

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

PROGETTISTA:

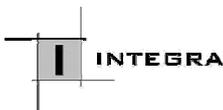
DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI

Dott. Geol. Attilio EUSEBIO

Ing. Piergiorgio GRASSO

Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche



PROGETTO ESECUTIVO

ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO- TELESE

RILEVATI E TRINCEE

Relazione geotecnica generale rilevati e trincee

APPALTATORE	IMPRESA PIZZAROTTI & C. s.p.a. Dott. Ing. Sabino DEL BALZO IL DIRETTORE TECNICO Ing. Sabino DEL BALZO 23/06/2020	SCALA: -
-------------	--	-----------------

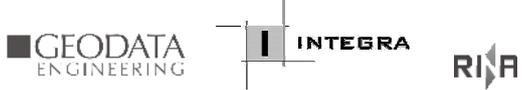
COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I F 2 6 1 2 E R H T R G E 0 0 0 0 0 0 2 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato / Data
A	Emissione	L. Landolfi	24/02/2020	A. Eusebio	24/02/2020	P. Grasso	24/02/2020	Dott. Geol. Attilio EUSEBIO
B	Emissione a seguito di istruttoria ITF	L. Landolfi	23/06/2020	A. Eusebio	23/06/2020	P. Grasso	23/06/2020	ATTILIO EUSEBIO DIRETTORE N. 36321 23/06/2020

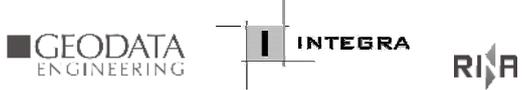
File: IF26.1.2.E.ZZ.RH.TR.00.0.0.002.B.doc

n. Elab.:

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO												
Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>RH</td> <td>TR0000 002</td> <td>B</td> <td>2 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	2 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	2 di 52								

Indice

1	GENERALITA'	3
1.1	UNITÀ DI MISURA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	ELABORATI DI RIFERIMENTO	4
4	SOFTWARE IMPIEGATI	4
5	MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO	5
5.1	DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INTERCETTATE	5
6	ANALISI DI STABILITÀ DELLE SCARPATE	7
6.1	DISPOSIZIONI GENERALI	7
6.2	METODOLOGIA DI CALCOLO	7
6.3	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO	9
6.4	CARICHI	10
6.5	AZIONE SISMICA	14
6.6	SEZIONI DI ANALISI.....	14
6.7	PARAMETRI GEOTECNICI DELLE UNITÀ NELLE SEZIONI DI ANALISI.....	15
6.8	ANALISI IN CONDIZIONI POST-LIQUEFAZIONE.....	15
6.9	RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITA'	17
6.9.1	RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ IN CONDIZIONI STATICHE E SISMICHE	17
6.9.2	RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITA' POST-LIQUEFAZIONE.....	35
6.9.3	RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITA' POST TRATTAMENTO.....	37
7	CALCOLO DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI	40
7.1	APPROCCIO DI CALCOLO.....	40
7.2	MODELLO DI CALCOLO	40
7.3	CARICHI	41
7.4	SEZIONI DI VERIFICA E MODELLI GEOTECNICI DI CALCOLO	41
8	RISULTATI DELLE ANALISI DI CEDIMENTO	52

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO												
Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>RH</td> <td>TR0000 002</td> <td>B</td> <td>3 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	3 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	3 di 52								

1 GENERALITA'

Il presente documento si inserisce nell'ambito della redazione degli elaborati tecnici del Progetto Esecutivo (PE) per il Raddoppio dell'Itinerario Ferroviario Napoli-Bari nella Tratta Canello–Benevento / Il Lotto Funzionale Frasso Telesino – Vitulano ed include le verifiche geotecniche dei rilevati ferroviari e delle trincee presenti lungo la tratta di studio, compresa tra le pk 16+500 e 27+700 Frasso Telesino – Telese.

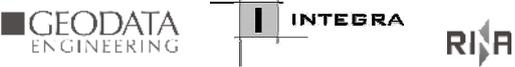
Le verifiche eseguite riguardano:

- la stabilità delle scarpate di rilevati e trincee, analizzata sia in condizioni statiche, sia sismiche
- la stima dei cedimenti dei rilevati

1.1 UNITÀ DI MISURA

Nel seguito si adotteranno le seguenti unità di misura:

- lunghezze ⇒ m, mm
- carichi ⇒ kPa, kN/m²
- azioni di calcolo ⇒ kN, kNm
- tensioni ⇒ N/mm²

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO					
Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TR0000 002	REV. B	FOGLIO 4 di 52

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- [N.1]. Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08 (NTC-2008).
- [N.2]. Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008.
- [N.3]. RFI DTC SI CS MA IFS 001 A del 30-12-16 - Manuale di Progettazione delle Opere Civili;
- [N.4]. RFI DTC SI SP IFS 001 A del 30-12-16 – Capitolato generale tecnico di Appalto delle opere civili;
- [N.5]. Regolamento (UE) N.1299/2014 della Commissione del 18 Novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema “infrastruttura” del sistema ferroviario dell'Unione europea;
- [N.6]. Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture, Parte 1-4: Azioni in generale (EN 1991-2:2003/AC:2010);

3 ELABORATI DI RIFERIMENTO

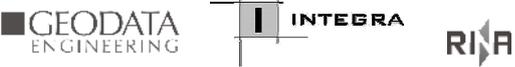
- [E.1]. IF26 12 EZZ RG GW0001 001 A – Raddoppio della tratta Canello-Benevento – Il lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Esecutivo. Relazione Geologica, geomorfologica ed idrogeologica – sub lotto 1;
- [E.2]. IF26 12 EZZ FZ GE0005 001 A ÷ IF26 12 EZZ FZ GE0005 008 A – Raddoppio della tratta Canello-Benevento – Il lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Esecutivo. Profilo geotecnico di linea sub lotto 1 (8 tavole formato A0);
- [E.3]. IF26 12 EZZ RB GE0005 001 A – Raddoppio della tratta Canello-Benevento – II° lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Esecutivo. Relazione geotecnica generale di linea delle opere di linea all'aperto – Sub lotto 1.
- [E.4]. IF26 12 EZZ RG GE0001 002 A - Raddoppio della tratta Canello-Benevento – II° lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Esecutivo. Relazione sismica – Sub Lotto1
- [E.5]. IF26 12 EZZ RB GE0005 002 A - Raddoppio della tratta Canello-Benevento – II° lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano. Progetto Esecutivo. Relazione intervento di consolidamento dei rilevati e trincee– Sub Lotto1.

4 SOFTWARE IMPIEGATI

Per le verifiche di stabilità delle scarpate di rilevati e trincee, e per la valutazione dei cedimenti dei rilevati sono stati impiegati i seguenti software di calcolo commerciali:

- SLIDE – Versione 2018 8.018, verifiche di stabilità con metodi di equilibrio limite su modelli 2D;
- SETTLE 3D – Versione 4.023, calcolo di cedimenti prodotti da carichi di geometria standardizzata 3D, su modelli di sottosuolo a morfologia regolare o complessa (3D).

Prodotti entrambe da Rocscience Inc.

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO					
Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TR0000 002	REV. B	FOGLIO 5 di 52

5 MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Il modello geotecnico di riferimento è definito nel dettaglio nella relazione geologica, morfologica ed idrologica, nella relazione geotecnica generale e relativi elaborati grafici, a cui si rimanda [E.1] , [E.2] , [E.3].

5.1 DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE INTERCETTATE

Con riferimento alla relazione geotecnica generale [E.3] di seguito si richiamano in sintesi le unità geotecniche individuate lungo il tracciato:

- **Terreno di riporto – Unità R:** si tratta dello spessore di terreno vegetale (Rv) costituito prevalentemente da limo sabbioso con resti vegetali e inclusi clasti e da terreno di riporto antropico (Ra) che nel caso in esame costituisce il rilevato ferroviario esistente;
- **Coltri eluvio-colluviali – Unità b2:** si tratta di argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore marrone, grigio e bruno-rossastro, a struttura indistinta, con talvolta resti vegetali, sporadici inclusi piroclastici e rare ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore marrone, grigio e giallastro, a struttura indistinta, con abbondanti resti vegetali, sporadici inclusi piroclastici e frequenti ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate.
- **Depositi alluvionali attuali e recenti (Unità geologica ba/bb):** si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine e conoide alluvionale. Si distinguono le seguenti litofacies:
 - **Unità ba1:** ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, marrone e giallastro, da scarsa ad abbondante.
 - **Unità ba2:** Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone, verde e giallastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con sporadici inclusi piroclastici e frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.
 - **Unità ba3:** Argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore marrone e bruno-rossastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con sporadici inclusi piroclastici e rare ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate.
- **Depositi alluvionali antichi (Unità geologica bc):** si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine, conoide alluvionale e piana inondabile. Si distinguono le seguenti litofacies:
 - **Unità bc1:** Ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose a sub-arrotondate, in matrice sabbiosa, sabbioso-limosa e limoso-argillosa di colore grigio, marrone e giallastro, da scarsa ad abbondante.
 - **Unità bc2:** Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e nocciola, a struttura indistinta o debolmente laminata, con sporadici inclusi piroclastici e frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.
 - **Unità bc3:** Argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore marrone, nocciola e bruno-rossastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con sporadici inclusi piroclastici e rare ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate; a luoghi si rinvengono passaggi di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e giallastro, a struttura indistinta, con sporadici inclusi piroclastici e frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.
 - **Unità bc4:** Travertini litoidi di colore avana e giallastro, vacuolari e debolmente stratificati, con abbondanti resti vegetali, locali gusci di molluschi, sporadici inclusi piroclastici e frequenti intercalazioni di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore nocciola e giallastro.
- **Depositi alluvionali terrazzati (Unità geologica bn):** si tratta di depositi continentali di canale fluviale, argine e conoide alluvionale. Si distinguono le seguenti litofacies:
 - **Unità bn1:** Ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, nocciola e giallastro, a luoghi da poco a moderatamente cementata; a luoghi si rinvengono lenti e/o livelli di conglomerati a clasti poligenici ed eterometrici, da sub-arrotondati ad arrotondati, in matrice sabbiosa e sabbiosolimosa di colore grigio e giallastro.

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO												
Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>RH</td> <td>TR0000 002</td> <td>B</td> <td>6 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	6 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	6 di 52								

- **Unità bn2:** Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio, marrone e nocciola, a struttura indistinta o debolmente laminata, con sporadici inclusi piroclastici e frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose a sub-arrotondate.
- **Tufo grigio campano (Unità geologica TGC):** si tratta di depositi vulcanici di colata ignimbratica. Si distinguono le seguenti litofacies:
 - **Unità TGC1:** Tufi lapidei di colore grigio, grigio-violaceo e grigio-nocciola, a struttura massiva, con diffuse pomici e scorie di dimensioni millimetriche e centimetriche e subordinati cristalli e litici lavici; verso l'alto passano a tufi lapidei di colore giallastro e nocciola-giallastro, a struttura massiva, con diffuse pomici e scorie di dimensioni millimetriche e centimetriche.
 - **Unità TGC2:** Ceneri a granulometria sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, nocciola e giallastro, a struttura indistinta, con diffuse pomici e scorie di dimensioni millimetriche e centimetriche e rare ghiaie poligeniche da angolose a sub-angolose; nella parte bassa della successione è localmente presente un livello di pomici grossolane di colore bianco-rosato, angolose e a struttura indistinta.
 - **Unità TGC3:** Argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio, nocciola e brunastro, a struttura indistinta, con diffuse pomici e scorie di dimensioni millimetriche e centimetriche e locali ghiaie poligeniche da angolose a sub-arrotondate, derivanti dall'alterazione e/o l'argillificazione dei depositi vulcanoclastici.
- **Unità di Maddaloni (Unità geologica MDL):** si tratta di depositi lacustri con frequenti intercalazioni fluviali e vulcanoclastiche. Si distinguono le seguenti litofacies:
 - **Unità MDL1:** Ghiaie poligeniche ed eterometriche, da sub-angolose ad arrotondate, in matrice sabbiosa, sabbioso-limosa e sabbioso-argillosa di colore grigio, nocciola e giallastro, da scarsa ad abbondante.
 - **Unità MDL2:** Sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio-verdastro, nocciola e giallastro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con diffusi inclusi piroclastici e frequenti ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate; talora sono presenti passaggi di ceneri a granulometria sabbiosa e sabbioso-limosa di colore grigio, marrone e giallastro, a struttura indistinta, con diffuse pomici e scorie di dimensioni millimetriche e centimetriche.
 - **Unità MDL3:** Argille limose, limi argillosi e limi argilloso-sabbiosi di colore grigio, nocciola e grigio-azzurro, a struttura indistinta o debolmente laminata, con diffusi inclusi piroclastici e locali ghiaie poligeniche da sub-angolose ad arrotondate.
 - **Unità MDL4:** Travertini litoidi di colore nocciola, avana e giallastro, vacuolari e debolmente stratificati, con resti vegetali, locali gusci di molluschi, inclusi piroclastici e intercalazioni di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di colore grigio e avana.

6 ANALISI DI STABILITÀ DELLE SCARPATE

6.1 DISPOSIZIONI GENERALI

Rilevati e trincee ferroviarie sono sagomati con pendenza delle scarpate 2 (verticale) / 3 (orizzontale) e berma intermedia di larghezza 2.0m, da realizzarsi se la profilatura implica che l'altezza della singola balza superi i 6.0m.

6.2 METODOLOGIA DI CALCOLO

Le verifiche di stabilità per le scarpate definitive sono state svolte sia in condizioni statiche, sia sismiche in accordo con quanto previsto da normativa di riferimento (NTC2008) e successivi aggiornamenti.

L'esame delle condizioni di stabilità globale è stato condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite, impiegando il codice SLIDE (2018 - Rocscience Inc.).

La valutazione dei fattori di sicurezza si basa sullo studio delle condizioni di equilibrio dei conci in cui può essere suddiviso il volume potenzialmente instabile, limitato inferiormente dalla superficie di potenziale scivolamento, assumendo:

1. Condizioni di deformazioni piane;
2. Superfici di scorrimento circolari o a geometria complessa (**Figura 1**).

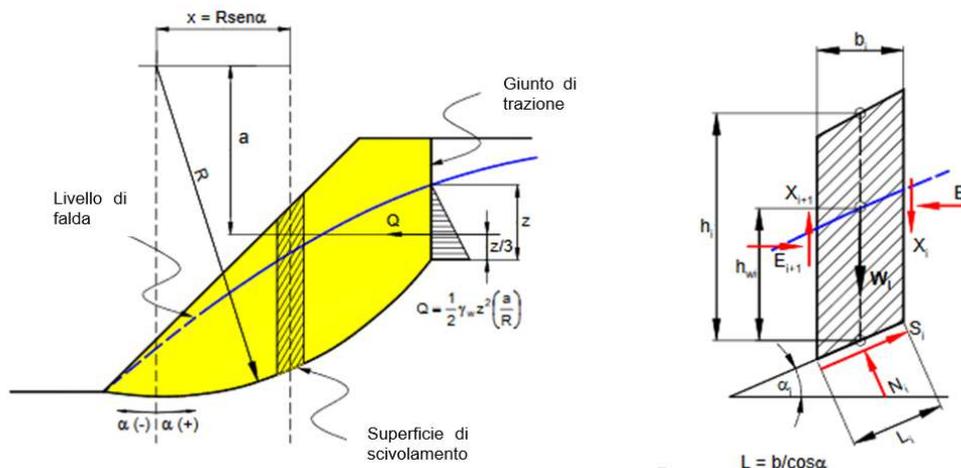


Figura 1 - Condizioni generali di equilibrio limite

In linea generale tutti i metodi che specializzano l'analisi limite utilizzano superfici di scivolamento circolari nel caso di sottosuoli in cui non è già definita una superficie di scivolamento progressa o particolari geometrie delle discontinuità. Nel caso specifico, le analisi sono state condotte con 3 metodi, confrontando le superfici individuate, ed assumendo, come rappresentativa, quella a cui corrisponde il minimo fattore di sicurezza.

I metodi utilizzati sono:

- GLE - Morgenstern and Price (1965);
- Bishop semplificato (1955);
- Janbu corretto (1973).

Nelle analisi sono state trascurate le superfici più corticali in quanto poco significative e per le quali non risulta idonea un'analisi convenzionale all'equilibrio limite.

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

$$FS = \frac{\int_S \tau_{dtsp}}{\int_S \tau_{mob}}$$

In accordo alla normativa di riferimento [N.1] per rilevati in materiali sciolti e fronti di scavo, le analisi di stabilità vengono condotte secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2 (DA1-C2): A2+M2+R2.

Nelle seguenti tabelle si specificano i valori dei coefficienti parziali da attribuire ai carichi nominali, ai materiali geotecnici e alle resistenze:

5.2.3.3.1 *Requisiti concernenti gli SLU*

Per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali in Tab. 5.2.V e i coefficienti di combinazione ψ in Tab. 5.2.VI.

Tabella 5.2.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU, eccezionali e sismica

		Coefficiente	EQ1 ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli	γ_{G1}	1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli	γ_{G2}	1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli	γ_B	1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli	γ_Q	1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli	γ_{Qi}	1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole	γ_P	1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti 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⁾ Aliquota di carico da traffico da considerare.
⁽⁶⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁷⁾ 1,20 per effetti locali

Nella Tab. 5.2.V 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.

Figura 2 - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU (Tabella 5.2.V – NTC 2008)

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO												
Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF26</td> <td style="text-align: center;">12 E ZZ</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">TR0000 002</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">9 di 52</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	9 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	9 di 52								

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	γ_M γ_ϕ	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	γ_c	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_γ	1,0	1,0

Figura 3 - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tabella 6.2.II – NTC 2008)

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

Figura 4 - Coefficiente parziale di resistenza globale per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo (Tabella 6.8.I – NTC 2008)

L'analisi in condizione sismica viene condotta considerando la stessa combinazione adottata in caso statico (DA1-C2), ma assumendo coefficienti parziali sulle azioni unitari (§7.11.1 NTC08).

In accordo alla normativa di riferimento NTC08, il fattore di sicurezza alla stabilità da verificare è dunque $FS \geq 1.1$ (sia in condizioni statiche sia sismiche).

6.3 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Il modello di calcolo è costruito sulla geometria della singola sezione di verifica, specificando le polilinee che definiscono i limiti esterni del dominio di calcolo e quelli interni tra gli strati delle unità geotecniche intercettate (**Figura 5**).

L'algoritmo di calcolo implementato nel software commerciale (SLIDE 2D), assunta la geometria del modello, traccia una serie di superfici di probabile scivolamento, nell'ambito dei limiti fissati dai margini esterni della sezione implementata (**Figura 5**), variando la geometria delle superfici e calcolando, per ognuna, il rapporto FS specificato al precedente paragrafo.

Nel caso di superfici di scivolamento circolari, il centro di ogni insieme di superfici varia all'interno di un campo definito da una griglia di possibili posizioni, oppure viene posizionato utilizzando un algoritmo logico, già implementato nel software, in funzione dei limiti esterni della sezione di calcolo (individuati dalla superficie esterna della scarpata, e dai limiti in orizzontale del modello). In ogni posizione del centro, viene calcolato il rapporto FS per tutte le superfici circolari compatibili coi limiti del modello. Il minimo assoluto, su tutte le possibili superfici di scivolamento, definisce il fattore di sicurezza del pendio in esame, nei confronti della stabilità.

In **Figura 5** è rappresentato in scala cromatica l'insieme dei valori del rapporto FS calcolato nell'ambito della griglia di punti definita tra i limiti orizzontali del modello. Sono rappresentate alcune delle superfici esaminate, ma, in particolare, è indicata la superficie di scivolamento cui compete il minimo del rapporto FS, quindi il fattore di sicurezza.

