

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

PROGETTO DEFINITIVO

NODO INTERMODALE DI BRINDISI
INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE
RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA
NAZIONALE

GEOTECNICA

Relazione di calcolo dei rilevati

SCALA:

-

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

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

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	L. Dinelli 	Maggio 2020	L. Giannini 	Maggio 2020	T. Paolotti 	Maggio 2020	L. Berardi Maggio 2020

File: IA7L00D10CLGE0006001A.doc

n. Elab.:

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	2 di 54

INDICE

1	PREMESSA	4
2	NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	7
2.1	DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO	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>	13
3.3	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI.....	14
3.3.1	<i>Stati limite ultimi (SLU)</i>	14
3.4	LIQUEFAZIONE.....	16
3.5	CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI	17
3.5.1	<i>Paratie Plus – modulo VSP</i>	17
3.5.2	<i>Plaxis 2D</i>	18
3.6	METODOLOGIE DI VERIFICA ADOTTATE	19
3.6.1	<i>Verifiche di stabilità</i>	19
3.6.2	<i>Valutazione degli spostamenti</i>	19
4	CARATTERISTICHE DEL CORPO FERROVIARIO.....	21
4.1	DESCRIZIONE DEI RILEVATI FERROVIARI	21

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	3 di 54

4.2	MATERIALI COSTITUENTI IL RILEVATO	21
4.3	CARICHI DI PROGETTO	22
5	SELEZIONE DELLE SEZIONI OGGETTO DI VERIFICA	23
5.1	SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 04+445.....	24
5.1.1	<i>Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo</i>	24
5.1.2	<i>Verifiche SLU – Stabilità globale</i>	25
5.1.3	<i>Verifiche SLE – Valutazione dei cedimenti</i>	29
5.2	SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 04+400.....	35
5.2.1	<i>Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo</i>	35
5.2.2	<i>Verifiche SLU – Stabilità globale</i>	36
5.2.3	<i>Verifiche SLE – Valutazione dei cedimenti</i>	40
5.3	SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 04+900.....	46
5.3.1	<i>Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo</i>	46
5.3.2	<i>Verifiche SLE – Valutazione dei cedimenti</i>	48

1 PREMESSA

Nelle immediate vicinanze della stazione di Brindisi è presente una complessa realtà industriale principalmente legata al Porto e al polo petrolchimico. Il collegamento tra l'aerea portuale e la stazione di Brindisi, ad oggi, è fortemente penalizzato da una moltitudine di intersezioni a raso all'interno di un'area fortemente urbanizzata.

Obiettivo della presente progettazione consiste nell'incentivare il traffico merci su ferro integrando il sistema portuale con il sistema ferroviario riducendo in questo modo le interferenze tra le attività di terminalizzazione ed il traffico urbano. Tale intervento presenta elevati vantaggi in termini di sicurezza in quanto, oltre ad allontanare il traffico merci da un tessuto urbano costituito da numerosi passaggi a livello, concentra le operazioni di manovra dei treni merci all'interno della nuova "stazione elementare".



Scopo della presente progettazione è la realizzazione del completamento dell'infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con l'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale.

Il progetto si compone di due lotti:

Lotto 1: opere a carico del Comune di Brindisi (a cura del Comune e in corso di realizzazione):

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 5 di 54

- Binario di corretto tracciato (Binario III) e precedenza in sinistra (Binario IV) della suddetta nuova Stazione Elementare;
- Nuova tratta ferroviaria di collegamento tra la Dorsale del Consorzio ASI di Brindisi (Porto di Brindisi) e la nuova Stazione Elementare per l'arrivo/partenza di treni merci a modulo 750m (circa 1,78 Km)

Lotto 2: opere a carico di RFI, oggetto della presente progettazione:

- Binari I e II della nuova stazione per l'arrivo/partenza treni di merci a modulo 750m
- Nuova tratta ferroviaria di collegamento tra la suddetta nuova Stazione Elementare e la linea Bari – Lecce (OO.CC. + armamento)
- Posto di comunicazione e bivio di collegamento della nuova tratta con la Linea Adriatica (al km 764+230 circa della linea Bari – Lecce)
- Impianti di trazione elettrica e apparati tecnologici della nuova stazione merci, della tratta di collegamento tra questa e la Linea Adriatica e del bivio sulla Linea Adriatica per l'allaccio della nuova linea.

Pertanto, il progetto risponde ai seguenti obiettivi:

- Realizzazione di una stazione a modulo 750 m, coerentemente con gli standard europei di trasporto merci;
- Velocizzazione delle attività di manovra e terminalizzazione, per accesso diretto dei treni provenienti da nord in una stazione dedicata a traffico merci, con itinerari di arrivo a 60 km/h;
- Integrazione del sistema ferroviario con quello portuale;
- Riduzione delle interferenze tra le attività di terminalizzazione su ferro e il traffico urbano, con vantaggi soprattutto in termini di sicurezza;
- Incentivo al traffico merci su ferro;
- Separazione del traffico merci, in parte altamente pericolose, dal traffico viaggiatori in stazione di Brindisi centrale.

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 6 di 54

Il presente documento riporta le verifiche, ai sensi della Normativa vigente (NTC 2018), relative ai rilevati presenti lungo il tracciato.

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 riportano 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 5 si definiscono le sezioni rappresentative delle condizioni maggiormente critiche e si riportano i risultati delle analisi effettuate.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE</p>					
<p>GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati</p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO GE0006001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 7 di 54</p>

2 **NORMATIVA E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

2.1 **DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO**

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

- [1] ITALFERR – Progetto Definitivo – Infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con infrastruttura ferroviaria nazionale – Relazione Geotecnica Generale (Doc. IA7L00D10GEGE0006001)
- [2] ITALFERR – Progetto Definitivo – Infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con infrastruttura ferroviaria nazionale – Profilo geotecnico di linea (Doc. IA7L00D10F7GE0006002)
- [3] ITALFERR – Progetto Definitivo – Infrastruttura di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con infrastruttura ferroviaria nazionale – Profilo geotecnico stazione (Doc. IA7L00D10F7GE0006001)
- [4] ITALFERR – Progetto Definitivo – Collegamento ferroviario dell'aeroporto del Salento con la stazione di Brindisi– Relazione di calcolo dei rilevati e delle trincee ferroviarie (Doc. IA7K00D10CLGE0006001)

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:

- [5] 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.
- [6] 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”
- [7] RFI DTC SI MA IFS 001 D del 20.12.2019 - “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”.

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 8 di 54

- [8] RFI DTC INC CS LG IFS 001 A del 21.12.2011 – “Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra”.
- [9] 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.
- [10] 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”
- [11] 2008/217/CE - “Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità (20/12/2007)”.
- [12] 2011/275/CE - “Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario transeuropeo convenzionale (26/04/2011)”.
- [13] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [14] 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

- [15] Paratie Plus – modulo VSP – Harpaceas (<http://harpaceasit/paratie-plus/>)
- [16] 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))

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 9 di 54

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. [5]):

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

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

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 6.2.1 del Doc. Rif. [5]})$$

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.[5]).

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

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 del Doc. Rif. [5]})$$

dove:

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

C_d = valore limite prescritto dell'effetto delle azioni.

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

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE</p>					
<p>GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati</p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO GE0006001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 10 di 54</p>

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.[5]):

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

$$R = R \left[\gamma_F \cdot F_{ks}; \frac{\sum X_k}{\gamma_m}; a_d \right]$$

la resistenza globale del sistema (Par. C.6.8.6.2 del Doc. Rif.[6]), calcolata sulla base delle azioni di

progetto, dei parametri di progetto e della geometria di progetto $R = R \left[\gamma_F \cdot F_{ks}; \frac{\sum X_k}{\gamma_m}; a_d \right]$.

Facendo riferimento a quanto previsto al p.to 3.8.1.3.4.1 del Doc Rif. [7] per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali sulle azioni in Tabella 3.1 (Tab. 5.2.V del Doc Rif. [5]) e i coefficienti di combinazione Ψ in Tab. 5.2.VI.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE</p>					
<p>GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati</p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO GE0006001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 11 di 54</p>

Tabella 3.1: Coefficienti parziali sulle azioni (Tab. 5.2.V del Doc. Rif.[5]).

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

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

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

⁽²⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.

⁽⁵⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁶⁾ 1,20 per effetti locali

In Tabella 3.1 (Tab. 5.2.V del Doc. Rif. [5]) 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.


 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE</p>					
<p>GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati</p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO GE0006001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 12 di 54</p>

Tabella 3.2: Coefficienti di combinazione ψ delle azioni (Tab. 5.2.VI del Doc. Rif.[5]).

Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione Ψ delle azioni

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	g_{F1}	0,80 ⁽¹⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
Gruppi di	g_{F2}	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
carico	g_{F3}	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	g_{F4}	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

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

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

Tabella 3.3: Coefficienti di combinazione ψ delle azioni (Tab. 5.2.VII Doc. Rif.[5]).

Tab. 5.2.VII - Ulteriori coefficienti di combinazione ψ delle azioni

	Azioni	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole da traffico	Treno di carico LM 71	0,80 ⁽³⁾	⁽¹⁾	0,0
	Treno di carico SW /0	0,80 ⁽³⁾	0,80	0,0
	Treno di carico SW/2	0,00 ⁽³⁾	0,80	0,0
	Treno scarico	1,00 ⁽³⁾	-	-
	Centrifuga	⁽²⁾ ⁽³⁾	⁽²⁾	⁽²⁾
	Azione laterale (serpeggio)	1,00 ⁽³⁾	0,80	0,0

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

⁽²⁾ Si usano gli stessi coefficienti ψ adottati per i carichi che provocano dette azioni.

⁽³⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE</p>					
<p>GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati</p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO GE0006001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 13 di 54</p>

Tabella 3.4: Coefficienti parziali sui terreni (M1 ed M2) - (Tab. 6.2.II, del Doc. Rif.[5]).

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

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

Tabella 3.5: Coefficienti parziali per le verifiche di stabilità globale (R2) - (Tab. 6.8.I, Doc. Rif. [5]).

Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

3.2.2 Stati limite di esercizio (SLE)

Per gli Stati Limite di Esercizio deve essere verificato che, impiegando nelle analisi i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali (Par. 6.5.3.2 del Doc. Rif. [5]), 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. [7] 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.

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 14 di 54

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

3.3.1 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. [5]). 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. [5]). 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. [5] le verifiche possono essere condotte mediante metodi pseudo statici, metodi degli spostamenti e metodi avanzati di analisi dinamica.

Come descritto al Par. C7.11.4 del Doc. Rif. [6], la verifica di stabilità globale va condotta mediante il metodo di analisi definito al Par. 7.11.3.5 del Doc. Rif.[5], inerente alla stabilità dei pendii.

Sulla base di quanto definito al Par.7.11.3.5.2 del Doc. Rif.[5], 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 0.084 g.

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

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 15 di 54

Come chiarito al Par. 7.11.4 del Doc. Rif. [5] 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 3.6):

Tabella 3.6: Valori dei coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale.

	V_N	C_U	V_R	a_g (g)	S_s	S_T	a_{max} (g)	k_h	k_v
SLV	75	1.5	112.5	0.056	1.5 (cat. C)	1.0	0.084	0.032	± 0.016

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 16 di 54

3.4 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 $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ 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 efficace verticale 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 $U_c > 3.5$.

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 per lo SLV.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE</p>					
<p>GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati</p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO GE0006001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 17 di 54</p>

3.5 CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI

3.5.1 Paratie Plus – modulo VSP

Il modulo VSP di Paratie Plus permette di calcolare la stabilità complessiva di un versante, di un fronte di scavo o di un rilevato in cui può o meno essere presente un'opera di sostegno flessibile. Paratie Plus utilizza i metodi dell'equilibrio limite, prevede la possibilità di scegliere diversi metodi di analisi e permette di prendere in considerazione superfici di scorrimento definite con metodologie differenti.

In particolare, Paratie Plus prevede il calcolo della stabilità per mezzo dei seguenti metodi:

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

Tutti questi si basano sull'individuare una porzione di terreno instabile mobilitata lungo una potenziale superficie di scorrimento, suddividendo la regione di terreno mobilitata in conci verticali compresi tra la sommità del terreno e la superficie di scorrimento e applicando le condizioni di equilibrio generali e relative ai singoli conci. Poiché nella scrittura delle condizioni di equilibrio del singolo concio è necessario includere le azioni che esso scambia con i conci adiacenti, si ottiene un sistema risolvibile in cui le incognite (il coefficiente di sicurezza e le azioni interne fra i conci) superano le equazioni disponibili. La differenza fra i diversi metodi risiede nel modo in cui il problema viene reso staticamente determinato; in generale vengono introdotte ulteriori ipotesi, diverse da un metodo all'altro, relativamente alle azioni di interazione fra conci adiacenti.

Nelle analisi effettuate si è fatto riferimento al metodo di Bishop la cui ipotesi è che i vari conci si scambino azioni solo normali alle facce verticali, vale a dire azioni orizzontali; richiede inoltre che la superficie di scivolamento sia un arco di cerchio e determina il coefficiente di sicurezza imponendo l'equilibrio alla rotazione della massa instabile attorno al centro della circonferenza.

Per la definizione delle superfici da analizzare, invece, Paratie Plus offre la possibilità di scegliere tra le seguenti metodologie:

- Archi di cerchio aventi centro noto e raggi compresi in un intervallo;
- Archi di cerchio entranti e uscenti in posizioni note;
- Griglia dei centri e limiti geometrici sui raggi.

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 18 di 54

Nei casi in esame è stato utilizzato il secondo modo e pertanto è stato definito un intervallo di entrata (a monte), uno di uscita (a valle) e il raggio massimo. Sulla base di questi intervalli il programma ha generato diversi archi di cerchio contraddistinti ovviamente da diversi centri.

3.5.2 *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*).

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE</p>					
<p>GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati</p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO GE0006001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 19 di 54</p>

3.6 METODOLOGIE DI VERIFICA ADOTTATE

3.6.1 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 VSP implementato in Paratie Plus è stato utilizzato nel presente documento per condurre le analisi di stabilità, sia in campo statico sia in campo sismico (adottando il metodo pseudo-statico), per 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 1 m ca.).

3.6.2 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 per il rilevato.

Attraverso questo calcolo è stato possibile valutare lo sviluppo nel tempo dei cedimenti di consolidazione primaria dovuti alla costruzione dei rilevati e alla successiva applicazione dei sovraccarichi dovuti al traffico ferroviario.

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

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE</p>					
<p>GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati</p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO GE0006001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 20 di 54</p>

Le condizioni al contorno idrauliche per i modelli di calcolo adottate per tutte le analisi prevedono che i limiti del modello siano drenati lungo tutti i bordi (verticali e orizzontali), tenendo presente che il limite orizzontale superiore è costituito dal rilevato e dal piano campagna, quello inferiore dalle calcareniti fratturate individuabili al di sotto delle argille

Sono state poi riportate valutazioni e considerazioni sui potenziali cedimenti secondari da sommare ai cedimenti calcolati con il modello ad elementi finiti Plaxis. Tale contributo è stato valutato per mezzo della seguente equazione:

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

essendo:

- s_s = cedimento secondario (m);
- t = tempo generico a partire dall'applicazione del carico (s)¹;
- $t_{100,i}$ = tempo necessario all'esaurimento della consolidazione primaria nello strato i-esimo interessato da consolidazione secondaria (s);
- h_i = spessore dello strato i-esimo di terreno interessato da consolidazione secondaria (m);
- n = numero di strati di terreno interessato da consolidazione secondaria (-);
- $c_{\alpha\epsilon,i}$ = coefficiente di consolidazione secondaria nello strato i-esimo misurato da prove edometriche di laboratorio.

