

COMMITTENTE:



ALTA
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE
OBIETTIVO N. 443/01
LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA
Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza
PROGETTO ESECUTIVO
RILEVATI
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
GENERALE
Relazione Geotecnica**

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE Ing. Giovanni MALAVENDA ALBO INGEGNERI PROV. DI MESSINA n. 4503 Data: Ottobre 2022	Consorzio Iricav Due Ing. Paolo Carmona Data: Ottobre 2022			

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

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

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma Alberto LEVORATO 	Data Ottobre 2022

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	M. Conti 	Giugno 2021	V. Pastore 	Giugno 2021	P. Ascari 	Giugno 2021	 P. Ascari Data: Ottobre 2022
B	REVISIONE	A. Arione 	Ottobre 2022	V. Pastore 	Ottobre 2022	P. Ascari 	Ottobre 2022	

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712E12RBRI2000001B
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

TUTTI I DIRITTI DEL PRESENTE DOCUMENTO SONO RISERVATI: LA RIPRODUZIONE ANCHE PARZIALE E' VIETATA

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 2 di 75

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	19
4.5.1	Materiale da rilevato	19
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	20
5.1	Sollecitazione sismica di progetto	20
5.1.1	Vita Nominale	20
5.1.2	Classe d'uso	20
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	21
5.1.4	Categorie di Sottosuolo	21
5.1.5	Condizioni topografiche	21
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento	22
5.2	Suscettibilità alla liquefazione	22
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT	24
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT	26
5.2.3	Soil improvement	33
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO	37
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite	37
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU)	37
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE)	39
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche	39
6.2	Azioni di progetto	39
6.2.1	Azioni permanenti	40
6.2.2	Azioni variabili	40

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

3 di 75

6.2.3	Azione sismica	40
6.3	Verifiche e risultati SLU	41
6.3.1	Premessa	41
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche	41
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche e post sismiche	42
6.4	Verifica e risultati SLE	43
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	49
	Allegati	50
	ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO	51
	ALLEGATO 2 - SONDAGGI	53
	ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA	58
	ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU post sisma	65
	ALLEGATO 5 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE	72

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 4 di 75

1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI20, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende tra il km 12+986,22 e il km 13+240,00.

La relazione descrive in dettaglio il modello geotecnico definito per il rilevato, ricavato 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 AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 5 di 75

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni di Progetto Esecutivo
- [2] IN1710EI2RBGE0000002A Relazione Geotecnica (da 10+050 a 21+990)
- [3] IN1710EI2LZGE0000014A Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico 3 di 11
- [4] IN1710EI2RHGE0000005A Relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base 1/2
- [5] IN1710EI2P5GE0000001A Planimetrie con classificazione sismica del territorio 1 di 11
- [6] IN1710EI2RHGE0000003A Relazione idrogeologica 1/2
- [7] IN1710EI2RHGE0000007A-8A Relazione di sintesi dei sondaggi e delle prove eseguite
- [8] IN1710EI2PRGE0000001A-2A, Risultati Indagini in sito di Progetto – SOCOTEC
- [9] IN1710EI2PRGE0000003A-4A, Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI
- [10] IN1710EI2PRGE0000005A-8A, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [11] IN1710EI2PRGE0000009A-12A, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING - GEOLAVORI
- [12] IN1710EI2IGGE0000001A-2A, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [13] IN1710EI2IGGE0000003A-4A, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING - GEOLAVORI

2.2 Normativa e standard di riferimento

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 6 di 75

- [21] RFI DTC INC CS SP IFS 001 A Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- [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”.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 7 di 75

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame si estende dal km 12+986 al km 13+240 per una lunghezza totale di ca. 250 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 13+000, sezione n. 295, si riscontra l'altezza massima del rilevato pari a 1.7 m. La sezione citata, denominata Sezione A (Figura 1), è quella ritenuta più severa per le verifiche del rilevato in esame.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 9 di 75

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.

Si segnala che le indagini qui considerate non sono solo quelle di stretta pertinenza del rilevato, ma anche quelle eseguite nelle aree circostanti, e più in generale, in questa tratta del tracciato, che evidenzia una suzione stratigrafica omogenea. Si ritiene quindi che il dettaglio dell'indagine sia adeguato allo scopo progettuale.

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 12+986 a pk 13+240

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
13+000	P3	2015
13+000	P3 bis	2015
13+033	CPTU-PE-07	2020/2021
13+132	BH-PZ-PE-28	2020/2021
13+190	CPTU31	2014/2015

4.2 Inquadramento stratigrafico

Dal punto di vista stratigrafico, l'area del rilevato è interessata dalla presenza di una coltre superficiale di spessore variabile da 3 a 4 m circa di terreni prevalentemente limoso/sabbiosi superficiali (unità 3a), localmente intervallati da livelli più fini (Unità 3b), seguiti da uno strato di ghiaie ben addensate (Unità 6) fino a una profondità di 14 m. Al di sotto delle ghiaie si incontra il substrato sabbioso (Unità 4) che si estende in profondità a partire da 14 m pc.

Da quanto sopra, e tenendo in conto la modesta altezza del rilevato, 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 RI20, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 3 di 11 (Doc. Rif. [3]).

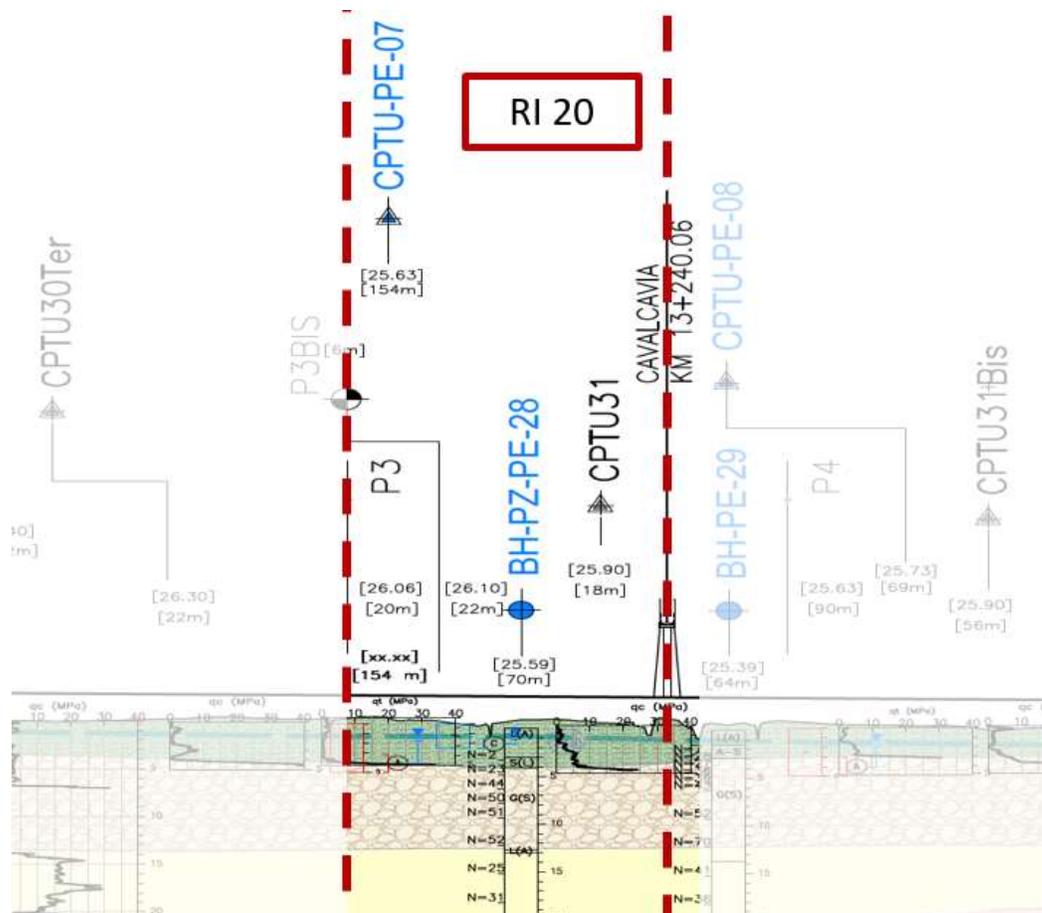


Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato RI20, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

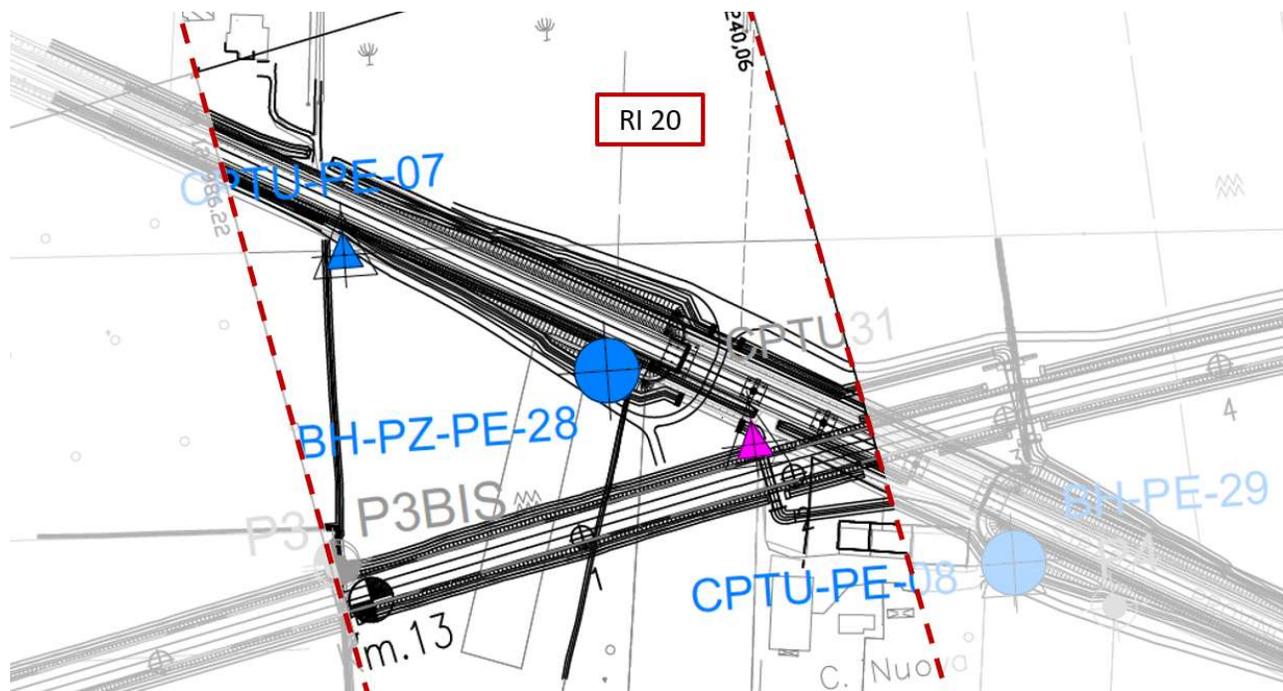


Figura 3 - Planimetria Rilevato RI20, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

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 coincidente a piano campagna.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 12 di 75

4.4 Condizioni geotecniche del sito

Come definito dalla sezione stratigrafica, il tratto in oggetto è costituita da una copertura superficiali composta di prevalenti limi sabbiosi, di spessore compreso fra i 3 e 4 m.

La Figura 5 mostra i risultati delle prove SPT eseguite nel tratto interessato dal rilevato in esame. I valori registrati sono indice di terreni molto sciolti ($SPT=3$), così come confermato dai valori di resistenza alla punta q_c , dell'ordine di 1-2 MPa, e localmente anche inferiori. Le descrizioni dei materiali dei sondaggi, e le caratteristiche granulometriche stimabili dalla prova CPT indicano che tali coltri sono costituiti, in predominanza, da limi sabbiosi, localmente argillosi, generalmente sciolti.

A tale proposito, la Figura 4 riporta i dati granulometrici dei materiali superficiali, 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 a circa 14 m pc. All'interno del deposito incoerente si registrano valori di N_{SPT} mediamente pari a 50 colpi/30cm. La densità relativa delle ghiaie risulta del 50% e quindi il deposito risulta mediamente addensato.

Più in profondità si individua un deposito di sabbia limosa mediamente addensata (Unità 4), a partire dalla profondità di 14 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 40 colpi/30cm con valori compresi tra 30 e 60 colpi/30cm. La densità relativa delle sabbie risulta generalmente attorno a 60-70%.

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 150 m pc, per le ghiaie superficiali si stimano valori di V_s pari a 300 m/s. A profondità maggiori, nelle sabbie, le velocità sono pari a 350 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 160 MPa, mentre per le sabbie profonde si ottengono valori pari a 230 MPa.

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

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

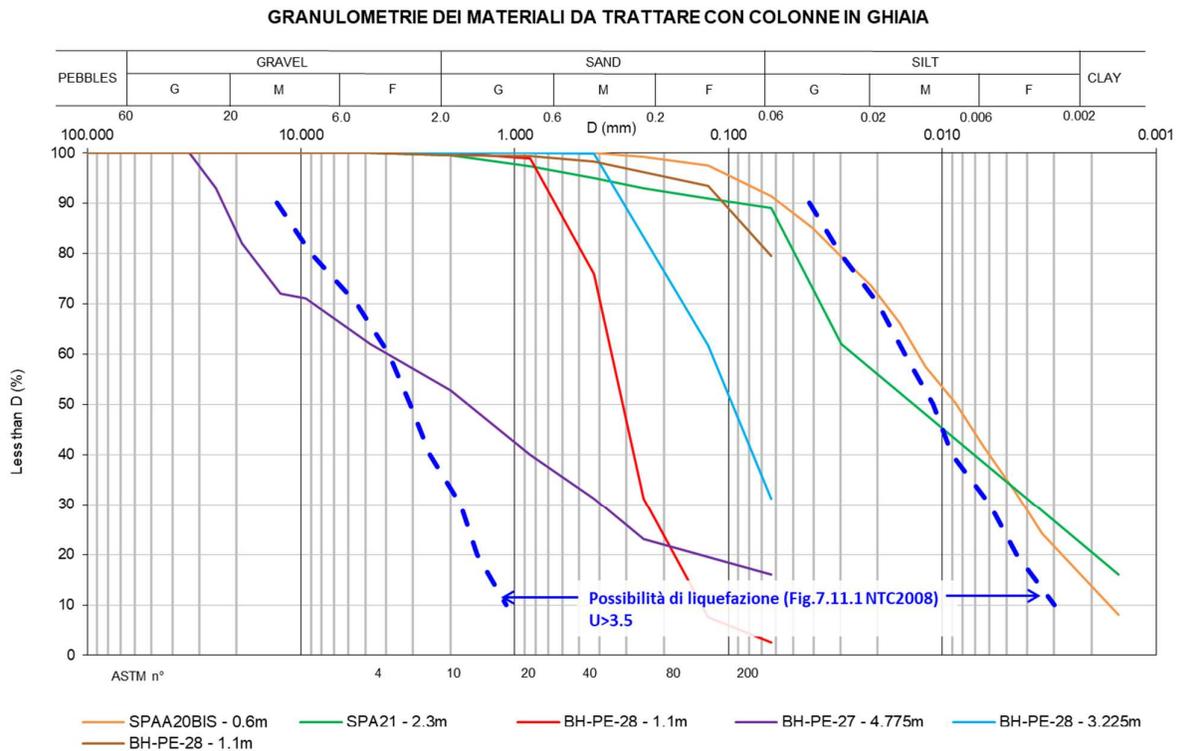


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche dei terreni suscettibili alla liquefazione



