

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

PROGETTO DEFINITIVO

NODO INTERMODALE DI BRINDISI

COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI

GEOTECNICA

Relazione di calcolo dei rilevati e delle trincee ferroviarie

SCALA:

-

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

I A 7 K 0 0 D 1 0 C L G E 0 0 0 6 0 0 1 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	L. Giannini	Dic.2019	A. Ciavarella	Dic.2019	T. Paoletti	Dic.2019	L. Berardi Feb. 2020
B	EMISSIONE ESECUTIVA	L. Giannini	Dic.2019	A. Ciavarella	Dic.2019	T. Paoletti	Dic.2019	
C	EMISSIONE ESECUTIVA	L. Giannini	Feb. 2020	A. Ciavarella	Feb. 2020	T. Paoletti	Feb. 2020	



File:

n. Elab.: -

INDICE

1.	INTRODUZIONE	5
2.	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	7
2.1	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO E DI BASE	7
2.2	NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO	7
2.3	SOFTWARE	8
3.	CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE.....	9
3.1	CRITERI GENERALI DI VERIFICA	9
3.2	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO STATICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI.....	10
3.2.1	<i>Stati limite ultimi (SLU)</i>	10
3.2.2	<i>Stati limite di esercizio (SLE)</i>	12
3.3	STABILITÀ DEL SITO NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE	12
3.4	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI	13
3.4.1	<i>Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche</i>	13
3.4.2	<i>Stati limite ultimi (SLU)</i>	14
3.4.3	<i>Stati limite di esercizio (SLE)</i>	15
4.	COEFFICIENTI SISMICI PER LA VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE	16
5.	CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA	17
5.1	CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI.....	17
5.1.1	<i>Slope/W</i>	17
5.1.2	<i>Plaxis 2D</i>	17
5.2	METODOLOGIE DI VERIFICA ADOTTATE	17
5.2.1	<i>Verifiche di stabilità</i>	17
5.2.2	<i>Valutazione degli spostamenti</i>	18
6.	CARATTERISTICHE DEL CORPO FERROVIARIO.....	20
6.1	DESCRIZIONE DEI RILEVATI FERROVIARI	20

6.2	MATERIALI COSTITUENTI IL RILEVATO	20
6.3	CARICHI DI PROGETTO	21
7.	SELEZIONE DELLE SEZIONI OGGETTO DI VERIFICA.....	22
8.	SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 03+638.....	23
8.1	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO	23
8.2	VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE	24
8.2.1	<i>Verifiche in condizioni statiche.....</i>	24
8.2.2	<i>Verifiche in condizioni pseudo-statiche.....</i>	25
8.3	VERIFICHE SLE – VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI	29
8.3.1	<i>Modelli e fasi di calcolo.....</i>	29
8.3.2	<i>Risultati</i>	31
9.	SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 03+450.....	39
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>	40
9.2.2	<i>Verifiche in condizioni pseudo-statiche.....</i>	41
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
10.	SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 00+950.....	55
10.1	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO	55
10.2	VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE	56
10.2.1	<i>Verifiche in condizioni statiche.....</i>	56
10.2.2	<i>Verifiche in condizioni pseudo-statiche.....</i>	57
10.3	VERIFICHE SLE – VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI	60
10.3.1	<i>Modelli e fasi di calcolo.....</i>	60
10.3.2	<i>Risultati</i>	62



NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	4 di 69


11. SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 00+150.....64

11.1 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO 64

11.2 VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE 65

11.2.1 *Verifiche in condizioni statiche*..... 66

11.2.2 *Verifiche in condizioni pseudo-statiche*..... 66

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

1. INTRODUZIONE

Il presente documento riporta le verifiche, ai sensi della Normativa vigente (NTC 2018), relative ai rilevati e alle trincee presenti lungo il tracciato del nuovo collegamento ferroviario fra la stazione di Brindisi e la futura stazione dell'aeroporto del Salento.

L'area interessata dall'intervento ricade a nord e nord-ovest della città di Brindisi ed è compresa tra l'asse ferroviario della linea Adriatica e l'aeroporto. Il progetto del nuovo collegamento comprende anche dei raccordi con le tratte ferroviarie direzione Taranto-Brindisi e Bari-Brindisi (Figura 1).

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 e la valutazione del sito nei confronti della liquefazione.

Nel Capitolo 5 si descrivono i codici di calcolo ed i criteri di verifica adottati.

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 rappresentative delle condizioni maggiormente critiche e che saranno oggetto di verifica.

Nei Capitoli 8 9 10 11 si riportano i risultati delle analisi effettuate.



Figura 1: Tracciato di progetto con ubicazione opere principali - Google Earth, immagini 2018

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

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 Definitivo – Collegamento ferroviario dell'aeroporto del Salento con la stazione di Brindisi – Relazione geotecnica generale (Doc. Rif. - IA7K00D10GEGE0006001A)
- [2] ITALFERR – Progetto Definitivo – Collegamento ferroviario dell'aeroporto del Salento con la stazione di Brindisi – Profili geotecnici (Doc.da IA7K00D10F6GE0006001A a IA7K00D10F6GE0006005A)

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:

- [3] 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.
- [4] 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”
- [5] RFI DTC SI MA IFS 001 C del 21.12.2018- “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”.
- [6] RFI DTC SI SP IFS 001 C del 21.12.2018- Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi”– RFI.
- [7] 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”
- [8] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [9] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

2.3 SOFTWARE

[10] Slope\W – GeoSlope (www.geo-slope.com)

[11] 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))

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	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. [3]):

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

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

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 6.2.1 del Doc. Rif. [3]})$$

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.[3]).

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

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 del Doc. Rif. [3]})$$

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.

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

3.2 VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO STATICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI

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

3.2.1 Stati limite ultimi (SLU)

Le verifiche di stabilità in campo statico di opere in materiali sciolti, quali rilevati, devono essere eseguite secondo il seguente approccio (Par. 6.8.2 del Doc. Rif.[3]):

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.[4]), calcolata sulla base delle azioni di progetto, dei parametri di progetto e della geometria di progetto ($R = R \left[\gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_m}; a_d \right]$).

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

Facendo riferimento a quanto previsto al p.to 3.5.2.3.8 del Doc Rif. [5], per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali in Tabella 1 (Tab. 6.2.I del Doc Rif. [3]) e i coefficienti di combinazione ψ come riportato da manuale di progettazione al par. 3.8.1.3.4.3.

In particolare, riguardo l'ultima prescrizione, in condizioni sismiche, il coefficiente di combinazione ψ per il carico variabile da traffico ferroviario, da utilizzare nelle verifiche agli stati limite ultimi, dovrà essere posto pari a 0,2.

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{Gi}

Tabella 1: Coefficienti parziali sulle azioni (Tab. 6.2.I del Doc. Rif.[3])

In Tabella 1 (Tab. 5.2.V del Doc. Rif. [3]) il significato dei simboli è il seguente:


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

Tabella 2: Coefficienti parziali sui terreni (M1 ed M2) - (Tab. 6.2.II, del Doc. Rif.[3])

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	γ_{Cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	1.0	1.0

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

Coefficiente parziale	(R2)
------------------------------	-------------

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C
	γ _R	1.1				

3.2.2 Stati limite di esercizio (SLE)

Deve essere verificato, mediante analisi effettuate impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali (Par. 6.5.3.2 del Doc. Rif. [3]), 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. [5], RFI stabilisce un valore soglia degli spostamenti residui attesi, corrispondenti ad uno Stato Limite di Esercizio (s_{SLE}), pari a 5 cm. Inoltre, il cedimento residuo deve essere inferiore al 10% del cedimento di lungo termine;

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

3.3 STABILITÀ DEL SITO NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

In base a quanto indicato nelle NTC 2018 il sito presso il quale è ubicata l'opera deve essere stabile nei confronti della liquefazione. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

Le NTC2018 al paragrafo 7.11.3.4.2 stabiliscono che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

- Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero (cfr. a_{MAX}) minori di 0.1 g;
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche SPT normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche CPT, normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve tipiche per materiali con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

In caso contrario risulta necessario valutare il rischio di liquefazione e i potenziali effetti in superficie.

Per il presente progetto, sulla base dei valori di pericolosità sismica determinati (Doc. Rif. [1]), la verifica a liquefazione può essere omessa, poiché per tutto il tracciato non sono attese accelerazioni massime superiori a 0.1g.

3.4 VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI

3.4.1 Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche

Le NTC 2018 (Doc. Rif. [3]) 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. [3]:

- **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):**

1. 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.
2. 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.[4]).

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

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.[4], le verifiche geotecniche in presenza di un evento sismico richiedono la verifica ai seguenti stati limite:

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

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

3.4.2 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. [3]). 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

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C


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

Come riportato al Par. 7.11.4 del Doc. Rif. [3] le verifiche possono essere condotte mediante metodi pseudo statici, metodi degli spostamenti e metodi di analisi dinamica.

3.4.3 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 Danno (SLD).

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

4. COEFFICIENTI SISMICI PER LA VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

Come descritto al Par. C7.11.4 del Doc. Rif. [4] , la verifica di stabilità globale va condotta mediante il metodo di analisi definito al Par. 7.11.3.5 del Doc. Rif.[3], inerente alla stabilità dei pendii.

Sulla base di quanto definito al Par.7.11.3.5.2 del Doc. Rif.[3], 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. [1]), qui assunto pari a 0.077 (valore massimo per la tratta in oggetto).

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

Come chiarito al Par. 7.11.4 del Doc. Rif. [3] il valore del coefficiente β_s da assumere è pari a 0.38 per verifiche allo SLV su fronti di scavo o rilevati, come nel caso in oggetto.

In accordo alle espressioni di cui sopra, si ottengono i seguenti coefficienti per la verifica di stabilità globale allo SLV (Tabella 5):

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

a_{max} (g)	k_h	k_v
0.077	0.029	± 0.015

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

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 *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).

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.

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

Il coefficiente di sicurezza a rottura lungo la superficie di scorrimento viene definito come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie e quella effettivamente mobilitata:

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

Il codice 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.). 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 pavimentazione stradale ferroviaria che contribuisce anch'esso ad incrementare la resistenza allo scivolamento nella porzione di meccanismo che attraversa tali materiali.

5.2.2 Valutazione degli spostamenti

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 elasto-plastico per il materiale costituente il rilevato.

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 adottato per tutte le analisi prevedono che i limiti del modello siano drenati lungo i bordi verticali e impermeabile lungo il bordo orizzontale.

Stante la natura dei materiali coesivi incontrati, e considerata dunque la possibilità di sviluppo di cedimenti secondari non trascurabili, ai cedimenti calcolati con il modello ad elementi finiti Plaxis sono poi aggiunti i contributi dovuti alla consolidazione secondaria.

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

Tale contributo è stato valutato tenendo conto degli incrementi tensionali indotti dalla realizzazione del rilevato e dalla successiva applicazione dei sovraccarichi.

Per il calcolo dei cedimenti secondari sono stati utilizzati i valori dei coefficienti $C_{\alpha\varepsilon}$ riportati nella tabella dei parametri di calcolo per le diverse unità. Il calcolo avviene per mezzo della seguente equazione:

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

essendo:

s_s = cedimento secondario (m);

t = tempo generico a partire dall'applicazione del carico (s);

$t_{100,i}$ = tempo necessario all'esaurimento della consolidazione primaria nello strato i -esimo interessato da consolidazione secondaria (s);

h_i = altezza dello strato i -esimo di terreno interessato da consolidazione secondaria (m);

n = numero di strati di terreno interessato da consolidazione secondaria (-);

$C_{\alpha\varepsilon,t}$ = coefficiente di consolidazione secondaria nello strato i -esimo misurato da prove edometriche di laboratorio

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

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 con terreno vegetale e inerbimento.

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 e rotaie.

6.2 MATERIALI COSTITUENTI IL RILEVATO

Il materiale costituente il copro 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 è 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]	γ_d	ϕ'_k	ϕ'_d M2	c'_k	c'_d M2	$E_{op.}$	k
		[kN/m ³]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]
RILEVATO	Variabile	20	38	32	0	0	40	1x10 ⁻⁵
STRATO DI SCOTICO	0.5	20	38	32	0	0	20	1x10 ⁻⁵

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

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/m³. Il carico è stato applicato sulla sommità del rilevato per una larghezza complessiva di circa 5.5 m.

Il sovraccarico da traffico ferroviario è stato valutato in accordo a quanto riportato nel Doc. Rif. [5] per quanto riguarda il traffico normale (modello di carico SW/2). In base a quanto indicato nella specifica di riferimento si è definita la pressione equivalente secondo le seguenti considerazioni:

- il carico dato dal treno SW/2 risulta essere pari a 150 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 3.2 m, centrata in corrispondenza dell'asse della linea ferroviaria (ossia $150/3.2 = 46.88$ kPa).

In particolare, la pressione è stata assunta pertanto pari a 46.9 kPa, da amplificarsi, sempre in base a quanto indicato dal Doc. Rif. [5], con un coefficiente α pari a 1.0 nel caso di modello di carico SW/2. Pertanto, il valore di pressione risultante è pari a 46.9 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 applicando laddove necessario gli opportuni coefficienti parziali di amplificazione come previsti dalla Normativa vigente.

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

7. SELEZIONE DELLE SEZIONI OGGETTO DI VERIFICA

La sede ferroviaria del Collegamento con l'aeroporto di Brindisi si sviluppa in rilevato per gran parte del suo sviluppo, raggiungendo un'altezza massima pari a circa 9.3m. Nella parte iniziale del tracciato, in corrispondenza dei raccordi con la linea esistente, il tracciato è in trincea, raggiungendo una profondità massima pari a 3m circa.

Ai fini delle verifiche geotecniche sono state selezionate le seguenti sezioni ritenute rappresentative delle condizioni maggiormente critiche:

- Sez. 75 - km 03+638, sezione in rilevato H=9m (Collegamento con l'Aeroporto),
- Sez. 71 - km 03+450, sezione in rilevato H=6m (Collegamento con l'Aeroporto),
- Sez. 20 - km 00+950, sezione in trincea in affiancamento linea Adriatica (Raccordo Taranto),
- Sez. 4 - km 00+150, sezione in trincea H=3m (Collegamento con l'Aeroporto).

Per le sezioni sopra selezionate sono state svolte le verifiche di stabilità globale e il calcolo dei cedimenti, eccezion fatta per la sezione 4 in trincea, per la quale è stata effettuata la solo verifica di stabilità globale dello scavo.

Per la definizione dei valori dei parametri geotecnici e delle quote di falda assunti nelle verifiche delle singole sezioni si rimanda alla Relazione Geotecnica e ai Profili Geotecnici. (Doc. Rif. [1] e [1]).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

8. SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 03+638

La sezione oggetto di verifica, ubicata alla progressiva 03+368 del Collegamento don l'Aeroporto, è costituita da un rilevato di 9.3 metri, che eccedendo l'altezza di 6 m, presenta una banca intermedia di larghezza pari 2 metri.

