

COMMITTENTE:



ALTA  
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



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

**LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA**

**Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**RILEVATI**

**Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94**

**GENERALE**

**Relazione Geotecnica**

GENERAL CONTRACTOR			DIRETTORE LAVORI			SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consorzio Iricav Due		Data:			
 Ing. Giovanni MALAVENDA iscritto all'ordine degli ingegneri di Venezia n. 4289 Data: N. 4289	ing. Paolo Carmona		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	1	0	B	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	N. Valimberti	Marzo 2021	V. Pastore	Marzo 2021	P. Ascari	Marzo 2021	 P. Ascari Data: Aprile 2021
B	RECEPIMENTO ISTRUTTORIA VALIDATORE	N. Valimberti	Aprile 2021	V. Pastore	Aprile 2021	P. Ascari	Aprile 2021	

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2RBRI10B0001B.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato  
dalla Unione Europea



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI10B0001B</p>	<p>Foglio 2 di 83</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 .....	33
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite .....	33
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU) .....	33
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE) .....	35
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche .....	35
6.2	Azioni di progetto .....	35
6.2.1	Azioni permanenti .....	36
6.2.2	Azioni variabili .....	36
6.2.3	Azione sismica .....	36

Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI10B0001B	3 di 83

6.3	Verifiche e risultati SLU .....	37
6.3.1	Premessa.....	37
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche .....	37
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche .....	38
6.4	Verifica e risultati SLE.....	40
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....	45
Allegati .....		46
ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO.....		47
ALLEGATO 2 - SONDAGGI.....		49
ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICO .....		58
ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICO .....		69
ALLEGATO 5 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE .....		79

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI10B0001B	Foglio 4 di 83

## 1 INTRODUZIONE



Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato esistente RI10B, facente parte della linea storica Verona-Padova e che risulta in affiancamento alla nuova AV/AC. Tale rilevato si estende tra il km 3+160,00 ed il km 3+450,00.

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 L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI10B0001B	Foglio 5 di 83



## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Documentazione di progetto

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

### 2.2 Normativa e standard di riferimento

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI10B0001B</p>	<p>Foglio 6 di 83</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.

### 3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame si estende dalla pk 3+160,00 alla pk 3+450,00 per una lunghezza totale di 290 m. Per questo tratto viene realizzato in affiancamento il rilevato RI10A della nuova linea AV/AC.

#### 3.1 Geometria del rilevato

Come detto il rilevato RI10B risulta sempre affiancato dalla futura linea AV/AC sul lato sud; il rilevato ha una sezione uniforme per tutto il tracciato.

Alla pk 3+700, sezione n. 181 del rilevato RI10A, si riscontra l'altezza massima pari a 1,7 m. Sebbene tale sezione sia fuori dalla tratta di competenza del rilevato RI10B, al fine delle verifiche geotecniche si ritengono validi e a favore di sicurezza i risultati presentati per il rilevato RI10A. Infatti tra pk 3+160,00 e pk 3+450,00 l'altezza massima è di 1,3 m, inferiore a quella verificata.

La Sezione A (Figura 1) è quella utilizzata per le verifiche del rilevato.

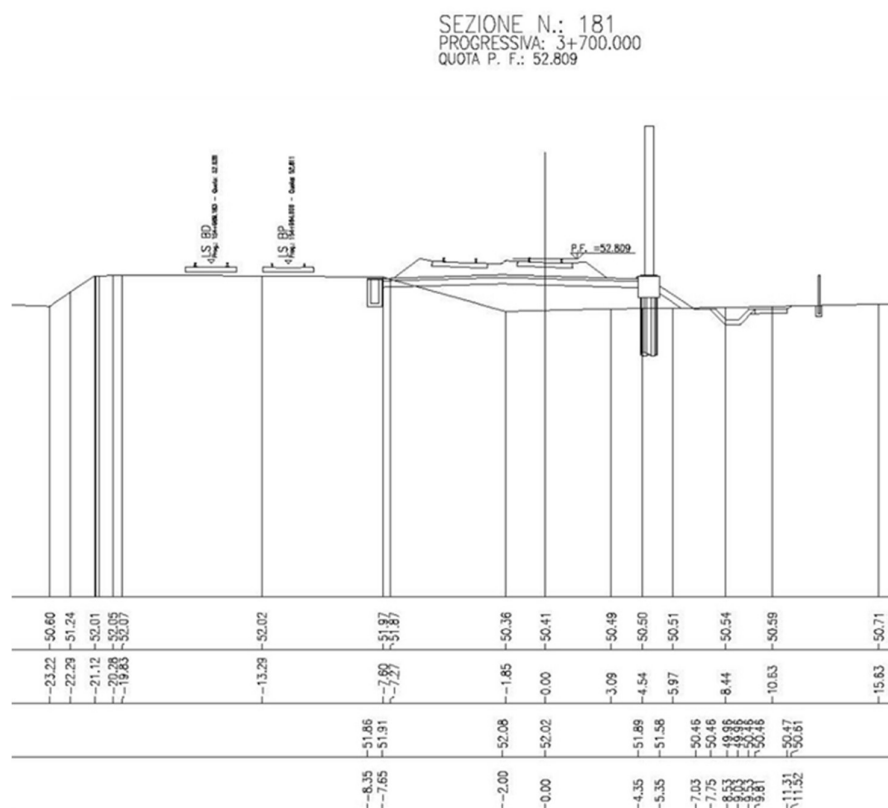


Figura 1 – Sezione di riferimento A (pk 3+700, n. 181) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 4.1 Inquadramento geotecnico

La tratta relativa al rilevato in esame si estende dalla progressiva pk 3+160,00 alla pk 3+450,00.

Dal punto di vista geotecnico la zona è generalmente interessata dalla presenza di ghiaie ben addensate (Unità 6) da pc ad una profondità di circa 14 m, sovrastanti strati di limi argillosi (Unità 2) da 14 m pc a 19 m pc, con spessore complessivo pari a 3-4 m, e confinati tra le ghiaie ed il substrato sabbioso (Unità 4) che si estende in profondità a partire da 19 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 gran 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 RI10B, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 1 di 11 (Doc. Rif. [3]), vedi ALLEGATO 1 - .

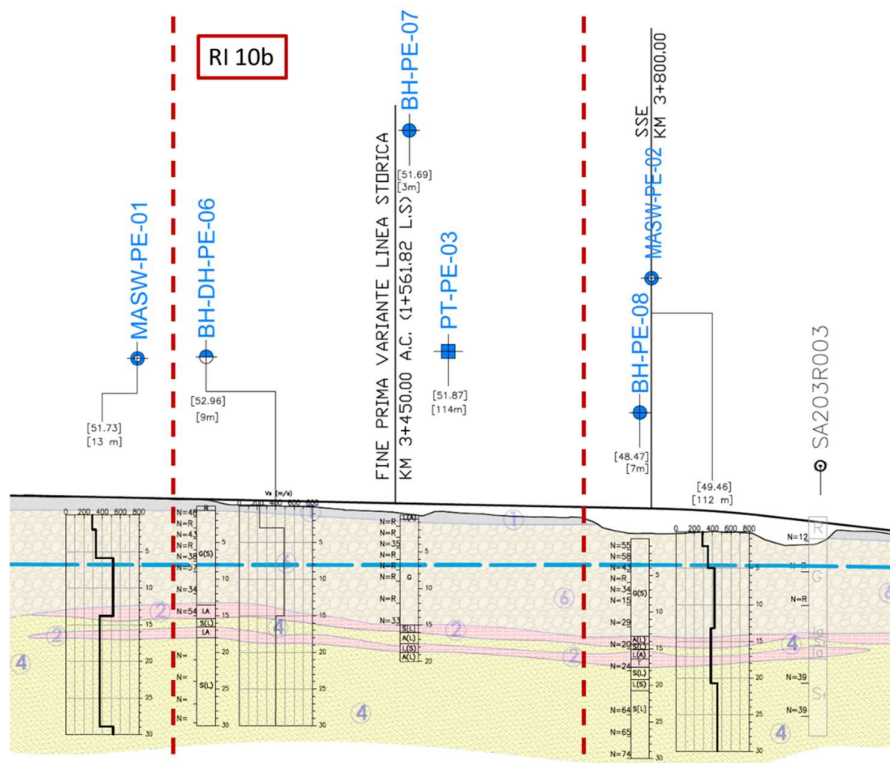


Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato RI10B, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

#### 4.1.1 Indagini disponibili

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

Le risultanze delle indagini sono riportate 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 3+000 a pk 3+500

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
3+191	DH-PE-06	2020-2021
3+191	BH-PE-06	2020-2021
3+500	BH-PE-07	2020-2021

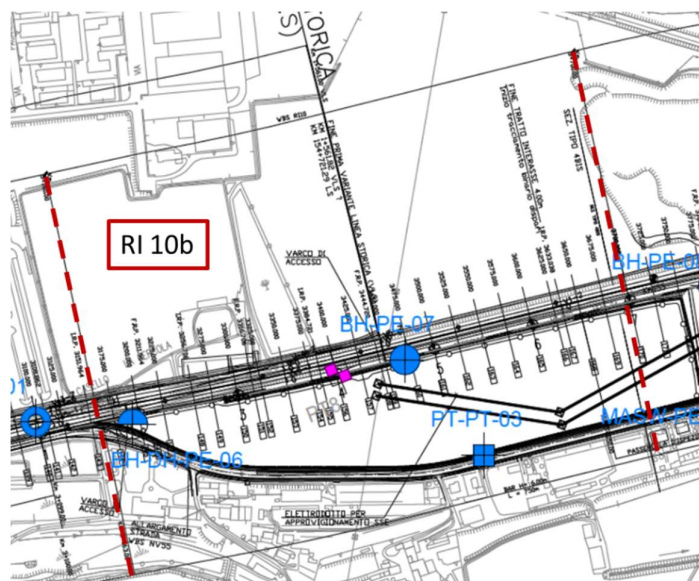




Figura 3 - Planimetria Rilevato RI10B, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI10B0001B</p>	<p>Foglio 10 di 83</p>

#### 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI10B0001B</p>	<p>Foglio 11 di 83</p>

## 4.2 Condizioni geotecniche del sito

La Figura 5 mostra i risultati delle prove SPT eseguite nel tratto interessato dal rilevato in esame. La porzione più superficiale è costituita da un sottile strato, spesso circa 50 cm, di terreno di riporto (Unità 1), che sarà 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 da 0.5 m pc a circa 14 m pc. All'interno del deposito incoerente le percentuali di materiale a grana fine sono generalmente inferiori a 10% e si registrano valori di  $N_{SPT}$  mediamente pari a 40 colpi/30cm, con valori anche superiori a 50 colpi/30cm. La densità relativa delle ghiaie risulta generalmente variabile fra il 40 e il 70% e quindi il deposito risulta da mediamente addensato ad addensato.



Più in profondità si individua la presenza di depositi di sabbia limosa addensati (Unità 4), a partire dalla profondità di 19 m pc fino alla quota di fine sondaggi (30 m pc). In questo deposito le percentuali di materiale fine arrivano al 25-30%. I valori medi di  $N_{SPT}$  si attestano intorno a 65 colpi/30cm, con valori compresi tra 50 e 80 colpi/30cm. La densità relativa delle sabbie risulta generalmente attorno a 70% con valori anche superiori a 80%.

Come mostrato nel profilo geotecnico in Figura 2, tra le due unità, a profondità comprese tra 14 m pc e 19 m pc si evidenzia un'alternanza di strati limoso argillosi sovraconsolidati (Unità 2) e di strati sabbioso limosi. I valori di pocket penetrometer sono compresi fra 100 e 150 kPa, mentre l'indice dei vuoti risulta compreso fra 0.5 e 0.6.

Tali valori sono tipici di materiali compatti e sovraconsolidati.

Si evidenzia in ogni caso che i modestissimi incrementi di carico attesi (dell'ordine dei 30 kPa), andranno ad interessare (e si esauriranno) all'interno dello strato ghiaioso presente in sommità. Si può pertanto concludere che il contributo ai cedimenti degli strati al disotto del letto delle ghiaie sia del tutto trascurabile, e che le potenziali superfici di rottura più critiche resteranno altresì all'interno di tale strato.

Il profilo di  $V_s$  derivante dalle interpretazioni discusse nella Relazione Sismica (Doc. Rif. [4]), basata sui risultati delle prove DH, MASW e infine 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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI10B0001B	Foglio 12 di 83

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  $G_0$ , e considerando 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.

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 10B da pk 3+160 a pk 3+450**

Contributi granulometrici (%)

