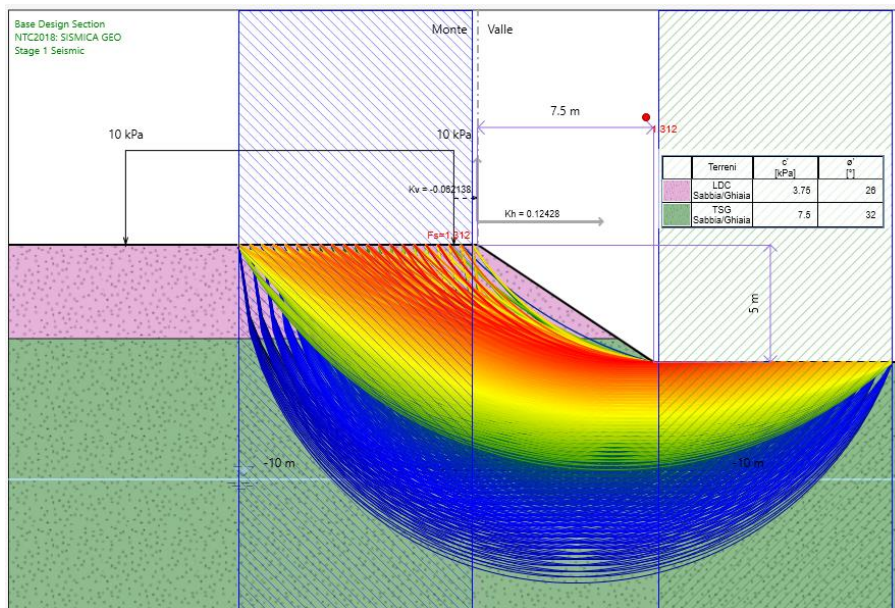


Figura 7-18: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2.

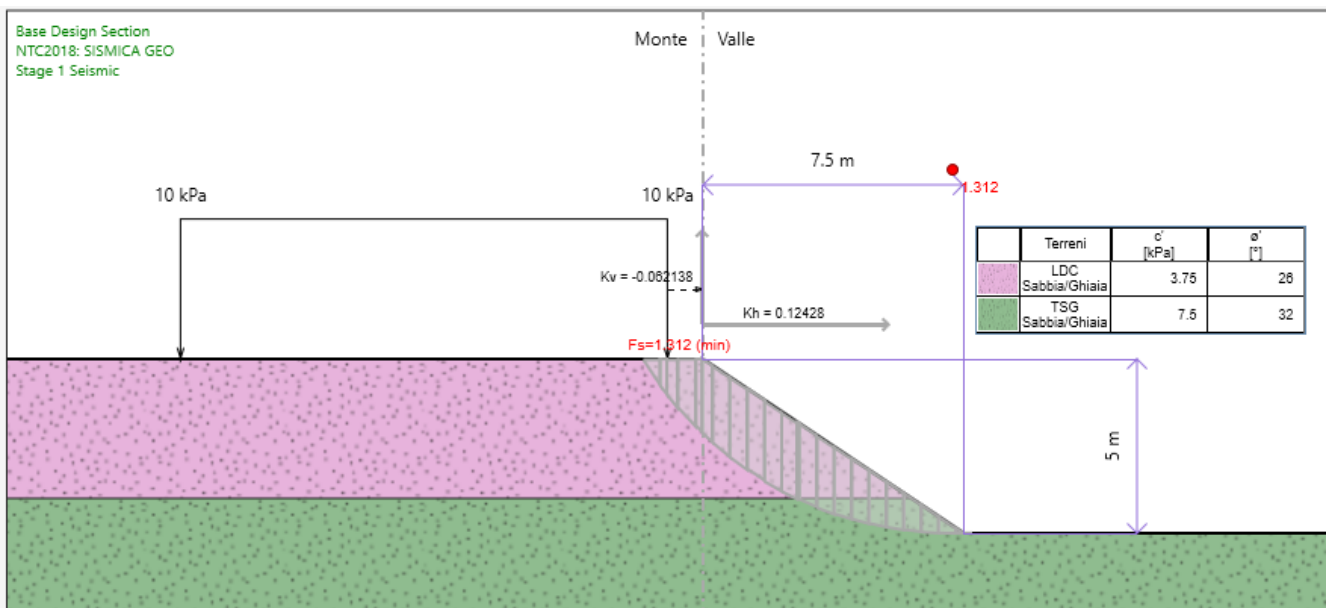


Figura 7-19: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2.



NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA
LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E
INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2I	A1 R 11	RH	GE 00 00 001	A	47 di 149

Il fattore di sicurezza FS minimo è pari a: $FS_{MIN} = 1.31$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.2$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta

7.5.3 Conclusioni

Le analisi precedenti hanno confermato la possibilità di eseguire trincee aperte con altezza massima pari a 5 m nelle unità geotecniche LDC/TSG.

7.6 ANALISI TRINCEA N.4 IN BTL-PLMb

In questo paragrafo si analizza la scarpata definitiva nell'unità geotecnica BTL-PLMb; si prende come modello geotecnico di riferimento quello corrispondente alla trincea TR24 (PK 25+105 – 28+132, aprox.). Si analizza la scarpata con 5 m di altezza come massimo dislivello e con pendenza 3H:2V.

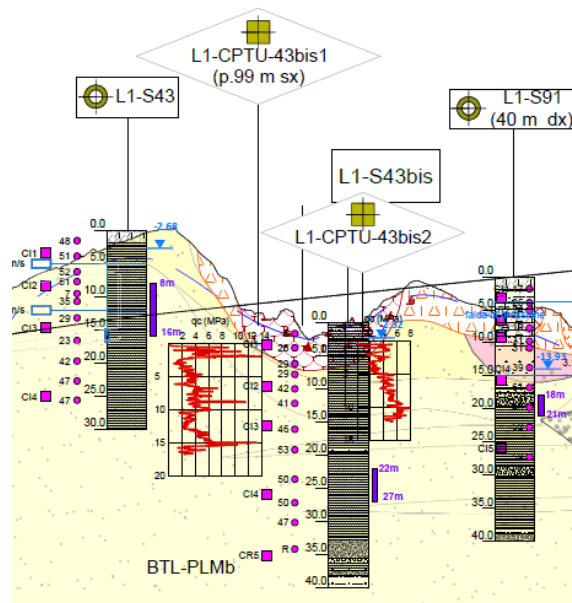


Figura 7-20: modello geotecnico per la TR25.

La falda di progetto si trova a circa – 5 m dal piano campagna, quindi sarà allo stesso livello del massimo scavo della trincea. L'analisi sarà quindi eseguita in condizioni drenate e non drenate.

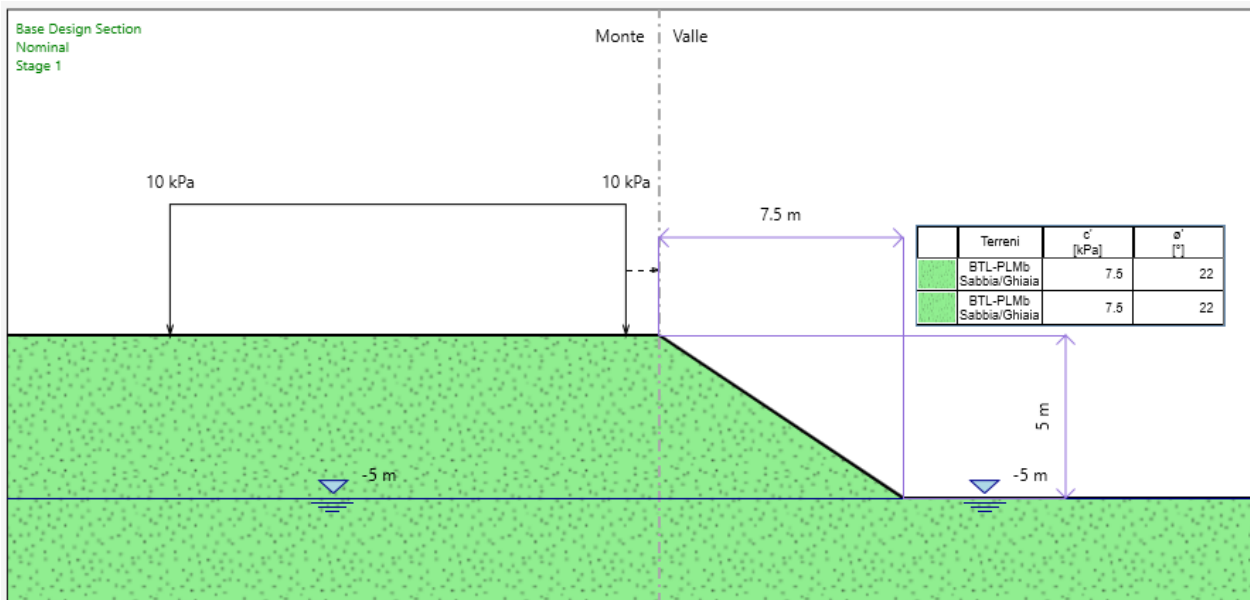


Figura 7-21: modello di calcolo.

I parametri geotecnici caratteristici assunti sono quelli riportati nella tabella sottostante. Si fa notare che per le verifiche delle trincee si è ritenuto opportuno considerare valori della coesione efficace più cautelativi rispetto a quanto fatto per le altre opere. Tale decisione deriva dal voler tenere in conto il fatto che si tratta di tagli negli spessori più superficiali delle unità, quindi generalmente più alterate o comunque soggette all'effetto di agenti esogeni, soprattutto a lungo termine.

Tabella 7-7: Parametri geotecnici.

U.G.	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (°)	Cu (kPa)
BTL-PLMb	19.0	7.5 ⁽¹⁾	22	100

⁽¹⁾ In generale, il valore di c' su cui ci si è orientati è pari circa al 50% del valor medio relativo all'intervallo definito nelle Relazione Geotecnica [9].

7.6.1 Analisi in condizioni statiche in condizioni drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni statiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto.

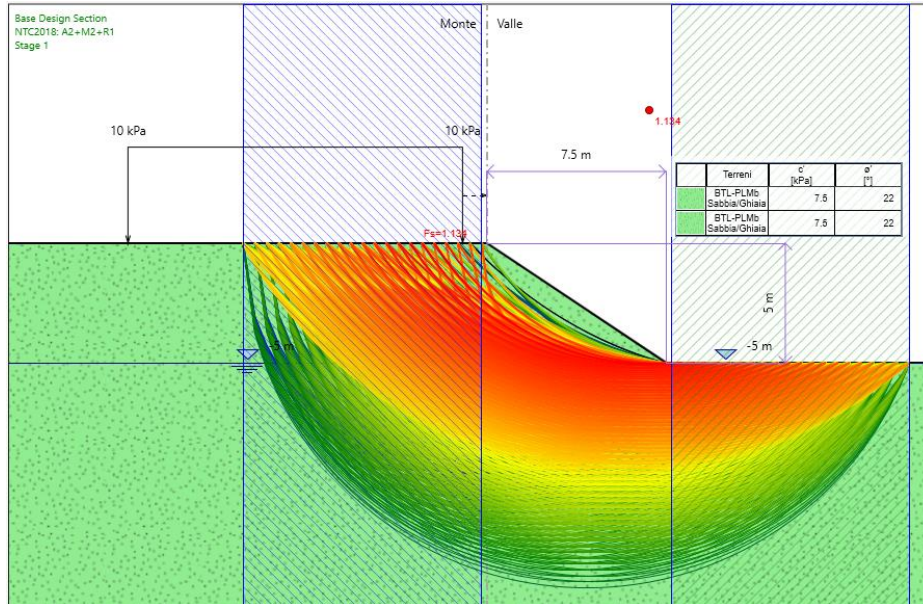


Figura 7-22: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2.

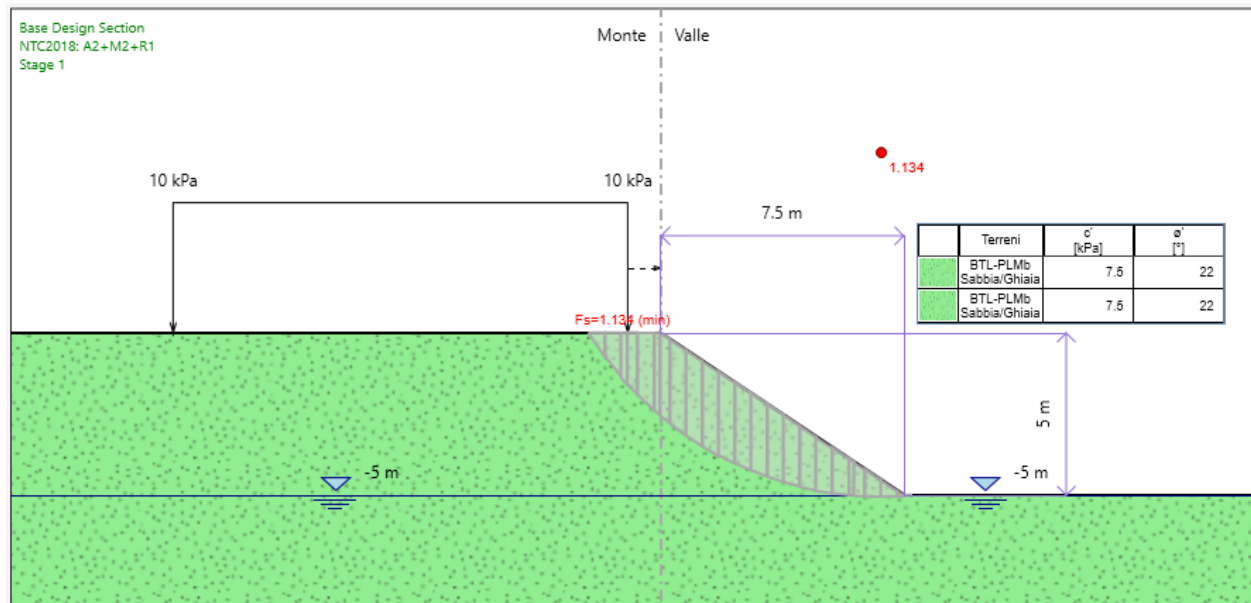


Figura 7-23: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2.

Il fattore di sicurezza FS minimo è pari a: $FS_{MIN} = 1.13$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.1$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

7.6.2 Analisi in condizioni sismiche in condizioni drenate

Per le condizioni sismiche si è usato l'approccio descritto al par. 6.1.2. Considerando un'altezza iniziale di 5 m ed applicando il metodo pseudo-statico, il risultato è **FS=1.07**, quindi ricade nel **caso 2a**.

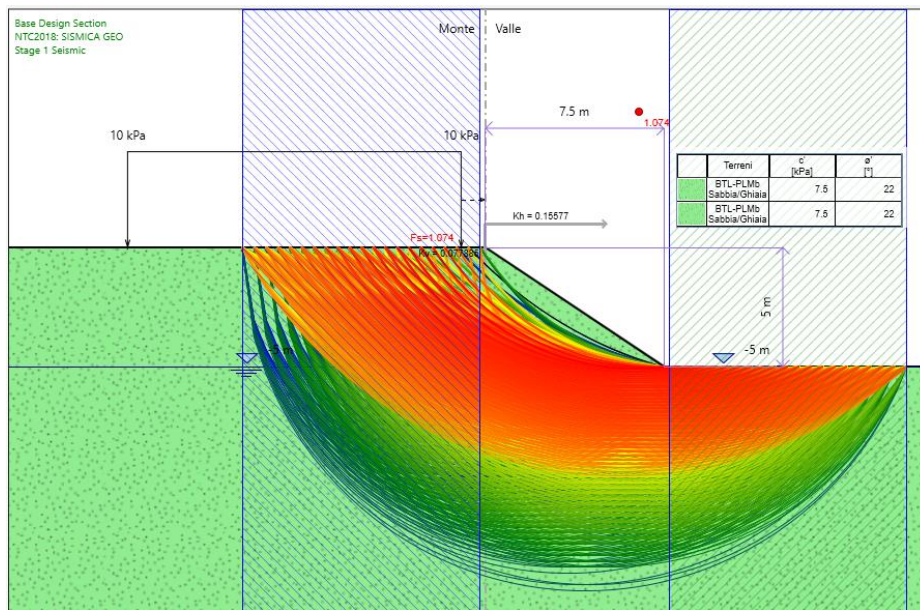


Figura 7-24: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2.

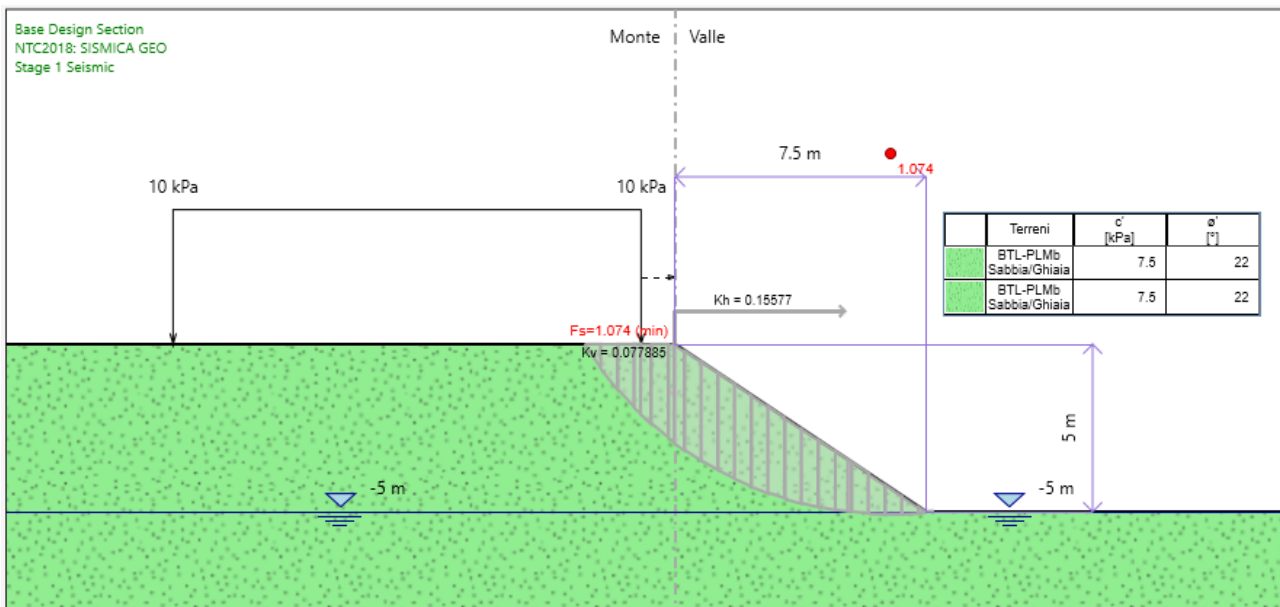


Figura 7-25: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2.

Per l'applicazione del metodo agli spostamenti è necessario calcolare l'azione critica con metodo pseudo-statico inverso; ne è derivata una $a_c=0.208g$ (vedi figura successiva).

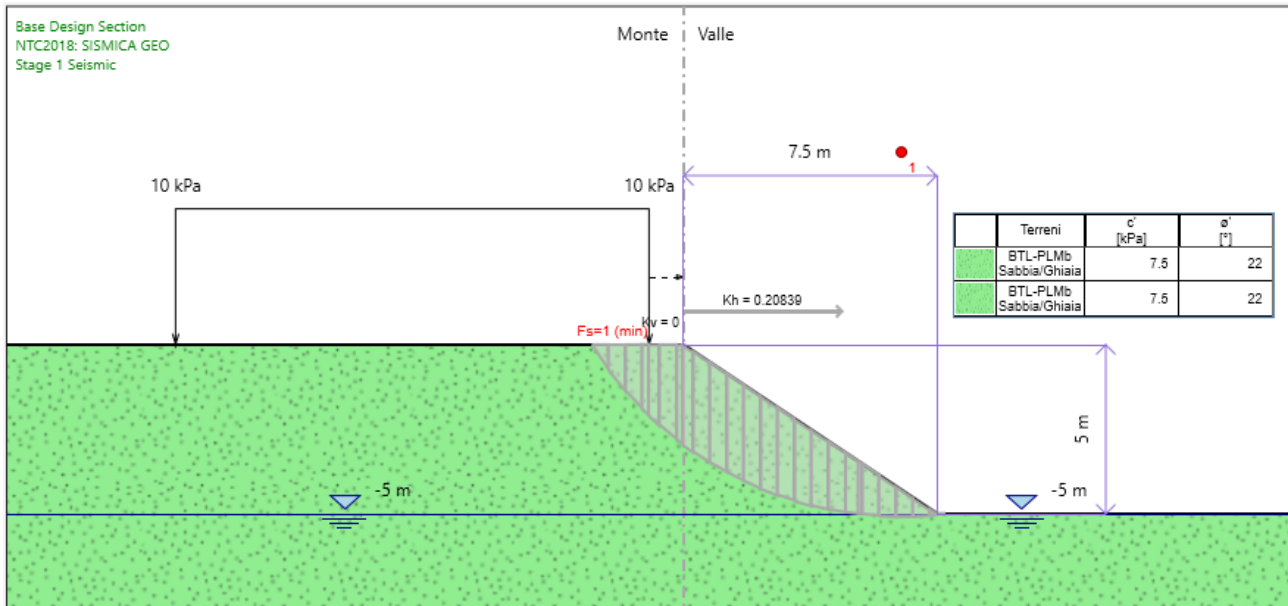


Figura 7-26: superficie critica in condizioni sismiche con metodo pseudo-statico inverso – punto 3

Applicando le formule semplificate, utilizzando come input i valori $a_{max}=0.41g$ (vedi Tabella 4-3) e $a_c=0.208g$, si ottengono spostamenti residui compresi tra 0.15 cm e 2.8 cm, con valore medio pari a **1.35 cm** (vedi **Figura 7-55**). Anche facendo riferimento al valore massimo (circa 3.0 cm), lo spostamento ottenuto è da considerarsi ammissibile per lo Stato Limite di interesse (SLV) e considerando che la superficie di scorrimento critica che non intercetta l'impronta del ballast.

Punto sismico 3 (H=5m in BTL-PLMb drenato)

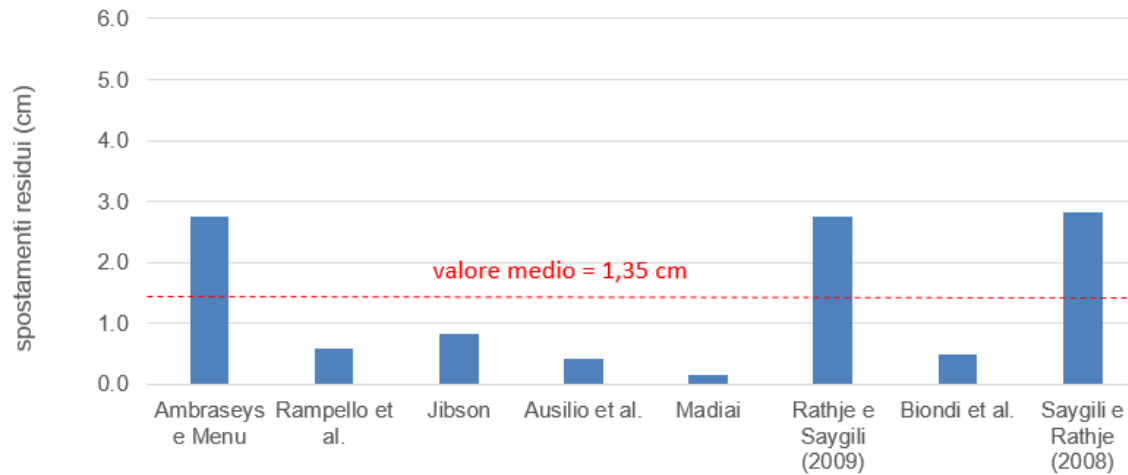


Figura 7-27: Calcolo degli spostamenti residui mediante formule semplificate (tratta sismica relativa al punto 3)

7.6.3 Analisi in condizioni statiche in condizioni non drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni statiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto, assegnando parametri drenati allo strato sopra falda e parametri non drenati allo strato sotto falda.

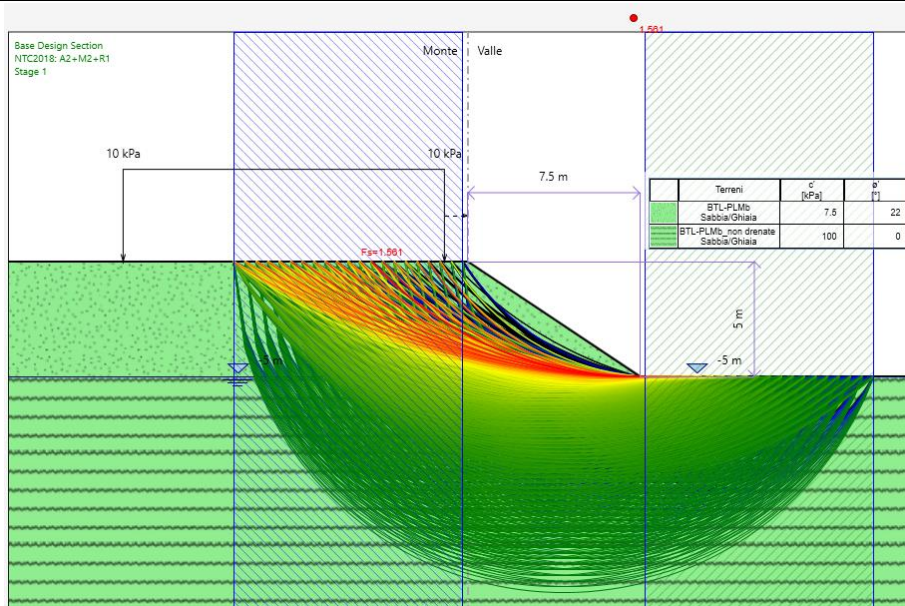


Figura 7-28: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2.

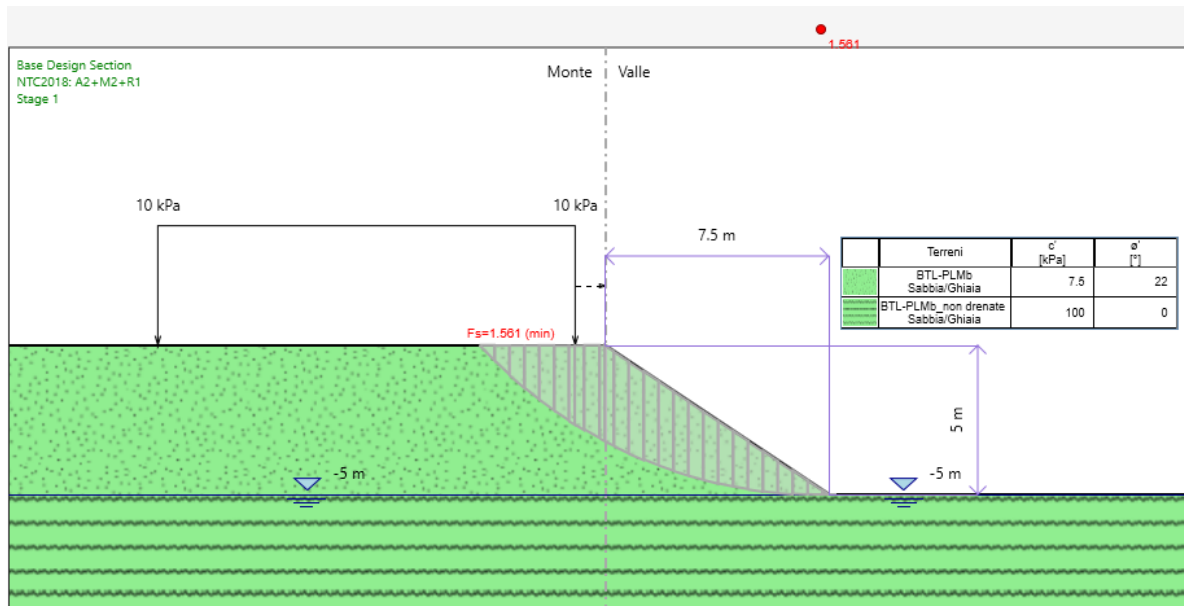


Figura 7-29: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2.

Il fattore di sicurezza FS minimo è pari a: $FS_{MIN} = 1.56$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.1$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

7.6.4 Analisi in condizioni sismiche in condizioni non drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni sismiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto.

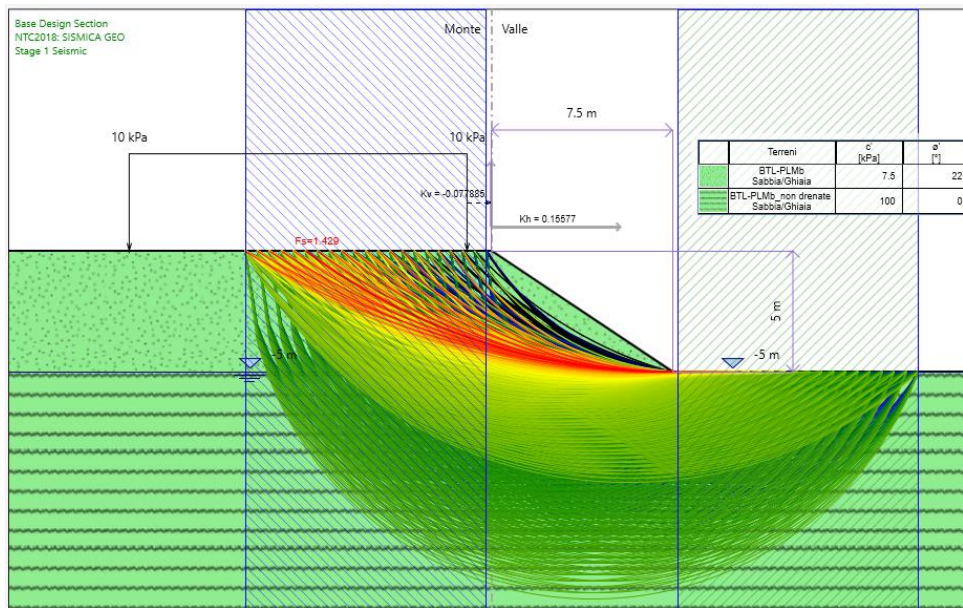


Figura 7-30: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2.

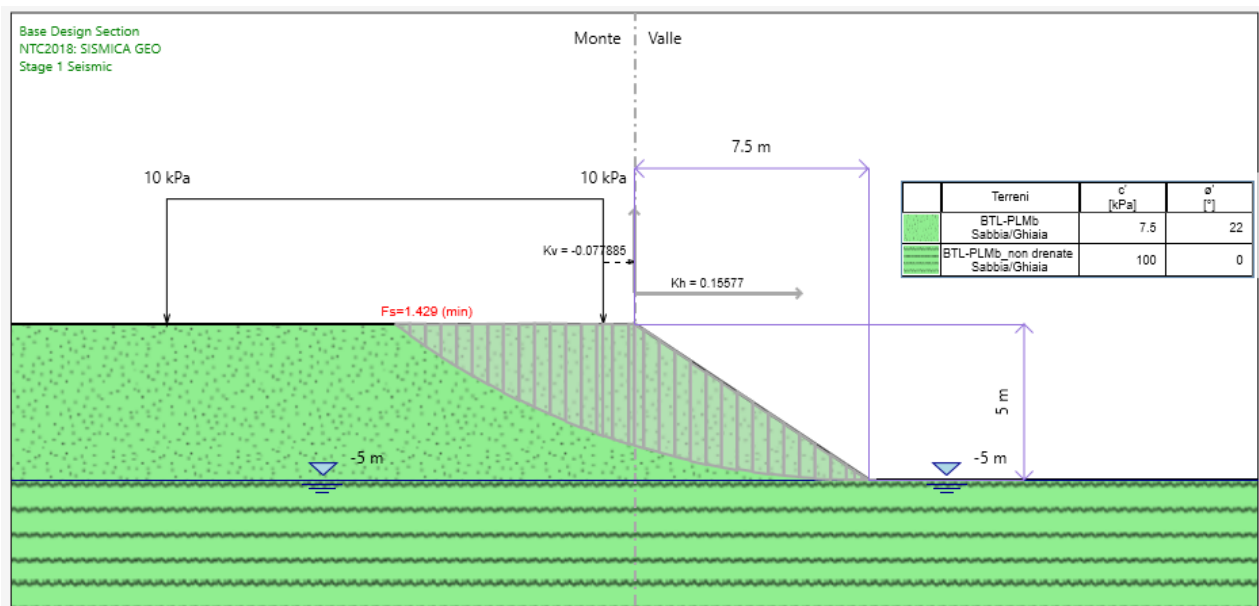


Figura 7-31: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2.

Il fattore di sicurezza FS minimo è pari a: $FS_{MIN} = 1.43$



NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA
LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E
INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2I	A1 R 11	RH	GE 00 00 001	A	56 di 149

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.2$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.

7.6.5 Conclusioni

Le analisi precedenti hanno confermato la possibilità di eseguire trincee aperte con altezza massima pari a 5 m nell'unità geotecnica BTL-PLMb.

7.7 ANALISI TRINCEA N.5 IN AVF

In questo paragrafo si analizza la scarpata definitiva nell'unità geotecnica AVF; si prende come modello geotecnico di riferimento riferito alla parte finale del tracciato del Lotto 1A. Si analizza la scarpata con 5 m di altezza come massimo dislivello e con pendenza 3H:2V.

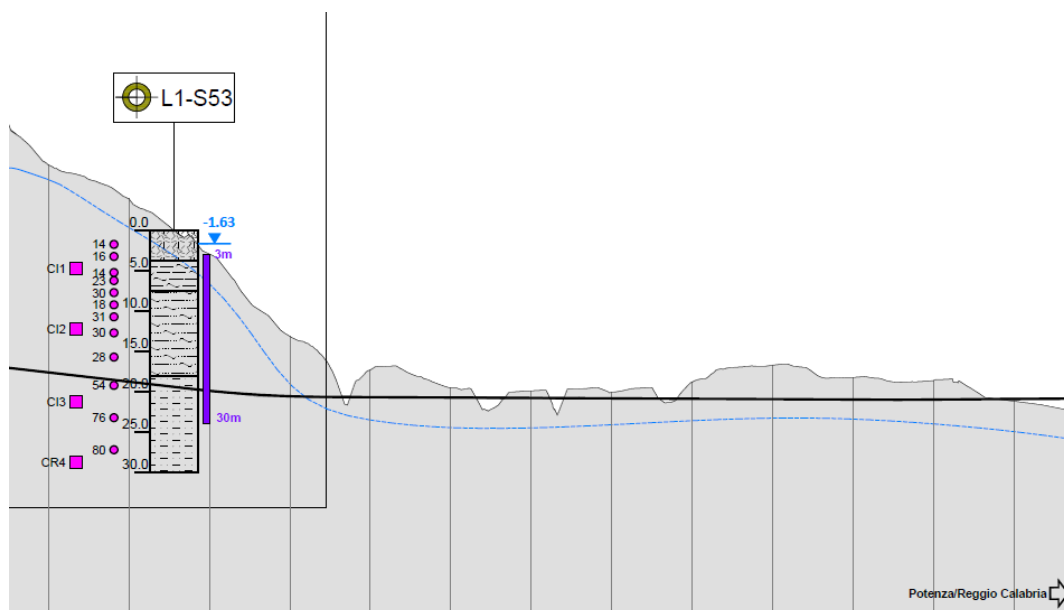


Figura 7-32: modello geotecnico per la TR34.

Si considera il livello di falda a 5 m di profondità. I parametri geotecnici caratteristici assunti sono quelli riportati nella tabella sottostante. Si fa notare che per le verifiche delle trincee si è ritenuto opportuno considerare valori della coesione efficace più cautelativi rispetto a quanto fatto per le altre opere. Tale decisione deriva dal voler tenere in conto il fatto che si tratta di tagli negli spessori più superficiali delle unità, quindi generalmente più alterate o comunque soggette all'effetto di agenti esogeni, soprattutto a lungo termine.

Tabella 7-8: Parametri geotecnici.

U.G.	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (°)	C_u (kPa)
AVF	20	16.25 ⁽¹⁾	24	150

(1) In generale, il valore di c' su cui ci si è orientati è pari circa al 50% del valor medio relativo all'intervallo definito nelle Relazione Geotecnica [9].

7.7.1 Analisi in condizioni statiche in condizioni drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni statiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto.

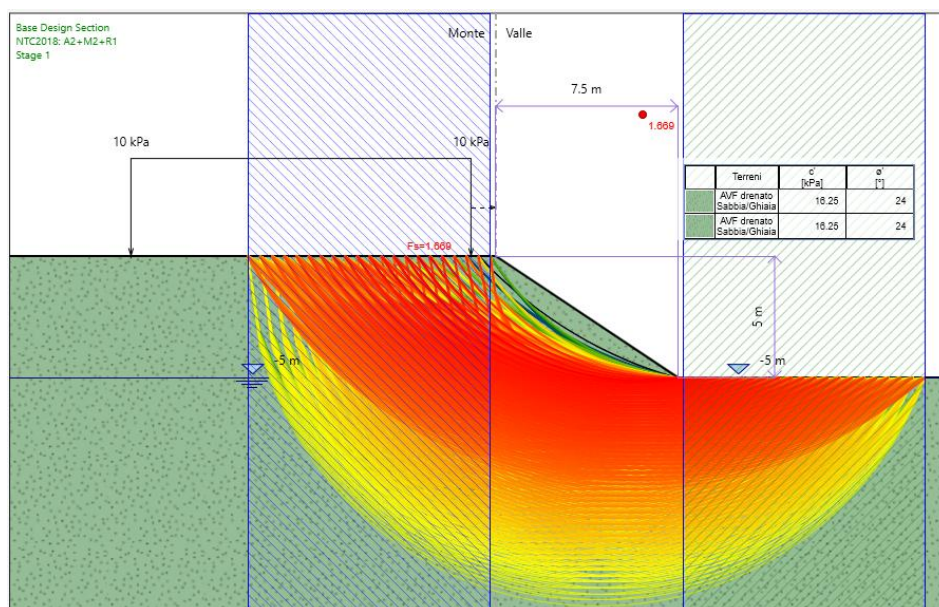


Figura 7-33: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2.

