

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. INFRASTRUTTURE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA

Trincee stradali- Relazione di stabilità

SCALA:

-

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

I	A	5	F	0	1	D	7	8	R	H	G	E	0	0	0	5	0	0	7	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE DEFINITIVA	E. Sellari	Luglio 2019	C.Toraldo <i>C. Toraldo</i>	Luglio 2019	F.GERNONE <i>F. Gernone</i>	Luglio 2019	 D. TIBERTI Gruppo Ferrovie dello Stato Direzione Matera UO Infrastrutture Sud Prof. Ing. Danilo Tiberti Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10478

File: IA5F01D78RHGE0005007A

n. Elab.:

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	Trincee stradali- Relazione di stabilità	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 007	REV. A

1	INTRODUZIONE	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA.....	8
2.1	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	8
2.2	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO	8
2.3	SOFTWARE	9
3	CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE	10
3.1	CRITERI GENERALI DI VERIFICA.....	10
3.2	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO STATICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI	10
	3.2.1 <i>Stati limite ultimi (SLU)</i>	10
	3.2.2 <i>Stati limite di esercizio (SLE)</i>	11
3.3	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI	12
	3.3.1 <i>Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche</i>	12
	3.3.2 <i>Stati limite ultimi (SLU)</i>	13
	3.3.3 <i>Stati limite di esercizio (SLE)</i>	13
4	AZIONE SISMICA DI PROGETTO.....	14
4.1	COMPONENTI DELL'ACCELERAZIONE EQUIVALENTE.....	14
	4.1.1 <i>Coefficienti sismici per la verifica di stabilità globale</i>	14
5	CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA.....	15
5.1	CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI	15
	5.1.1 <i>Paratia plus</i>	15
	5.1.2 <i>Plaxis 2D</i>	16
5.2	INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	17
5.3	CARICHI DI PROGETTO.....	17
6	VERIFICHE TRINCEE.....	17
6.1	ANALISI DI STABILITÀ.....	17
	6.1.1 <i>Combinazioni di carico e verifiche</i>	17

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
Trincee stradali- Relazione di stabilità	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 007	REV. A	FOGLIO 3 DI 22

7	TRINCEA H=3.3 M	20
7.1	ANALISI DI STABILITÀ.....	20
7.1.1	<i>Modello di calcolo</i>	20
7.1.2	<i>Risultati delle analisi</i>	21

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	Trincee stradali- Relazione di stabilità	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 007	REV. A

1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione si riportano le verifiche di stabilità e delle trincee stradali presenti nelle viabilità per l'accesso ai piazzali presenti lungo la linea Ferrandina – Matera:

- NV01 - Viabilità di accesso al piazzale di emergenza Galleria Miglionico lato Ferrandina
- NV02 - Viabilità di accesso al piazzale di emergenza finestra intermedia Galleria Miglionico
- NV06 - Viabilità di accesso al piazzale di emergenza Galleria Miglionico lato Matera
- NV07 - Viabilità di accesso al P.M. San Giuliano
- NV08 - Viabilità di accesso al PPT3

Sono state analizzate tutte le sezioni trasversali di progetto di tutte le viabilità.

La viabilità di accesso al piazzale di emergenza Galleria Miglionico lato Ferrandina (NV01) si sviluppa essenzialmente in rilevato con altezza massima di 6.73 m e presenta due tratti in trincea di profondità massima 1.36 m.

La viabilità di accesso al piazzale di emergenza finestra intermedia Galleria Miglionico (NV02) si sviluppa essenzialmente in rilevato con altezza massima di 6.33 m e presenta tre tratti in trincea di profondità massima 1.15 m.

La viabilità di accesso al piazzale di emergenza Galleria Miglionico lato Matera (NV06) si sviluppa essenzialmente a raso del piano campagna e presenta nel tratto finale una trincea di profondità massima 3.33 m.

La viabilità di accesso al P.M. San Giuliano (NV07) e la viabilità di accesso al PPT3 (NV08) si sviluppano essenzialmente a raso rispetto alla campagna circostante.

La scelta progettuale per la realizzazione dei rilevati stradali prevede:

- rilevati di altezza inferiore a 2.00 m supercompattato di spessore 30 cm;
- rilevati di altezza superiore a 2.00 m misto cementato di spessore 30 cm;
- rilevati di altezza superiore a 6 m inserimento di banche da 2 m.

