

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+725,00 a pk 12+986,22  
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 Irica Ing. Paolo Carmona Data: Ottobre 2022	Data:		

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

I	N	1	7	1	2	E	I	2	R	B	R	I	1	9	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	
B	REVISIONE	A. Arione 	Ottobre 2022	V. Pastore 	Ottobre 2022	P. Ascari 	Ottobre 2022	

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E9100000009	File: IN1712E12RBRI190001B
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato  
dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	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 .....	32
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO .....	35
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite.....	35
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU).....	35
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE).....	37
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche .....	37
6.2	Azioni di progetto .....	37
6.2.1	Azioni permanenti .....	38
6.2.2	Azioni variabili .....	38

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12



Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

3 di 75

6.2.3	Azione sismica .....	38
6.3	Verifiche e risultati SLU .....	39
6.3.1	Premessa .....	39
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche .....	39
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche e post sismiche .....	40
6.4	Verifica e risultati SLE .....	41
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....	47
	Allegati .....	48
	ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO .....	49
	ALLEGATO 2 - SONDAGGI .....	51
	ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA .....	57
	ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU post sisma .....	64
	ALLEGATO 5 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE .....	72

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	Foglio 4 di 75

## 1 INTRODUZIONE



Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI19, 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+725,00 e il km 12+986,22.

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+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	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+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	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  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	Foglio 7 di 75

### 3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA



Il rilevato ferroviario in esame si estende dal km 12+725 al km 12+986 per una lunghezza totale di ca. 260 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 12+725, sezione n. 283, si riscontra l'altezza massima del rilevato pari a 2.2 m. La sezione citata, denominata Sezione A (Figura 1), è quella ritenuta più severa per le verifiche del rilevato in esame.





GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	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 molto 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+725 a pk 12+986*

<b>Progressiva pk</b>	<b>ID indagini -</b>	<b>Campagna anno</b>
12+780	CPTU30ter	2014/2015
13+000	P3	2015
13+000	P3 bis	2015
13+150	BH-PE-28	2020/2021

### 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 limoso/sabbiosi superficiali (unità 3a), 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 stesso sarà governato principalmente dalle caratteristiche della coltre superficiale soprastante le ghiaie. Pertanto,

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI1900001B</p>	<p>Foglio 10 di 75</p>

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 RI19, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 1 di 11 (Doc. Rif. [3]).