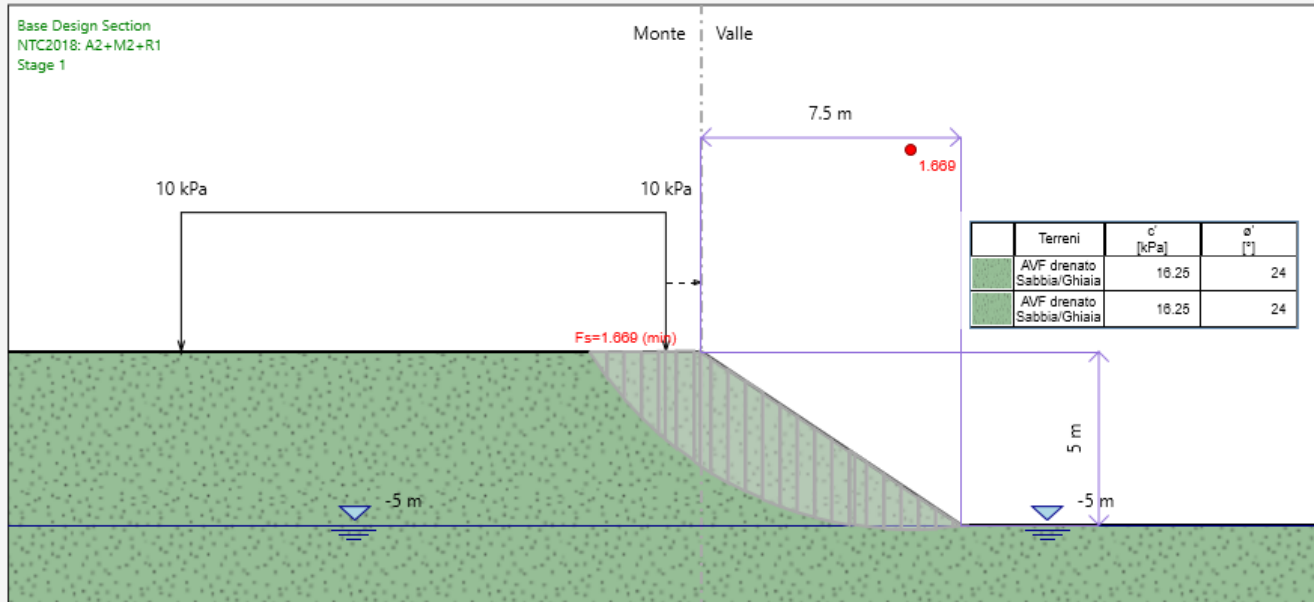


Figura 7-34: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2.

Il fattore di sicurezza FS minimo è pari a: $FS_{MIN} = 1.67$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.1$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

7.7.1 Analisi in condizioni sismiche in condizioni drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni sismiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto.

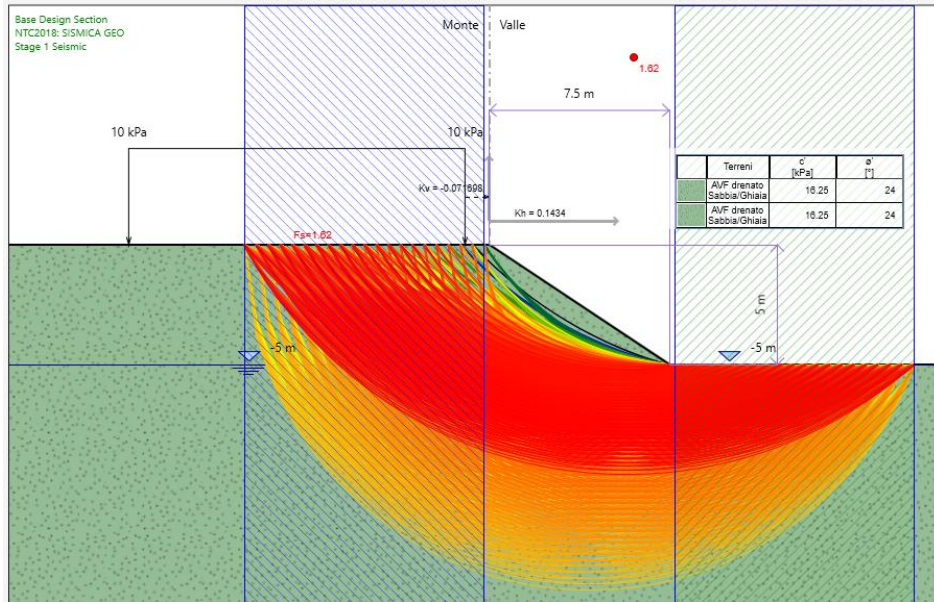


Figura 7-35: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2.

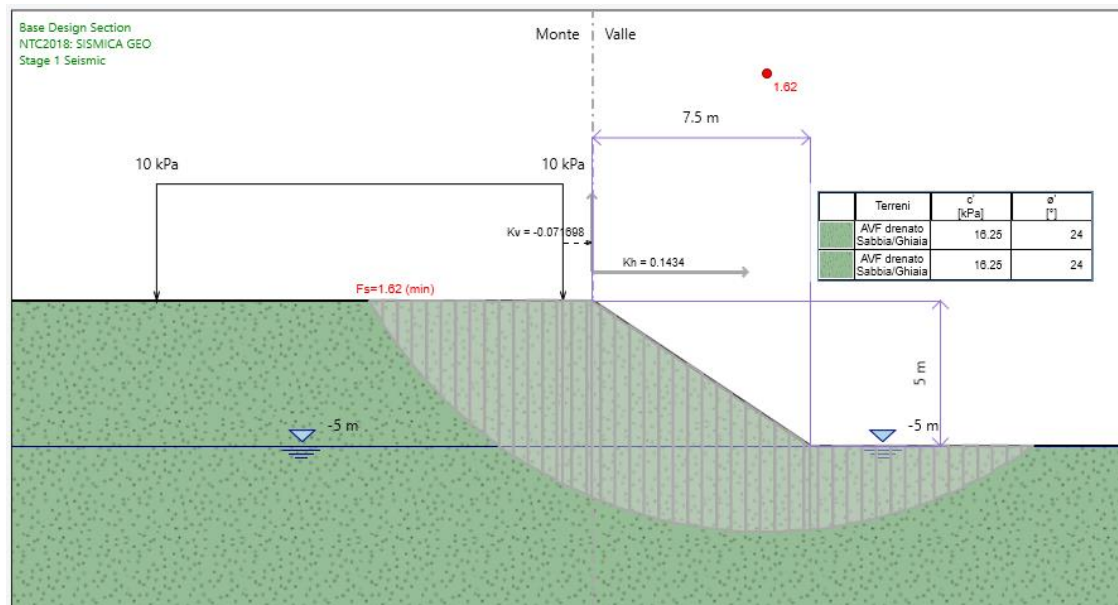


Figura 7-36: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2.

Il fattore di sicurezza FS minimo è pari a: $FS_{MIN} = 1.62$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.2$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta

7.7.2 Analisi in condizioni statiche in condizioni non drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici scorrimento analizzate in condizioni statiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto, assegnando parametri drenati allo strato sopra falda e parametri non drenati allo strato sotto falda.

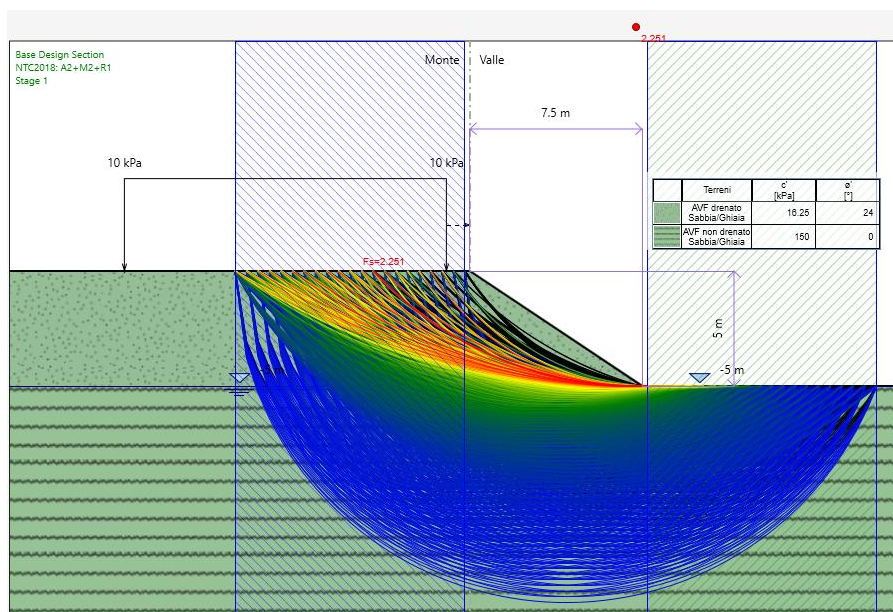


Figura 7-37: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2.

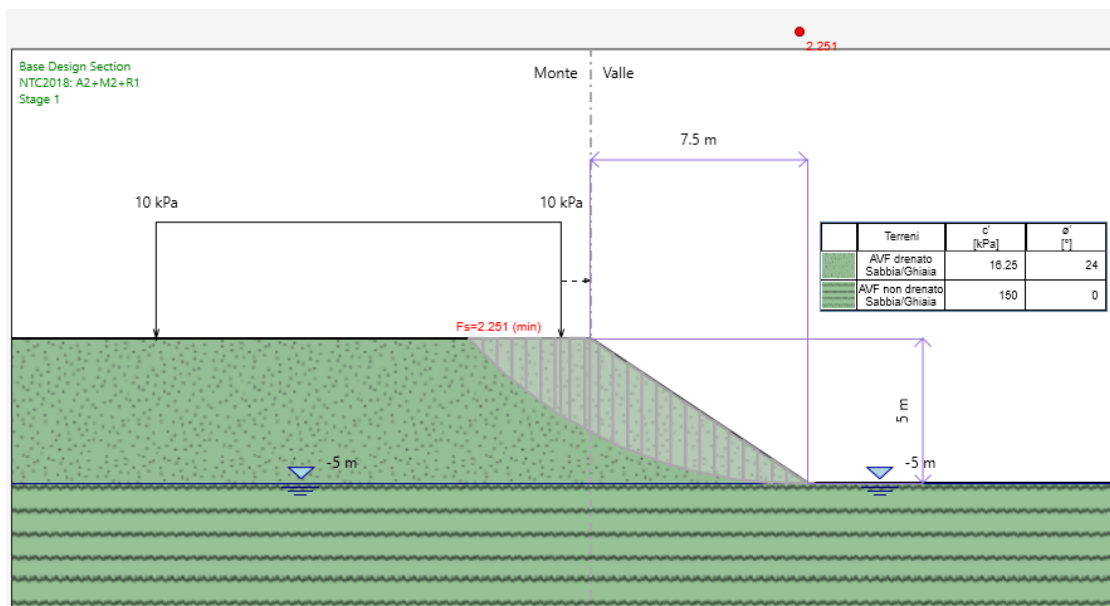


Figura 7-38: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2.

Il fattore di sicurezza FS minimo è pari a: $FS_{MIN} = 2.25$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.1$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

7.7.3 Analisi in condizioni sismiche in condizioni non drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni sismiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto.

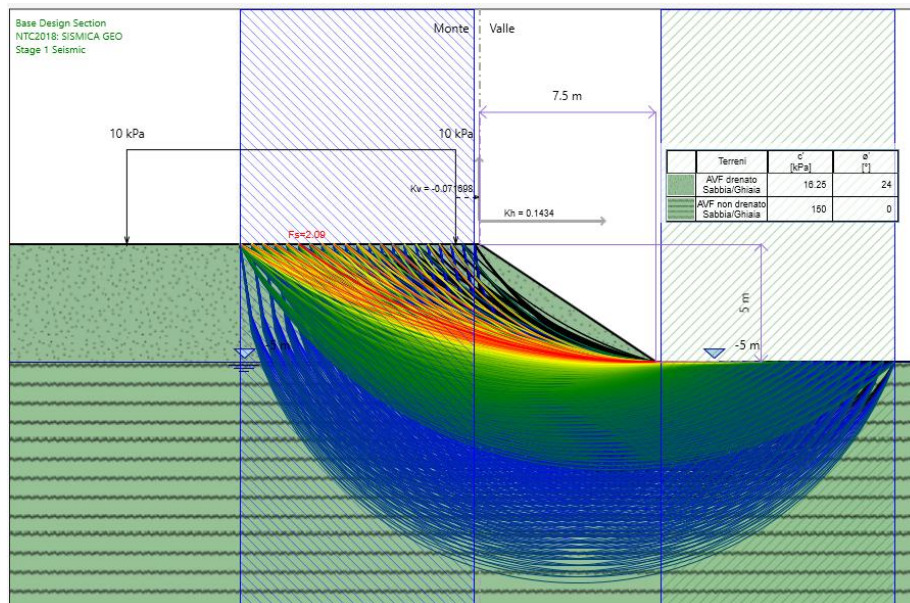


Figura 7-39: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2.

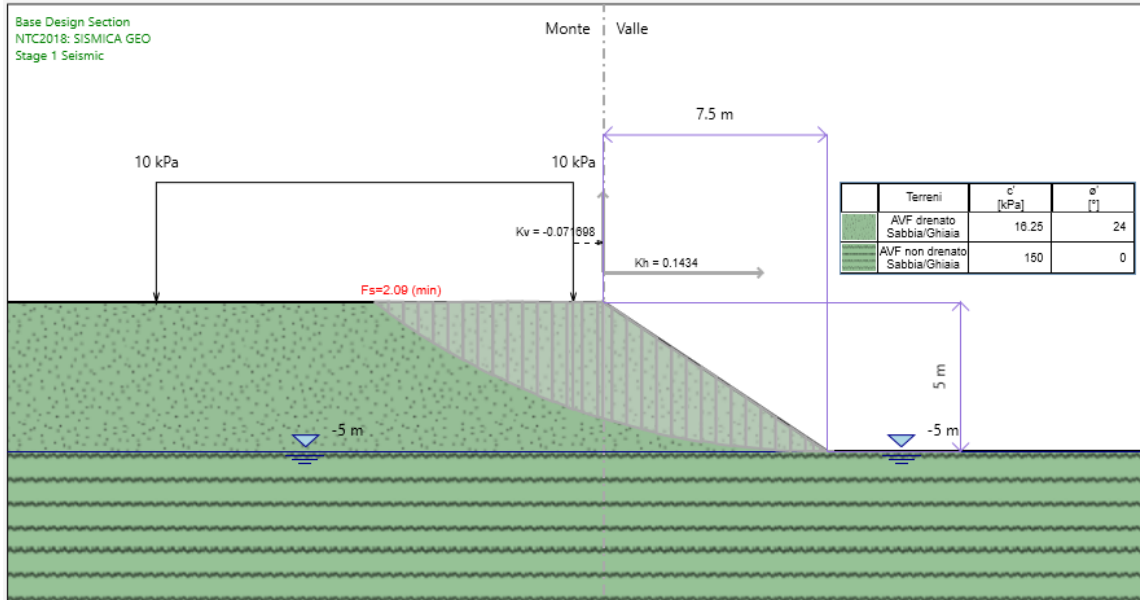


Figura 7-40: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2.

Il fattore di sicurezza FS minimo è pari a: $FS_{MIN} = 2.09$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.2$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.

7.7.4 Conclusioni

Le analisi precedenti hanno confermato la possibilità di eseguire trincee aperte con altezza massima pari a 5 m nell'unità geotecnica AVF.

7.8 ANALISI TRINCEA N.6 IN FMS

In questo paragrafo si analizza la scarpata definitiva nell'unità geotecnica FMS; si prende come modello geotecnico di riferimento quello riferito alla trincea TR15 (16+195-16+215, 16+224-16+232, aprox.). Si analizza la scarpata con 5 m di altezza come massimo dislivello e con pendenza 3H:2V.

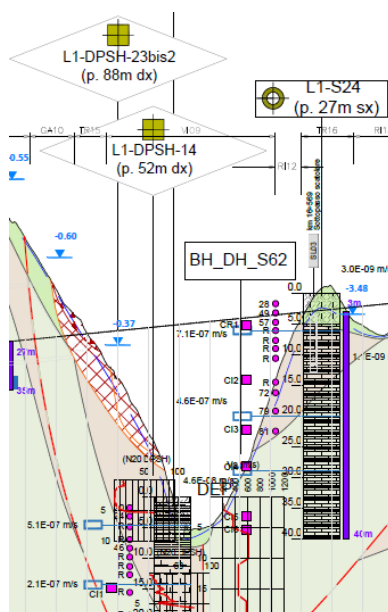


Figura 7-41: profilo geotecnico tra le progressive 15+700 e 16+400

Si considera la falda di progetto ad una profondità di circa 5 m dal piano campagna, quindi l'analisi sarà eseguita in condizioni drenate e non drenate. I parametri geotecnici caratteristici assunti sono quelli riportati nella tabella sottostante. Si fa notare che per le verifiche delle trincee si è ritenuto opportuno considerare valori della coesione efficace più cautelativi rispetto a quanto fatto per le altre opere. Tale decisione deriva dal voler tenere in conto il fatto che si tratta di tagli negli spessori più superficiali delle unità, quindi generalmente più alterate o comunque soggette all'effetto di agenti esogeni, soprattutto a lungo termine.

Tabella 7-9: Parametri geotecnici.

U.G.	Da (m)	A (m)	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (°)	Cu (kPa)
FMS	0	-15	20	15 ⁽¹⁾	28	200
FMS	-15	Fine modello	20	15 ⁽¹⁾	28	300

⁽¹⁾ In generale, il valore di c' su cui ci si è orientati è pari circa al 50% del valor medio relativo all'intervallo definito nelle Relazione Geotecnica [9].

7.8.1 Analisi in condizioni statiche in condizioni drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni statiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto.

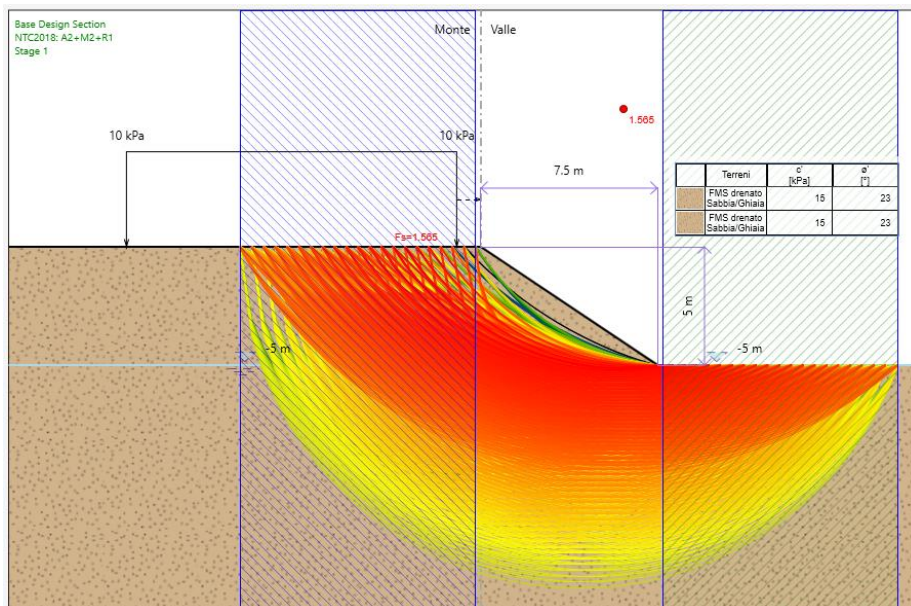


Figura 7-42: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2.

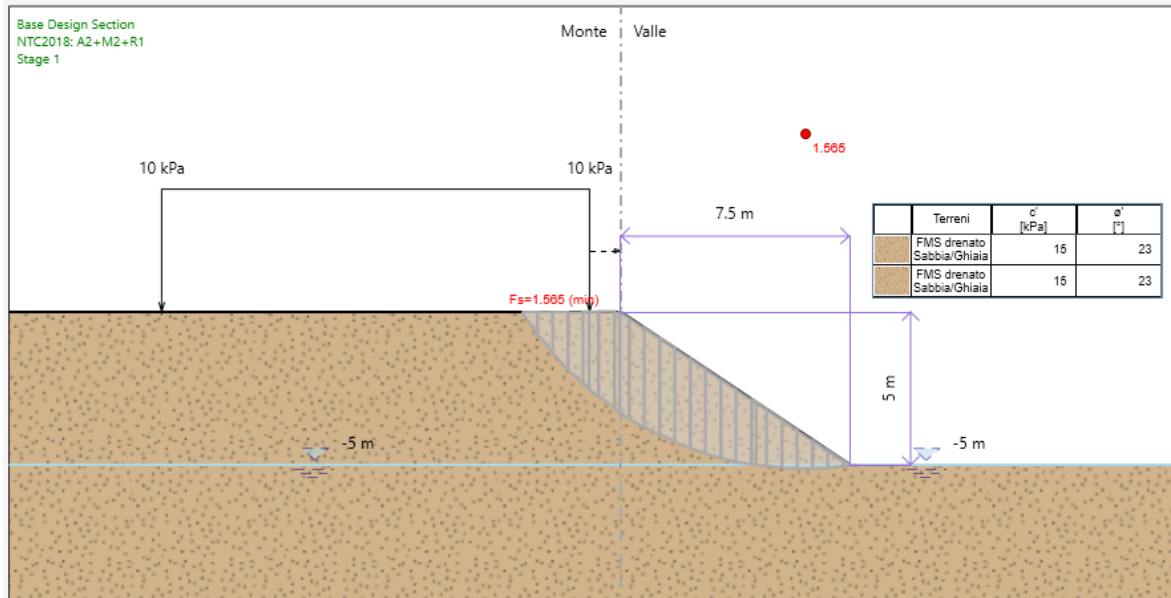


Figura 7-43: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2.

Il fattore di sicurezza FS minimo è pari a: $FS_{MIN} = 1.56$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.1$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

7.8.1 Analisi in condizioni sismiche in condizioni drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni sismiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto.

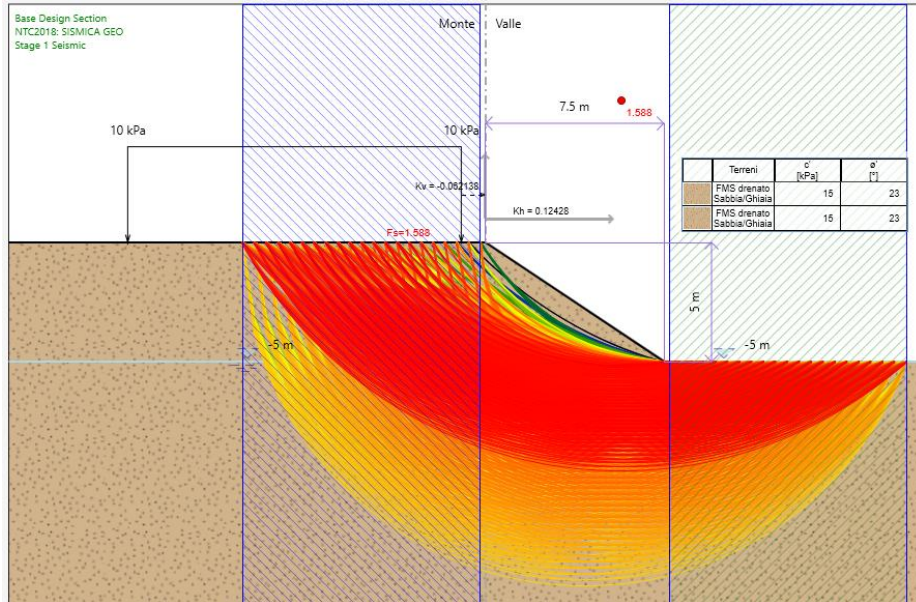


Figura 7-44: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2.

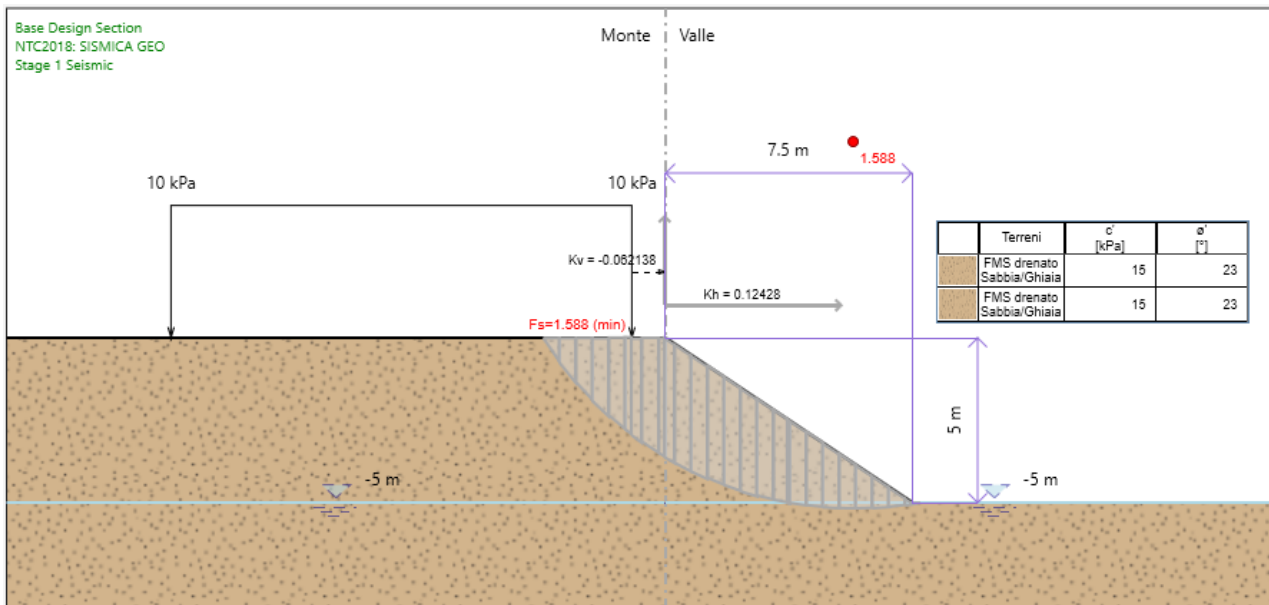


Figura 7-45: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2.

Il fattore di sicurezza FS minimo è pari a: $FS_{MIN} = 1.59$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.2$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.

7.8.2 Analisi in condizioni statiche in condizioni non drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni statiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto, assegnando parametri drenati allo strato sopra falda e parametri non drenati allo strato sotto falda.

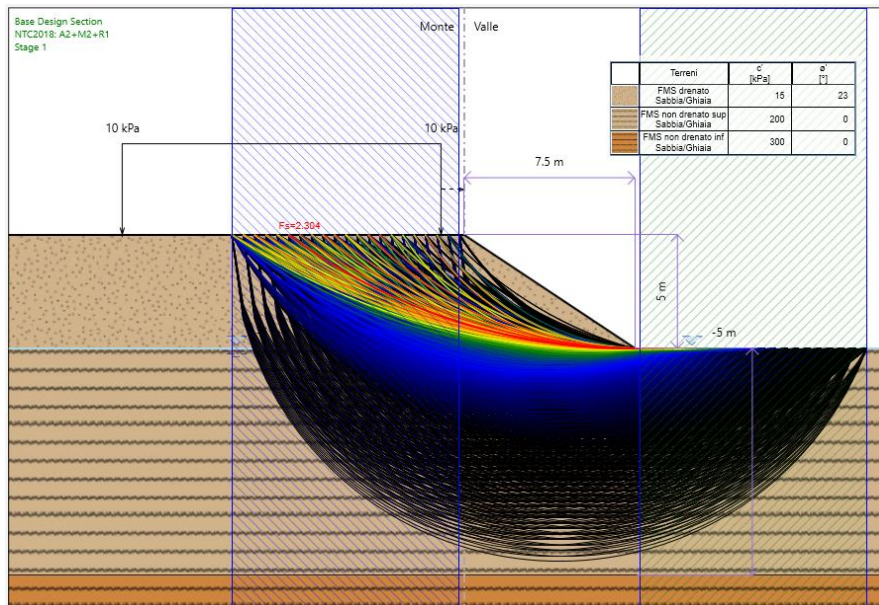


Figura 7-46: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2.

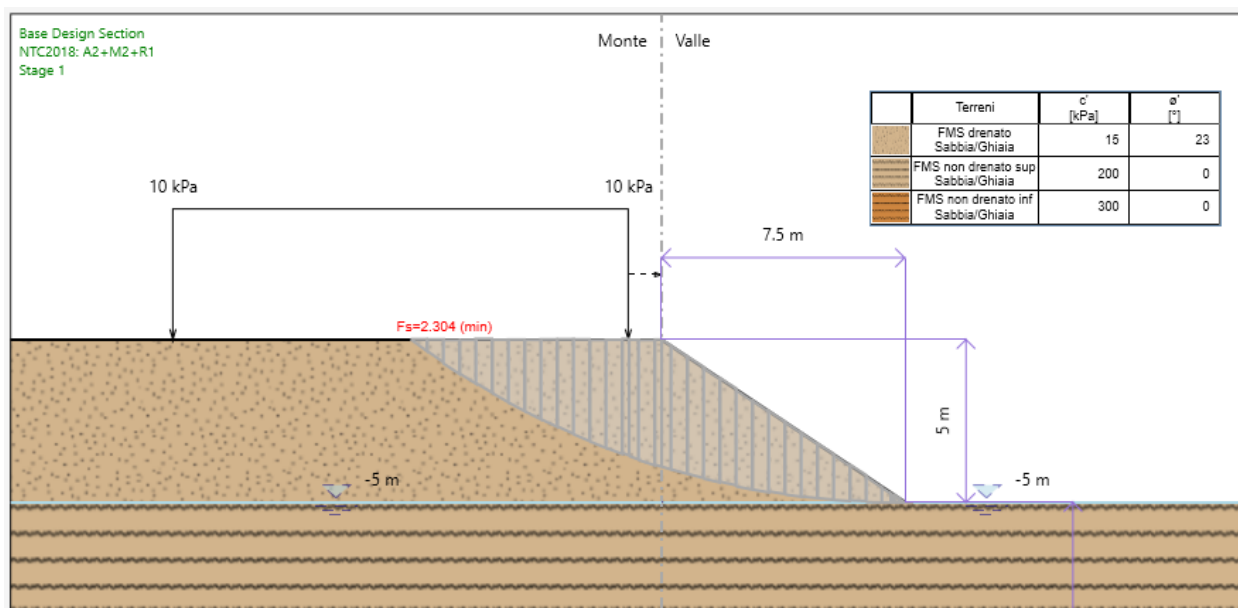


Figura 7-47: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2.

Il fattore di sicurezza FS minimo è pari a: $FS_{MIN} = 2.30$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.1$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

7.8.3 *Analisi in condizioni sismiche in condizioni non drenate*

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni sismiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto.

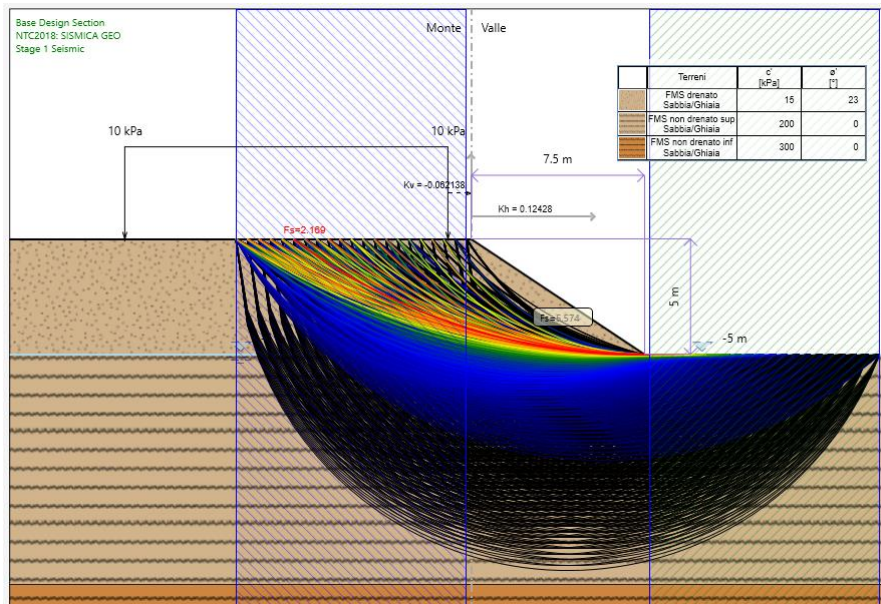


Figura 7-48: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2.

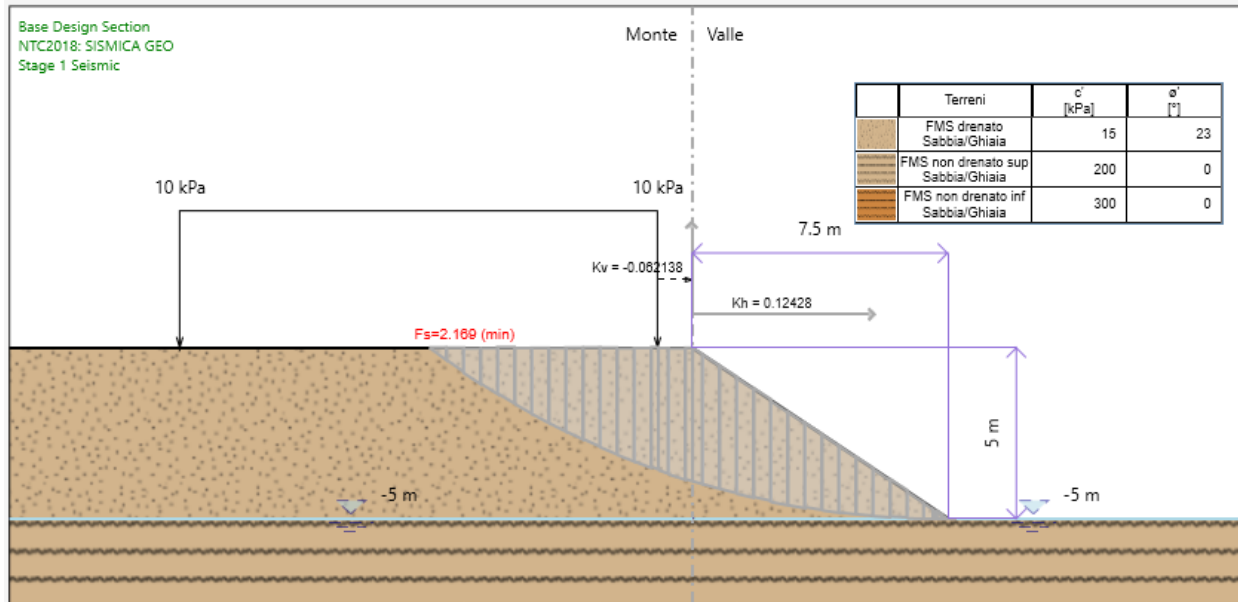


Figura 7-49: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2.

Il fattore di sicurezza FS minimo è pari a: $FS_{MIN} = 2.17$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.2$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.

7.8.4 Conclusioni

Le analisi precedenti hanno confermato la possibilità di eseguire trincee aperte con altezza massima pari a 5 m nell'unità geotecnica FMS.

7.9 ANALISI TRINCEA N.7 IN DEP

In questo paragrafo si riportano le analisi finalizzate alla ricerca dell'altezza massima di trincea definitiva che potrà essere realizzata nell'unità geotecnica DEP con pendenza 3H:2V; ne è derivata una $H_{max}=2m$. Si prende come modello geotecnico di riferimento quello riferito alla trincea TR16 (16+550-16+635, aprox.).

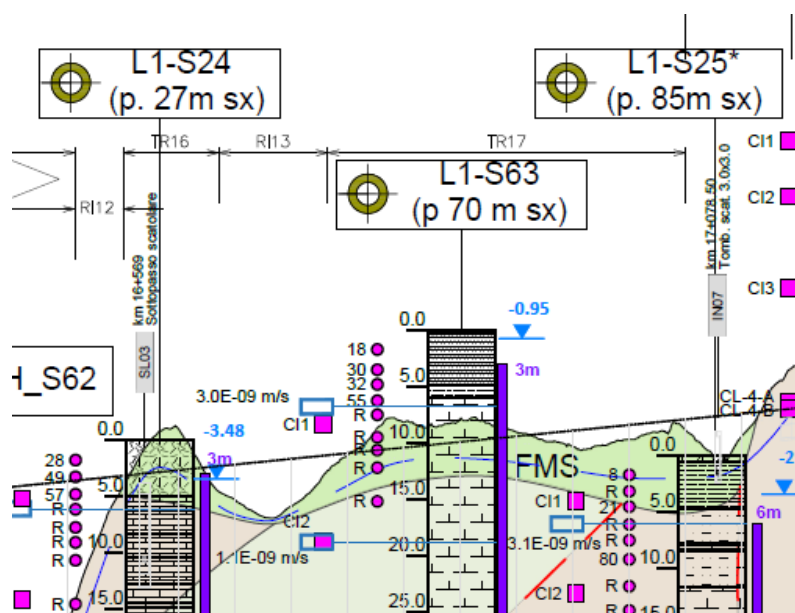


Figura 7-50: profilo geotecnico in corrispondenza di TR16 e TR17.

I parametri geotecnici considerati sono i seguenti:

Tabella 7-10: Parametri geotecnici.

U.G.	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (°)
DEP	20	0	33

7.9.1 Analisi in condizioni statiche in condizioni drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni statiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto.

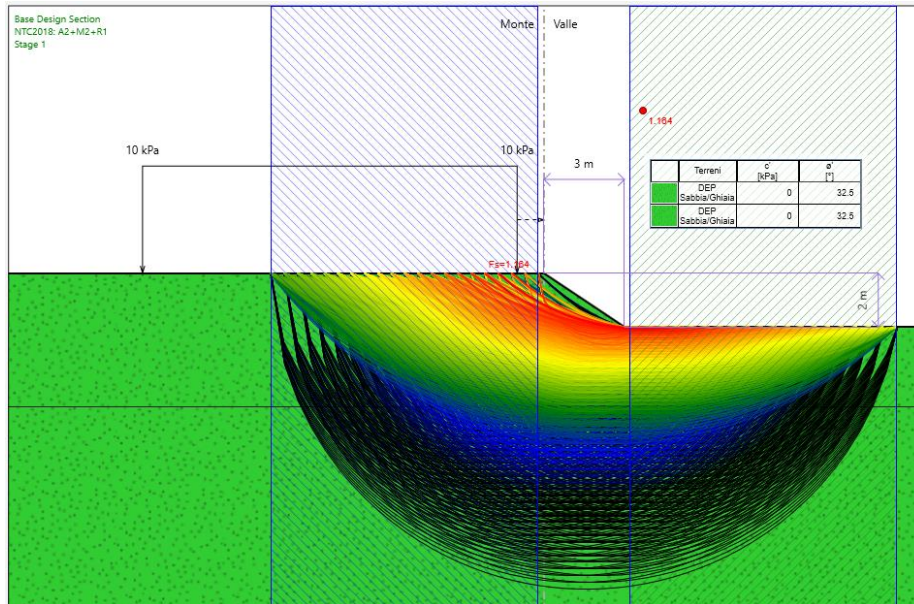


Figura 7-51: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2.