¹ Considerando che la formulazione assunta condurrebbe ad una irrealistica condizione di cedimento infinito per tempo infinito, e che tale espressione è quindi notoriamente applicabile a limitati intervalli temporali, il parametro t verrà assunto con il valore per il quale la velocità del cedimento sia $>1\text{mm/anno}=0.001\text{m/anno}$. Assumendo tale valore di soglia, $t=(1/0.001) c_{\alpha\epsilon,i} \cdot h_i \cdot \log_{10}(e)$.

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	21 di 54

4 CARATTERISTICHE DEL CORPO FERROVIARIO

4.1 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, con presenza di una banca intermedia, di larghezza pari a 2.0 m, nei casi in cui l'altezza dei rilevati stessi sia maggiore di 6.0 m; l'altezza si intende misurata a partire dal ciglio superiore del rilevato.

Al di sotto del rilevato è previsto uno scotico per uno spessore pari a 0.5 m, mentre per le scarpate una finitura con terreno vegetale e inerbimento.

Il rilevato sarà completato 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.

4.2 MATERIALI COSTITUENTI IL RILEVATO

Il materiale costituente il corpo del rilevato sarà materiale a grana grossa per la cui caratterizzazione si farà riferimento ai parametri caratteristici riportati in Tabella 4.1.

L'inerbimento superficiale delle scarpate e lo strato di scotico non sono stati considerati nelle analisi.

Tabella 4.1: 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	1×10^{-5}

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE</p>					
<p>GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati</p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO GE0006001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 22 di 54</p>

4.3 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.


In ottemperanza a quanto indicato nel Manuale di Progettazione (Rif.[7]), il carico permanente dovuto alla sovrastruttura ferroviaria (massicciata + armamento) è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita applicata sull'impronta del ballast (larghezza complessiva di circa 5.5 m.) considerando un'altezza media fra il piano del ferro (P.F.) e l'estradosso del sub-ballast pari a 0.80 m. Il peso di volume è stato assunto pari a 18.0 kN/m³ per i tratti in rettilineo e a 20.0 kN/m³ per i tratti in curva, pertanto il carico di progetto vale rispettivamente 14.4 kPa e 16.0 kPa nei due casi.

Il sovraccarico da traffico ferroviario è stato valutato in accordo a quanto riportato nel Doc. Rif. [7] considerando il treno di carico LM71 (con $\alpha=1.1$) che per i casi in esame risulta essere più gravoso rispetto al treno di carico SW2.

In particolare, si è fatto riferimento ai quattro assi da 250 kN disposti ad interasse di 1.60 m e pertanto si è considerato un carico di $\alpha \cdot Q_{vk}/i = 1.1 \cdot 250 / 1.6 = 171.88$ kN/m. Per riportare tale carico dalla traversina, di larghezza pari a 2.4 m, al piano al di sotto dell'armamento si è considerata una diffusione con pendenza 45° su un'altezza di 40 cm. Pertanto, la pressione equivalente è stata considerata applicata su una fascia di larghezza pari a 3.2 m, centrata in corrispondenza dell'asse della linea ferroviaria, e pari a 53.71 kPa.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto si rimanda al paragrafo 3.3 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.

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 23 di 54

5 SELEZIONE DELLE SEZIONI OGGETTO DI VERIFICA

La sede ferroviaria di collegamento dell'area industriale retro-portuale di Brindisi con l'infrastruttura ferroviaria nazionale si sviluppa in rilevato per gran parte del suo sviluppo, raggiungendo un'altezza massima pari a circa 8.0 m.

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

- Sez. km 04+445, rilevato con altezza massima $H=8.0$ m,
- Sez. km 04+400, rilevato con altezza massima senza banca $H=6.0$ m,
- Sez. km 04+900, rilevato in affiancamento al rilevato esistente $H=1.8$ m.

Per il dettaglio sulla 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 [2]); tali parametri sono comunque riassunti nelle apposite tabelle dei paragrafi che seguono.

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	24 di 54

5.1 SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 04+445

La sezione oggetto di verifica, ubicata alla progressiva 04+445, è costituita da un rilevato di 8.0 m, che eccedendo l'altezza di 6.0 m, presenta una banca intermedia di larghezza pari a 2.0 m. Si tratta del rilevato in approccio al viadotto VI02, qui considerato in corrispondenza della sezione con altezza massima.

5.1.1 Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica (Doc. Rif.[1]), nella Tabella 5.1 e Tabella 5.2 sono riportati la stratigrafia ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto, fattorizzati utilizzando i coefficienti M2 contenuti nella Tabella 3.4 della presente relazione.

Si rimanda invece alla Tabella 4.1 per i valori dei parametri geotecnici relativi ai materiali antropici utilizzati per il corpo del rilevato.

Si ricorda che le verifiche geotecniche SLU di stabilità globale dei rilevati, in campo statico, richiedono l'adozione della Combinazione 2 dell'Approccio 1 (DA1C2), mentre per le verifiche sismiche e per le verifiche SLE sono richiesti i parametri caratteristici.

Tabella 5.1: Stratigrafia di calcolo per la sezione 04+445.

Strato	Profondità da [m da p.c.]	Profondità a [m da p.c.]	Descrizione
Ls(ms)	0	1.5	Limo sabbioso argilloso
S _L	1.5	7.0	Sabbia limosa e limo sabbioso argilloso
Ls(ga)	7.0	12.0	Limo sabbioso o sabbia limosa o sabbia con limo
A _L	12.0	32.0	Argilla limosa o limo argilloso

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
	GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO GE0006001	REV. A

Tabella 5.2: Parametri geotecnici di calcolo per la sezione 04+445 – Materiali in sito.

STRAT O	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		Modulo di Young operativo	Permeabilità	
	γ_d	φ'_k	φ'_d	c'_k	c'_d	$E_{op.}$	k_v	k_h
	[kN/m ³]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]	[m/s]
Ls(ms)	19.0	28	23	2.5	2.0	9	1.0E-07	1.0E-06
S _L	19.0	33.5	27.9	-	-	18	1.0E-06	1.0E-05
Ls(ga)	19.5	29	23.9	7.5	6.0	28	1.0E-07	1.0E-06
A _L	20	26	21.3	15	12.0	(2.5·G ₀)/10	1.0E-09	1.0E-08

dove $G_0 = 85 \cdot (\sigma'_{v0}/p_a)^{0.65}$ (relazione da applicare assumendo falda al p.c.).

La falda di progetto è stata assunta nei calcoli ad una quota di circa -2.0 m dal piano campagna, corrispondente all'andamento della stessa indicata nel profilo geotecnico alla progressiva di interesse.


5.1.2 Verifiche SLU – Stabilità globale

Le verifiche SLU della stabilità globale del rilevato (sia in condizioni statiche, sia sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo VSP implementato in Paratie Plus (Doc. Rif. [15]).

Partendo dalla classica definizione del coefficiente di sicurezza FS ottenuto da analisi all'equilibrio limite e richiamando grandezze e definizioni da NTC2018 (Doc. Rif. [5]), la verifica SLU di stabilità globale risulta soddisfatta se risulta:

$$FS \geq \gamma_R = 1.1 \quad \text{in condizioni statiche;}$$

$$FS \geq \gamma_R = 1.2 \quad \text{in condizioni sismiche.}$$

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 26 di 54

5.1.2.1 Verifiche in condizioni statiche

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione di superfici di rottura tali da intercettare l'area di ingombro della sede ferroviaria. Tra esse, è definita critica quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza minimo FS^{MIN} .

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

In Figura 5.1 sono riportate le superfici di rottura critiche per la combinazione DA1C2; il fattore di sicurezza relativo a tali meccanismi, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza calcolati, è pari a:

$$FS^{MIN} (DA1C2) = 1.26$$

essendo soddisfatta la relazione

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

la verifica di stabilità globale in condizioni statiche risulta soddisfatta.

5.1.2.2 Verifiche in condizioni sismiche psuedo-statiche)

In Figura 5.2 è riportata la superficie di rottura critica per il caso esaminato; il fattore di sicurezza relativo a tale meccanismo, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza calcolati, è pari a:

$$FS^{MIN} = 1.50$$

essendo soddisfatta la relazione:

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

la verifica di stabilità globale in condizioni sismiche risulta soddisfatta.

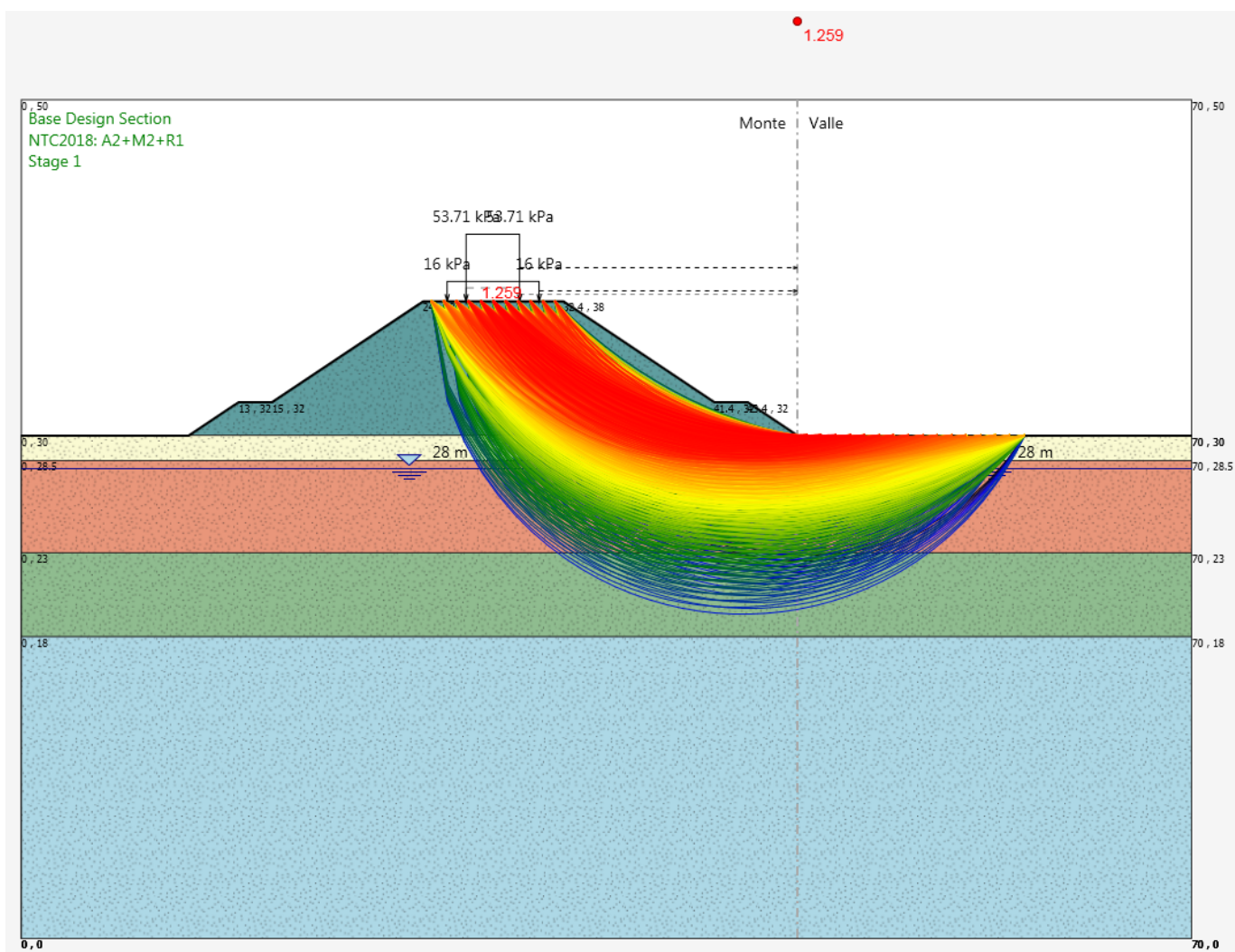


Figura 5.1: Rilevato $H=8.00$ m, sez.04+445 - Analisi di stabilità globale in condizioni statiche DA1C2.

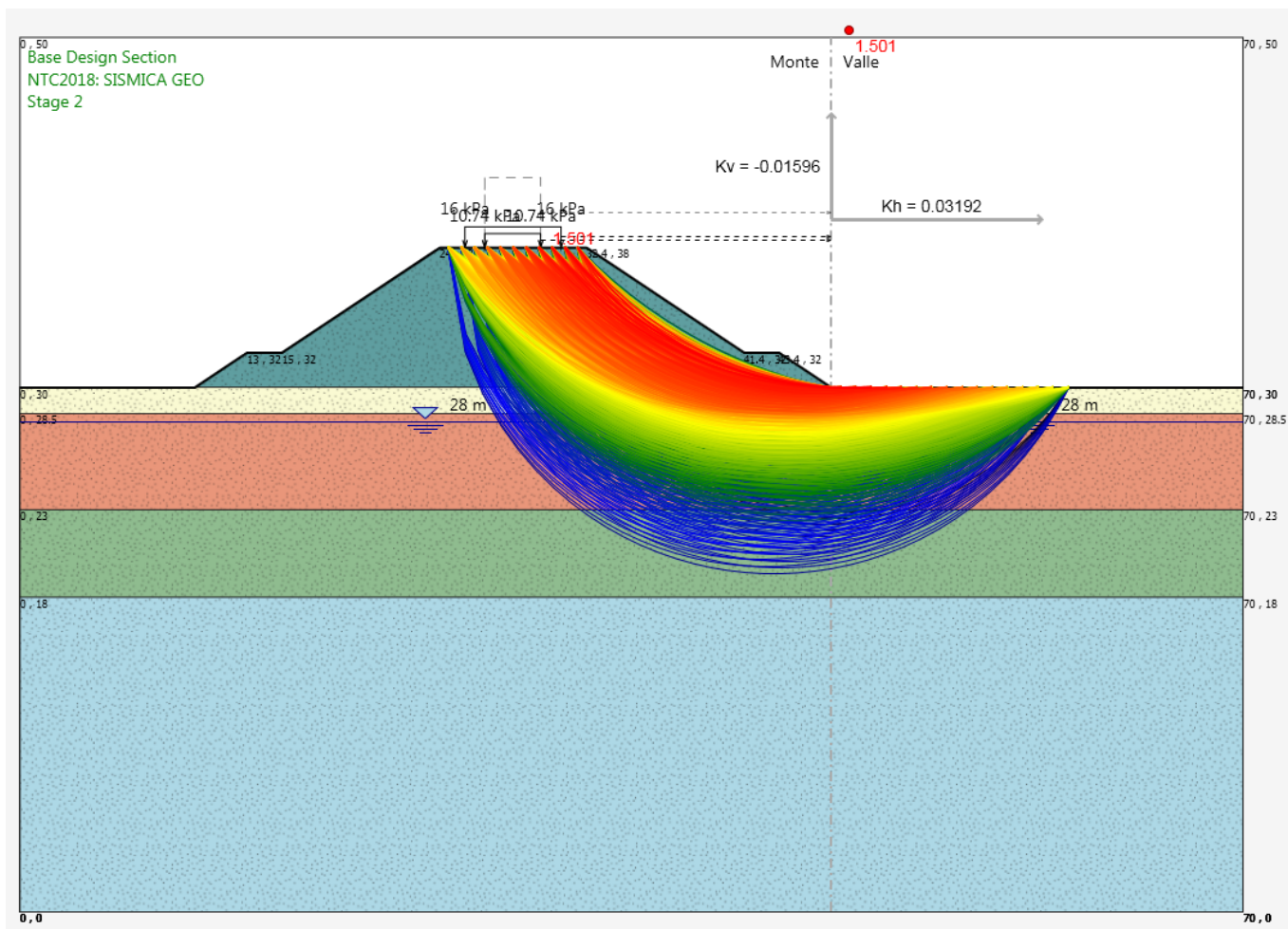


Figura 5.2: Rilevato H=8.00 m, sez. 04+445 - Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche.