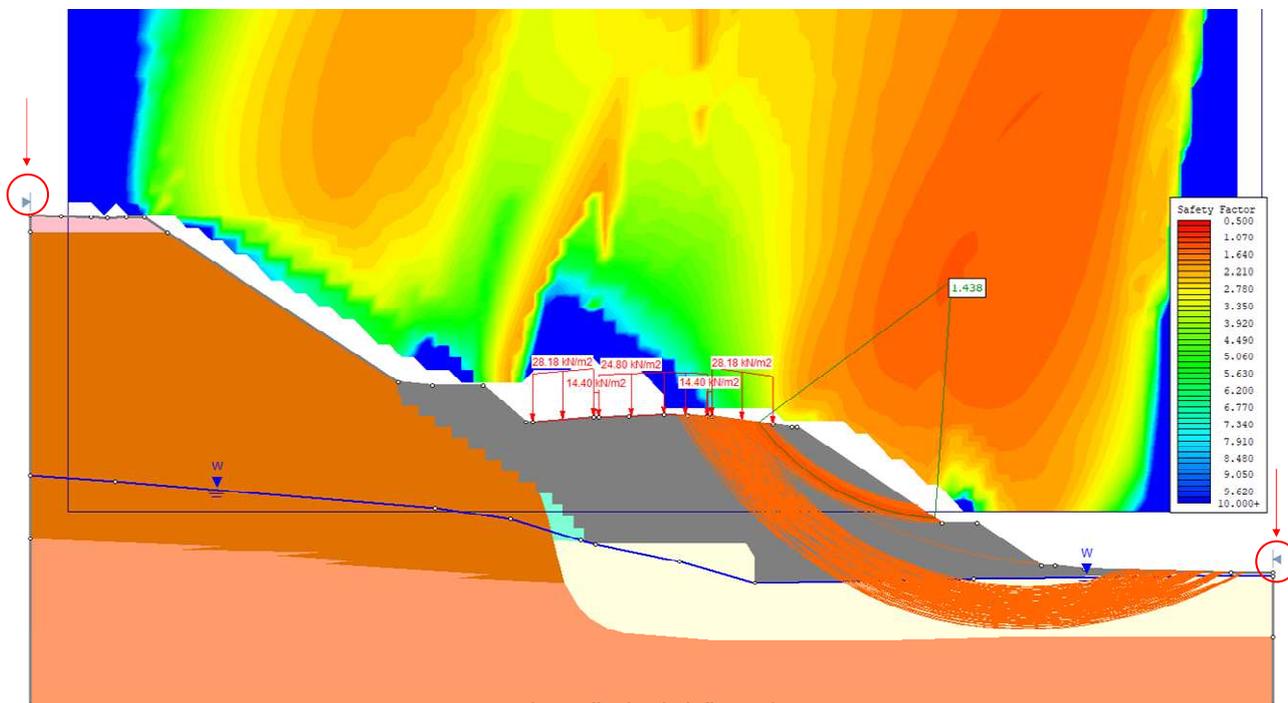


Figura 5 - Modello di calcolo per analisi di stabilità

6.4 CARICHI

Le analisi di stabilità dei rilevati ferroviari sono state eseguite considerando carichi permanenti e variabili in accordo alle S.T.I (Specifiche Tecniche di Interoperabilità – Rif. [N.5]) e alle prescrizioni contenute negli Eurocodici (Rif [N.6]). Oltre all'applicazione di carichi permanenti ($G_k=14.4\text{kPa}$) amplificati di un coefficiente parziale per le azioni $\gamma_G=1.3$ (Tab. 5.2.V NTC08), tali specifiche prevedono anche un carico variabile associato al traffico ferroviario, valutato secondo il modello di carico 71 (§6.3.2., EN 1991-2:2003/AC:2010).

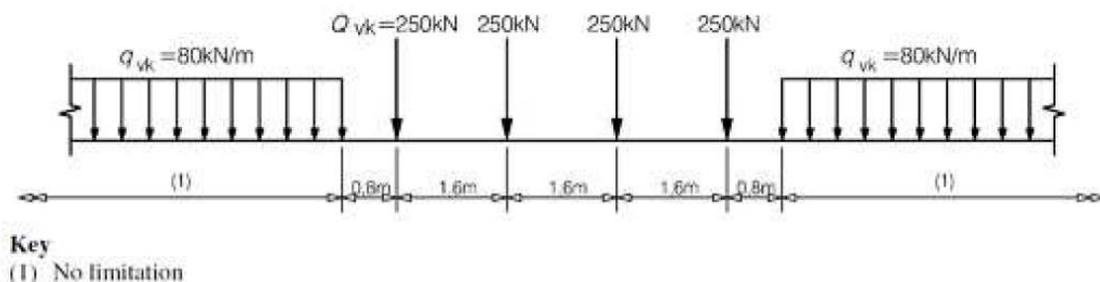
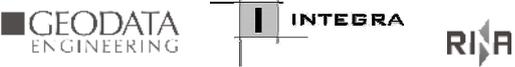


Figura 6 - Modello di carico 71 (§6.3.2., EN 1991-2:2003/AC:2010)

Il carico equivalente, da applicare ai rilevati ferroviari, si ricava dalla ripartizione trasversale e longitudinale dei carichi sopra citati, per effetto delle traverse e del ballast (in accordo a quanto previsto dalla norma EN 1991-1:2003). Considerando i 4 carichi assiali da 250 kN e la relativa distribuzione longitudinale, il contributo verticale equivalente, a metro lineare, agente al livello del ferro risulta pari a:

$$q_{vk} = (4 \cdot 250) / (0.8 + 3 \cdot 1.60 + 0.8) = 156,25$$

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO					
Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TR0000 002	REV. B	FOGLIO 11 di 52

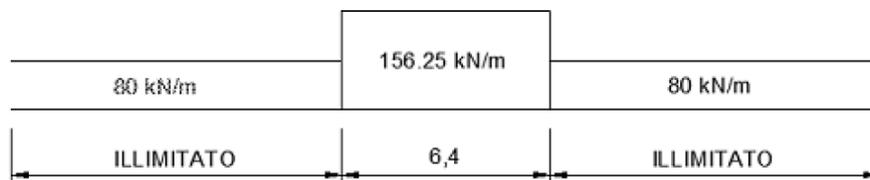


Figura 7 – Carico variabile associato al traffico ferroviario, al piano del ferro

Considerando la distribuzione trasversale dei carichi su una larghezza di 3.0 m (a 0.7 m dal piano del ferro), secondo quanto previsto dalla norma EN 1991-2:2003 punto 6.3.6.4, si ottiene il carico equivalente unitario agente alla quota della piattaforma ferroviaria, come indicato nella seguente figura:

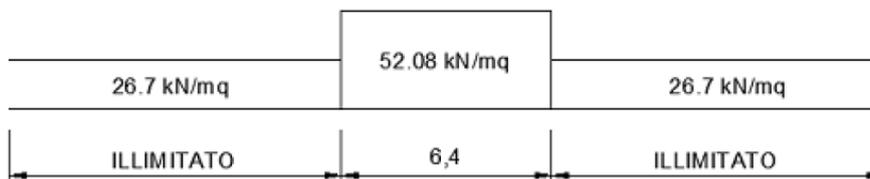


Figura 8 - Carico variabile associato al traffico ferroviario, al livello della piattaforma ferroviaria

A tali carichi si dovrà applicare il coefficiente α relativo alle categorie di traffico previste nelle Specifiche Tecniche di Interoperabilità (STI), come indicato nella **Tabella 1**.

Fattore alfa (α) per la progettazione di strutture nuove	
Tipo di traffico	Valore minimo del fattore alfa (α)
P1, P2, P3, P4	1,0
P5	0,91
P6	0,83
P1520	Punto in sospenso
P1600	1,1
F1, F2, F3	1,0
F4	0,91
F1520	Punto in sospenso
F1600	1,1

Tabella 1 - Fattore α per la progettazione di strutture nuov

Tale fattore è assunto pari ad 1.0, valido sia per la categoria di traffico passeggeri (P2) sia per il traffico merci (F1). Nelle seguenti tabelle si riportano, in sintesi, i carichi della sovrastruttura ferroviaria applicati nelle due condizioni (statica e sismica), in accordo alle indicazioni fornite dalle STI e allo schema mostrato in **Figura 9**:

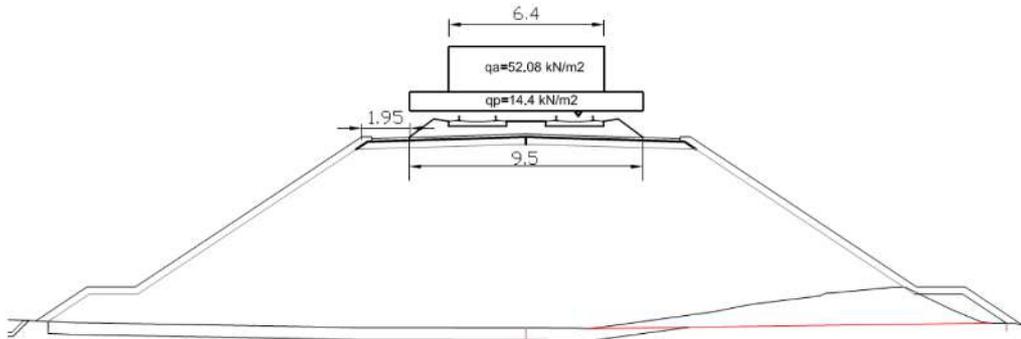


Figura 9 - Schema carichi applicati (in accordo alle S.T.I)

	Carico permanente			Carico variabile		
	G_k (kPa)	γ_G (-)	G_d (kPa)	Q_k (kPa)	γ_Q (-)	Q_d (kPa)
Condizione statica	14.4	1.3	18.7	52.08	1.3	67.7

Tabella 2 - Carichi sovrastruttura ferroviaria – Condizione statica

	Carico permanente			Carico variabile			
	G_k (kPa)	γ_G (-)	G_d (kPa)	Q_k (kPa)	γ_Q (-)	Ψ (-)	Q_d (kPa)
Condizione sismica	14.4	1.0	14.4	52.08	1.0	0.2 (*)	10.4

(*) Coefficiente di combinazione (§3.2.4 NTC08)

Tabella 3 - Carichi sovrastruttura ferroviaria – Condizione sismica

Ai carichi precedentemente illustrati, per i rilevati ferroviari dotati di marciapiede FFP “Fire Fighting Point” (senza barriera acustica), occorrerà aggiungere i seguenti contributi (**Figura 10**):

- carico permanente medio per una larghezza di marciapiede di 3.7 m pari a 26.4 kN/m²;
- carico variabile pari a 8.9 kN/m².

MARCIAPIEDI FFP							
AZIONI MARCIAPIEDE senza BARRIERA ACUSTICA							
- Larghezza soletta inferiore		3.7 m					
- Spessore soletta inferiore		0.3 m	peso soletta inf			27.75 kN/m	
- Larghezza magrone di spessoramento interno		2.9 m					
- Spessore soletta inferiore		0.15 m	peso spessoram. inf			10.88 kN/m	
- Larghezza soletta superiore		3.7 m					
- Spessore soletta superiore		0.25 m	peso soletta sup			23.13 kN/m	
- Altezza muro lato piattaforma		1.8 m					
- Spessore muro lato piattaforma		0.4 m	peso muro lato piatt.			18.00 kN/m	
- Altezza muro lato esterno		1.8 m					
- Spessore muro lato esterno		0.4 m	peso muro lato esterno			18.00 kN/m	
					Ntot	97.75 kN/m	
LARGHEZZA base MARCIAPIEDE		3.7 m					
CARICO PERMANENTE MEDIO					G=	26.42 kN/m2	
CARICO VARIABILE mediato		=10*(3,3/3,7)			Q=	8.92 kN/m2	

Figura 10 - Azioni dovute al marciapiede FFP (senza barriera acustica)

Nelle seguenti tabelle sono riportati, in sintesi, i carichi dovuti al marciapiede FFP applicati nelle due condizioni (statica e sismica):

	Carico permanente			Carico variabile		
	G _k (kPa)	γ _G (-)	G _d (kPa)	Q _k (kPa)	γ _Q (-)	Q _d (kPa)
Condizione statica	26.42	1.3	34.35	8.9	1.3	11.57

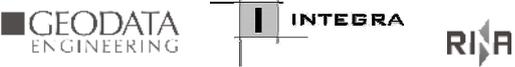
Tabella 4 - Carichi marciapiede FFP – Condizione statica

	Carico permanente			Carico variabile			
	G _k (kPa)	γ _G (-)	G _d (kPa)	Q _k (kPa)	γ _Q (-)	Ψ (-)	Q _d (kPa)
Condizione sismica	26.42	1.0	26.42	8.9	1.0	0.2 (*)	1.78

(*) Coefficiente di combinazione (§3.2.4 NTC08)

Tabella 5 - Carichi marciapiede FFP – Condizione sismica

Le analisi di stabilità degli scavi in trincea sono state condotte, adottando un approccio conservativo, senza considerare alcun valore di carico alla base della scarpata, sulla piattaforma ferroviaria, dal momento che esso avrebbe rappresentato, in ogni caso, un contributo stabilizzante.

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO					
Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TR0000 002	REV. B	FOGLIO 14 di 52

6.5 AZIONE SISMICA

Le analisi di stabilità in condizione sismica sono state eseguite applicando l'approccio pseudo-statico. Esso simula l'azione sismica attraverso azioni inerziali (F_h , F_v) equivalenti a quelle dinamiche, come indicato dalle seguenti relazioni:

$F_h = \gamma \cdot k_h$ (forza orizzontale per unità di volume);

$F_v = \gamma \cdot k_v$ (forza verticale per unità di volume)

dove:

γ è peso specifico del volume considerato;

K_h e K_v sono i coefficienti sismici per la definizione dell'azione inerziale, dati dalle formulazioni seguenti ([N.1]):

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

$$k_v = \pm k_h / 2$$

dove:

β_s è il coefficiente di riduzione, funzione dell'accelerazione massima attesa e della categoria del sottosuolo, assunto pari a 0.28 per il caso in esame ([N.1]);

a_{max} / g è accelerazione massima al suolo pari a $ag \cdot S_s \cdot S_T / g$, con S_s e S_T rispettivamente i fattori di amplificazione stratigrafica e topografica.

Come specificato nel documento specifico (E.4) l'infrastruttura in progetto ricade in due zone sismiche:

- Zona sismica S1 – da pk 16+500 a pk 22+500 (Dugenta/Frasso – Amorosi):

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max} / g = 0.28 \cdot 0.36 = 0.10$$

$$k_v = \pm k_h / 2 = \pm 0.05$$

- Zona sismica S2 – da pk 22+500 a pk 30+000 (Amorosi - Solopaca):

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max} / g = 0.28 \cdot 0.40 = 0.112$$

$$k_v = \pm k_h / 2 = \pm 0.056$$

6.6 SEZIONI DI ANALISI

Le analisi di stabilità per le scarpate dei rilevati e delle trincee ferroviarie sono state condotte sulle sezioni rappresentative delle condizioni di maggiore criticità, in termini di massima altezza di rilevato o trincea e peggiori condizioni geotecniche di sottosuolo:

1. Sezione pk 16+500 – Trincea ($H_{max} \approx 3m$), zona sismica S1;
2. Sezione pk 17+000 – Trincea ($H_{max} \approx 5m$), zona sismica S1;
3. Sezione pk 17+391 – Rilevato ($H_{max} \approx 7m$), sovrapposizione con il rilevato esistente, zona sismica S1;
4. Sezione pk 19+300 – Trincea ($H_{max} \approx 7m$), zona sismica S1;
5. Sezione pk 21+350 – Rilevato ($H_{max} \approx 8m$), interferenza con il rilevato esistente, zona sismica S1;
6. Sezione pk 21+890 – Rilevato ($H_{max} \approx 8m$), sottosuolo suscettibile a liquefazione, zona sismica S1;
7. Sezione pk 25+300 – Rilevato ($H_{max} \approx 11m$), sottosuolo suscettibile a liquefazione, demolizione del rilevato esistente e presenza del marciapiede FFP, zona sismica S2;
8. Sezione pk 25+750 – Rilevato ($H_{max} \approx 6.5m$), sottosuolo suscettibile a liquefazione, demolizione del rilevato esistente, zona sismica S2;
9. Sezione pk 26+950 – Trincea ($H_{max} \approx 4.5m$), sottosuolo suscettibile a liquefazione, zona sismica S2.

Per le sezioni in tratte suscettibili a liquefazione è stata eseguita la verifica di stabilità in condizioni post-sismiche.

6.7 PARAMETRI GEOTECNICI DELLE UNITÀ NELLE SEZIONI DI ANALISI

I parametri geotecnici adottati per ciascun materiale sono riportati nella seguente tabella:

Unità	Descrizione	VALORI CARATTERISTICI				VALORI di PROGETTO			
		γ [kN/m ³]	ϕ'_k [°]	ϕ'_k [rad]	C_k [kPa]	$\tan \phi'_d$	ϕ'_d [rad]	ϕ'_d [°]	C'_d [kPa]
Ra	Rilevato ferroviario	20	38	0.66	0	0.63	0.56	32.01	0.0
Ra	Rilevato ferroviario esistente	20	35	0.61	0	0.56	0.51	29.26	0.0
b2	Limo argilloso	19	25	0.44	5	0.37	0.36	20.46	4.0
ba1	Ghiaia sabbiosa	19	38	0.66	0	0.63	0.56	32.01	0.0
bc2/ba2	Sabbia, sabbia limosa	19	33	0.58	0	0.52	0.48	27.45	0.0
bc3/ba3	Argille limose	19	25	0.44	5	0.37	0.36	20.46	4.0
TGC2	Ceneri sabbioso limose	18.5	33	0.58	6	0.52	0.48	27.45	4.8
MDL1	Ghiaie in matrice sabbiosa	20	38	0.66	0	0.63	0.56	32.01	0.0
MDL2	Sabbia, sabbia limosa	20	32	0.56	0	0.50	0.46	26.56	0.0
MDL3	Argille limose	20	24	0.42	10	0.36	0.34	19.61	8.0
MDL4	Travertini – Unità litoide	20	34	0.59	30	0.54	0.49	28.35	24.0

Tabella 6 – Parametri geotecnici di progetto per le unità intercettate dalle sezioni di analisi

Il livello di falda, ove presente, è stato definito in accordo alle letture piezometriche massime rilevate. Nelle verifiche è stato assunto cautelativamente un valore maggiorato fino a +2m tenendo conto di una probabile oscillazione stagionale della falda e di condizioni possibili e più gravose a lungo termine.

6.8 ANALISI IN CONDIZIONI POST-LIQUEFAZIONE

In corrispondenza delle sezioni tracciate alle pk 21+890, 25+300, 25+750 e 26+950 sono state eseguite analisi di stabilità in condizioni post liquefazione, in cui, per le formazioni sabbiose liquefacibili ba2 e bc2 la resistenza a taglio è pari a quella residua, stimata secondo quanto descritto nella relazione sismica generale [E.4] e quantificata dai valori di progetto dell'angolo di resistenza a taglio residuo riportati nella seguente Tabella 7.

Gli intervalli di valori della resistenza residua adimensionalizzata sono stati ricavati dall'elaborazione delle prove penetrometriche di riferimento per le tratte in esame (in parentesi il valore caratteristico). Il valore di progetto $\phi'_{res,d}$ è definito applicando il coefficiente riduttivo di norma $\gamma_{\phi'} = 1.25$ (M2) al valore caratteristico.

ZONA	SEZIONE	pk [km]	SONDAGGI E PROVE IN SITU DI RIFERIMENTO	S_r / σ'_v ($\tan \phi'_{res}$)	$(\tan \phi'_{res}) / 1.25$	$\phi'_{res,d}$
A	A.1	21+890	D6bis, IF15P08 (PD); SPE13, SPE15, CPTUPE08 (PE)	0.05 – 0.22 (0.10)	0.08	5
B	B.1 B.2	25+300 25+750	IF15R55, CPTU05 (PD); SPE24 (PE).	0.06 – 0.22 (0.16)	0.13	7
C	C.1	26+950	IF15S09, IF15R10 (PD); SPE20, SPE21, SPE25, CPTUPE09 (PE).	0.06 – 0.15 (0.13)	0.10	6

Tabella 7 – Valori caratteristici della resistenza residua

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO												
Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>RH</td> <td>TR0000 002</td> <td>B</td> <td>16 di 52</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	16 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	16 di 52								

Le analisi di stabilità sono state eseguite nella sola condizione statica, considerato che rappresentano verifiche di sicurezza allo SLU post-sismiche. L'approccio di verifica NTC2008 è sempre dato dalla combinazione A2+M2+R2.

I carichi trasmessi dalla sovrastruttura ferroviaria sono gli stessi indicati al precedente paragrafo 6.3.

Le caratteristiche fisiche e di resistenza dei terreni delle unità geotecniche non liquefacibili coinvolte sono riportati in **Tabella 7**.

6.9 RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITA'

6.9.1 RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ IN CONDIZIONI STATICHE E SISMICHE

Si riportano di seguito i risultati delle verifiche di stabilità eseguite per ciascuna sezione, sia in condizioni statiche sia sismiche. Nelle immagini è rappresentato il modello geotecnico implementato ed è indicata la superficie di scivolamento associata al fattore di sicurezza.