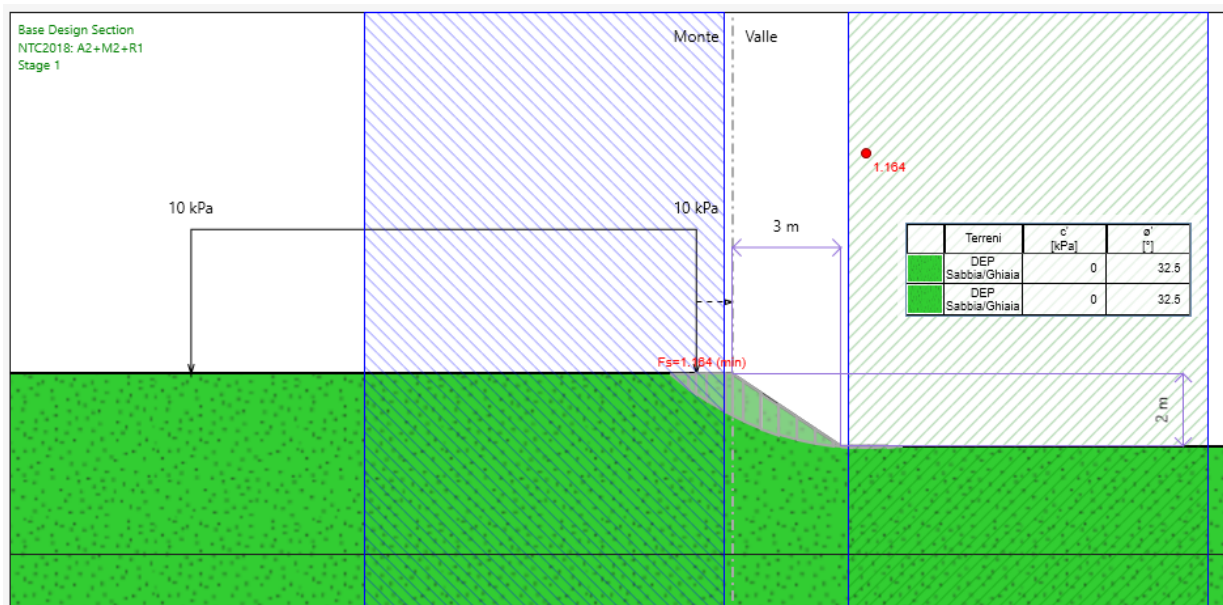


Figura 7-52: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2.

Il fattore di sicurezza FS minimo è pari a: $FS_{MIN} = 1.16$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.1$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

7.9.1 Analisi in condizioni sismiche in condizioni drenate

Per le condizioni sismiche si è usato l'approccio descritto al par. 6.1.2. Considerando un'altezza iniziale di 2 m ed applicando il metodo pseudo-statico, il risultato è **FS=1.03**, quindi ricade nel **caso 2a**.

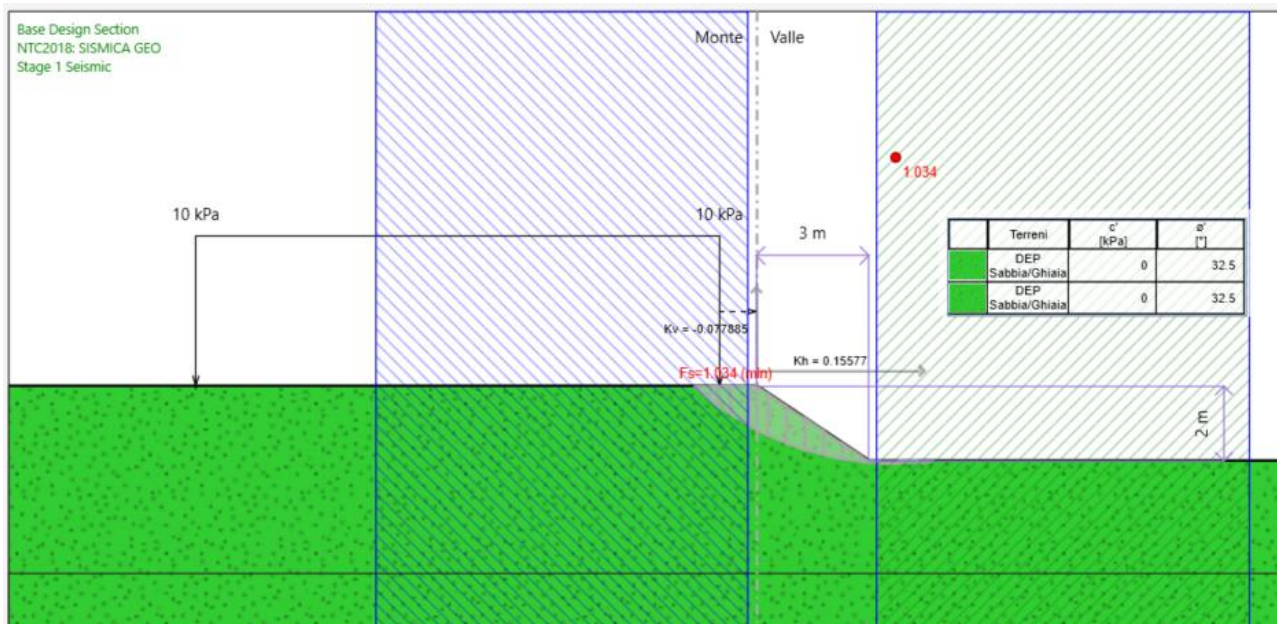


Figura 7-53: superficie critica in condizioni sismiche per la tratta sismica relativa al punto 4

Per l'applicazione del metodo agli spostamenti è necessario calcolare l'azione critica con metodo pseudo-statico inverso; ne è derivata una **ac=0.189g** (vedi figura successiva).

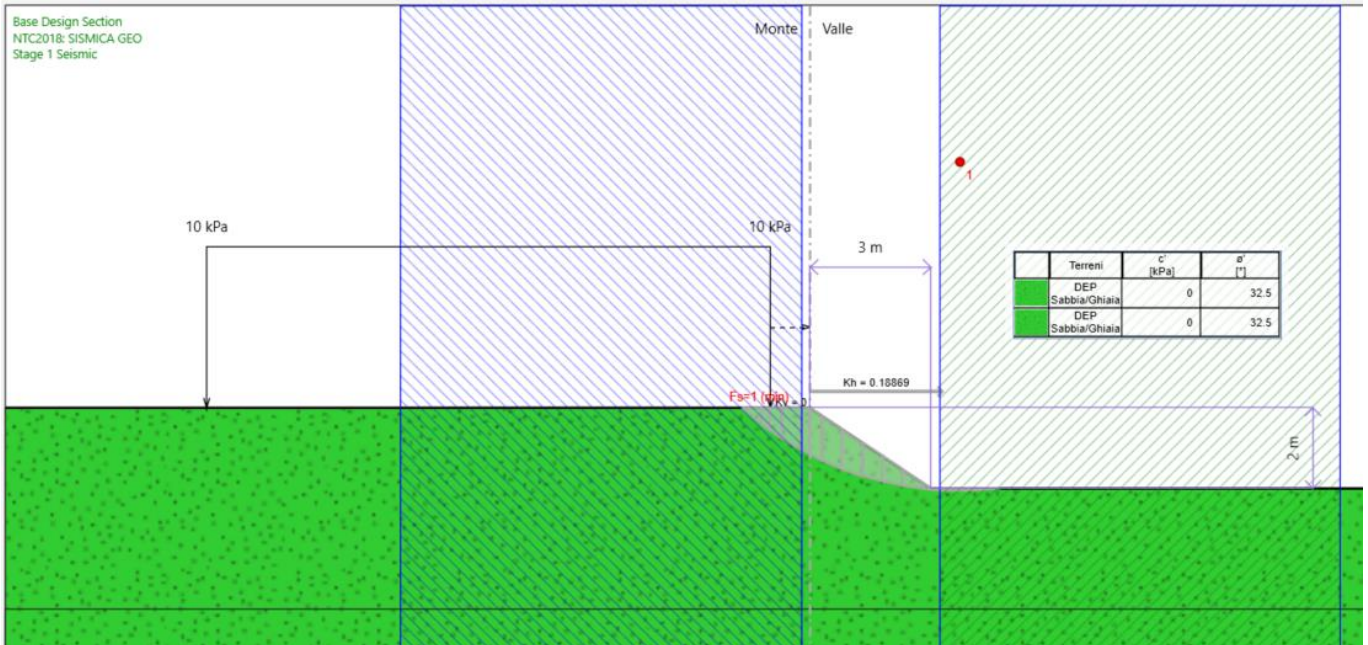


Figura 7-54: superficie critica in condizioni sismiche con metodo pseudo-statico inverso – punto 3

Applicando le formule semplificate, utilizzando come input i valori $a_{max}=0.41g$ (vedi Tabella 4-3) e $a_c=0.189g$, si ottengono spostamenti residui compresi tra 0.25 cm e 4.0 cm, con valore medio pari a **1.9 cm** (vedi **Figura 7-55**). Anche facendo riferimento al valore massimo (circa 4.0 cm), lo spostamento ottenuto è da considerarsi ammissibile per lo Stato Limite di interesse (SLV) e considerando che la superficie di scorrimento critica che non intercetta l'impronta del ballast.

Punto sismico 3 (H=2m in DEP)

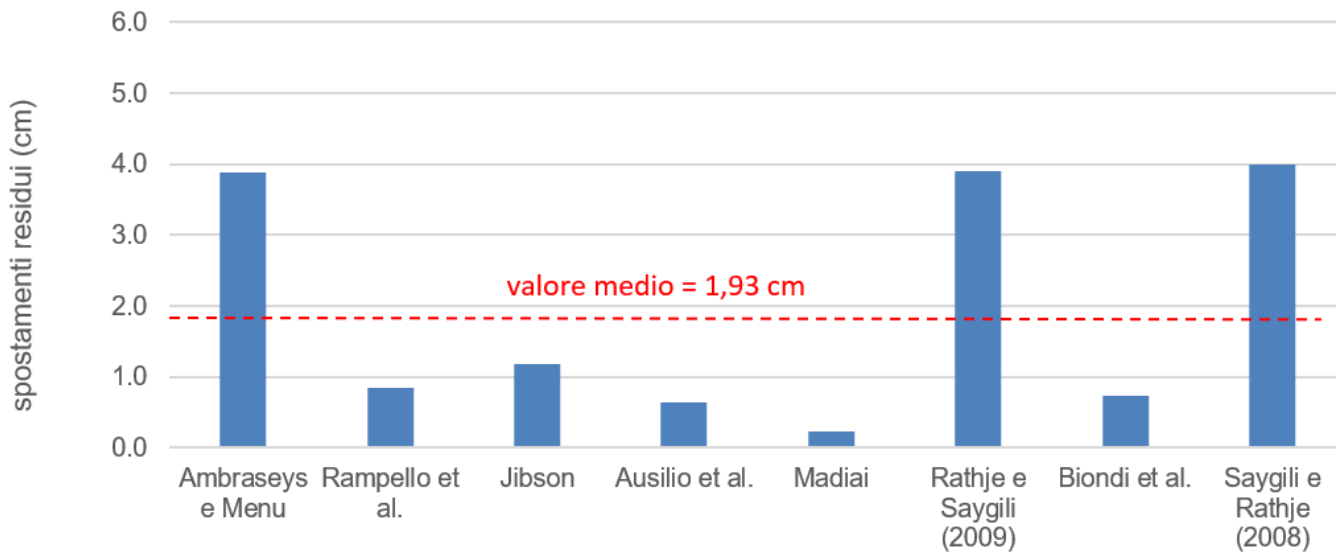


Figura 7-55: Calcolo degli spostamenti residui mediante formule semplificate (tratta sismica relativa al punto 3)

	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

7.10 ANALISI RILEVATO N.1 IN BPB

Il rilevato selezionato presenta un'altezza massima pari a circa 5.7 m ed è realizzato con scarpate di pendenza 3H:2V; la tratta di riferimento è alla progressiva 1+350 e ospiterà una linea a doppio binario. Tale rilevato si appoggia sul rilevato esistente (quest'ultimo con linea ferroviaria a singolo binario) come da sezione riportata nella figura successiva. Questa sezione è stato analizzata come rappresentativa (in termini di massima altezza) della sezione di rilevato in affiancamento alla linea ferroviaria esistente, al fine di valutare gli effetti del nuovo rilevato su quello esistente.

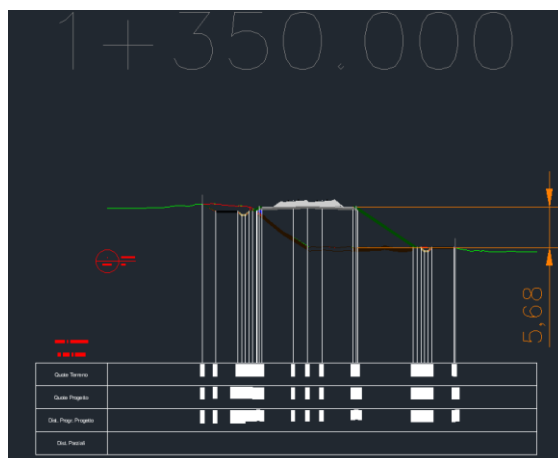
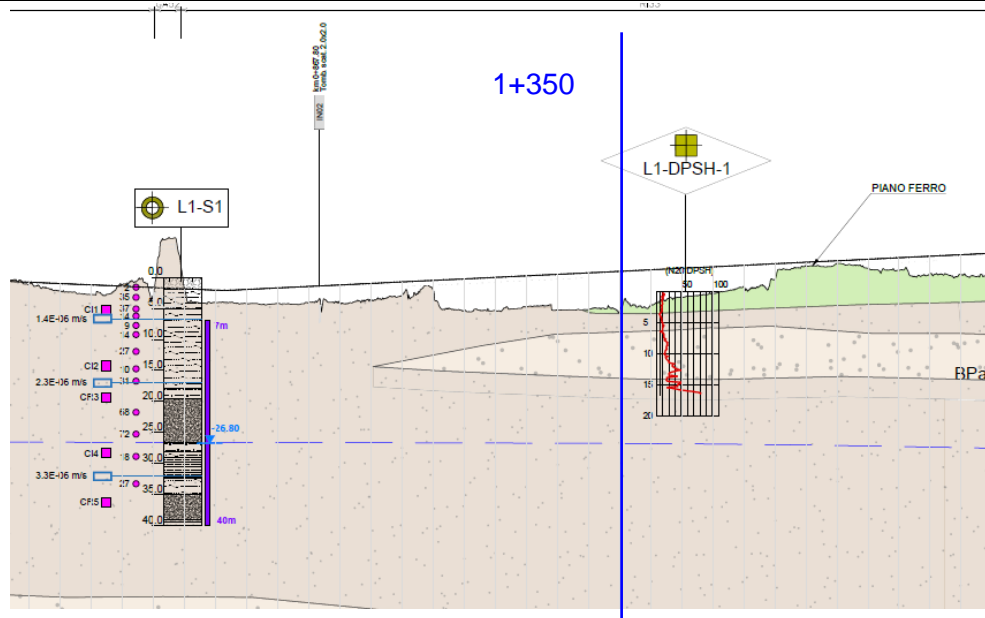


Figura 7-56 Sezione in rilevato 1+350

Nel modello geotecnico è stato cautelativamente escluso lo spessore di BPB intercettato, per cui è stato assunta, su tutto lo spessore, la presenza del solo BPB i cui parametri meccanici sono sintetizzati nella seguente Tabella 7-11.

La falda è posizionata a oltre 20 m sotto al piano di campagna, come da profilo geotecnico


Figura 7-57: sezione rilevato 1+350 nel profilo geotecnico.
Tabella 7-11: parametri geotecnici caratteristici.

U.G.	Da (m)	a (m)	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (°)	k (m/s)	E' (MPa)	v (-)	C _c	C _s	C α ϵ	e _{init}	OCR
Rilevato esistente	+5.7	0	20.0	0	35	1.0 E-5	30	0.30	-	-	-	-	1.0
Rilevato nuovo	-	-	20.0	0	38	1.0 E-5	30	0.30	-	-	-	-	1.0
BPb (1) (< 10m da pc)	0	-10	19.5	15	25	1.0 E-7	20	0.30	0.193	0.054	0.058%	0.8	2.5
BPb (2) (10-15m da pc)	-10	-15	19.5	15	25	1.0 E-7	20	0.30	0.193	0.054	0.058%	0.8	1.5
BPb (3) (oltre 15m da pc)	<-15	-60	19.5	15	25	1.0 E-7	40	0.30	0.193	0.054	0.058%	0.8	1.5

Con riferimento alla tabella precedente, i parametri C_c e C_s del materiale BPb si riferiscono rispettivamente all'indice di compressibilità ed all'indice di scarico. Il parametro C α ϵ è il coefficiente di consolidazione secondaria, riferito ad una curva "deformazioni" ϵ - "tempo" logt (per dettagli si rimanda alla relazione geotecnica, doc.Rif.[9]).

Come definito nella Relazione Geotecnica (doc.Rif. [9]), al materiale BPb, per i 10 primi metri di profondità, è stato assegnato un valore di OCR pari a 2.5; a profondità maggiori invece si è considerato un OCR di 1.5.

7.10.1 Analisi di stabilità in condizioni statiche e sismiche

Per l'analisi di stabilità interna si rimanda al paragrafo 7.15.1; per l'analisi di stabilità globale si rimanda al paragrafo 7.15.2 (Figura 7-104, Figura 7-105, Figura 7-114 e Figura 7-115).

7.10.2 Verifica dei cedimenti in SLE – modello FEM

Il modello di calcolo impostato nel codice di calcolo Plaxis agli elementi finiti è quello riportato nella Figura 7-58 seguente.

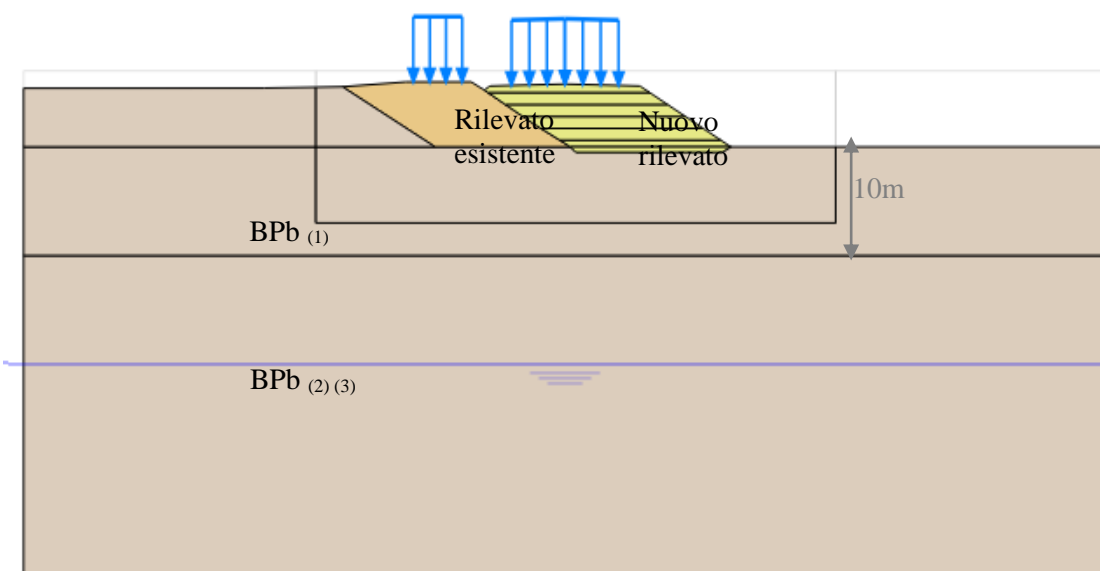


Figura 7-58 Sezione in rilievo no.1 in Plaxis

Le caratteristiche dei materiali da costruzione dei rilevati assunte in progetto sono conformi a quanto previsto nel Manuale di Progettazione RFI e nel Capitolato di Costruzione RFI. I parametri geotecnici dei materiali considerati nella seguente analisi sono indicati in Tabella 7-11. I legami costitutivi utilizzati in Plaxis sono stati:

- Mohr-Coulomb (MC) per modellare la risposta geotecnica del rilevato nuovo e di quello esistente;
- Soft-Soil (SS) per modellare la risposta geotecnica dell'unità geotecnica BPb, di natura coesiva.

	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

7.10.2.1 Fasi del modello

L'analisi agli elementi finiti effettuata per il modello alla Pk 1+350 che verrà proposta di seguito, è strutturata con le seguenti fasi di calcolo:

- Fase geostatica di inizializzazione del modello, considerando il rilevato esistente (fase di calcolo No.0);
- Pre-consolidazione del rilevato esistente in 10 giorni (fase di calcolo No.1);
- Applicazione del carico dovuto al pacchetto di armamento ferroviario dell'esistente (fase di calcolo No.2);
- Consolidazione del rilevato esistente (fase di calcolo No.3);
- *Reset displacements* + Scotico 50 cm sotto la zona del nuovo rilevato (fase di calcolo No.4);
- Costruzione del rilevato per strati con una durata di 10 giorni per ogni strato – da fase di calcolo No.5 a fase di calcolo No.10;
- Consolidazione del rilevato fino al raggiungimento dei 9 mesi dall'inizio della costruzione (fase di calcolo No.11);
- *Reset displacements* per azzeramento cedimenti pre-applicazione ballast + Applicazione del carico dovuto al pacchetto di armamento ferroviario del nuovo rilevato in 1 giorno (fase di calcolo No.12);
- Analisi di consolidazione ai fini della valutazione dell'entità del cedimento dopo 7 giorni, 14 giorni, 1 mese, 2 mesi, 4 mesi, 6 mesi, 1 anno, 2 anni, 5 anni, 10 anni e 20 anni (da fase di calcolo No.13 a fase di calcolo No.23).

7.10.2.2 Cedimenti

Sono stati calcolati i cedimenti dopo la costruzione e la consolidazione – durata totale della costruzione e consolidazione pari a 9 mesi - del nuovo rilevato (fase 11) e dopo 20 anni di consolidazione (fase 23) per trovare il massimo cedimento residuo dovuto alla consolidazione primaria sulla superficie del rilevato.

Nella Figura 7-59 si possono valutare i cedimenti verticali totali a fine costruzione (Fase 11): il cedimento massimo atteso è pari a 15.5 cm (12 cm in asse al rilevato), in corrispondenza della nuova scarpata, mentre alla base del rilevato il cedimento sarà inferiore, dell'ordine dei 13 cm. Nella Figura 7-60 invece è rappresentato il cedimento a fine costruzione del nuovo rilevato (fase 11) in corrispondenza della superficie dello stesso.

In Figura 7-61 e Figura 7-62 si mostrano i cedimenti residui (globali ed in corrispondenza del coronamento del rilevato) a 20 anni di consolidazione.

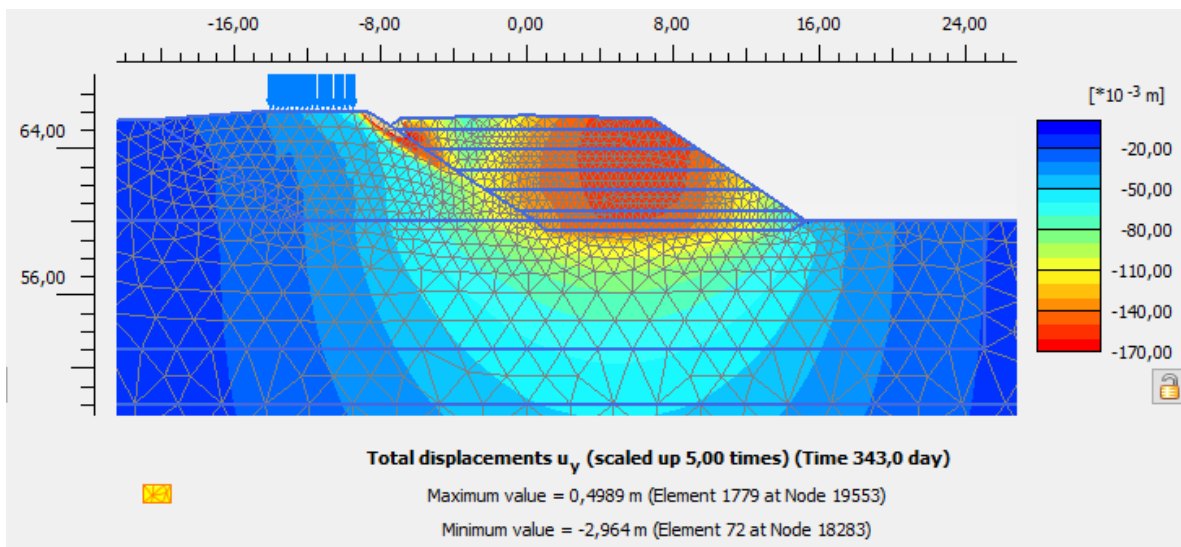


Figura 7-59 Spostamenti verticali al termine della costruzione del rilevato, prima dell'installazione del ballast (fase 11)

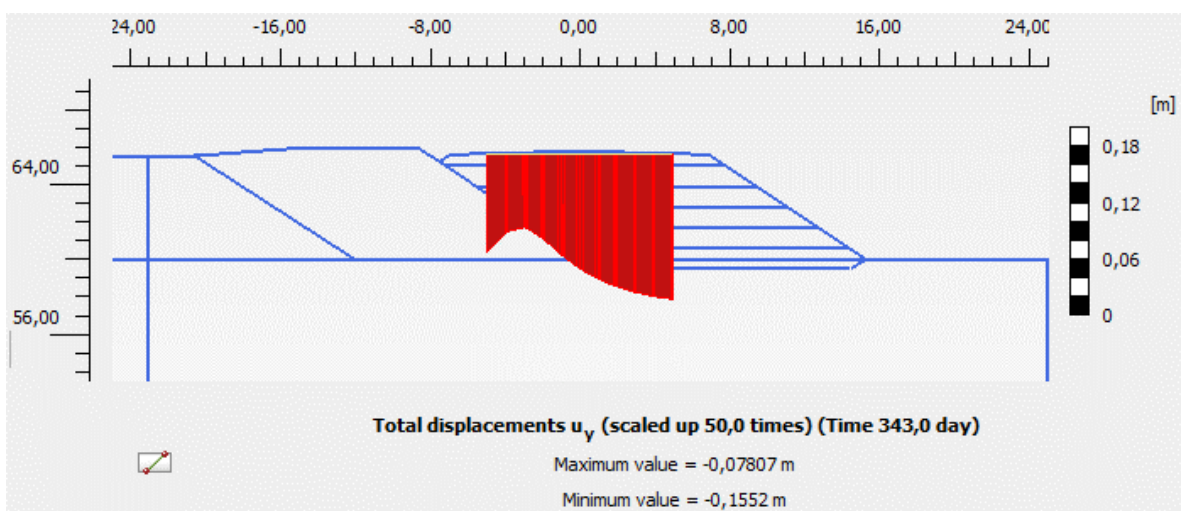


Figura 7-60 Spostamenti verticali in superficie al termine della costruzione del rilevato, prima dell'installazione del ballast (fase 11)

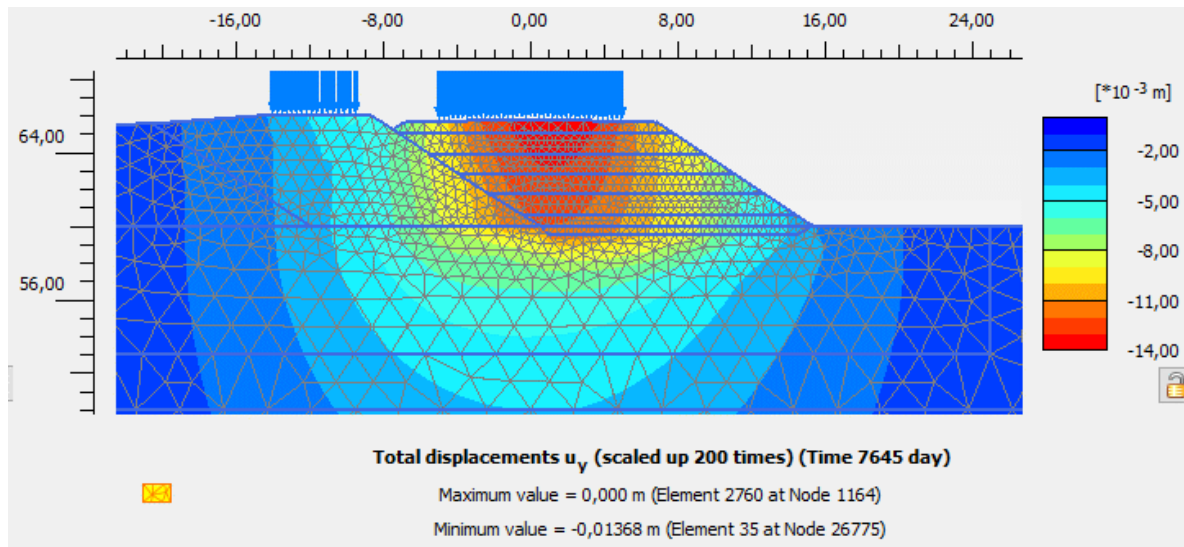


Figura 7-61 Spostamenti verticali residui dopo 20 anni di consolidazione (fase 23)

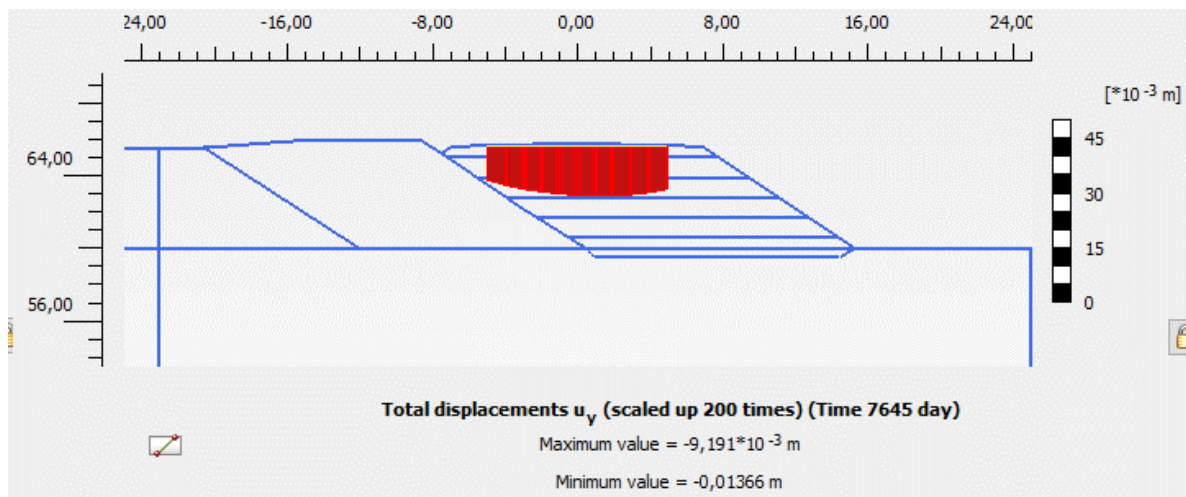


Figura 7-62 Spostamenti verticali residui in superficie dopo 20 anni di consolidazione (fase 23)

Come riscontrabile in **Figura 7-62** il cedimento residuo dovuto alla consolidazione primaria dopo 20 anni da posa ballast, è 1.35 cm in corrispondenza dell'asse della superficie del rilevato.



NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA
LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E
INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2I	A1 R 11	RH	GE 00 00 001	A	82 di 149

7.10.2.3 Curva cedimenti-tempo

La curva cedimenti-tempo viene estratta in corrispondenza dell'asse del rilevato al livello della quota intradosso del *ballast*.

La valutazione dei cedimenti immediati e di breve/medio termine viene eseguita a partire dalla fase 1 fino alla fase 11, ovvero fino ai 9 mesi di consolidazione del nuovo rilevato. I cedimenti residui sono quindi derivanti dalla quota parte di consolidazione primaria che si manifesta a partire dalla fase 12, ovvero dal momento di applicazione dell'armamento ferroviario. .

Il contributo dovuto alla consolidazione secondaria S_s viene poi calcolato secondo la formulazione indicata nel capitolo 6.2.2.

Nel caso specifico, la fine consolidazione primaria (istante dal quale viene schematicamente considerato l'avvio del cedimento secondario) avviene dopo poco meno di un anno ($t_{100}=0.98$ anni). Per quanto detto, il tempo considerato t (anni) è pari a 20.75 anni dal momento che l'istante t_0 è considerato da inizio dei lavori (9 mesi di costruzione e consolidazione + 20 anni di esercizio dell'opera).

t (anni)	t_{100} (anni)	$C_{\alpha,\varepsilon}$	H (m) ⁽¹⁾	S_s (cm)
20.75	0.98	0.058%	23	1.77

⁽¹⁾ Si considera uno spessore equivalente alla profondità di terreno sino alla quale il rapporto $\Delta\sigma_v$ risulta circa pari al 10% della tensione geostatica iniziale.

Il grafico cedimenti-tempo presenta sull'asse delle ascisse il tempo, espresso in anni, mentre sull'asse delle ordinate viene indicato il cedimento cumulato, espresso in mm.

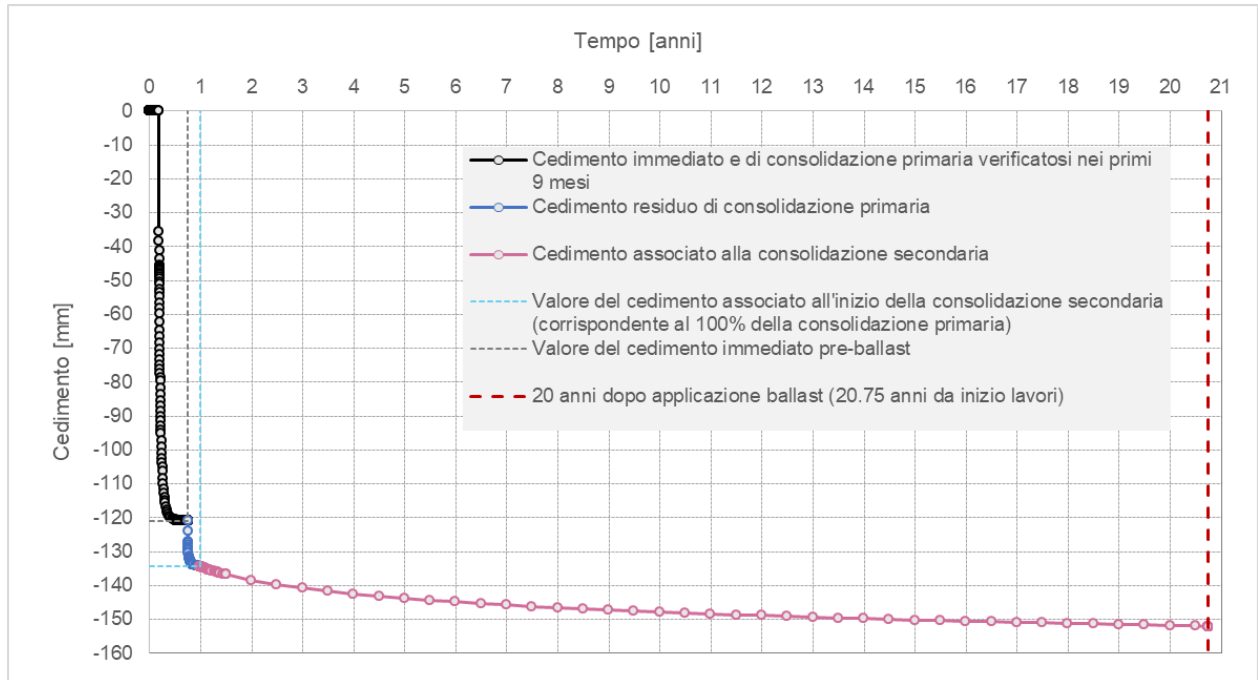


Figura 7.63 Curva cedimenti-tempo Plaxis

Ne risulta, quindi:

- Cedimento calcolato a 9 mesi (precedente alla posa del ballast): 12.1 cm;
- Contributo al cedimento residuo dovuto alla consolidazione primaria: $C_p = 1.35$ cm;
- Tempo di esaurimento della consolidazione primaria $t_{100} = 0.98$ anni;
- Contributo al cedimento residuo dovuto alla consolidazione secondaria: $C_s = S_s = 1.77$ cm.

Il cedimento residuo totale dopo 20 anni dalla posa in opera del ballast risulta quindi

$$C_{tot} = C_p + C_s = 1.35 + 1.77 = 3.12 \text{ cm.}$$

Essendo quindi il cedimento residuo totale ($C_{tot}=3.12$ cm) inferiore al limite di 5.0 cm, la condizione è soddisfatta.



NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA
LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E
INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
 RC2I A1 R 11 RH GE 00 00 001 A 84 di 149

7.10.2.4 Cedimenti differenziali del binario esistente

Sono stati analizzati i cedimenti differenziali tra le rotaie del binario esistente nelle diverse fasi modellizzate. La tabella seguente mostra gli spostamenti verticali sotto ciascun binario ed il corrispondente spostamento differenziale.

Tabella 7-12: Cedimenti verticali sotto il binario esistente.

Fase	Descrizione	Cedimento verticale sotto binario sx. (mm)	Cedimento verticale sotto binario dx. (mm)	Cedimento differenziale (mm)
Fase 4	Scotico 50 cm (1 giorno)	-0.81	-0.81	0.00
Fase 5	Costr. 1 ril. (10 giorni)	0.06	-0.35	0.41
Fase 6	Costr. 2 ril. (10 giorni)	-0.82	-2.17	1.35
Fase 7	Costr. 3 ril. (10 giorni)	-0.51	-2.55	2.04
Fase 8	Costr. 4 ril. (10 giorni)	-0.72	-4.11	3.39
Fase 9	Costr. 5 ril. (10 giorni)	-1.69	-6.52	4.84
Fase 10	Costr. 6 ril. (10 giorni)	-2.58	-8.15	5.56
Fase 11	Consolidazione (Fine costruzione rilevato, 9 mesi)	-39.48	-45.31	5.83
Fase 12	Arm. Ferroviario (1 giorno)	-40.01	-46.24	6.23
Fase 13	Consolidazione (1 settimana)	-41.51	-47.95	6.44
Fase 14	Consolidazione (2 settimane)	-42.10	-48.59	6.49
Fase 15	Consolidazione (1 mese)	-42.79	-49.30	6.51
Fase 16	Consolidazione (2 mesi)	-43.20	-49.72	6.52
Fase 17	Consolidazione (4 mesi)	-43.31	-49.83	6.52
Fase 18	Consolidazione (6 mesi)	-43.31	-49.84	6.52
Fase 19	Consolidazione (1 anno)	-43.31	-49.84	6.52
Fase 20	Consolidazione (2 anni)	-43.31	-49.84	6.52
Fase 21	Consolidazione (5 anni)	-43.31	-49.84	6.52
Fase 22	Consolidazione (10 anni)	-43.31	-49.84	6.52
Fase 23	Consolidazione (20 anni)	-43.31	-49.84	6.52

Nelle fasi 18-23 (le più critiche), lo spostamento verticale sotto il binario sinistro è di 43.31 mm, mentre sotto il binario destro è di 49.84 mm. Quindi lo spostamento differenziale verticale tra i binari è di 6.52 mm, pertanto inferiore al limite massimo di 10 mm.

