

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



**LINEA LAMEZIA T. - CATANZARO L.**

**U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA**

**PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**

**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - SETTINGIANO**

**VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

**GEOTECNICA**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE**

SCALA:

-

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

RC0Y 00 R 10 RH GE0006 004 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE DEFINITIVA	L. Giannini	Feb 2020	A. Ciavarella	Feb 2020	S. Vanfiori	Feb 2020	L. Berardi
B	EMISSIONE DEFINITIVA	S. Corti	Mar. 2021	A. Ciavarella	Mar. 2021	D'Amore	Mar. 2021	
C	EMISSIONE ESECUTIVA	S. Paoloni	Sett. 2021	L. Giannini	Sett. 2021	I D'Amore	Sett. 2021	



File: RC0Y00R10RHGE0006004C

n. Elab.: -

## INDICE

<b>1.</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>8</b>
2.1	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO E DI BASE .....	8
2.2	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO .....	9
2.3	SOFTWARE .....	9
<b>3.</b>	<b>CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE.....</b>	<b>11</b>
3.1	CRITERI GENERALI DI VERIFICA .....	11
3.2	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO STATICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI E OPERE DI PRESIDIO.....	12
3.2.1	<i>Stati limite ultimi (SLU)</i> .....	12
3.2.2	<i>Stati limite di esercizio (SLE)</i> .....	14
3.3	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI E OPERE DI PRESIDIO .....	14
3.3.1	<i>Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche</i> .....	14
3.3.2	<i>Stati limite ultimi (SLU)</i> .....	16
3.3.3	<i>Stati limite di esercizio (SLE)</i> .....	16
<b>4.</b>	<b>COEFFICIENTI SISMICI PER LA VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE .....</b>	<b>17</b>
<b>5.</b>	<b>CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA .....</b>	<b>18</b>
5.1	CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI.....	18
5.1.1	<i>Slope/W</i> .....	18
5.1.2	<i>Paratie Plus</i> .....	18
5.1.3	<i>Plaxis 2D</i> .....	18
5.2	METODOLOGIE DI VERIFICA ADOTTATE .....	19
5.2.1	<i>Verifiche di stabilità</i> .....	19
5.2.2	<i>Valutazione dei cedimenti</i> .....	19
<b>6.</b>	<b>CARATTERISTICHE DEL CORPO FERROVIARIO.....</b>	<b>21</b>
6.1	DESCRIZIONE DEI RILEVATI FERROVIARI .....	21

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE**

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RH	DOCUMENTO GE 00 00 004	REV. C	FOGLIO 3 di 78
------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	-------------------

6.2	MATERIALI COSTITUENTI IL RILEVATO .....	21
6.3	CARICHI DI PROGETTO .....	22
<b>7.</b>	<b>SELEZIONE DELLE SEZIONI DI CALCOLO .....</b>	<b>24</b>
<b>8.</b>	<b>SEZIONE DI CALCOLO VARIANTE 5 ALLA PROGRESSIVA 00+700 .....</b>	<b>25</b>
8.1	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO .....	25
8.2	VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE .....	26
8.2.1	<i>Verifiche in condizioni statiche</i> .....	26
8.2.2	<i>Verifiche in condizioni pseudo-statiche</i> .....	27
8.3	VERIFICHE SLE – VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI .....	30
8.3.1	<i>Modelli e fasi di calcolo</i> .....	30
8.3.2	<i>Risultati</i> .....	32
<b>9.</b>	<b>SEZIONE DI CALCOLO VARIANTE 7 ALLA PROGRESSIVA 00+250 .....</b>	<b>39</b>
9.1	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO .....	39
9.2	VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE .....	40
9.2.1	<i>Verifiche in condizioni statiche</i> .....	41
9.2.2	<i>Verifiche in condizioni pseudo-statiche</i> .....	42
9.3	VERIFICHE SLE – VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI .....	45
9.3.1	<i>Modelli e fasi di calcolo</i> .....	45
9.3.2	<i>Risultati</i> .....	47
<b>10.</b>	<b>SEZIONE DI CALCOLO VARIANTE 8.....</b>	<b>56</b>
10.1	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO .....	56
10.2	VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE .....	56
10.2.1	<i>Verifiche in condizioni statiche</i> .....	57
10.2.2	<i>Verifiche in condizioni pseudo-statiche</i> .....	57
<b>11.</b>	<b>SEZIONE DI CALCOLO VARIANTE 9 ALLA PROGRESSIVA 00+300 .....</b>	<b>62</b>
11.1	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO .....	62
11.2	VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE .....	63



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE**

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RH	DOCUMENTO GE 00 00 004	REV. C	FOGLIO 4 di 78
------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	-------------------

11.2.1	Verifiche in condizioni statiche.....	63
11.2.2	Verifiche in condizioni pseudo-statiche.....	64
11.3	VERIFICHE SLE – VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI .....	68
11.3.1	Modelli e fasi di calcolo .....	68
11.3.2	Risultati .....	70

## 1. INTRODUZIONE

Il presente Progetto di Fattibilità Tecnico Economica ha come oggetto la velocizzazione della tratta Lamezia Terme – Settingiano mediante rettifiche di tracciato.

Il collegamento Lamezia Terme – Settingiano ha uno sviluppo complessivo pari a circa 29 km, mentre gli interventi di velocizzazione (oggetto del presente PFTE) sono limitati a tre segmenti compresi tra le progressive chilometriche 10+000 – 13+000, 19+000 - 24+0000 e 27+000 – 29+000 (vedi Figura 1).

Nei suddetti segmenti la velocizzazione della tratta è ottenuta o prevedendo varianti plano-altimetriche di tracciato o per mezzo di sole modifiche della sopraelevazione. Nella tabella seguente è indicato, per ogni tratta di intervento, il nome della variante di progetto e il numero della curva della linea storica (LS) interessata dalla variante:

VELOCIZZAZIONE TRAMITE AUMENTO DELLA SOPRAELEVAZIONE				
Tratta di intervento	Nome intervento	Curva LS	Pk LS inizio - fine	Velocità esistente / velocità di progetto (Km/h)
km 10+000 - 13+000	VARIANTE 10	CURVA 7	10+096 - 10+490	80/90
		CURVA8	10+825 - 11+425	
		CURVA9	11+455 – 11+740	
		CURVA 10	12+137 – 12+843	
VELOCIZZAZIONE TRAMITE VARIANTI DI TRACCIATO				
Tratta di intervento	Nome intervento	Curva compresa nell'intervento	Sviluppo intervento (m)	Velocità esistente / velocità di progetto (Km/h)
Km 19+000-24+000	VARIANTE 5	CURVA 20a e 20b	19+888 - 20+068 / 20+156-20+237	30 / 110-140
	VARIANTE 6	CURVA21	21+922 - 22+201	80 / 140
	VARIANTE 7	CURVE 22, 23 e 24	22+894 - 23+802	80 / 140
Km 27+000-29+000	VARIANTE 8	CURVA 27	27+139 - 27+291	80 / 140
	VARIANTE 9	CURVE 28 e 29		80 / 140

Gli interventi di velocizzazione operati con le modifiche di tracciato di cui alla tabella precedente hanno compreso la valutazione della sicurezza della linea dal punto di vista idraulico, geotecnico e strutturale. Nelle tre tratte di progetto sono previsti infatti sia interventi volti ad assicurare la sicurezza della sede ferroviaria rispetto agli incrementi delle sollecitazioni conseguenti alla velocizzazione o a fenomeni di dissesto presenti, sia ad assicurare la compatibilità della linea con riferimento al rischio idraulico esistente.

Oggetto di studio del presente documento sono le verifiche di sicurezza dei rilevati e delle trincee nelle diverse tratte in progetto.

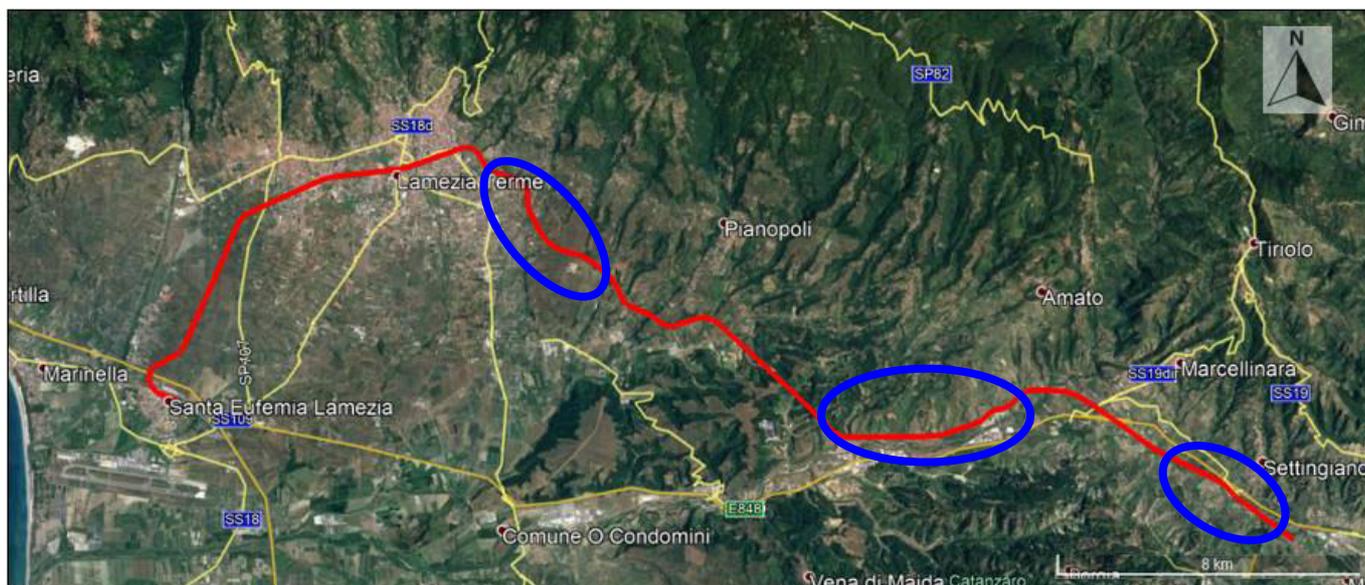


Figura 1: Immagine aerea complessiva tratta ferroviaria Lamezia Terme - Settingiano (in rosso), lungo la quale ricadono le varianti di tracciato in progetto, indicativamente contrassegnate in blu. (Google Earth).

Il documento è così articolato:

- Nel Capitolo 2 si riportano i documenti di riferimento e la normativa citati nel testo.
- Nel Capitolo 3 si descrivono i criteri generali di progettazione in accordo alla Normativa vigente (NTC 2018)
- Nel Capitolo 4 si definisce l'azione sismica di progetto.
- Nel Capitolo 5 si descrivono i codici di calcolo ed i criteri di verifica adottati.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**  
**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO**  
**VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE**  
**FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 10 RH	GE 00 00 004	C	7 di 78

- Nel Capitolo 6 si riporta la descrizione del corpo ferroviario in esame da un punto di vista geometrico, le caratteristiche geotecniche dei materiali costituenti il rilevato e i sovraccarichi presenti.
- Nel Capitolo 7 si definiscono le sezioni caratteristiche prese a riferimento per le verifiche.
- Nei Capitoli da 8 a 11 sono descritte le verifiche condotte e i risultati ottenuti.

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO E DI BASE

Si riporta di seguito l'elenco dei documenti utilizzati per la stesura della presente relazione:

- [1] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme–Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Profilo geotecnico al 5000 (Doc. da RC0Y00R10F5GE0006001A a RC0Y00R10F5GE0006004A)
- [2] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme–Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Profilo geotecnico al 2000 (Doc. da RC0Y00R10F6GE0006001A a RC0Y00R10F6GE0006002A)
- [3] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme–Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Sezioni geotecniche (Doc. da RC0Y00R10WZGE0006001A a RC0Y00R10WZGE0006004A)
- [4] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme–Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Tipologico interventi sui dissesti e sulla piattaforma ferroviaria (Doc. RC0Y00R10PZGE0006001B)
- [5] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme–Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Inquadramento planimetrico e sezioni geotecniche e degli interventi (Doc. da RC0Y00R10PZGE0006002A a RC2Y00R10PZGE0006008A)
- [6] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme–Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Relazione geotecnica generale (Doc. Rif. - RC0Y00R10GEGE0006001B)
- [7] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme–Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Relazione per la valutazione della suscettibilità alla liquefazione (Doc. RC0Y00R10RHGE0006001B)
- [8] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme–Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Relazione descrittiva e di calcolo sui dissesti (Doc. RC0Y00R10RHGE0006002B)

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA          COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO          VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE          FERROVIARIE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RH	DOCUMENTO GE 00 00 004	REV. C

- [9] ITALFERR – Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Collegamento Lamezia Terme–Settingiano. Velocizzazione mediante rettifiche di tracciato – Relazione di predimensionamento fondazioni profonde (Doc. RC0Y00R10RHGE0006003B)

## 2.2 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO

Si riporta di seguito l'elenco delle normative a cui si è fatto riferimento per la stesura della presente relazione:

- [10] 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.
- [11] 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”
- [12] RFI DTC SI MA IFS 001 E del 2021- “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”.
- [13] RFI DTC INC CS LG IFS 001 A del 21.12.2011 – “Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra”.
- [14] RFI DTC SI SP IFS 001 D del 20.12.2019- Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi”– RFI.
- [15] RFI TCAR ST AR 01 001 D “Standard di qualità geometrica del binario e parametri di dinamica di marcia per linee con velocità fino a 300km/h”
- [16] Regolamento (UE) N. 1299/2014 della Commissione del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N° 2019/776 della Commissione del 16 maggio 2019;
- [17] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [18] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

## 2.3 SOFTWARE

- [19] Slope\W – GeoSlope ([www.geo-slope.com](http://www.geo-slope.com))



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 10 RH	GE 00 00 004	C	10 di 78

- [20] PLAXIS B.V.. "Plaxis – Finite Element Code for Soil and Rock Analyses". Plaxis 2D – AE.02. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherland. ([http:// w.plaxis.nl](http://w.plaxis.nl))

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RH	DOCUMENTO GE 00 00 004	REV. C

### 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. [10]):

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

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

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 6.2.1 del Doc. Rif. [10]})$$

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. [10]).

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

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 del Doc. Rif. [10]})$$

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.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RH	DOCUMENTO GE 00 00 004	REV. C	FOGLIO 12 di 78
------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	--------------------

### 3.2 VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO STATICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI E OPERE DI PRESIDIO

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.[10]):

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 (Par. C.6.8.6.2 del Doc. Rif.[11]), calcolata sulla base delle azioni di progetto, dei parametri di progetto e della geometria di progetto ( $R = R \left[ \gamma_F \cdot F_k \cdot \frac{X_k}{\gamma_m} \cdot a_d \right]$ ).

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

Facendo riferimento a quanto previsto al p.to 3.5.2.3.8 del Doc Rif. [12], per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali in Tabella 1 (Tab. 6.2.I del Doc Rif. [10]) e i coefficienti di combinazione  $\psi$  in Tab. 5.2.VI.

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

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

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

*Tabella 1: Coefficienti parziali sulle azioni (Tab. 5.2.V del Doc. Rif.[10])*

In Tabella 1 (Tab. 5.2.V del Doc. Rif. [10]) il significato dei simboli è il seguente:

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

*Tabella 2: Coefficienti parziali sui terreni (M1 ed M2) - (Tab. 6.2.II, del Doc. Rif.[10])*

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	$\gamma_{\gamma}$	1.0	1.0

*Tabella 3: Coefficienti parziali per le verifiche di stabilità globale (R2) - (Tab. 6.8.I, Doc. Rif. [10])*

<b>Coefficiente parziale</b>	<b>(R2)</b>
$\gamma_R$	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. [10]), 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.

Nello specifico, come riportato nei Doc. Rif. [12], RFI stabilisce un valore soglia degli spostamenti residui attesi, corrispondenti ad uno Stato Limite di Esercizio ( $s_{SLE}$ ), pari a 5 cm.

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 E OPERE DI PRESIDIO

### 3.3.1 Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche

Le NTC 2018 (Doc. Rif. [10]) 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. [10]:

- **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.

La Tabella 4 riporta, in funzione della classe d'uso della struttura, lo stato limite da considerare in funzione della verifica di sicurezza appropriata per l'opera (Tabella C7.3.I del Doc. Rif.[11]).

Tabella 4: Verifiche di sicurezza in funzione della Classe d'uso (Tab. C7.3.I, Doc. Rif.[11])

Stato Limite	Prestazione da verificare	Classe d'uso		
		I	II	III IV
SLO	Limitazione del danno degli elementi non strutturali o delle pareti delle costruzioni in muratura			X
	Funzionamento degli impianti			X
SLD	Controllo del danno degli elementi strutturali			X
	Controllo del danno degli elementi non strutturali o delle pareti delle costruzioni in muratura	X	X	
SLV	Livello di danno degli elementi strutturali coerente con il fattore di comportamento adottato, assenza di rotture fragili e meccanismi locali/globali instabili	X	X	X
	Assenza di crolli degli elementi non strutturali pericolosi per l'incolumità, pur in presenza di danni diffusi		X	X
	Capacità ultima degli impianti e dei collegamenti		X	X
SLC	Margine di sicurezza sufficiente per azioni verticali ed esiguo per azioni orizzontali		X	X
	Capacità di spostamento dei dispositivi nelle costruzioni con isolamento sismico		X	X

Con riferimento all'opera in oggetto, e considerando quanto riportato al punto C7.1 del Doc. Rif.[11], le verifiche geotecniche in presenza di un evento sismico richiedono la verifica allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (**SLV**), cui corrisponde una probabilità di superamento  $P_{vr} = 10\%$  nel periodo  $V_r$ .

La suddetta probabilità, valutata nel periodo di riferimento  $V_r$  per l'azione sismica, consente di determinare, per lo stato limite in oggetto, il tempo di ritorno del terremoto di progetto corrispondente.

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA          COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO          VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>						
<b>RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE          FERROVIARIE</b>	<table border="0"> <tr> <td>COMMESSA RC0Y</td> <td>LOTTO 00</td> <td>CODIFICA R 10 RH</td> <td>DOCUMENTO GE 00 00 004</td> <td>REV. C</td> <td>FOGLIO 16 di 78</td> </tr> </table>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RH	DOCUMENTO GE 00 00 004	REV. C	FOGLIO 16 di 78
COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RH	DOCUMENTO GE 00 00 004	REV. C	FOGLIO 16 di 78		

### 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 (vedasi Doc. Rif. [10]). Per l'opera 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 almeno le medesime verifiche definite in campo statico. In particolare, la stabilità globale in condizioni sismiche delle opere in materiali sciolti, quali rilevati, 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. Rif. [10]).

Come riportato al Par. 7.11.4 del Doc. Rif. [10] 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 come definito nelle istruzioni per l'applicazione delle NTC2018. Per l'opera in oggetto, le verifiche agli Stati Limite di Esercizio verranno condotte con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (**SLV**).

#### 4. COEFFICIENTI SISMICI PER LA VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

Come descritto al Par. C7.11.4 del Doc. Rif. [11] , la verifica di stabilità globale va condotta mediante il metodo di analisi definito al Par. 7.11.3.5 del Doc. Rif.[10], inerente alla stabilità dei pendii.

Sulla base di quanto definito al Par.7.11.3.5.2 del Doc. Rif.[10], in mancanza di studi specifici, i coefficienti sismici  $k_h$  (orizzontale) e  $k_v$  (verticale) sono definiti come:

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

$$k_v = \pm k_h / 2$$

essendo:

$a_{\max}$  = azione sismica di progetto definita nella Relazione geotecnica (Doc. Rif. [6]).

$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

Come chiarito al Par. 7.11.4 del Doc. Rif. [10] il valore del coefficiente  $\beta_s$  da assumere è pari a 0.38 per verifiche allo SLV su fronti di scavo o rilevati, come nel caso in oggetto. Per le paratie di presidio, esse vengono trattate cautelativamente come opere di sostegno, quindi il coefficiente invece dipende dalla lunghezza totale della paratia come specificato al Par. 7.11.6 del Doc. Rif. [10].

In accordo alle espressioni di cui sopra, si ottengono i seguenti coefficienti per la verifica di stabilità globale allo SLV (Tabella 5). In generale, per le opere si farà riferimento al valore massimo pari a 0.396.

Tabella 5: Valori dei coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale

Aree	$a_{\max}$ (g)	$k_h$	$k_v$
Var.5, Var.7, Var.9	0.396	0.150	$\pm 0.075$
Var.10s	0.350	0.133	$\pm 0.066$



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RH	DOCUMENTO GE 00 00 004	REV. C	FOGLIO 18 di 78
------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	--------------------

## 5. CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA

### 5.1 CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI

#### 5.1.1 *Slope/W*

Slope/W è un codice di calcolo dedicato allo studio della stabilità dei pendii che permette di calcolare il fattore di sicurezza dei pendii in terreno e in roccia.

Il codice Slope/W utilizza il metodo dell'equilibrio limite e permette di prendere in considerazione superfici di scorrimento definite in diversi modi, condizioni stratigrafiche e idrostratigrafiche complesse mediante l'utilizzo di diversi modelli costitutivi per i materiali e condizioni di pressioni neutre variabili. Sono inoltre utilizzabili diversi metodi di analisi e possono essere applicate condizioni di carico di vario tipo.

La versione del software adottata per le verifiche condotte nel presente documento è Slope/W – GeoSlope ver. 7.17 - GEOSTUDIO 2007.

#### 5.1.2 *Paratie Plus*

Paratie Plus è un codice di calcolo ad elementi finiti specifico per opere di sostegno, dove il terreno è schematizzato mediante molle equivalenti e il modello ad elementi finiti riguarda la sola "struttura".

Il codice di calcolo permette di stimare le sollecitazioni nell'opera di sostegno, nonché la sua deformata, quando questa viene sollecitata da un certo regime di spinta.

La versione del software adottata per le verifiche condotte nel presente documento è la Paratie Plus ver 20.0.

#### 5.1.3 *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.

È 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).



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RH	DOCUMENTO GE 00 00 004	REV. C	FOGLIO 19 di 78
------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	--------------------

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.

## 5.2 METODOLOGIE DI VERIFICA ADOTTATE

### 5.2.1 Verifiche di stabilità

L'esame delle condizioni di stabilità dei rilevati 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:

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

Il codice Slope/W è stato utilizzato nel presente documento per condurre le analisi di stabilità sia in campo statico che in campo sismico (adottando il metodo pseudo-statico) costituenti le verifiche SLU richieste dalla Normativa per le opere in terreni sciolti.

Nelle analisi sono state escluse, perché considerate non significative, le superfici di rottura corticali (con profondità minori di 1m ca.), o interne al rilevato ferroviario. 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, né il pacchetto di sovrastruttura ferroviaria che contribuisce anch'esso ad incrementare la resistenza allo scivolamento nella porzione di meccanismo che attraversa tali materiali.

### 5.2.2 Valutazione dei cedimenti

Il codice Plaxis 2D è stato utilizzato nel presente documento per condurre le analisi di spostamento in campo statico costituenti le verifiche SLE richieste dalla Normativa per le opere in terreni sciolti.

