

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 AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00

GENERALE

Relazione Geotecnica

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consorzio Iricav Due ing. Paolo Carmona Data:			
 Ing. Giovanni MALAVENDA iscritto all'ordine degli ingegneri di Venezia n. 4289 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	9	A	0	0	0	1	B	-	-	-	D	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma Luca RANDOLFI	Data

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

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2RBRI09A0001B.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI09A0001B</p>	<p>Foglio 2 di 70</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
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT	24
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT	26
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO	32
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite	32
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU)	32
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE)	34
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche	34
6.2	Azioni di progetto	34
6.2.1	Azioni permanenti	35
6.2.2	Azioni variabili	35
6.2.3	Azione sismica	35

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI09A0001B</p>	<p>Foglio 3 di 70</p>

6.3	Verifiche e risultati SLU	36
6.3.1	Premessa.....	36
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche	36
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche	37
6.4	Verifica e risultati SLE.....	39
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	44
Allegati		45
ALLEGATO 1 - STRATIGRAFIE.....		46
ALLEGATO 2 - SONDAGGI.....		48
ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICO		53
ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICO		60
ALLEGATO 5 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE		67

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI09A0001B	Foglio 4 di 70

1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI09a, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende tra il km 2+538,00 ed il km 3+160,00, per una lunghezza complessiva di 622 m.

La relazione descrive in dettaglio il modello geotecnico definito per il rilevato 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 vigente (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 AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI09A0001B	Foglio 5 di 70

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 AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI09A0001B</p>	<p>Foglio 6 di 70</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.

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1 Inquadramento geotecnico

La tratta relativa al rilevato in esame si estende dalla progressiva pk 2+538,00 alla pk 3+160,00.

Dal punto di vista geotecnico la zona è 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 RI08a, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 1 di 11 (Doc. Rif. [3]), vedi ALLEGATO 1 - .

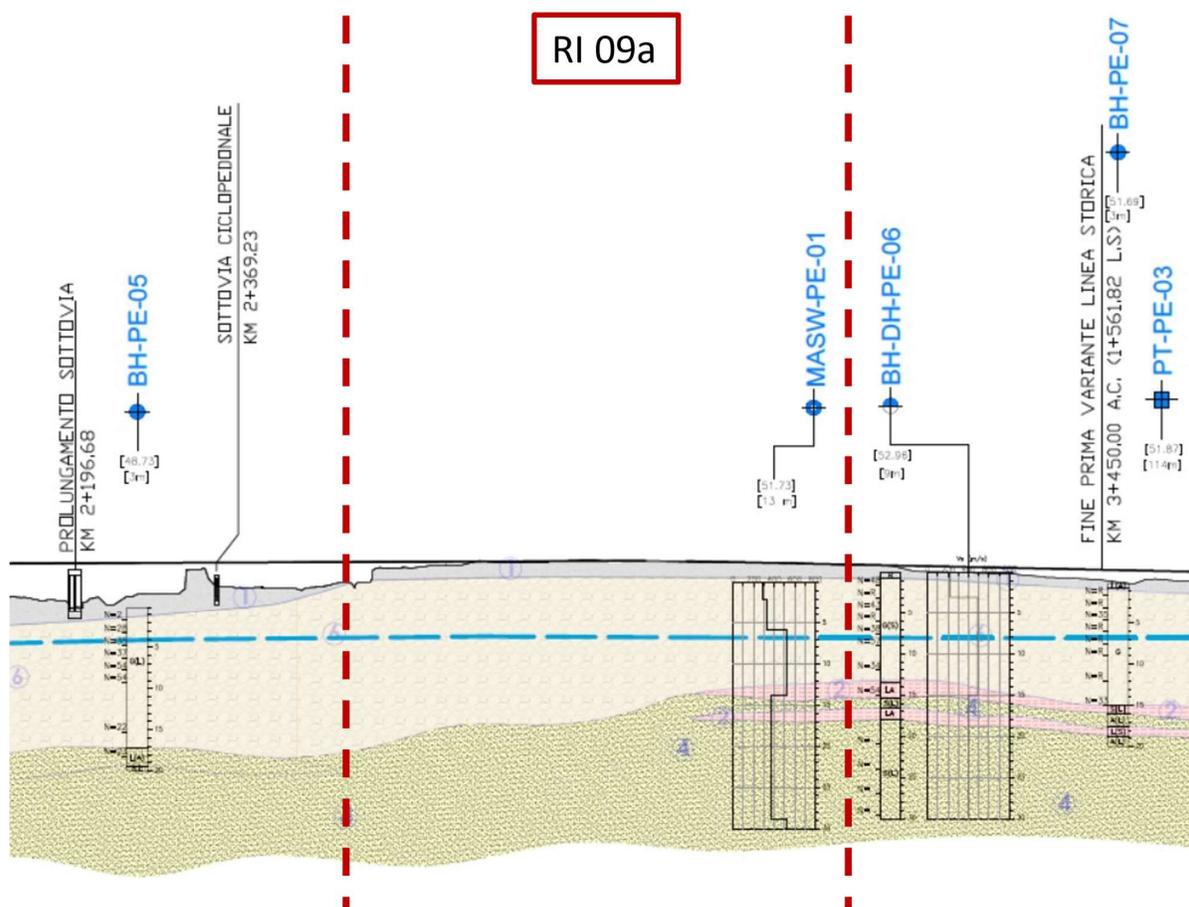


Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato RI09a, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI09A0001B	Foglio 9 di 70

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]).

Il risultato delle indagini è riportato in ALLEGATO 2 - .

Le indagini disponibili lungo il tratto d'interesse per il rilevato in oggetto sono elencate in Tabella 1. Nel seguente paragrafo si riporta la caratterizzazione geotecnica, 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 (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+250 a pk 3+250

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
2+272	BH-PE-05	2020-2021
3+098	MASW-PE-01	2020-2021
3+191	BH-PE-06	2020-2021
3+191	DH-PE-06	2020-2021

Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09A0001B

Foglio

10 di 70

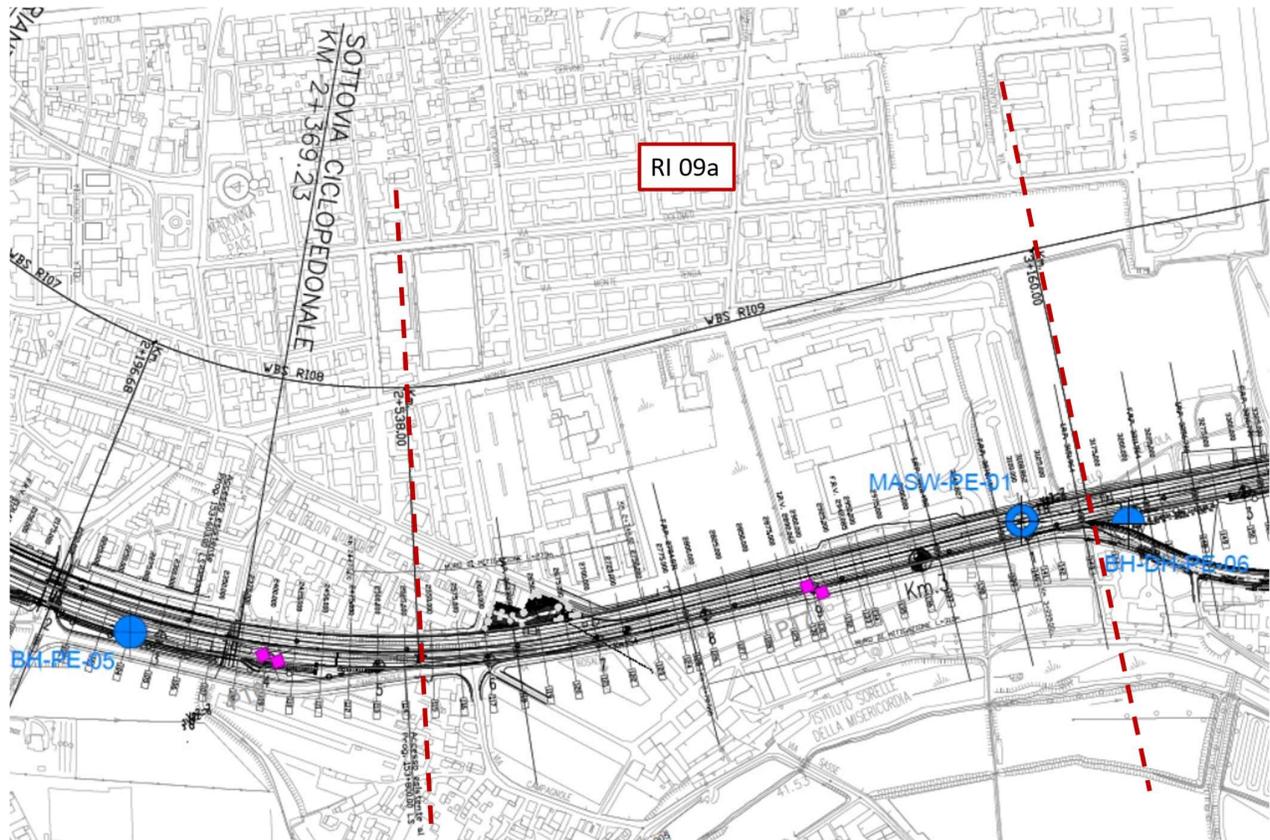


Figura 3 - Planimetria Rilevato RI09a, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

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 massina piena del fiume Adige.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI09A0001B	Foglio 11 di 70

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 sottile strato di terreno di riporto (Unità 1), che sarà molto probabilmente rimosso 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), pertanto adatti, una volta costipati, 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 fino a circa 17 m pc. 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 50 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 mediamente addensati (Unità 4), a partire dalla profondità di 17 m pc fino alla quota di fine sondaggi (30 m pc). In questo deposito le percentuali di materiale fino arrivano fino al 25% ed è caratterizzato da valori medi di N_{SPT} pari a 60 colpi/30cm con valori compresi tra 50 e 75 colpi/30cm. La densità relativa delle sabbie risulta generalmente attorno a 70% con valori anche superiori a 80%.

Si evidenzia comunque che il volume di terreno interessato dai modestissimi incrementi di carico attesi (dell'ordine dei 30-40 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 DH, MASW e SPT, conferma la presenza di materiali incoerenti da mediamente a molto addensati. Fino a 15 m pc, 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 sono da considerarsi pressoché costanti – variano tra 350 m/s e 450 m/s fino a 35 m pc. 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 pari a 250 MPa.