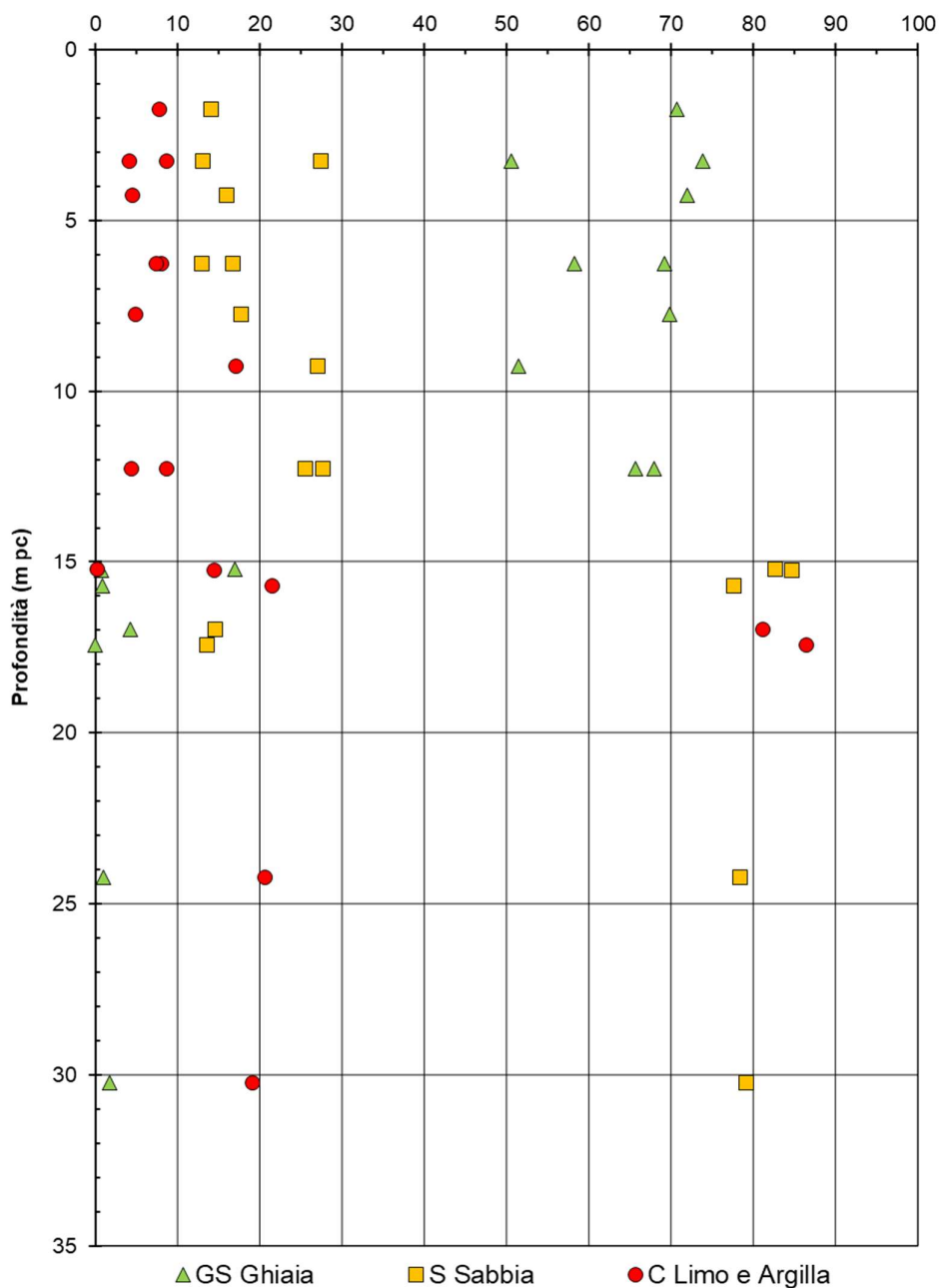


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche tra pk 3+160 a pk 3+450

## AV/AC VERONA VICENZA

### RI 10B da pk 3+160 a pk 3+450

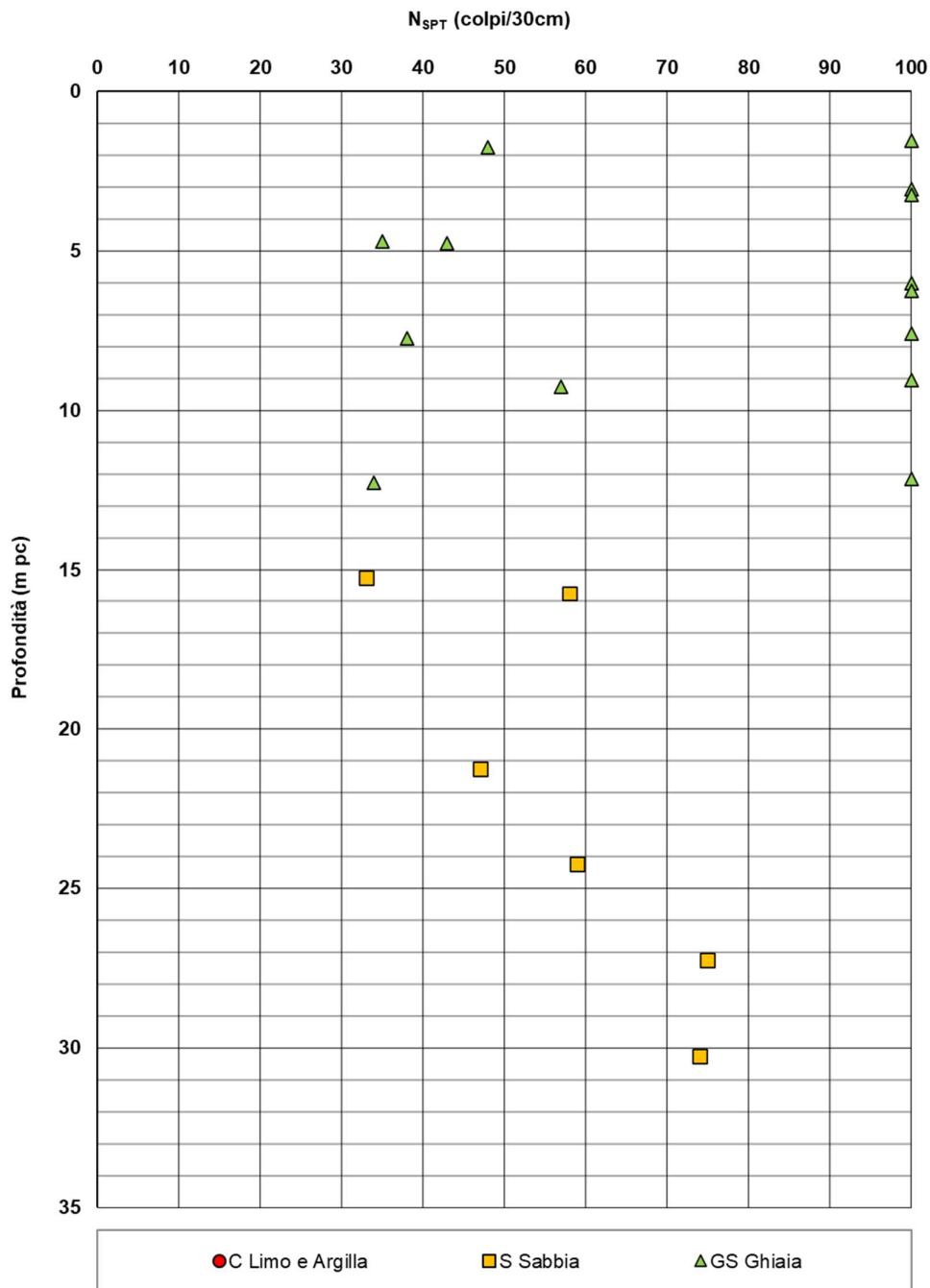


Figura 5 – Esito delle prove SPT tra pk 3+160 a pk 3+450

### AV/AC VERONA VICENZA

#### RI 10B da pk 3+160 a pk 3+450

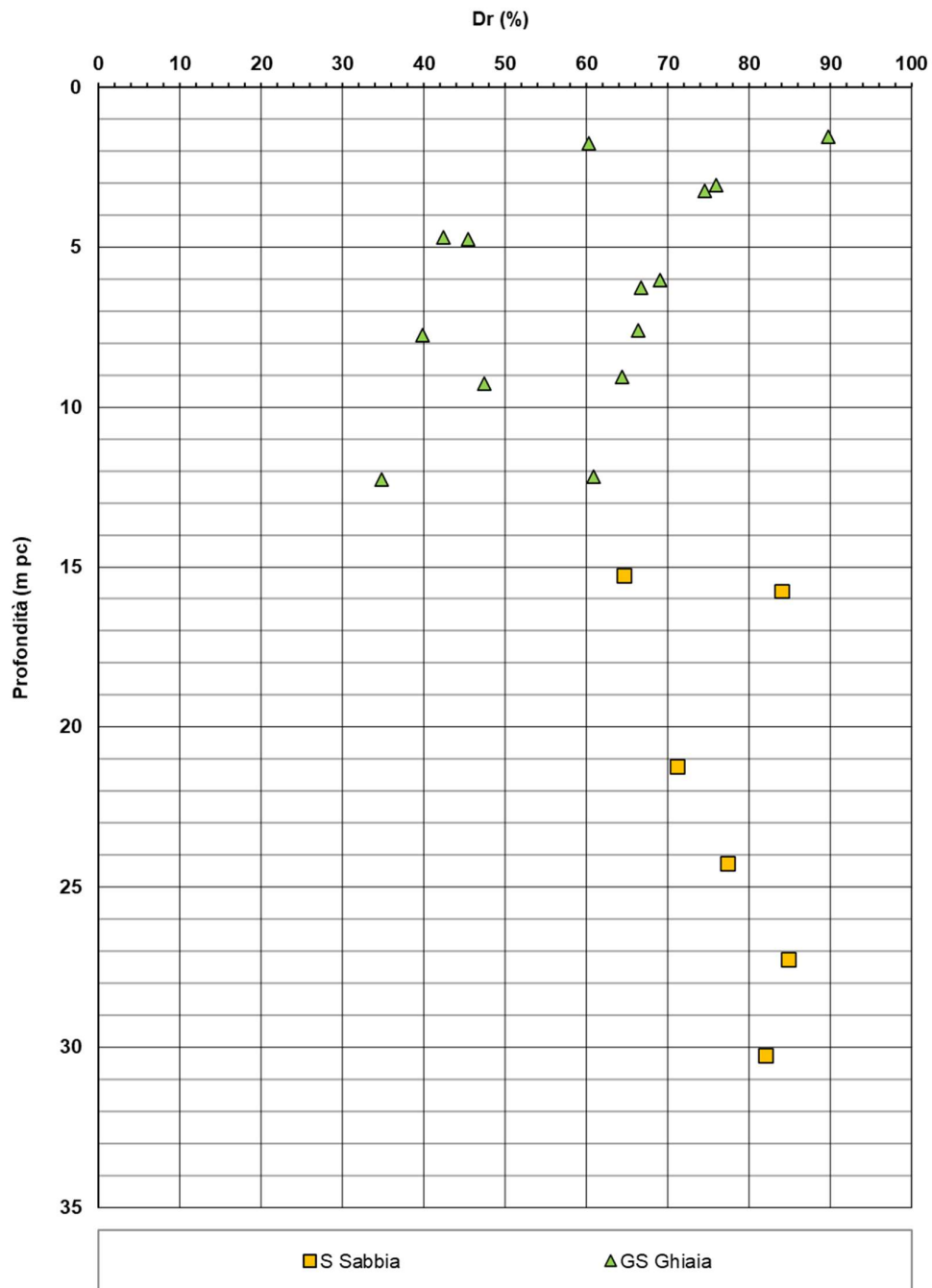


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT tra pk 3+160 a pk 3+450

## AV/AC VERONA VICENZA

### RI 10B da pk 3+160 a pk 3+450

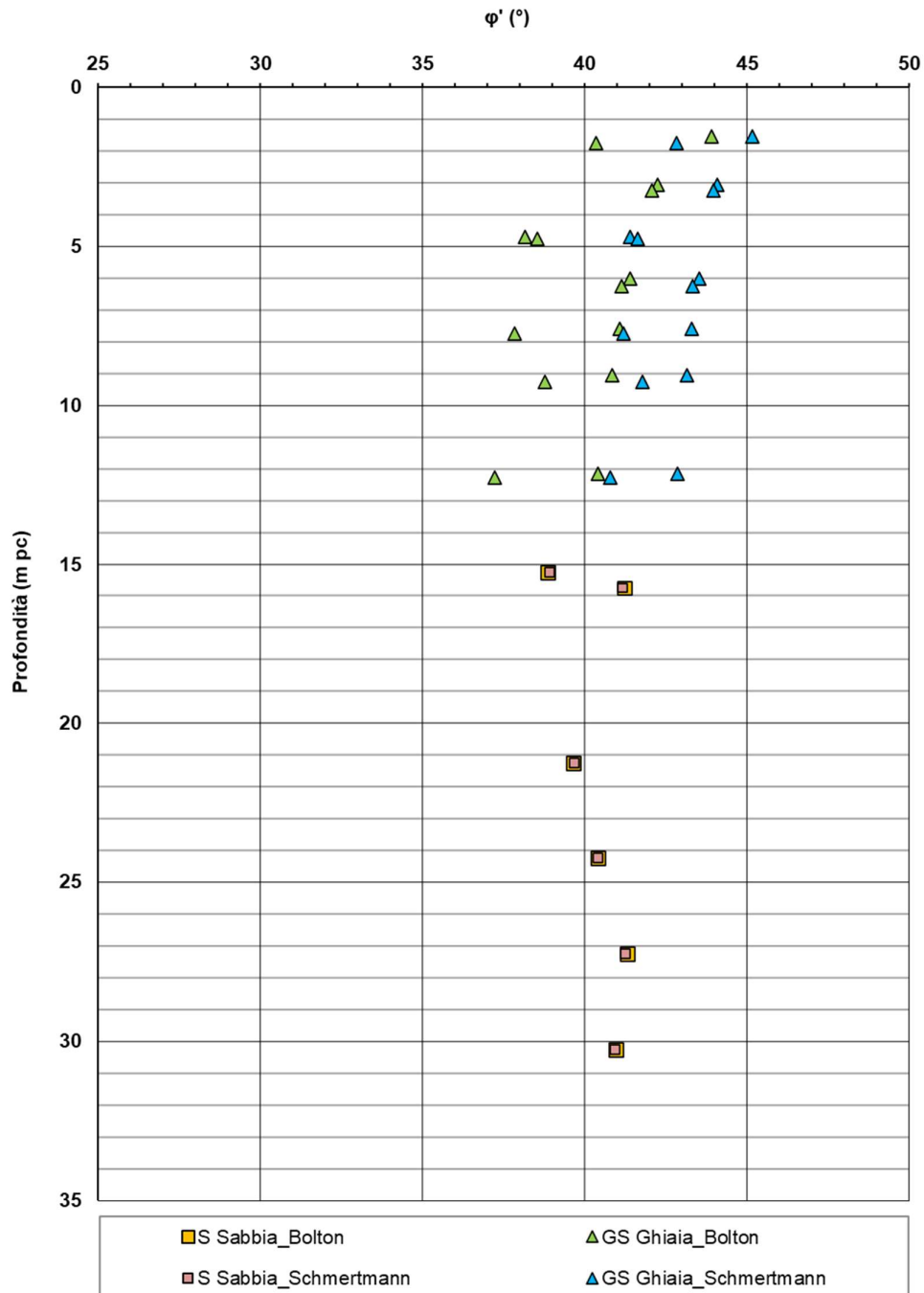


Figura 7 – Angoli di attrito da prove SPT tra pk 3+160 a pk 3+450

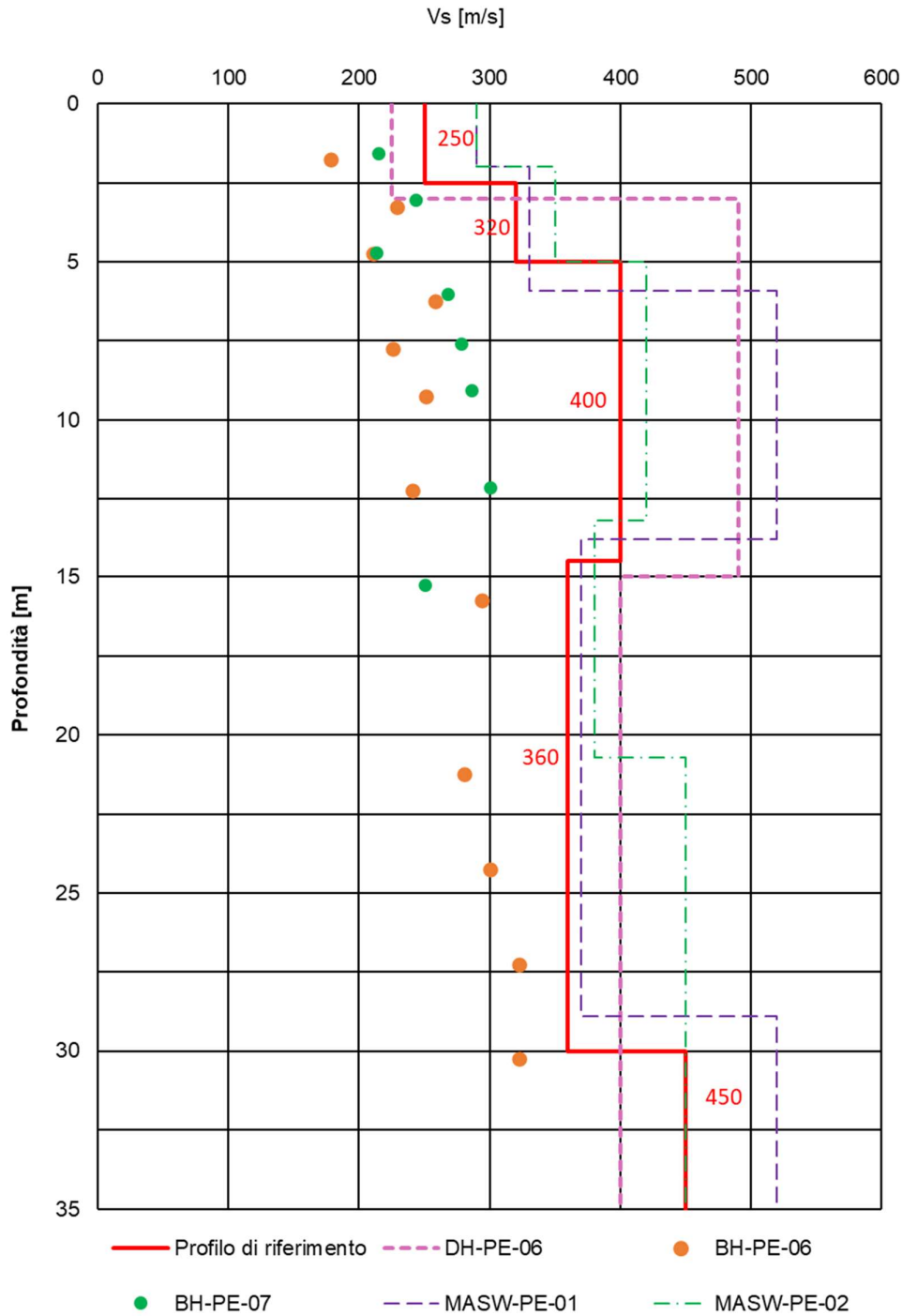


Figura 8 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW tra pk 3+160 e 3+450

**AV/AC VERONA VICENZA**

da pk 3+160 a pk 3+450

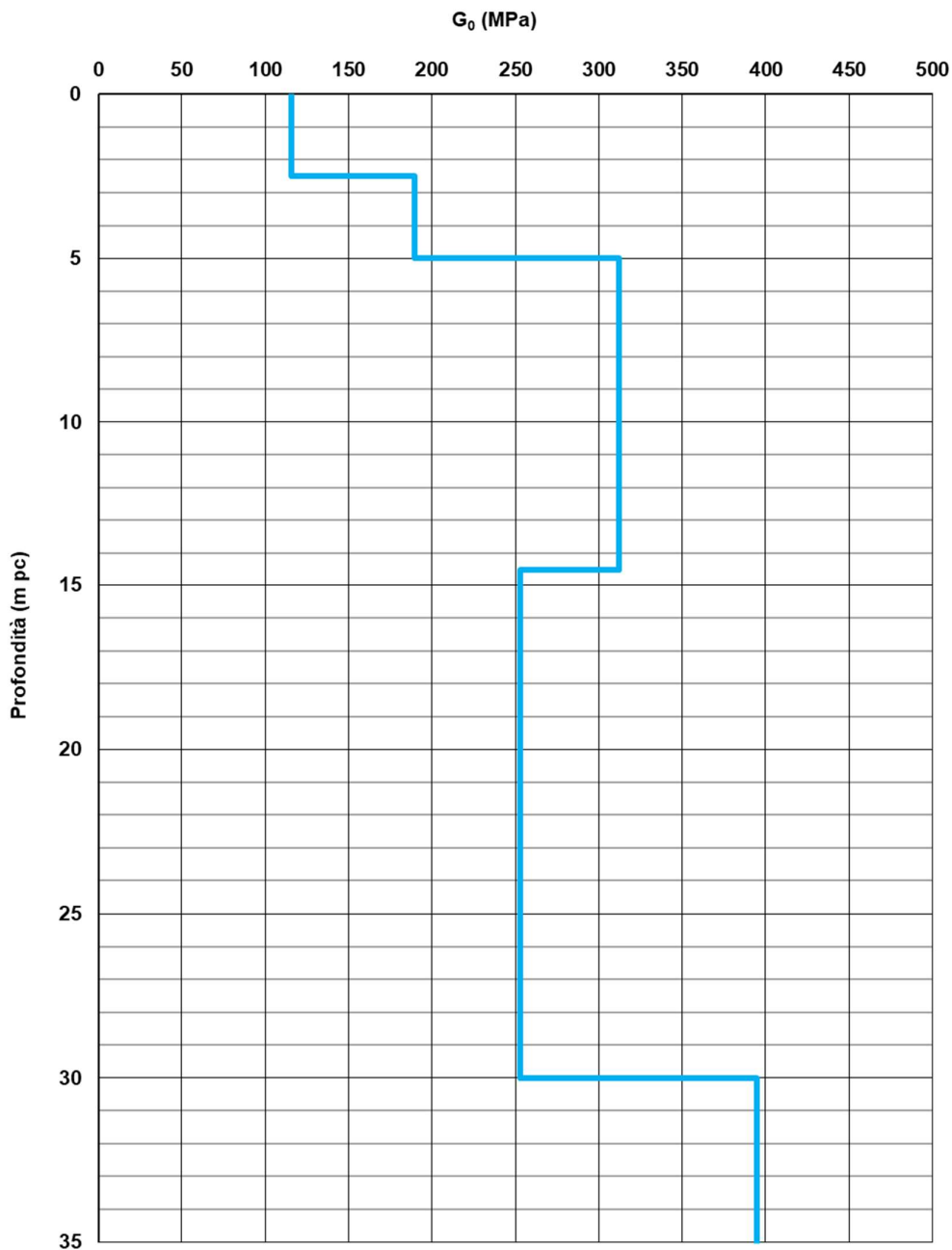




Figura 9 – Modulo di taglio  $G_0$  tra pk 3+160 e 3+450

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI10B0001B</p>	<p>Foglio 19 di 83</p>

### 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*	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\phi_k$ °	$c_k'$ kPa	$c_{u,k}$ kPa	$G_0$ MPa	$E'_{op}$ MPa
6	0.5	14	19.5	39	0	-	120-250**	60-130**

\* quota piano campagna = 50,40 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*

	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\phi$ °	$c'$ kPa
Materiale da rilevato	20	38	0

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI10B0001B	Foglio 20 di 83

## 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

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

#### 5.1.2 Classe d'uso

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

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

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





GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI10B0001B	Foglio 21 di 83

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  $V_R = V_N \cdot C_U = 100 \cdot 1.5 = 150$  anni.