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2000001B

Foglio
14 di 75

AV/AC VERONA VICENZA

RI20 pk 12+986 - pk 13+240

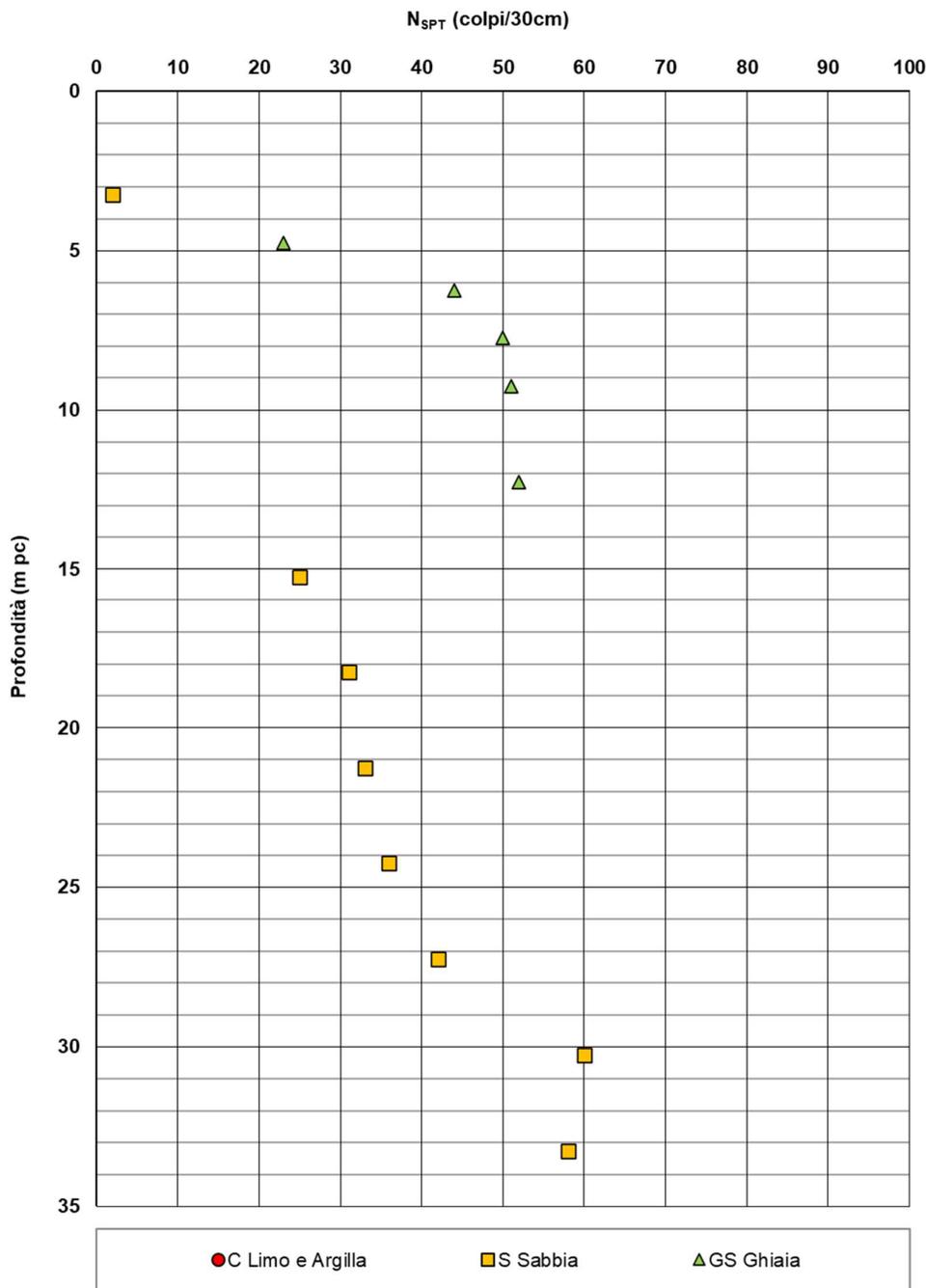


Figura 5 – Esito delle prove SPT tra pk 12+986 e pk 13+240



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2000001B

Foglio
15 di 75

AV/AC VERONA VICENZA

RI20 pk 12+986 - pk 13+240

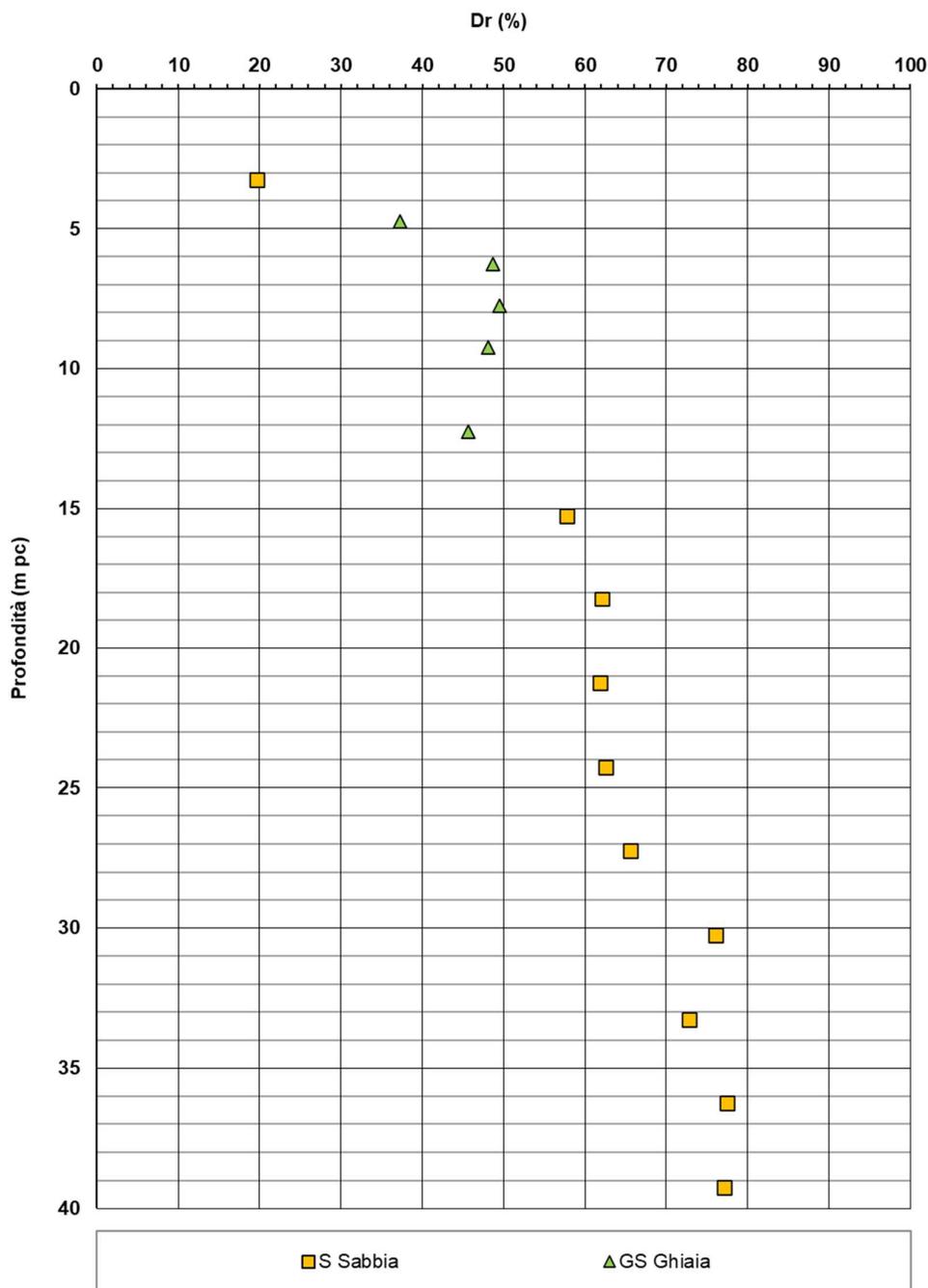


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT tra pk 12+986 e pk 13+240



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2000001B

Foglio
16 di 75

AV/AC VERONA VICENZA

RI20 pk 12+986 - pk 13+240

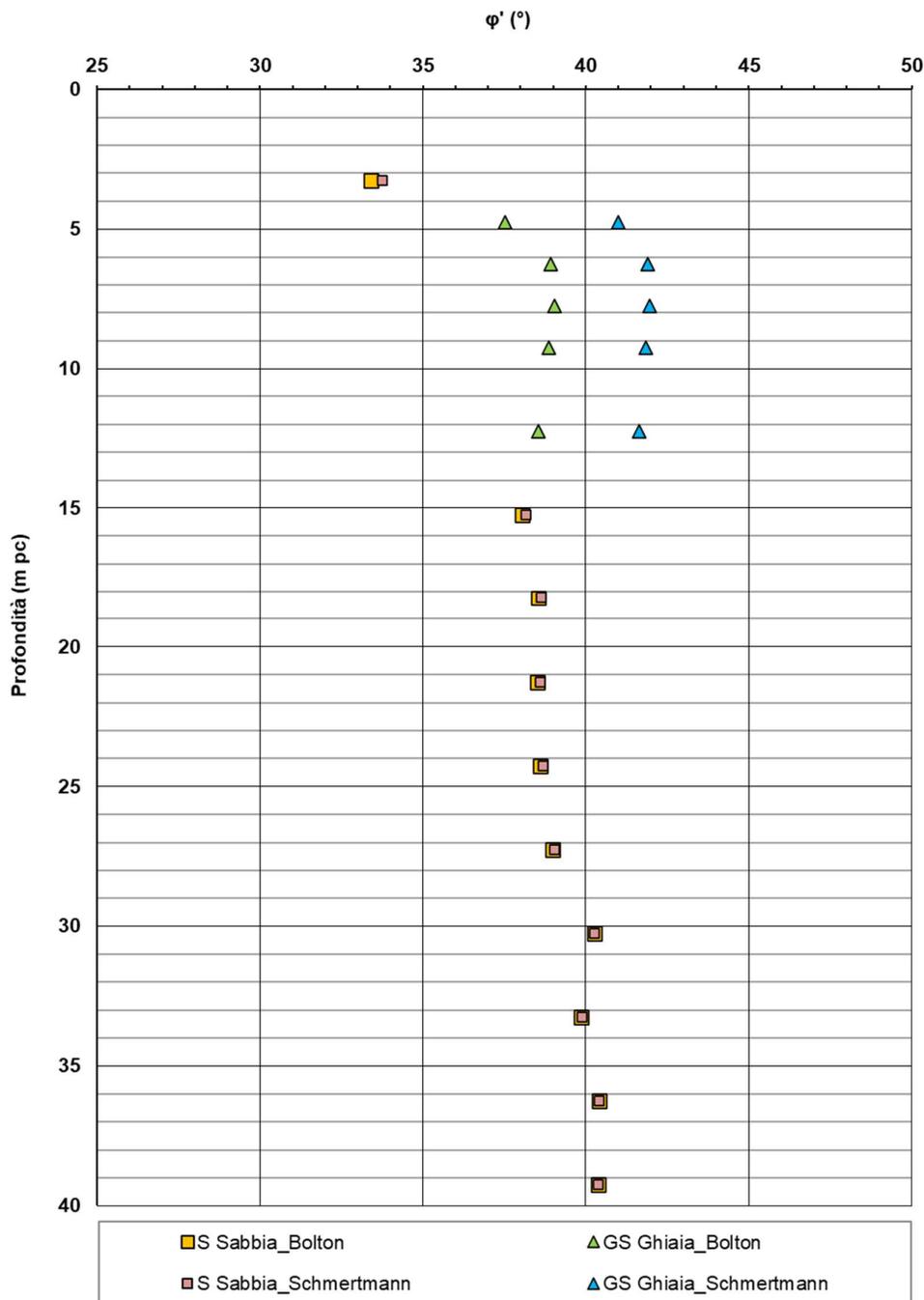


Figura 7 – Angoli di attrito da prove SPT tra pk 12+986 e pk 13+240



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2000001B

Foglio
17 di 75

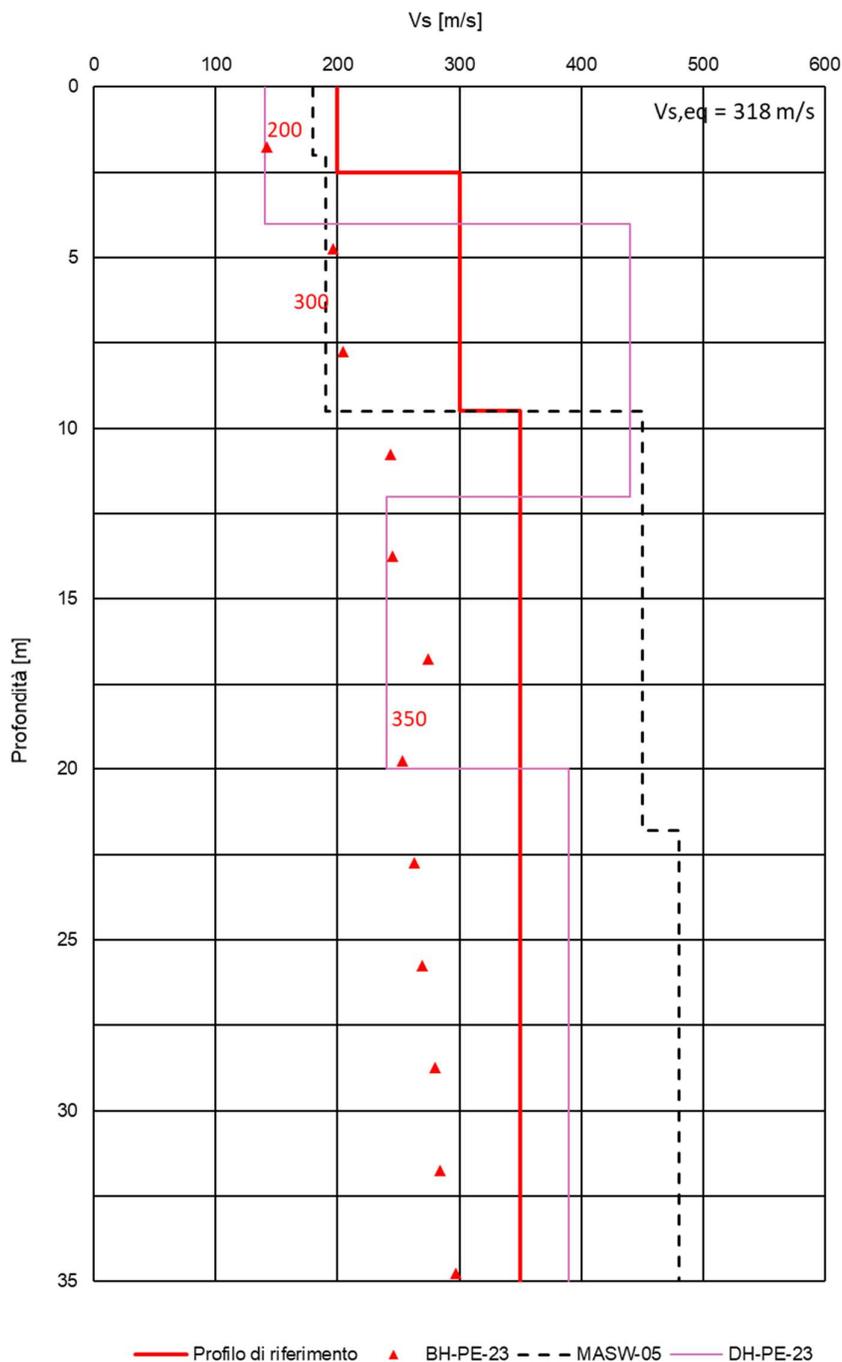


Figura 8 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW tra pk 12+986 e pk 13+240