Di seguito la tabella con tutte le sezioni le rispettive viabilità, assi di appartenenza e l'altezza del rilevato $H_{RILEVATO}$ o la profondità della trincea $H_{TRINCEA}$ o il simbolo “-“ se la strada è a raso. Le righe in grassetto indicano la presenza di una banca di 2 m quando l'altezza del rilevato supera i 6 m.

Tab. 1: Rilevati e trincee delle differenti viabilità

NV	ASSE	SEZIONE	$H_{RILEVATO}$ (m)	$H_{TRINCEA}$ (m)
01	1	1	-	-
01	1	2	3.42	-
01	1	3	3.94	-
01	1	4	3.18	-
01	1	5	3.08	-
01	1	6	2.24	-
01	1	7	-	-
01	1	8	-	-

NV	ASSE	SEZIONE	H _{RILEVATO} (m)	H _{TRINCEA} (m)
01	1	9	-	-
01	1	10	-	1.29
01	1	11	3.36	-
01	1	12	3.69	-
01	1	13	3.29	-
01	1	14	3.43	-
01	1	15	3.62	-
01	1	16	3.97	-
01	1	17	4.43	-
01	1	18	5.18	-
01	1	19	5.53	-
01	1	20	4.86	-
01	1	21	3.79	-
01	1	22	1.98	-
01	1	23	-	-
01	1	24	-	-
01	2	1	-	-
01	2	2	4.29	-
01	2	3	3.96	-
01	2	4	2.14	-
01	2	5	1.53	-
01	2	6	0.72	-
01	2	7	1	-
01	2	8	1	-
01	2	9	1.05	-
01	2	10	1.52	-
01	3	1	-	-
01	3	2	-	-
01	3	3	-	-
01	3	4	-	1.28
01	3	5	-	1.36
01	3	6	-	-
01	3	7	-	-
01	4	1	-	-
01	4	2	-	-
01	4	3	-	-
01	4	4	-	-
01	5	1	-	-
01	5	2	-	-
01	5	3	-	-
01	5	4	-	-

NV	ASSE	SEZIONE	H _{RILEVATO} (m)	H _{TRINCEA} (m)
01	5	5	3.05	-
01	5	6	4.9	-
01	5	7	6.19	-
01	5	8	6.73	-
01	5	9	4.9	-
01	5	10	4.71	-
01	5	11	-	-
01	6	1	-	-
01	6	2	2.58	-
01	6	3	2.71	-
01	6	4	2.72	-
02	1	1	-	-
02	1	2	-	-
02	1	3	-	-
02	1	4	-	-
02	1	5	-	-
02	1	6	-	-
02	1	7	-	-
02	1	8	1.67	-
02	1	9	-	-
02	1	10	-	-
02	1	11	-	-
02	1	12	-	-
02	1	13	-	-
02	1	14	-	-
02	1	15	-	-
02	1	16	-	0.92
02	1	17	-	0.96
02	1	18	-	-
02	1	19	-	-
02	1	20	2.64	-
02	1	21	-	-
02	1	22	3.74	-
02	1	23	1.9	-
02	1	24	-	-
02	1	25	-	1.13
02	1	26	-	-
02	1	27	-	-
02	1	28	1.76	-
02	1	29	-	-
02	1	30	-	-

NV	ASSE	SEZIONE	H _{RILEVATO} (m)	H _{TRINCEA} (m)
02	1	31	-	-
02	1	32	-	-
02	1	33	-	-
02	1	34	-	-
02	1	35	-	-
02	1	36	-	-
02	1	37	2.32	-
02	1	38	2.2	-
02	1	39	1.4	-
02	1	40	-	-
02	1	41	-	-
02	1	42	-	-
02	1	43	-	-
02	1	44	-	-
02	1	45	2.58	-
02	1	46	1.78	-
02	1	47	2.59	-
02	1	48	6.33	-
02	1	49	3.56	-
02	1	50	4.71	-
02	1	51	-	1.15
02	1	52	-	4
02	2	1	1.66	-
02	2	2	3.43	-
02	2	3	3.41	-
06	1	1	-	-
06	1	2	-	-
06	1	3	-	-
06	1	4	-	-
06	1	5	-	-
06	1	6	-	-
06	1	7	-	-
06	1	8	-	-
06	1	9	-	1.3
06	1	10	-	1.4
06	1	11	-	3.1
06	1	12	-	3.33
06	1	13	-	2.97
07	1	1	-	-
07	1	2	-	-
07	1	3	-	-

