

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J81H02000000001

S.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

PROGETTO DEFINITIVO

COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)

TRATTA PARMA - VICOFERTILE

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati stradali e ferroviari

SCALA:

-

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

I P 0 0 0 0 0 D 2 6 R H G E 0 0 0 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Definitiva	P. Cucino	Apr- 2022	P. Scarano	Apr- 2022	G. Fadda	Apr- 2022	A. Perego Aprile 2022



INDICE

1. PREMESSA.....	5
2. INTRODUZIONE.....	7
3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	8
3.1 DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO E DI BASE.....	8
3.2 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO.....	8
3.3 SOFTWARE.....	9
4. CRITERI DI VERIFICA IN ACCORDO ALLE NTC2018.....	10
4.1 GENERALE.....	10
4.2 VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO STATICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI.....	11
4.2.1 Verifiche Stati Limite Ultimi (SLU).....	11
4.2.2 Verifiche Stati limite di esercizio (SLE).....	14
4.3 STABILITÀ DEL SITO NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE.....	14
4.4 VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI.....	15
4.4.1 Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche.....	15
4.4.2 Verifiche Stati limite ultimi (SLU).....	16
4.4.3 Stati limite di esercizio (SLE).....	17
5. RILEVATI STRADALI.....	18
5.1 COEFFICIENTI SISMICI PER LE VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE.....	18
5.2 CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA.....	19
5.2.1 Codici di calcolo utilizzati.....	19
5.2.1.1 Slide.....	19
5.2.1.2 Plaxis 2D.....	19
5.2.2 Metodologie di verifica adottate.....	20
5.2.2.1 Verifiche di stabilità.....	20
5.2.2.2 Valutazione degli spostamenti.....	20
5.3 CARATTERISTICHE DEL CORPO STRADALE.....	21

5.3.1	Geometria dei rilevati stradali	21
5.3.2	Materiali e parametri geotecnici costituenti il rilevato	21
5.3.3	Carichi di progetto.....	22
5.3.3.1	Carichi stradali per le Verifiche SLU.....	22
5.3.3.2	Carichi stradali per le Verifiche SLE.....	22
5.4	SELEZIONE DELLE SEZIONI DI CALCOLO	24
5.5	SEZIONE DI CALCOLO RILEVATO DI APPROCCIO ALL'OPERA NV04 (KM 4+110 CA.)	26
5.5.1	Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo.....	26
5.5.2	Carichi di progetto.....	27
5.5.3	Verifiche SLU – Stabilità globale	27
5.5.3.1	Risultati	28
5.5.4	Verifiche SLE – Valutazione dei cedimenti.....	31
5.5.4.1	Modelli e fasi di calcolo	31
5.5.4.2	Risultati	35
6.	RILEVATI FERROVIARI	39
6.1	COEFFICIENTI SISMICI PER LE VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE	39
6.2	CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA	40
6.2.1	Codici di calcolo utilizzati	40
6.2.1.1	Slope/W	40
6.2.2	Metodologie di verifica adottate	40
6.2.2.1	Verifiche di stabilità	40
6.2.2.2	Valutazione degli spostamenti	40
6.3	CARATTERISTICHE DEL CORPO FERROVIARIO	41
6.3.1	Geometria dei rilevati ferroviari.....	41
6.3.2	Materiali e parametri geotecnici costituenti il rilevato	41
6.3.3	Carichi di progetto.....	42
6.3.3.1	Carichi ferroviari per le Verifiche SLU	43
6.3.3.2	Carichi stradali per le Verifiche SLE.....	44
6.4	SELEZIONE DELLE SEZIONI DI CALCOLO	45
6.5	SEZIONE DI CALCOLO RILEVATO FERROVIARIO RI03 (KM 6+000).....	47
6.5.1	Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo.....	47

6.5.2	<i>Carichi di progetto</i>	48
6.5.3	<i>Verifiche SLU – Stabilità globale</i>	48
6.5.3.1	<i>Risultati</i>	49
6.5.4	<i>Verifiche SLE – Valutazione dei cedimenti</i>	51
6.5.4.1	<i>Modelli e fasi di calcolo</i>	51
6.5.4.2	<i>Risultati</i>	52

	RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	5 di 53

1. PREMESSA

Con “Pontremolese” viene comunemente intesa la linea ferroviaria Parma – La Spezia, linea che congiunge come trasversale la linea Tirrenica con la dorsale Roma-Firenze-Bologna-Milano.

Nel 1976 entra a far parte del Corridoio Plurimodale Tirreno-Brennero (Ti-Bre) e fra gli anni '80 e '90 vengono realizzati il raddoppio delle tratte Vezzano Ligure-S.Stefano di Magra, e Ghiare di Berceto-Solignano e successivamente viene realizzato il prolungamento del raddoppio Solignano-Fornovo. A seguito dell’emanazione della Legge n. 443 del 21 dicembre 2001 (Legge Obiettivo), la restante parte da raddoppiare della linea (Parma-Osteriazza e Berceto-Chiesaccia) è stata inserita fra le opere strategiche.

Con Delibera n.19 del 8 maggio 2009, pubblicata sulla G.U.R.I. n. 301 del 29 dicembre 2009, il CIPE approva il Progetto Preliminare del Completamento del 2003. Delle tratte comprese tra Parma e Osteriazza e tra Berceto e Chiesaccia, vengono individuati tre lotti funzionali:

- Parma-Osteriazza
- Berceto-Pontremoli
- Pontremoli-Chiesaccia.

Di questi tre lotti funzionali, nella stessa Delibera, è stato individuato il primo, quello Parma-Osteriazza, come lotto prioritario, a sua volta suddiviso nei tre sub lotti Parma-Vicofertile, Vicofertile-Collecchio e Collecchio-Osteriazza.

Il progetto in oggetto è relativo al progetto definitivo del raddoppio della tratta Parma- Vicofertile

Rispetto al tracciato sviluppato nel Progetto Preliminare del 2004, il Progetto Definitivo vede una variante di tracciato per la parte d’innesto del raddoppio nei binari della stazione di Parma: la coppia di binari garantisce le relazioni merci Fornovo Bologna (direzioni P/D) e il solo binario dispari garantisce le relazioni viaggiatori con La Spezia attestate a Parma (evitando di fuori uscire dal corridoio urbanistico).

Tale variante, oltre a portare notevoli benefici ferroviari nella Stazione di Parma, permetterà di risolvere all’interno dell’abitato di Parma le interferenze della linea Pontremolese con la viabilità ordinaria e di rendere disponibile alla città un tratto di circa 3,5 km (il vecchio binario di tracciato).

Nel seguente schema si riporta lo stato attuale della linea con evidenziati i tratti già raddoppiati, quelli in corso di realizzazione e di progettazione. La Figura 1-1 mostra lo stato attuale della linea.

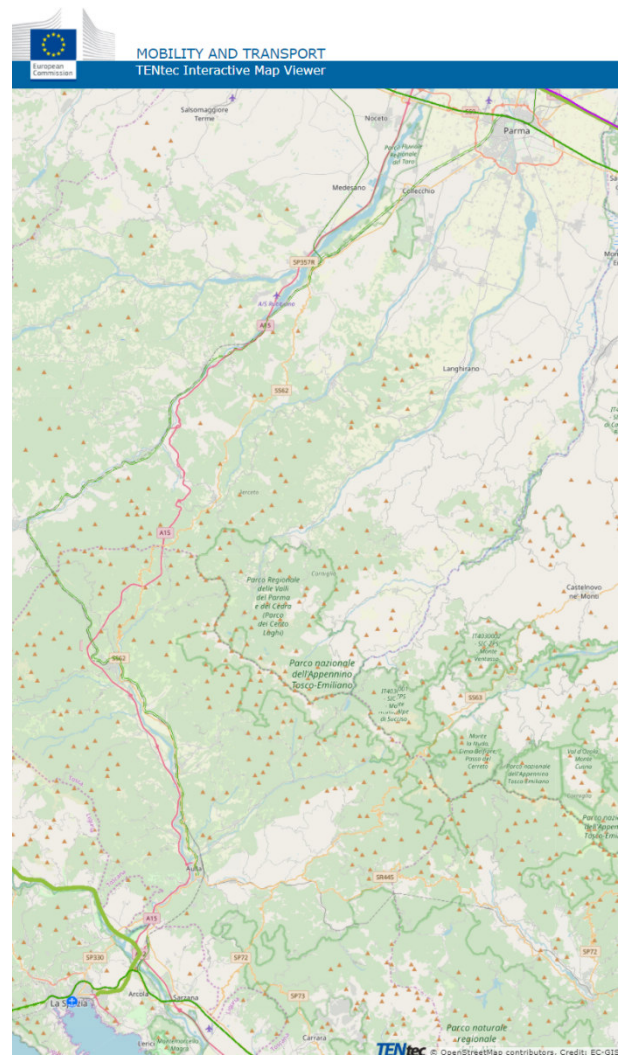
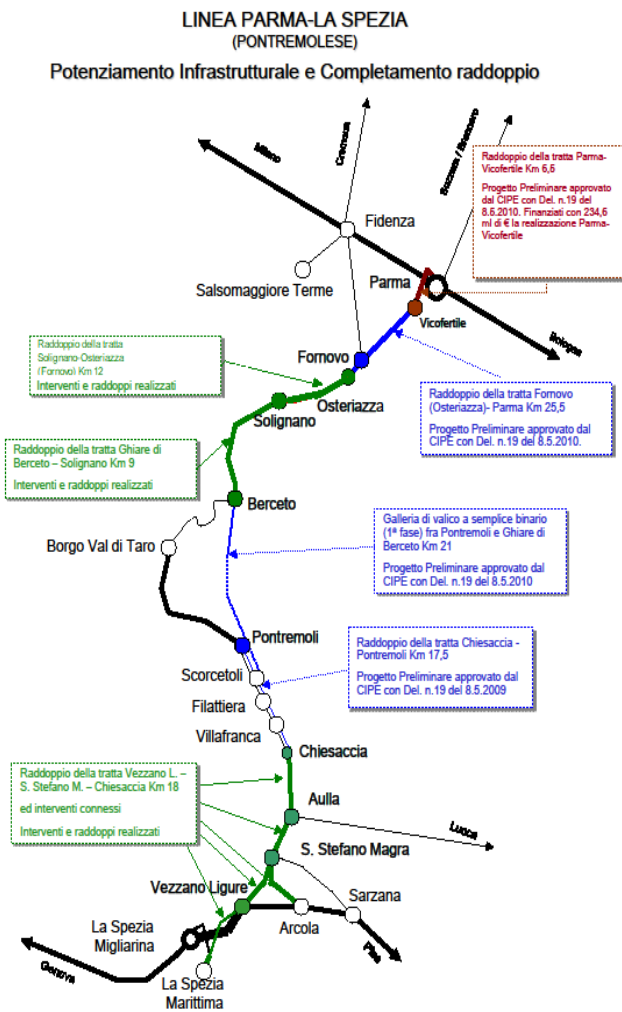


Figura 1-1: Stato attuale della linea

	RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
PROGETTO DEFINITIVO						
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	7 di 53

2. INTRODUZIONE

Il presente documento riporta le verifiche geotecniche (stima dei cedimenti e verifiche di stabilità), ai sensi della normativa vigente (NTC 2018), relative alle sezioni caratteristiche dei rilevati stradali nell'ambito del progetto definitivo del raddoppio della linea Parma-La Spezia nel tratto Parma-Vicofertile.