- **Sezione 16+500** – Trincea ($H \approx 3m$), inclinazione sull'orizzontale

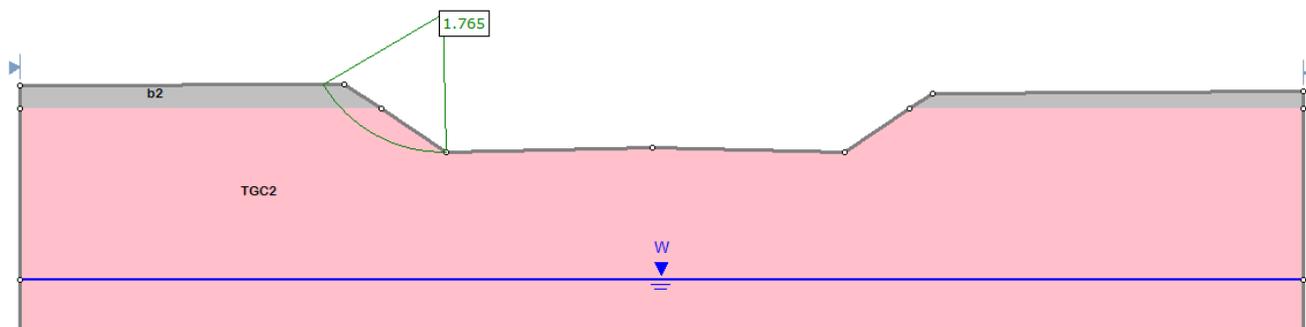


Figura 11 - Sezione 16+500 – Trincea ($H \approx 3m$) – Analisi statica – FS=1.76

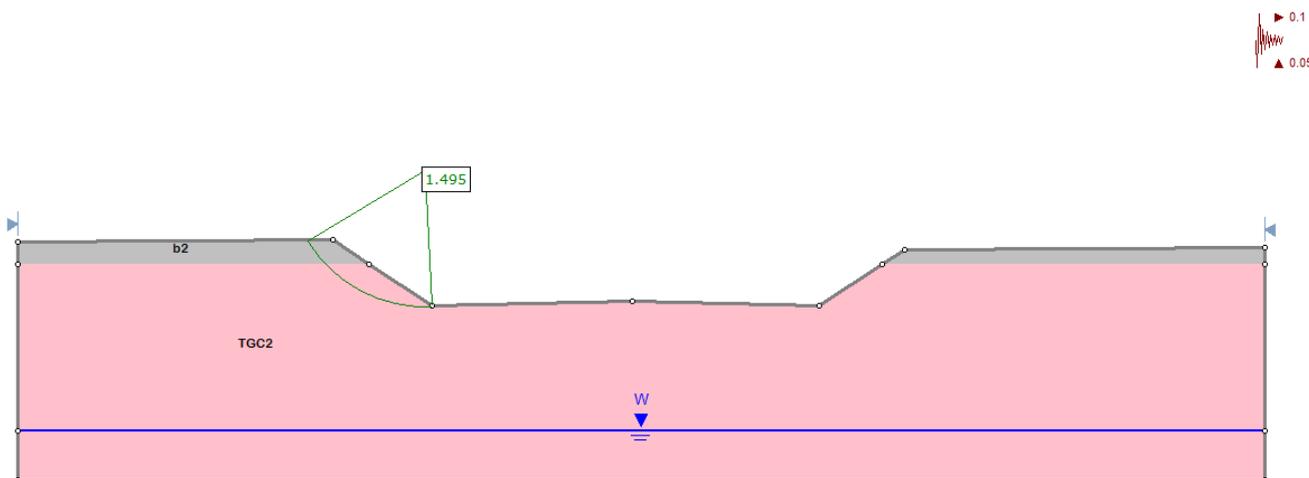


Figura 12 - Sezione 16+500 – Trincea ($H \approx 3m$) – Analisi sismica (-kv) – FS=1.49

Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	18 di 52

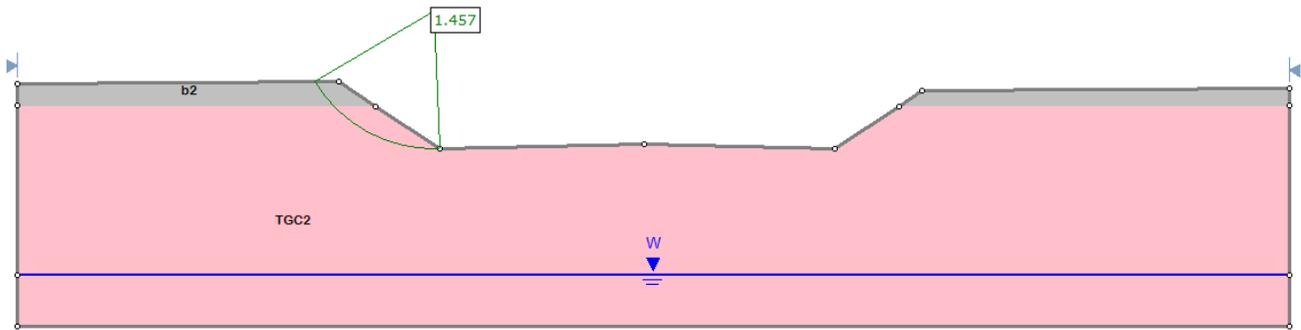


Figura 13 - Sezione 16+500 – Trincea (H≈3m) – Analisi sismica (+kv) – FS=1.46

- **Sezione 17+000 – Trincea (H≈5m)**

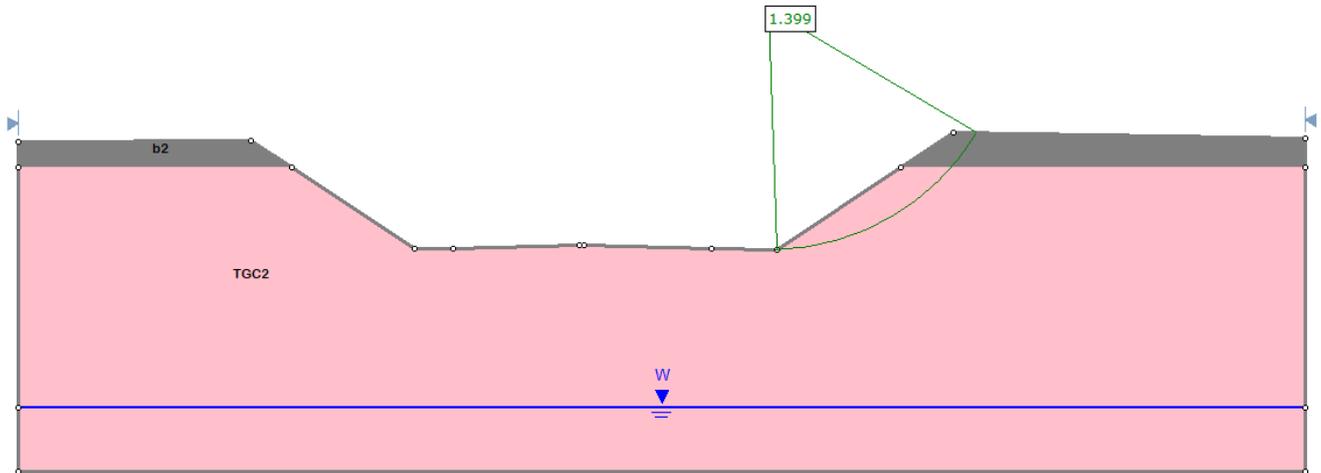


Figura 14 - Sezione 17+000 – Trincea (H≈5m) – Analisi statica – FS=1.40

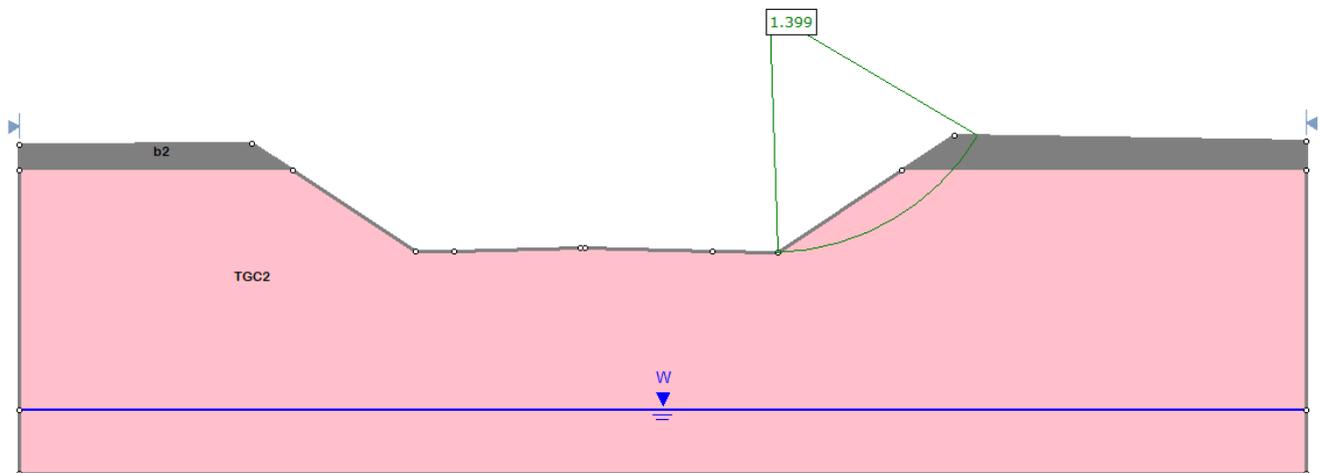


Figura 15 - Sezione 17+000 – Trincea (H≈5m) – Analisi sismica (-kv) – FS=1.18

Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	20 di 52

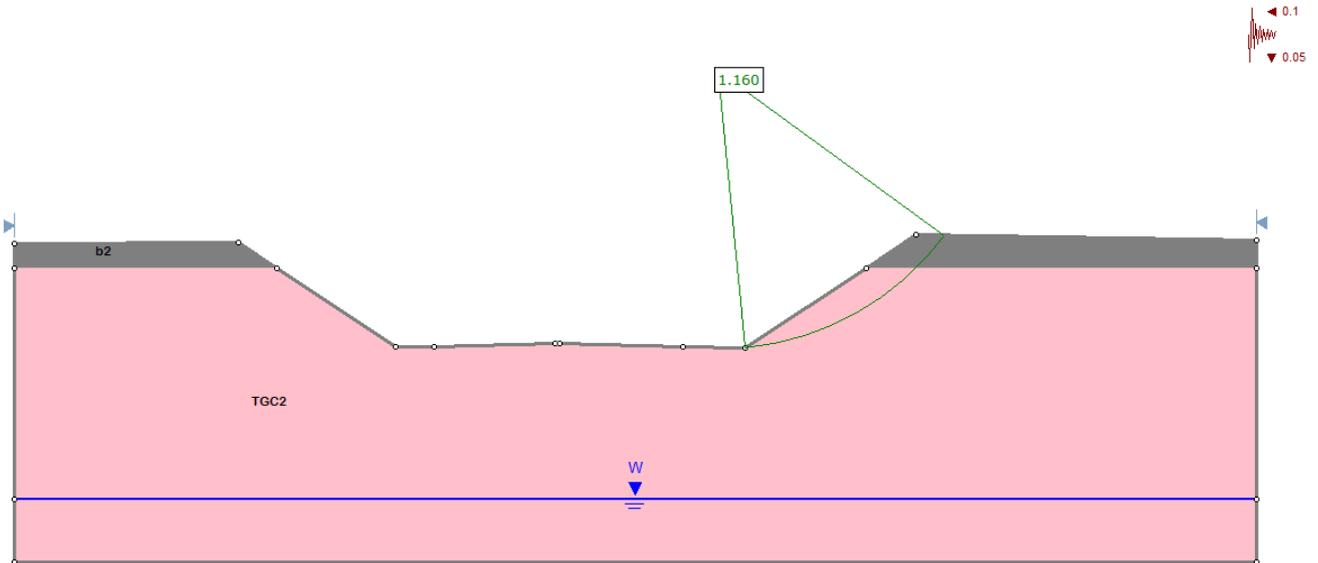


Figura 16 - Sezione 17+000 – Trincea (H≈5m) – Analisi sismica (+kv) – FS=1.16

- **Sezione 17+391 – Rilevato (H≈7m)**

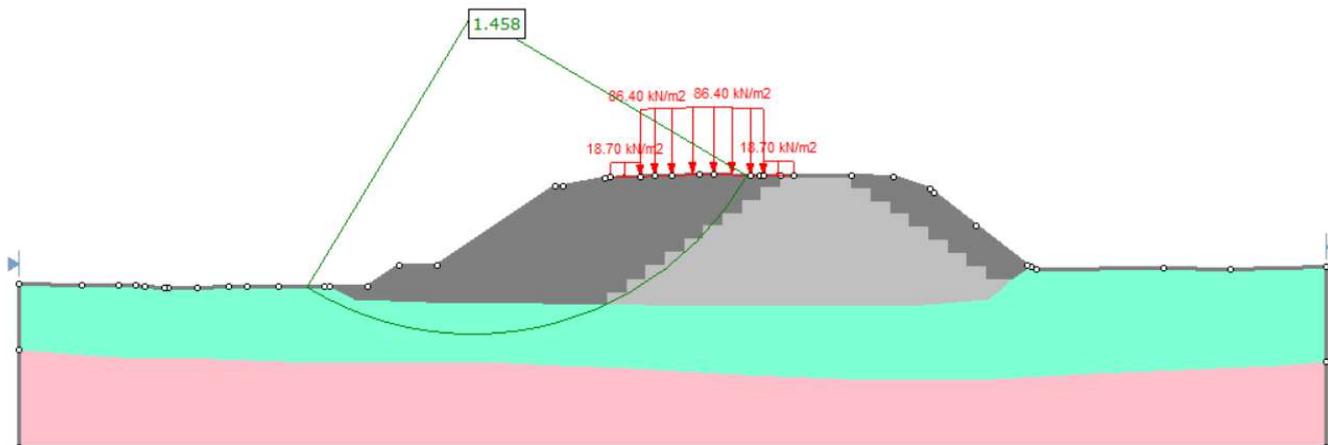


Figura 17 - Sezione 17+391 – Rilevato (H≈7m) – Analisi statica – FS=1.45

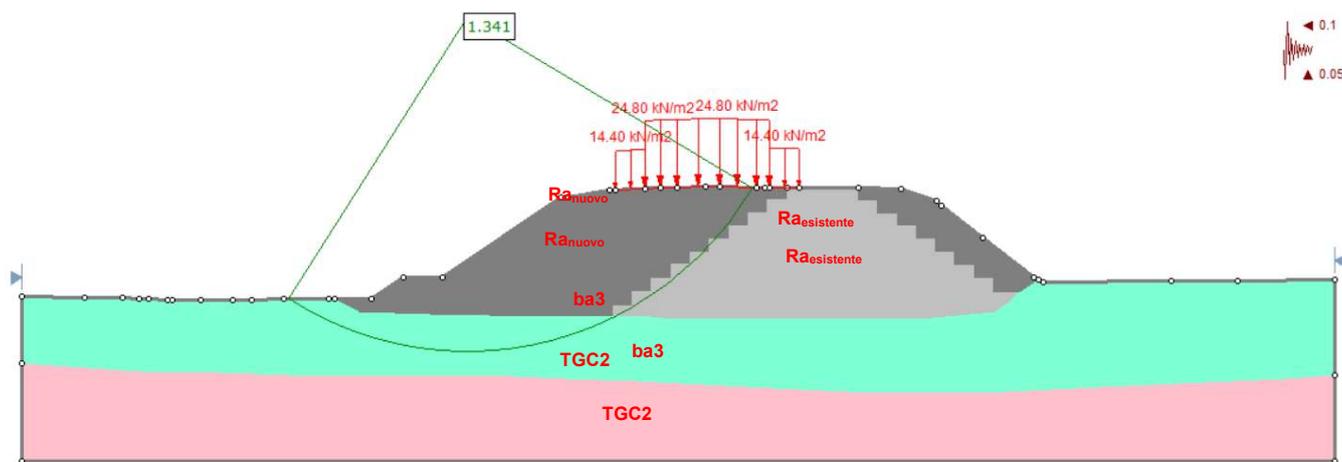


Figura 18: Sezione 17+391 – Rilevato (H≈7m) – Analisi sismica (-kv) – FS=1.34

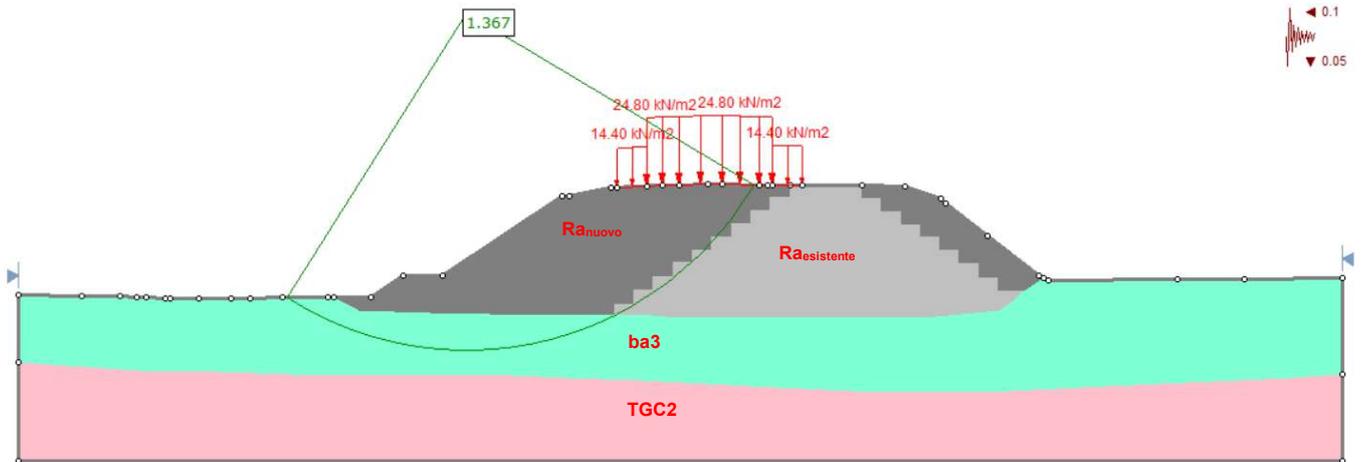


Figura 19: Sezione 17+391 – Rilevato (H≈7m) – Analisi sismica (+kv) – FS=1.37

- **Sezione 19+300 – Trincea H≈7m)**

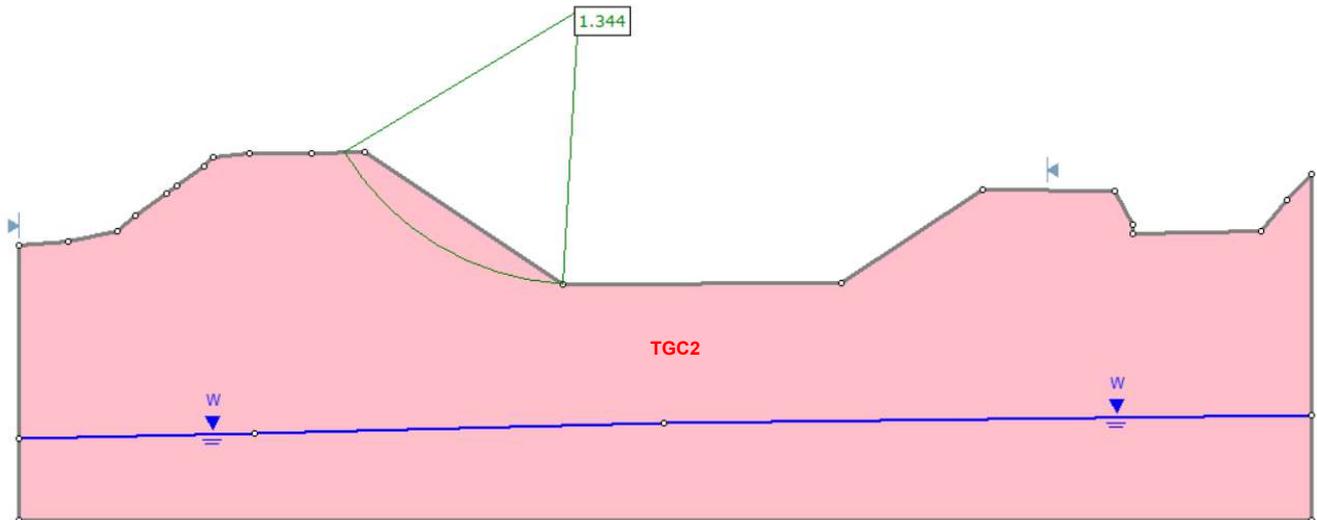


Figura 20: Sezione 19+300 – Trincea (H≈7m) – Analisi statica – FS=1.34

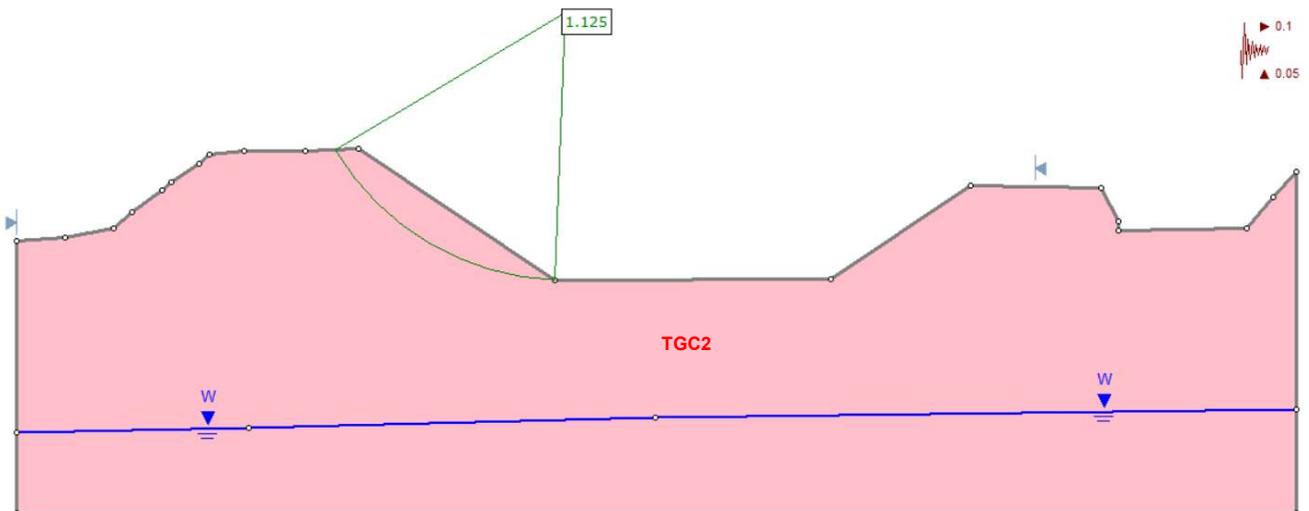


Figura 21: Sezione 19+300 – Trincea (H≈7m) – Analisi sismica (-kv) – FS=1.12

Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	24 di 52

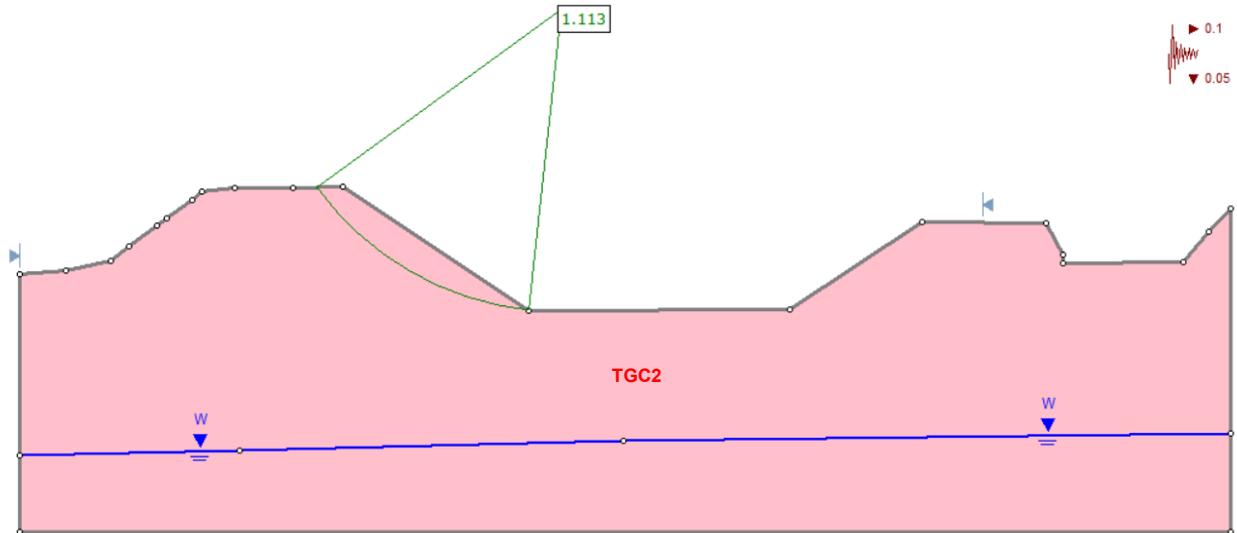


Figura 22: Sezione 19+300 – Trincea (H≈7m) – Analisi sismica (+kv) – FS=1.11

- **Sezione 21+350 – Rilevato H≈8m)**

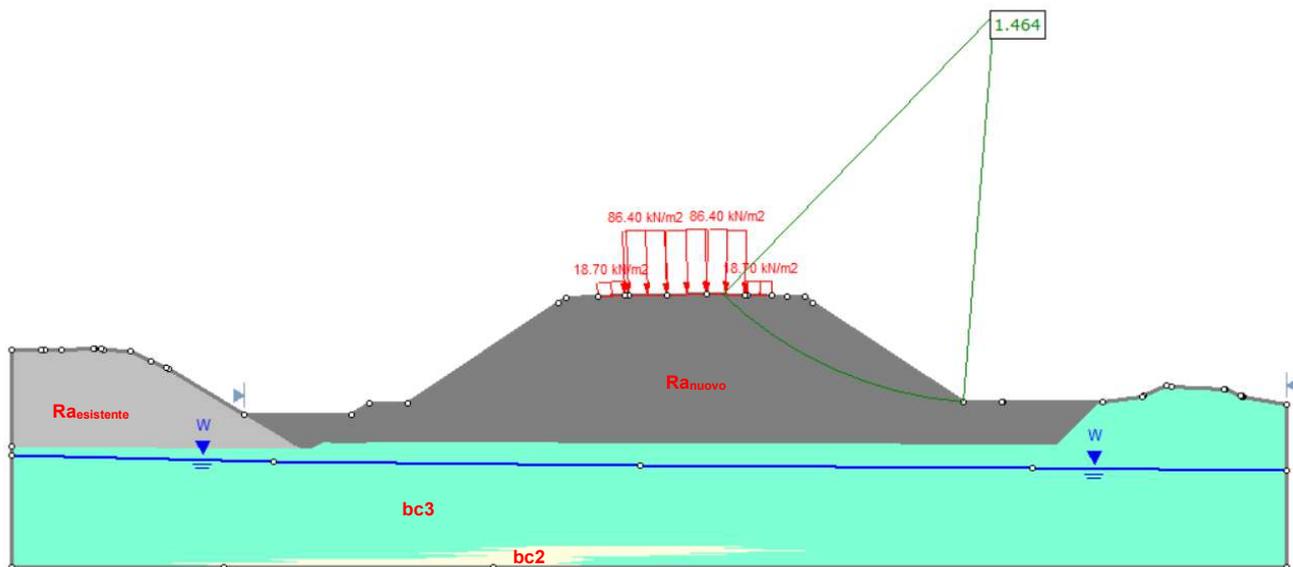


Figura 23: Sezione 21+350 – Rilevato (H≈8m) – Analisi statica – FS=1.46

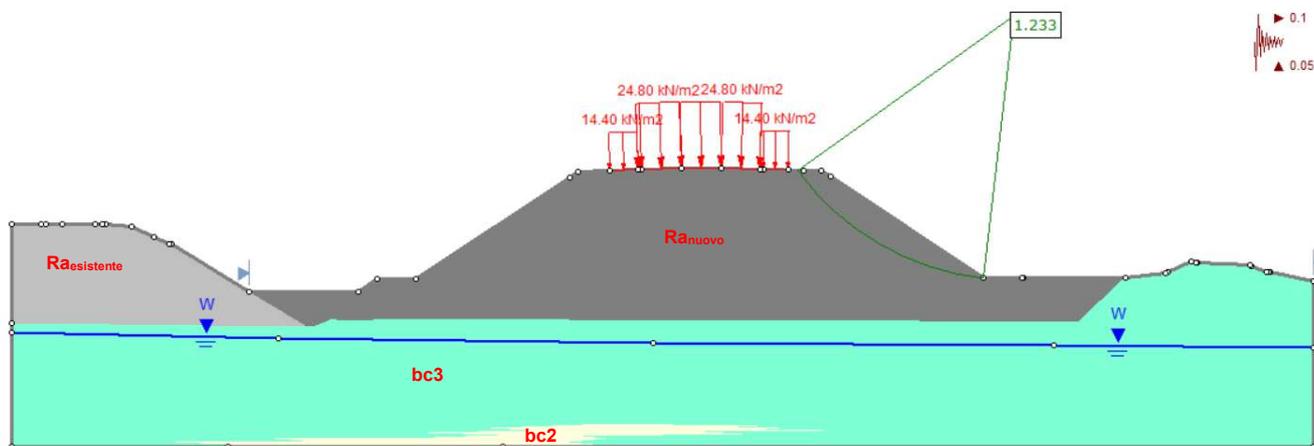


Figura 24: Sezione 21+350 – Rilevato (H≈8m) – Analisi sismica (-kv) – FS=1.23

Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	26 di 52

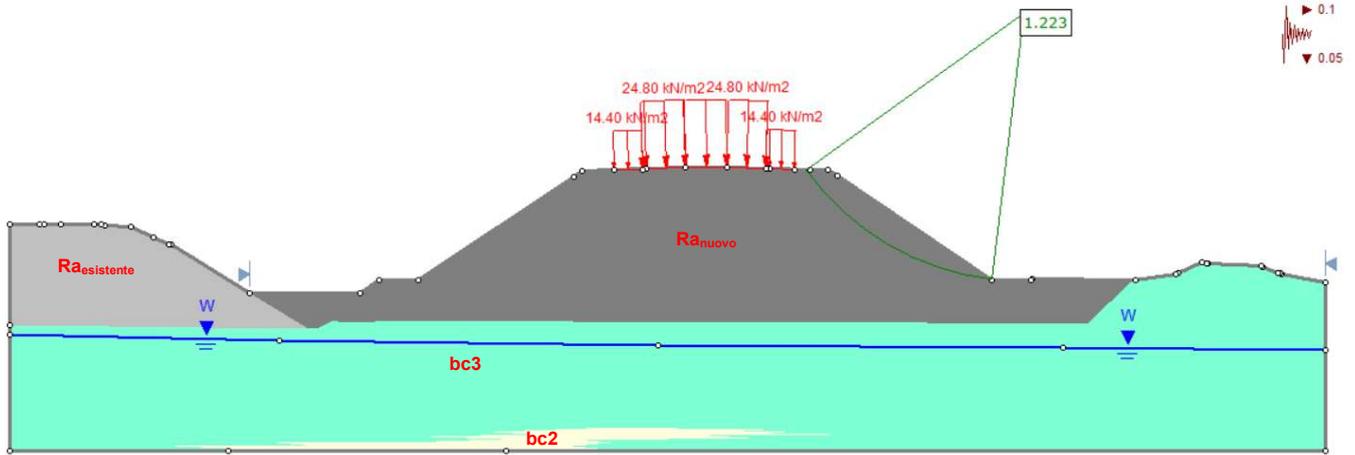


Figura 25: Sezione 21+350 – Rilevato (H≈8m) – Analisi sismica (+kv) – FS=1.22

- **Sezione 21+890 – Rilevato (H≈6m)**

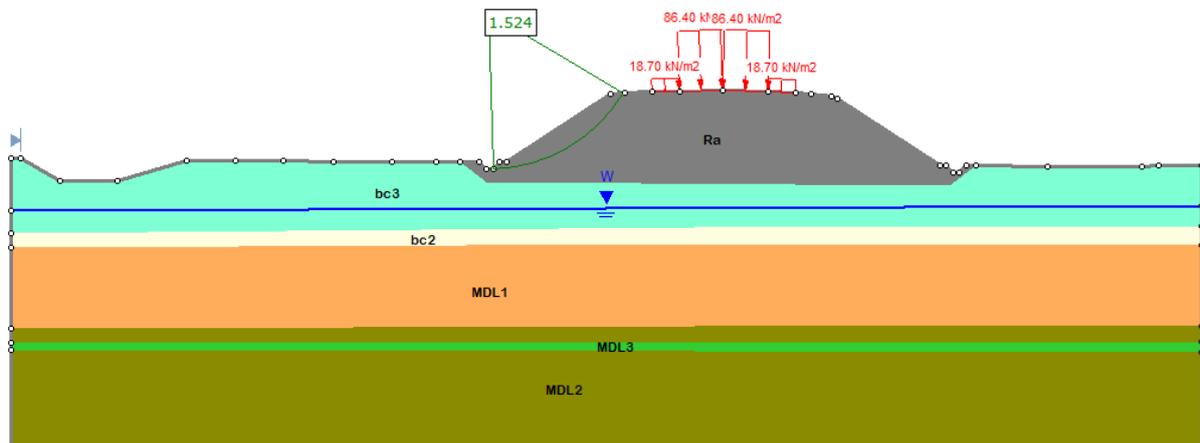


Figura 26: Sezione 21+890 – Rilevato (H≈6m) – Analisi statica – FS=1.52

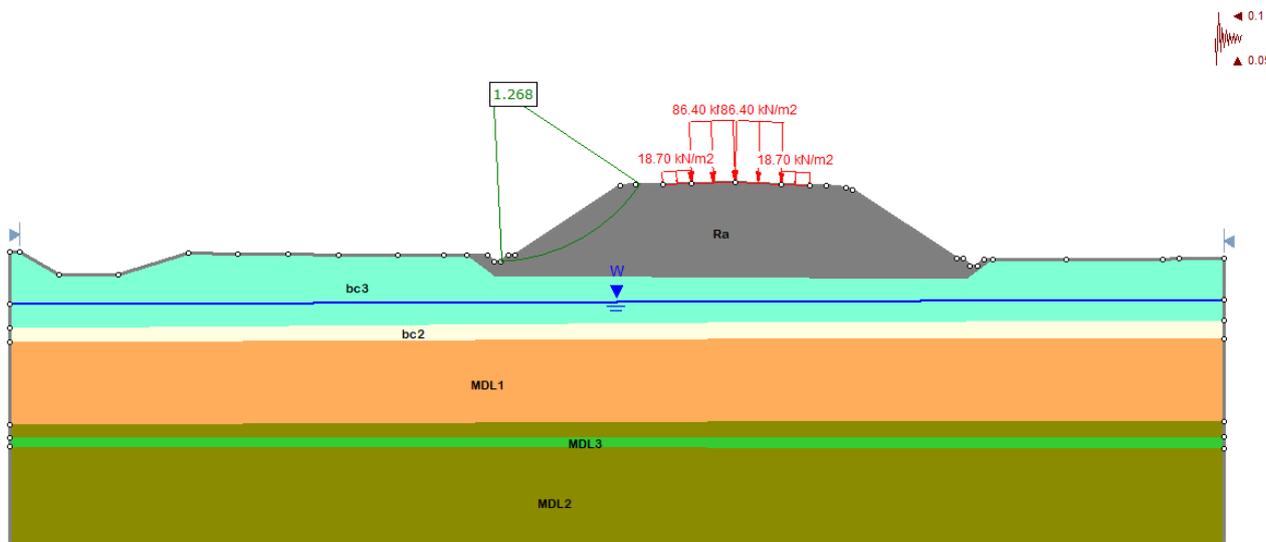


Figura 27: Sezione 21+890 – Rilevato (H≈6m) – Analisi sismica (-kv) – FS=1.27

Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	28 di 52

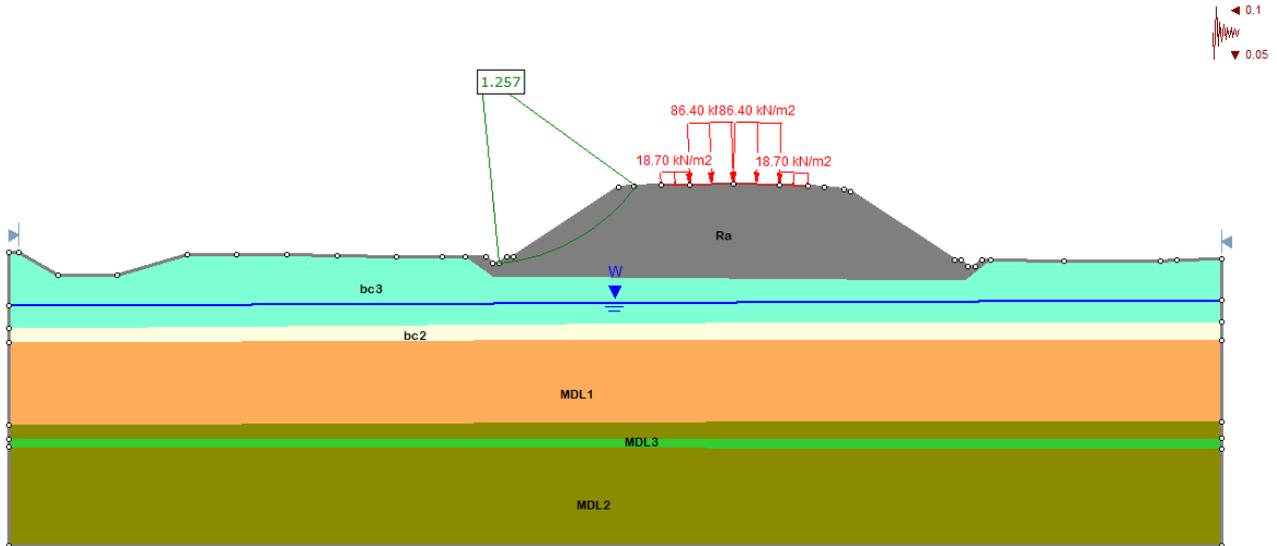


Figura 28: Sezione 21+890 – Rilevato (H≈6m) – Analisi sismica (+kv) – FS=1.26

- **Sezione 25+300 – Rilevato H≈11m) – con marciapiede FFP**

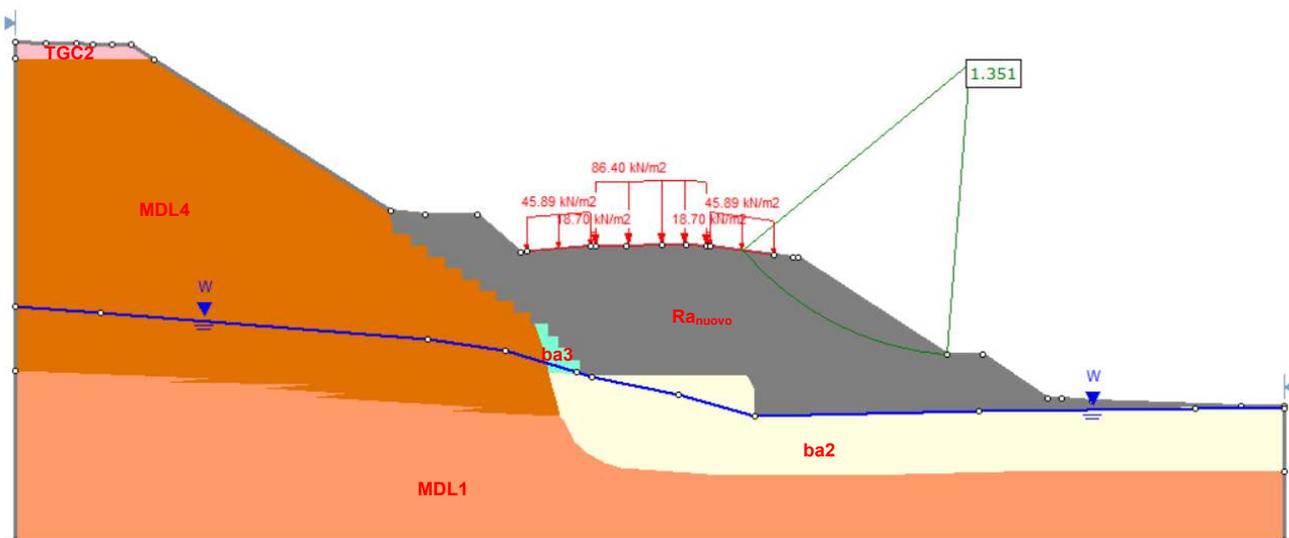


Figura 29: Sezione 25+300 – Rilevato (H≈11m) – Analisi statica – FS=1.35

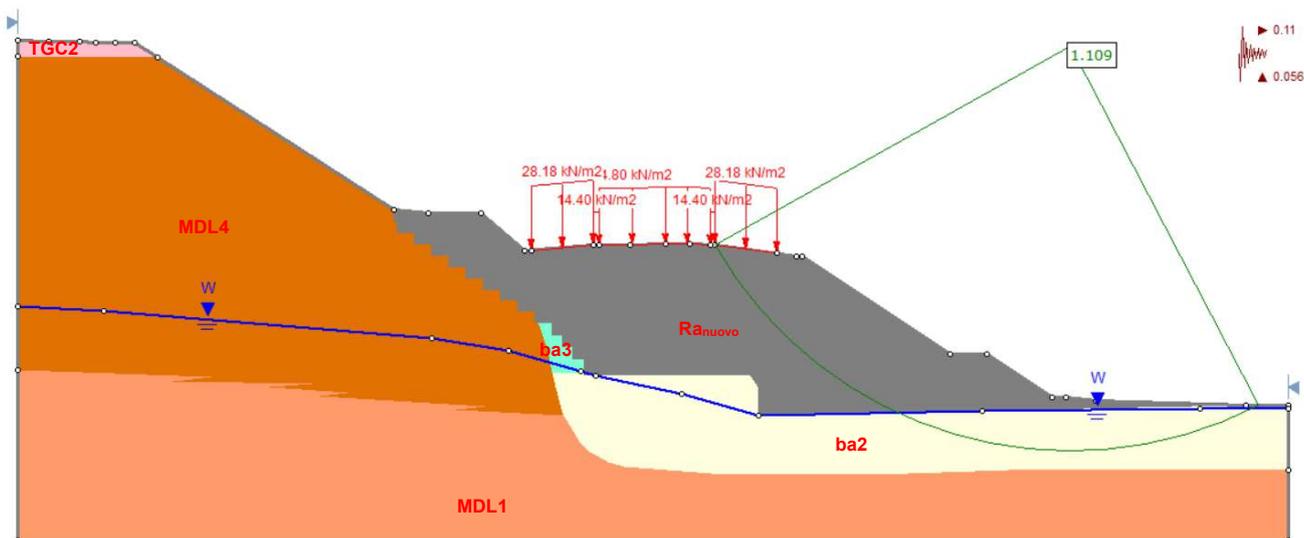


Figura 30: Sezione 25+300 – Rilevato (H≈11m) – Analisi sismica (-kv) – FS=1.11

- **Sezione 25+750 – Rilevato H≈6.5m)**

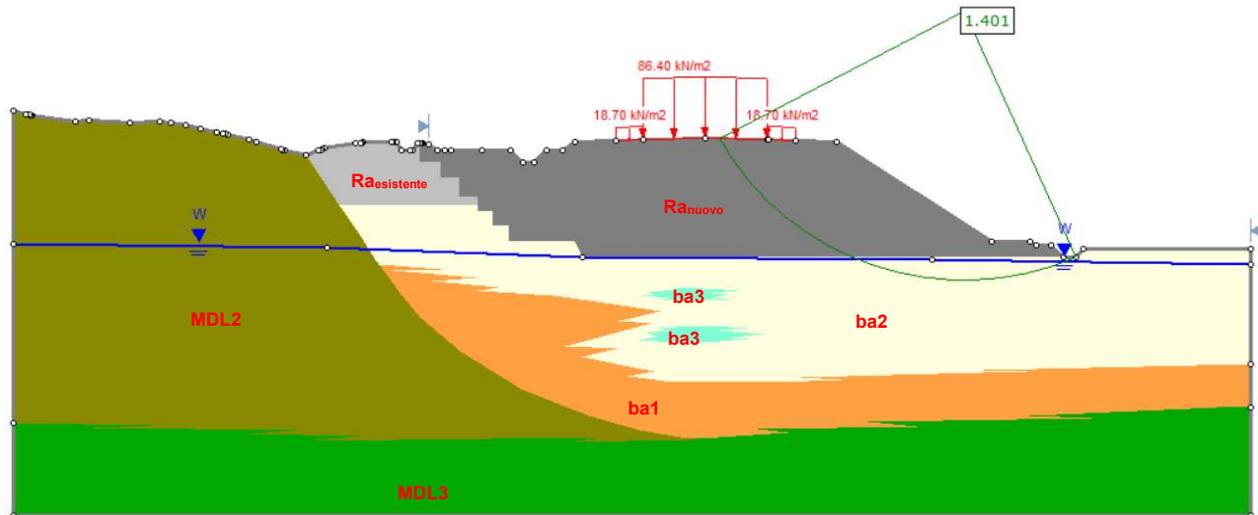


Figura 32: Sezione 25+750 – Rilevato (H≈6.5m) – Analisi statica – FS=1.40

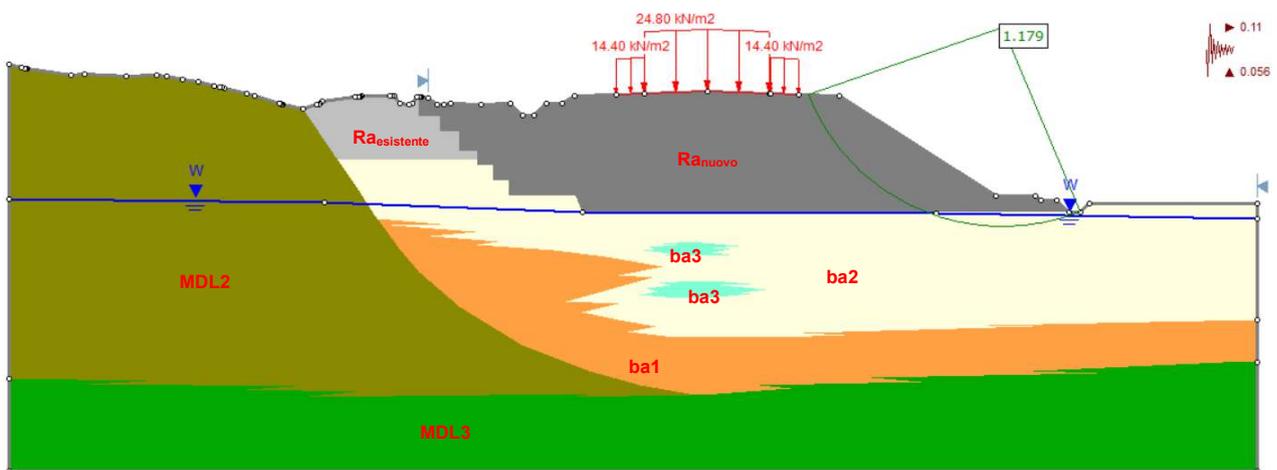


Figura 33: Sezione 25+750 – Rilevato (H≈6.5m) – Analisi sismica (-kv) – FS=1.18

Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	32 di 52

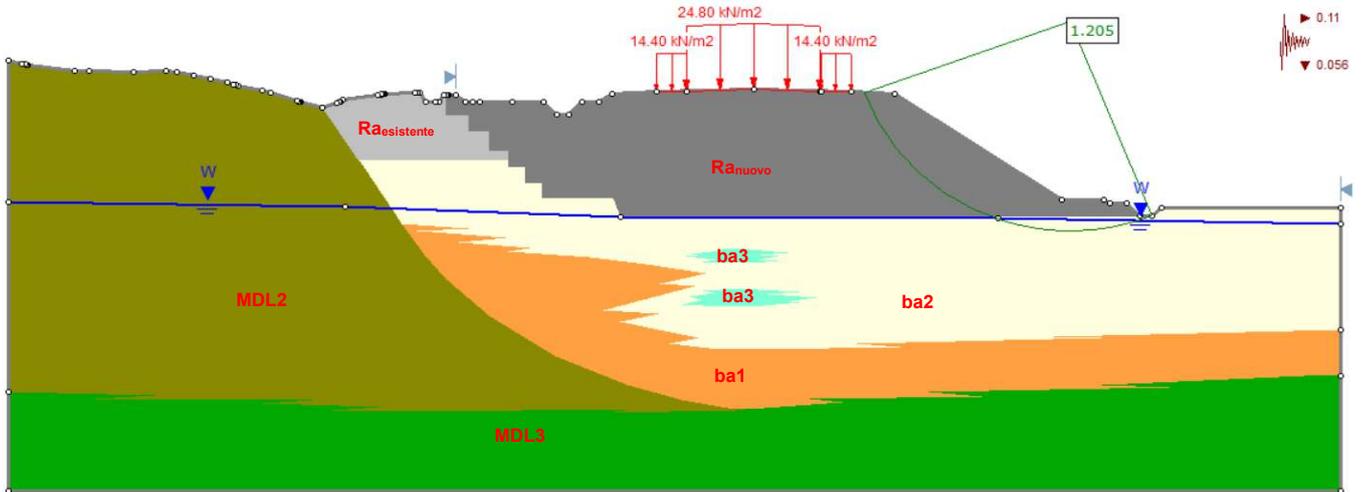


Figura 34: Sezione 25+750 – Rilevato (H≈6.5m) – Analisi sismica (+kv) – FS=1.20

- **Sezione 26+950 – Trincea H≈4.5m)**

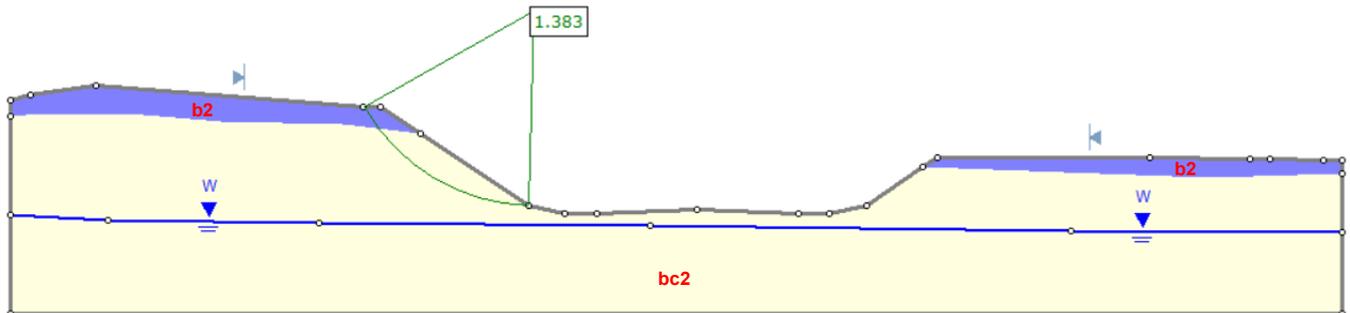


Figura 35: Sezione 26+950 – Trincea (H≈4.5m) – Analisi statica – FS=1.38

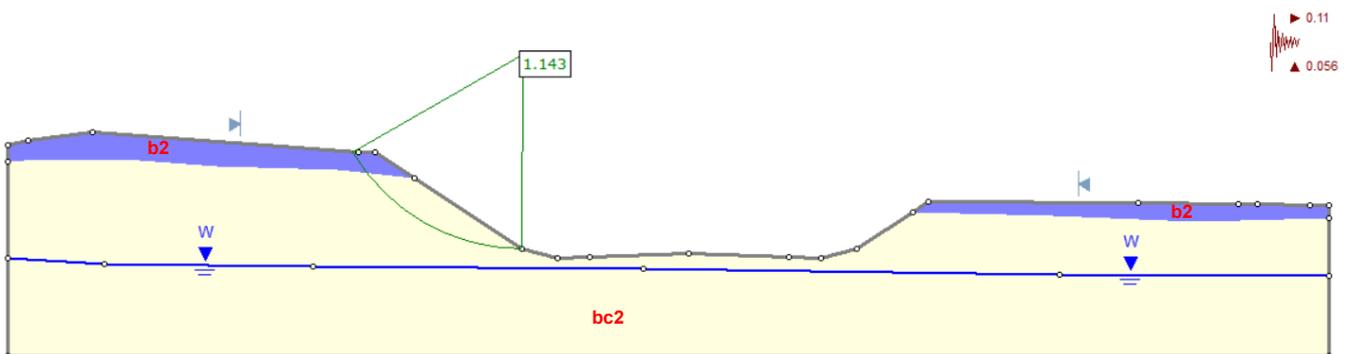