Il calcolo dei cedimenti attraverso il codice Plaxis 2D è stato condotto utilizzando un modello costitutivo implementato nel codice di calcolo di tipo elasto-plastico con criterio di rottura alla Mohr-Coulomb per i terreni naturali e un modello elastico per il materiale costituente il rilevato.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**  
**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO**  
**VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE**  
**FERROVIARIE**

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RH	DOCUMENTO GE 00 00 004	REV. C	FOGLIO 20 di 78
------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	--------------------

Attraverso questo calcolo è stato possibile ripercorrere la storia tenso-deformativa del sistema rilevato esistente-terreno di fondazione e valutare lo sviluppo nel tempo dei cedimenti di consolidazione primaria dovuti alla costruzione dei nuovi rilevati e alla successiva applicazione dei sovraccarichi dovuti al traffico ferroviario.

I parametri adottati nel calcolo sono quelli riportati al paragrafo relativo.

Le condizioni al contorno idrauliche per i modelli di calcolo adottati per tutte le analisi prevedono che i limiti del modello siano drenanti lungo i bordi verticali e impermeabili lungo la base.

Le condizioni al contorno meccaniche invece prevedono spostamenti orizzontali impediti ai bordi verticali e spostamenti verticali impediti alla base.

## 6. CARATTERISTICHE DEL CORPO FERROVIARIO

### 6.1 DESCRIZIONE DEI RILEVATI FERROVIARI

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.

In particolare, i rilevati sono previsti con pendenza 3H:2V e con la realizzazione di una banca intermedia, di larghezza pari a 2m, dove l'altezza dei rilevati supera i 6m misurati a partire dal ciglio superiore del rilevato.

Al di sotto del rilevato è stato previsto uno scotico per uno spessore pari a 0.5 m. Per le scarpate è stata ipotizzata una finitura a verde.

Il rilevato è finito in sommità con la realizzazione di uno strato di super compattato di spessore pari a 30 cm, al di sopra del quale verrà realizzato uno strato di Sub-ballast di spessore pari a 12 cm. Una volta completato il corpo del rilevato si posizioneranno ballast, traversine ed armamento ferroviario.

### 6.2 MATERIALI COSTITUENTI IL RILEVATO

Il materiale costituente il corpo del rilevato sarà materiale a grana grossa con i valori minimi dei parametri caratteristici riportati in Tabella 6.

L'inerbimento superficiale delle scarpate non è stato considerato nelle analisi.

Tabella 6: Parametri geotecnici di calcolo – materiali costituenti il rilevato

STRATO	Spessore	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		Modulo di Young operativo	Permeabilità
	[m]	$\gamma_d$	$\phi'_k$	$\phi'_d$ M2	$c'_k$	$c'_d$ M2	$E_{op.}$	$k$
		[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]
<b>RILEVATO</b>	Variabile	20	38	32	0	0	40	1x10 <sup>-5</sup>
<b>RILEVATO ESISTENTE *</b>	Variabile	20	33	27.5	0	0	40	1x10 <sup>-5</sup>

\* I parametri saranno comunque oggetto di valutazione caso per caso

### 6.3 CARICHI DI PROGETTO

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

- Carico rappresentativo del pacchetto di armamento ferroviario (ballast, traversine, rotaie).
- Sovraccarico rappresentativo del traffico ferroviario.
- Carico da azione sismica.

L'armamento ferroviario 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 18.00 kN/m<sup>3</sup>. Il carico è stato applicato sulla sommità del rilevato per una larghezza complessiva di circa 5.5 m.

Tale carico è di tipo permanente sfavorevole, pertanto, in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2 riportato in Tabella 1, il valore di calcolo è stato assunto pari a:

$$q_d = q_k \times \gamma_{Gi [A2]} = 14.4 \text{ kPa} \times 1.3 = 18.7 \text{ kPa}.$$

In condizioni sismiche, il carico rappresentativo dell'armamento ferroviario è stato inserito nei calcoli col proprio valore caratteristico in accordo a quanto specificato dalle NTC 2018 (vedasi Par.7.11.1 del Doc. Rif. [10]) che indicano per le analisi in condizioni sismiche di porre tutti pari ad uno i coefficienti parziali sulle azioni. Pertanto:

$$q_d = q_k = 14.4 \text{ kPa}.$$

Il sovraccarico da traffico ferroviario è stato valutato in accordo a quanto riportato nel Doc. Rif. [12] per quanto riguarda il traffico normale (modello di carico LM71). In base a quanto indicato nella specifica di riferimento si è definita la pressione equivalente secondo le seguenti considerazioni:

- il carico dato dal treno LM71 risulta essere pari a carichi puntuali di intensità 250 kN con interasse 1.6m;
- il rispettivo carico distribuito è pari a 156.25 kN/m;
- per riportare il carico ferroviario dalla traversina, di larghezza pari a 2.4 m, al piano al di sotto dell'armamento si è considerata una diffusione con pendenza 45°. Pertanto, la pressione equivalente è stata valutata come applicata su una fascia di larghezza pari a 3.1 m, centrata in corrispondenza dell'asse della linea ferroviaria (ossia  $156.25/3.1 = 50.4 \text{ kPa}$ ).



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RH	DOCUMENTO GE 00 00 004	REV. C	FOGLIO 23 di 78
------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	--------------------

In particolare, la pressione è stata assunta pertanto pari a 50.4 kPa, da amplificarsi, sempre in base a quanto indicato dal Doc. Rif. [12], con un coefficiente  $\alpha$  pari a 1.1 nel caso di modello di carico LM71. Pertanto, il valore di pressione risultante è pari a 55.4 kPa.

Il carico da traffico ferroviario ( $q$ ), assunto pari a 55.4 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è di tipo variabile/sfavorevole, pertanto, in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2 riportato in Tabella 1, il valore di calcolo è stato assunto pari a:

$$q_d = q_k \times \gamma_{Q1[A2]} = 55.4 \text{ kPa} \times 1.3 = 72.1 \text{ kPa}.$$

In condizioni sismiche, il carico da traffico ferroviario ( $q$ ) è stato moltiplicato per un coefficiente  $\psi=0.2$  in accordo a Doc. Rif. [10] e modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è stato inserito nei calcoli col proprio valore caratteristico in accordo a quanto specificato dalle NTC 2018 (vedasi Par.7.11.1 del Doc. Rif. [10]) che indicano per le analisi in condizioni sismiche di porre tutti pari ad uno i coefficienti parziali sulle azioni. Pertanto:

$$q_d = 0.2q_k = 11.1 \text{ kPa}.$$

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

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



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RH	DOCUMENTO GE 00 00 004	REV. C	FOGLIO 24 di 78
------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	--------------------

## 7. SELEZIONE DELLE SEZIONI DI CALCOLO

Oggetto della presente relazione sono i rilevati e le trincee lungo le varianti nella tratta Lamezia Terme – Settingiano, nonché tutte le zone con indicazione di problematiche di vario genere sul tracciato attuale.

Sono state selezionate le seguenti sezioni significative ai fini delle verifiche:

- Variante 5, km 00+700, rilevato con muro (H=6.0m);
- Variante 7, km 00+250, rilevato con muro (H=5.0m);
- Variante 8, km 27+000 circa, trincea H 3 m;
- Variante 9, km 00+300, rilevato in affiancamento alla linea esistente;

Per le sezioni sopra selezionate sono state svolte le verifiche di stabilità globale e verifiche dei cedimenti oltre che la stima delle sollecitazioni nelle varie opere come necessario.

Nel seguito sono riportate le verifiche relative alle sezioni individuate per la quale è stata definita la stratigrafia di riferimento ed i relativi parametri geotecnici di progetto, per la cui definizione si rimanda alla Relazione Geotecnica (Doc. Rif. [6]).

## 8. SEZIONE DI CALCOLO VARIANTE 5 ALLA PROGRESSIVA 00+700

### 8.1 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica (Doc. Rif.[6]) e sulla base di quanto descritto nel Cap. 3, nella Tabella 7 e Tabella 8 sono riportati la stratigrafia ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto, fattorizzati utilizzando i coefficienti M2 contenuti nella Tabella 2 della presente relazione.

Si rimanda invece alla Tabella 6 per i valori dei parametri geotecnici relativi ai materiali antropici utilizzati per il corpo del rilevato e per lo strato di scotico (50 cm al di sotto del rilevato).

Si ricorda che, come definito al Cap. 7 del Doc. Rif. [4], le verifiche geotecniche SLU di stabilità globale dei rilevati, in campo statico, richiedono l'adozione della sola Combinazione 2 dell'Approccio 1 e pertanto l'applicazione dei soli coefficienti parziali M2, mentre per le verifiche sismiche e per le verifiche SLE, finalizzate alla determinazione dei cedimenti, sono richiesti i parametri caratteristici.

Tabella 7: Stratigrafia di calcolo per la variante 5 sezione 00+700

Strato	Profondità da [m da p.c.]	Profondità a [m da p.c.]	Descrizione
GS	0.0	14.0	Depositi alluvionali
A	14.0	40.0	Argille plioceniche

Tabella 8: Parametri geotecnici di calcolo per la variante 5 sezione 00+700– Materiali in sito

STRATO	Descrizione strato	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		Resistenza al taglio non drenata		Modulo di Young operativo	Permeabilità	Indice di consolidazione secondaria
		$\gamma_d$	$\phi'_k$	$\phi'_d$	$c'_k$	$c'_d$	$c_u$	$c_u$	$E_{op.}$	$k$	$C_{\alpha\beta}$
		[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]	-
GS	Depositi alluvionali	20	33.0	27	0	0	-	-	25	1.0E-05	-
A	Argille plioceniche	20	24.0	19	10	8	120	86	20	5.0E-09	0.0015

La falda di progetto è stata assunta nei calcoli ad una quota di circa 4.0 m dal piano campagna originario.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RH	DOCUMENTO GE 00 00 004	REV. C	FOGLIO 26 di 78
------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	--------------------

## 8.2 VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE

Le verifiche SLU della stabilità globale del rilevato (sia in condizioni statiche che sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo Slope/W (Doc. Rif. [19]). Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento rispettivamente ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico e ai valori caratteristici per le analisi sismiche. Tali coefficienti sono contenuti nella Tabella 1 e nella Tabella 2 della presente relazione.

Come da NTC 2018 (Doc. Rif. [10]), la verifica SLU di stabilità globale è soddisfatta se la relazione:

$$FS \geq R2 = 1.1$$

è verificata in condizioni statiche e la relazione:

$$FS \geq R2 = 1.2$$

È verificata in condizioni sismiche.

Il coefficiente R2 è contenuto nella Tabella 3 della presente relazione.

### 8.2.1 Verifiche in condizioni statiche

L'analisi di stabilità globale in campo statico è stata condotta in accordo alla combinazione DA1C2 assumendo i parametri geotecnici M2 di cui in [10] in Tabella 8 e Tabella 6 rispettivamente per i materiali in sito e per i materiali antropici.

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura tali da intercettare il carico ferroviario. Tra esse, è definita critica quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo.

Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

In Figura 2, sono riportate tutte le superfici di rottura per la combinazione DA1C2; il fattore di sicurezza FS relativo a tali meccanismi, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS^{\text{MIN}} (\text{DA1C2}) = 1.240$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS^{\text{MIN}} \geq R2 = 1.1,$$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RH	DOCUMENTO GE 00 00 004	REV. C	FOGLIO 27 di 78
------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	--------------------

### 8.2.2 Verifiche in condizioni pseudo-statiche

L'analisi di stabilità globale in campo sismico è stata condotta assumendo i parametri geotecnici caratteristici di cui in Tabella 8 e Tabella 6 rispettivamente per i materiali in sito e per i materiali antropici.

In accordo a quanto riportato al punto 4, la forza sismica è stata modellata tramite i coefficienti sismici:

$$K_H = + 0.150 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.075 \quad (\text{verificando la più cautelativa tra negativo e positivo})$$

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura tali da intercettare il carico ferroviario. Tra esse, è definita "critica", quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo.

In Figura 3 è riportata la superficie di rottura critica; il fattore di sicurezza FS relativo a tale meccanismo, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS^{\text{MIN}} = 1.220$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS^{\text{MIN}} \geq R_2 = 1.2,$$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**  
**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO**  
**VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE**  
**FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 10 RH	GE 00 00 004	C	28 di 78

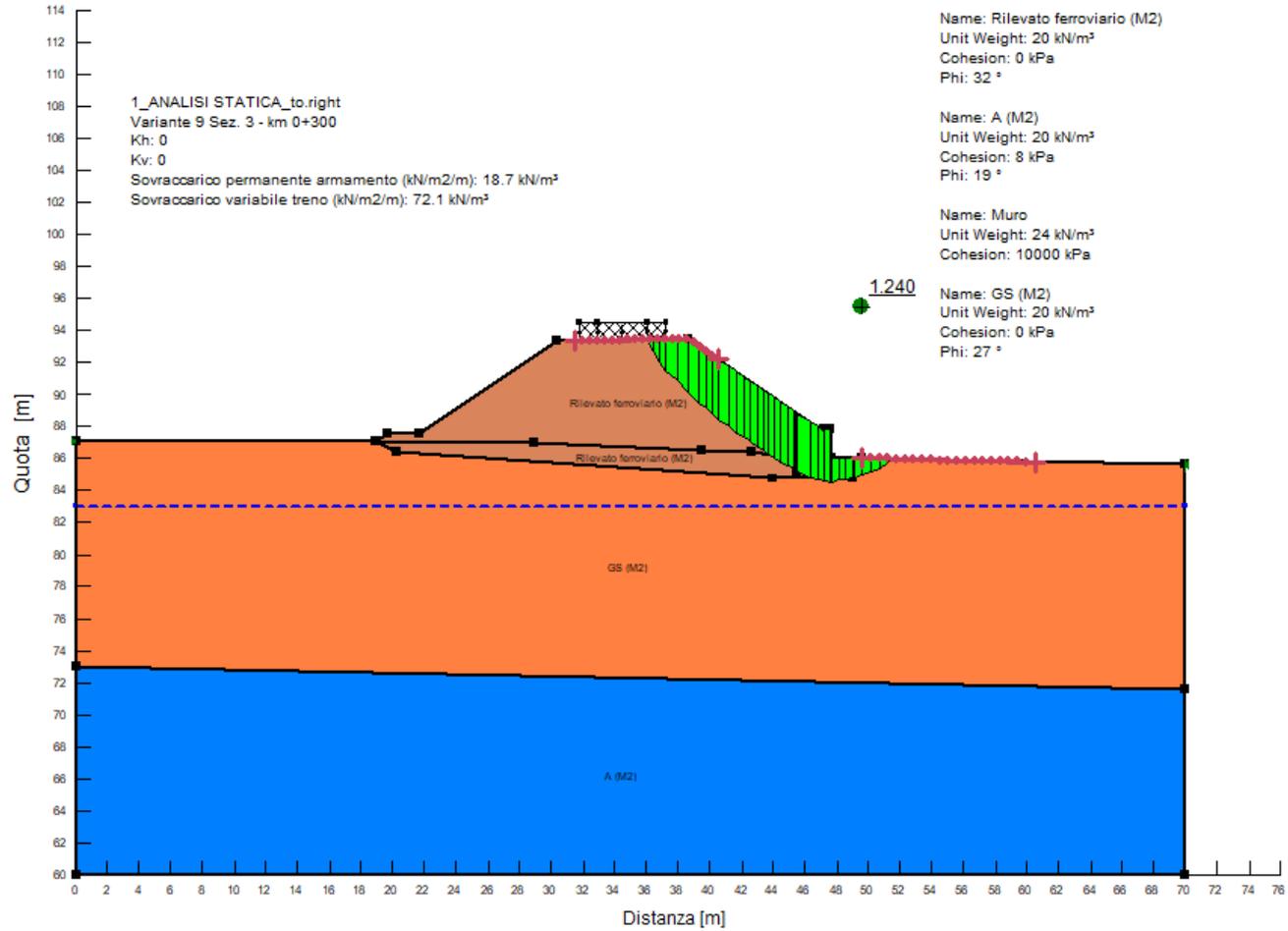


Figura 2: Variante 5 Sez. 00+700- Analisi di stabilità globale in campo statico DA1C2



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**  
**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO**  
**VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE**  
**FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 10 RH	GE 00 00 004	C	29 di 78

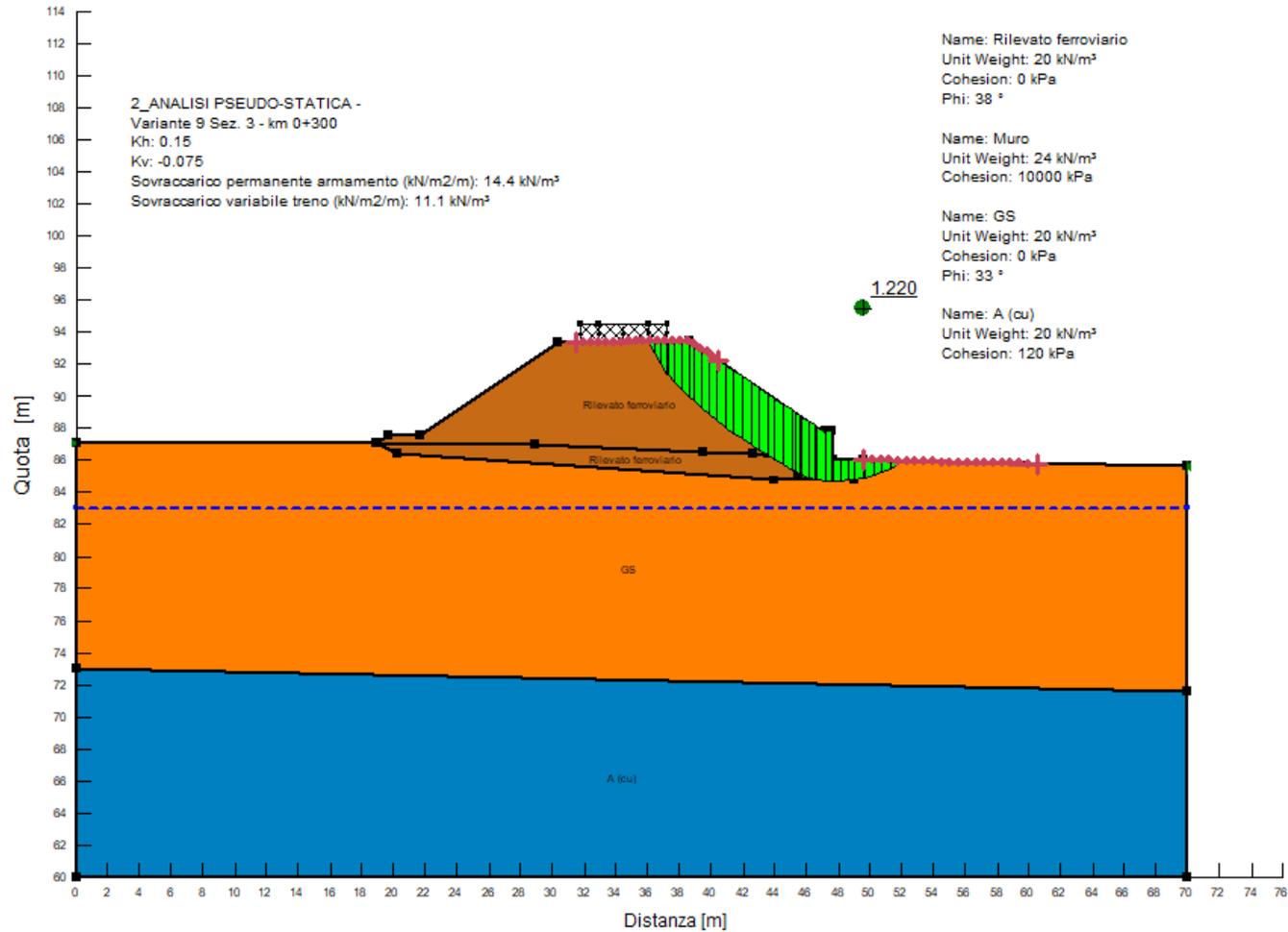


Figura 3: Variante 5 Sez. 00+700 - Analisi di stabilità globale in campo sismico



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 10 RH	DOCUMENTO GE 00 00 004	REV. C	FOGLIO 30 di 78
------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	--------------------

### 8.3 VERIFICHE SLE – VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI

#### 8.3.1 Modelli e fasi di calcolo

Il modello utilizzato per queste analisi è mostrato nella Figura 4 e rappresenta il rilevato di progetto alla progressiva 00+700. L'altezza del rilevato in oggetto è pari a circa 6.0 metri escluso il pacchetto di armamento ferroviario (ballast, traversine e rotaie, non rappresentati nel modello ma convertiti in sovraccarico; il carico variabile del treno invece non è considerato).

La stratigrafia di calcolo utilizzata è riportata in Tabella 7 utilizzando i parametri caratteristici riportati in Tabella 8.

Si tratta di modelli bi-dimensionali in cui è mostrato il rilevato in sezione, con la propria geometria ed il sovraccarico da armamento ferroviario.

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti:

- Generazione dello stato tensionale iniziale con piano campagna attuale;
- Costruzione del rilevato (durata 9 mesi);
- Consolidazione del terreno di fondazione nel corso dell'esercizio della linea ferroviaria (durata 20 anni);

I risultati ottenuti sono mostrati e commentati al successivo punto 8.3.2.

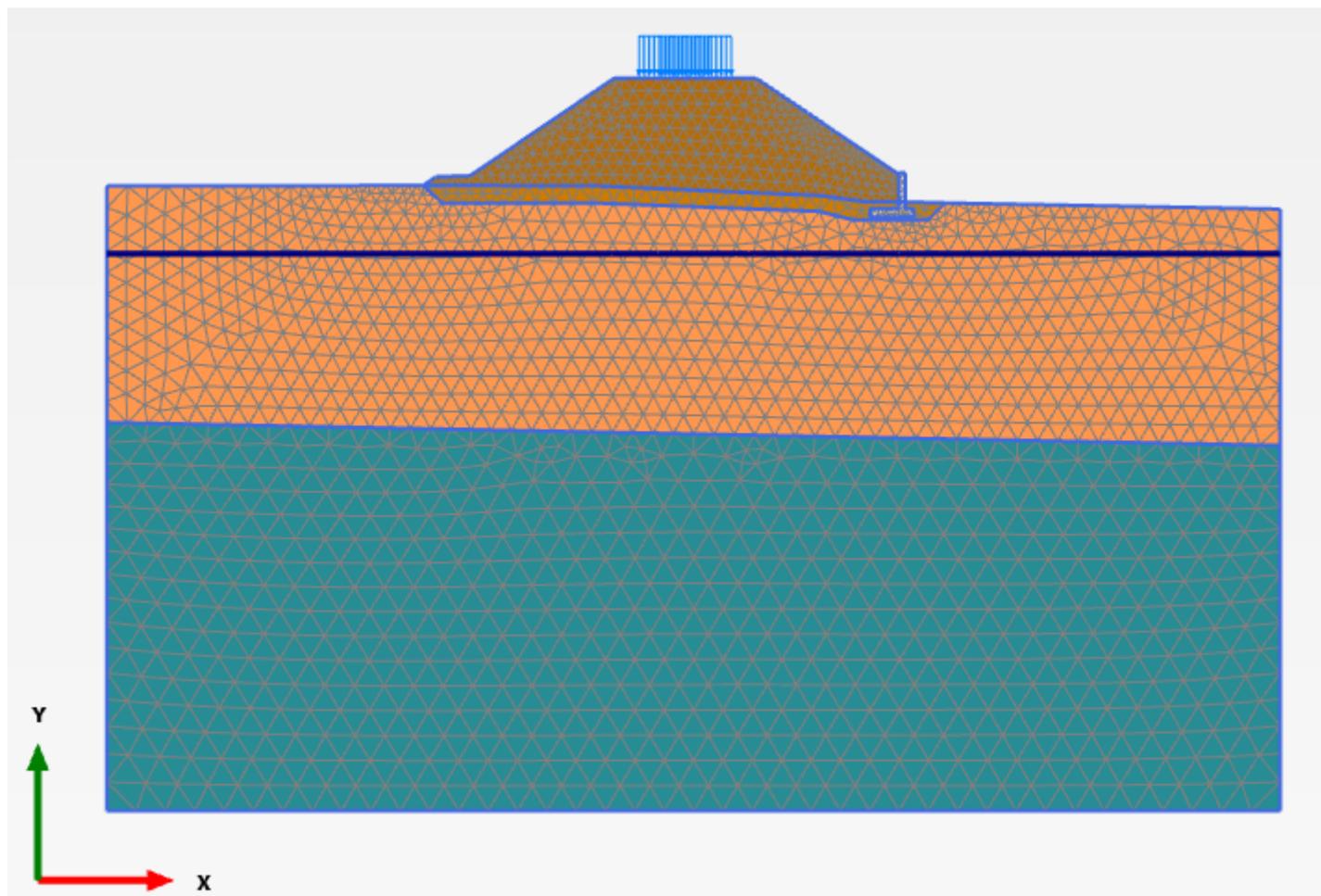


Figura 4: Modello rilevato Variante 5 Sez. 00+700

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE</b> <b>FERROVIARIE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 00 XX	DOCUMENTO XX 00 00 000	REV. A

### 8.3.2 Risultati

In Figura 5 e Figura 6 sono riportati gli spostamenti verticali  $u_y$  nelle singole fasi per valutare l'andamento dei cedimenti nel tempo al termine delle seguenti fasi:

- Al termine di tutte le fasi di costruzione del rilevato e messa in opera.
- Dopo 20 anni dall'entrata in esercizio della linea ferroviaria.