NV	ASSE	SEZIONE	H _{RILEVATO} (m)	H _{TRINCEA} (m)
07	1	4	-	-
07	1	5	-	-
07	1	6	-	-
07	1	7	-	-
07	1	8	-	-
07	1	9	-	-
07	1	10	-	-
07	1	11	-	-
07	1	12	-	-
07	1	13	-	-
07	1	14	-	-
08	1	1	-	-
08	1	2	-	-
08	1	3	-	-
08	1	4	-	-
08	1	5	-	-
08	1	6	-	-
08	1	7	-	-
08	1	8	-	-
08	1	9	-	-
08	1	10	-	-
08	1	11	-	-
08	1	12	-	-
08	1	13	-	-
08	1	14	-	-
08	1	15	-	-

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO E NORMATIVA

2.1 Documenti di riferimento

[D1] IA5F01D78RHGE0005001- Relazione geotecnica generale;

2.2 Normativa e standard di riferimento

[N1] D.M. 17/01/2018: Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”

[N2] Circolare 21/01/2019 n.7 – C.S.LL.PP. Istruzioni per l’applicazione dell’ “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 17/01/2018

[N3] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
Trincee stradali- Relazione di stabilità	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 007	REV. A	FOGLIO 9 DI 22

- [N4] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- [N5] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 2 / Ponti e Strutture (RFI DTC SI PS MA IFS 001 C – rev 21/12/2018);
- [N6] Manuale di Progettazione delle Opere Civili: PARTE II – Sezione 3 / Corpo Stradale (RFI DTC SI CS MA IFS 001 C – rev 21/12/2018);
- [N7] Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili (RFI DTC SI CS SP IFS 005 B - rev 22/12/2017).
- [N8] 1299/2014/UE Specifiche tecniche d'interoperabilità per il sottosistema “Infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione Europea (18/11/2014).

2.3 Software

Per le analisi sono stati utilizzati i seguenti codici di calcolo:

- [S1] Paratie Plus – Software dedicato al calcolo e alla progettazione delle opere di sostegno flessibili e alle analisi di stabilità;
- [S2] Plaxis 2D – Software di calcolo agli elementi finiti per analisi geotecniche.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
Trincee stradali- Relazione di stabilità	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 007	REV. A	FOGLIO 10 DI 22

3 CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE

3.1 Criteri generali di verifica

Per le opere in esame devono essere svolte le seguenti verifiche di sicurezza e delle prestazioni attese (par. 6.2.3. del Doc. Rif.[N1]):

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

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

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 6.2.1 del Doc. Rif.}[N1]):$$

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. 6.2.3.1 del Doc. Rif.[N1]).

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

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 del Doc. Rif.}[N1])$$

dove:

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

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

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

3.2 Verifiche di sicurezza in campo statico per opere in materiali sciolti

In base a quanto indicato dalle NTC 2018 le verifiche di sicurezza che devono essere condotte per opere costituite da materiali sciolti sono le seguenti.

3.2.1 Stati limite ultimi (SLU)

Le verifiche di stabilità in campo statico di opere in materiali sciolti, quali rilevati, devono essere eseguite secondo il seguente approccio (Par. 6.8.2 del Doc. Rif.[N1]):

Approccio 1:

- Combinazione 2 : $A2 + M2 + R2$

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati in Tab. 2, Tab. 3 e Tab. 4.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
Trincee stradali- Relazione di stabilità	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 007	REV. A	FOGLIO 11 DI 22

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 (vedasi Par. C.6.8.6.2 del Doc. Rif.[N2]), calcolata sulla base delle azioni di progetto, dei parametri di progetto e della geometria di progetto ($R = R \left[\gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_m}; a_d \right]$).

La stabilità globale dell'insieme manufatto-terreno di fondazione deve essere studiata nelle condizioni corrispondenti alle diverse fasi costruttive ed al termine della costruzione.

Tab. 2: Coefficienti parziali sulle azioni (A1, A2 e EQU) - (Tab. 6.2.I, Doc. Rif. [N1])

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano completamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tab. 3: Coefficienti parziali sui terreni (M1 ed M2) - (Tab. 6.2.II, Doc. Rif. [N1])

PARAMETRO	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\gamma_{\phi'}$	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_γ	1.0	1.0

Tab. 4: Coefficienti parziali per le verifiche di stabilità globale (R2) - (Tab. 6.8.I, Doc. Rif.[N1])

Coefficiente parziale	(R2)
γ_R	1.1

3.2.2 Stati limite di esercizio (SLE)

Deve essere verificato, mediante analisi effettuate impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali (Par. 6.5.3.2 del Doc. Rif.[N1]), che gli spostamenti dell'opera in esame e del terreno circostante siano compatibili con la funzionalità della struttura e con la sicurezza e la funzionalità di manufatti adiacenti.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
Trincee stradali- Relazione di stabilità	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA5F	01	D 78 RH	GE0005 007	A	12 DI 22

Sarà a carico del Progettista Strutturale definire valori di spostamenti/rotazioni corrispondenti ad uno Stato Limite di Esercizio (s_{SLE} e θ_{SLE}) delle strutture da confrontarsi con quelli calcolati in fondazione.