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2I	A1 R 11	RH	GE 00 00 001	A	85 di 149

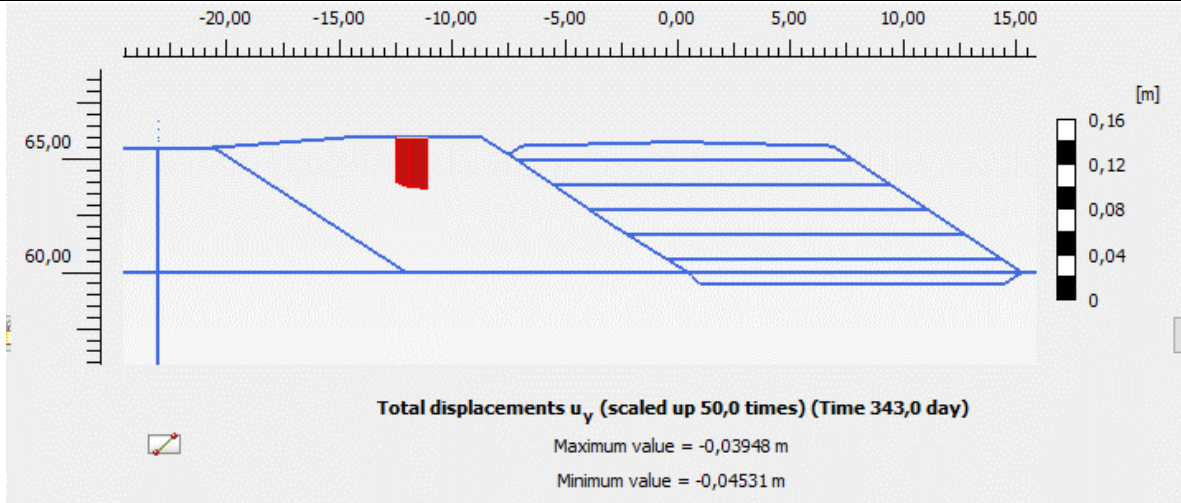


Figura 7-64 Spostamenti verticali del binario esistente (fase 11, dopo 9 mesi di costruzione)

	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

7.11 ANALISI RILEVATO N.2 IN BPB

Il rilevato qui analizzato, ubicato alla progressiva 3+550, presenta un'altezza massima pari a circa 9 m, è realizzato con scarpata di pendenza 3H:2V (a sinistra, Hmax = 5.8 m) e sarà sostenuto da un muro di sostegno su pali (a destra); ospiterà una linea a doppio binario, come da sezione riportata nella figura successiva.

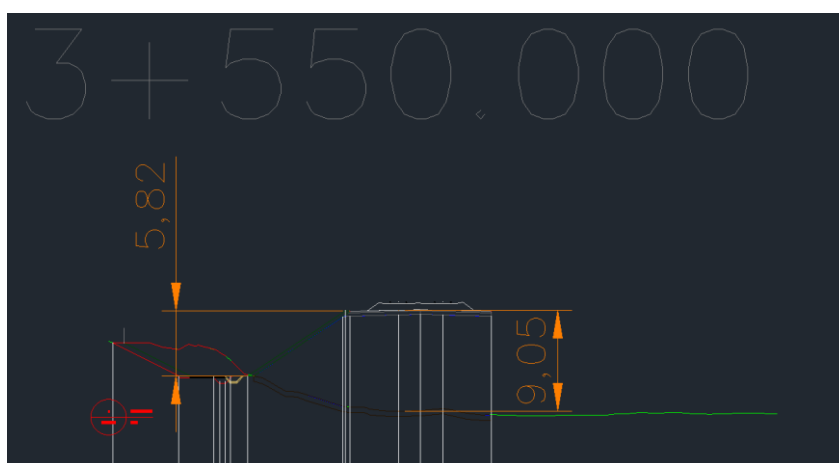
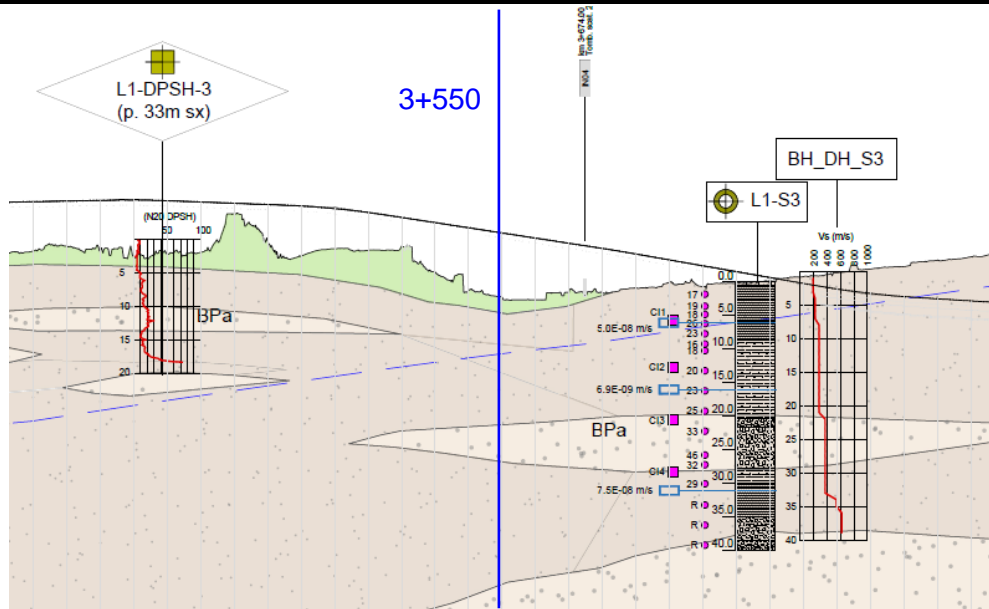


Figura 7-65 Sezione in rilevato 3+550

Nel modello geotecnico è stato cautelativamente escluso lo spessore di BP_a intercettato, per cui è stato assunta, su tutto lo spessore, la presenza del solo BP_b i cui parametri meccanici sono sintetizzati nella seguente **Tabella 7-13**. La falda è posizionata a 8 m sotto al piano di campagna, come da profilo geotecnico.


Figura 7-66: sezione rilevato 3+550 nel profilo geologico.
Tabella 7-13: parametri geotecnici caratteristici.

U.G.	Da (m)	A (m)	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (°)	k (m/s)	E' (MPa)	ν (-)	C _c	C _s	C α ϵ	e _{init}	OCR
Rilevato nuovo	+9	0	20.0	0	38	1.0 E-5	30	0.30	-	-	-	-	-
DEP	0	-2	19.0	0	30	2.5 E-4	25	0.30	-	-	-	-	-
BPb (1) (< 10m da pc)	-2	-10	19.5	15	25	1.0 E-7	20	0.30	0.193	0.054	0.058%	0.8	2.5
BPb (2) (10-15m da pc)	-10	-15	19.5	15	25	1.0 E-7	20	0.30	0.193	0.054	0.058%	0.8	1.5
BPb (3) (oltre 15m da pc)	-15	-60	19.5	15	25	1.0 E-7	40	0.30	0.193	0.054	0.058%	0.8	1.5
Muro			24.0	-	-	-	20000	0.2	-	-	-	-	-

Con riferimento alla tabella anteriore, i parametri C_c e C_s del materiale BPb si riferiscono rispettivamente all'indice di compressibilità ed all'indice di scarico. Il parametro C α ϵ è il coefficiente di

consolidazione secondaria, riferito ad una curva "deformazioni" $\varepsilon - \text{"tempo"}$ logt (per dettagli si rimanda alla relazione geotecnica, doc.Rif.[9]).

Per i 2 primi metri di profondità è considerato il materiale granulare DEP.

Come definito nella Relazione Geotecnica (doc.Rif. [9]), al materiale BPb, per i 10 primi metri di profondità, è stato assegnato un valore di OCR pari a 2.5; a profondità maggiori invece si è considerato un OCR di 1.5.

7.11.1 Analisi di stabilità in condizioni statiche e sismiche

Per l'analisi di stabilità interna si rimanda al paragrafo 7.15.1; per l'analisi di stabilità globale si rimanda al paragrafo 7.15.2 (Figura 7-106, Figura 7-107, Figura 7-116 e Figura 7-117).

7.11.2 Verifica dei cedimenti in SLE – modello FEM

Il modello di calcolo impostato nel codice di calcolo Plaxis agli elementi finiti è quello riportato nella **Figura 7-67** seguente.

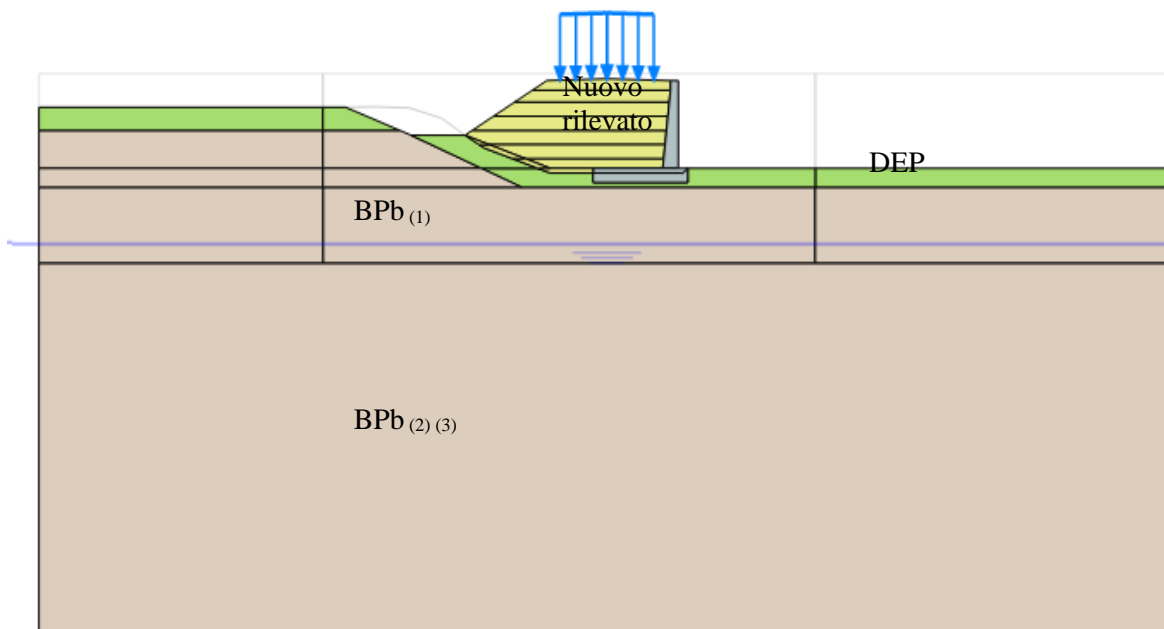


Figura 7-67 Sezione del rilevato no.2 in Plaxis

Le caratteristiche dei materiali di costruzione dei rilevati assunte in progetto sono conformi a quanto previsto nel Manuale di Progettazione RFI e nel Capitolato di Costruzione RFI. I parametri geotecnici dei

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

materiali considerati nella seguente analisi sono indicati in **Tabella 7-13**. I legami costitutivi utilizzati in Plaxis sono stati:

- Mohr-Coulomb (MC) per modellare la risposta geotecnica del rilevato nuovo e dell'unità geotecnica DEP;
- Soft-Soil (SS) per modellare la risposta geotecnica dell'unità geotecnica BPb, di natura coesiva;
- Linear per simulare la presenza del muro.

7.11.2.1 Fasi del modello

L'analisi agli elementi finiti effettuata per il modello alla Pk 3+550 che verrà proposta di seguito, è strutturata con le seguenti fasi di calcolo:

- Fase geostatica di inizializzazione del modello, considerando il rilevato esistente (fase di calcolo No.0);
- Pre-consolidazione del terreno esistente per la geometria in 20 giorni (fase di calcolo No.1);
- *Reset displacements* + Scotico 50 cm sotto la zona del nuovo rilevato (fase di calcolo No.2);
- Costruzione del muro e rilevato per strati con una durata di 10 giorni per ogni strato– da fase di calcolo No.3 a fase di calcolo No.11;
- Consolidazione del rilevato fino al raggiungimento dei 9 mesi dall'inizio della costruzione (fase di calcolo No.12);
- *Reset displacements* per azzeramento cedimenti pre-applicazione ballast + Applicazione del carico dovuto al pacchetto di armamento ferroviario del nuovo rilevato in 1 giorno (fase di calcolo No.13);
- Analisi di consolidazione ai fini della valutazione dell'entità del cedimento dopo 7 giorni, 14 giorni, 1 mese, 2 mesi, 4 mesi, 6 mesi, 1 anno, 2 anni, 5 anni, 10 anni e 20 anni (da fase di calcolo No.14 a fase di calcolo No.24).

	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A	FOGLIO 90 di 149

7.11.2.2 Cedimenti

Sono stati calcolati i cedimenti dopo la costruzione e la consolidazione – durata totale della costruzione e consolidazione pari a 9 mesi - del nuovo rilevato (fase 12) e dopo 20 anni di consolidazione (fase 24) per trovare il massimo cedimento residuo dovuto alla consolidazione primaria sulla superficie del rilevato.

Nella seguente figura si possono valutare i cedimenti verticali totali a fine costruzione (Fase 12), il cedimento massimo atteso è pari a 29.2 cm, in corrispondenza della superficie del rilevato, mentre alla base del rilevato il cedimento sarà inferiore, dell'ordine dei 27.5 cm. Nella **Figura 7-69** invece è rappresentato il cedimento a fine costruzione del nuovo rilevato (fase 12) in corrispondenza della superficie dello stesso.

In **Figura 7-70** e **Figura 7-71** si mostrano i cedimenti residui (globali ed in corrispondenza del coronamento del rilevato) a 20 anni di consolidazione.

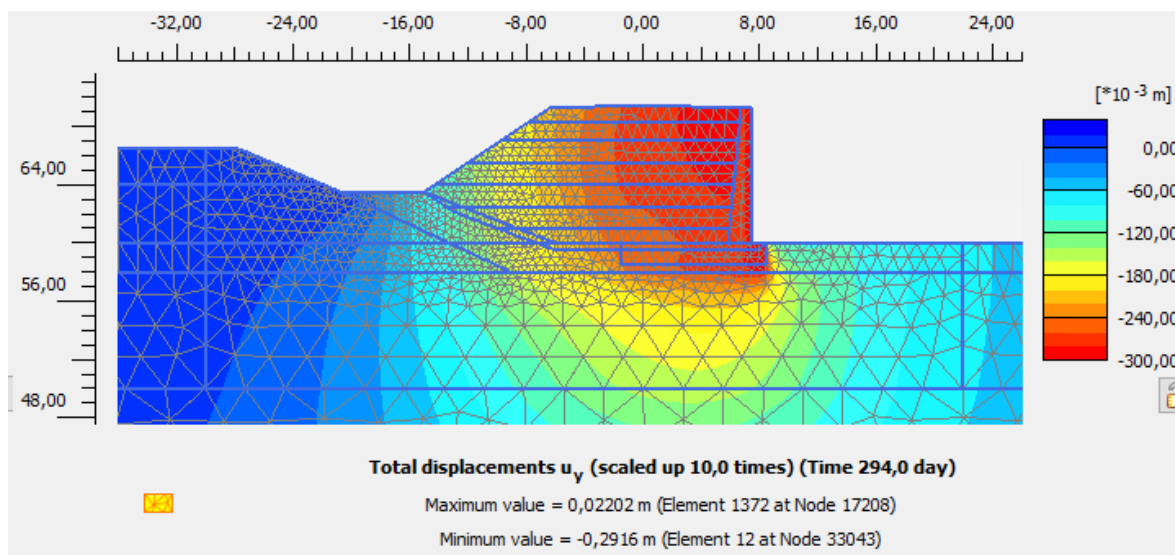


Figura 7-68 Spostamenti verticali al termine della costruzione del rilevato, prima dell'installazione del ballast (fase 12)

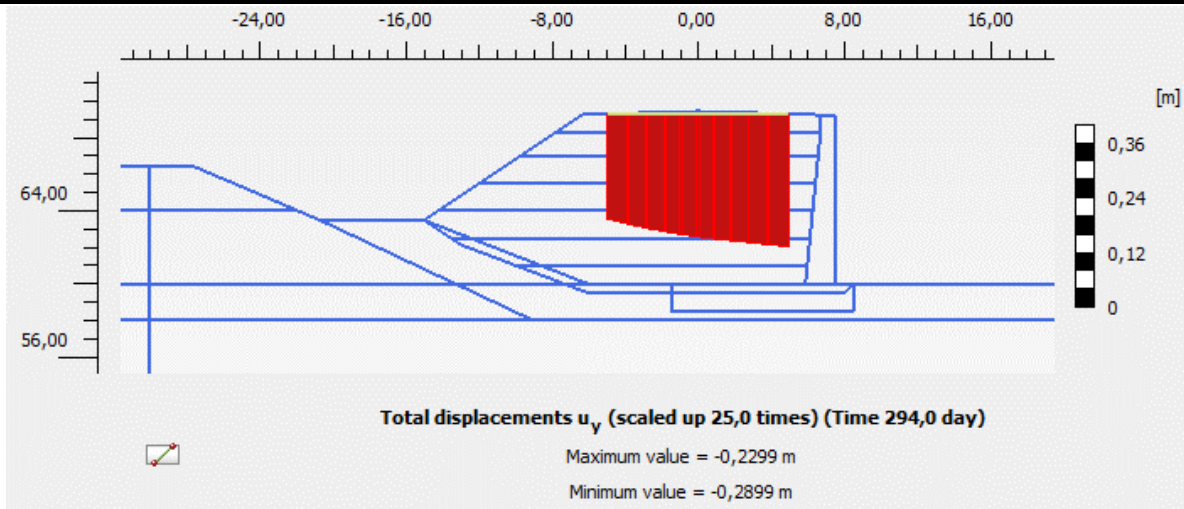


Figura 7-69 Spostamenti verticali in superficie al termine della costruzione del rilevato, prima dell'installazione del ballast (fase 12)

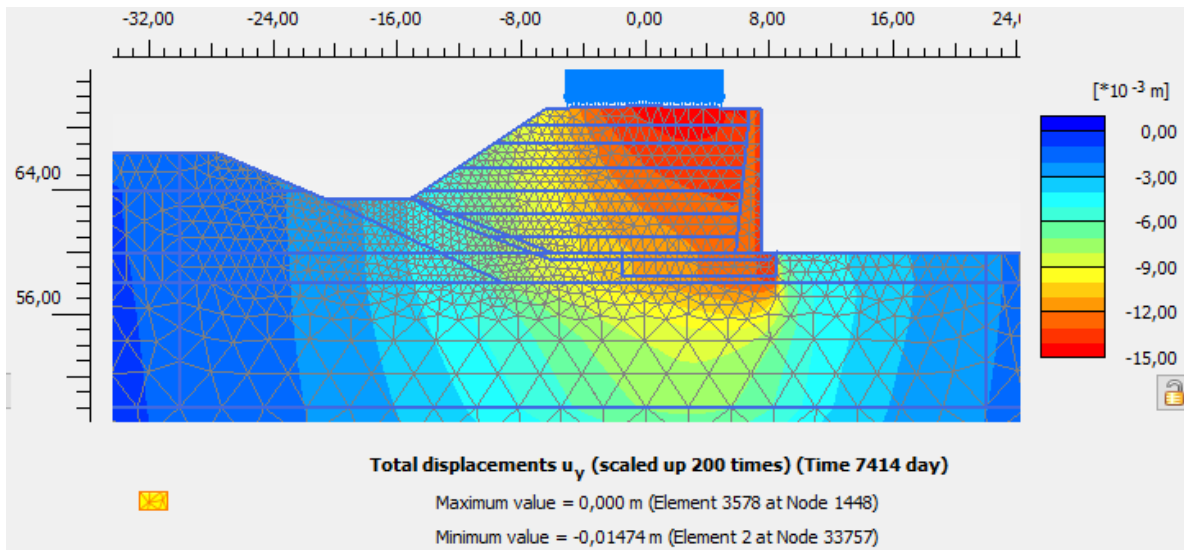


Figura 7-70 Spostamenti verticali residui dopo 20 anni di consolidazione (fase 24)

	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

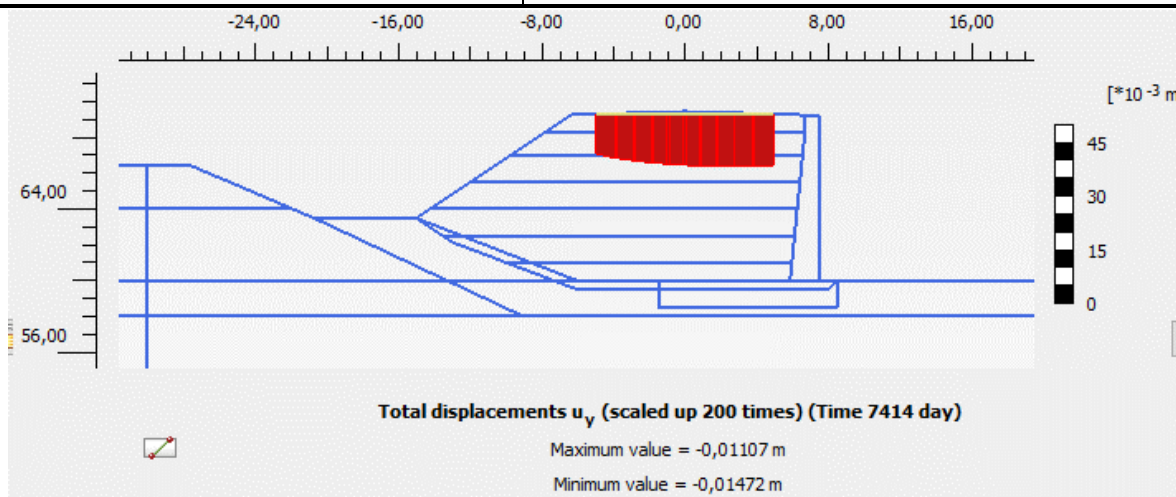


Figura 7-71 Spostamenti verticali residui in superficie dopo 20 anni di consolidazione (fase 24)

Come riscontrabile in **Figura 7-71**, il cedimento residuo dovuto alla consolidazione primaria dopo 20 anni da posa ballast, è 1.43 cm in corrispondenza dell'asse della superficie del rilevato.

7.11.2.3 Curva cedimenti-tempo

La curva cedimenti-tempo viene estratta in corrispondenza dell'asse del rilevato al livello della quota intradosso del *ballast*.

La valutazione dei cedimenti immediati e di breve/medio termine viene eseguita a partire dalla fase 1 fino alla fase 12, ovvero fino ai 9 mesi di consolidazione del nuovo rilevato. I cedimenti residui sono quindi derivanti dalla quota parte di consolidazione primaria che si manifesta a partire dalla fase 13, ovvero dal momento di applicazione dell'armamento ferroviario. .

Il contributo dovuto alla consolidazione secondaria S_s viene poi calcolato secondo la formulazione indicata nel capitolo 6.2.2.

Nel caso specifico, la fine consolidazione primaria (istante dal quale viene schematicamente considerato l'avvio del cedimento secondario) avviene dopo circa un anno ($t_{100}=1.04$ anni). Per quanto detto, il tempo considerato t (anni) è pari a 20.75 anni dal momento che l'istante t_0 è considerato da inizio dei lavori (9 mesi di costruzione e consolidazione + 20 anni di esercizio dell'opera).

t (anni)	t ₁₀₀ (anni)	C _{α,ε}	H (m) ⁽¹⁾	S _s (cm)
20.75	1.04	0.058%	25	1.89

⁽¹⁾ Si considera uno spessore equivalente alla profondità di terreno sino alla quale il rapporto $\Delta\sigma_v$ risulta circa pari al 10% della tensione geostatica iniziale.

Il grafico cedimenti-tempo presenta sull'asse delle ascisse il tempo, espresso in anni, mentre sull'asse delle ordinate viene indicato il cedimento cumulato, espresso in mm.

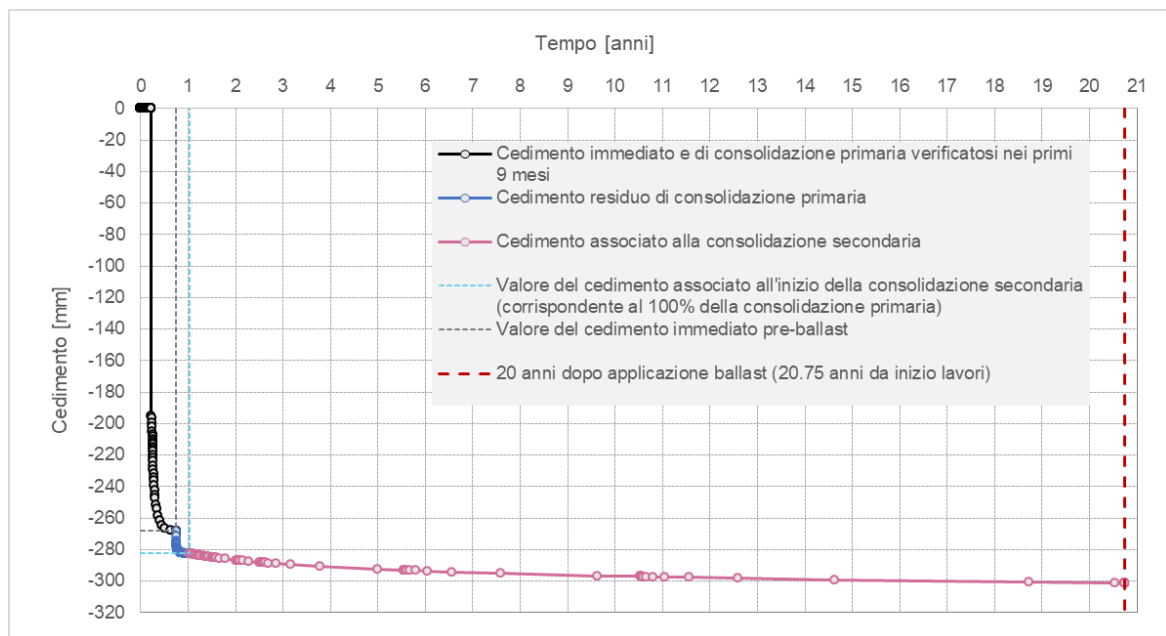


Figura 7.72 Curva cedimenti-tempo Plaxis

Ne risulta, quindi:

- Cedimento calcolato a 9 mesi (precedente alla posa del ballast): 26.8 cm;
- Contributo al cedimento residuo dovuto alla consolidazione primaria: $C_p = 1.43$ cm;
- Tempo di esaurimento della consolidazione primaria $t_{100} = 1.04$ anni;
- Contributo al cedimento residuo dovuto alla consolidazione secondaria: $C_s = S_s = 1.89$ cm.



NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA
LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E
INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2I	A1 R 11	RH	GE 00 00 001	A	94 di 149

Il cedimento residuo totale dopo 20 anni dalla posa in oepra del ballast risulta quindi

$$C_{tot} = C_p + C_s = 1.43 + 1.89 = 3.32 \text{ cm.}$$

Essendo quindi il cedimento residuo totale ($C_{tot}=3.32 \text{ cm}$) inferiore al limite di 5.0 cm, la condizione è soddisfatta.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

7.12 ANALISI RILEVATO N.3 IN BPA

Il rilevato analizzato si trova alla progressiva 12+300 e presenta un'altezza massima pari a circa 9.4 m ed è realizzato con scarpate di pendenza 3H:2V, e ospiterà una linea a doppio binario, come da sezione riportata nella figura successiva. A vantaggio di sicurezza, nelle seguenti verifiche non è stata considerata la presenza dei pali.

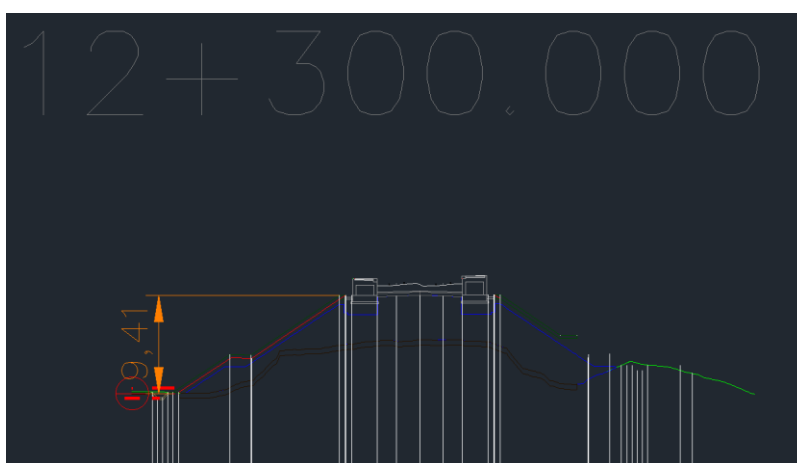


Figura 7-73 Sezione in rilevato 12+300

Il modello geotecnico è rappresentato dalla successione stratigrafica i cui parametri meccanici sono sintetizzati nella seguente **Tabella 7-14**.

La falda è posizionata a 9 m sotto al piano di campagna, come da profilo geotecnico.

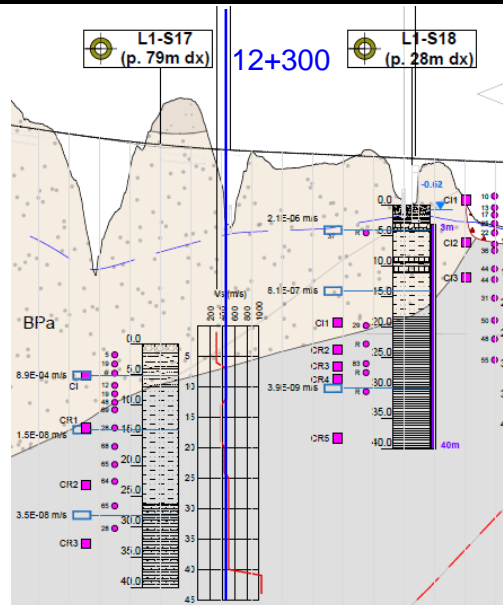


Figura 7-74: sezione rilevato 12+300 nel profilo geologico.

Tabella 7-14: parametri geotecnici caratteristici.

U.G.	Da (m)	A (m)	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (°)	k (m/s)	E' (MPa)	v (-)
Rilevato nuovo	+9.4	0	20.0	0	38	1.0 E-5	30	0.30
BPa (1) (fino a 15m da pc)	0	-15	19.5	5	36	5.0 E-5	45	0.30
BPa (2) (oltre 15m da pc)	-15	-29	19.5	5	36	5.0 E-5	55	0.30
ALV	-29	-60	20.0	30	24	300	5.5 E-8	0.30
Muro			24	-	-	-	20000	0.20

7.12.1 Analisi di stabilità in condizioni statiche e sismiche

Per l'analisi di stabilità interna si rimanda al paragrafo 7.15.1; per l'analisi di stabilità globale si rimanda ai risultati ottenuti considerando i DEP come materiale di appoggio del rilevato, Figura 7-106, Figura 7-107, Figura 7-116, Figura 7-117, dal momento che l'unità geotecnica BPa ha migliori prestazioni geotecniche rispetto all'unità geotecnica DEP.

7.12.2 Verifica dei cedimenti in SLE – modello FEM

Il modello di calcolo impostato nel codice di calcolo Plaxis agli elementi finiti è quello riportato nella **Figura 7-75** seguente.

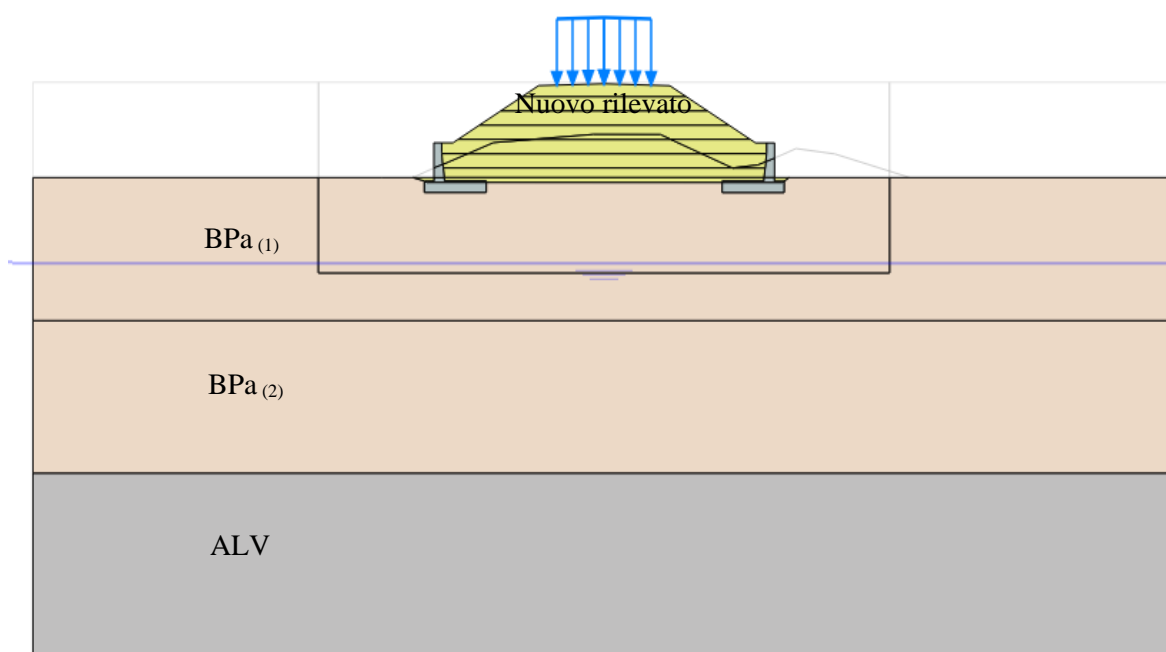


Figura 7-75 Sezione in rilievo no.3 in Plaxis

Le caratteristiche dei materiali di costruzione dei rilevati assunte in progetto sono conformi a quanto previsto nel Manuale di Progettazione RFI e nel Capitolato di Costruzione RFI. I parametri geotecnici dei materiali considerati nella seguente analisi sono indicati in **Tabella 7-14**. I legami costitutivi utilizzati in Plaxis sono stati:

- Mohr-Coulomb (MC) per modellare la risposta geotecnica del rilevato nuovo e dell'unità geotecnica BPa, in quanto materiale granulare. Si è optato per scegliere il legame costitutivo MC anche per l'unità ALV; per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione Geotecnica [9] e alla nota sottostante.
- Lineare per simulare la presenza del muro. A favore di sicurezza, la presenza dei pali al di sotto dei muri di sostegno non è stata inclusa nel modello.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

NOTA: Per l'unità geotecnica ALV è stato assunto un legame costitutivo di Mohr-Coulomb, dal momento che come evidenziato nella Relazione Geotecnica [9] i risultati delle prove edometriche sono stati considerati come poco rappresentativi, in special modo con riferimento ai valori di OCR stimati; dalle prove edometriche è stato infatti stimato un OCR pari a circa ad 1 (terreno normal consolidato), mentre che da parametri registrati in situ (quali elevati valori di Coesione non drenata da prove di penetrometro tascabile – si veda figura 9-108 della relazione geotecnica – ed elevati valori di velocità di propagazione delle onde di taglio Vs da prove tipo Down-hole).

7.12.2.1 Fasi del modello

L'analisi agli elementi finiti effettuata per il modello alla Pk 12+300 che verrà proposta di seguito, è strutturata con le seguenti fasi di calcolo:

- Fase geostatica di inizializzazione del modello, considerando il rilevato esistente (fase di calcolo No.0);
- Scotico 50 cm sotto la zona del nuovo rilevato (fase di calcolo No.1);
- Costruzione del muro e rilevato per strati con una durata di 10 giorni per ogni strato – da fase di calcolo No.2 a fase di calcolo No.9;
- Consolidazione del rilevato fino al raggiungimento dei 9 mesi dall'inizio della costruzione (fase di calcolo No.10);
- *Reset displacements* per azzeramento cedimenti pre-applicazione ballast + Applicazione de-carico dovuto al pacchetto di armamento ferroviario del nuovo rilevato in 1 giorno (fase di calcolo No.11).

7.12.2.2 Cedimenti

Sono stati analizzati gli spostamenti verticali dopo la costruzione e la consolidazione – durata totale della costruzione e della consolidazione pari a 9 mesi - del nuovo rilevato (fase 10) e dopo l'applicazione

del ballast (fase 11) per trovare il massimo cedimento residuo dovuto alla consolidazione primaria sulla superficie del rilevato.

Nella seguente figura si possono valutare i cedimenti verticali totali a fine costruzione (Fase 10): il cedimento massimo atteso è pari a 8.7 cm, in corrispondenza della superficie del rilevato, mentre alla base del rilevato il cedimento sarà inferiore, dell'ordine dei 6 cm. Nella **Figura 7-77** invece è rappresentato il cedimento a fine costruzione del nuovo rilevato (fase 10) in corrispondenza della superficie dello stesso.

In **Figura 7-78** e **Figura 7-79** si mostrano i cedimenti (globali ed in corrispondenza del coronamento del rilevato) generati dall'applicazione del ballast.

