

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 da pk 18+203,00 a pk 18+604,94

GENERALE

Relazione Geotecnica

GENERAL CONTRACTOR				DIRETTORE LAVORI				SCALA	
IL PROGETTISTA INTEGRATORE		Consorzio Iricav Due						-	
Ing. Giovanni MALAVENDA ALBO INGEGNERI PROV. DI MASSINA n. 4503 Data: Giugno 2022		ing. Paolo Carmona Data: Giugno 2022		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	3	3	0	0	0	0	1	C	-	-	-	P	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Alberto LEVORATO 	Giugno 2022

Progettazione:								
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
B	REVISIONE	M. Conti 	Febbraio 2022	V. Pastore 	Febbraio 2022	P. Ascari 	Febbraio 2022	 P. Ascari Data: Giugno 2022
C	REVISIONE	A. Callerio 	Giugno 2022	V. Pastore 	Giugno 2022	P. Ascari 	Giugno 2022	

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2RBRI3300001C
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 2 di 87

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	9
4.1	Indagini disponibili	9
4.2	Inquadramento stratigrafico	9
4.3	Livello di falda	11
4.4	Condizioni geotecniche del sito	12
4.5	Sintesi del modello geotecnico di riferimento	20
4.6	Materiale da rilevato	21
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	22
5.1	Sollecitazione sismica di progetto	22
5.1.1	Vita Nominale	22
5.1.2	Classe d'uso	22
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	23
5.1.4	Categorie di Sottosuolo	23
5.1.5	Condizioni topografiche	23
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento	23
5.2	Suscettibilità alla liquefazione	24
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT	26
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT	28
5.2.3	Soil improvement	34
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO	38
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite	38
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU)	38
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE)	40
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche	40
6.2	Azioni di progetto	40
6.2.1	Azioni permanenti	40
6.2.2	Azioni variabili	41
6.2.3	Azione sismica	41

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI330001C	Foglio 3 di 87

6.3	Verifiche e risultati SLU	42
6.3.1	Premessa	42
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche	43
6.3.1	Verifiche SLU in condizioni sismiche	43
6.3.2	Verifiche SLU in condizioni post sismiche	44
6.4	Verifica e risultati SLE	46
6.4.1	Metodologia di calcolo	46
6.4.2	Schematizzazione e risultati	48
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	51
Allegati		52
ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO		53
ALLEGATO 2 - SONDAGGI		55
ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA		59
ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU IN CAMPO SISMICO		67
ALLEGATO 5 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU POST SISMA		75
ALLEGATO 6 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE		83
ALLEGATO 7 – VERSIONI SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI		87

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI330001C	Foglio 4 di 87

1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI33, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende tra il km 18+203,00 e il km 18+604,94.

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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 5 di 87

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni di Progetto Esecutivo
- [2] IN1710EI2RBGE0000002C Relazione Geotecnica (da 10+050 a 21+990)
- [3] IN1710EI2LZGE0000016B Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico da pk 18+000 a pk 22+000
- [4] IN1710EI2RHGE0000005B Relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base 1/2
- [5] IN1710EI2P5GE0000001B Planimetrie con classificazione sismica del territorio 1 di 11
- [6] IN1710EI2RHGE0000003D Relazione idrogeologica 1/2
- [7] IN1710EI2RHGE0000007B-8B Relazione di sintesi dei sondaggi e delle prove eseguite
- [8] IN1710EI2PRGE0000001B-2B, Risultati Indagini in sito di Progetto – SOCOTEC
- [9] IN1710EI2PRGE0000003B-4B, Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI
- [10] IN1710EI2PRGE0000005B-8B, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [11] IN1710EI2PRGE0000009B-12B, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING - GEOLAVORI
- [12] IN1710EI2IGGE0000001B-2B, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [13] IN1710EI2IGGE0000003B-4B, 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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 6 di 87

- [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.
- [35] Priebe H.J., “Vibroreplacement to prevent earthquake induced liquefaction“. Ground Engineering, September 1998.
- [36] Idriss I.M. and Boulanger R.W. (2008), “Soil liquefaction during earthquakes”.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3300001C</p>	<p>Foglio 7 di 87</p>

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame si estende tra il km tra il km 18+203,00 e il km 18+605,00 per una lunghezza totale di circa 370 m. Per la tratta in esame non si evidenziano altre interferenze con opere principali adiacenti e/o attraversate.

3.1 Geometria del rilevato

Il rilevato presenta una sezione regolare per tutto il tracciato, con scarpate di pendenza 2/3 (V:H). Alla pk 18+604,94, si riscontra l'altezza massima del rilevato pari a 7 m. La sezione citata, denominata Sezione A (Figura 1) è quella ritenuta più significativa per le verifiche del rilevato in esame.



Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3300001C

Foglio
8 di 87

SEZIONE N.: 662
PROGRESSIVA: 18+604.940
QUOTA P. F.: 28.862

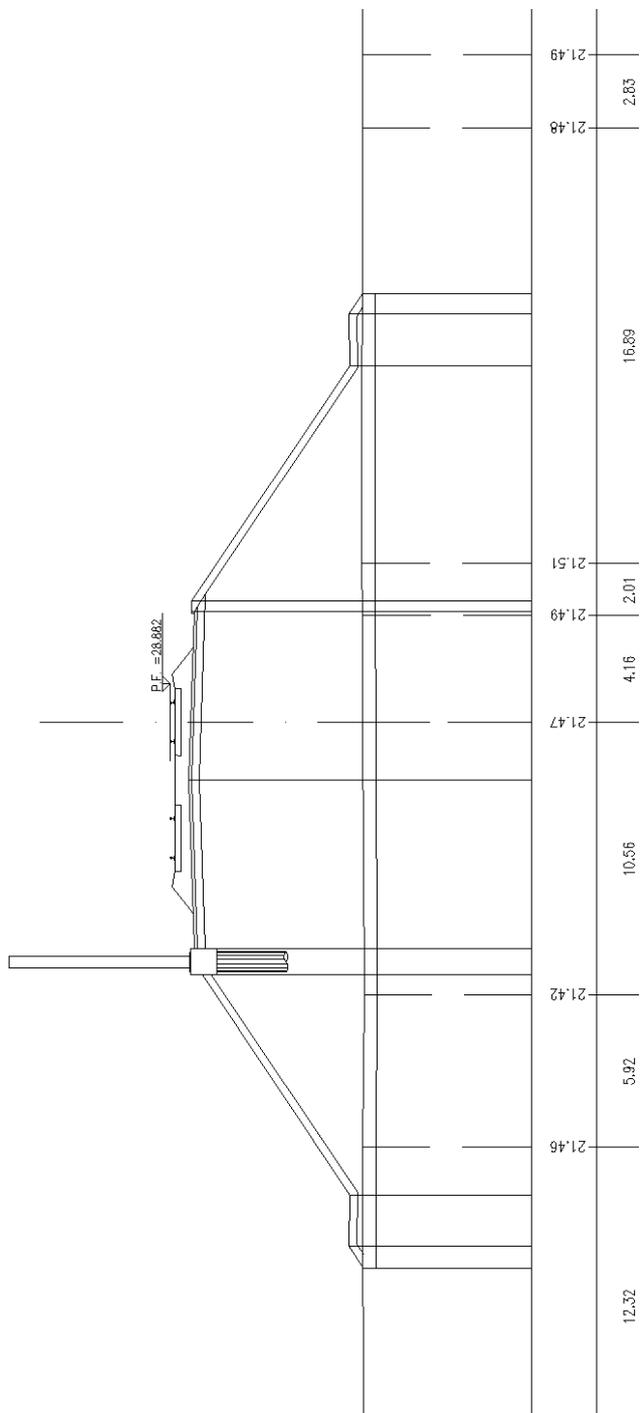


Figura 1 – Sezione di riferimento A (pk 18+604, n. 662) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 9 di 87

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1 Indagini disponibili

L'ubicazione delle indagini disponibili relative all'opera esaminata è illustrata nella Figura 3, estratta dalla Planimetria geotecnica con ubicazione indagini e profilo geotecnico (Doc. Rif. [3]). Per ulteriori dettagli si rimanda alle relazioni di sintesi delle indagini (Doc. Rif. [7] - [13]). Il risultato delle indagini è riportato in ALLEGATO 2.

Le indagini disponibili lungo il tratto d'interesse per il rilevato in oggetto sono elencate in Tabella 1.

Nel seguente paragrafo si riporta la caratterizzazione geotecnica, ottenuta basandosi sui risultati delle indagini relative all'area di interesse e sulla caratterizzazione generale dell'area in cui si inserisce il rilevato, presentata nella Relazione Geotecnica (Doc. Rif. [2]).

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

Tabella 1 - Indagini da pk 18+203,00 a pk 18+605,00

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
18+400	CPTU-PE-19	2020-2021
18+413	BH-PE-37	2020-2021
18+650	BH5V	2015

4.2 Inquadramento stratigrafico

Dal punto di vista stratigrafico, l'area del rilevato è interessata dalla presenza di una coltre superficiale di spessore variabile tra 3m e 7 m, di terreni sciolti di natura limoso sabbiosa, alternata a livelli argillo-limosi teneri (Unità 3a/3b). Al di sotto di questi depositi si riscontra uno strato di ghiaie ben addensate (Unità 6) fino a una profondità di circa 20 m. Al di sotto delle ghiaie si incontra il substrato sabbioso (Unità 4) che si estende in profondità.

Da quanto sopra, risulta evidente che il comportamento del rilevato sarà governato principalmente dalle caratteristiche della coltre superficiale soprastante le ghiaie. Pertanto, nei capitoli successivi, si presterà quindi particolare attenzione alle caratteristiche geotecniche di tale strato.

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 RI33, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 4 di 11 (Doc. Rif. [3]).

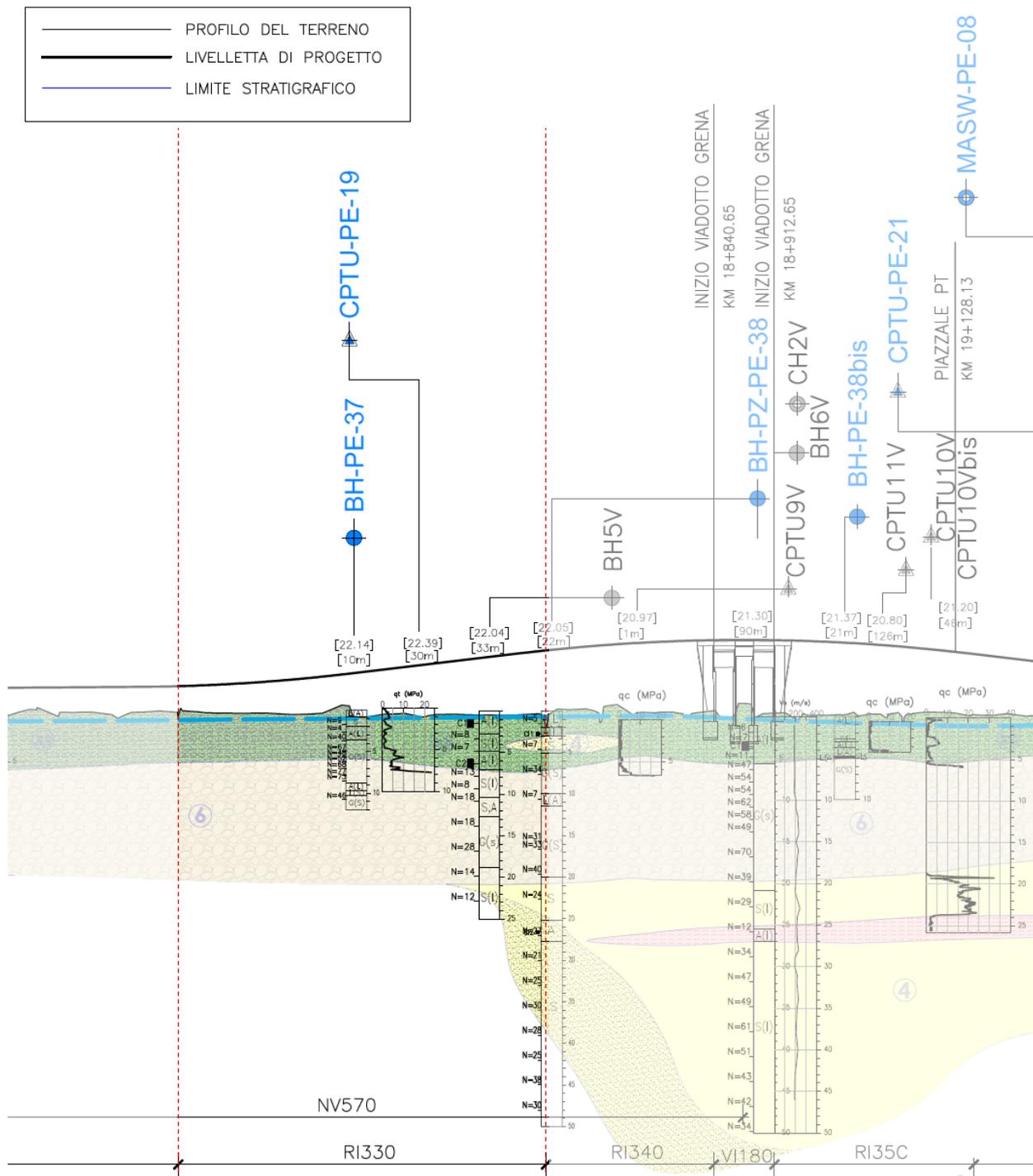


Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato RI33, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 11 di 87

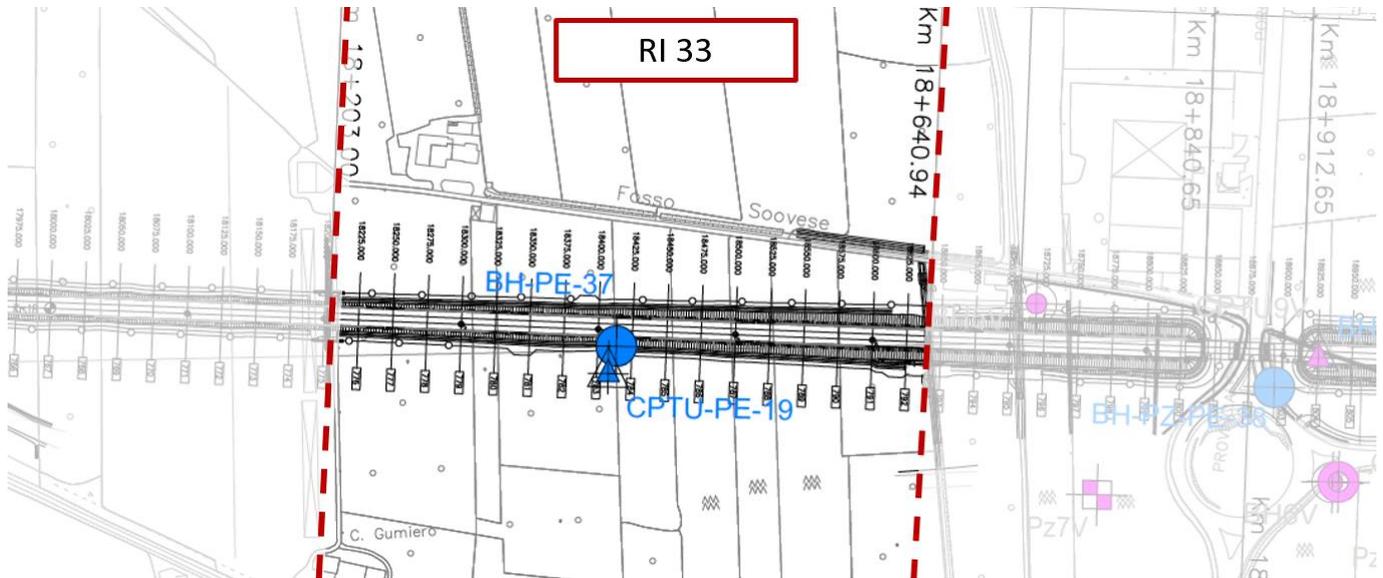


Figura 3 - Planimetria Rilevato RI33, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

4.3 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 perciò una falda di progetto a piano campagna.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 12 di 87

4.4 Condizioni geotecniche del sito

Come definito dalla sezione stratigrafica, il tratto in oggetto è caratterizzato da una copertura superficiale di prevalenti limi sabbiosi e limi argillosi (Unità3a/3b) per uno spessore variabile da 2 m a 6 m.

I dati delle indagini sulla WBS precedente (RI32) indicano al presenza di una coltre superficiale di un paio di metri di spessore con scarse caratteristiche meccaniche, liquefacibile, sovrastante uno strato argilloso, fino a circa 6 m di profondità.

Gli spessori massimi (fino a 8 m) sono evidenziati dalla CPTU-PE-19, mentre il sondaggio BH-PE-37, più vicino all'asse della linea ferroviaria, indica spessori molto più modesti (4 m). Le caratteristiche granulometriche stimabili dalla CPTU-PE-19 indicano che tali coltri sono costituiti, in predominanza, da materiali sciolti (unità 3a). Alla base, si rinvengono strati di terreni fini.

La Figura 8 riporta i valori di resistenza al taglio non drenata stimati dalla prova CPTU-PE-19. In realtà, i valori possono essere attribuibili a uno strato a grana fine solo per il livello fra 4 e 5 m. Infatti, sulla base dell'interpretazione della CPTU in termini di potenziale di liquefazione, la parte restante della verticale è prevalentemente costituita da terreni liquefacibili (Unità 3a), come si vedrà più nel dettaglio nel capitolo 5.2.

A tale proposito, la Figura 4 riporta i dati granulometrici dei materiali granulari, così come ottenuti dalle determinazioni granulometriche di laboratorio delle indagini effettuate nella zona. Come si può notare, gran parte dei materiali di superficie ricade nell'ambito dei terreni potenzialmente liquefacibili, così come definiti dalle NTC 2008.

Procedendo con la profondità si incontra uno strato di ghiaie e ghiaie sabbiose ben addensate (Unità 6), che si estende fino anche 20 m pc. All'interno del deposito incoerente le percentuali di materiale a grana fine sono generalmente inferiori a 20% e si registrano valori di N_{SPT} mediamente pari a 50 colpi/30cm con valori anche di 70 colpi/30cm. La densità relativa delle ghiaie risulta pari 45% e quindi il deposito risulta mediamente addensato.

Sotto lo strato di ghiaie si individua un deposito di sabbia limosa mediamente addensata (Unità 4), a partire dalla profondità di 20 m pc fino alla quota di fine sondaggi. In questo deposito le percentuali di materiale fino sono inferiori al 10%, i valori medi di N_{SPT} sono pari a 30 colpi/30cm. La densità relativa delle sabbie risulta generalmente attorno a 60%.

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 20 m pc, per le ghiaie superficiali si stimano valori di V_s pari a 320-350 m/s. A profondità maggiori, nelle sabbie, le velocità sono pari a 370 m/s. 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 considera un valore di 200 MPa, mentre per le sabbie profonde si ottengono valori pari a 300 MPa.

Per i materiali a grana grossa, si è stimato il valore del modulo di Young (E_0) utilizzando da teoria dell'elasticità a

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 13 di 87

partire dal valore del modulo G_0 , ed utilizzando valori di $\nu = 0.25-0.30$. Il valore del modulo di Young operativo (E_{op}) per il calcolo di cedimenti di fondazioni superficiali e rilevati è stato calcolato ipotizzando valori del decadimento del modulo dell'ordine di 1/5 di quello iniziale per gli strati superficiali e dell'ordine di 1/3 di quello iniziale per gli strati più in profondità, dove le deformazioni attese sono minori.

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, con riferimento all'Unità 3a/3b (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 9);
- Modulo di taglio alle piccole deformazioni valutati a partire dai valori stimati di V_s (v. Figura 10).