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	29 di 54

5.1.3 Verifiche SLE – Valutazione dei cedimenti

5.1.3.1 Modelli e fasi di calcolo

Il modello utilizzato per queste analisi è mostrato nella Figura 5.3.

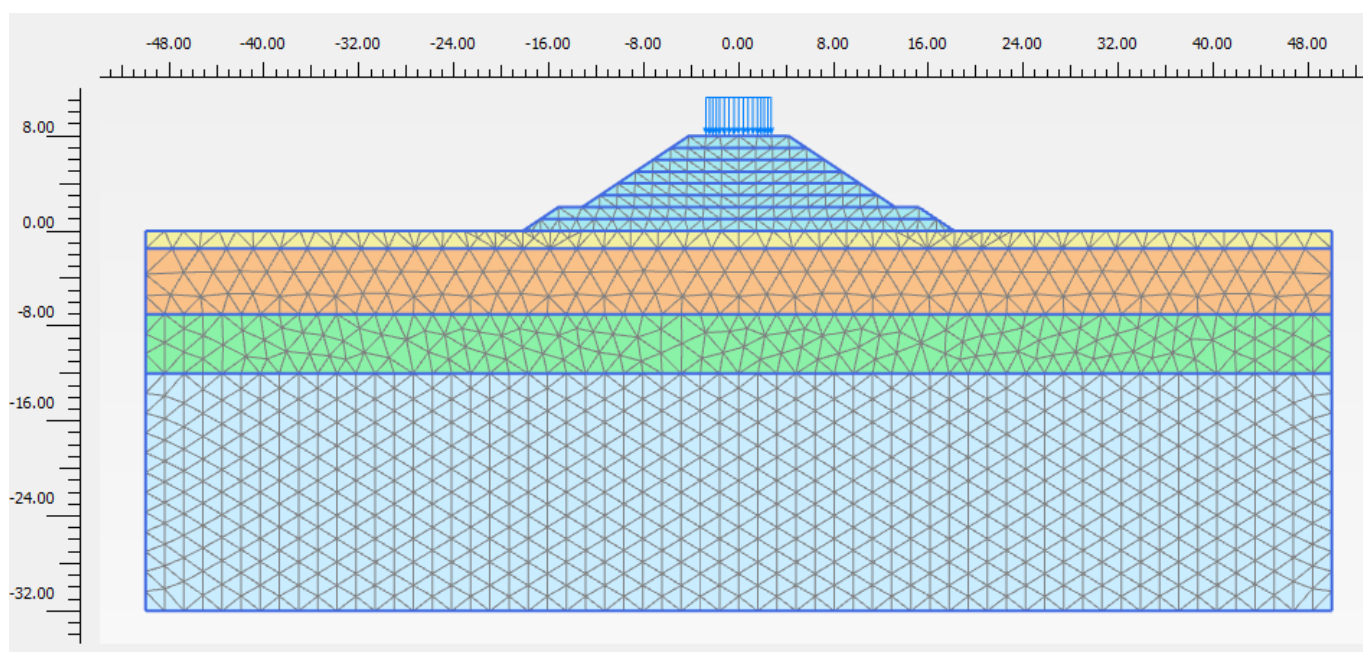


Figura 5.3: Modello rilevato Sez. 04+445.

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti:

- Generazione dello stato tensionale iniziale con piano campagna attuale;
- Costruzione del rilevato (durata 10 mesi);
- Consolidazione del terreno di fondazione nel corso dell'esercizio della linea ferroviaria.

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	30 di 54

5.1.3.2 Risultati

Nelle figure seguenti sono riportati gli spostamenti verticali u_y nelle singole fasi per valutare l'andamento dei cedimenti nel tempo in corrispondenza di una sezione orizzontale a -0.5 m da p.c. (Figura 5.4) e di una sezione verticale coincidente con l'asse ferroviario (Figura 5.5) al termine delle seguenti fasi:

- costruzione del rilevato e messa in opera;
- dopo 6 mesi dall'entrata in esercizio della linea ferroviaria;
- dopo 1 anno dall'entrata in esercizio della linea ferroviaria;
- dopo 5 anni dall'entrata in esercizio della linea ferroviaria;
- dopo 10 anni dall'entrata in esercizio della linea ferroviaria.

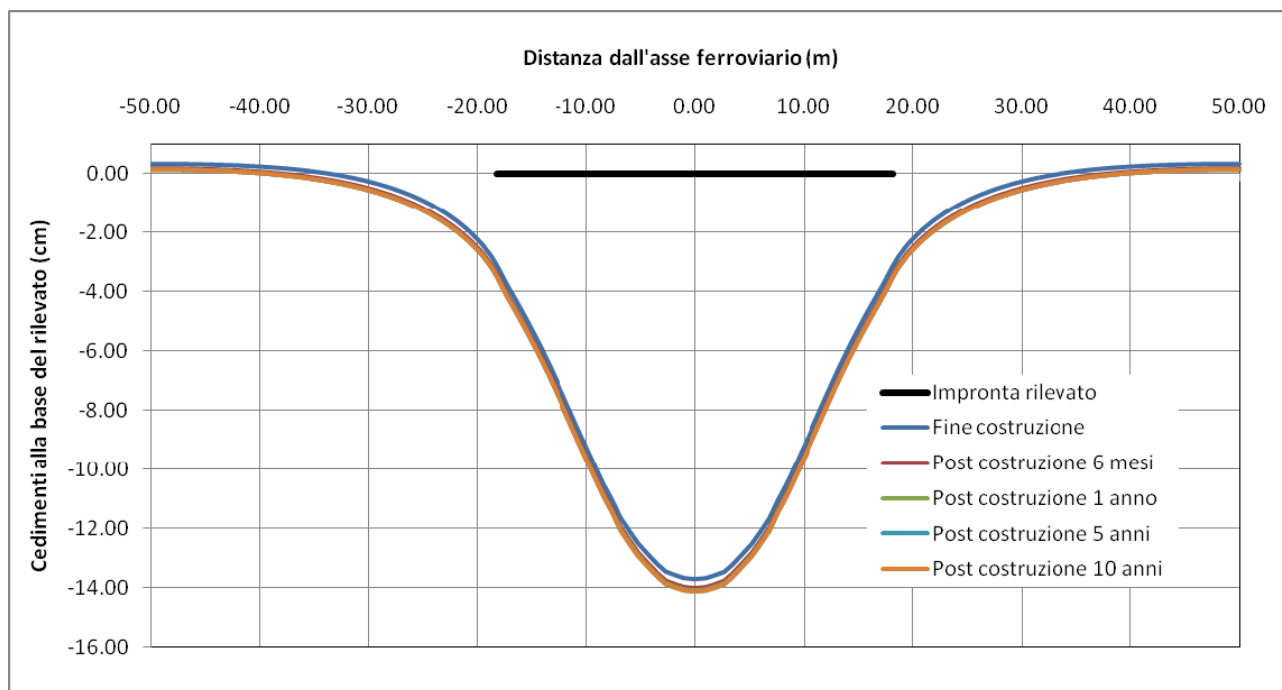


Figura 5.4: Rilevato sez. 04+445 – Spostamenti verticali in corrispondenza della base del rilevato ferroviario.

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	31 di 54

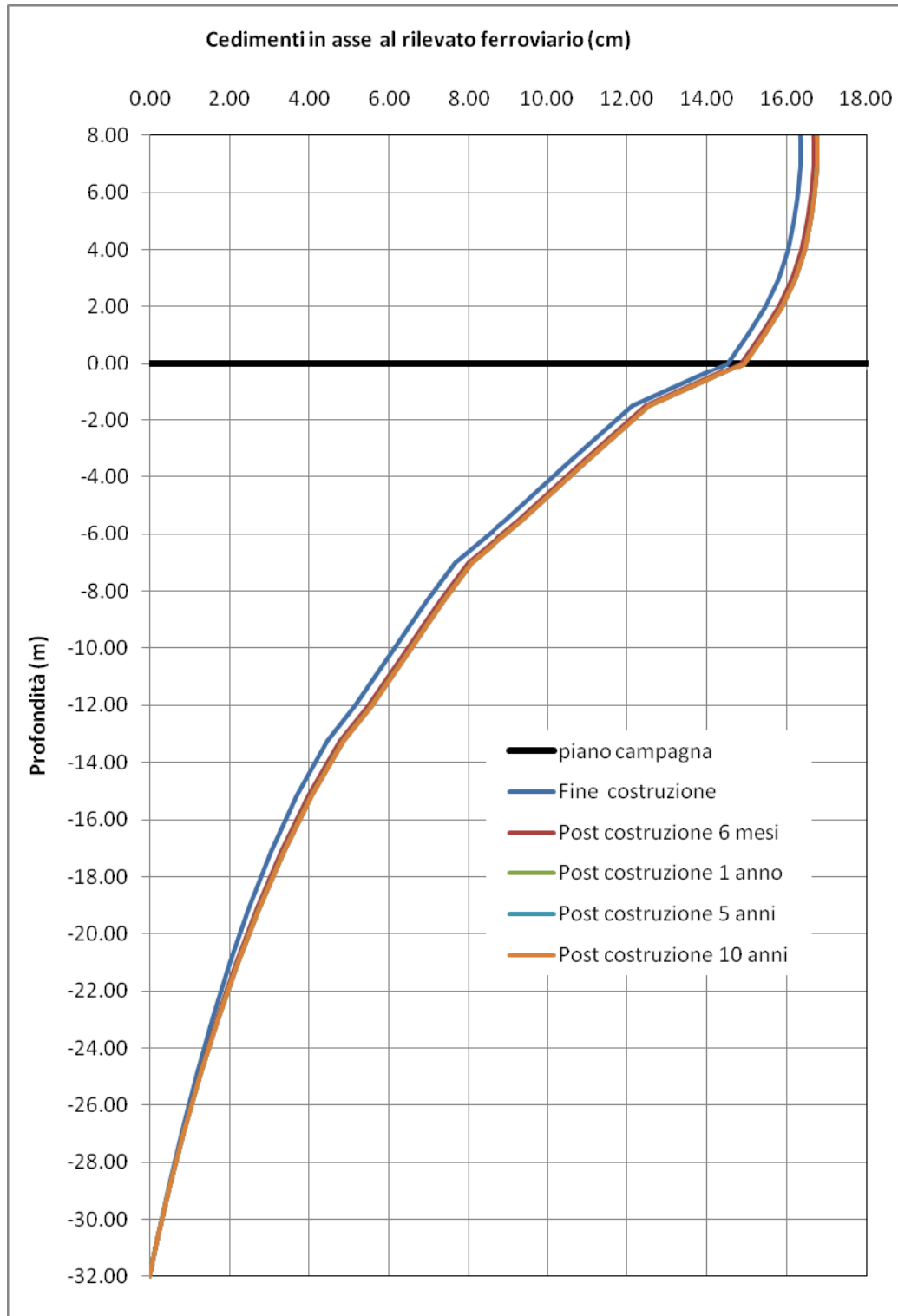


Figura 5.5: Rilevato sez. 04+445 – Spostamenti verticali in corrispondenza dell'asse ferroviario.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE</p>					
<p>GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati</p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO GE0006001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 32 di 54</p>

Come è possibile osservare in Figura 5.5 e in Figura 5.4, dopo 1 anno dal termine della costruzione il cedimento è prossimo al cedimento a lungo termine, stato in cui c'è totale dissipazione delle sovrappressioni interstiziali indotte dal carico (Figura 5.9).

Con riferimento a Manuale di Progettazione RFI DTC SI CS MA IFS 001 D, 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 5 cm;
- 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 10 mm.

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

Dall'analisi dei risultati del modello Plaxis risulta che, al termine della costruzione, il cedimento massimo in testa al rilevato è pari a 16.35 cm, mentre il cedimento dopo 10 anni è pari a 16.77 cm. Nonostante i terreni analizzati siano risultati inorganici, di bassa/media plasticità e inattivi (Doc. Rif. [1]), a scopo cautelativo in questa sede è stato comunque valutato l'ulteriore potenziale contributo al cedimento totale dovuto alla consolidazione secondaria per l'unità AI, valutato come illustrato al paragrafo 3.6.2.

