

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

Rilevati stradali- Relazione di stabilità e calcolo cedimenti

SCALA:

-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
IA5F	01	D	78	RH	GE0005	006	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Da
A	EMISSIONE DEFINITIVA	E. Sellari	Luglio 2019	C.Toraldo <i>Catino Toraldo</i>	Luglio 2019	F.GERNONE <i>Fabio Gernone</i>	Luglio 2019	D. TIBERI <i>D. Tiberi</i>

File: IA5F01D78RHGE0005006A

n. Elab.: 144

Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10875

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
6	CARATTERISTICHE DEL CORPO STRADALE.....	17
6.1	DESCRIZIONE DEI TRATTI IN RILEVATO .....	17
6.2	MATERIALI .....	17
6.3	INQUADRAMENTO GEOTECNICO.....	17
6.4	CARICHI DI PROGETTO .....	17

7	VERIFICHE RILEVATI.....	18
7.1	ANALISI DI STABILITÀ.....	18
	7.1.1 <i>Combinazioni di carico e verifiche</i> .....	18
7.2	STIMA DEI CEDIMENTI .....	21
	7.2.1 <i>Metodologia di calcolo</i> .....	21
	7.2.2 <i>Combinazioni di carico e verifiche</i> .....	21
8	RILEVATO H=2M .....	22
8.1	ANALISI DI STABILITÀ.....	22
	8.1.1 <i>Modello di calcolo</i> .....	22
	8.1.2 <i>Risultati delle analisi</i> .....	22
9	RILEVATO H=6M .....	25
9.1	ANALISI DI STABILITÀ.....	25
	9.1.1 <i>Modello di calcolo</i> .....	25
	9.1.2 <i>Risultati delle analisi</i> .....	25
10	RILEVATO CON BANCA.....	28
10.1	ANALISI DI STABILITÀ.....	28
	10.1.1 <i>Modello di calcolo</i> .....	28
	10.1.2 <i>Risultati delle analisi</i> .....	29
11	ANALISI DEI CEDIMENTI PER IL RILEVATO CON BANCA .....	31
	11.1.1 <i>Modello di calcolo</i> .....	31
	11.1.2 <i>Risultati delle analisi</i> .....	31

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
<b>Rilevati stradali- Relazione di stabilità e calcolo cedimenti</b>	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 006	REV. A	FOGLIO 4 DI 33

## 1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione si riportano le verifiche di stabilità e dei cedimenti dei rilevati stradali 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	-	-



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

NUOVA LINEA FERRANDINA - MATERA LA MARTELLA

Rilevati stradali- Relazione di stabilità e calcolo cedimenti

PROGETTO  
IA5F

LOTTO  
01

CODIFICA DOCUMENTO  
D 78 RH GE0005 006

REV.  
A

FOGLIO  
5 DI 33

NV	ASSE	SEZIONE	H <sub>RILEVATO</sub> (m)	H <sub>TRINCEA</sub> (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 <sub>RILEVATO</sub> (m)	H <sub>TRINCEA</sub> (m)
01	5	5	3.05	-
01	5	6	4.9	-
<b>01</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>6.19</b>	-
<b>01</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>6.73</b>	-
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 <sub>RILEVATO</sub> (m)	H <sub>TRINCEA</sub> (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	-
<b>02</b>	<b>1</b>	<b>48</b>	<b>6.33</b>	-
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 <sub>RILEVATO</sub> (m)	H <sub>TRINCEA</sub> (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 <b>NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA</b>				
<b>Rilevati stradali- Relazione di stabilità e calcolo cedimenti</b>	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA DOCUMENTO D 78 RH GE0005 006	REV. A	FOGLIO 9 DI 33

- [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 <b>NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA</b>					
	<b>Rilevati stradali- Relazione di stabilità e calcolo cedimenti</b>	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 006	REV. A

### 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					
<b>Rilevati stradali- Relazione di stabilità e calcolo cedimenti</b>	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 006	REV. A	FOGLIO 11 DI 33

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 $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	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	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	$\gamma_{Cu}$	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_r$	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)
$\gamma_R$	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 <b>NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA</b>					
	<b>Rilevati stradali- Relazione di stabilità e calcolo cedimenti</b>	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 006	REV. A

Sarà a carico del Progettista Strutturale definire valori di spostamenti/rotazioni corrispondenti ad uno Stato Limite di Esercizio ( $s_{SLE}$  e  $\theta_{SLE}$ ) 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 <b>NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA</b>				
<b>Rilevati stradali- Relazione di stabilità e calcolo cedimenti</b>	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA DOCUMENTO D 78 RH GE0005 006	REV. A	FOGLIO 13 DI 33

### 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 parametri geotecnici 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					
<b>Rilevati stradali- Relazione di stabilità e calcolo cedimenti</b>	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 006	REV. A	FOGLIO 14 DI 33

## 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 ag 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 ag, facendo riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR, nel periodo di riferimento VR per la vita utile della struttura.

In particolare si sono considerati una vita nominale dell'opera VN pari a 50 anni ed un coefficiente d'uso pari a 1.0. Pertanto la vita di riferimento dell'opera VR 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					
<b>Rilevati stradali- Relazione di stabilità e calcolo cedimenti</b>	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 006	REV. A	FOGLIO 15 DI 33

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

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

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 <b>NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA</b>				
<b>Rilevati stradali- Relazione di stabilità e calcolo cedimenti</b>	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA DOCUMENTO D 78 RH GE0005 006	REV. A	FOGLIO 16 DI 33

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  $\lambda$  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 ( $\phi$ -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					
Rilevati stradali- Relazione di stabilità e calcolo cedimenti	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 006	REV. A	FOGLIO 17 DI 33

## 6 CARATTERISTICHE DEL CORPO STRADALE

### 6.1 Descrizione dei tratti in rilevato

Per quanto riguarda la geometria dei rilevati, si è fatto riferimento agli elaborati di progetto ad essi relativi ed in particolare alle sezioni trasversali, tipologiche e correnti.