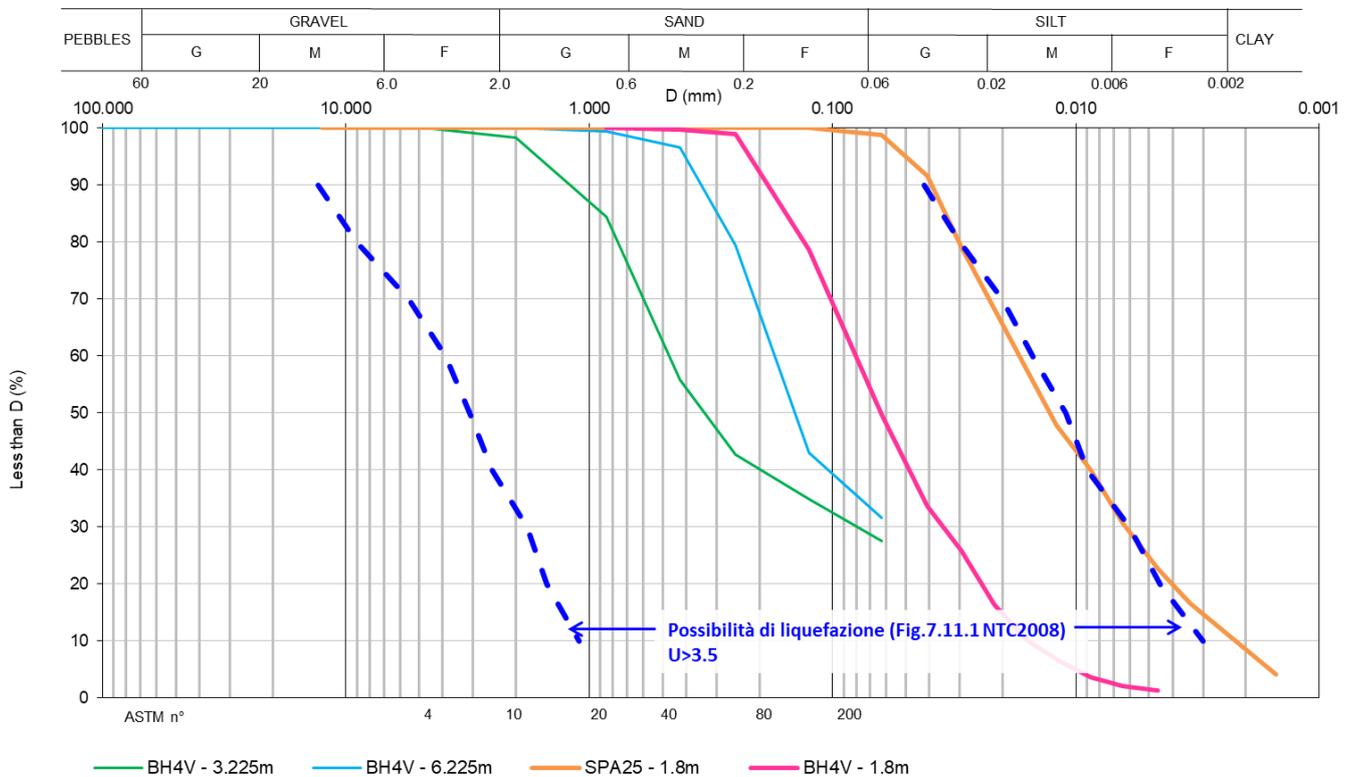


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche dei terreni superficiali, suscettibili alla liquefazione

AV/AC VERONA VICENZA

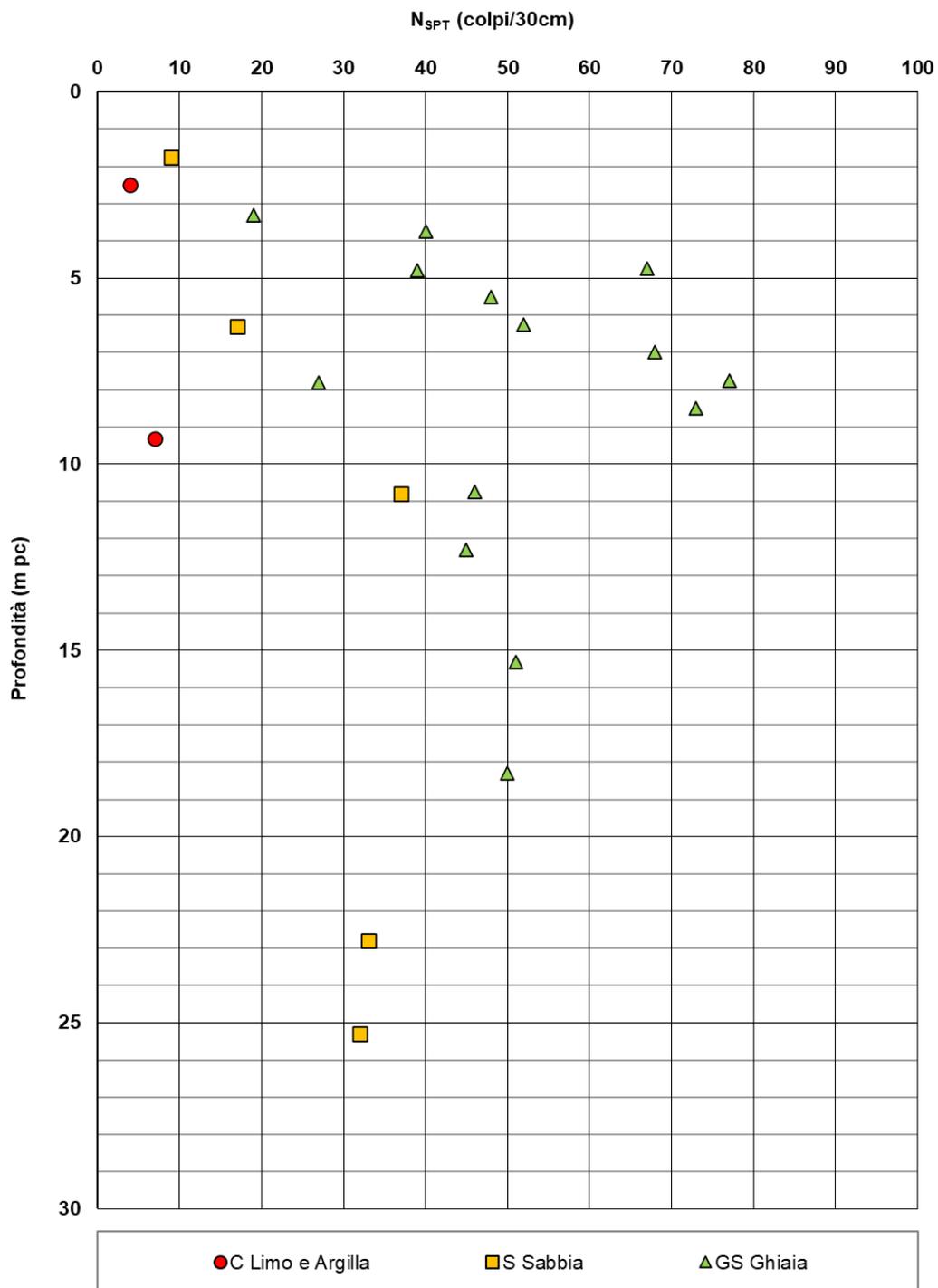


Figura 5 – Esito delle prove SPT da pk 18+203,00 a pk 18+605,00

AV/AC VERONA VICENZA

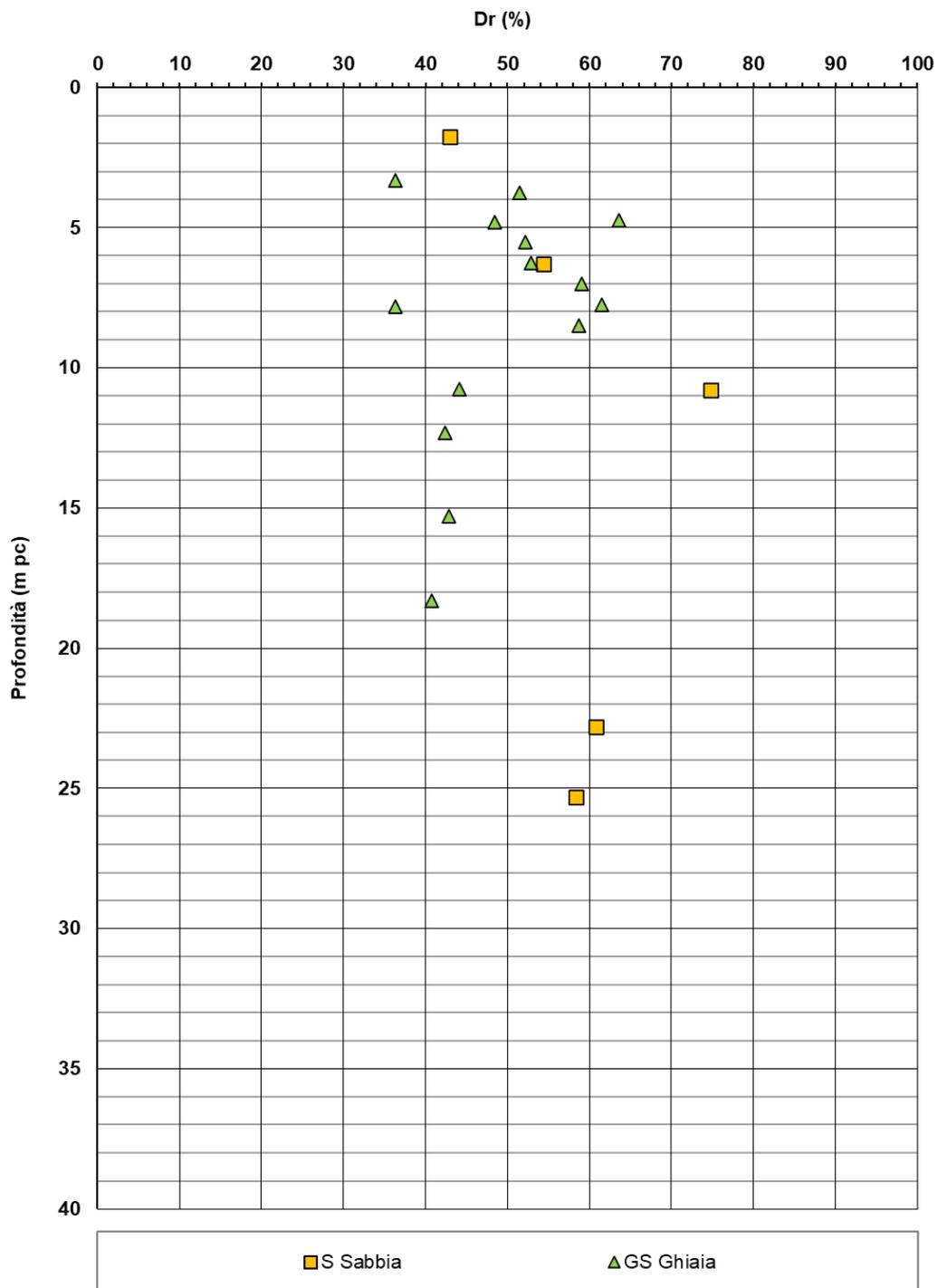


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT da pk 18+203,00 a pk 18+605,00

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 16 di 87

AV/AC VERONA VICENZA

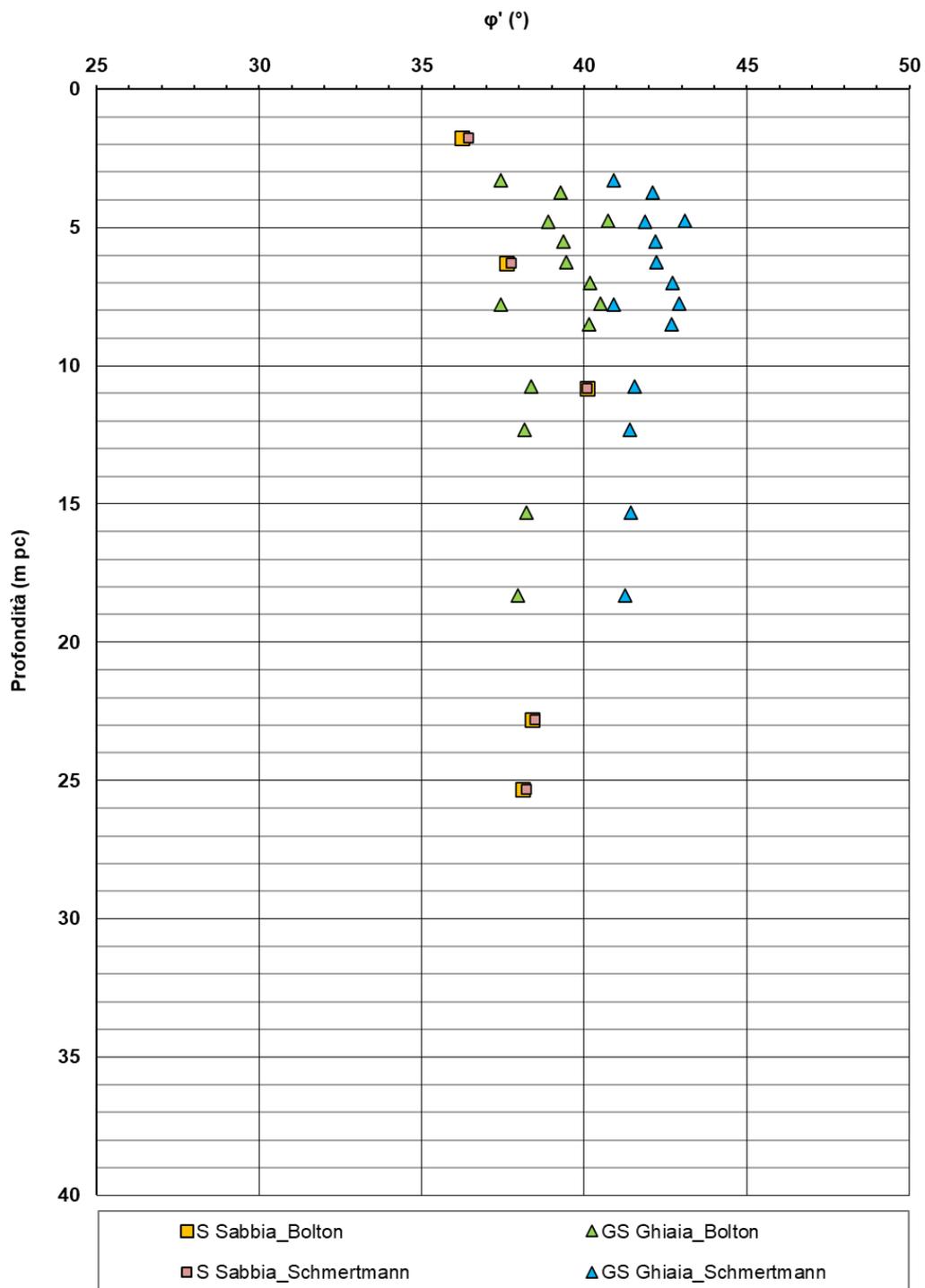


Figura 7 – Angoli di attrito da prove SPT da pk 18+203,00 a pk 18+605,00

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI330001C</p>	<p>Foglio 17 di 87</p>

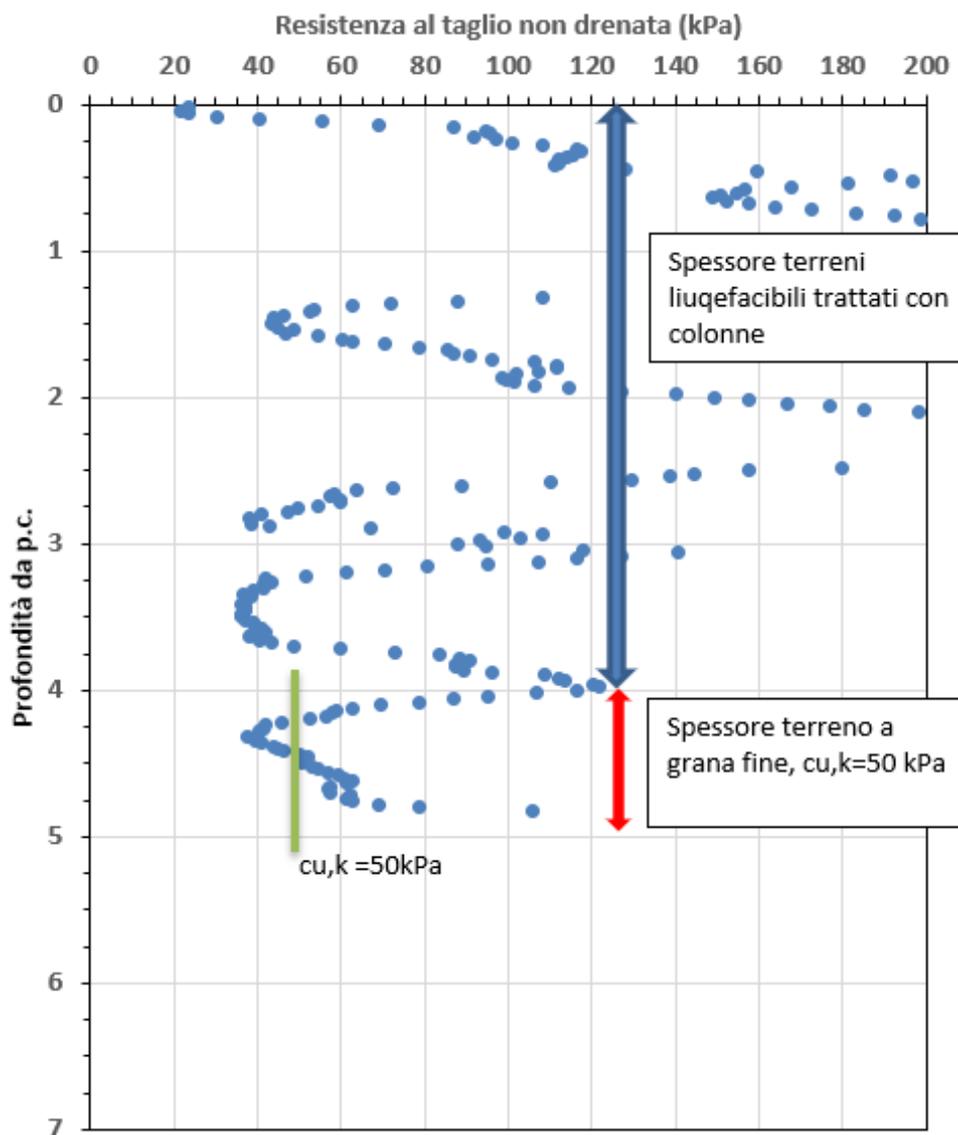


Figura 8 – Resistenza al taglio non drenata da CPTU-PE-19, e dettaglio valori di progetto.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 18 di 87