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

18 di 75

AV/AC VERONA VICENZA

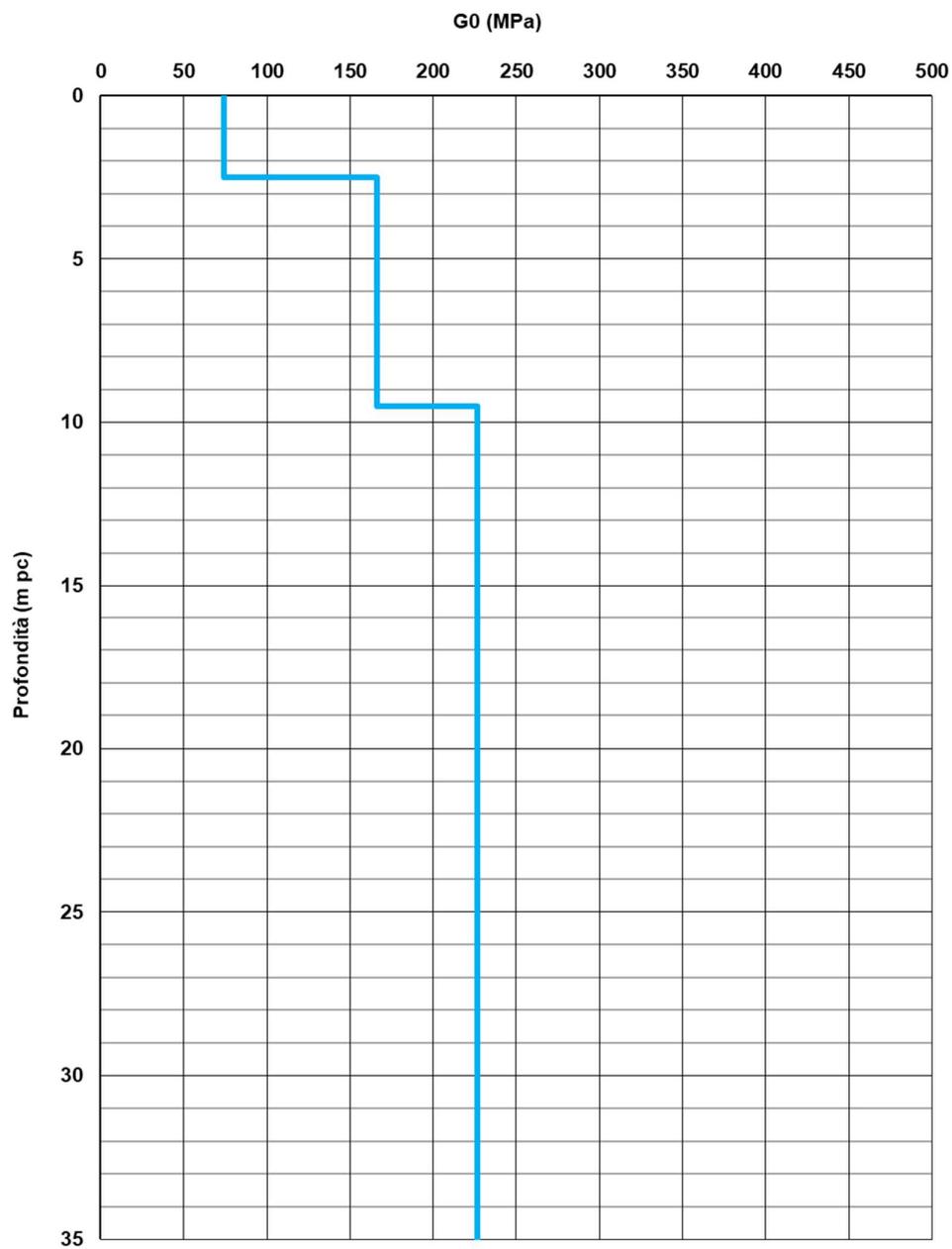


Figura 9 – Modulo di taglio G_0 tra pk 12+986 e pk 13+240

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 19 di 75

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	34(36)**	-	-	-	5(12)**
6	4	14	19	39	0	-	160	60
4	14	-	19	38	0	-	230	80

* quota piano campagna = 26.6 m s.l.m.

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

In relazione a quanto riportato nella tabella, 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. Nella tabella si sono forniti i parametri del terreno naturale (in assenza di interventi), e quelli del terreno migliorato.
- Quelli del terreno naturale sono stati impiegati per ricavare le caratteristiche del terreno migliorato con colonne di ghiaia.

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

4.5.1 Materiale da rilevato

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

Tabella 3 - Caratteristiche materiale da rilevato

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 20 di 75

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 AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 21 di 75

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 $i > 30^\circ$.*

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 22 di 75

5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

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

a_g (g) (SLV)	0.224
Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s	1.373
Coefficiente di amplificazione topografica S_t	1.0
Accelerazione massima attesa al suolo	
a_{max} (g) ($a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$)	0.307

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 esposte in sede di Progetto Definitivo, è stato considerato ragionevole assumere per il tracciato di progetto un valore di magnitudo di riferimento da adottare nelle verifiche a liquefazione di cui ai paragrafi successivi pari a 6.0.

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 23 di 75

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

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

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

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

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

dove:

a_{max} accelerazione di picco al sito

g accelerazione di gravità

τ_c valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

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

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 24 di 75

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

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

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

5.2.1 CRR da correlazione su prove CPT

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

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 25 di 75

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

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

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

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

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

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

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

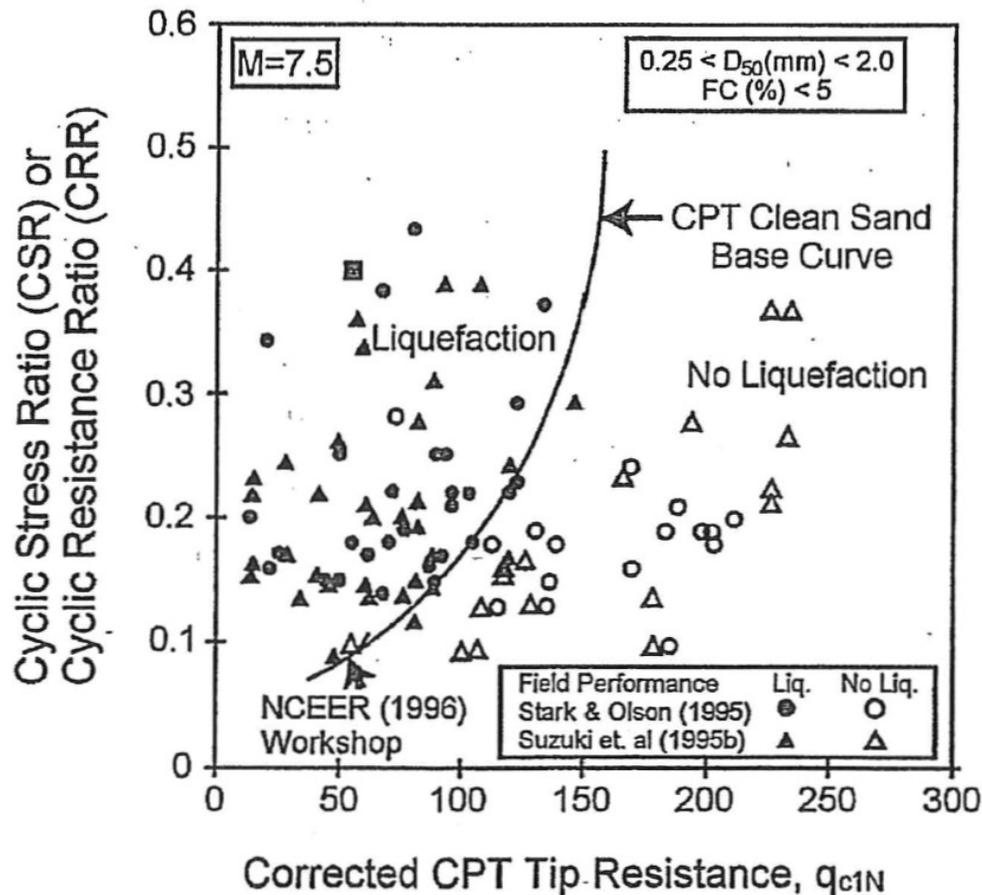


Figura 10: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

5.2.2 CRR da correlazione su prove SPT

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

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

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

dove:

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 27 di 75

proposta da Liao e Whitman (1986):

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

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

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

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

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

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

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

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

Si può osservare dalla

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 28 di 75

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

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

In cui:

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

σ'_{v0} = tensione verticale efficace

p_a = pressione atmosferica di riferimento

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

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

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

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

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

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

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

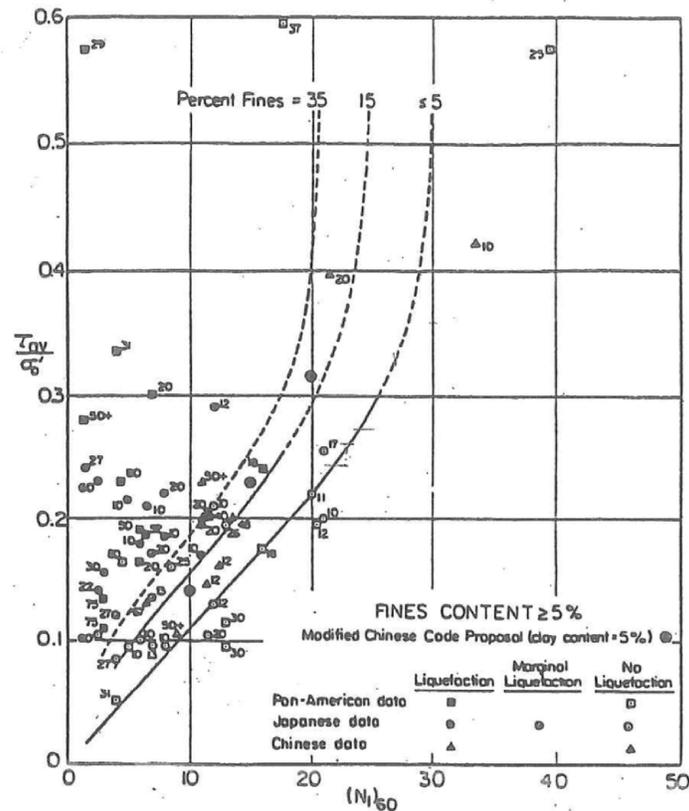


Figura 11: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

I risultati (cfr. Figura 12) indicano rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI20. Dall'analisi della CPTU31, CPTU-PE-07 e BH-PE-28 si evidenzia la presenza di 3/4 m continui di materiale potenzialmente liquefacibile, con $FL < 1.0$;

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



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI200001B

Foglio
30 di 75

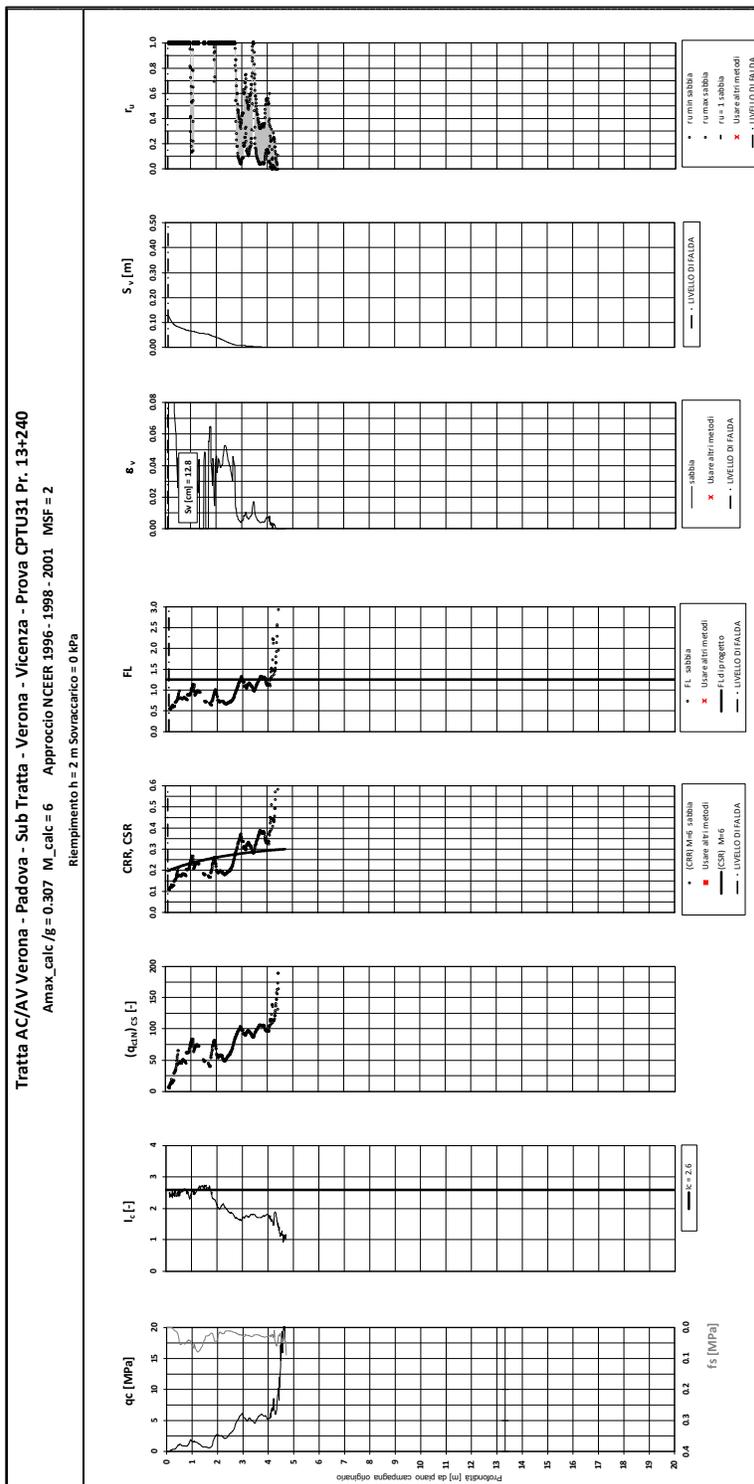


Figura 12 – Verifica Liquefazione da risultati CTPU31



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2000001B

Foglio
31 di 75

T tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-07 Pr. 13-033
a_vmax = 0.307g M_vcalc = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 2m