In Figura 7 e Figura 8 sono invece mostrate le sovrappressioni interstiziali alle stesse due fasi di cui sopra. Come è possibile osservare in Figura 8 dopo 20 anni dal termine della costruzione c'è totale dissipazione delle sovrappressioni interstiziali indotte dal carico.

In Figura 9 è mostrata invece la stima dell'andamento dei cedimenti nel tempo a testa rilevato, in asse. Data la prevalenza di comportamento a grana fine nello strato di argille plioceniche al disotto dei depositi alluvionali, si considera anche il possibile sviluppo di cedimenti secondari da sommare al cedimento di consolidazione primaria calcolato come descritto in precedenza. Il contributo del cedimento secondario è stato valutato tenendo conto degli incrementi tensionali indotti dalla realizzazione del rilevato. In particolare, si è tenuto conto di:

- Valutazione del tempo di inizio cedimento secondario come istante in cui si è sviluppato il 95% del cedimento primario, valutato sulla base della curva cedimento-tempo di Figura 9;
- Definizione dello spessore di materiale interessato dal cedimento secondario valutato in base alla profondità a cui l'incremento tensionale rispetto alla situazione attuale non eccede il 10%.

Risulta quindi, applicando la formula semplificata di cui sotto:

$$s_s = \sum_{i=1}^n \log\left(\frac{t}{t_{100,i}}\right) c_{\alpha s,i} h_i$$

Dove:

$s_s$  = cedimento secondario;

$t$  = tempo generico finale a partire dall'applicazione del carico a cui si intende valutare il cedimento secondario; nel caso in esame  $t = 20$  anni;

$t_{100,i}$  = tempo di inizio cedimento secondario, valutato come descritto sopra;

$h_i$  = spessore dello strato interessato dal cedimento secondario;

$n$  = numero di strati di terreno interessati dal cedimento secondario; nel caso in esame  $n = 1$ ;



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 00 XX	DOCUMENTO XX 00 00 000	REV. A	FOGLIO 33 di 78
------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	--------------------

$C_{\alpha\epsilon,i}$  = indice di consolidazione secondaria (vedi Tabella 7).

Riassumendo, per le verifiche si possono stimare i cedimenti come segue:

- Cedimento a fine costruzione rilevato: 11.2 cm;
- Cedimento primario a 20 anni da fine costruzione rilevato: 12 cm;
- Tempo inizio cedimento secondario: 0.88 anni;
- Spessore del materiale interessato dal cedimento secondario: 20 m;
- Cedimento secondario a 20 anni da fine costruzione rilevato: 4 cm;
- Cedimento totale a 20 anni da fine costruzione rilevato: 16 cm;

Con riferimento a Manuale di Progettazione RFI DINIC MA CS 00 001 C (parte IV), è necessario garantire il rispetto dei seguenti criteri di ammissibilità:

- cedimento residuo (differenza tra cedimento di lungo termine e cedimento a fine costruzione rilevato) inferiore a 5cm;

Per la sezione in esame a causa della distanza con la linea esistente, verrà condotta solo la prima verifica.

Come dettagliato sopra, risulta che al termine della costruzione il cedimento è pari a 11.2cm, dopo 20 anni è pari a 16cm, con un residuo pari a 4.8cm. Ne consegue che i cedimenti residui sono inferiori al valore limite di 5 cm.

La stima del cedimento secondario effettuata come dettagliato sopra è molto cautelativa, in quanto si presume che tutto lo strato interessato da incremento di carico significativo, stimato peraltro al di sotto del punto più caricato (asse rilevato), abbia tutte le stesse caratteristiche del campione su cui è stata effettuata la prova edometrica. Si presume quindi che in realtà i cedimenti secondari possano essere inferiori a quanto stimato, anche se la compressibilità secondaria andrà comunque opportunamente indagata nelle successive fasi progettuali. Tuttavia, anche con tale stima prudenziale, il requisito di cui sopra sul cedimento residuo risulta verificato.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	34 di 78

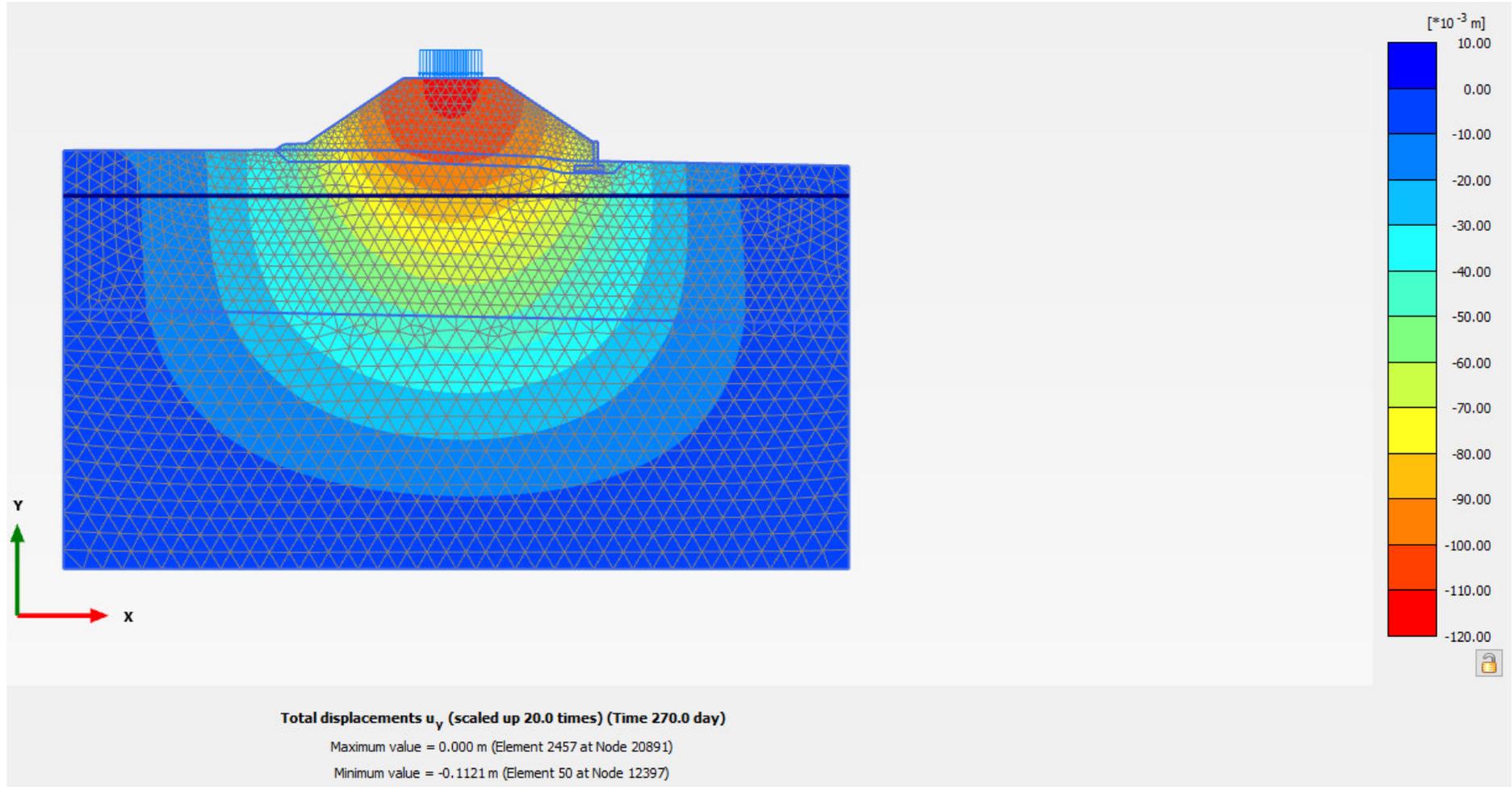


Figura 5: Variante 5 Sez. 00+700– Spostamenti verticali termine costruzione



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	35 di 78

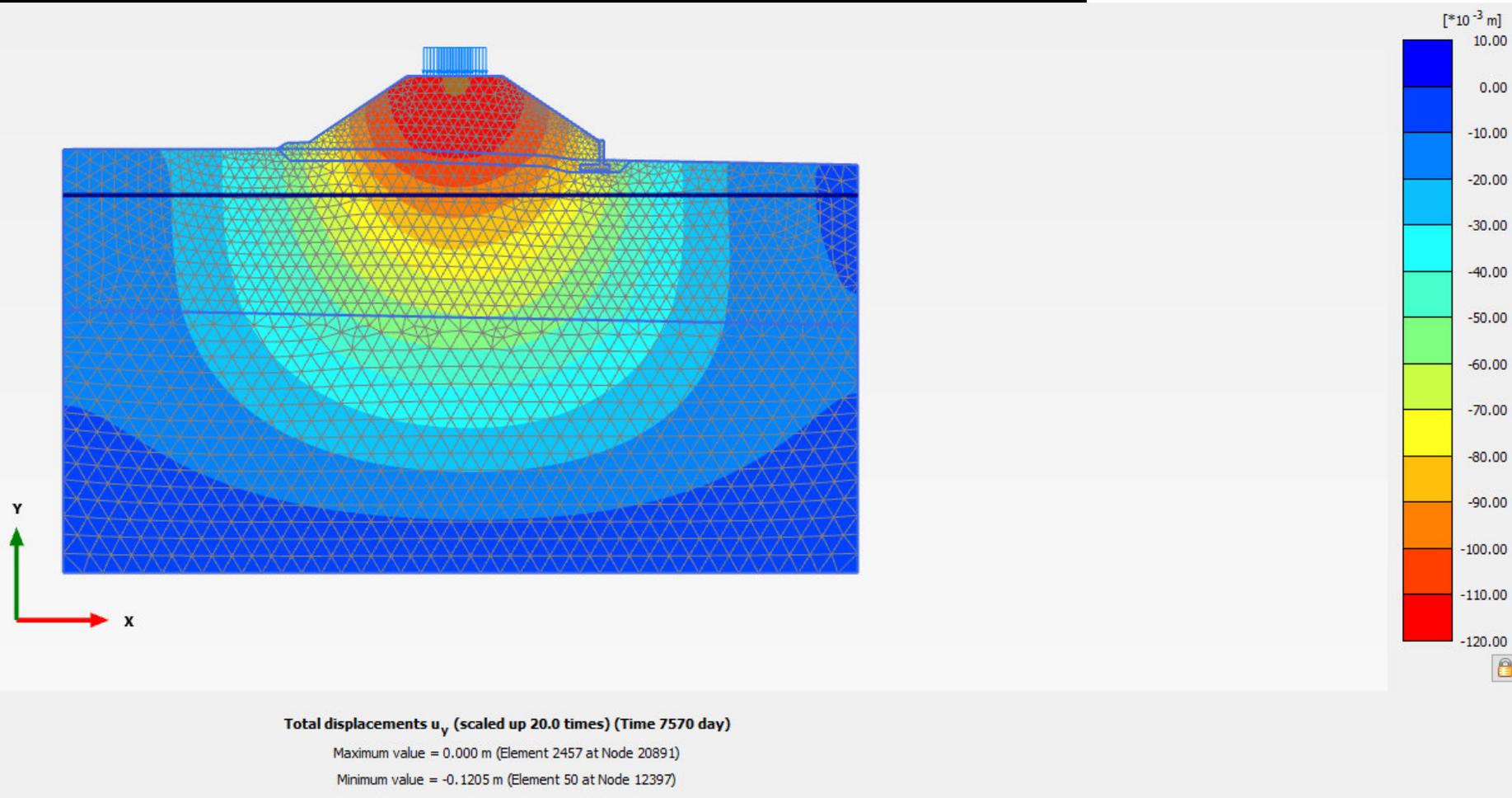


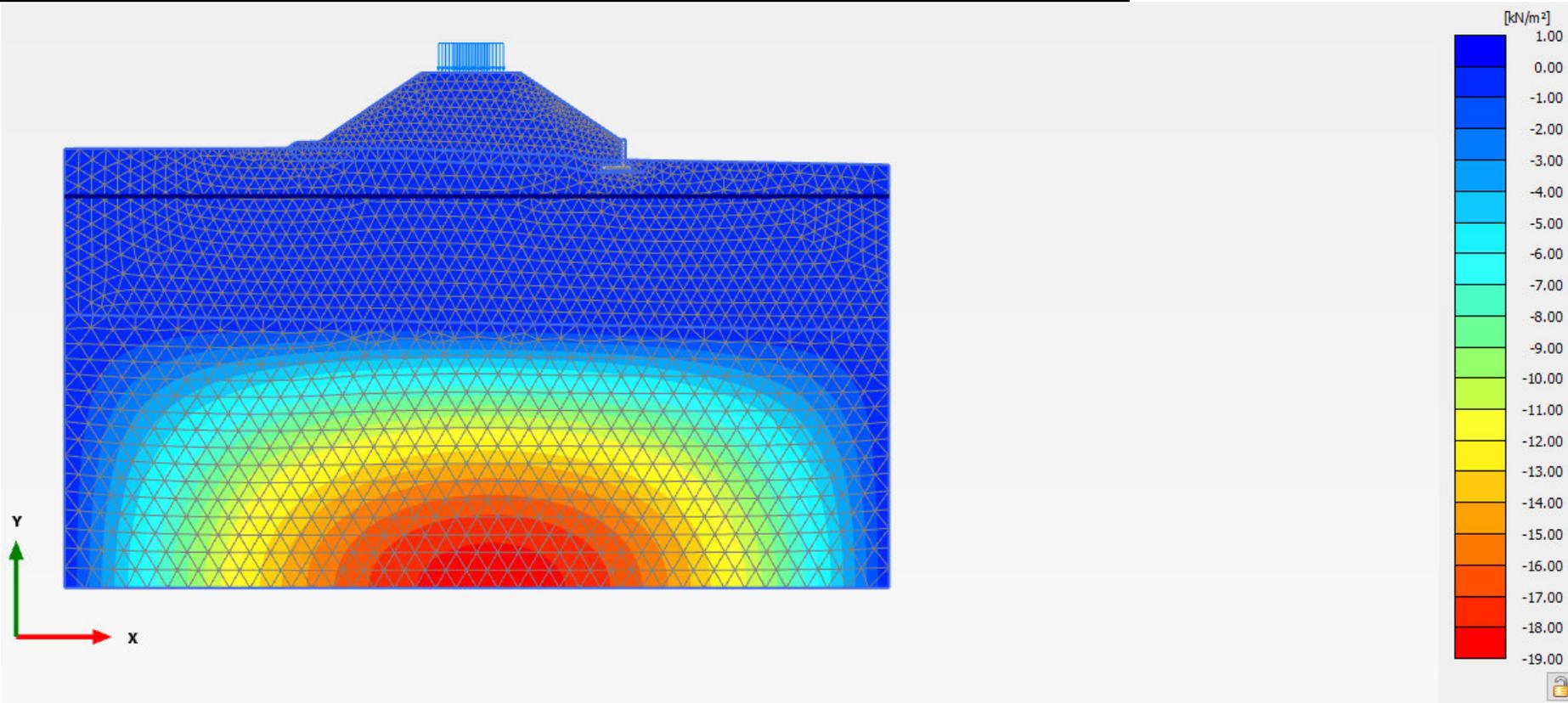
Figura 6: Variante 5 Sez. 00+700– Spostamenti verticali lungo termine



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	36 di 78



Excess pore pressures  $p_{\text{excess}}$  (scaled up 0.100 times) (Pressure = negative) (Time 270.0 day)

Maximum value =  $1.163 \cdot 10^{-3}$  kN/m<sup>2</sup> (Element 3289 at Node 1899)

Minimum value = -18.61 kN/m<sup>2</sup> (Element 2476 at Node 12649)

Figura 7: Variante 5 Sez. 00+700– Sovrappressioni interstiziali  $\Delta u$  termine costruzione

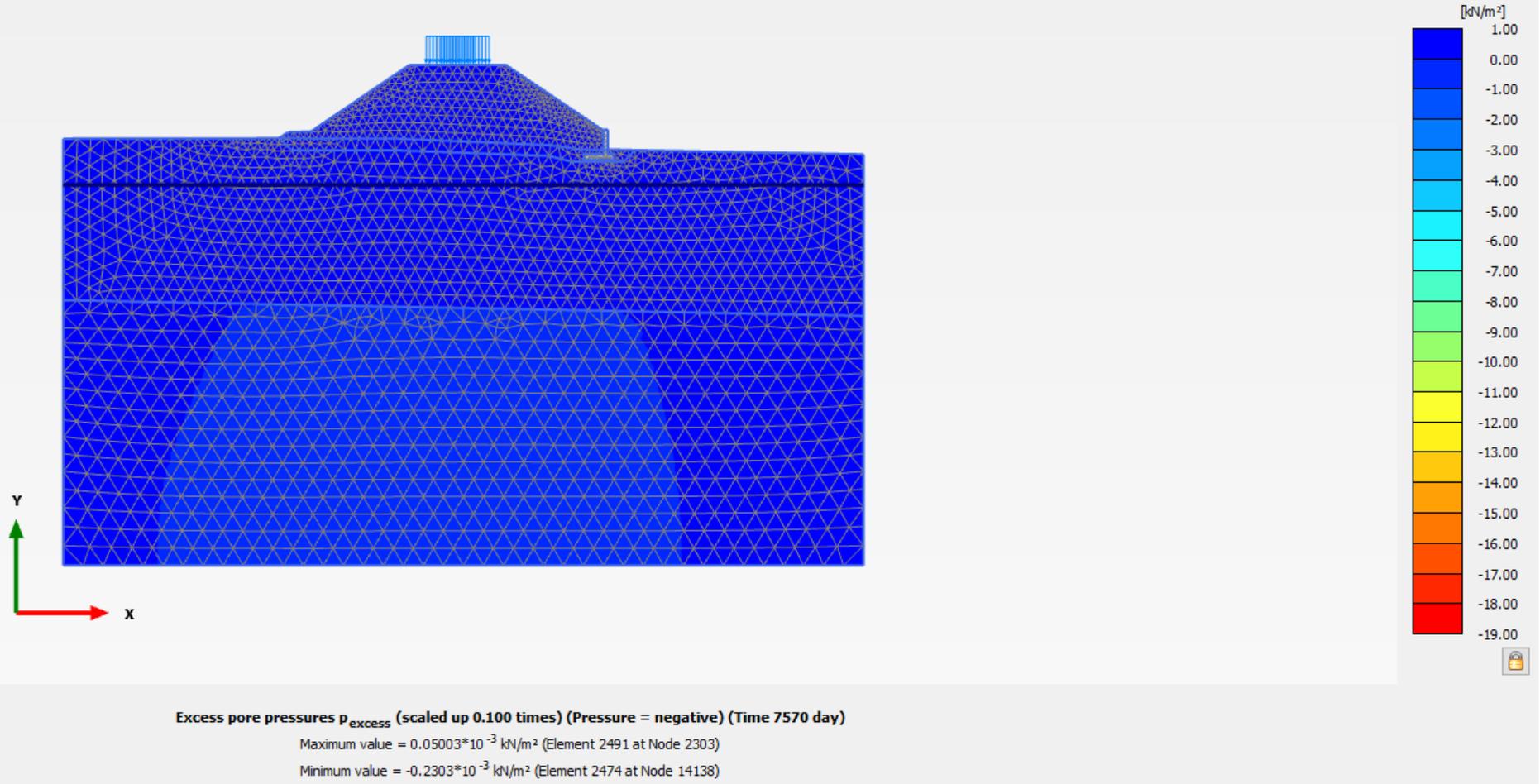


Figura 8: Variante 5 Sez. 00+700– Sovrappressioni interstiziali  $\Delta u$  lungo termine



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	38 di 78

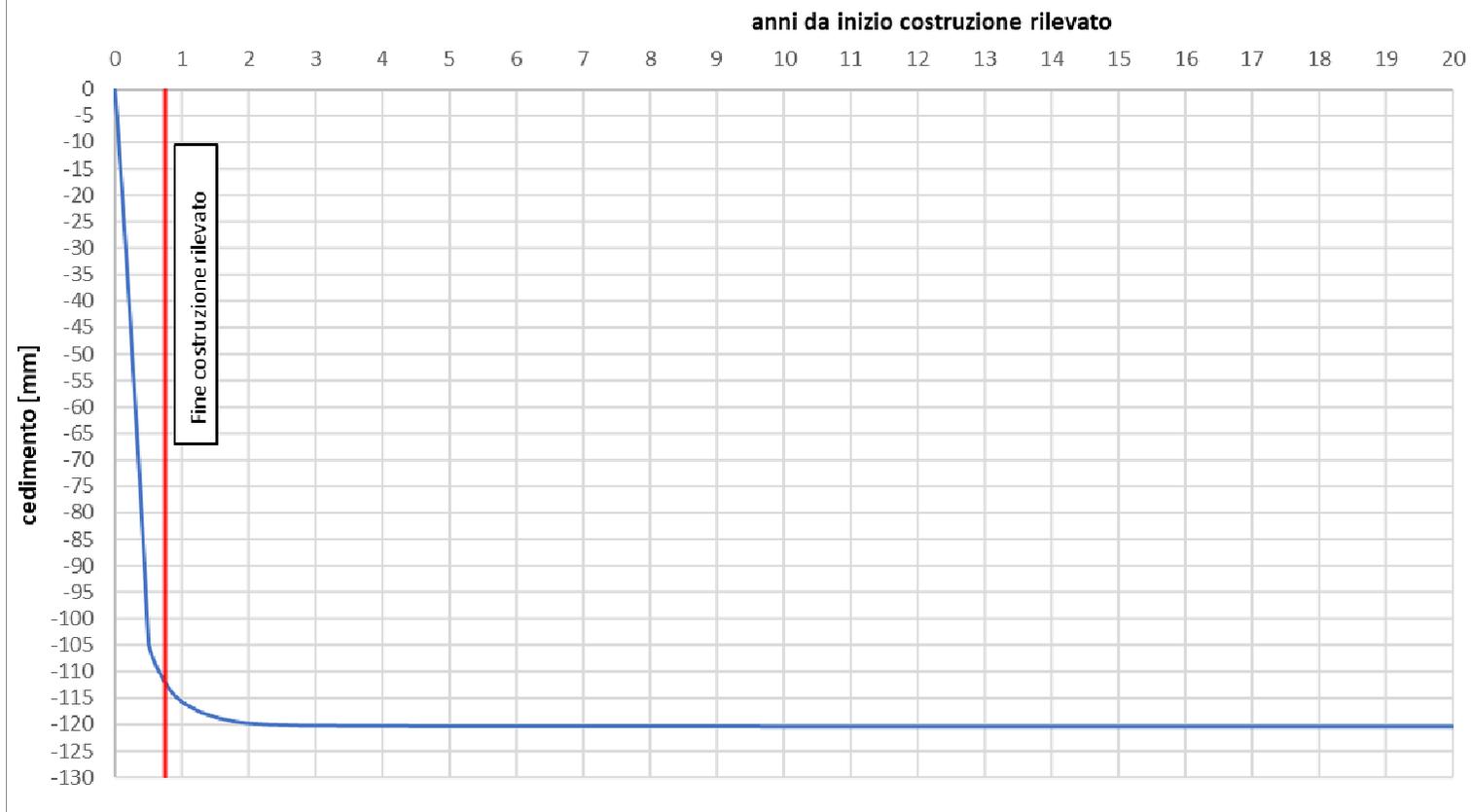


Figura 9: Variante 5 Sez. 00+700– Andamento dei cedimenti nel tempo a testa rilevato

## 9. SEZIONE DI CALCOLO VARIANTE 7 ALLA PROGRESSIVA 00+250

### 9.1 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica (Doc. Rif.[6]) e sulla base di quanto descritto nel Cap. 3, nella Tabella 9 e

Tabella 10 sono riportati la stratigrafia ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto, fattorizzati utilizzando i coefficienti M2 contenuti nella Tabella 2 della presente relazione.