Deve essere tenuto presente che le verifiche agli Stati Limite di Esercizio possono risultare più restrittive di quelle agli Stati Limite Ultimi.

3.3 Verifiche di sicurezza in campo sismico per opere in materiali sciolti

3.3.1 Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche

Le NTC-2018 (Doc. Rif.[N1]) stabiliscono differenti Stati Limite (sia d'Esercizio che Ultimi) in funzione, in primo luogo, dell'importanza dell'opera mediante l'identificazione della Classe d'Uso e poi in funzione del danno conseguente ad un certo Stato Limite. In particolare si definiscono i seguenti Stati Limite di Esercizio e Ultimi, come riportato al par. 3.2.1 del Doc. Rif.[N1]:

- **Stati Limite di Esercizio (SLE):**
 - Stato Limite di immediata Operatività **SLO** per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico. Tale stato limite non si applica per l'opera in oggetto.
 - Stato Limite di Danno **SLD** definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.
- **Stati Limite Ultimi (SLU):**
 - Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, **SLV**, definito come lo stato limite in cui la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
 - Stato Limite di Prevenzione del Collasso, **SLC**, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.

Con riferimento all'opera in oggetto, e considerando quanto riportato al punto C7.1 del Doc. Rif.[N2], le verifiche geotecniche in presenza di un evento sismico richiedono la verifica ai seguenti stati limite:

- Stato Limite Ultimo: SLV – Stato Limite di Salvaguardia della Vita (cui corrisponde una probabilità di superamento $P_{vr} = 10\%$ nel periodo V_r);
- Stato Limite Esercizio: SLD – Stato Limite di Danno (cui corrisponde una probabilità di superamento $P_{vr} = 63\%$ nel periodo V_r).

Le suddette probabilità, valutate nel periodo di riferimento V_r per l'azione sismica, consentono di determinare, per ciascuno stato limite, il tempo di ritorno del terremoto di progetto corrispondente.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	Trincee stradali- Relazione di stabilità	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 007	REV. A

3.3.2 Stati limite ultimi (SLU)

Per tutte le verifiche l'azione sismica di progetto deve essere valutata sulla base degli Stati Limite relativi all'opera da verificare. Per l'opera in oggetto, come definito al punto 3.3.1, 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 almeno le medesime verifiche definite in campo statico. In particolare la stabilità globale in condizioni sismiche dei opere in materiali sciolti, quali rilevati, deve essere svolta secondo la combinazione 2 dell'Approccio 1 (A2 + M2 + R2) descritta al par. 3.2.1 ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui paramenti geotecnicie impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a $\gamma_R=1.2$.

Le condizioni di stabilità del rilevato devono essere verificate affinché prima, durante e dopo il sisma la resistenza del sistema sia superiore alle azioni, ovvero gli spostamenti permanenti indotti dal sisma siano di entità tale da non pregiudicare le condizioni di sicurezza o di funzionalità delle strutture o infrastrutture medesime.

Come riportato al Par. 7.11.41 del Doc. Rif.[N2] le verifiche possono essere condotte mediante metodi pseudo statici, metodi degli spostamenti e metodi di analisi dinamica.

3.3.3 Stati limite di esercizio (SLE)

Deve essere verificato, mediante analisi effettuate impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali, che gli spostamenti permanenti indotti dal sisma non alterino significativamente la resistenza della fondazione e devono essere compatibili con la funzionalità dell'opera.

L'azione sismica di progetto deve essere valutata sulla base degli Stati Limite relativi all'opera da verificare. Per l'opera in oggetto, come definito al punto 3.3.1, le verifiche agli Stati Limite di Esercizio verranno condotte con riferimento allo Stato Limite di Danno (SLD).

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	Trincee stradali- Relazione di stabilità	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 007	REV. A

4 AZIONE SISMICA DI PROGETTO

La definizione dell'azione sismica di progetto per le opere afferenti il tracciato è stata condotta secondo quanto disposto dalle Norme Tecniche in vigore assunte alla base della progettazione in oggetto (Rif. [N1]).

