

COMMITTENTE:



ALTA
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE
OBIETTIVO N. 443/01**

LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA

Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza

PROGETTO ESECUTIVO

RILEVATI

Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51

GENERALE

Relazione Geotecnica

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consorzio Iricav Due ing. Giovanni MALAVENDA iscritto all'ordine degli ingegneri di Venezia n. 4289 Data:	ing. Luca Zaccaria iscritto all'ordine degli ingegneri di Ravenna n.A1206 Data:		

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

I	N	1	7	1	2	E	I	2	R	B	R	I	0	8	B	0	0	0	1	B	-	-	-	D	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Luca RANDOLFI 	



Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	N. Valimberti	Marzo 2021	V. Pastore	Marzo 2021	P. Ascari	Marzo 2021	 P. Ascari Data: Aprile 2021
B	RECEPIMENTO ISTRUTTORIA VALIDATORE	N. Valimberti	Aprile 2021	V. Pastore	Aprile 2021	P. Ascari	Aprile 2021	

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E9100000009	File: IN1712EI2RBRI08B0001B.DOCX
		Cod. origine:





Progetto cofinanziato dalla Unione Europea



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI08B0001B</p>	<p>Foglio 2 di 71</p>

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1	Documentazione di progetto.....	5
2.2	Normativa e standard di riferimento.....	5
2.3	Bibliografia	6
3	INQUADRAMENTO DELL'OPERA	7
3.1	Geometria del rilevato	7
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	8
4.1	Inquadramento geotecnico	8
4.1.1	Indagini disponibili.....	9
4.1.2	Livello di falda	10
4.2	Condizioni geotecniche del sito	11
4.3	Sintesi del modello geotecnico di riferimento	19
4.3.1	Materiale da rilevato.....	19
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	20
5.1	Sollecitazione sismica di progetto.....	20
5.1.1	Vita Nominale.....	20
5.1.2	Classe d'uso	20
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	21
5.1.4	Categorie di Sottosuolo.....	21
5.1.5	Condizioni topografiche	21
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento	22
5.2	Suscettibilità alla liquefazione.....	22
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO	31
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite.....	31
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU).....	31
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE)	33
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche	33
6.2	Azioni di progetto	33
6.2.1	Azioni permanenti	34
6.2.2	Azioni variabili	34
6.2.3	Azione sismica	34
6.3	Verifiche e risultati SLU	35
6.3.1	Premessa.....	35

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI08B0001B</p>	<p>Foglio 3 di 71</p>

6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche	35
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche	36
6.4	Verifica e risultati SLE.....	38
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	43
Allegati		44
ALLEGATO 1 - STRATIGRAFIE.....		45
ALLEGATO 2 - SONDAGGI.....		47
ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICO		50
ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICO		59
ALLEGATO 5 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE		68

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 4 di 71

1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato esistente RI08B, facente parte della la linea storica Verona-Padova, collocato in affiancamento al rilevato RI08A della nuova AV/AC, che si estende tra le progressive km 2+196,68 ed il km 2+538,00.



Per questo rilevato sono previsti interventi minori relativi alla installazione delle barriere antirumore ed alla deviazione dei binari, che non vanno a modificare in modo sostanziale la geometria del rilevato esistente.

La relazione descrive in dettaglio il modello geotecnico definito sulla base delle indagini geognostiche eseguite nelle vicinanze dell'opera e delle caratteristiche geotecniche attribuite ai materiali rinvenuti lungo la tratta.

Le verifiche discusse sono state eseguite ai sensi della Normativa applicabile al Progetto (v. capitolo seguente) e gli interventi proposti sono volti a garantire la stabilità dei rilevati ed il rispetto dei requisiti prestazionali previsti per le opere in oggetto.

Il documento è così organizzato:

- documenti e normativa di riferimento (capitolo 2);
- inquadramento dell'opera e caratteristiche geometriche del rilevato (capitolo 3);
- definizione del modello geotecnico di riferimento (capitolo 4);
- valutazione della suscettibilità alla liquefazione e descrizione degli eventuali interventi di mitigazione (capitolo 5);
- verifiche geotecniche dei rilevati (capitolo 6);
- conclusioni e raccomandazioni (capitolo 7).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 5 di 71



2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni di Progetto Esecutivo
- [2] IN1710EI2RBGE0000001A Relazione Geotecnica (da 0+000 a 10+050)
- [3] IN1710EI2LZGE0000012A Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico 1 di 11
- [4] IN1710EI2RHGE0000005A Relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base 1/2
- [5] IN1710EI2P5GE0000001A Planimetrie con classificazione sismica del territorio 1 di 11
- [6] IN1710EI2RHGE0000003A Relazione idrogeologica 1/2
- [7] IN1710EI2RHGE0000007A-8A Relazione di sintesi dei sondaggi e delle prove eseguite
- [8] IN1710EI2PRGE0000001A-2A, Risultati Indagini in sito di Progetto – SOCOTEC
- [9] IN1710EI2PRGE0000003A-4A, Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI
- [10] IN1710EI2PRGE0000005A-8A, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [11] IN1710EI2PRGE0000009A-12A, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING - GEOLAVORI
- [12] IN1710EI2IGGE0000001A-2A, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [13] IN1710EI2IGGE0000003A-4A, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING - GEOLAVORI

2.2 Normativa e standard di riferimento

- [14] Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30
- [15] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008
- [16] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [17] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- [18] RFI DTC SI PS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle opere civili, Parte II – Sezione 2, Ponti e strutture
- [19] RFI DTC SI CS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle opere civili, Parte II – Sezione 3, Corpo stradale
- [20] RFI DTC INC PO SP IFS 001 A Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario
- [21] RFI DTC INC CS SP IFS 001 A Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI08B0001B</p>	<p>Foglio 6 di 71</p>



[22] RFI DTC SICS SP IFS 001 B Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi”– RFI

[23] RFI TCAR ST AR 01 001 D Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h

[24] Specifiche Tecniche di interoperabilità 2015 (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)

2.3 Bibliografia

- [25] Hynes, M.E., and Olsen, R.S. (1999), “Influence of confining stress on liquefaction resistance”, Proc., Int. Workshop on Phys. And Mech. Of Soil Liquefaction, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 145-152.
- [26] Idriss, I.M. and Boulanger, R.W. (2004), “Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes”. In: Proceedings, 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake engineering, and 3d International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. D. Doolin et al., eds., Stallion press, Vol. 1, pp. 32-56.
- [27] Liao, S.C.C. and Whitman, R.V. (1986), “Overburden Correction Factors for SPT in sand”, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, No. 3, 373-377.
- [28] Robertson P.K. and Wride C.E. (1998). “ Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test”. Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, 35(3), pp. 442-459.
- [29] Rocscience (2017), Slide ver 7.0, 2017
- [30] Rocscience (2009), Settle 3D ver 2.0, 2009
- [31] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1971), “Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential”, Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 97(9), pp.1249-1273.
- [32] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982), “Ground motions and soil liquefaction during earthquakes”, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA.
- [33] Seed, R.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F., Chung, L.M. (1985), “The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations”, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 111(12), pp.1425-1445.
- [34] Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, L.W.D., Harder, L.F. Jr., Hynes, M.H., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F. III, Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B. and Stokoe, K.H. II (2001), “Liquefaction Resistance of Soil: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol. 127, n° 10, pp.817-833.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI08B0001B</p>	<p>Foglio 7 di 71</p>

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame si estende dalla pk 2+196,68 alla pk 2+538,00 per una lunghezza totale di 341,32 m. In affiancamento ad esso, lungo tutta la sua estensione, viene realizzato il rilevato RI08A della nuova linea AV/AC.

3.1 Geometria del rilevato

La sezione del rilevato è uniforme per tutto il tracciato, con il rilevato RI08A in affiancamento sul lato Sud. Alla pk 2+206,80 sezione n. RI08A-1, si riscontra l'altezza massima del rilevato pari a 4,5 m. La Sezione A (Figura 1) con altezza massima è quella ritenuta più significativa per le verifiche del rilevato in esame.

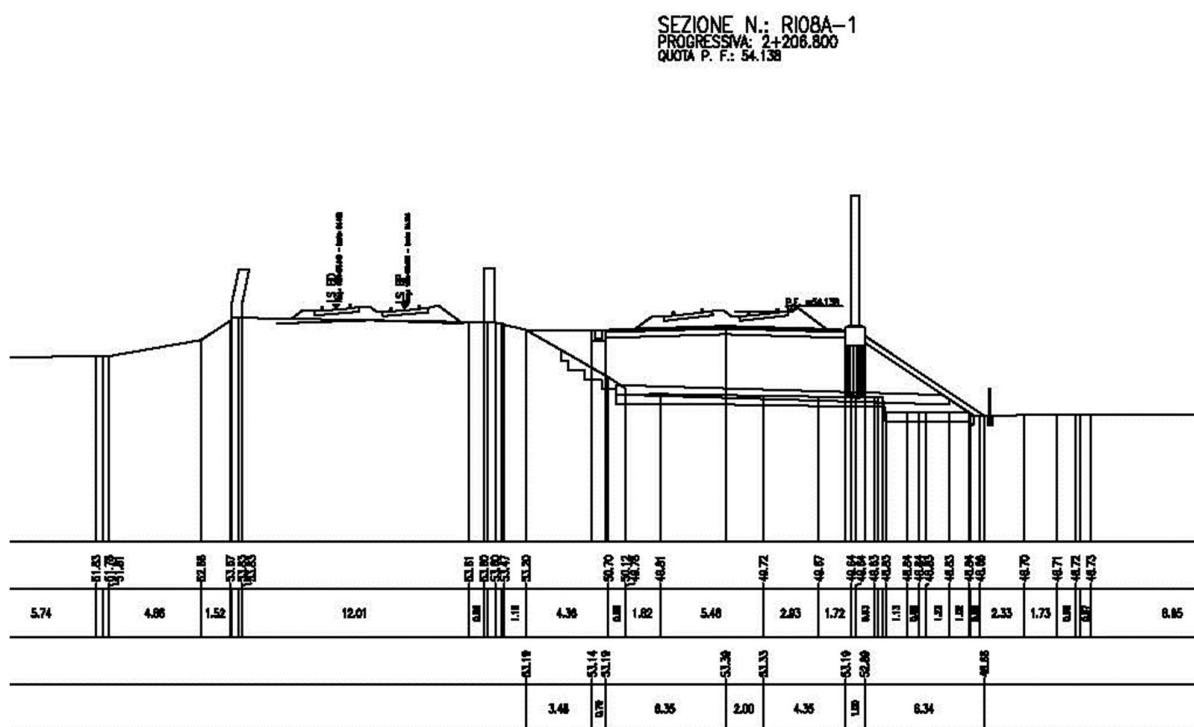




Figura 1 – Sezione di riferimento A (pk 2+206,80 n. RI08A-1) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI08B0001B</p>	<p>Foglio 8 di 71</p>

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1 Inquadramento geotecnico

La tratta relativa al rilevato in esame si estende dalla progressiva pk 2+196,68 alla pk 2+538,00.

Dal punto di vista geotecnico la zona è generalmente interessata dalla presenza di ghiaie ben addensate (Unità 6) da pc ad una profondità di circa 17 m, sovrastanti il substrato sabbioso (Unità 4) che si estende in profondità a partire da 17 m pc.

Sulla base dei dati disponibili, si presuppone la locale presenza di un modesto spessore di strato di riporto, solitamente costituiti da materiali a grana grossa (sabbie e ghiaie) .

Per una trattazione di dettaglio delle unità sopra citate si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale del tratto in esame (Doc. Rif. [2]).

Nella Figura 2 si riporta il profilo geotecnico specifico per il rilevato RI08B, estratto dalla “Planimetria e Profilo Geotecnico - Tav. 1 di 11” (Doc. Rif. [3]), riportato in ALLEGATO 1 - .

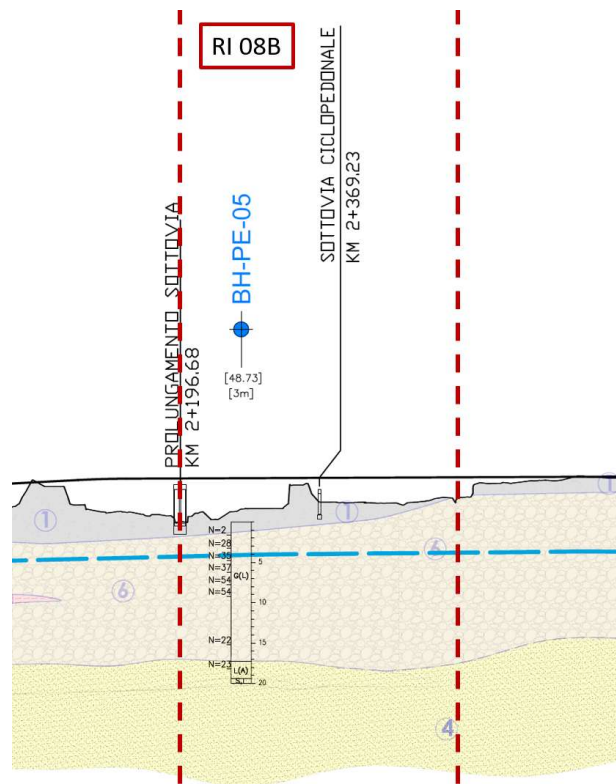


Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato RI08B, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

4.1.1 Indagini disponibili

L'ubicazione delle indagini disponibili relative all'opera esaminata è illustrata nella Figura 3, estratta dalla Planimetria geotecnica con ubicazione indagini e profilo geotecnico (Doc. Rif. [3]). Per ulteriori dettagli si rimanda alle relazioni di sintesi delle indagini (Doc. Rif. [7] - [13]).

I risultati delle indagini di pertinenza, in termini di stratigrafie dei sondaggi, sono riportati in ALLEGATO 2 - .

Le indagini disponibili lungo il tratto d'interesse per il rilevato in oggetto sono elencate in Tabella 1. Nei paragrafi seguenti si riporta la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione, ottenuta basandosi sui risultati delle indagini relative all'area di interesse e sulla caratterizzazione generale dell'area in cui si inserisce il rilevato, presentata nella Relazione Geotecnica Generale (Doc. Rif. [2]).

Per una trattazione completa dei criteri utilizzati per la valutazione dei parametri geotecnici a partire dai dati di prove in sito e di laboratorio, si rimanda al capitolo 5 della Relazione Geotecnica Generale (Doc. Rif. [2])

Tabella 1 - Indagini da pk 2+000 a pk 3+000

Progressiva pk	ID indagini	Campagna anno
2+272	BH-PE-05	2020-2021

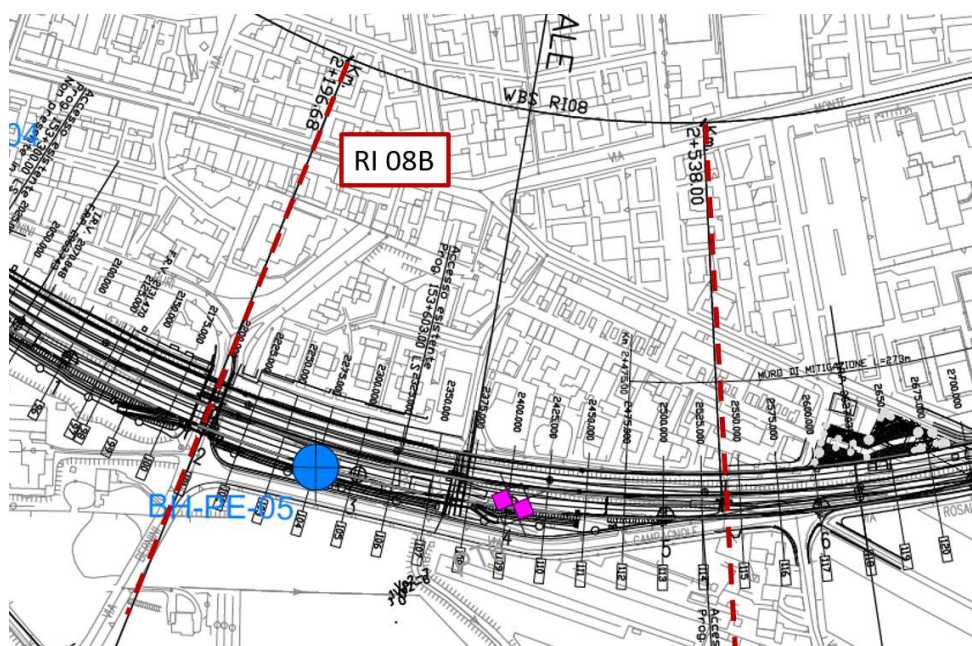




Figura 3 - Planimetria Rilevato RI08B, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 10 di 71

4.1.2 Livello di falda

Per il livello di falda si è fatto riferimento ai valori di soggiacenza misurati nei piezometri lungo l'area in cui si inserisce l'opera in esame e riportati nella Relazione Idrogeologica (Doc. Ref. [6]). Quest'ultimi indicano una sostanziale stabilità nelle escursioni stagionali.

Ai fini progettuali si assume:

- falda di progetto a medio termine: -4m da piano campagna;
- falda di progetto a lungo termine: coincidente con piano campagna. Questo livello corrisponde all'evento di massima piena del fiume Adige.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI08B0001B</p>	<p>Foglio 11 di 71</p>

4.2 Condizioni geotecniche del sito

La Figura 5 mostra i risultati delle prove SPT eseguite nel tratto interessato dal rilevato in esame.

La porzione più superficiale, localmente, potrà essere costituita da un sottile strato di terreno di riporto (Unità 1), che sarà molto probabilmente rimosso completamente nell'ambito delle attività di scotico. In ogni caso, le informazioni indicano che, in tale area, i riporti, quando presenti, sono usualmente costituiti da materiali a grana grossa (sabbie e ghiaie), e pertanto adatti, dopo una ordinaria compattazione superficiale, a servire da idoneo strato di appoggio del rilevato.



Procedendo con la profondità si incontra uno strato di ghiaie e ghiaie sabbiose ben addensate (Unità 6), che si estende da 1 m a circa 17 m da p.c.. All'interno del deposito incoerente le percentuali di materiale a grana fine sono generalmente inferiori a 15% e si registrano valori di N_{SPT} mediamente pari a 55 colpi/30cm, con valori anche superiori a 60 colpi/30cm. La densità relativa delle ghiaie risulta generalmente variabile fra il 40 e il 60% e quindi il deposito risulta da mediamente addensato ad addensato.

Più in profondità si individua la presenza di depositi di sabbia limosa addensati (Unità 4), a partire dalla profondità di 17 m da p.c. fino alla quota di fine sondaggi (30 m da p.c.). In questi depositi le percentuali di materiale fine arrivano fino al 25-30%. I valori medi di $N_{SPT\ sono}$ pari a 65 colpi/30cm, con valori sempre compresi tra 50 e 80 colpi/30cm. La densità relativa delle sabbie risulta generalmente attorno a 70% con valori anche superiori a 80%.