Figura 36: Sezione 26+950 – Trincea (H≈4.5m) – Analisi sismica (-kv) – FS=1.14

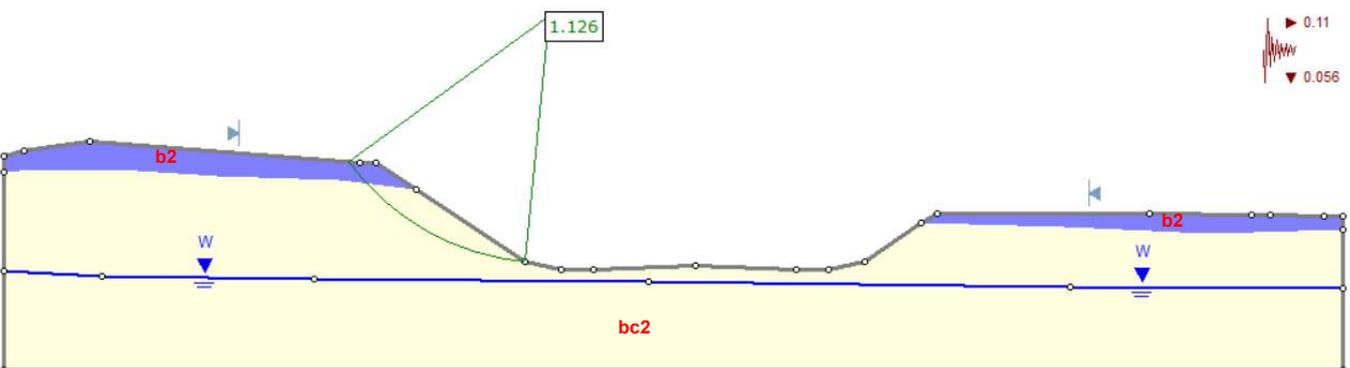


Figura 37: Sezione 26+950 – Trincea (H≈4.5m) – Analisi sismica (+kv) – FS=1.13

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO												
Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>IF26</td> <td>12 E ZZ</td> <td>RH</td> <td>TR0000 002</td> <td>B</td> <td>34 di 52</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	34 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	34 di 52								

Nella seguente **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** si riportano, per ciascuna opera, i risultati delle analisi di stabilità:

Sezione	Opera	FS _{statico}	FS _{sismico (-kv)}	FS _{sismico (+kv)}	FS _{minimo}
pk 16+500	Trincea (H≈3m)	1.76	1.49	1.46	1.1
pk 17+000	Trincea (H≈5m)	1.40	1.18	1.16	1.1
pk 17+391	Rilevato (H≈7m)	1.46	1.34	1.37	1.1
pk 19+300	Trincea (H≈7m)	1.34	1.12	1.12	1.1
pk 21+350	Rilevato (H≈8m)	1.46	1.23	1.22	1.1
pk 21+890	Rilevato (H≈6m)	1.52	1.27	1.26	1.1
pk 25+300	Rilevato (H≈11m)	1.35	1.11	1.16	1.1
pk 25+750	Rilevato (H≈6.5m)	1.40	1.18	1.21	1.1
pk 26+950	Trincea (H≈4.5m)	1.38	1.14	1.13	1.1

Tabella 8 - Risultati analisi di stabilità

I fattori di sicurezza minimi ottenuti dalle analisi di stabilità sono sempre maggiori del limite imposto dalla NTC2008 (FS ≥ 1.1). Le verifiche alla SLU risultano pertanto sempre soddisfatte.

6.9.2 RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITA' POST-LIQUEFAZIONE

Si riportano di seguito i risultati delle analisi di stabilità in condizioni post-liquefazione.

Per i modelli in cui risulta soddisfatta la condizione di sicurezza specificata dalla NTC2008 ($FS > 1.1$), è indicata la superficie di probabile scivolamento con FS minimo mentre, nei casi in cui la condizione di sicurezza non è soddisfatta sono rappresentate tutte superfici di scivolamento con $FS \leq 1.1$. La rappresentazione grafica permette di visualizzare l'estensione delle zone di potenziale instabilità indotte dalla diminuzione di resistenza a taglio nelle formazioni liquefacibili.

- Sezione 21+890 – Rilevato (H≈6m)

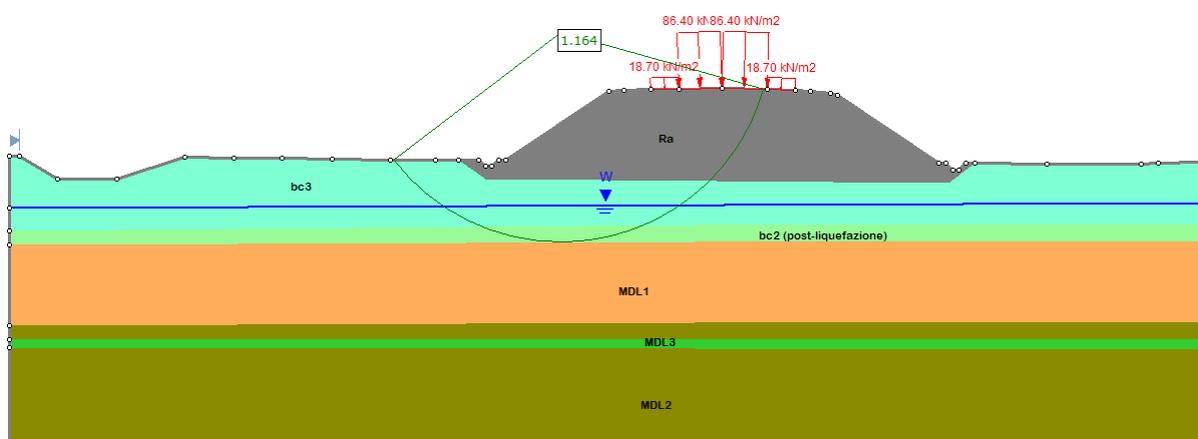


Figura 38: Sezione 21+890 – Rilevato (H≈6m) – Analisi statica post-liquefazione – FS=1.16

- Sezione 25+300 – Rilevato (H≈11m)

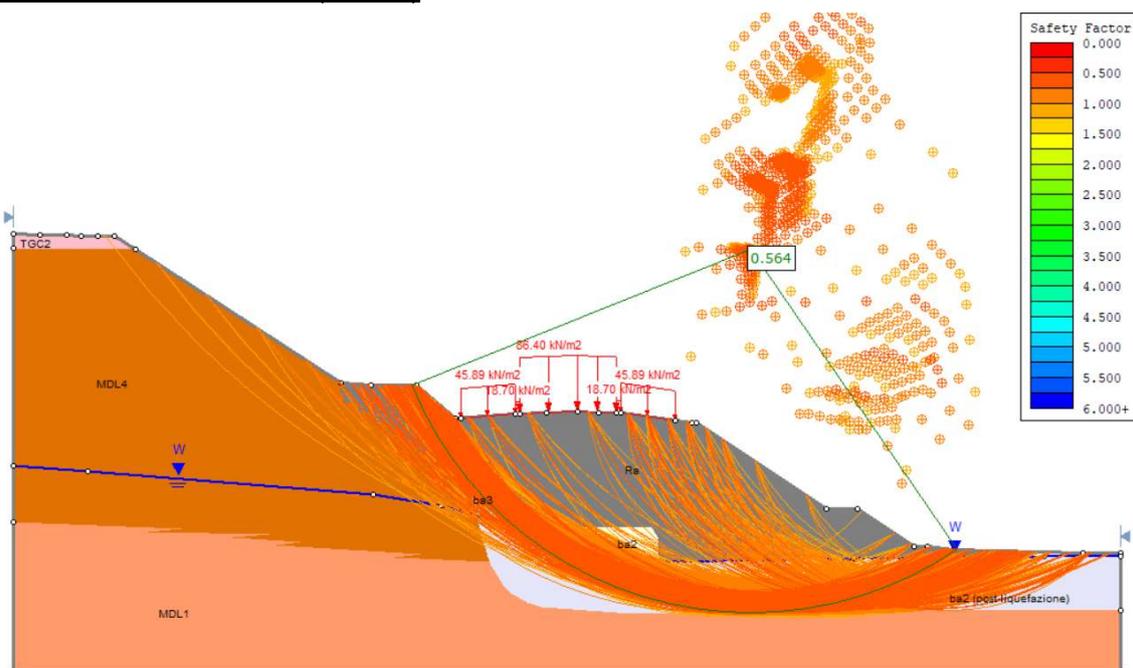


Figura 39: Sezione 25+300 – Rilevato (H≈11m) – Analisi statica post-liquefazione – FS=0.56

-
- Sezione 25+750 – Rilevato H≈6.5m)

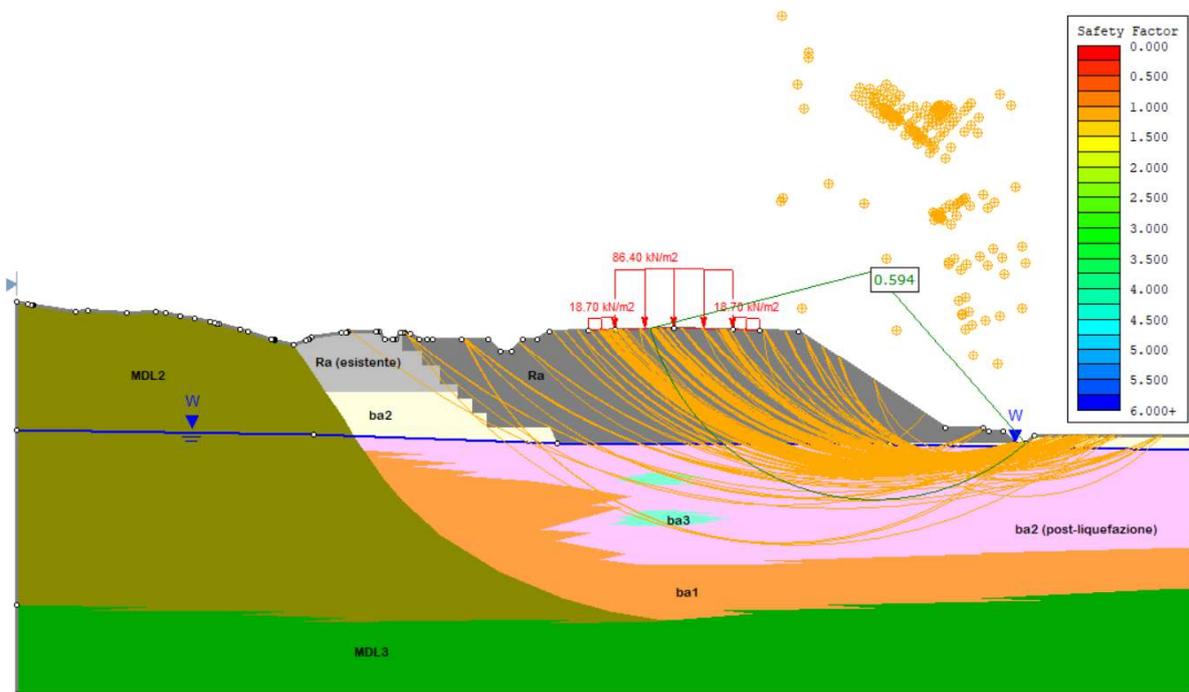


Figura 40: Sezione 25+750 – Rilevato (H≈6.5m) – Analisi statica post-liquefazione – FS=0.59

- Sezione 26+950 – Trincea H≈4.5m)

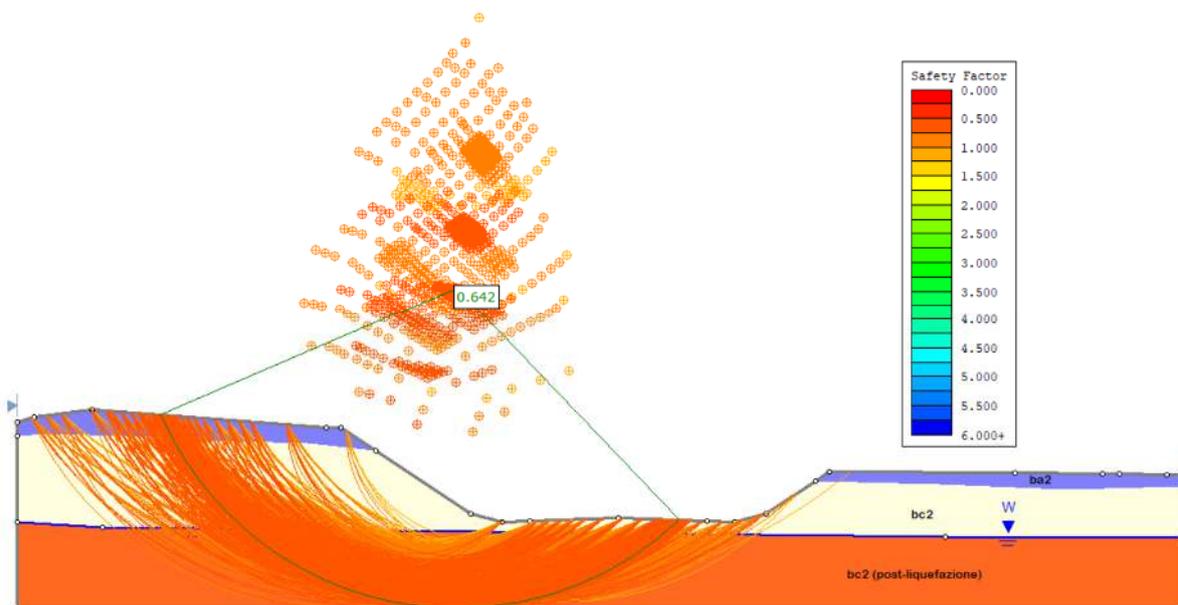


Figura 41: Sezione 26+950 – Trincea (H≈4.5m) – Analisi statica post-liquefazione – FS=0.64

Zona	Sezione	Opera	FS _{statico}	FS _{minimo}
Zona A	pk 21+890	Rilevato (H≈6m)	1.16	1.1
Zona B	pk 25+300	Rilevato (H≈11m)	0.56	1.1
Zona B	pk 25+750	Rilevato (H≈6.5m)	0.59	1.1
Zona C	pk 26+950	Trincea (H≈4.5m)	0.64	1.1

Tabella 9 - Risultati analisi di stabilità post-liquefazione

I risultati delle analisi riassunti in **Tabella 9**, mostrano che la verifica di sicurezza SLU post-liquefazione è soddisfatta nel solo caso dei rilevati R11 ed R12, rappresentati dalla sezione tracciata alla pk 21+890. Per gli altri scenari analizzati (due in Zona B e uno in Zona A, ref **Tabella 7**) la verifica non è soddisfatta.