Per i materiali a grana grossa, si è stimato il valore del modulo di Young (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 valori del 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 profondità, dove le deformazioni attese sono minori.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI09A0001B</p>	<p>Foglio 12 di 70</p>

Le seguenti figure riportano i risultati delle principali prove di sito e dei parametri geotecnici dei terreni, interpretati alla luce di quanto riferito 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 09A da pk 2+538,00 a pk 3+160,00

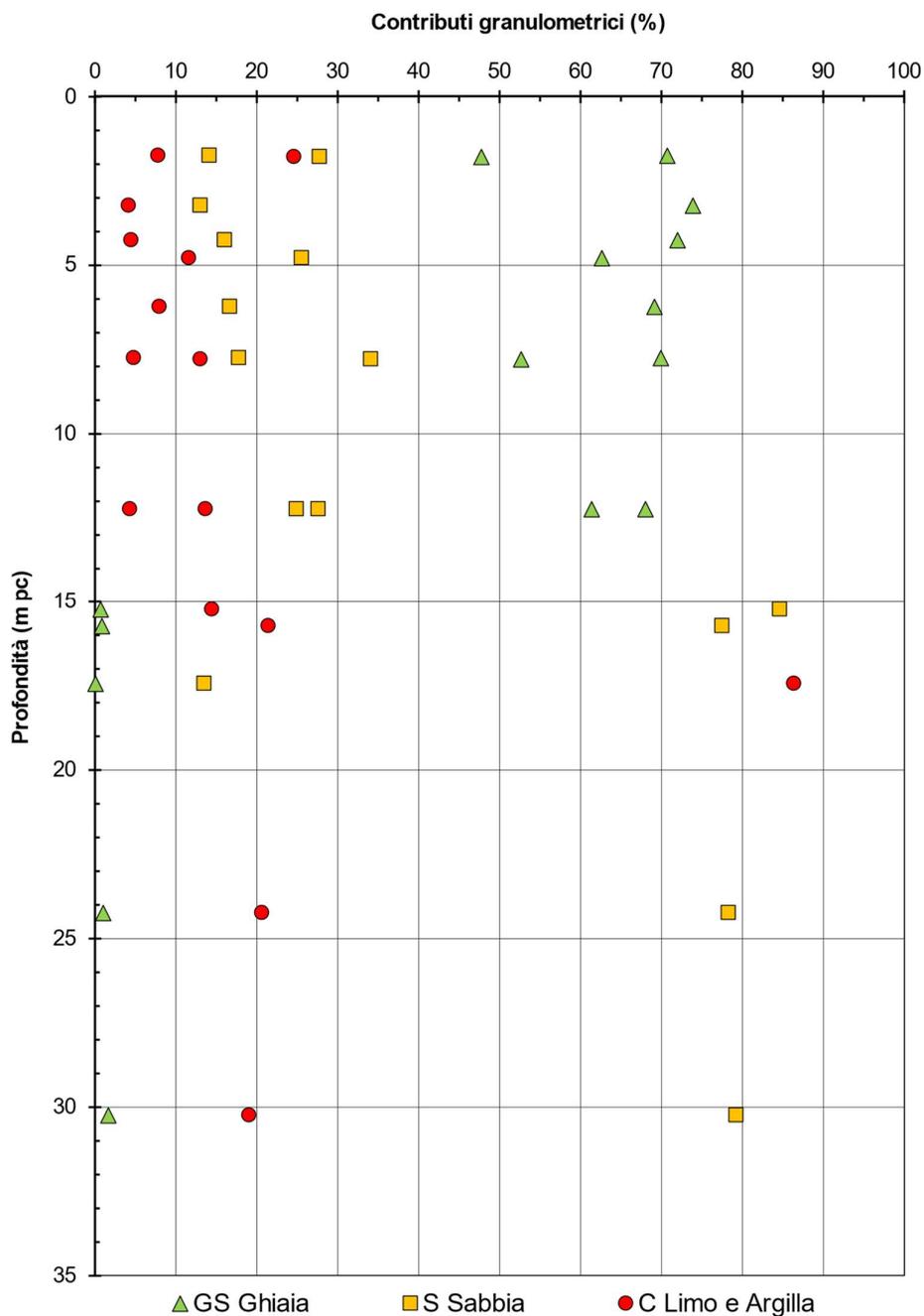


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche tra pk 2+538,00 a pk 3+160,00

AV/AC VERONA VICENZA

RI 09A da pk 2+538,00 a pk 3+160,00

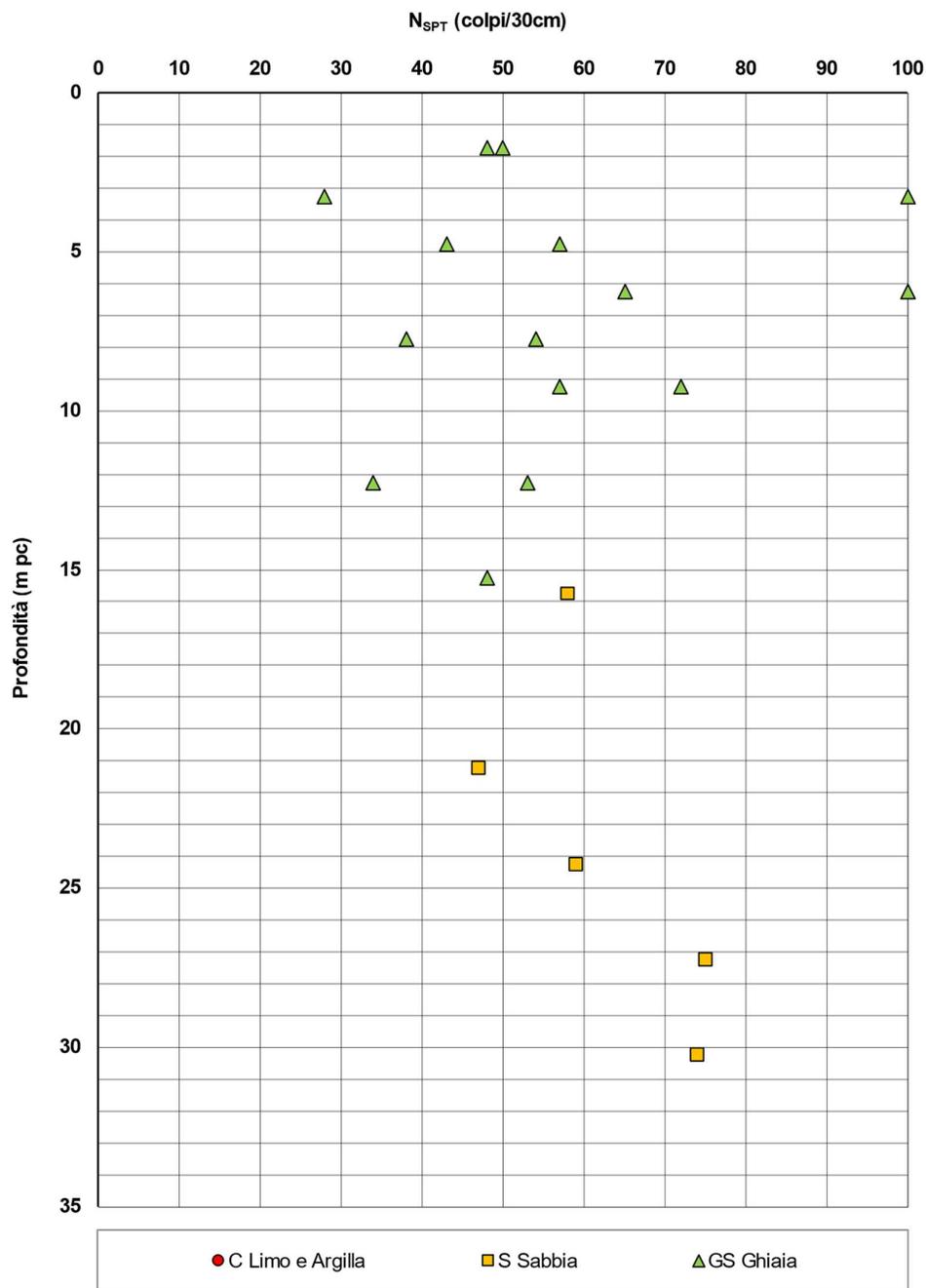


Figura 5 – Esito delle prove SPT tra pk 2+538,00 a pk 3+160,00

AV/AC VERONA VICENZA

RI 09A da pk 2+538,00 a pk 3+160,00

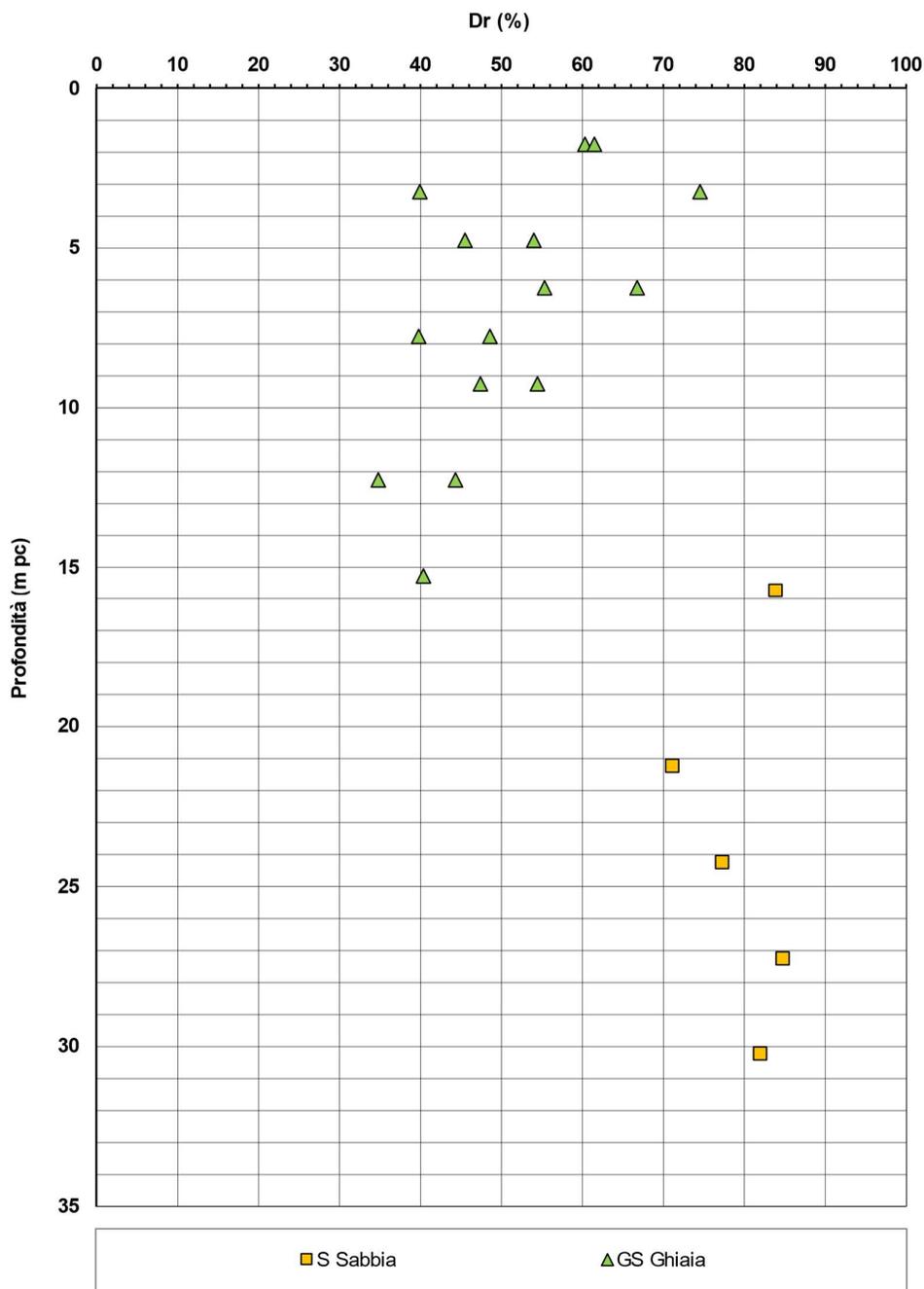


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT tra pk 2+538,00 a pk 3+160,00