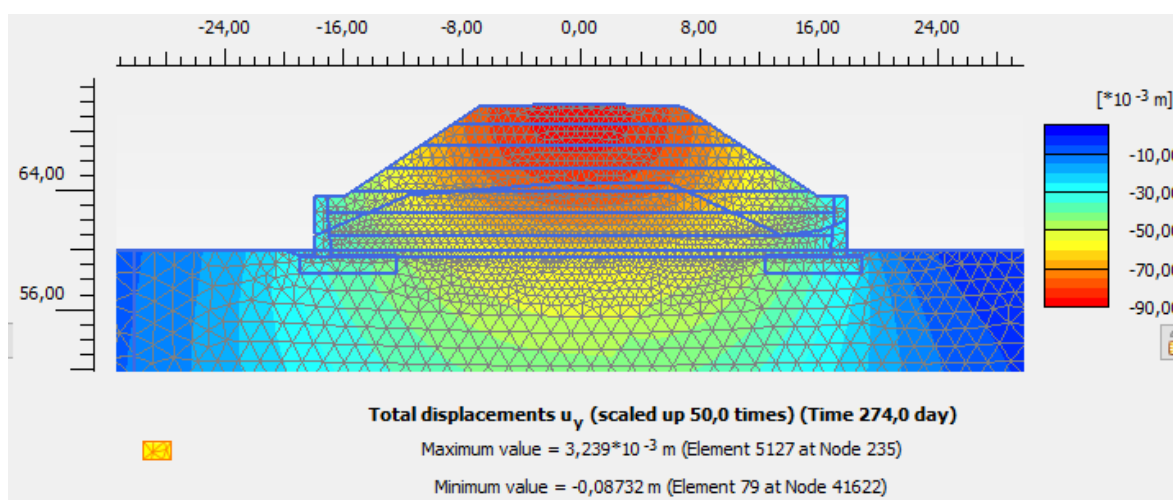


Figura 7-76 Spostamenti verticali al termine della costruzione del rilevato, prima dell'installazione del ballast (fase 10)

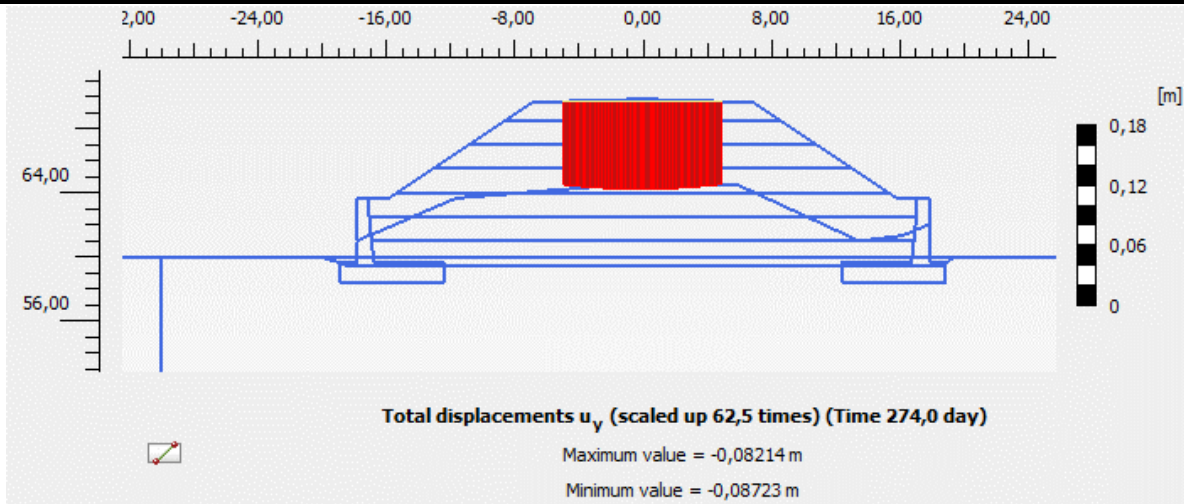


Figura 7-77 Spostamenti verticali in superficie al termine della costruzione del rilevato, prima dell'installazione del ballast (fase 10)

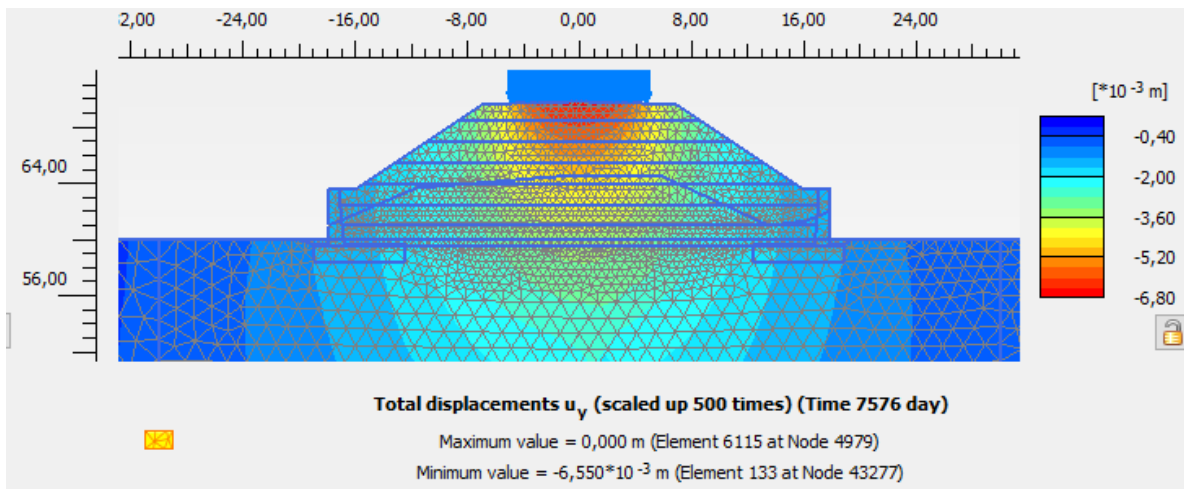


Figura 7-78 Spostamenti verticali residui dopo l'applicazione ballast (fase 11)

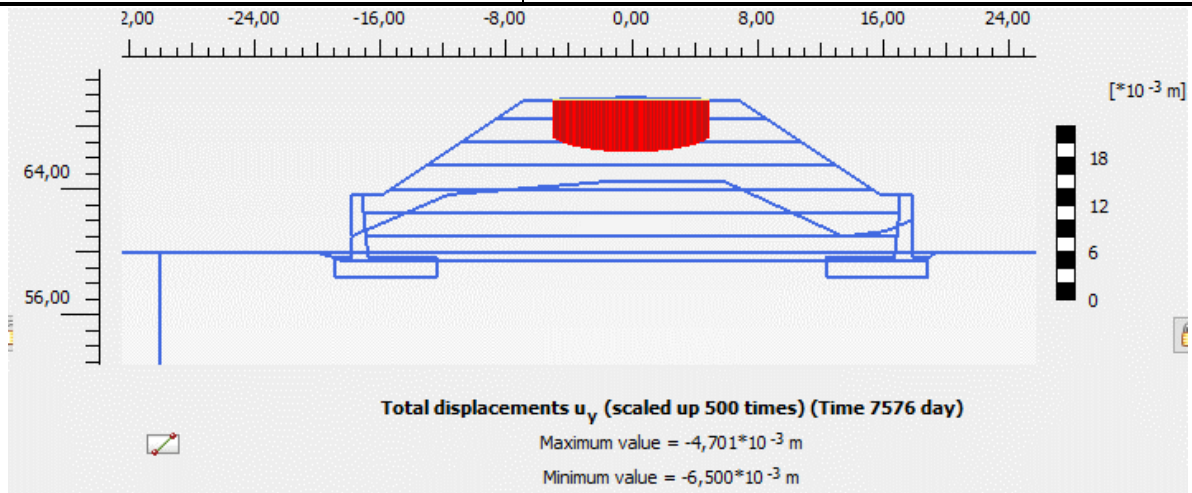


Figura 7-79 Spostamenti verticali residui in superficie dopo l'applicazione ballast (fase 11)

Come riscontrabile in **Figura 7-79** il cedimento immediato (e totale, dopo 20 anni da posa ballast) è pari a 0.65 cm in corrispondenza della superficie del rilevato.

7.12.2.3 Cedimenti totali

In questa analisi eseguita su materiale con comportamento granulare, il cedimento immediato coincide con il cedimento totale ed è pari a 0.65 cm. Essendo un valore inferiore al limite di 5.0 cm, la verifica è soddisfatta.

	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

7.13 ANALISI RILEVATO N.4 IN AVF

Il rilevato analizzato si trova alla progressiva 20+500 e presenta un'altezza massima pari a circa 7.0 m ed è realizzato con scarpate di pendenza H:V= 3:2, e ospiterà una linea a doppio binario, come da sezione riportata nella figura successiva.

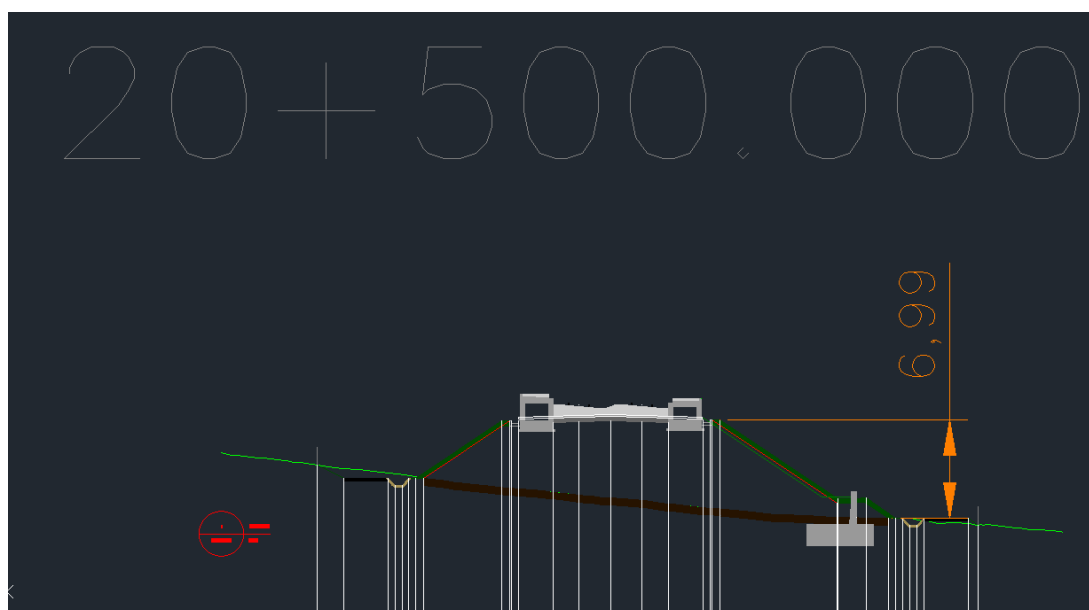


Figura 7-80 Sezione in rilevato 20+500

Il modello geotecnico è rappresentato dalla successione stratigrafica i cui parametri meccanici sono sintetizzati nella seguente **Tabella 7-15**. La falda è posizionata a circa 3 m sotto al piano di campagna, come da profilo geotecnico

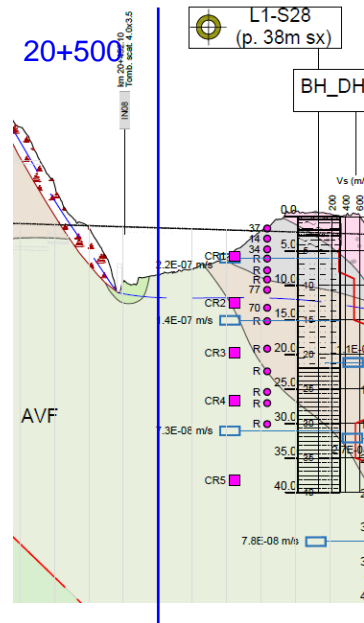


Figura 7-81: sezione rilevato 20+500 nel profilo geotecnico.

Tabella 7-15: parametri geotecnici caratteristici.

U.G.	Da (m)	A (m)	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (°)	c_u (kPa)	k (m/s)	E' (MPa)	ν (-)	C_c	C_s	$C_{\alpha\epsilon}$	e_{init}	OCR
Rilevato nuovo	+7	0	20.0	0	38	-	1.0 E-5	30	0.30	-	-		-	-
AVF ₁	0	-20	20.0	30	24	300	5.5 E-8	45	0.30	0.110	0.019	0.056%	0.62	2.5
AVF ₂	<-20		20.0	30	24	300	5.5 E-8	65	0.30	0.110	0.019	0.056%	0.62	1.0
Muro			24	-	-	20000		20000	0.20	-	-		-	-

7.13.1 Analisi di stabilità in condizioni statiche e sismiche

Per l'analisi di stabilità interna si rimanda al paragrafo 7.15.1; per l'analisi di stabilità globale si rimanda al paragrafo 7.15.2 (Figura 7-108, Figura 7-109, Figura 7-118, Figura 7-119, Figura 7-128, Figura 7-129, e Figura 7-135).

7.13.2 Verifica dei cedimenti in SLE – modello FEM

Il modello di calcolo impostato nel codice di calcolo Plaxis agli elementi finiti è quello riportato nella **Figura 7-82** seguente.

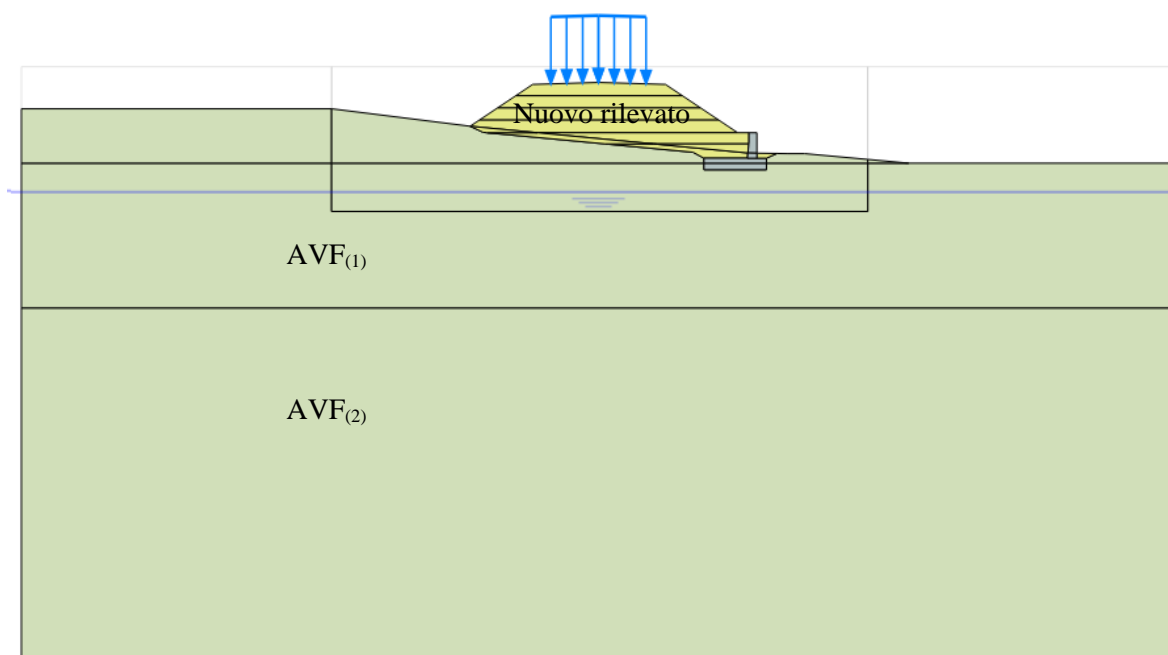


Figura 7-82 Sezione in rilievo no.4 in Plaxis

Le caratteristiche dei materiali di costruzione dei rilevati assunte in progetto sono conformi a quanto previsto nel Manuale di Progettazione RFI e nel Capitolato di Costruzione RFI. I parametri geotecnici dei materiali considerati nella seguente analisi sono indicati in **Tabella 7-15**. I legami costitutivi utilizzati in Plaxis sono stati:

- Mohr-Coulomb (MC) per modellare la risposta geotecnica del rilevato nuovo;
- Soft-Soil (SS) per modellare la risposta geotecnica dell'unità geotecnica AVF, di natura coesiva;
- Lineare per simulare la presenza del muro. A favore di sicurezza, la presenza dei pali al di sotto del muro di sostegno non è stata inclusa nel modello.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

7.13.2.1 Fasi del modello

L'analisi agli elementi finiti effettuata per il modello alla Pk 20+500 che verrà proposta di seguito, è strutturata con le seguenti fasi di calcolo:

- Fase geostatica di inizializzazione del modello, considerando il rilevato esistente (fase di calcolo No.0);
- Scotico 50 cm sotto la zona del nuovo rilevato (fase di calcolo No.1);
- Costruzione del muro e rilevato per strati con una durata di 10 giorni per ogni strato – da fase di calcolo No.2 a fase di calcolo No.8;
- Consolidazione del rilevato fino al raggiungimento dei 9 mesi dall'inizio della costruzione (fase di calcolo No.9);
- *Reset displacements* per azzeramento cedimenti pre-applicazione ballast + Applicazione del carico dovuto al pacchetto di armamento ferroviario del nuovo rilevato in 1 giorno (fase di calcolo No.10);
- Analisi di consolidazione ai fini della valutazione dell'entità del cedimento dopo 7 giorni, 14 giorni, 1 mese, 2 mesi, 4 mesi, 6 mesi, 1 anno, 2 anni, 5 anni, 10 anni e 20 anni (da fase di calcolo No.11 a fase di calcolo No.21).

7.13.2.2 Cedimenti

Sono stati calcolati i cedimenti dopo la costruzione e la consolidazione – durata totale della costruzione e della consolidazione pari a 9 mesi - del nuovo rilevato (fase 9) e dopo 20 anni di consolidazione (fase 21) per trovare il massimo cedimento residuo dovuto alla consolidazione primaria sulla superficie del rilevato.

Nella seguente figura si possono valutare i cedimenti verticali totali a fine costruzione (Fase 9), il cedimento massimo atteso è pari a 16.6 cm, in corrispondenza della superficie del rilevato, mentre alla base il cedimento sarà inferiore, dell'ordine dei 16 cm. Nella Figura 7-84 invece è rappresentato il cedimento a fine costruzione del nuovo rilevato (fase 9) in corrispondenza della superficie dello stesso.

In **Figura 7-85** e **Figura 7-86** si mostrano i cedimenti residui (globali ed in corrispondenza del coronamento del rilevato) a 20 anni di consolidazione.

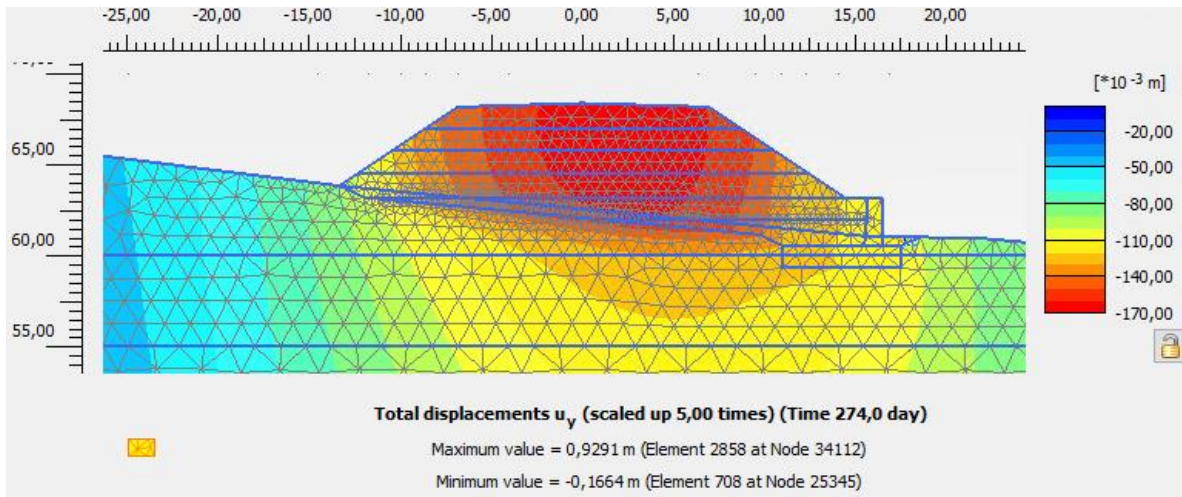


Figura 7-83 Spostamenti verticali al termine della costruzione del rilevato, prima dell'installazione del ballast (fase 9)

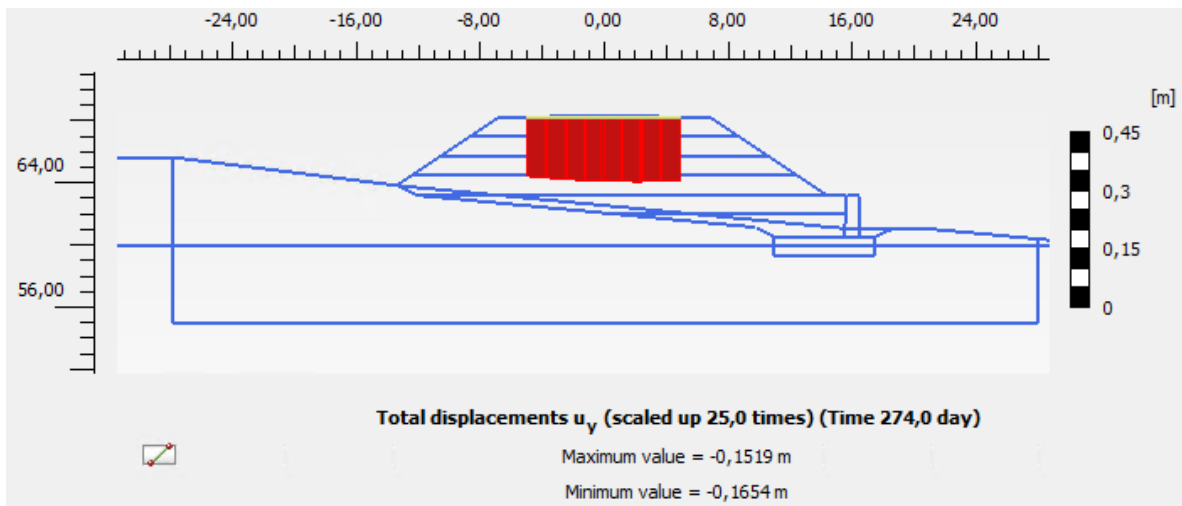


Figura 7-84 Spostamenti verticali in superficie al termine della costruzione del rilevato, prima dell'installazione del ballast (fase 9)

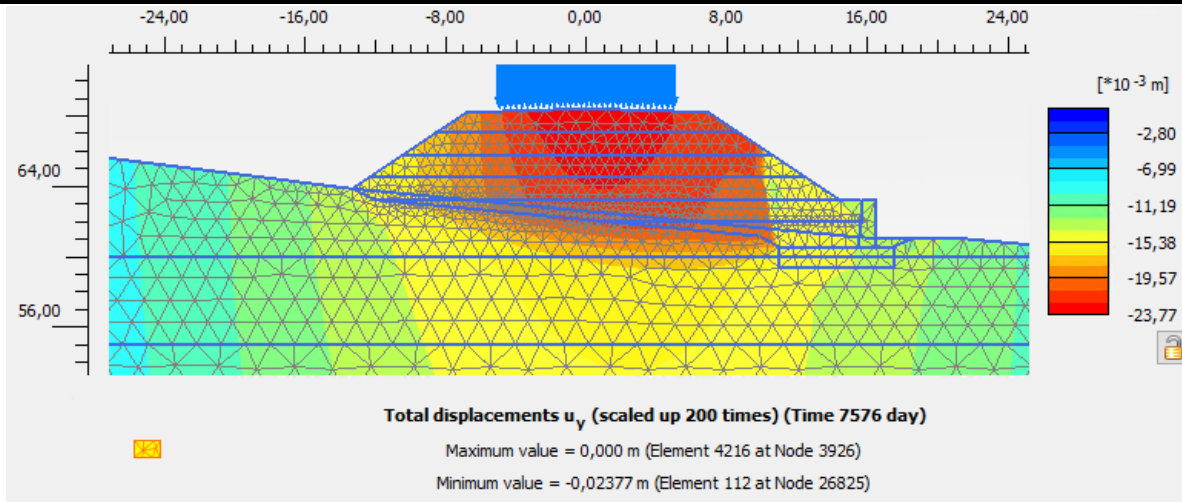


Figura 7-85 Spostamenti verticali residui dopo 20 anni di consolidazione (fase 21)

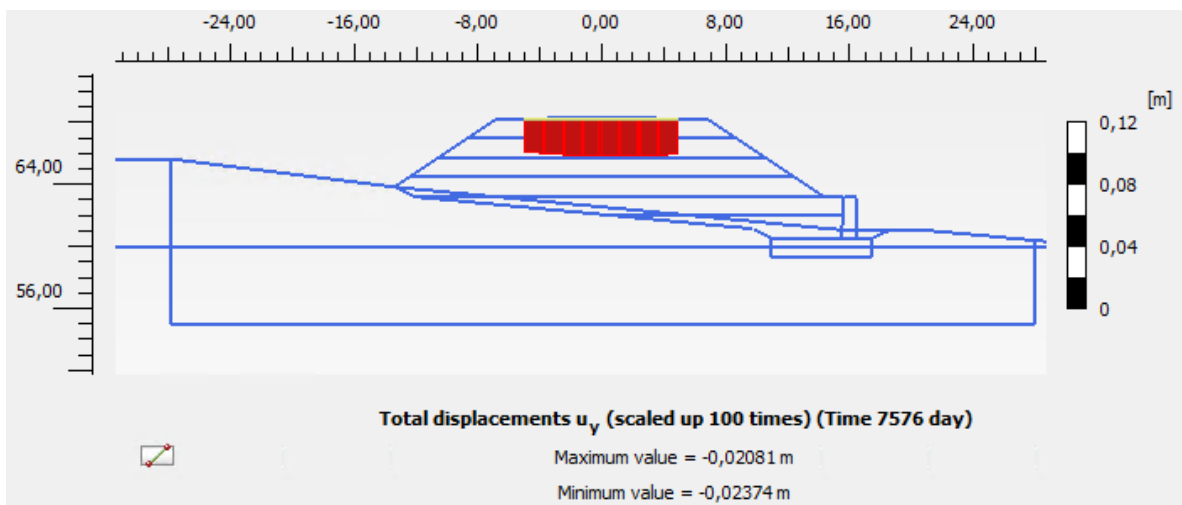


Figura 7-86 Spostamenti verticali residui in superficie dopo 20 anni di consolidazione (fase 21)

Come riscontrabile in **Figura 7-86** il cedimento residuo dovuto alla consolidazione primaria dopo 20 anni da posa ballast, è 2,37 cm in corrispondenza della superficie del rilevato.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

7.13.2.3 Curva cedimenti-tempo

La curva cedimenti-tempo viene estratta in corrispondenza dell'asse del rilevato al livello della quota intradosso del *ballast*.

La valutazione dei cedimenti immediati e di breve/medio termine viene eseguita a partire dalla fase 1 fino alla fase 9, ovvero fino ai 9 mesi di consolidazione del nuovo rilevato. I cedimenti residui sono quindi derivanti dalla quota parte di consolidazione primaria che si manifesta a partire dalla fase 10, ovvero dal momento di applicazione dell'armamento ferroviario.

Il contributo dovuto alla consolidazione secondaria S_s viene poi calcolato secondo la formulazione indicata nel capitolo 6.2.2.

Nel caso specifico, la fine consolidazione primaria (istante dal quale viene schematicamente considerato l'avvio del cedimento secondario) avviene dopo quasi 2 anni ($t_{100}=1.86$ anni). Per quanto detto, il tempo considerato t (anni) è pari a 20.75 anni dal momento che l'istante t_0 è considerato da inizio dei lavori (9 mesi di costruzione e consolidazione + 20 anni di esercizio dell'opera).

t (anni)	t_{100} (anni)	$C_{\alpha,\varepsilon}$	H (m)⁽¹⁾	S_s (cm)
20.75	1.86	0.056%	36	2.1

⁽¹⁾ Si considera uno spessore equivalente alla profondità di terreno sino alla quale il rapporto $\Delta\sigma_v$ risulta circa pari al 10% della tensione geostatica iniziale.

Il grafico cedimenti-tempo presenta sull'asse delle ascisse il tempo, espresso in anni, mentre sull'asse delle ordinate viene indicato il cedimento cumulato, espresso in mm.

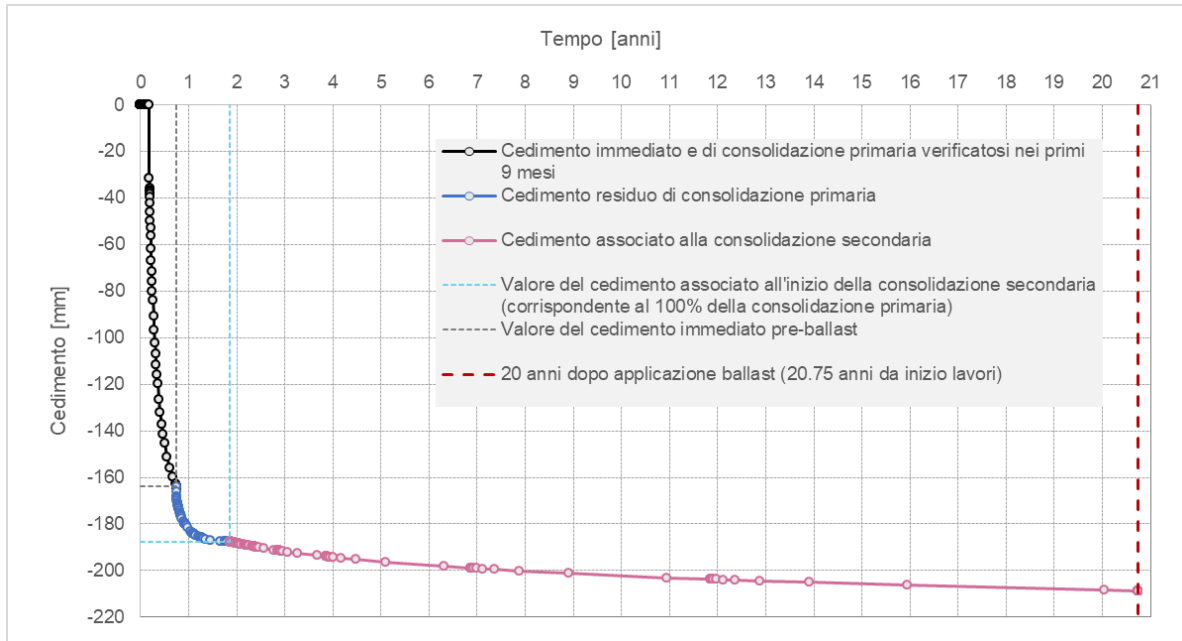


Figura 7.87 Curva cedimenti-tempo Plaxis

Ne risulta, quindi:

- Cedimento calcolato a 9 mesi (precedente alla posa del ballast): 16.4 cm;
- Contributo al cedimento residuo dovuto alla consolidazione primaria: $C_p = 2.37$ cm;
- Tempo di esaurimento della consolidazione primaria $t_{100} = 1.86$ anni;
- Contributo al cedimento residuo dovuto alla consolidazione secondaria: $C_s = S_s = 2.1$ cm.

Il cedimento residuo totale dopo 20 anni dalla posa in opera del ballast risulta quindi

$$C_{tot} = C_p + C_s = 2.37 + 2.1 = 4.47 \text{ cm.}$$

Essendo quindi il cedimento residuo totale ($C_{tot}=4.47$ cm) inferiore al limite di 5.0 cm, la condizione è soddisfatta.

7.14 ANALISI RILEVATO N.5 IN RGC E BTL-PLM

Il rilevato analizzato si trova alla progressiva 30+450 e presenta un'altezza massima pari a circa 12,1 m ed è realizzato con scarpate di pendenza H:V= 3:2. Nella sezione di analisi, il rilevato è previsto a singolo binario, come da sezione riportata nella figura successiva. Al lato destro è presente un muro di sostegno.

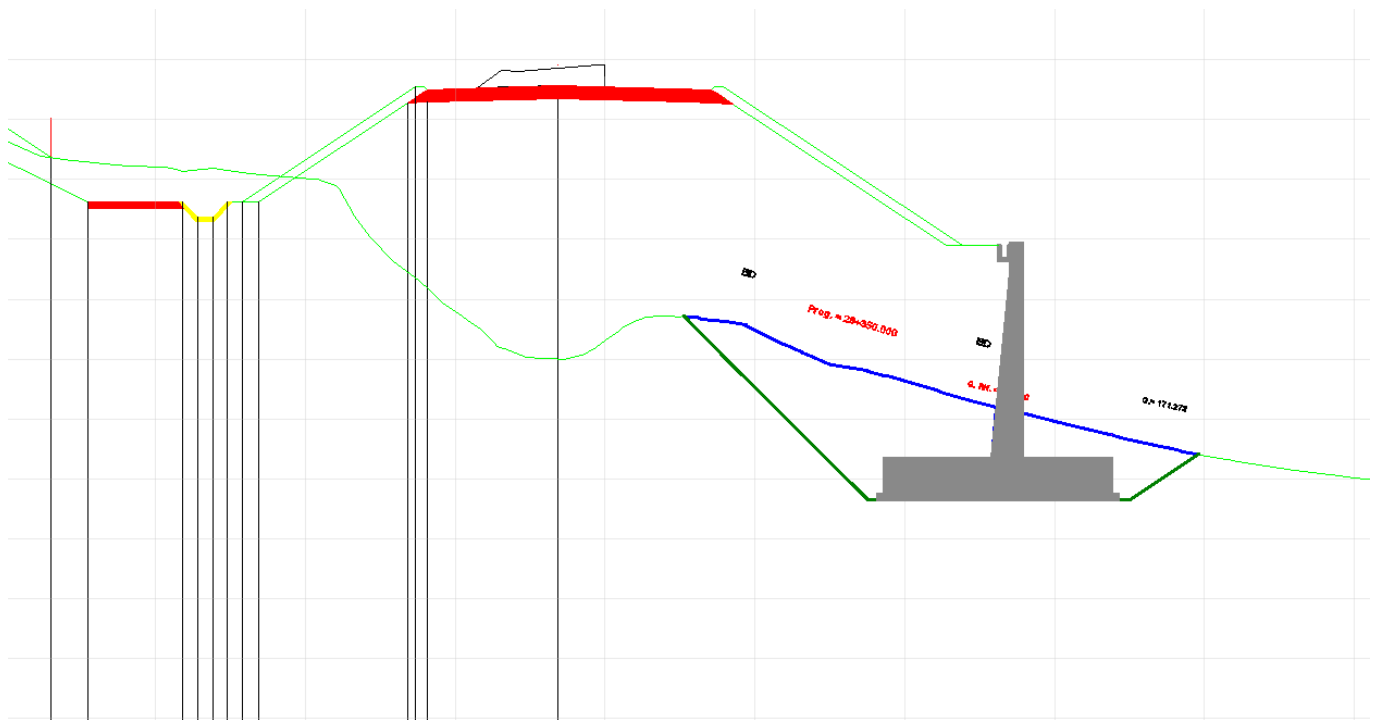


Figura 7-88 Sezione in rilevato 30+450

Il modello geotecnico è rappresentato dalla successione stratigrafica i cui parametri meccanici sono sintetizzati nella seguente Tabella 7-16.

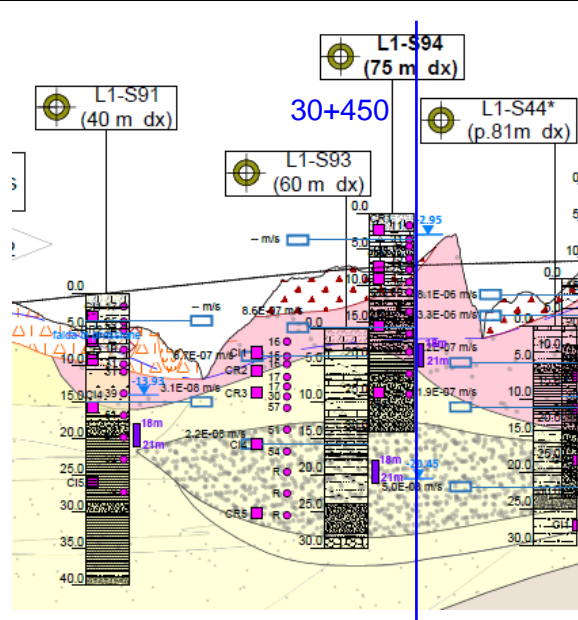


Figura 7-89: sezione rilevato 30+450 nel profilo geologico.

Tabella 7-16: parametri geotecnici caratteristici.

U.G.	Da* (m)	A* (m)	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	Φ' (°)	c _u (Kpa)	k (m/s)	E' (MPa)	ν (-)	C _c	C _s	e _{init}	OCR
Rilevato nuovo	0	-7.7	20.0	0	38	-	1e-5	30	0.30	-	-	-	-
RGC	-7.7	-19.7	20.0	0	34	-	5e-6	45	0.30	-	-	-	-
BTL-PLMb (1) (fino a 15m da pc)	-19.7	-23.3	19.5	15	23	100	3e-8	30	0.30	0.188	0.072	0.65	3.0
BTL-PLMa	-23.3	-35.8	21.0	5	35	-	1e-6	50	0.30	-	-	-	-
BTL-PLMb (2) (oltre 15m da pc)	<35.8	-	19.5	15	23	100	3e-8	40	0.30	0.188	0.072	0.65	2.0
Muro	-	-	24.0	-	-	-	-	20000	0.20	-	-	-	-

*la stratigrafia è data in asse al rilevato.

Con riferimento alla tabella precedente, i parametri C_c e C_s del materiale BTL-PLMb si riferiscono rispettivamente all'indice di compressibilità ed all'indice di scarico. Come definito nella Relazione

Geotecnica (doc.Rif. [9]), al materiale BTL-PLMb, per i 10 primi metri di profondità, è stato assegnato un valore di OCR pari a 3.0; a profondità maggiori invece si è considerato un OCR di 2.0.

7.14.1 Analisi di stabilità in condizioni statiche e sismiche

Per l'analisi di stabilità interna si rimanda al paragrafo 7.15.1; per l'analisi di stabilità globale si rimanda al paragrafo 7.15.2 (Figura 7-110, Figura 7-111, Figura 7-120, Figura 7-121, Figura 7-122).

7.14.2 Verifica dei cedimenti in SLE – modello FEM

Il modello di calcolo impostato nel codice di calcolo Plaxis agli elementi finiti è quello riportato nella Figura 7-90 seguente. Nella seguente analisi la falda è stata posizionata a circa 5 m sotto il piano di campagna per evitare interferenze con il piano di posa del muro (che potrebbero dare problemi numerici nell'esecuzione del modello).