La relazione si articola come segue:

- il capitolo 3 elenca i documenti, le normative e la bibliografia di riferimento;
- il capitolo 4 riporta i criteri generali di progettazione in accordo alla Normativa vigente (NTC 2018);
- il capitolo 5 riporta le verifiche svolte per i rilevati stradali;
- il capitolo 6 riporta le verifiche svolte per i rilevati ferroviari.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	8 di 53

3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1 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 – Completamento Raddoppio Linea Parma – La Spezia (Pontremolese) Tratta Parma - Vicofertile – Relazione Geotecnica (Doc. Rif. – IP0000D26RGGE0000001A)
- [2] ITALFERR – Progetto Definitivo – GEOTECNICA – COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA – VICOFERTILE – PROFILO LONGITUDINALE LINEA FERROVIARIA – da Tav.1/6 a Tav.6/6 (Doc.da IP0000D26F7GE0000001A a Doc. IP0000D26F7GE0000006A)

3.2 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO

- [3] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Aggiornamento delle 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 E del 31.12.2020- “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”.
- [6] RFI DTC INC CS LG IFS 001 A del 21.12.2011 – “Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra”.
- [7] RFI DTC SI SP IFS 001 E del 31.12.2020- Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi” – RFI.
- [8] 2011/275/CE - “Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario transeuropeo convenzionale (26/04/2011)”.
- [9] Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell’Unione

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	9 di 53

Europea, modificato dal Regolamento di esecuzione (UE) N°2019/776 della Commissione del 16 Maggio 2019

- [10] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [11] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

3.3 SOFTWARE

- [12] Slide 2018 (Versione 8.021) – Rocscience (www.rocscience.com)
- [13] PLAXIS BV., PLAXIS 2D Advanced, Geotechnical SELECT Entitlements. Versione 21.01.00.479 – (<https://www.bentley.com/en/products/product-line/geotechnical-engineering-software/plaxis-2d>)
- [14] Slope\W – GeoSlope (www.geo-slope.com)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	10 di 53

4. CRITERI DI VERIFICA IN ACCORDO ALLE NTC2018

4.1 GENERALE

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. All'interno del progetto devono essere quindi definite le prescrizioni relative agli spostamenti compatibili per l'opera e le prestazioni attese.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26DHRH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

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

In base a quanto indicato dalle NTC2018 le verifiche di sicurezza che devono essere condotte per opere costituite da materiali sciolti sono le seguenti.

4.2.1 Verifiche 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 definiti in Tabella 4-1, Tabella 4-4 e Tabella 4-5 (rispettivamente Tab.6.2.I, Tab.6.2.II e Tab.6.8.I del Doc. Rif. [3]),

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 la 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 ($R = R \left[\gamma_F \cdot F_k \cdot \frac{X_k}{\gamma_m} \cdot a_d \right]$).

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

Facendo riferimento a quanto previsto al p.to 3.5.2.3.8 del Manuale di Progettazione RFI DINIC MA CS 00 001 E, parte IV (Doc. Rif. [5]), per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali definiti in Tabella 4-1 (Tab. 6.2.I del Doc. Rif. [3]) e i coefficienti di combinazione ψ definiti in Tabella 4-2 e Tabella 4-3 (Tab. 5.2.VI e Tab. 5.2. VII del Doc. Rif. [3]).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26DHRH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

Tabella 4-1: Coefficienti parziali sulle azioni (Tab. 6.2.I del Doc. Rif. [3])

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_{G1}

In Tabella 4-1 (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_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili.

Tabella 4-2: Coefficienti di combinazione ψ delle azioni (Tab. 5.2.VI del Doc. Rif. [3])

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
	gr_1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
Gruppi di	gr_2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
carico	gr_3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr_4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da	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 az

	RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26DHRH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A	FOGLIO 13 di 53

Tabella 4-3: Coefficienti di combinazione ψ delle azioni (Tab. 5.2.VII Doc. Rif. [3])

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.

Tabella 4-4: Coefficienti parziali sui terreni (M1 ed M2) - (Tab. 6.2.II, del Doc. Rif. [3])

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_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 4-5: Coefficienti parziali per le verifiche di stabilità globale (R2) -in campo statico (Tab. 6.8.I, Doc. Rif. [3])

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

	RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26DHRH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A	FOGLIO 14 di 53

4.2.2 Verifiche 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.

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

4.3 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 $U_c > 3.5$.

In caso contrario risulta necessario valutare il rischio di liquefazione e i potenziali effetti in superficie mediante procedimento descritto nel Doc. Rif. [1] basato su elaborazioni a partire dai risultati di prove SPT.

Per il tracciato oggetto del presente studio, le verifiche di liquefazione sono contenute nella Relazione geotecnica generale (Doc. Rif. [1]), in sintesi risulta che seppur presenti alcuni spessori di materiale suscettibile a liquefazione, per i quali i valori dei cedimenti post-sisma ottenuti e i valori degli LPI stimati

	RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	15 di 53

risultano non nulli, i valori ottenuti di LPI sono da ritenersi trascurabili ai fini progettuali escludendo quindi il rischio di liquefazione nella tratta in esame.

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

4.4.1 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]:

- **Verifiche 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.

- **Verifiche Stati Limite Ultimi (SLU):**

- Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, **SLV**, definito come lo stato limite in cui la struttura subisce una significativa perdita della rigidezza nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.
- Stato Limite di Prevenzione del Collasso, **SLC**, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.

La Tabella 4-6 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]).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26DHRH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

Tabella 4-6: 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.

4.4.2 Verifiche 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 impiegando lo stesso approccio di cui al par 6.8.2 del Doc. Rif. [3], ,

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	17 di 53

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. [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.

4.4.3 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**).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26DHRH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

5. RILEVATI STRADALI

5.1 COEFFICIENTI SISMICI PER LE VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE

Come descritto al Par. C7.11.4 del Doc. Rif. [4] , la verifica di stabilità globale in condizioni sismiche va condotta, in accordo a quanto riportato nel par.7.11.3.5.2 delle NTC2018 (Doc. Rif. [3]), mediante analisi pseudo-statiche adottando i coefficienti sismici k_H (orizzontale) e k_V (verticale), definiti come segue:

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

$$k_V = \pm 0.5 k_H$$

essendo:

a_{\max} = accelerazione sismica di progetto definita nella Relazione geotecnica generale (Doc. Rif. [1]);

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 per verifiche allo SLV su fronti di scavo o rilevati, è pari a $\beta_s = 0.38$.

In accordo alle espressioni di cui sopra, e sulla base di quanto riportato nella Relazione geotecnica generale (Doc. Rif. [1]), si ottengono i seguenti coefficienti per la verifica di stabilità globale allo SLV per tutti i Cavalcaferrovia previsti per la tratta oggetto del presente studio.

Tabella 5-1: Valori dei coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale

Opera:	a_{\max} (g)	β_s	k_h	k_v
NV04	0.260	0.38	0.0988	± 0.0494

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	19 di 53

5.2 CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA

5.2.1 Codici di calcolo utilizzati

5.2.1.1 Slide

Slide 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 Slide 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 Slide - ver. 2018 8.021– Rocscience.

5.2.1.2 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 (ϕ -c reduction) e analisi dinamiche (dynamic).

La versione del software adottata per le analisi condotte nel presente documento è Plaxis 2D Versione 21.01.00.479.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	20 di 53

5.2.2 Metodologie di verifica adottate

5.2.2.1 Verifiche di stabilità

Le verifiche di stabilità dei rilevati (Verifiche SLU) sono state condotte 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 Slide 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.

5.2.2.2 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 di tipo elasto-plastico con criterio di rottura alla Mohr Coulomb. I parametri geotecnici adottati nel calcolo sono quelli riportati al paragrafo relativo.

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 stradale.

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 lungo il bordo orizzontale.

5.3 CARATTERISTICHE DEL CORPO STRADALE

5.3.1 Geometria dei rilevati stradali

I rilevati stradali sono previsti con pendenza 3H:2V e con la realizzazione di una banca intermedia, di larghezza pari a 1.0 m, dove l'altezza dei rilevati supera i 6.0 m, 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. Dove necessario, ovvero dove le verifiche effettuate non vengono soddisfatte, al di sotto del rilevato è previsto anche uno strato di bonifica di spessore definito a seguito delle verifiche effettuate. Le scarpate sono rifinite con una finitura a verde. Il rilevato è finito in sommità con la realizzazione di un pacchetto stradale.

Nelle analisi, la finitura a verde non è stata modellata con parametri geotecnici differenti dal materiale di rilevato; in realtà tale finitura darà necessariamente un contributo in termini di coesione efficace allo strato più superficiale delle scarpate. Per tenerne in conto, nelle verifiche di stabilità sono state escluse dalla verifica le superfici di scivolamento corticali.

5.3.2 Materiali e parametri geotecnici costituenti il rilevato

Il materiale costituente il corpo del rilevato sarà materiale a grana grossa con i valori minimi dei parametri caratteristici riportati in Tabella 5-2.

Tabella 5-2: 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	19	35	29.3	0	0	40	1x10 ⁻⁵
STRATO DI SCOTICO	0.5	19	35	29.3	0	0	20	1x10 ⁻⁵

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	22 di 53

5.3.3 Carichi di progetto

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

- Sovraccarico stradale.
- Carico da azione sismica.

Il sovraccarico stradale è stato assunto pari a 20kPa applicato sulla sommità del rilevato, in corrispondenza della sede stradale, a partire da almeno 1m di distanza dal ciglio del rilevato. Per la definizione dell'azione sismica di progetto si rimanda al capitolo 5 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.