AV/AC VERONA VICENZA

RI 09A da pk 2+538,00 a pk 3+160,00

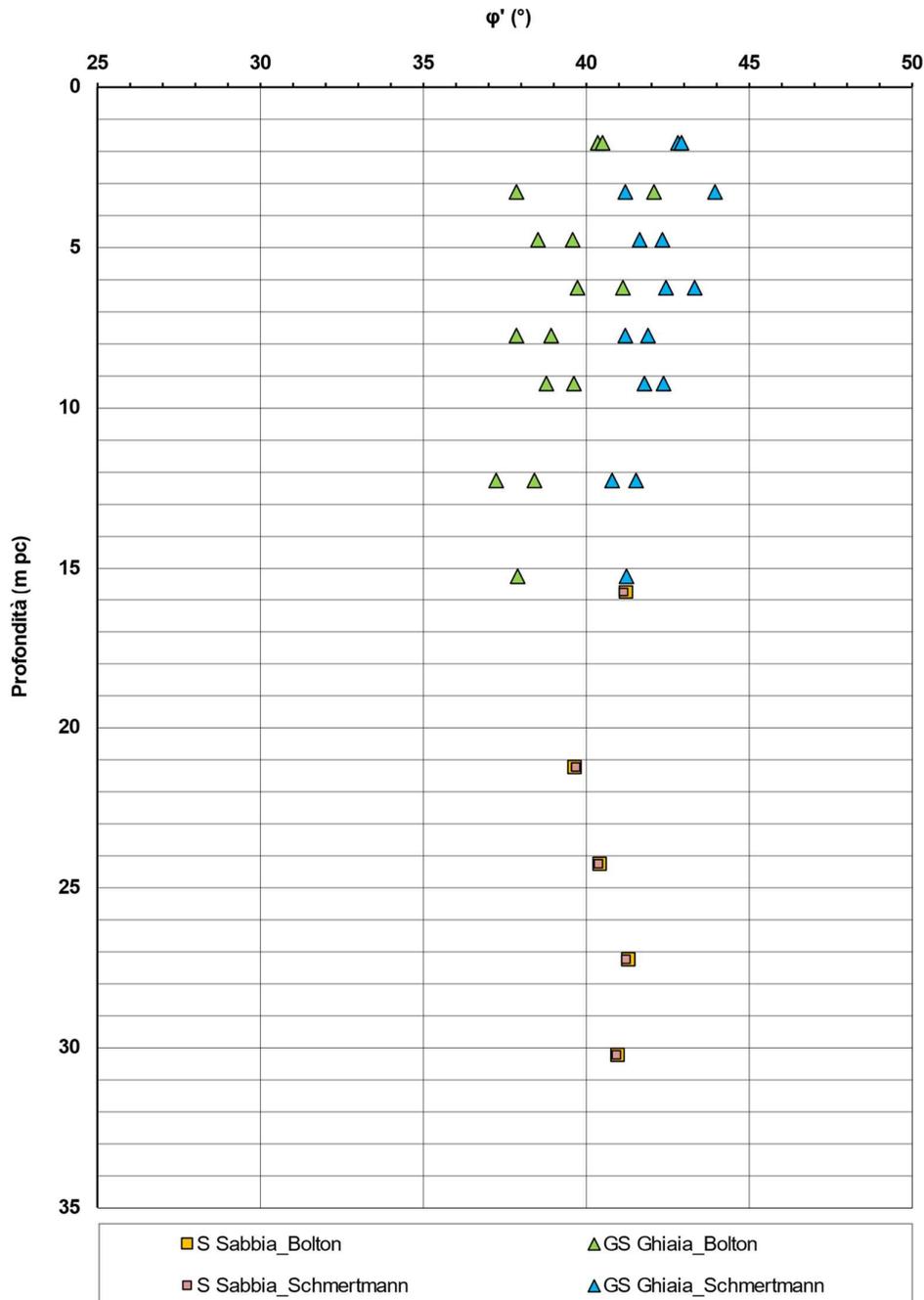


Figura 7 – Angoli di attrito da prove SPT tra pk 2+538,00 a pk 3+160,00

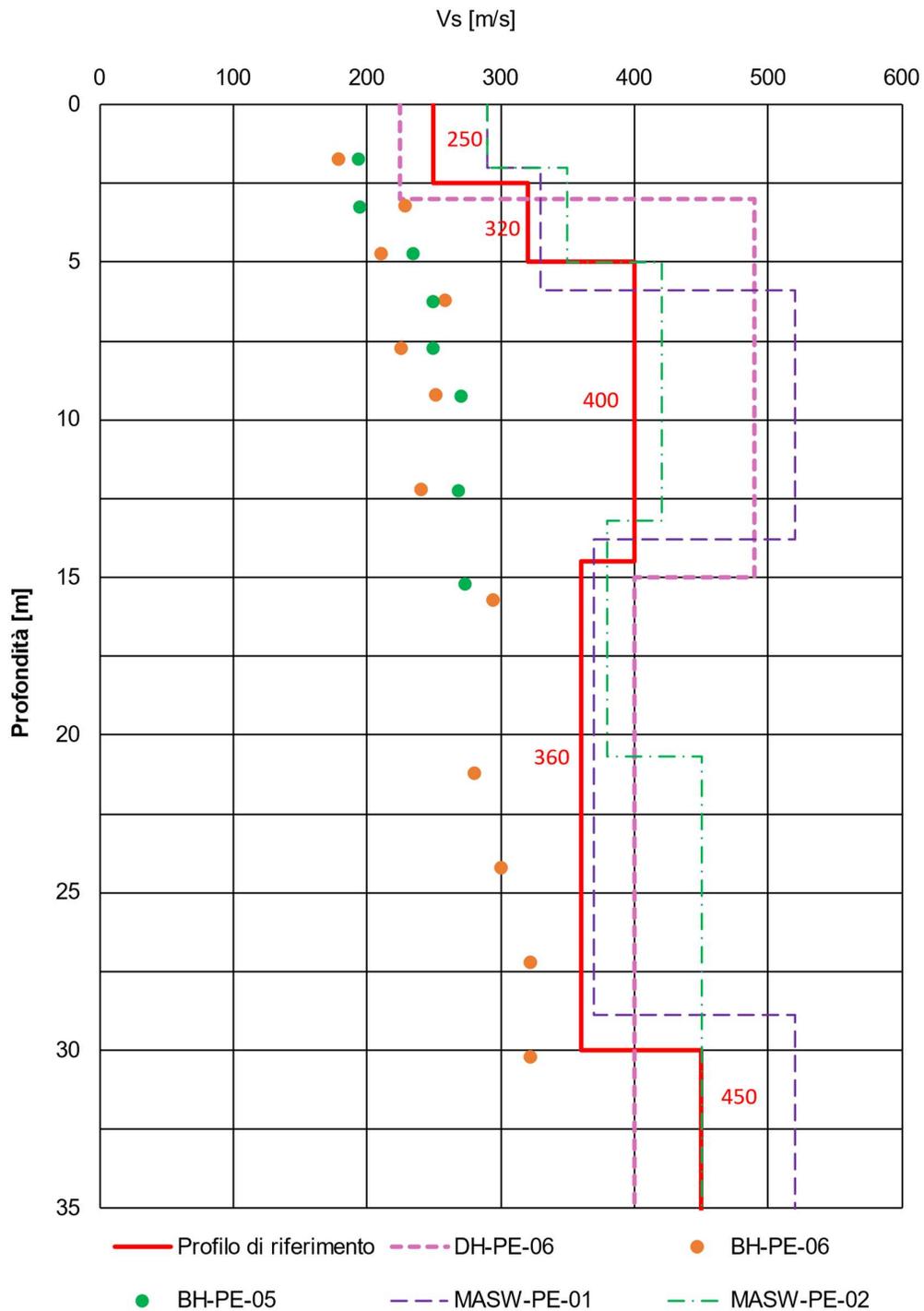


Figura 8 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW tra pk 2+538,00 a pk 3+160,00

AV/AC VERONA VICENZA

pk 2+538 - pk 3+160

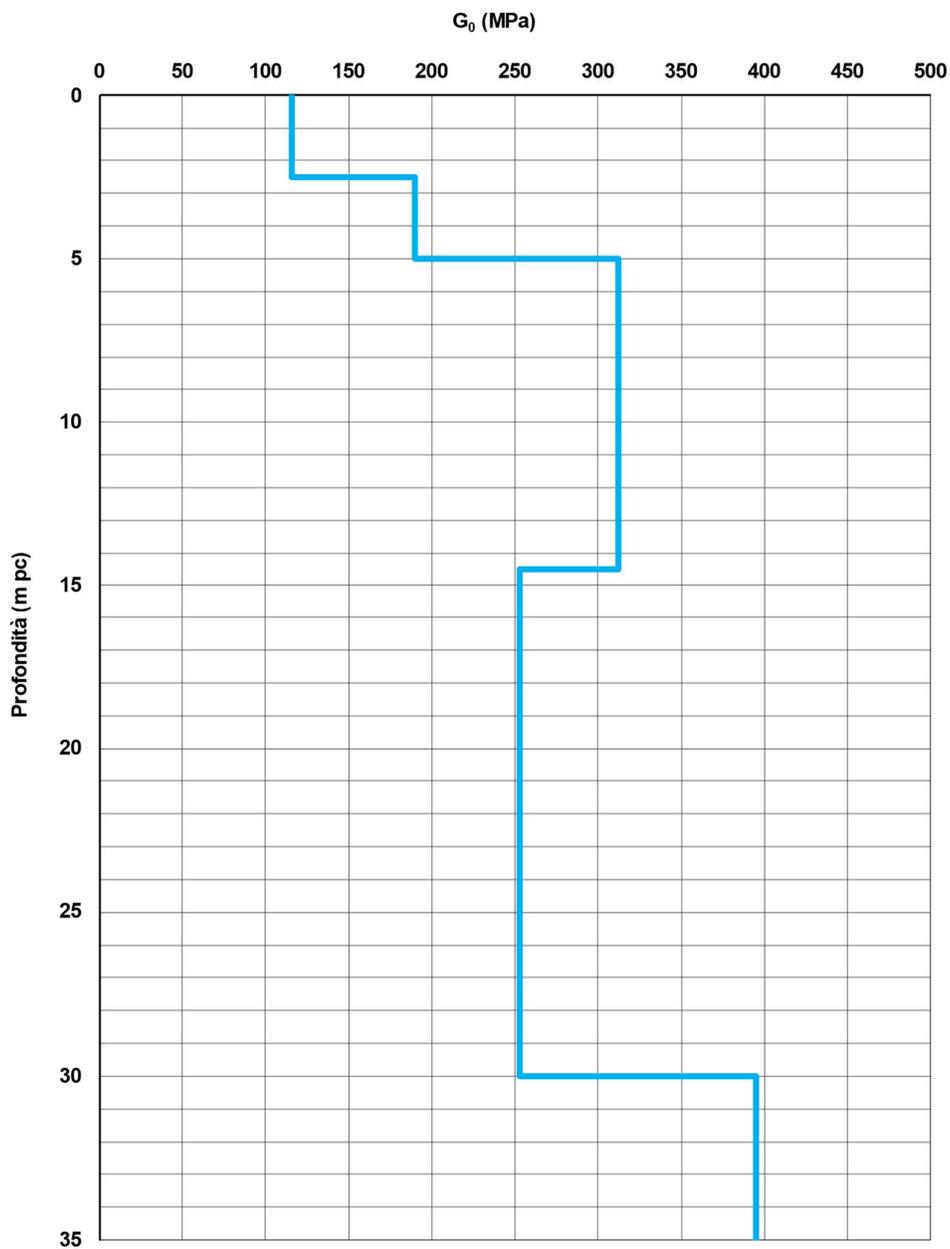


Figura 9 – Modulo di taglio G_0 tra pk 2+538,00 a pk 3+160,00

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI09A0001B	Foglio 19 di 70

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 AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI09A0001B	Foglio 20 di 70

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 AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI09A0001B	Foglio 21 di 70

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 AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI09A0001B</p>	<p>Foglio 22 di 70</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 NT2008, 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 AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI09A0001B	Foglio 23 di 70

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:

$$CSR = \frac{\tau_c}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{\tau_{max}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d$$

dove:

a_{max} accelerazione di picco al sito

g accelerazione di gravità

τ_c valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

σ_{v0} tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni totali

σ'_{v0} 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 AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI09A0001B	Foglio 24 di 70

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 AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI09A0001B	Foglio 25 di 70

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

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):