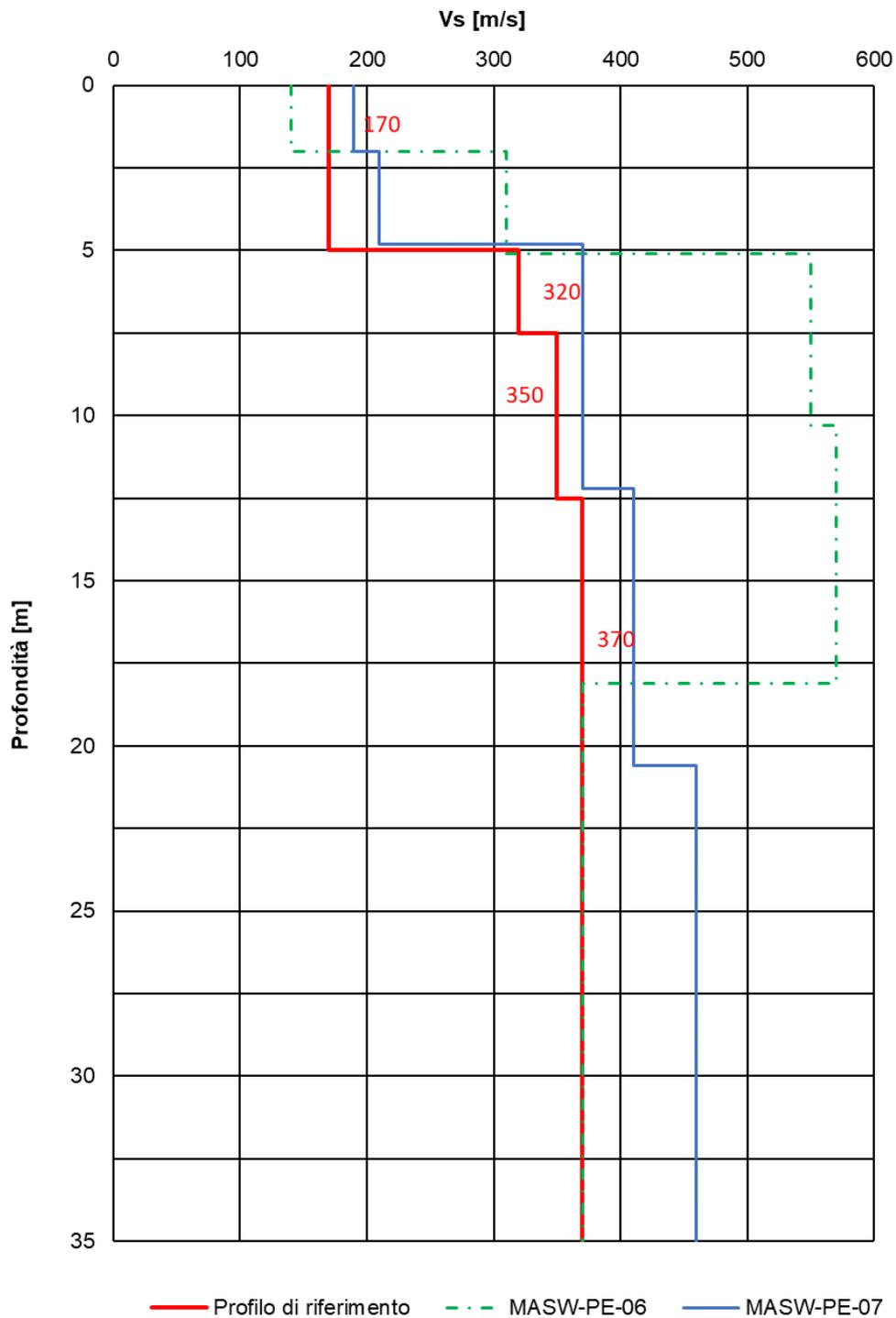


Figura 9 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW da pk 18+203,00 a pk 18+605,00

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3300001C</p>	<p>Foglio 19 di 87</p>

AV/AC VERONA VICENZA

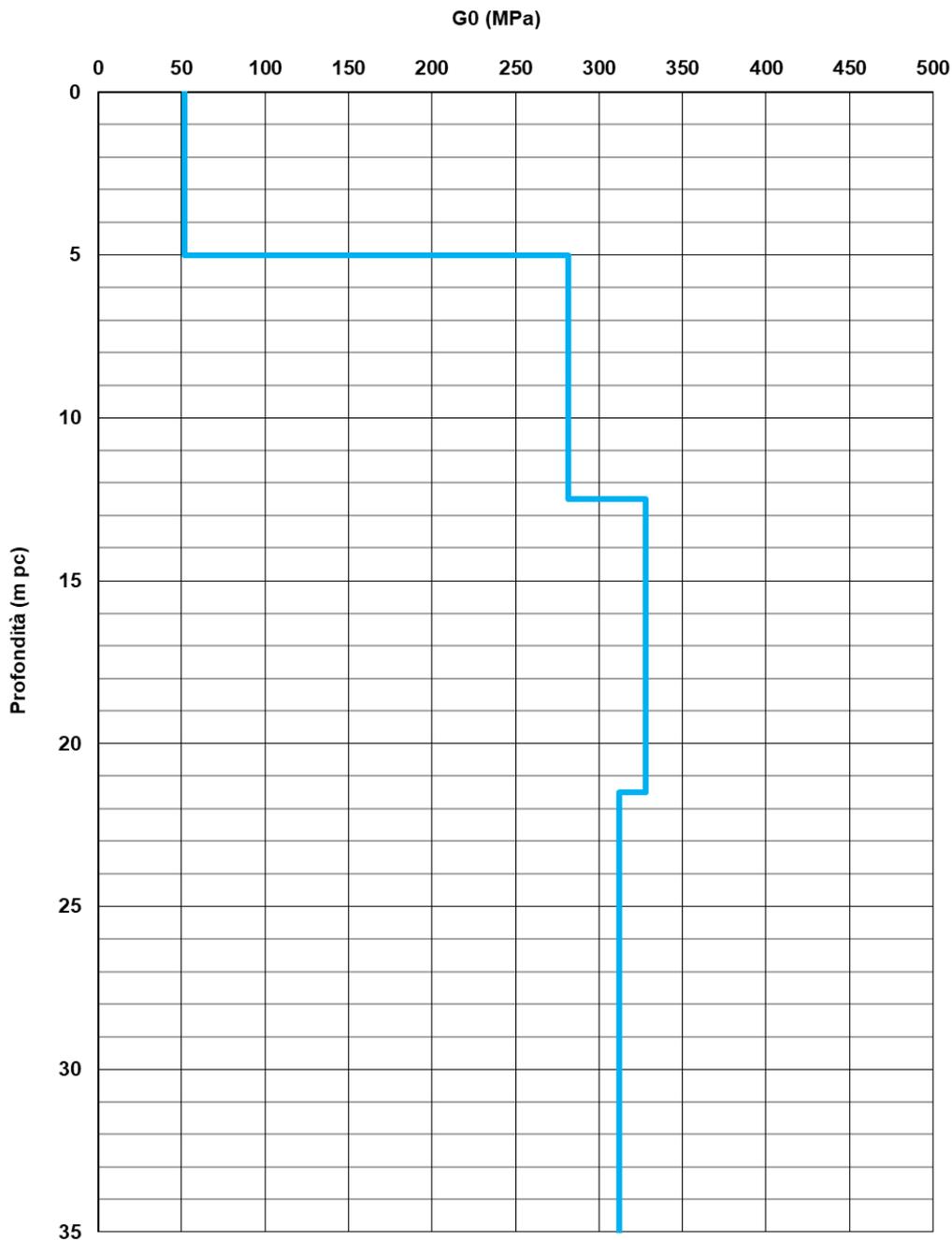


Figura 10 – Modulo di taglio G_0 da pk 18+203,00 a pk 18+605,00

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 20 di 87

4.5 Sintesi del modello geotecnico di riferimento

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

Tabella 2 – Modello geotecnico di riferimento

Unità	da m pc*	a m pc*	γ kN/m ³	φ_k °	c_k' kPa	$c_{u,k}$ kPa	G_0 MPa	E'_{op} MPa
3a	0.5	4	18.5	34 (36)***	-	-	-	5(12)***
3b	4.0	5.0	18.5			50		5
3a	5	6.4	18.5	36				15
3a	6.4	7.2	18.5	34	-	-	-	10**
6	7.2	20	19	39	-	-	200	60
4	20	-	19	38	-	-	300	80

* quota piano campagna = 21.30 m s.l.m.

** valore valido per il calcolo dei cedimenti, in condizioni statiche

*** i valori tra parentesi () si riferiscono alle caratteristiche del terreno trattato con colonne in ghiaia

Si evidenzia come il modello geotecnico per il dimensionamento degli interventi è stato preso sulla base delle indicazioni dell'indagine più sfavorevole (CPTU-PE-19), e non tenendo conto delle indicazioni del sondaggio BH-PE-37, che indicava spessori di coltre più superficiali significativamente più modesti (3.5 m), seguite dalle ghiaie di base. In relazione a quanto riportato nelle tabelle, si precisa quanto segue:

- Come si vedrà in seguito, le coperture superficiali si presentano sciolte, e necessitano di interventi di miglioramento delle caratteristiche meccaniche, in relazione all'esito delle verifiche di liquefazione.
- I valori dei parametri indicati fra parentesi sono quelli del terreno migliorato con le colonne di ghiaia. In particolare:
 - Il valore dell'angolo di resistenza al taglio del terreno sciolto, una volta trattato con colonne di ghiaia avente angolo di resistenza al taglio $\phi' = 40^\circ$ è stato stimato pari a 36°
- I moduli E' del terreno naturale sono stati impiegati per ricavare le caratteristiche del terreno migliorato con colonne di ghiaia, secondo quanto riportato al punto 6.4
- Per lo strato da 5 a 6.4, di natura granulare, che non verrà trattato con colonne di ghiaia, sulla base delle analisi di liquefazione si è assunto, nelle analisi di stabilità, un valore di r_u ($r_u = \Delta u / \sigma'_{v0}$) = 0.4.
- Per lo strato fra 6.4 e 7.2 s, che non verrà trattato con colonne, si considera, nella analisi di stabilità post sisma, la sua resistenza al taglio del materiale liquefatto

Per la falda si fa riferimento a quanto riportato in 4.3.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI330001C	Foglio 21 di 87

4.6 Materiale da rilevato

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

Tabella 3 - Caratteristiche materiale da rilevato

	γ kN/m³	φ °	c' kPa
Materiale da rilevato	20	38	0

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI330001C	Foglio 22 di 87

5 CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

5.1 Sollecitazione sismica di progetto

5.1.1 Vita Nominale

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

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

Tabella 4 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

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

5.1.2 Classe d'uso

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 23 di 87

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 $i > 30^\circ$.*

5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 24 di 87

a_g (g) (SLV)	0.218
Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s	1.382
Coefficiente di amplificazione topografica S_t	1.0
Accelerazione massima attesa al suolo	
a_{max} (g) ($a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$)	0.301

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

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 		
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C
				Foglio 25 di 87

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

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

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

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

dove:

a_{max} accelerazione di picco al sito

g accelerazione di gravità

τ_c valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

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

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

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 26 di 87

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 11: 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 11, 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:

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

dove σ'_{vo} 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:

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 27 di 87

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 l_c sono determinati al termine di una procedura iterativa, ipotizzando in prima istanza $n = 1$. Se l_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 l_c è ancora inferiore a 2.6, i nuovi valori di n e l_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:

$$q_{c1Ncs} = q_{c1N} \cdot k_c$$

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

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

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

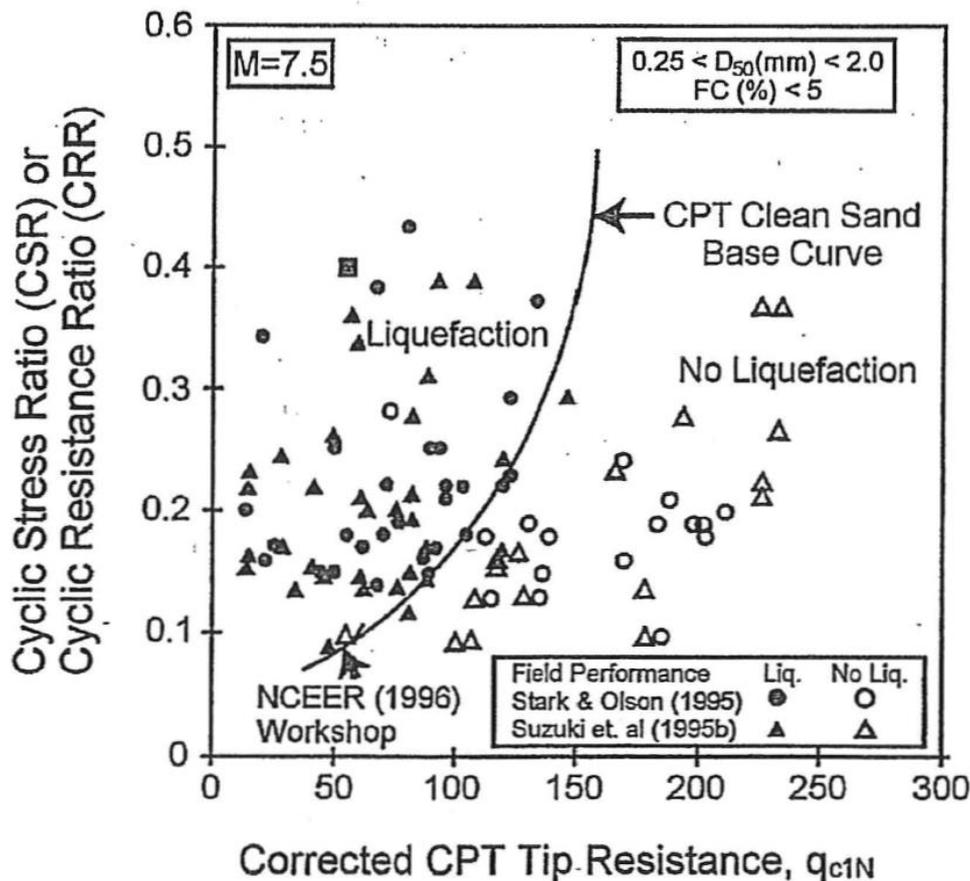


Figura 11 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 28 di 87

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 12, originariamente proposta da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), e successivamente confermata da Youd et al. (2001).

In Figura 12, 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 proposta da Liao e Whitman (1986):

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

in cui P_a è la pressione atmosferica, pari a 100kPa, e σ'_{vo} 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 campionatore, 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 campionatore) sono stati assunti pari ad 1 dato che le prove sono state eseguite sulla base delle raccomandazioni fornite dall'AGI (1977).

Sempre in Figura 12, 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 12 come curve diverse siano state sviluppate per terreni aventi diverso contenuto di

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 29 di 87

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 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:

$\alpha = 0$ per FC < 5%

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

$\alpha = 5$ per FC \geq 35%

$\beta = 1$ per FC < 5%

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

$\beta = 1.2$ per FC \geq 35%

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

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

dove:

σ'_{v0} = tensione verticale efficace

p_a = pressione atmosferica di riferimento

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

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

40% < DR < 60% f = 0.7÷0.8

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 30 di 87

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

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):

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

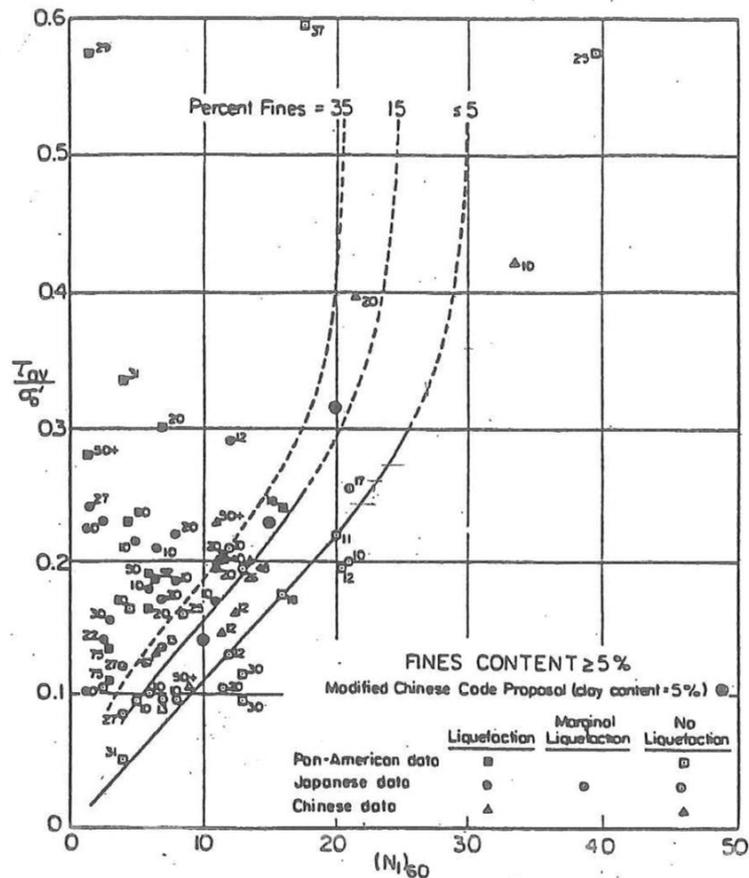


Figura 12 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 31 di 87

I risultati (cfr. Figura 13 - Figura 14) indicano rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI33. In particolare:

- dall'analisi CPTU-PE-19 si evidenzia la presenza di materiale potenzialmente liquefacibile tra 0 e 7 m circa (con un'interruzione fra 4 6.5 metri circa) m pc con $FL < 1.0$.
- dall'analisi della stratigrafia sul BH-PE-37 non si evidenzia invece la presenza di materiale potenzialmente liquefacibile

Si conclude quindi che l'area è interessata da coperture superficiali di terreni potenzialmente liquefacibili, in misura tale da compromettere la stabilità dei rilevati. Si prescrivono pertanto interventi di miglioramento dei terreni, che verranno illustrati nel paragrafo successivo.



Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3300001C

Foglio
32 di 87

Tratto AC/AV Verona-Padova - Sub Tratto Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-19 Pr. 18-408
 a_max=0.30kg M_calic=6 MSF=2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
 Altezza rilevato=6.5m

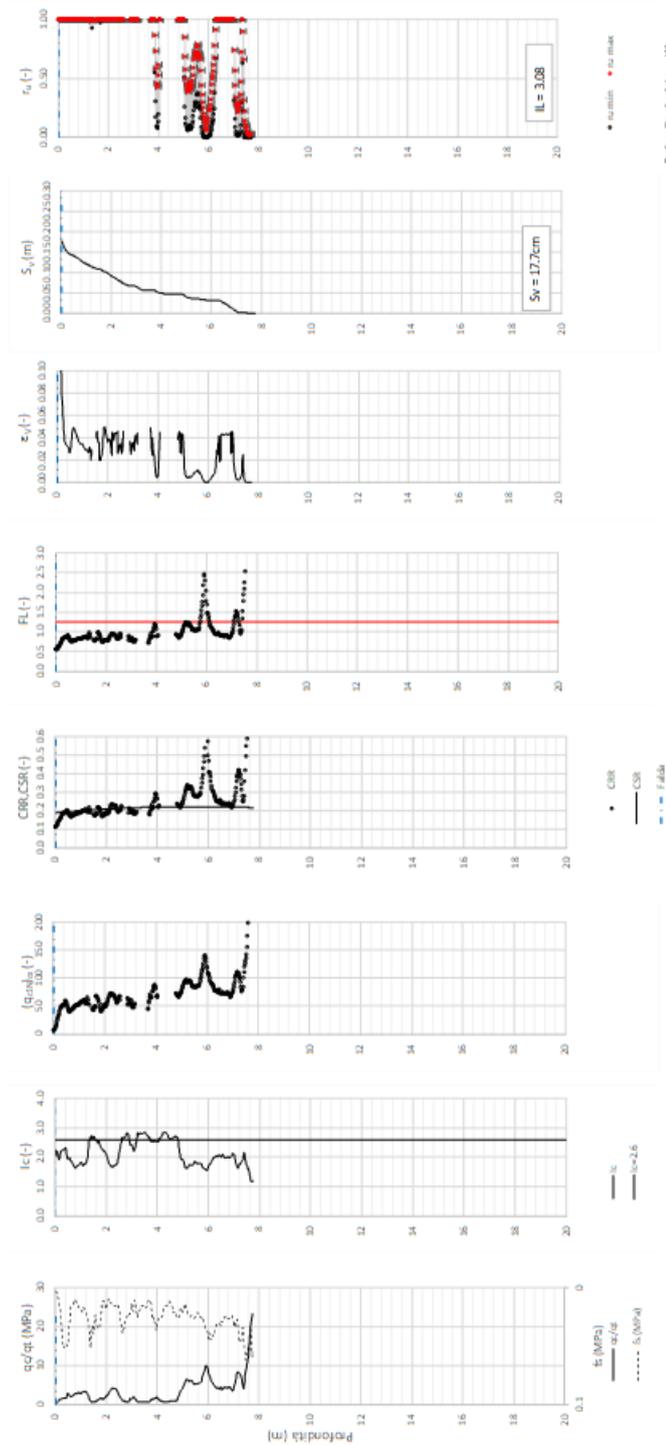
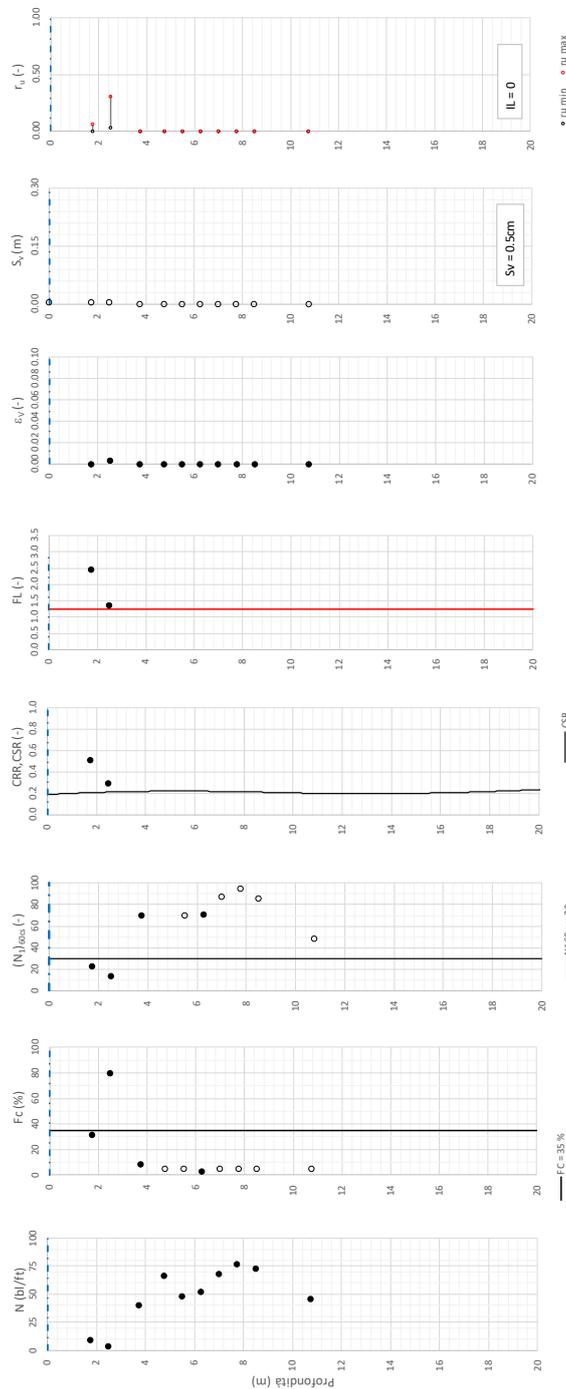


Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-19.

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto.1 - Prova BH-PE-37 Pr. 18+400

$\sigma_{max} = 0.30g$, $N_{calc} = 6$, $MSF = 2$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001

Altezza rilevato = 6.5m



Foglio verifica: alta sorveglianza, 102

Figura 14 – Verifica Liquefazione da risultati BH-PE-37.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 34 di 87

5.2.3 Soil improvement

Come mostrato al punto precedente, lungo la tratta in esame si evidenzia la presenza di materiale a rischio di liquefazione.

I dati relativi alle WBS precedenti indicano un potenziale abbassamento (se ci si riferisce, cautelativamente, ai risultati della CPTU-PE-19) del tetto delle ghiaie, e quindi ad un inspessimento del materiale liquefacibile, procedendo da Ovest verso Est.

Tenendo anche presenti i risultati del sondaggio BH-PE 37, che indicano condizioni meno severe, si prescrive quanto segue:

dalla pk 18+203 alla pk 18+350

- realizzazione di uno scotico + bonifico per uno spessore complessivo di 1.5 m così da rimuovere, al disotto del rilevato e per uno spessore allargato di 2 m all'esterno del piede del rilevato, eventuali materiali sciolti passibili di liquefazione;
- compattazione del fondo scavo per mezzo di rulli vibranti con peso statico equivalente di almeno 15 t, raggiungendo i livelli di compattazione come da capitolato. Il grado di addensamento raggiunto, da verificare a fondo scavo con prove di carico su piastra ($M_d > 20$ MPa), aumenterà la densità relativa dei materiali compattati, ancora eventualmente presenti dal fondo scavo e fino al tetto delle ghiaie, in misura tale da renderlo non più suscettibile a liquefazione.
- relazione del rinterro in accordo alle specifiche.

dalla pk 18+350 a fine WBS (18+605)

- si prescrive l'esecuzione di un trattamento di miglioramento delle caratteristiche dei terreni, mediante l'installazione di colonne in ghiaia con diametro $D=800$ mm, lunghezza $L=4$ m, interasse $i=2$ m, a maglia quadrata.

Per la descrizione delle fasi realizzative e per la geometria del trattamento, si faccia riferimento agli elaborati di progetto.

Per il dimensionamento delle colonne, si è proceduto come segue:

- Si è dimensionata la spaziatura degli interventi sulla base delle indicazioni di Priebe (Doc.Rif.[35]). Il metodo proposto da Priebe consiste nel valutare, in funzione della "densità" del trattamento (i.e., la spaziatura fra le colonne), la diminuzione di azione ciclica sul terreno dovuta alla presenza delle colonne stesse. Nel grafico di Figura 15 A_c è l'area della colonna, mentre A è l'area di pertinenza della colonna stessa. A titolo di esempio, spaziando colonne $D=800$ mm su maglia quadrata 2×2 m, si ottiene un "area ratio" $A/A_c=4/0.5=8$, che consente di ridurre l'azione ciclica sul terreno di un fattore (P_s/P nel grafico in ordinate) che può essere stimato pari a 0.6 per colonne realizzate con materiale avente angolo di resistenza al taglio dell'ordine dei 40° .
- Sulla base di tale riduzione, si è rivalutato l'effetto dell'azione ciclica ridotta sui terreni naturali. Nelle figure seguenti si riportano le verifiche di liquefazione eseguite con tale criterio. Come si può notare, per effetto

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 35 di 87

della riduzione della PGA da 0.301 a 0.18 (appunto di un fattore 0.6), il materiale non viene più portato a liquefazione, ma si limita a sviluppare sovrappressioni interstiziali del tutto compatibili con la stabilità del rilevato.

Si noti che il risultato della verifica non si applica i terreni non trattati. Pertanto, quanto riportato in Figura 16 e Figura 17 non si applica ai terreni a profondità superiori ai 5 m, ove le colonne non sono presenti. Per questi terreni, rimangono valide le verifiche al punto 5.2.2.

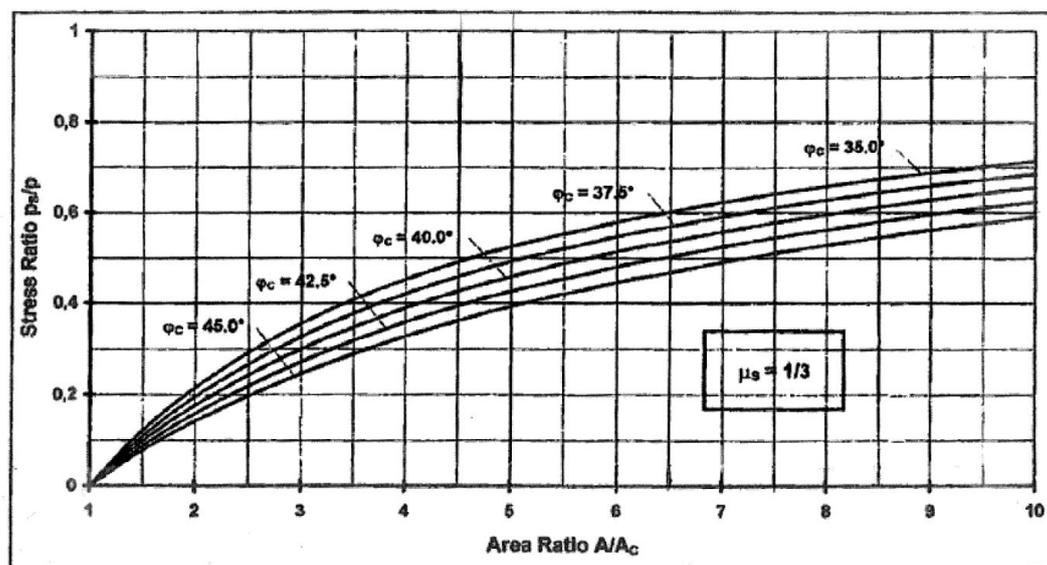


Figura 15 – Riduzione dello stress ratio sismico in funzione dell'area ratio delle colonne di ghiaia
(Doc.Rif.[35])

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3300001C</p>	<p>Foglio 36 di 87</p>

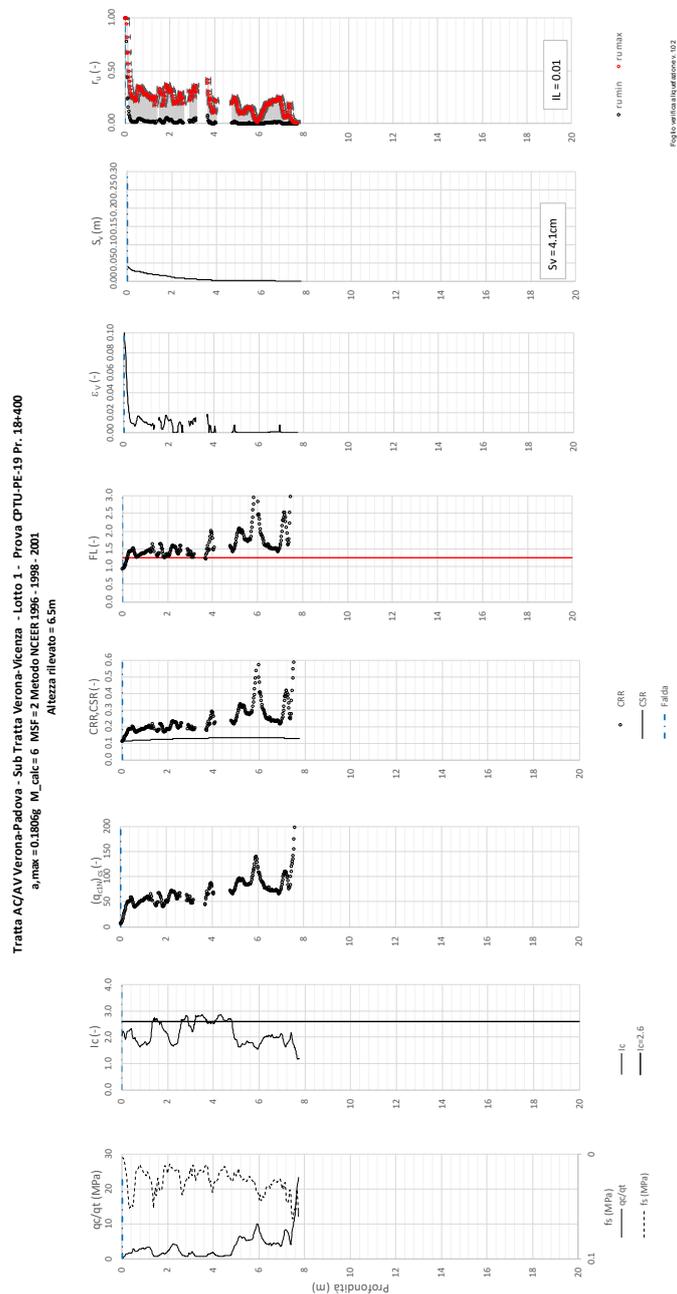
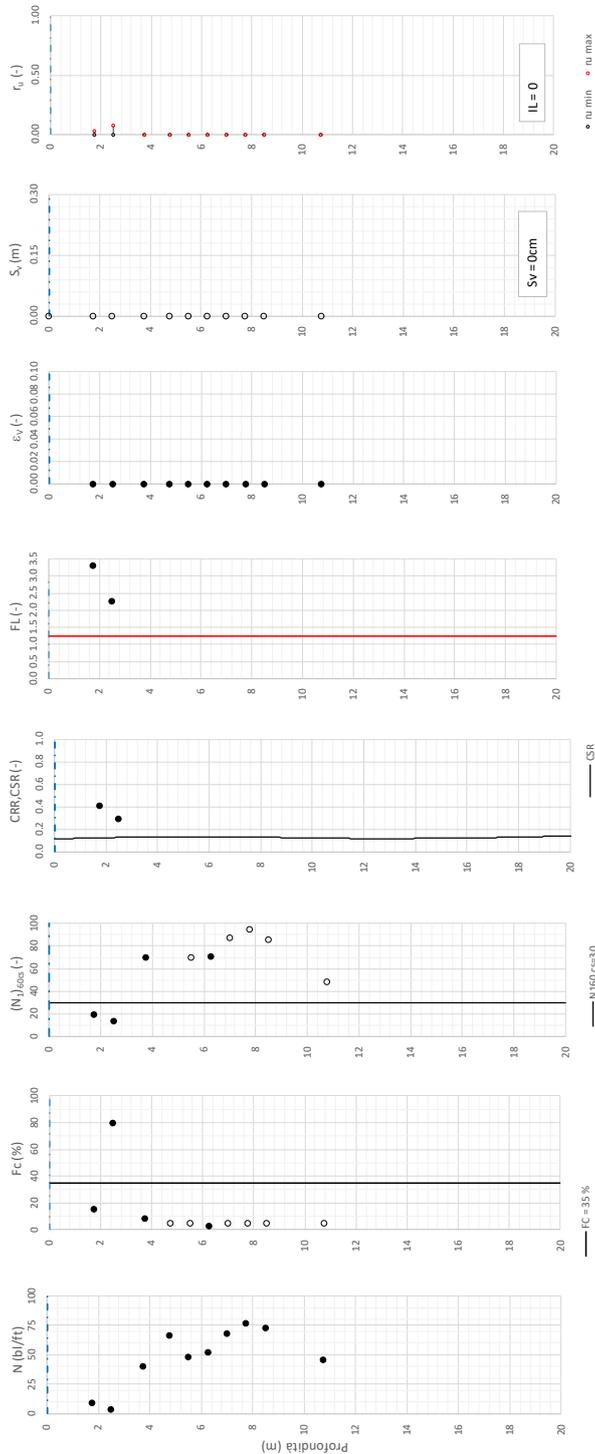


Figura 16 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-19 dopo soil improvement.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3300001C</p>	<p>Foglio 37 di 87</p>

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-37 Pr. 18-413

$a_{max} = 0.180g$ $M_{calc} = 6$ $MSF = 2$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 6.5m



Foglio verifica liquefazione N. pr. 1. 102

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

Figura 17 – Verifica Liquefazione da risultati BH-PE-37 dopo soil improvement.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 38 di 87

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:

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 39 di 87

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

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

Tabella 6 – Coefficienti parziali sulle azioni

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

dove:

- γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;
- γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- γ_Q coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
- γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili.

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

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

Tabella 8 – Coefficienti parziali per verifiche di stabilità globale

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

Si segnala che le verifiche in condizioni SLU e SLE verranno condotte con analisi statiche o pseudostatiche e, in accordo al MDP ITALFERR, il coefficiente di incremento dinamico delle azioni derivanti dal passaggio del treno sarà assunto pari all'unità.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 40 di 87

6.1.2 Stati limite di esercizio (SLE)

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

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

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

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

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

6.1.3 Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche

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

6.2 Azioni di progetto

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

6.2.1 Azioni permanenti

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 41 di 87

stati calcolati assumendo:

Peso massicciata e armamento 18 kN/m³

Peso elementi in cls 25 kN/m³

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

6.2.2 Azioni variabili

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

6.2.3 Azione sismica

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

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

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

dove

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

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

g accelerazione di gravità.

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 42 di 87

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. [29]). 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, secondo il metodo di Bishop modificato. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici caratteristici definiti in Tabella 2.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 43 di 87

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 4.3. 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 18 sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2. Il valore minimo di FS è pari a:

$$F_{S\text{MIN}}(\text{DA1C2}) = 1.259 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

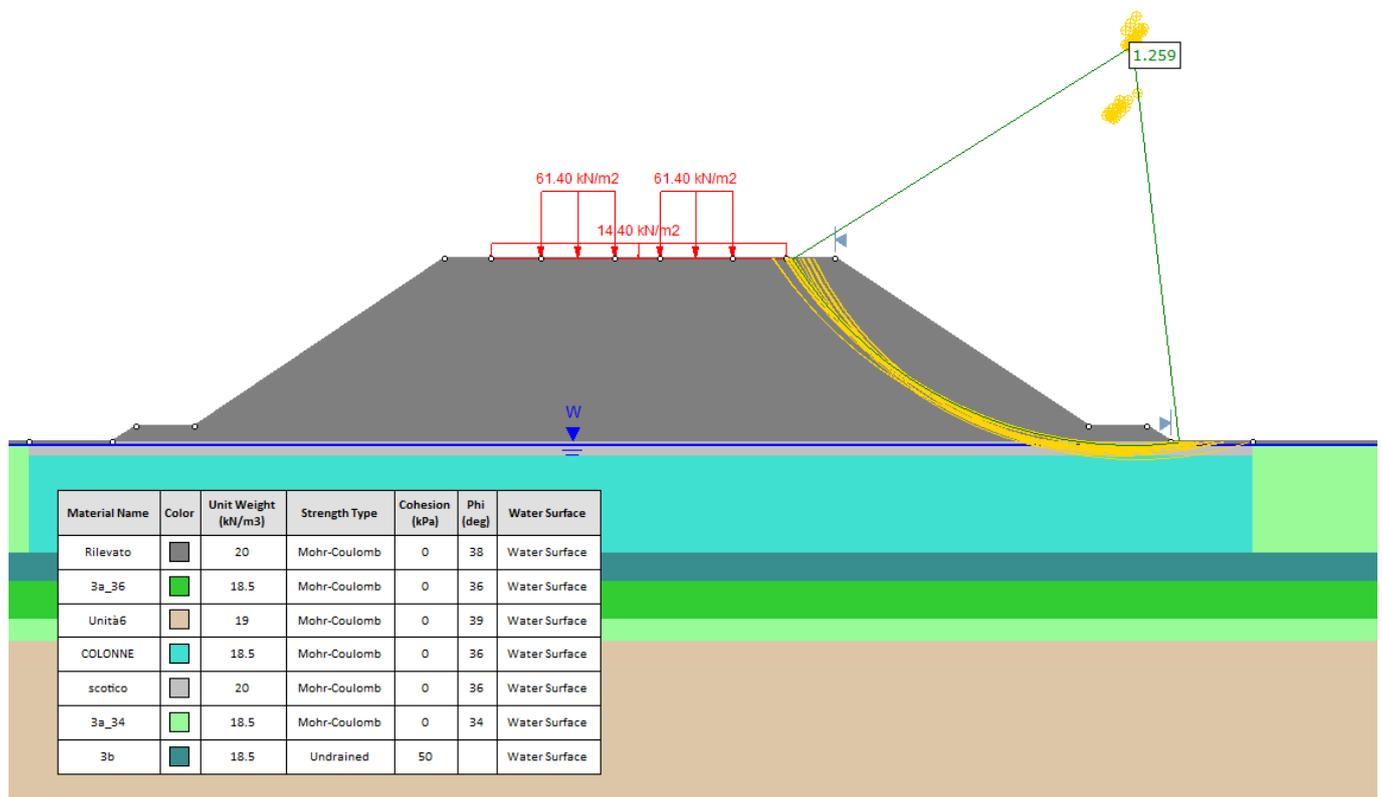


Figura 18 – Sezione A - Analisi SLU in campo statico DA1C2

6.3.1 Verifiche SLU in condizioni sismiche

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

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 44 di 87

$K_H = + 0.083$ (concorde alla direzione di scivolamento)
 $K_V = \pm 0.042$ (verificando la più cautelativa tra negativo e positivo)

Per quanto riguarda la falda è stato preso un livello coincidente a p.c., come riportato nel paragrafo 4.3. Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e quelle che non interessano la sede ferroviaria.