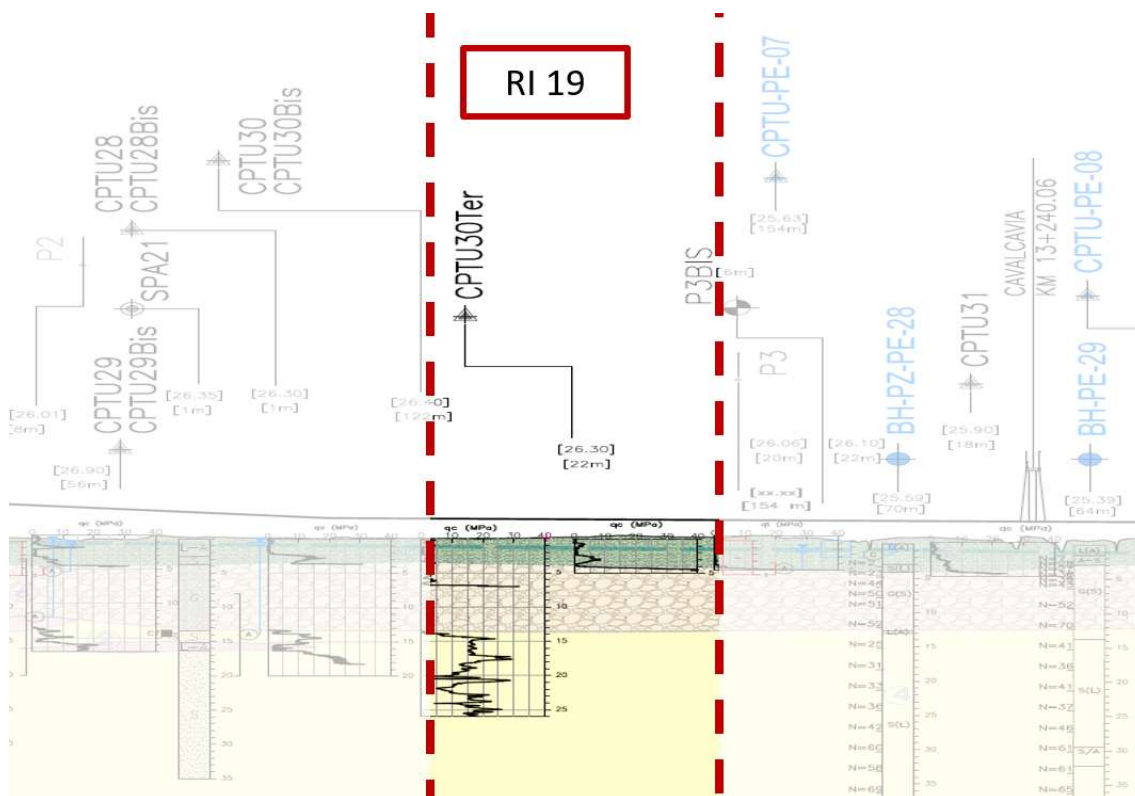


Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato RI19, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

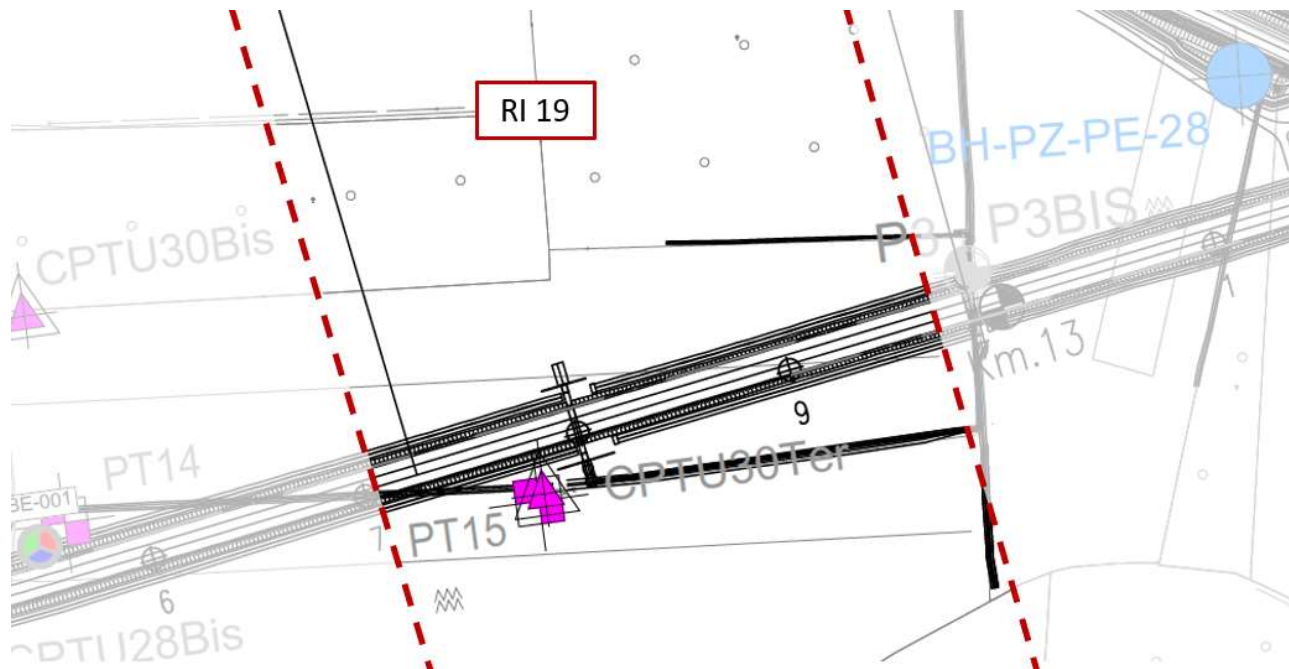




Figura 3 - Planimetria Rilevato RI19, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

### 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+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	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. 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).