I risultati complessivi di seguito riportati in forma tabellare, mostrano che il cedimento residuo, comprensivo degli effetti della consolidazione secondaria, risulta pari a 1.72 cm, inferiore ai 5 cm e al 10% dei cedimenti teorici di lungo termine.

t (anni)	t ₁₀₀ (anni)	C _{ae}	h _i (m)	W _{cons-sec} (cm)	W _{fine_costr} (cm)	W _{10anni} (cm)	W _{tot} (cm)	W _{residuo} (cm)	W _{residuo} (%)	W _{residuo} <5 cm	W _{residuo} <10 %
13	5	0.16%	20	1.3	16.35	16.77	18.07	1.72	9.6	ok	ok

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

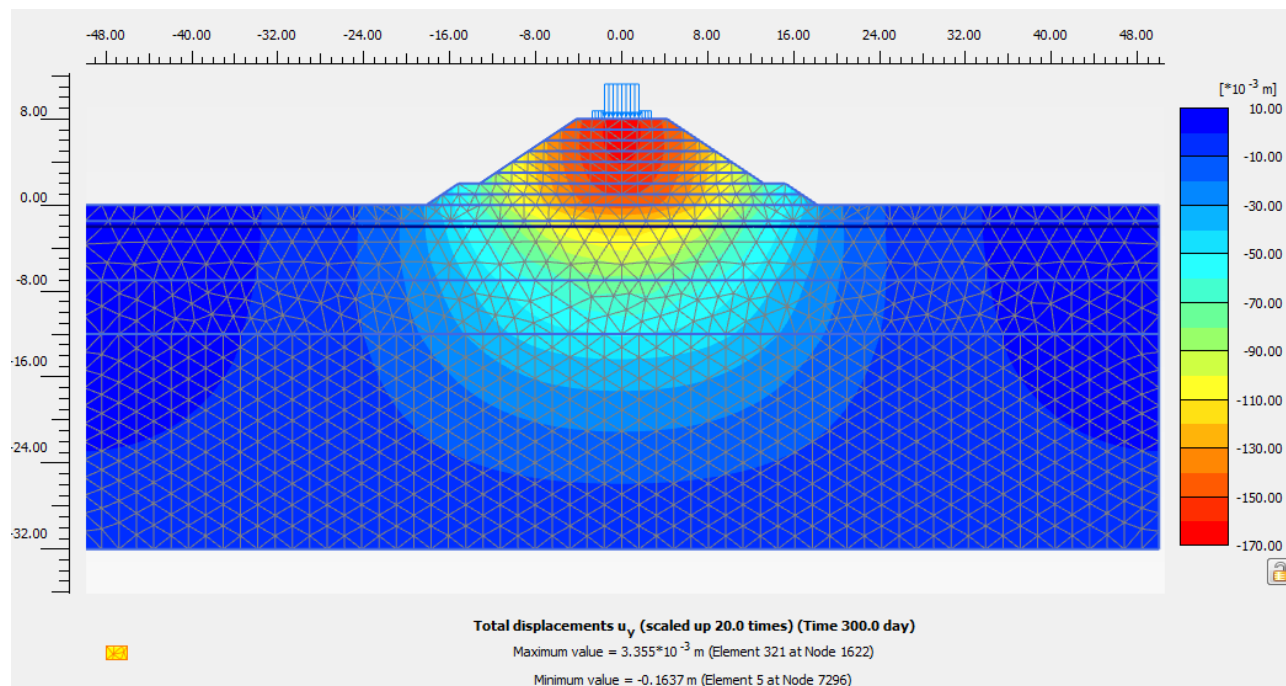


Figura 5.6: Rilevato sez. 04+445 – Spostamenti verticali termine costruzione.

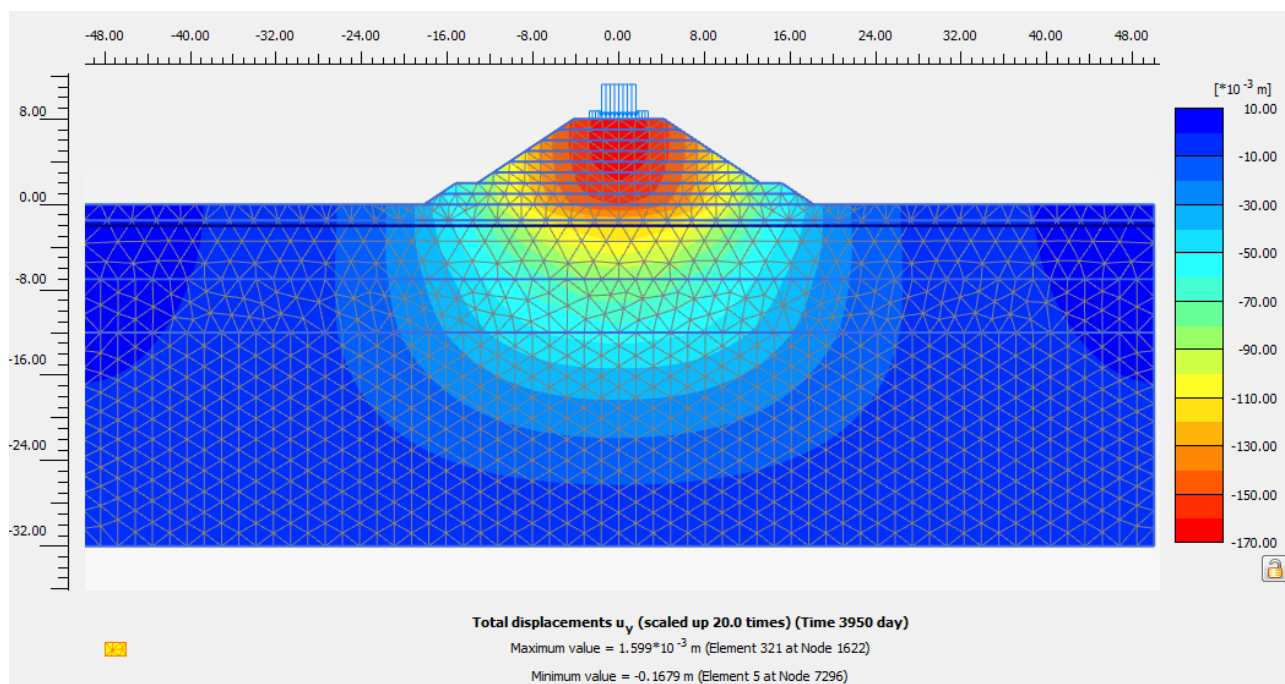


Figura 5.7: Rilevato sez. 04+445 – Spostamenti verticali lungo termine.

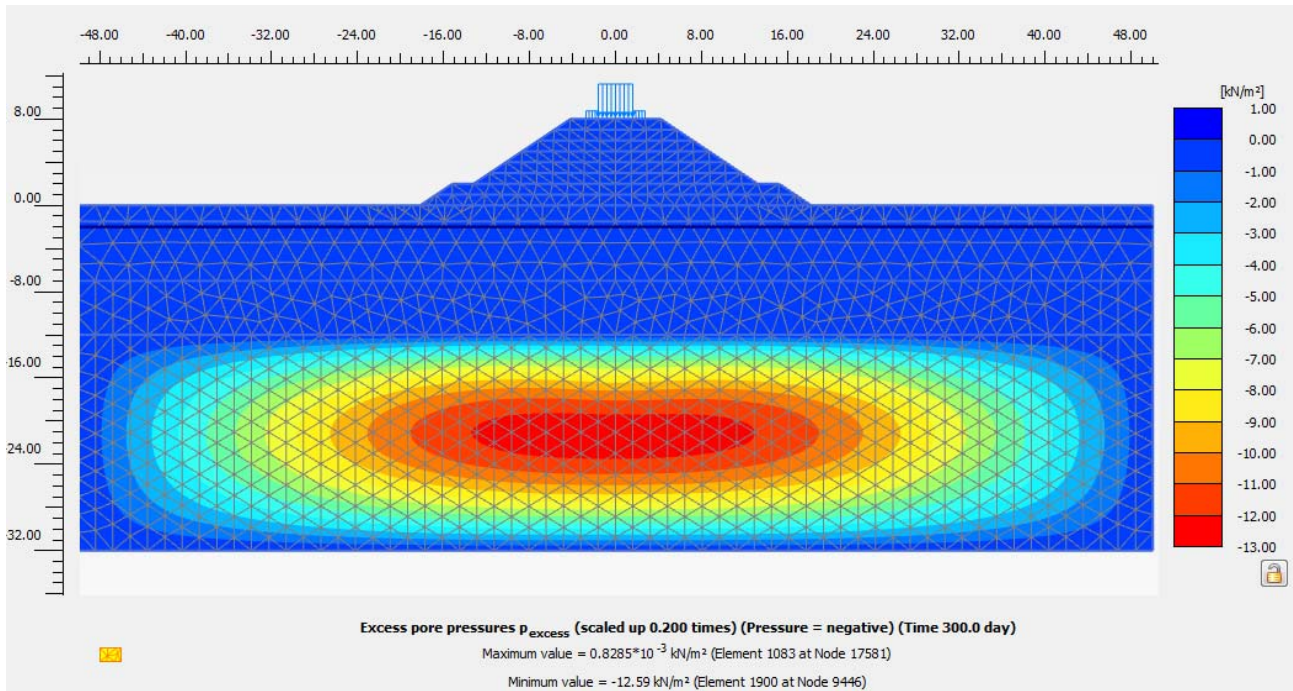


Figura 5.8: Rilevato sez. 04+445 – Sovrappressioni interstiziali Δu verticali termine costruzione.

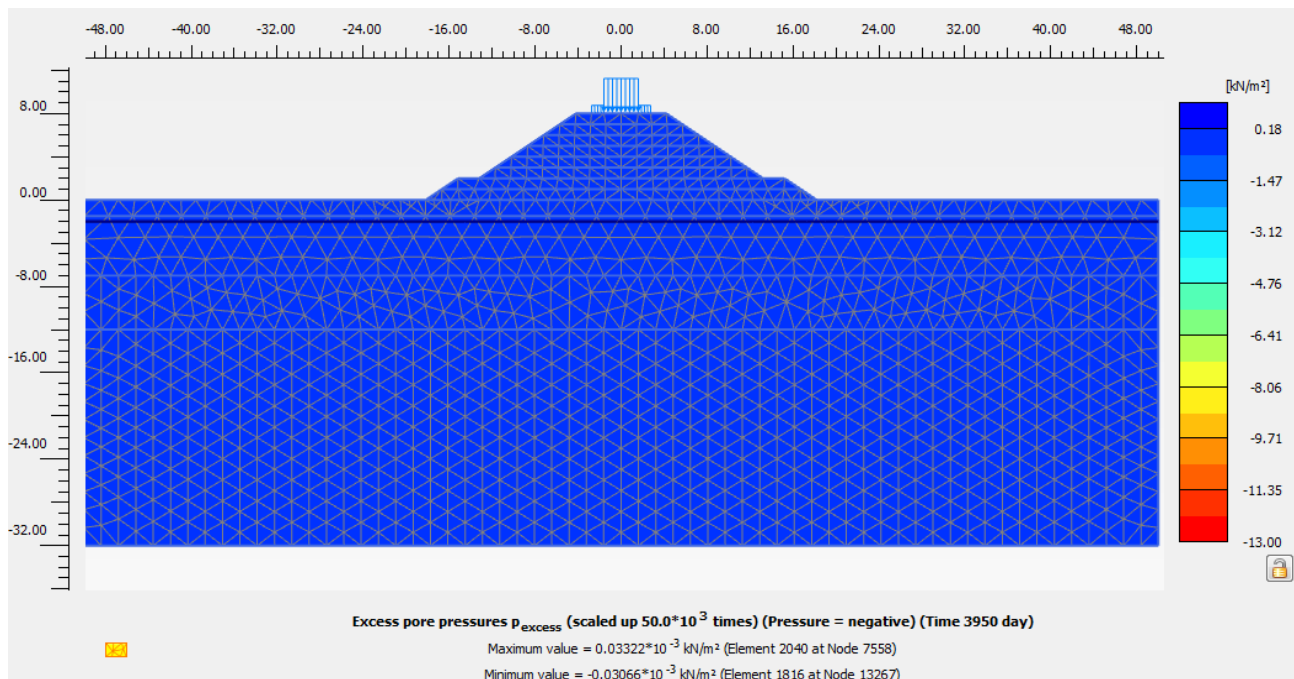


Figura 5.9: Rilevato sez. 04+445 – Sovrappressioni interstiziali Δu lungo termine.

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	35 di 54

5.2 SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 04+400

La sezione oggetto di verifica, ubicata alla progressiva 04+400, è costituita da un rilevato di altezza pari a 6.0 m.

5.2.1 Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica (Doc. Rif.[1]), nella Tabella 5.3 e Tabella 5.4 sono riportati la stratigrafia ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto, fattorizzati utilizzando i coefficienti M2 contenuti nella Tabella 3.4 della presente relazione.

Si rimanda invece alla Tabella 4.1 per i valori dei parametri geotecnici relativi ai materiali antropici utilizzati per il corpo del rilevato.

Si ricorda che le verifiche geotecniche SLU di stabilità globale dei rilevati, in campo statico, richiedono l'adozione della Combinazione 2 dell'Approccio 1 (DA1C2), mentre per le verifiche sismiche e per le verifiche SLE sono richiesti i parametri caratteristici.

Tabella 5.3: Stratigrafia di calcolo per la sezione 04+400.

Strato	Profondità da [m da p.c.]	Profondità a [m da p.c.]	Descrizione
Ls(ms)	0	4.0	Limo sabbioso argilloso
S _L	4.0	10.0	Sabbia limosa e limo sabbioso argilloso
Ls(ga)	10.0	14.0	Limo sabbioso o sabbia limosa o sabbia con limo
A _L	14.0	34.0	Argilla limosa o limo argilloso


 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
	GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO GE0006001	REV. A

Tabella 5.4: Parametri geotecnici di calcolo per la sezione 04+400 – Materiali in sito.

STRAT O	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		Modulo di Young operativo	Permeabilità	
	γ_d	φ'_k	φ'_d M2	c'_k	c'_d M2	$E_{op.}$	k_v	k_h
	[kN/m ³]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]	[m/s]
Ls(ms)	19.0	28	23	2.5	2.0	9	1.0E-07	1.0E-06
S _L	19.0	33.5	27.9	-	-	18	1.0E-06	1.0E-05
Ls(ga)	19.5	29	23.9	7.5	6.0	28	1.0E-07	1.0E-06
A _L	20	26	21.3	15	12.0	(2.5·G ₀)/10	1.0E-09	1.0E-08

dove $G_0 = 85 \cdot (\sigma'_{v0}/p_a)^{0.65}$ (relazione da applicare assumendo falda al p.c.).

La falda di progetto è stata assunta nei calcoli ad una quota di circa -4.5 m dal piano campagna, corrispondente all'andamento della stessa indicata nel profilo geotecnico alla progressiva di interesse.

5.2.2 Verifiche SLU – Stabilità globale

Le verifiche SLU della stabilità globale del rilevato (sia in condizioni statiche, sia sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo VSP implementato in Paratie Plus (Doc. Rif. [15]).

Partendo dalla classica definizione del coefficiente di sicurezza FS ottenuto da analisi all'equilibrio limite e richiamando grandezze e definizioni da NTC2018 (Doc. Rif. [5]), la verifica SLU di stabilità globale risulta soddisfatta se risulta:

$$FS \geq \gamma_R = 1.1 \quad \text{in condizioni statiche}$$

$$FS \geq \gamma_R = 1.2 \quad \text{in condizioni sismiche.}$$

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 37 di 54

5.2.2.1 Verifiche in condizioni statiche

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura tali da intercettare l'area di ingombro della sede ferroviaria. Tra esse, è definita critica quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza minimo FS^{MIN} .

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

In Figura 5.10 sono riportate le superfici di rottura critiche per la combinazione DA1C2; il fattore di sicurezza relativo a tali meccanismi, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza calcolati, è pari a:

$$FS^{MIN} (DA1C2) = 1.15$$

essendo soddisfatta la relazione:

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

la verifica di stabilità globale in condizioni statiche risulta soddisfatta.

5.2.2.2 Verifiche in condizioni sismiche (psuedo-statiche)

In Figura 5.11 è riportata la superficie di rottura critica per il caso esaminato; il fattore di sicurezza relativo a tale meccanismo, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza calcolati, è pari a:

$$FS^{MIN} = 1.35$$

essendo soddisfatta la relazione:

$$FS^{MIN} = 1.2,$$

la verifica di stabilità globale in condizioni sismiche risulta soddisfatta.