Per i parametri di resistenza al taglio degli strati interessati dall'intervento con colonne, si veda quanto riportato al punto 4.5.

In Figura 19 sono riportate le superfici di rottura critiche. Il fattore di sicurezza FS è pari a:

$$FS_{MIN} = 1.113 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.

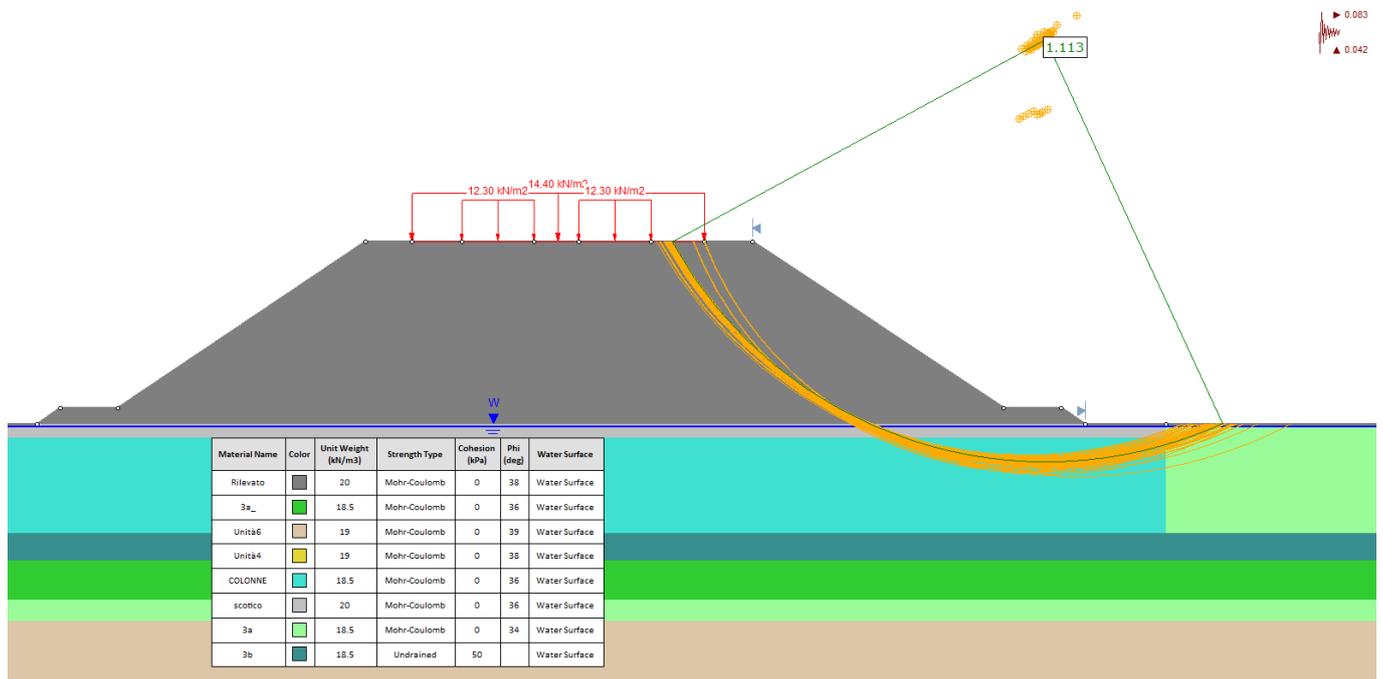


Figura 19 – Sezione A - Analisi SLU in campo sismico

6.3.2 Verifiche SLU in condizioni post sismiche

Nel caso di analisi di stabilità su terreno liquefatto, si è considerata la liquefazione come l'evento terminale, prodotto dall'intero ciclo di carichi dovuto al sisma. Pertanto, a liquefazione avvenuta, il sisma non è più presente e la verifica viene intesa come post-sismica. In sostanza, nelle verifiche post sismiche non è stata applicata l'accelerazione, ma si esamina la stabilità del rilevato a seguito dell'effetto prodotto dall'intero carico ciclico.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 45 di 87

La resistenza al taglio degli strati liquefatti è stata posta convenzionalmente pari a $0.1 \sigma'v$ (Rif.Doc[36]), che è stata modellata nelle analisi con un terreno avente angolo di resistenza al taglio pari a 5.7° (arctg. 0.1).

Per quanto riguarda la falda è stato preso un livello coincidente a p.c., come riportato nel paragrafo 4.3. Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte le superfici di spessore ridotto e quelle che non interessano la sede ferroviaria.

Per i parametri di resistenza al taglio degli strati interessati dall'intervento con colonne, si veda quanto riportato al punto 4.5.

In Figura 20 sono riportate le superfici di rottura critiche. Il fattore di sicurezza FS è pari a:

$$FS_{MIN} = 1.177 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale post liquefazione risulta soddisfatta.

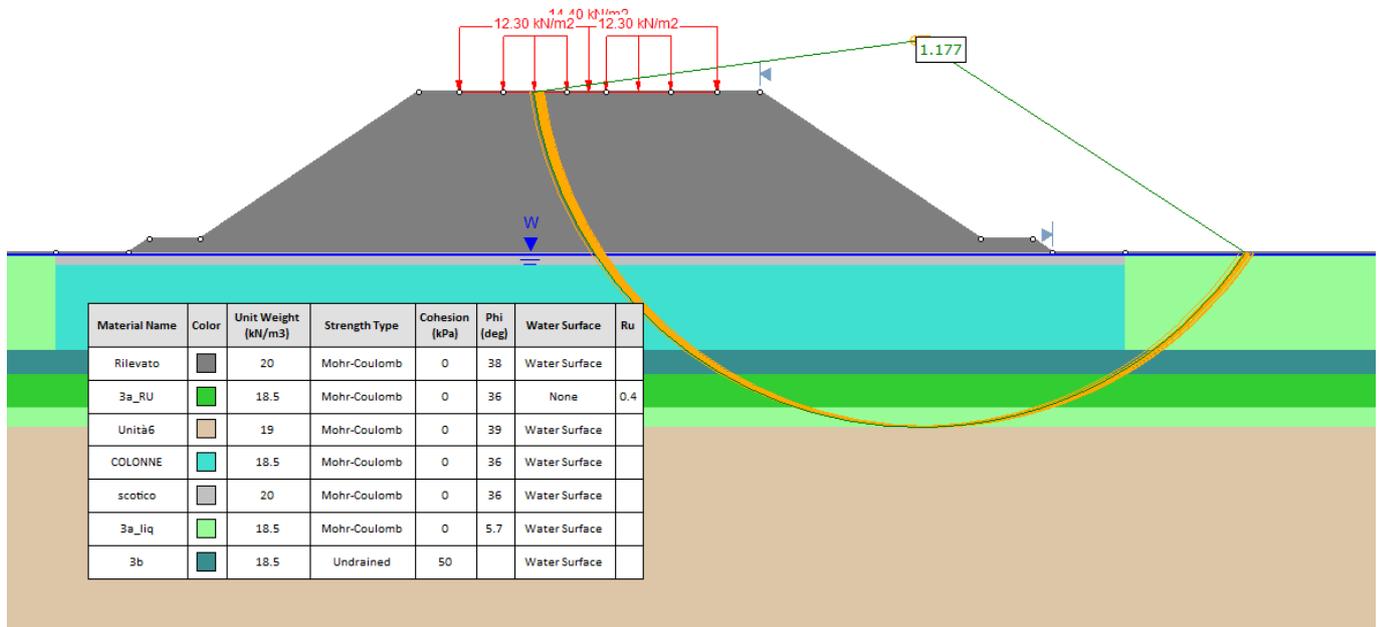


Figura 20 – Sezione A - Analisi SLU post sisma

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 46 di 87

6.4 Verifica e risultati SLE

6.4.1 Metodologia di calcolo

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

ν = coefficiente di Poisson

B = semilarghezza dell'area di carico in direzione x

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 47 di 87

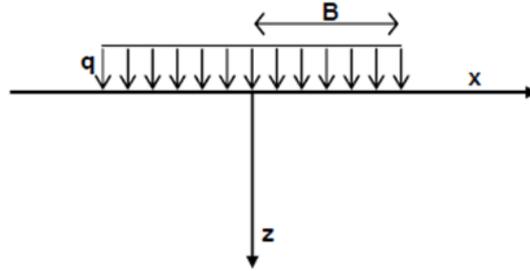


Figura 21 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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:

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

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

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

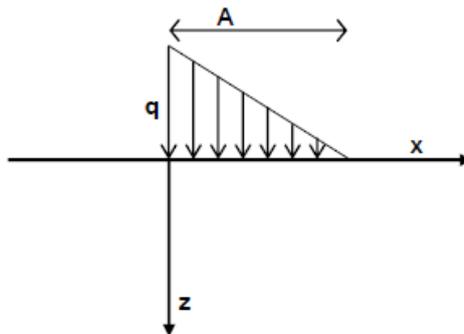


Figura 22 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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.

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 48 di 87

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 disequaglianza:

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

dove

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

6.4.2 Schematizzazione e risultati

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

La verifica è stata condotta con riferimento alla già citata sezione di riferimento A riportata in Figura 1. Il modello di calcolo, implementato per il rilevato tipologico con altezza pari a 7 m, è riportato in Figura 23. La larghezza del rilevato è pari a 34 m, con pendenza delle scarpate è 2V:3H. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici definiti in Tabella 2.

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

Per quanto concerne la deformabilità del terreno trattato con colonne di ghiaia, si può valutare un modulo equivalente dello strato trattato con colonne come media pesata fra l'area delle colonne e quella del terreno naturale.

Assumendo per le colonne un valore del modulo $E' = 60$ MPa, ed un'area di competenza di ciascuna colonna $D = 800$ mm pari a 4 m^2 (maglia 2×2), si ottiene un modulo equivalente pari a:

$$E'_{eq} = (5 \cdot 3.5 + 60 \cdot 0.5) / 4 \approx 12 \text{ MPa.}$$

I cedimenti sono stati calcolati al centro del nuovo rilevato, i valori calcolati sono riportati nella Figura 24.

Il cedimento calcolato in corrispondenza del centro del nuovo rilevato è di circa 13-14 cm.

Considerando la presenza delle colonne di ghiaia $D = 800$ a maglia quadrata con lato 2 m, se ne deduce che i massimi percorsi di drenaggio saranno dell'ordine del metro. In tali condizioni di drenaggio, e considerando la natura dei terreni, con prevalenza di componente sabbiosa, i cedimenti si esauriranno praticamente all'atto dell'applicazione dei carichi, e quindi non risultano essere necessarie dettagliate 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 pertanto da considerare trascurabili.

La verifica SLE è quindi da considerarsi soddisfatta.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI330001C</p>	<p>Foglio 49 di 87</p>

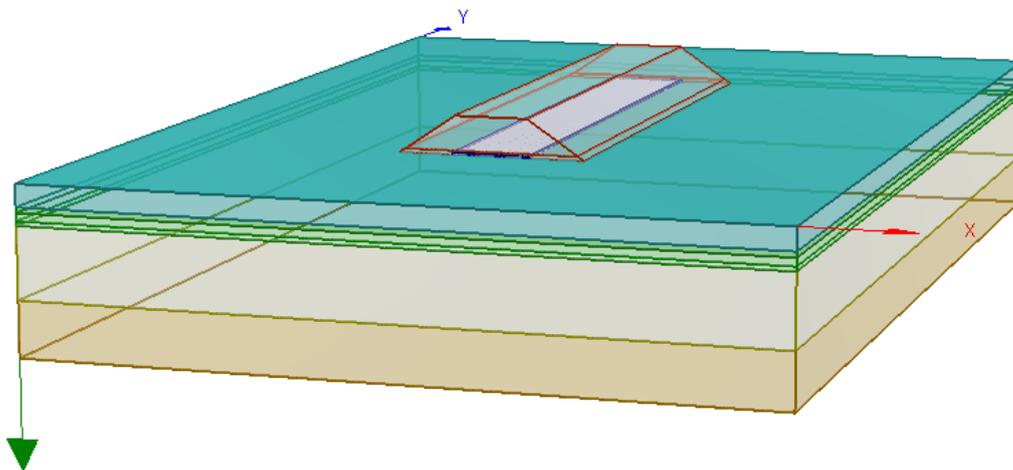


Figura 23 – Rilevato RI33 - Analisi SLE – Modello di calcolo

Ri33 : Cedimento del rilevato ferroviario linea AV

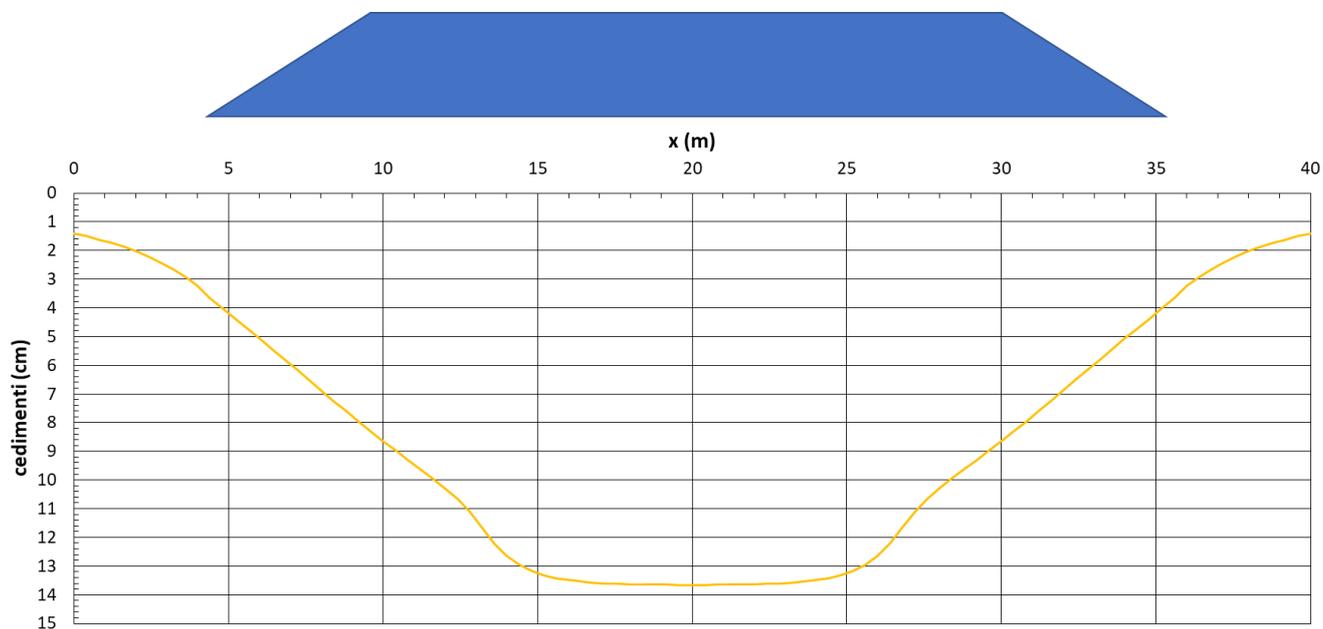


Figura 24 - Rilevato RI33 - Analisi SLE – Risultato Cedimenti

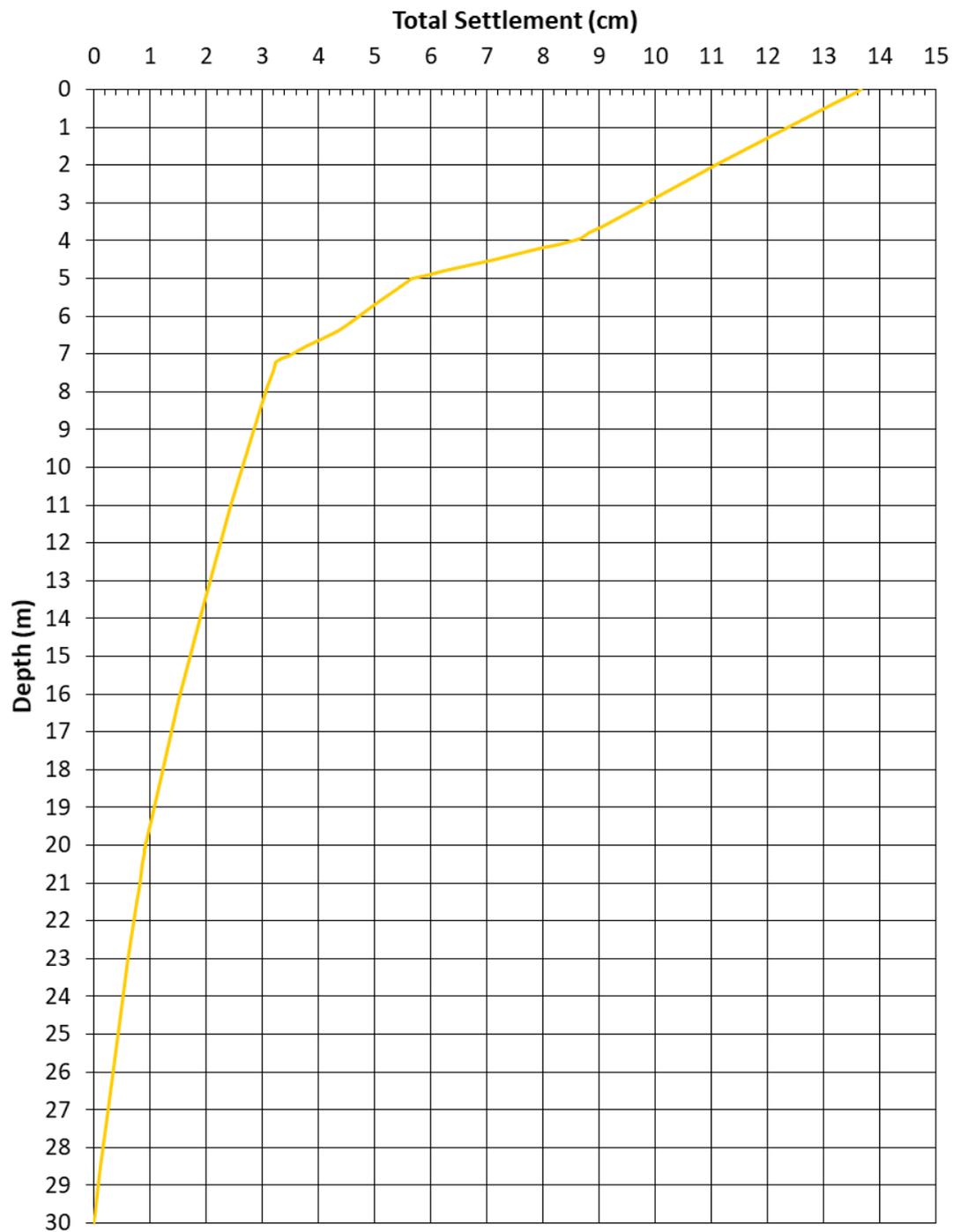


Figura 25 - Rilevato RI33 - Analisi SLE – Risultato cedimenti in profondità al centro del rilevato.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR <small>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</small>			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI330001C	Foglio 51 di 87