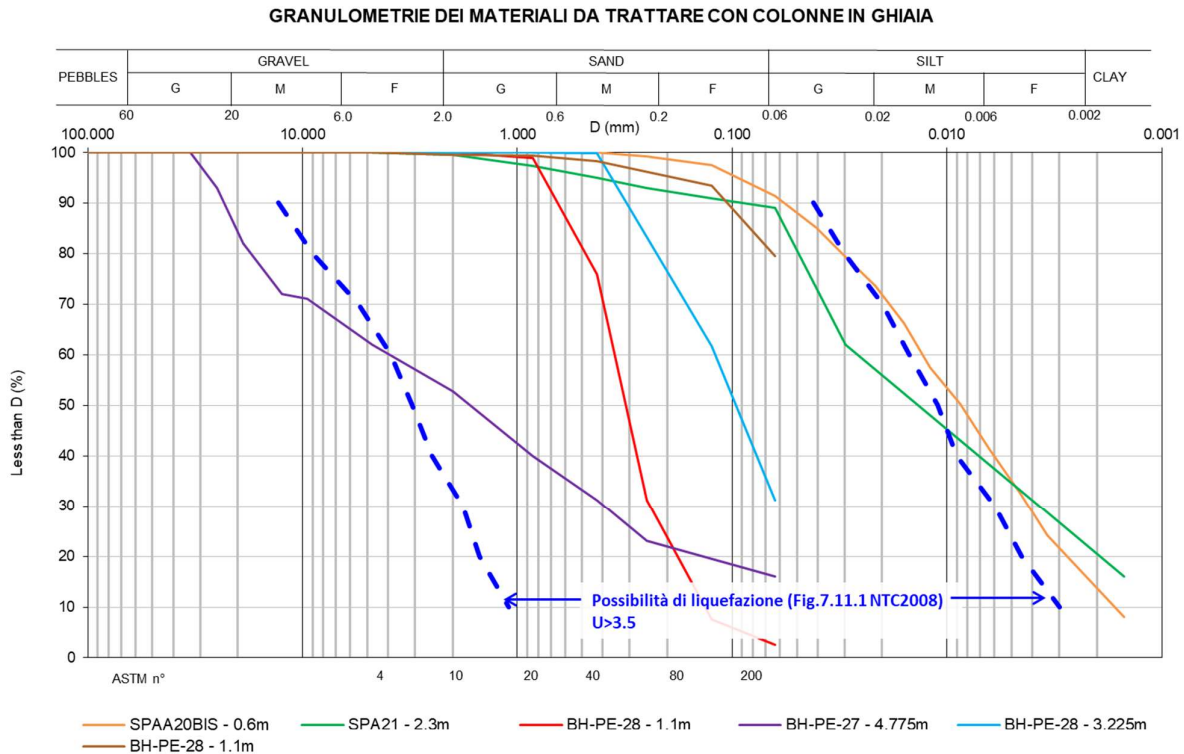


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche dei terreni suscettibili alla liquefazione