Si evidenzia comunque come il volume di terreno interessato dai modesti incrementi di carico attesi (dell'ordine dei 60-70 kPa) si esaurisca all'interno dello strato di ghiaia, e che pertanto la caratterizzazione degli strati presenti in profondità non sia di interesse ai fini della definizione del modello geotecnico di progetto.

Il profilo di V_s derivante dalle interpretazioni discusse nella Relazione Sismica (Doc. Rif. [4]), basata sui risultati delle prove MASW e SPT, conferma la presenza di materiali incoerenti da mediamente a molto addensati. Fino a 15 m da p.c., per le ghiaie superficiali si stimano valori di V_s crescenti e compresi tra 250 m/s e 400 m/s. A profondità maggiori, nelle sabbie, le velocità V_s sono da considerarsi pressoché costanti, comprese tra 350 m/s e 450 m/s fino a 35 m da p.c. Sulla base dei valori di V_s si sono stimati i valori del modulo di taglio alle piccole deformazioni (G_0). Per le ghiaie si ottengono valori crescenti compresi tra 120 MPa e 250 MPa, mentre per le sabbie profonde si ottengono valori dell'ordine di 250 MPa.

Per i materiali a grana grossa, si è stimato il valore del modulo di Young iniziale (E_0) utilizzando da teoria dell'elasticità a partire dal valore del modulo G_0 , ed utilizzando valori di $\nu = 0.25-0.30$. Il valore del modulo di Young operativo (E_{op}) per il calcolo di cedimenti di fondazioni superficiali e rilevati è stato calcolato ipotizzando un decadimento del modulo dell'ordine di 1/5 di quello iniziale per gli strati superficiali e dell'ordine di 1/3 di quello iniziale per gli strati più in

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 12 di 71

profondità, dove le deformazioni attese sono minori.

Le seguenti figure riportano i risultati delle principali prove di sito e dei parametri geotecnici dei terreni, interpretati alla luce di quanto riportato in [2] e [4].

- Distribuzione delle granulometrie da analisi di laboratorio (v. Figura 4);
- Valori N_{SPT} da prove SPT (v. Figura 5);
- Densità relativa stimata da prove SPT (v. Figura 6);
- Angolo di attrito stimato da prove SPT (v. Figura 7);
- Velocità delle onde di taglio stimata da prove in sito (v. Figura 8);
- Modulo di taglio alle piccole deformazioni valutati a partire dai valori stimati di V_s (v. Figura 9).

AV/AC VERONA VICENZA

RI 08B da pk 2+196,68 a pk 2+538,00

Contributi granulometrici (%)

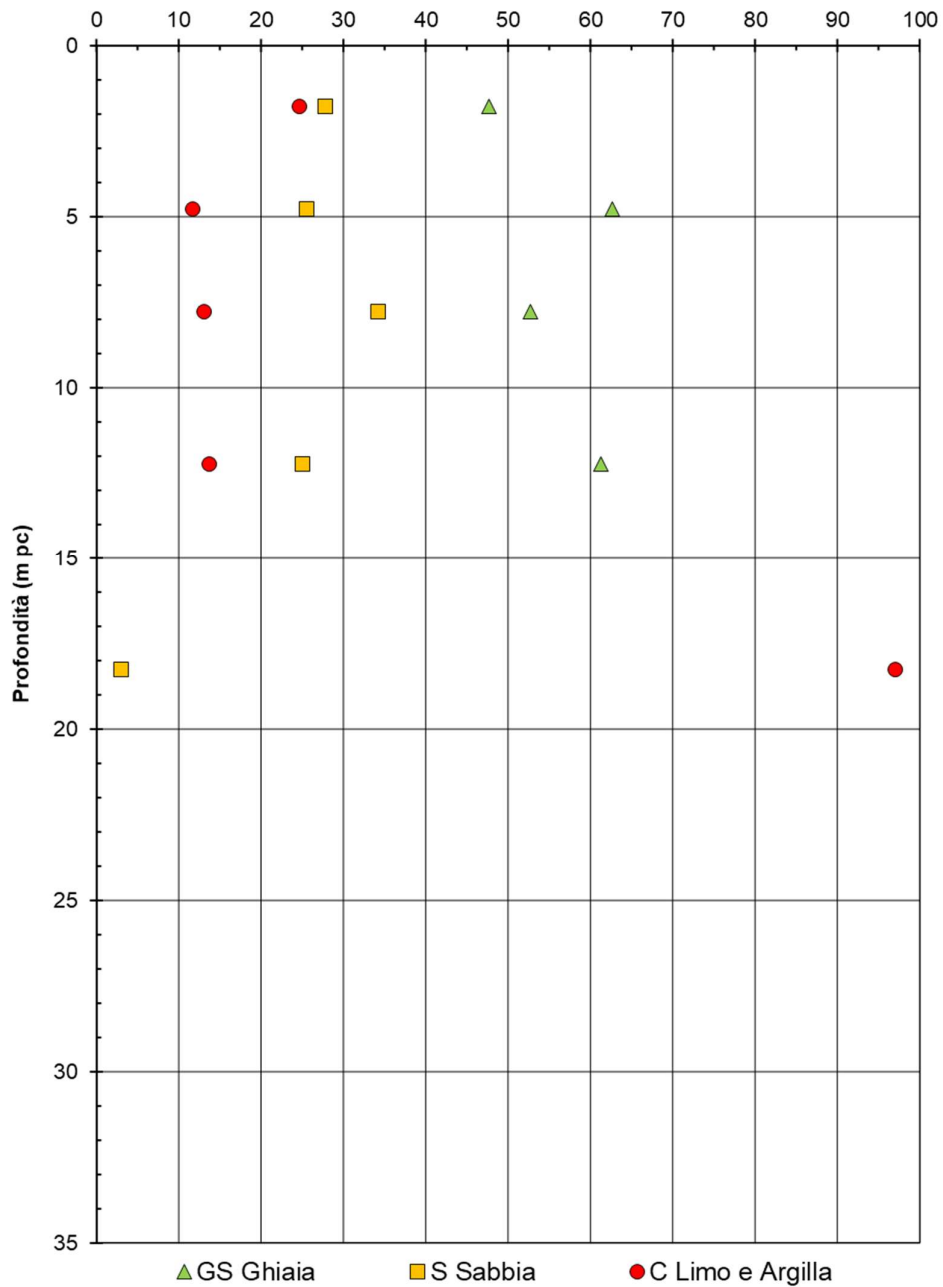


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche tra pk 2+196,68 a pk 2+538,00

AV/AC VERONA VICENZA

RI 08B da pk 2+196,68 a pk 2+538,00

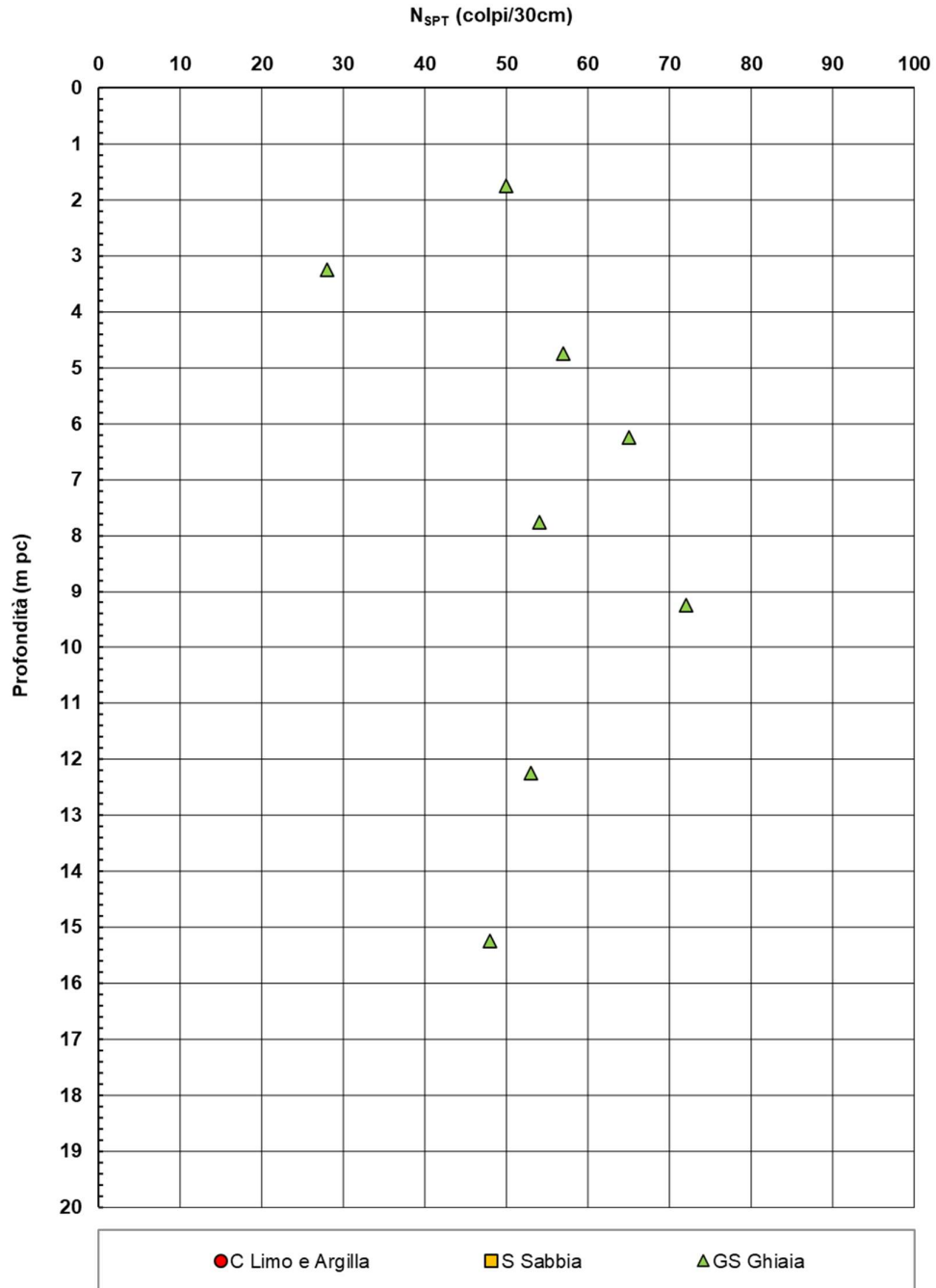


Figura 5 – Esito delle prove SPT tra pk 2+196,68 a pk 2+538,00

AV/AC VERONA VICENZA

RI 08B da pk 2+196,68 a pk 2+538,00

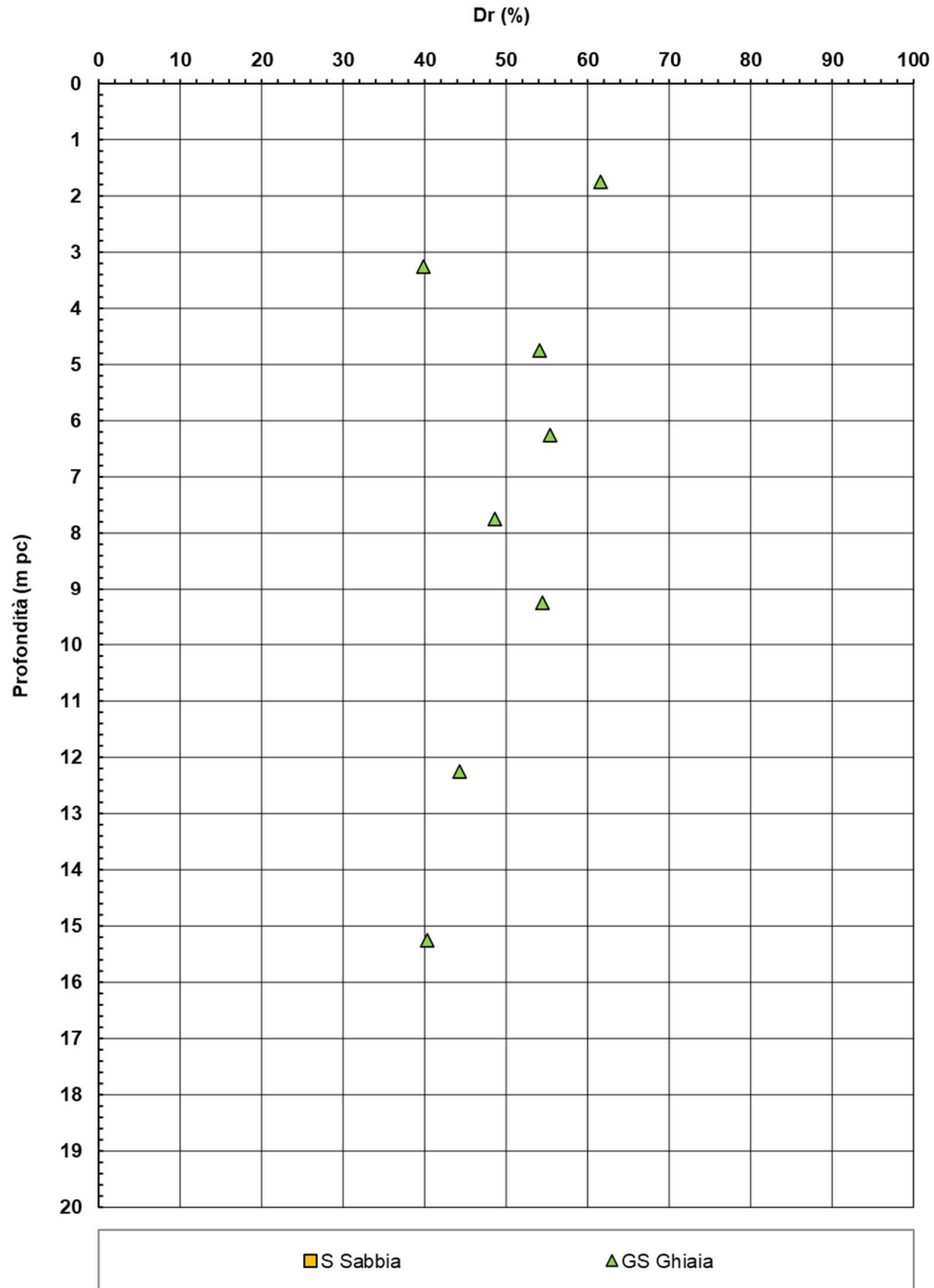


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT tra pk 2+196,68 a pk 2+538,00

Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI08B0001B

Foglio
16 di 71

AV/AC VERONA VICENZA

RI 08B da pk 2+196,68 a pk 2+538,00

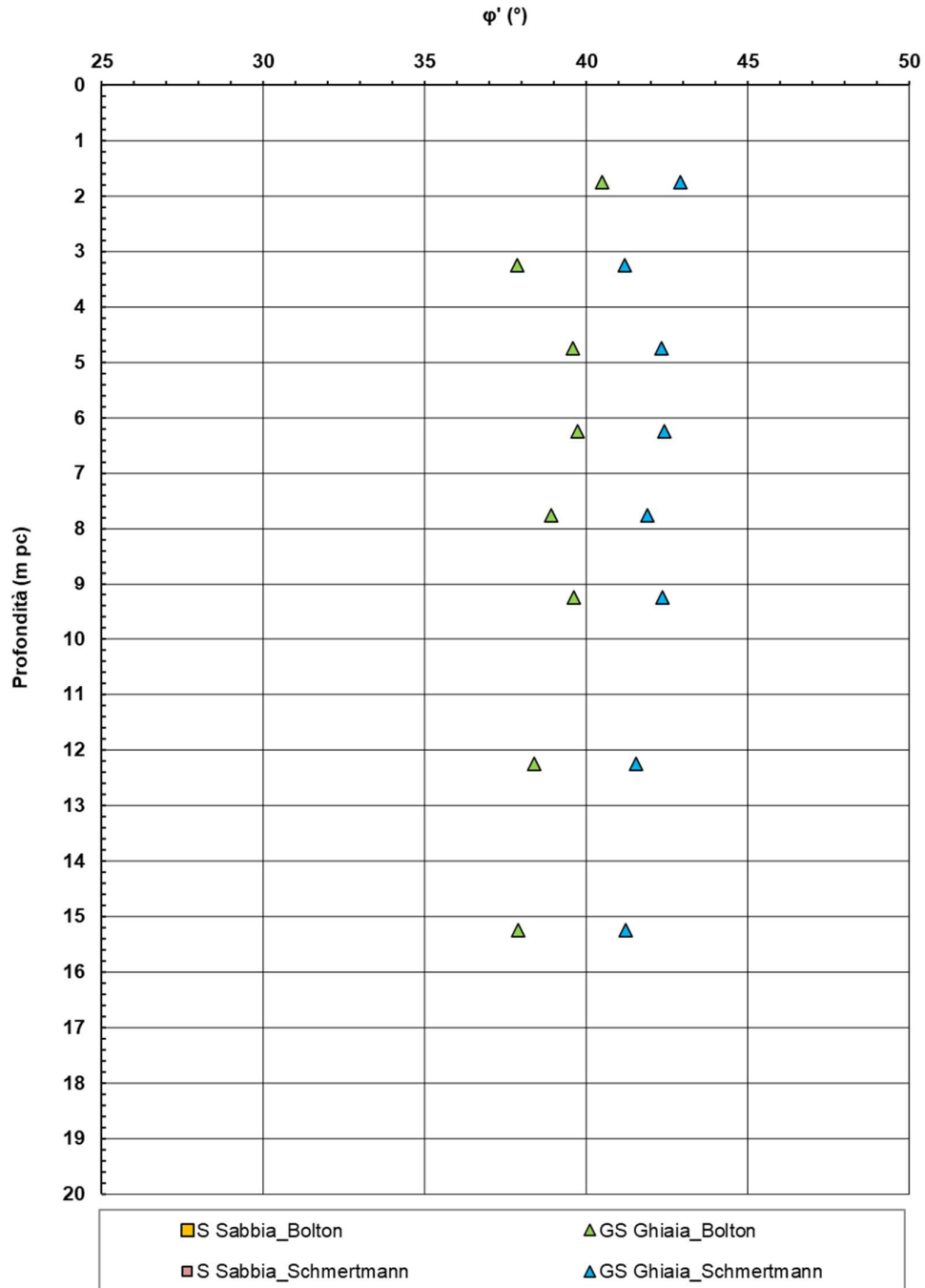


Figura 7 – Angoli di attrito da prove SPT tra pk 2+196,68 a pk 2+538,00

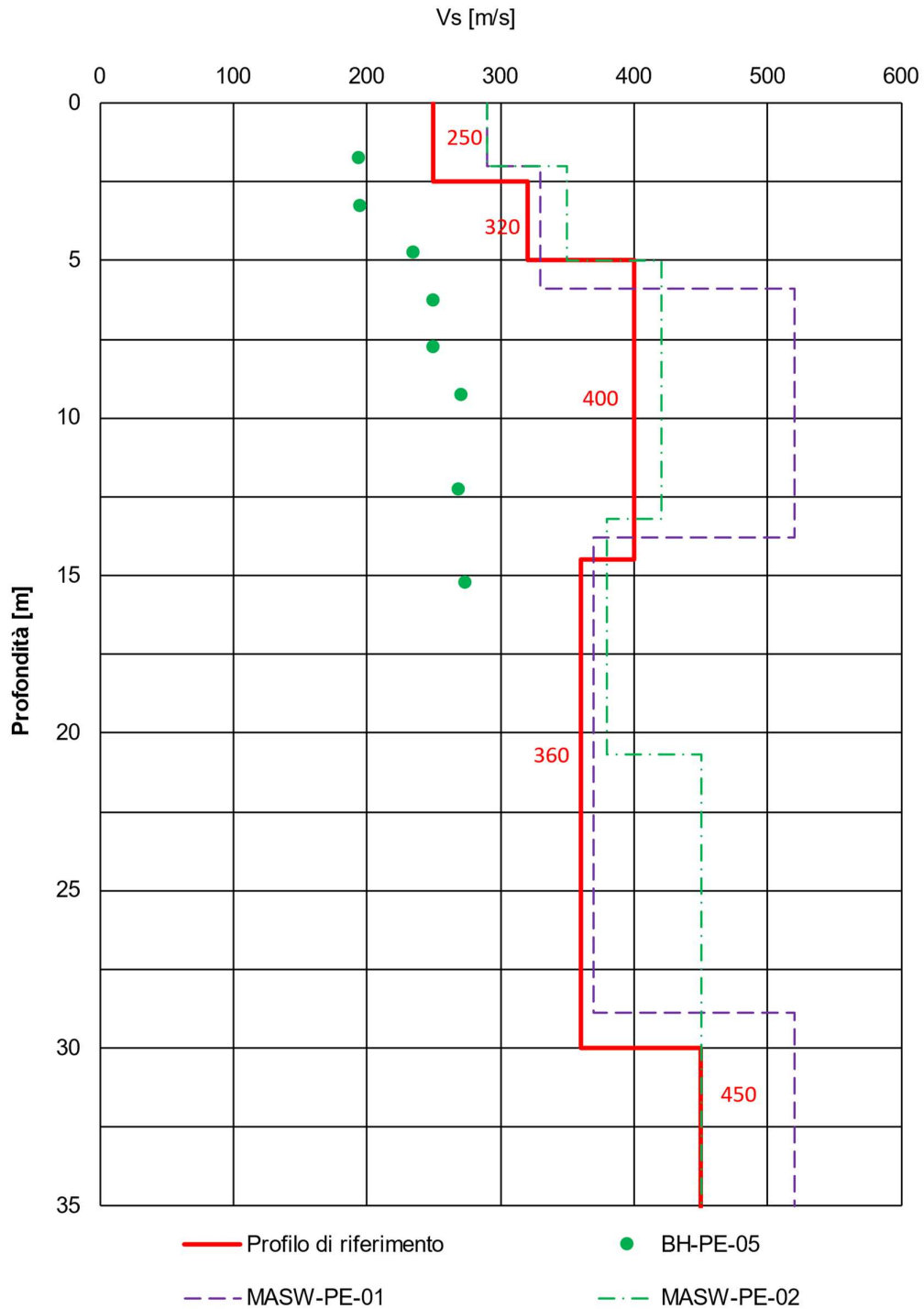


Figura 8 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW tra pk 2+196,68 a pk 2+538,00

AV/AC VERONA VICENZA

pk 2+196,68 - pk 2+538,00

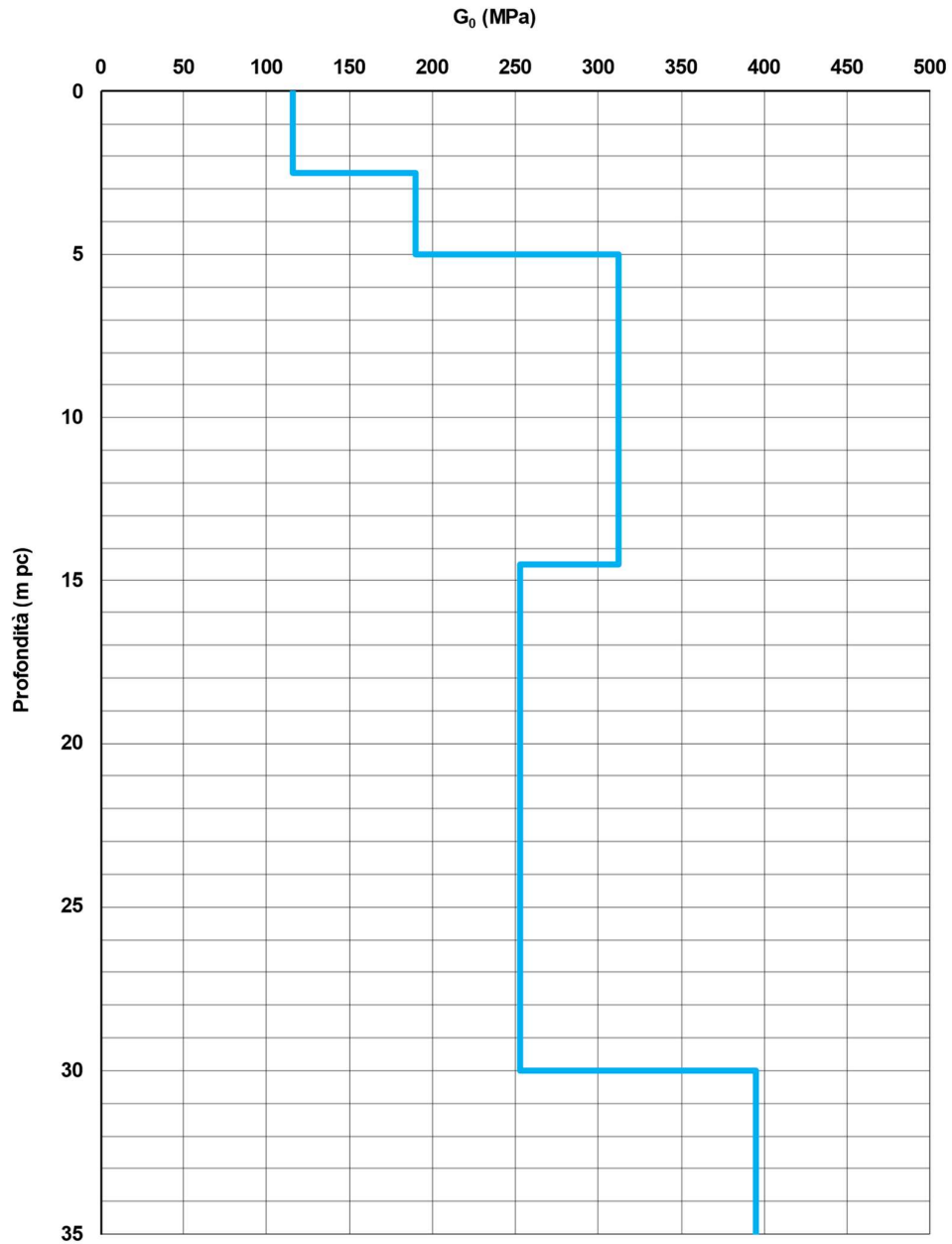




Figura 9 – Modulo di taglio G_0 tra pk 2+196,68 a pk 2+538,00

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 19 di 71

4.3 Sintesi del modello geotecnico di riferimento

Sulla base di quanto esposto al punto precedente, il modello geotecnico considerato per le verifiche del rilevato in questione è riportato in Tabella 2.

Tabella 2 – Modello geotecnico di riferimento

Unità	da m pc*	a m pc*	γ kN/m ³	ϕ_k °	c_k' kPa	$c_{u,k}$ kPa	G_0 MPa	E'_{op} MPa
6	0.5	17	19.5	39	0	-	120-250**	60-130**

* quota piano campagna = 50,30 m s.l.m.

** valori crescenti con la profondità



Per la falda si fa riferimento a quanto riportato in 4.1.2.

4.3.1 Materiale da rilevato

Le caratteristiche dei rilevati ferroviari sono desunte dal MdP (Doc. rif. [19]) e sono di seguito riassunte:

Tabella 3 - Caratteristiche materiale da rilevato

	γ kN/m ³	ϕ °	c' kPa
Materiale da rilevato	20	38	0

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 20 di 71

5 CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

5.1 Sollecitazione sismica di progetto

5.1.1 Vita Nominale

La vita nominale di un'opera V_N è intesa come il numero di anni nel quale la stessa, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Coerentemente a quanto previsto dal MdP (Doc. rif. [18] e [19]), l'opera in oggetto viene inserita nella tipologia di costruzione con $V_N = 100$ anni.

Tabella 4 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

<i>Opere nuove su infrastrutture ferroviarie progettate con le norme vigenti prima del DM 14.01.2008 a velocità convenzionale ($V < 250$ km/h)</i>	$V_N = 50$ anni
<i>Altre opere nuove a velocità $V < 250$ km/h</i>	$V_N = 75$ anni
<i>Altre opere nuove a velocità $V \geq 250$ km/h</i>	$V_N = 100$ anni
<i>Opere di grandi dimensioni: ponti e viadotti con campate di luce maggiore di 150 m</i>	$V_N \geq 100$ anni

5.1.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, l'opera appartiene alla seguente classe d'uso III (Tabella §2.5.1.1.2.1 di RFI DTC SI PS MA IFS 001 B):

- I *Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.*
- II *Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*
- III *Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.*
- IV *Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.*

Il coefficiente d'uso è pari a 1.50, coerentemente a quanto indicato nella Tab. 2.4.II delle NTC.



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 21 di 71

Tabella 5 – Valori del coefficiente di uso C_u

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente d'uso	0.7	1.0	1.5	2.0

5.1.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Il periodo di riferimento $V_R = V_N * C_U = 100 * 1.5 = 150$ anni.

5.1.4 Categorie di Sottosuolo



Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale. Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel § 3.2.2 delle NTC2018. Come discusso nella Relazione sulla modellazione sismica (Doc. rif. [4]) e nelle Planimetrie con classificazione sismica dei terreni (Doc. rif. [5]), i terreni di progetto possono essere caratterizzati come appartenenti a terreni di Categoria C:

- A *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*
- B *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*
- C *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*
- D *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.*
- E *Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.*

5.1.5 Condizioni topografiche

In condizioni topografiche superficiali semplici si può adottare la classificazione proposta nelle NTC, secondo la quale le categorie individuate si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m. L'area interessata risulta classificabile come **T1**.

- T1 *Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.*
- T2 *Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$.*
- T3 *Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$.*
- T4 *Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$.*

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI08B0001B</p>	<p>Foglio 22 di 71</p>

5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

Di seguito si riportano i valori dei parametri spettrali dipendenti dal sito dell'opera in oggetto:

a_g (g) (SLV)	0.233
Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s	1.360
Coefficiente di amplificazione topografica S_t	1.0
Accelerazione massima attesa al suolo a_{max} (g) ($a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$)	0.317

5.2 Suscettibilità alla liquefazione

Lo studio della suscettibilità alla liquefazione dei terreni identificati nell'area di realizzazione del rilevato è stato eseguito nel rispetto della normativa vigente (Doc. rif. [14]). Le analisi di liquefazione sono descritte in dettaglio nelle Relazioni sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base (Doc. rif. [4]), alla quale si rimanda per maggiori dettagli.



Nello specifico, verificata la non rispondenza ai criteri di esclusione di cui alle NTC2008, la determinazione del potenziale di liquefazione è stata condotta per il periodo di ritorno dell'azione sismica corrispondente a quello dello stato limite ultimo di verifica (SLV) utilizzando i valori di pericolosità sismica al sito riportati al par. 5.1.6 relativi allo SLV (opere di linea ad esclusione delle gallerie artificiali, $V_R = 150$ anni).

Il valore di magnitudo necessario per la valutazione della pericolosità a liquefazione è stato determinato tenendo conto di tre differenti "fonti di dati" alla base delle definizioni dell'azione sismica di NTC2008, ossia:

- L'analisi di disaggregazione dei valori di pericolosità sismica (accelerazione su suolo rigido orizzontale) di cui alle NTC2008, fornita quale elaborazione aggiuntiva direttamente dal progetto INGV-DPC S1.
- Analisi dei dati di magnitudo da terremoti storici aventi epicentro entro una distanza di 30Km dal tracciato di progetto, sulla base delle informazioni fornite dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI11.
- Magnitudo attesa per un periodo di ritorno pari almeno a 975 anni valutata sulla base del modello delle zone sismogenetiche ZS9 (riportato in Figura 1), alla base delle mappe di pericolosità sismica del territorio italiano allegate alle NTC2008, e sulla distribuzione dei valori di magnitudo associati ai massimi terremoti storici.

Facendo sempre riferimento al Doc. rif. [4] per i dettagli dell'analisi sopra descritta, e in continuità con le considerazioni espresse in sede di Progetto Definitivo, è stato considerato ragionevole assumere per il tracciato di progetto un valore di magnitudo di riferimento da adottare nelle verifiche a liquefazione di cui ai paragrafi successivi pari a 6.0.

La valutazione di suscettibilità alla liquefazione è stata quindi condotta in accordo al "metodo semplificato" originariamente proposto da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), confrontando lo sforzo di taglio ciclico

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 23 di 71

normalizzato rispetto alla pressione verticale in sito (CSR) e la resistenza normalizzata del terreno al taglio ciclico (CRR) così definiti:

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} \quad \text{Rapporto di tensione ciclica}$$

$$CRR = \frac{\tau_l}{\sigma'_{v0}} \quad \text{Rapporto di resistenza ciclica}$$

Lo sforzo di taglio indotto ad ogni profondità in un terreno a superficie piana durante l'evento sismico è dovuto essenzialmente alla propagazione delle onde di taglio polarizzate orizzontalmente. In accordo al metodo utilizzato, la tensione di taglio ciclico indotta dallo scuotimento sismico (sforzo di taglio ciclico normalizzato CSR) viene approssimata da un valore efficace dell'accelerazione pari al 65% della accelerazione di picco a_{max} come segue:

$$CSR = \frac{\tau_c}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \frac{\tau_{max}}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d$$

dove:

a_{max} accelerazione di picco al sito

g accelerazione di gravità

τ_c valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

σ_{vo} tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni totali

σ'_{vo} tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni efficaci



r_d coefficiente di riduzione dello sforzo di taglio ciclico in funzione della profondità da piano campagna, calcolato come segue in accordo a Blake (Blake, 1996, riportato da Youd et al., 2001):

$$r_d = \frac{1 - 0.4113 \cdot z^{0.5} + 0.04052 \cdot z + 0.001753 \cdot z^{1.5}}{1 - 0.4177 \cdot z^{0.5} + 0.05729 \cdot z - 0.006205 \cdot z^{1.5} + 0.00121 \cdot z^2}$$

CSR può essere messo in relazione al numero di cicli significativi dell'azione sismica, funzione della magnitudo M .

Per $M \neq 7.5$ è necessario introdurre un fattore di scala della magnitudo MSF così definito:

$$MSF = \frac{CSR_M}{(CSR)_{M=7.5}} = \left(\frac{N_{M=7.5}}{N_M} \right)^b$$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 24 di 71

dove CSR_M e N_M rappresentano i valori di CSR e numero di cicli equivalenti per il valore di magnitudo di progetto, mentre $(CSR)_{M=7.5}$ e $N_{M=7.5}$ sono riferiti all'evento con $M=7.5$.

Nel presente studio, in accordo sia alle prescrizioni dell'Eurocodice 8, sia a quanto suggerito da Youd et al., 2001 e Idriss e Boulanger (2004) si è assunto per $M = 6.0 - MSF = 2$.

Il rapporto di resistenza ciclica CRR è stato valutato mediante relazioni empiriche che correlano la sollecitazione sismica ai risultati di prove in sito di tipo SPT o CPT.

5.2.1 CRR da correlazione su prove CPT

Per la stima del CRR sulla base di prove in-situ o di laboratorio sono disponibili diverse procedure. La procedura basata sui risultati di prove CPT è piuttosto ben consolidata e diffusa e viene qui utilizzata ai fini di una analisi del potenziale di liquefazione, considerando i dati di prove in sito disponibili allo stato attuale delle conoscenze.

Il procedimento utilizzato per la stima di CRR a partire dai risultati di prove CPT si basa sulla relazione riportata in Figura 10: la curva in figura si riferisce alla resistenza penetrometrica normalizzata q_{c1N} per le sabbie pulite che può essere espressa come segue (Robertson & Wride, 1998, come riportato da Youd et al., 2001):

$$\text{per } (q_{c1N})_{cs} < 50 \quad CRR_{7.5} = 0.833 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0.05$$

$$\text{per } 50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160 \quad CRR_{7.5} = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08$$

In Figura 10, la resistenza alla punta q_c è normalizzata rispetto al valore di pressione atmosferica ($p_a = 100$ kPa) e corretta (q_{c1N}) mediante la seguente relazione:

$$q_{c1N} = (q_c/P_a) (P_a/\sigma'_{v0})^n$$



dove σ'_{v0} è la tensione verticale efficace alla profondità in e l'esponente "n" varia da 0.5 per i materiali a grana grossa a 1 per i materiali a grana fine.

La natura dei materiali ed il relativo valore dell'esponente "n" sono determinati con procedura iterativa in relazione al valore del parametro I_c , indice del tipo di terreno, determinato come:

$$I_c = \left[(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2 \right]^{0.5}$$

dove:

$$Q = \left(\frac{q_c - \sigma_{v0}}{P_a} \right) \cdot \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 25 di 71

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} \times 100$$

Tanto maggiore è il valore di I_c , tanto maggiore sarà il contenuto presunto di fini. Nell'analisi condotta il valore $I_c = 2.6$ è stato considerato lo spartiacque tra terreni con contenuto di fine inferiore a 35% e comportamento assimilabile a quello delle sabbie e terreni con contenuto di fine superiore al 35% e comportamento più simile a quello delle argille. Nel primo caso l'esponente n nella formula con cui viene determinato il parametro Q è pari a 0.5, nel secondo è pari a 1. Come detto, i valori effettivi di n e I_c sono determinati al termine di una procedura iterativa, ipotizzando in prima istanza $n = 1$. Se I_c così calcolato è superiore a 2.6, il risultato è consolidato. In caso contrario, il calcolo viene ripetuto ipotizzando $n = 0.5$. Se in questo secondo calcolo I_c è ancora inferiore a 2.6, i nuovi valori di n e I_c sono confermati. In caso contrario si è in presenza di terreni intermedi e il calcolo finale viene svolto con $n = 0.75$.