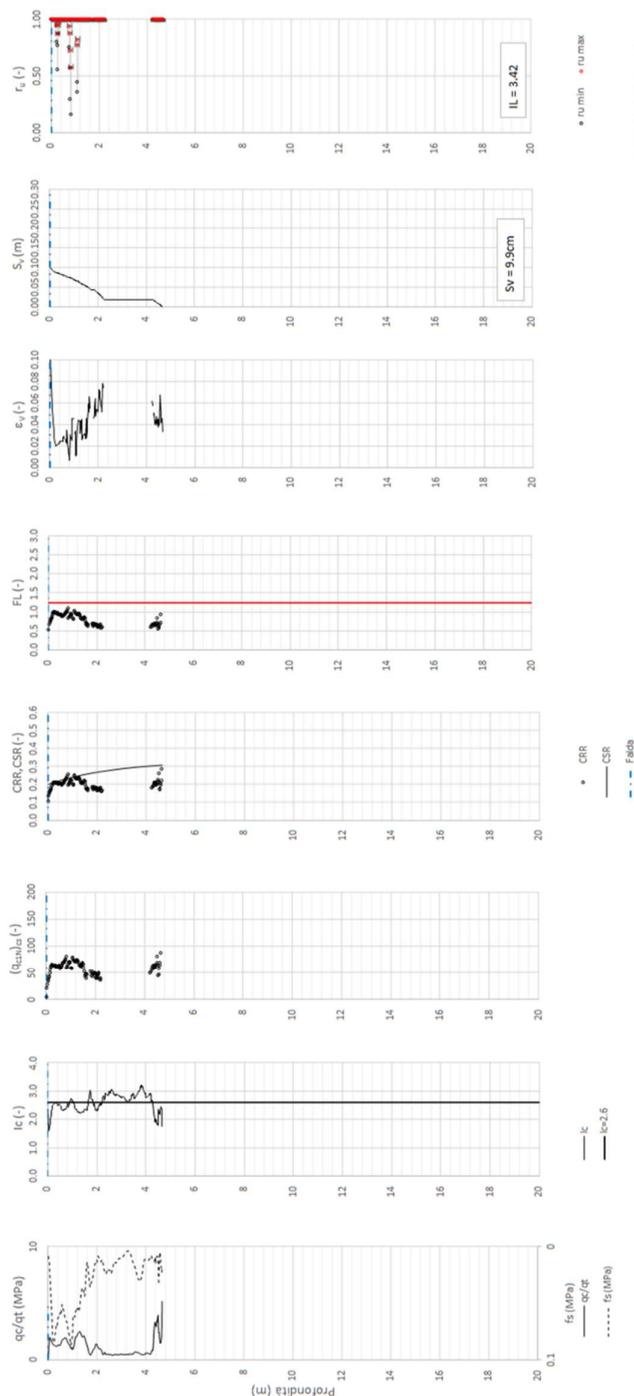


Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-07



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

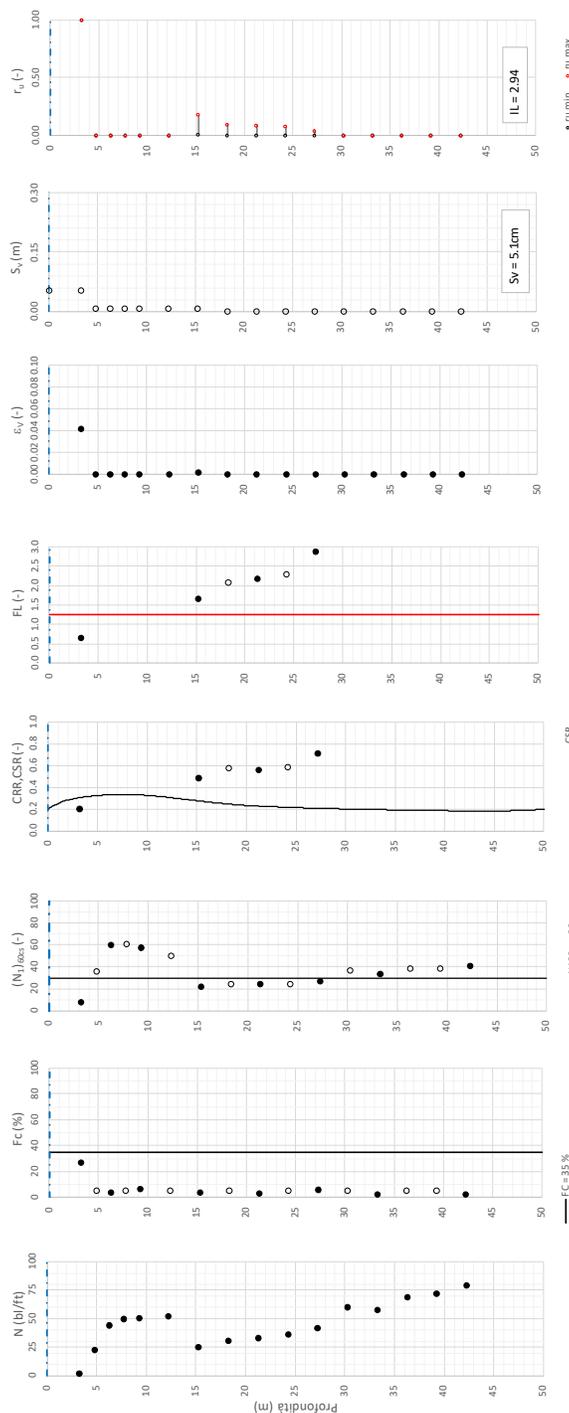
Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2000001B

Foglio
32 di 75

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-28 Pr. 13+150
a_{max} = 0.307g M_{calc} = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 1.5m



Foglio: verifica/qualifazione/fig14_v.102

Figura 14 – Verifica Liquefazione da risultati BH-PE-28

5.2.3 Soil improvement

Come illustrato nel paragrafo precedente, lungo tutta la tratta è presente uno strato di materiale a rischio di liquefazione per spessori di 4m. Pertanto, dalla pk 12+986 alla pk 13+240, si prescrive l'esecuzione di un trattamento di miglioramento delle caratteristiche dei terreni, mediante l'installazione di colonne in ghiaia aventi diametro $D=800$ mm, lunghezza $L=4$ m, interasse $i=2.0$ 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.
- 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 della riduzione della PGA da 0.307 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.

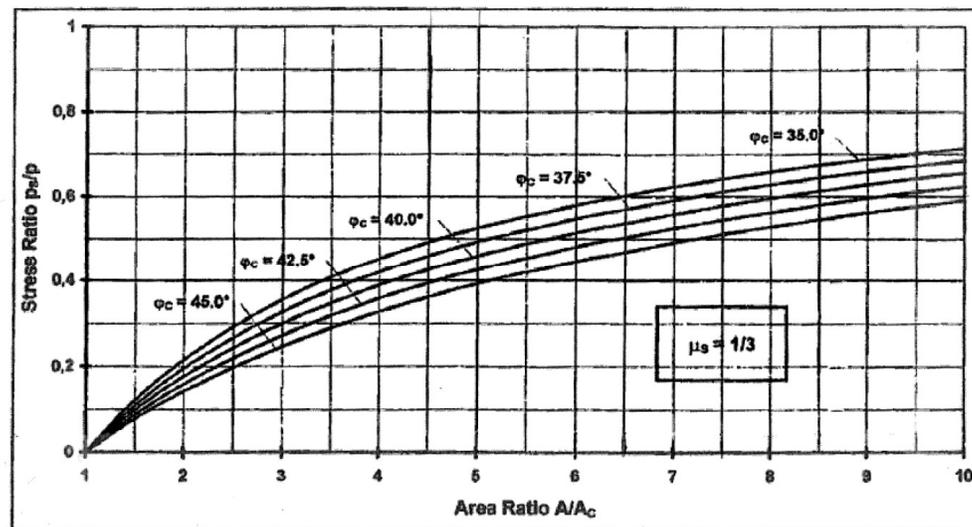


Figura 15 – Riduzione dello stress ratio sismico in funzione dell'area ratio delle colonne di ghiaia (Doc.Rif.[35])



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2000001B

Foglio
35 di 75

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-07 Pr. 13+033
a_max = 0.18g W_calic = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 2m

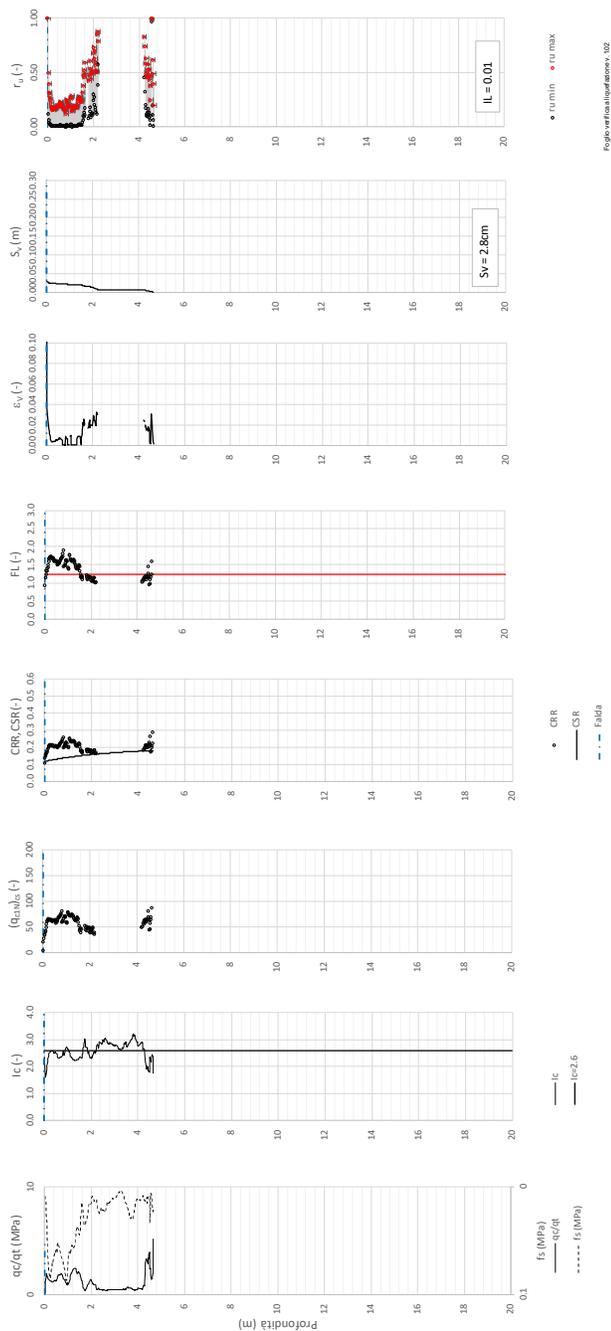


Figura 17 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-07 dopo soil improvement



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2000001B

Foglio
36 di 75

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-28 Pr. 13-150
a_rmax = 0.18g M_{calc} = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 1.5m

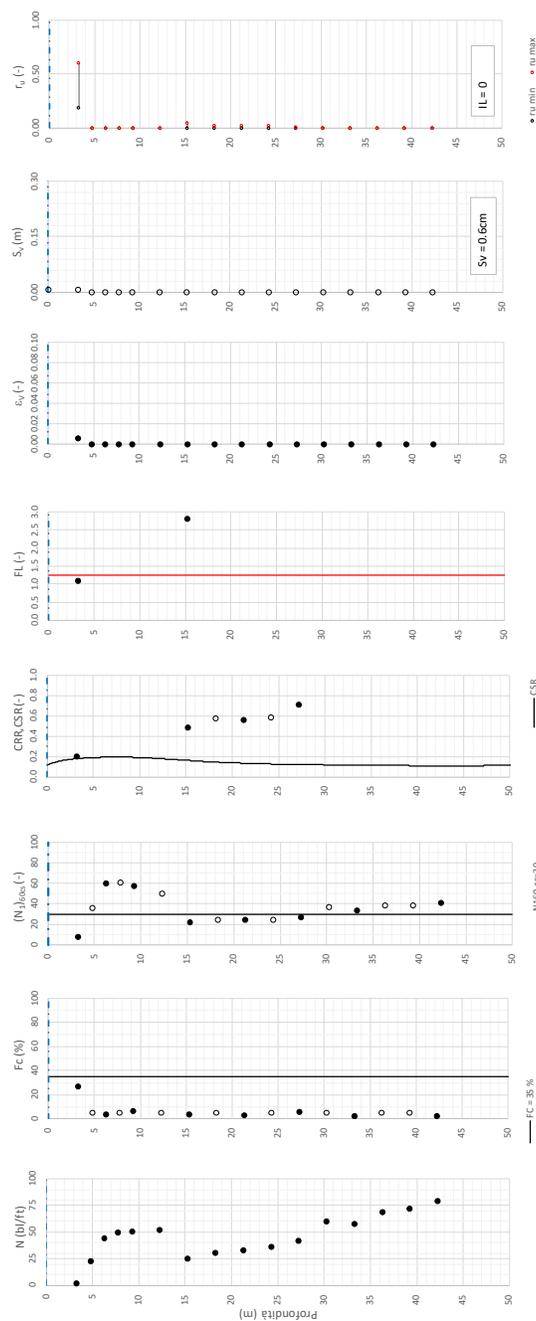


Figura 18 – Verifica Liquefazione da risultati BH-PE-28 dopo soil improvement

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 37 di 75

6 VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO

6.1 Criteri di verifica agli Stati Limite

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

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

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

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

dove:

E_d valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

R_d valore di progetto della resistenza.

La verifica della condizione $E_d \leq R_d$ deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I coefficienti da adottarsi nelle diverse combinazioni sono definiti in funzione del tipo di verifica da effettuare (si vedano i paragrafi seguenti). Si sottolinea che per quanto concerne le azioni di progetto E_d tali forze possono essere determinate applicando i coefficienti parziali di cui sopra alle azioni caratteristiche, oppure, a posteriori, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche (Par. 6.2.3.1 del Doc. Rif. [14]).

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

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

dove:

E_d valore di progetto dell'effetto dell'azione;

C_d valore limite prescritto dell'effetto delle azioni (definito Progettista Strutturale).

La verifica della condizione $E_d \leq C_d$ deve essere effettuata impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali.