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1900001B

Foglio  
14 di 75

**AV/AC VERONA VICENZA**

**RI 19 da pk 12+725 a pk 12+986**

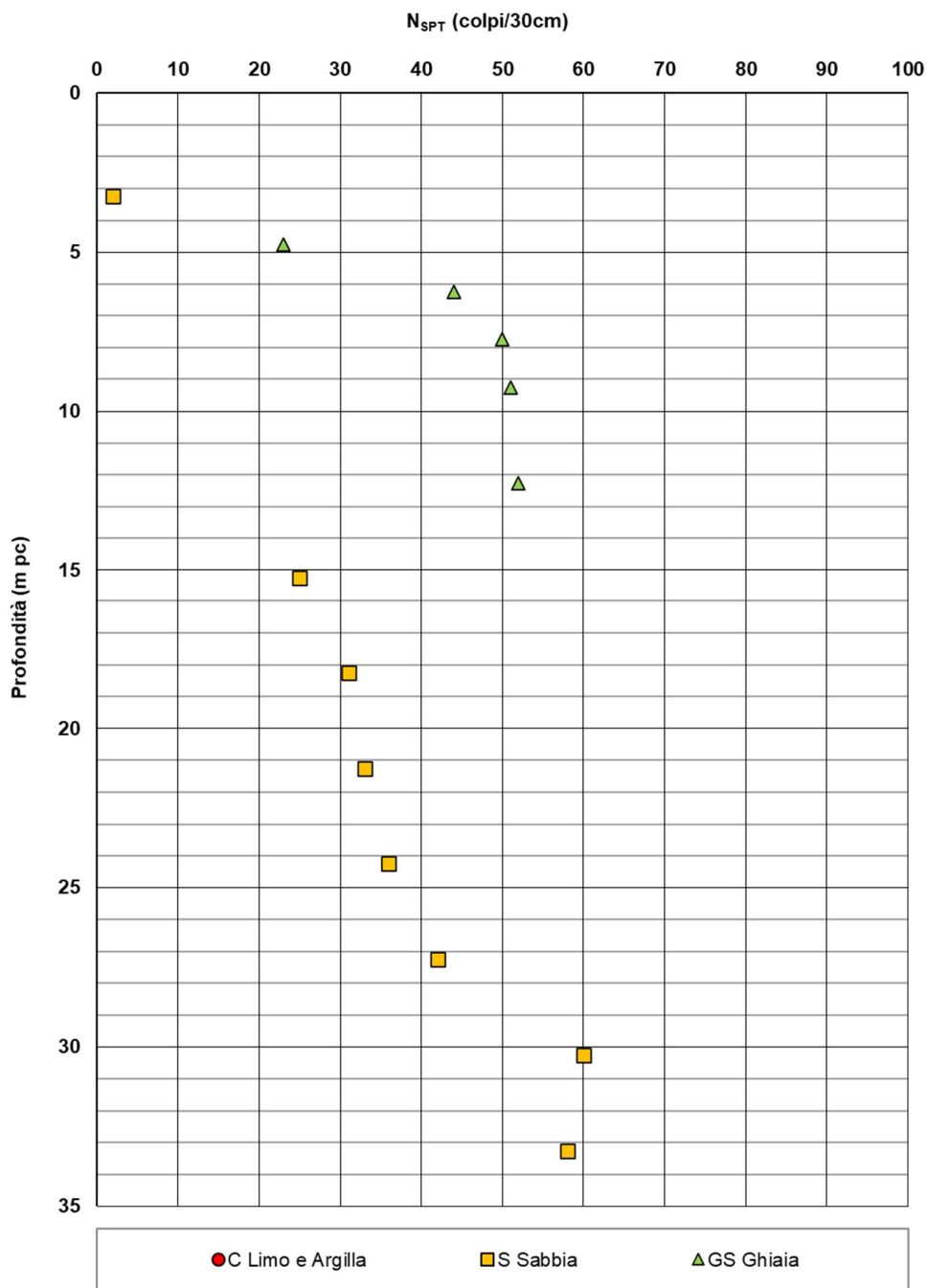


Figura 5 – Esito delle prove SPT tra pk 12+725 e pk 12+986



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1900001B

Foglio  
15 di 75