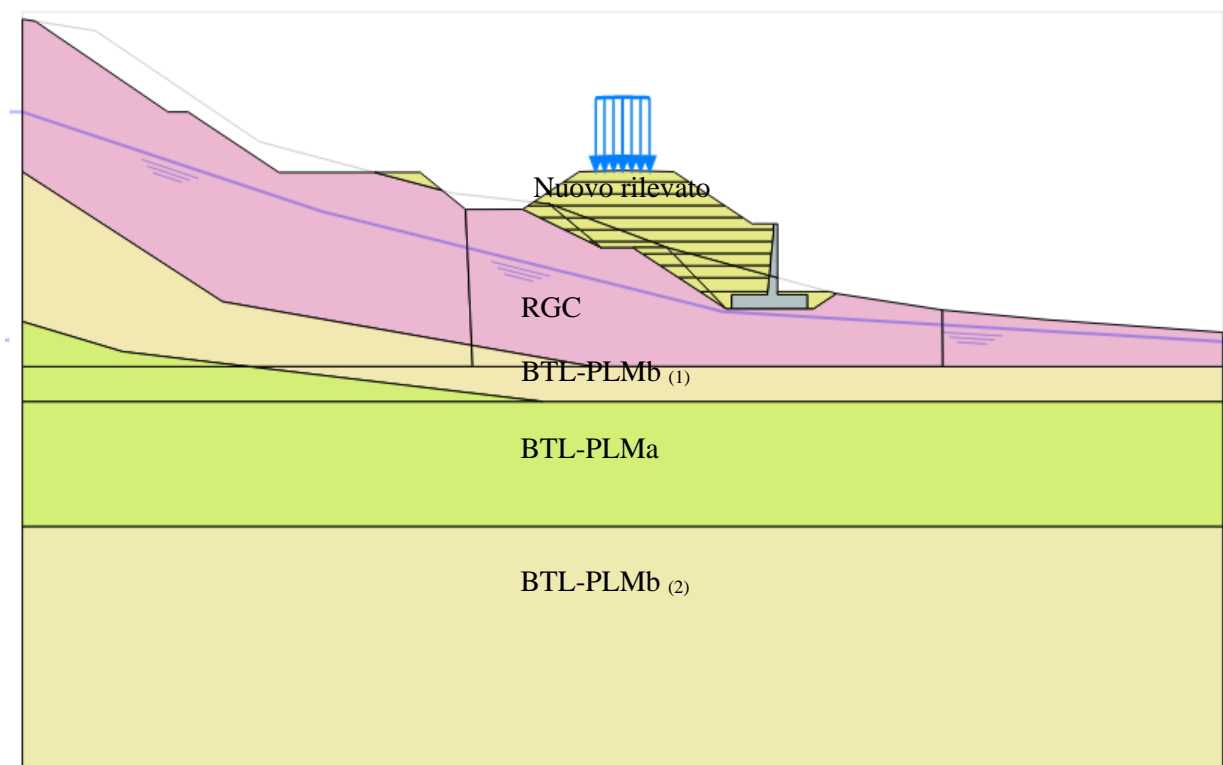


Figura 7-90 Sezione in rilevato no 5 in Plaxis

Le caratteristiche dei materiali di costruzione dei rilevati assunte in progetto sono conformi a quanto previsto nel Manuale di Progettazione RFI e nel Capitolato di Costruzione RFI. I parametri geotecnici dei

	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

materiali considerati nella seguente analisi sono indicati in Tabella 7-16. I legami costitutivi utilizzati in Plaxis sono stati:

- Mohr-Coulomb (MC) per modellare la risposta geotecnica del rilevato nuovo e dei materiali RGC e BTL-PLMa, di natura incoerente;
- Soft-Soil (SS) per modellare la risposta geotecnica dell'unità geotecnica BTL-PLMb, di natura coesiva;
- Lineare per simulare la presenza del muro. A favore di sicurezza, la presenza dei pali al di sotto del muro di sostegno non è stata inclusa nel modello.

7.14.2.1 Fasi del modello

L'analisi agli elementi finiti effettuata per il modello alla Pk 30+450 che verrà proposta di seguito, è strutturata con le seguenti fasi di calcolo:

- Fase geostatica di inizializzazione del modello, considerando il rilevato esistente (fase di calcolo No.0);
- Consolidazione del pendio naturale in 5 giorni (fase di calcolo No. 1);
- Scotico sotto la zona del nuovo rilevato e scavo dei pendii a monte in 5 giorni (fase di calcolo No.2);
- Consolidazione dello scavo in 5 giorni (fase di calcolo No. 3);
- Costruzione del muro e rilevato per strati con una durata di 10 giorni per ogni strato – da fase di calcolo No.4 a fase di calcolo No.15;
- Consolidazione del rilevato fino al raggiungimento dei 9 mesi dall'inizio della costruzione (fase di calcolo No.16);
- *Reset displacements* per azzeramento cedimenti pre-applicazione ballast + Applicazione del carico dovuto al pacchetto di armamento ferroviario del nuovo rilevato in 1 giorno (fase di calcolo No.17);

	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

- Analisi di consolidazione ai fini della valutazione dell'entità del cedimento dopo 7 giorni, 14 giorni, 1 mese, 2 mesi, 4 mesi, 6 mesi, 1 anno, 2 anni, 5 anni, 10 anni e 20 anni (da fase di calcolo No.18 a fase di calcolo No.28).

7.14.2.2 Cedimenti

Sono stati calcolati i cedimenti dopo la costruzione e la consolidazione – durata totale della costruzione e della consolidazione pari a 9 mesi - del nuovo rilevato (fase 16) e dopo 20 anni di consolidazione (fase 28) per trovare il massimo cedimento residuo dovuto alla consolidazione primaria sulla superficie del rilevato.

Nella Figura 7-91 si possono valutare i cedimenti verticali totali a fine costruzione (Fase 16): il cedimento massimo atteso in asse dei binari è pari a circa 18.5 cm, in corrispondenza della nuova scarpata, mentre alla base del rilevato il cedimento sarà inferiore, dell'ordine dei 18 cm. Nella Figura 7-92 invece è rappresentato il cedimento a fine costruzione del nuovo rilevato (fase 16) in corrispondenza della superficie dello stesso.

In Figura 7-93 e Figura 7-94 si mostrano i cedimenti (totali ed in corrispondenza del coronamento del rilevato) a 20 anni di consolidazione.

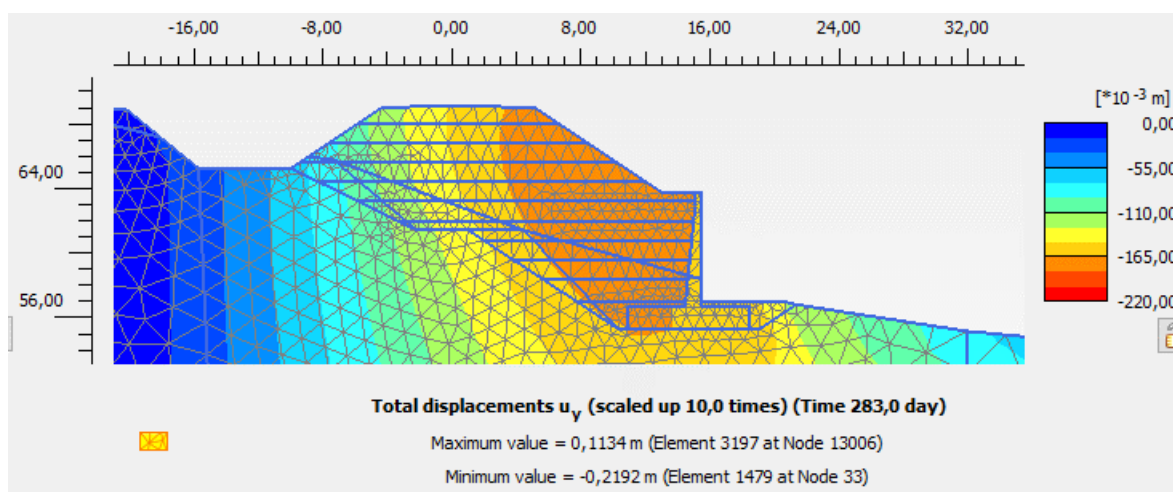


Figura 7-91 Spostamenti verticali al termine della costruzione del rilevato, prima dell'installazione del ballast (fase 16)

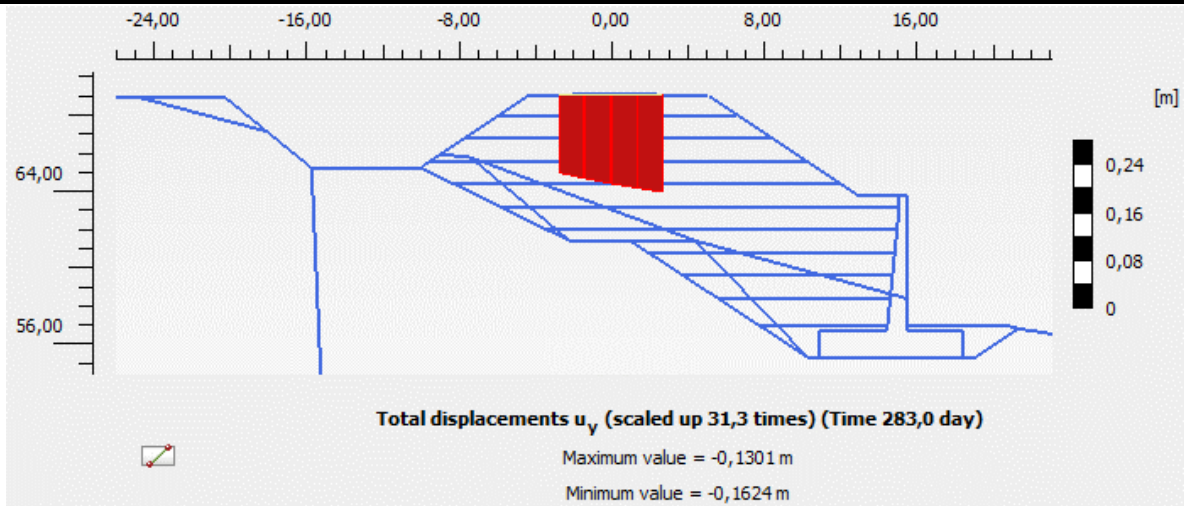


Figura 7-92 Spostamenti verticali in superficie al termine della costruzione del rilevato, prima dell'installazione del ballast (fase 16)

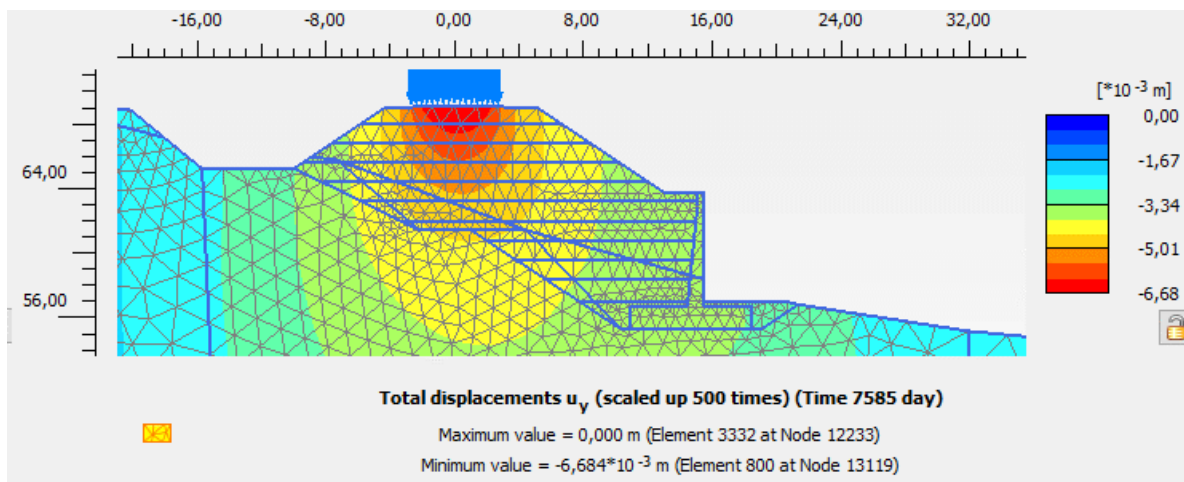


Figura 7-93 Spostamenti verticali residui dopo 20 anni di consolidazione

	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A	FOGLIO 116 di 149

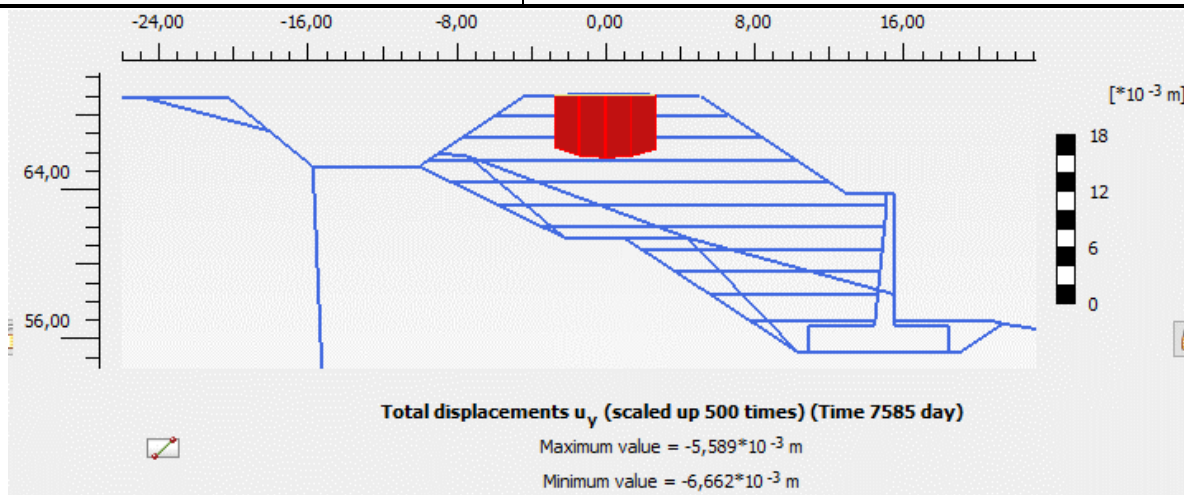


Figura 7-94 Spostamenti verticali residui in superficie dopo 20 anni di consolidazione

Come riscontrabile in Figura 7-94, il cedimento residuo dovuto alla consolidazione primaria dopo 20 anni da posa ballast, è 0.67 cm in corrispondenza della superficie del rilevato.

7.14.2.3 Curva cedimenti-tempo

La curva cedimenti-tempo viene estratta in corrispondenza dell'asse del rilevato al livello della quota intradosso del *ballast*.

La valutazione dei cedimenti immediati e di breve/medio termine viene eseguita a partire dalla fase 4 fino alla fase 16, ovvero fino ai 9 mesi di consolidazione del nuovo rilevato. I cedimenti residui sono quindi derivanti dalla quota parte di consolidazione primaria che si manifesta a partire dalla fase 17, ovvero dal momento di applicazione dell'armamento ferroviario. .

Il contributo dovuto alla consolidazione secondaria S_s viene poi calcolato secondo la formulazione indicata nel capitolo 6.2.2.

Nel caso specifico, la fine consolidazione primaria (istante dal quale viene schematicamente considerato l'avvio del cedimento secondario) avviene dopo poco più di un anno ($t_{100}=1.34$ anni). Per quanto detto, il tempo considerato t (anni) è pari a 20.75 anni dal momento che l'istante t_0 è considerato da inizio dei lavori (9 mesi di costruzione e consolidazione + 20 anni di esercizio dell'opera).

t (anni)	t ₁₀₀ (anni)	C _{α,ε}	H (m) ⁽¹⁾	S _s (cm)
20.75	1.34	0.045%	25	1.34

⁽¹⁾ Si considera uno spessore equivalente alla profondità di terreno sino alla quale il rapporto $\Delta\sigma_v$ risulta circa pari al 10% della tensione geostatica iniziale.

Il grafico cedimenti-tempo presenta sull'asse delle ascisse il tempo, espresso in anni, mentre sull'asse delle ordinate viene indicato il cedimento cumulato, espresso in mm.

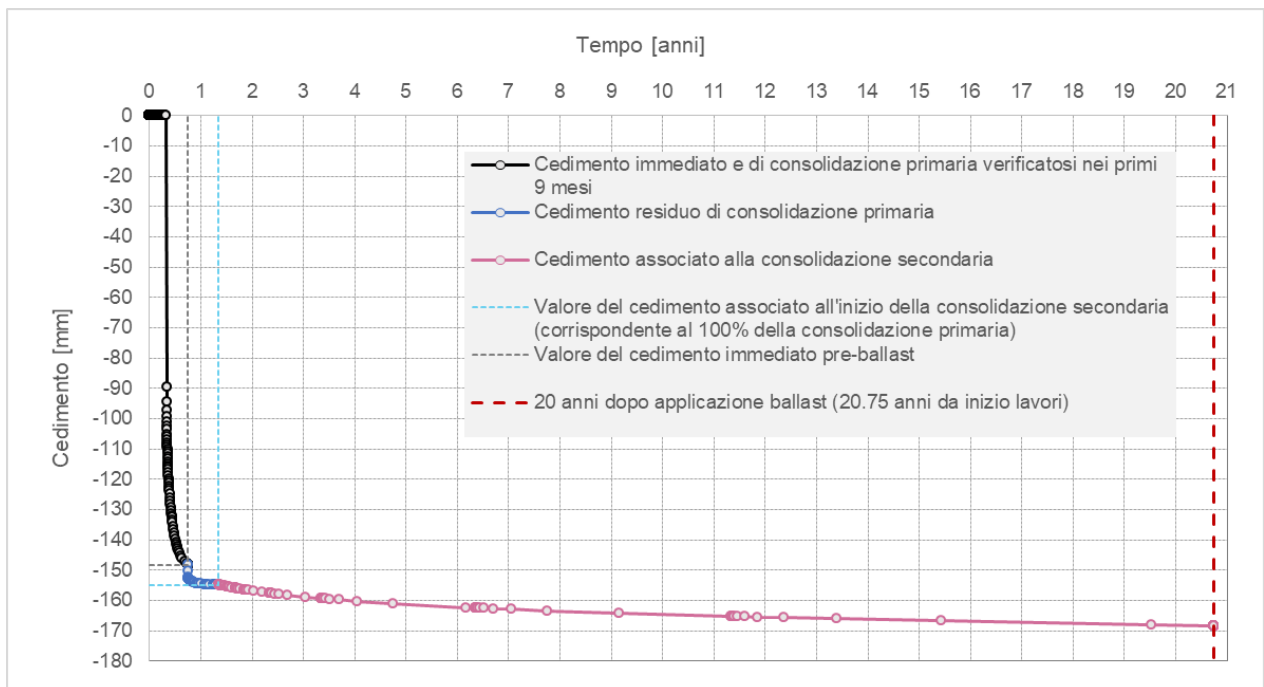


Figura 7.95 Curva cedimenti-tempo Plaxis

Ne risulta, quindi:

- Cedimento calcolato a 9 mesi (precedente alla posa del ballast): 14.8 cm;
- Contributo al cedimento residuo dovuto alla consolidazione primaria: $C_p = 0.67$ cm;
- Tempo di esaurimento della consolidazione primaria $t_{100} = 1.34$ anni;
- Contributo al cedimento residuo dovuto alla consolidazione secondaria: $C_s = S_s = 1.34$ cm.

Il cedimento residuo totale dopo 20 anni dalla posa in opera del ballast risulta quindi



NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA
LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E
INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC2I	A1 R 11	RH	GE 00 00 001	A	118 di 149

$$C_{\text{tot}} = C_p + C_s = 0.67 + 1.34 = 2.01 \text{ cm.}$$

Essendo quindi il cedimento residuo totale ($C_{\text{tot}}=2.01 \text{ cm}$) inferiore al limite di 5.0 cm, la condizione è soddisfatta.

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

7.15 ANALISI STABILITÀ RILEVATI

7.15.1 Stabilità interna

Per la definizione delle altezze massime dei rilevati che risultino stabili in condizioni sismiche (condizioni dimensionanti) in assenza di opere di sostegno di sottoscarpa, sono state condotte specifiche analisi di stabilità per valutare le condizioni di sicurezza delle possibili superfici di scorrimento interne al corpo in terra.

Le sezioni di rilevato studiate sono state dapprima sottoposte ad analisi all'equilibrio limite con metodo pseudo-statico e/ con metodo agli spostamenti secondo quanto specificato al par. 6.1.2, cioè considerando due casi:

1. Verifica soddisfatta secondo NTC18 con metodo pseudo-statico ($F_s \geq 1.2$): la sezione è ritenuta idonea;
2. Verifica **non soddisfatta** secondo NTC18 ($F_s < 1.2$) con metodo pseudo-statico:
 - **Caso 2a: $1 \leq F_s < 1.2$:** la sezione viene verificata nuovamente con controllo degli spostamenti residui attesi (vedi paragrafo successivo);
 - **Caso 2b: $F_s < 1$:** la sezione non è soddisfatta e va rivisitata con altezza ridotta.

In prima analisi, si è considerata un'altezza massima dei rilevati ferroviari in assenza di opere di sostegno di sottoscarpa pari a 6 m; quest'altezza è stata ridotta nel caso si verifici la situazione *2b*.

Rilevato H=6 m - Tratte 31+760-32+120 e 34+000-34+500, $a_{max}=0.377g$ (Punto 4)

Considerando un'altezza iniziale di 6 m ed applicando il metodo pseudo-statico, il risultato è **FS=1.01**, quindi ricade nel **caso 2a**.

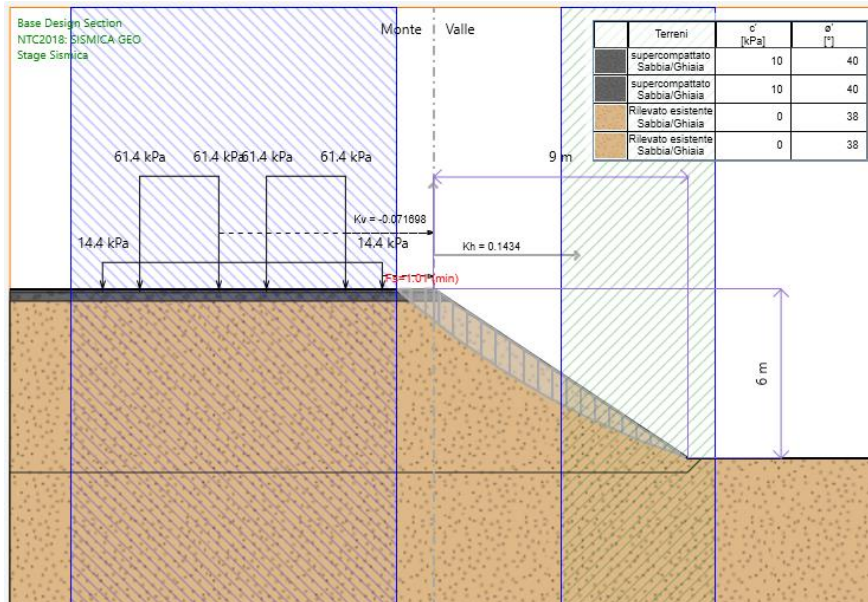


Figura 7-96: superficie critica in condizioni sismiche per la tratta sismica relativa al punto 4

Per l'applicazione del metodo agli spostamenti è necessario calcolare l'azione critica con metodo pseudo-statico inverso; ne è derivata una $a_c=0.157g$ (vedi figura successiva).

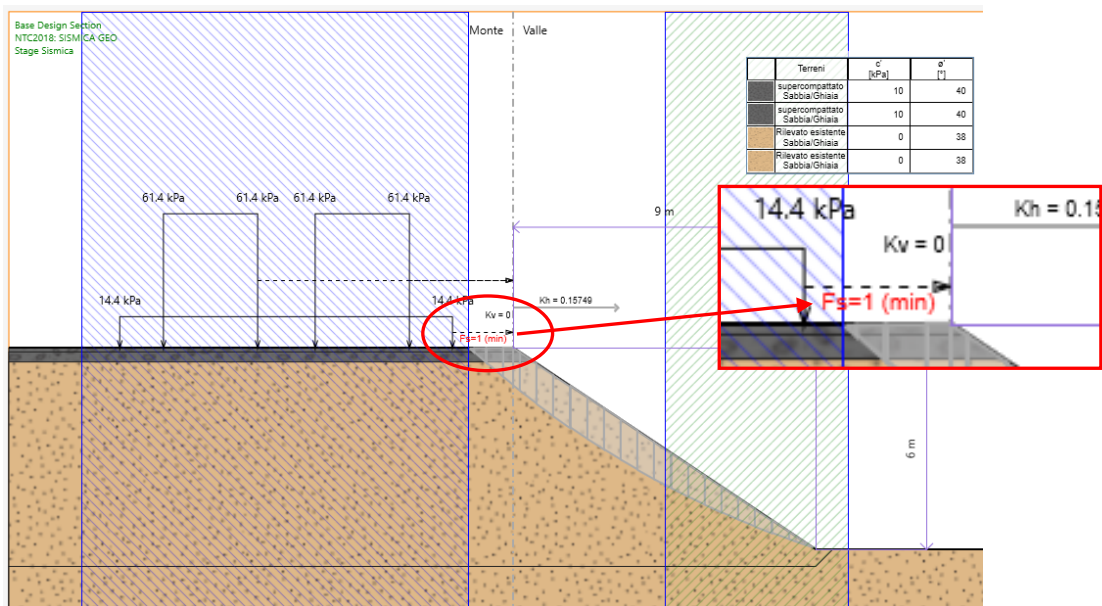


Figura 7-97: superficie critica in condizioni sismiche con metodo pseudo-statico inverso – punto 4

Applicando le formule semplificate, utilizzando come input i valori $a_{max}=0.377g$ (vedi Tabella 4-3) e $a_c=0.157g$, si ottengono spostamenti residui compresi tra 0.4 cm e 5.3 cm, con valore medio pari a **2.6 cm** (vedi Figura 7-98). Anche facendo riferimento al valore massimo (circa 5.5 cm), lo spostamento ottenuto è da considerarsi ammissibile per lo Stato Limite di interesse (SLV) e considerando che la superficie di scorrimento critica che non intercetta l'impronta del ballast.

Questa verifica vale anche per le tratte sismiche relative ai punti 1 e 2 che hanno sismicità inferiore al punto 4.

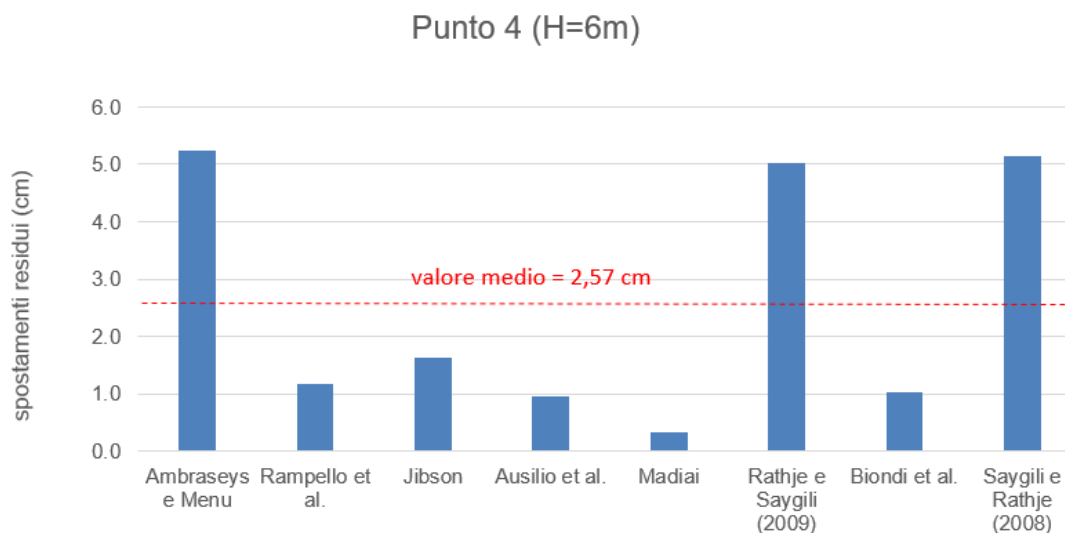


Figura 7-98: Calcolo degli spostamenti residui mediante formule semplificate (tratta sismica relativa al punto 4)

Rilevato H=5 m – Tratta 28+100-30+600, $a_{max}=0.41g$ (Punto 3)

Considerando un'altezza iniziale di 6 m e applicando il metodo pseudo-statico, il risultato è **FS=0.98<1**, quindi ricade nel **caso 2b**.

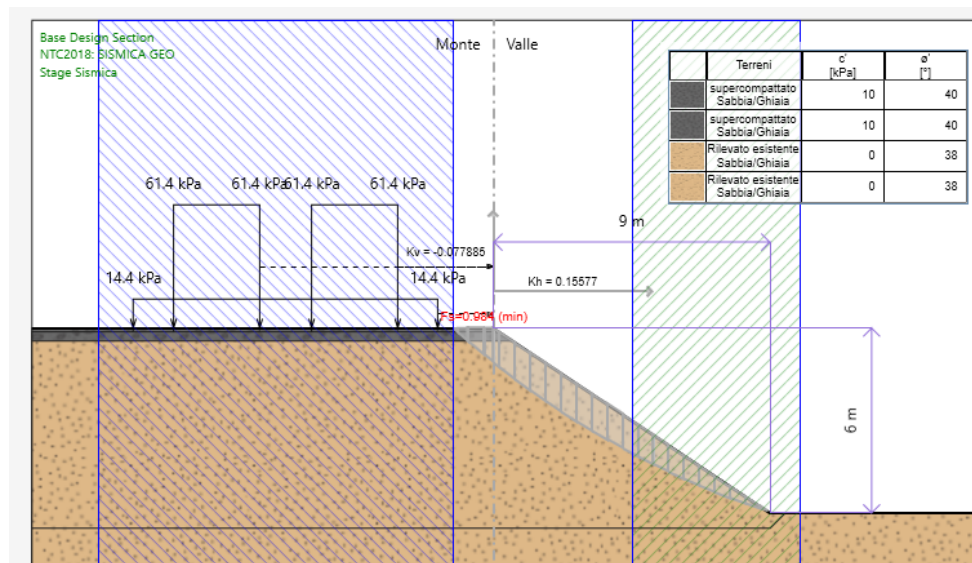


Figura 7-99: superficie critica in condizioni sismiche per la tratta sismica relativa al punto 3 (H=6,0 m)

Si ripete il calcolo con $H_{max}=5.5$ m, come segue:

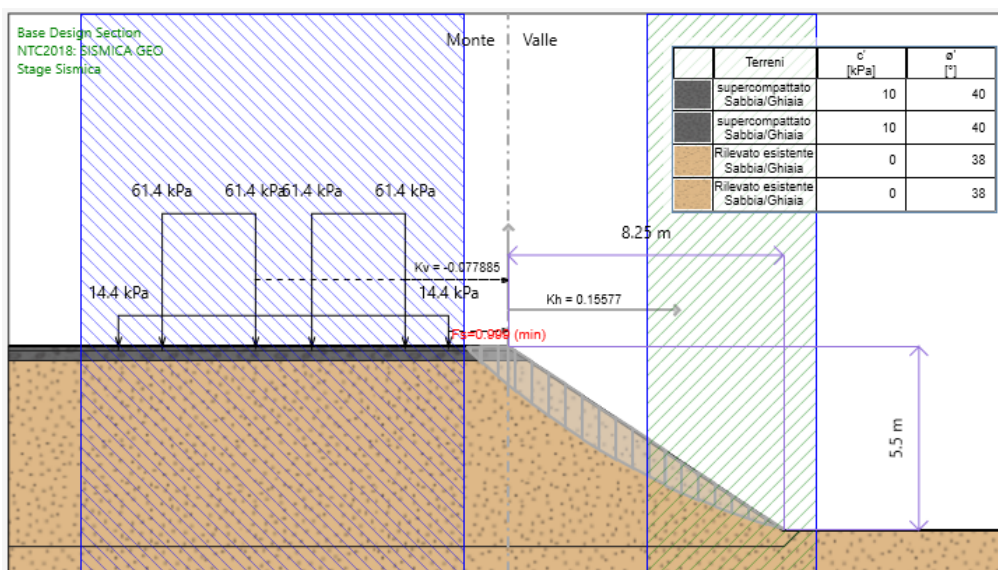


Figura 7-100: superficie critica in condizioni sismiche per la tratta sismica relativa al punto 3 (H=5,5 m)

Il risultato di questa seconda analisi è $FS=0.999 < 1$, quindi ricade ancora nel **caso 2b**. Si ripete il calcolo con $H_{max}=5$ m, come segue:

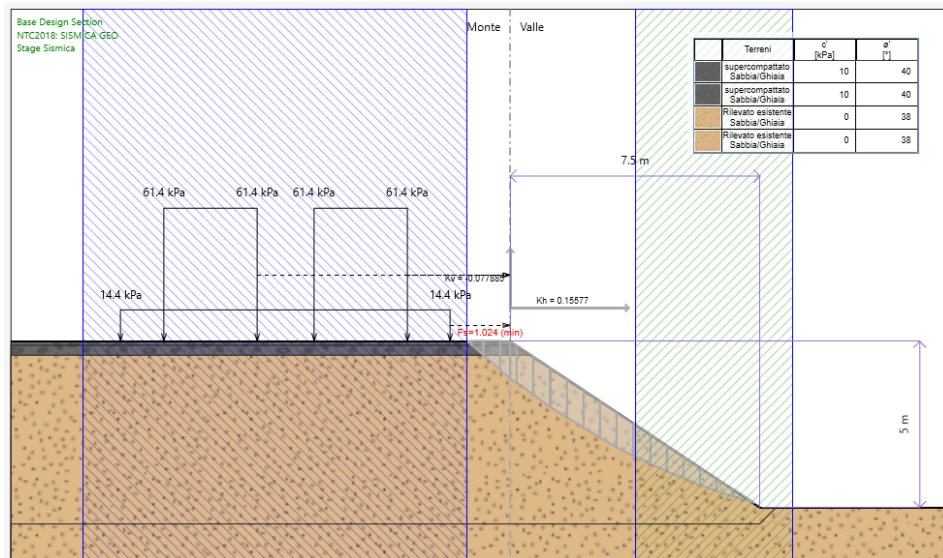


Figura 7-101: superficie critica in condizioni sismiche per la tratta sismica relativa al punto 3 (H=5,0 m)

Considerando un'altezza pari a 5 m, il risultato è $FS=1.02$, quindi ricade nel **caso 2a**.

Per l'applicazione del metodo agli spostamenti è necessario calcolare l'azione critica con metodo pseudo-statico inverso; ne è derivata una $a_c=0.179g$ (vedi figura successiva).

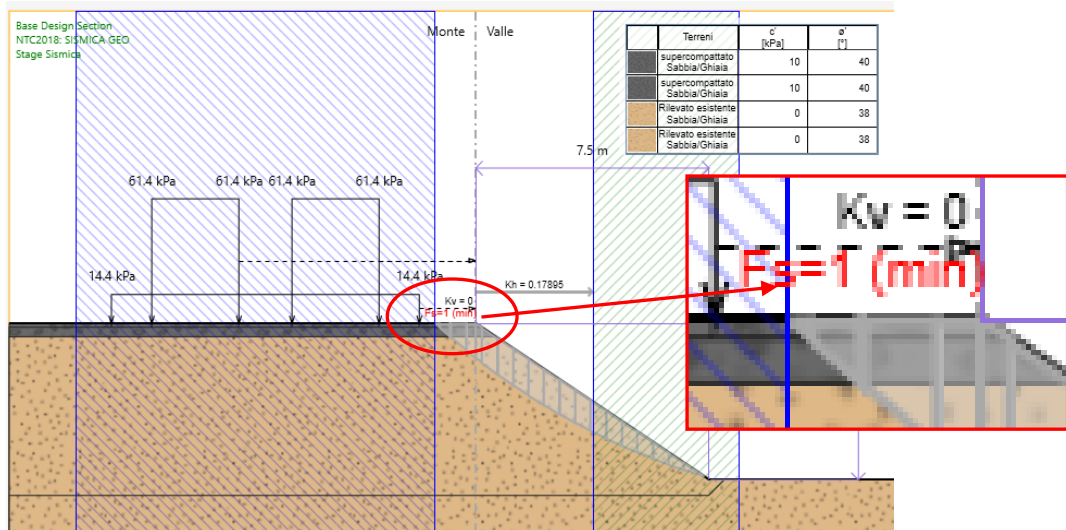


Figura 7-102: superficie critica in condizioni sismiche con metodo pseudo-statico inverso (Kv=0) – punto 3

Applicando le formule semplificate, utilizzando come input i valori $a_{max}=0.41g$ (vedi Tabella 4-3) e $a_c=0.179g$, si ottengono spostamenti residui compresi tra 0.3 cm e 4.8 cm, con valore medio pari a **2.3 cm** (vedi Figura 7-103). Anche facendo riferimento al valore massimo (circa 5.0 cm), lo spostamento ottenuto è da considerarsi ammissibile per lo Stato Limite di interesse (SLV) e considerando che la superficie di scorrimento critica che non intercetta l'impronta del ballast.

Punto 3 (H=5m)

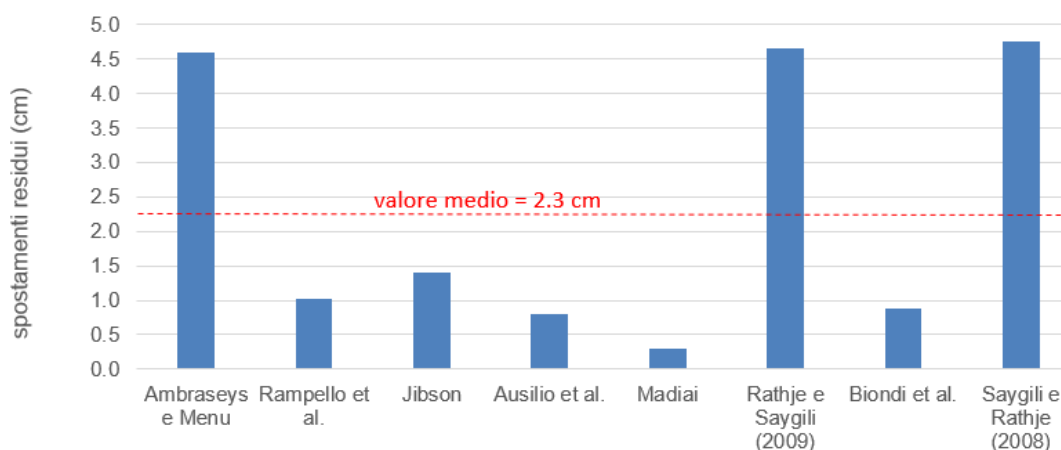


Figura 7-103: Calcolo degli spostamenti residui mediante formule semplificate (tratta sismica relativa al punto 3)


CONCLUSIONI

Studiando la stabilità interna in condizioni sismiche sono state individuate le seguenti altezze di rilevato in funzione della tratta sismica considerata:

Tabella 7-17: Altezze massime dei rilevati in assenza di opere di sostegno

Punto	Tratta di riferimento	Hmax della scarpata (m)
1	0+000-12+700 ⁽¹⁾	6.0
2	12+700-28+100 ⁽²⁾	6.0
3	28+100-30+600 ⁽³⁾	5.0
4	31+760 – 32+120; 34+000 – 34+500	6.0

⁽¹⁾ Lungo questa tratta si trovano i rilevati ferroviari 1 (par.7.9), 2 (par.7.11) e 3 (par.7.12)

	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

(2) Lungo questa tratta si trovano il rilevato ferroviario 4 (par.7.13)

(3) Lungo questa tratta si trova il rilevato ferroviario 5 (par.7.14)

7.15.2 Stabilità globale

Per quanto riguarda la stabilità globale, tenendo in conto le geometrie identificate nel paragrafo precedente, si sono considerate le stratigrafie caratteristiche della tratta analizzata. In particolare si sono analizzate le seguenti condizioni:

Tabella 7-18: Analisi eseguite per la verifica della stabilità globale

Tratta di riferimento	Hmax della scarpata (m)	Litologia	Profondità falda	Risultati Analisi drenate	Risultati Analisi non drenate
0+000-12+700 ⁽¹⁾	6.0	BPb	NA	Figura 7-104, Figura 7-105, Figura 7-114, Figura 7-115	Figura 7-126, Figura 7-127, Figura 7-132, Figura 7-133
		DEP	NA	Figura 7-106, Figura 7-107, Figura 7-116, Figura 7-117	NA
12+700-28+100 ⁽²⁾	6.0	AVF	3.0	Figura 7-108, Figura 7-109, Figura 7-118, Figura 7-119	Figura 7-128, Figura 7-129, Figura 7-134, Figura 7-135
28+100-30+600 ⁽³⁾	5.0	RGC	p.c.	Figura 7-110, Figura 7-111, Figura 7-120, Figura 7-121, Figura 7-122	NA
31+760 – 32+120; 34+000 – 34+500	6.0	BTL-PLMb	p.c.	Figura 7-112, Figura 7-113, Figura 7-123, Figura 7-124, Figura 7-125	Figura 7-130, Figura 7-131, Figura 7-136

(1) Lungo questa tratta si trovano i rilevati ferroviari 1 (par.7.9), 2 (par.7.11) e 3 (par.7.12)

(2) Lungo questa tratta si trovano il rilevato ferroviario 4 (par.7.13)

(3) Lungo questa tratta si trova il rilevato ferroviario 5 (par.7.14)

Si sono analizzati sia il caso statico che il caso sismico, quest'ultimo mediante l'approccio del metodo pseudo-statico inverso, come descritto nel paragrafo precedente.