8.1 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica (Doc. Rif.[1]) 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 sezione 03+638

Strato	Profondità da [m da p.c.]	Profondità a [m da p.c.]	Descrizione
Ls(ms)	0	1	Limo marrone scuro
S _L (Cal)	1	8	Sabbia limosa/limo sabbioso color avana con possibili intercalazioni calcarenitiche
Ls(ga)	8	21	Limo sabbioso grigio azzurro
Al	21	45	Argilla limosa grigio azzurra
Cal	45	50	Depositi calcarenitici

Tabella 8: Parametri geotecnici di calcolo per la sezione 03+638 – 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
		γ_d	ϕ'_k	ϕ'_d M2	c'_k	c'_d M2	c_u	c_u M2	$E_{op.}$	k



**NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE**

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IA7K 00 D10 CL GE0006 001 C 24 di 69

		[kN/m ³]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]
Ls(ms)	Limo marrone scuro	19	26	21.3	5	4	-	-	10	1.0E-08
S _L (Cal)	Sabbia limosa/limo sabbioso color avana con possibili intercalazioni calcarenitiche	19	29	23.9	3	2.4	-	-	20 (prof< 4.5m) 24 (prof> 4.5m)	1.0E-07
Ls(ga)	Limo sabbioso grigio azzurro	19.5	26	21.3	7	5.6	50	35.7	33	1.0E-07
A _L	Argilla limosa grigio azzurra	20	23	18.8	15	12	0.3·sv	0.3·sv/1.4	(2.5·G ₀)/10	1.0E-09
Cal	Depositi calcarenitici	20	31	25.7	0	0	-	-	30	1.0E-07

Dove: $G_0 = 85 \cdot (s'_{vo}/p_a)^{0.65}$ (assumendo la falda ad 1 m da pc)

La falda di progetto è stata assunta nei calcoli ad una quota di circa 1 m dal piano campagna.

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. [10]). 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. [3]), 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 [3] in Tabella 8 e Tabella 6 rispettivamente per i materiali in sito e per i materiali antropici.

Il carico da traffico ferroviario (q), assunto pari a 46.9 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è di tipo

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

variabile/sfavorevole pertanto, in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2 riportato in Tabella 1; il valore di calcolo è stato assunto pari a:

$$q_d = q_k \times \gamma_{Q1 [A2]} = 46.9 \text{ kPa} \times 1.3 = 60.9 \text{ kPa.}$$

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/m³. 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:

$$q_d = q_k \times \gamma_{G1 [A2]} = 14.4 \text{ kPa} \times 1.3 = 18.7 \text{ kPa.}$$

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 le superfici di rottura critica 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:

$$FS^{\text{MIN}} (\text{DA1C2}) = 1.361$$

Essendo soddisfatta la relazione:

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

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

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:

$$K_H = + 0.029 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.015 \quad (\text{verificando la più cautelativa tra negativo e positivo})$$

Il carico ferroviario (q), assunto pari a 46.9 kPa, è stato moltiplicato per un coefficiente $\psi=0.2$ in accordo a Doc. Rif. [3] e modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

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. [3]) che indicano per le analisi in condizioni sismiche di porre tutti pari ad uno i coefficienti parziali sulle azioni. Pertanto:

$$q_d = 0.2q_k = 9.4 \text{ kPa.}$$

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/m³. Tale carico 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. [3]) che indicano per le analisi in condizioni sismiche di porre tutti pari ad uno i coefficienti parziali sulle azioni. Pertanto: $q_d = q_k = 14.4 \text{ kPa.}$

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 e 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:

$$FS^{MIN} = 1.596$$

Essendo soddisfatta la relazione:

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

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.



**NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	27 di 69

**ANALISI STATICA
Sez. 75 - km 03+638**

Kh: 0

Kv: 0

Sovraccarico permanente armamento (kN/m²/m): 18.7 kN/m³

Sovraccarico variabile treno (kN/m²/m): 60.9 kN/m³

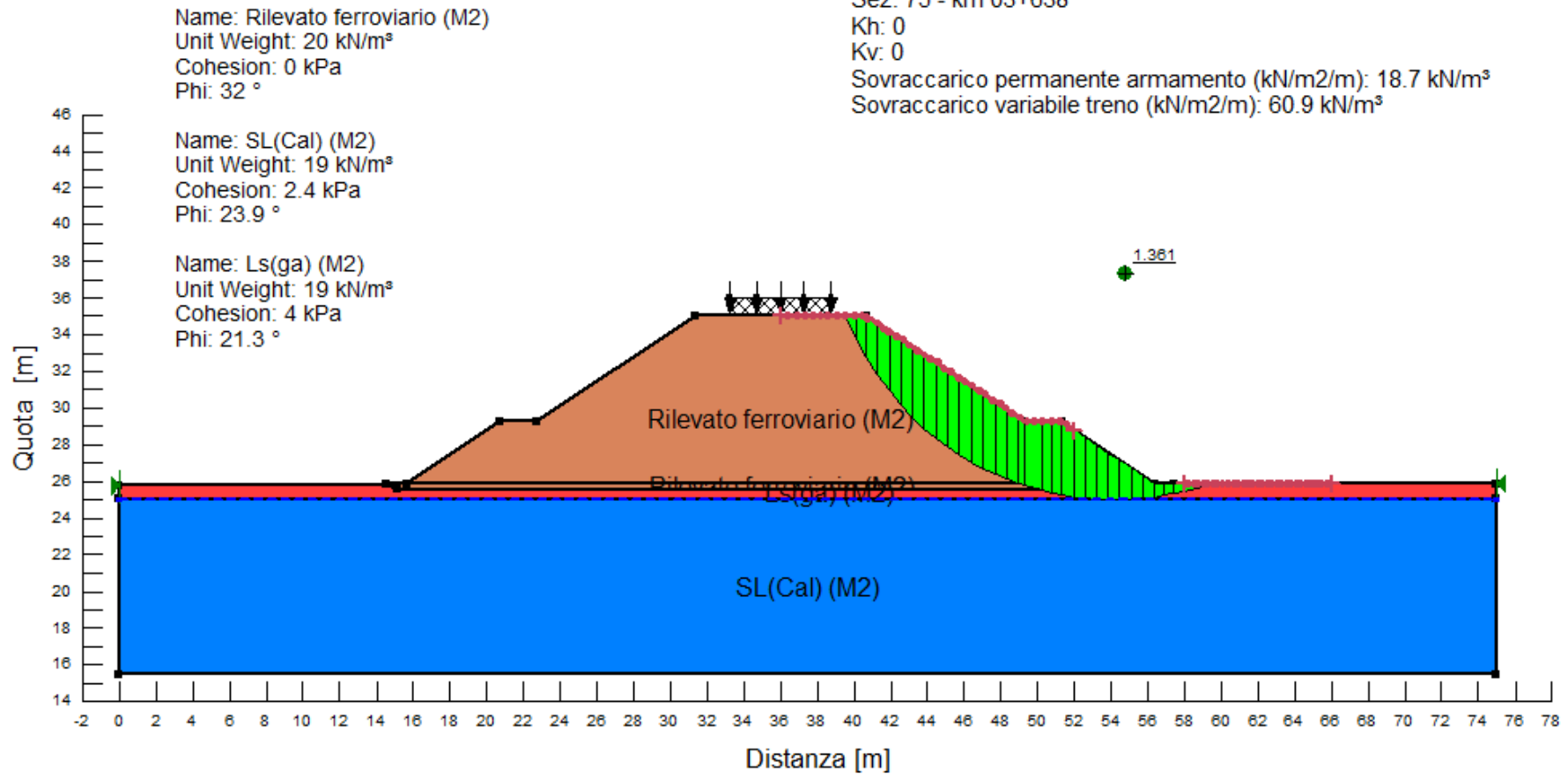


Figura 2: Rilevato H=9.00 m, sez.03+638 - Analisi di stabilità globale in campo statico DA1C2



**NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	28 di 69

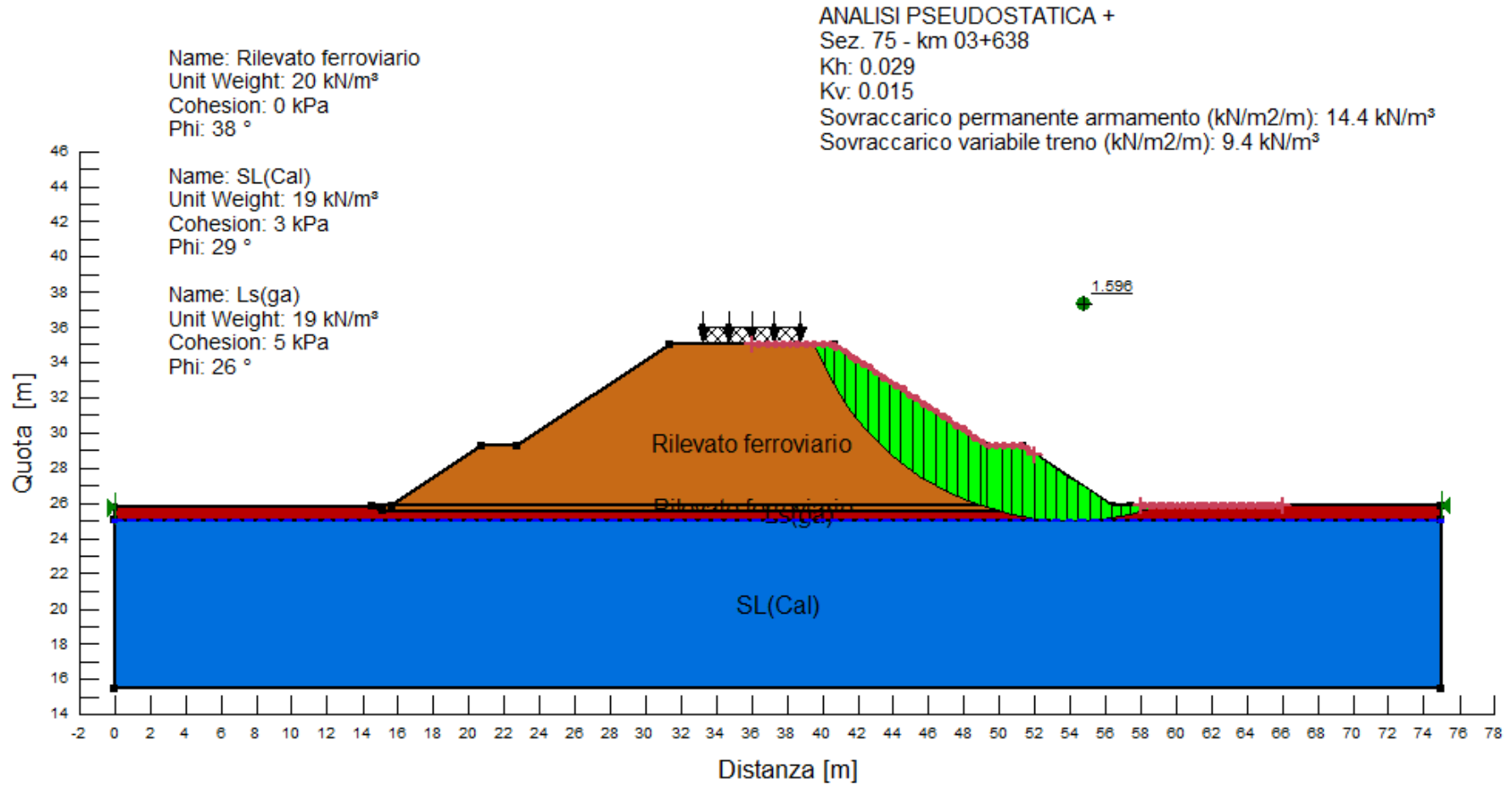


Figura 3: Rilevato H=9.00 m, sez. 03+638 - Analisi di stabilità globale in campo sismico

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

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.

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.



**NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	30 di 69

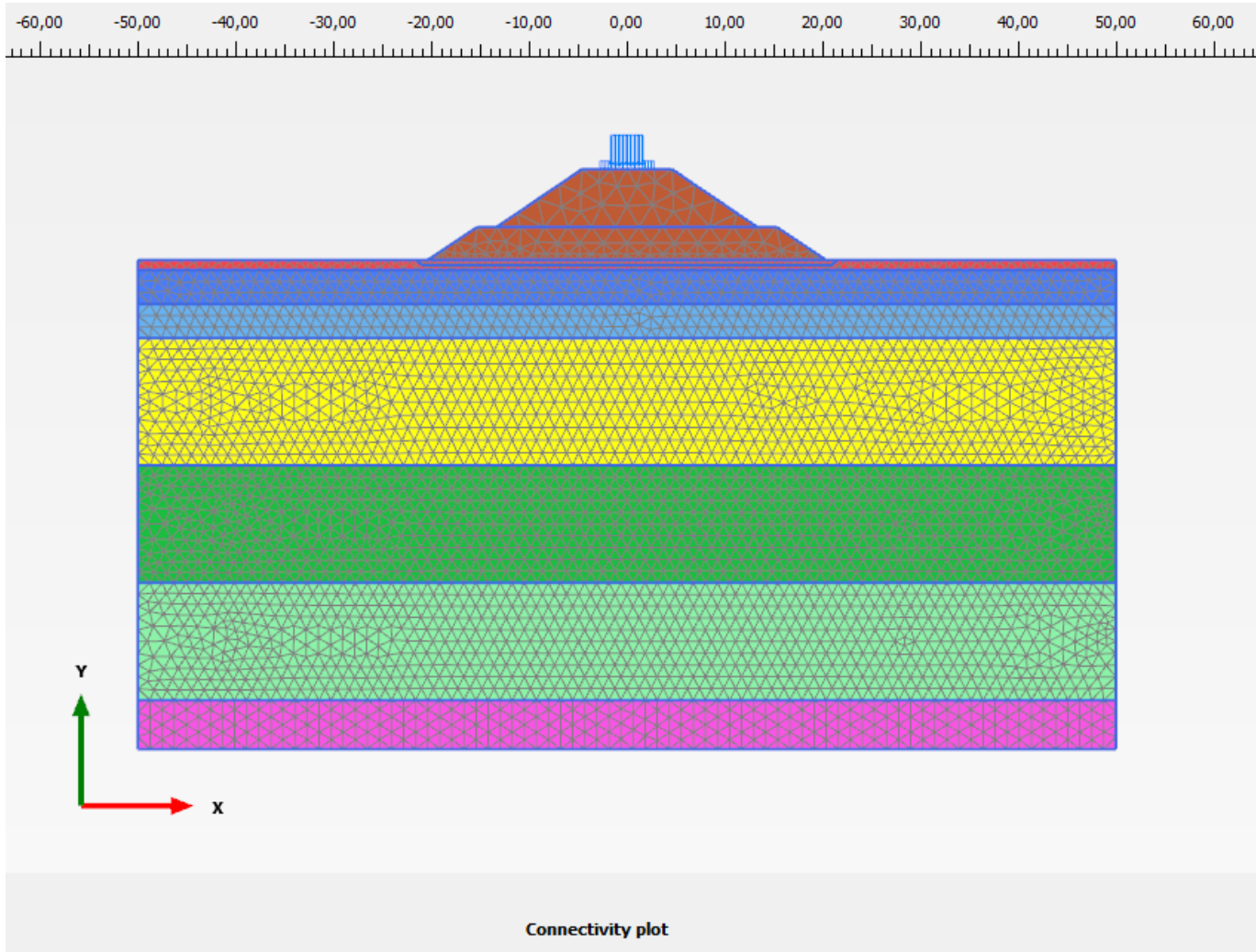


Figura 4: Modello rilevato Sez. 03+638

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti:

- Generazione dello stato tensionale iniziale con piano campagna attuale;
- Costruzione del rilevato (durata 12 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.