5.3.3.1 Carichi stradali per le Verifiche SLU

Nelle verifiche di stabilità in condizioni statiche sono stati applicati i seguenti carichi:

The following loads were applied in the stability verifications under static conditions:

Il sovraccarico stradale è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 20.0kPa su una lunghezza di 13 metri. Tale carico è di tipo variabile sfavorevole pertanto, in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2 riportato in Tabella 4-1, il valore di calcolo assunto risulta essere pari a:

$$q_d = q_k \times \gamma_{G1 [A2]} = 20 \text{ kPa} \times 1.3 = 26 \text{ kPa}$$

Nelle verifiche di stabilità in condizioni sismiche sono stati applicati i seguenti carichi:

- Il sovraccarico stradale è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 20.0 kPa su una lunghezza di 13 metri. Tale sovraccarico è stato inserito nei calcoli col proprio valore caratteristico moltiplicato per il coefficiente $\psi_{2j}=0.2$, relativo ai carichi dovuti al transito dei veicoli, in accordo a quanto specificato dalle Par.5.1.3.12 del Doc. Rif. [3]). Pertanto:

$$q_d = 0.2q_k = 4 \text{ kPa.}$$

5.3.3.2 Carichi stradali per le Verifiche SLE

Nel calcolo dei cedimenti sono stati considerati i seguenti carichi

Il sovraccarico stradale è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 20.0 kPa su una lunghezza di 13 metri Tale carico è stato inserito nei calcoli col proprio valore caratteristico, pertanto:

$$q_d = q_k = 20 \text{ kPa.}$$

5.4 SELEZIONE DELLE SEZIONI DI CALCOLO

Oggetto della presente relazione è il rilevato stradale di avvicinamento al cavalcaferrovia NV04 previsto nel lotto funzionale denominato progetto di raddoppio ferroviario Parma - Vicofertile, che comprende il tratto compreso tra il km 4+100 e il km 4+200.

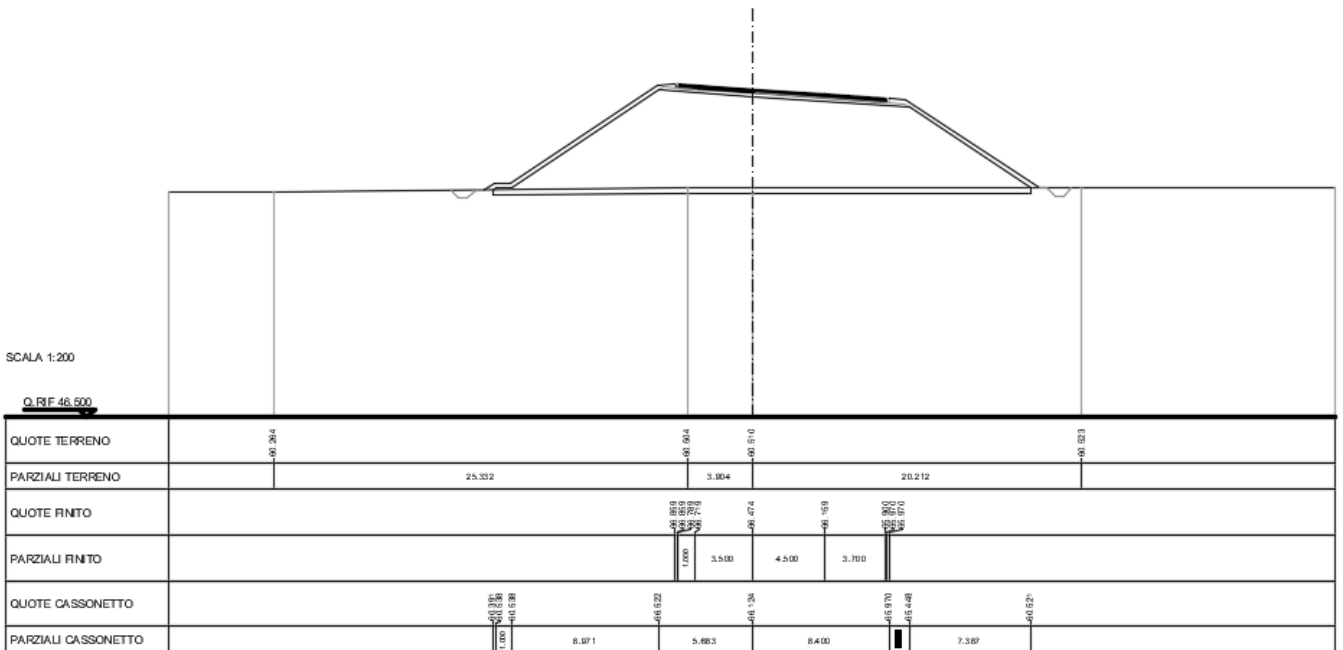
In particolare, è stata individuata una sezione significativa, per quanto riguarda le stratigrafie di calcolo e l'input sismico, per prendere in considerazione le condizioni più critiche dal punto di vista delle verifiche di stabilità e del calcolo della subsidenza attesa.

La sezione analizzata, caratterizzata da un'altezza del terrapieno di 6m, è la seguente:

- Sezione al km 4+110 ca. in corrispondenza del rilevato di approccio al cavalcaferrovia NV04.

MOVIMENTI TERRA	
SCOTTICO	32.926 m
RIPIOCITO	135.948 m ²
TERRENO VEGETALE E PAVIMENTAZIONE	24.512 m
STRATO DI USURA	127.00 m
STRATO DI COLLEGAMENTO	127.00 m
STRATO DI BASE	127.00 m
STRATO DI FONDAZIONE	300.00 m

SEZIONE: 21
QUOTA PROGETTO: 66.474
PROGRESSIVA: 300.000
DIST. PRECEDENTE: 19.894
DIST. SUCCESSIVA: 20.000



Le verifiche di stabilità globale e il calcolo dei cedimenti sono state eseguite per la sezione sopra selezionata.



**RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)
TRATTA PARMA - VICOFERTILE**

PROGETTO DEFINITIVO

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI
E FERROVIARI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	25 di 53

Di seguito si riportano le verifiche relative alla sezione individuata per la quale sono state definite la stratigrafia di riferimento e i relativi parametri geotecnici di progetto secondo quanto riportato nella Relazione Geotecnica Generale (Doc. Rif. [1])

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26DHRH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

5.5 SEZIONE DI CALCOLO RILEVATO DI APPROCCIO ALL'OPERA NV04 (KM 4+110 CA.)

5.5.1 Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo

In accordo con quanto riportato nella Relazione Geotecnica Generale (Doc. Rif. [1]), Deviazione Via Volturmo (NV04), la Tabella 5-3 mostra la stratigrafia e i valori dei parametri geotecnici caratteristici.

Si rimanda invece alla Tabella 5-2 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 capitolo 7 del Doc. Rif. [3], 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.

UNITA'	DA	A	γ_v	φ'	c'	Cu	Eop1	kh	H falda da p.c.
(-)	(m pc)	(m pc)	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	[m/s]	[m]
A1	0	5	19	27	12	60	7	9.62E-07	8.5
A2	5	25	19	37	0	-	26	2.03E-04	
A1	25	28	19	27	8	120	18	9.62E-07	
A2	28	32	19	37	0	-	39	2.03E-04	
A1	>32		19	27	8	150	20	9.62E-07	

Tabella 5-3: stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo

La falda di progetto è stata assunta nei calcoli alla profondità di 8.5 m dal piano campagna.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	27 di 53

5.5.2 Carichi di progetto

Per il dettaglio del carico di progetto assunto per il sovraccarico stradale per le verifiche SLU e per le verifiche SLE si faccia riferimento a quanto riportato nel paragrafo 5.3.3.

Nelle verifiche SLU in condizioni sismiche, in accordo a quanto riportato nel capitolo 5, la forza sismica è stata modellata tramite i coefficienti sismici:

$$K_H = + 0.0988 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.0494 \quad (\text{verificando la più cautelativa tra negativo e positivo})$$

5.5.3 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 Slide (Doc. Rif. [12]). 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.

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura tali da intercettare il carico stradale. Tra esse, è definita critica quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo. Come da NTC 2018, la verifica SLU di stabilità globale risulta soddisfatta quando la superficie di scivolamento più critica, tra tutte quelle cinematicamente possibili, ha un fattore di sicurezza pari almeno ad 1.1 in condizioni statiche e pari almeno a 1.2 in condizioni sismiche, ossia risultino soddisfatte le seguenti disuguaglianze:

- analisi statica: $R/E_d \geq \gamma_R$ con $\gamma_R=1.1$
- analisi sismica: $R/E_d \geq \gamma_R$ con $\gamma_R=1.2$

essendo:

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

R_d = R/γ_R valore di progetto della resistenza.

	RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
PROGETTO DEFINITIVO						
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	28 di 53

5.5.3.1 Risultati

Nelle figure successive sono riportate le superfici di rottura critiche; i fattori di sicurezza FS relativi a tale meccanismo, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS^{SLU} = 1.168 > 1.1$$

$$FS^{SLV+} = 1.220 > 1.2$$

$$FS^{SLV+} = 1.204 > 1.2$$

La verifica della stabilità globale è soddisfatta sia in campo statico che sismico.

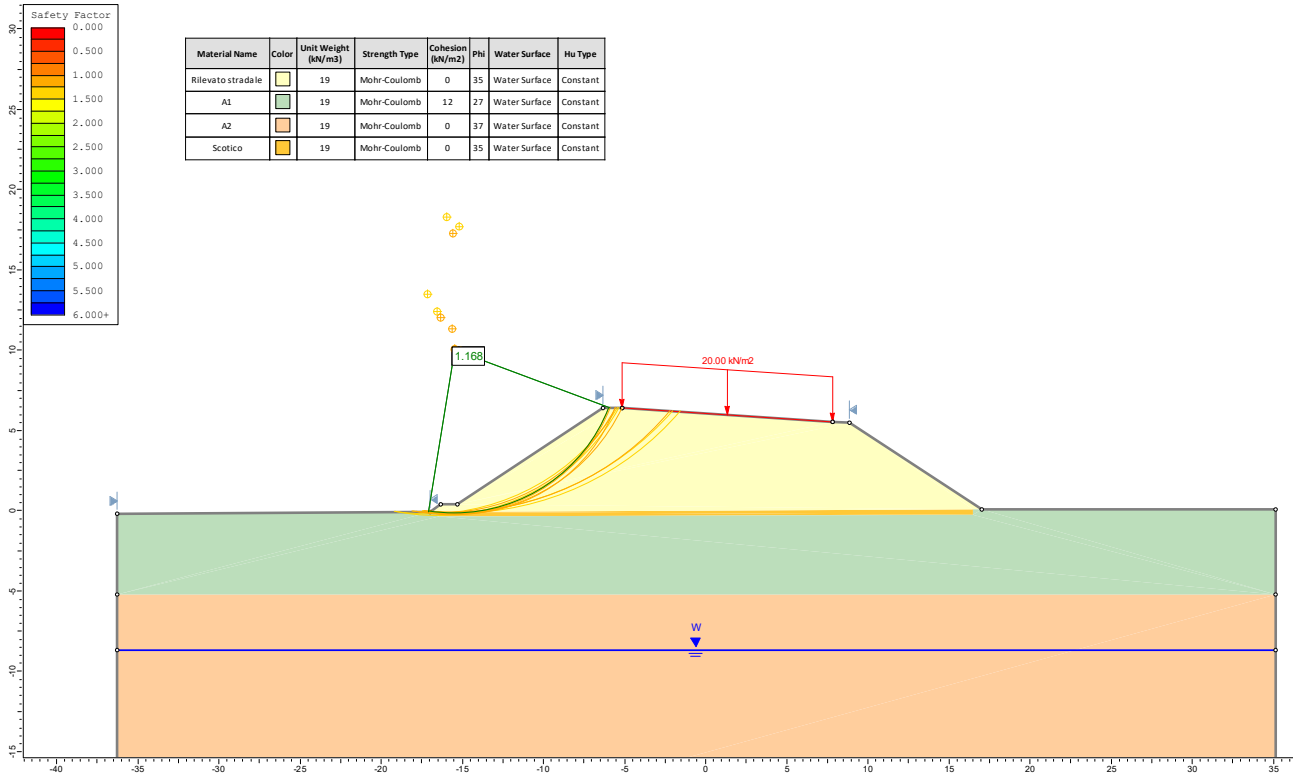


Figura 5-1: NV04 - Rilevato H=6.00 m, pk 4+110 di NV04 - Analisi di stabilità globale in campo statico