Il valore della resistenza penetrometrica normalizzata q_{c1N} è stato riportato ad un valore equivalente per le sabbie pulite attraverso la seguente relazione:

$$q_{c1Nes} = q_{c1N} \cdot K_c$$

dove K_c è definito dalle seguenti equazioni (Robertson & Wride, 1998):

$$\text{for } I_c \leq 1.64 \quad K_c = 1.0$$

$$\text{for } I_c > 1.64 \quad K_c = -0.403(I_c)^4 + 5.581(I_c)^3 - 21.63(I_c)^2 + 33.75(I_c) - 17.88$$

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 26 di 71

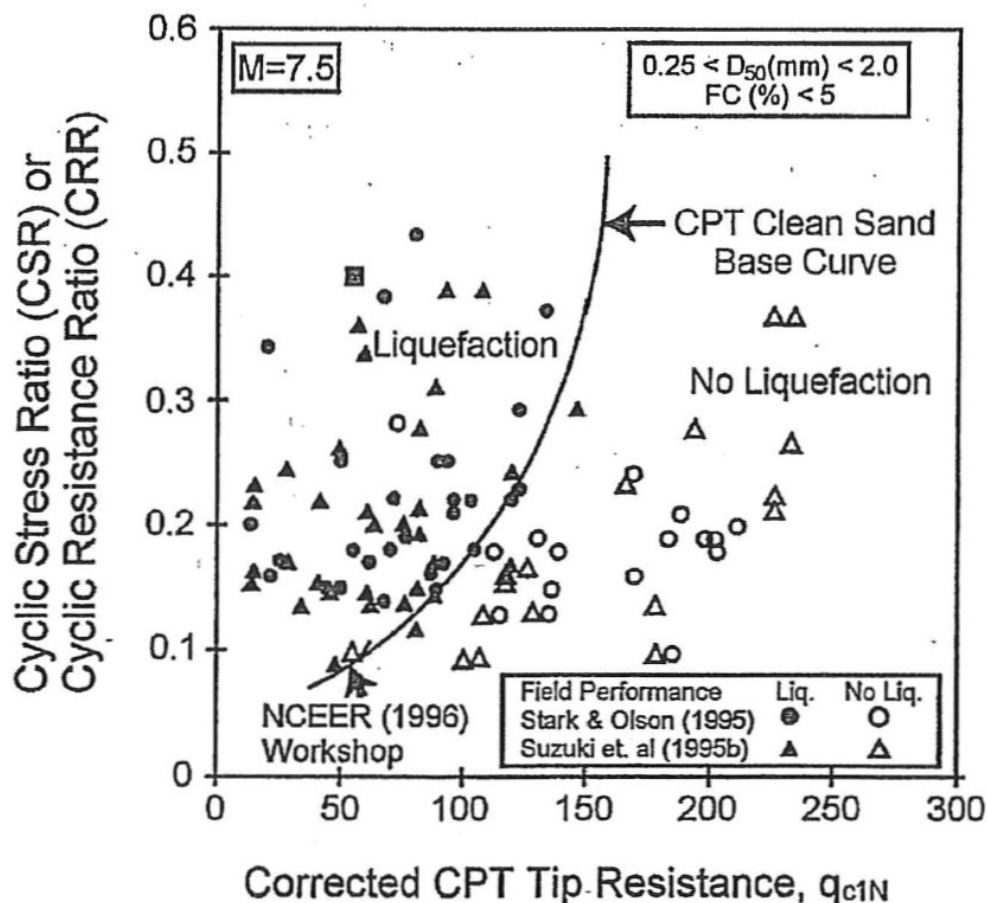


Figura 10: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

5.2.2 CRR da correlazione su prove SPT



Il procedimento utilizzato per la stima di CRR a partire dai risultati di prove SPT si basa sulla relazione riportata in Figura 11, originariamente proposta da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), e successivamente confermata da Youd et al. (2001).

In Figura 11, i risultati delle prove SPT sono espressi in termini di numero di colpi corretti $N_{1(60)}$, ossia i valori sono normalizzati per una pressione verticale efficace pari a 100 kPa e corretti per un valore standard di energia trasmessa (60% del valore nominale) come segue:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N C_E C_B C_R C_S$$

dove:

C_N = coefficiente correttivo che tiene conto dell'influenza della pressione verticale efficace. In letteratura sono presenti diversi metodi per la valutazione del coefficiente correttivo C_N . Qui è stata applicata la seguente relazione

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 27 di 71

proposta da Liao e Whitman (1986):

$$C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5} \leq 1.7$$

in cui P_a è la pressione atmosferica, pari a 100kPa, e σ'_{v0} è la tensione verticale in sito, in termini di sforzi efficaci.

C_E = coefficiente correttivo che va a considerare il rendimento energetico dell'attrezzatura e riconduce le misure ad un rendimento energetico del 60 % e può essere valutato nel modo seguente:

$$C_E = \frac{ER_m}{60}$$

in cui ER_m è il fattore di rendimento (espresso in %) del trasferimento dell'energia del maglio all'attrezzo campionario, relativo alla macchina utilizzata per fare la prova; considerando che la configurazione di prova normalmente adoperata in Italia ha un rendimento energetico del 60 %, tale coefficiente è stato posto pari ad 1.

I coefficienti C_B (fattore correttivo per le dimensioni del foro di sondaggio), C_R (fattore correttivo per la lunghezza delle aste della macchina esecutrice) e C_S (fattore correttivo per il tipo di attrezzo campionario) sono stati assunti pari ad 1 dato che le prove sono state eseguite sulla base delle raccomandazioni fornite dall'AGI (1977).

Sempre in Figura 11, viene riportato il valore di CSR calcolato ed i corrispondenti valori di $N_{1(60)}$ da siti in cui sono stati osservati o meno gli effetti della liquefazione per eventi simili avvenuti in passato, con Magnitudo pari $M = 7.5$. Le corrispondenti curve CRR sono state determinate all'interno del grafico in modo da separare chiaramente i dati corrispondenti all'avvenuta liquefazione da quelli per i quali non è stato osservato il fenomeno in esame.

Le curve sono valide per eventi simili di Magnitudo pari a 7.5, per cui è necessario introdurre un fattore di scala (MSF) per adattare le curve di CRR alla magnitudo di riferimento per il caso in esame, come indicato in precedenza.

Si può osservare dalla



Figura 11 come curve diverse siano state sviluppate per terreni aventi diverso contenuto di fini, a partire dalla curva di riferimento corrispondente alla sabbia pulita ($FC < 5\%$).

La curva di riferimento per sabbie pulite è descritta dalla seguente equazione (Rauch, 1998, come riportato da Youd et al., 2001)

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

L'equazione è valida per $N_{1(60)} < 30$. Nel caso in cui sia $N_{1(60)} \geq 30$, le sabbie pulite sono classificate come non liquefacibili, a causa della loro elevata densità.

L'equazione che segue (Idriss e Seed, come riportato da Youd et al. 2001) viene utilizzata per la correzione di valori

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 28 di 71

di $N_{1(60)}$ ai valori corrispondenti per sabbia pulita $N_{1(60)cs}$:

$$(N_1)_{60cs} = \alpha + \beta \cdot (N_1)_{60}$$

In cui:

$$\alpha = 0 \text{ per } FC < 5\%$$

$$\alpha = \exp [1.76 - (190/FC^2)] \text{ per } 5\% < FC < 35\%$$

$$\alpha = 5 \text{ per } FC \geq 35\%$$

$$\beta = 1 \text{ per } FC < 5\%$$

$$\beta = [0.99 + (FC \cdot 1.5/1000)] \text{ per } 5\% < FC < 35\%$$

$$\beta = 1.2 \text{ per } FC \geq 35\%$$

La resistenza alla liquefazione aumenta meno che proporzionalmente al crescere della tensione di confinamento. Una rappresentazione di tale relazione è stata proposta da Hynes e Olsen (1999) e riportata da Youd et al. (2001), elaborata sulla base dei risultati di prove cicliche in laboratorio. In particolare gli autori raccomandano di utilizzare il seguente coefficiente di correzione:

$$k_\sigma = \left(\frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)^{(f-1)} \leq 1$$

dove:

σ'_{v0} = tensione verticale efficace

p_a = pressione atmosferica di riferimento

f = fattore che dipende dalla densità relative del materiale in sito.

In accordo a Youd et al. (2001) il fattore "f" si può stimare come segue, sia per sabbie pulite o limose e per ghiaie:

$$40\% < DR < 60\% \quad f = 0.7 \div 0.8$$

$$60\% < DR < 80\% \quad f = 0.6 \div 0.7$$

Quando possibile, il contenuto di fini è stato determinato sulla base dei risultati delle rispettive granulometrie ottenute da laboratorio per ogni prova SPT. Nel caso quest'ultime non erano disponibili, facendo riferimento alla stratigrafia locale, si è ipotizzato un valore di contenuto di fini pari al 5% per i materiali sabbioso/ghiaiosi, mentre per i terreni limosi/argillosi è stato ipotizzato un contenuto di fini pari al 30-40%.

Pertanto, in accordo a Youd et al. (2001):

$$FL = (CRR_{7.5}/CSR) MSF k_\sigma$$

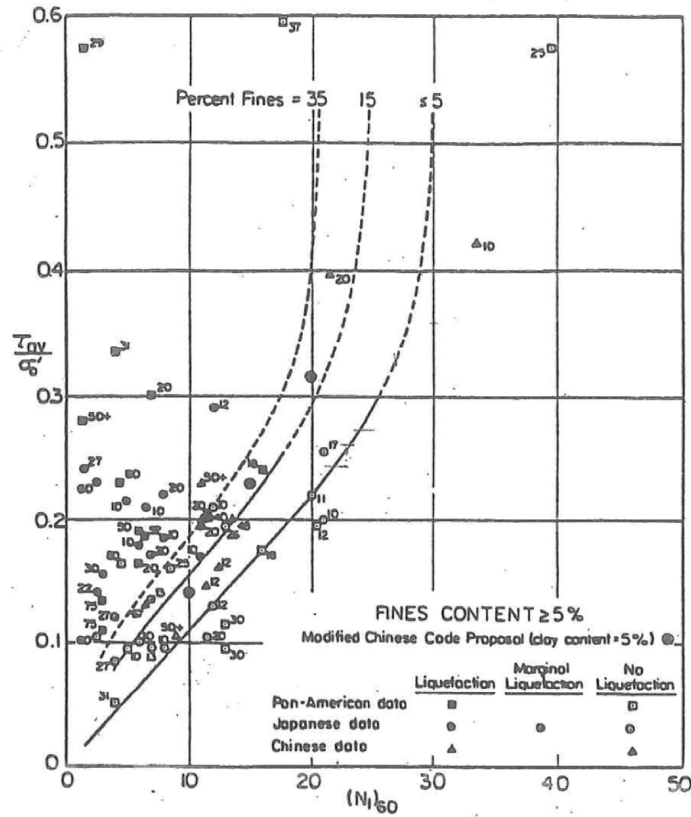


Figura 11: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

I risultati (cfr. Figura 12) mostrano come non si evidenzino rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI08B, in linea con gli stati di addensamento e le granulometrie descritte in precedenza.

Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51
Relazione Geotecnica

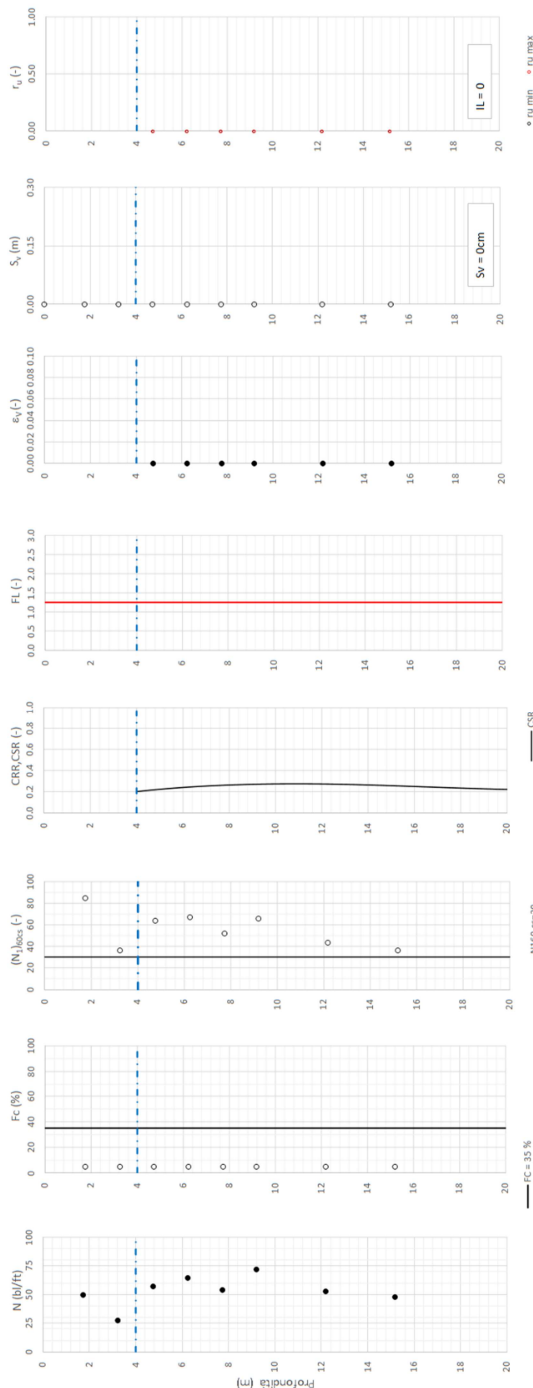
Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI08B0001B



Foglio
30 di 71

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-05 Pr. 2+375
a_max = 0.317% M_calc = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 0m



Foglietto di Identificazione Fogli 1/02

Figura 12 – Verifica Liquefazione da risultati SPT BH-PE-05

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 31 di 71

6 VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO

6.1 Criteri di verifica agli Stati Limite

Per le opere in esame, la normativa vigente richiede l'esecuzione delle seguenti verifiche di sicurezza e delle prestazioni attese (par. 6.2.3. del Doc. Rif. [14]):

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

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

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 6.2.1 del Doc. Rif. [14]})$$

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. [14]).

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

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 del Doc. Rif. [14]})$$

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.

In base a quanto indicato dalle NTC 2008 le verifiche di sicurezza che devono essere condotte per opere costituite da materiali sciolti sono le seguenti.



6.1.1 Stati limite ultimi (SLU)

Le verifiche di stabilità in campo statico di opere in materiali sciolti, quali rilevati, devono essere eseguite secondo l'Approccio 1 Combinazione 2 (A2 + M2 + R2, Doc. Rif. [14]), tenendo conto dei coefficienti parziali sotto definiti.

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

$$\frac{R_d}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{1}{\gamma_R} \frac{R}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{R}{E_d} \geq \gamma_R$$

essendo R resistenza globale del sistema (vedasi Par. C.6.8.6.2 del Doc. Rif. [15]), calcolata sulla base delle azioni

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 32 di 71

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

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

Facendo riferimento a quanto richiesto dalle NTC (Doc. rif. [14]), per le verifiche agli stati limite ultimi si sono adottati i valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle che seguono.

Tabella 6 – Coefficienti parziali sulle azioni

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

dove:



- 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_Q coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
- γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili.

Tabella 7 – Coefficienti parziali sui terreni (Tab. 6.2.II, Doc. Rif. [14])

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	$\gamma_{c'}$	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

Tabella 8 – Coefficienti parziali per verifiche di stabilità globale

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 33 di 71

6.1.2 Stati limite di esercizio (SLE)

Deve essere verificato, mediante analisi effettuate impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali (Par. 6.5.3.2 del Doc. Rif. [14]), 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.

In particolare, successivamente al completamento del ballast, e per la durata della vita utile dell'opera (100 anni), i cedimenti residui devono essere inferiori a 5 cm.

Nel caso di rilevato da realizzarsi in affiancamento ad un rilevato esistente e mantenendo quest'ultimo in esercizio durante i lavori, si richiede che una stima del cedimento delle due rotaie in una stessa sezione verticale del rilevato, valutandone il decorso nel tempo. Inoltre, con riferimento alla tabella che segue, è necessario verificare che gli spostamenti indotti sui binari in esercizio durante la costruzione siano inferiori a 15 mm, ovvero inferiori ai valori limite dei difetti riferiti al secondo livello di qualità (Doc. rif. [19] e [23]). Laddove si superino i limiti riferiti al primo livello di qualità (10 mm, Doc. rif. [23]), è richiesto il monitoraggio del binario durante la costruzione.

Tabella 9 – Valori limite dei difetti in direzione trasversale (in mm)



	V ≤ 160 km/h	160 < V ≤ 300 km/h
1° livello di qualità	$\Delta H \leq 10$ SCARTXL ≤ 6	$\Delta H \leq 10$ SCARTXL ≤ 4
2° livello di qualità	$10 < \Delta H \leq 15$ $6 < \text{SCARTXL} \leq 10$	$10 < \Delta H \leq 15$ $4 < \text{SCARTXL} \leq 8$
3° livello di qualità esecuzione a breve termine anche in relazione ai limiti di sghembo (2)	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) $10 < \text{SCARTXL} \leq 14$	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) $8 < \text{SCARTXL} \leq 12$
(1) il valore di ΔH può essere ammesso solo a seguito di una verifica di assenza di problemi di sagoma (gallerie, interasse, posizione linea di contatto ecc.)		
(2) ATTENZIONE al rispetto delle condizioni di lavorabilità del binario previste dalla Norma sulla l.r.s.		

6.1.3 Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche

La stabilità globale in condizioni sismiche e post-sismiche di opere in materiali sciolti, quali rilevati, è stata verificata secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2 + M2 + R2), tenendo conto dei coefficienti parziali richiamati in precedenza e ponendo i coefficienti parziali sulle azioni tutti pari ad uno. Il coefficiente di combinazione ψ per il carico variabile da traffico è stato posto pari a 0.2 (Doc. rif. [19]).

6.2 Azioni di progetto

Le azioni di progetto considerate nella analisi sono state definite coerentemente a quanto prescritto nel MdP (Doc. rif. [18]) e nelle NTC (Doc. rif. [14]) e sono di seguito descritte.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI08B0001B</p>	<p>Foglio 34 di 71</p>

6.2.1 Azioni permanenti

In funzione della configurazione esaminata e della presenza o meno di elementi strutturali, i carichi permanenti sono stati calcolati assumendo:

Peso massicciata e armamento 18 kN/m³

Peso elementi in cls 25 kN/m³

In particolare, il peso della sovrastruttura ferroviaria è stato applicato sull'impronta del ballast, per un'altezza media fra il piano del ferro e l'estradosso del sub-ballast pari a 0.80 m.

6.2.2 Azioni variabili

Le azioni variabili sono rappresentate dai carichi da traffico ferroviario, valutati nel rispetto delle normative di riferimento e considerando il caso peggiore tra i tre modelli di carico previsti: LM71, SW/0 ed SW/2. Per ogni binario, tale azione risulta essere pari a 61.4 kPa (LM71) ed applicata su una superficie definita dalla larghezza della traversa e dalla larghezza di diffusione del carico nel ballast (2.8 m in totale).

6.2.3 Azione sismica

L'azione sismica di progetto è stata definita sulla base della pericolosità sismica di base ed in considerazione di quanto discusso nel capitolo 5. Nelle analisi essa è stata definita adottando un'azione statica equivalente definita dal prodotto tra il peso W del volume di terreno potenzialmente instabile ed i coefficienti sismici orizzontale (k_h) e verticale (k_v):

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

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

dove



β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa (v. Tabella 10)

a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito (v. capitolo 5.1.6)

g accelerazione di gravità.