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

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

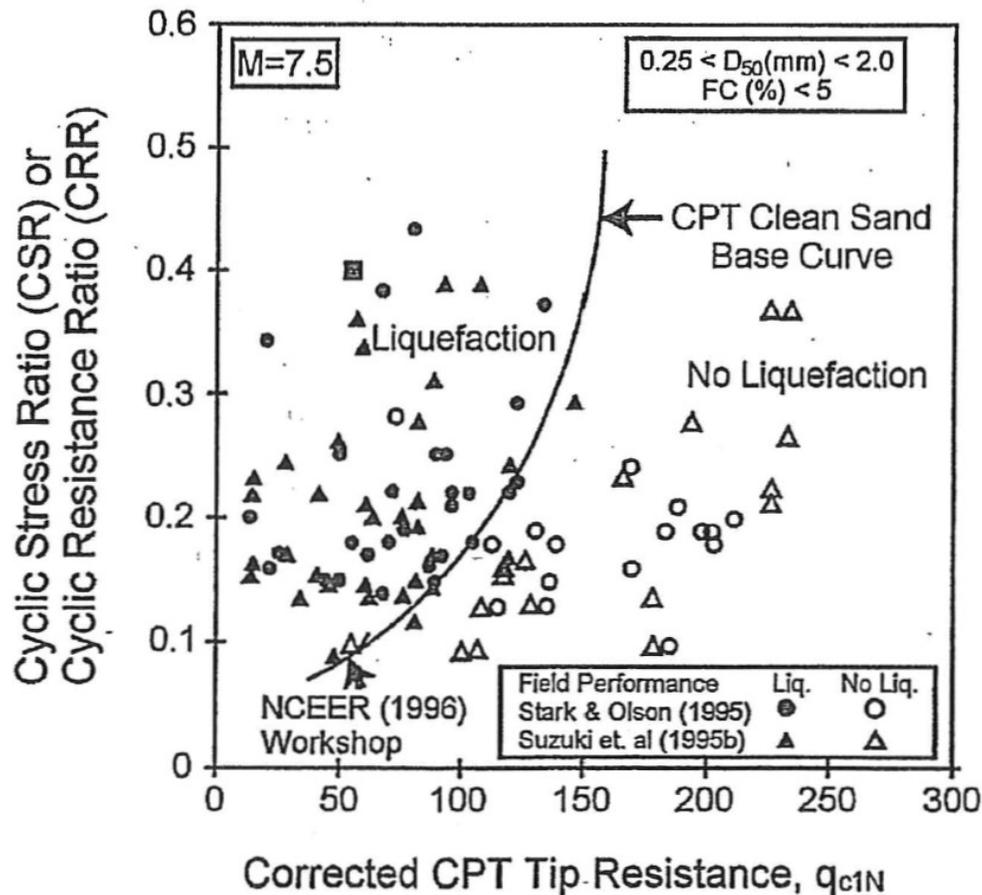


Figura 10: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

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 AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI09A0001B	Foglio 27 di 70

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI09A0001B</p>	<p>Foglio 28 di 70</p>

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):

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

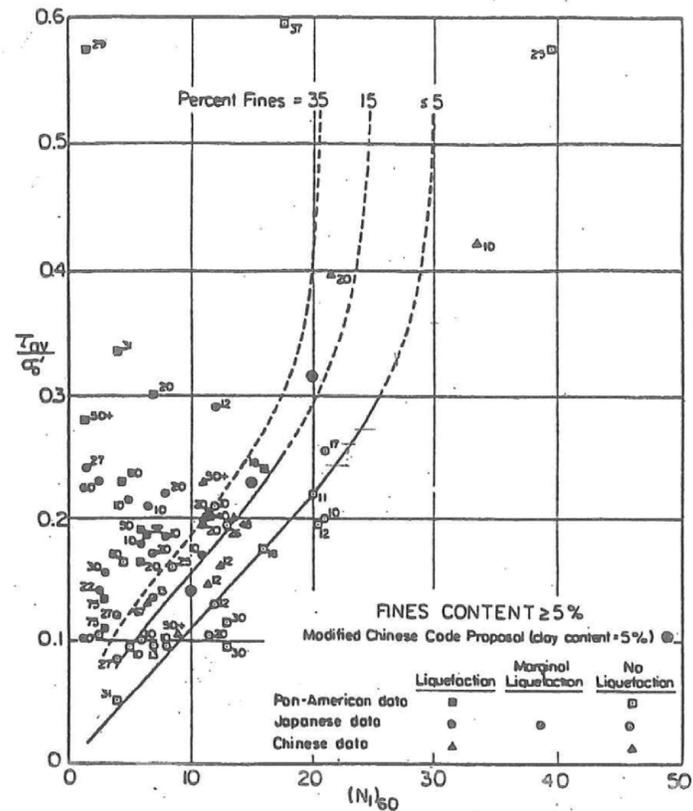


Figura 11: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

I risultati (cfr. Figura 12 e Figura 13) indicano come non si evidenzino rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI09A, in linea con gli stati di addensamento e le granulometrie descritte in precedenza.

Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

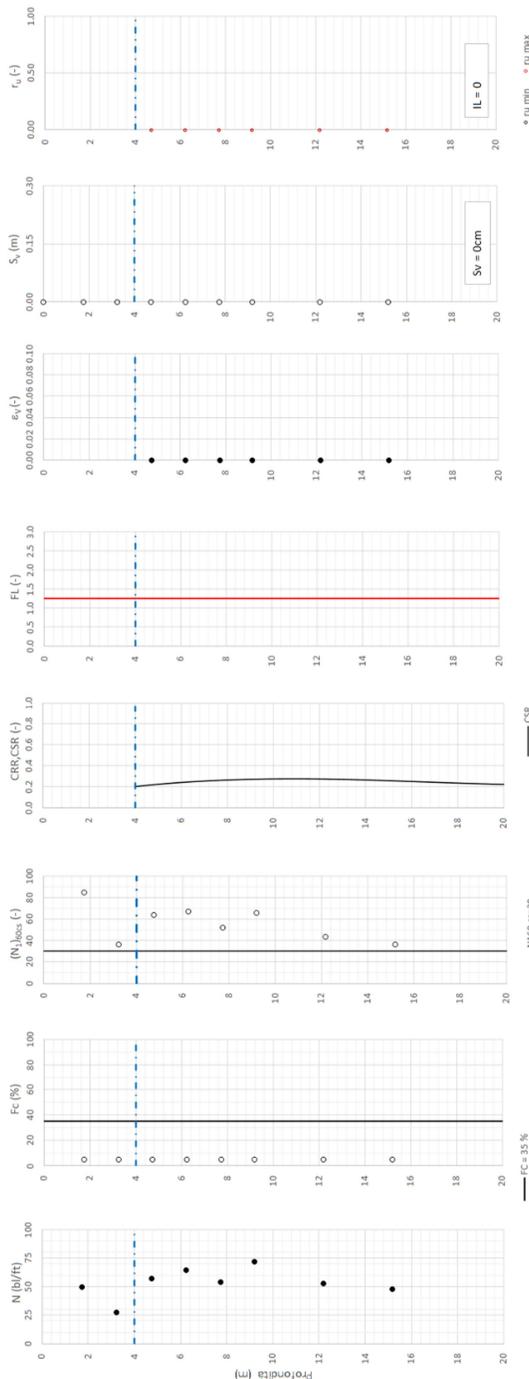
Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI09A0001B

Foglio
30 di 70

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-05 Pr. 2+375
 $a_{max} = 0.317g$, $M_{calc} = 6$ MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
 Altezza rilevato = 0m



Foglietto di Identificazione Prova: 1/02

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

Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

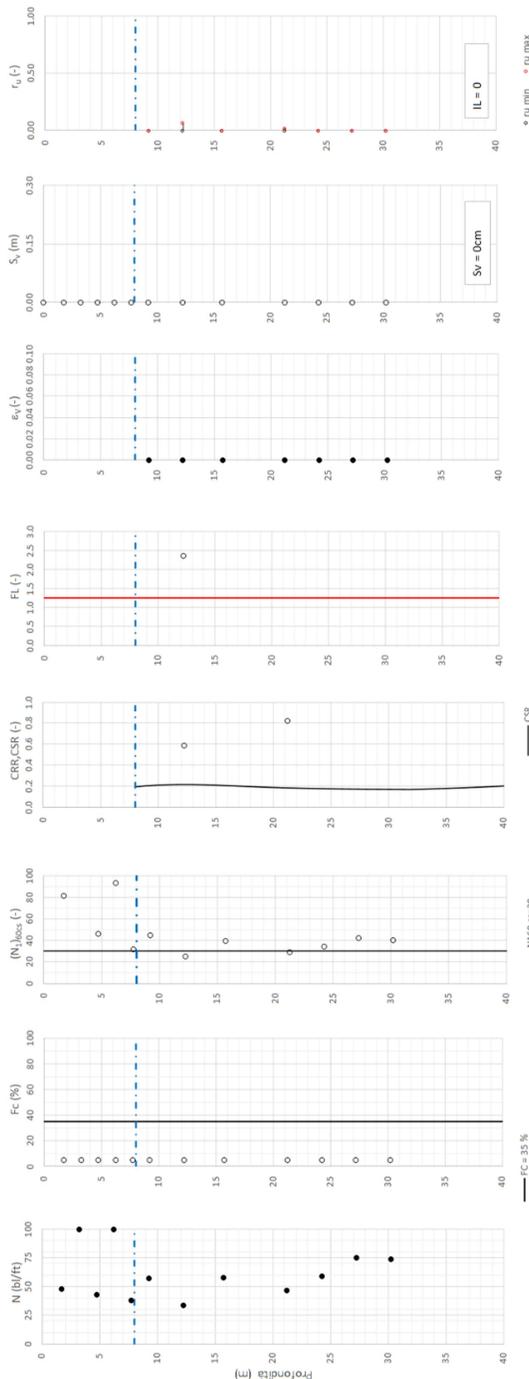
Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI09A0001B

Foglio
31 di 70

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-06 Pr. 3+009
a_vmax = 0.317%, M_{calc} = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 0m



Foglio tecnico e illustrazione Norm. 1/02

Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati SPT BH-PE-06

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI09A0001B	Foglio 32 di 70

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 AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI09A0001B	Foglio 33 di 70

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)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	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 AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI09A0001B	Foglio 34 di 70

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 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	$\Delta H \leq 10$ $SCARTXL \leq 6$	$\Delta H \leq 10$ $SCARTXL \leq 4$
2° livello di qualità	$10 < \Delta H \leq 15$ $6 < SCARTXL \leq 10$	$10 < \Delta H \leq 15$ $4 < SCARTXL \leq 8$
3° livello di qualità esecuzione a breve termine anche in relazione ai limiti di sghembo (2)	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) $10 < SCARTXL \leq 14$	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) $8 < SCARTXL \leq 12$
(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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI09A0001B	Foglio 35 di 70

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 AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI09A0001B	Foglio 36 di 70

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, pertanto, in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2 riportato e pari a 1.3. La falda è stata considerata coincidente con il 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 14, sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2. Il valore minimo di F_s è pari a:

$$F_{S\text{MIN}} (\text{DA1C2}) = 1.583 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI09A0001B	Foglio 37 di 70

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 (A_2) 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 15 è riportata la superficie di rottura critica; il fattore di sicurezza FS relativo a tale meccanismo, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$F_{S_{MIN}} = 1.513$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$F_{S_{MIN}} \geq R_2 = 1.1,$$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.

Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI09A0001B

Foglio
38 di 70

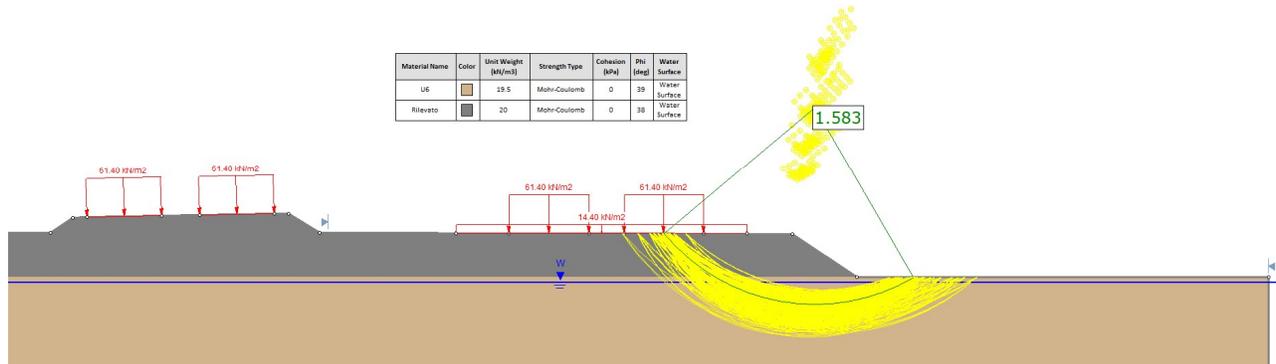


Figura 14 - Rilevato H=1.50 m (da pk 2+538 a pk 3+160)- Analisi SLU in campo statico DA1C2

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m³)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface
U6	Light Brown	19.5	Mohr-Coulomb	0	39	None
Rilevato	Dark Grey	20	Mohr-Coulomb	0	38	None

▶ 0.089
▲ 0.045

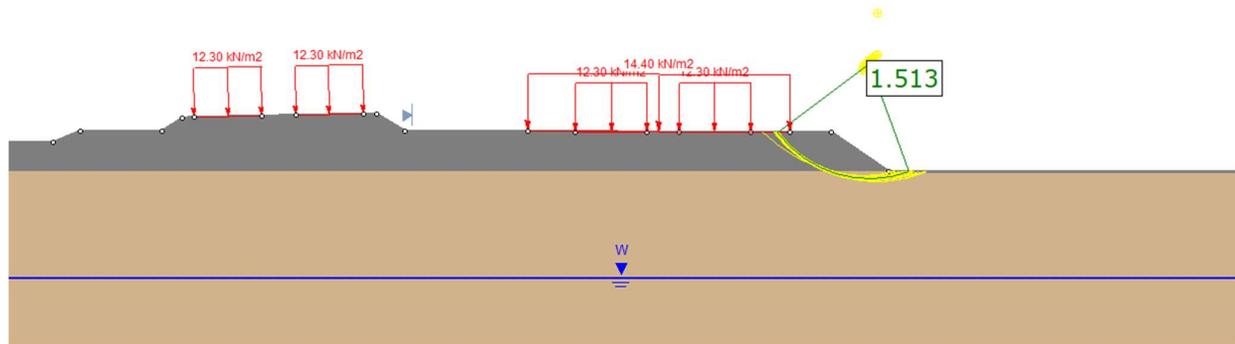


Figura 15 - Rilevato H=1.50 m (da pk 2+538 a pk 3+160) - Analisi SLU in campo sismico

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI09A0001B</p>	<p>Foglio 39 di 70</p>

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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI09A0001B</p>	<p>Foglio 40 di 70</p>

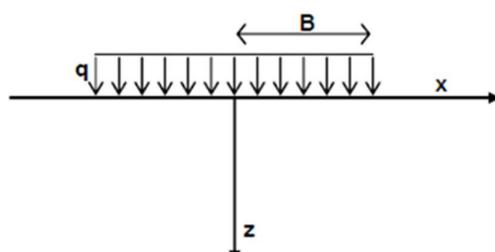


Figura 16 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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

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

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

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

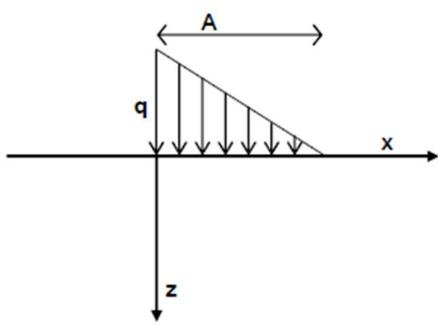


Figura 17 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI09A0001B</p>	<p>Foglio 41 di 70</p>

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.

Il calcolo dei cedimenti viene quindi eseguito utilizzando la stratigrafia di progetto riportata in Tabella 2, considerando quindi le diverse caratteristiche deformativi dei diversi strati.

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

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

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 1.50 m, valido tra le pk 2+538 e pk 3+160, è riportato in Figura 18. La larghezza del rilevato esistente è pari a 25 m, quella del rilevato in affiancamento di 9 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 18 a)
- Affiancamento e completamento rilevato nuova linea, vedi Figura 18 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 19, dove sono anche indicate le posizioni delle rotaie della linea storia e l'asse dei binari della linea AV.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI09A0001B	Foglio 42 di 70

Risulta quanto segue:

- Il cedimento calcolato in corrispondenza del centro del nuovo rilevato è inferiore a 7 mm e quindi 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, tale 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 praticamente nulli.

La verifica SLE è quindi da considerarsi soddisfatta.

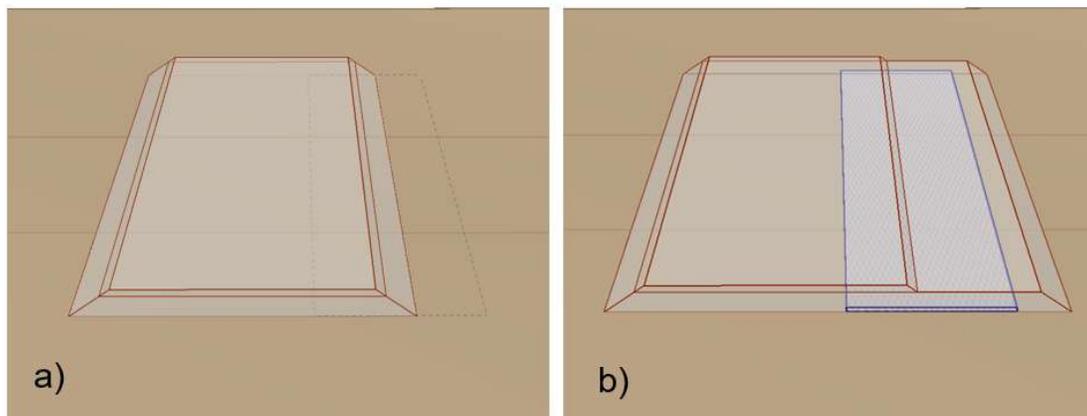


Figura 18 - Rilevato H=13.50 m (da pk 2+196 a pk 2+538) - Analisi SLE – Modello di calcolo

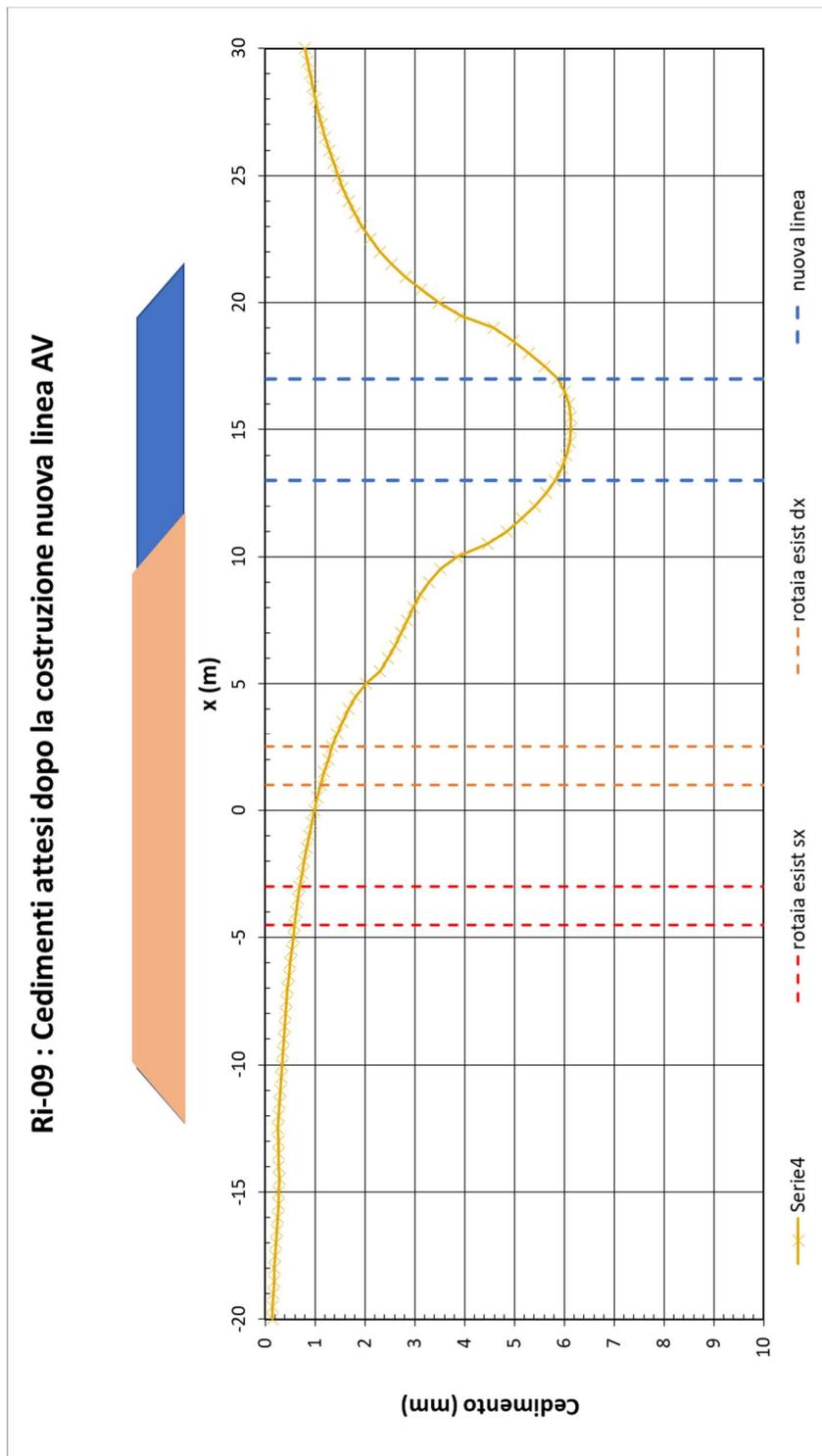


Figura 19 - Rilevato H=1.50 m (da pk 2+538 a pk 3+160) - Analisi SLE – Risultato Cedimenti

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI09A0001B	Foglio 44 di 70

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 AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI09A0001B	45 di 70