### 5.1.4 Categorie di Sottosuolo



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

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

### 5.1.5 Condizioni topografiche

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI10B0001B</p>	<p>Foglio 22 di 83</p>

### 5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

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

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

## 5.2 Suscettibilità alla liquefazione

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



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

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

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

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI10B0001B</p>	<p>Foglio 23 di 83</p>

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

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

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

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

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

dove:

$a_{max}$  accelerazione di picco al sito

$g$  accelerazione di gravità

$\tau_c$  valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

$\sigma_{vo}$  tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni totali



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

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

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

CSR può essere messo in relazione al numero di cicli significativi dell'azione sismica, funzione della magnitudo  $M$ . Per  $M \neq 7.5$  è necessario introdurre un fattore di scala della magnitudo MSF così definito:

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI10B0001B</p>	<p>Foglio 24 di 83</p>

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 ( $p_a = 100 \text{ kPa}$ ) e corretta ( $q_{c1N}$ ) mediante la seguente relazione:

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



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

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

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

dove:

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI10B0001B	Foglio 25 di 83

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

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):

per  $I_c \leq 1.64$                        $K_c = 1.0$

per  $I_c > 1.64$                        $K_c = - 0.403(I_c)^4 + 5.581(I_c)^3 - 21.63(I_c)^2 + 33.75(I_c) - 17.88$

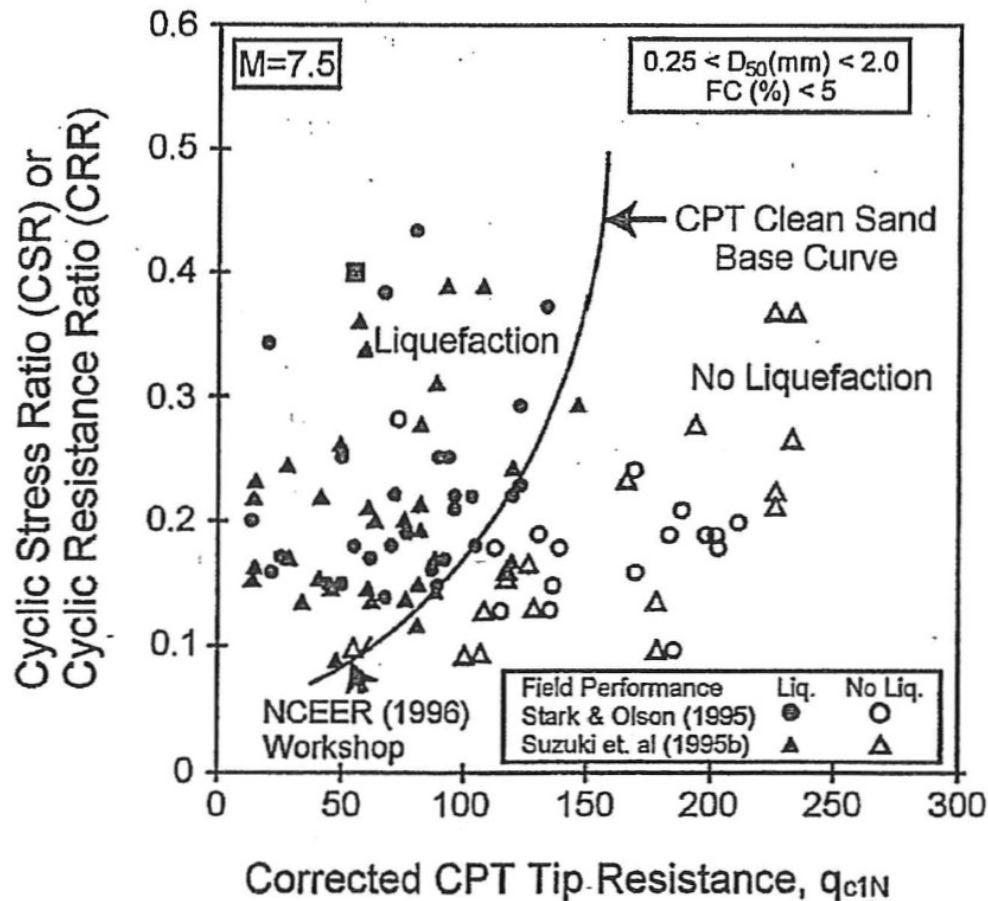


Figura 10: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta  $q_{c1N}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

### 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 L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI10B0001B	Foglio 27 di 83

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  $\sigma'_{v0}$  è la tensione verticale in sito, in termini di sforzi efficaci.

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

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

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

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

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

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

Si può osservare dalla



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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI10B0001B	Foglio 28 di 83

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:

$\sigma'_{v0}$  = 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):

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



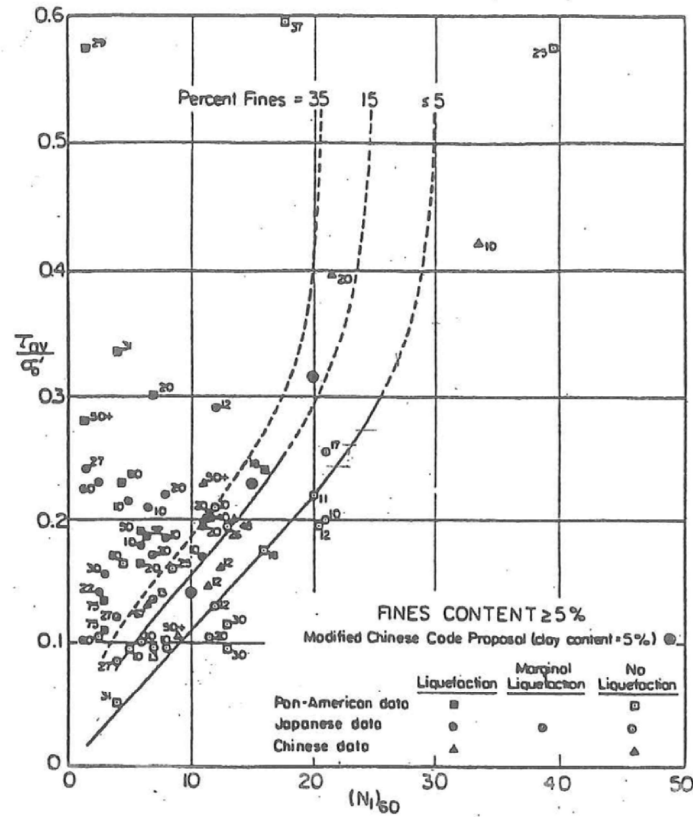
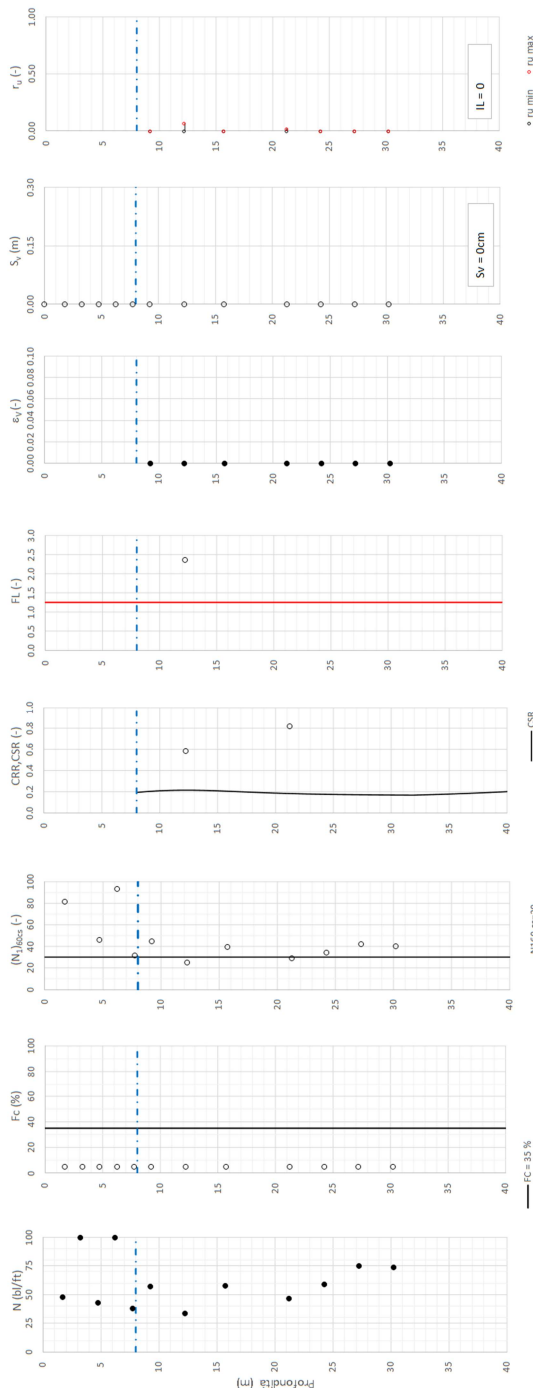


Figura 11: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e  $N_{1(60)}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

I risultati (cfr. Figura 12, Figura 13 e Figura 14) indicano come non si evidenzino rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato R110B, in linea con gli stati di addensamento e le granulometrie descritte in precedenza.

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



• Dati misurati in sito o calcolati sulla base di misure dirette  
 ○ Dati basati sulla stima di valori tipici per lo strato  
 ● ru min ● ru max  
 IL = 0  
 Sv = 0cm  
 CSR  
 FC = 35 %  
 N160 cs=30  
 Foglietto di Identificazione N° 102

Figura 12 – Verifica Liquefazione da risultati SPT BH-PE-06

Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

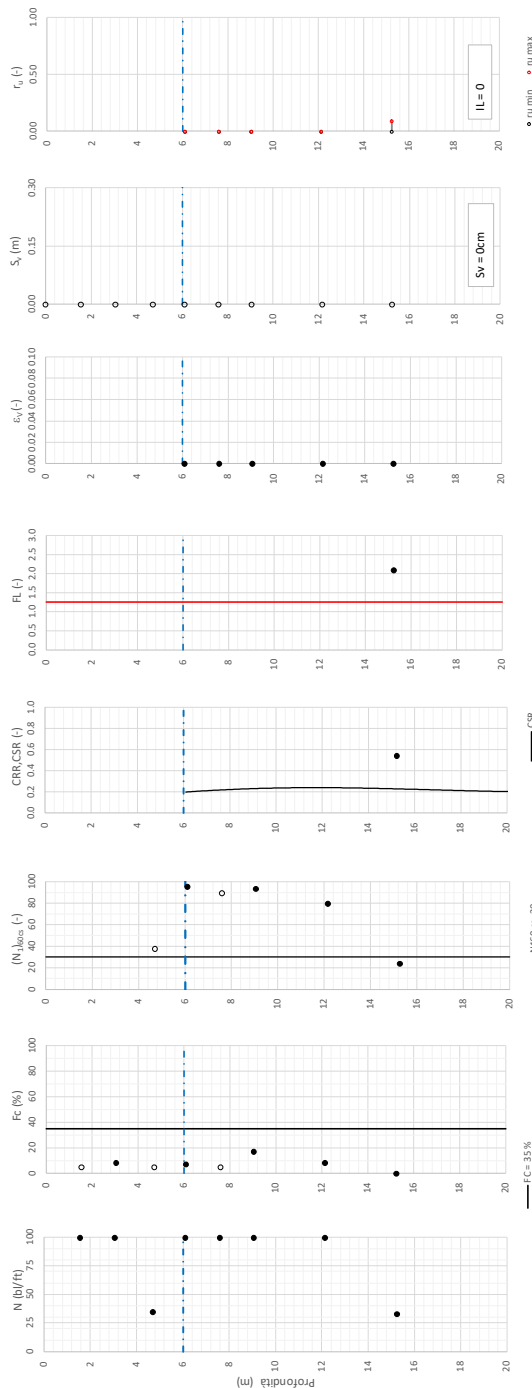
Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI10B0001B

Foglio  
31 di 83

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-07 Pr. 3+500  
a<sub>r,max</sub> = 0.317% M<sub>calc</sub> = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 0m



● Dati misurati in sito o calcolati sulla base di misure dirette  
○ Dati basati sulla stima di valori tipici per lo stato

Foglio verifica a ingegnere n. 102

Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati SPT BH-PE-07

Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI10B0001B

Foglio  
32 di 83

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-08 Pr. 3+800  
a<sub>r,max</sub> = 0,317g, M<sub>L,calc</sub> = 6 MSF = 2 Metodo NCEEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 2m

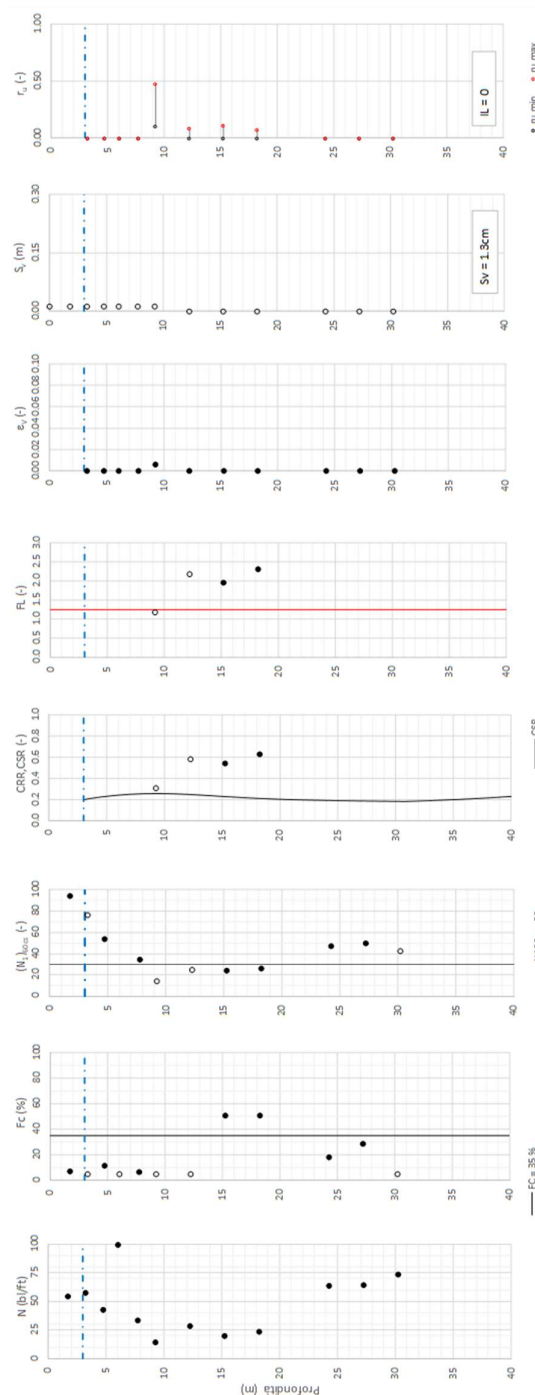




Figura 14 – Verifica Liquefazione da risultati SPT BH-PE-08

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI10B0001B	Foglio 33 di 83

## 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

<b>GENERAL CONTRACTOR</b> 	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b> 			
Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI10B0001B	Foglio 34 di 83

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 $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

dove:



- $\gamma_{G1}$  coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;
- $\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- $\gamma_Q$  coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
- $\gamma_{Qi}$  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 $\gamma_M$	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

*Tabella 8 – Coefficienti parziali per verifiche di stabilità globale*

Coefficiente	R2
$\gamma_R$	1.1

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI10B0001B	Foglio 35 di 83

### 6.1.2 Stati limite di esercizio (SLE)

Deve essere verificato, mediante analisi effettuate impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali (Par. 6.5.3.2 del Doc. Rif. [14]), che gli spostamenti dell'opera in esame e del terreno circostante siano compatibili con la funzionalità della struttura e con la sicurezza e la funzionalità di manufatti adiacenti.

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

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

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



	V ≤ 160 km/h	160 < V ≤ 300 km/h
1° livello di qualità	$\Delta H \leq 10$ SCARTXL ≤ 6	$\Delta H \leq 10$ SCARTXL ≤ 4
2° livello di qualità	$10 < \Delta H \leq 15$ $6 < \text{SCARTXL} \leq 10$	$10 < \Delta H \leq 15$ $4 < \text{SCARTXL} \leq 8$
3° livello di qualità esecuzione a breve termine anche in relazione ai limiti di sghembo (2)	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) $10 < \text{SCARTXL} \leq 14$	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) $8 < \text{SCARTXL} \leq 12$
(1) il valore di $\Delta H$ 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  $\psi$  per il carico variabile da traffico è stato posto pari a 0.2 (Doc. rif. [19]).