In particolare, l'azione sismica in base alla quale è stato il rispetto dei diversi stati limite per le strutture in progetto, è stata essere definita a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, a sua volta espressa in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell'azione sismica comprende la determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastica in accelerazione $S_e(T)$ "ancorato" al valore di a_g , facendo riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento V_R per la vita utile della struttura.

In particolare si sono considerati una vita nominale dell'opera V_N pari a 50 anni ed un coefficiente d'uso pari a 1.0. Pertanto la vita di riferimento dell'opera V_R risulta pari a 50 anni.

Data la probabilità di superamento nel periodo di riferimento considerato, funzione dello Stato Limite di verifica, la forma spettrale è definita a partire dai valori dei seguenti parametri relativi ad un sito di riferimento rigido e orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima su 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.

Si è quindi proceduto alla definizione del periodo di riferimento per l'azione sismica, sulla base della classificazione delle opere in progetto, e successivamente sono stati definiti gli stati limite di interesse per la verifica strutturale, i periodi di ritorno corrispondenti dell'azione sismica per suolo rigido in corrispondenza dei punti di interesse collocati lungo il tracciato.

La valutazione dei parametri di pericolosità sismica, che ai sensi del D.M. 17-01-2018, costituiscono il dato base per la determinazione delle azioni sismiche di progetto su una costruzione (forme spettrali e/o forze inerziali) dipendono, come già in parte anticipato in precedenza, dalla localizzazione geografica del sito, dalle caratteristiche della costruzione (Periodo di riferimento per valutazione azione sismica / V_R) oltre che dallo Stato Limite di riferimento/Periodo di ritorno dell'azione sismica.

4.1 Componenti dell'accelerazione equivalente

Come definito in normativa, a meno di specifiche analisi dinamiche, è possibile svolgere le verifiche di sicurezza mediante analisi pseudostatiche o analisi agli spostamenti.

4.1.1 Coefficienti sismici per la verifica di stabilità globale

Con riferimento al par. 7.11.4 delle NTC18, la verifica di stabilità in condizioni sismiche dei rilevati e dei fronti di scavo può essere condotta mediante metodi pseudo statici per i quali l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso del volume W di terreno potenzialmente instabile. Le componenti orizzontale e verticale della forza statica equivalente possono esprimersi come:

$$F_h = k_h \cdot W \quad F_v = k_v \cdot W \quad \text{dove:}$$

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
Trincee stradali- Relazione di stabilità	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA5F	01	D 78 RH	GE0005 007	A	15 DI 22

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g} \quad (\text{con } \beta_s = 0.38 \text{ coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito})$$

$$\text{e } k_v = \pm 0.5 \cdot k_h.$$

L'accelerazione massima a_{\max} attesa al sito è pari a:

V_N	50	anni
C_U	1.0	classe d'uso II
V_R	50	anni
$P_{VR} (SLV)$	0.1	
T_R	475	anni
a_g	0.158	g
S_S	1.42	cat. C
S_T	1	
a_{\max}	0.22	g

I carichi e sovraccarichi sono stati inseriti nelle diverse verifiche agli SLU (statiche e sismiche) applicando laddove necessario gli opportuni coefficienti parziali di amplificazione come previsti dalla Normativa vigente.

5 CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA

5.1 Codici di calcolo utilizzati

5.1.1 Paratia plus

Le verifiche di stabilità sono state effettuate con il codice di calcolo Paratie Plus.

PARATIE PLUS offre la possibilità di calcolare la stabilità complessiva del versante in cui può o meno essere presente un'opera di sostegno flessibile.

PARATIE PLUS prevede il calcolo della stabilità per mezzo dei seguenti metodi:

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

Tutti questi, appartenenti alla famiglia dei metodi all'equilibrio limite, si basano sull'individuare una porzione di terreno instabile mobilitata lungo di una potenziale superficie di scorrimento.

Il coefficiente di sicurezza associato ad una superficie è calcolato imponendo le condizioni di equilibrio nelle quali vengono introdotte le resistenze offerte del terreno affette da tale coefficiente di sicurezza. Variando secondo diversi criteri la superficie di scorrimento, è possibile determinare la configurazione associata al coefficiente di sicurezza minimo.

Tutti i metodi suddividono la regione di terreno mobilitata in conci verticali compresi tra la sommità del terreno e la superficie di scorrimento e istituiscono le condizioni di equilibrio generali e relative ai singoli conci. Poiché nella scrittura delle condizioni di equilibrio del singolo cono è necessario includere le azioni che esso scambia con i conci adiacenti, si 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.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
Trincee stradali- Relazione di stabilità	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 007	REV. A	FOGLIO 16 DI 22

Il metodo di Morgenstern & Price, utilizzato nelle analisi riportate nella presente relazione, 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.