ALLEGATI

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI09A0001B	46 di 70

ALLEGATO 1 - STRATIGRAFIE

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	11	EI2RBRI0900001	A

ALLEGATO 2 - SONDAGGI



Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI09A0001B

Foglio
49 di 70

Geolavori		SCHEMA DI SONDAGGIO				COMM. cm107/18	
Indagini geotecniche prove geotecniche in sito		SECONDO RACCOMANDAZIONI A.G.I. (1977)				PAG. 1 DI 1	
Rev 0	Data 31/12/2008	CERTIFICATO	caso001cm10718	DIRETTORE Dott. Ing. Davide Splendore			
COMMITTENTE <u>CONSORZIO IRI/AV DUE</u> CANTIERE <u>INTEGRAZIONE AV VR VI</u> PERFORAZIONE N. <u>GM-PE-05</u> DATA INIZIO <u>16/01/11</u> ULTIMAZIONE <u>16/03/11</u> COORDINATE GB: Nord Est Quota s.l.m.l. _____ RESPONSABILE <u>A. SACCON</u> OPERATORE <u>A. FORTE</u> ATTREZZATURA <u>GVH HK 1200</u>							
Da m. 0,00	A m.	Profilo	Stratigrafia	PAG. 1	DI		
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA				PROFONDITA' (m)	ESCLUSIVA STRATIGRAFICA	CAMPIONE	S.P.T.
TERRENO VEGETALE (0,0 - 0,2)							
GHIAIA MEDIA E FINE POLIGENICA SUBARROTONDATA E SUBARROTONDATA LIMOSA NOCCIOLA CON APPARATI RADICALI RARI				0,2			
GHIAIA ETROMETRICA CON RARI CIOTOLI (Φ MAX 12 cm) POLIGENICA SUBARROTONDATA LIMOSA DEBOLMENTE SABBIOSA NOCCIOLA				0,9			
LIMO SABBIOSO NOCCIOLA CON GHIAIA FINE SUBANGOLARE POLIGENICA				2,0			
GHIAIA ETROMETRICA POLIGENICA ARROTONDATA E SUBARROTONDATA CON CIOTOLI (Φ MAX 20 cm) LIMOSA DEBOLMENTE SABBIOSA GRIGIA E GRIGIO NOCCIOLA						SPT1 4.55	26 4.18
						SPT2 2.00	30 2.00
						SPT3 3.00	41 3.00
						SPT4 3.45	45 3.45
						SPT5 4.55	52 4.55
						SPT6 5.00	64 5.00
						SPT7 6.20	84 6.20
						SPT8 6.40	89 6.40
						SPT9 7.55	104 7.55
						SPT10 8.00	110 8.00
						SPT11 9.20	124 9.20
						SPT12 9.45	139 9.45
						SPT13 12.40	181 12.40
						SPT14 15.00	210 15.00
						SPT15 15.45	220 15.45
LIMO ARGILLOSO E SABBIOSO DEBOLMENTE LIMOSO GRIGIO NOCCIOLA CON RARI CIOTOLI POLIGENICI ARROTONDATA				12,3			
LIMO SABBIOSO GRIGIO NOCCIOLA CON RARI CIOTOLI FINE E MEDIA POLIGENICA ARROTONDATA, FREQUENTE AL LETTO CON GHIAIA GRASSA				12,9			2,3 0,75
LIMO ARGILLOSO DEBOLMENTE SABBIOSO GRIGIO CON PUNTI NERI DI SOSTANZA ORGANICA VEGETALE				19,7			2,6 0,58
SABBIA FINE CON UNO GRIGIA				19,4			
LIMO ARGILLOSO GRIGIO				19,5			
SABBIA MEDIA E FINE LIMOSA GRIGIA				19,8			1,4 0,61
FINE SABBIOSO				20,0			
NOTA: PALDA A 9 m DA P.C.							

GEOLAVORI S.r.l. - 35042 ESTE (PD) - VIA CALDO n. 7 - TEL. 0429601476 - FAX 042955639

Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09A0001B

Foglio

50 di 70



Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 06
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 09/11/2020 - 11/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 66, prog. 3+200	

SCALA 1 :60

STRATIGRAFIA - BH PE 06

Pagina 1/3

n°	R	Prof. %	RQD %	Litologia	prof. m	Quota m	pes. m	Descrizione	Campioni	R.P.	Standard Penetration Test		N	Pl	L	A	Pz
											m	S.P.T.					
					0.4	0.4	0.4	Limo sabbioso, colore nocciola.									
					0.6	0.6	0.2	Ghiala limosa, colore marrone.									
								Ghiala sabbiosa, eterometrica, poligenica, sub-arrotolata, colore nocciola. Presenti frequenti ciottoli Ø max. > 10 cm. Da 11,00 m circa rari ciottoli Ø max. 8 cm.									
1									CR1) R m	1,50 2,00	1,5	15-21-27	46	C			
2									CR2) R m	3,00 3,50	3,0	19-50/4cm	Rif	C			
3									CR3) R m	4,50 5,00	4,5	8-17-26	43	C			
4									CR4) R m	6,00 6,50	6,0	28-50/3cm	Rif	C			
5									CR5) R m	7,50 8,00	7,5	12-17-21	38	C			
6									CR6) R m	9,00 9,50	9,0	13-24-33	57	C			
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	

Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gabriele Sproccati

Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI09A0001B

Foglio
51 di 70

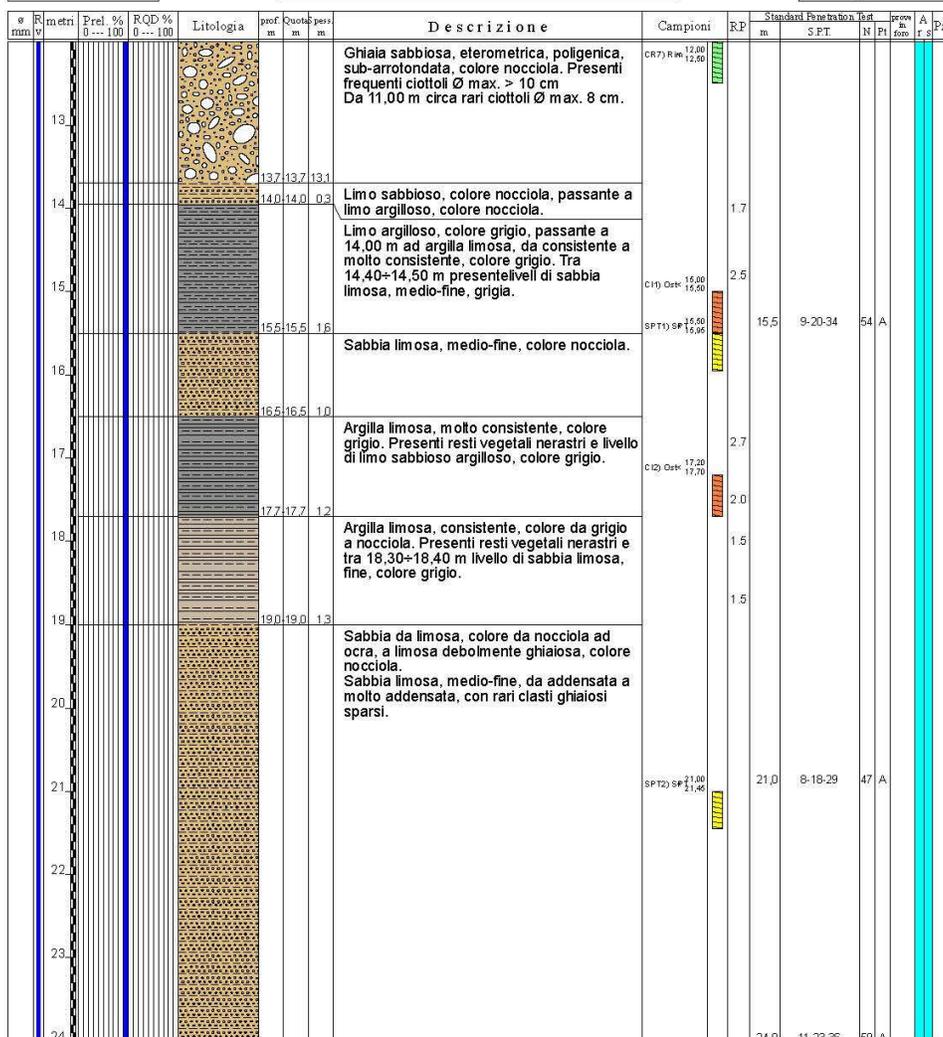


Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 06
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 09/11/2020 - 11/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 66, prog. 3+200	

SCALA 1 : 60

STRATIGRAFIA - BH PE 06

Pagina 2/3



Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09A0001B

Foglio

52 di 70



Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 06
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 09/11/2020 - 11/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 66, prog. 3+200	

SCALA 1 :60

STRATIGRAFIA - BH PE 06

Pagina 3/3

Profondità (m)	Riduzione (m)	Prel. % (0-100)	RQD % (0-100)	Litologia	prof. (m)	Quota (m)	Descrizione	Campioni	R.P.	Standard Penetration Test (S.P.T.)	N	Pt	Prova (A, B, C)	Pz
26,0				Sabbia da limosa, colore da nocciola ad ocre, a limosa debolmente ghialosa, colore nocciola.	25,0	25,0	Sabbia limosa, medio-fine, da addensata a molto addensata, con rari clasti ghialosi sparsi.	SPT3) SP 24,00 24,46						
26,0				Sabbia limosa, medio-fine, molto addensata, colore grigio. Tra 25,55+26,00 m livello di limo sabbioso debolmente argilloso, colore grigio.						27,0	12-29-46	75	A	
27,0					27,6	27,6	Sabbia limosa, medio-fine, molto addensata, colore nocciola. Presenti rari piccoli clasti ghialosi.	SPT4) SP 27,00 27,46						
28,0														
29,0														
30,0					30,0	30,0		SPT5) SP 30,00 30,46		30,0	19-31-43	74	A	
127					30,5	30,5								

Utilizzato carotiere semplice.
Prelevati n. 2 campioni indisturbati.
Prelevati n. 7 campioni rimaneggiati.
Prelevati n. 5 campioni rimaneggiati S.P.T.
Eseguite n. 12 prove SPT.
Installato tubo pcv per down-hole da 3".
Installato chiusino carrabile in ghisa.
Approvvigionamento e trasporto di acqua necessaria per la perforazione.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI09A0001B</p>	<p>Foglio 53 di 70</p>

ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICO

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RI09_stat_00
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

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 piezoms: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09A0001B

Foglio

55 di 70

SLIDEINTERPRET 7.030



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 2 of 6

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]: 1.5
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

5 Distributed Loads present

Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09A0001B

Foglio

56 di 70

SLIDEINTERPRET 7.030



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 3 of 6

Distributed Load 1

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 61.4
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Variable

Distributed Load 2

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 61.4
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Variable

Distributed Load 3

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 61.4
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Variable

Distributed Load 4

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 61.4
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Variable

Distributed Load 5

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 14.4
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Permanent

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	1.582670
Center:	33.973, 57.792
Radius:	6.943
Left Slip Surface Endpoint:	28.658, 53.326
Right Slip Surface Endpoint:	37.456, 51.787
Resisting Moment:	1552.01 kN-m
Driving Moment:	980.628 kN-m
Total Slice Area:	11.8636 m ²
Surface Horizontal Width:	8.79877 m
Surface Average Height:	1.34832 m