I rilevati sono previsti con pendenza 3H:2V, con banche di altezza massima pari a circa 6 m, intervallate da berme di larghezza pari a circa 2 m. Al di sotto del rilevato è stato previsto uno scotico di 30 cm e bonifica se necessario. Per le scarpate è stata ipotizzata una finitura a verde.

Il rilevato è finito in sommità con la realizzazione di uno strato di sottofondo di spessore pari a circa 20 cm, al di sopra del quale verrà realizzato il pacchetto di pavimentazione stradale di spessore pari a 15 cm.

Al di sotto del quale si prevede uno strato di supercompattato di 30 cm quando il rilevato è inferiore a 2 m e uno strato di misto cementato di 30 cm quando il rilevato è superiore a 2 m di altezza.

### 6.2 Materiali

Il materiale costituente il corpo del rilevato è caratterizzato da un peso specifico pari a 20 kN/m<sup>3</sup>, un angolo di attrito caratteristico  $\phi'$  pari a 35° e coesione efficace nulla.

Per il misto cementato si considera un angolo di attrito caratteristico  $\phi'$  pari a 35° e coesione efficace pari a 100 kPa.

Unità	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kPa]	$c_u$ [kPa]	$E_{op}$ [MPa]	$\nu$ [-]
Rilevato	19.0	35	0	-	40	0.25

### 6.3 Inquadramento geotecnico

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

Unità	da [m]	a [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\phi'$ [°]	$c'$ [kPa]	$c_u$ [kPa]	$E_{op}$ [MPa]	$\nu$ [-]	k [m/s]
U1b	p.c.	6	19.5	30	7	-	30	0.25	1E-6
U2	6.0	-	19.0	24	24	225	50	0.25	1E-8

La falda è stata assunta a 3 m dal piano campagna.

### 6.4 Carichi di progetto

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

- peso proprio di sottofondo e pavimentazione stradale (spessore totale 35 cm)
- Sovraccarico rappresentativo del traffico stradale.
- Carico da azione sismica.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
<b>Rilevati stradali- Relazione di stabilità e calcolo cedimenti</b>	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 006	REV. A	FOGLIO 18 DI 33

Il peso proprio di sottofondo e pavimentazione stradale è stato assunto pari a:

$$p=20 \cdot 0.35= 7 \text{ kPa}$$

Il sovraccarico da traffico stradale è ipotizzato pari a 20 kPa applicato sulla sommità del rilevato in corrispondenza della sede stradale e quindi a partire da almeno 1.5 m di distanza dal ciglio del rilevato.

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.

## 7 VERIFICHE RILEVATI

Per la valutazione della stabilità e dei cedimenti dei rilevati sono state analizzate le soluzioni tipologiche presenti, ovvero:

- rilevato stradale di altezza inferior a 2 m con scarpate di pendenza 2/3;
- rilevato ferroviario di altezza pari a 6 m con scarpate di pendenza 2/3;
- rilevato ferroviario di altezza superiore a 6 m con scarpate di pendenza 2/3 con presenza di banche.

### 7.1 Analisi di stabilità

#### 7.1.1 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  $\gamma$  e i coefficienti di combinazione  $\Psi$  sono riportati nelle tabelle seguenti.

Coefficiente			EQU <sup>(1)</sup>	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(5)</sup>	1,00 <sup>(6)</sup>	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	$\gamma_{Ced}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole		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		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
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
	$g_{r1}$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
Gruppi di	$g_{r2}$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	-
carico	$g_{r3}$	0,80 <sup>(2)</sup>	0,80 <sup>(1)</sup>	0,0
	$g_{r4}$	1,00	1,00 <sup>(1)</sup>	0,0
Azioni del vento	$F_{wk}$	0,60	0,50	0,0
Azioni da	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	$T_k$	0,60	0,60	0,50

<sup>(1)</sup> 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.

<sup>(2)</sup> Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti  $\psi_0$  relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

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

Per le combinazioni sismiche si considera  $\Psi$  pari a 0.20 per i carichi variabili da traffico.

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.

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(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	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_Y$	$\gamma_Y$	1,0	1,0

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

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	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 <b>NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA</b>				
<b>Rilevati stradali- Relazione di stabilità e calcolo cedimenti</b>	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA DOCUMENTO D 78 RH GE0005 006	REV. A	FOGLIO 21 DI 33

## 7.2 Stima dei cedimenti

### 7.2.1 Metodologia di calcolo

L'analisi di interazione terreno-struttura è stata condotta con un modello FEM 2D utilizzando il programma di calcolo Plaxis 2D. In particolare sono state implementate le seguenti fasi di calcolo:

- Fase 0 - Fase geostatica iniziale;
- Fase 1 – Realizzazione del rilevato ferroviario in 60 giorni (analisi di consolidazione);
- Fase 2 – Fase di consolidazione per 10 anni da fine costruzione (dissipazione delle sovrappressioni interstiziali negli strati di terreno a grana fine).

### 7.2.2 Combinazioni di carico e verifiche

La stima dei cedimenti indotti dai rilevati, richiede una analisi allo stato limite di esercizio in cui deve essere rispettata la condizione:

$$Ed \leq Cd$$

dove Ed è il valore di progetto dell'effetto delle azioni e Cd è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni. I cedimenti stimati devono infatti essere compatibili con la funzionalità dei rilevati in progetto.