Nelle analisi sono state escluse, perché considerate non significative, le superfici di rottura superficiali che coinvolgono volumi di terreno ridotti e che comunque non interessano la sede stradale. A tal proposito si sottolinea che, nei calcoli, a favore di sicurezza, non è stato preso in conto in alcun modo l'effetto che la finitura a verde delle scarpate darà necessariamente, in termini di coesione efficace, allo strato più superficiale delle scarpate.

5.1.2 Plaxis 2D

Plaxis 2D è un codice di calcolo agli elementi finiti (sviluppato dalla Delft University of Technology) bidimensionale in grado di tenere conto del comportamento del terreno seguendo la variazione dello stato tensionale e deformativo nei vari punti dell'ammasso considerato e negli eventuali elementi strutturali collegati con i quali interagisce.

E' utilizzabile per eseguire analisi di stabilità e di deformazione nell'ambito di molteplici applicazioni geotecniche. Il programma permette di simulare situazioni reali riconducibili a condizioni di deformazione piane (plane strain) o a condizioni assialsimmetriche (axisymmetric).

Plaxis consente di svolgere diversi tipi di calcolo agli elementi finiti distinguendo tra calcoli di tipo Plastico (plastic), Analisi di consolidazione (consolidation), Analisi di stabilità con il metodo della riduzione dei parametri di resistenza (ϕ -c reduction) e Analisi dinamiche (dynamic).

La versione del software adottata per le analisi condotte nel presente documento è Plaxis 2D AE.02.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
Trincee stradali- Relazione di stabilità	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 007	REV. A	FOGLIO 17 DI 22

5.2 Inquadramento geotecnico

La stratigrafia a favore di sicurezza è stata assunta quella di seguito riportata:

Unità	da [m]	a [m]	γ [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	c_u [kPa]	E_{op} [MPa]	ν [-]	k [m/s]
U1c	p.c.	9	18.5	30	15	-	30	0.25	1E-6
U2	9.0	-	19.5	22	30	225	50	0.25	1E-8

La falda è stata assunta a 5 m dal piano campagna.

5.3 Carichi di progetto

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

- Carico da azione sismica.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto si rimanda al punto 4 del presente documento.

Tali carichi e sovraccarichi sono stati inseriti nelle diverse verifiche agli SLU (statiche e sismiche) e agli SLE applicando laddove necessario gli opportuni coefficienti parziali di amplificazione come previsti dalla Normativa vigente.

6 VERIFICHE TRINCEE

Per la valutazione della stabilità delle trincee è stata analizzata le soluzioni tipologiche presenti, ovvero:

- trincea stradale di altezza massima pari a 3.3 m con scarpate di pendenza 2/3;

6.1 Analisi di stabilità

6.1.1 Combinazioni di carico e verifiche

Ai fini delle verifiche agli stati limite ultimi statici e sismici si riportano le combinazioni delle azioni riportate nelle NTC18:

-Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$$

-Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$$

I coefficienti di amplificazione dei carichi γ e i coefficienti di combinazione Ψ sono riportati nelle tabelle seguenti.

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	d	1,20	1,20	1,00

Tabella 1: Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU (Tab. 5.2.V - NTC2018).

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	gr_1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
Gruppi di carico	gr_2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
	gr_3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr_4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

⁽¹⁾ 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.

⁽²⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Tabella 2: Coefficienti di combinazione Ψ agli SLU (Tab. 5.2.VI - NTC2018).

La verifica allo stato limite ultimo richiesta dalle NTC18 per la stabilità dei fronti di scavo e rilevati in condizioni statiche, paragrafo 6.8.2, prevede l'utilizzo della combinazione 2 A2+M2+R2 dell'approccio 1.

I coefficienti da utilizzare sono riportati nelle tabelle che seguono.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
Trincee stradali- Relazione di stabilità	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 007	REV. A	FOGLIO 19 DI 22

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_Y	γ_Y	1,0	1,0

Tabella 3: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno.

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

Tabella 4: Coefficienti parziali per le verifiche di stabilità globale (R2) - (Tab. 6.8.I- NTC18).