Si rimanda invece alla Tabella 6 per i valori dei parametri geotecnici relativi ai materiali antropici utilizzati per il corpo del rilevato e per lo strato di scotico (50 cm al di sotto del rilevato).

Si ricorda che, come definito al Cap. 7 del Doc. Rif. [4], le verifiche geotecniche SLU di stabilità globale dei rilevati, in campo statico, richiedono l'adozione della sola Combinazione 2 dell'Approccio 1 e pertanto l'applicazione dei soli coefficienti parziali M2, mentre per le verifiche sismiche e per le verifiche SLE, finalizzate alla determinazione dei cedimenti, sono richiesti i parametri caratteristici.

Tabella 9: Stratigrafia di calcolo per la sezione 00+250

Strato	Profondità da [m da p.c.]	Profondità a [m da p.c.]	Descrizione
GS	0.0	4.0	Ghiaie e sabbie alluvionali e terrazzate
A	4.0	40.0 *	Argille plioceniche
* ai fini delle analisi di stabilità e di cedimento non è stato ritenuto necessario modellare anche lo strato A <sub>GES</sub> , di caratteristiche totalmente simili a quelle di A			

Tabella 10: Parametri geotecnici di calcolo per la sezione 00+250– Materiali in sito

STRATO	Descrizione strato	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		Resistenza al taglio non drenata		Modulo di Young operativo	Permeabilità	Indice di consolidazione secondaria
		$\gamma_d$	$\phi'_k$	$\phi'_d$ M2	$c'_k$	$c'_d$ M2	$c_u$	$c_u$ M2	$E_{op.}$	k	$C_{as}$
		[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]	-
GS	Ghiaie e sabbie	20	33	27	0	0	-	-	25	1.0E-05	-
A	Argille plioceniche	20	24	19	10	8	120	86	20	5.0E-09	0.0015

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 00 XX	DOCUMENTO XX 00 00 000	REV. A

La falda di progetto è stata assunta nei calcoli ad una quota di circa 4.0 m dal piano campagna originario.

## 9.2 VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE

Le verifiche SLU della stabilità globale del rilevato (sia in condizioni statiche che sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo Slope/W (Doc. Rif. [19]). Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento rispettivamente ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico e ai valori caratteristici per le analisi sismiche. Tali coefficienti sono contenuti nella Tabella 1 e nella Tabella 2 della presente relazione.

Come da NTC 2018 (Doc. Rif. [10]), la verifica SLU di stabilità globale è soddisfatta se la relazione:  
 $FS \geq R2 = 1.1$

è verificata in condizioni statiche e la relazione:  
 $FS \geq R2 = 1.2$

È verificata in condizioni sismiche.

Il coefficiente R2 è contenuto nella Tabella 3 della presente relazione.

In questa sede non si dimensionano muro e pali. Nelle analisi di stabilità è stato semplicemente aggiunto un elemento verticale in corrispondenza del paramento del muro che blocca le potenziali superfici di scivolamento che lo attraverserebbero. Anche i pali sono stati modellati tramite elementi che bloccano le superfici di rottura (vedi Figura 10). Dato che in queste condizioni il codice di calcolo non riesce nemmeno a individuare potenziali superfici di rottura, le analisi di stabilità sono state ripetute modellando il solo muro e trascurando cautelativamente la presenza dei pali.

Name: Rilevato esistente (M2)  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 0 kPa  
Phi: 27.5 °

Sovraccarico permanente armamento = 18.7 kPa  
Sovraccarico variabile treno = 72.1 kPa

Name: Rilevato nuovo (M2)  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 0 kPa  
Phi: 32 °

Name: GS (M2)  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 0 kPa  
Phi: 27 °

Name: A (M2)  
Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
Cohesion: 8 kPa  
Phi: 19 °

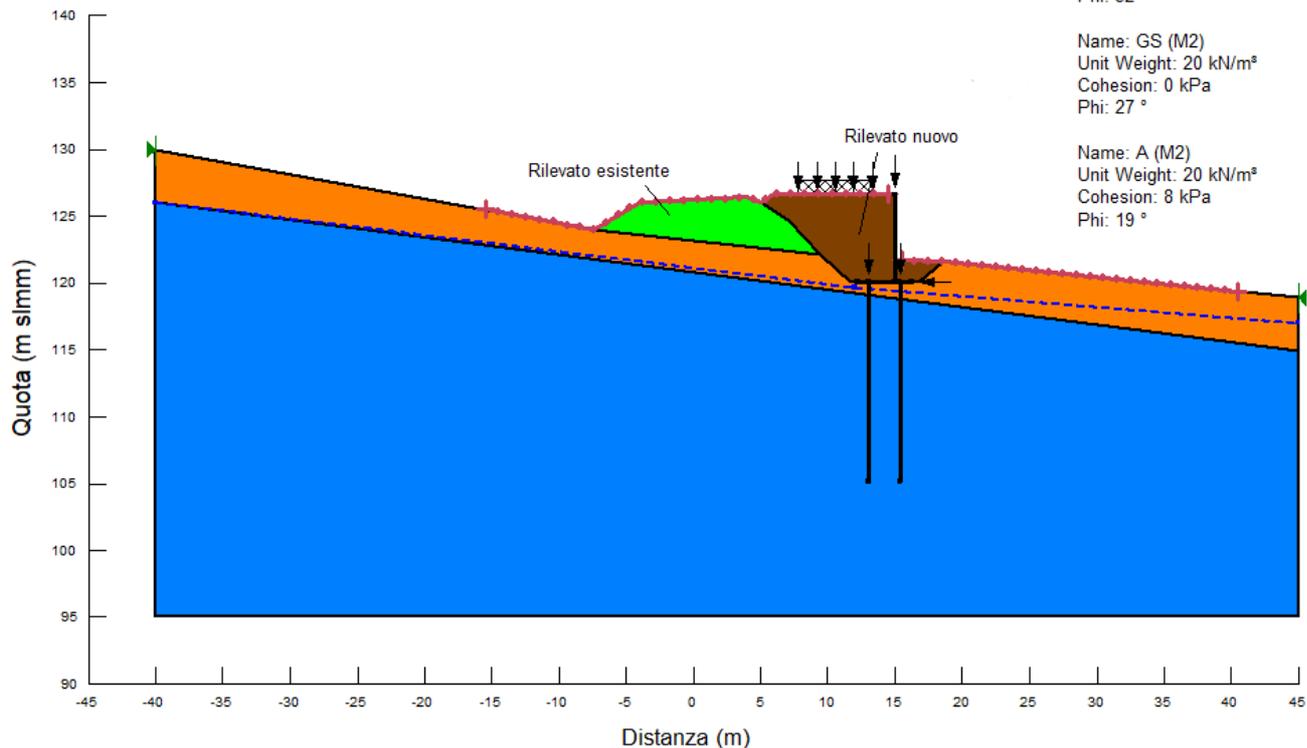


Figura 10: Variante 7 Sez. 00+250- Analisi di stabilità globale – modello completo

### 9.2.1 Verifiche in condizioni statiche

L'analisi di stabilità globale in campo statico è stata condotta in accordo alla combinazione DA1C2 assumendo i parametri geotecnici M2 di cui in [10] in Tabella 10 e Tabella 6 rispettivamente per i materiali in sito e per i materiali antropici.

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura tali da intercettare il carico ferroviario. Tra esse, è definita critica quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo.

Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 00 XX	DOCUMENTO XX 00 00 000	REV. A

In Figura 11, sono riportate tutte le superfici di rottura per la combinazione DA1C2; il fattore di sicurezza FS relativo a tali meccanismi, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS^{MIN} (DA1C2) = 1.799$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS^{MIN} \geq R2 = 1.1,$$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

### 9.2.2 Verifiche in condizioni pseudo-statiche

L'analisi di stabilità globale in campo sismico è stata condotta assumendo i parametri geotecnici caratteristici di cui in Tabella 10 e Tabella 6 rispettivamente per i materiali in sito e per i materiali antropici.

In accordo a quanto riportato al punto 4, la forza sismica è stata modellata tramite i coefficienti sismici:

$$K_H = + 0.150 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.075 \quad (\text{verificando la più cautelativa tra negativo e positivo})$$

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura tali da intercettare il carico ferroviario. Tra esse, è definita "critica", quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo.

In Figura 25 è riportata la superficie di rottura critica; il fattore di sicurezza FS relativo a tale meccanismo, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS^{MIN} = 4.641$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS^{MIN} \geq R2 = 1.2,$$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**  
**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO**  
**VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE**  
**FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	43 di 78

Name: Rilevato esistente (M2)  
 Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 0 kPa  
 Phi: 27.5 °

Sovraccarico permanente armamento = 18.7 kPa  
 Sovraccarico variabile treno = 72.1 kPa

Name: Rilevato nuovo (M2)  
 Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 0 kPa  
 Phi: 32 °

Name: GS (M2)  
 Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 0 kPa  
 Phi: 27 °

Name: A (M2)  
 Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 8 kPa  
 Phi: 19 °

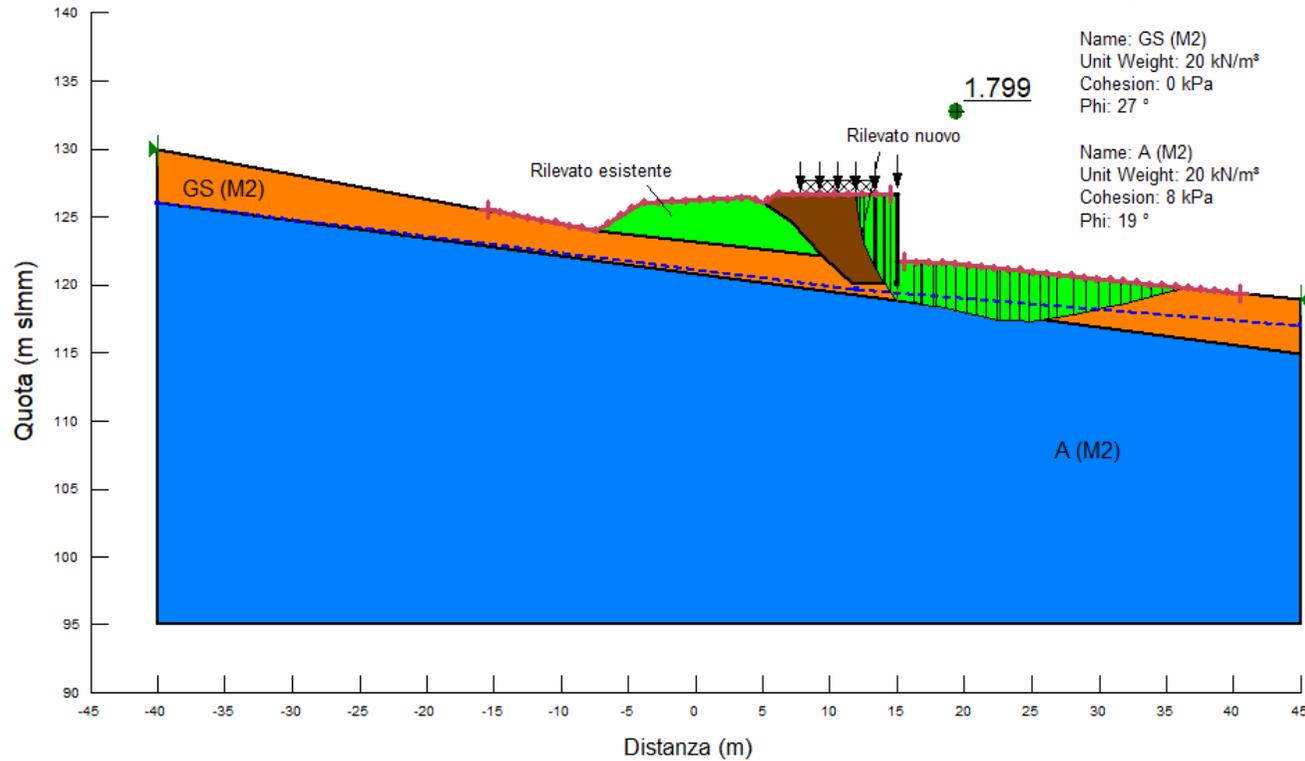


Figura 11: Variante 7 Sez. 00+250- Analisi di stabilità globale in campo statico DA1C2



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**  
**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO**  
**VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE**  
**FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	44 di 78

Sovraccarico permanente armamento = 14.4 kPa  
 Sovraccarico variabile treno = 11.1 kPa

Name: Rilevato esistente  
 Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 0 kPa  
 Phi: 33 °

Kh = 0.15  
 Kv = -0.075

Name: Rilevato nuovo  
 Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 0 kPa  
 Phi: 38 °

Name: GS  
 Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 0 kPa  
 Phi: 33 °

Name: A (cu)  
 Unit Weight: 20 kN/m<sup>3</sup>  
 Cohesion: 120 kPa

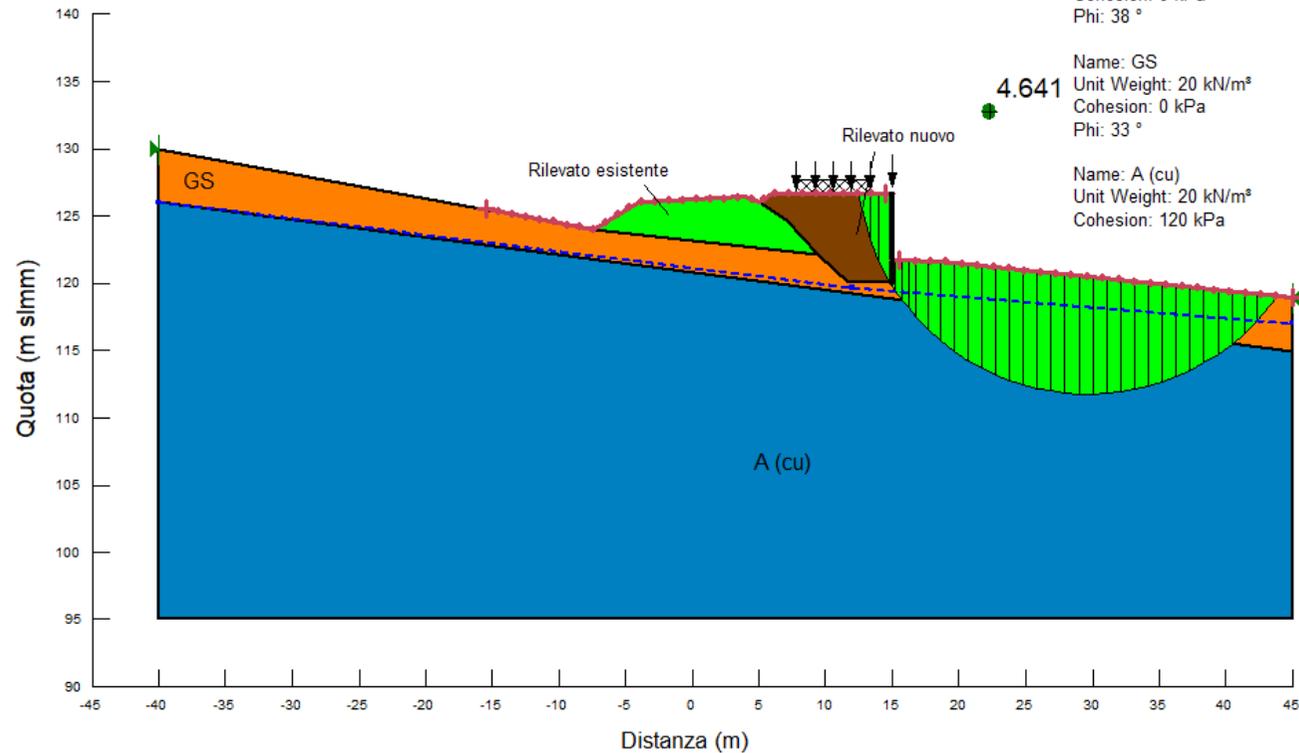


Figura 12: Variante 7 Sez. 00+250- Analisi di stabilità globale in campo sismico

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE</b> <b>FERROVIARIE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 00 XX	DOCUMENTO XX 00 00 000	REV. A

### 9.3 VERIFICHE SLE – VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI

#### 9.3.1 Modelli e fasi di calcolo

Il modello utilizzato per queste analisi è mostrato nella Figura 13 e rappresenta il rilevato di progetto alla progressiva 00+250. L'altezza del rilevato in oggetto è pari a circa 5.0 metri escluso il pacchetto di armamento ferroviario (ballast, traversine e rotaie, non rappresentato nel modello ma convertito in sovraccarico).

I pali (non dimensionati in questa sede) sono stati modellati con elementi di tipo “embedded beam row”, specificando portata laterale  $T$  pari per semplicità a  $\pi \cdot D \cdot \alpha \cdot cu = \pi \cdot 0.8 \cdot 0.4 \cdot 150 = 150$  kN/m e portata di base  $Q = \pi \cdot R^2 \cdot 9 \cdot cu = \pi \cdot 0.4^2 \cdot 9 \cdot 150 = 680$  kN.

La stratigrafia di calcolo utilizzata è riportata in Tabella 9 utilizzando i parametri caratteristici riportati in Tabella 10. Muro e pali saranno dimensionati nelle successive fasi progettuali.

Si tratta di modelli bi-dimensionali in cui è mostrato il rilevato in sezione, con la propria geometria ed il sovraccarico da armamento ferroviario.

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti:

- Generazione dello stato tensionale iniziale con piano campagna attuale;
- Costruzione del rilevato (durata 9 mesi);
- Consolidazione del terreno di fondazione nel corso dell'esercizio della linea ferroviaria (durata 20 anni);

I risultati ottenuti sono mostrati e commentati al successivo punto 9.3.2.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	46 di 78

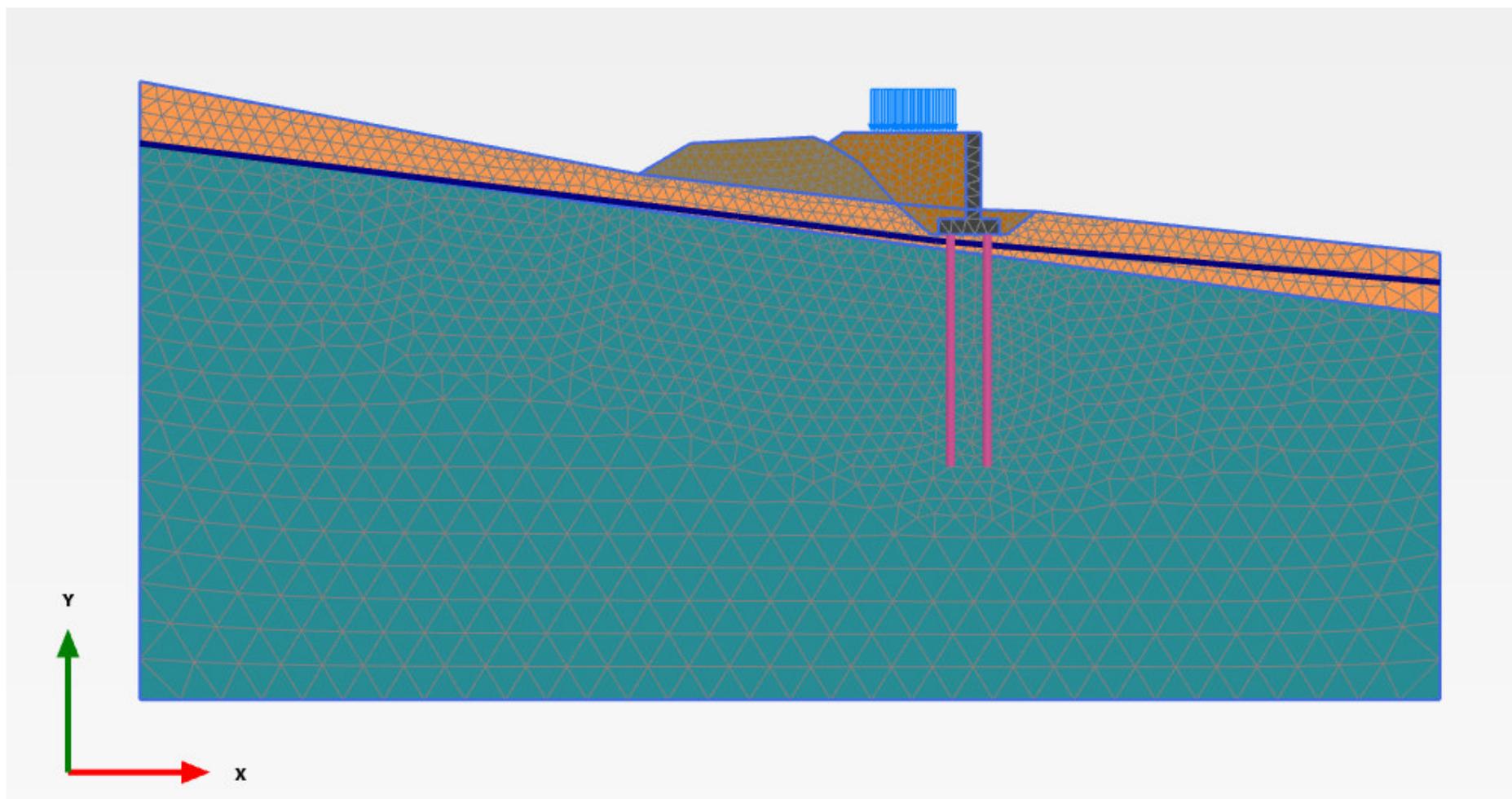


Figura 13: Modello rilevato Variante 7 Sez. 00+250

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE</b> <b>FERROVIARIE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 00 XX	DOCUMENTO XX 00 00 000	REV. A

### 9.3.2 Risultati

In Figura 14 e Figura 15 sono riportati gli spostamenti verticali  $u_y$  nelle singole fasi per valutare l'andamento dei cedimenti nel tempo al termine delle seguenti fasi:

- Al termine di tutte le fasi di costruzione del rilevato e messa in opera.
- Dopo 20 anni dall'entrata in esercizio della linea ferroviaria.