In particolare è stato verificato che il cedimento residuo non fosse superiore a 5 cm.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA					
Rilevati stradali- Relazione di stabilità e calcolo cedimenti	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0005 006	REV. A	FOGLIO 22 DI 33

## 8 Rilevato H=2m

### 8.1 Analisi di stabilità

#### 8.1.1 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.

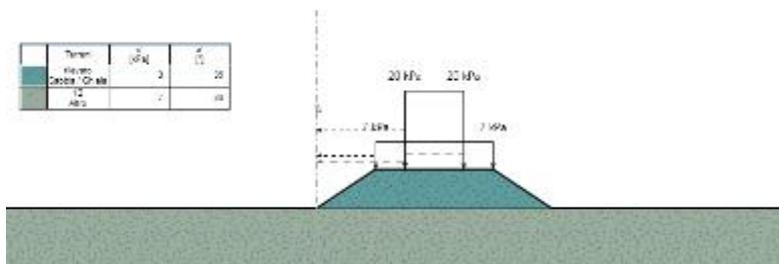


Figura 1: Rilevato H=5m - modello di calcolo stabilità.

Figura 2: Rilevato H=5m – definizione superfici da analizzare.

#### 8.1.2 Risultati delle analisi

A seguire i risultati ottenuti in condizioni statiche e sismiche.

- verifica in condizioni statiche

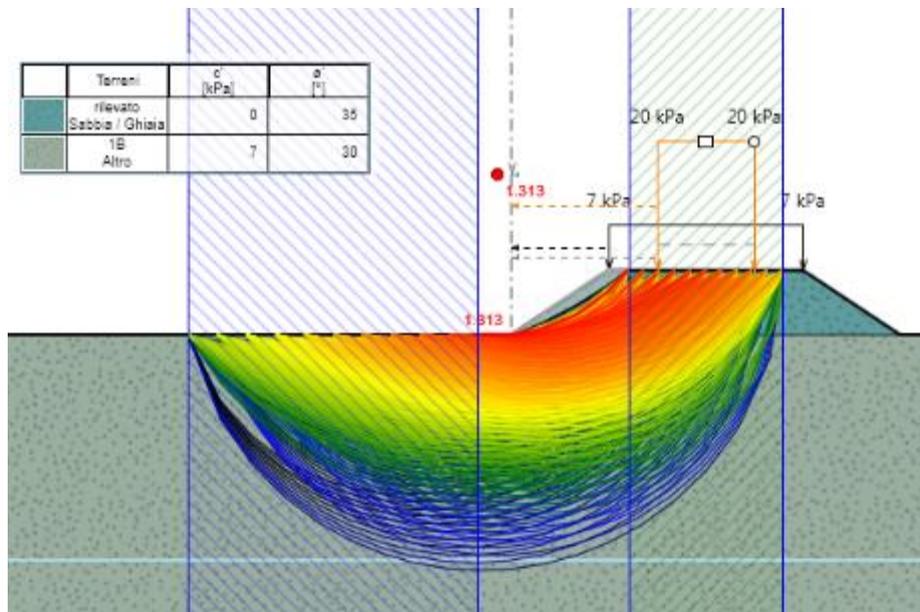


Figura 3: Rilevato H=2m - verifica di stabilità in condizione statica.

- verifica in condizioni sismiche kv+

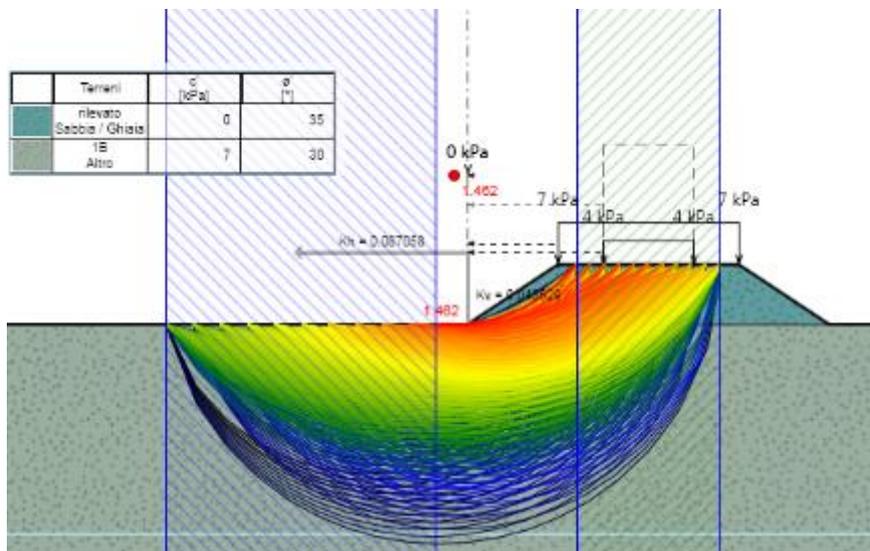


Figura 4: Rilevato H=2m - verifica di stabilità in condizione sisma +.