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

6.1.1 Stati limite ultimi (SLU)

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

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 38 di 75

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

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

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

Tabella 6 – Coefficienti parziali sulle azioni

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

dove:

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

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

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

Tabella 8 – Coefficienti parziali per verifiche di stabilità globale

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 39 di 75

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.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 40 di 75

6.2.1 Azioni permanenti

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

Peso massicciata e armamento 18 kN/m³

Peso elementi in cls 25 kN/m³

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

6.2.2 Azioni variabili

Le azioni variabili sono rappresentate dai carichi da traffico ferroviario, qui determinato sulla base dello schema di carico più gravoso tra quelli previsti dalle NTC 2008, dalle Norme Europee e, conseguentemente, dal Manuale di Progettazione di RFI. In particolare, tale carico tiene conto della diffusione a partire dalla traversa e fino al piano di posa del ballast, secondo le prescrizioni di NTC e MdP. Nello specifico, è stato considerato il caso peggiore tra i tre modelli di carico previsti, ossia LM71, SW/0 ed SW/2. Per ogni binario, tale azione risulta essere pari a 61.4 kPa (LM71), da applicarsi su una superficie definita dalla larghezza della traversa e dalla larghezza di diffusione del carico nel ballast (2.8 m² 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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 41 di 75

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. La verifica è stata condotta facendo ricorso al metodo di Bishop modificato. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici caratteristici definiti in Tabella 2.

6.3.2 Verifiche SLU in condizione statiche

Il carico da traffico ferroviario (q) assunto pari a 61.4 kPa (cfr. par. 6.2.2) è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è di tipo variabile/sfavorevole e, pertanto, il coefficiente parziale sulle azioni A2 è 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 19 sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2. Il valore minimo di FS è pari a:

$$F_{S\text{MIN}} (DA1C2) = 1.458 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 42 di 75

6.3.3 Verifiche SLU in condizioni sismiche e 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.

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 quelle superfici di spessore ridotto e che interessano la sede ferroviaria.

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

$$FS_{MIN}=1.789>R2=1.1$$

la verifica di stabilità globale post liquefazione risulta soddisfatta.

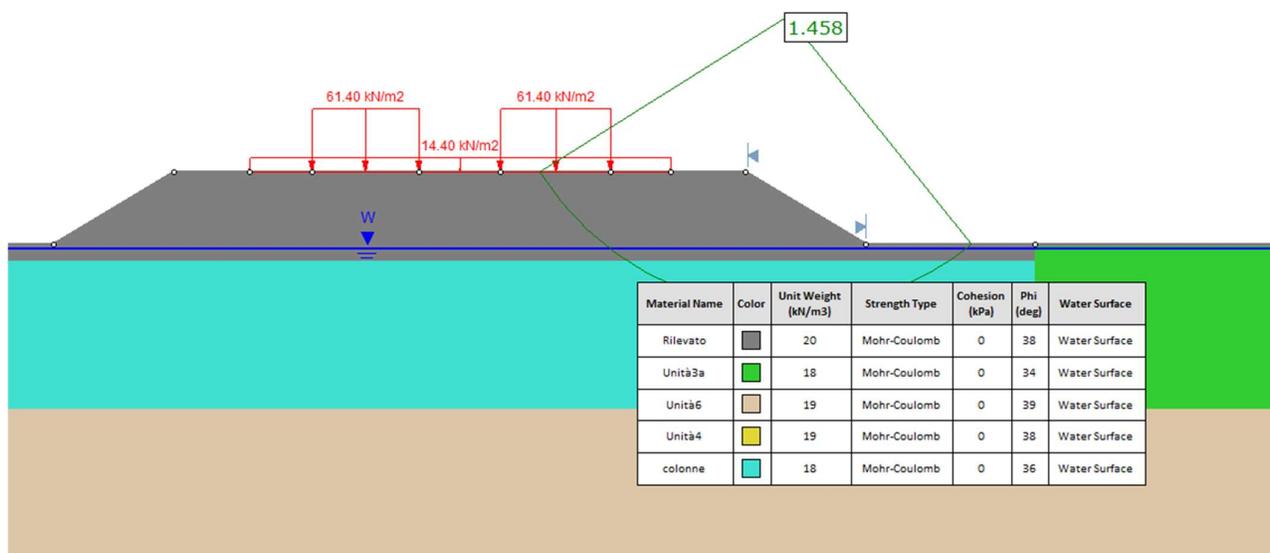


Figura 19 - Rilevato H=1.70 m - Analisi SLU in campo statico DA1C2

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 43 di 75

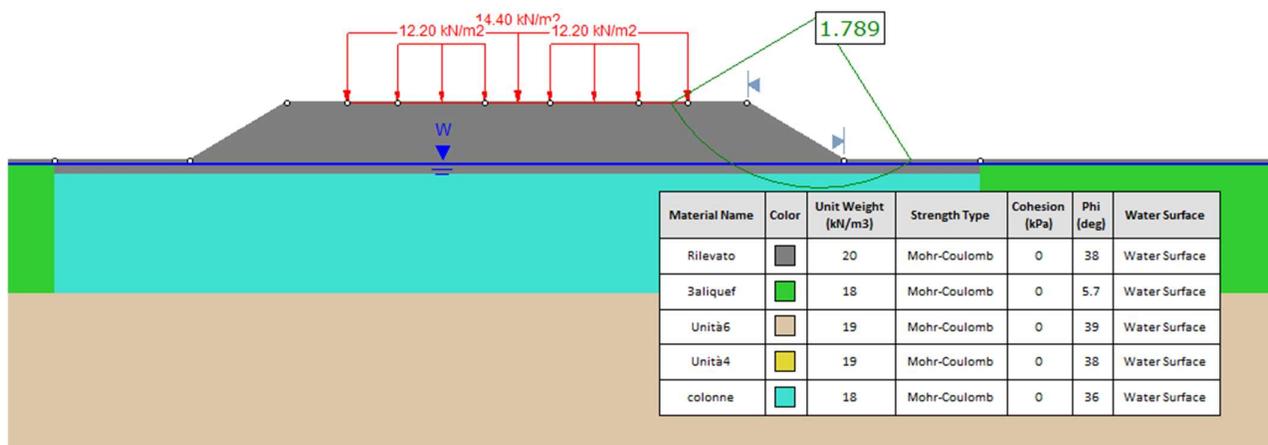


Figura 20 - Rilevato H=1.70 m - Analisi SLU in condizioni post sisma

6.4 Verifica e risultati SLE

La determinazione del campo di spostamenti è stata svolta mediante l'utilizzo del codice di calcolo SETTLE 3D (Doc. Rif. [30]) che permette di valutare l'andamento dei cedimenti nel tempo sotto diverse ipotesi di carico. Il programma discretizza l'area analizzata in un numero finito di aree di carico e valuta gli incrementi di tensione indotti da ogni singola area di carico componendo poi gli effetti. A partire dagli incrementi tensionali vengono poi calcolati i cedimenti.

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

q = carico applicato

ν = coefficiente di Poisson

B = semilarghezza dell'area di carico in direzione x

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

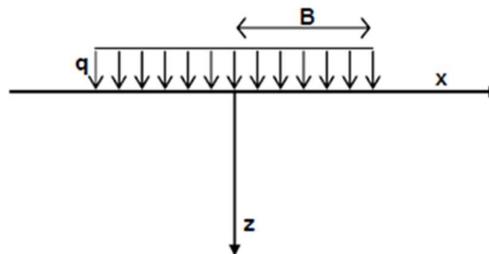


Figura 21 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 45 di 75

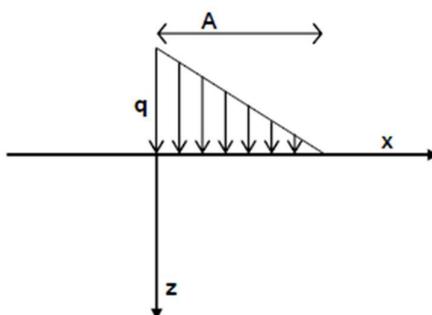


Figura 22 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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 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.

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

La verifica è stata condotta con riferimento alla già citata sezione di riferimento A riportata in Figura 1. Il modello di calcolo implementato per il rilevato tipologico con altezza pari a 1.70 m, è riportato in Figura 23. La larghezza del rilevato è pari a 18.5 m, con pendenza delle scarpate è 2V:3H. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici definiti in Tabella 2.

Per quanto concerne la deformabilità dello strato trattato con colonne di ghiaia, si può valutare un modulo equivalente 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 $D=800$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2000001B	Foglio 46 di 75

mm pari a 4 m² (maglia 2x2), si ottiene un modulo equivalente pari a:

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

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.

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 3 cm. Tenendo conto che la stratigrafia è caratterizzata solo da materiali granulari, tali cedimenti si esauriranno praticamente all'atto dell'applicazione dei carichi, e quindi non risultano essere necessarie dettagliate analisi di consolidazione.

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.

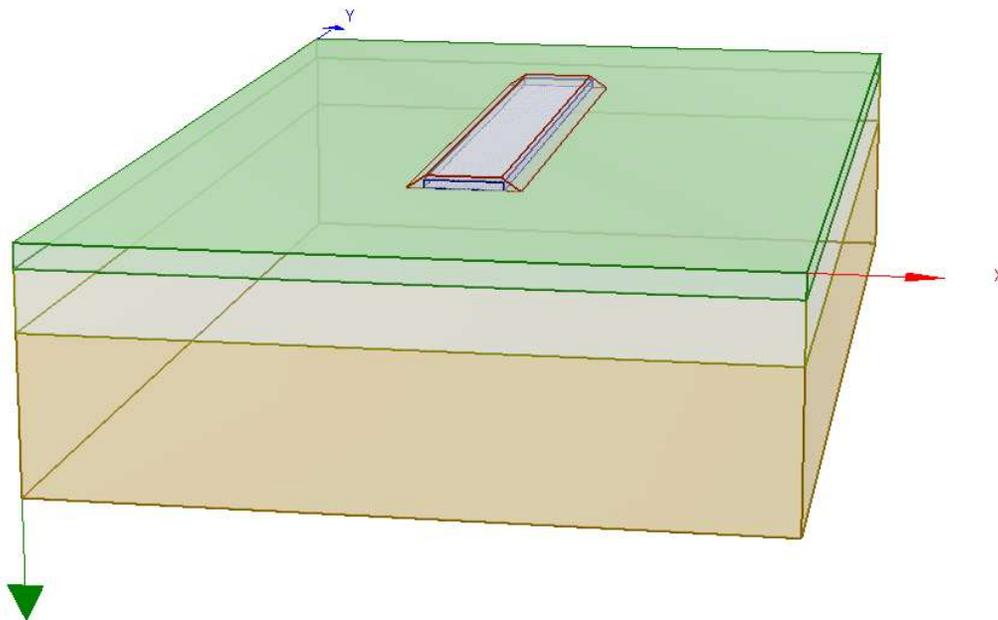


Figura 23 - Rilevato H=1.70 m - Analisi SLE – Modello di calcolo

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

47 di 75

Ri20: Cedimento del rilevato ferroviario linea AV

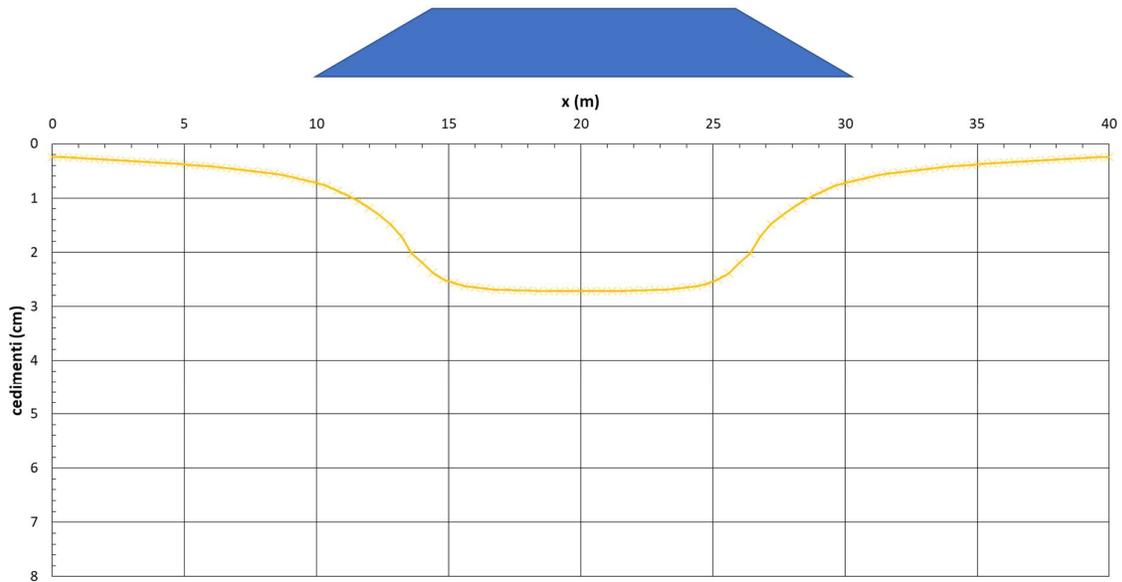


Figura 24 - Rilevato H=1.70 m - Analisi SLE - Risultato Cedimenti



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

48 di 75

Ri20: cedimento al centro del rilevato AV

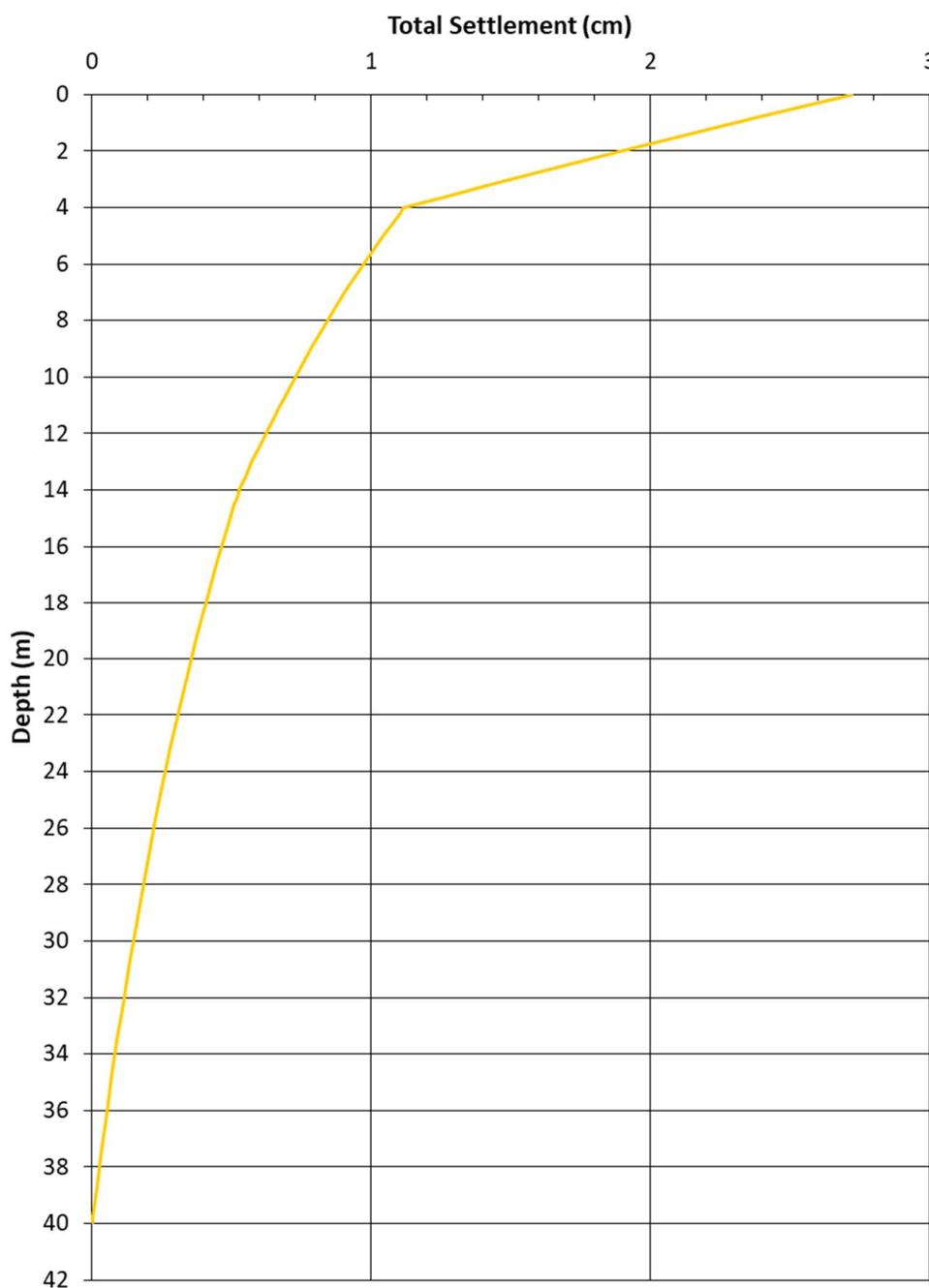


Figura 25 - Rilevato H=1.70 m - Analisi SLE – Risultato cedimenti in profondità al centro del rilevato