La rappresentazione grafica mostra che le superfici di probabile scivolamento che si sviluppano all'interno dell'unità soggetta a liquefazione comportano, generalmente, l'instabilità di ampi volumi, interessando l'intero corpo del rilevato (pk 25+300 e 25+700) o propagandosi a monte delle scarpate per estensioni di 10-15m.

6.9.3 RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ POST TRATTAMENTO

A completamento di quanto presentato al paragrafo 6.9.2, per le sezioni che non soddisfano la condizione di sicurezza allo SLU ($FS \geq 1.1$), è stata eseguita una verifica di stabilità inserendo nei modelli di calcolo l'intervento di attenuazione del rischio liquefazione con colonne in ghiaia (E.5).

La disposizione di colonne vibro-compatte è modellata con un'area di geometria definita dall'effettivo ingombro del trattamento nella specifica sezione di verifica. Il materiale assegnato all'area trattata ha un peso dell'unità di volume, $\gamma = 20\text{kN/m}^3$ e resistenza data da un angolo a taglio "equivalente" $\phi'_{eq} = 35^\circ$ calcolato come media pesata sull'ingombro areale della singola colonna nell'ambito del volume trattato:

$$\phi'_{eq} = (Ac/A) \cdot \phi'_c + (1-Ac/A) \cdot \phi'$$

con

- $Ac / A = 0.20$, rapporto di sostituzione areale del trattamento con colonne in ghiaia, pari al rapporto tra l'area della singola colonna (diametro nominale 0.8m) e l'area d'influenza del singolo trattamento, definita dalla spaziatura dell'intervento (2.0x1.5m, ref E.5);
- ϕ'_c è l'angolo di resistenza a taglio della ghiaia, pari a 45° (ref. E.5);
- ϕ' è l'angolo di resistenza a taglio dell'unità liquefacibile (bc2 o ba2).

Per la coesione si considera $c'=0$.

Si considera inoltre che all'interno del volume interessato dal trattamento, si abbiano sovrappressioni neutre definite dal coefficiente:

$$r_u = \Delta u / \sigma'_v,$$

dove

- Δu = sovrappressioni interstiziali,
- σ'_v = tensione verticale efficace litostatica.

Si assume $r_u = 0.15$, corrispondente ad un fattore di sicurezza a liquefazione $F_L=1.25$, secondo la correlazione di Idriss e Boulanger (2008), riportata in **Figura 42**.

Per le porzioni delle unità ba2 e bc2 non interessate dal trattamento, si considerano le condizioni post-liquefazione rappresentate dalla resistenza residua di progetto riportata nella precedente **Tabella 7** adottando un fattore $r_u = 1$. Per tutte le altre unità sottofalda si ha $r_u = 0$.

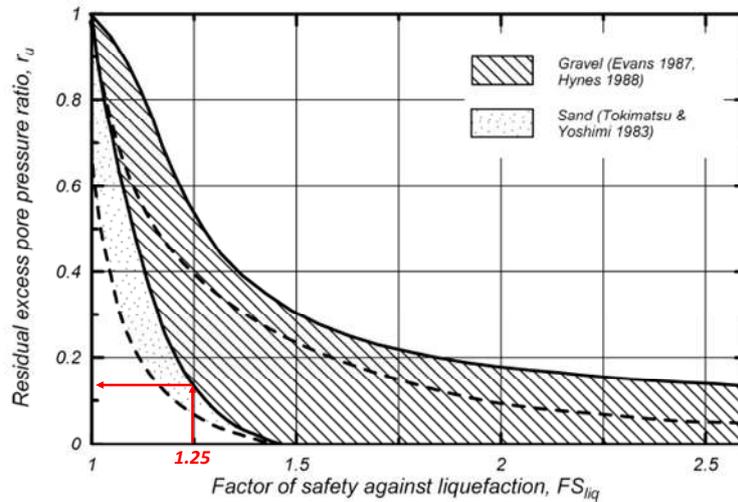


Figura 42 - Correlazione tra r_u e FS , come indicato in Idriss & Boulanger 2008

I risultati sono rappresentati di seguito:

- **Sezione 25+300 – Rilevato ($H \approx 11m$)**

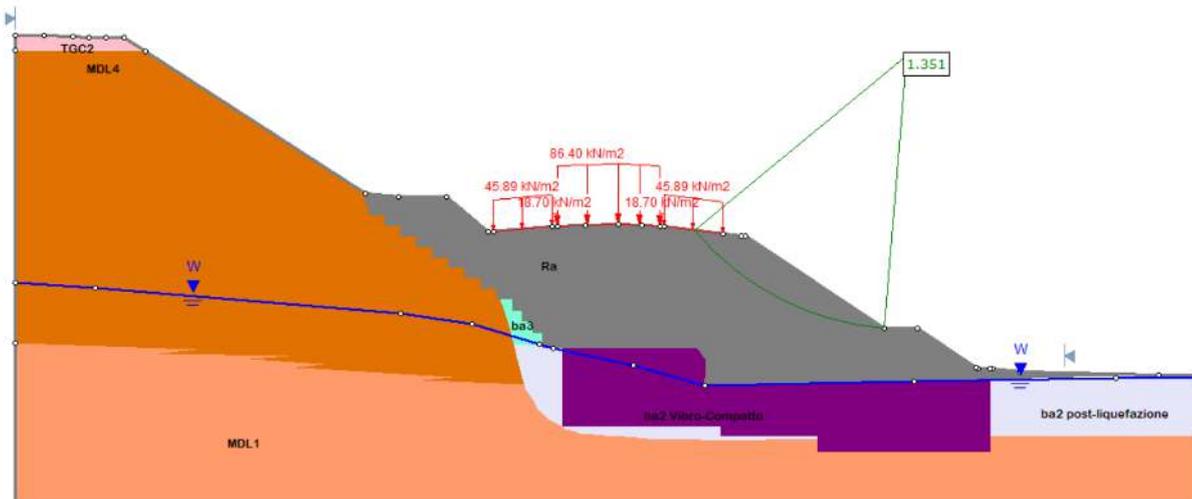


Figura 43: Sezione 25+300 – Rilevato ($H \approx 11m$) – Analisi statica post trattamento – $FS=1.35$

- **Sezione 25+750 – Rilevato H≈6.5m)**

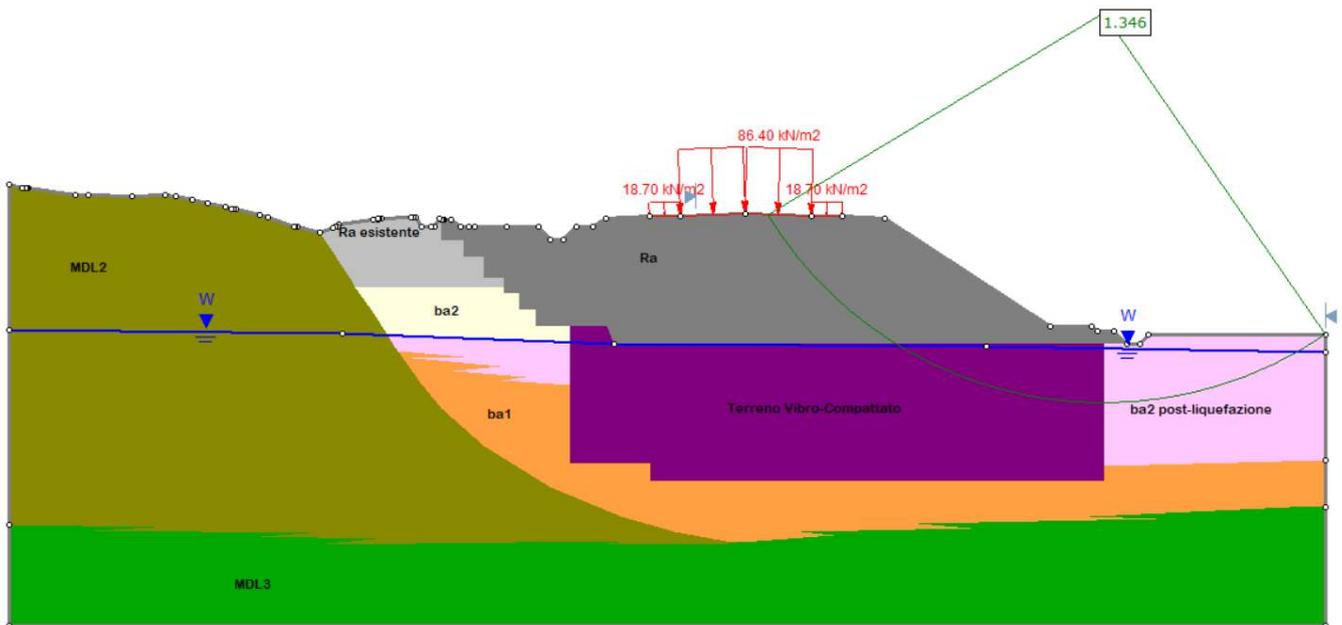


Figura 44: Sezione 25+750 – Rilevato (H≈6.5m) – Analisi statica post-liquefazione. FS=1.34

- **Sezione 26+950 – Trincea H≈4.5m)**

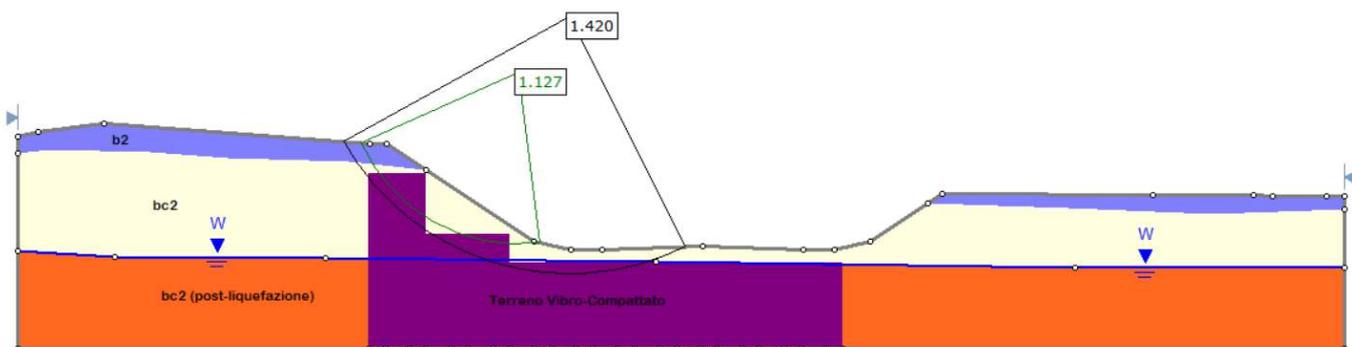
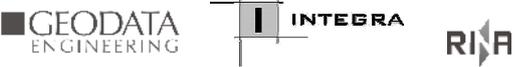


Figura 45: Sezione 26+950 – Trincea (H≈4.5m) – Analisi statica post-liquefazione. FS=1.13

Zona	Sezione	Opera	FS _{statico}	FS _{minimo}
Zona B	pk 25+300	Rilevato (H≈11m)	1.35	1.1
Zona B	pk 25+750	Rilevato (H≈6.5m)	1.34	1.1
Zona C	pk 26+950	Trincea (H≈4.5m)	1.13	1.1

Tabella 10 - Risultati analisi di stabilità post-liquefazione

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO					
Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee	COMMESSA IF26	LOTTO 12 E ZZ	CODIFICA RH	DOCUMENTO TR0000 002	REV. B	FOGLIO 40 di 52

7 CALCOLO DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI

7.1 APPROCCIO DI CALCOLO

Il calcolo dei cedimenti dei rilevati di progetto in condizioni di esercizio sarà eseguito in corrispondenza di sezioni rappresentative di tratte in cui l'altezza massima di rilevato e la compressibilità stimata dei terreni di fondazione [E.3], delineano delle condizioni di rischio per il funzionamento della linea. È definito, infatti, un limite di cedimento per il corretto e continuo funzionamento dell'infrastruttura pari a 5cm [N.4]. Si dovrà verificare, pertanto, che i cedimenti attesi al termine della vita utile dell'infrastruttura ferroviaria ($V_R = 100$ anni), non eccedano il limite tecnico di funzionamento.

La stima dei cedimenti dei rilevati in condizioni sismiche riguarda l'insacco della liquefazione, e lo sviluppo dei cedimenti da consolidazione post-liquefazione. Il tema è stato affrontato nella Relazione Sismica [E.4] a cui si rimanda.

7.2 MODELLO DI CALCOLO

Il modello di calcolo implementato nel software utilizzato (SETTLE 3D), adotta una geometria semplificata di sottosuolo con superficie orizzontale e strati paralleli, ed una geometria di carico regolare (trapezia o rettangolare) definita in coerenza con la sezione trasversale del rilevato in esame.

L'utilizzo di una geometria semplificata è un'approssimazione accettabile per sezioni di forma regolare quali quelle dei rilevati ordinari dell'infrastruttura in esame. La stratificazione orizzontale del sottosuolo non rappresenta un limite per una stima sufficientemente affidabile del cedimento indotto al piano campagna, considerata la limitata estensione trasversale del volume di influenza dei carichi trasmessi dai rilevati esaminati, rispetto alla variabilità trasversale delle unità geotecniche coinvolte.

Come accennato, la geometria del carico si ottiene rappresentando la sezione di verifica con una sezione trapezia o rettangolare, di altezza, H , pari a quella del rilevato e base maggiore, B , definita dalla massima larghezza in sezione dello stesso. L'estensione longitudinale, L , del carico al piano campagna è stata, invece, assegnata verificando che l'aria di carico producesse, nel modello numerico di sottosuolo, una variazione di tensione verticale totale pari a quella stimabile, a diverse profondità, con la metodologia analitica di Streibrenner.

Il modello geotecnico di sottosuolo assunto nei calcoli è stato definito a partire dalla caratterizzazione generale [E.3], specializzando i valori di compressibilità (e/o rigidità) in base ai dati ottenuti dalle prove sui campioni indisturbati ritenuti maggiormente rappresentativi delle condizioni locali delle unità intercettate.

L'approccio di calcolo utilizzato è quello caratteristico del metodo edometrico: in funzione del grado di sovraconsolidazione dei terreni nelle sezioni in esame, la compressibilità di calcolo è individuata dalla variazione di stato tensionale indotto dal carico, associandovi ad ogni incremento una compressibilità coerente con l'indice di ricarico (CR) o a quello di compressione (CC) in prova edometrica.

Ai fini del calcolo, i terreni fuori falda, generalmente sovraconsolidati, e quelli sabbioso-ghiaiosi in falda, sono stati caratterizzati come mezzi a comportamento elastico lineare, con rigidità data dal modulo elastico operativo E' e dal modulo di scarico-ricarico, $E'_{ur} = 3 E'$.

Per i terreni argillosi o limoso-argillosi in falda invece sono stati assunti i valori caratteristici dei parametri di compressibilità edometrica, OCR, CR, CC e del coefficiente di consolidazione, C_v , definiti in base ai risultati di prove su campione o in situ rappresentative delle condizioni locali dell'unità geotecnica specifica.

Per i terreni argillosi in falda, il cedimento è dato dalla somma di un'aliquota elastica iniziale e di una dovuta alla consolidazione, sviluppata in un tempo di calcolo pari alla vita utile dell'infrastruttura. Il cedimento iniziale è stimabile, in linea teorica, se è quantificabile con adeguata accuratezza il modulo elastico non drenato, E_u , da prove su campione indisturbato. Attesa la scarsa disponibilità di prove specifiche (TX-CIU) per le formazioni argillose ba3, bc3, TGC3, con eccezione dell'unità MDL3 (ref. [E.3]), si è considerato di assumere, sistematicamente, un cedimento iniziale, δ_0 , pari al 10% di quello edometrico, δ_{oed} . Questa assunzione rappresenta una pratica consolidata, basata su un'ampia casistica di misure reali (Padfield e Sharrock, 1983, da Viggiani, 2003) ed implica che il cedimento finale, al termine della vita utile dell'opera, è pari a $\delta_f = 1.1 \delta_{oed}$.

  	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO 1° LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – TELESE PROGETTO ESECUTIVO												
Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">COMMESSA</td> <td style="text-align: center;">LOTTO</td> <td style="text-align: center;">CODIFICA</td> <td style="text-align: center;">DOCUMENTO</td> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">FOGLIO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">IF26</td> <td style="text-align: center;">12 E ZZ</td> <td style="text-align: center;">RH</td> <td style="text-align: center;">TR0000 002</td> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">41 di 52</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	41 di 52
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	41 di 52								

Le analisi sviluppate di seguito, vertono quindi al calcolo delle aliquote di cedimento:

- $\delta_{t=5gg}$, sviluppato dopo 5gg dall'effettivo completamento del rilevato;
- δ_{Tot} , cedimento totale, al termine della vita utile dell'opera;
- $\Delta\delta_{t=100anni}$, cedimento da consolidazione, dato dalla differenza delle due aliquote precedenti.

In base all'assunzione fatta sul cedimento elastico iniziale, δ_0 , i valori di calcolo dei cedimenti al termine delle due fasi temporali scelte: $t = 5gg$ e $t = 100anni$, sono stati moltiplicati per 1.1.

Il cedimento da consolidazione, $\Delta\delta_{t=100anni}$, rappresenta il valore da confrontare col limite tecnologico dell'infrastruttura (5cm), essendo un aliquota non compensabile prima della posa in opera dell'armamento.

Tutti i valori calcolati sono riferiti al piano di posa dei rilevati.

7.3 CARICHI

Il carico è costituito dall'azione prodotta dal rilevato, pertanto nel modello di calcolo si assegna il peso dell'unità di volume del materiale che costituisce il rilevato, $\gamma = 19kN/m^3$, e la geometria dello stesso.

I carichi fissi della sovrastruttura ferroviaria, definiti nel paragrafo 6.3, sono stati tradotti in spessori aggiuntivi di rilevato, dividendone il valore per il peso dell'unità di volume del materiale compattato.

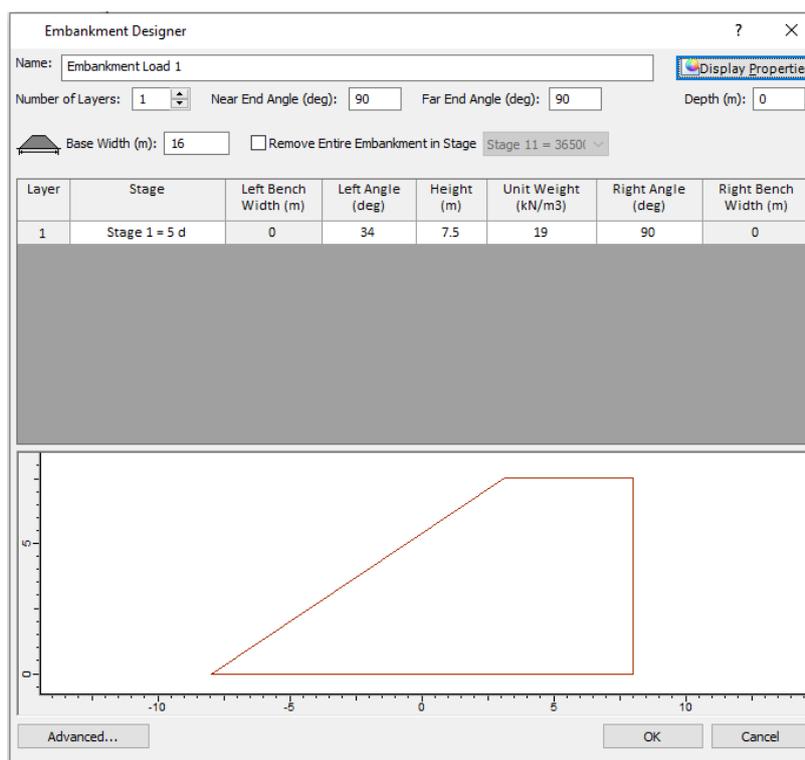


Figura 46: Modello di carico implementato

7.4 SEZIONI DI VERIFICA E MODELLI GEOTECNICI DI CALCOLO

Le sezioni di verifica sono state selezionate in modo da essere rappresentative dei rilevati nelle tratte che attraversano formazioni di maggiore compressibilità. I modelli geotecnici di dettaglio sono stati costruiti sulla stratigrafia definita dalle sezioni selezionate modello geotecnico generale di linea [E.2].

Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	42 di 52

Le sezioni selezionate sono elencate di seguito, con indicazione del criterio di selezione. I modelli geotecnici associati a ciascuna sezione sono riportati nelle relative tabelle, con indicazione delle unità geotecniche (UG), degli spessori degli strati compressibili (Δh_i), dei valori dei parametri di compressibilità (e/o rigidità) e le prove utilizzate per definire nello specifico i parametri deformabilità (elastici o edometrici).

Per le unità in cui si dispone di prove edometriche, si è fatto riferimento ad uno specifico campione indisturbato, dopo aver verificato che fosse rappresentativo dell'unità in esame, alla quota indicativa del singolo strato. In assenza di prove su campione indisturbato, si è fatto ricorso ai valori ottenuti per interpretazione delle resistenze in prova penetrometrica statica CPTU, considerando quanto dettagliato nella relazione geotecnica generale [E.3].

In assenza di prove adatte alla contestualizzazione del dato di deformabilità ci si è riferiti alla caratterizzazione generale, in particolar modo per la rigidità associata ai materiali a comportamento puramente elastico.

Nei modelli geotecnici riportati di seguito, le unità sono state suddivise in sotto-unità per implementare la variabilità dei parametri di compressibilità con la profondità, dove ritenuto opportuno.

SEZIONE 1, pk 17+390

Rappresentativa del rilevato RI02, di approccio al viadotto VI01, che si sviluppa sulla sequenza stratigrafica definita dai terreni argilloso limosi dell'unità geotecnica ba3 e di porzioni profonde delle piroclastiti dell'unità TGC2. Dimensioni del modello B = 16m, H = 7.5m, L = 50m, inclinazione della scarpata 3H/2V.

Il valore calcolato è riferito all'asse del binario pari.

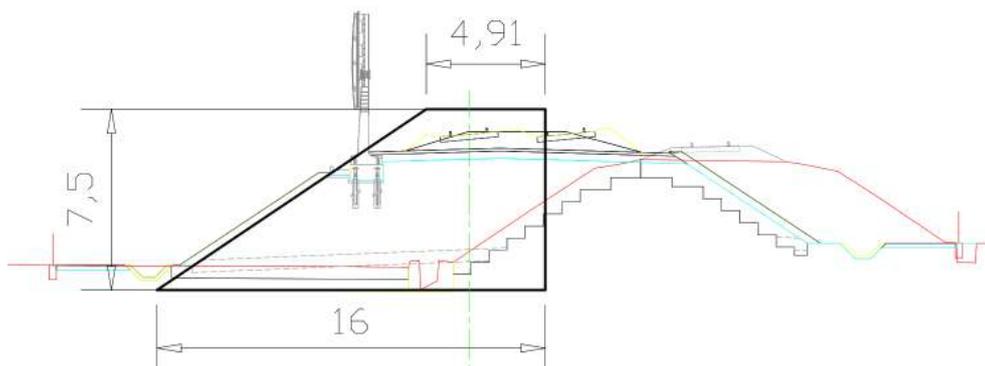


Figura 47: Sezione 17+390 – Modello di carico rispetto alla geometria di progetto

MODELLO DI CALCOLO																			
STRATIGRAFIA				PARAMETRI DEL MODELLO															
UG	z		Δh_i	z	γ_N	γ_{SAT}	OCR	K_0	E'	E'ur	CR	CC	e_0	C_v	C_{vR}	SOND.	CAMPIONE	PROVA	
	[m slm]	a	[m]	[m PC]	[kN/m ³]	[kN/m ³]			[MPa]	[MPa]				[m ² /s]	[m ² /s]				
ba3-1	40,4	38,4	2	2,0	19,5	19,5	5	1,13	10	30							CARATT. GEN. + CPTU_PE06		
ba3-2	38,4	35,6	2,8	4,8	19,5	19,5	3	0,90	5	15							CARATT. GEN. + CPTU_PE06		
TGC2-1	35,6	32,6	3	7,8	17	19	4	0,88	35	105							CARATTERIZZAZIONE GENERALE		
TGC2-2	32,6	22,73	9,87	17,7	17	19	2	0,64			0,05	0,46	1,418	7,00E-08	7,00E-08	S_PE22	CI3 10,25m	EDOMETRICA	
MDL3-1	22,73	18,97	3,76	21,4	20	20	2	0,75			0,03	0,14	0,55	8,70E-07	8,70E-07	S_PE7bis	CI2 21,25	EDOMETRICA	
MDL1	18,97	8,03	10,94	32,4	20	20	1	0,38	125	375							CARATTERIZZAZIONE GENERALE		
MDL3-2	8,03	0	8,03	40,4	20	20	1,6	0,67			0,04	0,17	0,55	9,50E-08	9,50E-08	S_PE7	CI2 35,25m	EDOMETRICA	

Tabella 11: Modello geotecnico di dettaglio pk 17+390

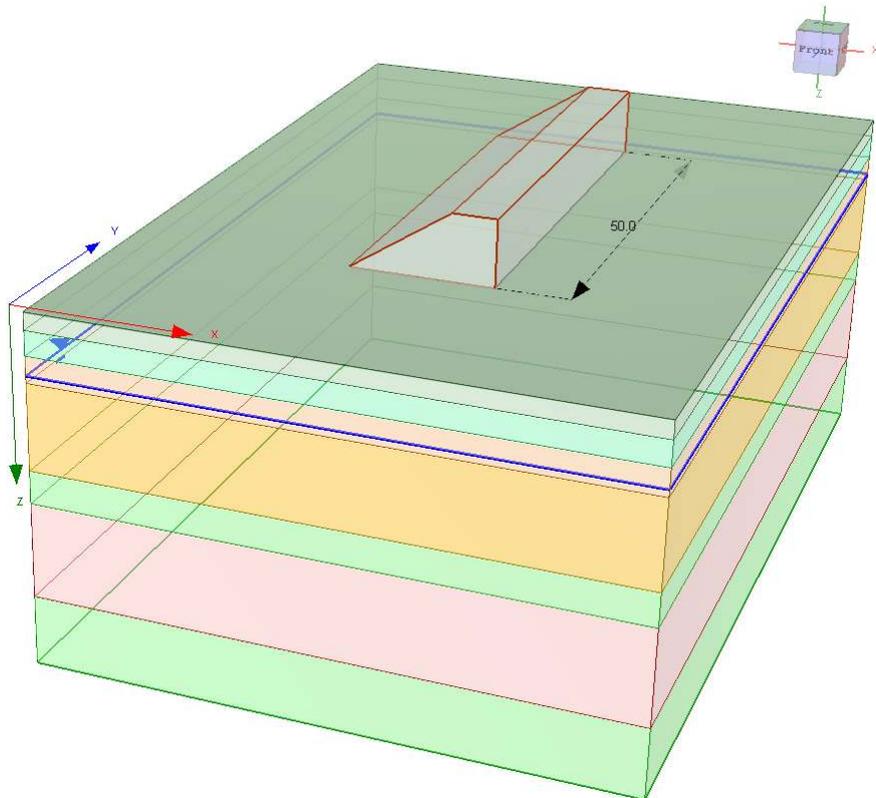


Figura 48: Sezione 17+390 – Modello di calcolo

SEZIONE 2, pk 17+864

Rappresentativa dei rilevati RI04 ed RI05 a ridosso del viadotto VI02. Il sottosuolo è costituito dalle unità TGC2, MDL1 ed MDL3. Dimensioni del modello B = 23.5m, H = 10.5m, L = 200m, inclinazione della scarpata 3H/2V.

Il valore calcolato è riferito all'asse del binario pari.

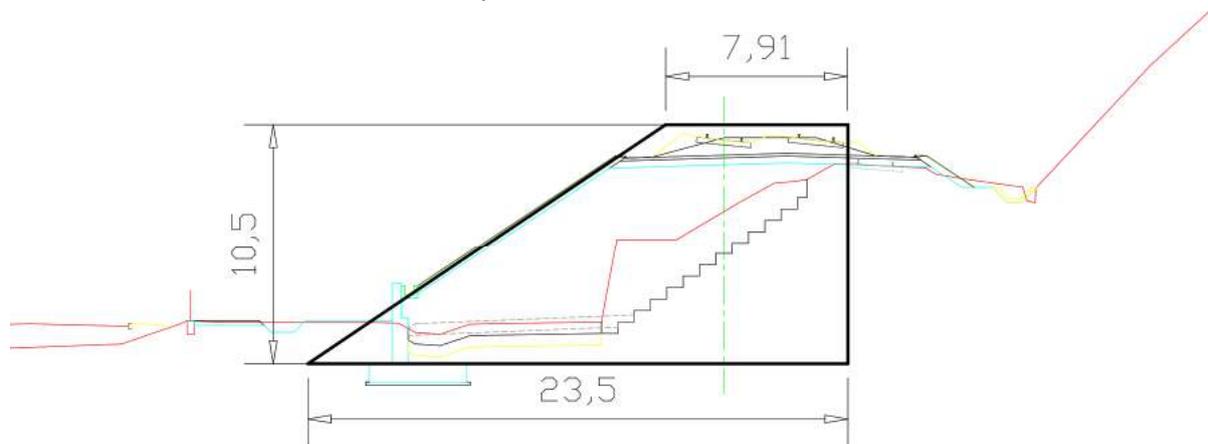


Figura 49: Sezione 17+864 – Modello di carico rispetto alla geometria di progetto

Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	44 di 52

MODELLO DI CALCOLO

STRATIGRAFIA			PARAMETRI DEL MODELLO													SOND.	CAMPIONE	PROVA	
UG	z [m slm] da	a	Δh_i [m]	z [m PC]	γ_N [kN/m ³]	γ_{SAT} [kN/m ³]	OCR	K_0	E_s [MPa]	E'_{ur} [MPa]	CR	CC	e_0	C_v [m ² /s]	C_{vR} [m ² /s]				
TGC2-1	41	36	5	5,0	17	19	4	0,88	5	15								CARATT. GEN. + CPTU_PE05	
TGC2-2	36	32	4	9,0	17	19	3,5	0,83	35	105								CARATT. GEN. + CPTU_PE05	
TGC2-3	32	26,7	5,3	14,3	17	19	3,4	0,82			0,03	0,3	0,9	9,00E-07	9,00E-07		S_PE01	C2 10,25m	EDOMETRICA
MDL1	26,7	6,5	20,2	34,5	20	20	1	0,38	125	375								CARATTERIZZAZIONE GENERALE	
MDL3	6,5	1	5,5	40,0	20	20	1,6	0,67			0,035	0,17	0,55	9,50E-08	9,50E-08		S_PE7	C12 35,25m	EDOMETRICA

Tabella 12: Modello geotecnico di dettaglio pk 17+864

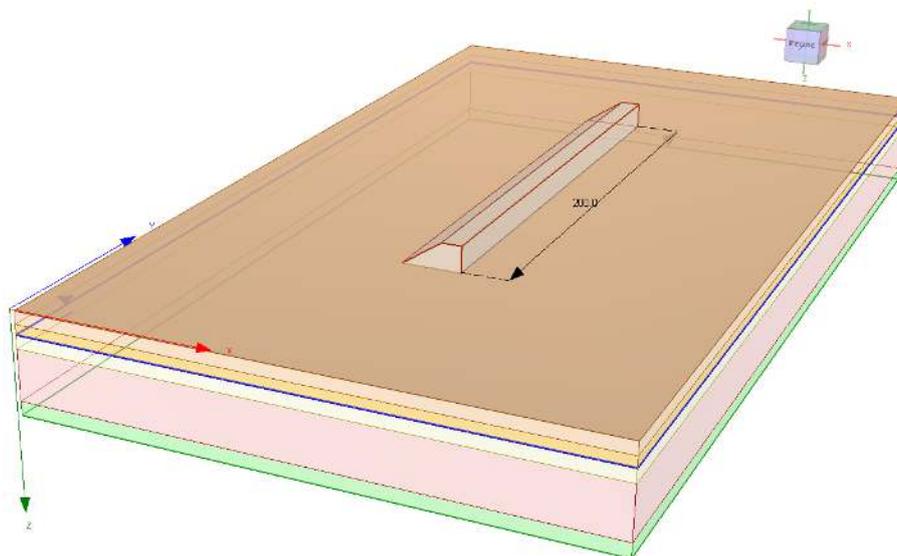


Figura 50: Sezione 17+864 – Modello di calcolo

SEZIONE 3, pk 18+600

Rappresentativa del rilevato RI05, in approccio alla spalla Sud del viadotto VI03, il sottosuolo è costituito dalle unità ba2, ba3, TGC2, MDL1 ed MDL3. Dimensioni del modello B = 12.5m, H = 6.5m, L = 100m.

Valore calcolato in asse al binario pari.

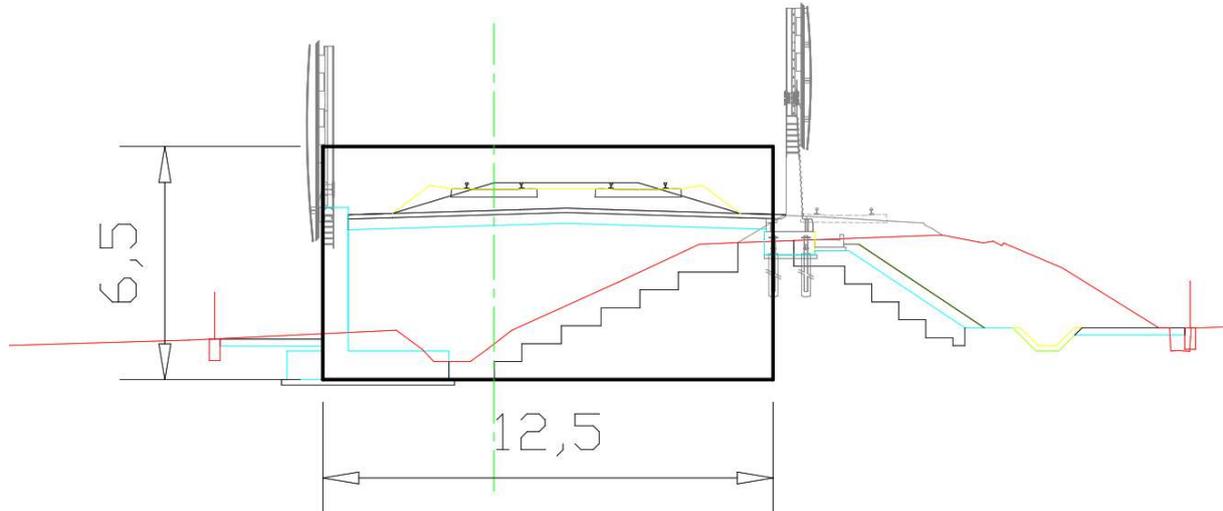


Figura 51: Sezione 18+600 – Modello di carico rispetto alla geometria di progetto

MODELLO DI CALCOLO

STRATIGRAFIA			PARAMETRI DEL MODELLO																
UG	z [m slm]	a	Δh_i [m]	z [m PC]	γ_N [kN/m ³]	γ_{SAT} [kN/m ³]	OCR	K_0	E_s [MPa]	E'_{ur} [MPa]	CR	CC	e_0	C_v [m ² /s]	C_{vR} [m ² /s]	SOND.	CAMPIONE	PROVA	
ba2	36,53	34,5	2,03	2,0	19	19	5,5	1,04	18	54							CARATT. GEN. + CPTU_PE07+ CPTU01		
ba3-1	34,5	32,5	2	4,0	19,5	19,5	5	1,13	10	30							CARATT. GEN. + CPTU_PE07+ CPTU01		
ba3-2	32,5	29,5	3	7,0	19,5	19,5	4	1,02	5	15							CARATT. GEN. + CPTU_PE07+ CPTU01		
TGC2	29,5	25	4,5	11,5	17	19	3,4	0,82			0,03	0,3	0,9	9,00E-07	9,00E-07	S_PE01	C2 10.25m	EDOMETRICA	
MDL1	25	16,25	8,75	20,3	20	20	1	0,38	125	375							CARATTERIZZAZIONE GENERALE		
MDL3	16,25	15,05	1,2	21,5	20	20	2	0,75			0,03	0,14	0,55	8,70E-07	8,70E-07	S_PE7bis	C12 21,25m	EDOMETRICA	
MDL2	15,05	7,6	7,45	28,9	20	20	2	0,66			0,028	0,18	0,62	8,00E-07	8,00E-07	S_PE16bis	C11 24m	EDOMETRICA	
MDL3	7,6	0	7,6	36,5	20	20	1,6	0,67			0,035	0,17	0,55	9,50E-08	9,50E-08	S_PE7	C12 35,25m	EDOMETRICA	

Tabella 13: Modello geotecnico di dettaglio pk 18+600

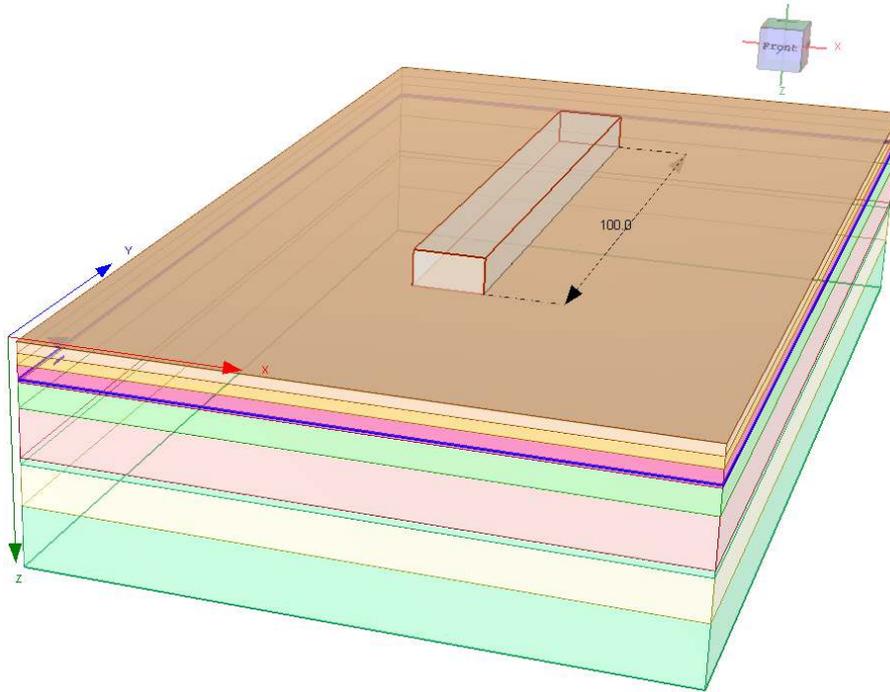


Figura 52: Sezione 18+600 – Modello di calcolo

Sezione 4, pk 19+775

Rappresentativa del rilevato RI08, in uscita dalla spalla Nord del viadotto VI04, il sottosuolo è costituito dalle unità b2, ba1, MDL1, MDL3. Dimensioni del modello B = 28.5m, H = 6.0m, L = 22m.

Valore calcolato in asse al binario.