## 6.2 Azioni di progetto

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI10B0001B</p>	<p>Foglio 36 di 83</p>

### 6.2.1 Azioni permanenti

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

Peso massicciata e armamento            18 kN/m<sup>3</sup>

Peso elementi in cls                            25 kN/m<sup>3</sup>

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

$\beta_s$                     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
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI10B0001B	Foglio 37 di 83

## 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. Per quanto riguarda la falda, è stata considerata la condizione a lungo termine e quindi è stato preso un livello coincidente a piano campagna, come riportato nel paragrafo 4.1.2. Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

In Figura 15 sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2. Il valore minimo di FS è pari a:

$$F_{S\text{MIN}}(\text{DA1C2}) = 1.602 > R2 = 1.1$$

**la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.**

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI10B0001B</p>	<p>Foglio 38 di 83</p>

### 6.3.3 Verifiche SLU in condizioni sismiche

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

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

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

Il carico stradale (q), assunto pari a 61.4 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è stato inserito nei calcoli col proprio valore caratteristico in accordo a quanto specificato dalle NTC 2008 (vedasi Par.7.11.1 del Doc. Rif. [14]) che indicano per le analisi in condizioni sismiche di adottare l'Approccio 1 Combinazione 2 ponendo i coefficienti parziali sulle azioni (A2) tutti pari ad uno. Per quanto riguarda la falda è stata considerata la condizione a medio termine e quindi è stato preso 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 16 è riportata la superficie di rottura critica. Il fattore di sicurezza FS è pari a:

$$FS_{MIN} = 1.295 > R2 = 1.1$$

**la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.**

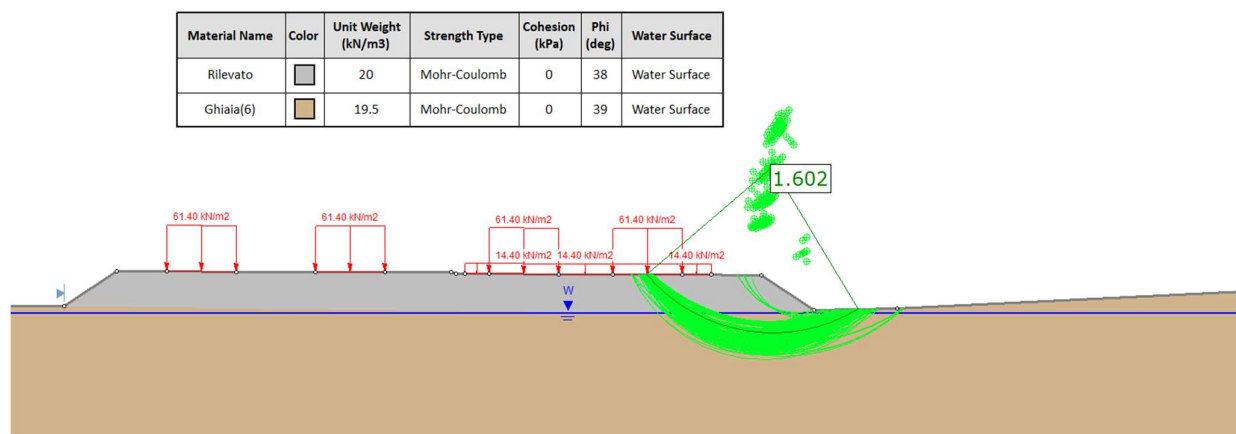


Figura 15 - Rilevato H=1.70 m (da pk 3+160 a pk 3+700) - Analisi SLU in campo statico DA1C2



Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI10B0001B

Foglio  
39 di 83

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	Water Surface
Rilevato		20	Mohr-Coulomb	0	38	Water Surface
Ghiaia(6)		19.5	Mohr-Coulomb	0	39	Water Surface

▶ 0.089  
▲ 0.045

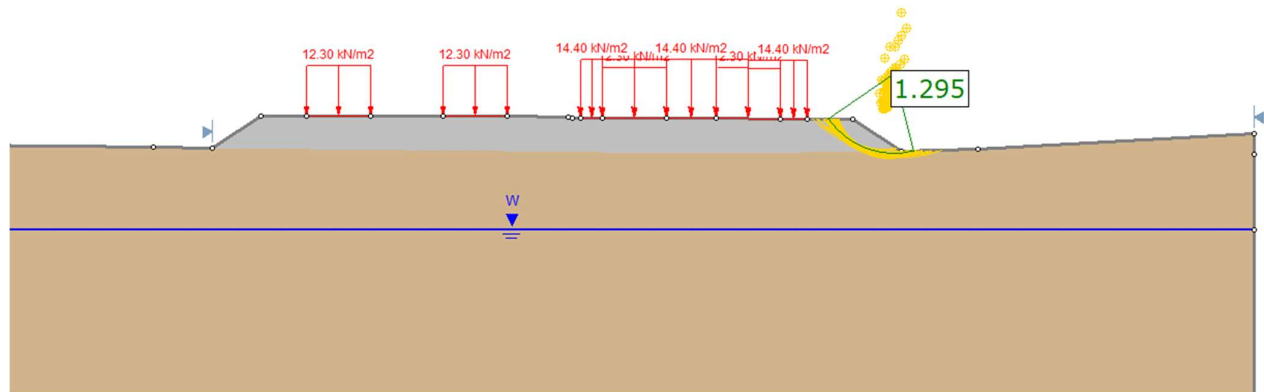




Figura 16 - Rilevato H=1.70 m (da pk 3+160 a pk 3+700) - Analisi SLU in campo sismico

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI10B0001B</p>	<p>Foglio 40 di 83</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 permette di valutare l'andamento dei cedimenti nel tempo sotto diverse ipotesi di carico. Il programma discretizza l'area analizzata in un numero finito di aree di carico e valuta gli incrementi di tensione indotti da ogni singola area di carico componendo poi gli effetti. A partire dagli incrementi tensionali vengono poi calcolati i cedimenti.

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).

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

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

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

dove:

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

$q$  = carico applicato

$\nu$  = coefficiente di Poisson

$B$  = semilarghezza dell'area di carico in direzione  $x$

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

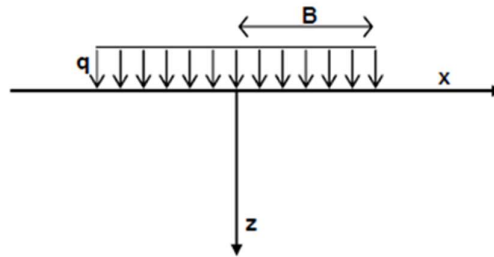


Figura 17 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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

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

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

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

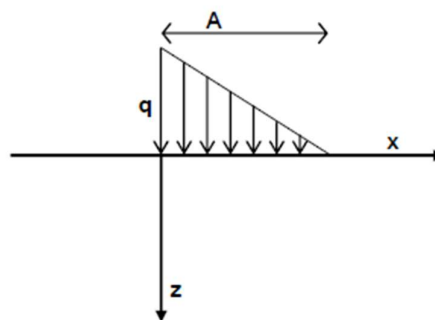




Figura 18 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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 L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI10B0001B</p>	<p>Foglio 42 di 83</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.

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

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

dove

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

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

La verifica è stata condotta con riferimento alla già citata sezione A riportata in Figura 1. Il modello di calcolo implementato per il rilevato tipologico con altezza pari a 1.70 m, valido tra le pk 3+160 e pk 3+700, è riportato in Figura 19. La larghezza del rilevato esistente è pari a 22 m, quella del rilevato in affiancamento di 9m 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 19 a)
- Affiancamento rilevato nuova linea, vedi Figura 19 b)
- Completamento rilevato nuova linea (ballast), vedi Figura 19 c)

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 20, dove sono anche indicate le posizioni delle rotaie della linea storica e l'asse dei binari della linea AV.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI10B0001B</p>	<p>Foglio 43 di 83</p>

Risulta quanto segue:

- Il cedimento calcolato in corrispondenza del centro del nuovo rilevato è inferiore a 10 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 (100 anni), sono da considerare nulli.

**La verifica SLE è quindi da considerarsi soddisfatta.**

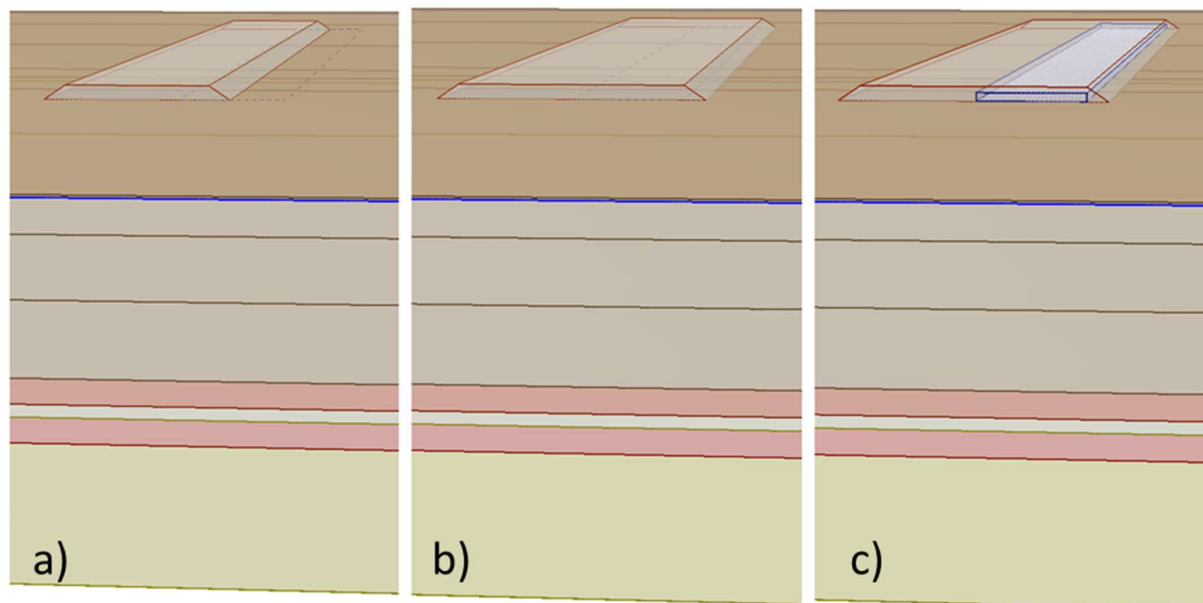


Figura 19 - Rilevato H=1.70 m (da pk 3+160 a pk 3+700) - Analisi SLE – Modello di calcolo

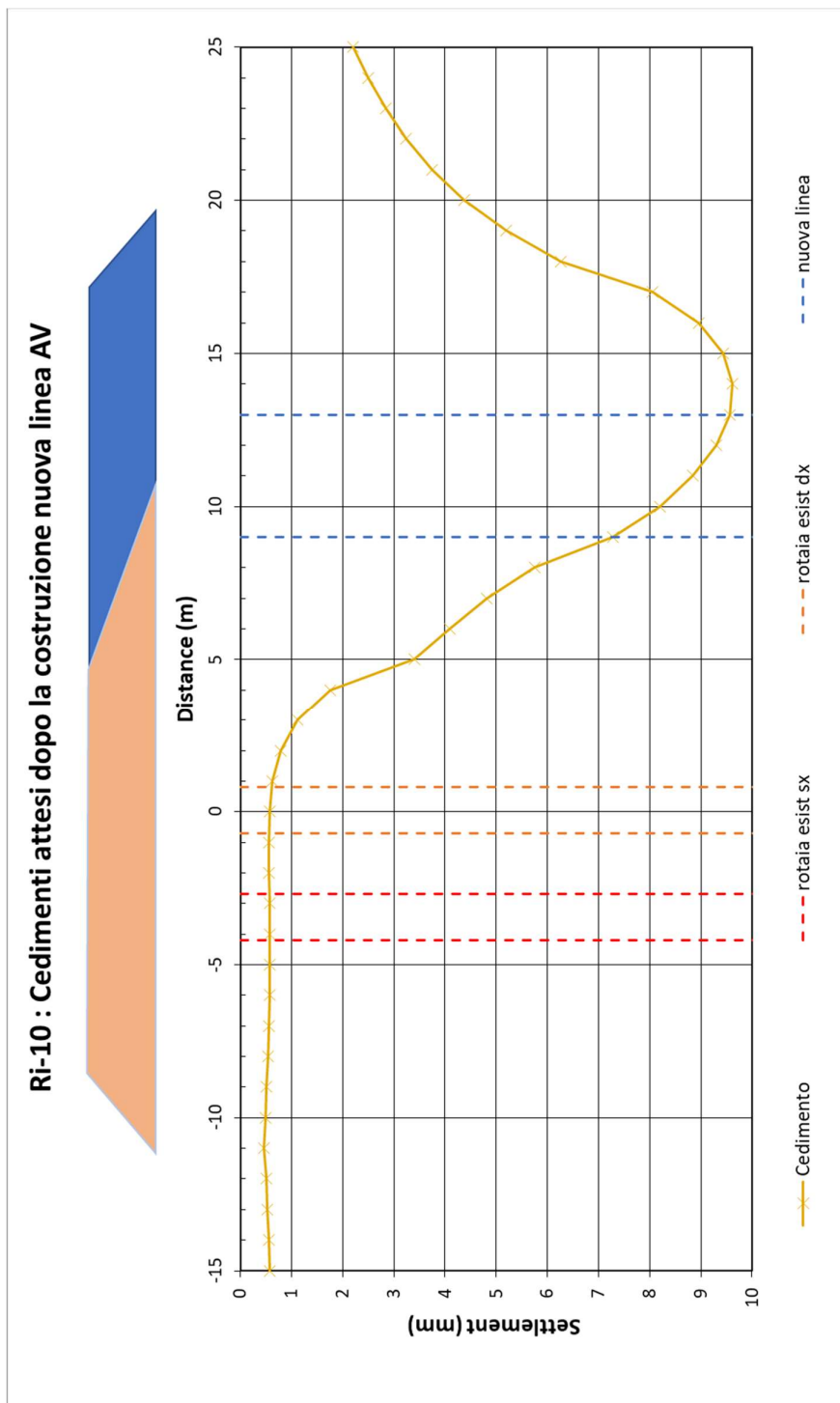




Figura 20 - Rilevato H=1.70 m (da pk 3+160 a pk 3+700) - Analisi SLE – Risultato Cedimenti



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI10B0001B	Foglio 45 di 83

## 7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI10B0001B	46 di 83

## ALLEGATI

GENERAL CONTRACTOR





ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI10B0001B	47 di 83

## ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>R110B Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 11</p>	<p>Codifica EI2GER110B0001</p>	<p>A</p>

**ALLEGATO 2 - SONDAGGI**



Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

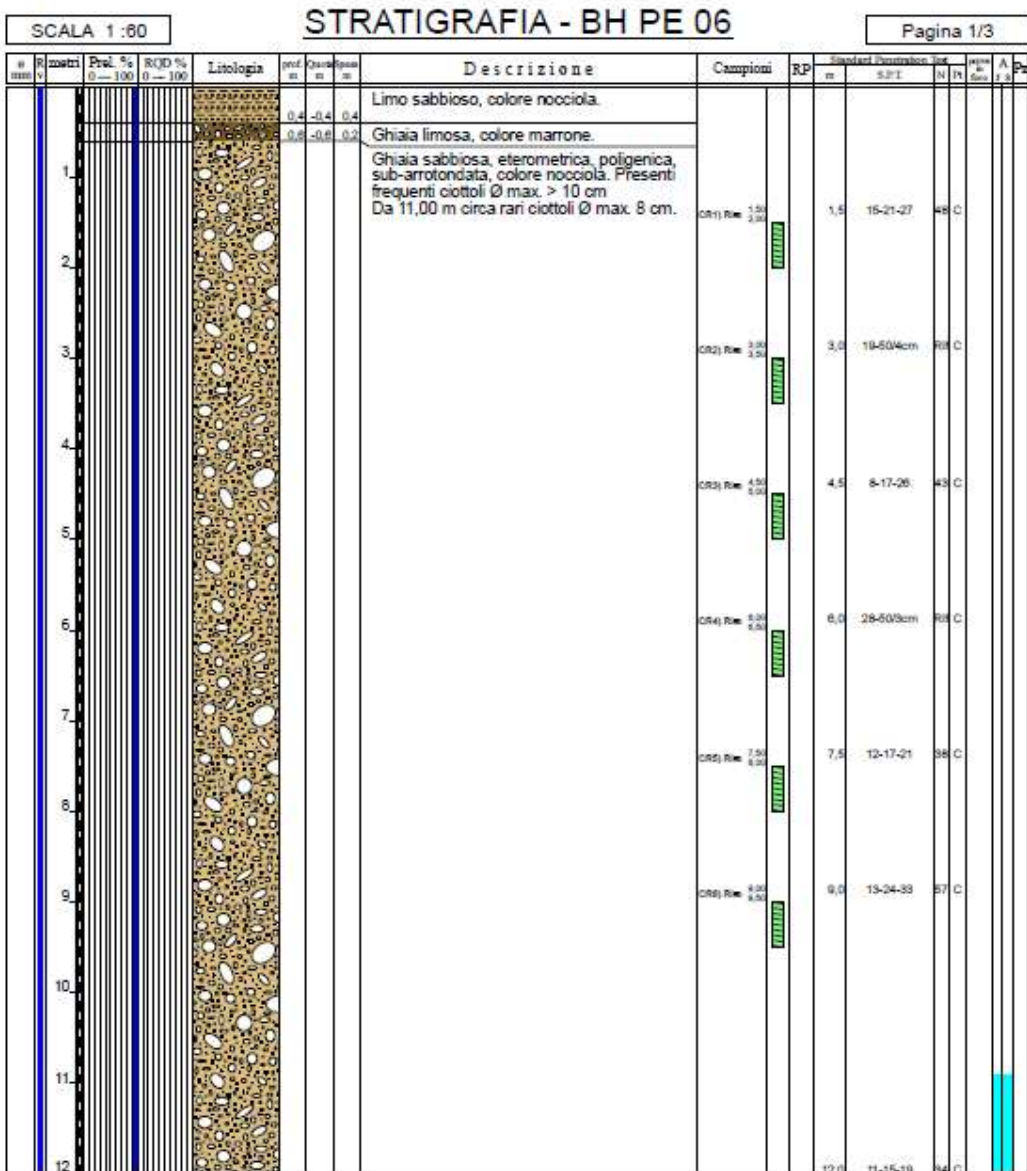
Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI10B0001B

Foglio  
50 di 83



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	



Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gabriele Sprocati





Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

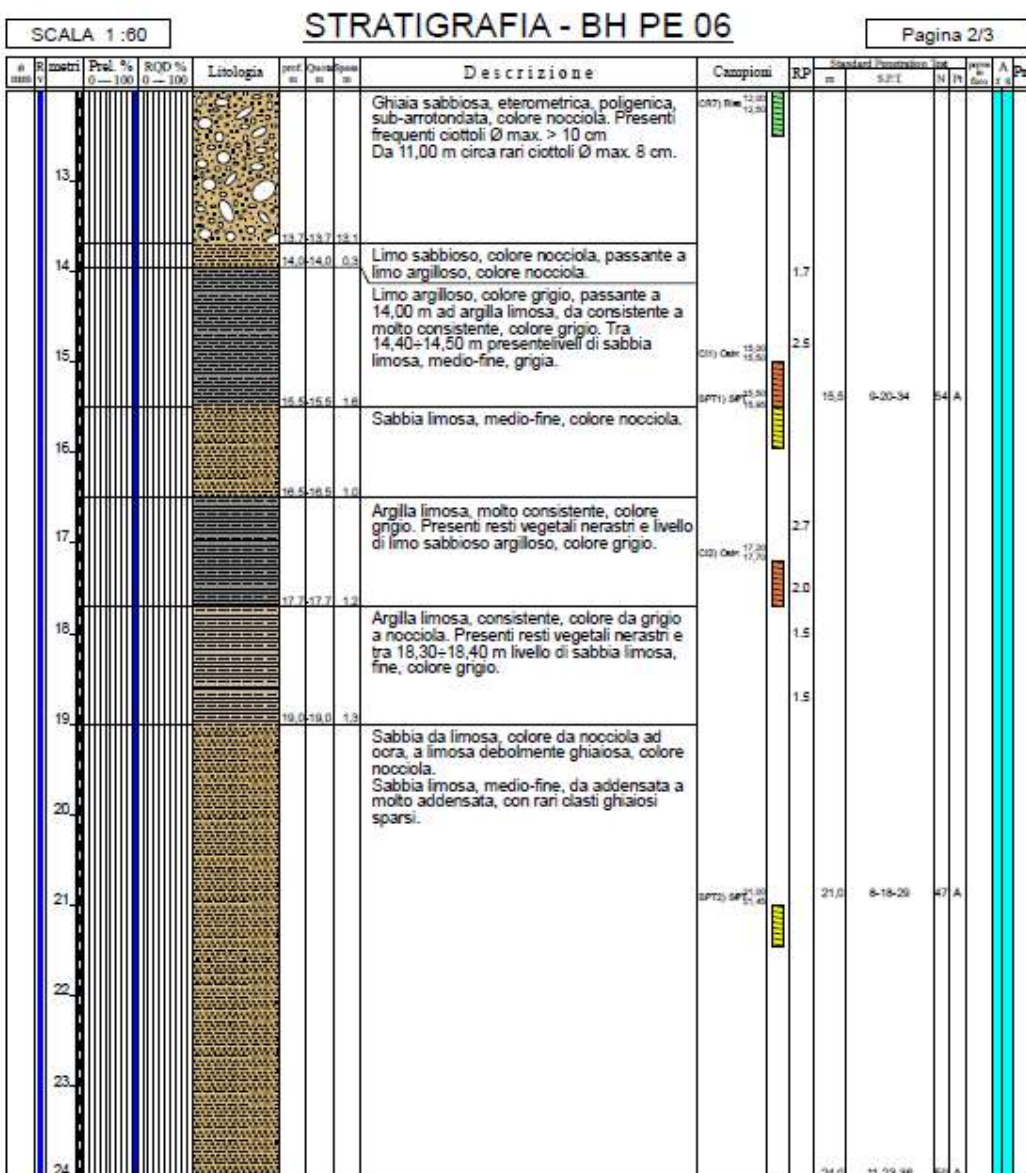
Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI10B0001B