In Figura 16 e Figura 17 sono invece mostrate le sovrappressioni interstiziali alle stesse due fasi di cui sopra. Come è possibile osservare in Figura 17 dopo 20 anni dal termine della costruzione c'è totale dissipazione delle sovrappressioni interstiziali indotte dal carico.

In Figura 19 è mostrata invece la stima dell'andamento dei cedimenti nel tempo a testa rilevato. Data la prevalenza di comportamento a grana fine nello strato di argille plioceniche al disotto dei depositi alluvionali, si considera anche il possibile sviluppo di cedimenti secondari da sommare al cedimento di consolidazione primaria calcolato come descritto in precedenza. Il contributo del cedimento secondario è stato valutato tenendo conto degli incrementi tensionali indotti dalla realizzazione del rilevato. In particolare, si è tenuto conto di:

- Valutazione del tempo di inizio cedimento secondario come istante in cui si è sviluppato il 95% del cedimento primario, valutato sulla base della curva cedimento-tempo di Figura 19;
- Definizione dello spessore di materiale interessato dal cedimento secondario valutato in base alla profondità a cui l'incremento tensionale rispetto alla situazione attuale non eccede il 10%. Tale valutazione viene condotta cautelativamente in asse al nuovo rilevato.

Risulta quindi, applicando la formula semplificata di cui sotto:

$$s_s = \sum_{i=1}^n \log\left(\frac{t}{t_{100,i}}\right) c_{\alpha\alpha,i} h_i$$

Dove:

$s_s$  = cedimento secondario;

$t$  = tempo generico finale a partire dall'applicazione del carico a cui si intende valutare il cedimento secondario; nel caso in esame  $t = 20$  anni;

$t_{100,i}$  = tempo di inizio cedimento secondario, valutato come descritto sopra;

$h_i$  = spessore dello strato interessato dal cedimento secondario;



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 00 XX	DOCUMENTO XX 00 00 000	REV. A	FOGLIO 48 di 78
------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	--------------------

$n =$  numero di strati di terreno interessati dal cedimento secondario; nel caso in esame  $n = 1$ ;

$c_{\alpha\epsilon,i} =$  indice di consolidazione secondaria (vedi Tabella 7).

Riassumendo, per le verifiche si possono stimare i cedimenti come segue:

- Cedimento a fine costruzione rilevato: 4 cm;
- Cedimento primario a 20 anni da fine costruzione rilevato: 4.7 cm;
- Tempo inizio cedimento secondario: 1.5 anni;
- Spessore del materiale interessato dal cedimento secondario: 25 m;
- Cedimento secondario a 20 anni da fine costruzione rilevato: 4.2 cm;
- Cedimento totale a 20 anni da fine costruzione rilevato: 8.9 cm;

Con riferimento a Manuale di Progettazione RFI DINIC MA CS 00 001 C (parte IV), è necessario garantire il rispetto dei seguenti criteri di ammissibilità:

- cedimento residuo (differenza tra cedimento di lungo termine e cedimento a fine costruzione rilevato) inferiore a 5cm;
- cedimento differenziale fra le rotaie del binario più vicino della linea esistente, come definito nel documento Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h (Cod. RFI TCAR ST AR 01 001 D) e suoi allegati, deve essere verificato che XL, cioè il cedimento differenziale tra le due rotaie su una stessa sezione verticale, sia inferiore a 10mm.

Come dettagliato sopra, risulta che al termine della costruzione il cedimento è pari a 4cm, dopo 20 anni è pari a 8.9cm, con un incremento pari a 4.9cm. Ne consegue che i cedimenti residui sono inferiori al valore limite di 5cm.

La stima del cedimento secondario effettuata come dettagliato sopra è molto cautelativa, in quanto si presume che tutto lo strato interessato da incremento di carico significativo, stimato peraltro al di sotto del punto più caricato (asse rilevato), abbia tutte le stesse caratteristiche del campione su cui è stata effettuata la prova edometrica. Si presume quindi che in realtà i cedimenti secondari possano essere inferiori a quanto stimato, anche se la compressibilità secondaria andrà comunque opportunamente indagata nelle successive fasi progettuali. Tuttavia, anche con tale stima prudenziale, il requisito di cui sopra sul cedimento residuo risulta verificato.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**  
**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO**  
**VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE**  
**FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	49 di 78

Attraverso l'analisi dei risultati dell'analisi ad elementi finiti con il software Plaxis risulta che il cedimento differenziale fra i binari della linea esistente (Figura 18) è massimo a fine costruzione. Il valore di cedimento differenziale massimo (ovvero il livello trasversale XL) è circa 3mm.

Risulta pertanto che i cedimenti indotti dalla realizzazione del nuovo rilevato sul binario della linea sono inferiori ai limiti prescritti (10mm), quindi accettabili.

I cedimenti delle rotaie esistenti andranno comunque gestiti attraverso rinalzi del ballast e monitorati attentamente in fase di costruzione, al fine di garantire il corretto esercizio della linea ferroviaria.

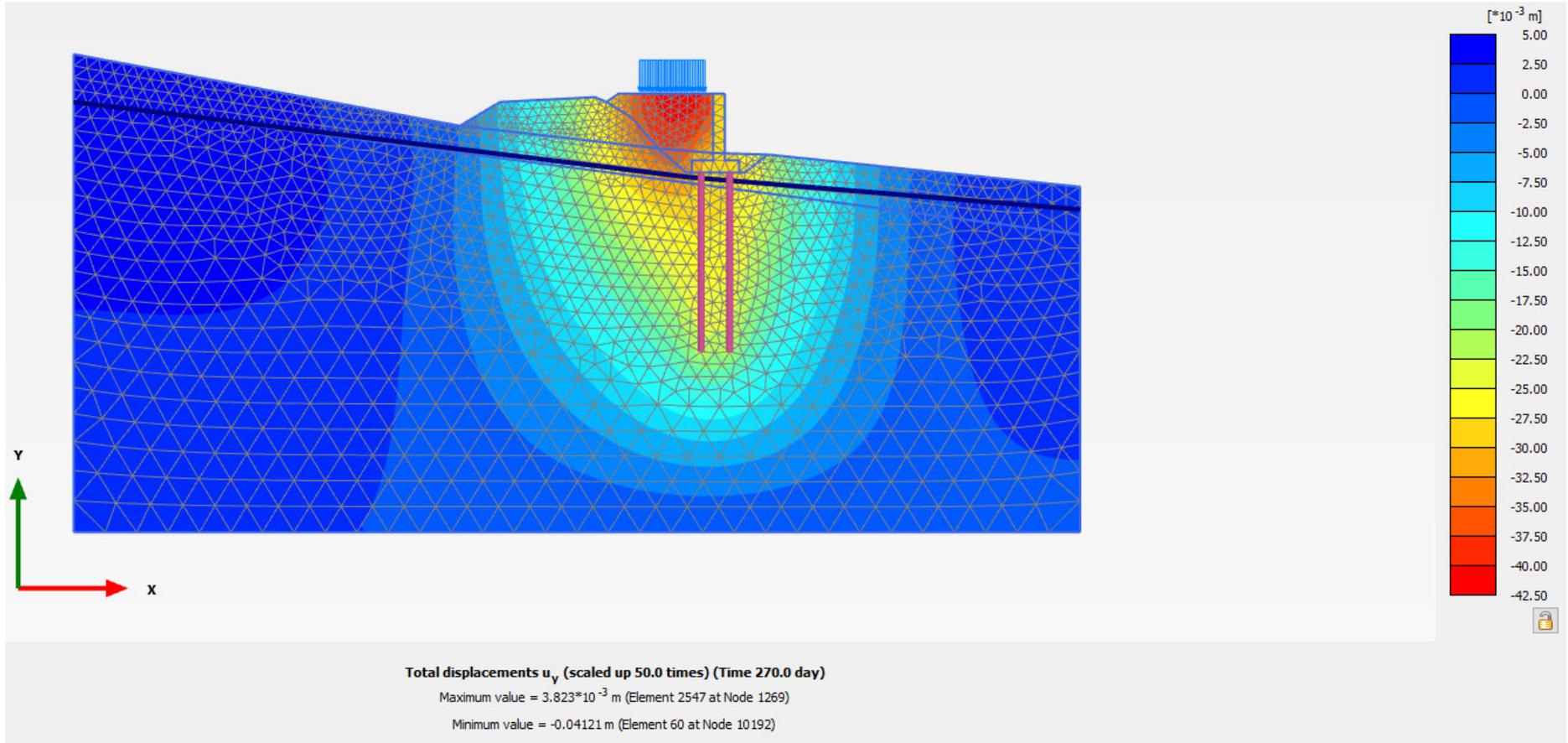


Figura 14: Variante 7 Sez. 00+250– Spostamenti verticali termine costruzione

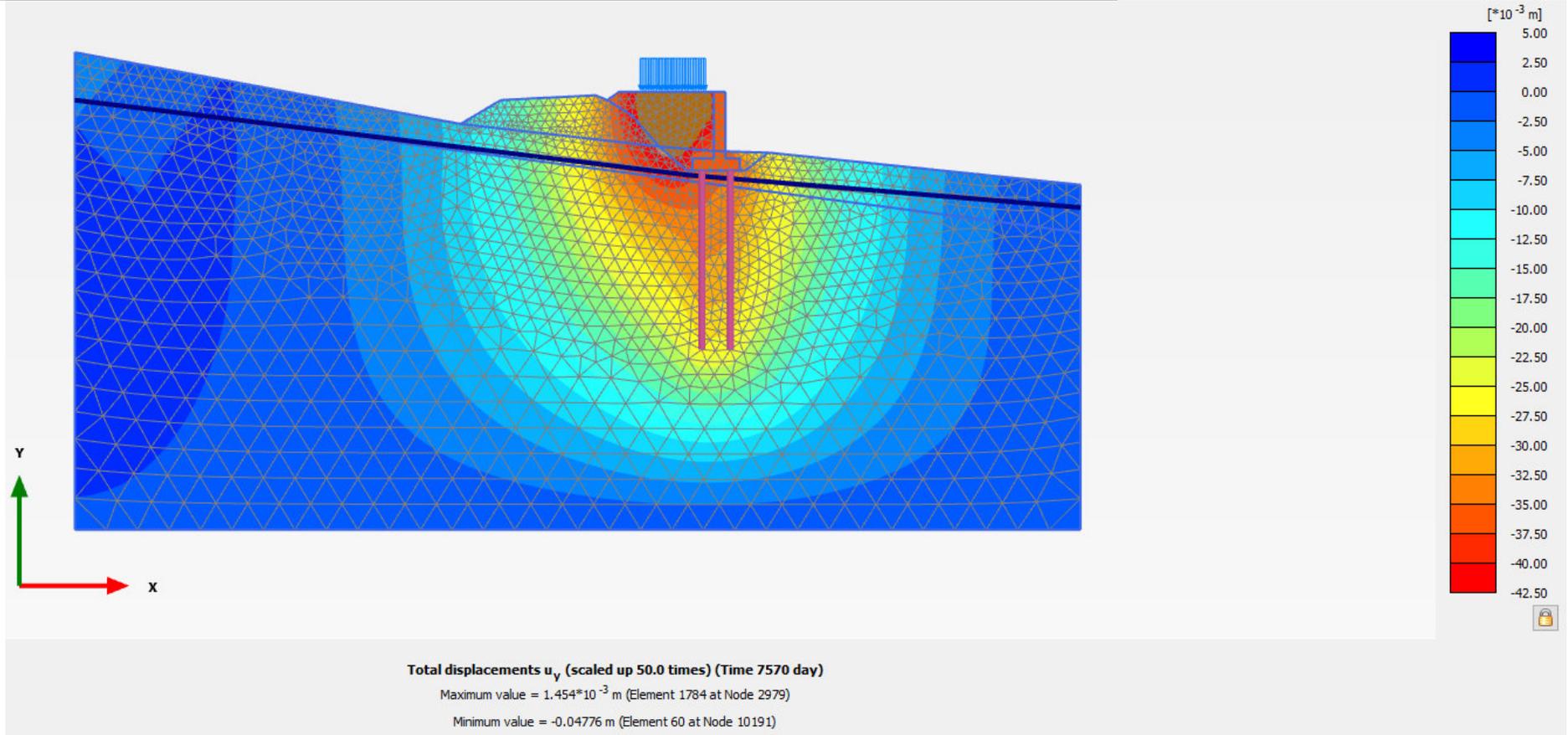
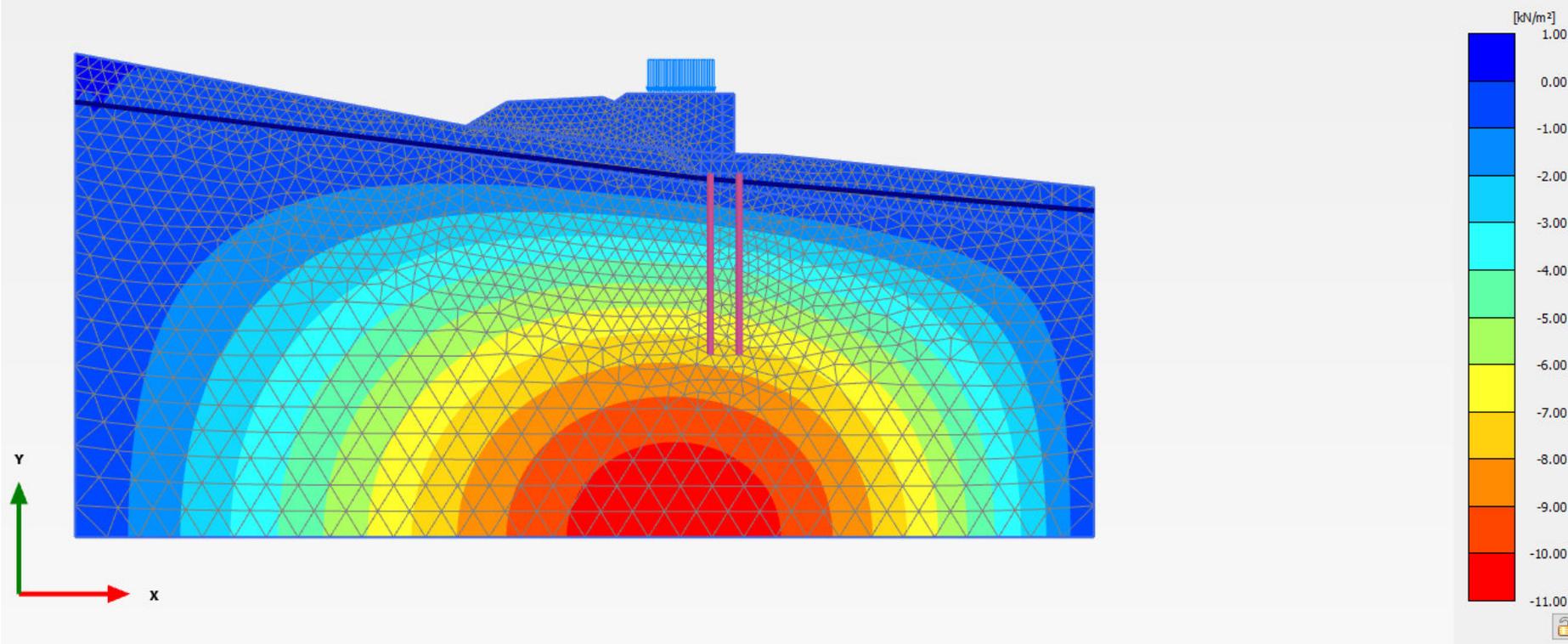


Figura 15: Variante 7 Sez. 00+250– Spostamenti verticali lungo termine



Excess pore pressures  $p_{\text{excess}}$  (scaled up 0.200 times) (Pressure = negative) (Time 270.0 day)

Maximum value =  $0.6721 \cdot 10^{-3}$  kN/m<sup>2</sup> (Element 1547 at Node 24711)

Minimum value = -10.83 kN/m<sup>2</sup> (Element 1176 at Node 19009)

Figura 16: Variante 7 Sez. 00+250– Sovrappressioni interstiziali  $\Delta u$  verticali termine costruzione

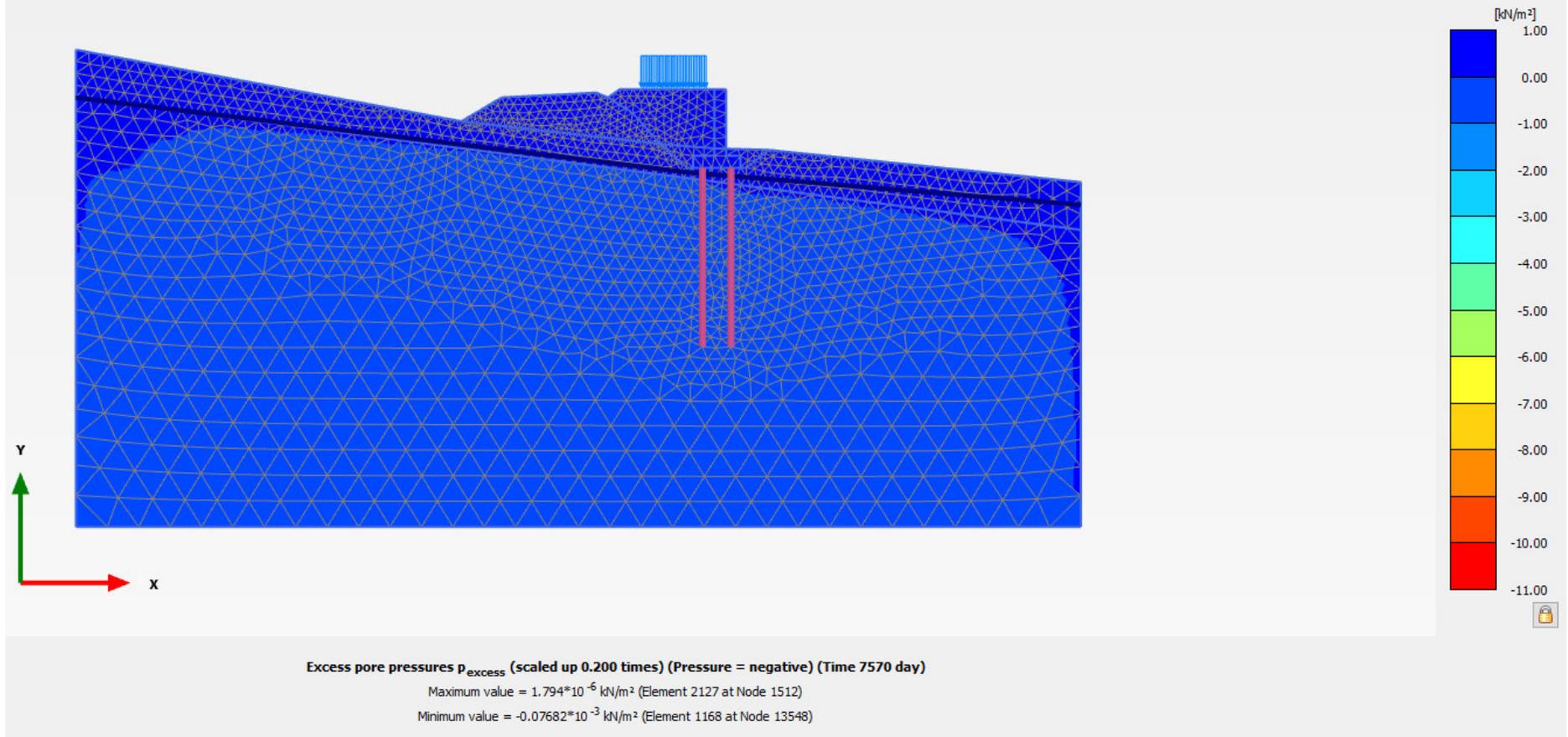


Figura 17: Variante 7 Sez. 00+250– Sovrappressioni interstiziali  $\Delta u$  lungo termine