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	38 di 54

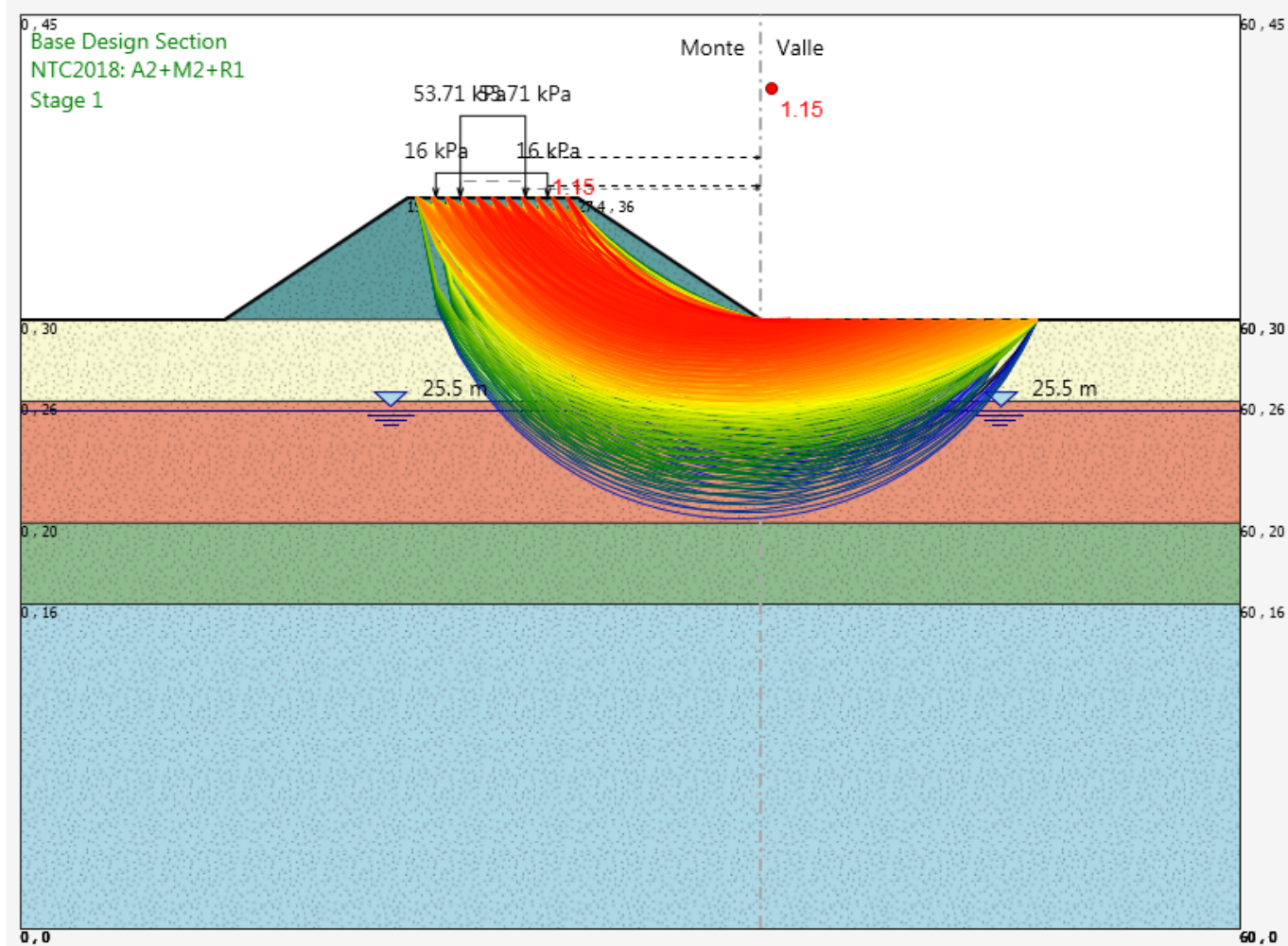


Figura 5.10: Rilevato H=6.00 m, sez.04+400 - Analisi di stabilità globale in condizioni statiche DA1C2.

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	39 di 54

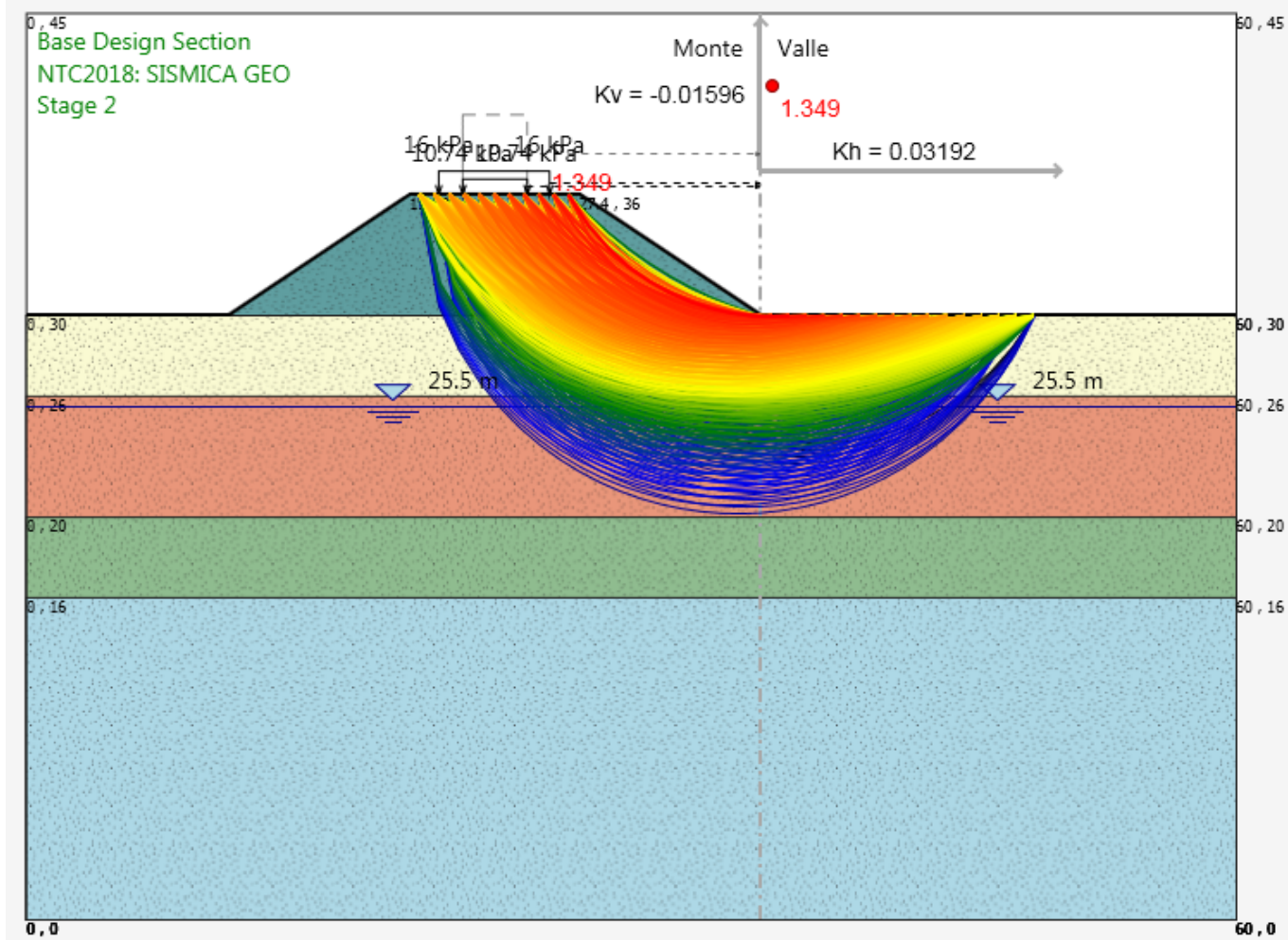


Figura 5.11: Rilevato H=6.00 m, sez. 04+400 - Analisi di stabilità globale in condizioni sismiche.

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	40 di 54

5.2.3 Verifiche SLE – Valutazione dei cedimenti

5.2.3.1 Modelli e fasi di calcolo

Il modello utilizzato per queste analisi è mostrato nella Figura 5.12.

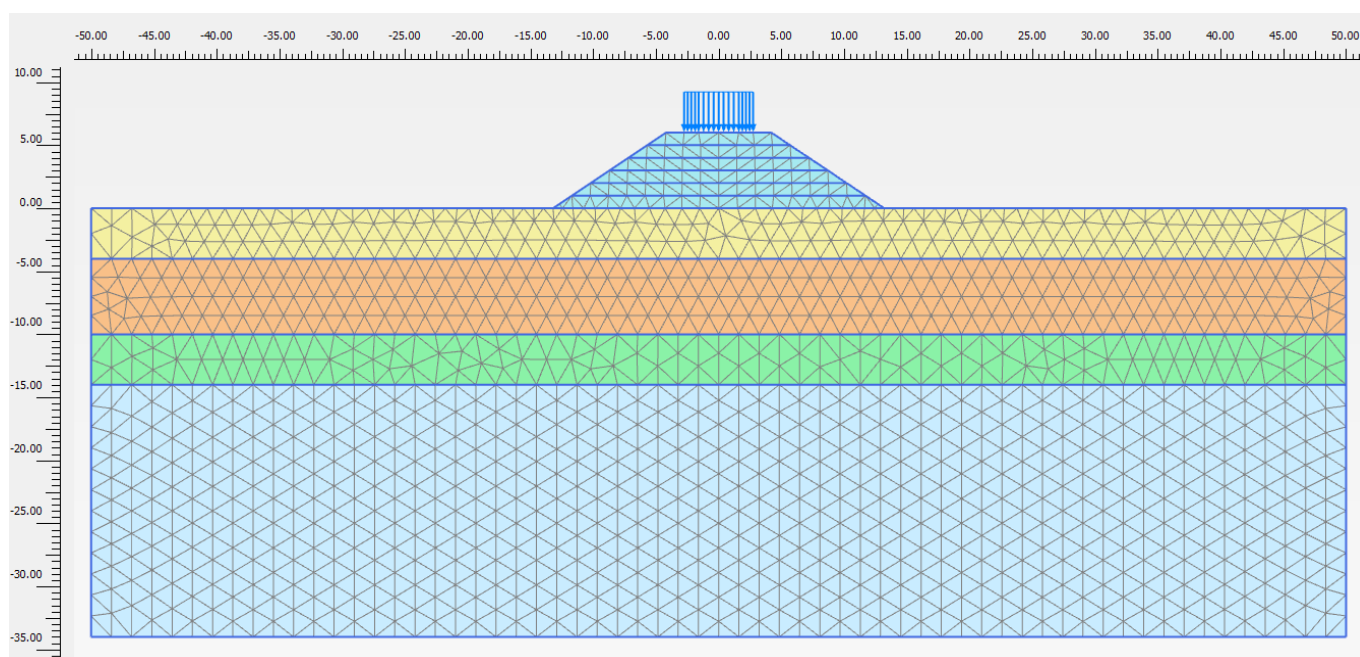


Figura 5.12: Modello rilevato Sez. 04+400.

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti:

- Generazione dello stato tensionale iniziale con piano campagna attuale;
- Costruzione del rilevato (durata 8 mesi);
- Consolidazione del terreno di fondazione nel corso dell'esercizio della linea ferroviaria.

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	41 di 54

5.2.3.2 Risultati

Nelle figure seguenti sono riportati gli spostamenti verticali u_y nelle singole fasi per valutare l'andamento dei cedimenti nel tempo in corrispondenza di una sezione orizzontale a -0.5 m da p.c. (Figura 5.13) e di una sezione verticale coincidente con l'asse ferroviario (Figura 5.14) al termine delle seguenti fasi:

- costruzione del rilevato e messa in opera;
- dopo 6 mesi dall'entrata in esercizio della linea ferroviaria;
- dopo 1 anno dall'entrata in esercizio della linea ferroviaria;
- dopo 5 anni dall'entrata in esercizio della linea ferroviaria;
- dopo 10 anni dall'entrata in esercizio della linea ferroviaria.

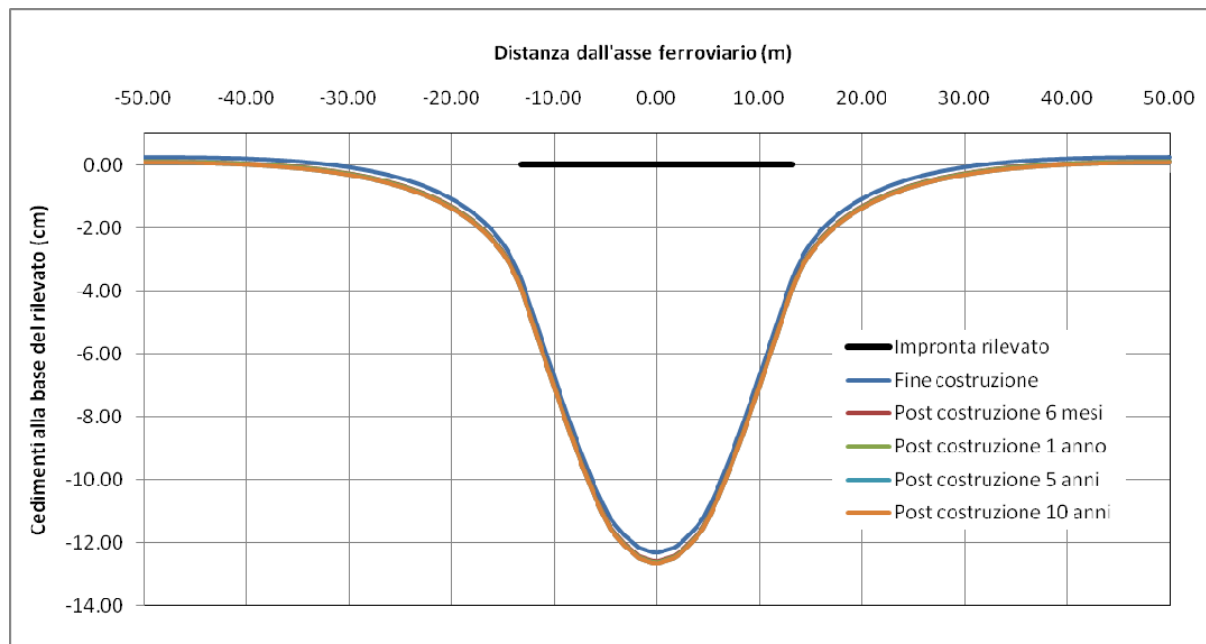


Figura 5.13: Rilevato sez. 04+400 – Spostamenti verticali in corrispondenza della base del rilevato ferroviario.