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

49 di 75

7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

50 di 75

ALLEGATI

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

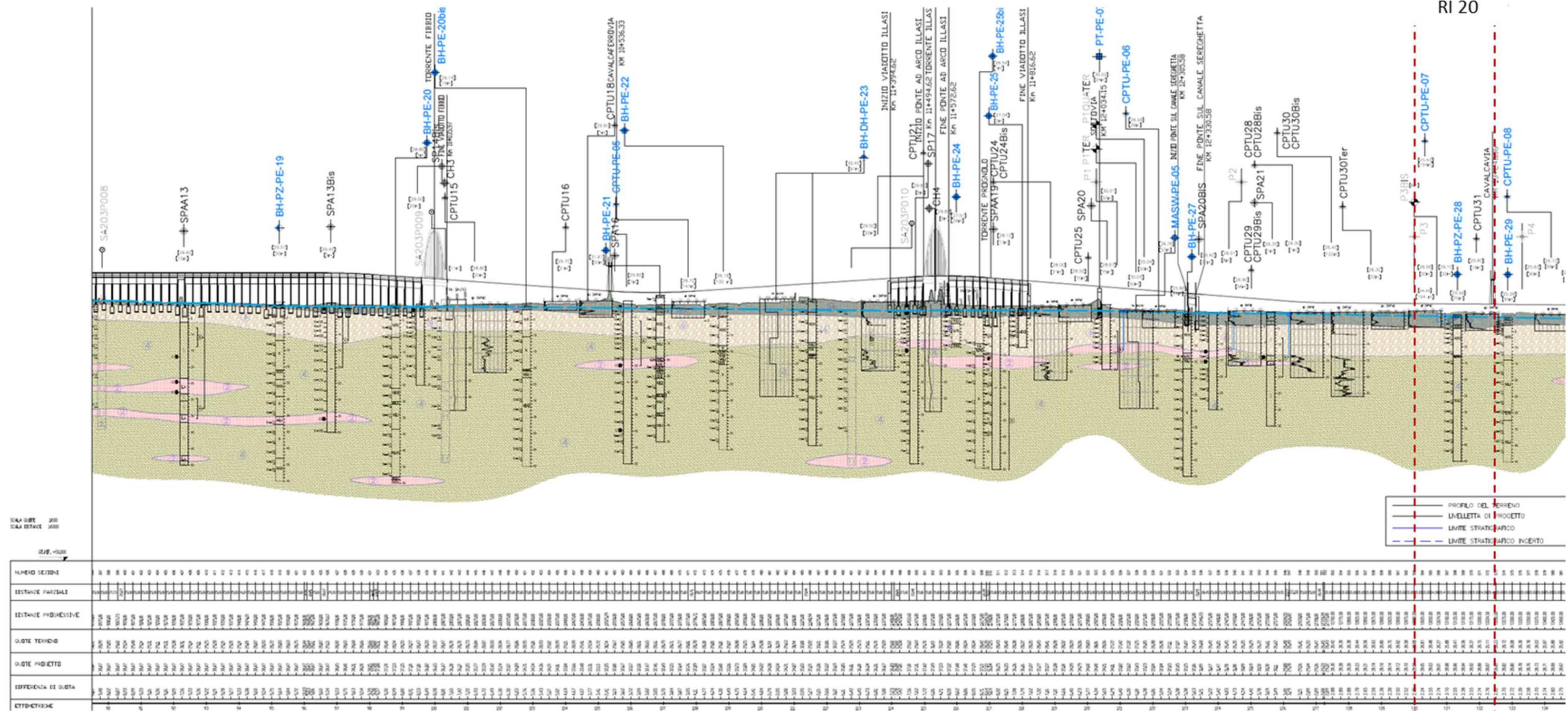
Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

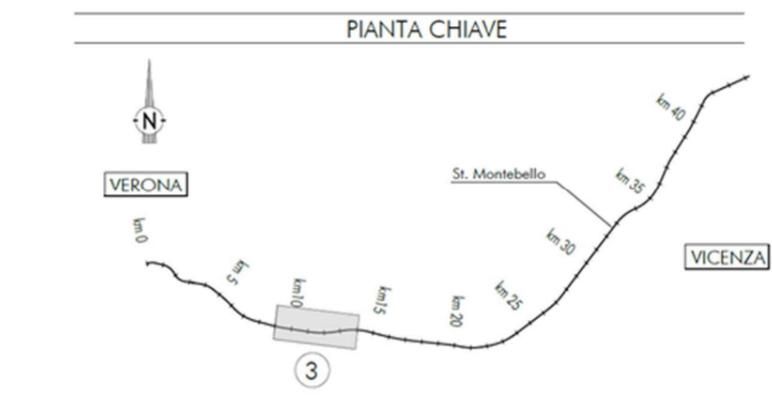
51 di 75

ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



Scala Orizz. 1:500
Scala Vertic. 1:500

NUMERO SEZIONE	ESTANZE PARZIALI	ESTANZE PROGRESSIVE	QUOTE TECNICO	QUOTE PROGETTO	EFFICIENZA DI QUOTA	ETTOMETRAGE
38						
39						
40						
41						
42						
43						
44						
45						
46						
47						
48						
49						
50						
51						
52						
53						
54						
55						
56						
57						
58						
59						
60						
61						
62						
63						
64						
65						
66						
67						
68						
69						
70						
71						
72						
73						
74						
75						
76						
77						
78						
79						
80						
81						
82						
83						
84						
85						
86						
87						
88						
89						
90						
91						
92						
93						
94						
95						
96						
97						
98						
99						
100						



- LEGENDA**
- Campagna indagini integrative PE**
- BH-PE-A Sondaggio a carotaggio continuo
 - BH-PZ-PE-A Sondaggio a carotaggio continuo con l'installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande
 - MADN-PE-A Sondaggio a carotaggio continuo con l'installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande
 - CPTU-PE-A Prova penetrometrica statica con piezometro
- Campagna indagini 2018 per CDS**
- Sondaggio geognostico
- Campagna indagini 2015**
- P1+P15, P20 Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - P1+15Bis Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)
- Campagna indagini 2014**
- SP Sondaggio a carotaggio continuo
 - SPC Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SPA Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SOC Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SQA Sondaggio a carotaggio continuo con l'installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande
 - CPTU Prova penetrometrica statica con piezometro (possibilità di avanzamento con trivellazione)
 - CPTU Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"
 - CH Foro a distribuzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
 - PT Pizzetto esplorativo a 1,5 m da p.c. con prove di carico su piastra
 - Profondità delle indagini

- Campagna indagini progressive**
- 81 Sondaggio geognostico (campagna 1998)
 - SA203P008 Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
 - CPTU28 CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
 - 43000000 Pazzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (VI) per gentile concessione Centro Idrico Navoledo s.r.l.)
- Asse di progetto
- Classi dei terreni**
- 1 Riporto
 - 2 Limi argillosi e limi da compatte a molto compatte, generalmente sovraconsolidati
 - 3a Area con prevalenza di sabbie limose/con fini e limi sabbiosi/con 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)

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



R19 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	11	EI2GERI190001	A

ALLEGATO 2 - SONDAGGI

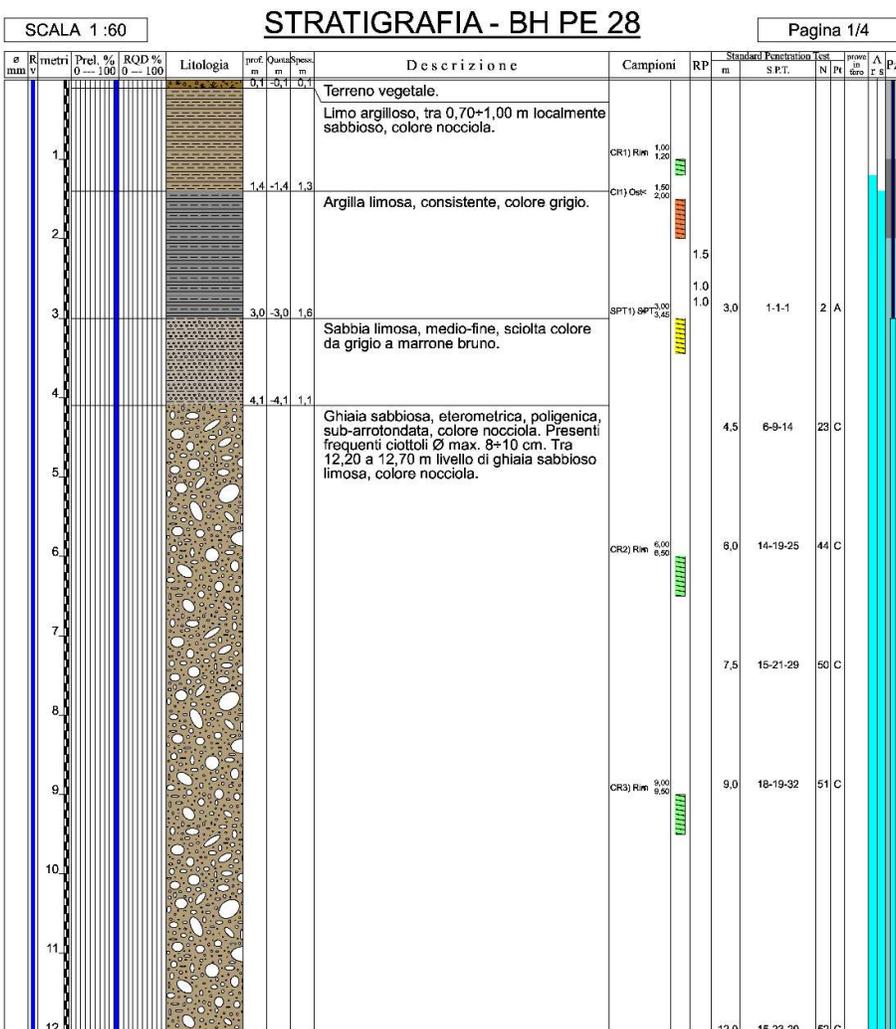


Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI2000001B	54 di 75



Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 28
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 20/11/2020 - 24/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 66, prog. 13+150	



Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gabriele Sprocati



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

55 di 75



Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 28
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 20/11/2020 - 24/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 66, prog. 13+150	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 28

Pagina 2/4

a mm	R metri	Prel. % 0-100	RQD % 0-100	Litologia	prof. m	Quar. m	Spes. m	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test		Cst	P _u	P _z
											S.P.T.	N			
					12,7	12,7	8,8	Ghiaia sabbiosa, eterometrica, poligenica, sub-arrotondata, colore nocciola. Presenti frequenti ciottoli Ø max. 8+10 cm. Tra 12,20 a 12,70 m livello di ghiaia sabbioso limosa, colore nocciola.	CR4) Rm 12,00 12,50						
					13,0	13,0	0,3	Limo argilloso, colore nocciola-ocraceo.							
								Sabbia limosa, medio-fine, da moderatamente addensata a molto addensata, colore nocciola. Presenti rari clasti ghiaiosi. Tra 20,00-20,50 m livello di ghiaia sabbiosa, eterometrica, poligenica, sub-arrotondata, colore nocciola.							
13									SPT2) Sp 15,00 Sp 15,48	15,0	10-10-15	25	A		
14															
15									SPT3) Sp 18,00 Sp 18,48	18,0	9-13-18	31	A		
16															
17															
18									SPT4) Sp 21,00 Sp 21,48	21,0	12-14-19	33	A		
19															
20															
21															
22															
23															
24															
											24,0	12-17-18	36	A	

Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gabriele Sprocati



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI2000001B	56 di 75



Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 28
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 20/11/2020 - 24/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 66, prog. 13+150	

SCALA 1 :60

STRATIGRAFIA - BH PE 28

Pagina 3/4

a mm	R metri	Prel. % 0-100	RQD % 0-100	Litologia	prof. m	Quar. m	Spes. m	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test		Cst. N	Pz
											S.P.T.	Pa		
	25							Sabbia limosa, medio-fine, da moderatamente addensata a molto addensata, colore nocciola. Presenti rari clasti ghiaiosi. Tra 20,00-20,50 m livello di ghiaia sabbiosa, eterometrica, poligenica, sub-arrotondata, colore nocciola.	SPT5) 24,00 24,45					
	26													
	27								SPT6) 27,00 27,45	27,0	14-20-22	42	A	
	28													
	29													
	30								SPT7) 30,00 30,45	30,0	13-29-34	60	A	
	31													
	32													
	33								SPT8) 33,00 33,45	33,0	18-27-31	58	A	
	34													
	35													
	36									38,0	20-31-38	66	A	

Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gabriele Sproccati



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

57 di 75



Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 28
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 20/11/2020 - 24/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 66, prog. 13+150	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 28

Pagina 4/4

a mm	R metri	Prel. % 0-100	RQD % 0-100	Litologia	prof. m	Quota m	Spes. m	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test		Ces. N	Pz	A r	Pz
											S.P.T.	Test				
37								Sabbia limosa, medio-fine, da moderatamente addensata a molto addensata, colore nocciola. Presenti rari clasti ghiaiosi. Tra 20,00-20,50 m livello di ghiaia sabbiosa, eterometrica, poligenica, sub-arrotondata, colore nocciola.	SPT9) 36,00 30,45							
38																
39									SPT10) 39,00 30,45	39,0	17-31-41	72	A			
40																
41																
42									SPT11) 42,00 32,45	42,0	19-35-44	79	A			
43																
44																
45					45,0	45,0	32,0									

Utilizzato carotiere semplice.
Prelevato n. 1 campione indisturbato.
Prelevati n. 4 campioni rimaneggiati.
Prelevati n. 11 campioni rimaneggiati SPT.
Eseguite n. 16 prove SPT.
Installato tubo piezometrico a tubo aperto da 3" fino a 15,00 m da p.c.
Installato chiusino carrabile in ghisa.

Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gabriele Sprocatti

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

58 di 75

ALLEGATO 3- TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

59 di 75

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 1 of 6

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RI20_Stat.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 $\alpha < 0.2$: Yes
Create interslice boundaries at intersections with water tables and piezos: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

60 di 75

SLIDEINTERPRET 7.030



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

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

Random Numbers

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

Surface Options

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





Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI2000001B

61 di 75

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Property	Rilevato	Unità3a	Unità6	Unità4	colonne
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	20	18	19	19	18
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	34	39	38	36
Water Surface	Water Table				
Hu Value	1	1	1	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

F5	L.458000
Center:	41.348, 31.998
Radius:	6.935
Left Slip Surface Endpoint:	35.481, 28.300
Right Slip Surface Endpoint:	45.702, 26.600
Resisting Moment:	1922.09 kN-m
Driving Moment:	1318.3 kN-m
Total Slice Area:	18.6843 m2
Surface Horizontal Width:	10.2207 m
Surface Average Height:	1.82809 m

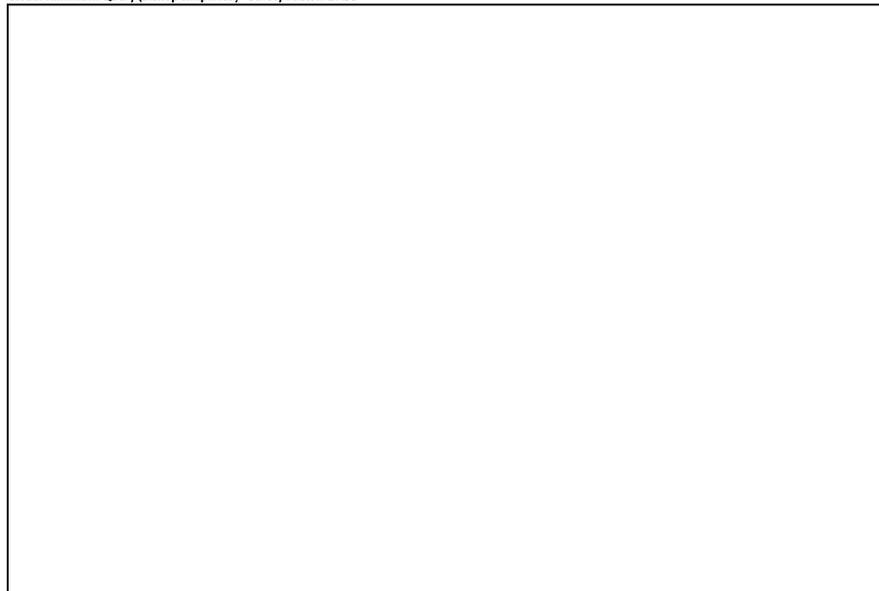
Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces:	1189
Number of Invalid Surfaces:	0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.458





Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI2000001B

62 di 75

SLIDEINTERPRET 7.038

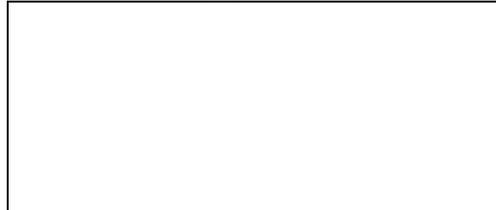


SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 6

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of 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	0.204977	0.628877	-56.253	Rilevato	0	32.0066	25.4365	37.0864	59.3356	0	59.3356	97.4083	97.4083
2	0.204977	1.82167	-53.3112	Rilevato	0	32.0066	28.09	40.9552	65.5253	0	65.5253	103.226	103.226
3	0.204977	2.89637	-50.5607	Rilevato	0	32.0066	30.5679	44.568	71.3056	0	71.3056	108.468	108.468
4	0.204977	3.87318	-47.963	Rilevato	0	32.0066	32.8981	47.9654	76.7411	0	76.7411	113.231	113.231
5	0.204977	4.76662	-45.4904	Rilevato	0	32.0066	35.101	51.1773	81.8798	0	81.8798	117.587	117.587
6	0.204977	5.58751	-43.1222	Rilevato	0	32.0066	37.1922	54.2263	86.7582	0	86.7582	121.589	121.589
7	0.204977	6.3442	-40.8427	Rilevato	0	32.0066	39.184	57.1302	91.4042	0	91.4042	125.278	125.278
8	0.204977	7.04329	-38.6392	Rilevato	0	32.0066	41.0858	59.9031	95.8407	0	95.8407	128.685	128.685
9	0.210946	7.92297	-36.4713	Rilevato	0	32.0066	23.0907	33.5788	54.4884	0.764828	53.7236	71.5125	70.7476
10	0.210946	8.5558	-34.3323	Rilevato	0	32.0066	17.4955	25.5084	43.048	2.23633	40.8116	54.997	52.7607
11	0.205679	8.87897	-32.272	colonne	0	30.1666	17.2051	25.0851	46.7382	3.58008	43.1581	57.6031	54.023
12	0.205679	9.34173	-30.2831	colonne	0	30.1666	17.8001	25.9526	49.457	4.8063	44.6507	59.8515	55.0452
13	0.205679	9.76936	-28.3338	colonne	0	30.1666	18.3714	26.7855	52.0233	5.93941	46.0839	61.9293	55.9898
14	0.205679	10.1638	-26.4197	colonne	0	30.1666	18.9203	27.5858	54.4452	6.98463	47.4605	63.8454	56.8607
15	0.205679	10.5268	-24.5368	colonne	0	30.1666	19.4479	28.355	56.7305	7.9464	48.7841	65.6085	57.6621
16	0.205679	10.8597	-22.6818	colonne	0	30.1666	15.6593	22.8313	48.1092	8.82859	39.2806	54.6538	45.8252
17	0.205679	11.1639	-20.8517	colonne	0	30.1666	15.4575	22.537	48.4087	9.6345	38.7742	54.2964	44.6619
18	0.205679	11.4403	-19.0435	colonne	0	30.1666	15.8648	23.1309	50.1632	10.367	39.7962	55.6394	45.2724
19	0.205679	11.69	-17.2549	colonne	0	30.1666	16.2548	23.6995	51.8093	11.0286	40.7747	56.8521	45.8235
20	0.205679	11.9137	-15.4835	colonne	0	30.1666	16.628	24.2436	53.332	11.6214	41.7106	57.9382	46.3168
21	0.205679	12.1122	-13.7271	colonne	0	30.1666	16.9848	24.7638	54.7526	12.1473	42.6053	58.9015	46.7542
22	0.205679	12.286	-11.9838	colonne	0	30.1666	17.3254	25.2604	56.0677	12.6079	43.4598	59.7452	47.1373
23	0.205679	12.4357	-10.2517	colonne	0	30.1666	17.6502	25.734	57.2793	13.0045	44.2748	60.4715	47.467
24	0.205679	12.5304	-8.52903	colonne	0	30.1666	17.9024	26.1017	58.2456	13.3383	44.9073	60.9304	47.5921
25	0.205679	12.2335	-6.8141	colonne	0	30.1666	17.4565	25.4516	57.3991	13.6101	43.789	59.485	45.8749
26	0.205679	11.8071	-5.10528	colonne	0	30.1666	16.7793	24.4642	55.9108	13.8208	42.09	57.4098	43.589
27	0.205679	11.3578	-3.40102	colonne	0	30.1666	16.065	23.4228	54.2694	13.9709	40.2985	55.2242	41.2533
28	0.205679	10.8858	-1.69976	colonne	0	30.1666	15.3132	22.3267	52.4732	14.0608	38.4124	52.9276	38.8668
29	0.205679	10.3912	0	colonne	0	30.1666	14.5232	21.1748	50.5213	14.0907	36.4306	50.5213	36.4306
30	0.205679	9.87403	1.69976	colonne	0	30.1666	13.6942	19.9661	48.412	14.0608	34.3512	48.0056	33.9448
31	0.205679	9.3342	3.40102	colonne	0	30.1666	12.8251	18.699	46.1421	13.9709	32.1712	45.3799	31.409
32	0.205679	8.77166	5.10528	colonne	0	30.1666	11.9147	17.3717	43.7083	13.8208	29.8875	42.6439	28.8231
33	0.205679	8.18624	6.8141	colonne	0	30.1666	10.9615	15.9819	41.1067	13.6101	27.4966	39.7968	26.1867
34	0.205679	7.57774	8.52903	colonne	0	30.1666	9.96379	14.5272	38.332	13.3383	24.9937	36.8378	23.4995
35	0.205679	6.94588	10.2517	colonne	0	30.1666	8.91941	13.0045	35.3785	13.0045	22.374	33.7653	20.7608
36	0.205679	6.2903	11.9838	colonne	0	30.1666	7.82593	11.4102	32.2389	12.6079	19.631	30.5778	17.9699
37	0.205679	5.61057	13.7271	colonne	0	30.1666	6.68046	9.74011	28.905	12.1473	16.7577	27.2731	15.1258
38	0.205679	4.97685	15.4835	colonne	0	30.1666	5.63347	8.2136	25.7527	11.6214	14.1313	24.1922	12.5708
39	0.205679	4.69689	17.2549	colonne	0	30.1666	5.36983	7.82921	24.4985	11.0286	13.4699	22.8307	11.8021
40	0.205679	4.44721	19.0435	colonne	0	30.1666	5.20014	7.58181	23.4113	10.367	13.0443	21.6164	11.2494
41	0.205679	4.17076	20.8517	colonne	0	30.1666	4.99985	7.28978	22.1764	9.6345	12.5419	20.272	10.6375
42	0.205679	3.86662	22.6818	colonne	0	30.1666	4.76645	6.94949	20.785	8.82859	11.9564	18.793	9.96437
43	0.205679	3.53369	24.5368	colonne	0	30.1666	4.49702	6.55665	19.227	7.9464	11.2806	17.1741	9.22769
44	0.205679	3.17072	26.4197	colonne	0	30.1666	4.18798	6.10607	17.49	6.98463	10.5053	15.4092	8.42462
45	0.205679	2.77626	28.3338	colonne	0	30.1666	3.83499	5.59142	15.5593	5.93941	9.6199	13.4915	7.55205
46	0.205679	2.34863	30.2831	colonne	0	30.1666	3.43272	5.00491	13.4171	4.8063	8.61083	11.4126	6.60627
47	0.205679	1.88587	32.272	colonne	0	30.1666	2.97446	4.33676	11.0414	3.58008	7.46128	9.16302	5.58294
48	0.210946	1.38365	34.3323	Rilevato	0	32.0066	2.61701	3.8156	8.34101	2.23633	6.10468	6.55364	4.31731
49	0.210946	0.750815	36.4713	Rilevato	0	32.0066	1.75109	2.55309	8.44958	0.764828	4.08475	3.55519	2.79036
50	0.126974	0.126974	38.2227	Rilevato	0	32.0066	0.646156	0.942095	1.50728	0	1.50728	0.998393	0.998393

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.458





Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

63 di 75

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	35.4811	28.3	0	0	0
2	35.686	27.9932	13.0069	0	0
3	35.891	27.7181	25.2939	0	0
4	36.096	27.4689	36.8169	0	0
5	36.301	27.2415	47.5423	0	0
6	36.506	27.033	57.4434	0	0
7	36.7109	26.8411	66.4983	0	0
8	36.9159	26.6639	74.6885	0	0
9	37.1209	26.5	81.9979	0	0
10	37.3318	26.3441	85.6513	0	0
11	37.5428	26.2	88.1743	0	0
12	37.7485	26.0701	90.7173	0	0
13	37.9541	25.95	93.008	0	0
14	38.1598	25.8391	95.0109	0	0
15	38.3655	25.7369	96.6953	0	0
16	38.5712	25.643	98.0345	0	0
17	38.7769	25.5571	98.9594	0	0
18	38.9825	25.4787	99.5826	0	0
19	39.1882	25.4077	99.8912	0	0
20	39.3939	25.3438	99.8679	0	0
21	39.5996	25.2869	99.4973	0	0
22	39.8052	25.2366	98.7658	0	0
23	40.0109	25.193	97.6614	0	0
24	40.2166	25.1558	96.1733	0	0
25	40.4223	25.1249	94.2994	0	0
26	40.628	25.1003	92.131	0	0
27	40.8336	25.082	89.7181	0	0
28	41.0393	25.0697	87.0876	0	0
29	41.245	25.0636	84.2682	0	0
30	41.4507	25.0636	81.2905	0	0
31	41.6564	25.0697	78.1873	0	0
32	41.862	25.082	74.9938	0	0
33	42.0677	25.1003	71.7477	0	0
34	42.2734	25.1249	68.49	0	0
35	42.4791	25.1558	65.2648	0	0
36	42.6848	25.193	62.12	0	0
37	42.8904	25.2366	59.1079	0	0
38	43.0961	25.2869	56.286	0	0
39	43.3018	25.3438	53.6636	0	0
40	43.5075	25.4077	50.9976	0	0
41	43.7132	25.4787	48.2693	0	0
42	43.9188	25.5571	45.5068	0	0
43	44.1245	25.643	42.7428	0	0
44	44.3302	25.7369	40.0155	0	0
45	44.5359	25.8391	37.3696	0	0
46	44.7416	25.95	34.8577	0	0
47	44.9472	26.0701	32.5424	0	0
48	45.1529	26.2	30.4985	0	0
49	45.3639	26.3441	28.7464	0	0
50	45.5748	26.5	27.622	0	0
51	45.7018	26.6	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-0.986	26.5
63.83	26.5

Distributed Load

X	Y
38.5974	28.3
28.621	28.3



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

64 di 75

SLIDEINTERPRET 7.030



Distributed Load

X	Y
32.639	28.3
30.1003	28.3

Distributed Load

X	Y
37.1724	28.3
34.5544	28.3

External Boundary

X	Y
0	0
63.1931	0
63.1931	12.7
63.1931	22.7
63.1931	26.6
47.1931	26.6
43.1931	26.6
40.35	28.3
26.85	28.3
24	26.6
20	26.6
0	26.6
0	22.7
0	12.7

Material Boundary

X	Y
20	22.7
20	26.2
20	26.6

Material Boundary

X	Y
47.1931	22.7
47.1931	26.2
47.1931	26.6

Material Boundary

X	Y
0	22.7
20	22.7
47.1931	22.7
63.1931	22.7

Material Boundary

X	Y
0	12.7
63.1931	12.7

Material Boundary

X	Y
20	26.2
47.1931	26.2

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI2000001B	65 di 75

ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU POST SISMA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