- verifica in condizioni sismiche kv-

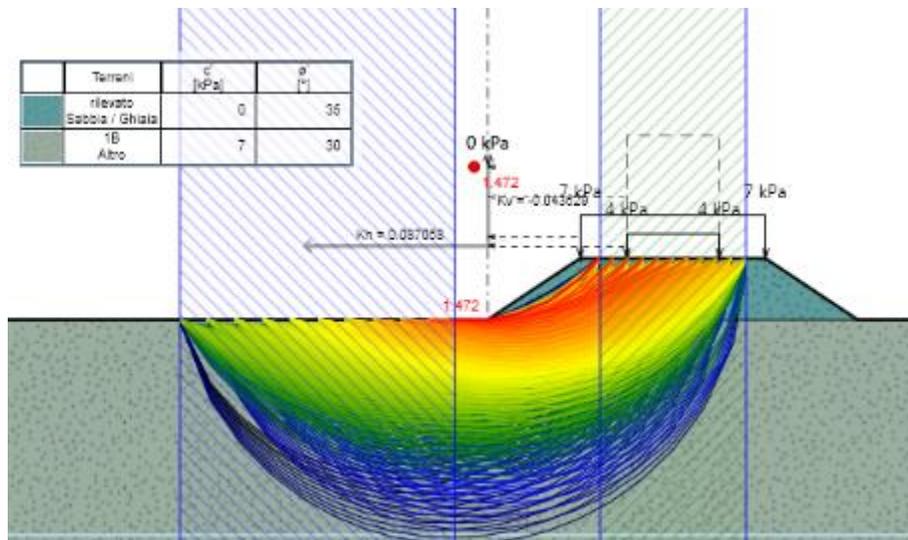


Figura 5: Rilevato H=2m - verifica di stabilità in condizione sisma -.

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

Condizione di calcolo	FS		FS da NTC2018 (γ <sub>R</sub> )
Statica	1.313	≥	1.1
Sismica +	1.462	≥	1.2
Sismica -	1.472	≥	1.2

## 9 Rilevato H=6m

### 9.1 Analisi di stabilità

#### 9.1.1 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.

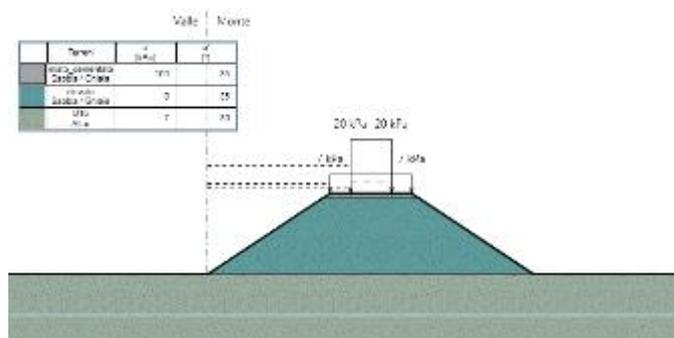


Figura 6: Rilevato H=6m - modello di calcolo stabilità.

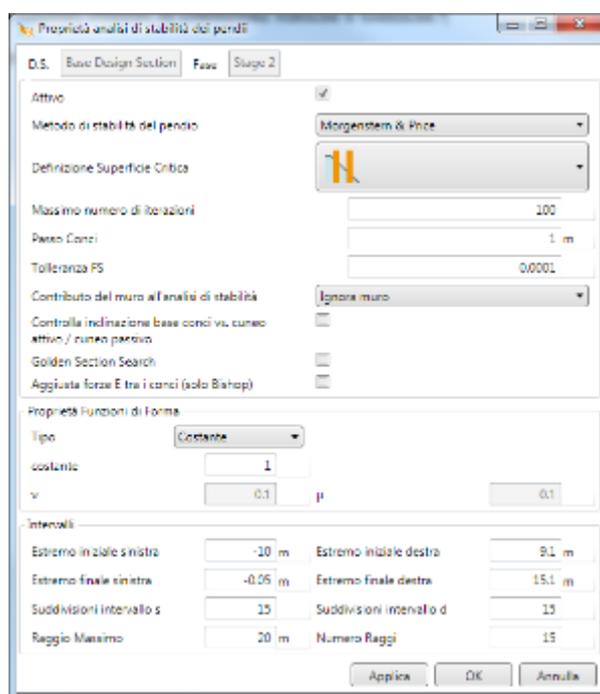


Figura 7: Rilevato H=6m – definizione superfici da analizzare.

#### 9.1.2 Risultati delle analisi

A seguire i risultati ottenuti in condizioni statiche e sismiche.

- verifica in condizioni statiche

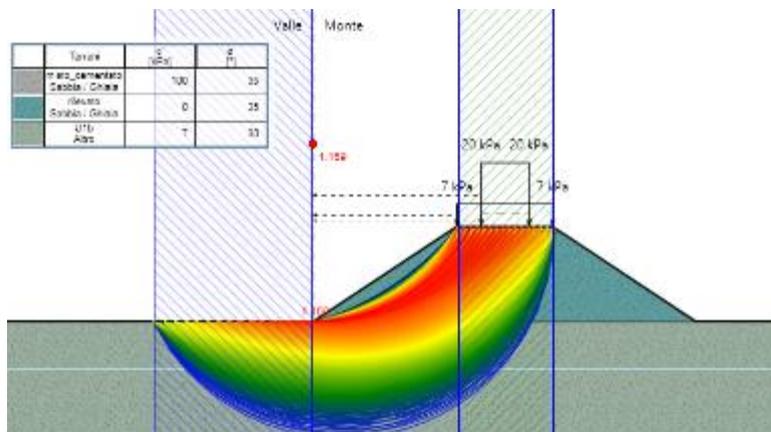


Figura 8: Rilevato  $H=6m$  - verifica di stabilità in condizione statica.

- verifica in condizioni sismiche kv+

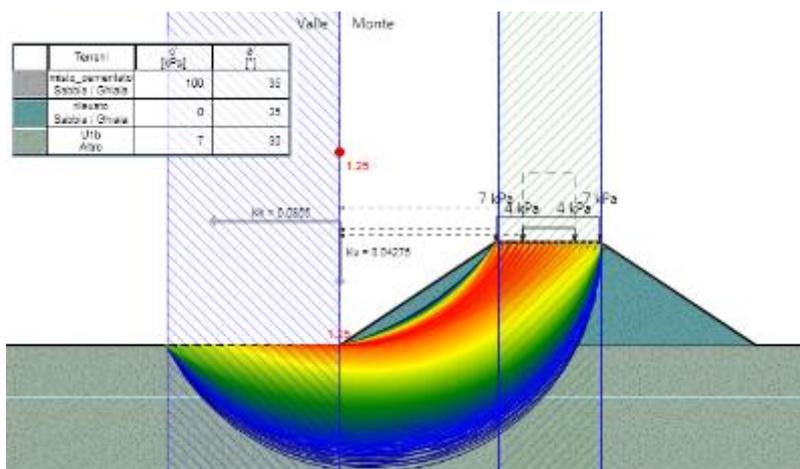


Figura 9: Rilevato  $H=6m$  - verifica di stabilità in condizione sisma +.