Foglio  
51 di 83



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	



Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gabriele Sprocati







Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI10B0001B

Foglio

53 di 83



Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 07
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 06/11/2020 - 17/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: PUNTEL, prog. 3+500	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 07

Pagina 1/2

n	R	Prof. % 0-100	ROD % 0-100	Litologia	prof. m	Quota m	pass. m	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test		N	F	A	Pa
											m	30/30				
					0,0	-0,0	0,0	Limo argilloso debolmente ghiaioso, colore marrone.								
1								Ghiaia sabbiosa, eterometrica, poligenica, sub-arrotolata, colore da marrone chiaro a nocciola. Presenti frequenti ciottoli Ø max. >10 cm. Da 3,15 m circa assenza di ciottoli. Da 6,00 m frequenti ciottoli Ø max. > 10 cm.			1,5	50/3cm	Rif C			
2																
3									CR1) Rif. 3,00 3,00		3,0	50/3cm	Rif C			
4																
5																
6									CR2) Rif. 6,00 6,00		6,0	50/4cm	Rif C			
7																
8																
9									CR3) Rif. 9,00 9,00		9,0	50/3cm	Rif C			
10																
11																
12																



Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

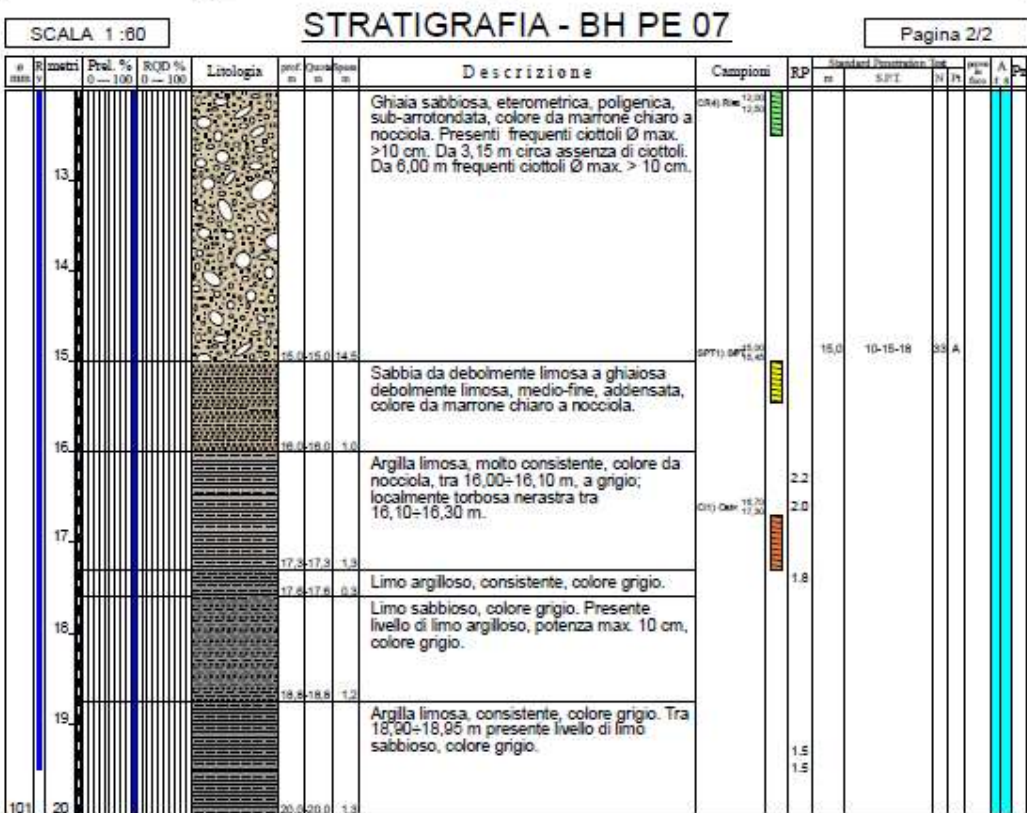
Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI10B0001B

Foglio  
54 di 83



Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 07
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 06/11/2020 - 17/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: PUNTEL, prog. 3+500	



Utilizzato carotiere semplice.  
Prelevato n. 1 campione indisturbato.  
Prelevati n. 4 campioni rimaneggiati.  
Prelevato n. 1 campione rimaneggiato S.P.T.  
Eseguite n. 8 prove SPT.  
Approvvigionamento e trasporto di acqua necessaria per la perforazione.



Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

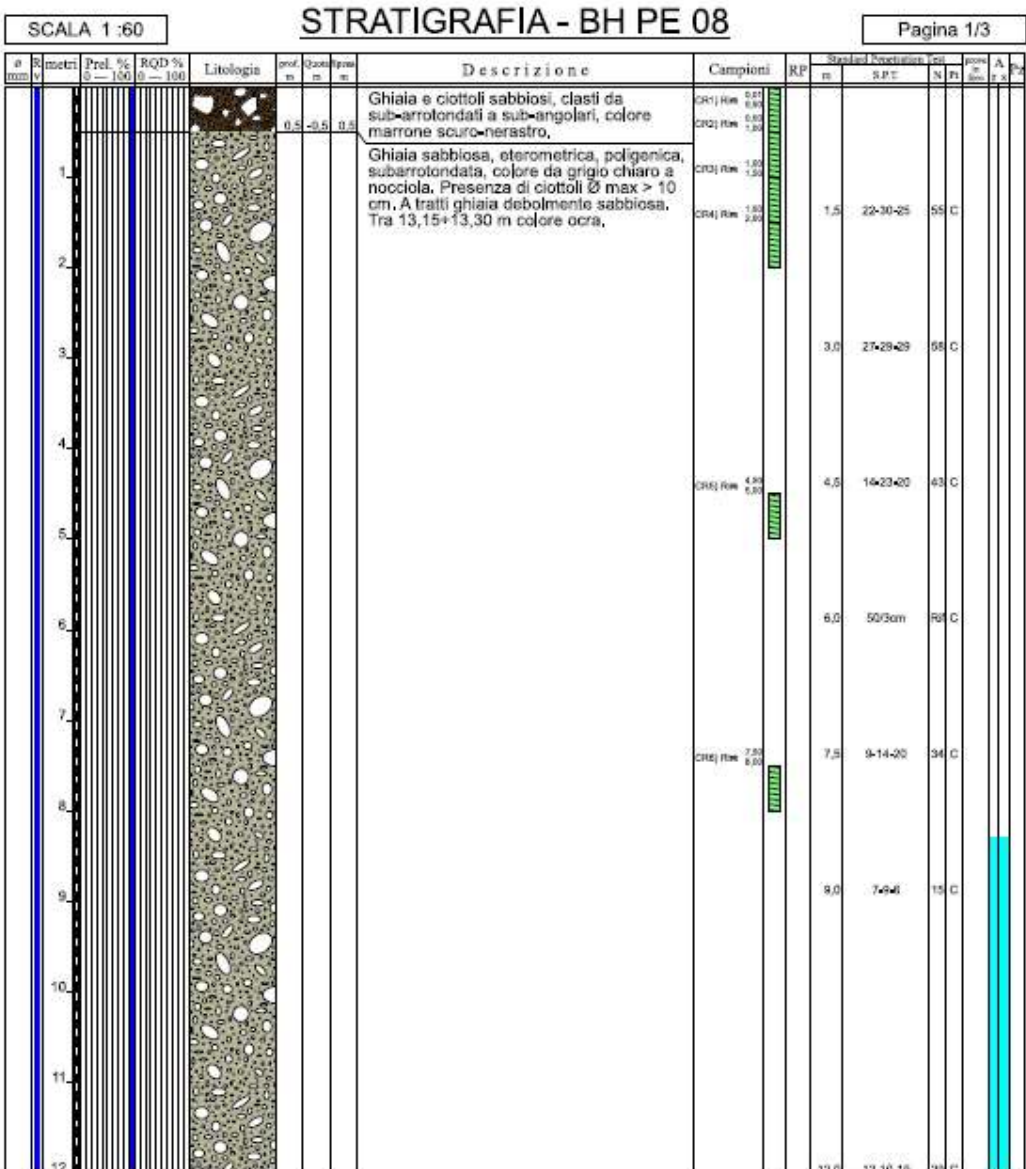
Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI10B0001B

Foglio  
55 di 83



Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 08
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 09/11/2020 - 10/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CO.ME.TRI.A., porg. 3+800	



Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gabriele Sprocati



Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

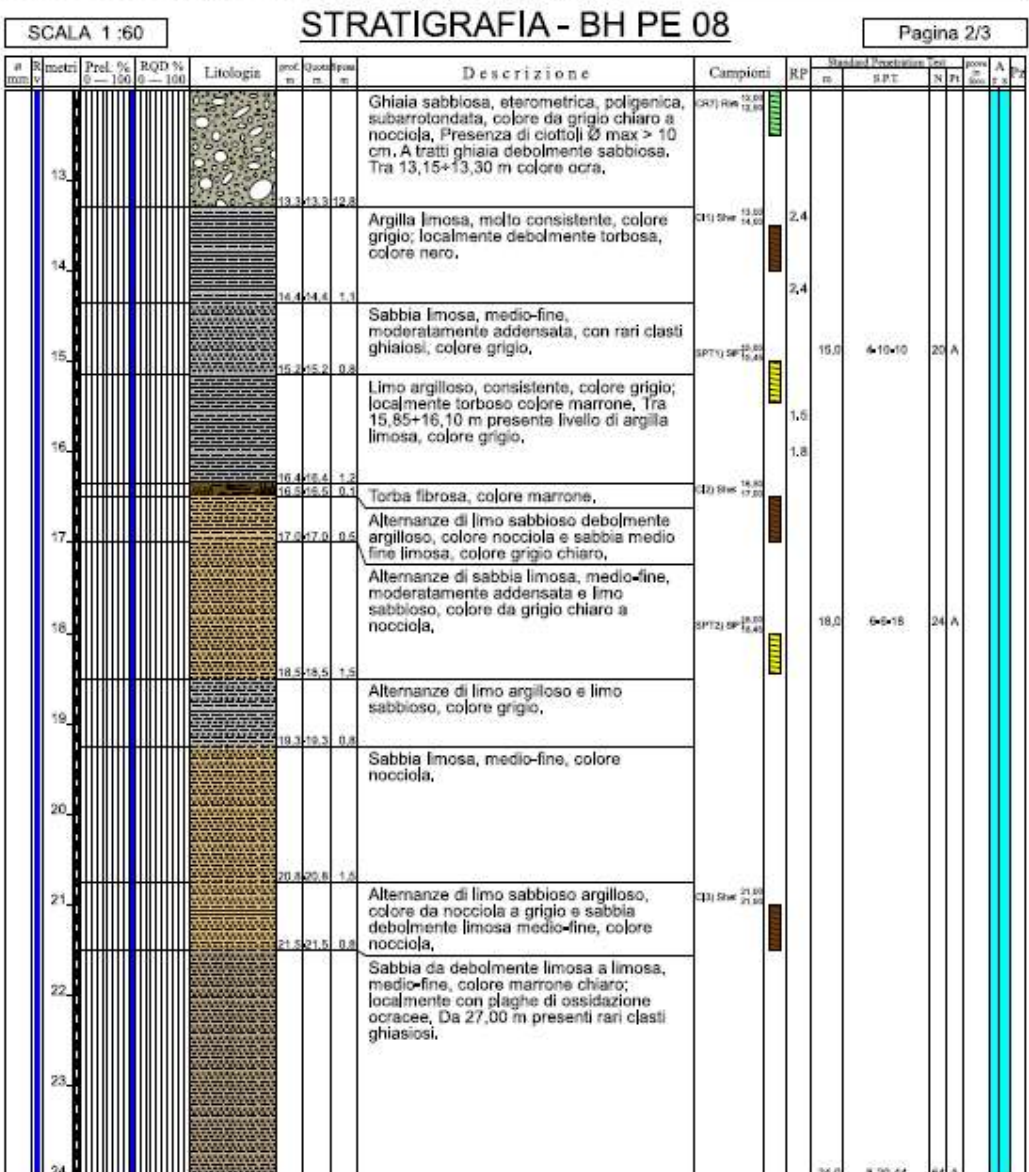
Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI10B0001B

Foglio  
56 di 83



Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 08
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 09/11/2020 - 10/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CO.ME.TRI.A., porg. 3+800	



Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gabriele Sprocati



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI10B0001B

Foglio

57 di 83



Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 08
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 09/11/2020 - 10/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CO.ME.TRI.A., porg. 3+800	

SCALA 1:60		STRATIGRAFIA - BH PE 08										Pagina 3/3				
Prof. (m)	Altezza (m)	Prel. % (0-100)	RQD % (0-100)	Litologie	prof. (m)	Qual. (m)	Quant. (m)	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test (SPT)	N	Pi	Altezza (m)	A	Pz
25.0								Sabbia da debolmente limosa a limosa, medio-fine, colore marrone chiaro; localmente con plaghe di ossidazione ocracea. Da 27,00 m presenti rari clasti ghiaiosi.	SPT(3) SF 24,00 M,44							
26.0																
27.0									SPT(4) SF 27,00 27,44	27,0	14-24-41	65	A			
28.0																
29.0																
30.0									SPT(3) SF 29,50 M,80	30,0	14-27-47	74	A			
30.5					30.5	30.5	9.0									

Carotaggio continuo a secco.  
Utilizzato carotiere semplice.  
Prelevati n. 3 campioni indisturbati.  
Prelevati n. 7 campioni rimaneggiati.  
Prelevati n. 5 campioni rimaneggiati SPT.  
Eseguite n. 12 prove SPT.  
Approvvigionamento e trasporto di acqua necessaria per la perforazione.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI10B0001B	58 di 83

### ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICO

## Slide Analysis Information

### ri10a

#### Project Summary

File Name: Ri10a\_statico  
Slide Modeler Version: 7.029  
Project Title: ri10a  
Date Created: 26/02/2021, 16:47:17

#### General Settings

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

#### Design Standard

Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)  
Name: Stabilità Globale\_A2+M2+R2

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

#### Analysis Options

Slices Type: Vertical

##### Analysis Methods Used

Bishop simplified  
Janbu simplified

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

#### Groundwater Analysis

Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI10B0001B

Foglio

60 di 83

Groundwater Method: Water Surfaces  
Pore Fluid Unit Weight [kN/m<sup>3</sup>]: 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  
Minimum Area: Not Defined  
Minimum Weight: Not Defined

### Seismic

Advanced seismic analysis: No  
Staged pseudostatic analysis: No

### Loading

5 Distributed Loads present



**Distributed Load 1**

Distribution: Constant  
Magnitude [kPa]: 61.4  
Orientation: 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]: 14.4  
Orientation: Normal to boundary  
Load Action: Permanent






**Distributed Load 4**

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

**Distributed Load 5**

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

**Material Properties**

Property	Rilevato	Ghiaia(6)	Limo arg (2)	Sabbia (4)	Sabbia prof (4)
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	20	19.5	20	19.5	19.5
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	39	28	37	39
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	0	1	1

**Global Miniums****Method: bishop simplified**

FS	1.602410
Center:	62.456, 56.169
Radius:	6.615
Left Slip Surface Endpoint:	57.413, 51.888
Right Slip Surface Endpoint:	65.863, 50.499
Resisting Moment:	1392.29 kN-m
Driving Moment:	868.875 kN-m
Total Slice Area:	11.0474 m2
Surface Horizontal Width:	8.44979 m
Surface Average Height:	1.30742 m

**Method: janbu simplified**

Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI10B0001B

Foglio

62 di 83

FS	1.365250
Center:	61.965, 53.831
Radius:	4.788
Left Slip Surface Endpoint:	57.589, 51.887
Right Slip Surface Endpoint:	65.395, 50.489
Resisting Horizontal Force:	183.244 kN
Driving Horizontal Force:	134.221 kN
Total Slice Area:	13.8 m2
Surface Horizontal Width:	7.80574 m
Surface Average Height:	1.76793 m

### Valid / Invalid Surfaces

#### Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1973  
Number of Invalid Surfaces: 4

#### Error Codes:

Error Code -112 reported for 4 surfaces

#### Method: janbu simplified

Number of Valid Surfaces: 1881  
Number of Invalid Surfaces: 96

#### Error Codes:

Error Code -108 reported for 11 surfaces  
Error Code -112 reported for 85 surfaces

#### Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

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

### Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.60241

FS	1.365250
Center:	61.965, 53.831
Radius:	4.788
Left Slip Surface Endpoint:	57.589, 51.887
Right Slip Surface Endpoint:	65.395, 50.489
Resisting Horizontal Force:	183.244 kN
Driving Horizontal Force:	134.221 kN
Total Slice Area:	13.8 m2
Surface Horizontal Width:	7.80574 m
Surface Average Height:	1.76793 m



Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI10B0001B

Foglio  
63 di 83



ri10a: Page 5 of 10

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	0.162559	0.298563	-48.6014	Rilevato	0	32.0066	25.9803	41.6311	66.6065	0	66.6065	96.0768	96.0768
2	0.162559	0.874537	-46.5137	Rilevato	0	32.0066	27.5343	44.1212	70.5906	0	70.5906	99.6196	99.6196
3	0.162559	1.41047	-44.5036	Rilevato	0	32.0066	29.0187	46.4998	74.3962	0	74.3962	102.916	102.916
4	0.162559	1.91047	-42.5606	Rilevato	0	32.0066	30.4397	48.7769	78.0395	0	78.0395	105.992	105.992
5	0.162559	2.37786	-40.6765	Rilevato	0	32.0066	31.8029	50.9613	81.5343	0	81.5343	108.866	108.866
6	0.162559	2.81539	-38.8443	Rilevato	0	32.0066	33.1126	53.06	84.892	0	84.892	111.557	111.557
7	0.162559	3.22536	-37.0581	Rilevato	0	32.0066	34.3727	55.0791	88.1224	0	88.1224	114.079	114.079
8	0.162559	3.60973	-35.3132	Rilevato	0	32.0066	35.5863	57.0239	91.2343	0	91.2343	116.443	116.443
9	0.162559	3.97017	-33.6051	Rilevato	0	32.0066	25.1182	40.2497	64.3968	0	64.3968	81.0885	81.0885
10	0.162559	4.30825	-31.9303	Rilevato	0	32.0066	12.8363	20.569	32.9089	0	32.9089	40.9082	40.9082
11	0.162559	4.62509	-30.2855	Rilevato	0	32.0066	13.6152	21.8171	34.9057	0	34.9057	42.8572	42.8572
12	0.164731	4.98557	-28.6572	Ghiaia(6)	0	32.9362	14.7914	23.7019	36.5868	0	36.5868	44.6705	44.6705
13	0.17165	5.48956	-27.0098	Ghiaia(6)	0	32.9362	15.4051	24.6853	38.5339	0.429172	38.1048	46.3865	45.9574
14	0.17165	5.76953	-25.3528	Ghiaia(6)	0	32.9362	15.8652	25.4225	40.5	1.25728	39.2427	48.0173	46.76
15	0.17165	6.02928	-23.7182	Ghiaia(6)	0	32.9362	16.3084	26.1328	42.3653	2.02612	40.3392	49.5303	47.5042
16	0.17165	6.26958	-22.1038	Ghiaia(6)	0	32.9362	14.3219	22.9496	38.1634	2.73797	35.4254	43.98	41.2421
17	0.17165	6.49112	-20.5078	Ghiaia(6)	0	32.9362	12.0891	19.3717	33.2974	3.39483	29.9025	37.8192	34.4243
18	0.17165	6.69451	-18.9282	Ghiaia(6)	0	32.9362	12.429	19.9163	34.7416	3.99847	30.7432	39.0039	35.0054
19	0.17165	6.88027	-17.2635	Ghiaia(6)	0	32.9362	12.7541	20.4373	36.0979	4.55046	31.5475	40.0859	35.5354
20	0.17165	7.04887	-15.812	Ghiaia(6)	0	32.9362	13.0648	20.9351	37.368	5.05215	32.3159	41.0679	36.0158
21	0.17165	7.20072	-14.2723	Ghiaia(6)	0	32.9362	13.3611	21.4099	38.5535	5.50477	33.0488	41.9523	36.4476
22	0.17165	7.33618	-12.7431	Ghiaia(6)	0	32.9362	13.6432	21.862	39.6559	5.90935	33.7466	42.7413	36.832
23	0.17165	7.45557	-11.223	Ghiaia(6)	0	32.9362	13.9112	22.2914	40.6763	6.26681	34.4095	43.4366	37.1698
24	0.17165	7.55915	-9.71098	Ghiaia(6)	0	32.9362	14.1652	22.6985	41.6158	6.57796	35.0378	44.0399	37.4619
25	0.17165	7.64716	-8.20571	Ghiaia(6)	0	32.9362	14.4052	23.0831	42.475	6.84345	35.6316	44.5523	37.7089
26	0.17165	7.71979	-6.70614	Ghiaia(6)	0	32.9362	14.6314	23.4455	43.2548	7.06386	36.1909	44.9752	37.9113
27	0.17165	7.77718	-5.21116	Ghiaia(6)	0	32.9362	14.8436	23.7856	43.9555	7.23964	36.7159	45.3093	38.0697
28	0.17165	7.72561	-3.71974	Ghiaia(6)	0	32.9362	14.8265	23.7581	44.0447	7.37117	36.6735	45.0086	37.6375
29	0.17165	7.38446	-2.23084	Ghiaia(6)	0	32.9362	14.1542	22.6809	42.4695	7.4587	35.0108	43.0209	35.5622
30	0.17165	7.01067	-0.743446	Ghiaia(6)	0	32.9362	13.4087	21.4862	40.669	7.50243	33.1666	40.843	33.3406
31	0.17165	6.62197	0.743446	Ghiaia(6)	0	32.9362	12.6297	20.2379	38.7421	7.50243	31.2397	38.5782	31.0758
32	0.17165	6.21834	2.23084	Ghiaia(6)	0	32.9362	11.8165	18.9348	36.6869	7.4587	29.2282	36.2266	28.7679
33	0.17165	5.79977	3.71974	Ghiaia(6)	0	32.9362	10.9681	17.5754	34.501	7.37117	27.1298	33.7879	26.4167
34	0.17165	5.36619	5.21116	Ghiaia(6)	0	32.9362	10.0836	16.158	32.1815	7.23964	24.9418	31.2618	24.0222
35	0.17165	4.91751	6.70614	Ghiaia(6)	0	32.9362	9.16151	14.6805	29.7249	7.06386	22.6611	28.6477	21.5838
36	0.17165	4.4536	8.20571	Ghiaia(6)	0	32.9362	8.20052	13.1406	27.1276	6.84345	20.2841	25.945	19.1016
37	0.17165	3.97431	9.71098	Ghiaia(6)	0	32.9362	7.19897	11.5357	24.3847	6.57796	17.8067	23.1527	16.5747
38	0.17165	3.47944	11.223	Ghiaia(6)	0	32.9362	6.15487	9.86263	21.491	6.26681	15.2242	20.2697	14.0029
39	0.17165	2.96877	12.7431	Ghiaia(6)	0	32.9362	5.06608	8.11794	18.4404	5.90935	12.531	17.2947	11.3853
40	0.17165	2.45805	14.2723	Ghiaia(6)	0	32.9362	3.97214	6.36499	15.3299	5.50477	9.82513	14.3195	8.81469
41	0.17165	2.21249	15.812	Ghiaia(6)	0	32.9362	3.57789	5.73325	13.9021	5.05215	8.84995	12.8889	7.8367
42	0.17165	2.05315	17.3635	Ghiaia(6)	0	32.9362	3.42928	5.49511	13.0328	4.55046	8.48235	11.9605	7.41008
43	0.17165	1.87666	18.9282	Ghiaia(6)	0	32.9362	3.25442	5.21491	12.0483	3.99847	8.04987	10.9323	6.93384
44	0.17165	1.68253	20.5078	Ghiaia(6)	0	32.9362	3.05148	4.88973	10.9427	3.39483	7.54789	9.80134	6.40651
45	0.17165	1.47025	22.1038	Ghiaia(6)	0	32.9362	2.81839	4.51621	9.70926	2.73797	6.97129	8.56462	5.82665
46	0.17165	1.23921	23.7182	Ghiaia(6)	0	32.9362	2.55266	4.0904	8.34015	2.02612	6.31403	7.21864	5.19252
47	0.17165	0.988724	25.3528	Ghiaia(6)	0	32.9362	2.2514	3.60767	6.82613	1.25728	5.56885	5.75936	4.50208
48	0.17165	0.718015	27.0098	Ghiaia(6)	0	32.9362	1.9112	3.06253	5.15656	0.429172	4.72739	4.18235	3.75318
49	0.158756	0.405054	28.6275	Ghiaia(6)	0	32.9362	1.32332	2.1205	3.27324	0	3.27324	2.55092	2.55092
50	0.158756	0.137993	30.2063	Ghiaia(6)	0	32.9362	0.459475	0.736268	1.13652	0	1.13652	0.869031	0.869031

Global Minimum Query [janbu simplified] - Safety Factor: 1.36525

--



Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI10B0001B

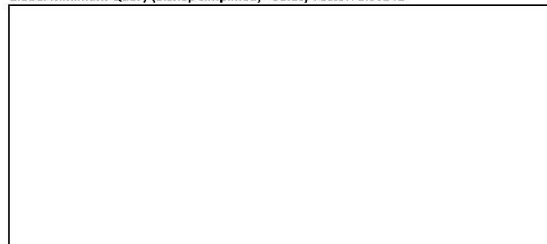
64 di 83



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	0.147416	0.445185	-64.0305	Rilevato	0	32.0066	22.9483	31.3302	50.1259	0	50.1259	97.2405	97.2405
2	0.147416	1.26944	-60.239	Rilevato	0	32.0066	26.1449	35.6943	57.1082	0	57.1082	102.832	102.832
3	0.147416	1.98025	-56.849	Rilevato	0	32.0066	28.9756	39.559	63.2917	0	63.2917	107.654	107.654
4	0.147416	2.60733	-53.7445	Rilevato	0	32.0066	31.5423	43.0631	68.8979	0	68.8979	111.908	111.908
5	0.147416	3.16868	-50.8558	Rilevato	0	32.0066	33.9057	46.2897	74.06	0	74.06	115.715	115.715
6	0.147416	3.67622	-48.1369	Rilevato	0	32.0066	36.1057	49.2933	78.8658	0	78.8658	119.159	119.159
7	0.147416	4.13835	-45.5556	Rilevato	0	32.0066	38.1703	52.112	83.3751	0	83.3751	122.293	122.293
8	0.0880437	2.67489	-43.569	Ghiaia(6)	0	32.9362	40.7371	55.6163	85.8505	0	85.8505	124.602	124.602
9	0.158832	5.17156	-41.5717	Ghiaia(6)	0	32.9362	30.7066	41.9222	65.4029	0.691006	64.7119	92.6384	91.9474
10	0.158832	5.58722	-39.0773	Ghiaia(6)	0	32.9362	16.2916	22.2421	36.348	2.01464	34.3333	49.5771	47.5624
11	0.158832	5.96788	-36.6684	Ghiaia(6)	0	32.9362	17.0923	23.3353	39.2481	3.22729	36.0208	51.9736	48.7463
12	0.158832	6.31679	-34.3328	Ghiaia(6)	0	32.9362	17.8578	24.3804	41.9736	4.33943	37.6342	54.1704	49.8309
13	0.158832	6.63664	-32.0607	Ghiaia(6)	0	32.9362	18.5914	25.3819	44.5395	5.35949	39.18	56.1841	50.8246
14	0.158832	6.92961	-29.8438	Ghiaia(6)	0	32.9362	19.2955	26.3432	46.9584	6.29443	40.664	58.0286	51.7342
15	0.158832	7.19753	-27.6751	Ghiaia(6)	0	32.9362	19.9725	27.2675	49.2407	7.14999	42.0907	59.7154	52.5654
16	0.158832	7.4419	-25.5488	Ghiaia(6)	0	32.9362	20.286	27.6954	50.6822	7.991	42.7512	60.3793	52.4483
17	0.158832	7.66401	-23.4595	Ghiaia(6)	0	32.9362	15.5862	21.2791	41.4883	8.6415	32.8468	48.2523	39.6108
18	0.158832	7.86496	-21.4029	Ghiaia(6)	0	32.9362	16.097	21.9764	43.2081	9.28496	33.9232	49.5174	40.2325
19	0.158832	8.04566	-19.3749	Ghiaia(6)	0	32.9362	16.5877	22.6464	44.8218	9.8643	34.9575	50.6551	40.7908
20	0.158832	8.2069	-17.3719	Ghiaia(6)	0	32.9362	17.0594	23.2903	46.3334	10.382	35.9514	51.6703	41.2883
21	0.158832	8.34935	-15.3905	Ghiaia(6)	0	32.9362	17.5125	23.9089	47.7465	10.8402	36.9063	52.5671	41.7269
22	0.158832	8.47357	-13.4279	Ghiaia(6)	0	32.9362	17.9478	24.5032	49.0642	11.2406	37.8236	53.3492	42.1086
23	0.158832	8.58005	-11.4812	Ghiaia(6)	0	32.9362	18.3657	25.0738	50.2893	11.5849	38.7044	54.0195	42.4346
24	0.158832	8.66917	-9.54789	Ghiaia(6)	0	32.9362	18.7669	25.6215	51.424	11.8742	39.5498	54.5807	42.7065
25	0.158832	8.74127	-7.62549	Ghiaia(6)	0	32.9362	19.1518	26.147	52.4705	12.1095	40.361	55.0346	42.9251
26	0.158832	8.79659	-5.7117	Ghiaia(6)	0	32.9362	19.5208	26.6508	53.4304	12.2917	41.1387	55.3829	43.0912
27	0.158832	8.83534	-3.80429	Ghiaia(6)	0	32.9362	19.8744	27.1335	54.3053	12.4215	41.8838	55.6269	43.2054
28	0.158832	8.85765	-1.90109	Ghiaia(6)	0	32.9362	20.2129	27.5957	55.0964	12.4991	42.5973	55.7673	43.2682
29	0.158832	8.84622	0	Ghiaia(6)	0	32.9362	20.4848	27.9669	55.6953	12.525	43.1703	55.6953	43.1703
30	0.158832	8.58068	1.90109	Ghiaia(6)	0	32.9362	20.0191	27.3311	54.688	12.4991	42.1889	54.0235	41.5244
31	0.158832	8.22334	3.80429	Ghiaia(6)	0	32.9362	19.2815	26.324	53.0558	12.4215	40.6343	51.7737	39.3522
32	0.158832	7.84956	5.7117	Ghiaia(6)	0	32.9362	18.4958	25.2514	51.2703	12.2917	38.9786	49.4204	37.1287
33	0.158832	7.45921	7.62549	Ghiaia(6)	0	32.9362	17.6602	24.1106	49.3271	12.1095	37.2176	46.9627	34.8532
34	0.158832	7.05208	9.54789	Ghiaia(6)	0	32.9362	16.7723	22.8984	47.2206	11.8742	35.3464	44.3995	32.5253
35	0.158832	6.62793	11.4812	Ghiaia(6)	0	32.9362	15.8293	21.611	44.9441	11.5849	33.3592	41.729	30.1441
36	0.158832	6.18642	13.4279	Ghiaia(6)	0	32.9362	14.8279	20.2438	42.4895	11.2406	31.2489	38.9493	27.7087
37	0.158832	5.72717	15.3905	Ghiaia(6)	0	32.9362	13.7639	18.7912	39.8466	10.8402	29.0064	36.0579	25.2177
38	0.158832	5.24969	17.3719	Ghiaia(6)	0	32.9362	12.6323	17.2462	37.0036	10.382	26.6216	33.0516	22.6696
39	0.158832	4.75342	19.3749	Ghiaia(6)	0	32.9362	11.4268	15.6005	33.9456	9.8643	24.0813	29.9272	20.0629
40	0.158832	4.23769	21.4029	Ghiaia(6)	0	32.9362	10.1402	13.8439	30.6546	9.28496	21.3697	26.6801	17.3952
41	0.158832	3.70171	23.4595	Ghiaia(6)	0	32.9362	8.76279	11.9634	27.1085	8.6415	18.467	23.3057	14.6642
42	0.158832	3.14457	25.5488	Ghiaia(6)	0	32.9362	7.28299	9.9431	23.2794	7.991	15.3484	19.7979	11.8669
43	0.158832	2.70662	27.6751	Ghiaia(6)	0	32.9362	6.24817	8.53031	20.3175	7.14999	13.1675	17.0406	9.89065
44	0.158832	2.44519	29.8438	Ghiaia(6)	0	32.9362	5.93354	8.10076	18.7989	6.29443	12.5045	15.3947	9.10032
45	0.158832	2.16015	32.0607	Ghiaia(6)	0	32.9362	5.56392	7.59614	17.0851	5.35949	11.7256	13.6001	8.24065
46	0.158832	1.84823	34.3328	Ghiaia(6)	0	32.9362	5.12264	6.99369	15.135	4.33943	10.7956	11.6363	7.29687
47	0.158832	1.50725	36.6684	Ghiaia(6)	0	32.9362	4.59471	6.27293	12.9103	3.22729	9.68302	9.48946	6.26217
48	0.158832	1.13452	39.0773	Ghiaia(6)	0	32.9362	3.95875	5.40468	10.3574	2.01464	8.34279	7.14285	5.12821
49	0.158832	0.726761	41.5717	Ghiaia(6)	0	32.9362	3.18287	4.34541	7.39867	0.691006	6.70766	4.57559	3.88459
50	0.173655	0.2808	44.2936	Ghiaia(6)	0	32.9362	1.42869	1.95052	3.01087	0	3.01087	1.61698	1.61698

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.60241





Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

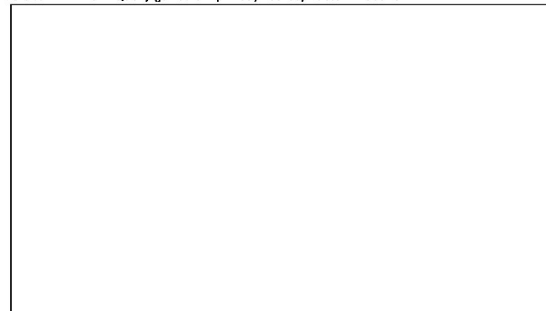
EI2RBRI10B0001B

65 di 83



Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	57.4135	51.8876	0	0	0
2	57.576	51.7032	7.99265	0	0
3	57.7386	51.5319	15.549	0	0
4	57.9012	51.3721	22.652	0	0
5	58.0637	51.2228	29.2876	0	0
6	58.2263	51.0831	35.4433	0	0
7	58.3888	50.9522	41.1083	0	0
8	58.5514	50.8294	46.2732	0	0
9	58.7139	50.7143	50.9294	0	0
10	58.8765	50.6063	53.7644	0	0
11	59.0391	50.505	55.0034	0	0
12	59.2016	50.41	56.0958	0	0
13	59.3664	50.32	56.945	0	0
14	59.538	50.2325	57.664	0	0
15	59.7097	50.1512	58.2264	0	0
16	59.8813	50.0758	58.6138	0	0
17	60.053	50.006	58.8123	0	0
18	60.2246	49.9418	58.8765	0	0
19	60.3963	49.883	58.7896	0	0
20	60.5679	49.8293	58.5393	0	0
21	60.7396	49.7807	58.1147	0	0
22	60.9112	49.737	57.5063	0	0
23	61.0829	49.6982	56.7055	0	0
24	61.2545	49.6642	55.7047	0	0
25	61.4262	49.6348	54.4973	0	0
26	61.5978	49.61	53.0777	0	0
27	61.7695	49.5898	51.441	0	0
28	61.9411	49.5742	49.583	0	0
29	62.1128	49.563	47.5313	0	0
30	62.2844	49.5563	45.3874	0	0
31	62.4561	49.5541	43.1779	0	0
32	62.6277	49.5563	40.9252	0	0
33	62.7994	49.563	38.653	0	0
34	62.971	49.5742	36.3866	0	0
35	63.1427	49.5898	34.1532	0	0
36	63.3143	49.61	31.9818	0	0
37	63.486	49.6348	29.9036	0	0
38	63.6576	49.6642	27.9525	0	0
39	63.8293	49.6982	26.1648	0	0
40	64.0009	49.737	24.58	0	0
41	64.1726	49.7807	23.2292	0	0
42	64.3442	49.8293	21.9397	0	0
43	64.5159	49.883	20.652	0	0
44	64.6875	49.9418	19.3846	0	0
45	64.8592	50.006	18.1586	0	0
46	65.0308	50.0758	16.9983	0	0
47	65.2025	50.1512	15.9314	0	0
48	65.3741	50.2325	14.9901	0	0
49	65.5458	50.32	14.211	0	0
50	65.7045	50.4067	13.7175	0	0
51	65.8633	50.4991	0	0	0