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	54 di 78

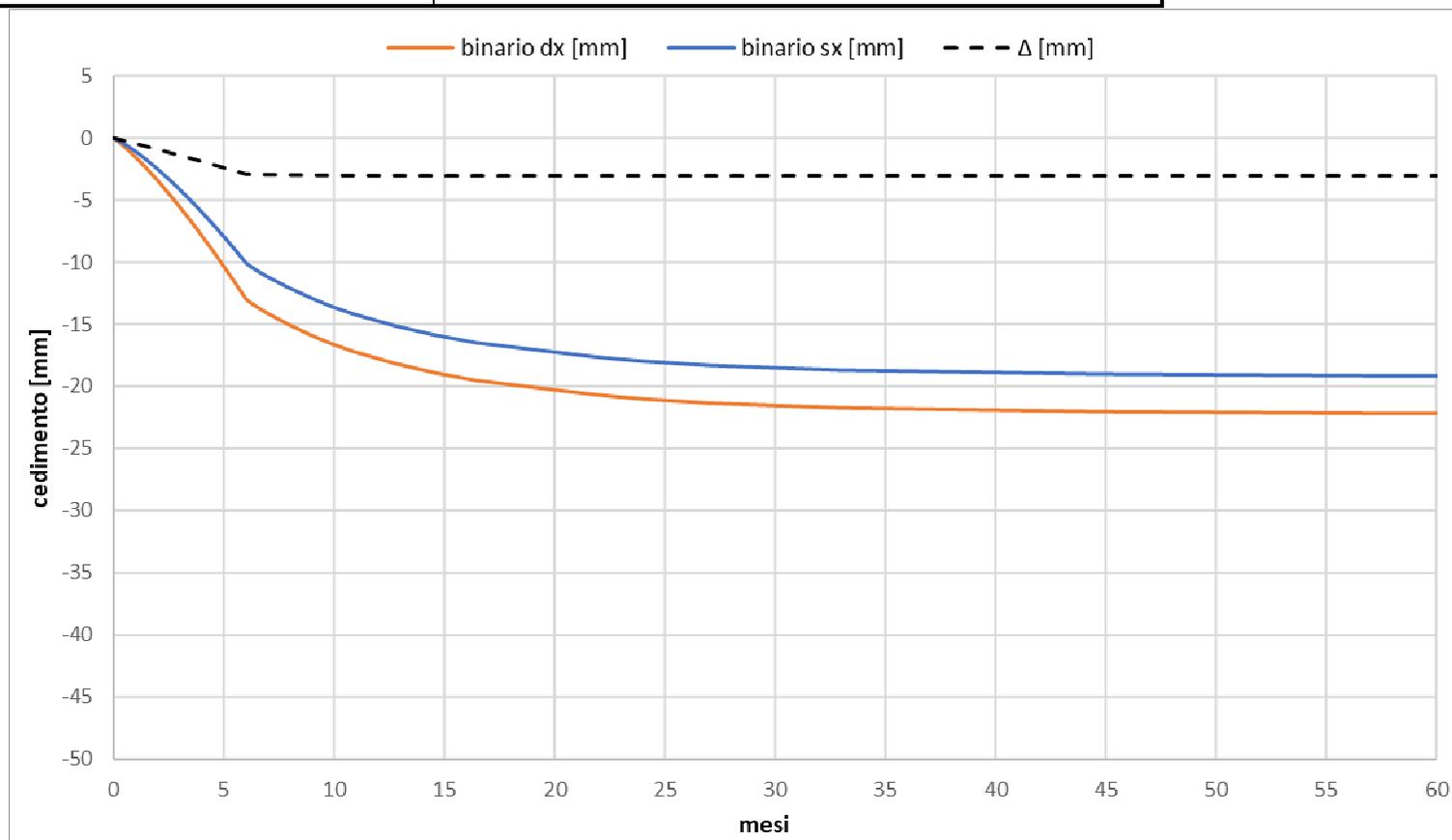


Figura 18: Variante 7 Sez. 00+250– Livello trasversale XL binari linea esistente



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	55 di 78

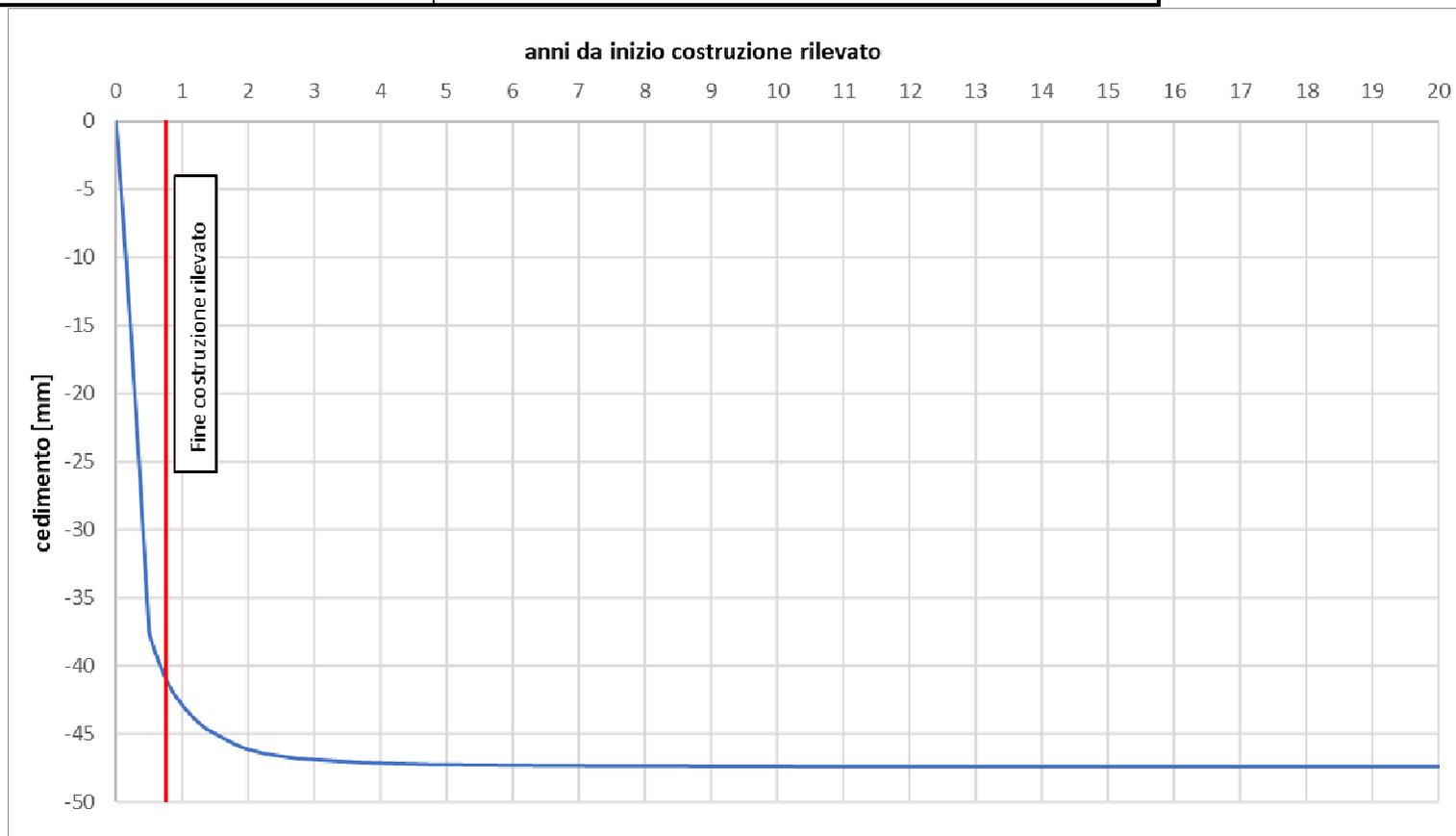


Figura 19: Variante 7 Sez. 00+250– Andamento dei cedimenti nel tempo a testa rilevato

## 10. SEZIONE DI CALCOLO VARIANTE 8

### 10.1 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica (Doc. Rif.[6]) e sulla base di quanto descritto nel Cap. 3, nella Tabella 12 sono riportati la stratigrafia ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto, fattorizzati utilizzando i coefficienti M2 contenuti nella Tabella 2 della presente relazione.

Si ricorda che, come definito al Cap. 7 del Doc. Rif. [4], le verifiche geotecniche SLU di stabilità globale dei rilevati, in campo statico, richiedono l'adozione della sola Combinazione 2 dell'Approccio 1 e pertanto l'applicazione dei soli coefficienti parziali M2, mentre per le verifiche sono richiesti i parametri caratteristici.

Tabella 11: Stratigrafia di calcolo per la sezione 00+300

Strato	Profondità da [m da p.c.]	Profondità a [m da p.c.]	Descrizione
C	0.0.	5.0	Coltri argillose superficiali
AGES	5.0	40.0	Argille (intercalate da strati di gesso e gessoarenite)

Tabella 12: Parametri geotecnici di calcolo per la sezione – Materiali in sito

STRATO	Descrizione strato	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		Resistenza al taglio non drenata		Modulo di Young operativo	Permeabilità
		$\gamma_d$	$\phi'_k$	$\phi'_d$	$c'_k$	$c'_d$	$c_u$	$c_u$	$E_{op.}$	$k$
		[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]
C	Coltri argillose superficiali	20	23	18	5	4	60	43	6	5.0E-09
AGES	Argille (intercalate da strati di gesso e gessoarenite)	20	24	19	10	8	150	107	25	5.0E-09

La falda di progetto è stata assunta nei calcoli ad una quota di circa 4.0 m dal piano campagna.

### 10.2 VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE

Le verifiche SLU della stabilità globale del rilevato (sia in condizioni statiche che sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo Slope/W (Doc. Rif. [19]). Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento rispettivamente ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico e ai valori caratteristici per le analisi sismiche. Tali coefficienti sono contenuti nella Tabella 1 e nella Tabella 2 della presente relazione.

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE</b> <b>FERROVIARIE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 00 XX	DOCUMENTO XX 00 00 000	REV. A

Come da NTC 2018 (Doc. Rif. [10]), la verifica SLU di stabilità globale è soddisfatta se la relazione:

$$FS \geq R2 = 1.1$$

è verificata in condizioni statiche e la relazione:

$$FS \geq R2 = 1.2$$

È verificata in condizioni sismiche.

Il coefficiente R2 è contenuto nella Tabella 3 della presente relazione.

### 10.2.1 Verifiche in condizioni statiche

L'analisi di stabilità globale in campo statico è stata condotta in accordo alla combinazione DA1C2 assumendo i parametri geotecnici M2 di cui in [10] in Tabella 12.

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura lungo la scarpata della trincea della sede ferroviaria. Tra esse, è definita critica quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo.

Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

In Figura 20, sono riportate tutte le superfici di rottura per la combinazione DA1C2; il fattore di sicurezza FS relativo a tali meccanismi, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS^{\text{MIN}} (\text{DA1C2}) = 1.330$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS^{\text{MIN}} \geq R2 = 1.1,$$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

### 10.2.2 Verifiche in condizioni pseudo-statiche

L'analisi di stabilità globale in campo sismico è stata condotta assumendo i parametri geotecnici caratteristici di cui in Tabella 12.

In accordo a quanto riportato al punto 4, la forza sismica è stata modellata tramite i coefficienti sismici:

$$K_H = + 0.150 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.075 \quad (\text{verificando la più cautelativa tra negativo e positivo})$$

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura lungo la scarpata della trincea della sede ferroviaria. Tra esse, è definita "critica", quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	58 di 78

In Figura 22 è riportata la superficie di rottura critica; il fattore di sicurezza FS relativo a tale meccanismo, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS^{\text{MIN}}=3.880$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS^{\text{MIN}} \geq R2 = 1.2,$$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	59 di 78

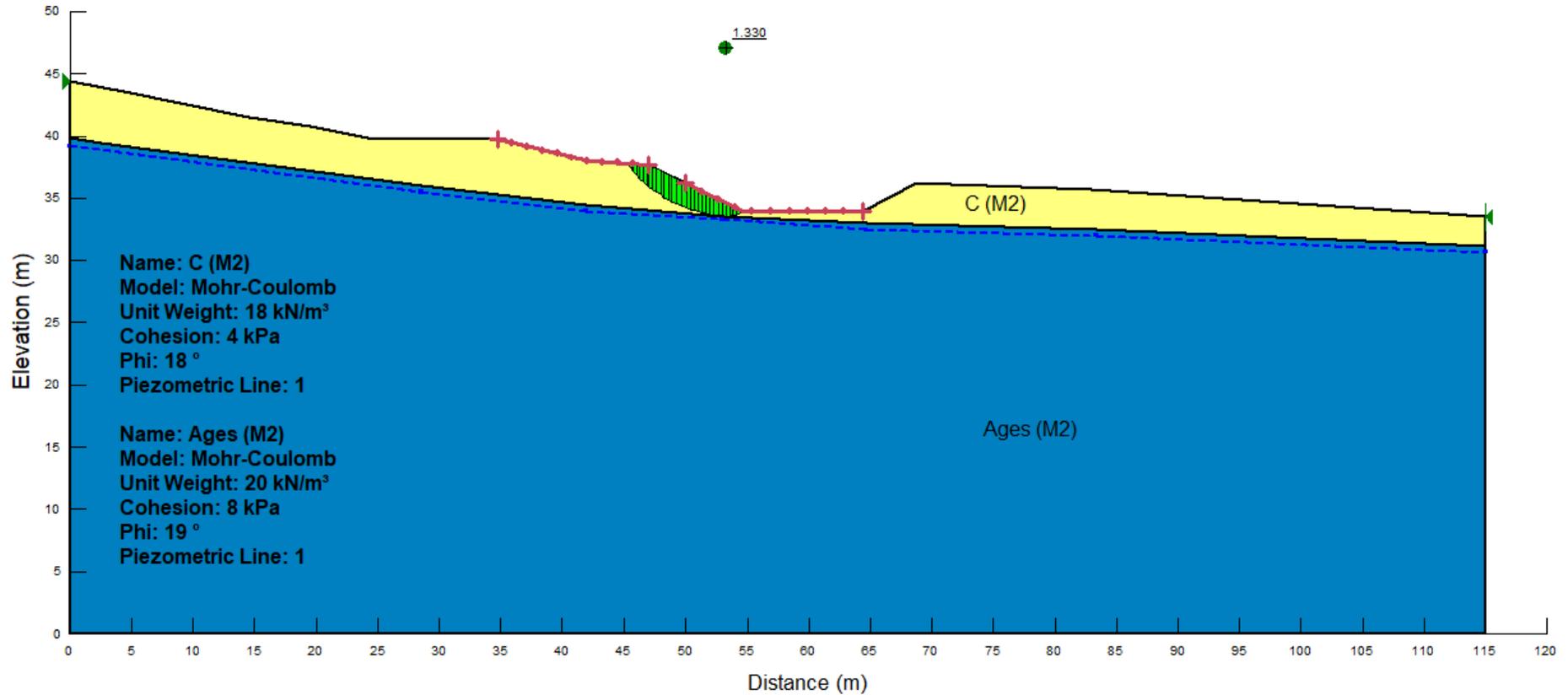


Figura 20: Variante 8 - Analisi di stabilità globale in campo statico DA1C2 - Condizione drenata



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**  
**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO**  
**VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE**  
**FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	60 di 78

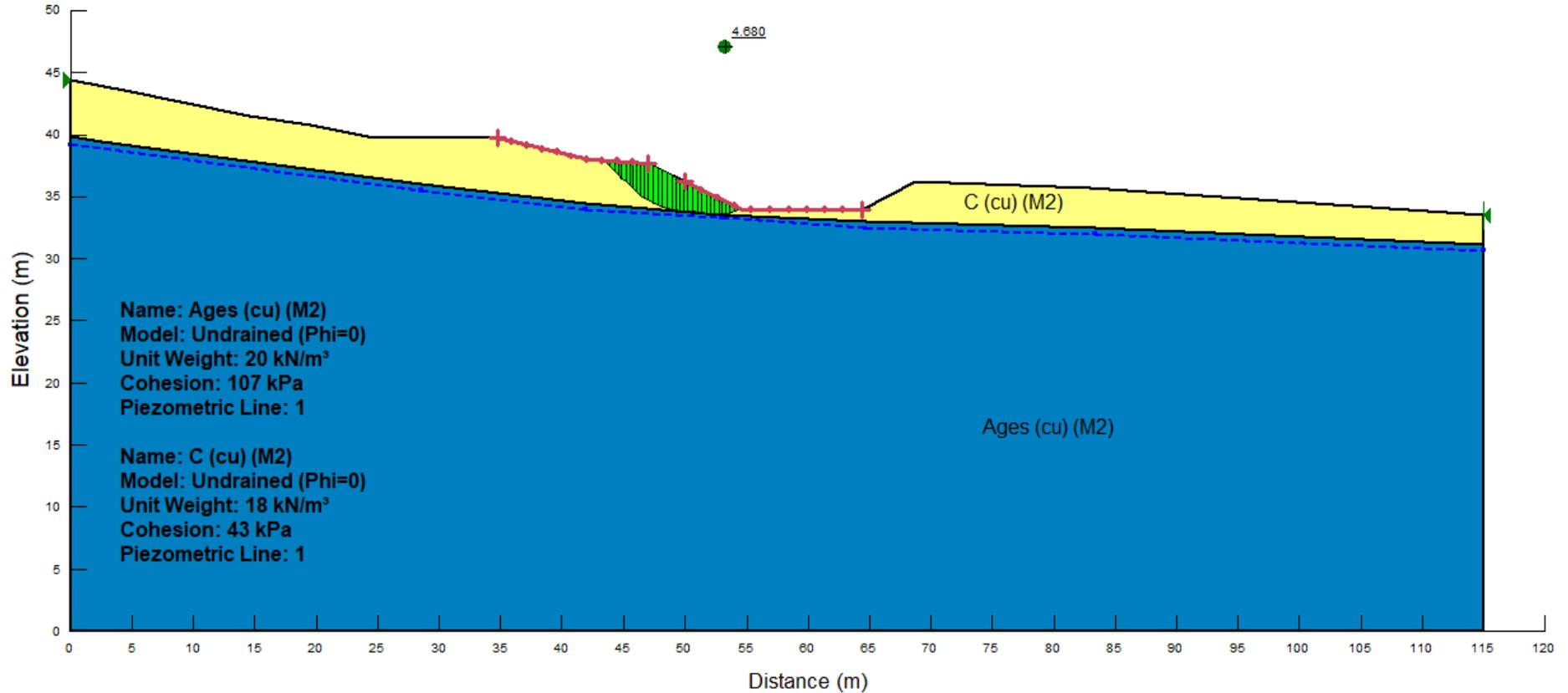


Figura 21: Variante 8 - Analisi di stabilità globale in campo statico DA1C2 - Condizione non drenata



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	61 di 78

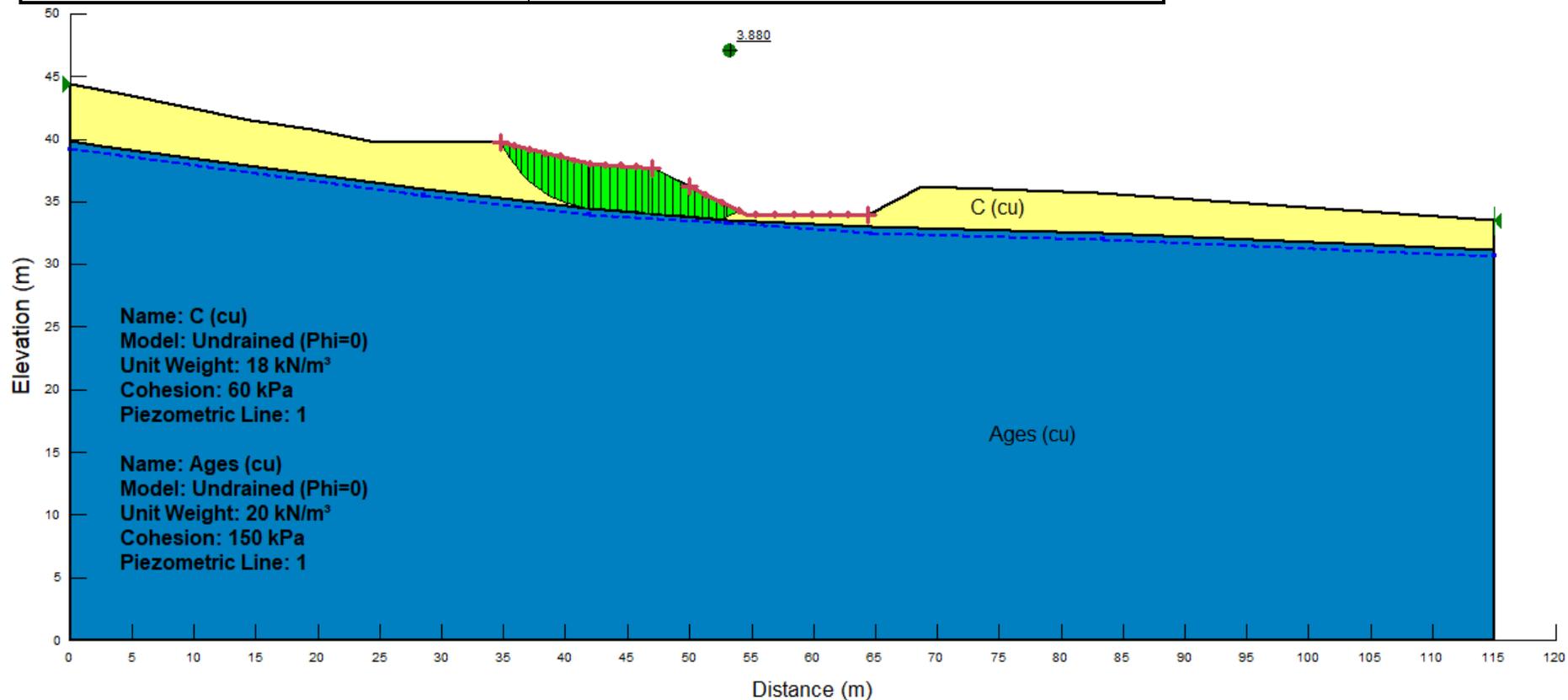


Figura 22: Variante 8 - Analisi di stabilità globale in campo sismico

## 11. SEZIONE DI CALCOLO VARIANTE 9 ALLA PROGRESSIVA 00+300

### 11.1 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica (Doc. Rif.[6]) e sulla base di quanto descritto nel Cap. 3, nella Tabella 13 e Tabella 14 sono riportati la stratigrafia ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto, fattorizzati utilizzando i coefficienti M2 contenuti nella Tabella 2 della presente relazione.

Si rimanda invece alla Tabella 6 per i valori dei parametri geotecnici relativi ai materiali antropici utilizzati per il corpo del rilevato e per lo strato di scotico (50 cm al di sotto del rilevato).

Si ricorda che, come definito al Cap. 7 del Doc. Rif. [4], le verifiche geotecniche SLU di stabilità globale dei rilevati, in campo statico, richiedono l'adozione della sola Combinazione 2 dell'Approccio 1 e pertanto l'applicazione dei soli coefficienti parziali M2, mentre per le verifiche sismiche e per le verifiche SLE, finalizzate alla determinazione dei cedimenti, sono richiesti i parametri caratteristici.

Tabella 13: Stratigrafia di calcolo per la sezione 00+300

Strato	Profondità da [m da p.c.]	Profondità a [m da p.c.]	Descrizione
GS	0.0	1.5	Ghiaie e sabbie alluvionali
C	1.5	3.0	Coltri argillose superficiali
A	3.0	4.5	Argille sovraconsolidate
AL	4.5	40.0	Argilliti e siltiti

Tabella 14: Parametri geotecnici di calcolo per la sezione 00+300– Materiali in sito

STRATO	Descrizione strato	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		Resistenza al taglio non drenata		Modulo di Young operativo	Permeabilità	Indice di consolidazione secondaria
		$\gamma_d$	$\phi'_k$	$\phi'_d$	$c'_k$	$c'_d$	$c_u$	$c_u$	$E_{op.}$	$k$	$C_{\alpha\beta}$
		[kN/m <sup>3</sup> ]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]	-
GS	Ghiaie e sabbie alluvionali	20	33	27	0	0	-	-	25	1.0E-05	-
C	Coltri argillose superficiali	20	23	18	5	4	60	43	6	5.0E-09	0.0020
A	Argille sovraconsolidate	20	24	19	10	8	120	86	20	5.0E-09	0.0020
AL	Argilliti e siltiti	20	24	19	10	8	300	214	50	5.0E-09	-

La falda di progetto è stata assunta nei calcoli ad una quota di circa 2.5 m dal piano campagna.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 00 XX	DOCUMENTO XX 00 00 000	REV. A	FOGLIO 63 di 78
------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	--------------------

## 11.2 VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE

Le verifiche SLU della stabilità globale del rilevato (sia in condizioni statiche che sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo Slope/W (Doc. Rif. [19]). Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento rispettivamente ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico e ai valori caratteristici per le analisi sismiche. Tali coefficienti sono contenuti nella Tabella 1 e nella Tabella 2 della presente relazione.

Come da NTC 2018 (Doc. Rif. [10]), la verifica SLU di stabilità globale è soddisfatta se la relazione:  
 $FS \geq R2 = 1.1$

è verificata in condizioni statiche e la relazione:

$$FS \geq R2 = 1.2$$

È verificata in condizioni sismiche.

Il coefficiente R2 è contenuto nella Tabella 3 della presente relazione.

### 11.2.1 Verifiche in condizioni statiche

L'analisi di stabilità globale in campo statico è stata condotta in accordo alla combinazione DA1C2 assumendo i parametri geotecnici M2 di cui in [10] in Tabella 14 e Tabella 6 rispettivamente per i materiali in sito e per i materiali antropici.