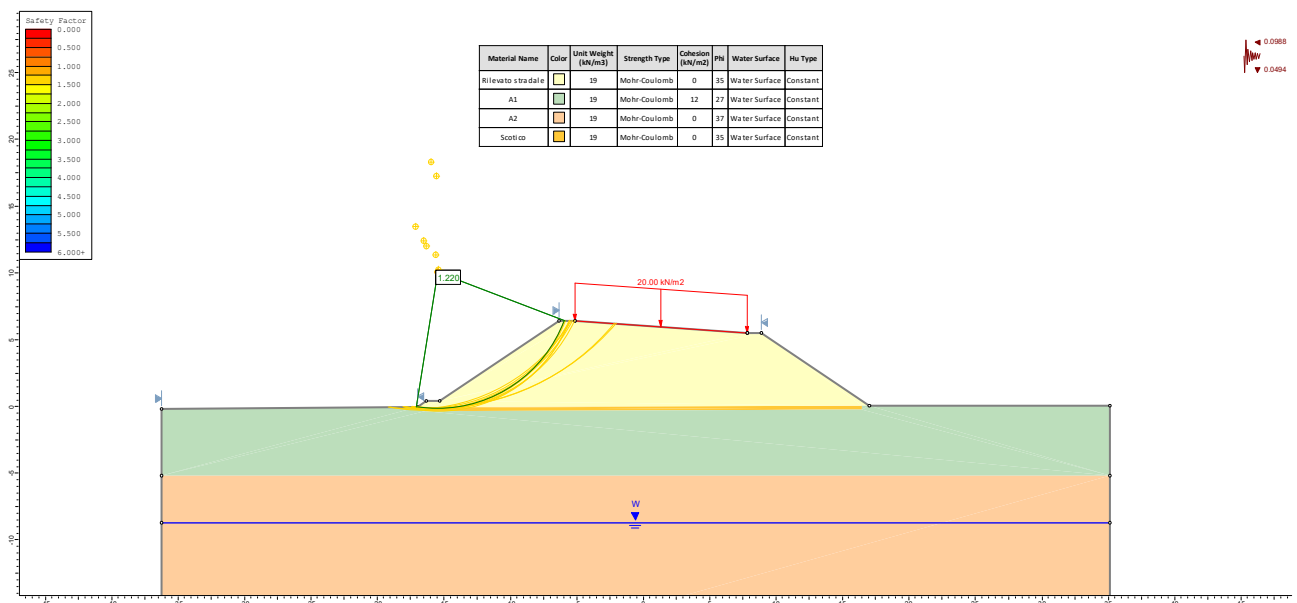


Figura 5-2: NV24 - Rilevato H=6.00 m, pk 4+110 di NV04 - Analisi di stabilità globale in campo sismico-condizioni sismiche (+)

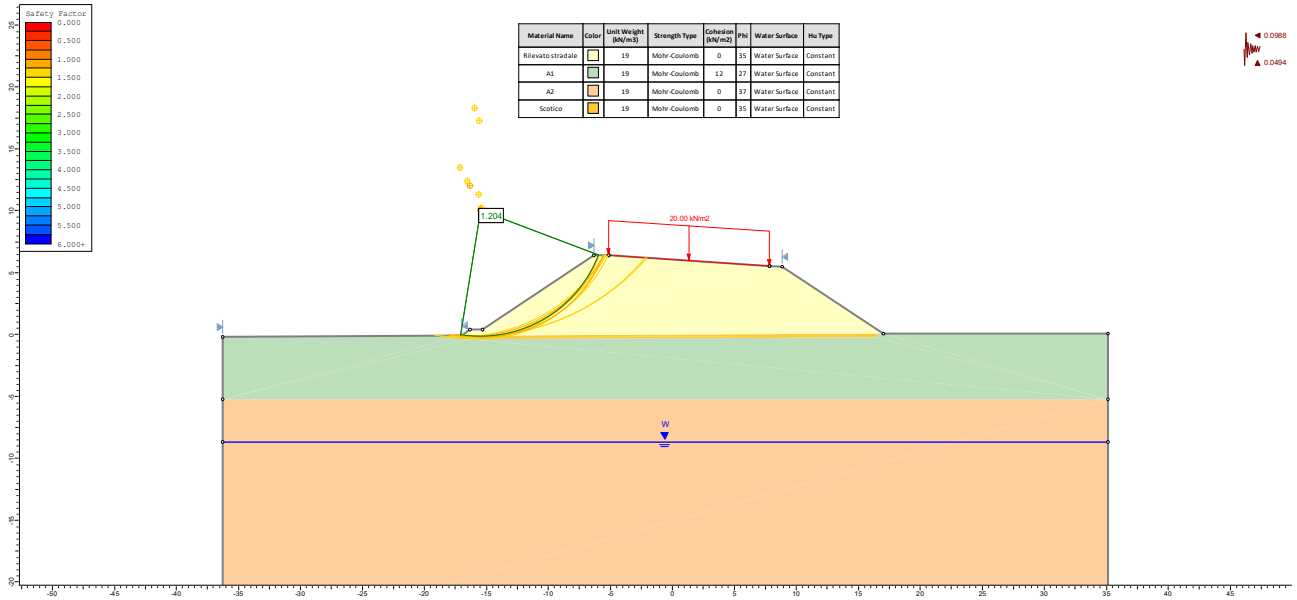


Figura 5-3: NV04 - Rilevato H=6.00 m, pk 4+110 di NV04 - Analisi di stabilità globale in campo sismico-condizioni sismiche (-)

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	31 di 53

5.5.4 Verifiche SLE – Valutazione dei cedimenti

5.5.4.1 Modelli e fasi di calcolo

Il modello utilizzato per queste analisi è mostrato in Figura 5-4, Figura 5-5 e Figura 5-6 e rappresenta la sezione di progetto del rilevato di approccio al Cavalcaferrovia NV04.

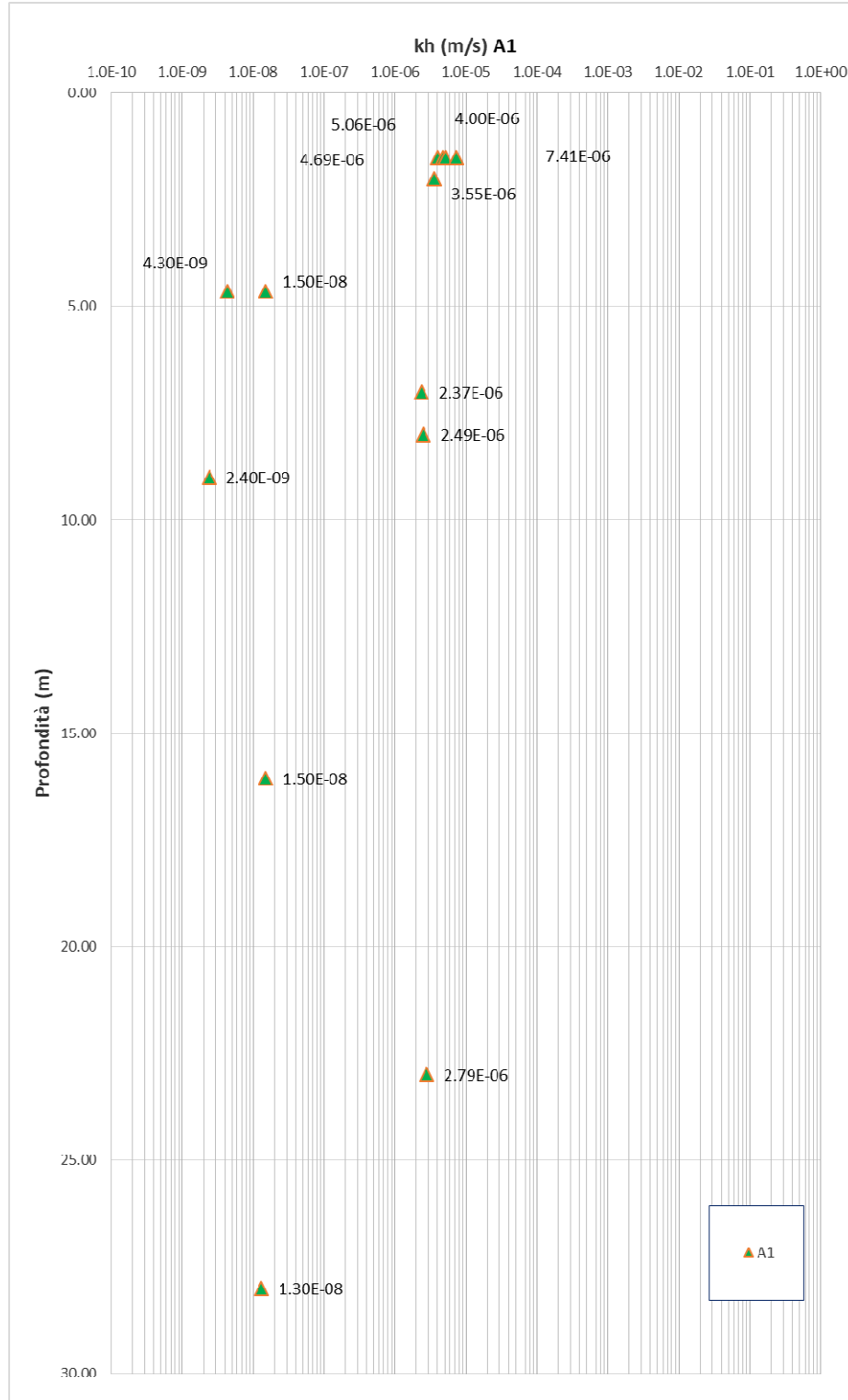
L'altezza del rilevato in oggetto è pari a 6 metri escluso il pacchetto stradale.