7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

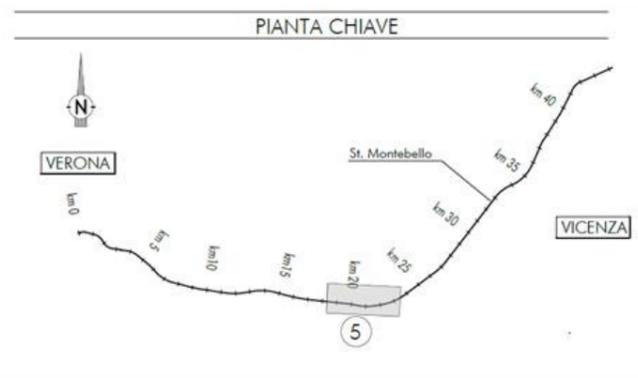
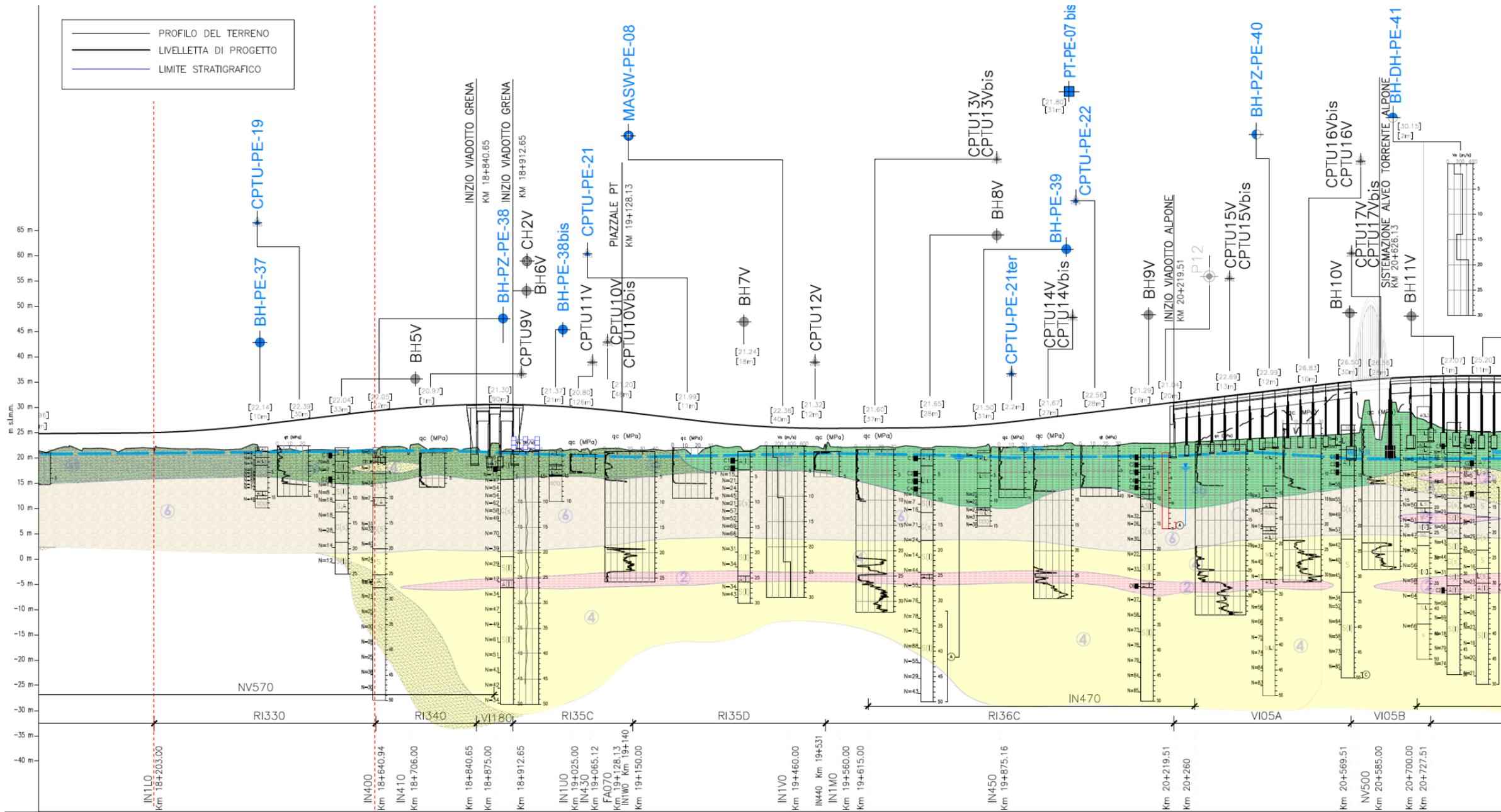
In conclusione, il rilevato oggetto di questa analisi risulta stabile e i cedimenti attesi sono limitati e non differiti nel tempo.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI330001C</p>	<p>Foglio 52 di 87</p>

ALLEGATI

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI330001C</p>	<p>Foglio 53 di 87</p>

ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



- LEGENDA**
- Campagna indagini integrative PE**
- BH-PE-37: Sondaggio a carotaggio continuo
 - BH-PE-38: Sondaggio a carotaggio continuo con l'installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande
 - MASW-PE-08: Prova sismica
 - CPTU-PE-19: Prova penetrometrica statica con piezometro
- Campagna indagini 2018 per CDS**
- IN400: Sondaggio geostatico
- Campagna indagini 2015**
- P1+P15, P20: Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - P1+158a: Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)
- Campagna indagini 2014**
- SP: Sondaggio a carotaggio continuo
 - SPC, SPC, SPC, SPC: Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SSA, SSA, SSA: Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - CPTU: Prova penetrometrica statica con piezometro (possibilità di avanzamento con trifilazione)
 - CPTU: Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"
 - CH: Foro a distribuzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
 - PT: Pozzetto esplorativo a 1,5 m da p.c. con prove di carico su piastra
- Profondità delle indagini**

- Campagna indagini pregresse**
- IN: Sondaggio geostatico (campagna 1998)
 - IN: Sondaggio geostatico, numero di riferimento (campagna 2002)
 - CPTU: CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
 - VI: Pozzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (Vi) per gentile concessione Centro Idrico Navoledo s.r.l.)
- Asse di progetto**
- Asse di progetto
 - confine di Provincia
 - Confine Comunale
- Classi dei terreni**
- 1) Ripporto
 - 2) Limi argillosi e limi da compatte a molto compatte, generalmente sovraconsolidati
 - 3a) Area con prevalenza di sabbie limose/can limo e limi sabbiosi/can sabbia, a comportamento drenato, da sciolti a mediamente addensati
 - 3b) Area con prevalenza di limi argillosi e argille limose, da tenere a mediamente compatte, generalmente NC o debolmente OC
 - 3c) Area di alternanza, sia in verticale che planimetrica, di materiali 3a e 3b
 - 4) Sabbie generalmente da debolmente limose a limose, da mediamente addensati a molto addensati
 - 6) Ghiaie, ghiaie con sabbie, con presenza locale di ciottoli, anche di grandi dimensioni (fino a 80/100mm)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI330001C</p>	<p>Foglio 55 di 87</p>

ALLEGATO 2 - SONDAGGI



Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3300001C

Foglio

56 di 87

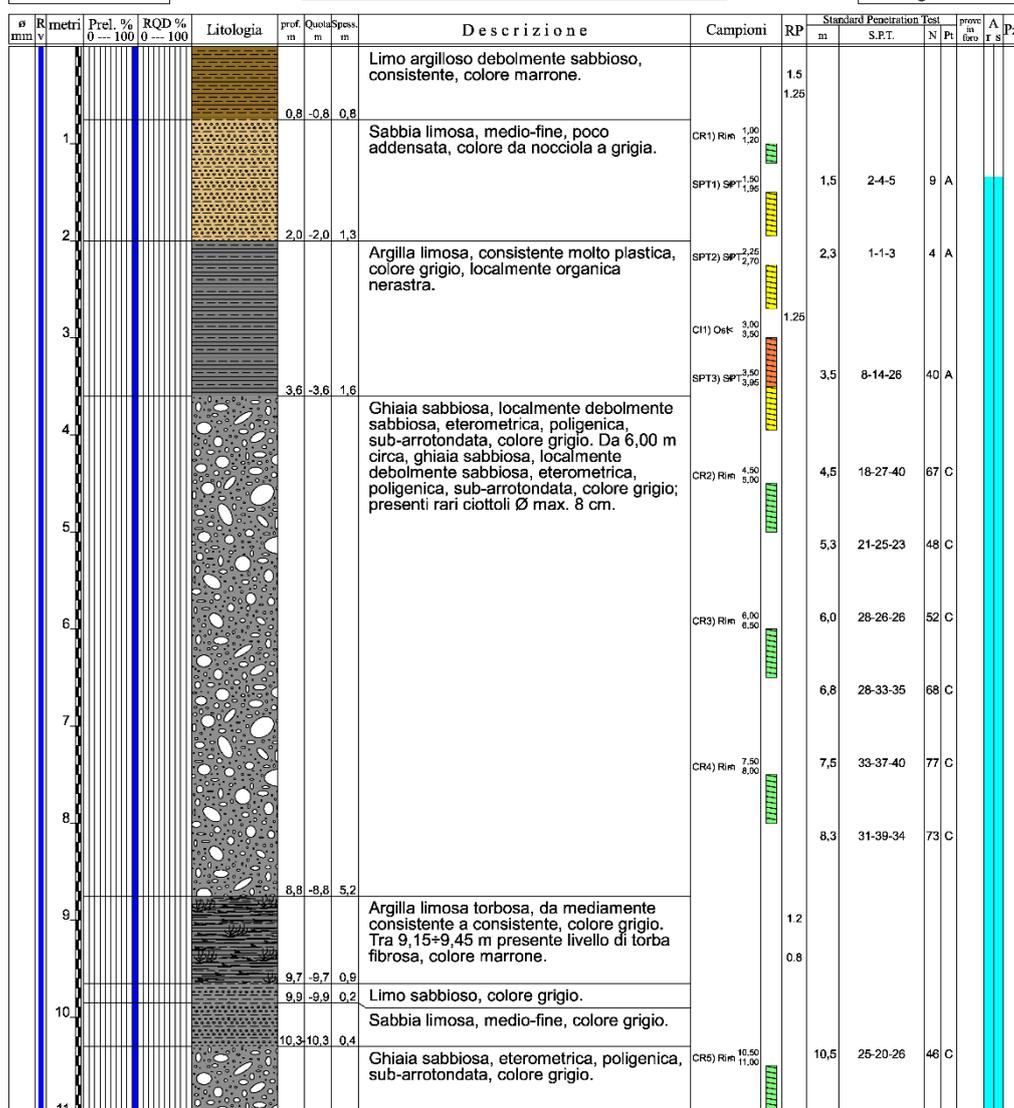


Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 37
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 24/11/2020 - 25/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: PUNTEL, prog. 18+400	

SCALA 1:55

STRATIGRAFIA - BH PE 37

Pagina 1/2



Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gabriele Sprocati

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 57 di 87



Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 37
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 24/11/2020 - 25/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: PUNTEL, prog. 18+400	

SCALA 1:55	STRATIGRAFIA - BH PE 37	Pagina 2/2
------------	--------------------------------	------------

Ø mm	R metri	Prel. % 0-100	RQD % 0-100	Litologia	prof. m	Quota m	Spes. m	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test			prove in foro	A r s	Pz
											m	S.P.T.	N			
101	12				12,0	12,0	1,7	Ghiaia sabbiosa, eterometrica, poligenica, sub-arrotondata, colore grigio.								

Utilizzato carotiere semplice.
 Prelevato n. 1 campione indisturbato.
 Prelevati n. 5 campioni rimaneggiati.
 Prelevati n. 3 campioni rimaneggiati SPT.
 Eseguite n. 10 prove SPT.
 Approvvigionamento e trasporto di acqua necessaria per la perforazione.

Il Geologo di Cantiere
 dott.geol. Gabriele Sprocati

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI330001C</p>	<p>Foglio 59 di 87</p>

ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE- ANALISI SLU STATICA

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 60 di 87

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RI33_stat_genn3.slim
Slide Modeler Version: 7.038
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

General Settings

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

Design Standard

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

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used
Bishop simplified

Number of slices: 50
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 75
Check malpha < 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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3300001C

Foglio
61 di 87



SLIDEINTERPRET 7.038

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

Random Numbers

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

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Auto Refine Search
Divisions along slope: 10
Circles per division: 10
Number of iterations: 10
Divisions to use in next iteration: 50%
Composite Surfaces: Disabled
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth [m]: 2.5
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

3 Distributed Loads present

Distributed Load 1
Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 14.4
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Permanent

Distributed Load 2
Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 61.4
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Variable

Distributed Load 3
Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 61.4
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Variable

Material Properties



GENERAL CONTRACTOR



Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

ALTA SORVEGLIANZA



GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI3300001C	62 di 87

Property	Rilevato	3a_36	Unità6	Unità4	COLONNE	scotico	3a_34	3b
Color								
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained
Unit Weight [kN/m ³]	20	18.5	19	19	18.5	20	18.5	18.5
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	36	39	38	36	36	34	34
Cohesion Type								50
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	Automatically Calculated	1	1	1	1	Automatically Calculated	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.258690
Center:	61.528, 35.791
Radius:	14.386
Left Slip Surface Endpoint:	49.354, 28.126
Right Slip Surface Endpoint:	63.180, 21.500
Resisting Moment:	3494.6 kN-m
Driving Moment:	2776.37 kN-m
Total Slice Area:	21.1396 m ²
Surface Horizontal Width:	13.8258 m
Surface Average Height:	1.529 m

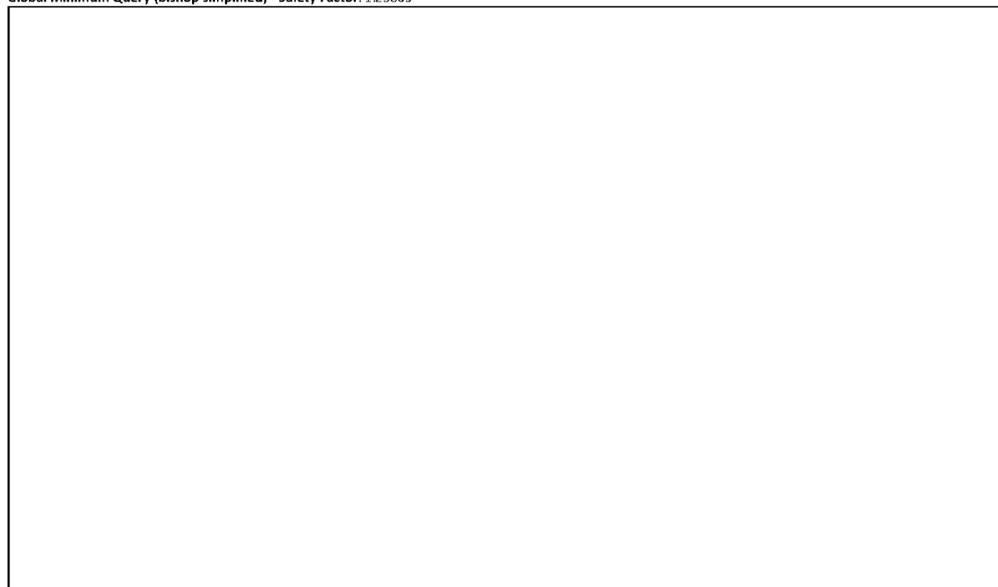
Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1257
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.25869





Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI3300001C

63 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 7

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	0.276904	1.17153	-56.7955	Rilevato	0	32.0066	1.19566	1.50497	2.40783	0	2.40783	4.23468	4.23468
2	0.276904	3.43126	-54.8312	Rilevato	0	32.0066	3.61266	4.54722	7.27522	0	7.27522	12.4024	12.4024
3	0.276904	5.53546	-52.9585	Rilevato	0	32.0066	5.99229	7.54243	12.0673	0	12.0673	20.0074	20.0074
4	0.276904	7.50387	-51.1637	Rilevato	0	32.0066	8.32969	10.4845	16.7745	0	16.7745	27.1211	27.1211
5	0.276904	9.35203	-49.4365	Rilevato	0	32.0066	10.6221	13.3699	21.3909	0	21.3909	33.7999	33.7999
6	0.276904	10.8979	-47.7681	Rilevato	0	32.0066	12.6421	15.9125	25.4589	0	25.4589	39.3856	39.3856
7	0.276904	11.593	-46.1517	Rilevato	0	32.0066	13.7149	17.2628	27.6191	0	27.6191	41.8967	41.8967
8	0.276904	12.124	-44.5815	Rilevato	0	32.0066	14.6083	18.3873	29.4182	0	29.4182	43.8147	43.8147
9	0.276904	12.5731	-43.0527	Rilevato	0	32.0066	15.4125	19.3995	31.0378	0	31.0378	45.4367	45.4367
10	0.276904	12.9464	-41.5612	Rilevato	0	32.0066	16.1301	20.3028	32.4831	0	32.4831	46.7845	46.7845
11	0.276904	13.2491	-40.1033	Rilevato	0	32.0066	16.7639	21.1005	33.7594	0	33.7594	47.8775	47.8775
12	0.276904	13.4858	-38.6761	Rilevato	0	32.0066	17.3158	21.7952	34.8707	0	34.8707	48.7314	48.7314
13	0.276904	13.6603	-37.2768	Rilevato	0	32.0066	17.788	22.3896	35.8218	0	35.8218	49.3612	49.3612
14	0.276904	13.7762	-35.9031	Rilevato	0	32.0066	18.1822	22.8858	36.6155	0	36.6155	49.7787	49.7787
15	0.276904	13.8365	-34.5528	Rilevato	0	32.0066	18.5	23.2858	37.2556	0	37.2556	49.9954	49.9954
16	0.276904	13.8438	-33.2241	Rilevato	0	32.0066	18.743	23.5916	37.745	0	37.745	50.0213	50.0213
17	0.276904	13.8008	-31.9154	Rilevato	0	32.0066	18.9122	23.8046	38.0855	0	38.0855	49.8644	49.8644
18	0.276904	13.7094	-30.625	Rilevato	0	32.0066	19.0089	23.9263	38.2803	0	38.2803	49.5333	49.5333
19	0.276904	13.5716	-29.3515	Rilevato	0	32.0066	19.0339	23.9578	38.3307	0	38.3307	49.0345	49.0345
20	0.276904	13.3892	-28.0939	Rilevato	0	32.0066	18.9882	23.9003	38.2386	0	38.2386	48.3748	48.3748
21	0.276904	13.1639	-26.8508	Rilevato	0	32.0066	18.8725	23.7546	38.0055	0	38.0055	47.5597	47.5597
22	0.276904	12.8969	-25.6212	Rilevato	0	32.0066	18.6872	23.5214	37.6323	0	37.6323	46.5942	46.5942
23	0.276904	12.5896	-24.4041	Rilevato	0	32.0066	18.4329	23.2013	37.1202	0	37.1202	45.4833	45.4833
24	0.276904	12.2433	-23.1987	Rilevato	0	32.0066	18.1099	22.7948	36.4698	0	36.4698	44.2313	44.2313
25	0.276904	11.8589	-22.004	Rilevato	0	32.0066	17.7185	22.3021	35.6818	0	35.6818	42.842	42.842
26	0.276904	11.4375	-20.8194	Rilevato	0	32.0066	17.2588	21.7235	34.7561	0	34.7561	41.3188	41.3188
27	0.276904	10.9799	-19.644	Rilevato	0	32.0066	16.7309	21.059	33.6928	0	33.6928	39.6649	39.6649
28	0.276904	10.4869	-18.4771	Rilevato	0	32.0066	16.1346	20.3085	32.4921	0	32.4921	37.8835	37.8835
29	0.276904	9.95935	-17.3181	Rilevato	0	32.0066	15.4698	19.4717	31.1533	0	31.1533	35.977	35.977
30	0.276904	9.39785	-16.1664	Rilevato	0	32.0066	14.7364	18.5485	29.6762	0	29.6762	33.9481	33.9481
31	0.276904	8.80303	-15.0214	Rilevato	0	32.0066	13.9337	17.5382	28.0598	0	28.0598	31.7989	31.7989
32	0.276904	8.17544	-13.8825	Rilevato	0	32.0066	13.0614	16.4402	26.3032	0	26.3032	29.5313	29.5313
33	0.276904	7.51558	-12.7491	Rilevato	0	32.0066	12.1189	15.254	24.4052	0	24.4052	27.1473	27.1473
34	0.276904	6.82389	-11.6208	Rilevato	0	32.0066	11.1056	13.9785	22.3645	0	22.3645	24.6484	24.6484
35	0.276904	6.10079	-10.4971	Rilevato	0	32.0066	10.0205	12.6127	20.1794	0	20.1794	22.0361	22.0361
36	0.276904	5.34663	-9.3774	Rilevato	0	32.0066	8.86287	11.1556	17.8481	0	17.8481	19.3117	19.3117
37	0.276904	4.56173	-8.26133	Rilevato	0	32.0066	7.63147	9.60566	15.3683	0	15.3683	16.4764	16.4764
38	0.276904	3.74637	-7.14841	Rilevato	0	32.0066	6.32526	7.96154	12.7379	0	12.7379	13.5312	13.5312
39	0.275286	3.216	-6.04143	scotico	0	30.1666	5.14381	6.47446	11.1392	0	11.1392	11.6836	11.6836
40	0.275286	3.34299	-4.93995	scotico	0	30.1666	5.39288	6.78797	11.6786	0	11.6786	12.1447	12.1447
41	0.275286	3.45936	-3.8403	scotico	0	30.1666	5.62877	7.08488	12.1894	0	12.1894	12.5672	12.5672
42	0.275286	3.54652	-2.74207	scotico	0	30.1666	5.82064	7.32638	12.6049	0	12.6049	12.8836	12.8836
43	0.275286	3.60458	-1.64484	scotico	0	30.1666	5.96752	7.51126	12.9229	0	12.9229	13.0943	13.0943
44	0.275286	3.63359	-0.548212	scotico	0	30.1666	6.0684	7.63823	13.1414	0	13.1414	13.1995	13.1995
45	0.275286	3.63359	0.548212	scotico	0	30.1666	6.12214	7.70588	13.2578	0	13.2578	13.1992	13.1992
46	0.275286	3.58108	1.64484	scotico	0	30.1666	6.08762	7.66243	13.183	0	13.183	13.0082	13.0082
47	0.275286	2.8231	2.74207	scotico	0	30.1666	4.84246	6.09515	10.4866	0	10.4866	10.2547	10.2547
48	0.275286	1.72499	3.8403	scotico	0	30.1666	2.98594	3.75837	6.4662	0	6.4662	6.26576	6.26576
49	0.275286	0.606525	4.93995	scotico	0	30.1666	1.05962	1.33373	2.29465	0	2.29465	2.20306	2.20306
50	0.275286	0.0802046	6.04143	scotico	0	30.1666	0.141437	0.178025	0.306287	0	0.306287	0.291318	0.291318