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

Number of Valid Surfaces: 1504
Number of Invalid Surfaces: 0

Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI09A0001B

Foglio
57 di 70

SLIDEINTERPRET 7.030



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 6

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.58267

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	0.183205	0.382921	-48.8137	Rilevato	0	32.0066	26.2021	41.4693	66.348	0	66.348	96.2929	96.2929
2	0.183205	1.11969	-46.566	Rilevato	0	32.0066	27.966	44.2609	70.8143	0	70.8143	100.352	100.352
3	0.183205	1.80165	-44.4081	Rilevato	0	32.0066	29.6364	46.9047	75.0442	0	75.0442	104.075	104.075
4	0.183205	2.4348	-42.3272	Rilevato	0	32.0066	31.2318	49.4297	79.0839	0	79.0839	107.53	107.53
5	0.183205	3.02395	-40.3132	Rilevato	0	32.0066	32.7589	51.8466	82.9508	0	82.9508	110.745	110.745
6	0.183205	3.57302	-38.3576	Rilevato	0	32.0066	34.2231	54.1638	86.658	0	86.658	113.742	113.742
7	0.183205	4.08525	-36.4536	Rilevato	0	32.0066	35.6288	56.3887	90.2177	0	90.2177	116.537	116.537
8	0.183205	4.56337	-34.5953	Rilevato	0	32.0066	26.6346	42.1538	67.4429	0	67.4429	85.8137	85.8137
9	0.183205	5.00967	-32.7777	Rilevato	0	32.0066	13.1454	20.8048	33.2861	0	33.2861	41.7505	41.7505
10	0.183205	5.42611	-30.9966	Rilevato	0	32.0066	14.0518	22.2394	35.5815	0	35.5815	44.0236	44.0236
11	0.171825	5.4385	-29.3016	U6	0	32.9362	15.3307	24.2635	37.4537	0	37.4537	46.0575	46.0575
12	0.171825	5.74993	-27.6878	U6	0	32.9362	16.1298	25.5282	39.4059	0	39.4059	47.8699	47.8699
13	0.174428	6.13443	-26.0857	U6	0	32.9362	16.7617	26.5282	41.3683	0.418875	40.9494	49.5746	49.1557
14	0.174428	6.41361	-24.4933	U6	0	32.9362	17.2314	27.2716	43.3245	1.22754	42.0969	51.1749	49.9473
15	0.174428	6.67299	-22.9209	U6	0	32.9362	17.6847	27.9891	45.1837	1.9791	43.2046	52.6616	50.6825
16	0.174428	6.91328	-21.3665	U6	0	32.9362	18.1223	28.6816	46.9491	2.67559	44.2735	54.0389	51.3633
17	0.174428	7.13509	-19.8285	U6	0	32.9362	14.9651	23.6848	39.8792	3.31881	36.5604	45.2754	41.9566
18	0.174428	7.33899	-18.3052	U6	0	32.9362	13.7597	21.777	37.5258	3.91036	33.6155	42.0778	38.1674
19	0.174428	7.52546	-16.7952	U6	0	32.9362	14.0972	22.3112	38.8917	4.45163	34.44	43.1466	38.695
20	0.174428	7.69493	-15.2972	U6	0	32.9362	14.4204	22.8228	40.1737	4.94388	35.2298	44.1179	39.1741
21	0.174428	7.84778	-13.8098	U6	0	32.9362	14.7297	23.3122	41.3734	5.38819	35.9852	44.994	39.6058
22	0.174428	7.98434	-12.3318	U6	0	32.9362	15.0249	23.7794	42.492	5.78554	36.7064	45.7767	39.9911
23	0.174428	8.10491	-10.8621	U6	0	32.9362	15.3063	24.2248	43.5306	6.13675	37.3939	46.4677	40.3309
24	0.174428	8.20974	-9.39965	U6	0	32.9362	15.5739	24.6483	44.4903	6.44255	38.0477	47.0684	40.6258
25	0.174428	8.29904	-7.94334	U6	0	32.9362	15.8278	25.0502	45.3716	6.70356	38.668	47.5801	40.8765
26	0.174428	8.32762	-6.49218	U6	0	32.9362	15.9663	25.2694	45.9267	6.92031	39.0064	47.7437	40.8233
27	0.174428	8.03443	-5.04519	U6	0	32.9362	15.3948	24.3649	44.7033	7.0932	37.6101	46.0624	38.9692
28	0.174428	7.66884	-3.60142	U6	0	32.9362	14.6624	23.2057	43.0434	7.22258	35.8208	43.9663	36.7437
29	0.174428	7.28826	-2.15994	U6	0	32.9362	13.8971	21.9946	41.26	7.3087	33.9513	41.7841	34.4754
30	0.174428	6.89274	-0.719829	U6	0	32.9362	13.0984	20.7305	39.3517	7.35172	32	39.5163	32.1646
31	0.174428	6.4823	0.719829	U6	0	32.9362	12.2656	19.4124	37.3171	7.35172	29.9654	37.163	29.8113
32	0.174428	6.05694	2.15994	U6	0	32.9362	11.3978	18.039	35.1541	7.3087	27.8454	34.7242	27.4155
33	0.174428	5.61664	3.60142	U6	0	32.9362	10.4942	16.6088	32.8603	7.22258	25.6378	32.1998	24.9773
34	0.174428	5.16134	5.04519	U6	0	32.9362	9.55354	15.1201	30.4329	7.0932	23.3397	29.5895	22.4963
35	0.174428	4.69095	6.49218	U6	0	32.9362	8.57456	13.5707	27.8684	6.92031	20.9481	26.8926	19.9723
36	0.174428	4.20536	7.94334	U6	0	32.9362	7.5559	11.9585	25.163	6.70356	18.4594	24.1087	17.4051
37	0.174428	3.70442	9.39965	U6	0	32.9362	6.4958	10.2807	22.3121	6.44255	15.8695	21.2367	14.7942
38	0.174428	3.18795	10.8621	U6	0	32.9362	5.39238	8.53436	19.3106	6.13675	13.1738	18.2759	12.1391
39	0.174428	2.69977	12.3318	U6	0	32.9362	4.35692	6.89556	16.4297	5.78554	10.6441	15.4772	9.69163
40	0.174428	2.50288	13.8098	U6	0	32.9362	4.07791	6.45399	15.3507	5.38819	9.96252	14.3483	8.96015
41	0.174428	2.34882	15.2972	U6	0	32.9362	3.92769	6.21623	14.5394	4.94388	9.5955	13.4651	8.52121
42	0.174428	2.17815	16.7952	U6	0	32.9362	3.75252	5.939	13.6192	4.45163	9.16756	12.4866	8.03495
43	0.174428	1.99048	18.3052	U6	0	32.9362	3.55089	5.61988	12.5853	3.91036	8.67495	11.4106	7.50025
44	0.174428	1.78538	19.8285	U6	0	32.9362	3.32105	5.25612	11.4323	3.31881	8.11347	10.2348	6.91596
45	0.174428	1.56236	21.3665	U6	0	32.9362	3.06098	4.84452	10.1537	2.67559	7.47808	8.95615	6.28056
46	0.174428	1.32087	22.9209	U6	0	32.9362	2.76836	4.3814	8.74232	1.9791	6.76322	7.57173	5.9263
47	0.174428	1.06028	24.4933	U6	0	32.9362	2.44046	3.86244	7.18969	1.22754	5.96215	6.07785	4.85031
48	0.174428	0.779902	26.0857	U6	0	32.9362	2.07407	3.28257	5.48594	0.418875	5.06706	4.4705	4.05163
49	0.171825	0.474145	27.6878	U6	0	32.9362	1.43822	2.27623	3.51364	0	3.51364	2.75895	2.75895
50	0.171825	0.161548	29.3016	U6	0	32.9362	0.49951	0.79056	1.22032	0	1.22032	0.939992	0.939992

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.58267

--



Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI09A0001B

58 di 70

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 6

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	28.6576	53.326	0	0	0
2	28.8408	53.1166	9.06075	0	0
3	29.024	52.9231	17.6098	0	0
4	29.2072	52.7436	25.6175	0	0
5	29.3904	52.5768	33.0621	0	0
6	29.5736	52.4213	39.9248	0	0
7	29.7568	52.2763	46.1898	0	0
8	29.94	52.141	51.8428	0	0
9	30.1232	52.0146	55.467	0	0
10	30.3064	51.8967	56.9819	0	0
11	30.4896	51.7866	58.3204	0	0
12	30.6614	51.6902	59.2949	0	0
13	30.8333	51.6	60.0734	0	0
14	31.0077	51.5146	60.6796	0	0
15	31.1821	51.4351	61.114	0	0
16	31.3566	51.3614	61.3591	0	0
17	31.531	51.2931	61.3992	0	0
18	31.7054	51.2302	61.2974	0	0
19	31.8798	51.1725	61.0644	0	0
20	32.0543	51.1199	60.6547	0	0
21	32.2287	51.0722	60.0578	0	0
22	32.4031	51.0293	59.2642	0	0
23	32.5776	50.9912	58.2656	0	0
24	32.752	50.9577	57.0546	0	0
25	32.9264	50.9288	55.6247	0	0
26	33.1008	50.9045	53.9701	0	0
27	33.2753	50.8846	52.0986	0	0
28	33.4497	50.8692	50.1036	0	0
29	33.6241	50.8583	48.0204	0	0
30	33.7985	50.8517	45.8695	0	0
31	33.973	50.8495	43.6726	0	0
32	34.1474	50.8517	41.4529	0	0
33	34.3218	50.8583	39.2349	0	0
34	34.4963	50.8692	37.0449	0	0
35	34.6707	50.8846	34.911	0	0
36	34.8451	50.9045	32.8633	0	0
37	35.0195	50.9288	30.9338	0	0
38	35.194	50.9577	29.1573	0	0
39	35.3684	50.9912	27.571	0	0
40	35.5428	51.0293	26.1851	0	0
41	35.7173	51.0722	24.8161	0	0
42	35.8917	51.1199	23.4378	0	0
43	36.0661	51.1725	22.0667	0	0
44	36.2405	51.2302	20.7216	0	0
45	36.415	51.2931	19.4236	0	0
46	36.5894	51.3614	18.1972	0	0
47	36.7638	51.4351	17.0699	0	0
48	36.9383	51.5146	16.0731	0	0
49	37.1127	51.6	15.2431	0	0
50	37.2845	51.6902	14.6794	0	0
51	37.4563	51.7866	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-2	51.6
52	51.6

Distributed Load

X	Y
26.004	53.3311
23.1836	53.3366



Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09A0001B

Foglio

59 di 70

SLIDEINTERPRET 7.038



Distributed Load

X	Y
30.0467	53.3231
27.2361	53.3287

Distributed Load

X	Y
10.9266	53.9461
8.28528	53.8983

Distributed Load

X	Y
14.8872	54.0177
12.2502	53.97

Distributed Load

X	Y
31.5839	53.3201
21.3138	53.3403

External Boundary

X	Y
0	52.93
0	51.7866
4.95e-014	34.7866
50	34.7866
50	51.7866
35.462	51.7866
33.1931	53.317
16.5	53.35
15.3939	54.0269
14.8872	54.0177
12.2502	53.97
10.9266	53.9461
8.28528	53.8983
7.7799	53.8892
7	53.35
3.81415	53.3496
2.73054	52.93

Material Boundary

X	Y
0	51.7866
35.462	51.7866

Material Boundary

X	Y
7	53.35
16.5	53.35

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio IricAV Due</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI09A0001B</p>	<p>Foglio 60 di 70</p>

ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICO

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: R09_sism_01
 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
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

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 AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09A0001B

Foglio

62 di 70

SLIDEINTERPRET7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 2 of 6

Groundwater Method: Water Surfaces
 Pore Fluid Unit Weight [kN/m³]: 9.81
 Use negative pore pressure cut off: 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]: 1.5
 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



Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09A0001B

Foglio

63 di 70

SLIDEINTERPRET7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 3 of 6

Distributed Load 1

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 12.3
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Live

Distributed Load 2

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 12.3
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Live

Distributed Load 3

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 12.3
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Live

Distributed Load 4

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 12.3
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Live

Distributed Load 5

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 14.4
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Dead

Material Properties

Property	U6	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	None	None
Ru Value	0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.512810
Center:	34.710, 56.012
Radius:	4.501
Left Slip Surface Endpoint:	31.102, 53.321
Right Slip Surface Endpoint:	36.261, 51.787
Resisting Moment:	242.682 kN-m
Driving Moment:	160.418 kN-m
Total Slice Area:	4.25431 m ²
Surface Horizontal Width:	5.15837 m
Surface Average Height:	0.824738 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1299
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data



Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
E12RBRI09A0001B

Foglio
64 di 70



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 6

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.51281

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	0.102874	0.136298	-52.2147	Rilevato	0	32.0066	4.22573	6.39272	10.2279	0	10.2279	15.6785	15.6785
2	0.102874	0.399068	-50.1245	Rilevato	0	32.0066	5.01018	7.57945	12.1266	0	12.1266	18.1239	18.1239
3	0.102874	0.643373	-48.1222	Rilevato	0	32.0066	5.76768	8.72541	13.96	0	13.96	20.3932	20.3932
4	0.102874	0.871336	-46.1953	Rilevato	0	32.0066	6.5003	9.83372	15.7332	0	15.7332	22.5106	22.5106
5	0.102874	1.08466	-44.3339	Rilevato	0	32.0066	5.85789	8.86187	14.1783	0	14.1783	19.9016	19.9016
6	0.102874	1.28471	-42.5298	Rilevato	0	32.0066	3.57638	5.41038	8.65625	0	8.65625	11.9368	11.9368
7	0.102874	1.47264	-40.7766	Rilevato	0	32.0066	4.16785	6.30516	10.0878	0	10.0878	13.6824	13.6824
8	0.102874	1.64941	-39.0684	Rilevato	0	32.0066	4.74118	7.1725	11.4754	0	11.4754	15.3242	15.3242
9	0.102874	1.81581	-37.4008	Rilevato	0	32.0066	5.29664	8.01281	12.8199	0	12.8199	16.8696	16.8696
10	0.102874	1.97255	-35.7695	Rilevato	0	32.0066	5.83455	8.82656	14.1219	0	14.1219	18.3251	18.3251
11	0.102874	2.12022	-34.171	Rilevato	0	32.0066	6.3552	9.61421	15.3821	0	15.3821	19.6964	19.6964
12	0.102874	2.25933	-32.6023	Rilevato	0	32.0066	6.85889	10.3762	16.6011	0	16.6011	20.9879	20.9879
13	0.102874	2.39034	-31.0606	Rilevato	0	32.0066	7.34587	11.1129	17.7798	0	17.7798	22.2042	22.2042
14	0.102874	2.51365	-29.5435	Rilevato	0	32.0066	7.81645	11.8248	18.9188	0	18.9188	23.3489	23.3489
15	0.102874	2.6296	-28.0489	Rilevato	0	32.0066	8.27083	12.5122	20.0185	0	20.0185	24.4252	24.4252
16	0.102874	2.7385	-26.5748	Rilevato	0	32.0066	8.70922	13.1754	21.0796	0	21.0796	25.4361	25.4361
17	0.102874	2.84064	-25.1195	Rilevato	0	32.0066	9.13181	13.8147	22.1026	0	22.1026	26.384	26.384
18	0.102874	2.93625	-23.6813	Rilevato	0	32.0066	9.53887	14.4305	23.0877	0	23.0877	27.2713	27.2713
19	0.102874	3.02556	-22.2587	Rilevato	0	32.0066	9.93046	15.0229	24.0356	0	24.0356	28.1	28.1
20	0.102874	3.10877	-20.8505	Rilevato	0	32.0066	10.3068	15.5922	24.9464	0	24.9464	28.872	28.872
21	0.103363	3.16751	-19.4521	U6	0	32.9362	10.8905	16.4752	25.4316	0	25.4316	29.2779	29.2779
22	0.103363	3.10165	-18.0623	U6	0	32.9362	10.7721	16.2962	25.1552	0	25.1552	28.6682	28.6682
23	0.103363	3.02271	-16.6835	U6	0	32.9362	10.603	16.0403	24.7601	0	24.7601	27.9378	27.9378
24	0.103363	2.93833	-15.3145	U6	0	32.9362	10.4088	15.7466	24.3068	0	24.3068	27.1572	27.1572
25	0.103363	2.84861	-13.9544	U6	0	32.9362	10.1898	15.4152	23.7952	0	23.7952	26.3272	26.3272
26	0.103363	2.75366	-12.6024	U6	0	32.9362	9.94573	15.046	23.2253	0	23.2253	25.4489	25.4489
27	0.103363	2.65355	-11.2574	U6	0	32.9362	9.67663	14.6389	22.5969	0	22.5969	24.523	24.523
28	0.103363	2.54837	-9.91865	U6	0	32.9362	9.38234	14.1937	21.9097	0	21.9097	23.5503	23.5503
29	0.103363	2.43819	-8.58538	U6	0	32.9362	9.06267	13.7101	21.1632	0	21.1632	22.5315	22.5315
30	0.103363	2.32305	-7.25678	U6	0	32.9362	8.71735	13.1977	20.3567	0	20.3567	21.4668	21.4668
31	0.103363	2.20301	-5.9321	U6	0	32.9362	8.34606	12.626	19.4897	0	19.4897	20.357	20.357
32	0.103363	2.0781	-4.61059	U6	0	32.9362	7.94845	12.0245	18.5612	0	18.5612	19.2022	19.2022
33	0.103363	1.94837	-3.29153	U6	0	32.9362	7.52401	11.3824	17.5702	0	17.5702	18.0029	18.0029
34	0.103363	1.81382	-1.97422	U6	0	32.9362	7.07234	10.6991	16.5153	0	16.5153	16.7591	16.7591
35	0.103363	1.67448	0.657959	U6	0	32.9362	6.59276	9.9736	15.3955	0	15.3955	15.4712	15.4712
36	0.103363	1.53035	0.657959	U6	0	32.9362	6.08466	9.20494	14.2089	0	14.2089	14.1391	14.1391
37	0.103363	1.38143	1.97422	U6	0	32.9362	5.54727	8.39197	12.9541	0	12.9541	12.7628	12.7628
38	0.103363	1.22772	3.29153	U6	0	32.9362	4.97975	7.53341	11.6287	0	11.6287	11.3423	11.3423
39	0.103363	1.0692	4.61059	U6	0	32.9362	4.38113	6.62781	10.2309	0	10.2309	9.87756	9.87756
40	0.103363	0.905951	5.9321	U6	0	32.9362	3.75035	5.67356	8.75782	0	8.75782	8.36814	8.36814
41	0.103363	0.737634	7.25678	U6	0	32.9362	3.0862	4.66884	7.20692	0	7.20692	6.81393	6.81393
42	0.103363	0.564514	8.58538	U6	0	32.9362	2.38736	3.61162	5.57497	0	5.57497	5.21453	5.21453
43	0.103363	0.424447	9.91865	U6	0	32.9362	1.81478	2.74542	4.23789	0	4.23789	3.92055	3.92055
44	0.103363	0.380094	11.2574	U6	0	32.9362	1.64348	2.48628	3.83787	0	3.83787	3.51074	3.51074
45	0.103363	0.336071	12.6024	U6	0	32.9362	1.46995	2.22375	3.43263	0	3.43263	3.10399	3.10399
46	0.103363	0.286898	13.9544	U6	0	32.9362	1.2698	1.92096	2.96524	0	2.96524	2.64971	2.64971
47	0.103363	0.232488	15.3145	U6	0	32.9362	1.04159	1.57573	2.43233	0	2.43233	2.1471	2.1471
48	0.103363	0.172743	16.6835	U6	0	32.9362	0.78372	1.18562	1.83015	0	1.83015	1.59527	1.59527
49	0.103363	0.107552	18.0623	U6	0	32.9362	0.494346	0.747851	1.15439	0	1.15439	0.993177	0.993177
50	0.103363	0.03679	19.4521	U6	0	32.9362	0.1714	0.259295	0.400253	0	0.400253	0.339719	0.339719

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.51281

--



Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09A0001B

Foglio

65 di 70



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 6

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	31.1023	53.3211	0	0	0
2	31.2051	53.1884	0.933087	0	0
3	31.308	53.0653	1.94524	0	0
4	31.4109	52.9505	3.00999	0	0
5	31.5138	52.8433	4.10559	0	0
6	31.6166	52.7428	5.02451	0	0
7	31.7195	52.6484	5.58896	0	0
8	31.8224	52.5597	6.18768	0	0
9	31.9253	52.4762	6.8066	0	0
10	32.0281	52.3975	7.43343	0	0
11	32.131	52.3234	8.05728	0	0
12	32.2339	52.2536	8.66853	0	0
13	32.3367	52.1878	9.25857	0	0
14	32.4396	52.1258	9.81969	0	0
15	32.5425	52.0675	10.345	0	0
16	32.6454	52.0127	10.8281	0	0
17	32.7482	51.9612	11.2635	0	0
18	32.8511	51.913	11.646	0	0
19	32.954	51.8679	11.9708	0	0
20	33.0569	51.8258	12.2338	0	0
21	33.1597	51.7866	12.4311	0	0
22	33.2631	51.7501	12.5193	0	0
23	33.3665	51.7164	12.5334	0	0
24	33.4698	51.6854	12.477	0	0
25	33.5732	51.6571	12.3541	0	0
26	33.6766	51.6314	12.1689	0	0
27	33.7799	51.6083	11.926	0	0
28	33.8833	51.5877	11.6301	0	0
29	33.9866	51.5697	11.2862	0	0
30	34.09	51.554	10.8997	0	0
31	34.1934	51.5409	10.4763	0	0
32	34.2967	51.5301	10.0217	0	0
33	34.4001	51.5218	9.54247	0	0
34	34.5035	51.5159	9.04511	0	0
35	34.6068	51.5123	8.53671	0	0
36	34.7102	51.5111	8.02475	0	0
37	34.8135	51.5123	7.51718	0	0
38	34.9169	51.5159	7.02243	0	0
39	35.0203	51.5218	6.54949	0	0
40	35.1236	51.5301	6.10798	0	0
41	35.227	51.5409	5.70814	0	0
42	35.3304	51.554	5.36095	0	0
43	35.4337	51.5697	5.07822	0	0
44	35.5371	51.5877	4.85242	0	0
45	35.6405	51.6083	4.63796	0	0
46	35.7438	51.6314	4.4371	0	0
47	35.8472	51.6571	4.25564	0	0
48	35.9505	51.6854	4.10017	0	0
49	36.0539	51.7164	3.9781	0	0
50	36.1573	51.7501	3.89783	0	0
51	36.2606	51.7866	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-2	47.6
52	47.6

Distributed Load

X	Y
26.004	53.3311
23.1836	53.3366



Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09A0001B

Foglio

66 di 70



Distributed Load

X	Y
30.0467	53.3231
27.2361	53.3287

Distributed Load

X	Y
10.9266	53.9461
8.28528	53.8983

Distributed Load

X	Y
14.8872	54.0177
12.2502	53.97

Distributed Load

X	Y
31.5839	53.3201
21.3138	53.3403

External Boundary

X	Y
0	52.93
0	51.7866
4.95e-014	34.7866
50	34.7866
50	51.7866
35.462	51.7866
33.1931	53.317
16.5	53.35
15.3939	54.0269
14.8872	54.0177
12.2502	53.97
10.9266	53.9461
8.28528	53.8983
7.7799	53.8892
7	53.35
3.81415	53.3496
2.73054	52.93

Material Boundary

X	Y
0	51.7866
35.462	51.7866

Material Boundary

X	Y
7	53.35
16.5	53.35

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI09A0001B	67 di 70

ALLEGATO 5 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE

Settle3D Analysis Information

Ri09_settl_analysis

Project Settings

Document Name: Ri09_00
Project Title: Ri09_settl_analysis
Date Created: 09/03/2021, 16:16:58
Stress Computation Method: Boussinesq
Groundwater method: Water Table
Water Unit Weight: 9.81 kN/m³
Depth to water table: 0.2 [m]

Stage Settings

Stage #	Name
1	Stage 1
2	Stage 2

Results

Time taken to compute: 2.65483 seconds

Stage: Stage 1

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	0	0.782165
Consolidation Settlement [cm]	0	0
Immediate Settlement [cm]	0	0.782165
Loading Stress [kPa]	0	44.14
Effective Stress [kPa]	-0	262.788
Total Stress [kPa]	0	555.126
Total Strain	-0	0.000734591
Pore Water Pressure [kPa]	0	292.338
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.195	262.687
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	0.992015
Consolidation Settlement [cm]	0	0
Immediate Settlement [cm]	0	0.992015
Loading Stress [kPa]	7.52265e-007	48.7

Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09A0001B

Foglio

69 di 70

Effective Stress [kPa]	7.52265e-007	268.712
Total Stress [kPa]	7.52265e-007	561.05
Total Strain	3.96478e-008	0.000810954
Pore Water Pressure [kPa]	0	292.338
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.197381	268.613
Over-consolidation Ratio	1	1.05492
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0

Loads

1. Rectangular Load

Length: 12.4 m
Width: 100 m
Rotation angle: 0 degrees
Load Type: Flexible
Area of Load: 1240 m²
Load: 11.6 kPa
Depth: 0 m
Installation Stage: Stage 2

Coordinates

X [m]	Y [m]
5.13762	-50
17.5376	-50
17.5376	50
5.13762	50

Embankments

1. Embankment

Center Line: (0, -50) to (0, 50)
Number of Layers: 2
Near End Angle: 90 degrees
Far End Angle: 90 degrees
Base Width: 25

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	1.5	18	34	0
2	Stage 1	0	34	0.5	18	34	0

Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	Ghiaia (U6)	17	0



Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

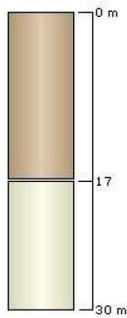
Codifica

EI2RBRI09A0001B

Foglio

70 di 70

2	Sabbia (U4)	13	17
---	-------------	----	----



Soil Properties

Property	Ghiaia (U6)	Sabbia (U4)
Color		
Unit Weight [kN/m ³]	19.5	18
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	18	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	30, 0	100	Auto: 43