Tabella 10 - Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (Doc. rif.[14])

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 35 di 71

6.3 Verifiche e risultati SLU

6.3.1 Premessa

Le verifiche SLU della stabilità globale del rilevato (sia in condizioni statiche che sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo SLIDE 7.0 (Doc. Rif. [25]). Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento rispettivamente ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico e ai coefficienti parziali (M2) per le analisi sismiche. Tali coefficienti sono contenuti nella Tabella 7 della presente relazione.

Come da NTC 2008 (Doc. Rif. [14]), la verifica SLU di stabilità globale è soddisfatta se la relazione:

$$FS \geq R2 = 1.1.$$

è verificata sia in condizioni statiche che sismiche.

La verifica è stata condotta con riferimento alla già citata sezione di riferimento A riportata in Figura 1. La verifica è stata condotta facendo ricorso al metodo di Bishop modificato. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici caratteristici definiti in Tabella 2. Di seguito si riportano i parametri di progetto utilizzati:

- Rilevato: $\phi_d = 32^\circ$ e $c_d = 0$ kPa
- Ghiaie (unità 6): $\phi_d = 33^\circ$ e $c_d = 0$ kPa

6.3.2 Verifiche SLU in condizione statiche



Il carico da traffico ferroviario (q), assunto pari a 61.4 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è di tipo variabile/sfavorevole, e pertanto è stato amplificato in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2, pari a 1.3. Per quanto riguarda la falda, è stata considerata la condizione a lungo termine e quindi è stato preso un livello coincidente a piano campagna, come riportato nel paragrafo 4.1.2. Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

In Figura 13 sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2.

Il fattore di sicurezza FS è pari a:

$$F_{S_{MIN}}(DA1C2) = 1.441 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI08B0001B</p>	<p>Foglio 36 di 71</p>

6.3.3 Verifiche SLU in condizioni sismiche

In accordo a quanto riportato precedentemente, la azione sismica è stata definita attraverso i seguenti coefficienti sismici:

$$K_H = + 0.089 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.045 \quad (\text{verificando la più cautelativa tra negativo e positivo})$$

Il carico stradale (q), assunto pari a 61.4 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è stato inserito nei calcoli col proprio valore caratteristico in accordo a quanto specificato dalle NTC 2008 (vedasi Par.7.11.1 del Doc. Rif. [14]) che indicano per le analisi in condizioni sismiche di adottare l'Approccio 1 Combinazione 2 ponendo i coefficienti parziali sulle azioni (A2) tutti pari ad uno. Per quanto riguarda la falda è stata considerata la falda media nel periodo di osservazione disponibile, ed è quindi stato considerato un livello coincidente a -4 m p.c., come riportato nel paragrafo 4.1.2. Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

In Figura 14 è riportata la superficie di rottura critica; il fattore di sicurezza FS relativo a tali meccanismi è pari a:

$$F_{S\text{MIN}} = 1.103 > R_2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.

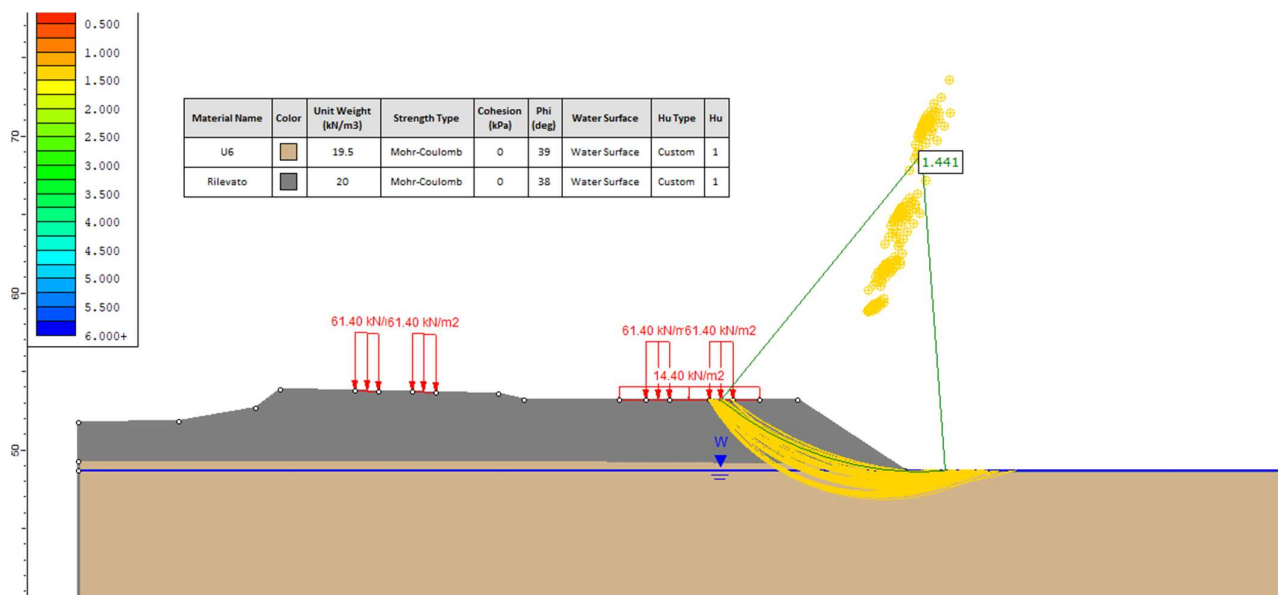


Figura 13 - Rilevato H=4.50 m (da pk 2+196 a pk 2+538)- Analisi SLU in campo statico DA1C2

Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI08B0001B

Foglio
37 di 71

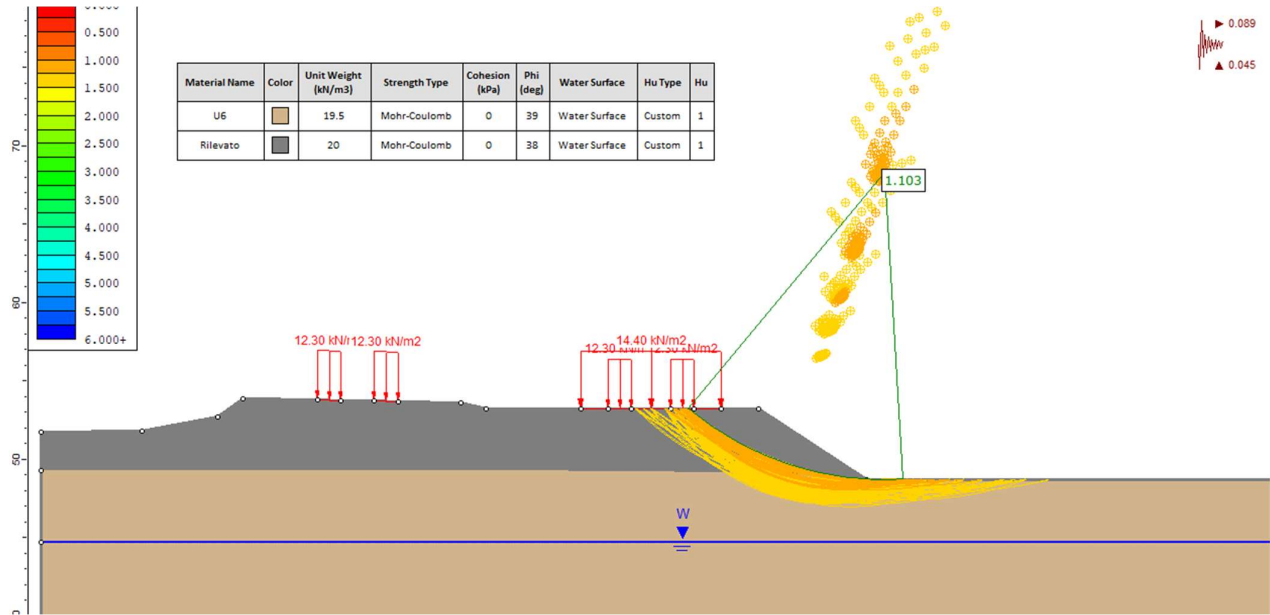




Figura 14 - Rilevato H=4.50 m (da pk 2+196 a pk 2+538) - Analisi SLU in campo sismico

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 38 di 71

6.4 Verifica e risultati SLE

La determinazione del campo di spostamenti è stata svolta mediante l'utilizzo del codice di calcolo SETTLE 3D (Doc. Rif. [30]) che calcola gli incrementi di tensione nei terreni utilizzando il classico modello di terreno come mezzo elastico, omogeneo ed isotropo, assumendo i valori caratteristici sia sulle azioni che sui materiali.

La valutazione dell'incremento dello stato tensionale indotto nel terreno dai carichi applicati viene condotta all'interno del codice di calcolo con riferimento a soluzioni basate sulle seguenti ipotesi semplificative:

- il terreno è schematizzato come un semispazio elastico lineare, omogeneo ed isotropo (modello di Boussinesq);
- l'area di carico è posta sulla superficie del semispazio ed è ipotizzata avere rigidità nulla.

Per una generica condizione di carico viene quindi eseguita una discretizzazione in un numero finito di aree di carico sulle quali è applicata una pressione uniforme o variabile linearmente.

Per ogni direttrice di calcolo del cedimento vengono valutati gli incrementi di tensione indotti da ogni singola area di carico componendo poi gli effetti.

Il calcolo dell'incremento delle tensioni normali indotte da un'area di carico nastriforme, soggetta a un carico uniformemente distribuito (parte centrale del rilevato), viene eseguita sulla base delle formule di Jumikis (1971).

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi} \left[\tan^{-1}\left(\frac{x+B}{z}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{x-B}{z}\right) - \frac{z \cdot (x-B)}{(x-B)^2 + z^2} + \frac{z \cdot (x+B)}{(x+B)^2 + z^2} \right]$$

$$\Delta\sigma_x = \frac{q}{\pi} \left[\tan^{-1}\left(\frac{x+B}{z}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{x-B}{z}\right) + \frac{z \cdot (x-B)}{(x-B)^2 + z^2} - \frac{z \cdot (x+B)}{(x+B)^2 + z^2} \right]$$

$$\Delta\sigma_y = \nu \cdot (\Delta\sigma_z + \Delta\sigma_x)$$

dove:

$\Delta\sigma_z$, $\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$ = incremento delle tensioni normali verticali e orizzontali

q = carico applicato

ν = coefficiente di Poisson

B = semilarghezza dell'area di carico in direzione x

x , y , z = coordinate geometriche di riferimento come indicato nella figura seguente.

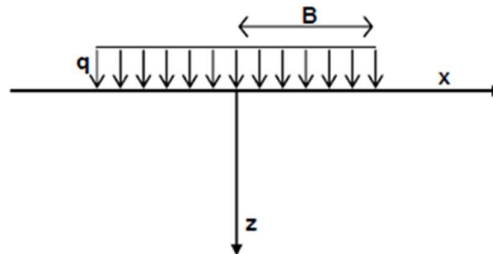


Figura 15 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

Nel caso di un'area di carico nastriforme soggetta a un carico linearmente crescente (bordo del rilevato), le formule di Jumikis da applicare sono le seguenti:

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi \cdot A} \cdot \left[(x - A) \cdot \left(\tan^{-1}\left(\frac{x - A}{z}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{x}{z}\right) \right) + \frac{A \cdot z \cdot x}{x^2 + z^2} \right]$$

$$\Delta\sigma_x = \frac{q}{\pi \cdot A} \cdot \left[(x - A) \cdot \left(\tan^{-1}\left(\frac{x - A}{z}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{x}{z}\right) \right) + z \cdot \ln\left(\frac{x^2 + z^2}{(x - A)^2 + z^2}\right) - \frac{A \cdot z \cdot x}{x^2 + z^2} \right]$$

$$\Delta\sigma_y = \nu \cdot (\Delta\sigma_x + \Delta\sigma_z)$$

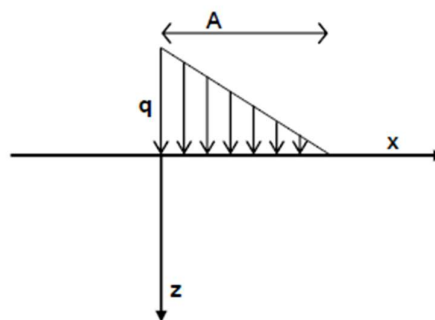




Figura 16 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

Il calcolo della deformazione verticale per ogni singolo sublayer viene valutato sulla base dell'incremento di sforzo verticale, utilizzando la seguente espressione:

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta\sigma_z}{E}$$

Il cedimento verticale totale viene quindi calcolato come sommatoria dei cedimenti dei diversi strati.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 40 di 71

Il calcolo dei cedimenti indotti dalla realizzazione del rilevato ferroviario è stato svolto modellando la successione stratigrafica in sito tenendo conto delle diverse caratteristiche di deformabilità degli strati, in accordo alla stratigrafia di progetto riportata in Tabella 2. Si sono assunti i valori caratteristici sia sulle azioni che sui materiali.

Si osserva come, in accordo con la stratigrafia e i parametri di progetto riportati nel Capitolo 4, i moduli elastici risultano di fatto indipendenti dallo stato tensionale ed il valore della quota della falda non ha alcuna influenza sull'esito del calcolo. Pertanto, nel calcolo la falda è stata rappresentata ad una quota convenzionale praticamente coincidente con il p.c.

Nell'ambito delle verifiche agli Stati Limite d'Esercizio, dev'essere verificata la seguente diseuguaglianza:

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 del Doc. Rif. [14]})$$

dove

E_d è il valore di progetto dell'effetto dell'azione, e C_d è il valore limite prescritto dell'effetto delle azioni.

Sulla base di quanto riportato sopra, le verifiche geotecniche sono pertanto volte ad identificare un campo di spostamenti/cedimenti.

La verifica è stata condotta con riferimento alla già citata sezione di riferimento A riportata in Figura 1. Il modello di calcolo implementato per il rilevato tipologico con altezza pari a 3.50 m, valido tra le pk 2+196 e pk 2+538, è riportato in Figura 17. La larghezza del rilevato esistente è pari a 28 m, quella del rilevato in affiancamento di 19 m con pendenza delle scarpate è 2V:3H. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici definiti in Tabella 2.

Il carico dato dal completamento della linea ferroviaria, assunto pari a 14.4 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza dell'impronta del rilevato ferroviario.

La storia di carico riprodotta nell'analisi è la seguente:



- Rilevato esistente (linea storica), vedi Figura 17 a)
- Affiancamento e completamento rilevato nuova linea, vedi Figura 17 b)

I cedimenti sono stati calcolati al centro del nuovo rilevato, ed in corrispondenza dei due binari della linea storica adiacente, in modo da determinarne il cedimento differenziale dovuto alla costruzione del nuovo rilevato.

I valori calcolati sono riportati nella Figura 18, dove sono anche indicate le posizioni delle rotaie della linea storia e l'asse dei binari della linea AV.

Risulta quanto segue:

- Il cedimento calcolato in corrispondenza del centro del nuovo rilevato è inferiore a 20 mm e quindi

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI08B0001B	Foglio 41 di 71

abbondantemente entro il limite definito.

- Il cedimento differenziale per ciascuna delle rotaie esistenti risulta inferiore a 1 mm e quindi inferiore del limite definito.

Considerata la natura granulare dei terreni, tali cedimenti si esauriranno all'atto della applicazione dei rispettivi carichi, e quindi non risultano essere necessarie analisi di consolidazione. Inoltre, considerata la natura dei terreni, i cedimenti secondari sono trascurabili.

I cedimenti di lungo termine, e più in particolare quelli a far data dal termine dell'applicazione del carico del ballast e fino alla fine di vita utile dell'opera, sono da considerare nulli.

La verifica SLE è quindi da considerarsi soddisfatta.

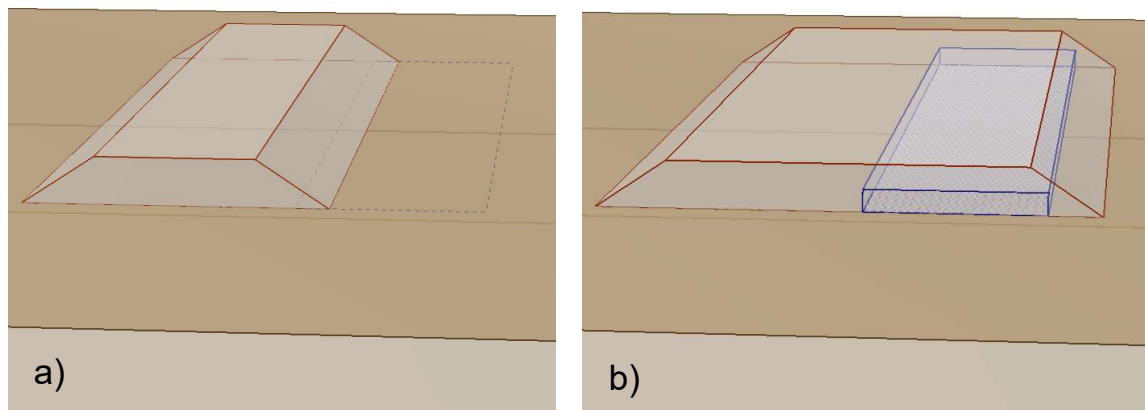


Figura 17 - Rilevato H=4.50 m (da pk 2+196 a pk 2+538) - Analisi SLE – Modello di calcolo