- verifica in condizioni sismiche kv-

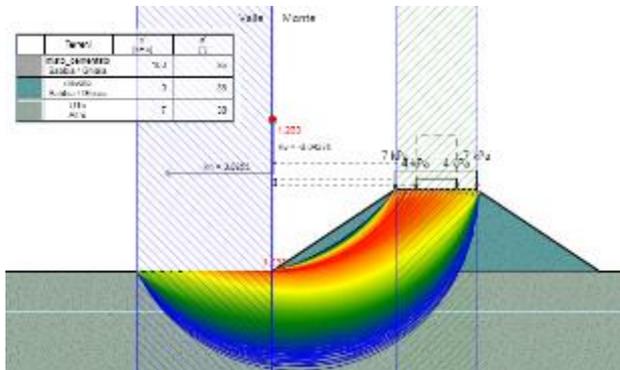


Figura 10: Rilevato H=6m - verifica di stabilità in condizione sisma -.

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

Condizione di calcolo	FS		FS da NTC2018 ( $\gamma_R$ )
Statica	1.159	$\geq$	1.1
Sismica +	1.25	$\geq$	1.2
Sismica -	1.233	$\geq$	1.2

## 10 Rilevato con banca

### 10.1 Analisi di stabilità

#### 10.1.1 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.

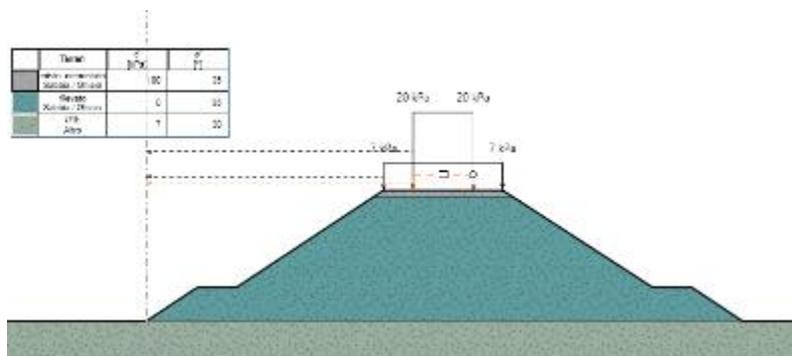


Figura 11: Rilevato H=6.73- modello di calcolo stabilità.

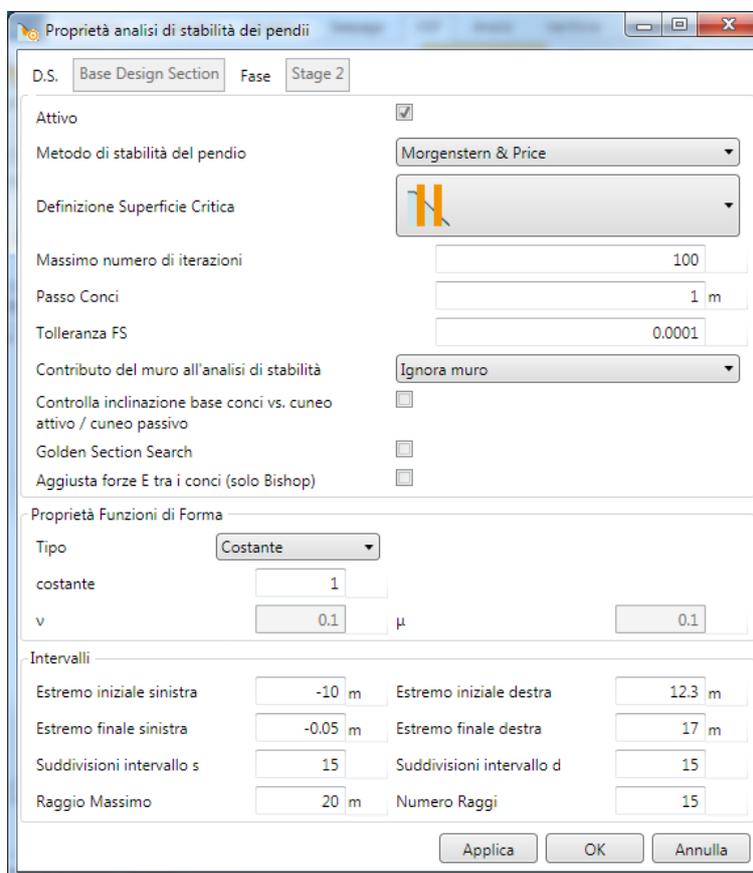


Figura 12: Rilevato H=6.73m – definizione superfici da analizzare.

### 10.1.2 Risultati delle analisi

A seguire i risultati ottenuti in condizioni statiche e sismiche.