8.3.2 Risultati

Nella figura seguente sono riportati gli spostamenti verticali u_y per valutare l'andamento dei cedimenti nel tempo in corrispondenza dell'asse ferroviario (Figura 5). Con un cerchio rosso individuato il tempo di valutazione del cedimento residuo.



**NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	32 di 69

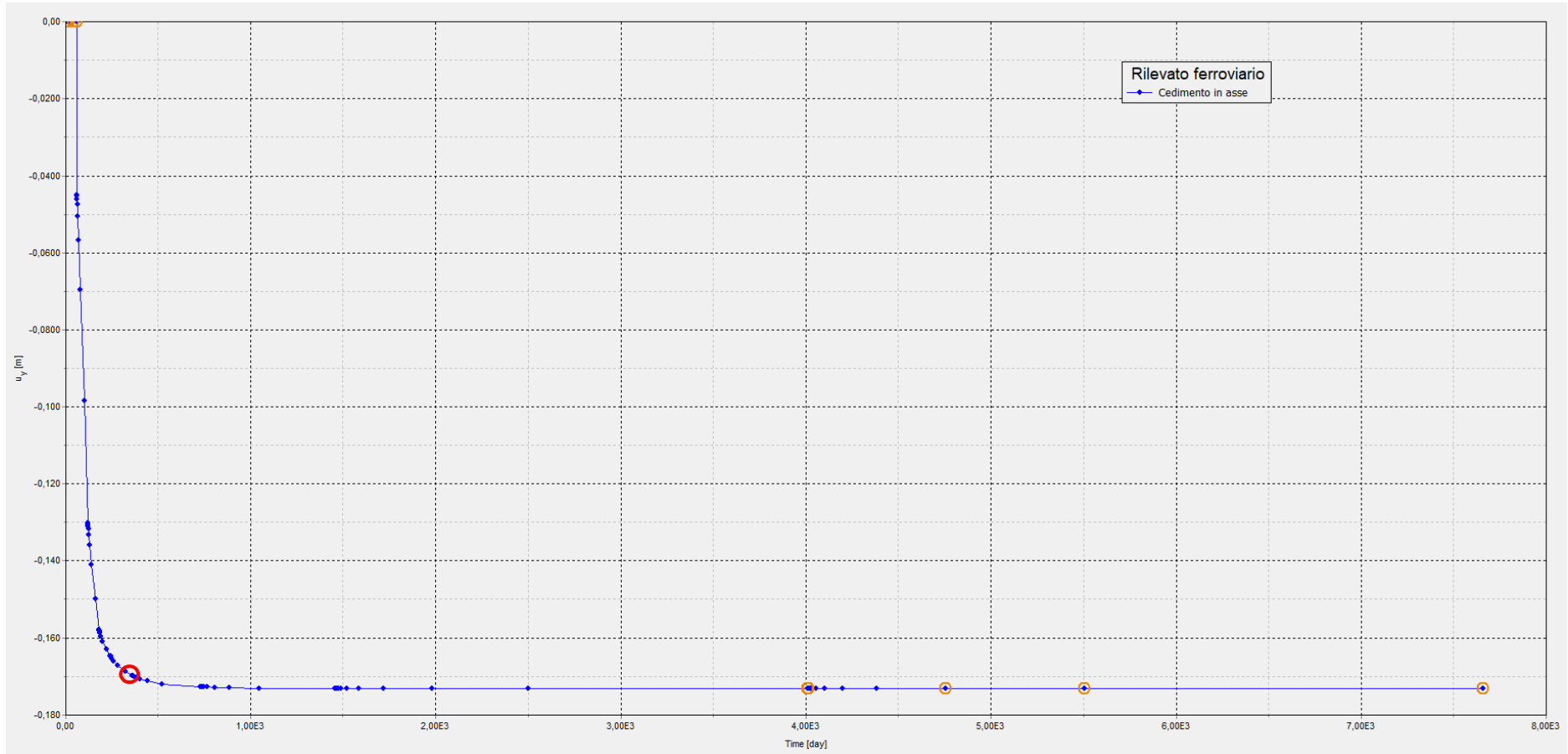


Figura 5: Rilevato sez. 03+638 – Spostamenti verticali in corrispondenza dell'asse del rilevato ferroviario in funzione del tempo

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

Con riferimento a Manuale di Progettazione RFI DTC SI CS MA IFS 001 D (parte III), 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 residuo inferiore al 10% del cedimento di lungo termine;
- 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.

La sezione in esame fa riferimento a una nuova linea per cui verranno condotte solo le prime due verifiche.



NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	34 di 69

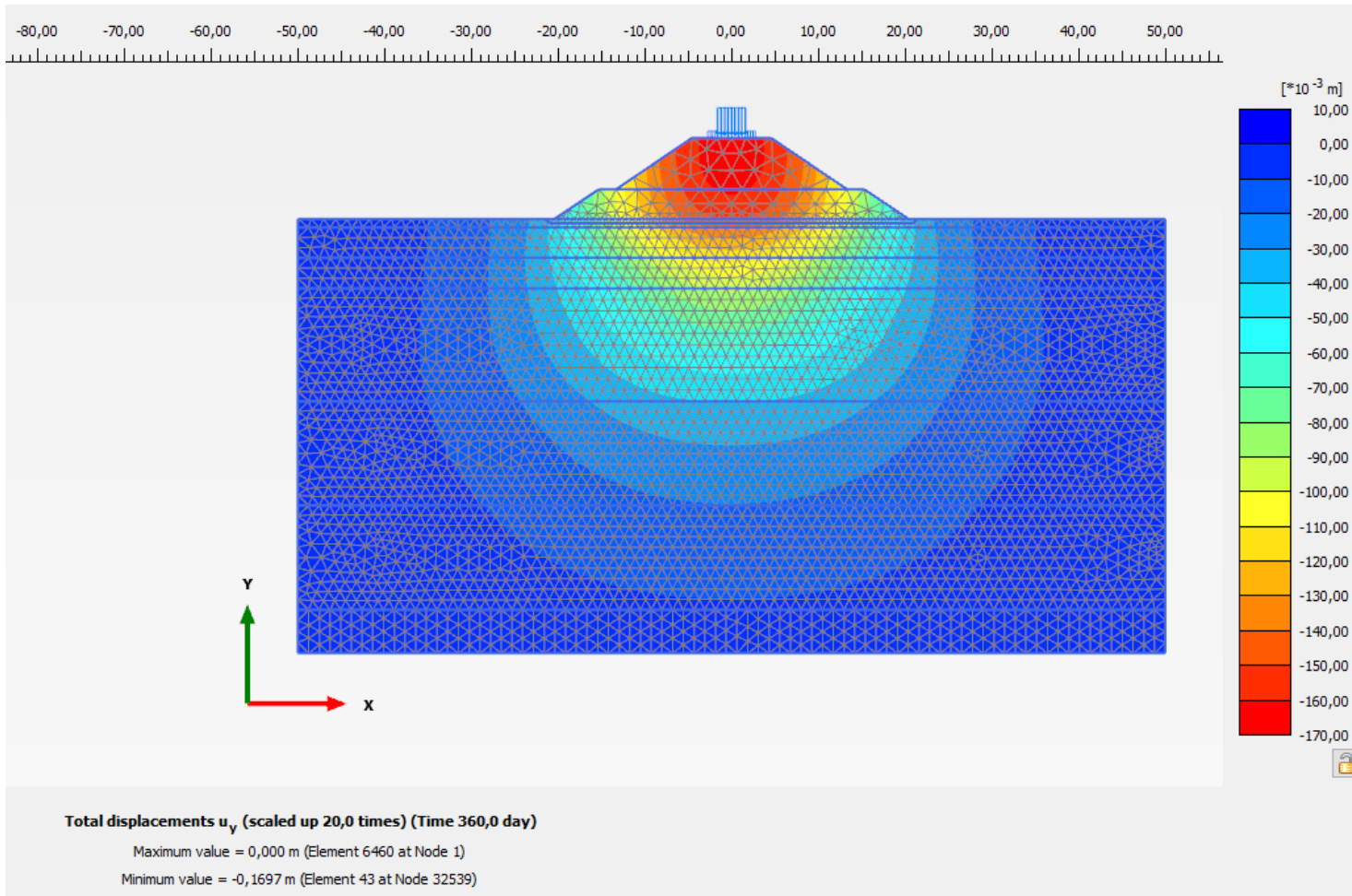


Figura 6: Rilevato sez. 03+638 – Spostamenti verticali termine costruzione

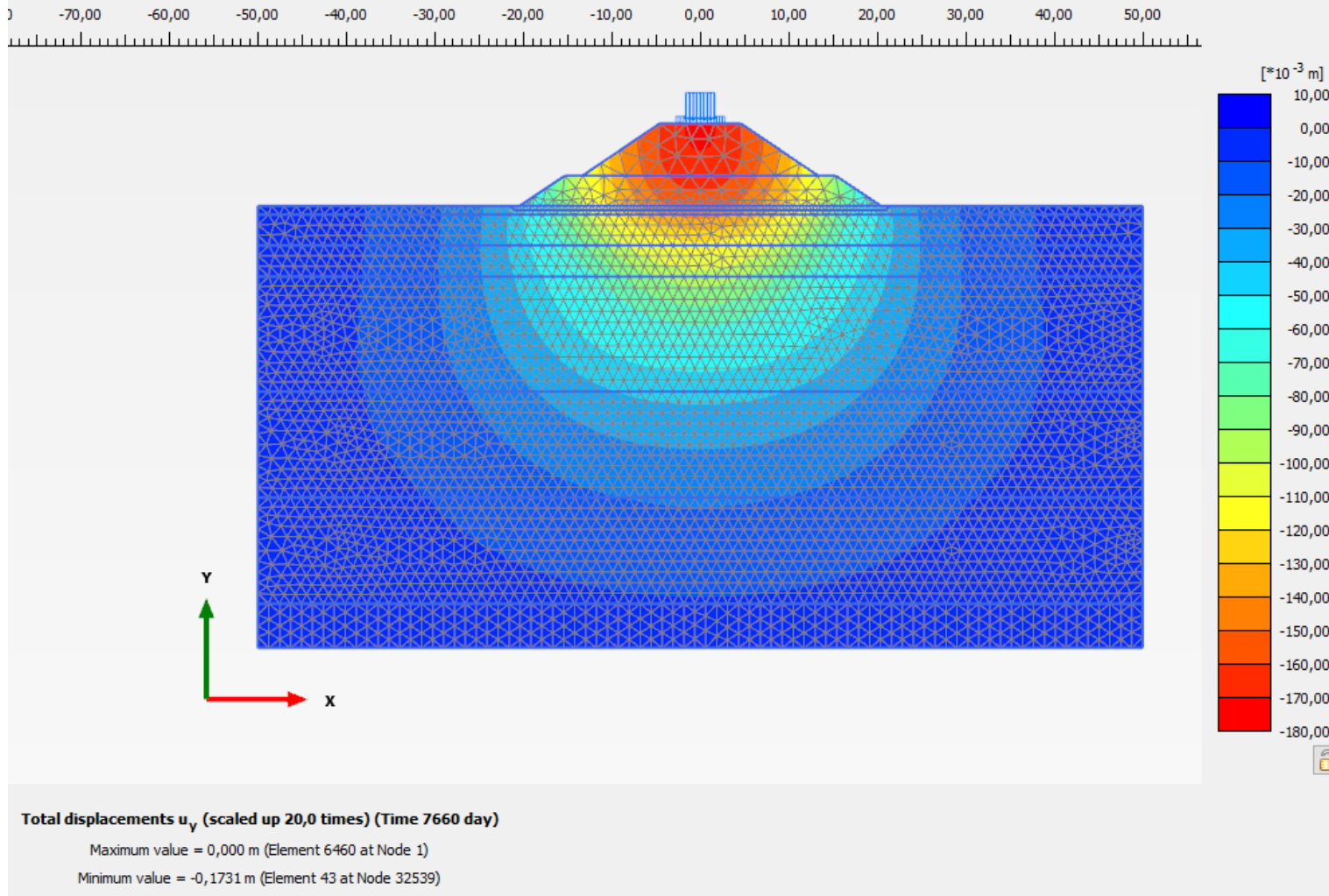


Figura 7: Rilevato sez. 03+638 – Spostamenti verticali lungo termine

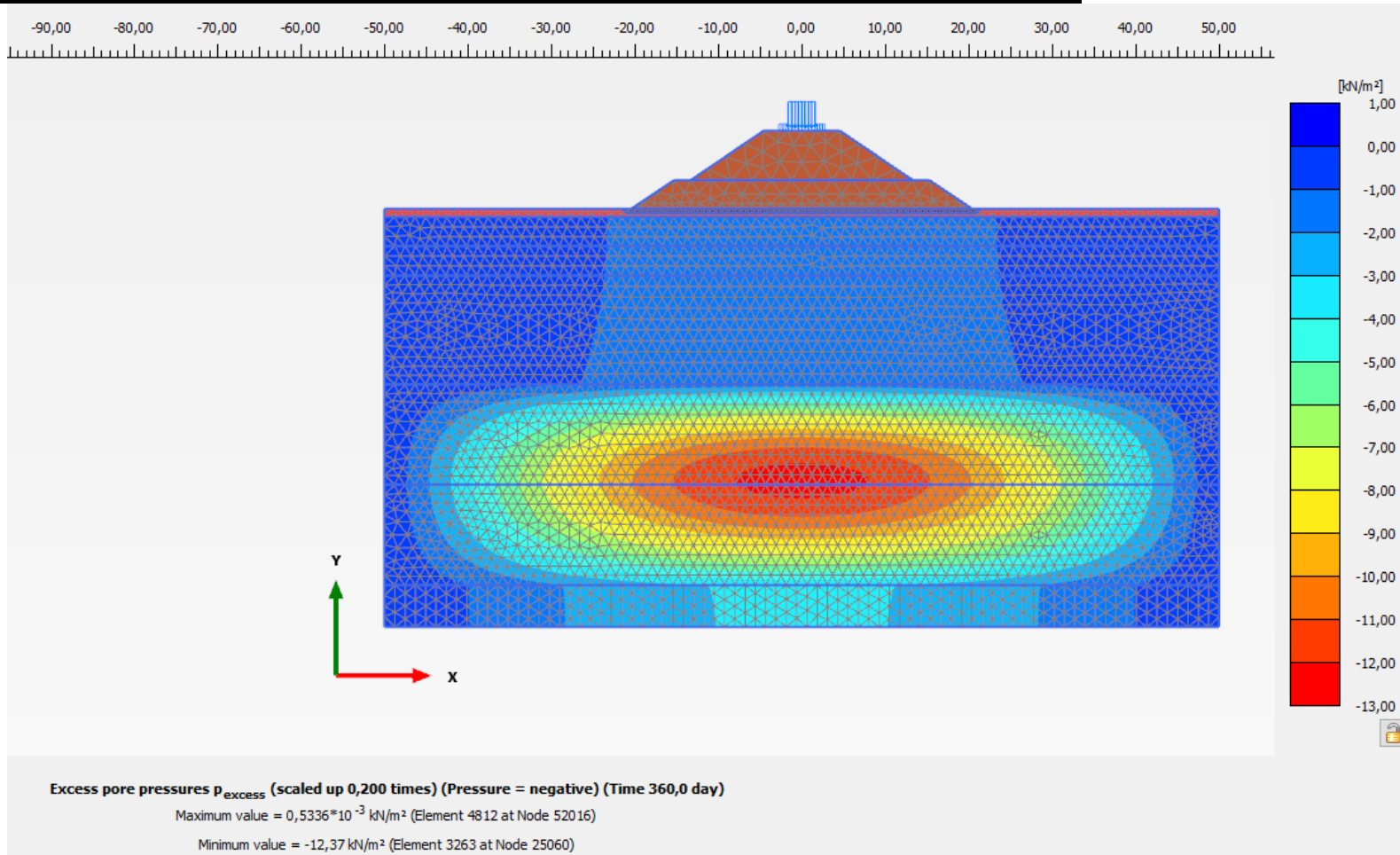


Figura 8: Rilevato sez. 03+638 – Sovrappressioni interstiziali Δu termine costruzione



NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	37 di 69

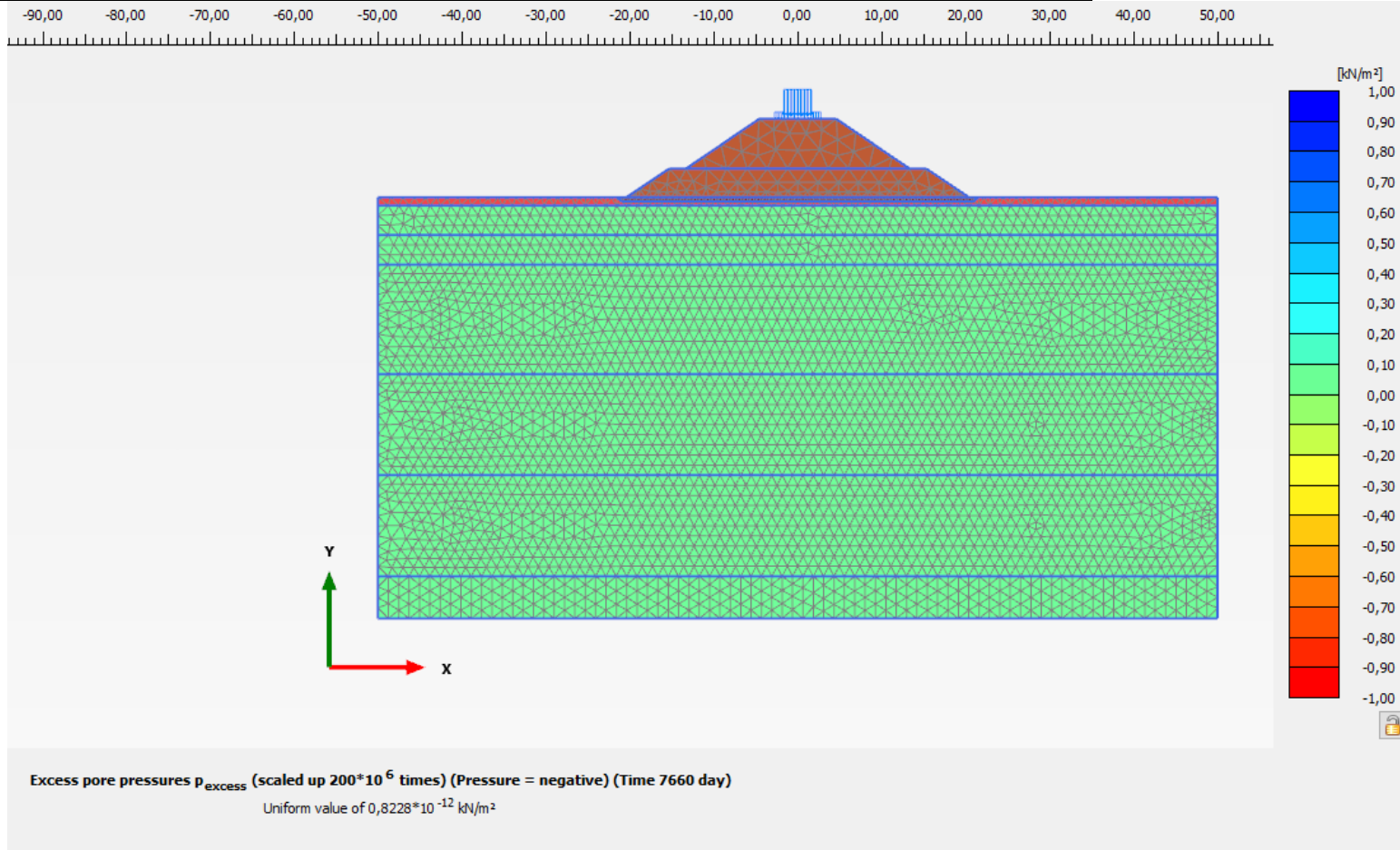


Figura 9: Rilevato sez. 03+638 – Sovrappressioni interstiziali Δu lungo termine

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

Alla luce di tali risultati, con i tempi di realizzazione sopra previsti, i cedimenti calcolati rispettano i criteri di ammissibilità assunti.

Dai risultati dell'analisi a elementi finiti, risulta che al termine della costruzione il cedimento è pari a 17cm, mentre il cedimento dopo 20 anni è pari a 17.3cm.

A questo contributo, è aggiunto il cedimento di consolidazione secondaria, valutato come illustrato al par.5.2.2:

t (anni)	t ₁₀₀ (anni)	C _{αε}	spessore h _i (m)	W _{cons_sec} (cm)	W _{fine_costruz} (cm)	W _{20 anni} (cm)	W _{tot} (cm) = W _{20 anni} + W _{cons_sec}	cedimento residuo (cm)	limite 5cm	cedimento residuo in %	limite 10%
20	10	0,12%	24	0,867	17	17,3	18,17	1,17	ok	6,4%	ok

Il cedimento residuo, comprensivo degli effetti della consolidazione secondaria, risulta dunque pari a 1.2cm, inferiore rispetto ai 5cm del criterio enunciato, e inferiore al 10% dei cedimenti teorici di lungo termine.

Alla luce di tali risultati, con i tempi di realizzazione sopra previsti, si ritiene che i cedimenti calcolati rispettino i criteri di ammissibilità sopra riportati.

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

9. SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 03+450

La sezione oggetto di verifica, ubicata alla progressiva 03+450 del Collegamento don l'Aeroporto, è costituita da un rilevato di altezza pari a circa 6.0 metri.

9.1 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica (Doc. Rif.[1]) 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 03+450

Strato	Profondità da [m da p.c.]	Profondità a [m da p.c.]	Descrizione
Ls(ms)	0	1	Limo marrone scuro
S _L (Cal)	1	10.5	Sabbia limosa/limo sabbioso color avana con possibili intercalazioni calcarenitiche
Ls(ga)	10.5	18.5	Limo sabbioso grigio azzurro
A _L	18.5	45	Argilla limosa grigio azzurra
Cal	45	50	Depositi calcarenitici

Tabella 10: Parametri geotecnici di calcolo per la sezione 03+450 – 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
		γ_d	ϕ'_k	ϕ'_d M2	c'_k	c'_d M2	c_u	c_u M2	$E_{op.}$	k
		[kN/m ³]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]



**NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE**

COMMESSA IA7K LOTTO 00 D10 CODIFICA CL DOCUMENTO GE0006 001 REV. C FOGLIO 40 di 69

Ls(ms)	Limo marrone scuro	19	26	21.3	5	4	-	-	10	1.0E-08
Sl(Cal)	Sabbia limosa/limo sabbioso color avana con possibili intercalazioni calcarenitiche	19	29	23.9	3	2.4	-	-	20 (prof< 4.5m) 24 (prof> 4.5m)	1.0E-07
Ls(ga)	Limo sabbioso grigio azzurro	19.5	26	21.3	7	5.6	50	35.7	33	1.0E-07
Al	Argilla limosa grigio azzurra	20	23	18.8	15	12	0.3·sv	0.3·sv/1.4	(2.5·G ₀)/10	1.0E-09
Cal	Depositi calcarenitici	20	31	25.7	0	0	-	-	30	1.0E-07

Dove: $G_0 = 85 \cdot (s'_{v0}/p_a)^{0.65}$ (assumendo la falda ad 1 m da pc)

La falda di progetto è stata assunta nei calcoli ad una quota di circa 1.0 m dal piano campagna.

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. [10]). 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. [3]), 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.

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 [3] in Tabella 10 e Tabella 6 rispettivamente per i materiali in sito e per i materiali antropici.

Il carico da traffico ferroviario (q), assunto pari a 46.9 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:

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

$$q_d = q_k \times \gamma_{Qi [A2]} = 46.9 \text{ kPa} \times 1.3 = 60.9 \text{ kPa.}$$

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/m³. 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:

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

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 le superfici di rottura critica 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:

$$FS^{MIN} (DA1C2) = 1.333$$

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 [3] 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:

$$K_H = + 0.029 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.015 \quad (\text{verificando la più cautelativa tra negativo e positivo})$$

Il carico ferroviario (q), assunto pari a 46.9 kPa, è stato moltiplicato per un coefficiente $\psi=0.2$ in accordo a Doc. Rif. [3] 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

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

accordo a quanto specificato dalle NTC 2018 (vedasi Par.7.11.1 del Doc. Rif. [3]) che indicano per le analisi in condizioni sismiche di porre tutti pari ad uno i coefficienti parziali sulle azioni. Pertanto:

$$q_d = 0.2q_k = 9.4 \text{ kPa.}$$

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/m³. Tale carico 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. [3]) che indicano per le analisi in condizioni sismiche di porre tutti pari ad uno i coefficienti parziali sulle azioni. Pertanto: $q_d = q_k = 14.4 \text{ kPa}$.

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 e 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:

$$FS^{MIN} = 1.605$$

Essendo soddisfatta la relazione:

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

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.



**NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	43 di 69

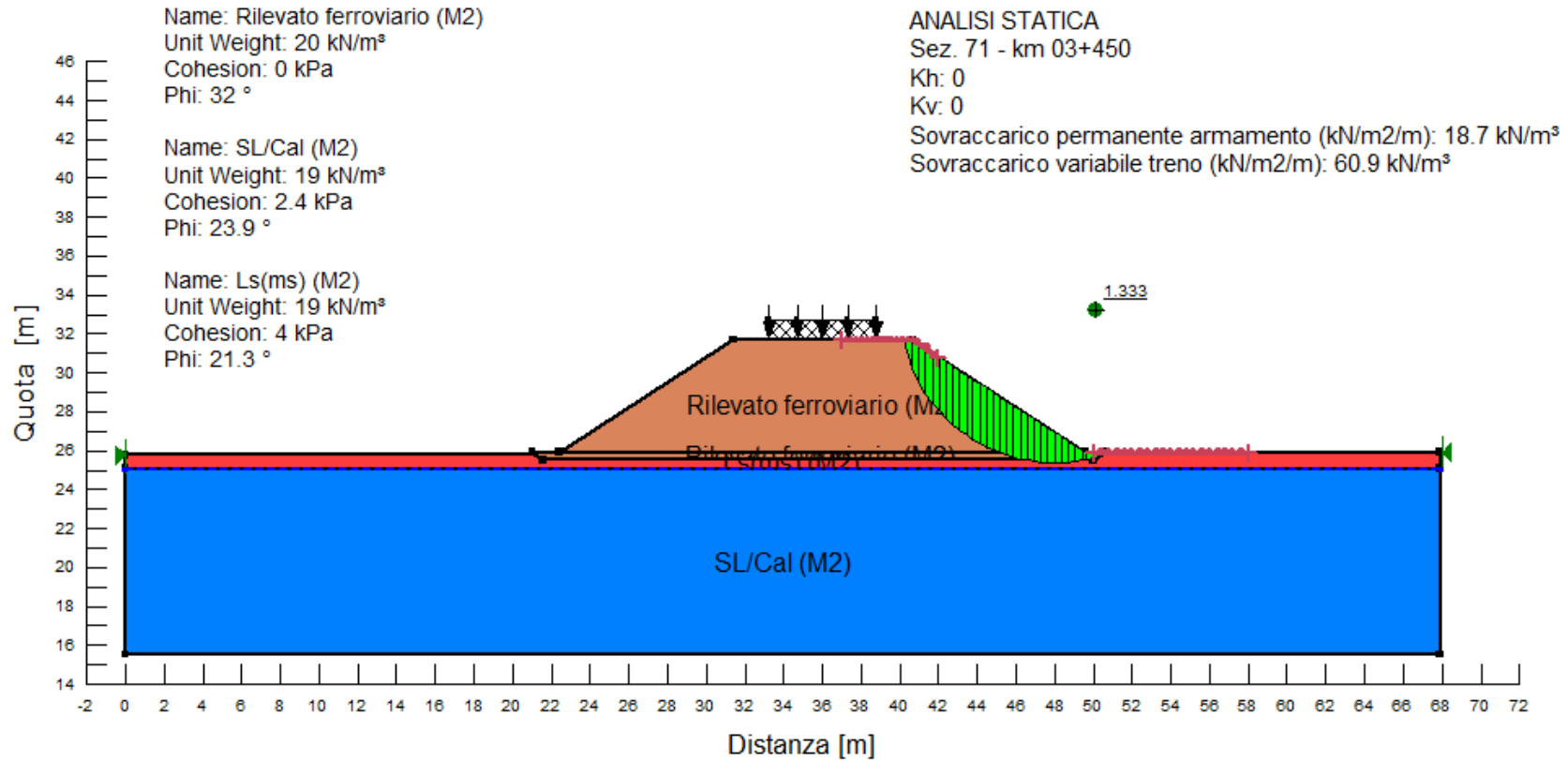


Figura 10: Rilevato H=6.00 m, sez.03+450 - Analisi di stabilità globale in campo statico DA1C2



**NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	44 di 69

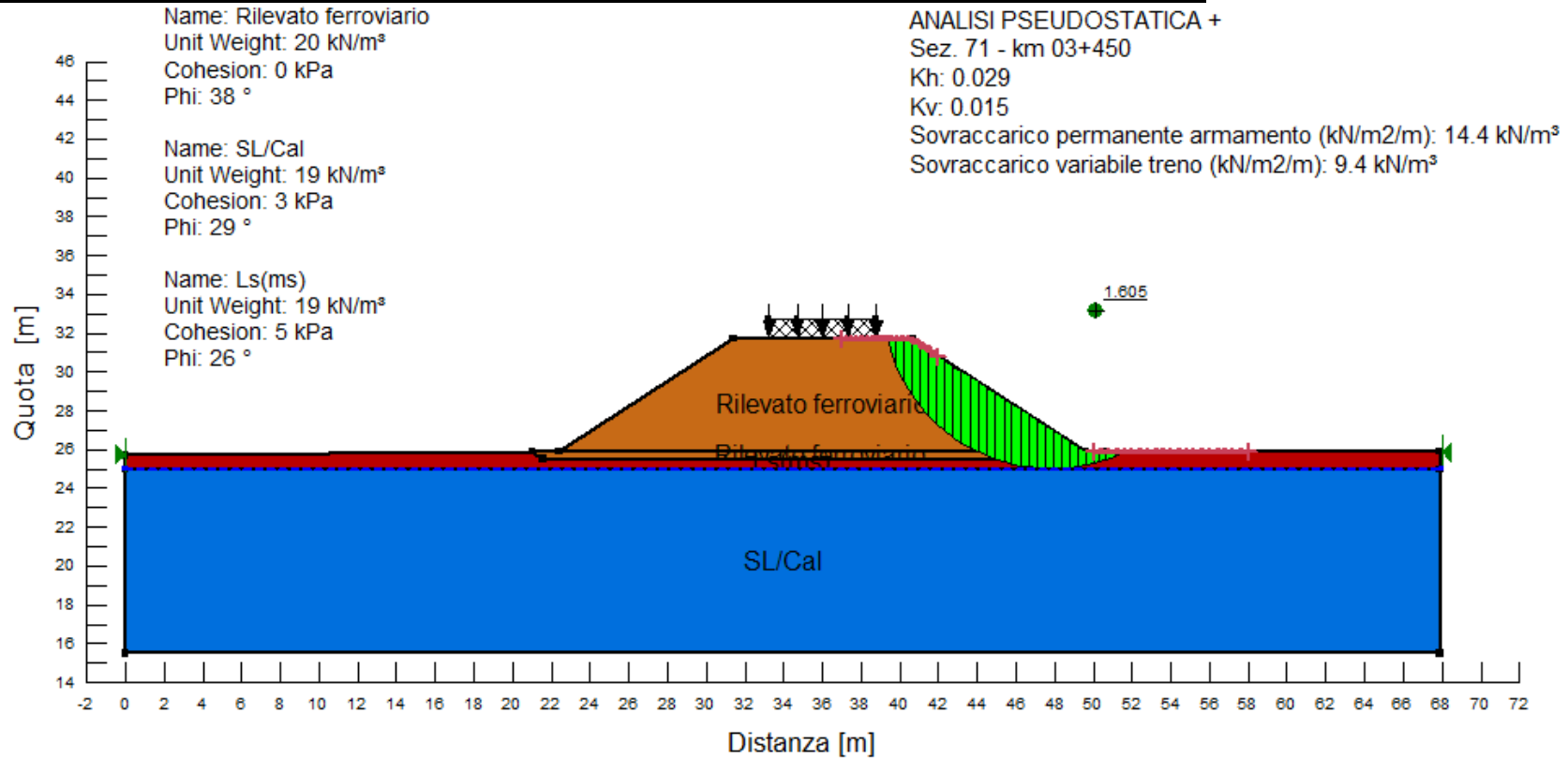


Figura 11: Rilevato H=6.00 m, sez. 03+450 - Analisi di stabilità globale in campo sismico

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

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 12.

La stratigrafia di calcolo utilizzata è riportata in Tabella 9 utilizzando i parametri caratteristici riportati in Tabella 10.

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



**NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	46 di 69

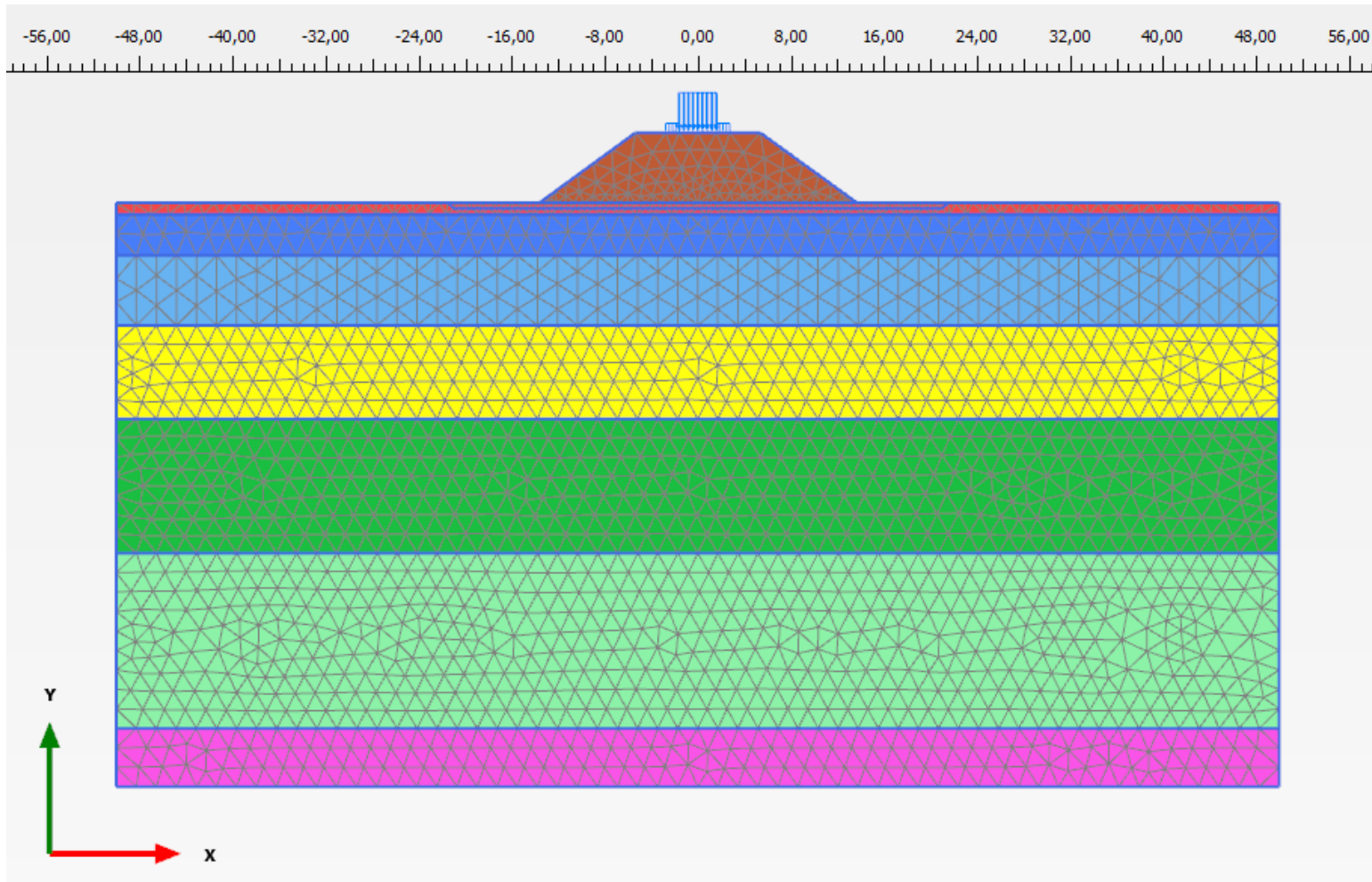


Figura 12: Modello rilevato Sez. 03+450

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti:

- Generazione dello stato tensionale iniziale con piano campagna attuale;
- Costruzione del rilevato e messa in esercizio (durata 12 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.

9.3.2 Risultati

Nella figura seguente sono riportati gli spostamenti verticali u_y per valutare l'andamento dei cedimenti nel tempo in corrispondenza dell'asse ferroviario (Figura 13) . Con un cerchio rosso individuato il tempo di valutazione del cedimento residuo.



NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	48 di 69

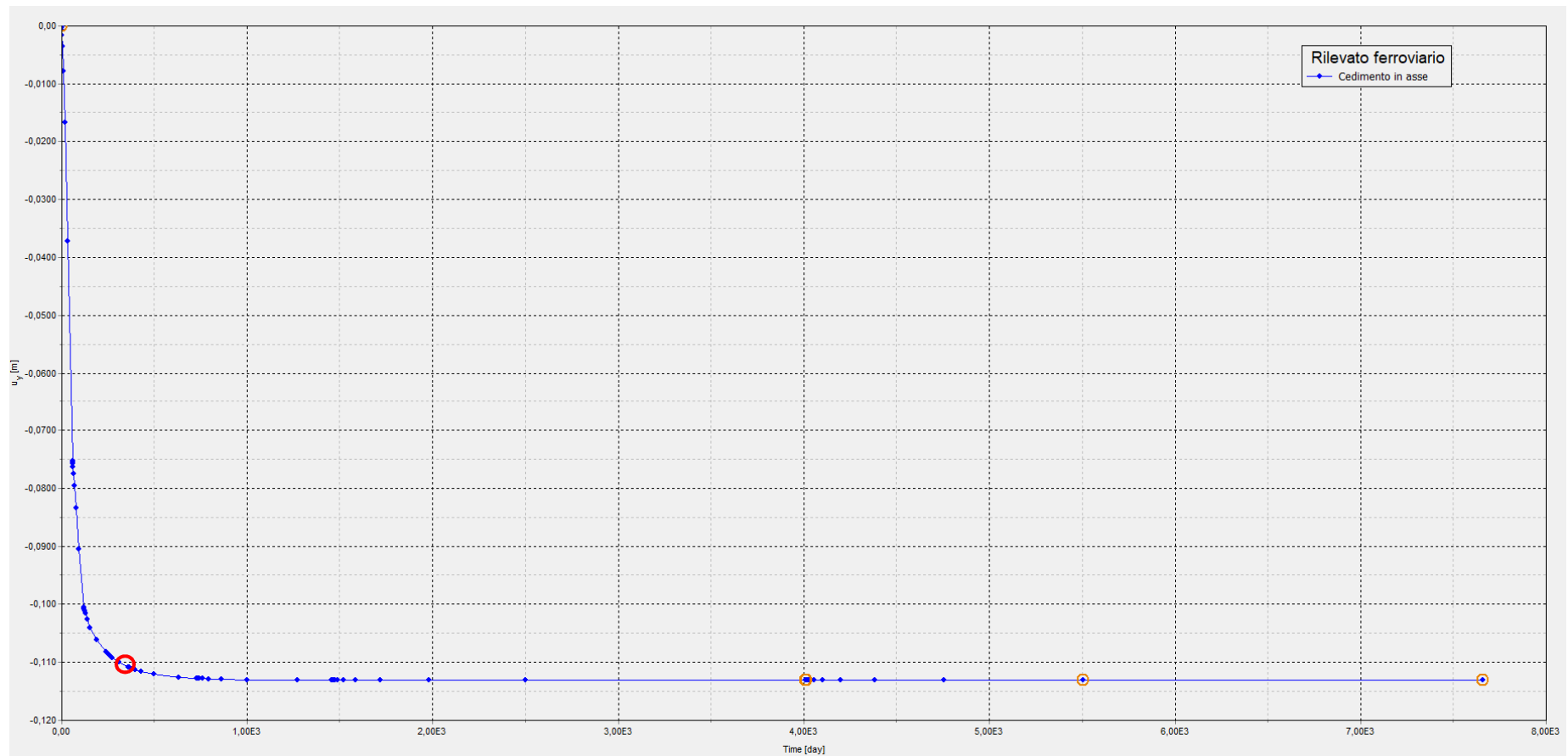


Figura 13: Rilevato sez. 03+450 – Spostamenti verticali in corrispondenza dell'asse del rilevato ferroviario in funzione del tempo

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

Con riferimento a Manuale di Progettazione RFI DTC SI CS MA IFS 001 D (parte III), si è garantito il rispetto del seguente criterio:

- cedimento residuo (differenza tra cedimento di lungo termine e cedimento a fine costruzione rilevato) inferiore a 5cm;
- cedimento residuo inferiore al 10% del cedimento di lungo termine;
- 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.

La sezione in esame fa riferimento a una nuova linea per cui verranno condotte solo le prime due verifiche.



NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	50 di 69

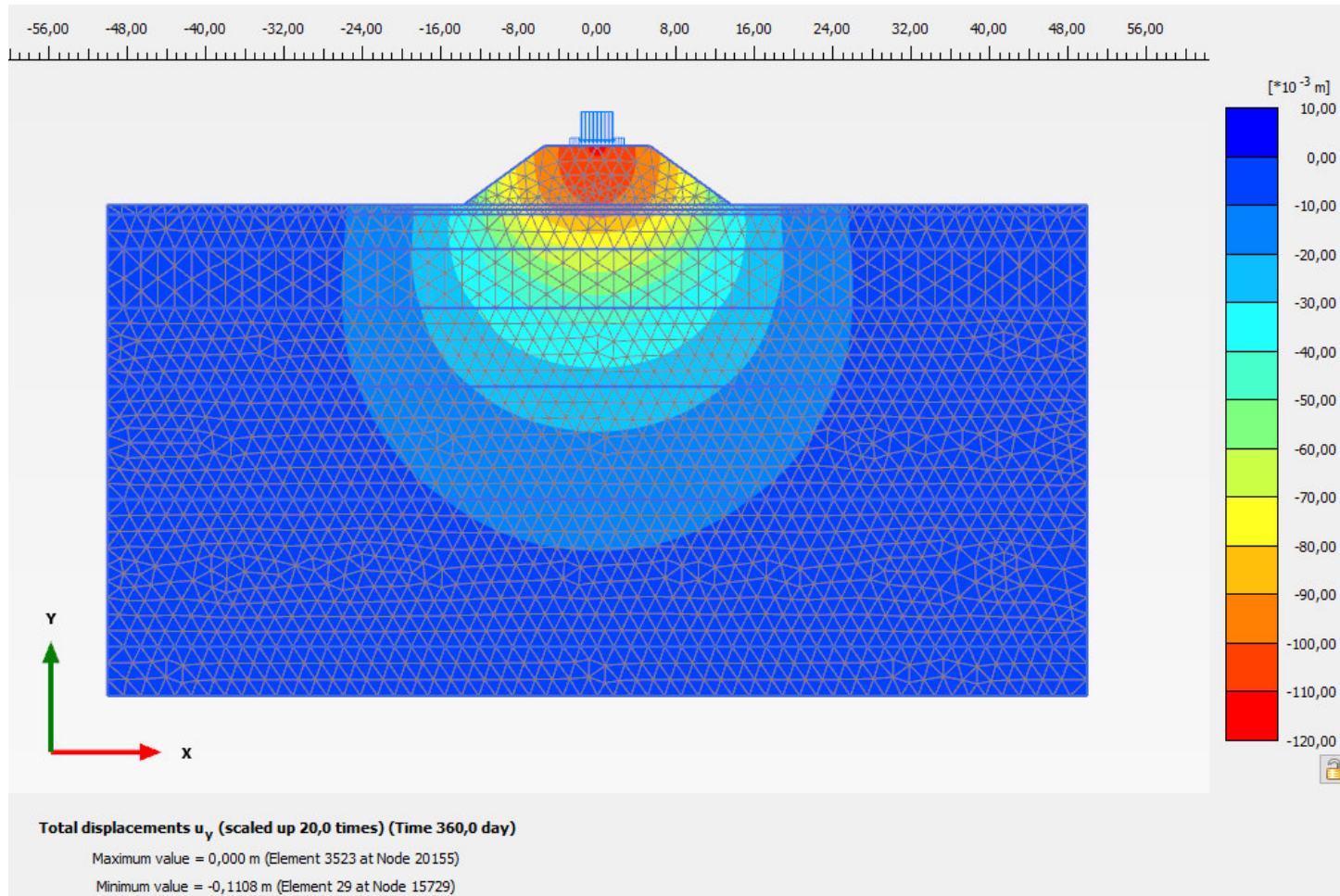


Figura 14: Rilevato sez. 03+450 – Spostamenti verticali termine costruzione



**NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	51 di 69

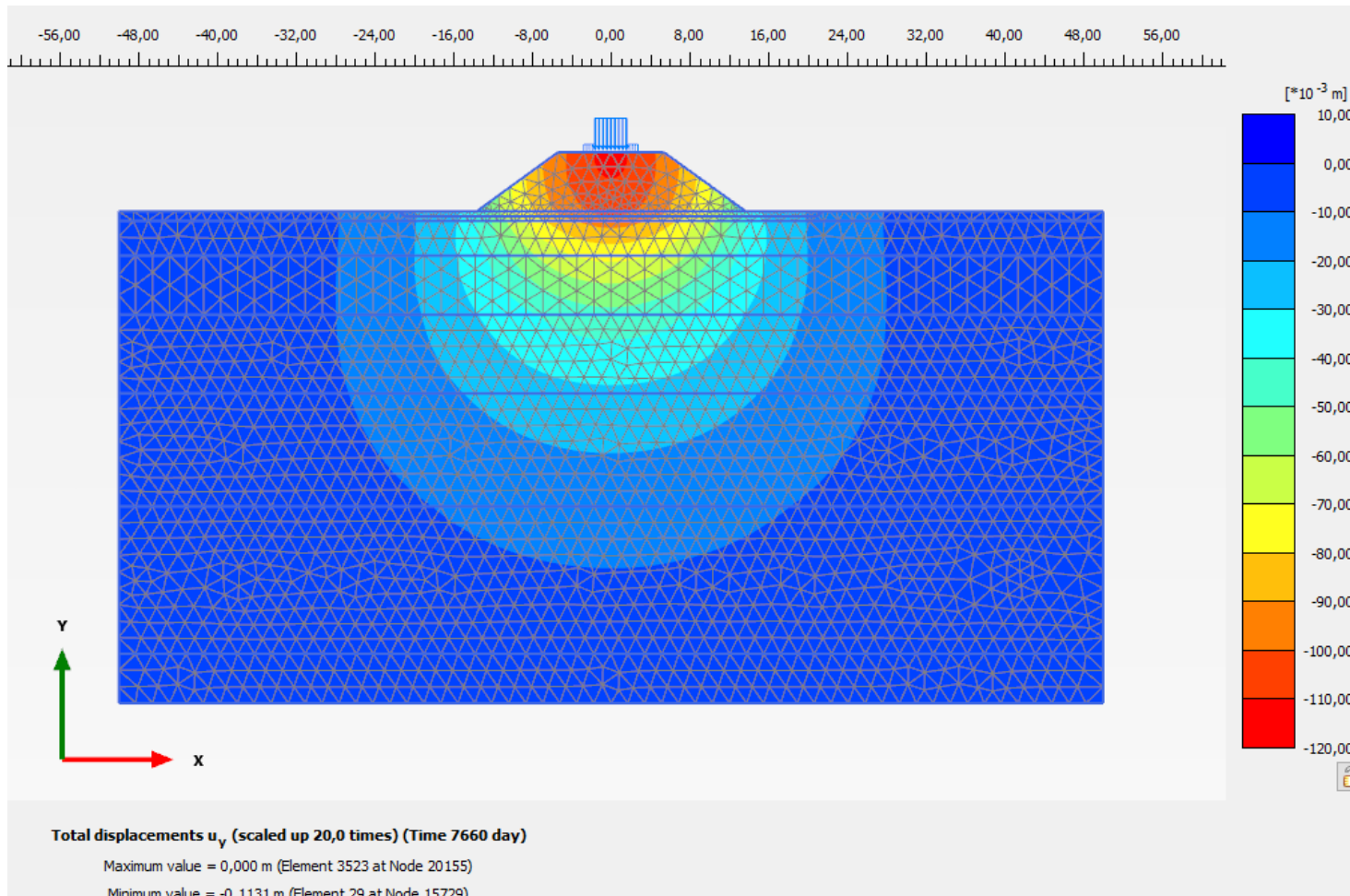
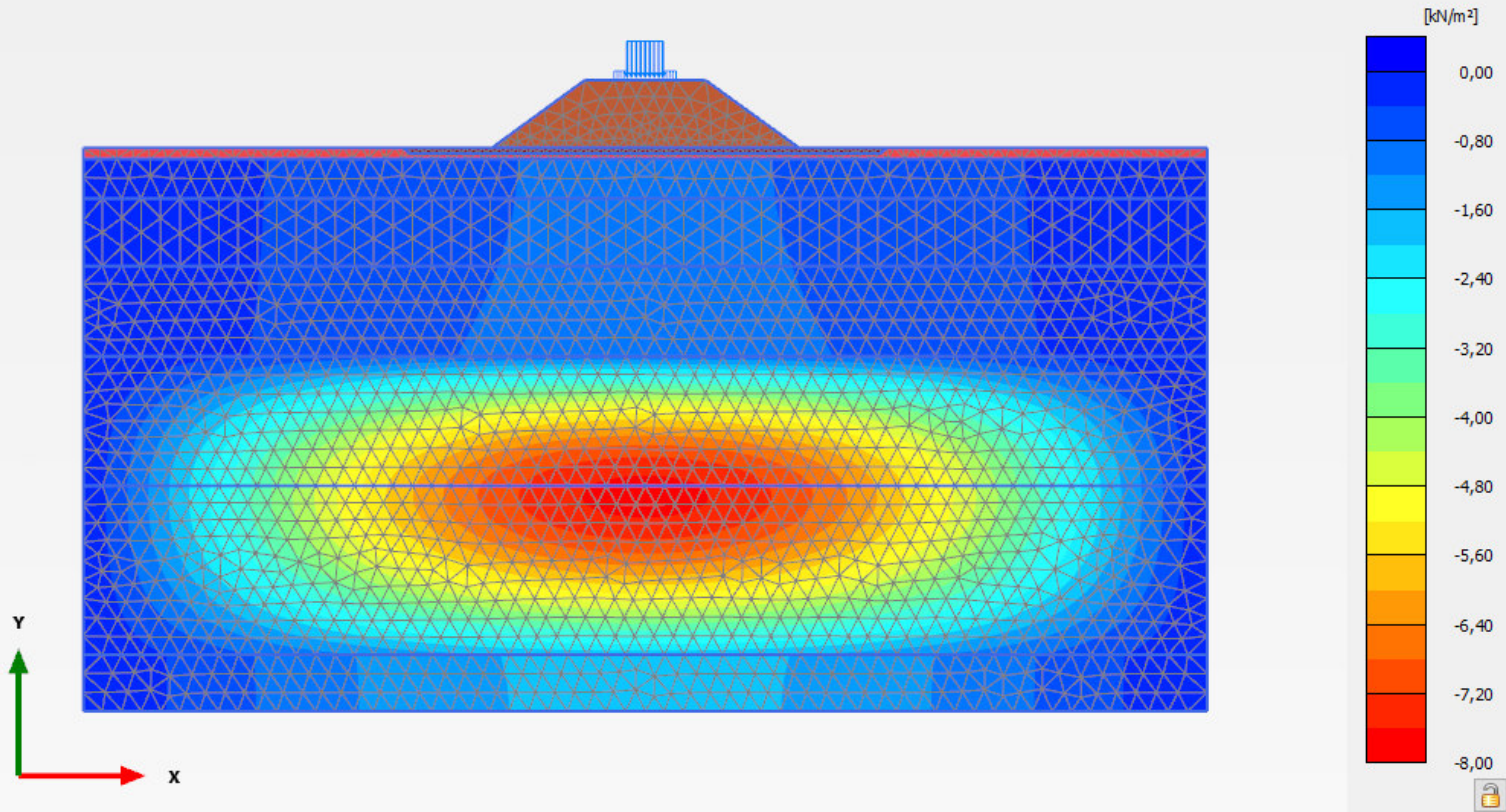


Figura 15: Rilevato sez. 03+450 – Spostamenti verticali lungo termine



Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 0,500 times) (Pressure = negative) (Time 360,0 day)

Maximum value = $0,6945 \cdot 10^{-3}$ kN/m² (Element 2420 at Node 28891)

Minimum value = -7,739 kN/m² (Element 2565 at Node 14410)

Figura 16: Rilevato sez. 03+450 – Sovrappressioni interstiziali Δu termine costruzione



NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	53 di 69

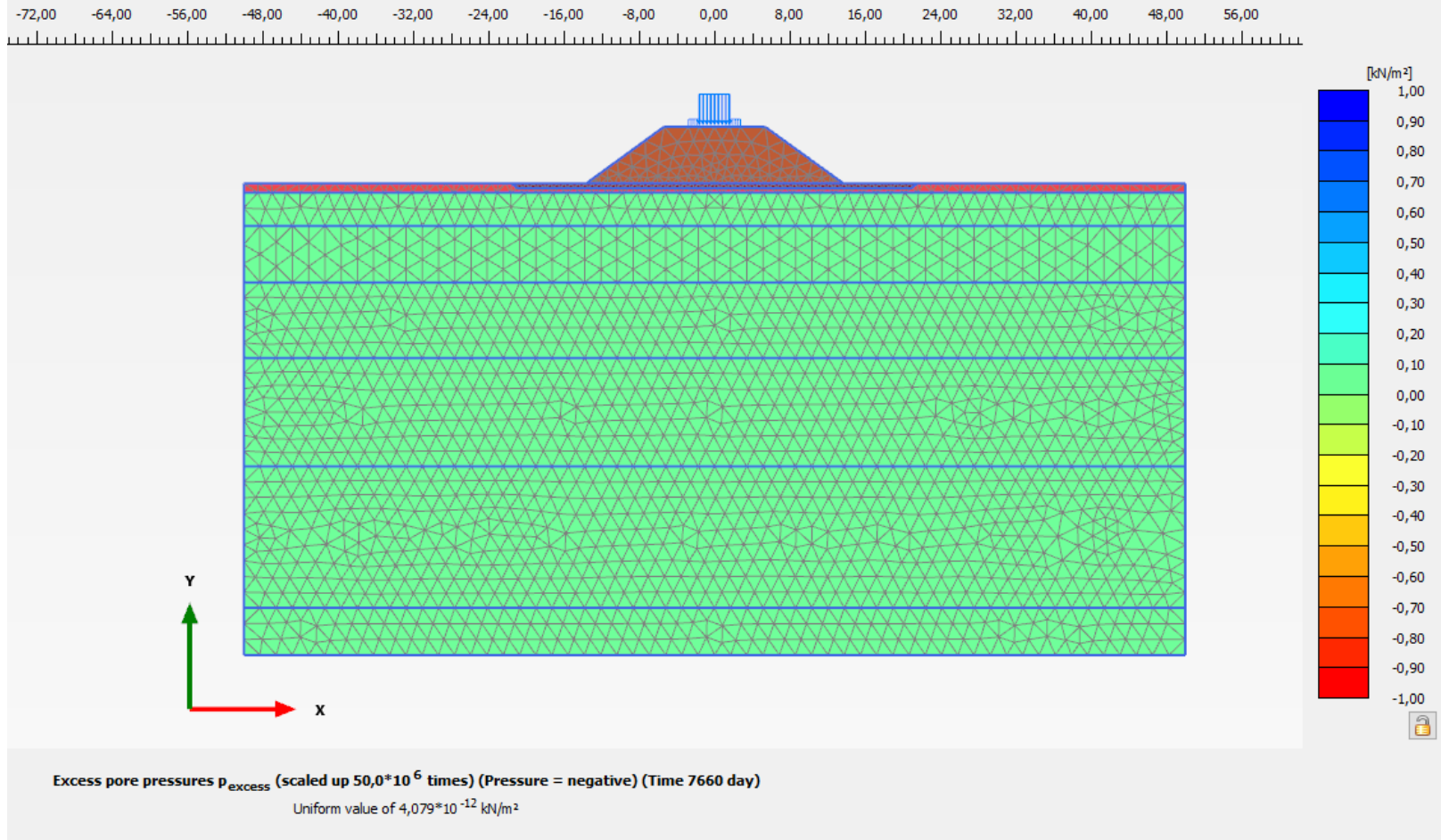


Figura 17: Rilevato sez. 03+450 – Sovrappressioni interstiziali Δu lungo termine

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C


Dai risultati dell'analisi a elementi finiti, risulta che al termine della costruzione il cedimento è pari a 11.1cm, mentre il cedimento dopo 20 anni è pari a 11.3cm.

A questo contributo, è aggiunto il cedimento di consolidazione secondaria, valutato come illustrato al par.5.2.2:

t (anni)	t ₁₀₀ (anni)	C _{αε}	spessore h _i (m)	W _{cons_sec} (cm)	W _{fine_costruz} (cm)	W _{20 anni} (cm)	W _{tot} (cm) = W _{20 anni} + W _{cons_sec}	cedimento residuo (cm)	limite 5cm	cedimento residuo in %	limite 10%
20	10	0,12%	26,5	0,96	11,1	11,3	12,26	1,16	ok	9,4%	ok

Il cedimento residuo, comprensivo degli effetti della consolidazione secondaria, risulta dunque pari a 1.2cm, inferiore rispetto ai 5cm del criterio enunciato, e inferiore al 10% dei cedimenti teorici di lungo termine.

Alla luce di tali risultati, con i tempi di realizzazione sopra previsti, si ritiene che i cedimenti calcolati rispettino i criteri di ammissibilità sopra riportati.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

10. SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 00+950

La sezione in esame, ubicata alla progressiva 00+950 del "Raccordo Taranto", è costituita da una sezione in trincea in affiancamento alla linea esistente Adriatica. La profondità dello scavo è pari a circa 2.0 metri.

10.1 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica (Doc. Rif.[1]) e sulla base di quanto descritto nel Cap. 3, nella Tabella 12 e Tabella 13 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 11: Stratigrafia di calcolo per la sezione 00+950 (Raccordo Taranto)

Strato	Profondità da [m da p.c.]	Profondità a [m da p.c.]	Descrizione
Ls(ms)	0	0.7	Limo marrone scuro
S _L (Cal)	0.7	7	Sabbia limosa/limo sabbioso color avana con possibili intercalazioni calcarenitiche
	7	10	intercalazioni calcarenitiche

Tabella 12: Parametri geotecnici di calcolo per la sezione 00+950 (Raccordo Taranto)

STRATO	Descrizione strato	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		Resistenza al taglio non drenata		Modulo di Young operativo	Permeabilità
		γ_d	ϕ'_k	ϕ'_d	c'_k	c'_d	c_u	c_u	$E_{op.}$	k
		[kN/m ³]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]
Ls(ms)	Limo marrone scuro	19	26	21.3	5	4	-	-	10	1.0E-08
SL(Cal)	Sabbia limosa/limo sabbioso color avana con possibili intercalazioni	19	29	23.9	3	2.4	-	-	20 (prof< 4.5m) 24 (prof> 4.5m)	1.0E-07

		NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO							
		RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C	FOGLIO 56 di 69	
	calcarenitiche								
SL(Cal) (intercalazione calcarenitica)	intercalazioni calcarenitiche	19	31	25.7	-	-	-	-	1.0E-07

Dove: $G_0 = 85 \cdot (s'_{v0}/p_a)^{0.65}$ (assumendo la falda ad 1 m da pc)

La falda di progetto è stata assunta nei calcoli ad una quota di circa 3.5 m dal piano campagna.

10.2 VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE

Le verifiche SLU della stabilità globale dello scavo in trincea (sia in condizioni statiche che sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo Slope/W (Doc. Rif. [10]). 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. [3]), 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 [3] in Tabella 6 e in Tabella 12 rispettivamente per i materiali in sito e per i materiali antropici.