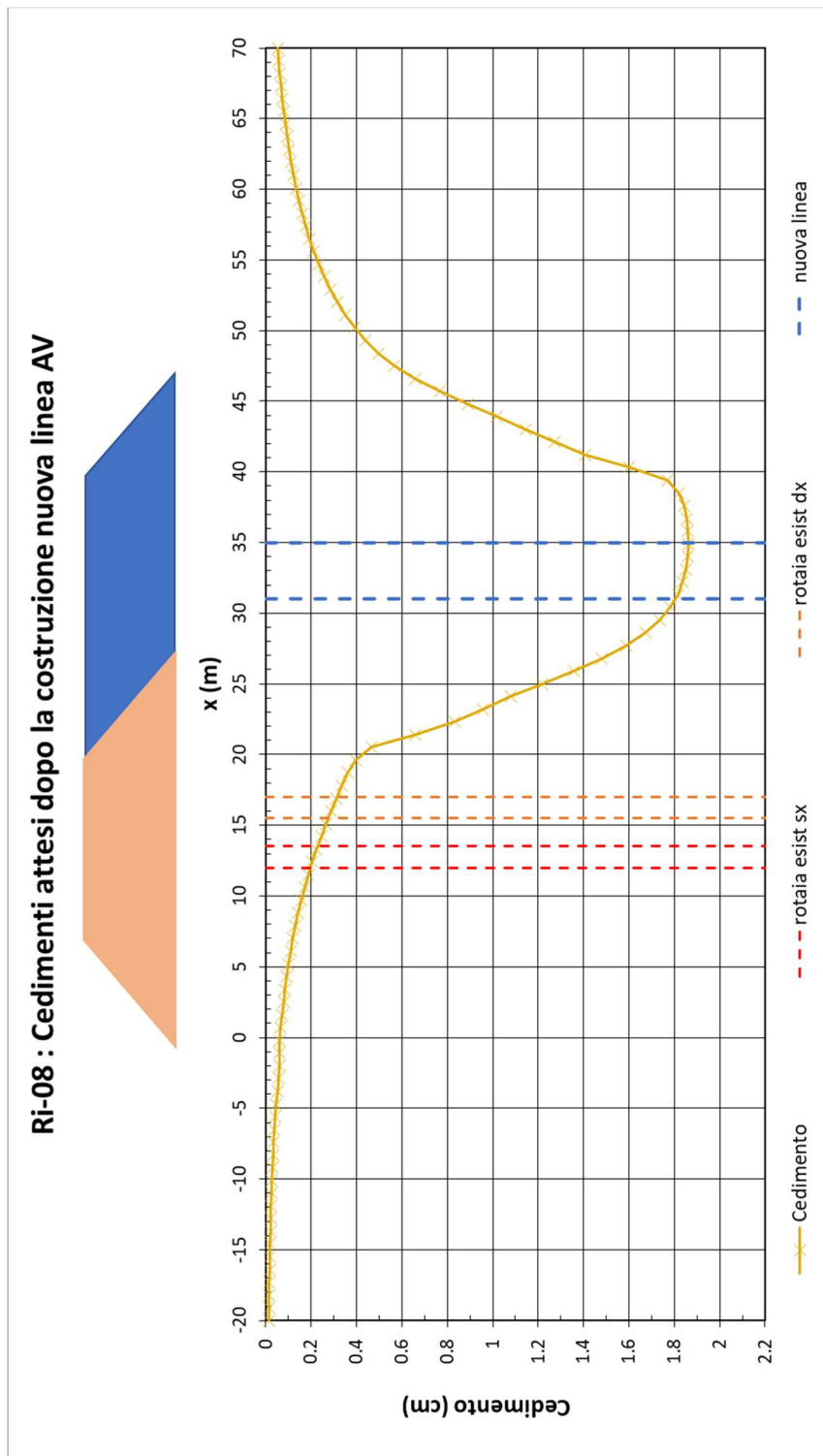




Figura 18 - Rilevato H=4.50 m (da pk 2+196 a pk 2+538) - Analisi SLE – Risultato Cedimenti

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI08B0001B</p>	<p>Foglio 43 di 71</p>

7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

In conclusione, il rilevato oggetto di questa analisi risulta stabile e i cedimenti attesi sono limitati e non differiti nel tempo. Non si evidenziano criticità di tipo geotecnico e pertanto non è previsto un monitoraggio.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI08B0001B	44 di 71

ALLEGATI

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI08B0001B	45 di 71

ALLEGATO 1 - STRATIGRAFIE

ALLEGATO 2 - SONDAGGI



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI08B0001B

Foglio
48 di 71



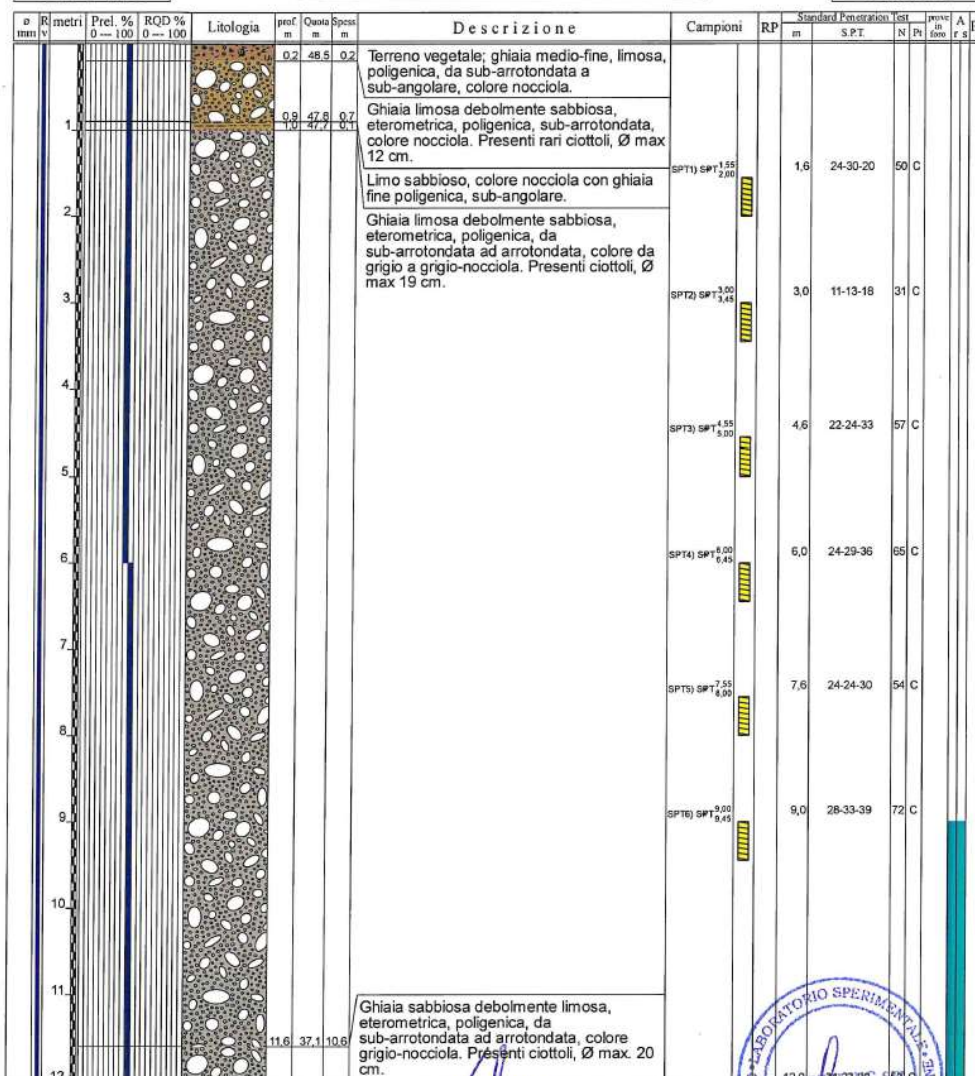
Laboratorio Sperimentale
per prove geotecniche terre, rocce e prove in situ
Via Collesmeroni, 3 - San Vittore del Lazio (FR)
e-mail: info@geoserving.it

Certificato n° V5845/21 BH PE 05 del 04/02/2021	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 05
Riferimento: Integrazione AV/AC VR-VI	Data: 26/01/2021
Coordinate: 45° 25' 38.95" N - 11° 02' 52.24" E	Quota: 48,734 m s.l.m.
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CMV1200, prog. km 2+375	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 05

Pagina 1/2



Il Geologo di Cantiere
dott. geol. Alessio Saccon

Il Responsabile della Commissione
dott. geol. Giuseppe Pacitti





Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI08B0001B

Foglio
49 di 71

GEOSERVING S.r.l. Laboratorio Sperimentale
per prove geotecniche terre, rocce e prove in situ
Via Collemaroni, 3 - San Vittore del Lazio (FR)
e-mail: info@geoserving.it

Certificato n° V5845/21 BH PE 05 del 04/02/2021		Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020	
Committente: IricAV Due		Sondaggio: BH PE 05	
Riferimento: Integrazione AV/AC VR-VI		Data: 26/01/2021	
Coordinate: 45° 25' 38.95" N - 11° 02' 52.24" E		Quota: 48,734 m s.l.m.	
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CMV1200, prog. km 2+375			

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 05

Pagina 2/2



Profondità (m)	Profondità (cm)	Prelevato (%)	RQD (%)	Litologia	Profondità (m)	Quota (m)	Spessore (m)	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test (m)	Test (N)	Prelevato (%)	A	Pz
13.0				Ghiaia sabbiosa debolmente limosa, eterometrica, poligenica, da sub-arrotondata ad arrotondata, colore grigio-nocciola. Presenti ciottoli, Ø max. 20 cm.					SP(T) SP 12,00 12,40						
14.0															
15.0									SP(T) SP 15,00 15,40	15,0	20-22-26	48 C			
16.0															
17.0					17,3	31,4	5,7	Limo argilloso e sabbioso debolmente ghiaioso, molto consistente, colore grigio-nocciola con fiamme ocracee. Ghiaia medio-fine, poligenica, arrotondata.		2,3					
18.0					17,8	30,9	0,5	Limo sabbioso, colore grigio-nocciola; presente con rara ghiaia medio-fine, poligenica, arrotondata frequente al letto con ghiaia grossa.	CI(1) SP 18,00 18,50						
19.0					18,7	30,0	0,9	Limo argilloso debolmente sabbioso, molto consistente, colore grigio con punti neri di sostanza organica vegetale.							
20.0					19,4	29,3	0,7	Sabbia fine, colore grigio, con limo.		2,1					
20.0					19,9	29,2	0,1	Limo argilloso, consistente, colore grigio.		1,8					
20.0					19,8	28,9	0,3	Sabbia limosa, medio-fine, colore grigio.							
20.0					20,0	28,7	0,2								

Utilizzato carotiere semplice.
Prelevato n. 1 campione indisturbato.
Prelevati n. 8 campioni rimaneggiati S.P.T.
Eseguite n. 8 prove S.P.T.

Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Alessio Saccon

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI08B0001B</p>	<p>Foglio 50 di 71</p>

ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICO

Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI08B0001B

Foglio

51 di 71

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: R108_stat_02
Slide Modeler Version: 7.038
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 08/03/2021, 16:12:54

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Left to Right
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Design Standard

Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
Name: Stabilità Globale_A2+M2+R2

Type	Partial Factor
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1.3
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1.25
Coefficient of shearing resistance	1.25
Undrained strength	1.4
Weight density	1
Shear strength (other models)	1
Earth resistance	1
Tensile and plate strength	1
Shear strength	1
Compressive strength	1
Bond strength	1
Seismic Coefficient	1

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified
Janbu simplified

Number of slices: 50
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 75
Check: $m\alpha < 0.2$: Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI08B0001B

Foglio

52 di 71

SLIDEINTERPRET 7.0.30



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 2 of 8

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m³]: 9.81
Use negative pore pressure cutoff: Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]: 0
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Auto Refine Search
Divisions along slope: 10
Circles per division: 10
Number of iterations: 10
Divisions to use in next iteration: 50%
Composite Surfaces: Disabled
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth [m]: 2
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

5 Distributed Loads present

Distributed Load 1

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 61.4
Orientation: Vertical
Load Action: Variable

Distributed Load 2

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 61.4
Orientation: Vertical
Load Action: Variable

Distributed Load 3

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 61.4
Orientation: Vertical
Load Action: Variable

Distributed Load 4

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 61.4
Orientation: Vertical
Load Action: Variable

Distributed Load 5

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 14.4
Orientation: Vertical
Load Action: Variable

Material Properties



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI08B0001B

Foglio

53 di 71

SLIDENETPREP 7.0.30



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 3 of 8

Property	U6	Rilevato
Color		
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	19.5	20
Cohesion [kPa]	0	0
Friction Angle [deg]	39	38
Water Surface	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.441140
Center:	61.312, 68.877
Radius:	20.248
Left Slip Surface Endpoint:	48.504, 53.195
Right Slip Surface Endpoint:	62.819, 48.685
Resisting Moment:	5926.42 kN-m
Driving Moment:	4112.31 kN-m
Total Slice Area:	19.8653 m2
Surface Horizontal Width:	14.3155 m
Surface Average Height:	1.38768 m

Method: janbu simplified

FS	1.292510
Center:	58.073, 59.074
Radius:	11.861
Left Slip Surface Endpoint:	47.772, 53.195
Right Slip Surface Endpoint:	63.798, 48.685
Resisting Horizontal Force:	483.869 kN
Driving Horizontal Force:	374.364 kN
Total Slice Area:	43.8688 m2
Surface Horizontal Width:	16.026 m
Surface Average Height:	2.73735 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces:	1666
Number of Invalid Surfaces:	0

Method: janbu simplified

Number of Valid Surfaces:	1546
Number of Invalid Surfaces:	120

Error Codes:

- Error Code -108 reported for 1 surface
- Error Code -112 reported for 119 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 112 = The coefficient $M\text{-}\alpha = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.44114

--



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI08B0001B

Foglio
54 di 71

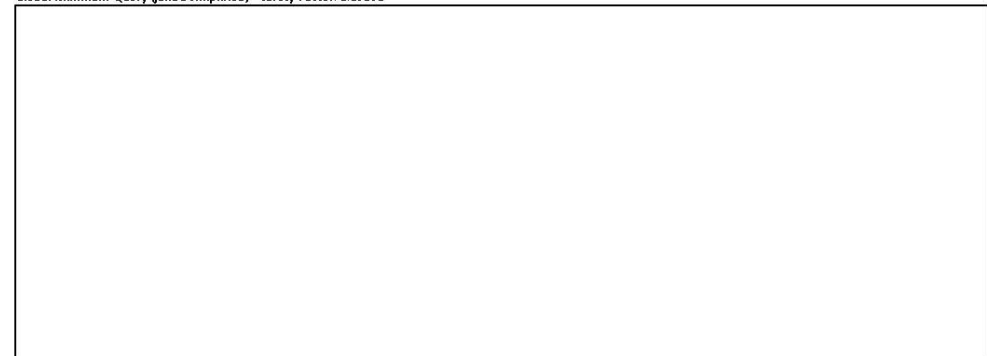
SLIDINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 8

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.289758	0.672981	-38.7139	Rilevato	0	32.0066	32.4658	46.7877	74.8569	0	74.8569	100.88	100.88
2	0.289758	1.99419	-37.6706	Rilevato	0	32.0066	34.2584	49.3711	78.99	0	78.99	105.44	105.44
3	0.289758	3.26691	-36.6417	Rilevato	0	32.0066	25.7088	37.05	59.2772	0	59.2772	78.3993	78.3993
4	0.289758	4.49307	-35.6264	Rilevato	0	32.0066	11.3262	16.3226	26.115	0	26.115	34.2317	34.2317
5	0.289758	5.67447	-34.6238	Rilevato	0	32.0066	12.7861	18.4265	29.481	0	29.481	38.3093	38.3093
6	0.289758	6.81271	-33.6332	Rilevato	0	32.0066	14.217	20.4887	32.7804	0	32.7804	42.238	42.238
7	0.289758	7.9093	-32.6538	Rilevato	0	32.0066	15.6192	22.5094	36.0133	0	36.0133	46.0229	46.0229
8	0.289758	8.9656	-31.6851	Rilevato	0	32.0066	16.9925	24.4886	39.18	0	39.18	49.6687	49.6687
9	0.289758	9.98289	-30.7264	Rilevato	0	32.0066	15.8488	22.8404	36.5431	0	36.5431	45.9634	45.9634
10	0.289758	10.9623	-29.7772	Rilevato	0	32.0066	13.1477	18.9477	30.3148	0	30.3148	37.8376	37.8376
11	0.289758	11.905	-28.8368	Rilevato	0	32.0066	14.3861	20.7324	33.1705	0	33.1705	41.0914	41.0914
12	0.289758	12.8119	-27.9049	Rilevato	0	32.0066	15.5967	22.4771	35.9616	0	35.9616	44.2214	44.2214
13	0.289758	13.684	-26.9809	Rilevato	0	32.0066	16.7795	24.1816	38.6888	0	38.6888	47.2314	47.2314
14	0.289758	14.5221	-26.0645	Rilevato	0	32.0066	17.9344	25.846	41.3516	0	41.3516	50.1238	50.1238
15	0.289758	15.3271	-25.1552	Rilevato	0	32.0066	19.0615	27.4703	43.9506	0	43.9506	52.9021	52.9021
16	0.289758	16.0996	-24.2526	Rilevato	0	32.0066	20.1609	29.0547	46.4855	0	46.4855	55.5684	55.5684
17	0.289758	16.8301	-23.3564	Rilevato	0	32.0066	21.2195	30.5802	48.926	0	48.926	58.0893	58.0893
18	0.289758	16.8517	-22.4662	Rilevato	0	32.0066	21.3897	30.8255	49.3185	0	49.3185	58.1636	58.1636
19	0.289758	16.4352	-21.5817	Rilevato	0	32.0066	20.9996	30.2634	48.4192	0	48.4192	56.7258	56.7258
20	0.209750	15.9007	-20.7025	Rilevato	0	32.0066	20.5634	29.6340	47.4135	0	47.4135	55.1040	55.1040
21	0.289758	15.5129	-19.8284	Rilevato	0	32.0066	20.0811	28.9397	46.3015	0	46.3015	53.5424	53.5424
22	0.289758	15.0083	-18.9591	Rilevato	0	32.0066	19.5529	28.1784	45.0833	0	45.0833	51.8003	51.8003
23	0.289758	14.4752	-18.0944	Rilevato	0	32.0066	18.9785	27.3507	43.7593	0	43.7593	49.9604	49.9604
24	0.289758	13.9141	-17.2338	Rilevato	0	32.0066	18.3582	26.4568	42.3289	0	42.3289	48.0236	48.0236
25	0.289758	13.3255	-16.3773	Rilevato	0	32.0066	17.6918	25.4964	40.7924	0	40.7924	45.9917	45.9917
26	0.289758	12.7096	-15.5245	Rilevato	0	32.0066	16.9793	24.4695	39.1494	0	39.1494	43.866	43.866
27	0.289758	12.0669	-14.6752	Rilevato	0	32.0066	16.2204	23.3758	37.3996	0	37.3996	41.6474	41.6474
28	0.289758	11.3976	-13.8292	Rilevato	0	32.0066	15.415	22.2152	35.5426	0	35.5426	39.3372	39.3372
29	0.289758	10.702	-12.9862	Rilevato	0	32.0066	14.563	20.9873	33.5782	0	33.5782	36.9366	36.9366
30	0.289758	9.98052	-12.1461	Rilevato	0	32.0066	13.664	19.6918	31.5054	0	31.5054	34.4463	34.4463
31	0.289758	9.23328	-11.3087	Rilevato	0	32.0066	12.7179	18.3283	29.3239	0	29.3239	31.8672	31.8672
32	0.289758	8.46056	-10.4737	Rilevato	0	32.0066	11.7242	16.8962	27.0327	0	27.0327	29.2001	29.2001
33	0.289758	7.66255	-9.64093	Rilevato	0	32.0066	10.6827	15.3952	24.6312	0	24.6312	26.4459	26.4459
34	0.289758	6.83946	-8.81022	Rilevato	0	32.0066	9.59275	13.8245	22.1182	0	22.1182	23.605	23.605
35	0.289758	5.99147	-7.98137	Rilevato	0	32.0066	8.45414	12.1836	19.4929	0	19.4929	20.6783	20.6783
36	0.289758	5.11873	-7.1542	Rilevato	0	32.0066	7.26633	10.4718	16.7541	0	16.7541	17.6661	17.6661
37	0.289758	4.22139	-6.32853	Rilevato	0	32.0066	6.0287	8.6882	13.9005	0	13.9005	14.5691	14.5691
38	0.289758	3.29957	-5.50418	Rilevato	0	32.0066	4.74073	6.83206	10.9308	0	10.9308	11.3876	11.3876
39	0.289758	2.35338	-4.68096	Rilevato	0	32.0066	3.40177	4.90243	7.84352	0	7.84352	8.12205	8.12205
40	0.274088	1.33228	-3.86093	U6	0	32.9362	2.08064	2.99849	4.71971	0.0911844	4.62853	4.86086	4.76968
41	0.274088	0.459231	-3.10387	U6	0	32.9362	0.623233	0.898166	1.64172	0.255288	1.38643	1.67551	1.42022
42	0.274088	0.20861	-2.32739	U6	0	32.9362	0.166995	0.240663	0.754321	0.38283	0.371491	0.761108	0.378278
43	0.274088	0.258216	-1.55133	U6	0	32.9362	0.207942	0.299673	0.936462	0.47388	0.462582	0.942093	0.468213
44	0.274088	0.287967	-0.775553	U6	0	32.9362	0.2333	0.336218	1.04748	0.528489	0.518991	1.05064	0.522149
45	0.274088	0.297881	7.92948e-005	U6	0	32.9362	0.242798	0.349906	1.08681	0.546686	0.540122	1.08681	0.540122
46	0.274088	0.287962	0.775712	U6	0	32.9362	0.236151	0.340326	1.05982	0.528481	0.525936	1.05062	0.522139
47	0.274088	0.258206	1.55149	U6	0	32.9362	0.213056	0.307043	0.947823	0.473865	0.473958	0.942052	0.468187
48	0.274088	0.208596	2.32755	U6	0	32.9362	0.173193	0.249595	0.76809	0.382808	0.385782	0.76105	0.378242
49	0.274088	0.139104	3.10403	U6	0	32.9362	0.116226	0.167498	0.513814	0.255259	0.258555	0.507511	0.252252
50	0.274088	0.0496915	3.88109	U6	0	32.9362	0.0417986	0.0602377	0.184131	0.0911471	0.0929843	0.181296	0.0901486