Global Minimum Query (Janbu simplified) - Safety Factor: 1.36525





Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	57.5892	51.8868	0	0	0
2	57.7366	51.5842	11.7255	0	0
3	57.884	51.3264	22.532	0	0
4	58.0314	51.1007	32.4827	0	0
5	58.1788	50.8997	41.6196	0	0
6	58.3262	50.7186	49.9719	0	0
7	58.4736	50.5541	57.5612	0	0
8	58.6211	50.4038	64.4035	0	0
9	58.7091	50.32	67.9697	0	0
10	58.8679	50.1791	72.2639	0	0
11	59.0268	50.0501	74.3549	0	0
12	59.1856	49.9319	76.2719	0	0
13	59.3444	49.8234	77.9795	0	0
14	59.5033	49.7239	79.4482	0	0
15	59.6621	49.6328	80.6532	0	0
16	59.8209	49.5495	81.5734	0	0
17	59.9798	49.4736	82.1906	0	0
18	60.1386	49.4046	82.5748	0	0
19	60.2974	49.3424	82.708	0	0
20	60.4563	49.2865	82.577	0	0
21	60.6151	49.2368	82.1697	0	0
22	60.7739	49.1931	81.4757	0	0
23	60.9328	49.1552	80.4857	0	0
24	61.0916	49.1229	79.191	0	0
25	61.2504	49.0962	77.5841	0	0
26	61.4093	49.075	75.658	0	0
27	61.5681	49.0591	73.4063	0	0
28	61.7269	49.0485	70.8232	0	0
29	61.8858	49.0432	67.9033	0	0
30	62.0446	49.0432	64.6497	0	0
31	62.2034	49.0485	61.1817	0	0
32	62.3623	49.0591	57.5589	0	0
33	62.5211	49.075	53.8067	0	0
34	62.6799	49.0962	49.9528	0	0
35	62.8387	49.1229	46.0273	0	0
36	62.9976	49.1552	42.0632	0	0
37	63.1564	49.1931	38.0969	0	0
38	63.3152	49.2368	34.1686	0	0
39	63.4741	49.2865	30.3235	0	0
40	63.6329	49.3424	26.6125	0	0
41	63.7917	49.4046	23.0936	0	0
42	63.9506	49.4736	19.8332	0	0
43	64.1094	49.5495	16.909	0	0
44	64.2682	49.6328	14.2241	0	0
45	64.4271	49.7239	11.5686	0	0
46	64.5859	49.8234	8.98521	0	0
47	64.7447	49.9319	6.52971	0	0
48	64.9036	50.0501	4.27324	0	0
49	65.0624	50.1791	2.30862	0	0
50	65.2212	50.32	0.760778	0	0
51	65.3949	50.4894	0	0	0

### List Of Coordinates

#### Water Table

X	Y
26.939	50.32
74.869	50.32

#### Distributed Load

X	Y
53.8	51.9029
51	51.911

Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI10B0001B

Foglio

67 di 83

**Distributed Load**

X	Y
58.8	51.8814
56	51.894

**Distributed Load**

X	Y
59.9701	51.8766
58.8	51.8814
56	51.894
53.8	51.9029
51	51.911
50.0237	51.9163

**Distributed Load**

X	Y
40.8	52.0042
38	52.0133

**Distributed Load**

X	Y
46.8	51.9835
44	51.9922

**External Boundary**

X	Y
26.939	30.288
74.869	30.288
74.869	31.32
74.869	33.32
74.869	34.32
74.869	36.32
74.869	50.32
74.869	50.8
67.473	50.5323
64.124	50.4632
61.9931	51.8683
58.8	51.8814
56	51.894
53.8	51.9029
51	51.911
49.6707	51.9183
49.4915	51.9762
46.8	51.9835
44	51.9922
40.8	52.0042
38	52.0133
35.9717	52.0197
33.8723	50.6096
31.2881	50.6256
26.939	50.82
26.939	50.32
26.939	36.32
26.939	34.32
26.939	33.32
26.939	31.32

**Material Boundary**

X	Y
49.6707	51.9183
55.249	50.3673
64.124	50.4632



Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI10B0001B

Foglio

68 di 83



SLIDEINTERPRET 7.020

**Material Boundary**

X	Y
26.939	50.32
32.1265	50.32
66.2336	50.32
74.869	50.32

**Material Boundary**

X	Y
26.939	36.32
74.869	36.32

**Material Boundary**

X	Y
26.939	34.32
74.869	34.32

**Material Boundary**

X	Y
26.939	33.32
74.869	33.32

**Material Boundary**

X	Y
26.939	31.32
74.869	31.32

**Material Boundary**

X	Y
33.8723	50.6096
55.249	50.3673

**Material Boundary**

X	Y
31.2881	50.6256
32.1265	50.32

**Material Boundary**

X	Y
66.2336	50.32
67.473	50.5323



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI10B0001B	69 di 83

#### **ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICO**

## Slide Analysis Information

### ri10a

#### Project Summary

File Name: Ri10a\_sisma\_01  
Slide Modeler Version: 7.038  
Project Title: ri10a  
Date Created: 26/02/2021, 16:47:17

#### 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  
Janbu simplified

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

#### Groundwater Analysis

Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI10B0001B

Foglio

71 di 83

SLIDENTERPRET 7.0.00



ri10a: Page 2 of 9

Groundwater Method: Water Surfaces  
Pore Fluid Unit Weight [kN/m<sup>3</sup>]: 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  
Arcs 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  
Minimum Area: Not Defined  
Minimum Weight: Not Defined

### Seismic

Advanced seismic analysis: No  
Staged pseudostatic analysis: No

### Loading

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

5 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

Distribution: Constant  
Magnitude [kPa]: 12.3  
Orientation: 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]: 14.4  
Orientation: Normal to boundary  
Load Action: Dead






#### Distributed Load 4

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

#### Distributed Load 5

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

**Material Properties**

Property	Rilevato	Ghiaia(6)	Limo arg (2)	Sabbia (4)	Sabbia prof (4)
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	20	19.5	20	19.5	19.5
Cohesion [kPa]	0	0		0	0
Friction Angle [deg]	38	39		37	39
Cohesion Type			80		
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	0	1	1

**Global Minimums****Method: bishop simplified**

FS	1.295480
Center:	63.793, 53.875
Radius:	3.510
Left Slip Surface Endpoint:	60.909, 51.873
Right Slip Surface Endpoint:	64.663, 50.474
Resisting Moment:	81.0334 kN-m
Driving Moment:	62.5509 kN-m
Total Slice Area:	2.0655 m <sup>2</sup>
Surface Horizontal Width:	3.75315 m
Surface Average Height:	0.550336 m

**Method: janbu simplified**

FS	1.142200
Center:	63.596, 52.692
Radius:	2.410
Left Slip Surface Endpoint:	61.330, 51.871
Right Slip Surface Endpoint:	64.533, 50.472
Resisting Horizontal Force:	19.2623 kN
Driving Horizontal Force:	16.8642 kN
Total Slice Area:	1.97364 m <sup>2</sup>
Surface Horizontal Width:	3.20302 m
Surface Average Height:	0.616182 m

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

Number of Valid Surfaces:	1473
Number of Invalid Surfaces:	0

**Method: janbu simplified**

Number of Valid Surfaces:	1440
Number of Invalid Surfaces:	33

**Error Codes:**

Error Code -112 reported for 33 surfaces:

**Error Codes**

The following errors were encountered during the computation:

-112 = The coefficient  $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha) \cdot (1 + \tan(\alpha) \cdot \tan(\phi)) / F < 0.2$  for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.

**Slice Data**

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.29548



Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI10B0001B

Foglio  
73 di 83

SLIDENETPREP7.0.00



ri10a: Page 4 of 9

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	0.0753227	0.0783382	-54.1675	Rilevato	0	32.0066	0.28747	0.372412	0.595832	0	0.595832	0.993943	0.993943
2	0.0753227	0.229366	-52.1164	Rilevato	0	32.0066	0.866613	1.12268	1.7962	0	1.7962	2.91007	2.91007
3	0.0753227	0.369812	-50.1559	Rilevato	0	32.0066	1.43436	1.85818	2.97295	0	2.97295	4.69183	4.69183
4	0.0753227	0.500952	-48.2729	Rilevato	0	32.0066	1.98982	2.57777	4.12424	0	4.12424	6.35544	6.35544
5	0.0753227	0.6238	-46.457	Rilevato	0	32.0066	2.53251	3.28082	5.24907	0	5.24907	7.91377	7.91377
6	0.0753227	0.739175	-44.6999	Rilevato	0	32.0066	3.0622	3.96702	6.34694	0	6.34694	9.37723	9.37723
7	0.0753227	0.847749	-42.9947	Rilevato	0	32.0066	3.5788	4.63627	7.4177	0	7.4177	10.7544	10.7544
8	0.0753227	0.950085	-41.3356	Rilevato	0	32.0066	4.08236	5.28861	8.46139	0	8.46139	12.0523	12.0523
9	0.0753227	1.04666	-39.7178	Rilevato	0	32.0066	4.57293	5.92414	9.47819	0	9.47819	13.2771	13.2771
10	0.0753227	1.13787	-38.1371	Rilevato	0	32.0066	5.05065	6.54302	10.4683	0	10.4683	14.4338	14.4338
11	0.0753227	1.22407	-36.59	Rilevato	0	32.0066	5.51567	7.14544	11.4322	0	11.4322	15.527	15.527
12	0.0753227	1.30556	-35.0733	Rilevato	0	32.0066	5.96814	7.7316	12.37	0	12.37	16.5603	16.5603
13	0.0753227	1.3826	-33.5844	Rilevato	0	32.0066	6.40821	8.30171	13.2821	0	13.2821	17.5372	17.5372
14	0.0753227	1.45542	-32.1207	Rilevato	0	32.0066	6.83606	8.85598	14.1689	0	14.1689	18.4606	18.4606
15	0.0753227	1.51022	-30.6802	Rilevato	0	32.0066	7.18514	9.30821	14.8924	0	14.8924	19.1553	19.1553
16	0.0753227	1.50638	-29.2608	Rilevato	0	32.0066	7.25664	9.40083	15.0407	0	15.0407	19.1064	19.1064
17	0.0753227	1.49334	-27.8609	Rilevato	0	32.0066	7.28129	9.43277	15.0917	0	15.0917	18.9406	18.9406
18	0.0753227	1.47678	-26.4789	Rilevato	0	32.0066	7.28576	9.43855	15.101	0	15.101	18.7302	18.7302
19	0.0753227	1.45681	-25.1133	Rilevato	0	32.0066	7.2703	9.41853	15.069	0	15.069	18.4767	18.4767
20	0.0753227	1.43357	-23.7628	Rilevato	0	32.0066	7.23514	9.37298	14.9961	0	14.9961	18.1816	18.1816
21	0.0753227	1.40714	-22.4262	Rilevato	0	32.0066	7.18044	9.30212	14.8827	0	14.8827	17.8461	17.8461
22	0.0753227	1.37763	-21.1023	Rilevato	0	32.0066	7.10635	9.20614	14.7292	0	14.7292	17.4716	17.4716
23	0.0753227	1.34512	-19.7901	Rilevato	0	32.0066	7.01296	9.08515	14.5356	0	14.5356	17.059	17.059
24	0.0753227	1.30969	-18.4887	Rilevato	0	32.0066	6.90031	8.93922	14.3021	0	14.3021	16.6094	16.6094
25	0.0753227	1.2714	-17.1971	Rilevato	0	32.0066	6.76844	8.76838	14.0288	0	14.0288	16.1236	16.1236
26	0.0753227	1.23032	-15.9144	Rilevato	0	32.0066	6.61732	8.57261	13.7156	0	13.7156	15.6024	15.6024
27	0.0753227	1.1865	-14.6399	Rilevato	0	32.0066	6.44689	8.35182	13.3623	0	13.3623	15.0464	15.0464
28	0.0753227	1.13999	-13.3728	Rilevato	0	32.0066	6.25706	8.1059	12.9688	0	12.9688	14.4563	14.4563
29	0.0747326	1.08218	-12.1172	Ghiaia(6)	0	32.9362	6.24605	8.09163	12.4904	0	12.4904	13.8314	13.8314
30	0.0747326	1.03065	-10.8724	Ghiaia(6)	0	32.9362	6.00993	7.78575	12.0182	0	12.0182	13.1726	13.1726
31	0.0747326	0.976666	-9.63275	Ghiaia(6)	0	32.9362	5.75372	7.45383	11.5059	0	11.5059	12.4825	12.4825
32	0.0747326	0.920267	-8.39767	Ghiaia(6)	0	32.9362	5.47717	7.09556	10.9529	0	10.9529	11.7614	11.7614
33	0.0747326	0.861471	-7.1665	Ghiaia(6)	0	32.9362	5.17995	6.71052	10.3585	0	10.3585	11.0098	11.0098
34	0.0747326	0.800301	-5.93865	Ghiaia(6)	0	32.9362	4.86173	6.29827	9.72213	0	9.72213	10.2279	10.2279
35	0.0747326	0.736775	-4.71353	Ghiaia(6)	0	32.9362	4.52209	5.85828	9.04297	0	9.04297	9.41583	9.41583
36	0.0747326	0.670905	-3.49057	Ghiaia(6)	0	32.9362	4.1606	5.38998	8.32009	0	8.32009	8.57388	8.57388
37	0.0747326	0.602704	-2.26921	Ghiaia(6)	0	32.9362	3.77675	4.89271	7.5525	0	7.5525	7.70216	7.70216
38	0.0747326	0.532178	-1.04887	Ghiaia(6)	0	32.9362	3.36998	4.36574	6.73906	0	6.73906	6.80076	6.80076
39	0.0747326	0.459332	0.170991	Ghiaia(6)	0	32.9362	2.93965	3.80826	5.8785	0	5.8785	5.86973	5.86973
40	0.0747326	0.384166	1.39093	Ghiaia(6)	0	32.9362	2.48506	3.21934	4.96944	0	4.96944	4.9091	4.9091
41	0.0747326	0.30668	2.6115	Ghiaia(6)	0	32.9362	2.00543	2.598	4.01033	0	4.01033	3.91886	3.91886
42	0.0747326	0.226867	3.83326	Ghiaia(6)	0	32.9362	1.49992	1.94311	2.99942	0	2.99942	2.89892	2.89892
43	0.0747326	0.146355	5.05676	Ghiaia(6)	0	32.9362	0.978479	1.2676	1.95669	0	1.95669	1.87011	1.87011
44	0.0747326	0.113951	6.28259	Ghiaia(6)	0	32.9362	0.770528	0.998204	1.54084	0	1.54084	1.45601	1.45601
45	0.0747326	0.103021	7.51131	Ghiaia(6)	0	32.9362	0.704718	0.912948	1.40924	0	1.40924	1.31632	1.31632
46	0.0747326	0.0897106	8.74951	Ghiaia(6)	0	32.9362	0.62095	0.804428	1.24173	0	1.24173	1.14623	1.14623
47	0.0747326	0.0739983	9.97981	Ghiaia(6)	0	32.9362	0.518407	0.671586	1.03667	0	1.03667	0.945454	0.945454
48	0.0747326	0.0550503	11.2200	Ghiaia(6)	0	32.9362	0.396105	0.51325	0.792262	0	0.792262	0.713666	0.713666
49	0.0747326	0.0352608	12.4672	Ghiaia(6)	0	32.9362	0.25328	0.328119	0.506492	0	0.506492	0.450494	0.450494
50	0.0747326	0.0121718	13.7196	Ghiaia(6)	0	32.9362	0.0885764	0.114749	0.177129	0	0.177129	0.155504	0.155504