7.15.2.1 Analisi in condizioni statiche in condizioni drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni statiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto per la tratta 0+000 – 12+700. La falda è ubicata a 2 m dal p.c.

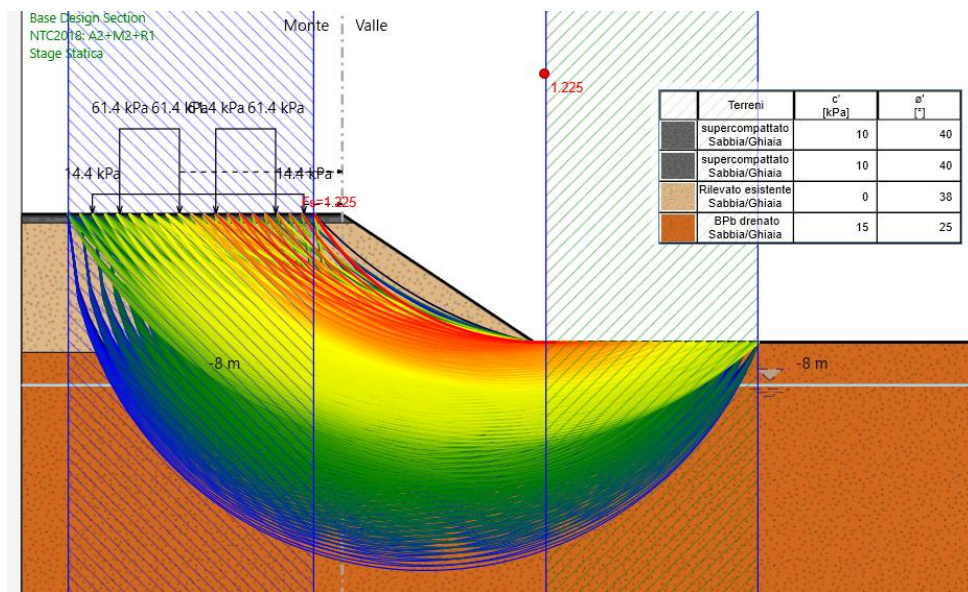


Figura 7-104: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 0+000 – 12+700 ($F_s \text{ min} = 1.22$)

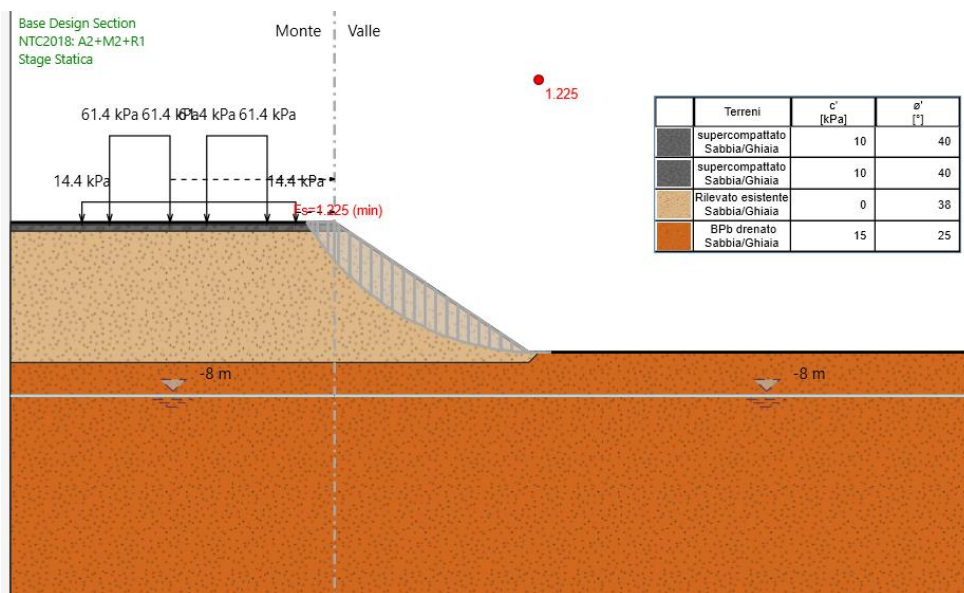


Figura 7-105: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 0+000 – 12+700 ($F_s \text{ min BPb} = 1.22$)

Il fattore di sicurezza FS minimo che interessa il terreno di appoggio del rilevato è pari a:

$$FS_{\text{MIN}} = 1.22$$

essendo soddisfatta la relazione:

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

la verifica di stabilità globale in campo statico e in condizione drenate risulta soddisfatta (per la tratta 0+000 – 12+700).

Per completezza, per questa stessa tratta 0+000-12+700, si analizza la stabilità globale nel caso il terreno di appoggio corrisponda all'unità geotecnica DEP. Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni statiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto per il rilevato che si appoggia sui depositi DEP.

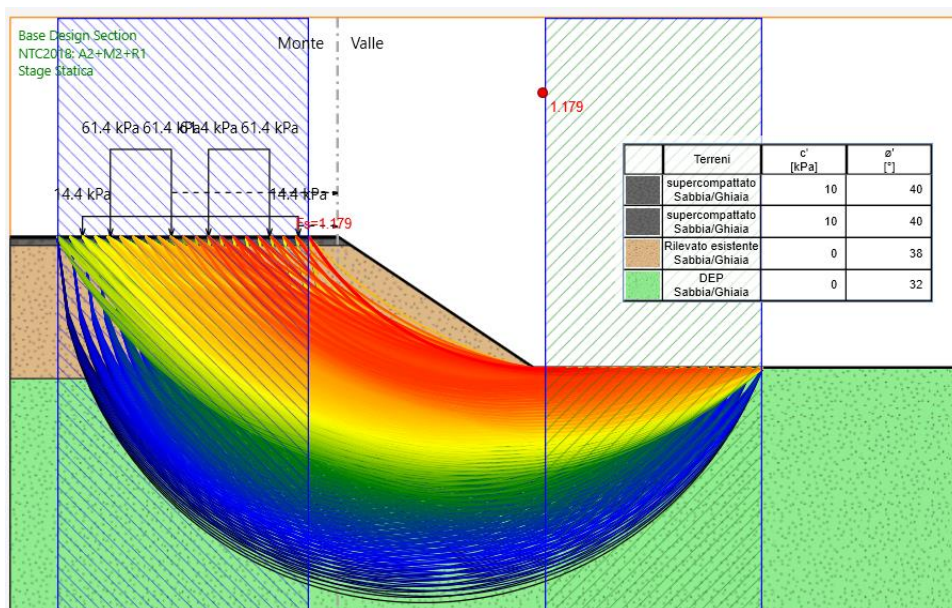


Figura 7-106: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 0+000 – 12+700 ($F_s \text{ min} = 1.18$)

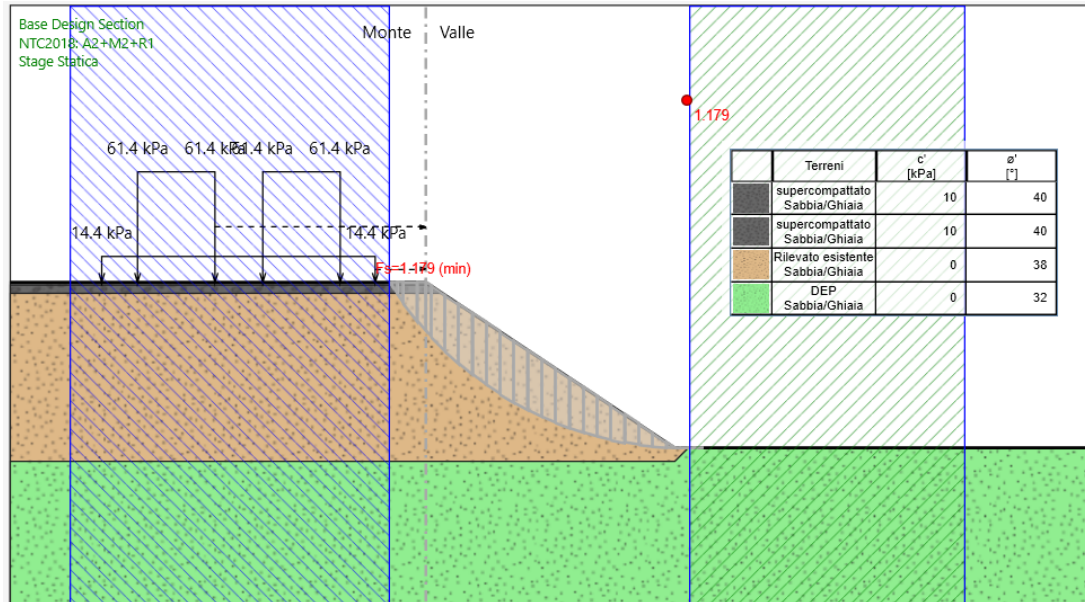


Figura 7-107: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 0+000 – 12+700 (Fs min DEP =1.18)

Il fattore di sicurezza FS minimo che interessa il terreno di appoggio del rilevato è pari a:

$$FS_{\text{MIN}} = 1.18$$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{\text{MIN}} \geq R2 = 1.1$

la verifica di stabilità globale in campo statico e in condizione drenate risulta soddisfatta per i rilevati H=6,0 m che si appoggiano sull'unità geotecnica DEP.

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni statiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto per la tratta 12+700 – 28+100.

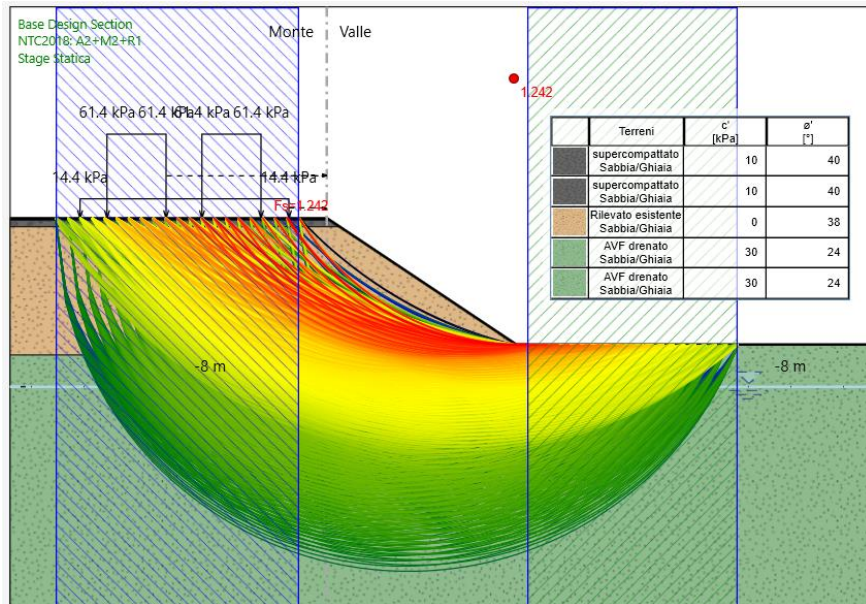


Figura 7-108: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 12+700 – 28+100 (Fs min = 1.24)

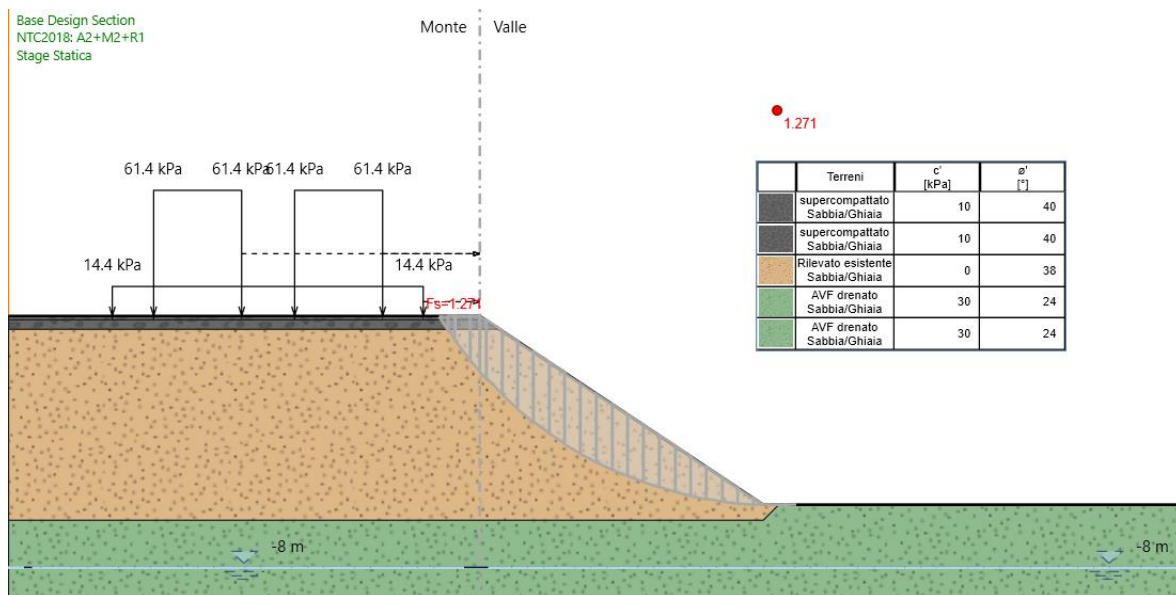


Figura 7-109: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 12+700 – 28+100 (Fs min AVF=1.27)

Il fattore di sicurezza FS minimo che interessa il terreno di appoggio del rilevato è pari a:

$$FS_{MIN} = 1.27$$

essendo soddisfatta la relazione:

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

la verifica di stabilità globale in campo statico e in condizione drenate risulta soddisfatta (per la tratta 12+700 – 28+100).

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni statiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto per la tratta 28+100 – 30+600.

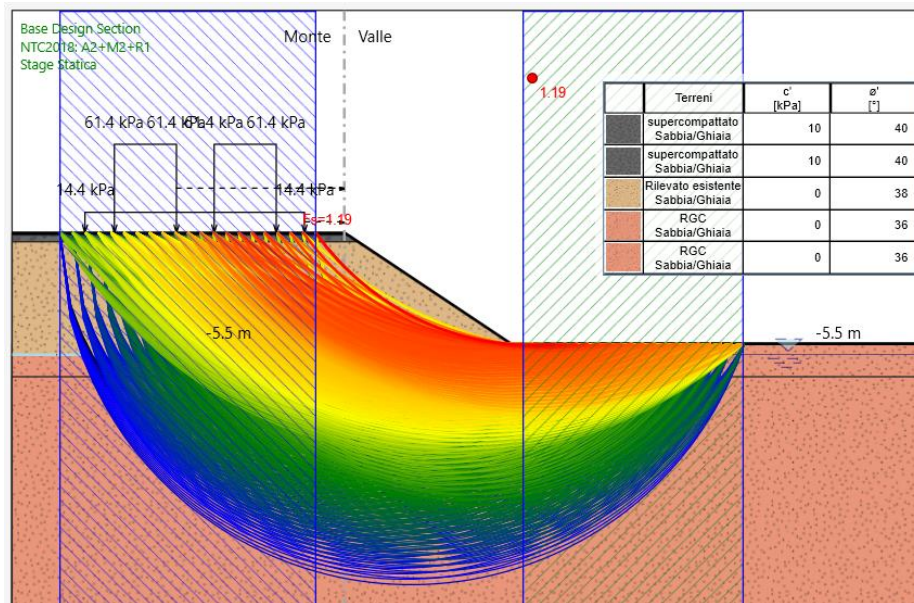


Figura 7-110: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 28+100-30+600 ($F_s \text{ min} = 1.19$)

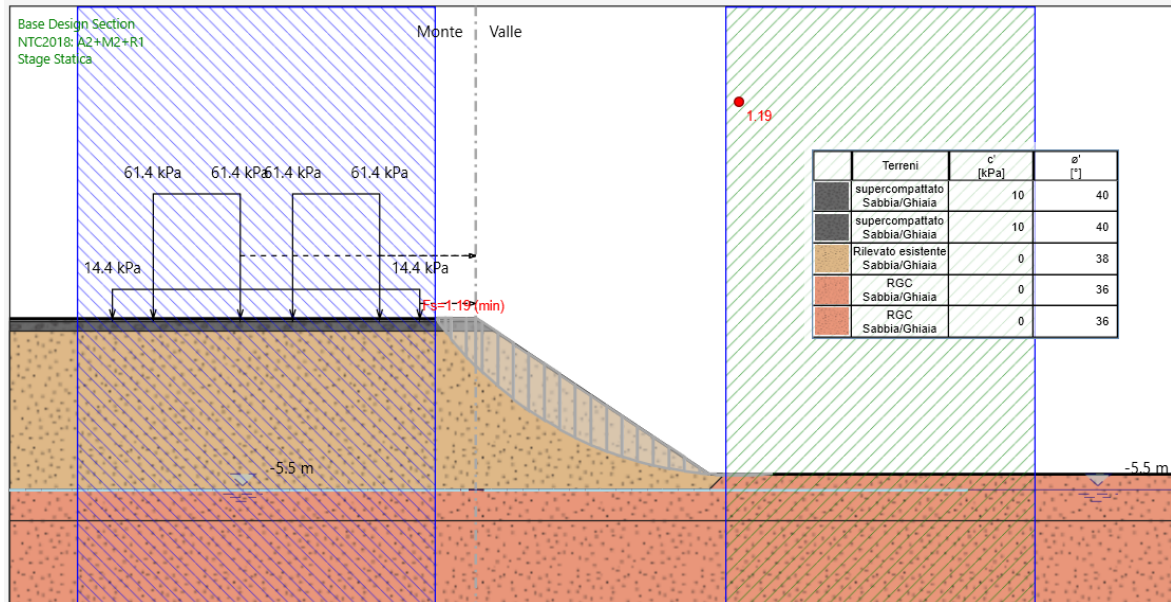


Figura 7-111: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 28+100-30+600 (Fs min RGC=1.19)

Il fattore di sicurezza FS minimo che interessa il terreno di appoggio del rilevato è pari a:

$$FS_{MIN} = 1.19$$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.1$

la verifica di stabilità globale in campo statico e in condizione drenate risulta soddisfatta (per la tratta 28+100 – 30+600).

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni statiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto per le tratte 31+760-32+120 e 34+000-34+500.

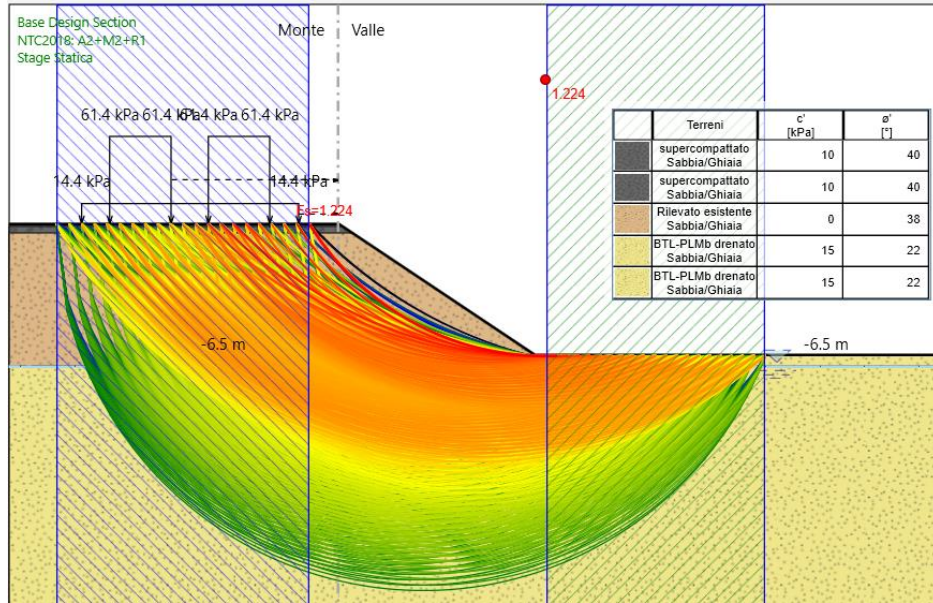


Figura 7-112: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2 per le tratte 31+760-32+120 e 34+000-34+500 (Fs min =1.22)

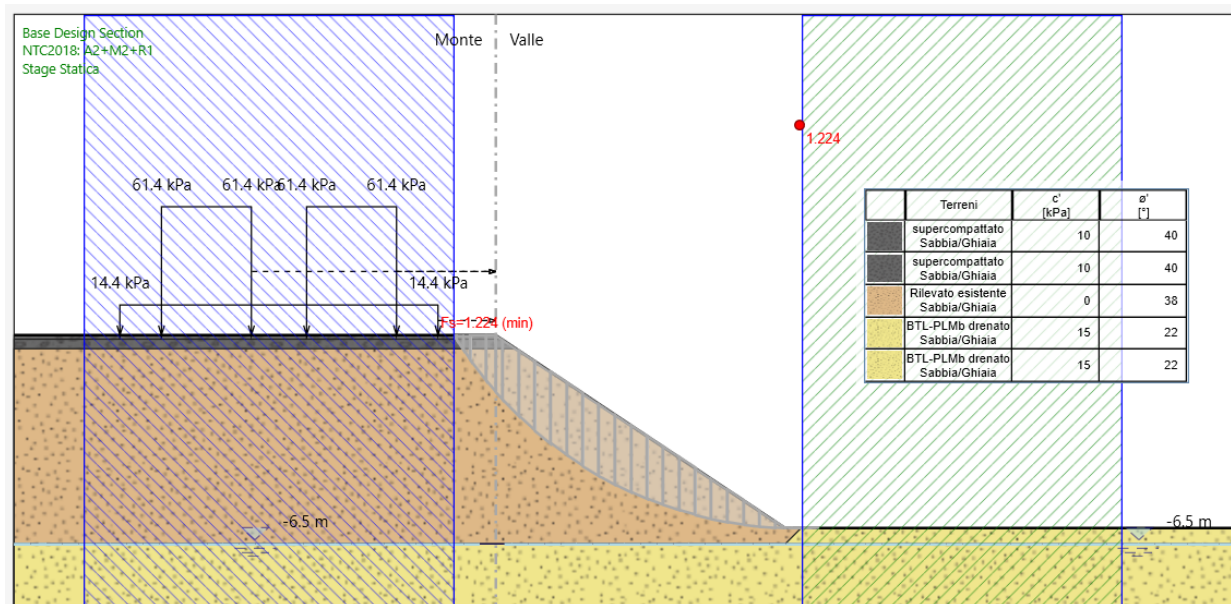


Figura 7-113: superficie critica su scarpata con pendenza 3: 2 per le tratte 31+760-32+120 e 34+000-34+500 (Fs min BTL-PLMb=1.22)

Il fattore di sicurezza FS minimo che interessa il terreno di appoggio del rilevato è pari a:

$$FS_{MIN} = 1.22$$

essendo soddisfatta la relazione:

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

la verifica di stabilità globale in campo statico e in condizione drenate risulta soddisfatta (per le tratte 31+760-32+120 e 34+000-34+500).

7.15.2.2 Analisi in condizioni sismiche in condizioni drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni sismiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto per la tratta 0+000 – 12+700.

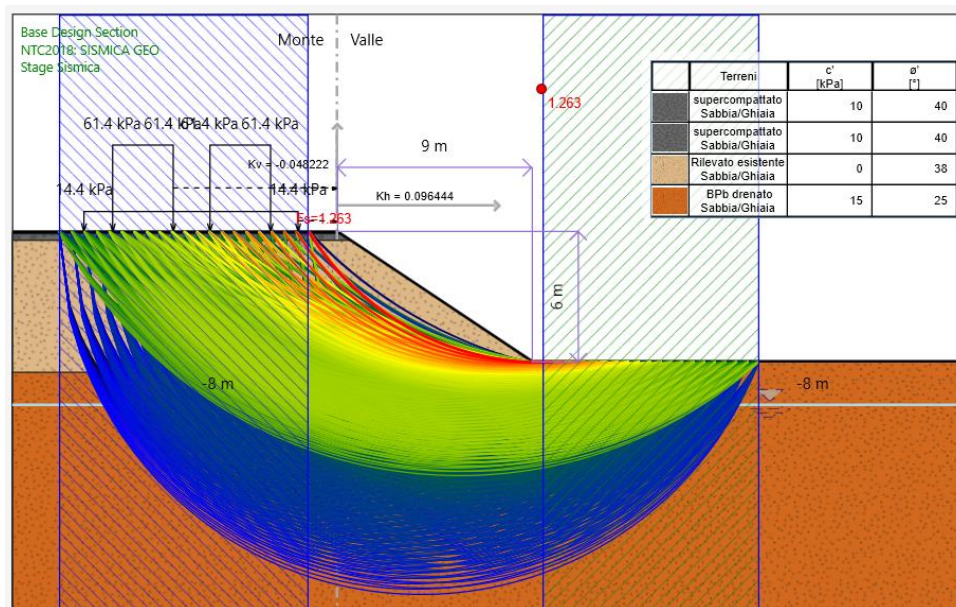


Figura 7-114: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 0+000 – 12+700 ($F_s \text{ min} = 1.26$)

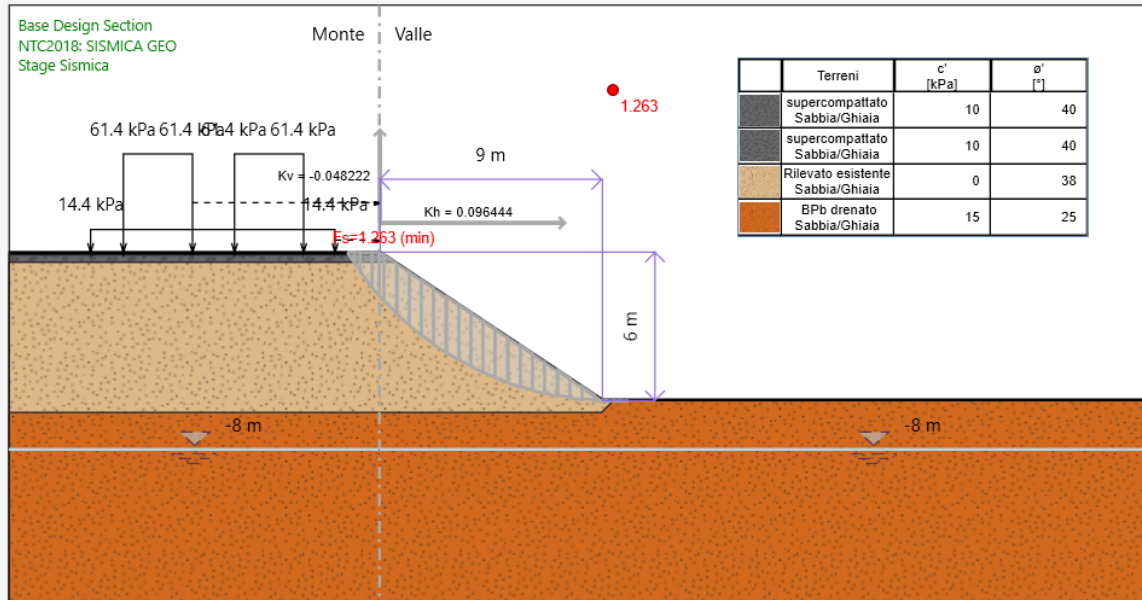


Figura 7-115: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 0+000 – 12+700 (F_s min BPb=1.26)

Il fattore di sicurezza FS minimo che interessa il terreno di appoggio del rilevato è pari a:

$$F_{S_{MIN}} = 1.26$$

essendo soddisfatta la relazione:

$$F_{S_{MIN}} \geq R_2 = 1.2$$

la verifica di stabilità globale in campo sismico e in condizione drenate risulta soddisfatta (per la tratta 0+000 – 12+700) – **caso 1** par.7.15.1.

Per completezza, per questa stessa tratta 0+000-12+700, si analizza la stabilità globale nel caso il terreno di appoggio corrisponda all'unità geotecnica DEP. Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni sismiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto per il rilevato che si appoggia sui depositi DEP.

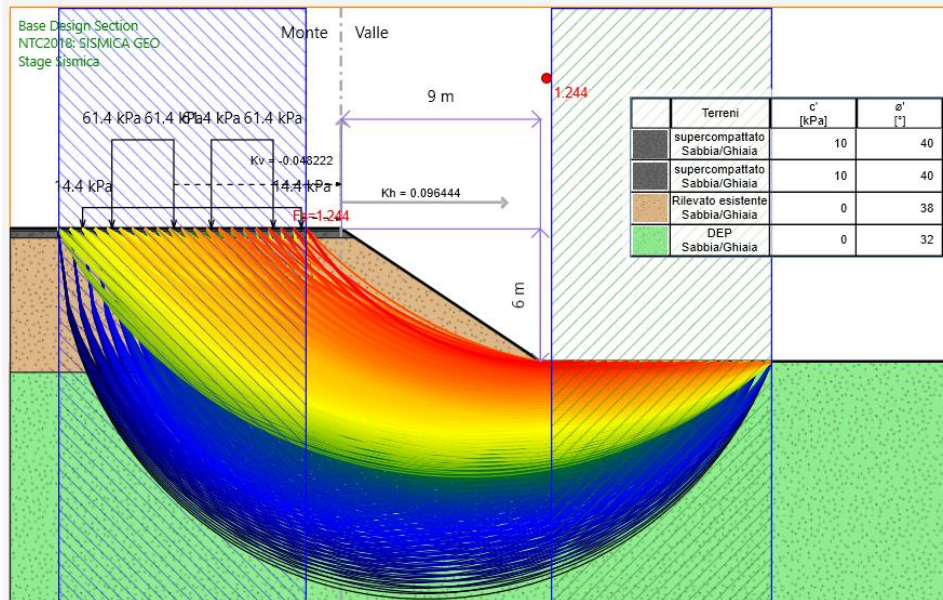


Figura 7-116: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 0+000 – 12+700 (Fs min = 1.24)

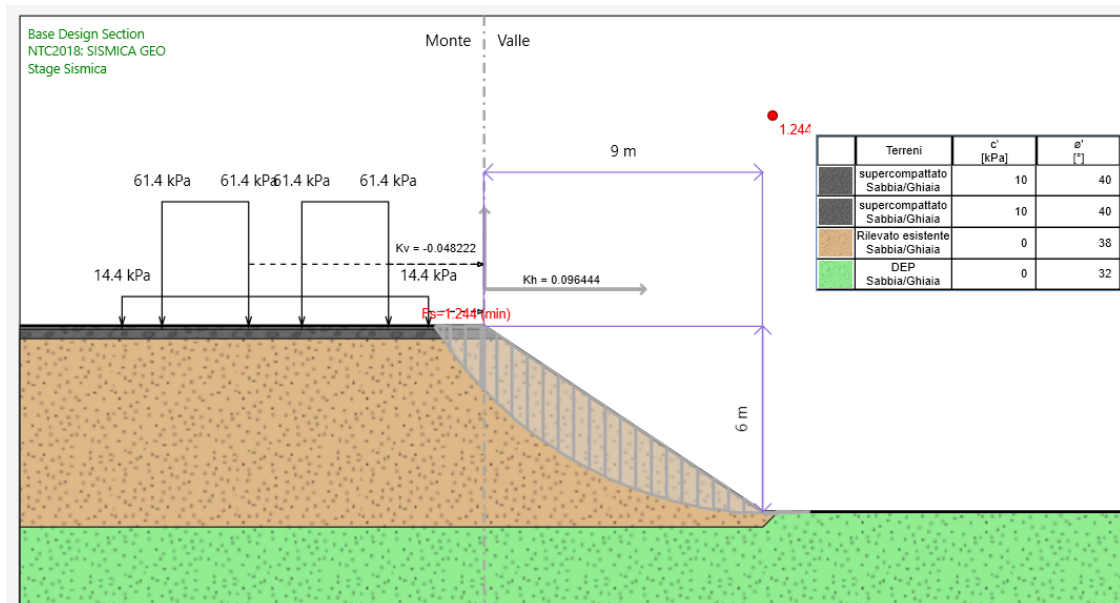


Figura 7-117: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 0+000 – 12+700 (Fs min DEP = 1.24)

Il fattore di sicurezza FS minimo che interessa il terreno di appoggio del rilevato è pari a:

$$FS_{MIN} = 1.24$$

essendo soddisfatta la relazione:

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

la verifica di stabilità globale in campo sismico e in condizione drenate risulta soddisfatta (**caso 1** par.7.15.1) per i rilevati H=6,0 m che si appoggiano sull'unità geotecnica DEP.

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni sismiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto per la tratta 12+700 – 28+100.

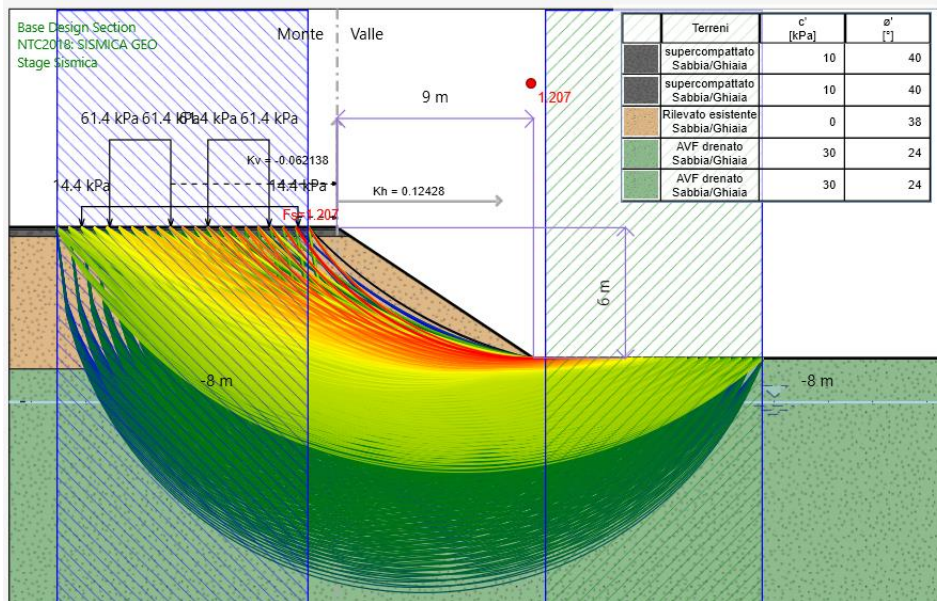


Figura 7-118: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 12+700 – 28+100 (Fs min =1.21)

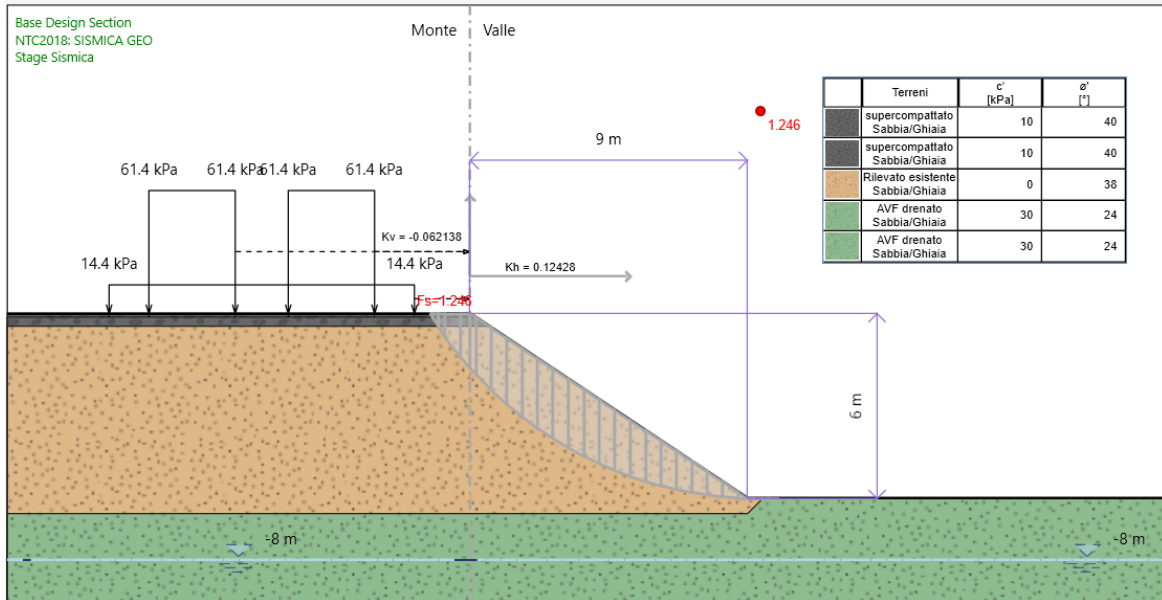


Figura 7-119: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 12+700 – 28+100 (Fs min AVF=1.25)

Il fattore di sicurezza FS minimo che interessa il terreno di appoggio del rilevato è pari a:

$$FS_{MIN} = 1.25$$

essendo soddisfatta la relazione:

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

la verifica di stabilità globale in campo sismico e in condizione drenate risulta soddisfatta (per la tratta 12+700 – 28+100) – **caso 1** par.7.15.1.

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni sismiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto per la tratta 28+100 – 30+600.