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	42 di 54

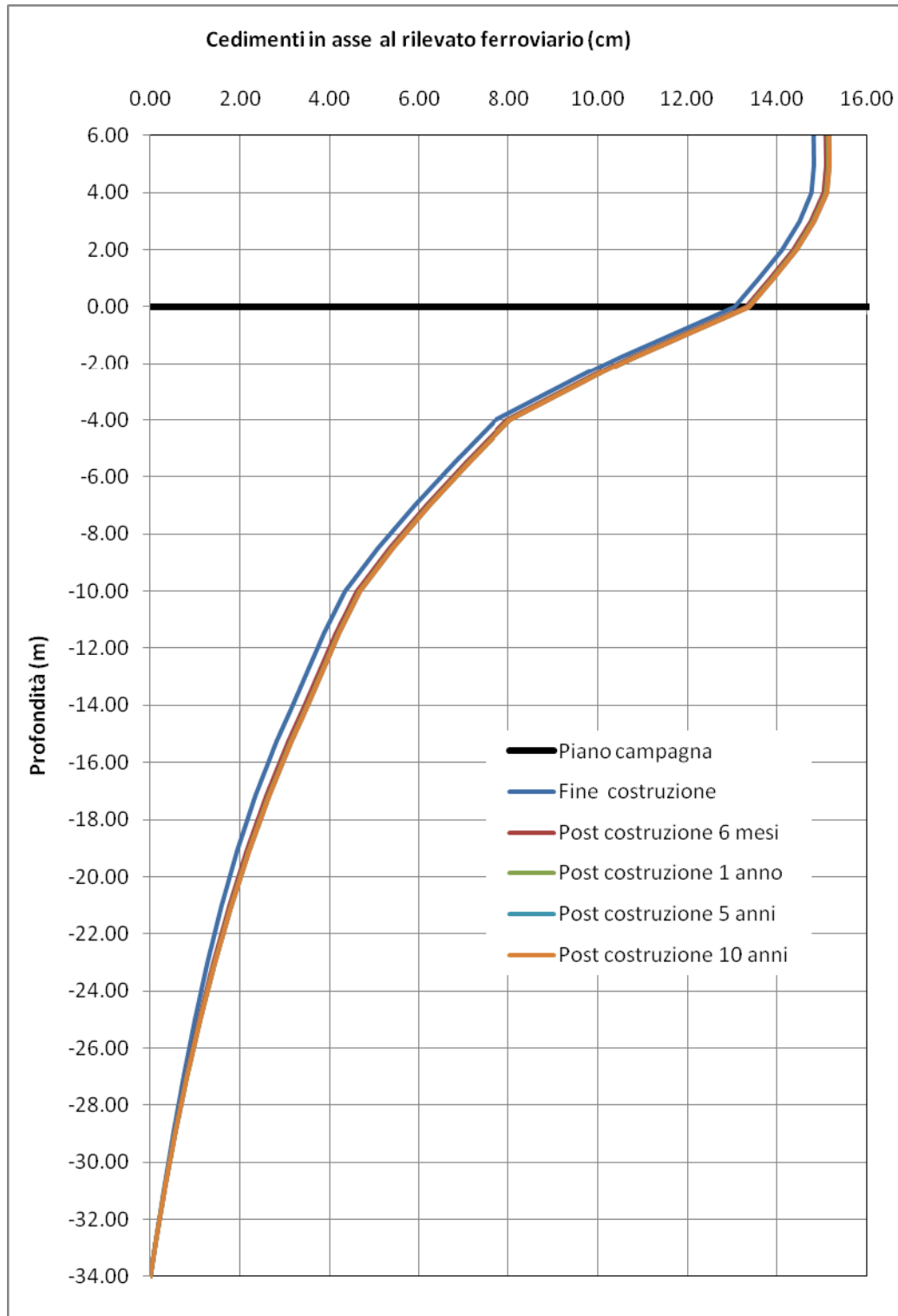


Figura 5.14: Rilevato sez. 04+400 – Spostamenti verticali in corrispondenza dell'asse ferroviario.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE</p>					
<p>GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati</p>	<p>COMMESSA IA7L</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D10CL</p>	<p>DOCUMENTO GE0006001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 43 di 54</p>

Come è possibile osservare in Figura 5.14 e in Figura 5.13, dopo 1 anno dal termine della costruzione in cedimento è prossimo al cedimento a lungo termine, stato in cui c'è totale dissipazione delle sovrappressioni interstiziali indotte dal carico (Figura 5.18).

Con riferimento a Manuale di Progettazione RFI DTC SI CS MA IFS 001 D, 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 5 cm;
- 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 10 mm.

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

Dall'analisi dei risultati del modello Plaxis risulta che al termine della costruzione il cedimento massimo in testa al rilevato è pari a 14.82 cm, mentre il cedimento dopo 10 anni è pari a 15.17 cm. Nonostante i terreni analizzati siano risultati inorganici, di bassa/media plasticità e inattivi (Doc. Rif. [1]), a scopo cautelativo in questa sede è stato comunque valutato l'ulteriore potenziale contributo al cedimento totale dovuto alla consolidazione secondaria per l'unità AI, valutato come illustrato al paragrafo 3.6.2.

I risultati complessivi di seguito riportati in forma tabellare, mostrano che il cedimento residuo, comprensivo degli effetti della consolidazione secondaria, risulta pari a 1.65 cm, inferiore ai 5 cm e non superiore al 10% dei cedimenti teorici di lungo termine.

t (anni)	t ₁₀₀ (anni)	c _œ	h _i (m)	W _{cons-sec} (cm)	W _{fine_costr} (cm)	W _{10anni} (cm)	W _{tot} (cm)	W _{residuo} (cm)	W _{residuo} (%)	W _{residuo} <5 cm	W _{residuo} ≤10 %
13	5	0.16%	20	1.3	14.82	15.17	16.5	1.65	10	ok	ok

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

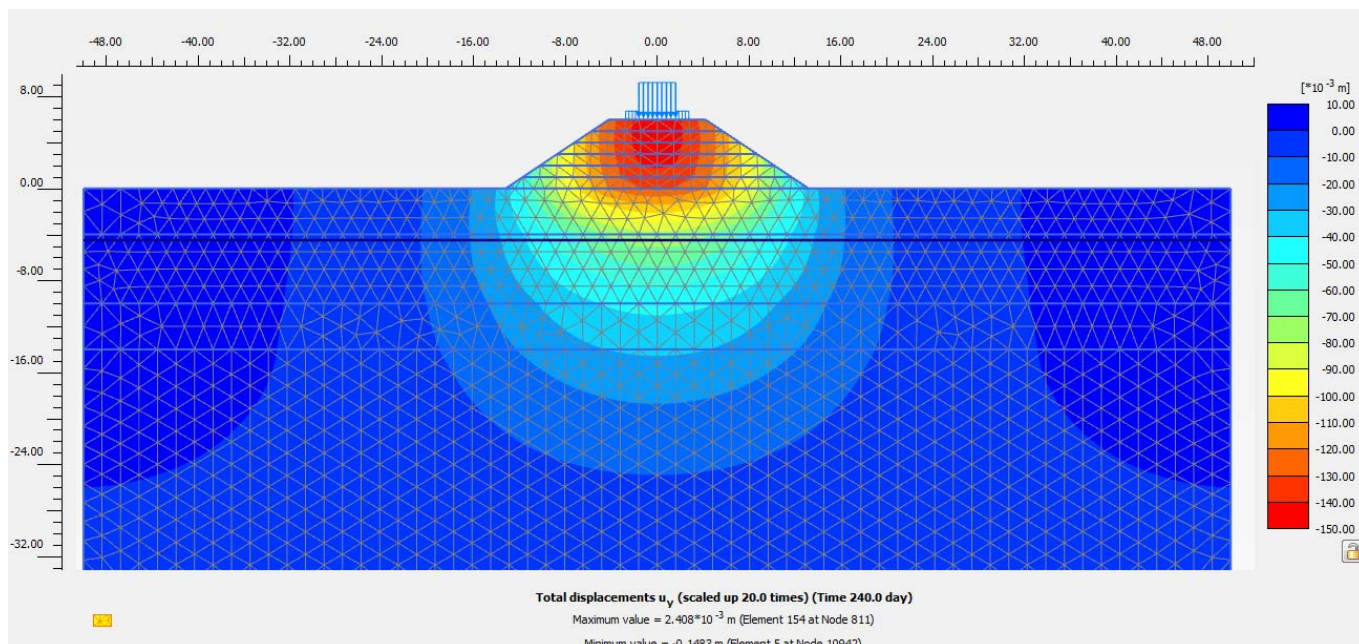


Figura 5.15: Rilevato sez. 04+400 – Spostamenti verticali termine costruzione.

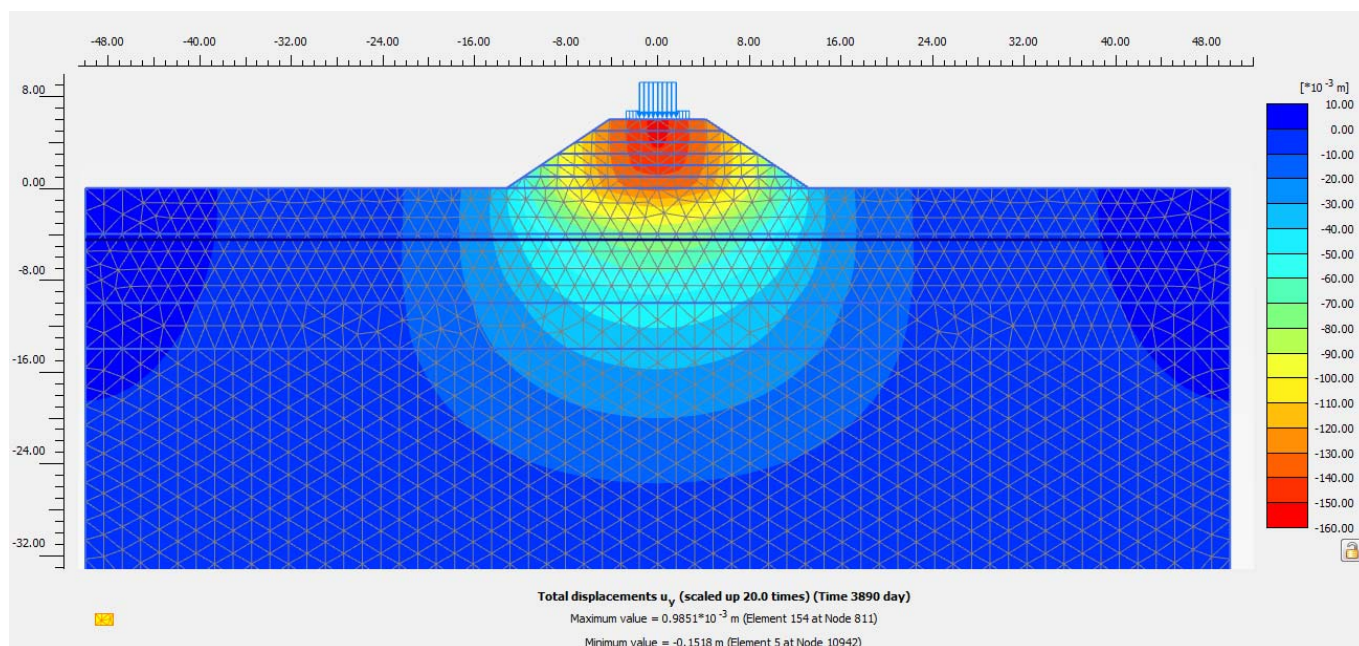


Figura 5.16: Rilevato sez. 04+400 – Spostamenti verticali lungo termine.

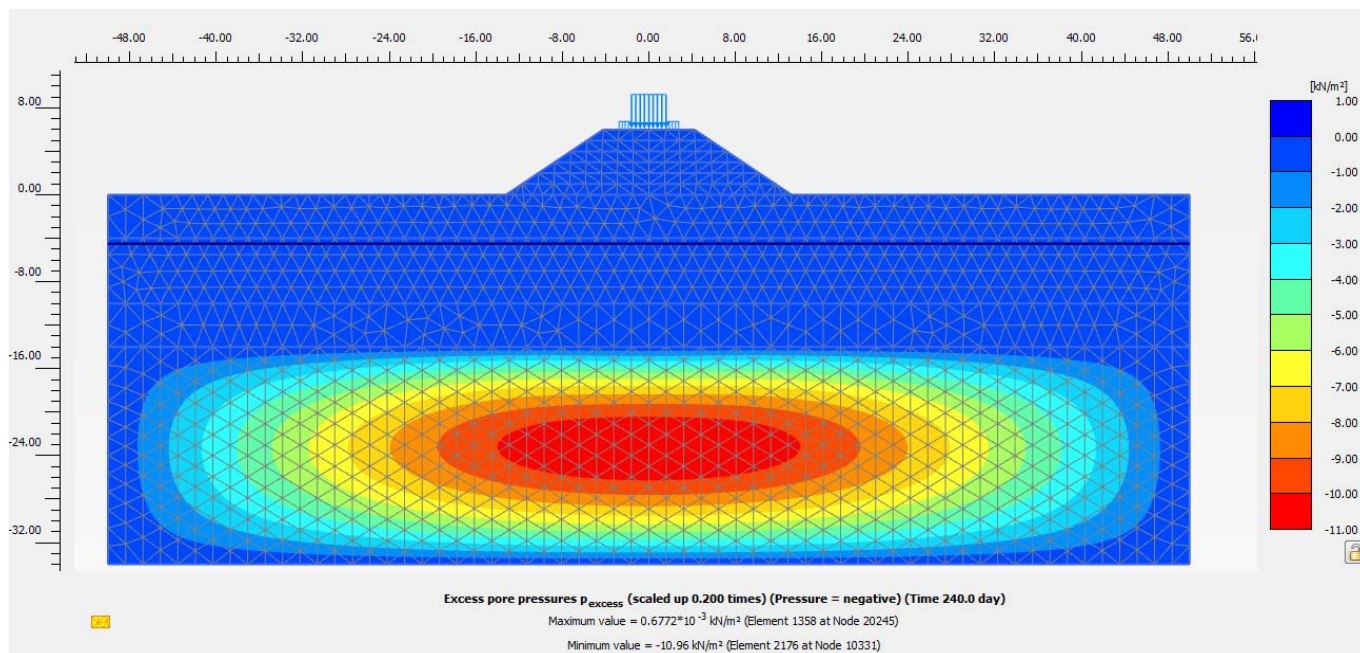


Figura 5.17: Rilevato sez. 04+400 – Sovrappressioni interstiziali Δu verticali termine costruzione.