- verifica in condizioni statiche

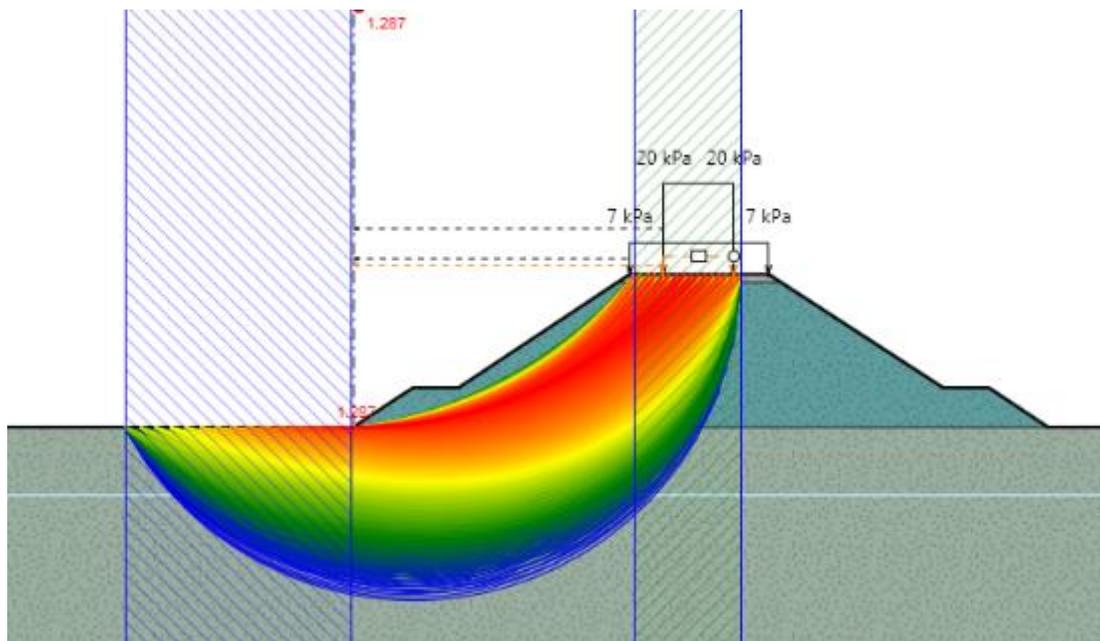


Figura 13: Rilevato  $H=6.73m$ - verifica di stabilità in condizione statica.

- verifica in condizioni sismiche kv+

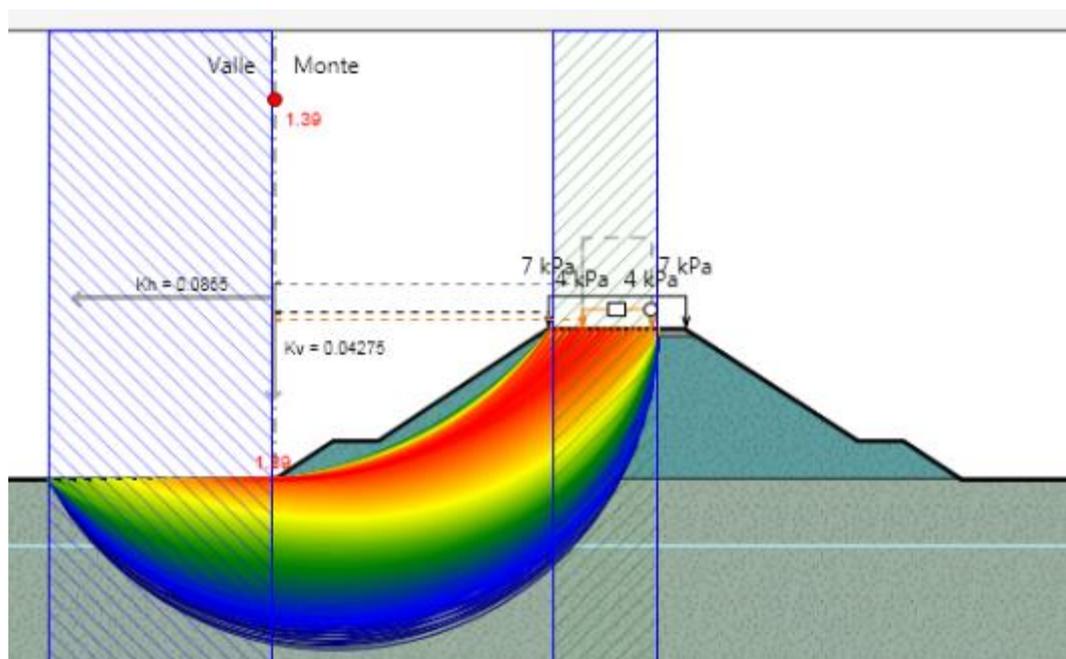


Figura 14: Rilevato  $=6.73m$ - verifica di stabilità in condizione sisma +.