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.25869

--



Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI3300001C

64 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 7

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	49.3544	28.1257	0	0	0
2	49.6313	27.7026	0.68833	0	0
3	49.9082	27.3096	2.54918	0	0
4	50.1851	26.9427	5.32105	0	0
5	50.462	26.5987	8.78904	0	0
6	50.7389	26.2752	12.7736	0	0
7	51.0158	25.9702	17.0464	0	0
8	51.2927	25.6819	21.2184	0	0
9	51.5696	25.409	25.2098	0	0
10	51.8465	25.1503	28.9804	0	0
11	52.1234	24.9048	32.4984	0	0
12	52.4003	24.6716	35.739	0	0
13	52.6773	24.45	38.6835	0	0
14	52.9542	24.2392	41.3184	0	0
15	53.2311	24.0387	43.6346	0	0
16	53.508	23.8481	45.6269	0	0
17	53.7849	23.6667	47.2936	0	0
18	54.0618	23.4942	48.6361	0	0
19	54.3387	23.3303	49.6587	0	0
20	54.6156	23.1746	50.3681	0	0
21	54.8925	23.0268	50.7736	0	0
22	55.1694	22.8866	50.8866	0	0
23	55.4463	22.7538	50.7204	0	0
24	55.7232	22.6282	50.2907	0	0
25	56.0001	22.5095	49.6146	0	0
26	56.277	22.3976	48.7115	0	0
27	56.5539	22.2923	47.6022	0	0
28	56.8308	22.1935	46.3094	0	0
29	57.1077	22.1009	44.8575	0	0
30	57.3846	22.0146	43.2728	0	0
31	57.6615	21.9343	41.5831	0	0
32	57.9384	21.86	39.818	0	0
33	58.2153	21.7916	38.009	0	0
34	58.4922	21.7289	36.1894	0	0
35	58.7691	21.672	34.3943	0	0
36	59.046	21.6207	32.6608	0	0
37	59.3229	21.5749	31.0281	0	0
38	59.5998	21.5347	29.5373	0	0
39	59.8768	21.5	28.2318	0	0
40	60.152	21.4709	27.1434	0	0
41	60.4273	21.4471	25.9398	0	0
42	60.7026	21.4286	24.6188	0	0
43	60.9779	21.4154	23.1861	0	0
44	61.2532	21.4075	21.6489	0	0
45	61.5285	21.4049	20.0166	0	0
46	61.8038	21.4075	18.2999	0	0
47	62.079	21.4154	16.5234	0	0
48	62.3543	21.4286	15.0549	0	0
49	62.6296	21.4471	14.1151	0	0
50	62.9049	21.4709	13.7695	0	0
51	63.1802	21.5	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	21.4
84	21.4

Distributed Load

X	Y
49.1065	28.1257
38.5612	28.1257

Distributed Load



Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3300001C

Foglio

65 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 6 of 7

X	Y
42.9609	28.1257
40.3413	28.1257

Distributed Load

X	Y
47.1966	28.1257
44.59	28.1257

External Boundary

X	Y
82.8168	21.5
65.8168	21.5
62.8685	21.5
62.0197	22.0662
59.9297	22.0662
50.845	28.1257
36.8842	28.1257
27.9388	22.0662
25.8488	22.0662
25	21.5
22	21.5
0	21.5
0	17.5
0	16.5
0	15.1
0	14.3
0	2.5
0	-8.4655
82.8168	-8.4655
82.8168	2.5
82.8168	14.3
82.8168	15.1
82.8168	16.5
82.8168	17.5

Material Boundary

X	Y
22	21
65.8168	21

Material Boundary

X	Y
22	17.5
22	21
22	21.5

Material Boundary

X	Y
65.8168	17.5
65.8168	21
65.8168	21.5

Material Boundary

X	Y
25	21.5
62.8685	21.5

Material Boundary

X	Y
0	2.5
82.8168	2.5

GENERAL CONTRACTOR



IRICAV2

ALTA SORVEGLIANZA



ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI330001C

Foglio
66 di 87

Material Boundary

X	Y
0	17.5
22	17.5
65.8168	17.5
82.8168	17.5

Material Boundary

X	Y
0	15.1
82.8168	15.1

Material Boundary

X	Y
0	14.3
82.8168	14.3

Material Boundary

X	Y
0	16.5
82.8168	16.5

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI330001C</p>	<p>Foglio 67 di 87</p>

ALLEGATO 4- TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU IN CAMPO SISMICO

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 68 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 1 of 7

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RI33_sism.slim
Slide Modeler Version: 7.038
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

General Settings

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

Design Standard

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

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

Groundwater Analysis

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 69 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 2 of 7

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

Random Numbers

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

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Auto Refine Search
Divisions along slope: 10
Circles per division: 10
Number of iterations: 10
Divisions to use in next iteration: 50%
Composite Surfaces: Disabled
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth [m]: 4
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.083
Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.042

3 Distributed Loads present

Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Material Properties



GENERAL CONTRACTOR



Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

ALTA SORVEGLIANZA



GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI3300001C	70 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 3 of 7

Property	Rilevato	3a_	Unità6	Unità4	COLONNE	scotico	3a	3b
Color								
Strength Type	Mohr-Coulomb	Undrained						
Unit Weight [kN/m3]	20	18.5	19	19	18.5	20	18.5	18.5
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	0	0	0	
Friction Angle [deg]	38	36	39	38	36	36	34	
Cohesion Type								50
Water Surface	Water Table	Water Table						
Hu Value	1	0	1	1	1	1	1	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.112780
Center:	61.345, 35.422
Radius:	15.266
Left Slip Surface Endpoint:	47.936, 28.126
Right Slip Surface Endpoint:	67.606, 21.500
Resisting Moment:	6748.86 kN-m
Driving Moment:	6064.84 kN-m
Total Slice Area:	46.1936 m2
Surface Horizontal Width:	19.6705 m
Surface Average Height:	2.34837 m

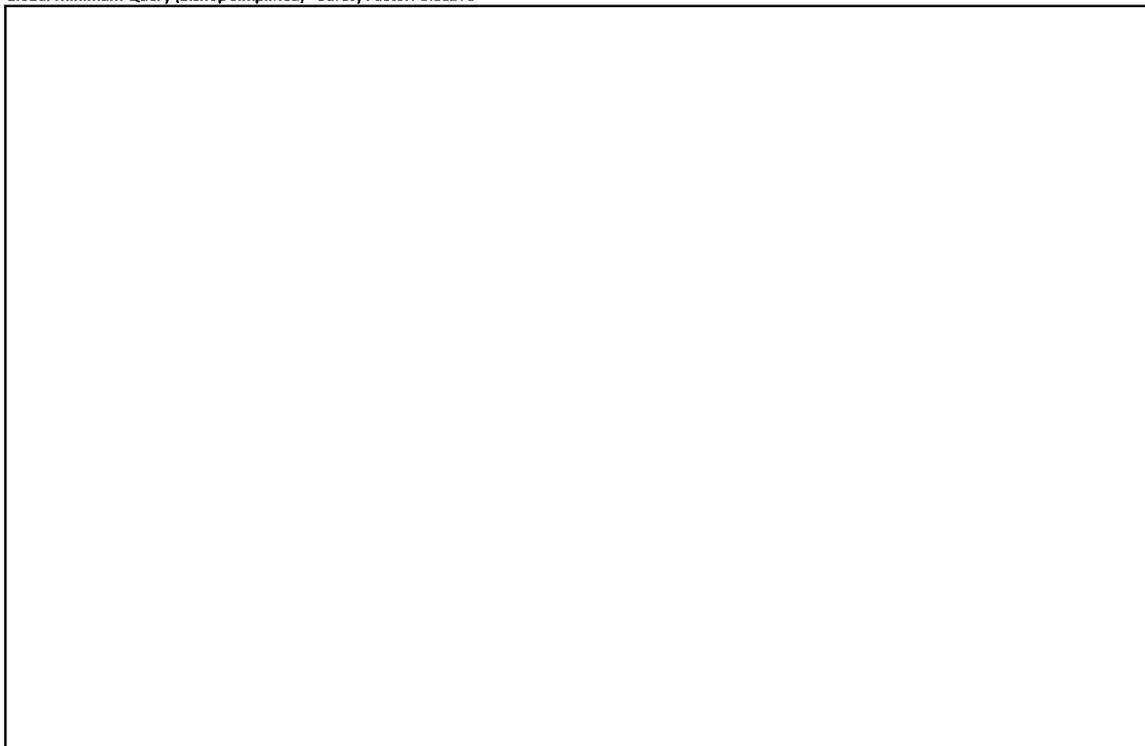
Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 956
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.11278



GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBR13300001C	Foglio 71 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 7

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	0.397073	2.7262	-59.9575	Rilevato	0	32.0066	5.9785	6.65276	10.6439	0	10.6439	20.9813	20.9813
2	0.397073	7.88929	-57.0971	Rilevato	0	32.0066	10.0543	11.1882	17.9003	0	17.9003	33.4401	33.4401
3	0.397073	12.532	-54.4437	Rilevato	0	32.0066	13.8085	15.3658	24.5841	0	24.5841	43.9027	43.9027
4	0.397073	16.7525	-51.953	Rilevato	0	32.0066	13.2185	14.7093	23.5338	0	23.5338	40.4242	40.4242
5	0.397073	20.6193	-49.5942	Rilevato	0	32.0066	16.8368	18.7356	29.9756	0	29.9756	49.7547	49.7547
6	0.397073	24.1828	-47.3447	Rilevato	0	32.0066	20.3622	22.6586	36.2522	0	36.2522	58.353	58.353
7	0.397073	27.4811	-45.1876	Rilevato	0	32.0066	23.7937	26.4771	42.3615	0	42.3615	66.3115	66.3115
8	0.397073	30.0677	-43.1095	Rilevato	0	32.0066	26.7083	29.7205	47.5507	0	47.5507	72.5522	72.5522
9	0.397073	30.9281	-41.0999	Rilevato	0	32.0066	28.1327	31.3055	50.0865	0	50.0865	74.6281	74.6281
10	0.397073	31.4839	-39.1501	Rilevato	0	32.0066	29.2807	32.583	52.1304	0	52.1304	75.9687	75.9687
11	0.397073	31.8632	-37.253	Rilevato	0	32.0066	30.2588	33.6714	53.8719	0	53.8719	76.8837	76.8837
12	0.397073	32.0796	-35.4025	Rilevato	0	32.0066	31.0728	34.5772	55.3211	0	55.3211	77.4054	77.4054
13	0.397073	32.1442	-33.5937	Rilevato	0	32.0066	31.7273	35.3055	56.4863	0	56.4863	77.5609	77.5609
14	0.397073	32.0666	-31.8221	Rilevato	0	32.0066	32.2264	35.8609	57.3749	0	57.3749	77.3734	77.3734
15	0.397073	31.8552	-30.0839	Rilevato	0	32.0066	32.5735	36.2471	57.9927	0	57.9927	76.8626	76.8626
16	0.397073	31.5169	-28.3758	Rilevato	0	32.0066	32.7712	36.4671	58.3445	0	58.3445	76.046	76.046
17	0.397073	31.0581	-26.6948	Rilevato	0	32.0066	32.8218	36.5234	58.4348	0	58.4348	74.9387	74.9387
18	0.397073	30.4841	-25.0382	Rilevato	0	32.0066	32.727	36.4179	58.2659	0	58.2659	73.5533	73.5533
19	0.22727	17.1503	-23.7498	scotico	0	30.1666	30.7061	34.1691	58.7872	0	58.7872	72.2981	72.2981
20	0.343605	25.4556	-22.5854	scotico	0	30.1666	30.1553	33.5562	58.4336	0.701053	57.7326	70.9771	70.276
21	0.343605	24.8295	-21.1954	scotico	0	30.1666	29.1776	32.4683	57.9166	2.05567	55.8609	69.2312	67.1755
22	0.343605	24.1379	-19.8184	scotico	0	30.1666	28.1269	31.299	57.1659	3.31661	53.8493	67.3024	63.9858
23	0.411986	27.8952	-18.3185	COLONNE	0	30.1666	26.8418	29.869	55.9821	4.59304	51.389	64.8668	60.2757
24	0.411986	26.6217	-16.6969	COLONNE	0	30.1666	25.3057	28.1597	54.3164	5.86822	48.4482	61.907	56.0388
25	0.411986	25.2517	-15.0889	COLONNE	0	30.1666	23.6715	26.3412	52.3388	7.0192	45.3196	58.7209	51.7017
26	0.411986	23.7875	-13.493	COLONNE	0	30.1666	21.939	24.4133	50.0514	8.04892	42.0025	55.3157	47.2668
27	0.411986	22.2311	-11.9078	COLONNE	0	30.1666	20.1075	22.3752	47.4561	8.95994	38.4961	51.6962	42.7363
28	0.411986	20.5842	-10.3317	COLONNE	0	30.1666	18.176	20.2259	44.5525	9.75447	34.798	47.866	38.1115
29	0.411986	18.8482	-8.76348	COLONNE	0	30.1666	16.1431	17.9637	41.3405	10.4344	30.9061	43.8291	33.3947
30	0.411986	17.0244	-7.20187	COLONNE	0	30.1666	14.007	15.5867	37.8178	11.0012	26.8166	39.5878	28.5866
31	0.411986	15.2086	-5.64563	COLONNE	0	30.1666	11.8751	13.2144	34.1913	11.4564	22.7349	35.3652	23.9088
32	0.411986	14.9045	-4.09356	COLONNE	0	30.1666	11.5088	12.8068	33.8345	11.8008	22.0337	34.6582	22.8574
33	0.411986	15.0867	-2.54449	COLONNE	0	30.1666	11.7647	13.0915	34.5588	12.0352	22.5236	35.0816	23.0464
34	0.411986	15.1838	0.997287	COLONNE	0	30.1666	11.9813	13.3326	35.0986	12.1602	22.9384	35.3071	23.1469
35	0.411986	15.196	0.54919	COLONNE	0	30.1666	12.1577	13.5289	35.4523	12.176	23.2763	35.3357	23.1597
36	0.411986	15.0704	0.209607	COLONNE	0	30.1666	12.2268	13.6057	35.4911	12.0826	23.4085	35.0436	22.961
37	0.411986	13.3437	3.64448	COLONNE	0	30.1666	10.3457	11.5125	31.6871	11.88	19.8071	31.0282	19.1482
38	0.411986	10.8643	5.19556	COLONNE	0	30.1666	7.51008	8.35707	25.9456	11.5675	14.3781	25.2627	13.6952
39	0.411986	9.72977	6.75047	COLONNE	0	30.1666	6.39146	7.11229	23.3811	11.1446	12.2365	22.6246	11.48
40	0.411986	9.3146	8.3104	COLONNE	0	30.1666	6.24781	6.95244	22.5717	10.6102	11.9615	21.6591	11.0489
41	0.411986	8.81191	9.87656	COLONNE	0	30.1666	6.04856	6.73072	21.5432	9.96318	11.58	20.4901	10.527
42	0.411986	8.22056	11.4502	COLONNE	0	30.1666	5.7904	6.44344	20.2878	9.20204	11.0858	19.115	9.91297
43	0.411986	7.53914	13.0327	COLONNE	0	30.1666	5.46954	6.08639	18.7965	8.32499	10.4715	17.5305	9.20547
44	0.411986	6.76602	14.6253	COLONNE	0	30.1666	5.08163	5.65474	17.0588	7.3299	9.72887	15.7327	8.4028
45	0.411986	5.89931	16.2297	COLONNE	0	30.1666	4.62168	5.14291	15.0626	6.21434	8.84826	13.7173	7.50295
46	0.390542	4.41301	17.8047	3a	0	28.3516	3.33926	3.71586	11.8972	5.01091	6.88624	10.8247	5.81382
47	0.390542	3.46443	19.3513	3a	0	28.3516	2.79072	3.10546	9.47798	3.72294	5.75504	8.49788	4.77494
48	0.390542	2.42984	20.9127	3a	0	28.3516	2.16768	2.41215	6.78839	2.31819	4.4702	5.96008	3.64189
49	0.390542	1.30662	22.4906	3a	0	28.3516	1.46331	1.62834	3.81075	0.793101	3.01765	3.20491	2.41181
50	0.22727	0.210224	23.7498	3a	0	28.3516	0.546209	0.60781	1.12639	0	1.12639	0.886057	0.886057

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.11278

--

GENERAL CONTRACTOR



Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

ALTA SORVEGLIANZA



GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI3300001C	72 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 7