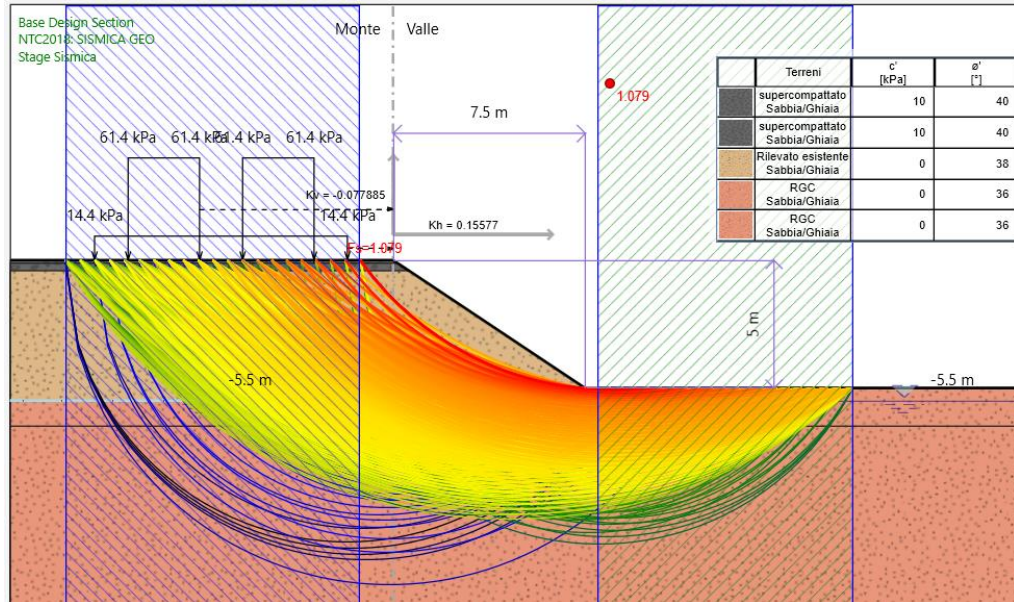
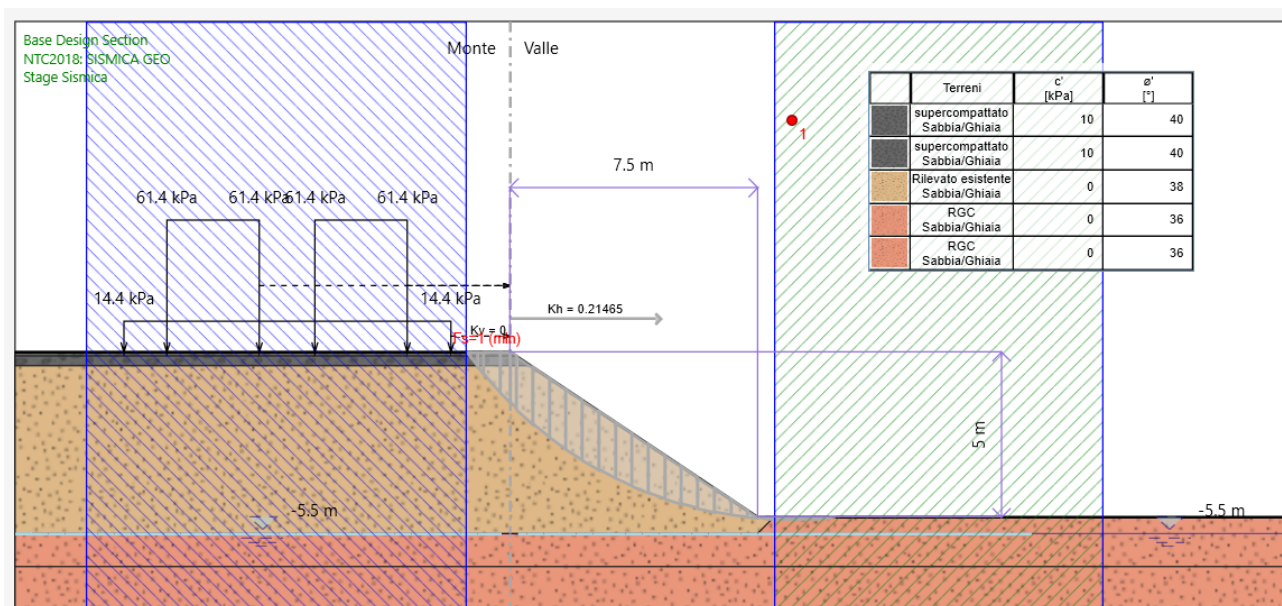


Figura 7-120: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 28+100-30+600 (Fs min =1.08)

Considerando un'altezza iniziale di 5 m e applicando il metodo pseudo-statico, il risultato è **FS=1.08**, quindi ricade nel **caso 2a** del par.7.15.1. ($1 < FS < 1.2$).

Per l'applicazione del metodo agli spostamenti è necessario calcolare l'azione critica con metodo pseudo-statico inverso; ne è derivata una **a_c=0.215g** (vedi figura successiva).



	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A	FOGLIO 139 di 149

Figura 7-121: superficie critica in condizioni sismiche con metodo pseudo-statico inverso ($K_v=0$) – punto 3

Applicando le formule semplificate, utilizzando come input i valori $a_{max}=0.41g$ (vedi Tabella 4-3) e $a_c=0.215g$, si ottengono spostamenti residui compresi tra 0.15 cm e 2.5 cm , con valore medio pari a **1.20 cm** (vedi Figura 7-122). Anche facendo riferimento al valore massimo, lo spostamento ottenuto è da considerarsi ammissibile per lo Stato Limite di interesse (SLV) e considerando che la superficie di scorrimento critica che non intercetta l'impronta del ballast.

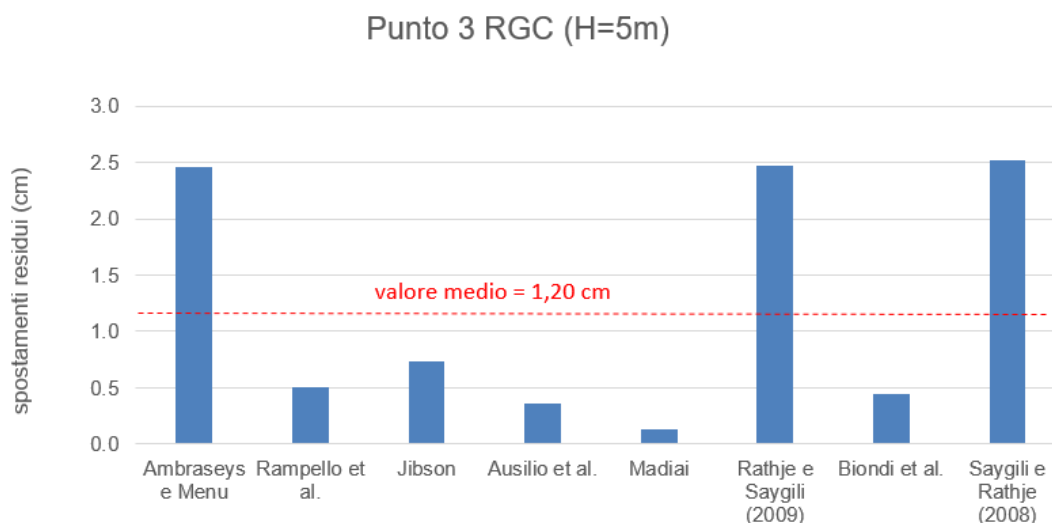


Figura 7-122: Calcolo degli spostamenti residui mediante formule semplificate (tratta sismica relativa al punto 3)

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni sismiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto per le tratte 31+760-32+120 e 34+000-34+500.

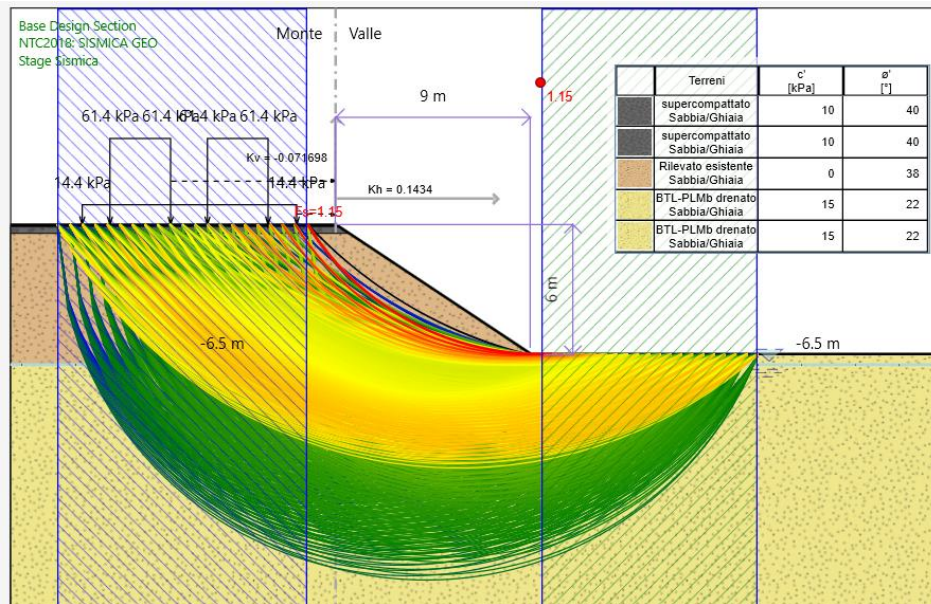
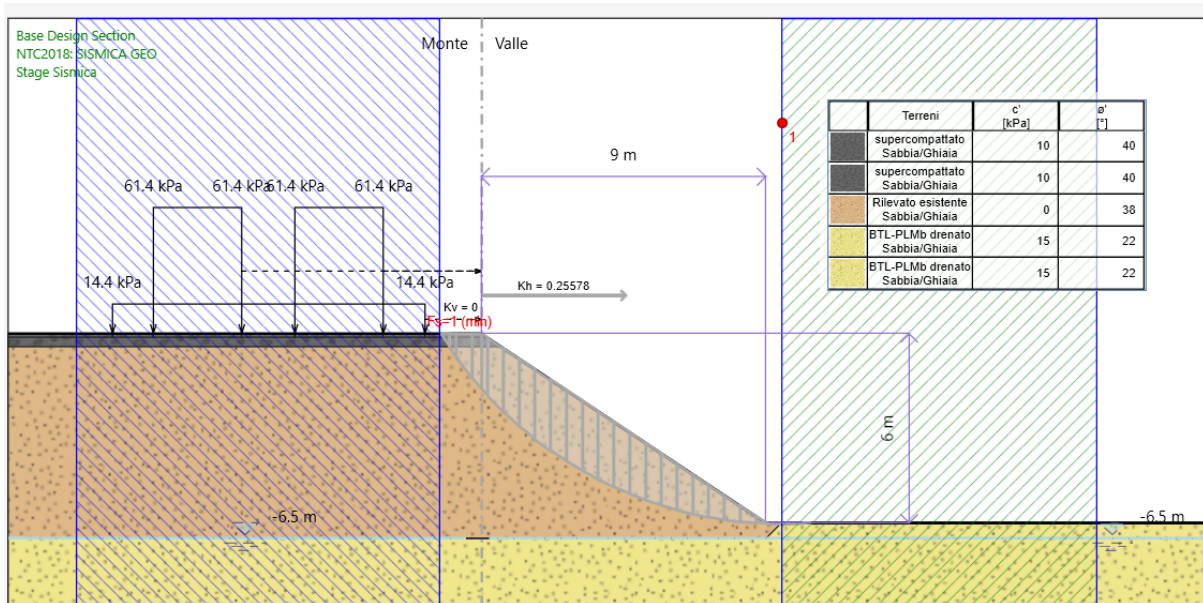


Figura 7-123: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2 per le tratte 31+760-32+120 e 34+000-34+500 (Fs min =1.15)

Considerando un'altezza iniziale di 6 m e applicando il metodo pseudo-statico, il risultato è **FS=1.15**, quindi ricade nel **caso 2a** del par.7.15.1. ($1 < FS < 1.2$).

Per l'applicazione del metodo agli spostamenti è necessario calcolare l'azione critica con metodo pseudo-statico inverso; ne è derivata una **a_c=0.256g** (vedi figura successiva).



	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO E INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A

Figura 7-124: superficie critica in condizioni sismiche con metodo pseudo-statico inverso ($K_v=0$) – punto 4

Applicando le formule semplificate, utilizzando come input i valori $a_{max}=0.377g$ (vedi Tabella 4-3) e $a_c=0.256g$, si ottengono spostamenti residui compresi tra 0.05 cm e 0.70 cm, con valore medio pari a **0.34 cm** (vedi Figura 7-125). Anche facendo riferimento al valore massimo, lo spostamento ottenuto è da considerarsi ammissibile per lo Stato Limite di interesse (SLV) e considerando che la superficie di scorrimento critica che non intercetta l'impronta del ballast.

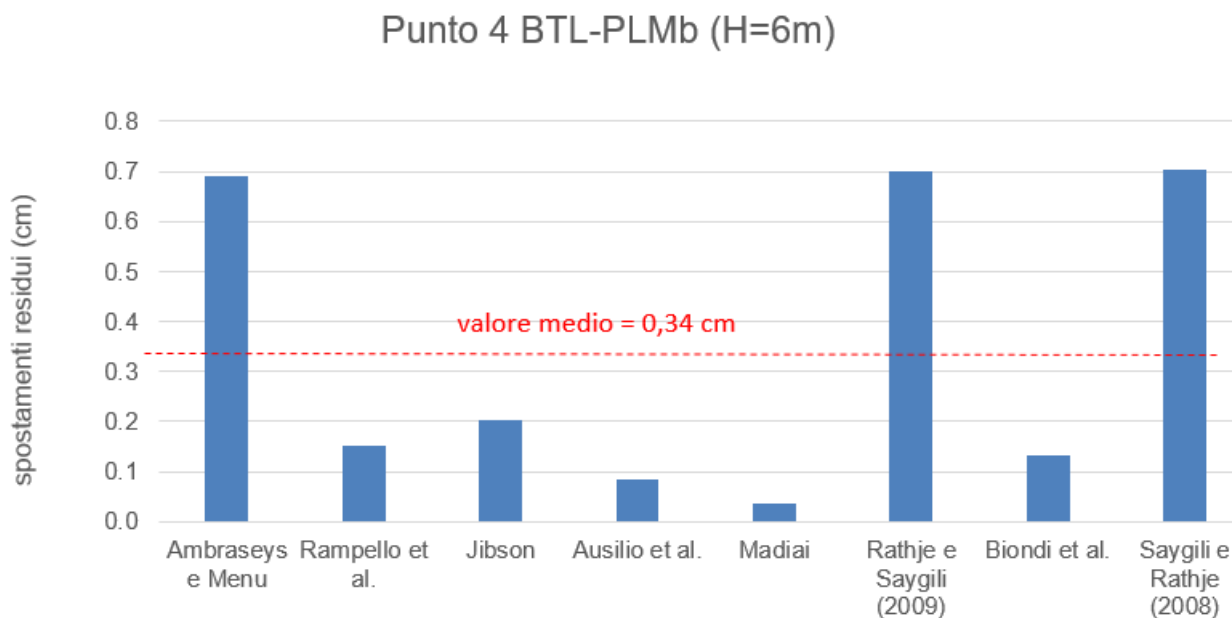


Figura 7-125: Calcolo degli spostamenti residui mediante formule semplificate (tratta sismica relativa al punto 4)

7.15.2.3 Analisi in condizioni statiche in condizioni non drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni statiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto per la tratta 0+000 – 12+700. La falda è ubicata a 2 m dal p.c.

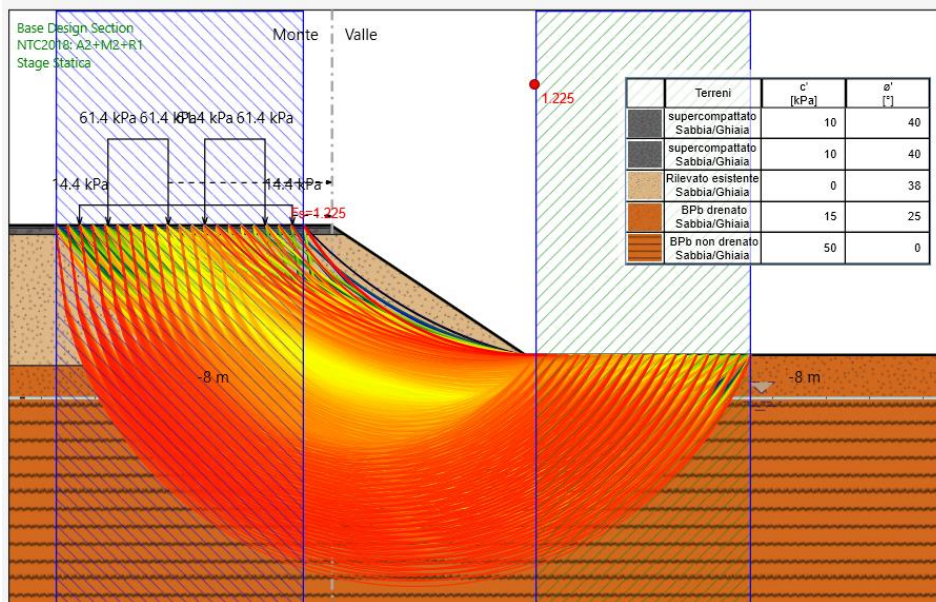
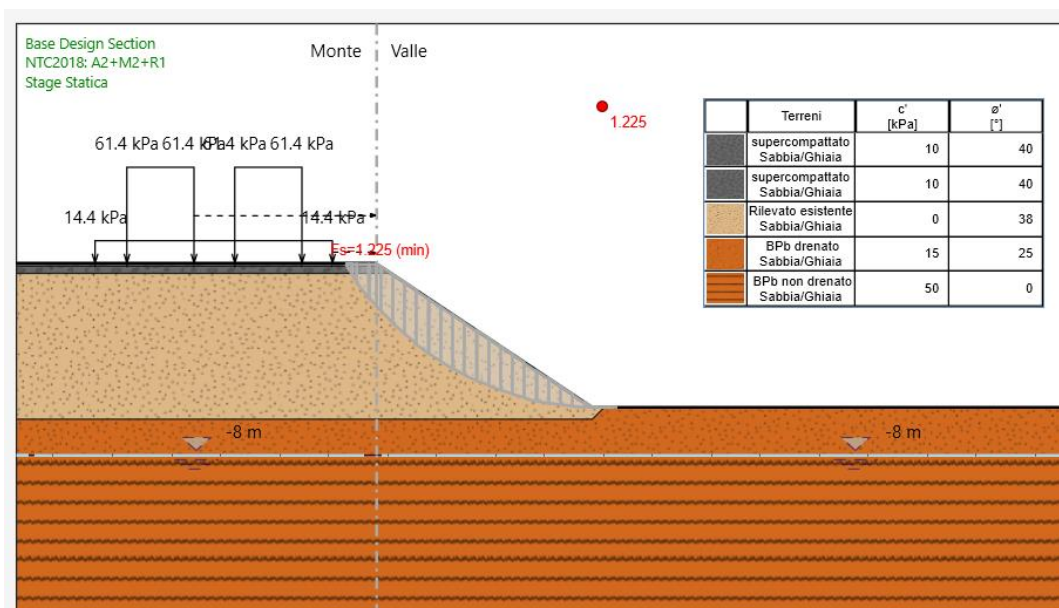


Figura 7-126: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 0+000 – 12+700 (Fs min =1.22)



	NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA LOTTO 1 BATTIPAGLIA – PRAIA LOTTO 1A BATTIPAGLIA – ROMAGNANO INTERCONNESSIONE CON LA LS BATTIPAGLIA - POTENZA					
	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA RC2I	LOTTO A1 R 11	CODIFICA RH	DOCUMENTO GE 00 00 001	REV. A	FOGLIO 143 di 149

Figura 7-127: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 0+000 – 12+700 (Fs min BPb =1.22)

Il fattore di sicurezza FS minimo che interessa il terreno di appoggio del rilevato è pari a:

$$FS_{MIN} = 1.22$$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{MIN} \geq R2 = 1.1$

la verifica di stabilità globale in campo statico e in condizione drenate risulta soddisfatta (per la tratta 0+000 – 12+700). I risultati di questa analisi in condizioni non drenate coincidono con quelli ottenuti in condizioni drenate, in termini di Fs min (Figura 7-104 e Figura 7-105).

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni statiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto per la tratta 12+700 – 28+100.

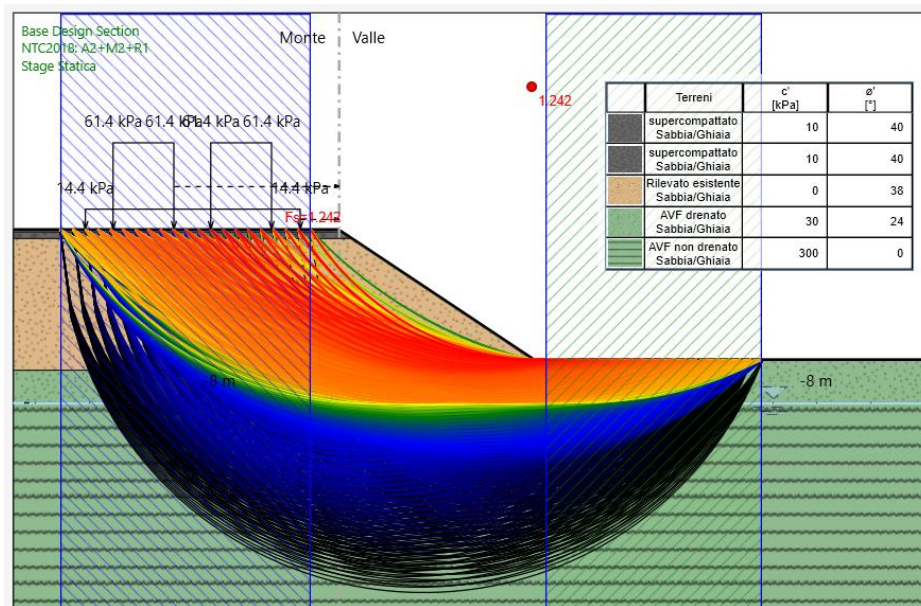


Figura 7-128: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 12+700 – 28+100 (Fs min =1.24)

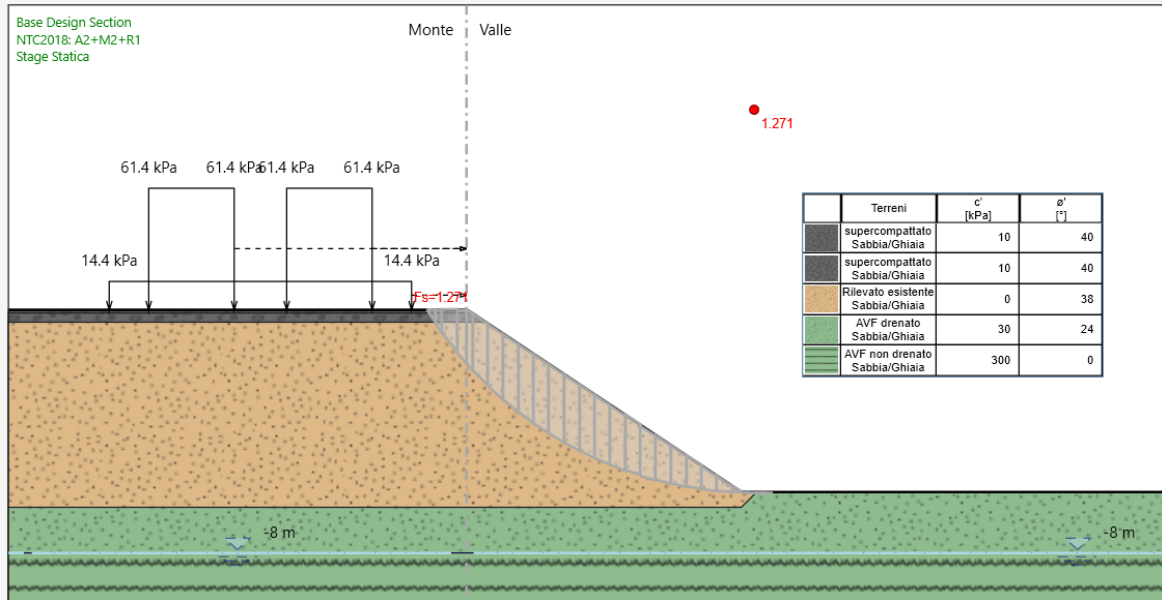


Figura 7-129: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 12+700 – 28+100 (Fs min AVF=1.27)

Il fattore di sicurezza FS minimo che interessa il terreno di appoggio del rilevato è pari a:

$$FS_{\text{MIN}} = 1.27$$

essendo soddisfatta la relazione: $FS_{\text{MIN}} \geq R2 = 1.1$

la verifica di stabilità globale in campo statico e in condizioni non drenate risulta soddisfatta (per la tratta 12+700 – 28+100). I risultati di questa analisi in condizioni non drenate coincidono con quelli ottenuti in condizioni drenate, in termini di Fs min (Figura 7-108, Figura 7-109).

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni statiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto per le tratte 31+760-32+120 e 34+000-34+500.

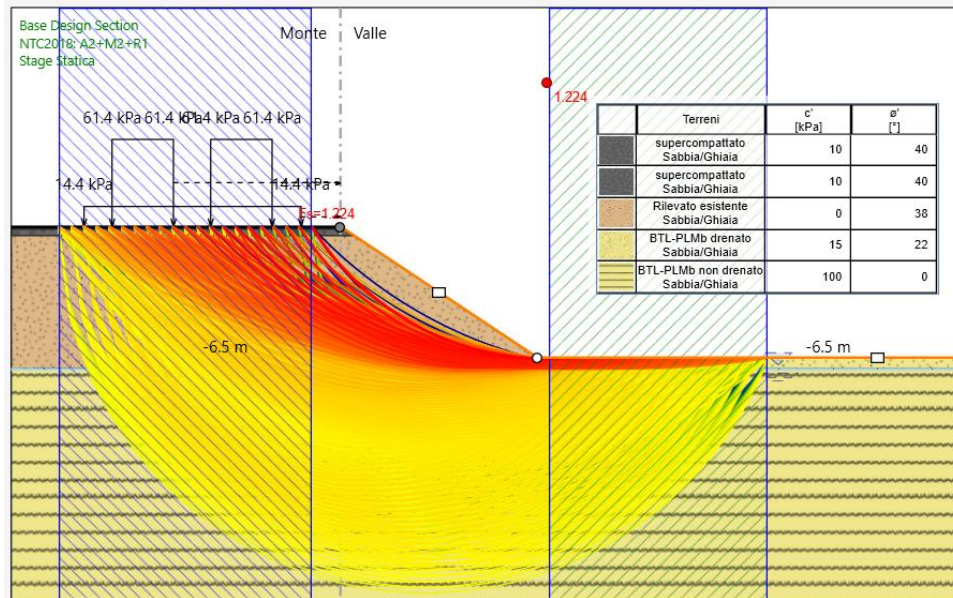


Figura 7-130: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2 per le tratte 31+760-32+120 e 34+000-34+500 (Fs min =1.22)

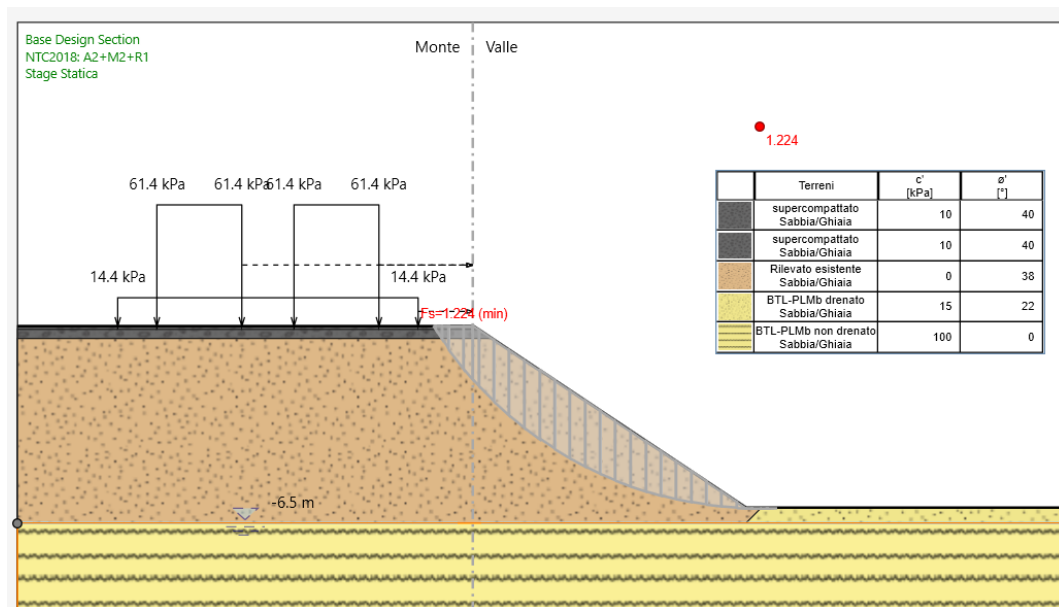


Figura 7-131: superficie critica su scarpata con pendenza 3: 2 per le tratte 31+760-32+120 e 34+000-34+500 (Fs min BTL-PLMb=1.22)

Il fattore di sicurezza FS minimo che interessa il terreno di appoggio del rilevato è pari a:

$$FS_{MIN} = 1.22$$

essendo soddisfatta la relazione:

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

la verifica di stabilità globale in campo statico e in condizioni non drenate risulta soddisfatta (per le tratte 31+760-32+120 e 34+000-34+500). I risultati di questa analisi in condizioni non drenate coincidono con quelli ottenuti in condizioni drenate, in termini di F_s min (Figura 7-112, Figura 7-113)

7.15.2.4 Analisi in condizioni sismiche in condizioni non drenate

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni sismiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto per la tratta 0+000 – 12+700.

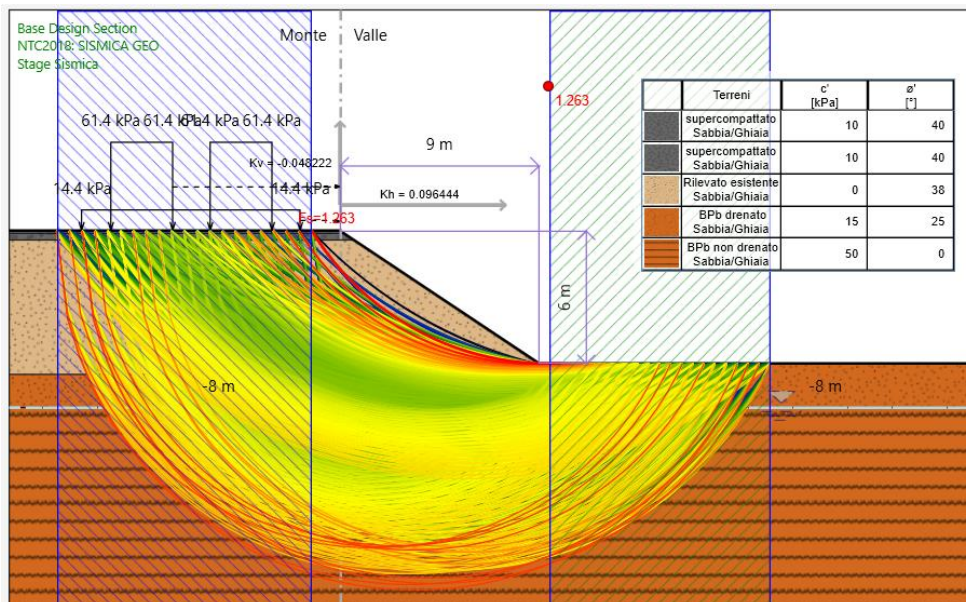


Figura 7-132: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 0+000 – 12+700 (F_s min =1.26)

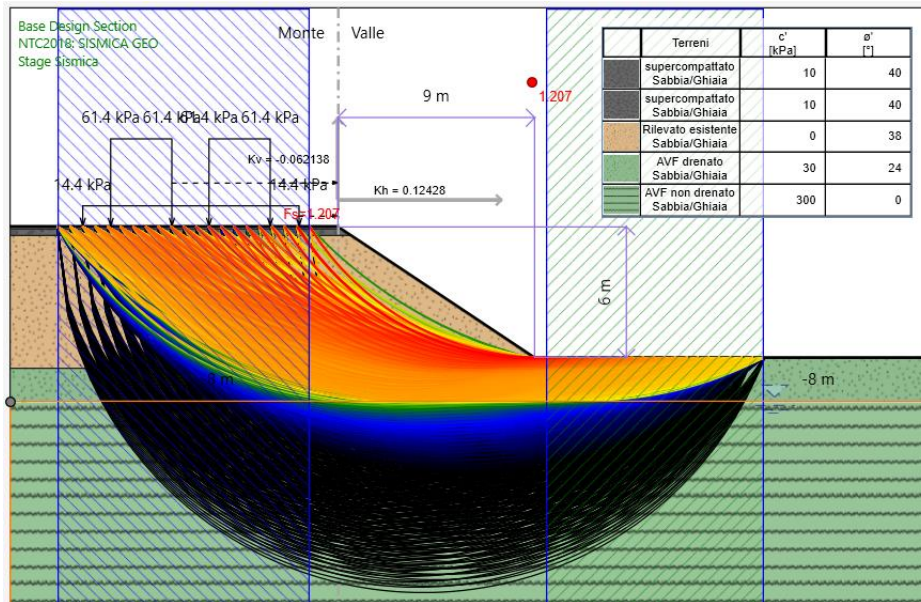


Figura 7-134: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 12+700 – 28+100 (Fs min =1.21)

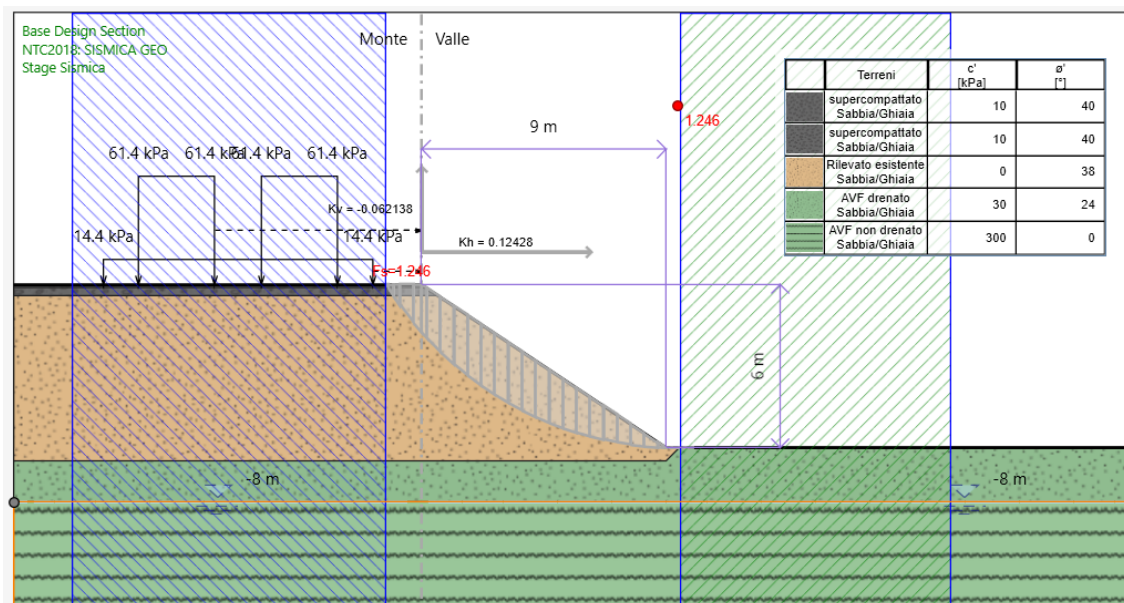


Figura 7-135: superficie critica su scarpata con pendenza 3:2 per la tratta 12+700 – 28+100 (Fs min AVF=1.25)

Il fattore di sicurezza FS minimo che interessa il terreno di appoggio del rilevato è pari a:

$$FS_{MIN} = 1.25$$

essendo soddisfatta la relazione:

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

la verifica di stabilità globale in campo sismico e in condizioni non drenate risulta soddisfatta (per la tratta 12+700 – 28+100) – **caso 1** par.7.15.1. I risultati di questa analisi in condizioni non drenate coincidono con quelli ottenuti in condizioni drenate, in termini di F_s min (Figura 7-118, Figura 7-119).

Nelle figure seguenti vengono riportate le superfici di scorrimento analizzate in condizioni sismiche e il fattore di sicurezza minimo ottenuto per le tratte 31+760-32+120 e 34+000-34+500.

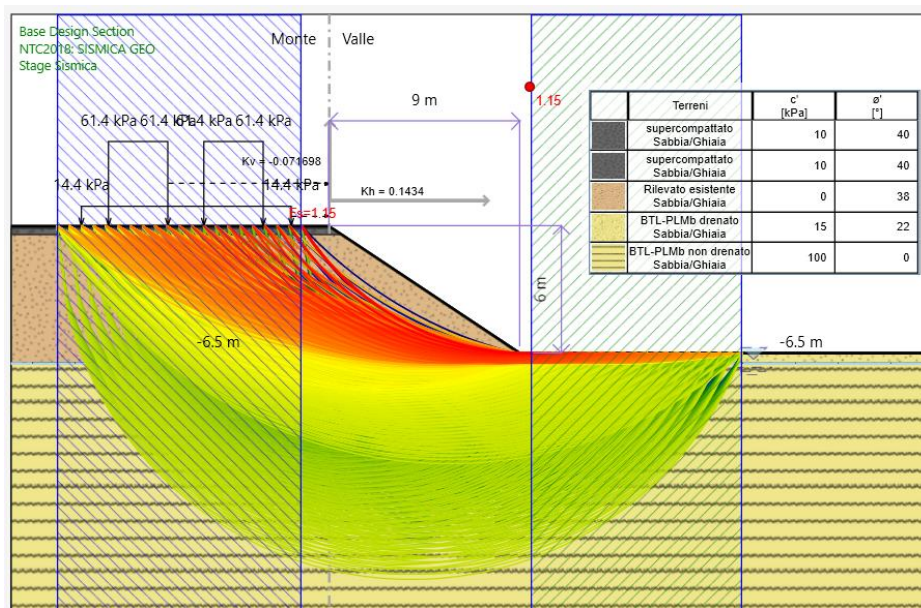


Figura 7-136: superfici analizzate su scarpata con pendenza 3:2 per le tratte 31+760-32+120 e 34+000-34+500 (F_s min = 1.15)

Si ottiene lo stesso risultato dell'analisi eseguita in condizioni drenate; si rimanda all'analisi pseudo-statica inversa del paragrafo 7.15.2.2, in termini di F_s min (Figura 7-124 e Figura 7-125).