La stratigrafia di calcolo utilizzata ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici sono riportati in Tabella 5-3.

Oltre ai cedimenti viene stimato il tempo di consolidazione dei cedimenti all'interno della formazione coesiva A1.

Come si evince dalla seguente figura i valori di permeabilità all'interno di tale formazione sono molto variabili (prove Lefranc eseguite).

Nelle successive verifiche si prende a riferimento a favore di sicurezza il valore di permeabilità minimo riscontrato all'interno dello strato più superficiale (primi 5 m di profondità), pari a $4.3E-9$ m/sec, sia in direzione orizzontale che verticale.



	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	33 di 53

La verifica dei cedimenti e dei tempi di consolidazione è stata effettuata con il codice di calcolo PLAXIS2D.

Si tratta di modello bi-dimensionale in cui è mostrato il rilevato in sezione, con la propria geometria ed il sovraccarico stradale.

La modellazione è stata eseguita in termini di parametri drenati. In corrispondenza degli strati coesivi, al fine di tenere in conto dell'insorgere di sovrappressioni all'atto dell'applicazione dei carichi, che vengono dissipate nel tempo, a tali materiali è stata applicata la condizione di deformazione volumetrica impedita, derivando quindi le sovra o sottopressioni idrauliche e quindi le tensioni efficaci.

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti:

1. generazione dello stato tensionale iniziale geostatico;
2. costruzione del rilevato;
3. consolidazione e calcolo del tempo necessario a dissipare le sovrappressioni interstiziali;
4. applicazione del sovraccarico stradale.

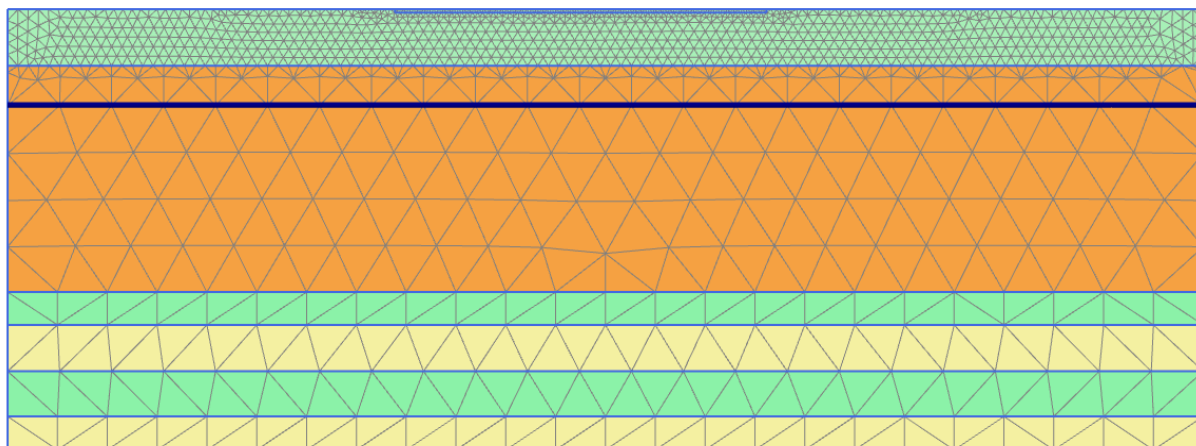


Figura 5-4: NV04 – fase 1 - geostatica.

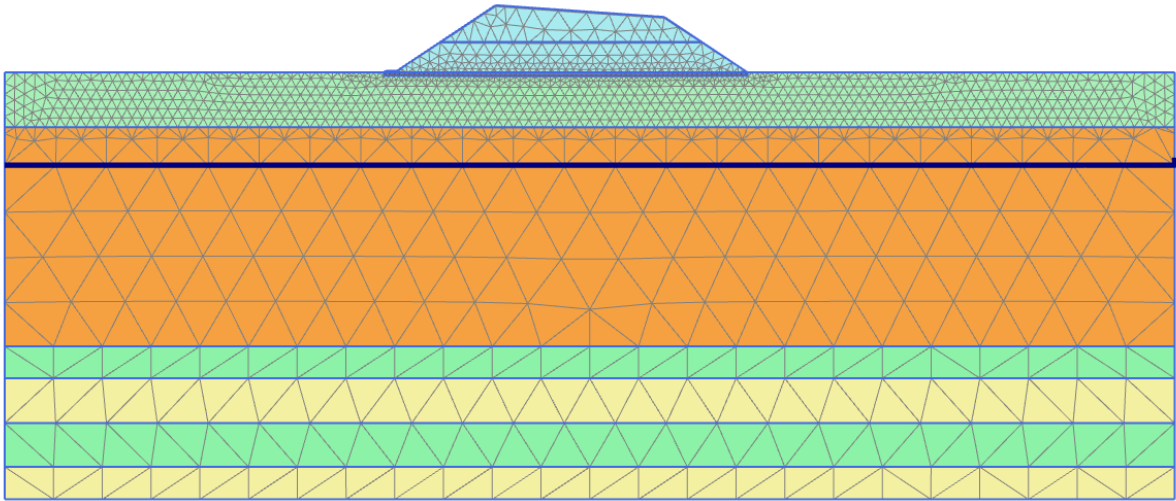


Figura 5-5: NV04 – fase 2 e 3 - costruzione e consolidazione del rilevato.

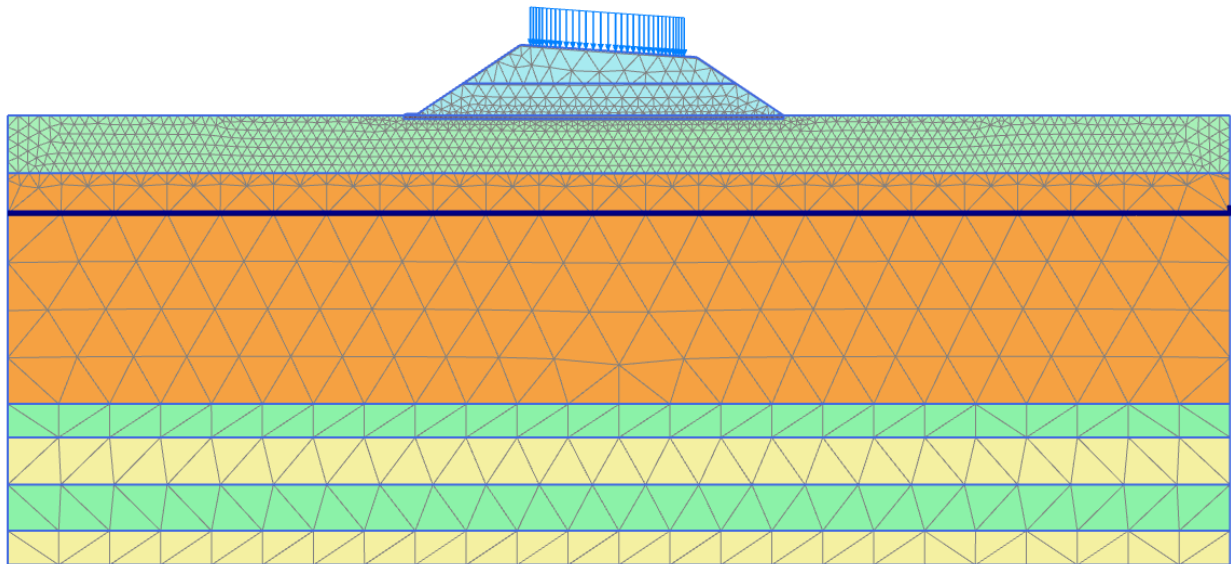


Figura 5-6: NV04 – fase 4 - applicazione del carico.

5.5.4.2 Risultati

In Figura 5-7, Figura 5-8 e Figura 5-9 è riportato lo spostamento verticale u_y del modello al termine delle seguenti fasi:

- Realizzazione del rilevato;
- Completamento della consolidazione;
- Applicazione del carico.

Come è possibile osservare al termine della costruzione il cedimento immediato è pari a circa 9 cm.

L'assettamento misurato al termine del processo di consolidazione è pari a circa 14 cm. Il tempo necessario per completare tale processo è di circa 38 giorni come si può osservare in Figura 5-8.

Il cedimento di consolidazione è quindi pari a $14 - 9 = 5$ cm.

Il carico accidentale di 20 kPa incrementa il cedimento di un ulteriore centimetro.

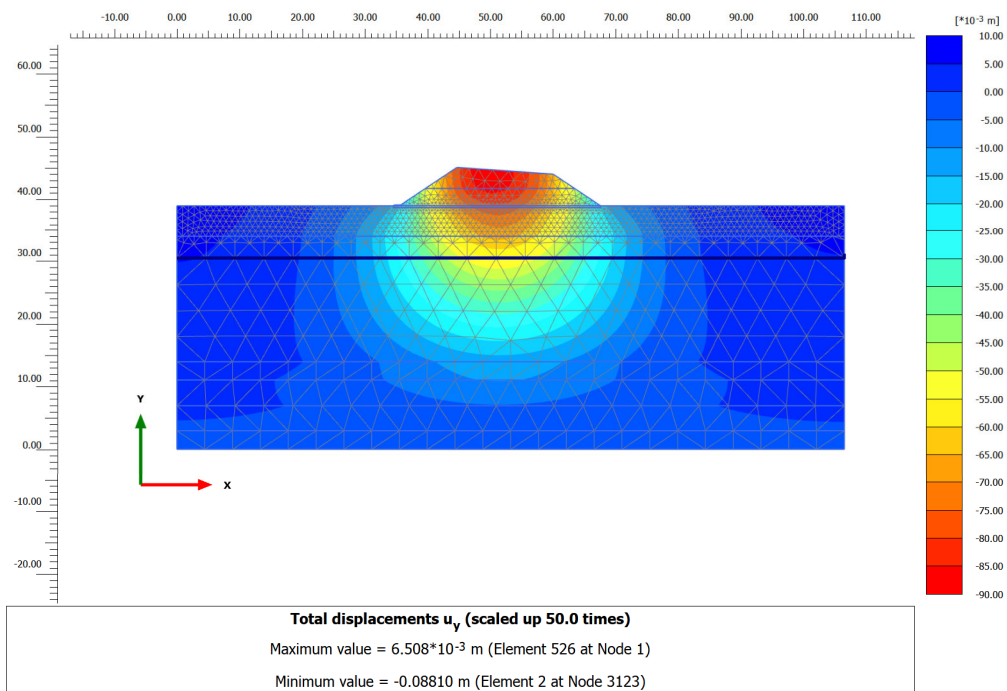


Figura 5-7: NV04 – Spostamenti verticali totali in corrispondenza della costruzione del rilevato.