La verifica di stabilità in condizioni sismiche è condotta mediante l'applicazione del metodo cosiddetto pseudo-statico. Anche in questo caso deve verificarsi che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni, impiegando lo stesso approccio mostrato per le condizioni statiche, ma applicando coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici pari all'unità e riducendo le resistenze tramite un coefficiente parziale $\gamma_R = 1.2$ (paragrafo 7.11.4 delle NTC18).

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
Trincee stradali- Relazione di stabilità	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 007	REV. A	FOGLIO 20 DI 22

7 Trincea H=3.3 m

7.1 Analisi di stabilità

7.1.1 Modello di calcolo

Nelle figure che seguono si riporta un'immagine del modello di calcolo effettuato con il software Paratie Plus e le condizioni imposte al programma per la ricerca della superficie critica.

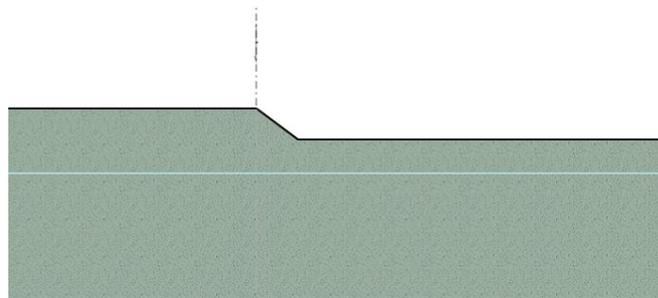
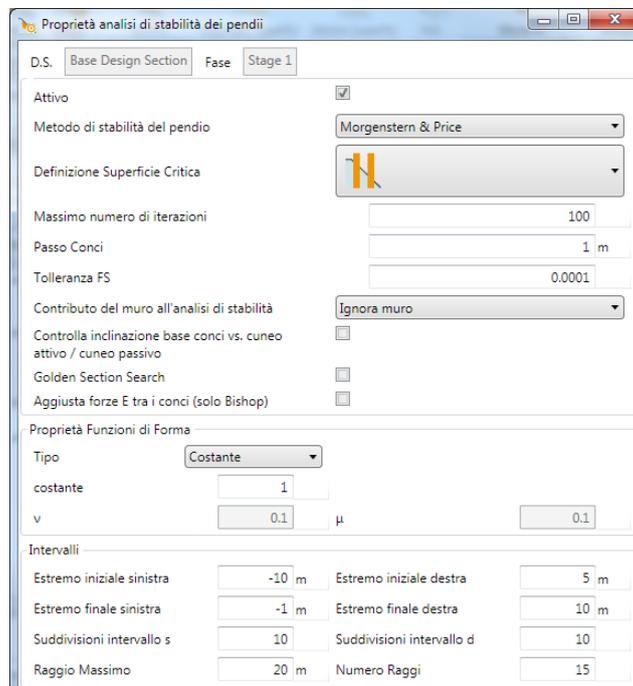


Figura 1: Trincea H=3.3 m - modello di calcolo stabilità.



Proprietà analisi di stabilità dei pendii

D.S. Base Design Section Fase Stage 1

Attivo

Metodo di stabilità del pendio Morgenstern & Price

Definizione Superficie Critica [Icona]

Massimo numero di iterazioni

Passo Conci

Tolleranza FS

Contributo del muro all'analisi di stabilità Ignora muro

Controlla inclinazione base conci vs. cuneo attivo / cuneo passivo

Golden Section Search

Aggiusta forze E tra i conci (solo Bishop)

Proprietà Funzioni di Forma

Tipo Costante

costante

v μ

Intervalli

Estremo iniziale sinistra Estremo iniziale destra

Estremo finale sinistra Estremo finale destra

Suddivisioni intervallo s Suddivisioni intervallo d

Raggio Massimo Numero Raggi

Figura 2: Trincea H=3.3 m – definizione superfici da analizzare.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	Trincee stradali- Relazione di stabilità	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 007	REV. A

7.1.2 Risultati delle analisi

A seguire i risultati ottenuti in condizioni statiche e sismiche.