- verifica in condizioni sismiche kv-

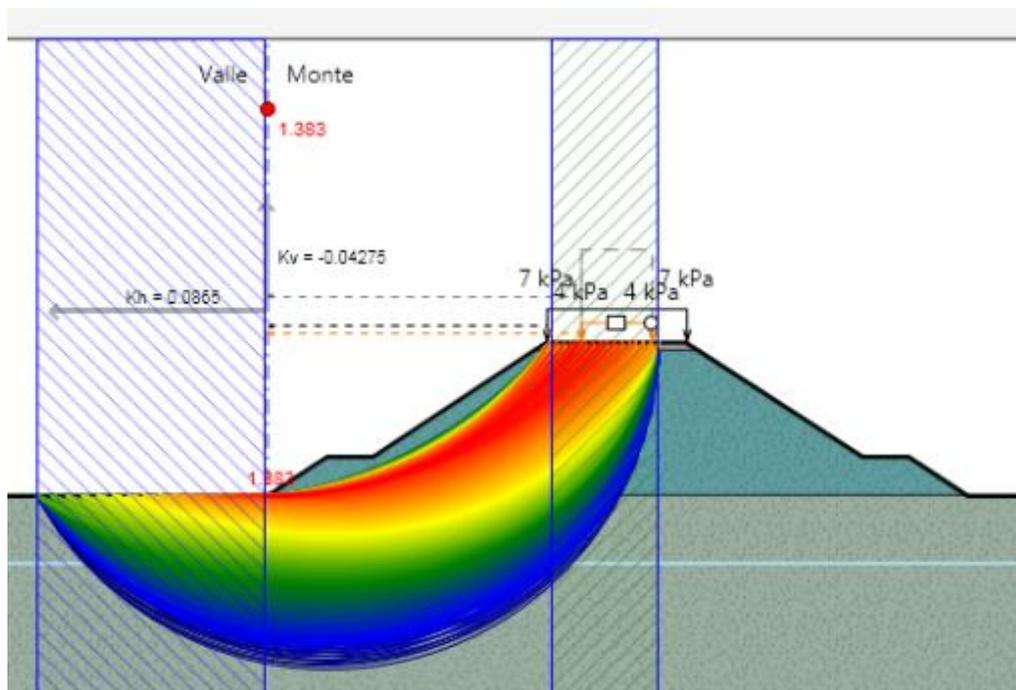


Figura 15: Rilevato =6.73m- verifica di stabilità in condizione sisma -.

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

Condizione di calcolo	FS		FS da NTC2018 ( $\gamma_R$ )
Statica	1.287	$\geq$	1.1
Sismica +	1.39	$\geq$	1.2
Sismica -	1.383	$\geq$	1.2

## 11 Analisi dei cedimenti per il rilevato con banca

L'analisi dei cedimenti è stata svolta a favore di sicurezza per il rilevato di altezza massima con banche pari a 6.73 m.

### 11.1.1 Modello di calcolo

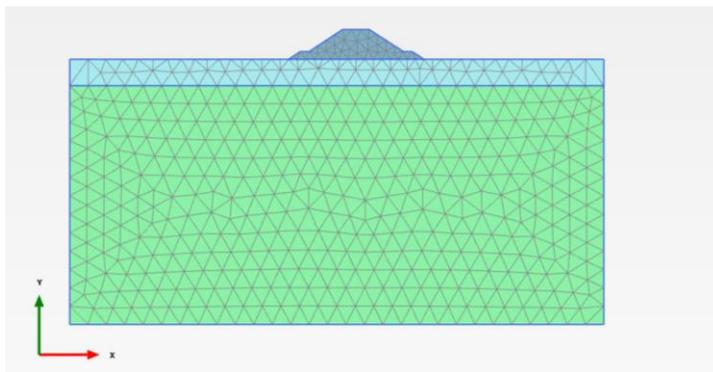


Figura 16: Rilevato  $H=6.73m$  - modello di calcolo cedimenti.

### 11.1.2 Risultati delle analisi

#### 11.1.2.1 Risultati di fase 1

-  $\Delta u$

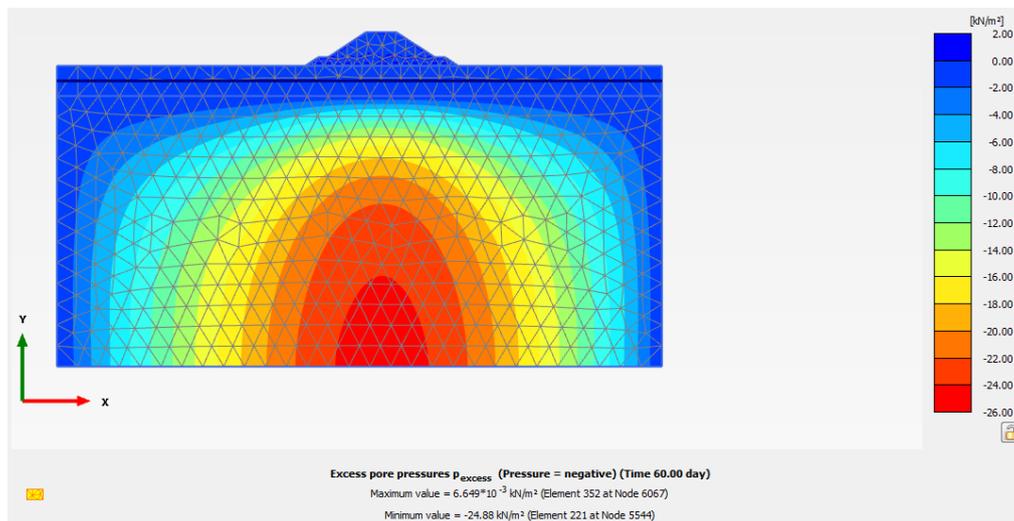


Figura 17: Rilevato  $H=6.73m$  - fase 1:  $\Delta u$ .