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	47.9357	28.1257	0	0	0
2	48.3328	27.4391	5.16112	0	0
3	48.7298	26.8254	12.8108	0	0
4	49.1269	26.2698	22.027	0	0
5	49.524	25.7625	30.1111	0	0
6	49.9211	25.296	39.1222	0	0
7	50.3181	24.865	48.671	0	0
8	50.7152	24.4654	58.4388	0	0
9	51.1123	24.0937	68.0078	0	0
10	51.5094	23.7473	76.7577	0	0
11	51.9064	23.424	84.6008	0	0
12	52.3035	23.122	91.503	0	0
13	52.7006	22.8398	97.4443	0	0
14	53.0976	22.5761	102.417	0	0
15	53.4947	22.3296	106.425	0	0
16	53.8918	22.0996	109.48	0	0
17	54.2889	21.8851	111.602	0	0
18	54.6859	21.6855	112.819	0	0
19	55.083	21.5	113.166	0	0
20	55.3103	21.4	113.493	0	0
21	55.6539	21.2571	113.6	0	0
22	55.9975	21.1238	113.356	0	0
23	56.3411	21	112.777	0	0
24	56.7531	20.8636	111.674	0	0
25	57.1651	20.74	110.174	0	0
26	57.5771	20.6289	108.335	0	0
27	57.989	20.5301	106.222	0	0
28	58.401	20.4432	103.91	0	0
29	58.813	20.3681	101.479	0	0
30	59.225	20.3046	99.0205	0	0
31	59.637	20.2525	96.6338	0	0
32	60.049	20.2118	94.3981	0	0
33	60.461	20.1823	91.8931	0	0
34	60.8729	20.164	88.933	0	0
35	61.2849	20.1568	85.5106	0	0
36	61.6969	20.1608	81.625	0	0
37	62.1089	20.1759	77.3053	0	0
38	62.5209	20.2021	73.3207	0	0
39	62.9329	20.2396	70.1576	0	0
40	63.3449	20.2883	67.1928	0	0
41	63.7568	20.3485	64.0345	0	0
42	64.1688	20.4202	60.7296	0	0
43	64.5808	20.5037	57.3343	0	0
44	64.9928	20.5991	53.9151	0	0
45	65.4048	20.7066	50.5499	0	0
46	65.8168	20.8265	47.3298	0	0
47	66.2073	20.9519	44.9003	0	0
48	66.5979	21.0891	42.7984	0	0
49	66.9884	21.2383	41.1408	0	0
50	67.3789	21.4	40.0618	0	0
51	67.6062	21.5	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	21.4
84	21.4

Distributed Load

X	Y
49.1065	28.1257
38.5612	28.1257



Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3300001C

Foglio
73 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



Distributed Load

X	Y
42.9609	28.1257
40.3413	28.1257

Distributed Load

X	Y
47.1966	28.1257
44.59	28.1257

External Boundary

X	Y
82.8168	21.5
65.8168	21.5
62.8685	21.5
62.0197	22.0662
59.9297	22.0662
50.845	28.1257
36.8842	28.1257
27.9388	22.0662
25.8488	22.0662
25	21.5
22	21.5
0	21.5
0	17.5
0	16.5
0	15.1
0	14.3
0	2.5
0	-8.4655
82.8168	-8.4655
82.8168	2.5
82.8168	14.3
82.8168	15.1
82.8168	16.5
82.8168	17.5

Material Boundary

X	Y
22	21
65.8168	21

Material Boundary

X	Y
22	17.5
22	21
22	21.5

Material Boundary

X	Y
65.8168	17.5
65.8168	21
65.8168	21.5

Material Boundary

X	Y
25	21.5
62.8685	21.5

Material Boundary

X	Y

GENERAL CONTRACTOR



IRICAV2

ALTA SORVEGLIANZA



ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3300001C

Foglio
74 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

X	Y
0	2.5
82.8168	2.5

Material Boundary

X	Y
0	17.5
22	17.5
65.8168	17.5
82.8168	17.5

Material Boundary

X	Y
0	15.1
82.8168	15.1

Material Boundary

X	Y
0	14.3
82.8168	14.3

Material Boundary

X	Y
0	16.5
82.8168	16.5

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI330001C</p>	<p>Foglio 75 di 87</p>

ALLEGATO 5 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU POST SISMA

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 76 di 87

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RI33_post_genn3.slim
Slide Modeler Version: 7.038
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

General Settings

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

Design Standard

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

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used	
	Bishop simplified

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

Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3300001C

Foglio

77 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 2 of 7

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

Random Numbers

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

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Auto Refine Search
Divisions along slope: 10
Circles per division: 10
Number of iterations: 10
Divisions to use in next iteration: 50%
Composite Surfaces: Disabled
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth [m]: 2.5
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

3 Distributed Loads present

Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Material Properties

Property	Rilevato	3a_RU	Unità6	Unità4	COLONNE	scotico	3a_liq	3b
Color								
Strength Type	Mohr-Coulomb	Undrained						
Unit Weight [kN/m3]	20	18.5	19	19	18.5	20	18.5	18.5
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	0	0	0	
Friction Angle [deg]	38	36	39	38	36	36	5.7	
Cohesion Type								50
Water Surface	Water Table	None	Water Table	Water Table				
Hu Value	1		1	1	1	1	1	0
Ru Value		0.4						

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3300001C

Foglio
78 di 87

Global Minimums

Method: bishop simplified

	FS	1.177050
Center:	57.412, 30.272	
Radius:	15.977	
Left Slip Surface Endpoint:	41.580, 28.126	
Right Slip Surface Endpoint:	70.765, 21.500	
Resisting Moment:	18608.9 kN-m	
Driving Moment:	15809.7 kN-m	
Total Slice Area:	224.335 m2	
Surface Horizontal Width:	29.1847 m	
Surface Average Height:	7.68673 m	

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1672
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.17705





Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI3300001C

79 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 7

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	0.619693	16.959	-77.2412	Rilevato	0	32.0066	8.58519	10.1052	16.1676	0	16.1676	54.0815	54.0815
2	0.619693	43.9685	-69.0885	Rilevato	0	32.0066	21.7036	25.5462	40.8721	0	40.8721	97.6739	97.6739
3	0.619693	61.7157	-63.484	Rilevato	0	32.0066	30.0511	35.3716	56.592	0	56.592	116.823	116.823
4	0.619693	75.765	-58.8459	Rilevato	0	32.0066	38.6407	45.482	72.7678	0	72.7678	136.687	136.687
5	0.0662325	8.84291	-56.4825	scotico	0	30.1666	41.8503	49.2599	84.7507	0	84.7507	147.938	147.938
6	0.275983	38.2273	-55.396	scotico	0	30.1666	43.453	51.1463	89.9581	1.962	87.9961	152.937	150.975
7	0.568761	85.0033	-52.8361	COLONNE	0	30.1666	49.1844	57.8925	107.207	7.6042	99.6028	172.09	164.486
8	0.568761	92.4634	-49.5746	COLONNE	0	30.1666	54.6212	64.2919	125.172	14.5594	110.612	189.294	174.734
9	0.568761	99.1315	-46.5194	COLONNE	0	30.1666	58.5278	68.8901	139.301	20.7763	118.524	201.018	180.242
10	0.568761	105.139	-43.628	COLONNE	0	30.1666	62.1835	73.1931	152.304	26.3774	125.927	211.579	185.202
11	0.568761	110.5871	-40.8701	COLONNE	0	30.1666	65.2689	76.8248	163.626	31.4507	132.175	220.104	188.653
12	0.568761	115.527	-38.223	COLONNE	0	30.1666	64.5216	75.9451	166.724	36.0618	130.662	217.539	181.477
13	0.749988	159.126	-35.2772	3b	35.7143	0	30.3422	35.7143	205.114	0	205.114	226.579	226.579
14	0.749988	166.063	-32.0429	3b	35.7143	0	30.3422	35.7143	212.862	0	212.862	231.854	231.854
15	0.61846	141.602	-29.1859	3a_RU	0	30.1666	53.1754	62.5901	199.269	91.5834	107.685	228.97	137.387
16	0.61846	145.355	-26.6744	3a_RU	0	30.1666	55.7978	65.6768	207.006	94.0111	112.995	235.038	141.027
17	0.61846	148.024	-24.2172	3a_RU	0	30.1666	58.0299	68.3041	213.253	95.7375	117.516	239.354	143.616
18	0.61846	146.508	-21.8066	3a_RU	0	30.1666	58.6114	68.9885	213.449	94.7565	118.693	236.9	142.143
19	0.61846	144.069	-19.436	3a_RU	0	30.1666	58.7805	69.1876	212.216	93.1794	119.036	232.957	139.778
20	0.578343	132.231	-17.1744	3a_liq	0	4.56541	11.0274	12.9798	225.231	62.6797	162.551	228.639	165.959
21	0.578343	129.555	-15.0151	3a_liq	0	4.56541	10.64	12.5238	221.159	64.3174	156.844	224.013	159.695
22	0.578343	126.63	-12.8775	3a_liq	0	4.56541	10.2362	12.0485	216.615	65.7268	150.888	218.955	153.229
23	0.578343	123.464	-10.758	3a_liq	0	4.56541	9.81641	11.5544	211.614	66.9144	144.7	213.479	146.565
24	0.578343	120.06	-8.65333	3a_liq	0	4.56541	9.38099	11.0419	206.167	67.8851	138.282	207.594	139.709
25	0.578343	116.425	-6.56036	3a_liq	0	4.56541	8.93029	10.5114	200.282	68.643	131.639	201.309	132.666
26	0.578343	112.561	-4.47617	3a_liq	0	4.56541	8.46458	9.96323	193.964	69.1913	124.773	194.627	125.436
27	0.578343	108.471	-2.3979	3a_liq	0	4.56541	7.98394	9.3975	187.221	69.5322	117.689	187.556	118.023
28	0.758325	135.637	0	3a_liq	0	4.56541	7.40892	8.72067	178.864	69.651	109.213	178.864	109.213
29	0.578343	98.1585	2.3979	3a_liq	0	4.56541	6.81631	8.02314	170.009	69.5322	100.477	169.724	100.191
30	0.578343	93.3248	4.47617	3a_liq	0	4.56541	6.28645	7.39947	161.858	69.1913	92.6665	161.366	92.1744
31	0.578343	88.2648	6.56036	3a_liq	0	4.56541	5.74151	6.75805	153.277	68.643	84.6338	152.616	83.9735
32	0.578343	83.1793	8.65333	3a_liq	0	4.56541	5.20535	6.12696	144.615	67.8851	76.7303	143.823	75.9381
33	0.578343	81.0329	10.758	3a_liq	0	4.56541	5.03053	5.92119	141.068	66.9144	74.1532	140.112	73.1974
34	0.578343	79.7377	12.8775	3a_liq	0	4.56541	4.97143	5.85162	139.009	65.7268	73.2821	137.872	72.1455
35	0.578343	78.2005	15.0151	3a_liq	0	4.56541	4.89876	5.76608	136.528	64.3174	72.2108	135.214	70.8968
36	0.578343	75.3581	17.1744	3a_liq	0	4.56541	4.68554	5.51512	131.748	62.6797	69.068	130.3	67.6199
37	0.61846	73.7969	19.436	3a_RU	0	30.1666	42.8102	50.3898	134.424	47.7295	86.6945	119.318	71.5884
38	0.61846	69.777	21.8066	3a_RU	0	30.1666	41.6545	49.0294	129.484	45.1295	84.3541	112.817	67.688
39	0.61846	66.7701	24.2172	3a_RU	0	30.1666	41.1158	48.3953	126.448	43.1848	83.2628	107.955	64.7699
40	0.61846	63.4012	26.6744	3a_RU	0	30.1666	40.3894	47.5404	122.798	41.0059	81.7922	102.507	61.5011
41	0.61846	59.6476	29.1859	3a_RU	0	30.1666	39.4528	46.4379	118.474	38.5781	79.8955	96.4369	57.8588
42	0.749988	66.3474	32.0429	3b	35.7143	0	30.3422	35.7143	107.449	0	107.449	88.4573	88.4573
43	0.749988	59.1799	35.2772	3b	35.7143	0	30.3422	35.7143	100.365	0	100.365	78.8996	78.8996
44	0.614759	42.7283	38.3301	3a_liq	0	4.56541	2.41064	2.83744	71.4093	35.875	35.5343	69.5034	33.6284
45	0.614759	36.904	41.2007	3a_liq	0	4.56541	2.10442	2.47701	61.8717	30.8512	31.0205	60.0294	29.1782
46	0.614759	30.4436	44.2039	3a_liq	0	4.56541	1.76073	2.07247	51.2329	25.2786	25.9543	49.5205	24.2419
47	0.614759	23.2459	47.3696	3a_liq	0	4.56541	1.37263	1.61566	39.3036	19.0701	20.2335	37.8124	18.7423
48	0.614759	15.1711	50.7396	3a_liq	0	4.56541	0.930122	1.0948	25.8157	12.1051	13.7106	24.6777	12.5726
49	0.614759	6.01566	54.3746	3a_liq	0	4.56541	0.417924	0.491918	10.3684	4.20791	6.16048	9.78519	5.57728
50	0.0662325	0.0612651	56.4825	3a_liq	0	4.56541	0.0699094	0.0822869	1.03051	0	1.03051	0.924956	0.924956

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.17705

--



Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3300001C

Foglio
80 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 7

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	41.58	28.1257	0	0	0
2	42.1997	25.389	38.9274	0	0
3	42.8194	23.7671	91.7708	0	0
4	43.4391	22.5251	143.445	0	0
5	44.0588	21.5	194.103	0	0
6	44.125	21.4	199.807	0	0
7	44.401	21	223.802	0	0
8	44.9697	20.2497	276.276	0	0
9	45.5385	19.582	328.798	0	0
10	46.1073	18.9823	379.069	0	0
11	46.676	18.4401	426.287	0	0
12	47.2448	17.9479	469.709	0	0
13	47.8135	17.5	507.708	0	0
14	48.5635	16.9694	593.788	0	0
15	49.3135	16.5	670.964	0	0
16	49.932	16.1546	706.926	0	0
17	50.5504	15.8438	736.749	0	0
18	51.1689	15.5657	760.194	0	0
19	51.7874	15.3182	776.777	0	0
20	52.4058	15.1	786.749	0	0
21	52.9842	14.9213	820.633	0	0
22	53.5625	14.7661	848.79	0	0
23	54.1408	14.6339	871.513	0	0
24	54.7192	14.524	889.091	0	0
25	55.2975	14.436	901.814	0	0
26	55.8759	14.3695	909.972	0	0
27	56.4542	14.3242	913.86	0	0
28	57.0326	14.3	913.779	0	0
29	57.7909	14.3	908.162	0	0
30	58.3692	14.3242	900.104	0	0
31	58.9476	14.3695	889.142	0	0
32	59.5259	14.436	875.628	0	0
33	60.1043	14.524	859.89	0	0
34	60.6826	14.6339	841.481	0	0
35	61.2609	14.7661	820.227	0	0
36	61.8393	14.9213	796.215	0	0
37	62.4176	15.1	769.957	0	0
38	63.0361	15.3182	714.156	0	0
39	63.6545	15.5657	656.363	0	0
40	64.273	15.8438	595.771	0	0
41	64.8915	16.1546	532.647	0	0
42	65.5099	16.5	467.33	0	0
43	66.2599	16.9694	394.143	0	0
44	67.0099	17.5	318.145	0	0
45	67.6247	17.986	281.956	0	0
46	68.2394	18.5242	247.364	0	0
47	68.8542	19.1221	215.649	0	0
48	69.4689	19.79	188.558	0	0
49	70.0837	20.5421	168.569	0	0
50	70.6985	21.4	159.417	0	0
51	70.7647	21.5	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	21.4
84	21.4

Distributed Load

X	Y
49.1065	28.1257
38.5612	28.1257

Distributed Load

--

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3300001C

Foglio
81 di 87



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 6 of 7

X	Y
42.9609	28.1257
40.3413	28.1257

Distributed Load

X	Y
47.1966	28.1257
44.59	28.1257

External Boundary

X	Y
82.8168	21.5
65.8168	21.5
62.8685	21.5
62.0197	22.0662
59.9297	22.0662
50.845	28.1257
36.8842	28.1257
27.9388	22.0662
25.8488	22.0662
25	21.5
22	21.5
0	21.5
0	17.5
0	16.5
0	15.1
0	14.3
0	2.5
0	-8.4655
82.8168	-8.4655
82.8168	2.5
82.8168	14.3
82.8168	15.1
82.8168	16.5
82.8168	17.5

Material Boundary

X	Y
22	21
65.8168	21

Material Boundary

X	Y
22	17.5
22	21
22	21.5

Material Boundary

X	Y
65.8168	17.5
65.8168	21
65.8168	21.5

Material Boundary

X	Y
25	21.5
62.8685	21.5

Material Boundary

X	Y
0	2.5
82.8168	2.5

GENERAL CONTRACTOR



IRICAV2

ALTA SORVEGLIANZA



ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3300001C

Foglio
82 di 87

Material Boundary

X	Y
0	17.5
22	17.5
65.8168	17.5
82.8168	17.5

Material Boundary

X	Y
0	15.1
82.8168	15.1

Material Boundary

X	Y
0	14.3
82.8168	14.3

Material Boundary

X	Y
0	16.5
82.8168	16.5

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI330001C</p>	<p>Foglio 83 di 87</p>

ALLEGATO 6 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 84 di 87

Settle3D Analysis Information

Rilevato

Project Settings

Document Name: cedim33.s3z
Project Title: Rilevato
Date Created: 08/06/2021, 14:59:10
Stress Computation Method: Boussinesq

Stage Settings

Stage #	Name
1	Stage 1

Results

Time taken to compute: 0 seconds

Stage: Stage 1

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.136561
Consolidation Settlement [m]	0	0
Immediate Settlement [m]	0	0.136561
Loading Stress [kPa]	0	187.232
Total Stress [kPa]	0	629.089
Total Strain	2.45438e-009	0.029428
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	1.26808	628.918
Over-consolidation Ratio	1	1.8363
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [m]	0	0

Loads

1. Rectangular Load

Length: 14 m
Width: 100 m
Rotation angle: 0 degrees
Load Type: Flexible
Area of Load: 1400 m²
Load: 10.8 kPa
Depth: 0 m
Installation Stage: Stage 1

Coordinates

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3300001C	Foglio 85 di 87

X [m]	Y [m]
-6.99696	-50
7.00304	-50
7.00304	50
-6.99696	50

Embankments

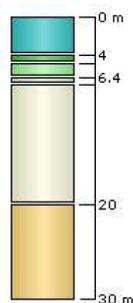
1. Embankment

Center Line: (0, -50) to (0, 50)
Number of Layers: 2
Near End Angle: 90 degrees
Far End Angle: 90 degrees
Base Width: 34

Layer	Stage	Left Bench Width (m)	Left Angle (deg)	Height (m)	Unit Weight (kN/m ³)	Right Angle (deg)	Right Bench Width (m)
1	Stage 1	0	34	0.8	20	34	0
2	Stage 1	0	34	6.2	20	34	0

Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	COLONNE	4	0
2	3b	1	4
3	3a	1.4	5
4	3a_2	0.8	6.4
5	u6	12.8	7.2
6	u4	10	20



Soil Properties

Property	3a_2	u6	u4	3b	3a	COLONNE
Color						

GENERAL CONTRACTOR



IRICAV2

ALTA SORVEGLIANZA



ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3300001C

Foglio
86 di 87



Unit Weight [kN/m ³]	18.5	19	19	18.5	18.5	18.5
Immediate Settlement	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled
Es [kPa]	10000	60000	80000	5000	15000	12000
Esur [kPa]	10000	60000	80000	5000	15000	12000

Query Points

Point #	(X,Y) Location	Number of Divisions
1	0.00303833, 4.9738e-014	Auto: 65

Query Lines

Line #	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	-20, 0	20, 0	100	Auto: 45

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario da pk 18+203,00 a pk 18+604,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI330001C</p>	<p>Foglio 87 di 87</p>

ALLEGATO 7- VERSIONI SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI

- 1) SLIDE ver 7.0
- 2) Settle 3D ver 2.003