- verifica in condizioni statiche

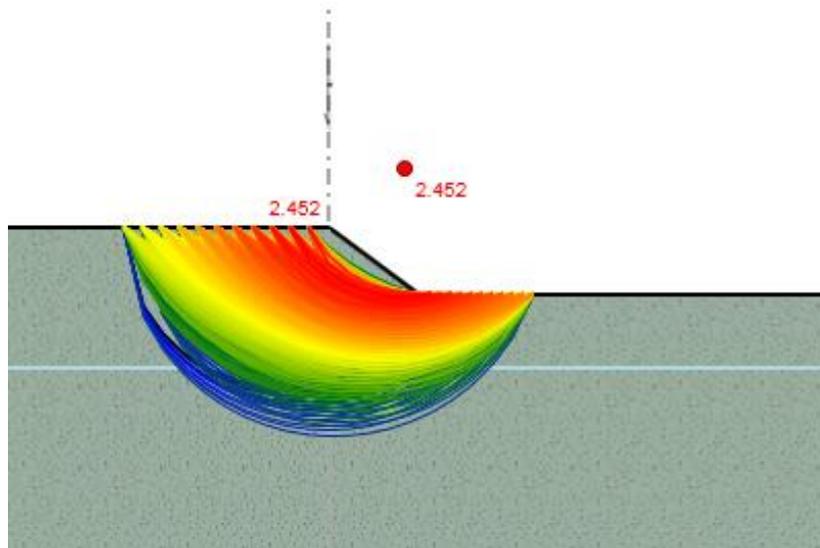


Figura 3: Trincea $H=3.3$ m - verifica di stabilità in condizione statica.

- verifica in condizioni sismiche kv+

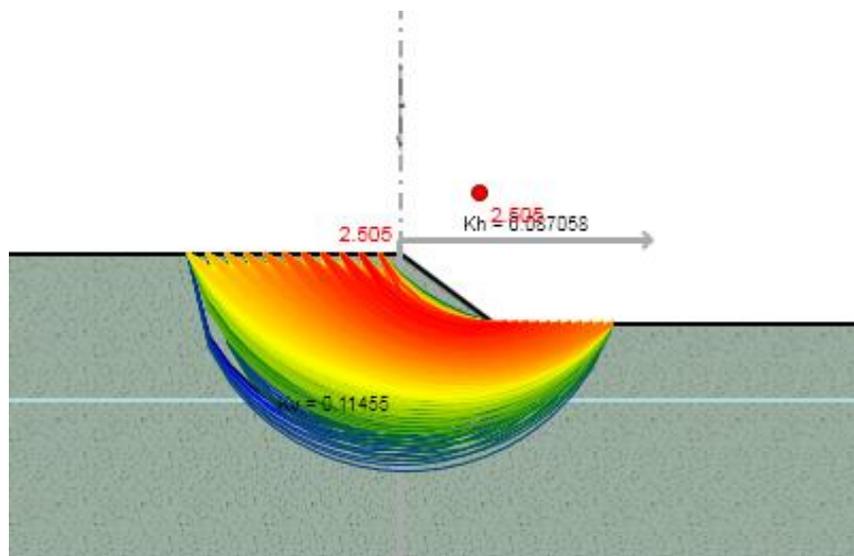


Figura 4: Trincea $H=3.3$ m - verifica di stabilità in condizione sisma +.

- verifica in condizioni sismiche kv-

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
	Trincee stradali- Relazione di stabilità	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH GE0005 007	DOCUMENTO 	REV. A

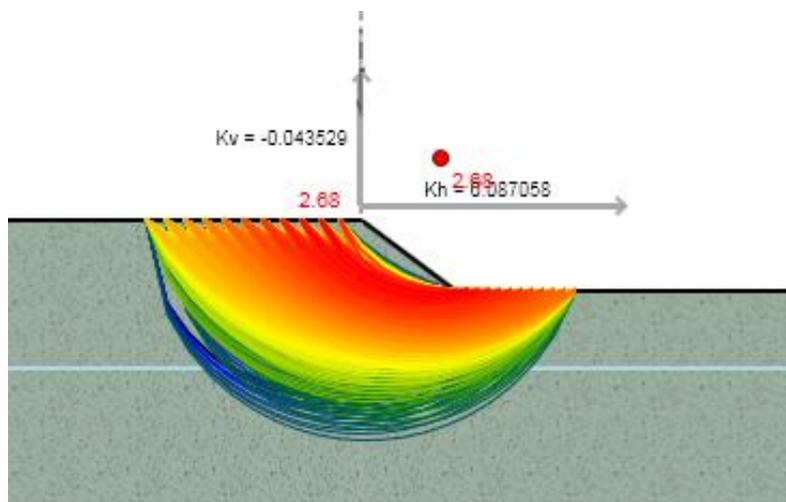


Figura 5: Trincea H=3.3 m - verifica di stabilità in condizione sisma -.

Nella tabella che segue si riassumono i fattori di sicurezza ottenuti.

Condizione di calcolo	FS		FS da NTC2018 (γ_R)
Statica	2.45	\geq	1.1
Sismica +	2.50	\geq	1.2
Sismica -	2.68	\geq	1.2