- Cedimenti verticali a 60 giorni

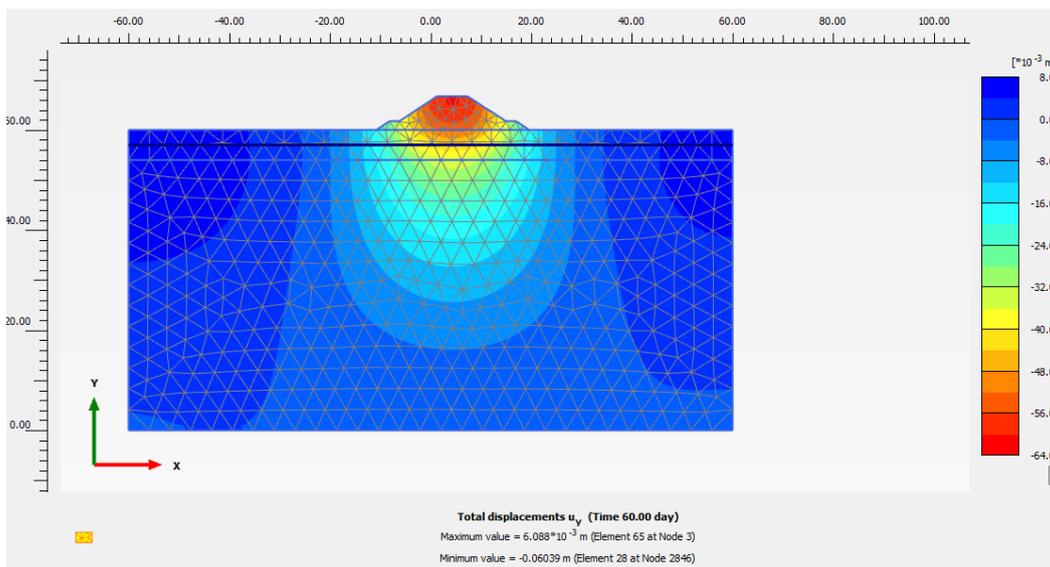


Figura 18: Rilevato  $H=6.73m$  - fase 1: cedimenti verticali.

### 11.1.2.2 Risultati di fase 2

-  $\Delta u$

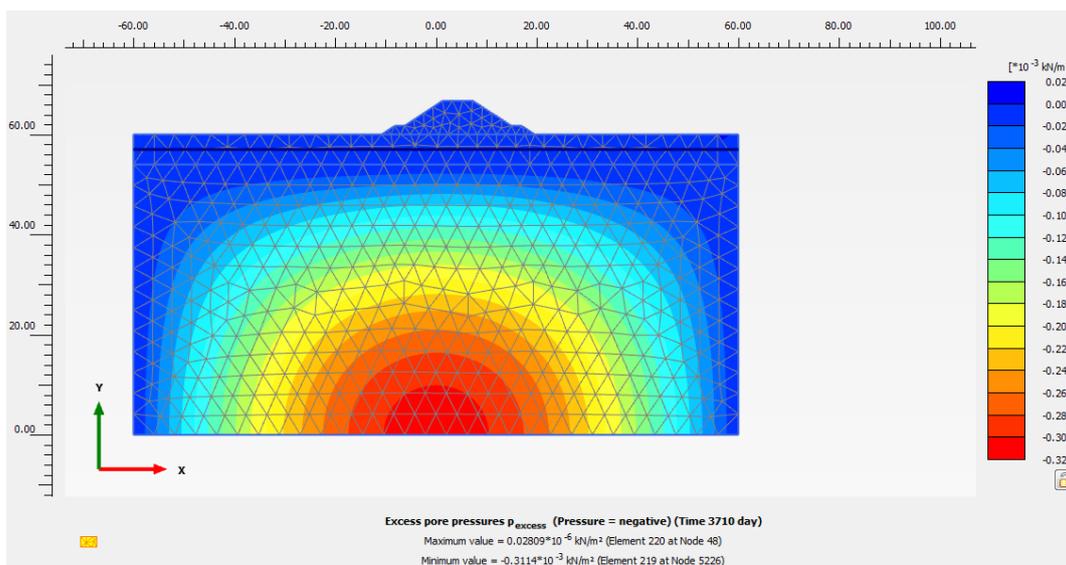


Figura 19: Rilevato  $H=6.73m$  - fase 2:  $\Delta u$ .

- Cedimenti verticali a 10 anni

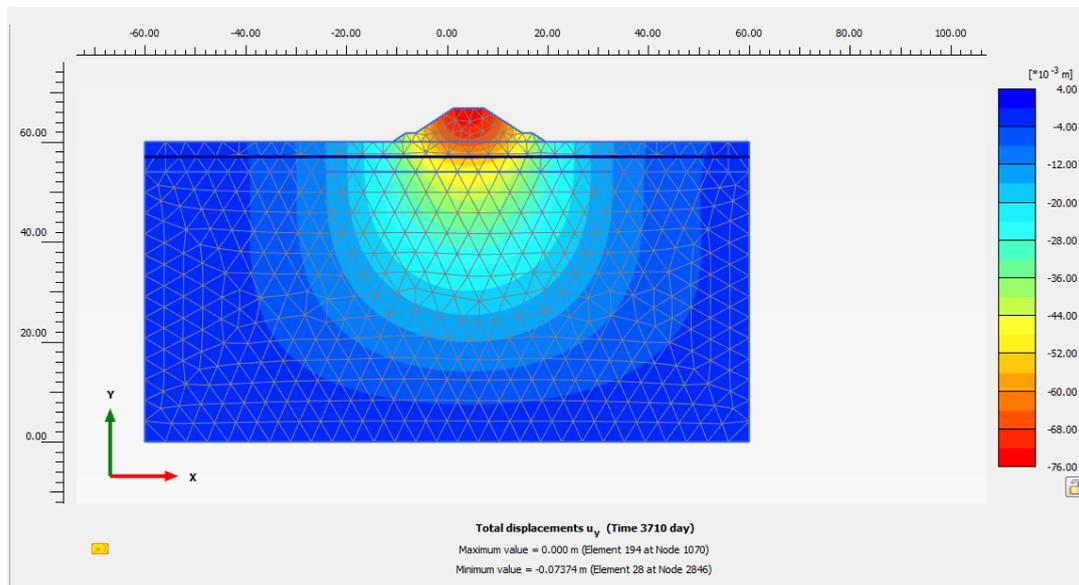


Figura 20: Rilevato  $H=6.73m$  - fase 2: cedimenti verticali.

Il cedimento residuo è pari a 1.3 cm, quindi la verifica risulta soddisfatta.