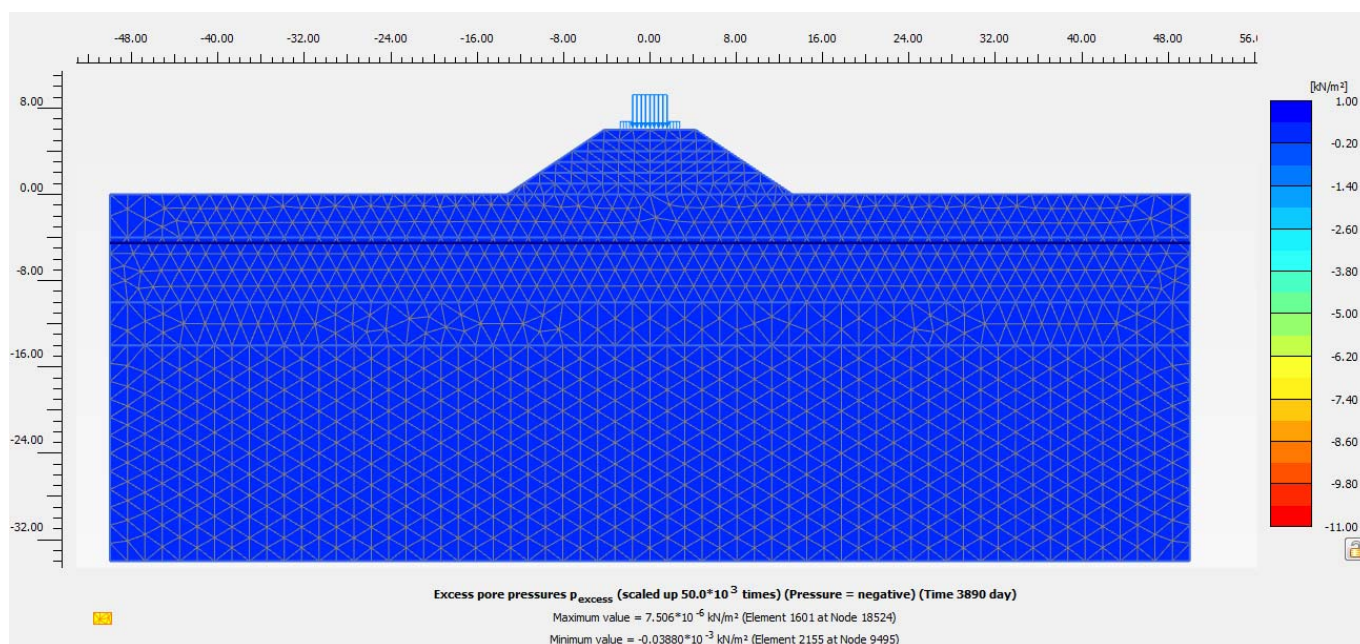


Figura 5.18: Rilevato sez. 04+400 – Sovrappressioni interstiziali Δu lungo termine.

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	46 di 54

5.3 SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 04+900

La sezione oggetto di verifica, ubicata alla progressiva 04+900, è costituita da un rilevato di altezza pari a 1.8 m. Tale sezione è significativa in quanto in questo tratto la linea di progetto è in affiancamento all'infrastruttura ferroviaria nazionale con cui va a ricongiungersi. Data la modesta altezza del rilevato per tale sezione non risultano significative le verifiche SLU di stabilità globale che pertanto non vengono svolte.

5.3.1 Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica (Doc. Rif.[1]), nella Tabella 5.5 e Tabella 5.6 sono riportati la stratigrafia ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto, fattorizzati utilizzando i coefficienti M2 contenuti nella Tabella 3.4 della presente relazione.

Si rimanda invece alla Tabella 4.1 per i valori dei parametri geotecnici relativi ai materiali antropici utilizzati per il corpo del rilevato.

Si ricorda che per le verifiche SLE qui discusse e finalizzate alla determinazione dei cedimenti, si farà riferimento ai parametri caratteristici.

Tabella 5.5: Stratigrafia di calcolo per la sezione 04+900.

Strato	Profondità da [m da p.c.]	Profondità a [m da p.c.]	Descrizione
Ls(ms)	0	5.5	Limo sabbioso argilloso
S _L	5.5	12.5	Sabbia limosa e limo sabbioso argilloso
Ls(ga)	12.5	15.5	Limo sabbioso o sabbia limosa o sabbia con limo
A _L	15.5	35.0	Argilla limosa o limo argilloso

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	47 di 54

Tabella 5.6: Parametri geotecnici di calcolo per la sezione 04+900 – Materiali in sito.

STRAT O	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		Modulo di Young operativo	Permeabilità	
	γ_d	φ'_k	φ'_d	c'_k	c'_d	$E_{op.}$	k_v	k_h
	[kN/m ³]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]	[m/s]
R	20.0	35	29.3	-	-	20	-	-
Ls(ms)	19.0	28	23	2.5	2.0	9	1.0E-07	1.0E-06
S _L	19.0	33.5	27.9	-	-	18	1.0E-06	1.0E-05
Ls(ga)	19.5	29	23.9	7.5	6.0	28	1.0E-07	1.0E-06
A _L	20	26	21.3	15	12.0	(2.5·G ₀)/10	1.0E-09	1.0E-08

La falda di progetto è stata assunta nei calcoli ad una quota di circa -2.0 m dal piano campagna.

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	48 di 54

5.3.2 Verifiche SLE – Valutazione dei cedimenti

5.3.2.1 Modelli e fasi di calcolo

Il modello utilizzato per queste analisi è mostrato nella Figura 5.19.

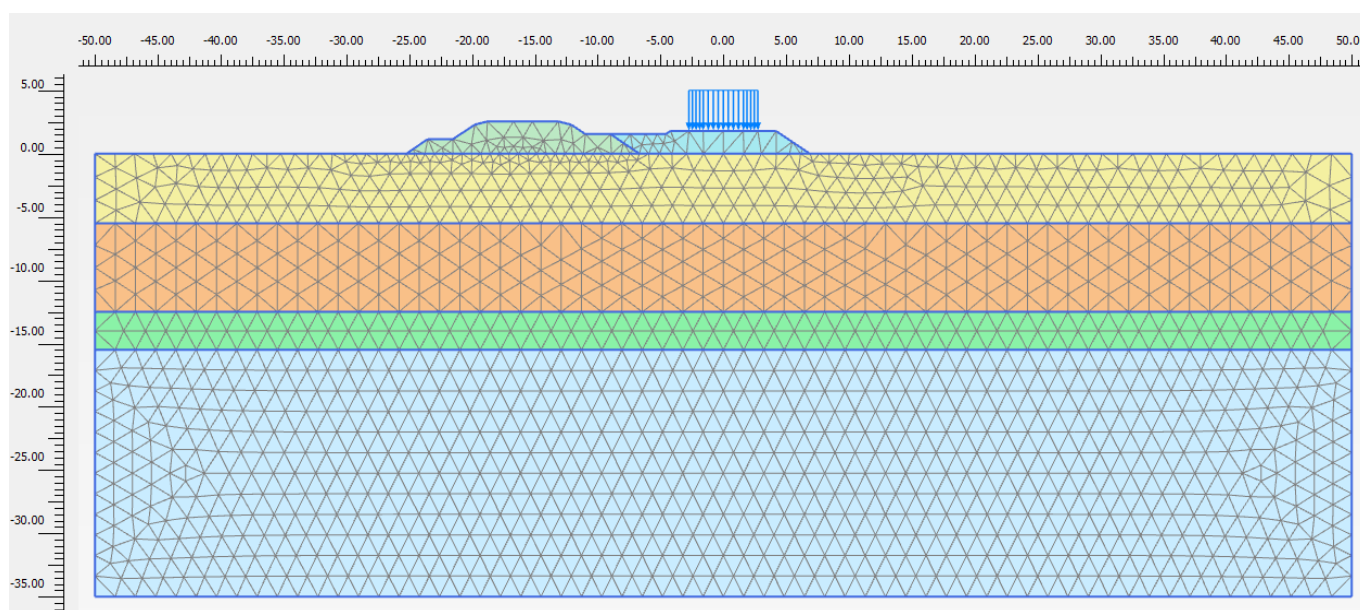


Figura 5.19: Modello rilevato Sez. 04+900.

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti:

- Generazione dello stato tensionale iniziale considerando la presenza della linea ferroviaria Brindisi - Lecce;
- Costruzione del rilevato (durata 6 mesi);
- Consolidazione del terreno di fondazione nel corso dell'esercizio della linea ferroviaria.

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	49 di 54

5.3.2.2 Risultati

Nelle figure seguenti sono riportati gli spostamenti verticali u_y nelle singole fasi per valutare l'andamento dei cedimenti nel tempo in corrispondenza di una sezione orizzontale a -0.5 m da p.c. (Figura 5.20) e di una sezione verticale coincidente con l'asse ferroviario (Figura 5.21) al termine delle seguenti fasi:

- costruzione del rilevato e messa in opera;
- dopo 6 mesi dall'entrata in esercizio della linea ferroviaria;
- dopo 1 anno dall'entrata in esercizio della linea ferroviaria;
- dopo 5 anni dall'entrata in esercizio della linea ferroviaria;
- dopo 10 anni dall'entrata in esercizio della linea ferroviaria.

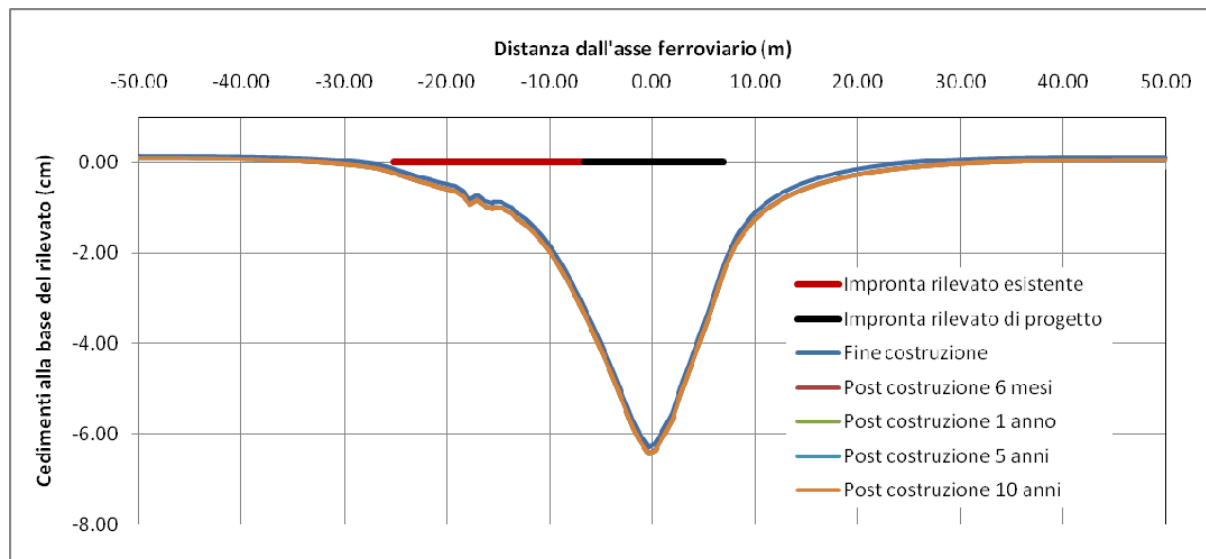


Figura 5.20: Rilevato sez. 04+900 – Spostamenti verticali in corrispondenza della base del rilevato ferroviario.

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	50 di 54

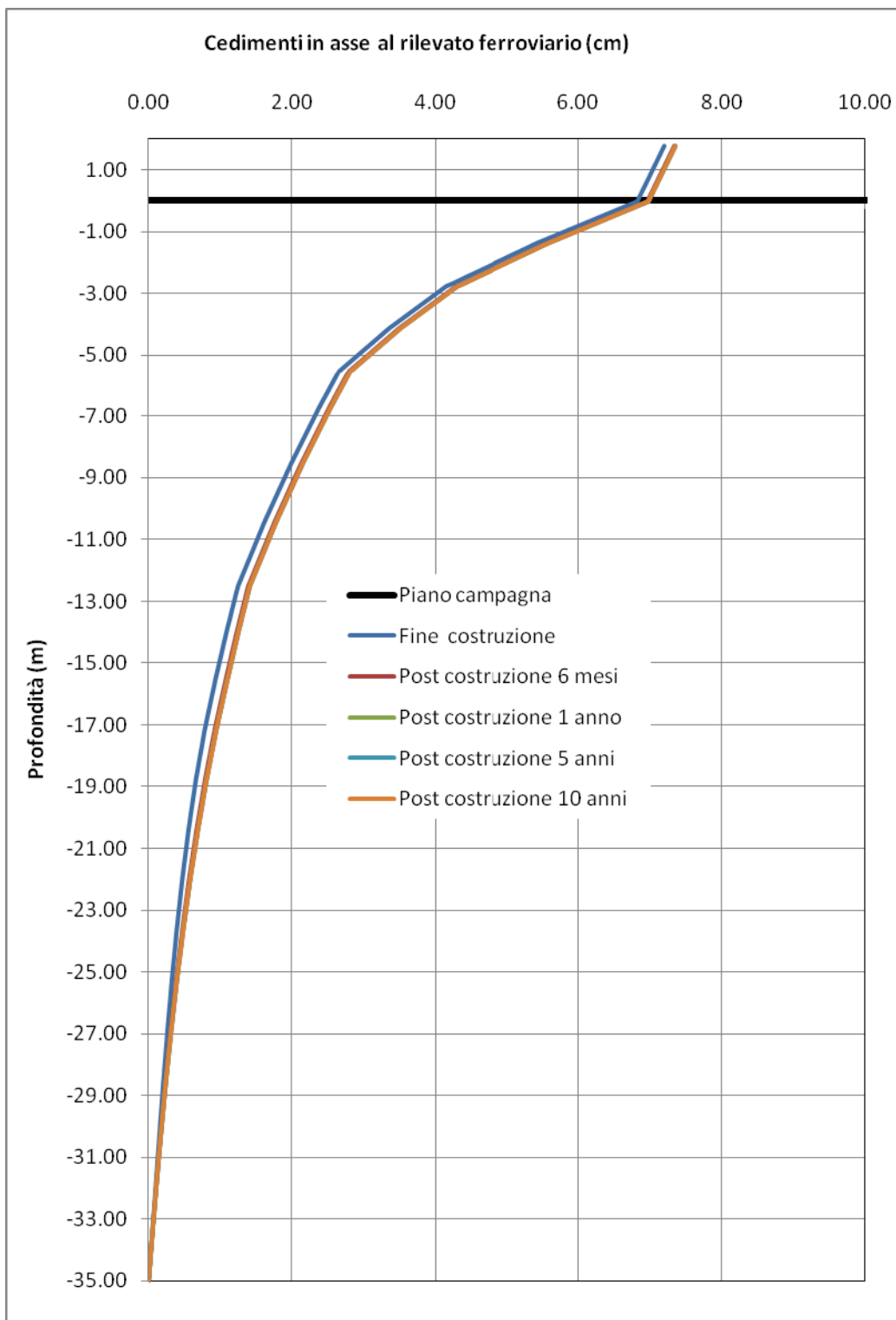


Figura 5.21: Rilevato sez. 04+900 – Spostamenti verticali in corrispondenza dell'asse ferroviario.

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI INFRASTRUTTURA DI COLLEGAMENTO DELL'AREA INDUSTRIALE RETRO-PORTUALE DI BRINDISI CON INFRASTRUTTURA FERROVIARIA NAZIONALE					
GEOTECNICA Relazione di calcolo rilevati	COMMESSA IA7L	LOTTO 00	CODIFICA D10CL	DOCUMENTO GE0006001	REV. A	FOGLIO 51 di 54

Come è possibile osservare in Figura 5.21 e Figura 5.20 dopo 1 anno dal termine della costruzione in cedimento è prossimo al cedimento a lungo termine, stato in cui c'è totale dissipazione delle sovrappressioni interstiziali indotte dal carico (Figura 5.26).