Il carico da traffico ferroviario (q) e l'armamento ferroviario sono stati trascurati per questa verifica in quanto forniscono un contributo alla stabilità della scarpata. È stato posto un carico variabile pari a 10kPa a monte della scarpata, moltiplicato per un coefficiente $\gamma_Q = 1.5$. Il valore dell'azione di calcolo è pari quindi a 15kPa.

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.

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

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 le superfici di rottura critica 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:

$$FS^{MIN} (DA1C2) = 1.505$$

Essendo soddisfatta la relazione:

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

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 6 e in Tabella 12 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:

$$K_H = + 0.029 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.015 \quad (\text{verificando la più cautelativa tra negativo e positivo})$$

Il carico da traffico ferroviario (q) e l'armamento ferroviario sono stati trascurati per questa verifica in quanto forniscono un contributo alla stabilità della scarpata. È stato posto un carico variabile pari a 10kPa a monte della scarpata. Nel caso di verifiche sismiche le azioni sono prese con il loro valore caratteristico.

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 e 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:

$$FS^{MIN} = 1.865$$

Essendo soddisfatta la relazione:

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

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.



**NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	58 di 69

Name: SL/Cal (M2)
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion: 2.4 kPa
Phi: 23.9 °

Name: Ls(ms) (M2)
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion: 4 kPa
Phi: 21.3 °

Name: SL/Cal (Intercalazione calcarenitica) (M2)
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Phi: 25.7 °

ANALISI STATICA
Sez. 20 - Raccordo Taranto - km 00+950
Kh: 0
Kv: 0
Sovraccarico (kN/m²/m): 15 kN/m²

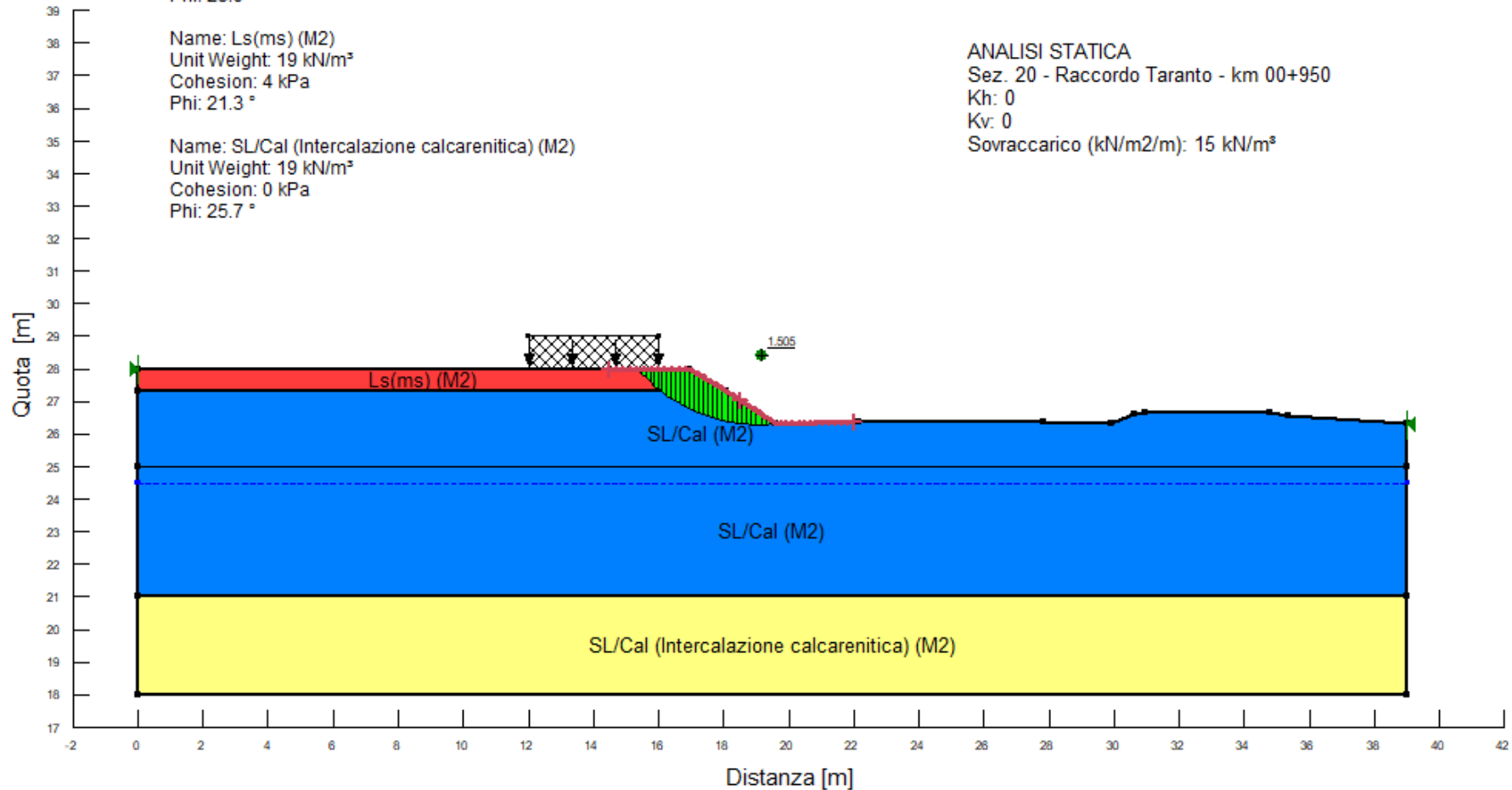


Figura 18: Sezione in affiancamento, sez.00+950 (Raccordo Taranto) - Analisi di stabilità globale in campo statico DA1C2



**NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	59 di 69

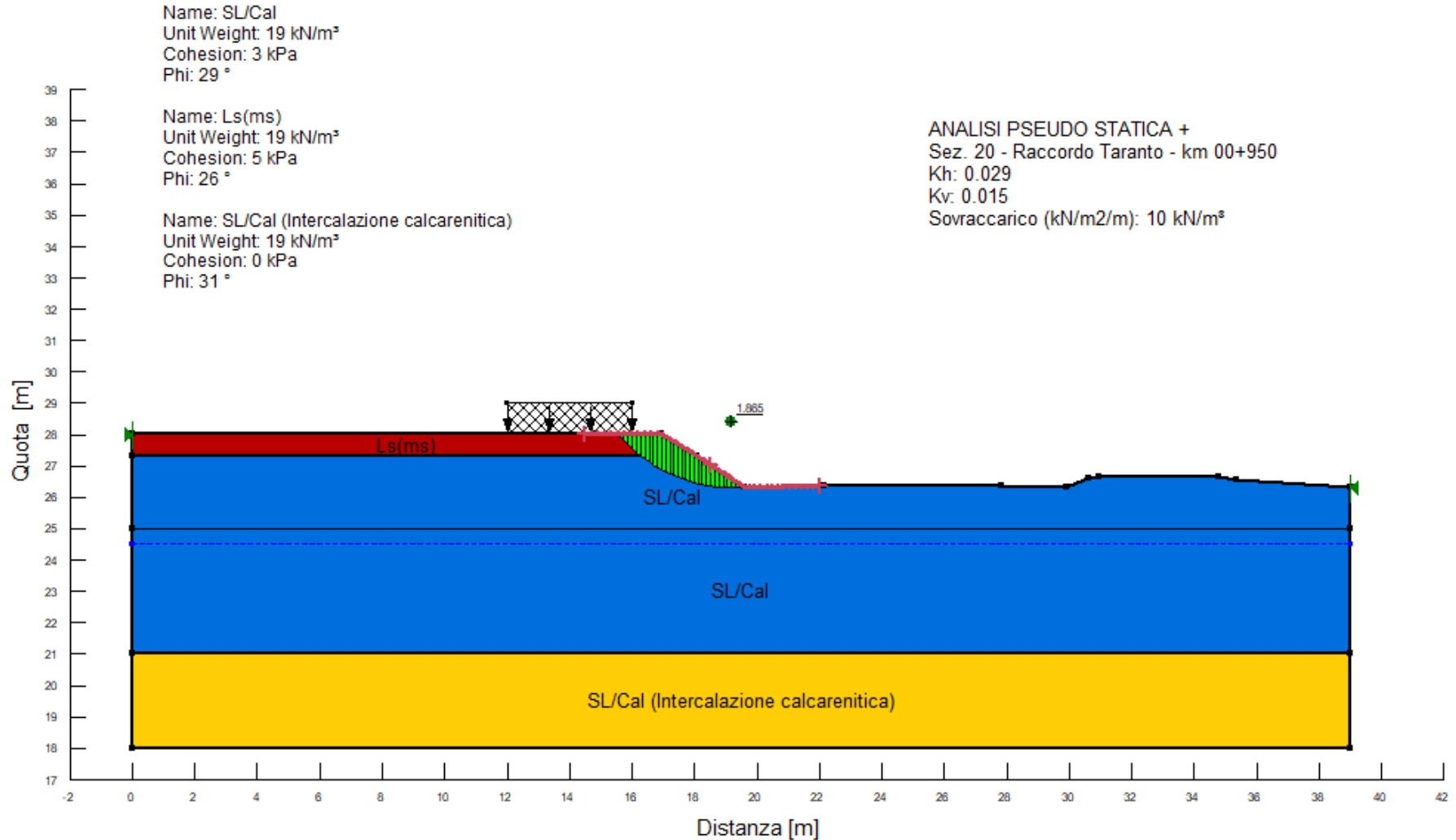


Figura 19: Sezione in affiancamento, sez.00+950 (Raccordo Taranto) - Analisi di stabilità globale in campo sismico

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

10.3 VERIFICHE SLE – VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI

10.3.1 Modelli e fasi di calcolo

Il modello utilizzato per queste analisi è mostrato nella Figura 20 .

La stratigrafia di calcolo utilizzata è riportata in Tabella 12 utilizzando i parametri caratteristici riportati in Tabella 13

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



**NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	61 di 69

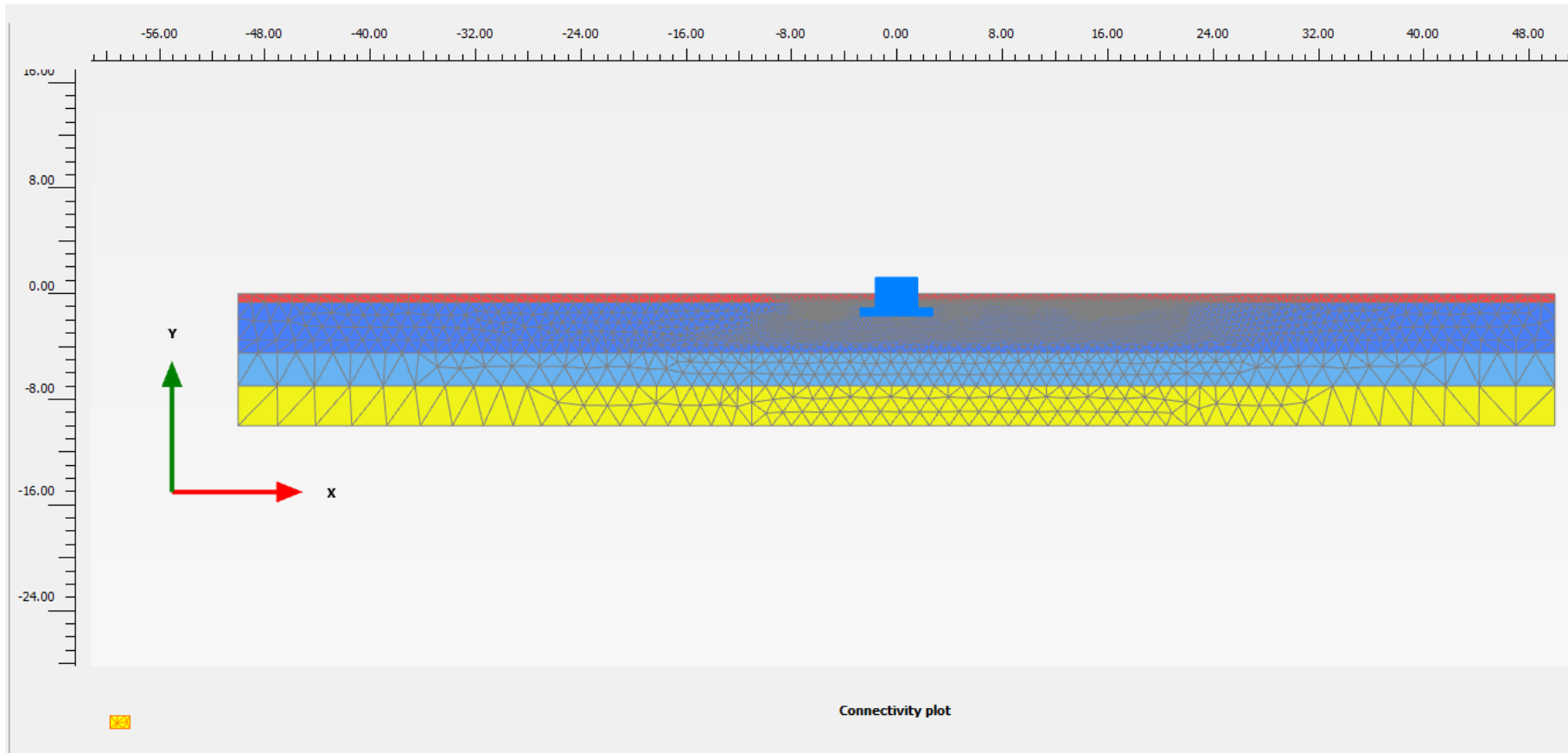


Figura 20: Modello Sezione in affiancamento, sez.00+950 (Raccordo Taranto)

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti:

- Generazione dello stato tensionale iniziale con piano campagna attuale;
- Scavo trincea;
- Realizzazione pacchetto ferroviario e messa in opera;
- Consolidazione del terreno di fondazione nel corso dell'esercizio della linea ferroviaria (durata 1 anno);

I risultati ottenuti sono mostrati e commentati al successivo punto 10.3.2.

10.3.2 Risultati

Figura 21 sono riportati gli spostamenti verticali u_y a lungo termine quando il cedimento è massimo.

Con riferimento a Manuale di Progettazione RFI DTC SI CS MA IFS 001 D (parte III), 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 residuo inferiore al 10% del cedimento di lungo termine;
- 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.

La sezione in esame fa riferimento a una sezione in trincea e in affiancamento a una linea esistente per cui verrà condotta solo la terza verifica.

Attraverso l'analisi ad elementi finiti con il software Plaxis risulta che il cedimento massimo sulla linea esistente è un valore inferiore a 10mm in valore assoluto, per cui risulta automaticamente verificata la condizione sul cedimento differenziale massimo (ovvero il livello trasversale XL) inferiore al valore limite prescritto di 10mm

Risulta pertanto che i cedimenti indotti dalla realizzazione del nuovo rilevato sul binario dispari della linea Brindisi Taranto è contenuto nei limiti prescritti e potrà essere gestito con le ordinarie operazioni di manutenzione del binario.



NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	63 di 69

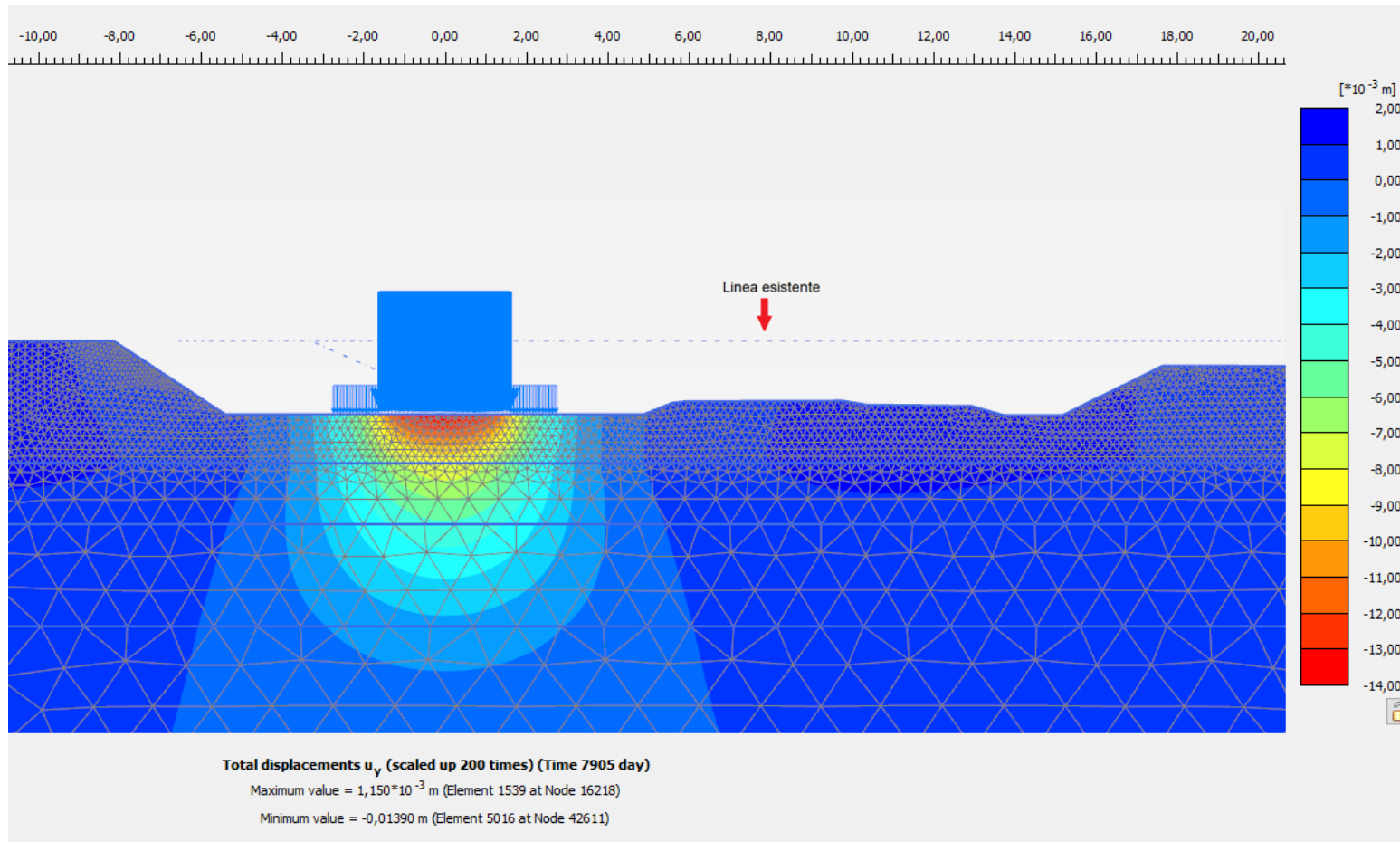



Figura 21: Spostamenti verticali sezione in affiancamento, sez.00+950 (Raccordo Taranto)

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

11. SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 00+150

La sezione in esame, ubicata alla progressiva 00+150 del Collegamento con l'Aeroporto, è costituita da una trincea di profondità pari a circa 3.0 metri.

11.1 STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica (Doc. Rif.[1]) 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+150

Strato	Profondità da [m da p.c.]	Profondità a [m da p.c.]	Descrizione
Ls(ms)	0	1.5	Limo marrone scuro
S _L (Cal)	1.5	3	Sabbia limosa/limo sabbioso color avana con possibili intercalazioni calcarenitiche
S _L (Cal) (intercalazione argillosa)	3	4.5	Intercalazione argillosa
S _L (Cal)	4.5	5.4	Sabbia limosa/limo sabbioso color avana con possibili intercalazioni calcarenitiche
S _L (Cal) (intercalazione calcarenitica)	5.4	10	intercalazioni calcarenitiche

Tabella 14: Parametri geotecnici di calcolo per la sezione 00+150 – Materiali in sito



**NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE**

COMMESSA IA7K LOTTO 00 D10 CODIFICA CL DOCUMENTO GE0006 001 REV. C FOGLIO 65 di 69

STRATO	Descrizione strato	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		Resistenza al taglio non drenata		Modulo di Young operativo	Permeabilità
		γ_d	ϕ'_k	ϕ'_d	c'_k	c'_d	c_u	c_u	$E_{op.}$	k
		[kN/m ³]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]
Ls(ms)	Limo marrone scuro	19	26	21.3	5	4	-	-	10	1.0E-08
S _l (Cal)	Sabbia limosa/limo sabbioso color avana con possibili intercalazioni calcarenitiche	19	29	23.9	3	2.4	-	-	20 (prof< 4.5m) 24 (prof> 4.5m)	1.0E-07
S _l (Cal) (intercalazione argillosa)	Intercalazione argillosa	19	26	21.3	10	8	-	-		1.0E-08
S _l (Cal) (intercalazione calcarenitica)	intercalazioni calcarenitiche	19	31	25.7	-	-	-	-		1.0E-07

Dove: $G_0 = 85 \cdot (\sigma'_{v0}/p_a)^{0.65}$ (assumendo la falda ad 1 m da pc)

La falda di progetto è stata assunta nei calcoli ad una quota di circa 3.5 m dal piano campagna.

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. [10]). 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. [3]), 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.

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

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 [3] in Tabella 14 e in Tabella 6 rispettivamente per i materiali in sito e per i materiali antropici.

Il carico da traffico ferroviario (q) e l'armamento ferroviario sono stati trascurati per questa verifica in quanto forniscono un contributo alla stabilità della scarpata. È stato posto un carico variabile pari a 10kPa a monte della scarpata, moltiplicato per un coefficiente $\gamma_Q=1.5$. Il valore dell'azione di calcolo è pari quindi a 15kPa.

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 le superfici di rottura critica 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:

$$FS^{MIN} (DA1C2) = 1.231$$

Essendo soddisfatta la relazione:

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

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

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 in 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:

$$K_H = + 0.029 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.015 \quad (\text{verificando la più cautelativa tra negativo e positivo})$$

Il carico da traffico ferroviario (q) e l'armamento ferroviario sono stati trascurati per questa verifica in quanto forniscono un contributo alla stabilità della scarpata. È stato posto un carico variabile pari a 10kPa a monte della scarpata. Nel caso di verifiche sismiche le azioni sono prese con il loro valore caratteristico.

	NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE	COMMESSA IA7K	LOTTO 00 D10	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 001	REV. C

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 e 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:

$$FS^{MIN}=1.487$$

Essendo soddisfatta la relazione:

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

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.



**NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	68 di 69

Name: SL/Cal (M2)
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion: 2.4 kPa
Phi: 23.9 °

Name: Ls(ms) (M2)
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion: 4 kPa
Phi: 21.3 °

Name: SL/Cal (frazione argillosa) (M2c'f)
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion: 8 kPa
Phi: 21.3 °

Name: SL/Cal (frazione cal) (M2)
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Phi: 25.7 °

ANALISI STATICA
Sez. 4 - km 00+150
Kh: 0
Kv: 0
Sovraccarico (kN/m²/m): 15 kN/m³

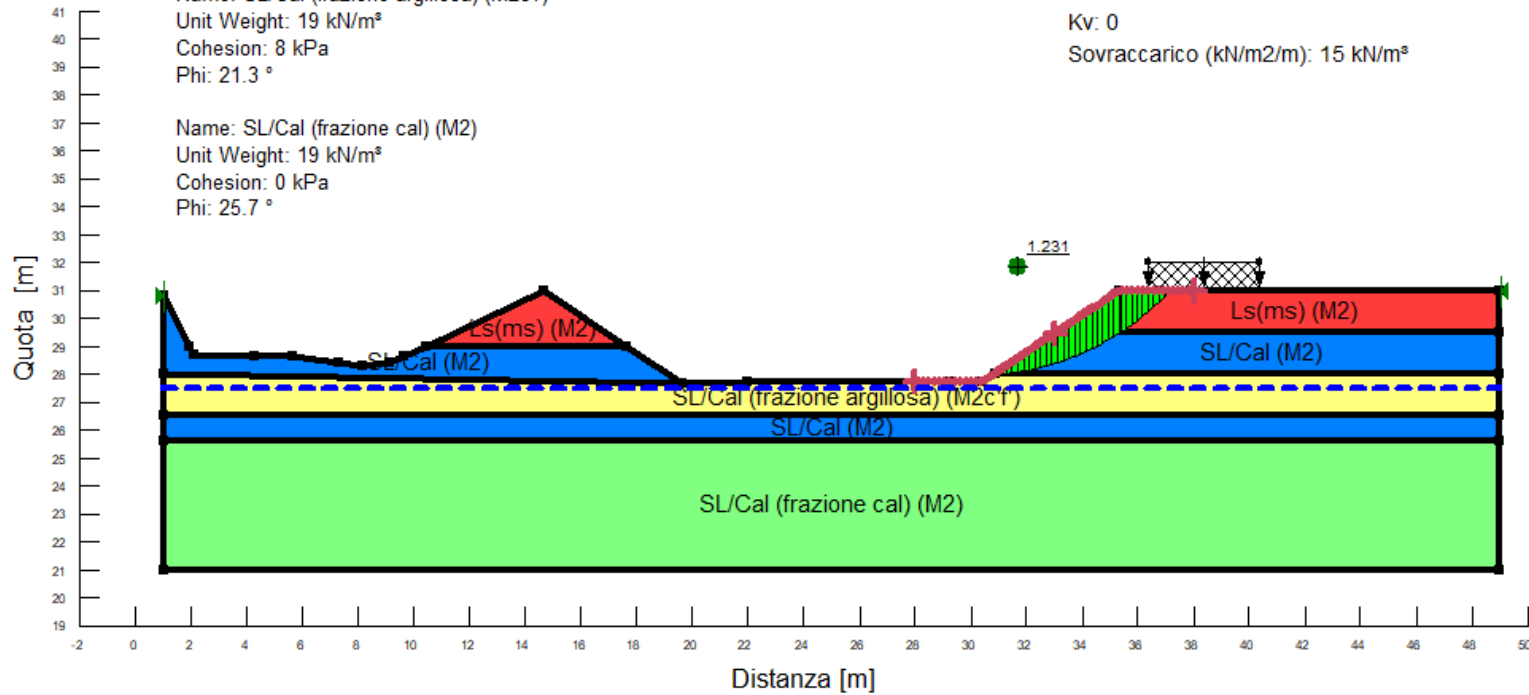


Figura 22: Trincea, sez.00+150 - Analisi di stabilità globale in campo statico DA1C2



**NODO INTERMODALE DI BRINDISI
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL
SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI
PROGETTO DEFINITIVO**

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE
FERROVIARIE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00 D10	CL	GE0006 001	C	69 di 69

Name: SL/Cal
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion: 3 kPa
Phi: 29 °

Name: Ls(ms)
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion: 5 kPa
Phi: 26 °

Name: SL/Cal (frazione argillosa)
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion: 10 kPa
Phi: 26 °

Name: SL/Cal (frazione cal)
Unit Weight: 19 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Phi: 31 °

ANALISI PSEUDO-STATICA (+)
Sez. 4 - km 00+150
Kh: 0.029
Kv: 0.015
Sovraccarico (kN/m²/m): 10 kN/m³

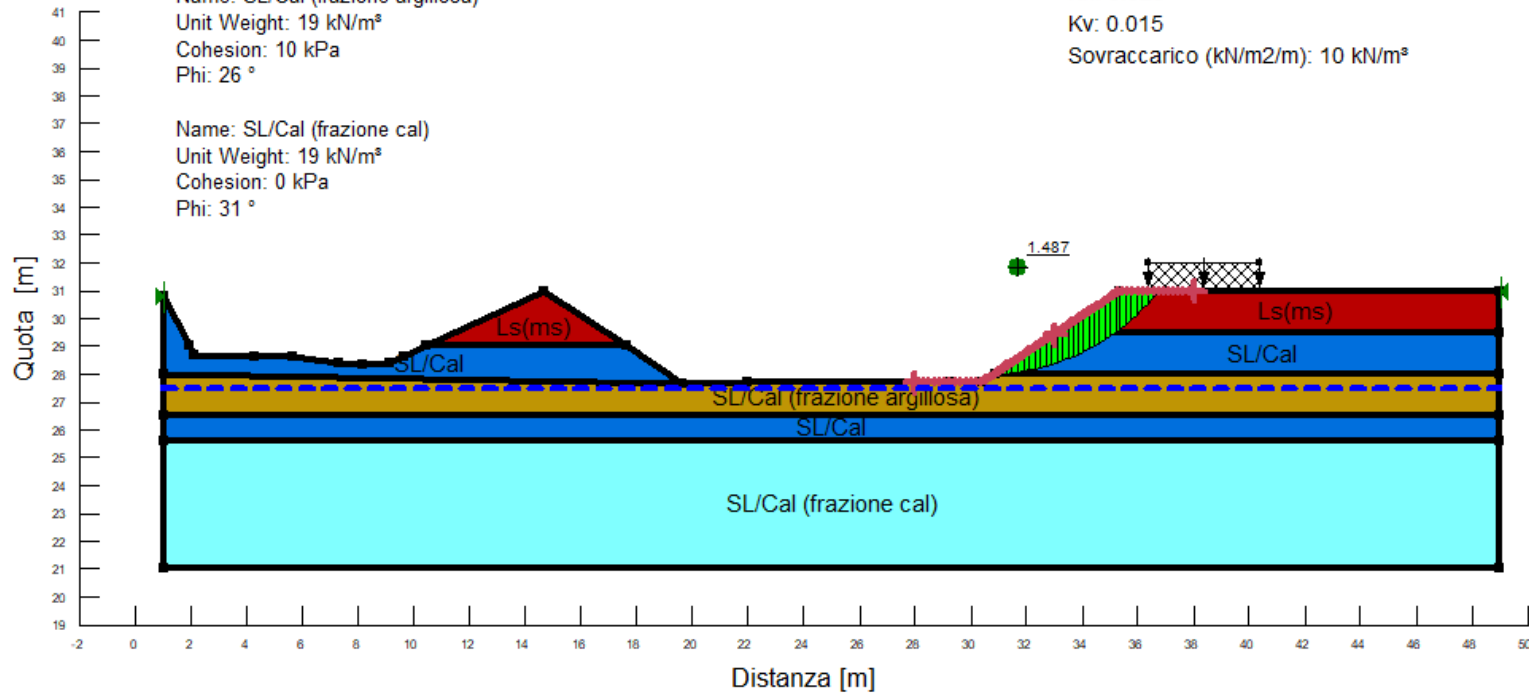


Figura 23: Trincea, sez.00+150 - Analisi di stabilità globale in campo sismico