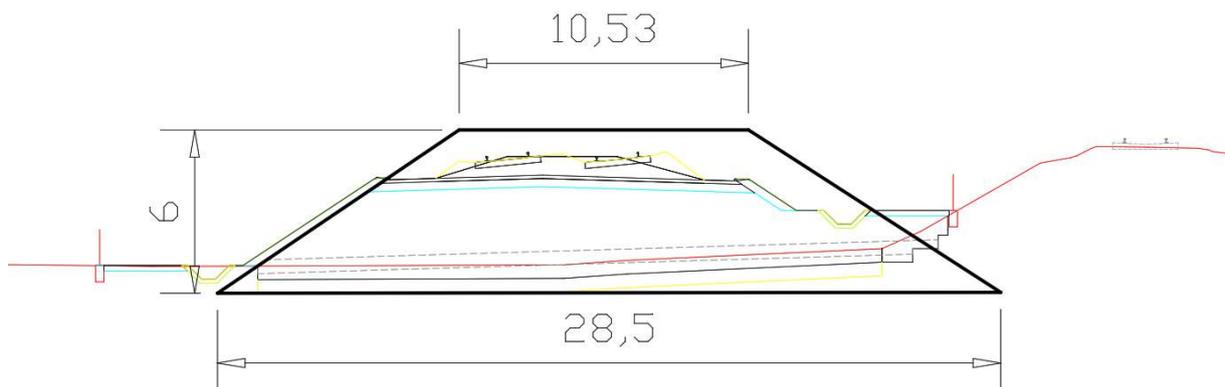


Figura 53: Sezione 19+775 (19+800) – Modello di carico rispetto alla geometria di progetto

Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	47 di 52

MODELLO DI CALCOLO

STRATIGRAFIA				PARAMETRI DEL MODELLO												SOND.	CAMPIONE	PROVA		
UG	z [m slm]	da	a	Δh_i [m]	z [m PC]	γ_N [kN/m ³]	γ_{SAT} [kN/m ³]	OCR	K_0	E_s [MPa]	E'_{ur} [MPa]	CR	CC	e_0	C_v [m ² /s]	C_{vR} [m ² /s]				
b2	42,51	41,63		0,88	0,88	19	19	1	0,61	10	30							ANALOGIA ba2		
ba1	41,63	36,76		4,87	5,75	21	21	1	0,38	25	75							CARATTERIZZAZIONE GENERALE		
TGC2	36,76	26,53		10,23	15,98	17	19	3,4	0,82			0,03	0,3	0,9	9,00E-07	9,00E-07		S_PE01	C2 10,25m	EDOMETRICA
MDL1	26,53	23,01		3,52	19,50	20	20	1	0,38	125	375							CARATTERIZZAZIONE GENERALE		
MDL3	23,01	2,5		20,51	40,01	20	20	1,6	0,67			0,035	0,17	0,55	9,50E-08	9,50E-08		S_PE7	C12 35,25m	EDOMETRICA

Tabella 14: Modello geotecnico di dettaglio pk 19+775

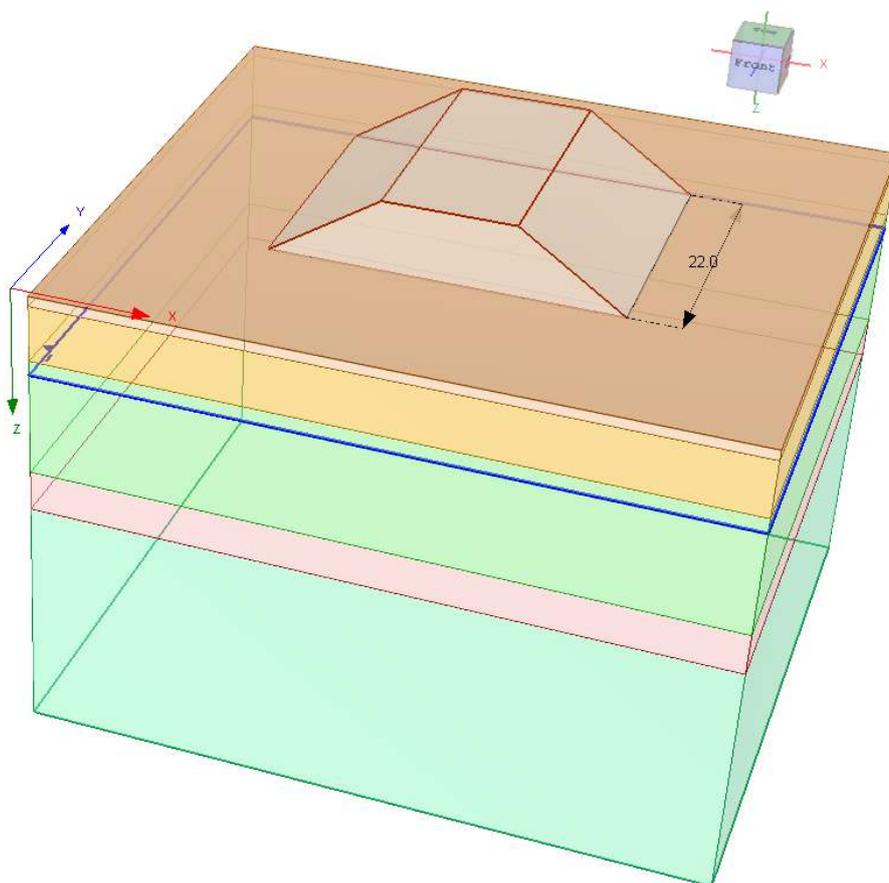


Figura 54: Sezione 19+775 – Modello di calcolo

Sezione 5, pk 20+450, rappresentativa del rilevato RI10 in approccio alla spalla SUD del viadotto VI05.

Le unità geotecniche interessate dai cedimenti sono: b2, TGC2, MDL1, MDL3, MDL2.

Dimensioni del modello B = 39.5m, H = 10.55m, L = 300m. Valore calcolato in asse ferrovia.

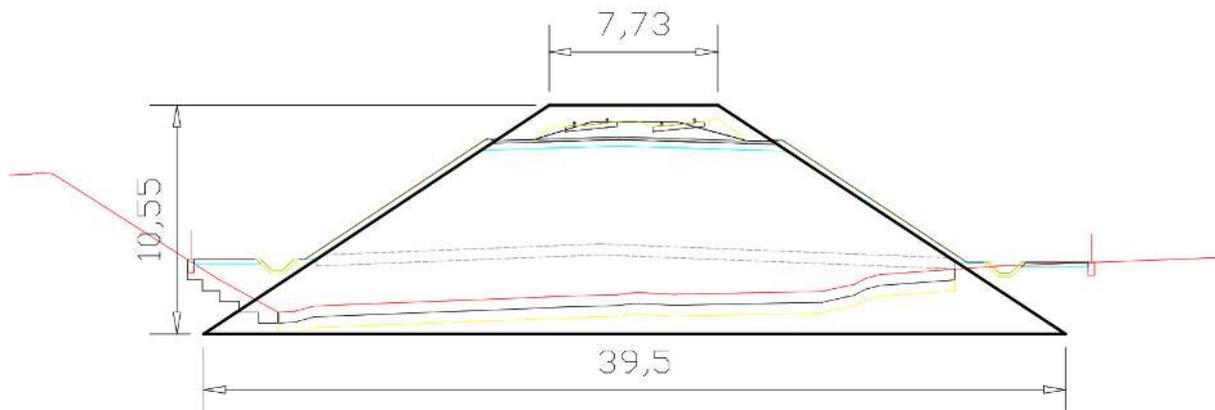


Figura 55: Sezione 20+450 – Modello di carico rispetto alla geometria di progetto

MODELLO DI CALCOLO

STRATIGRAFIA				PARAMETRI DEL MODELLO												SOND.	CAMPIONI	PROVA		
UG	z [m slm]	da	a	Δh_i [m]	z [m PC]	γ_N [kN/m ³]	γ_{SAT} [kN/m ³]	ϕ' [°]	K_0	E_s [MPa]	E'_{ur} [MPa]	CR	CC	e_0	C_v [m ² /s]	K [m/s]				
b2	40,95	39,13	1,82	1,82	19	19	23	0,61	10	30								CARATTERIZZAZIONE GENERALE		
TGC2-1	39,13	35,07	4,06	5,88	17	19	32	0,84	35	105								CARATTERIZZAZIONE GENERALE		
TGC2-2	35,07	31,13	3,94	9,82	17	19	32	0,82			0,03	0,3	0,9	9,00E-07			S_PE01	C2 10.25m	EDOMETRICA	
MDL1	31,13	28,9	2,23	12,05	20	20	38	0,38	125	375								CARATTERIZZAZIONE GENERALE		
MDL3-1	28,9	21,41	7,49	19,54	20	20	27	0,53			0,02	0,18	0,5	6,00E-07			IF15V07 S_PE13	C1 20.25m C13 21.6m	EDOMETRICA	
MDL2	21,41	14,97	6,44	25,98	20	20	31	0,66			0,03	0,18	0,62	8,00E-07			S_PE16bis	C11 24m	EDOMETRICA	
MDL3-2	14,97	0,95	14,02	40,00	20	20	27	0,67			0,04	0,17	0,55	9,50E-08			S_PE7	C12 35.25m	EDOMETRICA	

Tabella 15: Modello geotecnico di dettaglio pk 20+450

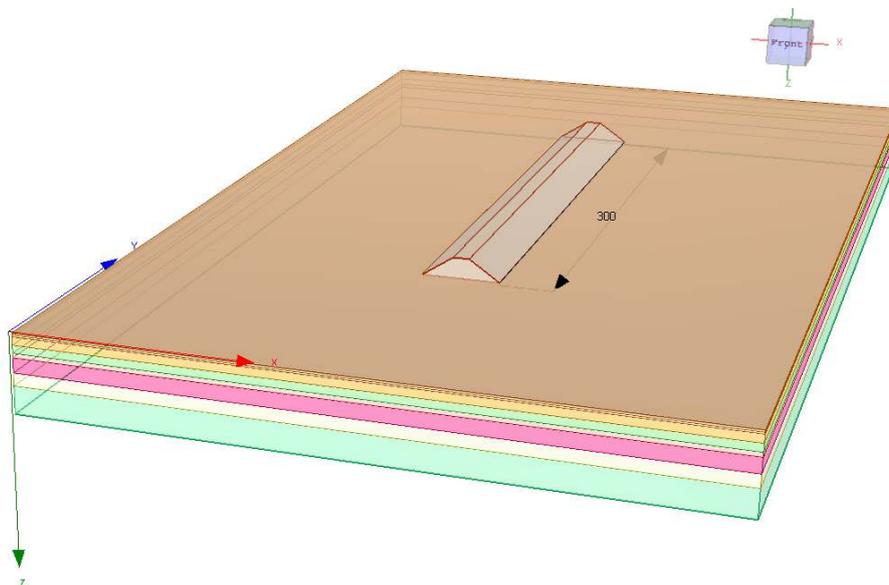


Figura 56: Sezione 20+450 – Modello di calcolo

Sezione 5, pk 21+350

Rappresentativa del rilevato RI11 in uscita dalla spalla Nord del viadotto VI05, fino al viadotto VI06. La tratta in esame che si sviluppa tra le pk 21+250 e 22+150 mostra la criticità maggiore per lo sviluppo di un rilevato di altezza massima 9.00m, su un sottosuolo costituito da depositi alluvionali antichi di medio alta compressibilità. Dimensioni del modello B = 39.5m, H = 10.55m, L = 100m.

Le unità geotecniche interessate dai cedimenti sono: bc3, TGC2, MDL1, MDL3, MDL2.

Valore calcolato, in asse ferrovia.

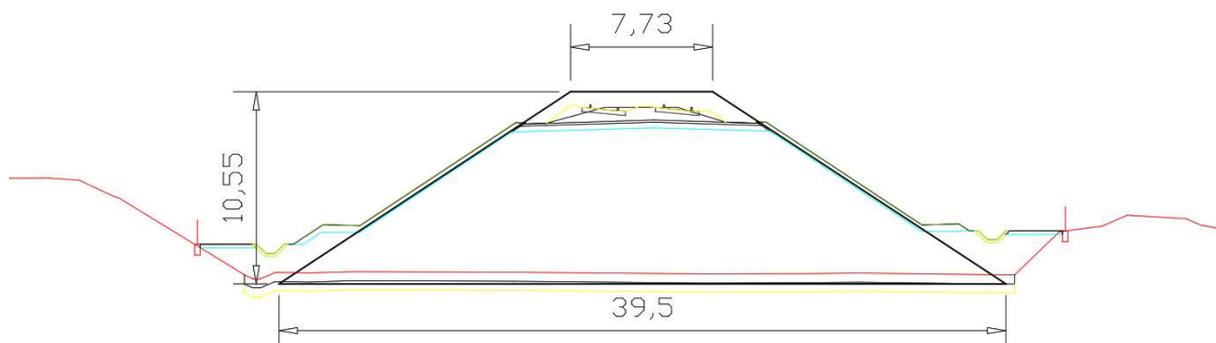


Figura 57: Sezione 21+350 – Modello di carico rispetto alla geometria di progetto

MODELLO DI CALCOLO																					
STRATIGRAFIA				PARAMETRI DEL MODELLO												SOND.		CAMPIONE		PROVA	
UG	z		Δh_i	z	γ_N	γ_{SAT}	OCR	K_0	E_s	E'_{ur}	CR	CC	e_0	C_v	C_{VR}						
	[m slm]	da	[m]	[m PC]	[kN/m ³]	[kN/m ³]			[MPa]	[MPa]				[m ² /s]	[m ² /s]						
bc3-1	39,54	37,54	2	2,00	19	19	3,5	1,07	50	150									CARATT. GEN. + CPTU_PE01+ CPTU03		
bc3-2	37,54	35,95	1,59	3,59	19	19	3,5	1,07	25	75									CARATT. GEN. + CPTU_PE01+ CPTU03		
bc3-3	35,95	32,04	3,91	7,50	19	19	3,5	1,07			0,025	0,25	0,856	2,00E-05	2,00E-05				S_PE15	C11 3.25m	EDOMETRICA
TGC2	32,04	31,54	0,5	8,00	17	19	3,4	0,82			0,03	0,3	0,9	9,00E-06	9,00E-06				S_PE01	C2 10.25m	EDOMETRICA
MDL1	31,54	22,75	8,79	16,79	20	20	1	0,38	125	375										CARATTERIZZAZIONE GENERALE	
MDL2	22,75	19,16	3,59	20,38	20	20	2	0,66			0,028	0,18	0,62	8,00E-07	8,00E-07				S_PE16bis	C11 24m	EDOMETRICA
MDL3	19,16	0	19,16	39,54	20	20	1,6	0,67			0,035	0,17	0,55	9,50E-08	9,50E-08				S_PE7	C12 35.25m	EDOMETRICA

Tabella 16: Modello geotecnico di dettaglio pk 21+350

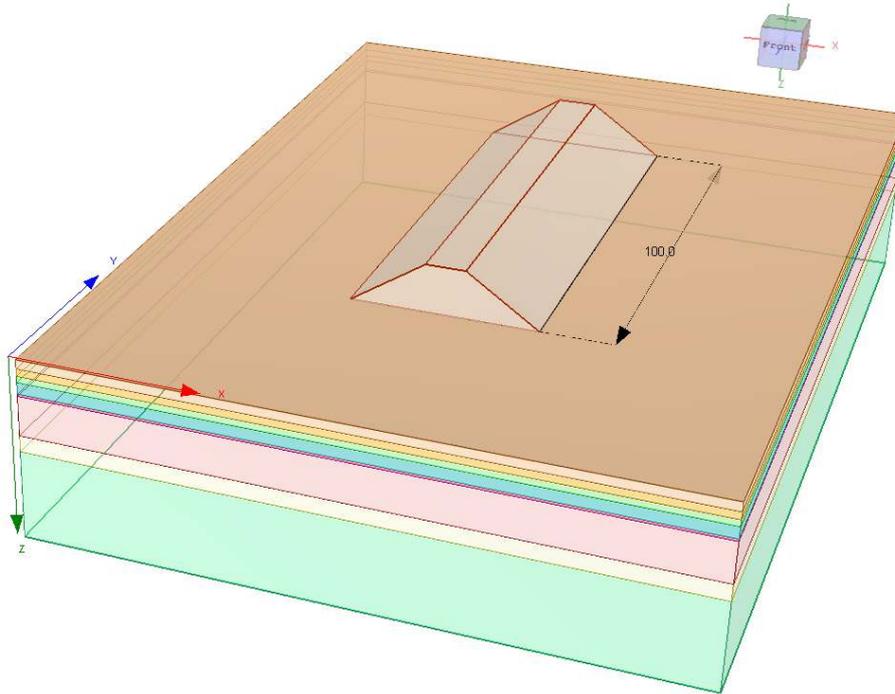


Figura 58: Sezione 21+350 – Modello di calcolo

Sezione 6, pk 25+570

Rappresentativa del rilevato RI16 in uscita dalla galleria artificiale GA02, in approccio alla spalla sud del viadotto VI07. Dimensioni del modello B = 26.5m, H = 9.0m, L=100m.

Le unità geotecniche interessate dai cedimenti sono: ba2, ba1, MDL3, MDL1.

Valore calcolato in asse al binario dispari.

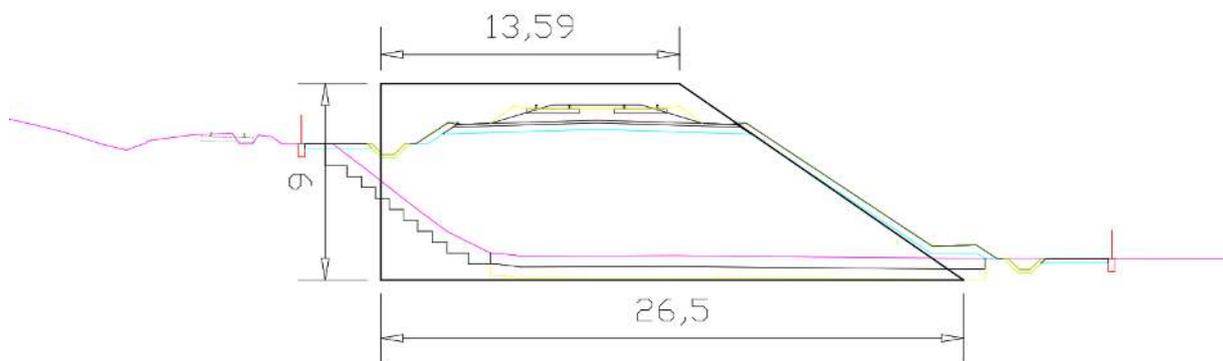


Figura 59: Sezione 25+570 – Modello di carico rispetto alla geometria di progetto

Relazione geotecnica generale Rilevati e Trincee

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF26	12 E ZZ	RH	TR0000 002	B	51 di 52

MODELLO DI CALCOLO

STRATIGRAFIA			PARAMETRI DEL MODELLO													SOND.	CAMPIONE	PROVA	
UG	z [m slm] da	a	Δh_i [m]	z [m PC]	γ_N [kN/m ³]	γ_{SAT} [kN/m ³]	OCR	K_0	E_s [MPa]	E'_{ur} [MPa]	CR	CC	e_0	C_v [m ² /s]	C_{vR} [m ² /s]				
ba2	45	37,5	7,5	7,50	19	19	3,5	1,07	25	75									CARATTERIZZAZIONE GENERALE
ba1	37,5	35	2,5	10,00	19	19	3	1,00	50	150									CARATTERIZZAZIONE GENERALE
MDL3	35	27,5	7,5	17,50	20	20	2,5	0,82			0,038	0,18	0,5	9,50E-08	9,50E-08	IF15V07	C2 20.25m	EDOMETRICA	
MDL1	27,5	5	22,5	40,00	20	20	1	0,38	125	375									CARATTERIZZAZIONE GENERALE

Tabella 17: Modello geotecnico di dettaglio pk 25+570

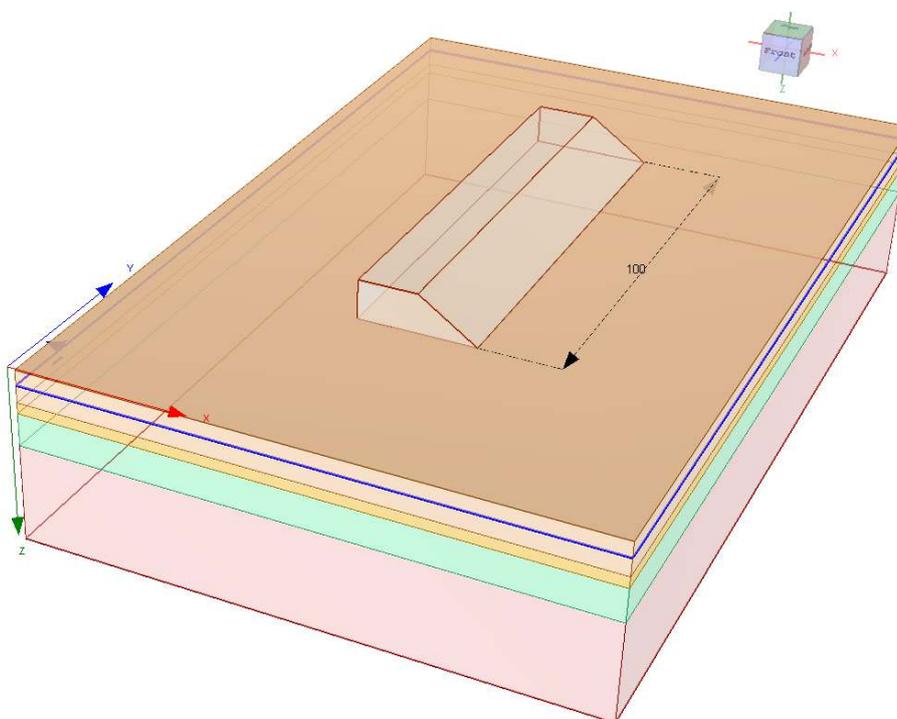


Figura 60: Sezione 25+570 – Modello di calcolo

8 RISULTATI DELLE ANALISI DI CEDIMENTO

I risultati delle analisi mostrano che i cedimenti totali, calcolati con modelli geotecnici di sottosuolo aggiornati sulla base dei dati sperimentali recenti variano tra 7 e 20cm. L'aliquota di cedimento che si sviluppa nei primi 5gg dal completamento del rilevato è la quasi totalità del cedimento complessivo.

Nell'arco della vita utile dell'opera il cedimento sviluppato è minore del limite tecnico di funzionamento dell'infrastruttura (soglia di tolleranza di 5cm).

SEZ.	pk	CEDIMENTO CALCOLATO			
		$\delta_{t=5gg}$	$\Delta\delta_{t=100anni}$	δ_{Tot}	$\delta_{t=5gg}$
	[km]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]
1	17+390	15,7	1,4	17,1	92%
2	17+864	19,1	1,5	20,6	93%
3	18+600	10,3	1,5	11,8	87%
4	19+755	5,6	1,6	7,1	78%
5	20+450	9,8	4,3	14,1	70%
6	21+350	7,8	4,7	12,5	62%
7	25+570	10,6	2,1	12,7	83%

Tabella 18: Risultati delle analisi di cedimento