Global Minimum Query (Janbu simplified) - Safety Factor: 1.29251





Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI08B0001B

Foglio
55 di 71



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 8

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.313303	1.62236	-58.8244	Rilevato	0	32.0066	27.8947	36.0542	57.6842	0	57.6842	103.788	103.788
2	0.313303	4.70048	-56.0089	Rilevato	0	32.0066	31.9954	41.3544	66.1641	0	66.1641	113.615	113.615
3	0.313303	7.47729	-53.3864	Rilevato	0	32.0066	35.8782	46.3729	74.1932	0	74.1932	122.479	122.479
4	0.313303	10.00669	-50.9172	Rilevato	0	32.0066	39.5717	51.1468	81.8312	0	81.8312	130.554	130.554
5	0.313303	12.3279	-48.5732	Rilevato	0	32.0066	36.7945	47.5572	76.0881	0	76.0881	117.784	117.784
6	0.313303	14.4686	-46.3335	Rilevato	0	32.0066	20.8416	26.938	43.0989	0	43.0989	64.934	64.934
7	0.313303	16.4509	-44.1822	Rilevato	0	32.0066	23.4434	30.3008	48.4791	0	48.4791	71.2627	71.2627
8	0.313303	18.2921	-42.107	Rilevato	0	32.0066	25.9581	33.5511	53.6793	0	53.6793	77.14	77.14
9	0.313303	20.0057	-40.0977	Rilevato	0	32.0066	28.3891	36.6932	58.7064	0	58.7064	82.6103	82.6103
10	0.313303	21.6032	-38.1463	Rilevato	0	32.0066	30.7394	39.731	63.5666	0	63.5666	87.7095	87.7095
11	0.313303	23.0937	-36.2457	Rilevato	0	32.0066	28.3591	36.6544	58.6442	0	58.6442	79.4347	79.4347
12	0.313303	24.4852	-34.3904	Rilevato	0	32.0066	28.4049	36.7136	58.739	0	58.739	78.1812	78.1812
13	0.272662	22.3591	-32.6909	U6	0	32.9362	31.1096	40.2095	62.0683	0	62.0683	82.0334	82.0334
14	0.272662	23.2626	-31.139	U6	0	32.9362	32.8344	42.4388	65.5095	0	65.5095	85.3469	85.3469
15	0.272662	24.1129	-29.6121	U6	0	32.9362	34.5094	44.6037	68.8512	0	68.8512	88.4649	88.4649
16	0.327096	29.9753	-27.9601	U6	0	32.9362	35.9538	46.4706	72.5845	0.851647	71.7329	91.6694	90.8178
17	0.327096	31.0425	-26.1853	U6	0	32.9362	37.1705	48.0432	76.6527	2.49225	74.1605	94.931	92.4388
18	0.327096	32.0301	-24.4371	U6	0	32.9362	38.3493	49.5669	80.5227	4.01025	76.5125	97.9487	93.9385
19	0.327096	32.4734	-22.7129	U6	0	32.9362	38.8991	50.2775	83.0204	5.41086	77.6095	99.3025	93.8917
20	0.327096	31.9377	-21.0101	U6	0	32.9362	30.2327	40.4162	02.9706	6.69062	76.20	97.6625	90.5630
21	0.327096	31.3083	-19.3266	U6	0	32.9362	37.4525	48.4077	82.6008	7.87751	74.7233	95.736	87.8585
22	0.327096	30.6104	-17.6603	U6	0	32.9362	36.5887	47.2913	81.9508	8.95101	72.9998	93.5998	84.6488
23	0.327096	29.8467	-16.0093	U6	0	32.9362	35.6434	46.0695	81.0361	9.92215	71.114	91.2629	81.3408
24	0.327096	29.0215	-14.3718	U6	0	32.9362	34.6208	44.7477	79.8671	10.7936	69.0735	88.738	77.9444
25	0.327096	28.1334	-12.7462	U6	0	32.9362	33.5171	43.3212	78.4391	11.5676	66.8715	86.0209	74.4533
26	0.327096	27.1833	-11.1311	U6	0	32.9362	32.3319	41.7893	76.7531	12.2462	64.5069	83.1146	70.8684
27	0.327096	26.1722	-9.52481	U6	0	32.9362	31.0646	40.1513	74.8096	12.8311	61.9785	80.0218	67.1907
28	0.327096	25.1011	-7.92608	U6	0	32.9362	29.7146	38.4064	72.6086	13.3237	59.2849	76.7457	63.422
29	0.327096	23.9708	-6.33354	U6	0	32.9362	28.2808	36.5532	70.1493	13.7251	56.4242	73.2883	59.5632
30	0.327096	22.7819	-4.7459	U6	0	32.9362	26.7619	34.59	67.4303	14.0364	53.3939	69.6521	55.6157
31	0.327096	21.5348	-3.16191	U6	0	32.9362	25.1562	32.5146	64.4485	14.2582	50.1903	65.8381	51.5799
32	0.327096	20.2298	-1.58034	U6	0	32.9362	23.4616	30.3243	61.2002	14.3911	46.8091	61.8475	47.4564
33	0.327096	18.8673	2.54846e-005	U6	0	32.9362	21.6754	28.0157	57.6812	14.4354	43.2458	57.6811	43.2457
34	0.327096	17.4471	1.58039	U6	0	32.9362	19.7948	25.585	53.8847	14.3911	39.4936	53.3386	38.9475
35	0.327096	15.9694	3.16196	U6	0	32.9362	17.8163	23.0277	49.8045	14.2582	35.5463	48.8202	34.562
36	0.327096	14.4338	4.74595	U6	0	32.9362	15.7357	20.3386	45.4315	14.0364	31.3951	44.1251	30.0887
37	0.327096	12.8401	6.33359	U6	0	32.9362	13.5484	17.5114	40.7563	13.7251	27.0312	39.2525	25.5274
38	0.327096	11.1861	7.92613	U6	0	32.9362	11.2462	14.5358	35.7615	13.3237	22.4378	34.1958	20.8721
39	0.327096	9.46943	9.52486	U6	0	32.9362	8.81966	11.3995	30.4276	12.8311	17.5965	28.9478	16.1167
40	0.327096	8.02816	11.1311	U6	0	32.9362	6.83694	8.83681	25.8869	12.2462	13.6407	24.5417	12.2955
41	0.327096	7.5212	12.7463	U6	0	32.9362	6.45812	8.34718	24.4525	11.5676	12.8849	22.9916	11.424
42	0.327096	7.01793	14.3718	U6	0	32.9362	6.12985	7.92289	23.0235	10.7936	12.2299	21.4528	10.6592
43	0.327096	6.45132	16.0093	U6	0	32.9362	5.736	7.41384	21.3663	9.92212	11.4442	19.7205	9.7938
44	0.327096	5.81989	17.6603	U6	0	32.9362	5.27149	6.81345	19.4684	8.95098	10.5174	17.79	8.8396
45	0.327096	5.12191	19.3267	U6	0	32.9362	4.73035	6.11402	17.3152	7.87747	9.43773	15.6562	7.77872
46	0.327096	4.3554	21.0102	U6	0	32.9362	4.10555	5.30647	14.8897	6.69858	8.19116	13.3129	6.61435
47	0.327096	3.5181	22.7129	U6	0	32.9362	3.38874	4.37998	12.1718	5.41081	6.76102	10.7534	5.34258
48	0.327096	2.60744	24.4377	U6	0	32.9362	2.56986	3.37157	9.13743	4.0107	5.12773	7.96968	3.95948
49	0.327096	1.62044	26.1853	U6	0	32.9362	1.63669	2.11544	5.75764	2.4922	3.26544	4.95281	2.46061
50	0.327096	0.553735	27.9602	U6	0	32.9362	0.574206	0.742167	1.99722	0.851592	1.14562	1.69242	0.840826

interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.44114





Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI08B0001B

Foglio

56 di 71

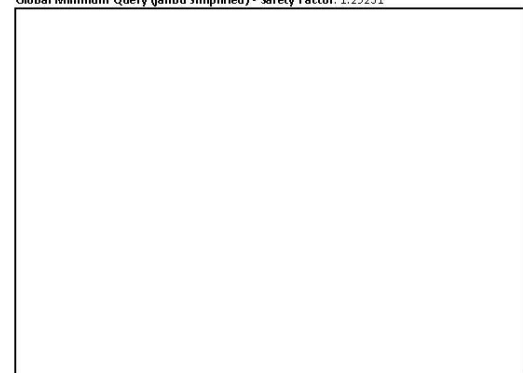
SLIDEINTERPRET 7.0.30



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 6 of 8

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	48.5039	53.1945	0	0	0
2	48.7936	52.9622	7.98503	0	0
3	49.0834	52.7385	15.7361	0	0
4	49.3731	52.523	21.0673	0	0
5	49.6629	52.3154	23.2103	0	0
6	49.9527	52.1153	25.4062	0	0
7	50.2424	51.9225	27.6081	0	0
8	50.5322	51.7368	29.7727	0	0
9	50.8219	51.558	31.8598	0	0
10	51.1117	51.3858	33.5642	0	0
11	51.4014	51.22	34.7831	0	0
12	51.6912	51.0604	35.9093	0	0
13	51.981	50.907	36.9114	0	0
14	52.2707	50.7595	37.7599	0	0
15	52.5605	50.6177	38.4275	0	0
16	52.8502	50.4817	38.8884	0	0
17	53.14	50.3511	39.1189	0	0
18	53.4298	50.226	39.0965	0	0
19	53.7195	50.1062	38.8122	0	0
20	54.0093	49.9916	38.2811	0	0
21	54.299	49.882	37.5187	0	0
22	54.5888	49.7776	36.5416	0	0
23	54.8785	49.678	35.3674	0	0
24	55.1683	49.5833	34.0148	0	0
25	55.4581	49.4935	32.5035	0	0
26	55.7478	49.4083	30.8543	0	0
27	56.0376	49.3278	29.0889	0	0
28	56.3273	49.2519	27.23	0	0
29	56.6171	49.1806	25.3015	0	0
30	56.9069	49.1138	23.3284	0	0
31	57.1966	49.0514	21.3365	0	0
32	57.4864	48.9935	19.3531	0	0
33	57.7761	48.9399	17.4062	0	0
34	58.0659	48.8907	15.5252	0	0
35	58.3556	48.8458	13.7408	0	0
36	58.6454	48.8052	12.0848	0	0
37	58.9352	48.7688	10.59	0	0
38	59.2249	48.7366	9.29103	0	0
39	59.5147	48.7087	8.22349	0	0
40	59.8044	48.685	7.42454	0	0
41	60.0785	48.6664	6.94241	0	0
42	60.3526	48.6515	6.7961	0	0
43	60.6267	48.6404	6.75876	0	0
44	60.9008	48.633	6.70876	0	0
45	61.1749	48.6293	6.64874	0	0
46	61.449	48.6293	6.58224	0	0
47	61.7231	48.633	6.51364	0	0
48	61.9971	48.6404	6.44825	0	0
49	62.2712	48.6515	6.39225	0	0
50	62.5453	40.6664	6.35270	0	0
51	62.8194	48.685	0	0	0

Global Minimum Query (Janbu simplified) - Safety Factor: 1.29251





Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI08B0001B

Foglio

57 di 71

SLIDENETPREP 7.0.30



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 7 of 8

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	47.7717	53.1945	0	0	0
2	48.085	52.6767	21.144	0	0
3	48.3983	52.212	41.8778	0	0
4	48.7116	51.7904	61.938	0	0
5	49.0249	51.4046	81.1258	0	0
6	49.3382	51.0496	96.6297	0	0
7	49.6515	50.7213	104.256	0	0
8	49.9648	50.4169	111.684	0	0
9	50.2781	50.1337	118.763	0	0
10	50.5914	49.8699	125.37	0	0
11	50.9047	49.6238	131.395	0	0
12	51.218	49.3941	135.994	0	0
13	51.5313	49.1797	139.704	0	0
14	51.804	49.0047	142.096	0	0
15	52.0767	48.84	143.948	0	0
16	52.3493	48.685	145.223	0	0
17	52.6764	48.5114	146.083	0	0
18	53.0035	48.3505	146.273	0	0
19	53.3306	48.2019	145.716	0	0
20	53.6577	48.065	144.378	0	0
21	53.9848	47.9394	142.316	0	0
22	54.3119	47.8246	139.56	0	0
23	54.639	47.7205	136.144	0	0
24	54.9661	47.6266	132.108	0	0
25	55.2932	47.5428	127.495	0	0
26	55.6203	47.4688	122.352	0	0
27	55.9474	47.4045	116.732	0	0
28	56.2745	47.3496	110.692	0	0
29	56.6016	47.3041	104.294	0	0
30	56.9287	47.2678	97.6044	0	0
31	57.2558	47.2406	90.6951	0	0
32	57.5829	47.2225	83.6436	0	0
33	57.91	47.2135	76.5334	0	0
34	58.2371	47.2135	69.4542	0	0
35	58.5641	47.2225	62.5029	0	0
36	58.8912	47.2406	55.7841	0	0
37	59.2183	47.2678	49.4111	0	0
38	59.5454	47.3041	43.5065	0	0
39	59.8725	47.3496	38.2049	0	0
40	60.1996	47.4045	33.6545	0	0
41	60.5267	47.4688	29.7555	0	0
42	60.8538	47.5428	25.837	0	0
43	61.1809	47.6266	21.9053	0	0
44	61.508	47.7205	18.0267	0	0
45	61.8351	47.8246	14.2776	0	0
46	62.1622	47.9394	10.7463	0	0
47	62.4893	48.065	7.53484	0	0
48	62.8164	48.2019	4.76158	0	0
49	63.1435	48.3505	2.56413	0	0
50	63.4706	40.5114	1.10349	0	0
51	63.7977	48.685	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
7.5	48.685
89.5	48.685

Distributed Load

X	Y
25.1638	53.7513
26.6788	53.7254

Distributed Load

X	Y



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI08B0001B

Foglio

58 di 71

SLIDEINTERPRET 7.0.30



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 8 of 8

X	Y
28.8036	53.6891
30.3187	53.6632

Distributed Load

X	Y
43.7482	53.1945
45.259	53.1945

Distributed Load

X	Y
47.7482	53.1945
49.259	53.1945

Distributed Load

X	Y
42	53.1945
43.7482	53.1945
45.259	53.1945
47.7482	53.1945
49.259	53.1945
51	53.1945

External Boundary



X	Y
89.5	48.685
60.3	48.685
53.3899	53.1945
51	53.1945
49.259	53.1945
47.7482	53.1945
45.259	53.1945
43.7482	53.1945
42	53.1945
35.9688	53.1945
34.3232	53.5947
30.3187	53.6632
28.8036	53.6891
26.6788	53.7254
25.1638	53.7513
20.4062	53.8327
18.7877	52.6602
13.9244	51.7797
7.5	51.7125
7.5	49.284
7.5	21.7125
89.5	21.7125

Material Boundary

X	Y
35.9688	53.1945
41.195	50.1153
41.2469	49.284
54.7789	49.1468
59.6115	48.685
60.3	48.685

Material Boundary

X	Y
7.5	49.284
41.2469	49.284

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI08B0001B</p>	<p>Foglio 59 di 71</p>

ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICO

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: R108_sisma_02.slm
 Slide Modeler Version: 7.038
 Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
 Date Created: 08/03/2021, 16:12:54

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
 Time Units: days
 Permeability Units: meters/second
 Failure Direction: Left to Right
 Data Output: Standard
 Maximum Material Properties: 20
 Maximum Support Properties: 20

Design Standard

Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
 Name: Stabilità Globale_SISMA+M2+R2

Type	Partial Factor
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1.25
Coefficient of shearing resistance	1.25
Undrained strength	1.4
Weight density	1
Shear strength (other models)	1
Earth resistance	1.1
Tensile and plate strength	1
Shear strength	1
Compressive strength	1
Bond strength	1
Seismic Coefficient	1

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified
 Janbu simplified

Number of slices: 50
 Tolerance: 0.005
 Maximum number of iterations: 75
 Check $\alpha < 0.2$: Yes
 Create interslice boundaries at intersections with water tables and piezos: Yes
 Initial trial value of FS: 1
 Steffensen iteration: Yes

Groundwater Analysis

Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI08B0001B

Foglio

61 di 71

SLIDENTERPRET 7.0.30



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 2 of 8

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/m³]: 9.81
Use negative pore pressure cutoff: Yes
Maximum negative pore pressure [kPa]: 0
Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

Pseudo-random Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Auto Refine Search
Divisions along slope: 10
Circles per division: 10
Number of iterations: 10
Divisions to use in next iteration: 50%
Composite Surfaces: Disabled
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth [m]: 2
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.089
Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.045

5 Distributed Loads present

Distributed Load 1

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 12.3
Orientation: Vertical
Load Action: Live

Distributed Load 2

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 12.3
Orientation: Vertical
Load Action: Live

Distributed Load 3

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 12.3
Orientation: Vertical
Load Action: Live



Distributed Load 4

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 12.3
Orientation: Vertical
Load Action: Live

Distributed Load 5

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 14.4
Orientation: Vertical
Load Action: Live

Material Properties

Property	UG	Rilevato
Color		
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m ³]	19.5	20
Cohesion [kPa]	0	0
Friction Angle [deg]	39	38
Water Surface	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1

Global Minimums**Method: bishop simplified**

FS	1.102680
Center:	61.433, 68.308
Radius:	19.656
Left Slip Surface Endpoint:	48.865, 53.195
Right Slip Surface Endpoint:	62.574, 48.685
Resisting Moment:	-3825.88 kN-m
Driving Moment:	3469.61 kN-m
Total Slice Area:	18.3679 m ²
Surface Horizontal Width:	13.7091 m
Surface Average Height:	1.33984 m

Method: janbu simplified

FS	1.089090
Center:	61.421, 68.280
Radius:	19.627
Left Slip Surface Endpoint:	48.865, 53.195
Right Slip Surface Endpoint:	62.545, 48.685
Resisting Horizontal Force:	-177.204 kN
Driving Horizontal Force:	162.709 kN
Total Slice Area:	18.3758 m ²
Surface Horizontal Width:	13.6798 m
Surface Average Height:	1.34328 m

Valid / Invalid Surfaces**Method: bishop simplified**

Number of Valid Surfaces:	1634
Number of Invalid Surfaces:	0

Method: janbu simplified

Number of Valid Surfaces:	1599
Number of Invalid Surfaces:	35

Error Codes:

Error Code -108 reported for 1 surface
Error Code -112 reported for 34 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- 108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- 112 = The coefficient $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)(1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.