Global Minimum Query (Janbu simplified) - Safety Factor: 1.1422



Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI10B0001B

Foglio  
74 di 83

SLIDINTERPRET 7.0.00

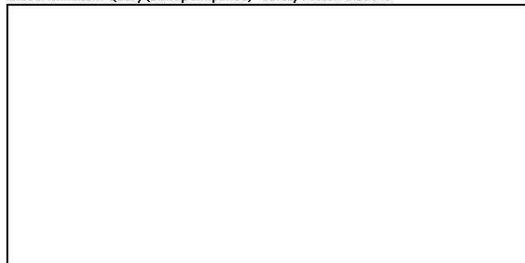


ri10a: Page 5 of 9

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	0.0630437	0.0985701	-68.0728	Rilevato	0	32.0066	0.346333	0.395582	0.632902	0	0.632902	1.49325	1.49325
2	0.0630437	0.279691	-64.3352	Rilevato	0	32.0066	1.08405	1.2382	1.98103	0	1.98103	4.23706	4.23706
3	0.0630437	0.433946	-61.0561	Rilevato	0	32.0066	1.80816	2.06528	3.30431	0	3.30431	6.57386	6.57386
4	0.0630437	0.569315	-58.0897	Rilevato	0	32.0066	2.51199	2.86919	4.59049	0	4.59049	8.62454	8.62454
5	0.0630437	0.69033	-55.3536	Rilevato	0	32.0066	3.19369	3.64783	5.83626	0	5.83626	10.4578	10.4578
6	0.0630437	0.799872	-52.796	Rilevato	0	32.0066	3.85321	4.40114	7.0415	0	7.0415	12.1172	12.1172
7	0.0630437	0.899912	-50.3813	Rilevato	0	32.0066	4.49118	5.12983	8.20735	0	8.20735	13.6327	13.6327
8	0.0630437	0.991869	-48.0843	Rilevato	0	32.0066	5.10844	5.83486	9.33536	0	9.33536	15.0257	15.0257
9	0.0630437	1.07681	-45.8858	Rilevato	0	32.0066	5.70599	6.51731	10.4272	0	10.4272	16.3124	16.3124
10	0.0630437	1.15555	-43.7714	Rilevato	0	32.0066	6.28452	7.17818	11.4845	0	11.4845	17.5051	17.5051
11	0.0630437	1.22261	-41.7295	Rilevato	0	32.0066	6.81089	7.7794	12.4465	0	12.4465	18.521	18.521
12	0.0630437	1.2456	-39.7506	Rilevato	0	32.0066	7.09598	8.10503	12.9675	0	12.9675	18.8693	18.8693
13	0.0630437	1.2571	-37.8271	Rilevato	0	32.0066	7.31352	8.3535	13.365	0	13.365	19.0435	19.0435
14	0.0630437	1.26437	-35.9526	Rilevato	0	32.0066	7.50323	8.57019	13.7117	0	13.7117	19.1536	19.1536
15	0.0630437	1.26772	-34.1216	Rilevato	0	32.0066	7.66625	8.75639	14.0096	0	14.0096	19.2042	19.2042
16	0.0630437	1.26739	-32.3295	Rilevato	0	32.0066	7.80353	8.91319	14.2605	0	14.2605	19.1993	19.1993
17	0.0630437	1.26361	-30.5722	Rilevato	0	32.0066	7.91586	9.0415	14.4658	0	14.4658	19.142	19.142
18	0.0648591	1.25657	-28.8463	Rilevato	0	32.0066	8.00392	9.14208	14.6267	0	14.6267	19.0353	19.0353
19	0.0630437	1.24643	-27.1486	Rilevato	0	32.0066	8.06828	9.21559	14.7442	0	14.7442	18.8816	18.8816
20	0.0630437	1.23334	-25.4763	Rilevato	0	32.0066	8.10939	9.26255	14.8194	0	14.8194	18.6933	18.6933
21	0.0630437	1.21741	-23.827	Rilevato	0	32.0066	8.12763	9.28338	14.8527	0	14.8527	18.442	18.442
22	0.0630437	1.19877	-22.1984	Rilevato	0	32.0066	8.1233	9.27843	14.8448	0	14.8448	18.1596	18.1596
23	0.0648591	1.21065	-20.5655	Ghiaia(6)	0	32.9362	8.3366	9.52207	14.6985	0	14.6985	17.8263	17.8263
24	0.0648591	1.18461	-18.927	Ghiaia(6)	0	32.9362	8.2823	9.46004	14.6028	0	14.6028	17.4428	17.4428
25	0.0648591	1.15595	-17.3045	Ghiaia(6)	0	32.9362	8.20407	9.37069	14.4648	0	14.4648	17.0208	17.0208
26	0.0648591	1.12476	-15.6961	Ghiaia(6)	0	32.9362	8.10193	9.25402	14.2847	0	14.2847	16.5615	16.5615
27	0.0648591	1.09109	-14.1004	Ghiaia(6)	0	32.9362	7.97576	9.10991	14.0623	0	14.0623	16.0657	16.0657
28	0.0648591	1.055	-12.5157	Ghiaia(6)	0	32.9362	7.8254	8.93817	13.7971	0	13.7971	15.5342	15.5342
29	0.0648591	1.01654	-10.9408	Ghiaia(6)	0	32.9362	7.6506	8.73851	13.4889	0	13.4889	14.9679	14.9679
30	0.0648591	0.975739	-9.37411	Ghiaia(6)	0	32.9362	7.45102	8.51055	13.1371	0	13.1371	14.3671	14.3671
31	0.0648591	0.932641	-7.81451	Ghiaia(6)	0	32.9362	7.22625	8.25382	12.7408	0	12.7408	13.7325	13.7325
32	0.0648591	0.887272	-6.26072	Ghiaia(6)	0	32.9362	6.97577	7.96773	12.2992	0	12.2992	13.0645	13.0645
33	0.0648591	0.839654	-4.71154	Ghiaia(6)	0	32.9362	6.69901	7.65161	11.8112	0	11.8112	12.3633	12.3633
34	0.0648591	0.789805	-3.16582	Ghiaia(6)	0	32.9362	6.39522	7.30462	11.2756	0	11.2756	11.6293	11.6293
35	0.0648591	0.737737	-1.62239	Ghiaia(6)	0	32.9362	6.0636	6.92584	10.6909	0	10.6909	10.8626	10.8626
36	0.0648591	0.683459	0.0801462	Ghiaia(6)	0	32.9362	5.70318	6.51417	10.0554	0	10.0554	10.0634	10.0634
37	0.0648591	0.626971	1.46204	Ghiaia(6)	0	32.9362	5.31287	6.06836	9.36724	0	9.36724	9.23164	9.23164
38	0.0648591	0.568273	3.00529	Ghiaia(6)	0	32.9362	4.8914	5.58696	8.62414	0	8.62414	8.36734	8.36734
39	0.0648591	0.507358	4.55073	Ghiaia(6)	0	32.9362	4.43734	5.06833	7.82359	0	7.82359	7.47041	7.47041
40	0.0648591	0.444212	6.09949	Ghiaia(6)	0	32.9362	3.94903	4.51058	6.96263	0	6.96263	6.54063	6.54063
41	0.0648591	0.378821	7.65274	Ghiaia(6)	0	32.9362	3.42457	3.91154	6.03793	0	6.03793	5.57778	5.57778
42	0.0648591	0.31116	9.21168	Ghiaia(6)	0	32.9362	2.86176	3.2687	5.04565	0	5.04565	4.58155	4.58155
43	0.0648591	0.241203	10.7775	Ghiaia(6)	0	32.9362	2.25811	2.57921	3.98132	0	3.98132	3.55148	3.55148
44	0.0648591	0.171653	12.3516	Ghiaia(6)	0	32.9362	1.63678	1.86953	2.88584	0	2.88584	2.52742	2.52742
45	0.0648591	0.140547	13.9352	Ghiaia(6)	0	32.9362	1.36595	1.56019	2.40833	0	2.40833	2.0694	2.0694
46	0.0648591	0.120663	15.5297	Ghiaia(6)	0	32.9362	1.19619	1.36629	2.10904	0	2.10904	1.77664	1.77664
47	0.0648591	0.0983095	17.1367	Ghiaia(6)	0	32.9362	0.994992	1.13648	1.75429	0	1.75429	1.4475	1.4475
48	0.0648591	0.0734243	18.7577	Ghiaia(6)	0	32.9362	0.759447	0.86744	1.339	0	1.339	1.08109	1.08109
49	0.0648591	0.045937	20.3944	Ghiaia(6)	0	32.9362	0.486127	0.555254	0.857102	0	0.857102	0.676367	0.676367
50	0.0648591	0.0157666	22.0488	Ghiaia(6)	0	32.9362	0.170932	0.195239	0.301375	0	0.301375	0.232145	0.232145

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.29548







Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI10B0001B

75 di 83

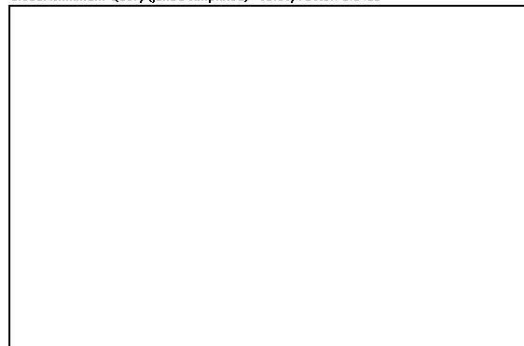
SLIDINTERPRET 7.0.30



ri10a: Page 6 of 9

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	60.9095	51.8727	0	0	0
2	60.9848	51.7684	0.0475105	0	0
3	61.0601	51.6716	0.176661	0	0
4	61.1354	51.5813	0.370077	0	0
5	61.2108	51.4969	0.613383	0	0
6	61.2861	51.4176	0.894497	0	0
7	61.3614	51.3431	1.20313	0	0
8	61.4367	51.2729	1.53041	0	0
9	61.5121	51.2066	1.86864	0	0
10	61.5874	51.144	2.21104	0	0
11	61.6627	51.0849	2.55165	0	0
12	61.738	51.029	2.88516	0	0
13	61.8133	50.9761	3.20681	0	0
14	61.8887	50.9261	3.51234	0	0
15	61.964	50.8788	3.79789	0	0
16	62.0393	50.8341	4.05758	0	0
17	62.1146	50.7919	4.28076	0	0
18	62.19	50.7521	4.46709	0	0
19	62.2653	50.7146	4.6173	0	0
20	62.3406	50.6793	4.73233	0	0
21	62.4159	50.6461	4.81323	0	0
22	62.4912	50.615	4.86122	0	0
23	62.5666	50.5859	4.87766	0	0
24	62.6419	50.5588	4.86405	0	0
25	62.7172	50.5337	4.822	0	0
26	62.7925	50.5103	4.75328	0	0
27	62.8679	50.4889	4.6598	0	0
28	62.9432	50.4692	4.54359	0	0
29	63.0185	50.4513	4.40682	0	0
30	63.0932	50.4352	4.23758	0	0
31	63.168	50.4209	4.05348	0	0
32	63.2427	50.4082	3.85712	0	0
33	63.3174	50.3972	3.65127	0	0
34	63.3922	50.3878	3.43885	0	0
35	63.4669	50.38	3.22297	0	0
36	63.5416	50.3738	3.00692	0	0
37	63.6164	50.3693	2.79418	0	0
38	63.6911	50.3663	2.58844	0	0
39	63.7658	50.3649	2.39363	0	0
40	63.8406	50.3652	2.2139	0	0
41	63.9153	50.367	2.05369	0	0
42	63.99	50.3704	1.91771	0	0
43	64.0648	50.3754	1.81099	0	0
44	64.1395	50.382	1.73808	0	0
45	64.2142	50.3902	1.67807	0	0
46	64.289	50.4001	1.62078	0	0
47	64.3637	50.4116	1.56817	0	0
48	64.4384	50.4247	1.52245	0	0
49	64.5132	50.4396	1.48612	0	0
50	64.5879	50.4561	1.46199	0	0
51	64.6626	50.4743	0	0	0

Global Minimum Query (Janbu simplified) - Safety Factor: 1.1422





Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI10B0001B

Foglio

76 di 83

SLIDENTERPRET 7.0.30



ri10a: Page 7 of 9

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	61.3302	51.871	0	0	0
2	61.3932	51.7144	0.0860604	0	0
3	61.4563	51.5832	0.302531	0	0
4	61.5193	51.4692	0.603851	0	0
5	61.5824	51.368	0.960928	0	0
6	61.6454	51.2767	1.35348	0	0
7	61.7084	51.1937	1.76654	0	0
8	61.7715	51.1175	2.18856	0	0
9	61.8345	51.0473	2.61038	0	0
10	61.8976	50.9823	3.02455	0	0
11	61.9606	50.9219	3.42487	0	0
12	62.0237	50.8657	3.80418	0	0
13	62.0867	50.8132	4.14766	0	0
14	62.1498	50.7643	4.45273	0	0
15	62.2128	50.7185	4.71924	0	0
16	62.2758	50.6758	4.94727	0	0
17	62.3389	50.6359	5.13715	0	0
18	62.4019	50.5987	5.28936	0	0
19	62.465	50.564	5.40457	0	0
20	62.528	50.5316	5.48356	0	0
21	62.5911	50.5016	5.52728	0	0
22	62.6541	50.4738	5.5368	0	0
23	62.7171	50.448	5.51332	0	0
24	62.782	50.4237	5.4381	0	0
25	62.8469	50.4015	5.33117	0	0
26	62.9117	50.3812	5.19429	0	0
27	62.9766	50.363	5.02932	0	0
28	63.0414	50.3467	4.83828	0	0
29	63.1063	50.3323	4.62333	0	0
30	63.1712	50.3198	4.38676	0	0
31	63.236	50.3091	4.13105	0	0
32	63.3009	50.3002	3.85883	0	0
33	63.3657	50.2931	3.57291	0	0
34	63.4306	50.2877	3.27633	0	0
35	63.4955	50.2841	2.97233	0	0
36	63.5603	50.2823	2.66439	0	0
37	63.6252	50.2822	2.35627	0	0
38	63.69	50.2839	2.05201	0	0
39	63.7549	50.2873	1.756	0	0
40	63.8198	50.2924	1.473	0	0
41	63.8846	50.2994	1.20817	0	0
42	63.9495	50.3081	0.967175	0	0
43	64.0143	50.3186	0.756204	0	0
44	64.0792	50.3309	0.582073	0	0
45	64.144	50.3451	0.450215	0	0
46	64.2089	50.3612	0.335381	0	0
47	64.2738	50.3793	0.230532	0	0
48	64.3386	50.3993	0.13967	0	0
49	64.4035	50.4213	0.06746	0	0
50	64.4683	50.4454	0.019354	0	0
51	64.5332	50.4717	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
14.474	47
79.595	47

Distributed Load

X	Y
53.8	51.9029
51	51.911

Distributed Load

X	Y





Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI10B0001B

Foglio

77 di 83

SLIDENTERPRET 7.0.30



X	Y
58.8	51.8814
56	51.894

**Distributed Load**

X	Y
59.9701	51.8766
58.8	51.8814
56	51.894
53.8	51.9029
51	51.911
50.0237	51.9163

**Distributed Load**

X	Y
40.8	52.0042
38	52.0133

**Distributed Load**

X	Y
46.8	51.9835
44	51.9922

**External Boundary**

X	Y
14.474	15
79.595	15
79.595	31.32
79.595	33.32
79.595	34.32
79.595	36.32
79.595	50.32
79.595	51.2051
67.473	50.5323
64.124	50.4632
61.9931	51.8683
58.8	51.8814
56	51.894
53.8	51.9029
51	51.911
49.6707	51.9183
49.4915	51.9762
46.8	51.9835
44	51.9922
40.8	52.0042
38	52.0133
35.9717	52.0197
33.8723	50.6096
31.2881	50.6256
14.474	50.82
14.474	50.32
14.474	36.32
14.474	34.32
14.474	33.32
14.474	31.32

**Material Boundary**

X	Y
49.6707	51.9183
55.249	50.3673
64.124	50.4632

**Material Boundary**





Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI10B0001B

Foglio

78 di 83

SLIDENTERPRET 7.0.30



X	Y
14.474	50.32
32.1265	50.32
66.2336	50.32
79.595	50.32

**Material Boundary**

X	Y
14.474	36.32
79.595	36.32

**Material Boundary**

X	Y
14.474	34.32
79.595	34.32

**Material Boundary**

X	Y
14.474	33.32
79.595	33.32

**Material Boundary**

X	Y
14.474	31.32
79.595	31.32

**Material Boundary**

X	Y
33.8723	50.6096
55.249	50.3673

**Material Boundary**

X	Y
31.2881	50.6256
32.1265	50.32

**Material Boundary**

X	Y
66.2336	50.32
67.473	50.5323

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI10B0001B	79 di 83

**ALLEGATO 5 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE**

## Settle3D Analysis Information

### Project Settings

Document Name: Ri10\_01  
Date Created: 01/03/2021, 16:21:48  
Stress Computation Method: Boussinesq  
Groundwater method: Water Table  
Water Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>  
Depth to water table: 0.2 [m]

### Stage Settings

Stage #	Name
1	Stage 1
2	Stage 2
3	Stage 3

### Results

Time taken to compute: 21.0036 seconds

#### Stage: Stage 1

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	0	0.995128
Consolidation Settlement [cm]	0	0
Immediate Settlement [cm]	0	0.995128
Loading Stress [kPa]	0	51.244
Effective Stress [kPa]	-0	261.067
Total Stress [kPa]	0	553.405
Total Strain	-0	0.000825673
Pore Water Pressure [kPa]	0	292.338
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.195	260.981
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	1.07451
Consolidation Settlement [cm]	0	0
Immediate Settlement [cm]	0	1.07451
Loading Stress [kPa]	0	51.5156
Effective Stress [kPa]	-0	265.87

Total Stress [kPa]	0	558.208
Total Strain	-5.96602e-005	0.00093338
Pore Water Pressure [kPa]	0	292.338
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.195	265.785
Over-consolidation Ratio	1	2.09633
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0

**Stage: Stage 3**

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	0	1.32248
Consolidation Settlement [cm]	0	0
Immediate Settlement [cm]	0	1.32248
Loading Stress [kPa]	0	62.6066
Effective Stress [kPa]	-0	268.623
Total Stress [kPa]	0	560.961
Total Strain	-5.8861e-005	0.00109314
Pore Water Pressure [kPa]	0	292.338
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.195	268.539
Over-consolidation Ratio	1	2.09633
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0

**Loads****1. Rectangular Load**

Length: 12.6 m  
 Width: 200 m  
 Rotation angle: 0 degrees  
 Load Type: Flexible  
 Area of Load: 2520 m<sup>2</sup>  
 Load: 11.42 kPa  
 Depth: 0 m  
 Installation Stage: Stage 3

**Coordinates**

X [m]	Y [m]
4.87965	-100
17.4796	-100
17.4796	100
4.87965	100

**Embankments****1. Embankment**

Center Line: (0, -100) to (0, 100)  
 Number of Layers: 1

Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI10B0001B

Foglio

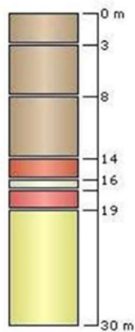
82 di 83

Near End Angle: 90 degrees  
Far End Angle: 90 degrees  
Base Width: 22








Layer	Stage	Left Bench Width (m)	Left Angle (deg)	Height (m)	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Right Angle (deg)	Right Bench Width (m)
1	Stage 1	0	34	1.7	20	34	0

### Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	Ghiaia (6)	3	0
2	ghiaia2(6)	5	3
3	ghiaia3(6)	6	8
4	arg sup (2)	2	14
5	Sabbia (4)	1	16
6	arg prof (2)	2	17
7	sabbia prof (4)	11	19



### Soil Properties

Property	Ghiaia (6)	arg sup (2)	Sabbia (4)	arg prof (2)	sabbia prof (4)	ghiaia2(6)	ghiaia3(6)
Color							
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	19.5	20	19.5	20	19.5	19.5	18
Saturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	18	18	18	18	18	18	18
Immediate Settlement	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled
Es [kPa]	62000	30000	130000	30000	150000	62000	104000
Es bottom [kPa]						104000	
Esur [kPa]	10000	10000	10000	10000	10000	10000	10000
Esur bottom [kPa]						10000	

### Query Points



Rilevato ferroviario L.S. dal 154+423,10 al km 154+719,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI10B0001B

Foglio

83 di 83

Point #	(X,Y) Location	Number of Divisions
1	-8.48575, 0	Auto: 69
2	-10.996, -0.0112854	Auto: 69
3	-3, 0	Auto: 69
4	0.6, 0	Auto: 69

### Query Lines

Line #	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	-24.9514, -0.0112854	25.0486, -0.0112854	50	Auto: 69

### Field Point Grid

Number of points: 608

Expansion Factor: 2

#### Grid Coordinates

X [m]	Y [m]
120	200
120	-200
-111	-200
-111	200