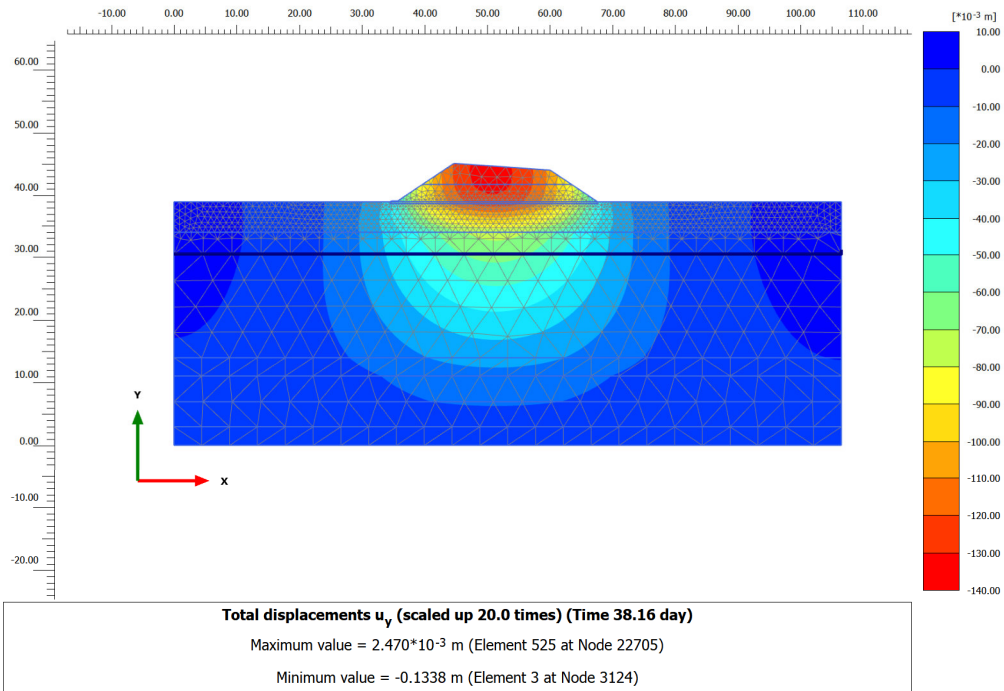


Figura 5-8: NV04 – Spostamenti verticali totali al termine del processo di consolidazione.

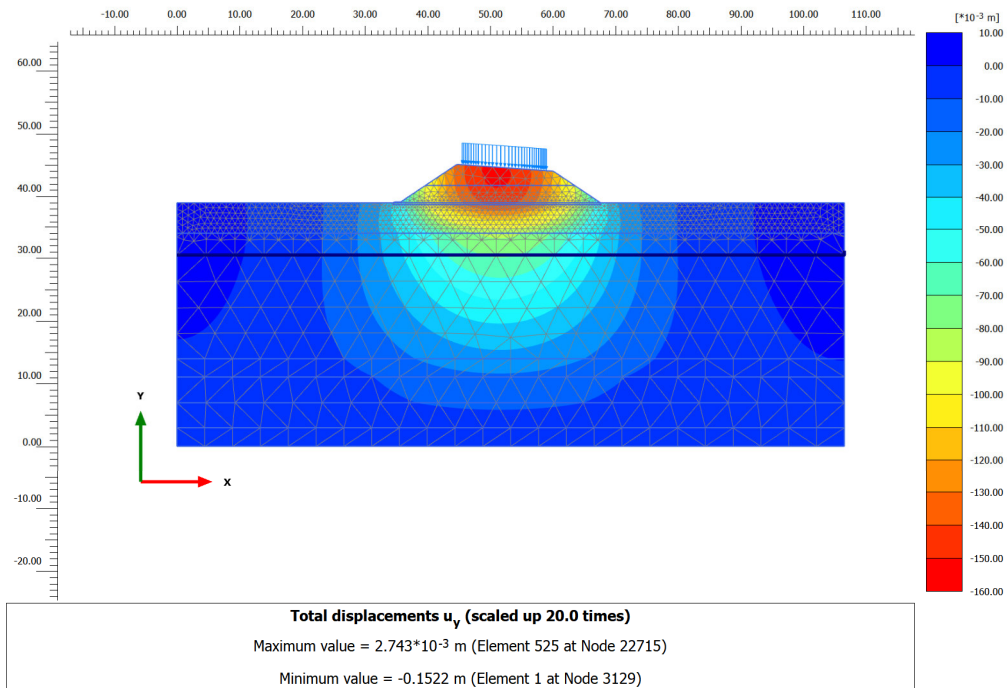


Figura 5-9: NV04 – Spostamenti verticali totali dopo l'applicazione del sovraccarico.

Nella figura seguente si riportano i valori di sovrappressione che si sviluppano all'interno dello strato coesivo in seguito alla realizzazione del rilevato.

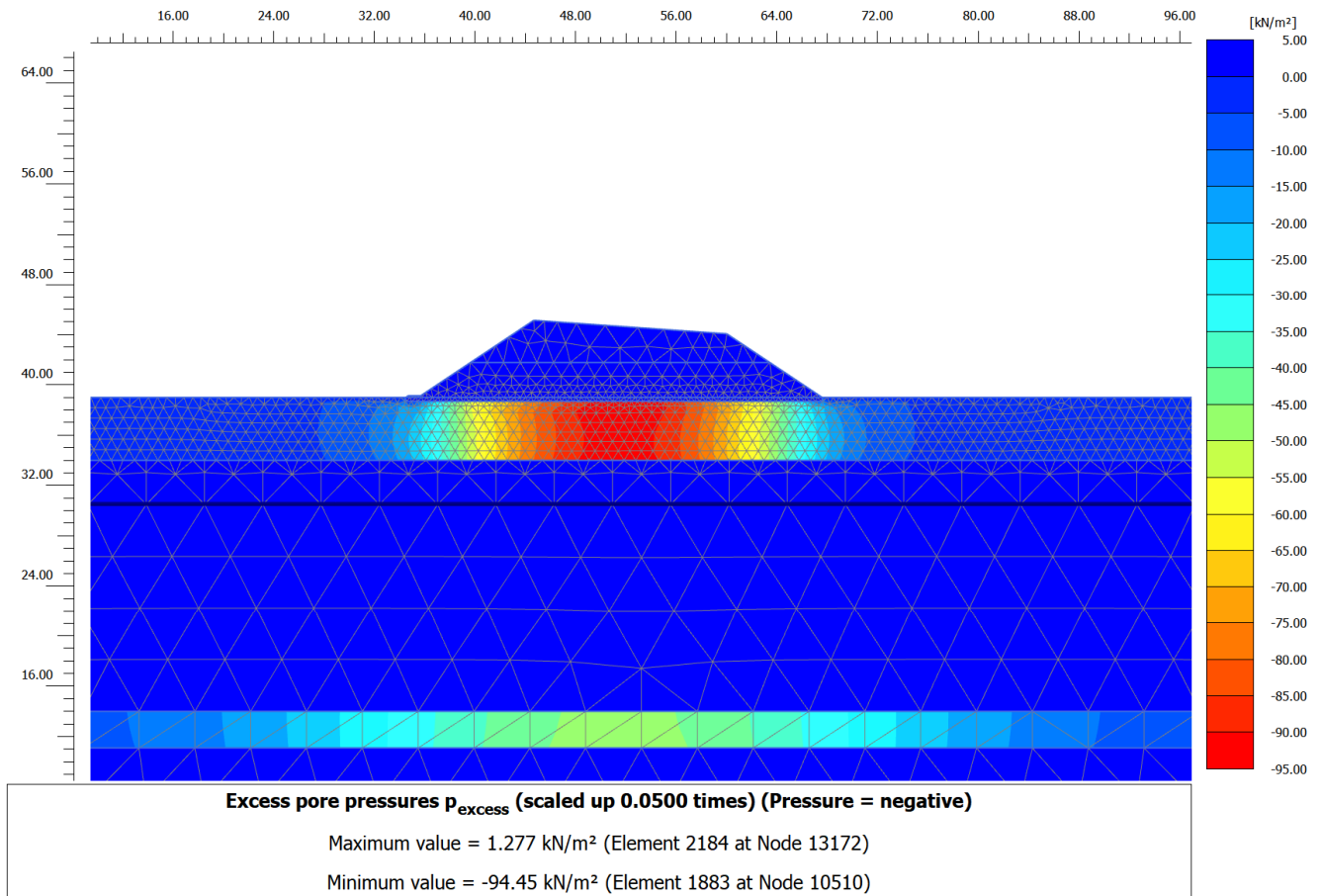


Figura 5-10: NV04 – Sovrappressioni interstiziali Δu termine costruzione, fase 2

Le sovrappressioni si concentrano in corrispondenza dello strato di materiale coesivo superficiale, avente 5 m di spessore.

Si riporta di seguito il calcolo del tempo di consolidazione eseguito con metodo semplificato utilizzando la trattazione della consolidazione monodimensionale di Terzaghi.