Con riferimento a Manuale di Progettazione RFI DTC SI CS MA IFS 001 D, 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 5 cm;
- 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 10 mm.

Dall'analisi dei risultati del modello Plaxis risulta che al termine della costruzione il cedimento massimo in testa al rilevato è pari a 7.20 cm, mentre il cedimento dopo 10 anni è pari a 7.36 cm.

In questo caso la stima dei cedimenti secondari nelle argille può essere omessa, considerando che l'altezza del rilevato è molto limitata per cui le tensioni verticali che ne derivano non sono tali da alterare la condizione geostatica dello strato argilloso profondo.

Come mostrato in Figura 5.22 il cedimento indotto tra le rotaie del binario esistente è inferiore a 10 mm e pertanto sono rispettati i criteri di ammissibilità assunti.

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	52 di 54

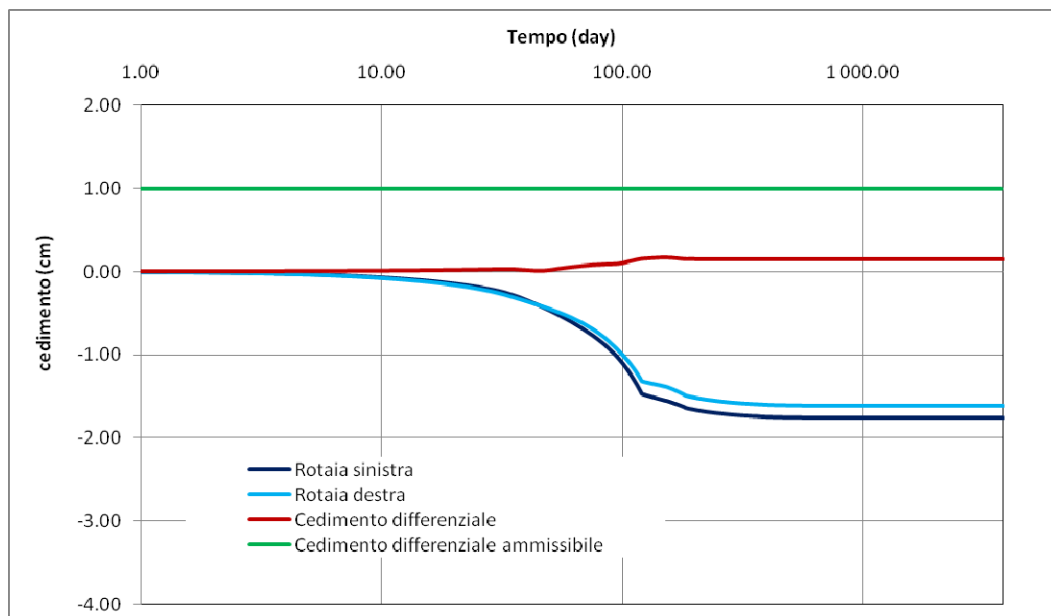


Figura 5.22: Rilevato sez. 04+900 – Cedimenti indotti sul rilevato esistente.

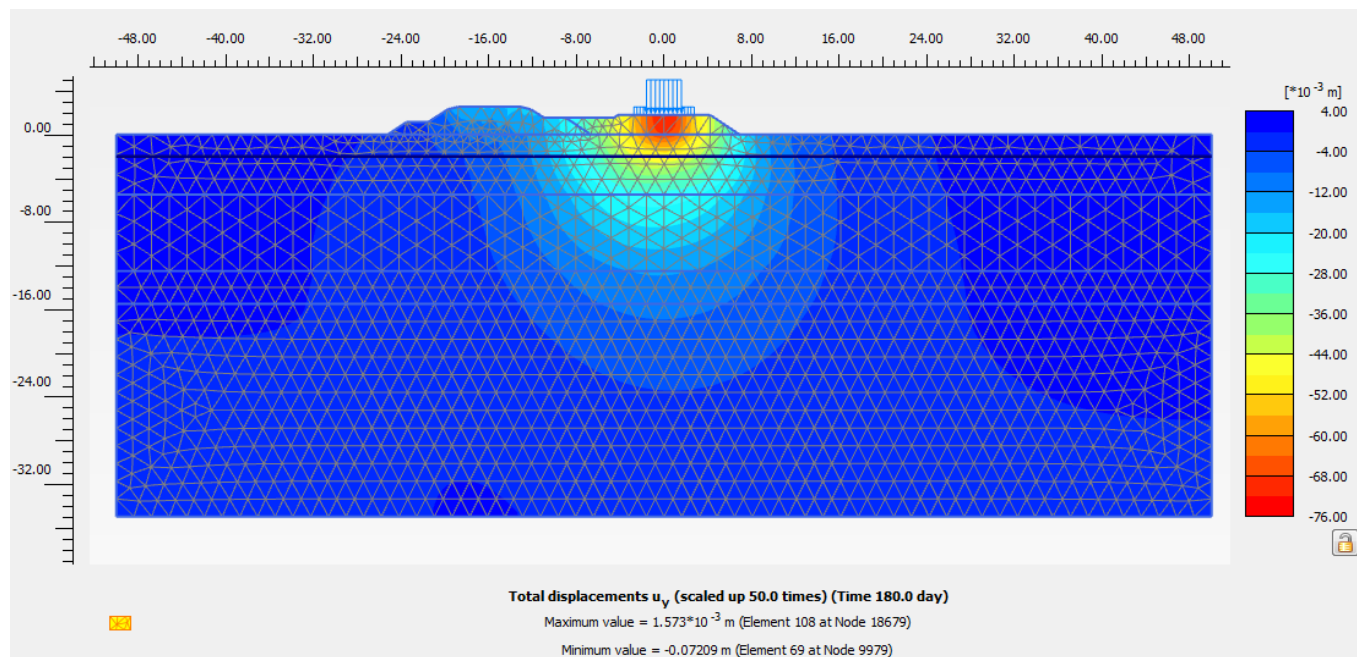


Figura 5.23: Rilevato sez. 04+900 – Spostamenti verticali termine costruzione.

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	53 di 54

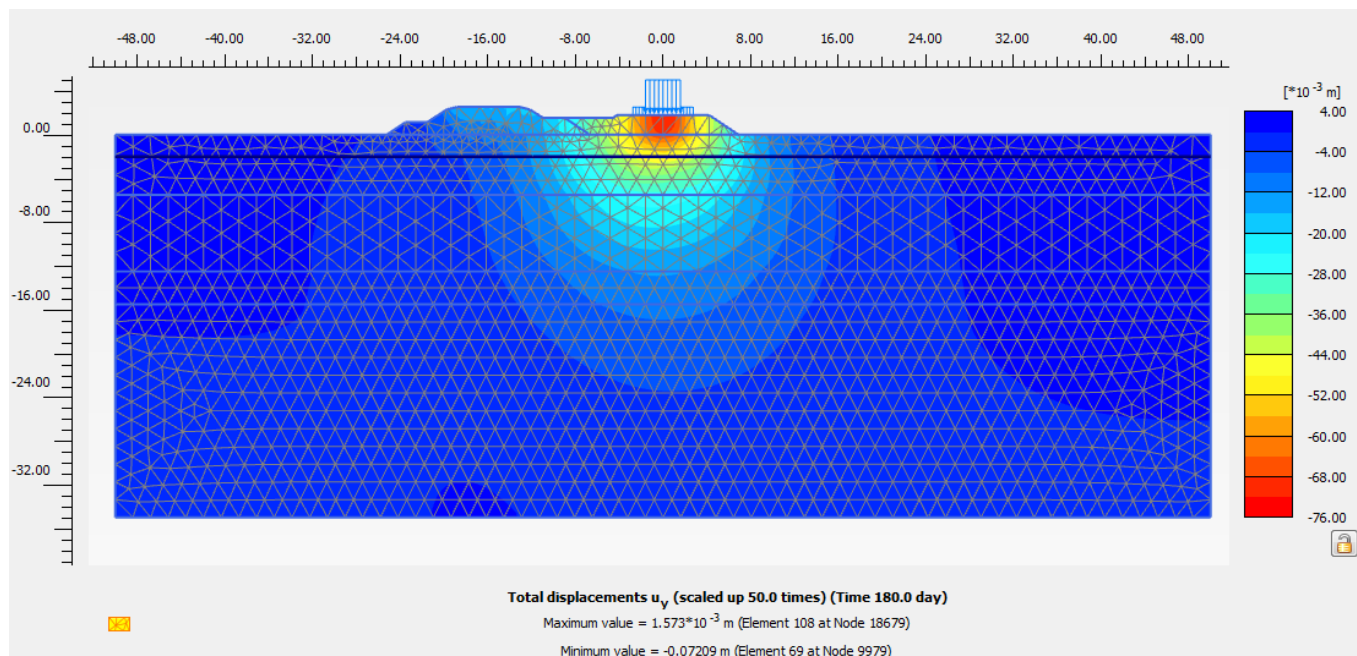


Figura 5.24: Rilevato sez. 04+900 – Spostamenti verticali lungo termine.

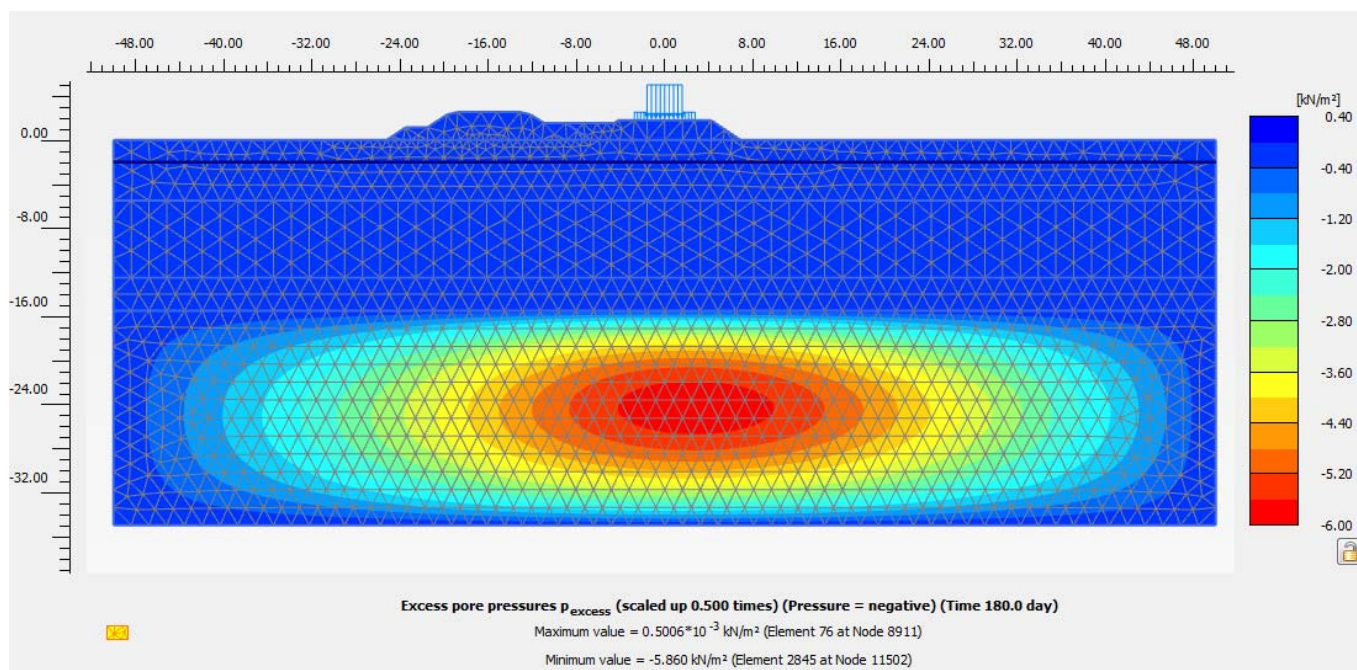


Figura 5.25: Rilevato sez. 04+900 – Sovrappressioni interstiziali Δu verticali termine costruzione.

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7L	00	D10CL	GE0006001	A	54 di 54

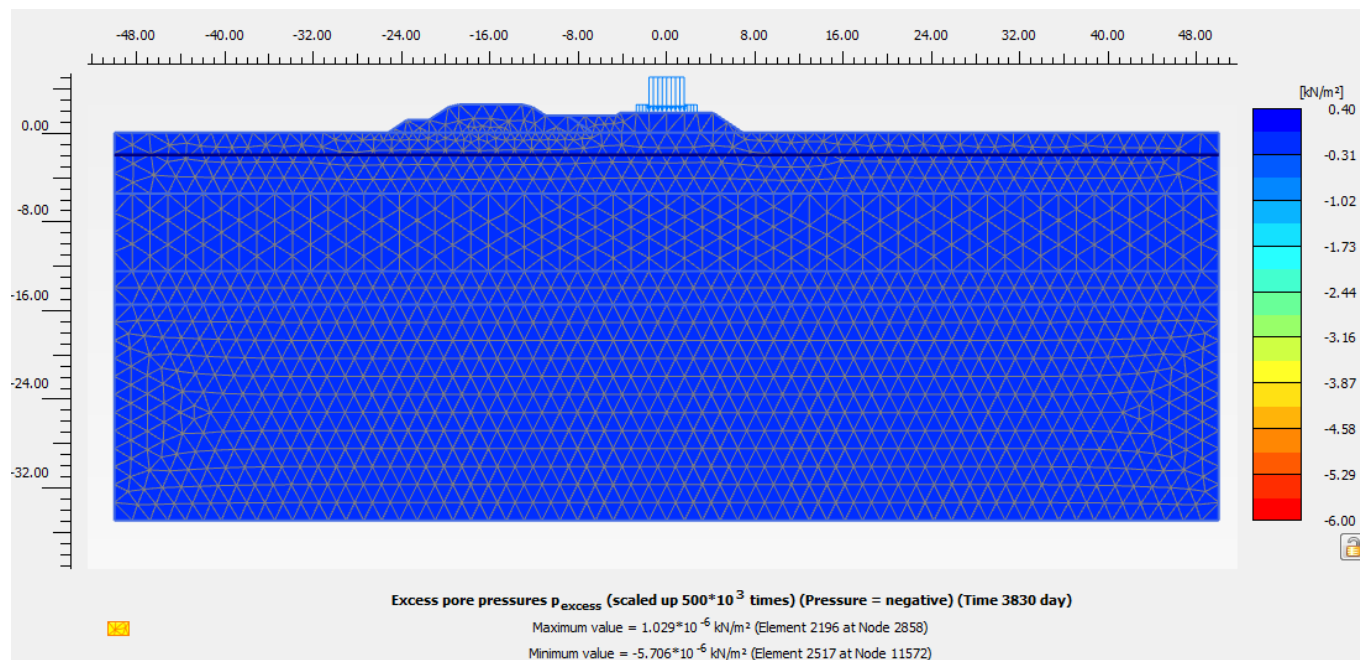


Figura 5.26: Rilevato sez. 04+900 – Sovrappressioni interstiziali Δu lungo termine.