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura tali da intercettare il carico ferroviario. Tra esse, è definita critica quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo.

Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

In Figura 23, sono riportate tutte le superfici di rottura per la combinazione DA1C2; il fattore di sicurezza FS relativo a tali meccanismi, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS^{\text{MIN}} (\text{DA1C2}) = 1.425$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS^{\text{MIN}} \geq R2 = 1.1,$$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 00 XX	DOCUMENTO XX 00 00 000	REV. A	FOGLIO 64 di 78
------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	--------------------

### 11.2.2 Verifiche in condizioni pseudo-statiche

L'analisi di stabilità globale in campo sismico è stata condotta assumendo i parametri geotecnici caratteristici di cui in Tabella 14 e Tabella 6 rispettivamente per i materiali in sito e per i materiali antropici.

In accordo a quanto riportato al punto 4, la forza sismica è stata modellata tramite i coefficienti sismici:

$$K_H = + 0.150 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.075 \quad (\text{verificando la più cautelativa tra negativo e positivo})$$

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura tali da intercettare il carico ferroviario. Tra esse, è definita "critica", quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo.

In Figura 25 è riportata la superficie di rottura critica; il fattore di sicurezza FS relativo a tale meccanismo, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS^{\text{MIN}} = 1.295$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS^{\text{MIN}} \geq R_2 = 1.2,$$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**  
**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO**  
**VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE**  
**FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	65 di 78

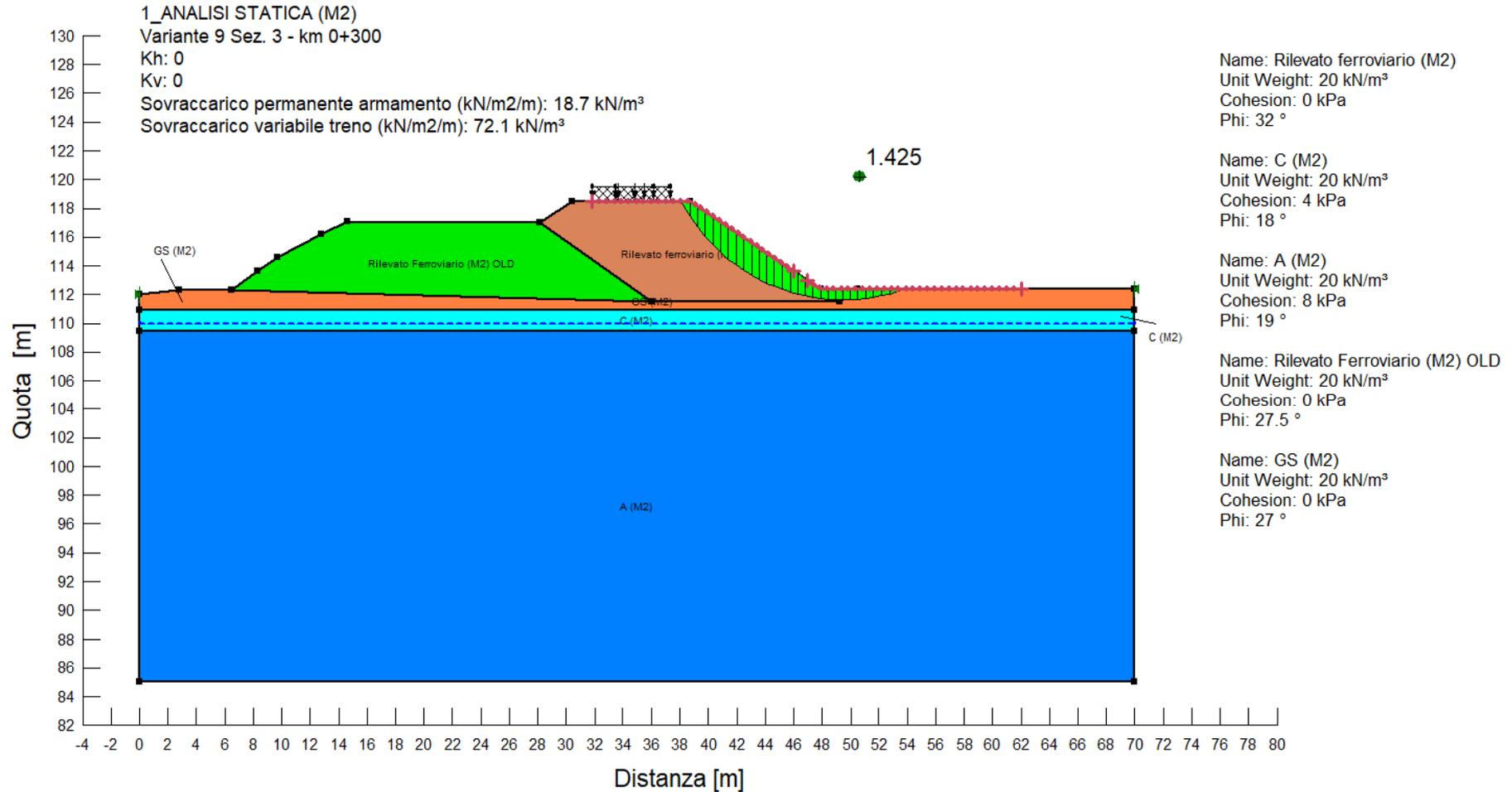


Figura 23: Variante 9 Sez. 00+300- Analisi di stabilità globale in campo statico DA1C2 - Condizione Drenata



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**  
**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO**  
**VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE**  
**FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	66 di 78

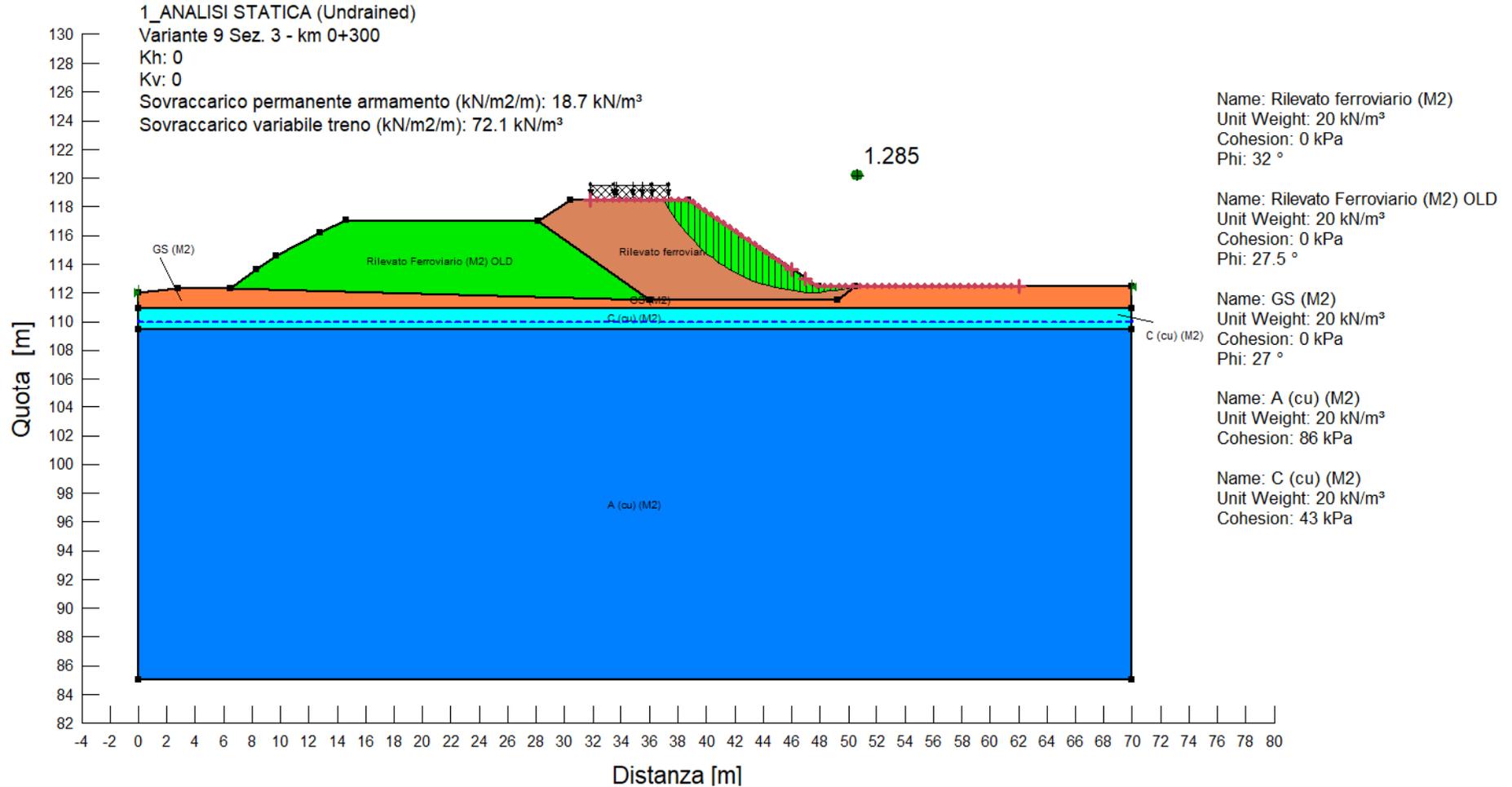


Figura 24: Variante 9 Sez. 00+300- Analisi di stabilità globale in campo statico DA1C2 - Condizione non Drenata



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**  
**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO**  
**VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE**  
**FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	67 di 78

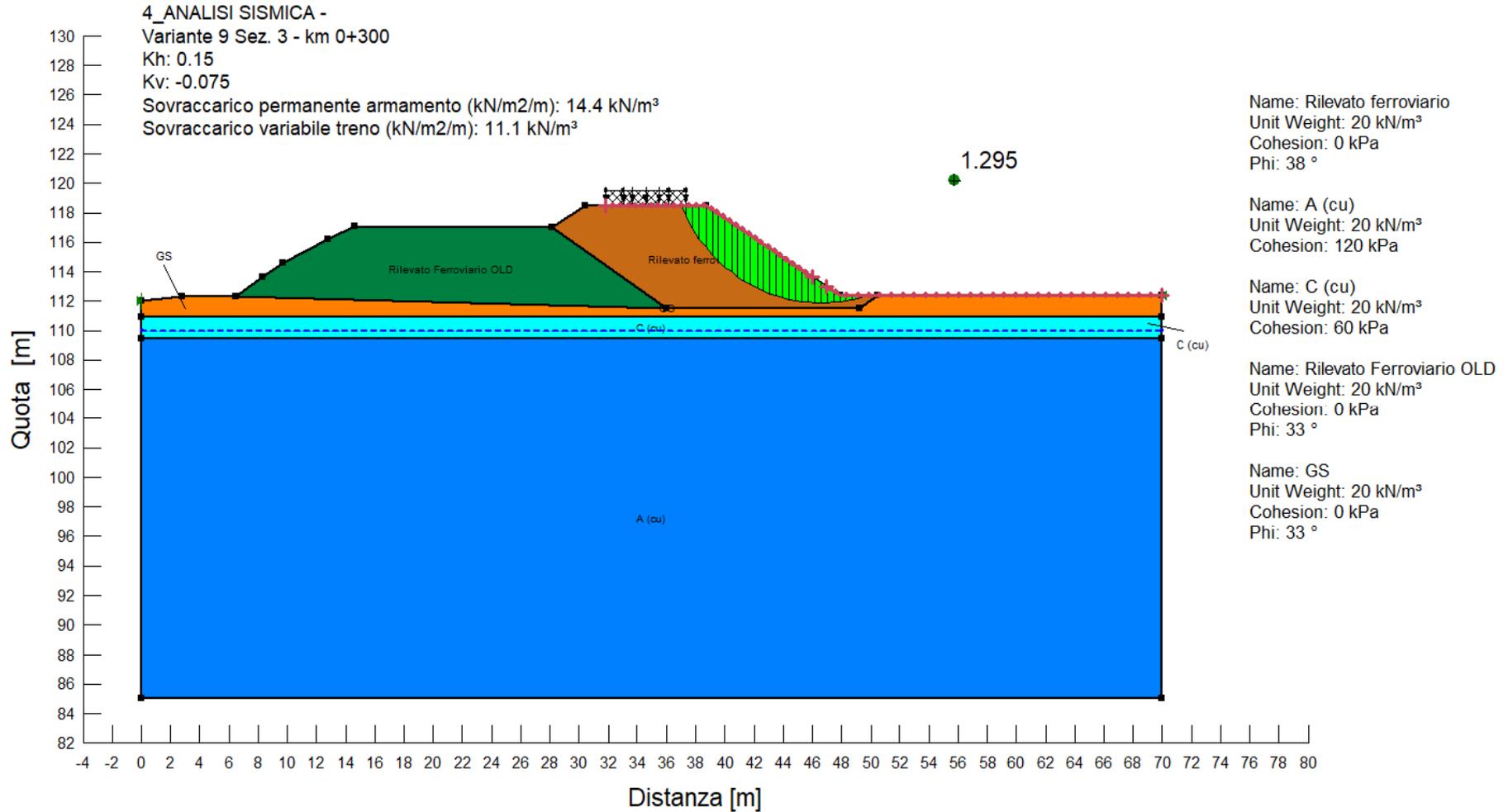


Figura 25: Variante 9 Sez. 00+300- Analisi di stabilità globale in campo sismico

	LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L. <b>PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA</b> <b>COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO</b> <b>VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO</b>					
	<b>RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE</b> <b>FERROVIARIE</b>	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 00 XX	DOCUMENTO XX 00 00 000	REV. A

### 11.3 VERIFICHE SLE – VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI

#### 11.3.1 Modelli e fasi di calcolo

Il modello utilizzato per queste analisi è mostrato nella Figura 26 e rappresenta il rilevato di progetto alla progressiva 00+300. L'altezza del rilevato in oggetto è pari a circa 6.0 metri escluso il pacchetto di armamento ferroviario (ballast, traversine e rotaie, non rappresentato nel modello ma convertito in sovraccarico).

La stratigrafia di calcolo utilizzata è riportata in Tabella 13 utilizzando i parametri caratteristici riportati in Tabella 14.

Si tratta di modelli bi-dimensionali in cui è mostrato il rilevato in sezione, con la propria geometria ed il sovraccarico da armamento ferroviario.

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti:

- Generazione dello stato tensionale iniziale con piano campagna attuale;
- Costruzione del rilevato (durata 9 mesi);
- Consolidazione del terreno di fondazione nel corso dell'esercizio della linea ferroviaria (durata 20 anni);

I risultati ottenuti sono mostrati e commentati al successivo punto 11.3.2.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	69 di 78

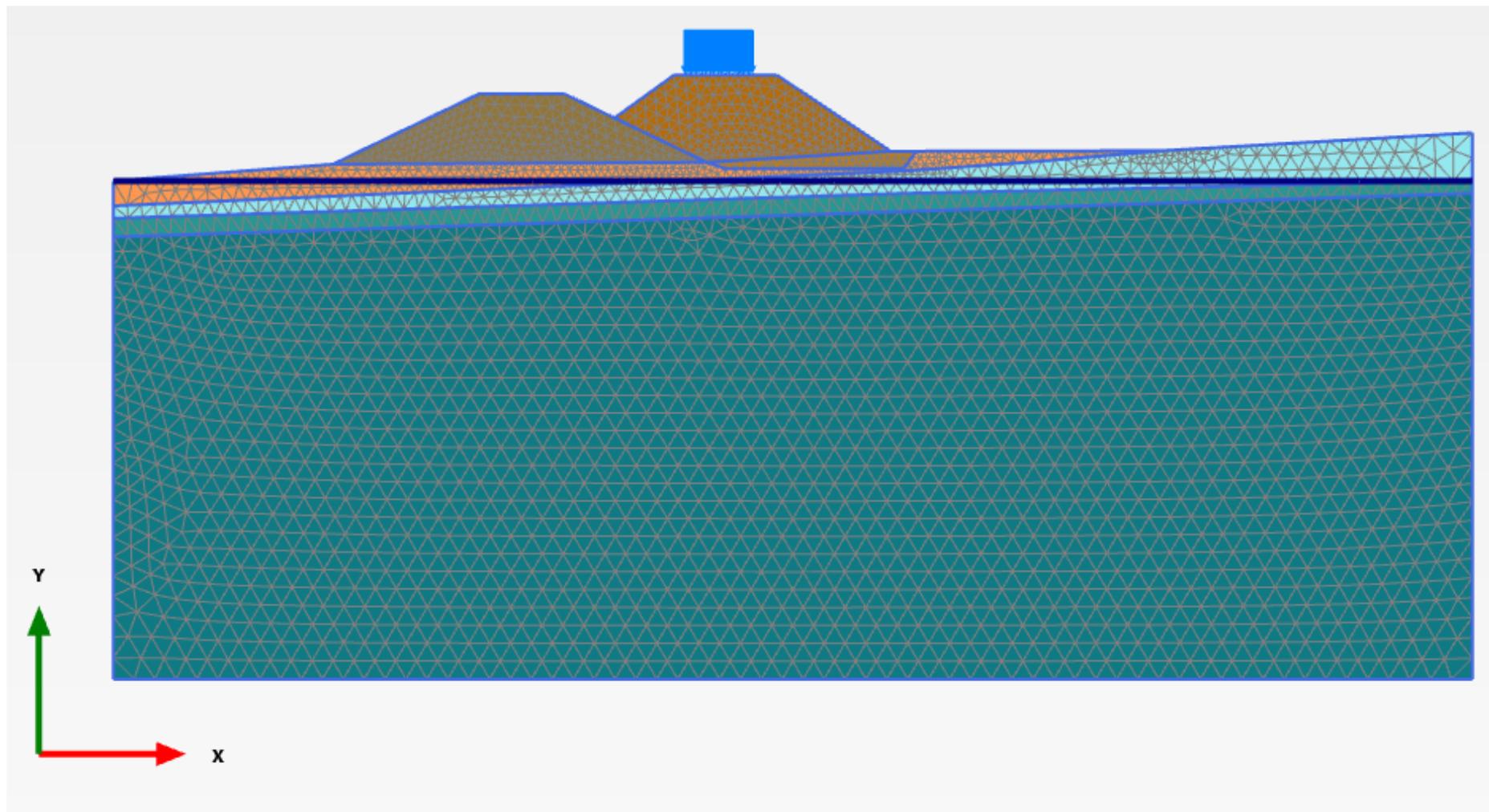


Figura 26: Modello rilevato Variante 9 Sez. 00+300

### 11.3.2 Risultati

In Figura 27 e Figura 28 sono riportati gli spostamenti verticali  $u_y$  nelle singole fasi per valutare l'andamento dei cedimenti nel tempo al termine delle seguenti fasi:

- Al termine di tutte le fasi di costruzione del rilevato e messa in opera.
- Dopo 20 anni dall'entrata in esercizio della linea ferroviaria.

In Figura 29 e Figura 30 sono invece mostrate le sovrappressioni interstiziali alle stesse due fasi di cui sopra. Come è possibile osservare in Figura 30 dopo 20 anni dal termine della costruzione c'è totale dissipazione delle sovrappressioni interstiziali indotte dal carico.

In Figura 32 è mostrata invece la stima dell'andamento dei cedimenti nel tempo a testa rilevato. Data la prevalenza di comportamento a grana fine nello strato di argille plioceniche al disotto dei depositi alluvionali, si considera anche il possibile sviluppo di cedimenti secondari da sommare al cedimento di consolidazione primaria calcolato come descritto in precedenza. Il contributo del cedimento secondario è stato valutato tenendo conto degli incrementi tensionali indotti dalla realizzazione del rilevato. In particolare si è tenuto conto di:

- Valutazione del tempo di inizio cedimento secondario come istante in cui si è sviluppato il 95% del cedimento primario, valutato sulla base della curva cedimento-tempo di Figura 19;
- Definizione dello spessore di materiale interessato dal cedimento secondario valutato in base alla profondità a cui l'incremento tensionale rispetto alla situazione attuale non eccede il 10%. Tale valutazione viene condotta cautelativamente in asse al nuovo rilevato.

Risulta quindi, applicando la formula semplificata di cui sotto:

$$s_s = \sum_{i=1}^n \log\left(\frac{t}{t_{100,i}}\right) c_{\alpha\alpha,i} h_i$$

Dove:

$s_s$  = cedimento secondario;

$t$  = tempo generico finale a partire dall'applicazione del carico a cui si intende valutare il cedimento secondario; nel caso in esame  $t = 20$  anni;

$t_{100,i}$  = tempo di inizio cedimento secondario, valutato come descritto sopra;

$h_i$  = spessore dello strato interessato dal cedimento secondario;



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA RC0Y	LOTTO 00	CODIFICA R 00 XX	DOCUMENTO XX 00 00 000	REV. A	FOGLIO 71 di 78
------------------	-------------	---------------------	---------------------------	-----------	--------------------

$n =$  numero di strati di terreno interessati dal cedimento secondario; nel caso in esame  $n = 1$ ;

$c_{\alpha\epsilon,i} =$  indice di consolidazione secondaria (vedi Tabella 7).

Riassumendo, per le verifiche si possono stimare i cedimenti come segue:

- Cedimento a fine costruzione rilevato: 8.9 cm;
- Cedimento primario a 20 anni da fine costruzione rilevato: 9.4 cm;
- Tempo inizio cedimento secondario: 0.75 anni;
- Spessore del materiale interessato dal cedimento secondario: 3 m;
- Cedimento secondario a 20 anni da fine costruzione rilevato: 0.8 cm;
- Cedimento totale a 20 anni da fine costruzione rilevato: 10.2 cm;

Con riferimento a Manuale di Progettazione RFI DINIC MA CS 00 001 C (parte IV), è necessario garantire il rispetto dei seguenti criteri di ammissibilità:

- cedimento residuo (differenza tra cedimento di lungo termine e cedimento a fine costruzione rilevato) inferiore a 5cm;
- cedimento differenziale fra le rotaie del binario più vicino della linea esistente, come definito nel documento Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h (Cod. RFI TCAR ST AR 01 001 D) e suoi allegati, deve essere verificato che XL, cioè il cedimento differenziale tra le due rotaie su una stessa sezione verticale, sia inferiore a 10mm.

Come dettagliato sopra, risulta che al termine della costruzione il cedimento è pari a 8.9cm, dopo 20 anni è pari a 10.2cm, con un incremento pari a 1.3cm. Ne consegue che i cedimenti residui sono inferiori al valore limite di 5cm.

La stima del cedimento secondario effettuata come dettagliato sopra è molto cautelativa, in quanto si presume che tutto lo strato interessato da incremento di carico significativo, stimato peraltro al di sotto del punto più caricato (asse rilevato), abbia tutte le stesse caratteristiche del campione su cui è stata effettuata la prova edometrica. Si presume quindi che in realtà i cedimenti secondari possano essere inferiori a quanto stimato, anche se la compressibilità secondaria andrà comunque opportunamente indagata nelle successive fasi progettuali. Tuttavia, anche con tale stima prudenziale, il requisito di cui sopra sul cedimento residuo risulta verificato.



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
**PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	72 di 78

Attraverso l'analisi dei risultati dell'analisi ad elementi finiti con il software Plaxis risulta che il cedimento differenziale fra i binari della linea esistente (Figura 31) è massimo a fine costruzione. Il valore di cedimento differenziale massimo (ovvero il livello trasversale XL) è circa 3mm.