66 di 75

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RI20_post.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
Date Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Design Standard

Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
Name: Stabilità Globale_SIGMA+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 malpàs < 0.2: Yes
Create interslice boundaries at intersections with water tables and piezoms: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen iteration: Yes

Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

67 di 75

SLIDEINTERPRET 7.038



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

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

Random Numbers

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

Surface Options

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

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

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]: 12.2
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Variable

Distributed Load 3

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 12.2
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Variable

Material Properties





Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI2000001B

68 di 75

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Property	Rilevato	3aliquef	Unità6	Unità4	colonne
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	20	18	19	19	18
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	5.7	39	38	36
Water Surface	Water Table				
Hu Value	1	1	1	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

	F5	L.788560
Center:	42.472, 30.867	
Radius:	5.048	
Left Slip Surface Endpoint:	38.125, 28.300	
Right Slip Surface Endpoint:	45.168, 26.600	
Resisting Moment:	426.734 kN-m	
Driving Moment:	238.591 kN-m	
Total Slice Area:	7.86819 m ²	
Surface Horizontal Width:	7.04268 m	
Surface Average Height:	1.11722 m	

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1055
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.78856





Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
E12RBRI2000001B

Foglio
69 di 75

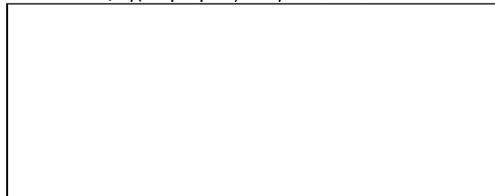


SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 6

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	0.139618	0.311179	-57.9356	Rilevato	0	32.0066	3.73101	6.67314	10.6765	0	10.6765	16.6325	16.6325
2	0.139618	0.901364	-55.0593	Rilevato	0	32.0066	4.85928	8.69112	13.9051	0	13.9051	20.8602	20.8602
3	0.139618	1.43329	-52.3776	Rilevato	0	32.0066	5.93181	10.6094	16.9742	0	16.9742	24.6706	24.6706
4	0.139618	1.9173	-49.8505	Rilevato	0	32.0066	4.75164	8.4986	13.5971	0	13.5971	19.23	19.23
5	0.139618	2.36074	-47.4498	Rilevato	0	32.0066	4.28034	7.65564	12.2485	0	12.2485	16.9114	16.9114
6	0.139618	2.76908	-45.1543	Rilevato	0	32.0066	5.12971	9.1748	14.679	0	14.679	19.8364	19.8364
7	0.139618	3.14652	-42.9481	Rilevato	0	32.0066	5.9435	10.6303	17.0076	0	17.0076	22.54	22.54
8	0.139618	3.49634	-40.8185	Rilevato	0	32.0066	6.72312	12.0247	19.2387	0	19.2387	25.0457	25.0457
9	0.139618	3.82119	-38.7553	Rilevato	0	32.0066	7.47003	13.3606	21.3761	0	21.3761	27.3725	27.3725
10	0.139618	4.12323	-36.7503	Rilevato	0	32.0066	8.18552	14.6403	23.4235	0	23.4235	29.536	29.536
11	0.139618	4.40426	-34.7954	Rilevato	0	32.0066	8.87077	15.8659	25.3843	0	25.3843	31.5488	31.5488
12	0.139618	4.66577	-32.8879	Rilevato	0	32.0066	9.52683	17.0399	27.2616	0	27.2616	33.4219	33.4219
13	0.139618	4.90904	-31.0196	Rilevato	0	32.0066	10.1546	18.1621	29.058	0	29.058	35.1642	35.1642
14	0.152141	5.60596	-29.1067	Rilevato	0	32.0066	10.6589	19.064	30.9165	0.415474	30.501	36.8507	36.4353
15	0.152141	5.85352	-27.1481	Rilevato	0	32.0066	11.0434	19.7517	32.8149	1.21362	31.6013	38.4777	37.2641
16	0.152141	6.06821	-25.2233	Rilevato	0	32.0066	11.3847	20.3622	34.5258	1.94782	32.578	39.8887	37.9409
17	0.152141	6.06673	-23.3283	Rilevato	0	32.0066	11.3147	20.2371	34.9991	2.62117	32.3779	39.8787	37.2575
18	0.137333	5.39569	-21.5502	colonne	0	30.1666	10.3922	18.587	35.1874	3.20903	31.9784	39.2915	36.0825
19	0.137333	5.29857	-19.8833	colonne	0	30.1666	10.1387	18.1337	34.9173	3.71868	31.1986	38.5841	34.8654
20	0.137333	5.19033	-18.2339	colonne	0	30.1666	9.86654	17.6469	34.5453	4.18422	30.361	37.7957	33.6115
21	0.137333	5.0713	-16.6	colonne	0	30.1666	9.57603	17.1273	34.074	4.60695	29.4671	36.9288	32.3218
22	0.137333	4.94178	-14.9798	colonne	0	30.1666	9.26746	16.5754	33.5056	4.98801	28.5176	35.9853	30.9973
23	0.137333	4.802	-13.3719	colonne	0	30.1666	8.94116	15.9918	32.8419	5.32838	27.5135	34.9673	29.639
24	0.137333	4.65218	-11.7746	colonne	0	30.1666	8.59725	15.3767	32.0841	5.62893	26.4552	33.8762	28.2473
25	0.137333	4.49252	-10.1865	colonne	0	30.1666	8.23584	14.7303	31.2336	5.89038	25.3432	32.7135	26.8231
26	0.137333	4.32316	-8.60637	colonne	0	30.1666	7.85705	14.0528	30.2909	6.11337	24.1776	31.4801	25.3667
27	0.137333	4.14425	-7.03277	colonne	0	30.1666	7.46081	13.3441	29.2567	6.29843	22.9583	30.1771	23.8787
28	0.137333	3.95588	-5.46448	colonne	0	30.1666	7.04712	12.6042	28.1312	6.44597	21.6852	28.8054	22.3594
29	0.137333	3.75814	-3.9003	colonne	0	30.1666	6.61583	11.8328	26.9143	6.55634	20.358	27.3653	20.809
30	0.137333	3.5511	-2.33902	colonne	0	30.1666	6.16669	11.0295	25.6058	6.62978	18.976	25.8577	19.2279
31	0.137333	3.33479	-0.779481	colonne	0	30.1666	5.69956	10.194	24.205	6.66646	17.5385	24.2825	17.6161
32	0.137333	3.10925	0.779481	colonne	0	30.1666	5.21405	9.32565	22.711	6.66646	16.0446	22.6401	15.9736
33	0.137333	2.87445	2.33902	colonne	0	30.1666	4.70983	8.42381	21.1228	6.62978	14.493	20.9304	14.3006
34	0.137333	2.6304	3.9003	colonne	0	30.1666	4.18641	7.48764	19.4386	6.55634	12.8823	19.1532	12.5969
35	0.137333	2.37704	5.46448	colonne	0	30.1666	3.64324	6.51615	17.6569	6.44597	11.2109	17.3084	10.8624
36	0.137333	2.11431	7.03277	colonne	0	30.1666	3.07969	5.50821	15.7752	6.29843	9.47674	15.3952	9.09681
37	0.137333	1.90485	8.60637	colonne	0	30.1666	2.6511	4.74165	14.2713	6.11337	8.15789	13.87	7.75665
38	0.137333	1.84137	10.1865	colonne	0	30.1666	2.59444	4.64031	13.8739	5.89038	7.98357	13.4078	7.51738
39	0.137333	1.77549	11.7746	colonne	0	30.1666	2.54435	4.55072	13.4584	5.62893	7.82944	12.928	7.29907
40	0.137333	1.69975	13.3719	colonne	0	30.1666	2.4822	4.43956	12.9665	5.32838	7.63816	12.3765	7.0481
41	0.137333	1.61398	14.9798	colonne	0	30.1666	2.40742	4.30582	12.3961	4.98801	7.40805	11.7519	6.76389
42	0.137333	1.51796	16.6	colonne	0	30.1666	2.31939	4.14837	11.7441	4.60695	7.13716	11.0527	6.44572
43	0.137333	1.41144	18.2339	colonne	0	30.1666	2.21739	3.96593	11.0075	4.18422	6.82331	10.277	6.09281
44	0.137333	1.29413	19.8833	colonne	0	30.1666	2.10057	3.75699	10.1825	3.71868	6.46379	9.42277	5.70409
45	0.137333	1.1657	21.5502	colonne	0	30.1666	1.96797	3.51984	9.26484	3.20903	6.05581	8.48765	5.27862
46	0.152141	1.11731	23.3285	Rilevato	0	32.0066	1.94304	3.47524	8.18131	2.62117	5.56014	7.34336	4.72219
47	0.152141	0.908448	25.2233	Rilevato	0	32.0066	1.68281	3.00981	6.76332	1.94782	4.8155	5.97062	4.0228
48	0.152141	0.680717	27.1481	Rilevato	0	32.0066	1.38803	2.48258	5.18556	1.21362	3.97194	4.4738	3.26018
49	0.152141	0.433153	29.1067	Rilevato	0	32.0066	1.05484	1.88664	3.43396	0.415474	3.01848	2.84668	2.4312
50	0.165179	0.165179	31.1909	Rilevato	0	32.0066	0.443157	0.792613	1.26812	0	1.26812	0.999834	0.999834

Interslice Data

Global Minimum Query (Bishop simplified) - Safety Factor: 1.78856





Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

70 di 75

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	38.1252	28.3	0	0	0
2	38.2649	28.0771	1.85897	0	0
3	38.4045	27.8773	3.95969	0	0
4	38.5441	27.6961	6.20692	0	0
5	38.6837	27.5306	7.7944	0	0
6	38.8233	27.3785	9.06014	0	0
7	38.963	27.2382	10.4049	0	0
8	39.1026	27.1082	11.7859	0	0
9	39.2422	26.9876	13.1679	0	0
10	39.3818	26.8755	14.5214	0	0
11	39.5214	26.7713	15.8213	0	0
12	39.661	26.6742	17.0465	0	0
13	39.8007	26.584	18.1784	0	0
14	39.9403	26.5	19.2011	0	0
15	40.0924	26.4153	20.1992	0	0
16	40.2446	26.3373	21.0802	0	0
17	40.3967	26.2656	21.8236	0	0
18	40.5488	26.2	22.3996	0	0
19	40.6862	26.1458	22.8817	0	0
20	40.8235	26.0961	23.2245	0	0
21	40.9608	26.0509	23.4333	0	0
22	41.0982	26.0099	23.514	0	0
23	41.2355	25.9732	23.4733	0	0
24	41.3728	25.9405	23.3183	0	0
25	41.5102	25.9119	23.0568	0	0
26	41.6475	25.8872	22.6972	0	0
27	41.7848	25.8664	22.2484	0	0
28	41.9222	25.8495	21.7201	0	0
29	42.0595	25.8363	21.1225	0	0
30	42.1968	25.827	20.4665	0	0
31	42.3342	25.8214	19.7638	0	0
32	42.4715	25.8195	19.0267	0	0
33	42.6088	25.8214	18.2687	0	0
34	42.7462	25.827	17.5038	0	0
35	42.8835	25.8363	16.7472	0	0
36	43.0208	25.8495	16.0152	0	0
37	43.1582	25.8664	15.3253	0	0
38	43.2955	25.8872	14.6648	0	0
39	43.4328	25.9119	13.9663	0	0
40	43.5702	25.9405	13.2318	0	0
41	43.7075	25.9732	12.4679	0	0
42	43.8448	26.0099	11.6819	0	0
43	43.9822	26.0509	10.8828	0	0
44	44.1195	26.0961	10.0804	0	0
45	44.2568	26.1458	9.28639	0	0
46	44.3942	26.2	8.5138	0	0
47	44.5463	26.2656	7.68157	0	0
48	44.6985	26.3373	6.941	0	0
49	44.8506	26.4153	6.32539	0	0
50	45.0027	26.5	5.87414	0	0
51	45.1679	26.6	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-0.986	26.5
63.83	26.5

Distributed Load

X	Y
38.5974	28.3
28.621	28.3



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

71 di 75

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Distributed Load

X	Y
32.639	28.3
30.1003	28.3

Distributed Load

X	Y
37.1724	28.3
34.5544	28.3

External Boundary

X	Y
0	0
63.1931	0
63.1931	12.7
63.1931	22.7
63.1931	26.6
47.1931	26.6
43.1931	26.6
40.35	28.3
26.85	28.3
24	26.6
20	26.6
0	26.6
0	22.7
0	12.7

Material Boundary

X	Y
20	22.7
20	26.2
20	26.6

Material Boundary

X	Y
47.1931	22.7
47.1931	26.2
47.1931	26.6

Material Boundary

X	Y
0	22.7
20	22.7
47.1931	22.7
63.1931	22.7

Material Boundary

X	Y
0	12.7
63.1931	12.7

Material Boundary

X	Y
20	26.2
47.1931	26.2

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

72 di 75

ALLEGATO 5- TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE



Settle3D Analysis Information

Rilevati

Project Settings

Document Name: Ri20.s3z
Project Title: Rilevati
Date Created: 08/06/2021, 14:59:10
Stress Computation Method: Boussinesq

Stage Settings

Stage #	Name
1	Stage 1

Results

Time taken to compute: 0.84991 seconds

Stage: Stage 1

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.0271853
Consolidation Settlement [m]	0	0
Immediate Settlement [m]	0	0.0271853
Loading Stress [kPa]	0	58.7926
Total Stress [kPa]	0	766.059
Total Strain	2.09994e-009	0.00478992
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	3.60003	765.816
Over-consolidation Ratio	1	1
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [m]	0	0

Loads

1. Rectangular Load

Length: 11.35 m
Width: 100 m
Rotation angle: 0 degrees
Load Type: Flexible
Area of Load: 1135 m²
Load: 13.3 kPa
Depth: 0 m
Installation Stage: Stage 1

Coordinates



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

74 di 75

X [m]	Y [m]
-5.67196	-50
5.67804	-50
5.67804	50
-5.67196	50

Embankments

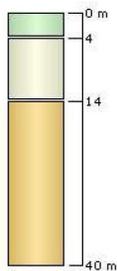
1. Embankment

Center Line: (0, -50) to (0, 50)
Number of Layers: 1
Near End Angle: 90 degrees
Far End Angle: 90 degrees
Base Width: 18.5

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

Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	3a+colonne	4	0
2	u6	10	4
3	u4	26	14



Soil Properties

Property	3a+colonne	u6	u4
Color			
Unit Weight [kN/m ³]	18	19	19
Immediate Settlement	Enabled	Enabled	Enabled
Es [kPa]	12000	60000	80000
Esur [kPa]	12000	60000	80000

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+986,22 a pk 13+240,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2000001B

Foglio

75 di 75



Page 3 of 3

Query Points

Point #	(X,Y) Location	Number of Divisions
1	0.00303833, 4.9738e-014	Auto: 55

Query Lines

Line #	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	-20, 0	20, 0	100	Auto: 35