DECORSO DEI CEDIMENTI DI CONSOLIDAZIONE

RILEVATO H=6m

Formulazione Teorica (Lancellotta; 1987)

$$U_m = (4Tv/\pi)^{0,5} / ((1 + (4Tv/\pi)^{2,8})^{0,179})$$

$$Tv = ((\pi/4)(U_m)^2 / (1 - (U_m)^{5,6}))^{0,357}$$

$$Tv = cv \cdot t / h^2$$

$$U_m = \delta_t / \delta_{tmax}$$

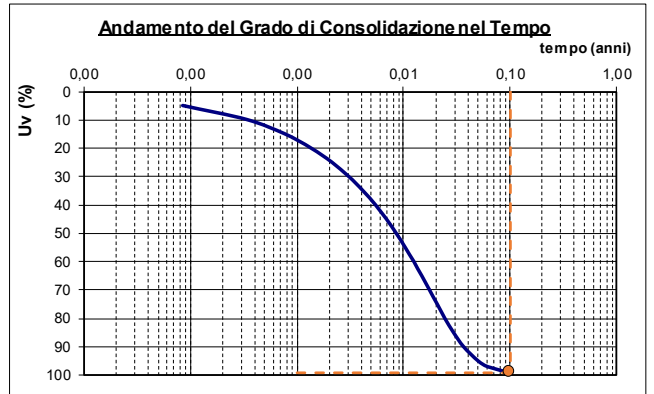
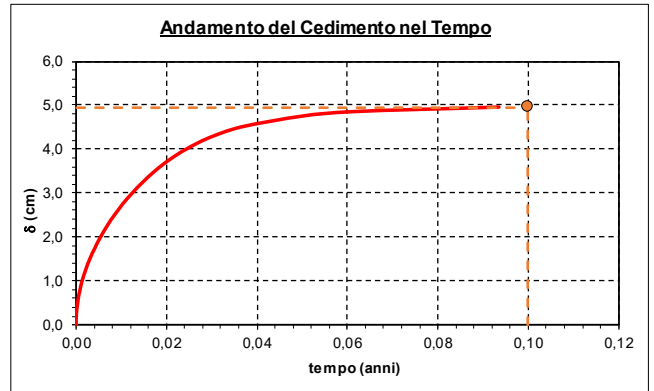
DATI DI INPUT:

$\delta_{tmax} =$ 5 (cm) (Cedimento massimo)
 H = 5 (m) (Spessore strato da consolidare)
 h = 2,50 (m) (Massimo Percorso di Drenaggio)
 cv = 4,6,E-06 (m²/s) (Coeff. di Consolidazione)

t =	0,1	(anni)	cedimento residuo
Um =	99,0	(%)	
$\delta_t =$	5,0	(cm)	

$\delta_t =$		(cm)
Um =	0,0	(%)
t =	0,00	(anni)

Um =		(%)
t =	0,00	(anni)
$\delta_t =$	0,00	(cm)



Il tempo di consolidazione stimato è pari a 36 gg, valore in linea con i risultati del modello numerico.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	39 di 53

6. RILEVATI FERROVIARI

6.1 COEFFICIENTI SISMICI PER LE VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE

Come descritto al Par. C7.11.4 del Doc. Rif. [4] , la verifica di stabilità globale in condizioni sismiche va condotta, in accordo a quanto riportato nel par.7.11.3.5.2 delle NTC2018 (Doc. Rif. [3]), mediante analisi pseudo-statiche adottando i coefficienti sismici k_H (orizzontale) e k_V (verticale), definiti come segue:

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

$$k_V = \pm 0.5 k_H$$

essendo:

a_{\max} = accelerazione sismica di progetto definita nella Relazione geotecnica generale (Doc. Rif. [1]);

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 per verifiche allo SLV su fronti di scavo o rilevati, è pari a $\beta_s = 0.38$.

In accordo alle espressioni di cui sopra, e sulla base di quanto riportato nella Relazione geotecnica generale (Doc. Rif. [1]), si ottengono i seguenti coefficienti per la verifica di stabilità globale allo SLV.

Tabella 6-1: Valori dei coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale

Opera:	Tratta	a_{\max} (g)	β_s	k_h	k_v
RI03	9	0.276	0.38	0.1049	± 0.0524

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26DHRH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

6.2 CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA

6.2.1 Codici di calcolo utilizzati

6.2.1.1 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 idro-stratigrafiche 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 - GEOSTUDIO 2018.

6.2.2 Metodologie di verifica adottate

6.2.2.1 Verifiche di stabilità

Le verifiche di stabilità dei rilevati (Verifiche SLU) sono state condotte 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 Slide 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.

6.2.2.2 Valutazione degli spostamenti

La determinazione del campo di spostamenti sarà svolta ricorrendo a strumenti di calcolo, che determinano gli incrementi di tensione nei terreni utilizzando il classico modello di Boussinesq, assumendo i valori caratteristici sia sulle azioni che sui materiali.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26DHRH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

Il calcolo dei cedimenti utilizza quindi le variazioni di tensione calcolate con questa ipotesi, e tenendo comunque conto delle diverse caratteristiche di deformabilità delle varie unità geotecniche.

6.3 CARATTERISTICHE DEL CORPO FERROVIARIO

6.3.1 Geometria dei rilevati ferroviari

I rilevati stradali sono previsti con pendenza 3H:2V. Al di sotto del rilevato è previsto uno scotico per uno spessore pari a 0.5 m.

Come riportato nella sezione tipologica, le scarpate del rilevato sono rifinite con una finitura a verde di spessore pari a circa 30 cm. Il rilevato è finito in sommità con la realizzazione di uno strato di supercompattato di spessore pari a 30 cm, al di sopra del quale verrà realizzato uno strato di Sub-ballast di spessore pari a 12 cm sul quale verranno posizionati ballast, traversine ed armamento ferroviario.

Nelle analisi, la finitura a verde non è stata modellata con parametri geotecnici differenti dal materiale di rilevato; in realtà tale finitura darà necessariamente un contributo in termini di coesione efficace allo strato più superficiale delle scarpate. Per tenerne in conto, nelle verifiche di stabilità sono state escluse dalla verifica le superfici di scivolamento corticali.

6.3.2 Materiali e parametri geotecnici costituenti il rilevato

Il materiale costituente il corpo del rilevato sarà materiale a grana grossa con i valori minimi dei parametri caratteristici riportati in Tabella 6-2.

Tabella 6-2: 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

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26DHRH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A	FOGLIO 42 di 53

6.3.3 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).
- Carico rappresentativo del traffico ferroviario.
- Carico da azione sismica.

L'armamento ferroviario è stato schematizzato, in accordo a quanto riportato al par 5.2.2.1. del Doc. Rif. [3] e nel Doc. Rif. [5], 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 kN/m³. Il carico è stato applicato sulla sommità del rilevato per una larghezza complessiva di circa 10 m.

Per la definizione del sovraccarico da traffico ferroviario si sono valutate le pressioni equivalenti dovute sia al treno per traffico normale LM71 sia per quello da traffico pesante SW/2, secondo quanto definito sia dalle NTC2018 (punti 5.2.2.2.1.1 e 5.2.2.2.1.2. del Doc.Rif.[3]) sia dal “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI” (RFI DTC SI MA IFS 001 C del 21.12.2018 , Doc.Rif.[5]).

In particolare, assumendo per il sovraccarico da traffico ferroviario il modello di carico LM71 (traffico normale). In base a quanto indicato nella specifica di riferimento si è definita la pressione equivalente secondo le seguenti considerazioni:

- il carico dato dal treno LM71 risulta essere pari a 250 kN ad asse, con interasse pari a 1.6 m, (ossia $250/1.6 = 156.25$ kN/m);
- per riportare il carico ferroviario dalla traversina, di larghezza pari a 2.4 m, al piano al di sotto dell'armamento si è considerata una diffusione con pendenza 1:4. Pertanto, la pressione equivalente è stata valutata come applicata su una fascia di larghezza pari a 3 m, centrata in corrispondenza dell'asse della linea ferroviaria (ossia $156.25/3 = 52.08$ kPa). In caso di doppio binario si sono considerate due fasce di larghezza pari a 3 m in corrispondenza delle due vie di corsa.

Mentre, assumendo per il sovraccarico da traffico ferroviario il modello di carico SW/2 (traffico pesante), si è definita la pressione equivalente secondo le seguenti considerazioni:

- il carico dato dal treno SW/2 risulta essere pari a 150 kN/m;
- in modo analogo a quanto detto sopra 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 1:4. Pertanto, la pressione equivalente è pari a $150/3 = 50$ kPa da amplificarsi, con un coefficiente a pari a 1.1. Il

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	43 di 53

valore di pressione risultante è quindi pari a 55 kPa. In caso di doppio binario si considerano due fasce di larghezza pari a 3 m in corrispondenza delle due vie di corsa.

Alla luce di quanto sopra, si è deciso conservativamente di svolgere le verifiche considerando il carico da treno tipo LM71.

Per il tipo di traffico caratterizzante la linea, sulla base di quanto indicato nel Doc.Rif.[5], si è assunto un coefficiente di amplificazione α pari a 1.1. Pertanto, il valore di pressione risultante è pari a 57.28 kPa.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto si rimanda al capitolo 5 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 e di combinazione come previsti dalla Normativa vigente. Nei successivi paragrafi, i carichi ferroviari applicati nelle diverse verifiche in accordo a quanto previsto dalla Normativa vigente sono riportati nel dettaglio.

6.3.3.1 Carichi ferroviari per le Verifiche SLU

Nelle verifiche di stabilità in condizioni statiche delle sezioni in rilevato sono stati applicati i seguenti carichi:

- Il carico del pacchetto di armamento ferroviario è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 14.4 kPa su una lunghezza di 10m. Tale carico è di tipo permanente sfavorevole pertanto, in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2 riportato in Tabella 4-1, il valore di calcolo assunto è pari a:

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

- Il carico da traffico ferroviario (q), assunto pari a 57.28 kPa, è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita applicata 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 4-1; il valore di calcolo è stato assunto pari a:

$$q_d = q_k \times \gamma_{Q1 [A2]} = 57.3 \text{ kPa} \times 1.3 = 74.5 \text{ kPa}.$$

Nelle verifiche di stabilità in condizioni sismiche delle sezioni in rilevato sono stati applicati i seguenti carichi:

- Il carico del pacchetto di armamento ferroviario è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 14.4 kPa su una lunghezza di 10m. Tale carico è stato inserito nei calcoli col proprio valore caratteristico in accordo a quanto specificato dalle NTC 2018 (si veda

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	44 di 53

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:

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

- Il carico da traffico ferroviario (q), assunto pari a 57.28 kPa, è moltiplicato per un coefficiente $\psi=0.2$ in accordo a Doc. Rif. [3] ed è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita applicata in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è stato inserito nei calcoli col proprio valore caratteristico in accordo a quanto specificato dalle NTC 2018 (vedasi Par.7.11.1 del Doc. Rif. [3]) che indicano per le analisi in condizioni sismiche di porre tutti pari ad uno i coefficienti parziali sulle azioni. Pertanto:

$$q_d = 0.2q_k = 11.5 \text{ kPa.}$$

6.3.3.2 Carichi stradali per le Verifiche SLE

Nel calcolo dei cedimenti sono stati considerati i seguenti carichi

- Il carico del pacchetto di armamento ferroviario è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 14.4 kPa su una lunghezza di 10m. Tale carico è stato inserito nei calcoli col proprio valore caratteristico in accordo a quanto specificato dalle NTC 2018, pertanto:

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

- viene omesso nell'analisi il sovraccarico da traffico ferroviario in accordo a quanto specificato in Doc. Rif. [5].



**RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA
TRATTA PIADENA - MANTOVA**

PROGETTO DEFINITIVO

**RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI
E FERROVIARI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	46 di 53

Di seguito si riportano le verifiche relative alla sezione individuata per la quale sono state definite la stratigrafia di riferimento e i relativi parametri geotecnici di progetto secondo quanto riportato nella Relazione Geotecnica Generale (Doc. Rif. [1])

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26DHRH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

6.5 SEZIONE DI CALCOLO RILEVATO FERROVIARIO RI03 (KM 6+000)

6.5.1 Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo

In accordo con quanto riportato nella Relazione Geotecnica Generale (Doc. Rif. [1]), la Tabella 6-3 mostra la stratigrafia e i valori dei parametri geotecnici caratteristici.

Si rimanda invece alla Tabella 6-2 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 capitolo 7 del Doc. Rif. [3], 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.

UNITA'	DA	A	γ_v	φ'	c'	Cu	Eop1	kh	H falda da p.c.
(-)	(m pc)	(m pc)	(°)	(kPa)	(kPa)	(MPa)	(MPa)	[m/s]	[m]
A1	0	5	19	27	12	60	8	9.62E-07	26 - 28
A2	5	20	19	37	0	-	17	2.03E-04	
A1	20	33	19	27	8	110	20	9.62E-07	
A2	>33		19	37	0	-	40	2.03E-04	

Tabella 6-3: stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo (Tratta 9)

La falda di progetto è stata assunta nei calcoli alla profondità di 26 m dal piano campagna.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26DHRH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A

6.5.2 Carichi di progetto

Per il dettaglio del carico di progetto assunto per il sovraccarico stradale per le verifiche SLU e per le verifiche SLE si faccia riferimento a quanto riportato nel paragrafo 6.3.3.

Nelle verifiche SLU in condizioni sismiche, in accordo a quanto riportato al paragrafo 6.1, la forza sismica è stata modellata tramite i coefficienti sismici:

$$K_H = + 0.1049 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.0524 \quad (\text{verificando la più cautelativa tra negativo e positivo})$$

6.5.3 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. [12]). 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.

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura tali da intercettare il carico stradale. Tra esse, è definita critica quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo. Come da NTC 2018, la verifica SLU di stabilità globale risulta soddisfatta quando la superficie di scivolamento più critica, tra tutte quelle cinematicamente possibili, ha un fattore di sicurezza pari almeno ad 1.1 in condizioni statiche e pari almeno a 1.2 in condizioni sismiche, ossia risultino soddisfatte le seguenti disuguaglianze:

- analisi statica: $R/E_d \geq \gamma_R$ con $\gamma_R=1.1$
- analisi sismica: $R/E_d \geq \gamma_R$ con $\gamma_R=1.2$

essendo:

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

R_d = R/γ_R valore di progetto della resistenza.

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI STRADALI E FERROVIARI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IP00	00	D26DHRH	GE0000 001	A	49 di 53

6.5.3.1 Risultati

Nelle figure successive sono riportate le superfici di rottura critiche; i fattori di sicurezza FS relativi a tale meccanismo, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS^{SLU} = 1.360 > 1.1$$

$$FS^{SLV} = 1.389 > 1.2$$

La verifica della stabilità globale è soddisfatta sia in campo statico che sismico.

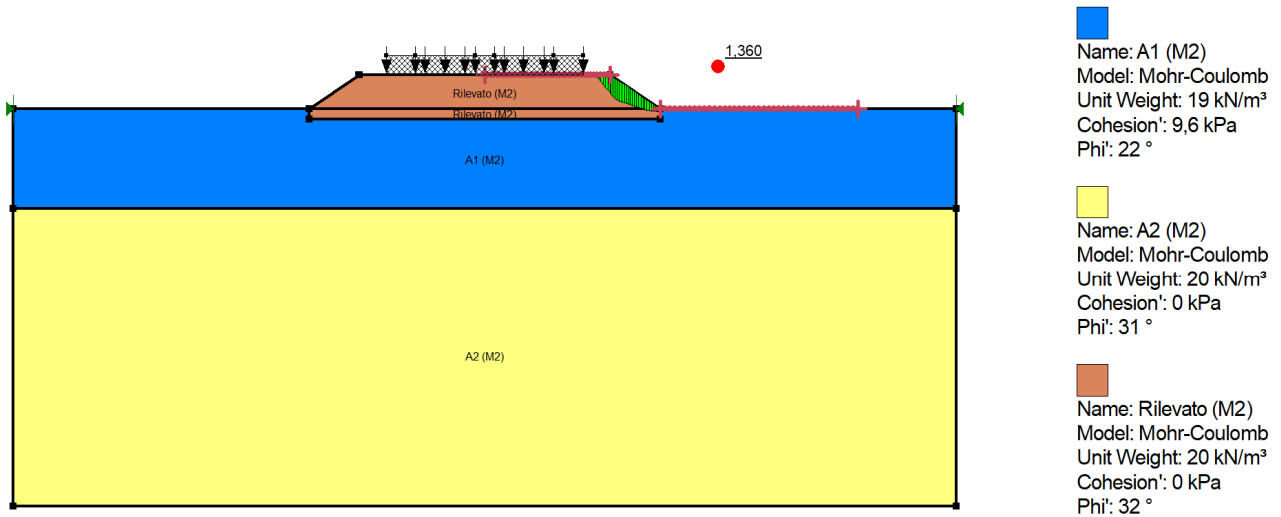


Figura 6-2: Rilevato H=1.70 m, sez.6+000 – Analisi di stabilità globale in campo statico DA1C2

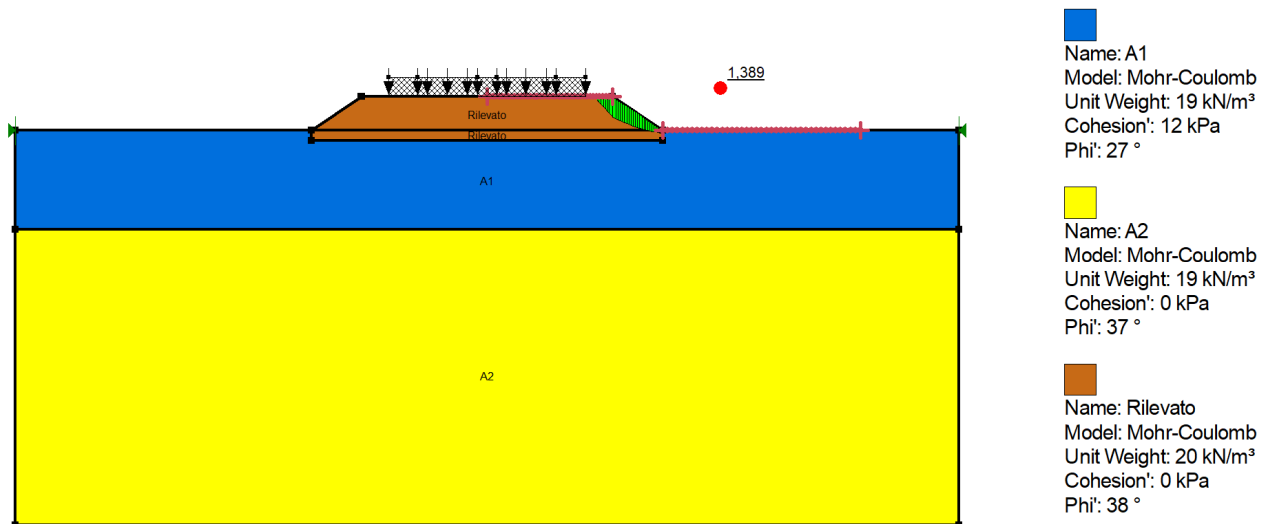


Figura 6-3: Rilevato H=1.70 m, sez.6+000 – Analisi di stabilità globale in campo sismico

	RADDOPPIO LINEA CODOGNO – CREMONA – MANTOVA TRATTA PIADENA - MANTOVA PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI E TRINCEE FERROVIARI	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D26DHRH	DOCUMENTO GE0000 001	REV. A	FOGLIO 51 di 53

6.5.4 Verifiche SLE – Valutazione dei cedimenti

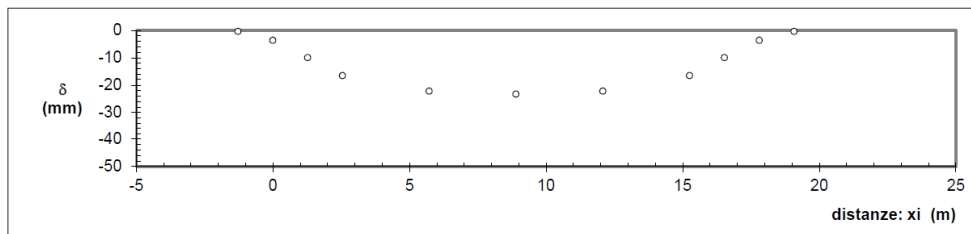
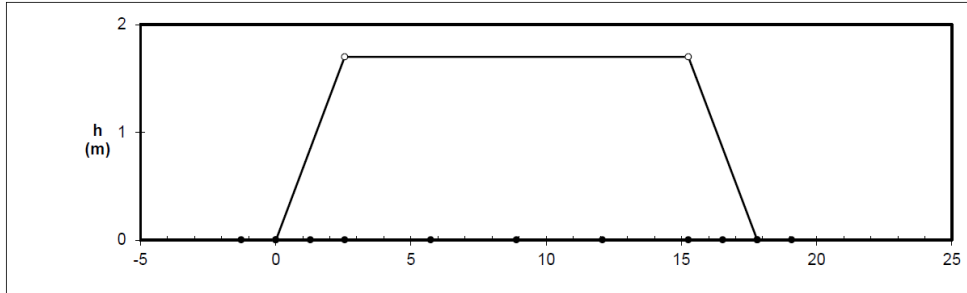
6.5.4.1 Modelli e fasi di calcolo

Il modello utilizzato per queste analisi è mostrato in Figura 6-1 e rappresenta la sezione di progetto del rilevato ferroviario.

L'altezza del rilevato in oggetto è pari a circa 1,7 metri.

La stratigrafia di calcolo utilizzata ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici sono riportati in Tabella 6-3.

RISULTATI DELLE ANALISI



ASCISSE DI CALCOLO

x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
-1,28	0,00	1,28	2,55	5,73	8,90	12,08	15,25	16,53	17,80	19,08

CEDIMENTI

δ1	δ2	δ3	δ4	δ5	δ6	δ7	δ8	δ9	δ10	δ11
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
-0,04	-0,37	-0,99	-1,65	-2,22	-2,33	-2,22	-1,65	-0,99	-0,37	-0,04

— M. Mancina, R. Nori, P. Iasiello - Progetti e Calcoli di Geotecnica con Excel vol.2 - ed. DEI—

Alla luce di tali risultati si ritiene che i cedimenti calcolati rispettino i criteri di ammissibilità sopra riportati.