Risulta pertanto che i cedimenti indotti dalla realizzazione del nuovo rilevato sul binario della linea esistente è inferiore ai limiti prescritti (10mm), quindi accettabile.

I cedimenti delle rotaie esistenti andranno comunque gestiti attraverso rinalzi del ballast e monitorati attentamente in fase di costruzione, al fine di garantire il corretto esercizio della linea ferroviaria



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	73 di 78

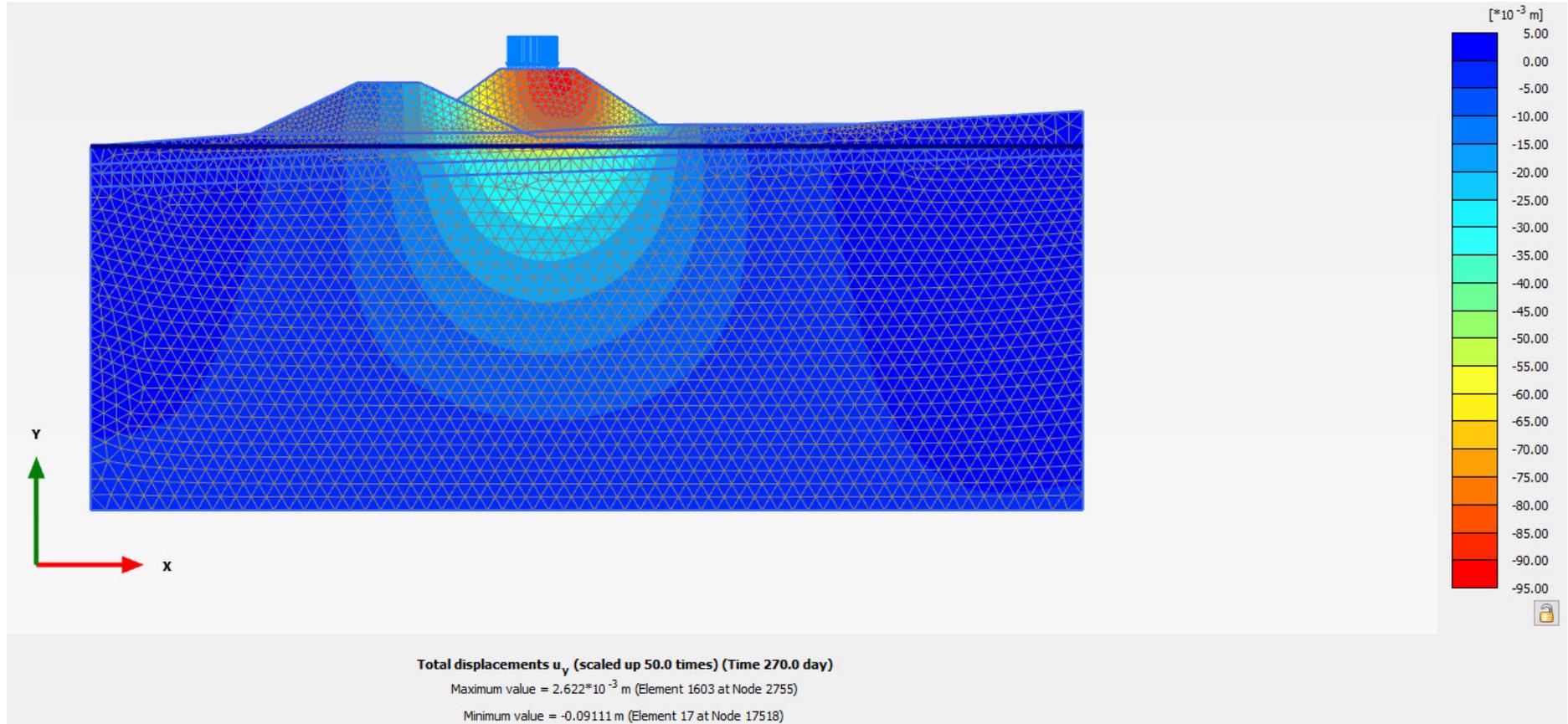


Figura 27: Variante 9 Sez. 00+300– Spostamenti verticali termine costruzione



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	74 di 78

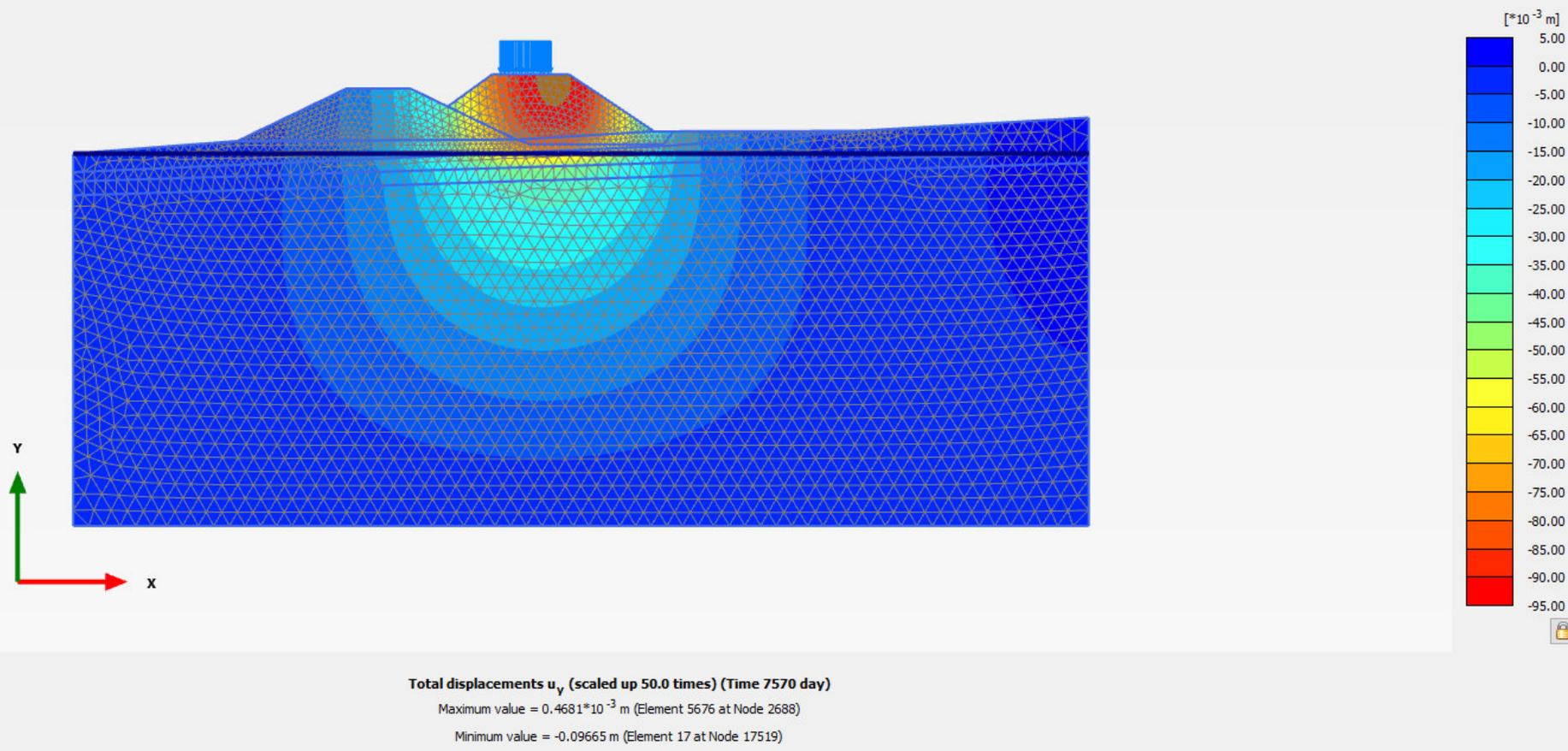


Figura 28: Variante 9 Sez. 00+300– Spostamenti verticali lungo termine

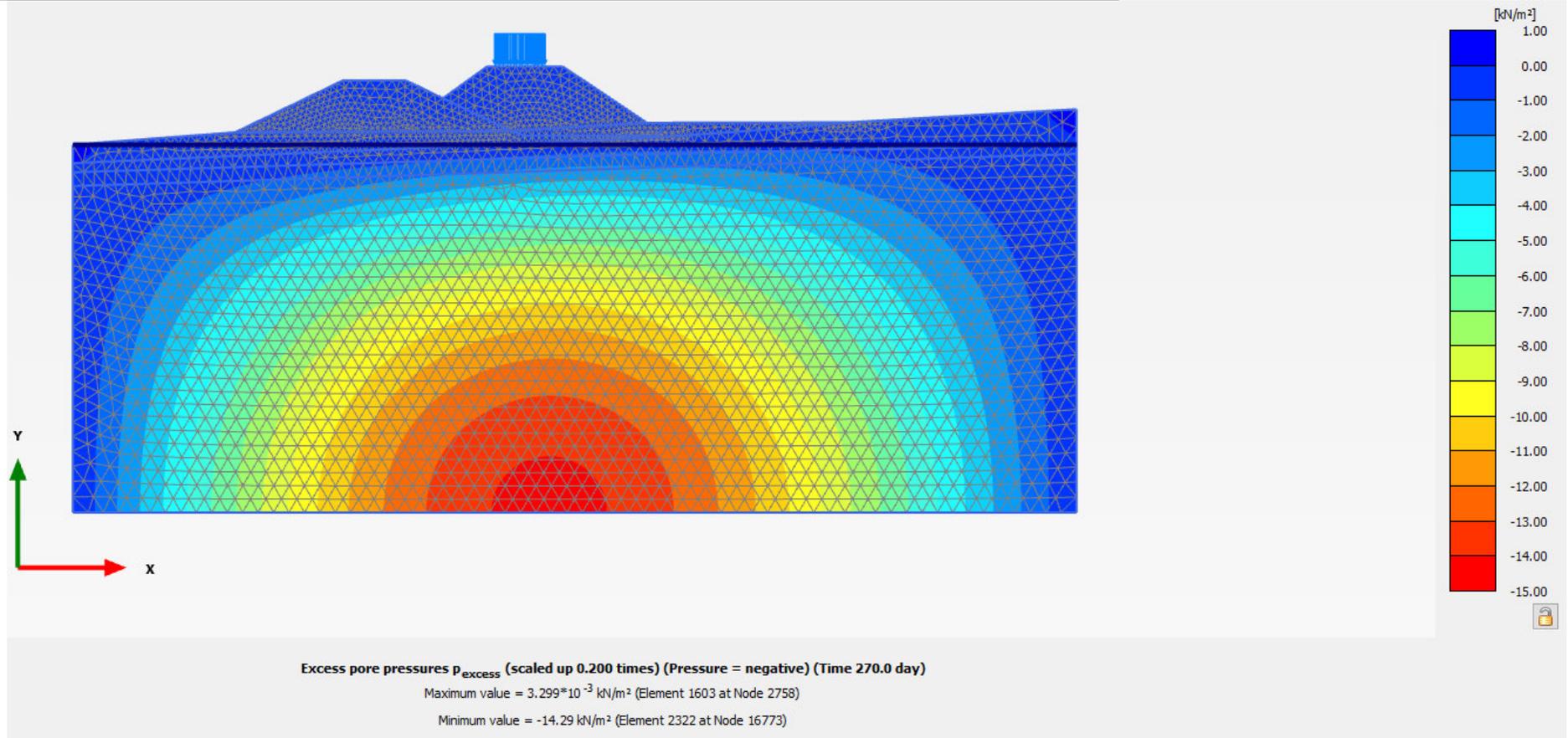


Figura 29: Variante 9 Sez. 00+300– Sovrappressioni interstiziali  $\Delta u$  verticali termine costruzione



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	76 di 78

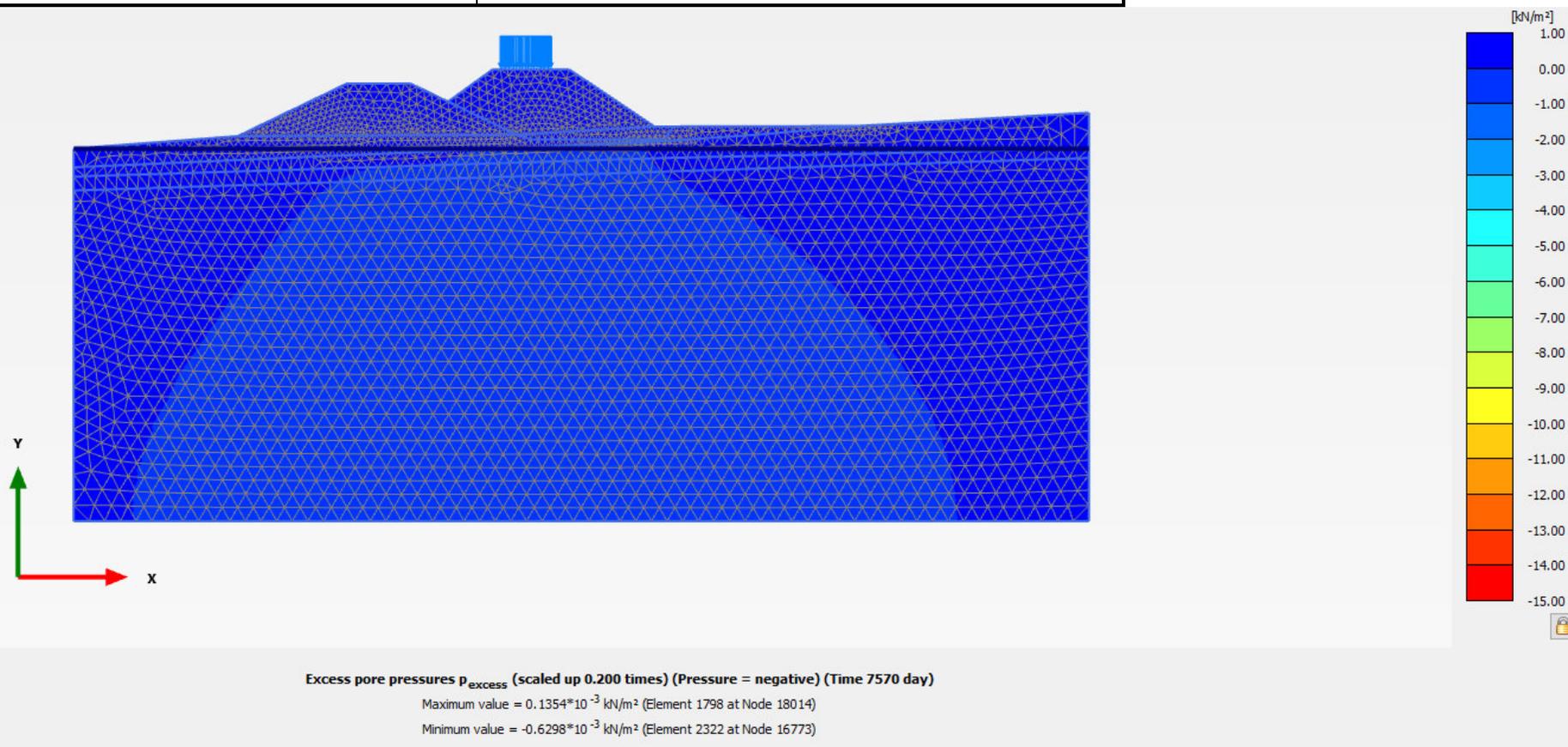


Figura 30: Variante 9 Sez. 00+300– Sovrappressioni interstiziali  $\Delta u$  lungo termine



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	77 di 78

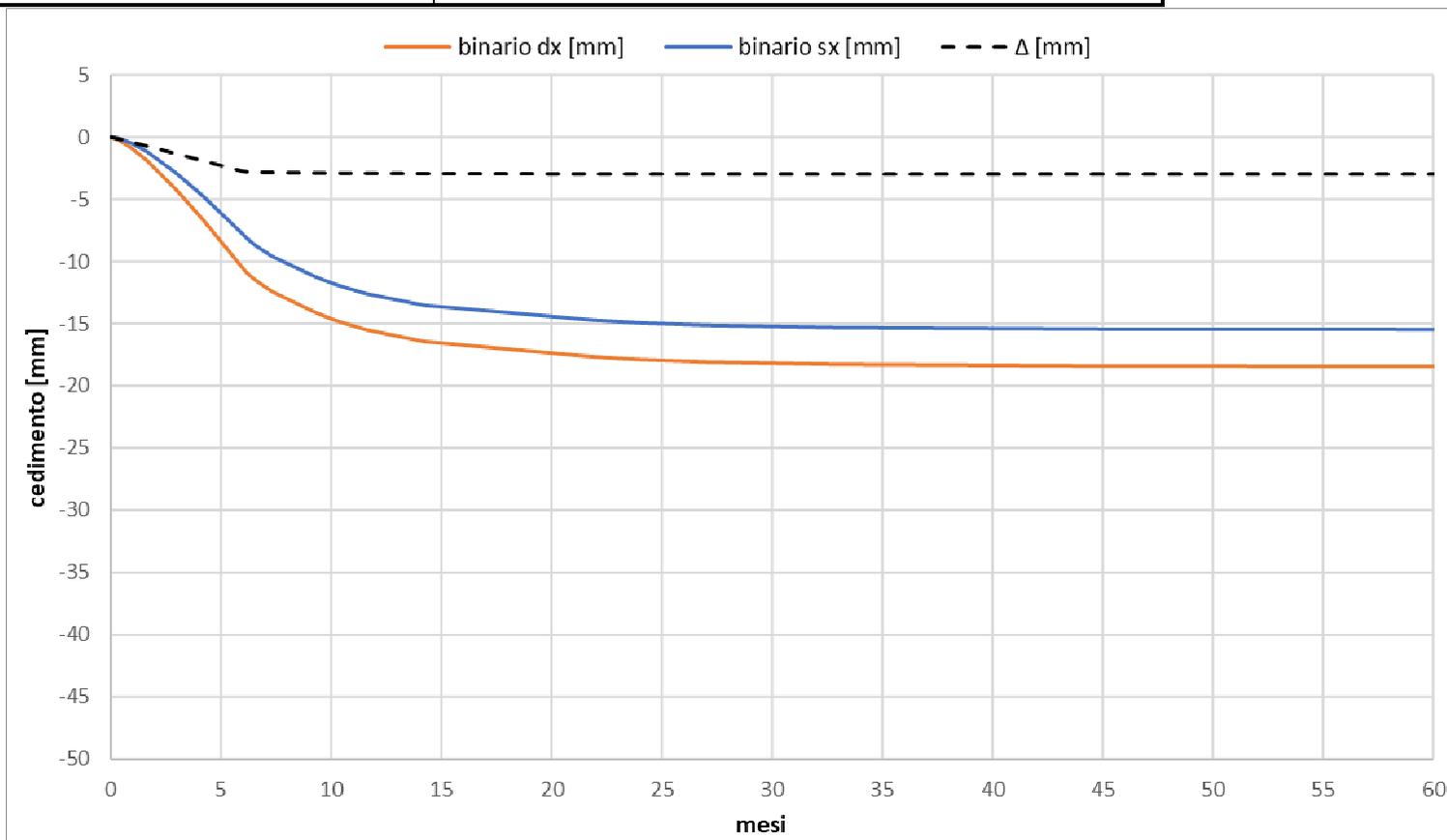


Figura 31: Variante 9 Sez. 00+300– Livello trasversale XL binari linea esistente



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA  
COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO  
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE  
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00	R 00 XX	XX 00 00 000	A	78 di 78

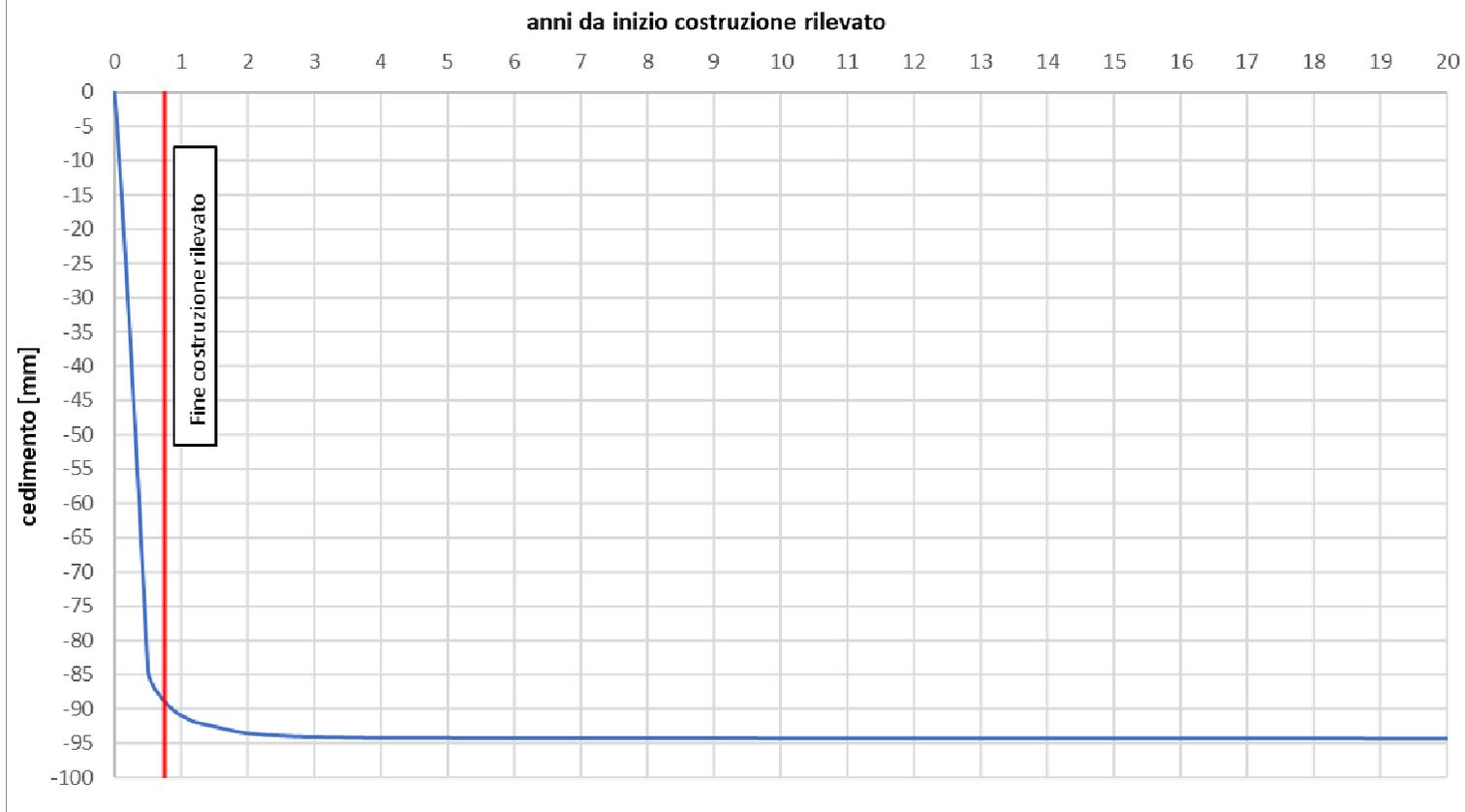


Figura 32: Variante 9 Sez. 00+300– Andamento dei cedimenti nel tempo a testa rilevato