Slice Data



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI08B0001B

Foglio
64 di 71

SLIDINTERPRET 7.0.30



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 8

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.272201	0.605544	-39.2581	Rilevato	0	32.0066	10.2328	11.1444	19.6133	0	19.6133	27.9762	27.9762
2	0.272201	1.79497	-38.2392	Rilevato	0	32.0066	9.40629	10.2443	18.0292	0	18.0292	25.4417	25.4417
3	0.272201	2.94194	-37.2343	Rilevato	0	32.0066	8.97731	9.7771	17.2069	0	17.2069	24.0295	24.0295
4	0.272201	4.04817	-36.2427	Rilevato	0	32.0066	10.4999	11.4353	20.1252	0	20.1252	27.822	27.822
5	0.272201	5.1152	-35.2635	Rilevato	0	32.0066	12	13.0691	23.0006	0	23.0006	31.4856	31.4856
6	0.272201	6.14446	-34.296	Rilevato	0	32.0066	13.4776	14.6783	25.8326	0	25.8326	35.025	35.025
7	0.272201	7.13725	-33.3395	Rilevato	0	32.0066	14.9322	16.2625	28.6207	0	28.6207	38.4441	38.4441
8	0.272201	8.09477	-32.3934	Rilevato	0	32.0066	15.4976	16.8783	29.7045	0	29.7045	39.5371	39.5371
9	0.272201	9.01814	-31.4571	Rilevato	0	32.0066	12.2135	13.3016	23.4098	0	23.4098	30.8816	30.8816
10	0.272201	9.90839	-30.5301	Rilevato	0	32.0066	13.546	14.7528	25.9638	0	25.9638	33.9526	33.9526
11	0.272201	10.7665	-29.6118	Rilevato	0	32.0066	14.8555	16.179	28.4738	0	28.4738	36.917	36.917
12	0.272201	11.5993	-28.7019	Rilevato	0	32.0066	16.142	17.5801	30.9395	0	30.9395	39.7777	39.7777
13	0.272201	12.3896	-27.7998	Rilevato	0	32.0066	17.4052	18.9558	33.3605	0	33.3605	42.5372	42.5372
14	0.272201	13.1562	-26.9051	Rilevato	0	32.0066	18.6449	20.306	35.737	0	35.737	45.1982	45.1982
15	0.272201	13.8939	-26.0175	Rilevato	0	32.0066	19.8611	21.6305	38.0678	0	38.0678	47.7622	47.7622
16	0.272201	14.6032	-25.1365	Rilevato	0	32.0066	21.0535	22.9292	40.3535	0	40.3535	50.232	50.232
17	0.272201	15.2159	-24.2618	Rilevato	0	32.0066	22.1222	24.0931	42.4019	0	42.4019	52.3727	52.3727
18	0.272201	15.0909	-23.3931	Rilevato	0	32.0066	22.1233	24.0943	42.4042	0	42.4042	51.9747	51.9747
19	0.272201	14.7517	-22.5301	Rilevato	0	32.0066	21.8044	23.747	41.7927	0	41.7927	50.8379	50.8379
20	0.272201	14.3864	-21.6725	Rilevato	0	32.0066	21.438	23.3479	41.0903	0	41.0903	49.6095	49.6095
21	0.272201	13.9956	-20.8199	Rilevato	0	32.0066	21.024	22.897	40.2968	0	40.2968	48.2914	48.2914
22	0.272201	13.5795	-19.9721	Rilevato	0	32.0066	20.5623	22.3942	39.4121	0	39.4121	46.8849	46.8849
23	0.272201	13.1387	-19.1288	Rilevato	0	32.0066	20.0529	21.8394	38.4354	0	38.4354	45.3907	45.3907
24	0.272201	12.6735	-18.2899	Rilevato	0	32.0066	19.4954	21.2322	37.3669	0	37.3669	43.8106	43.8106
25	0.272201	12.1843	-17.4549	Rilevato	0	32.0066	18.8896	20.5725	36.2059	0	36.2059	42.1455	42.1455
26	0.272201	11.6715	-16.6238	Rilevato	0	32.0066	18.2353	19.8599	34.9518	0	34.9518	40.3963	40.3963
27	0.272201	11.1352	-15.7963	Rilevato	0	32.0066	17.5323	19.0942	33.6042	0	33.6042	38.5641	38.5641
28	0.272201	10.5759	-14.9721	Rilevato	0	32.0066	16.78	18.2749	32.1623	0	32.1623	36.6497	36.6497
29	0.272201	9.9938	-14.1511	Rilevato	0	32.0066	15.9781	17.4016	30.6254	0	30.6254	34.654	34.654
30	0.272201	9.38915	-13.3331	Rilevato	0	32.0066	15.1263	16.4739	28.9927	0	28.9927	32.5776	32.5776
31	0.272201	8.76219	-12.5178	Rilevato	0	32.0066	14.224	15.4912	27.2632	0	27.2632	30.4212	30.4212
32	0.272201	8.11314	-11.705	Rilevato	0	32.0066	13.2707	14.453	25.4361	0	25.4361	28.1855	28.1855
33	0.272201	7.44219	-10.8947	Rilevato	0	32.0066	12.2658	13.3586	23.5101	0	23.5101	25.871	25.871
34	0.272201	6.74954	-10.0866	Rilevato	0	32.0066	11.2089	12.2075	21.4842	0	21.4842	23.4781	23.4781
35	0.272201	6.03535	-9.28045	Rilevato	0	32.0066	10.0991	10.9988	19.357	0	19.357	21.0072	21.0072
36	0.272201	5.29977	-8.47618	Rilevato	0	32.0066	8.93572	9.7318	17.1272	0	17.1272	18.4588	18.4588
37	0.272201	4.54296	-7.67359	Rilevato	0	32.0066	7.71807	8.40567	14.7933	0	14.7933	15.8332	15.8332
38	0.272201	3.76503	-6.87252	Rilevato	0	32.0066	6.44528	7.01949	12.3537	0	12.3537	13.1305	13.1305
39	0.272201	2.96609	-6.07279	Rilevato	0	32.0066	5.11647	5.5723	9.80678	0	9.80678	10.3511	10.3511
40	0.272201	2.14625	-5.27425	Rilevato	0	32.0066	3.7307	4.06307	7.15065	0	7.15065	7.49505	7.49505
41	0.272201	1.3056	-4.47673	Rilevato	0	32.0066	2.28694	2.49068	4.38341	0	4.38341	4.56246	4.56246
42	0.272201	0.4442	-3.68009	Rilevato	0	32.0066	0.784104	0.85396	1.5029	0	1.5029	1.55333	1.55333
43	0.280914	0.0386272	-2.87142	U6	0	32.9362	0.0689511	0.0750939	0.127508	0	0.127508	0.130967	0.130967
44	0.280914	0.104731	-2.0506	U6	0	32.9362	0.188513	0.205308	0.34861	0	0.34861	0.35536	0.35536
45	0.280914	0.148801	-1.2302	U6	0	32.9362	0.270096	0.294159	0.499479	0	0.499479	0.505279	0.505279
46	0.280914	0.17083	-0.410046	U6	0	32.9362	0.312714	0.340574	0.57829	0	0.57829	0.580528	0.580528
47	0.280914	0.17083	0.410021	U6	0	32.9362	0.315392	0.34349	0.583241	0	0.583241	0.580984	0.580984
48	0.280914	0.148801	1.23017	U6	0	32.9362	0.277096	0.301782	0.512419	0	0.512419	0.506469	0.506469
49	0.280914	0.104731	2.05058	U6	0	32.9362	0.196729	0.214256	0.363803	0	0.363803	0.356759	0.356759
50	0.280914	0.0385913	2.8714	U6	0	32.9362	0.0731296	0.0796447	0.135235	0	0.135235	0.131567	0.131567

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.10268

--



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI08B0001B

Foglio

65 di 71

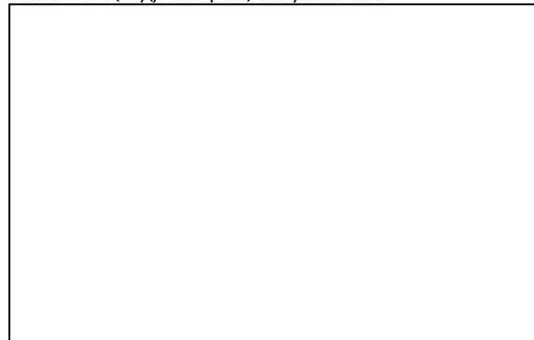
SLIDENETPRET 7.0.30



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 6 of 8

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	48.8652	53.1945	0	0	0
2	49.1373	52.9724	1.66955	0	0
3	49.4093	52.7581	3.17062	0	0
4	49.6814	52.5515	4.58001	0	0
5	49.9534	52.3522	6.13439	0	0
6	50.2255	52.16	7.79149	0	0
7	50.4975	51.9745	9.51186	0	0
8	50.7696	51.7956	11.2586	0	0
9	51.0416	51.6231	12.9445	0	0
10	51.3137	51.4567	14.3616	0	0
11	51.5857	51.2963	15.7694	0	0
12	51.8578	51.1417	17.1386	0	0
13	52.1298	50.9928	18.4416	0	0
14	52.4019	50.8493	19.6526	0	0
15	52.6739	50.7113	20.7471	0	0
16	52.9459	50.5784	21.7021	0	0
17	53.218	50.4508	22.4959	0	0
18	53.49	50.3281	23.1054	0	0
19	53.7621	50.2104	23.495	0	0
20	54.0341	50.0975	23.6661	0	0
21	54.3062	49.9893	23.629	0	0
22	54.5782	49.8857	23.3949	0	0
23	54.8503	49.7868	22.9757	0	0
24	55.1223	49.6923	22.3844	0	0
25	55.3944	49.6023	21.6348	0	0
26	55.6664	49.5167	20.7417	0	0
27	55.9385	49.4353	19.7206	0	0
28	56.2105	49.3583	18.5881	0	0
29	56.4826	49.2854	17.3617	0	0
30	56.7546	49.2167	16.0596	0	0
31	57.0267	49.152	14.7012	0	0
32	57.2987	49.0915	13.3068	0	0
33	57.5708	49.035	11.8975	0	0
34	57.8428	48.9824	10.4957	0	0
35	58.1149	48.9339	9.12458	0	0
36	58.3869	48.8893	7.80852	0	0
37	58.659	48.8485	6.57295	0	0
38	58.931	48.8117	5.44445	0	0
39	59.2031	48.7787	4.45077	0	0
40	59.4751	48.7496	3.62089	0	0
41	59.7472	48.7242	2.98506	0	0
42	60.0192	48.7027	2.57487	0	0
43	60.2913	48.685	2.42327	0	0
44	60.5766	48.6705	2.40859	0	0
45	60.862	48.6601	2.36733	0	0
46	61.1474	48.6539	2.30596	0	0
47	61.4328	48.6518	2.23231	0	0
48	61.7182	48.6539	2.15539	0	0
49	62.0035	48.6601	2.08551	0	0
50	62.2889	48.6705	2.03425	0	0
51	62.5743	48.685	0	0	0

Global Minimum Query (Janbu simplified) - Safety Factor: 1.08909





Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI08B0001B

Foglio

66 di 71

SLIDINTERPRET 7.0.30



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 7 of 8

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	48.8652	53.1945	0	0	0
2	49.1374	52.972	1.62809	0	0
3	49.4096	52.7575	3.09139	0	0
4	49.6818	52.5507	4.46597	0	0
5	49.954	52.3511	5.98008	0	0
6	50.2262	52.1587	7.59153	0	0
7	50.4984	51.973	9.26093	0	0
8	50.7706	51.7939	10.9514	0	0
9	51.0428	51.6212	12.5778	0	0
10	51.315	51.4547	13.9499	0	0
11	51.5872	51.2942	15.3076	0	0
12	51.8594	51.1395	16.6219	0	0
13	52.1316	50.9904	17.8653	0	0
14	52.4038	50.8469	19.0118	0	0
15	52.676	50.7088	20.0371	0	0
16	52.9482	50.5759	20.9182	0	0
17	53.2204	50.4482	21.6335	0	0
18	53.4926	50.3255	22.1603	0	0
19	53.7648	50.2078	22.4667	0	0
20	54.037	50.0949	22.5557	0	0
21	54.3092	49.9867	22.4378	0	0
22	54.5814	49.8832	22.1242	0	0
23	54.8536	49.7843	21.6271	0	0
24	55.1258	49.6898	20.9597	0	0
25	55.398	49.5999	20.1359	0	0
26	55.6702	49.5143	19.1706	0	0
27	55.9424	49.433	18.0798	0	0
28	56.2146	49.356	16.88	0	0
29	56.4868	49.2832	15.589	0	0
30	56.759	49.2146	14.2253	0	0
31	57.0312	49.1501	12.8085	0	0
32	57.3034	49.0896	11.3591	0	0
33	57.5756	49.0333	9.8967	0	0
34	57.8478	48.9809	8.4496	0	0
35	58.12	48.9324	7.0353	0	0
36	58.3923	48.888	5.68109	0	0
37	58.6645	48.8474	4.41204	0	0
38	58.9367	48.8107	3.2553	0	0
39	59.2089	48.7779	2.23897	0	0
40	59.4811	48.749	1.39242	0	0
41	59.7533	48.7238	0.746294	0	0
42	60.0255	48.7025	0.332588	0	0
43	60.2977	48.685	0.184721	0	0
44	60.5786	48.6709	0.17056	0	0
45	60.8595	48.6609	0.130362	0	0
46	61.1404	48.6548	0.0706454	0	0
47	61.4213	48.6528	-0.000949067	0	0
48	61.7022	48.6548	-0.0756317	0	0
49	61.9831	48.6609	-0.143421	0	0
50	62.2641	48.6709	-0.193096	0	0
51	62.545	48.685	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
7.5	44.685
89.5	44.685

Distributed Load

X	Y
25.1638	53.7513
26.6788	53.7254

Distributed Load

X	Y
25.1638	53.7513
26.6788	53.7254



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI08B0001B

Foglio

67 di 71

SLIDEMPREP7.036



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 8 of 8

X	Y
28.8036	53.6891
30.3187	53.6632

Distributed Load

X	Y
43.7482	53.1945
45.259	53.1945

Distributed Load

X	Y
47.7482	53.1945
49.259	53.1945

Distributed Load

X	Y
42	53.1945
43.7482	53.1945
45.259	53.1945
47.7482	53.1945
49.259	53.1945
51	53.1945

External Boundary

X	Y
89.5	48.685
60.3	48.685
53.3899	53.1945
51	53.1945
49.259	53.1945
47.7482	53.1945
45.259	53.1945
43.7482	53.1945
42	53.1945
35.9688	53.1945
34.3232	53.5947
30.3187	53.6632
28.8036	53.6891
26.6788	53.7254
25.1638	53.7513
20.4062	53.8327
18.7877	52.6602
13.9244	51.7797
7.5	51.7125
7.5	49.284
7.5	21.7125
89.5	21.7125

Material Boundary

X	Y
35.9688	53.1945
41.195	50.1153
41.2469	49.284
54.7789	49.1468
59.6115	48.685
60.3	48.685

Material Boundary

X	Y
7.5	49.284
41.2469	49.284

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI08B0001B	68 di 71

ALLEGATO 5 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE

Settle3D Analysis Information

Ri08_settl_analysis

Project Settings

Document Name: Ri08_00
Project Title: Ri08_settl_analysis
Date Created: 09/03/2021, 16:16:58
Stress Computation Method: Boussinesq

Stage Settings

Stage #	Name
1	Stage 1
2	Stage 2

Results

Time taken to compute: 10.0399 seconds

Stage: Stage 1

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	0	1.75793
Consolidation Settlement [cm]	0	0
Immediate Settlement [cm]	0	1.75793
Loading Stress [kPa]	0	119.103
Total Stress [kPa]	0	598.133
Total Strain	-0	0.00197926
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.3315	597.912
Over-consolidation Ratio	1	1
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0

Stage: Stage 2

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	0	2.20595
Consolidation Settlement [cm]	0	0
Immediate Settlement [cm]	0	2.20595
Loading Stress [kPa]	0	227.761
Total Stress [kPa]	0	620.201
Total Strain	-0	0.00378228
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.3315	619.984

Over-consolidation Ratio	1	1.45458
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0

Loads

1. Rectangular Load

Length: 17 m
Width: 100 m
Rotation angle: 0 degrees
Load Type: Flexible
Area of Load: 1700 m²
Load: 8.5 kPa
Depth: 0 m
Installation Stage: Stage 2

Coordinates

X [m]	Y [m]
24.9949	-50
41.9949	-50
41.9949	50
24.9949	50

Embankments

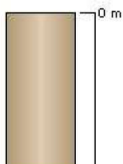
1. Embankment

Center Line: (14, -50) to (14, 50)
Number of Layers: 1
Near End Angle: 90 degrees
Far End Angle: 90 degrees
Base Width: 28

Layer	Stage	Left Bench Width (m)	Left Angle (deg)	Height (m)	Unit Weight (kN/m ³)	Right Angle (deg)	Right Bench Width (m)
1	Stage 1	0	34	4.5	18	34	0

Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	Ghiaia (U6)	17	0
2	Sabbia (U4)	13	17



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+538,03 al km 153+803,51
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12



Codifica

EI2RBRI08B0001B

Foglio

71 di 71

Soil Properties

Property	Ghiaia (U6)	Sabbia (U4)
Color		
Unit Weight [kN/m ³]	19.5	18
Immediate Settlement	Enabled	Enabled
Es [kPa]	60000	130000
Es bottom [kPa]	130000	
Esur [kPa]	60000	130000
Esur bottom [kPa]	130000	

Query Lines

Line #	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	-20, 0	70, 0	100	Auto: 29

Field Point Grid

Number of points: 609
Expansion Factor: 2

Grid Coordinates

X [m]	Y [m]
97	100
97	-100
-50	-100
-50	100