**AV/AC VERONA VICENZA**

**RI 19 da pk 12+725 a pk 12+986**

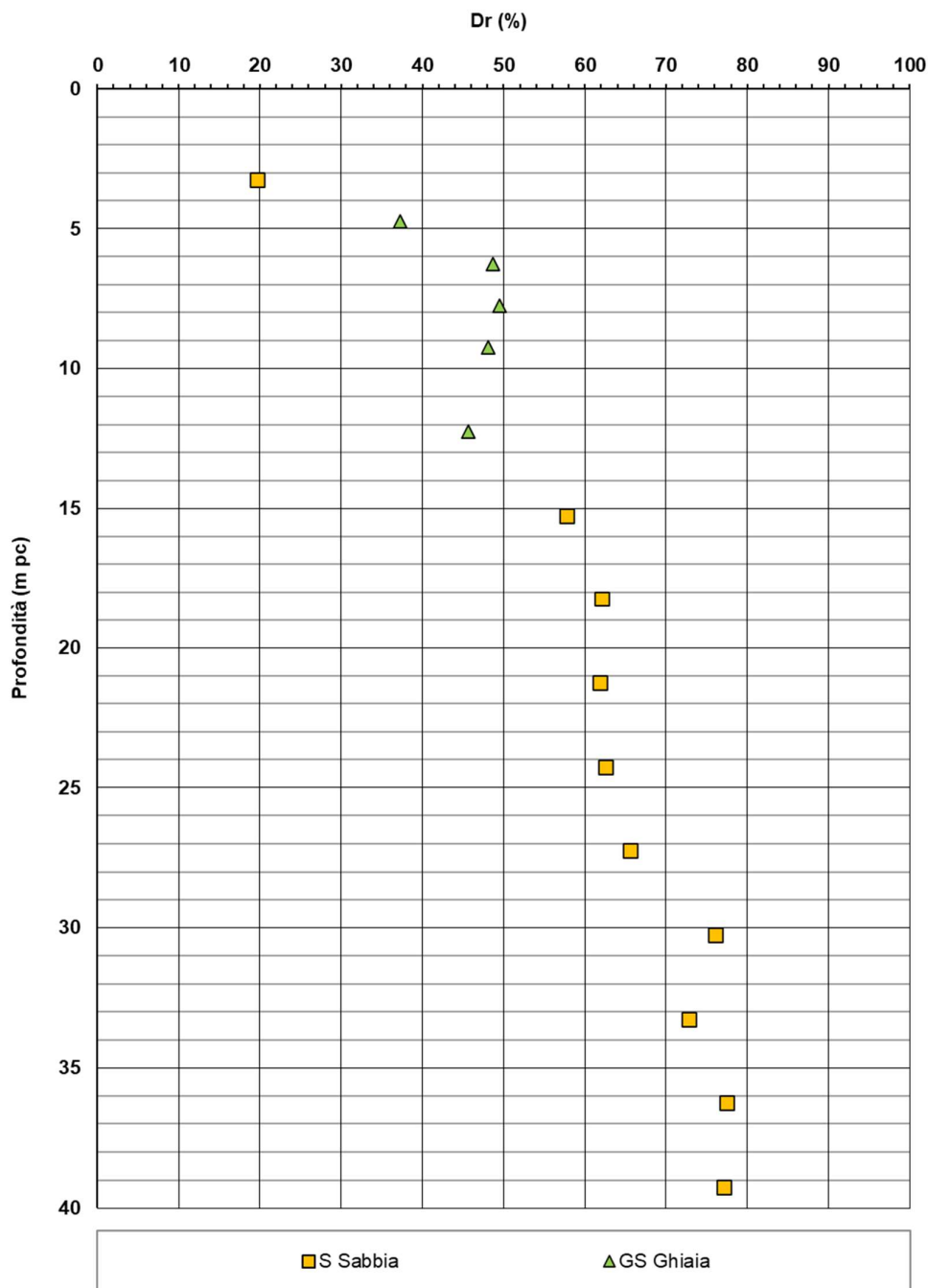


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT tra pk 12+725 e pk 12+986



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1900001B

Foglio  
16 di 75

**AV/AC VERONA VICENZA**

**RI 19 da pk 12+725 a pk 12+986**

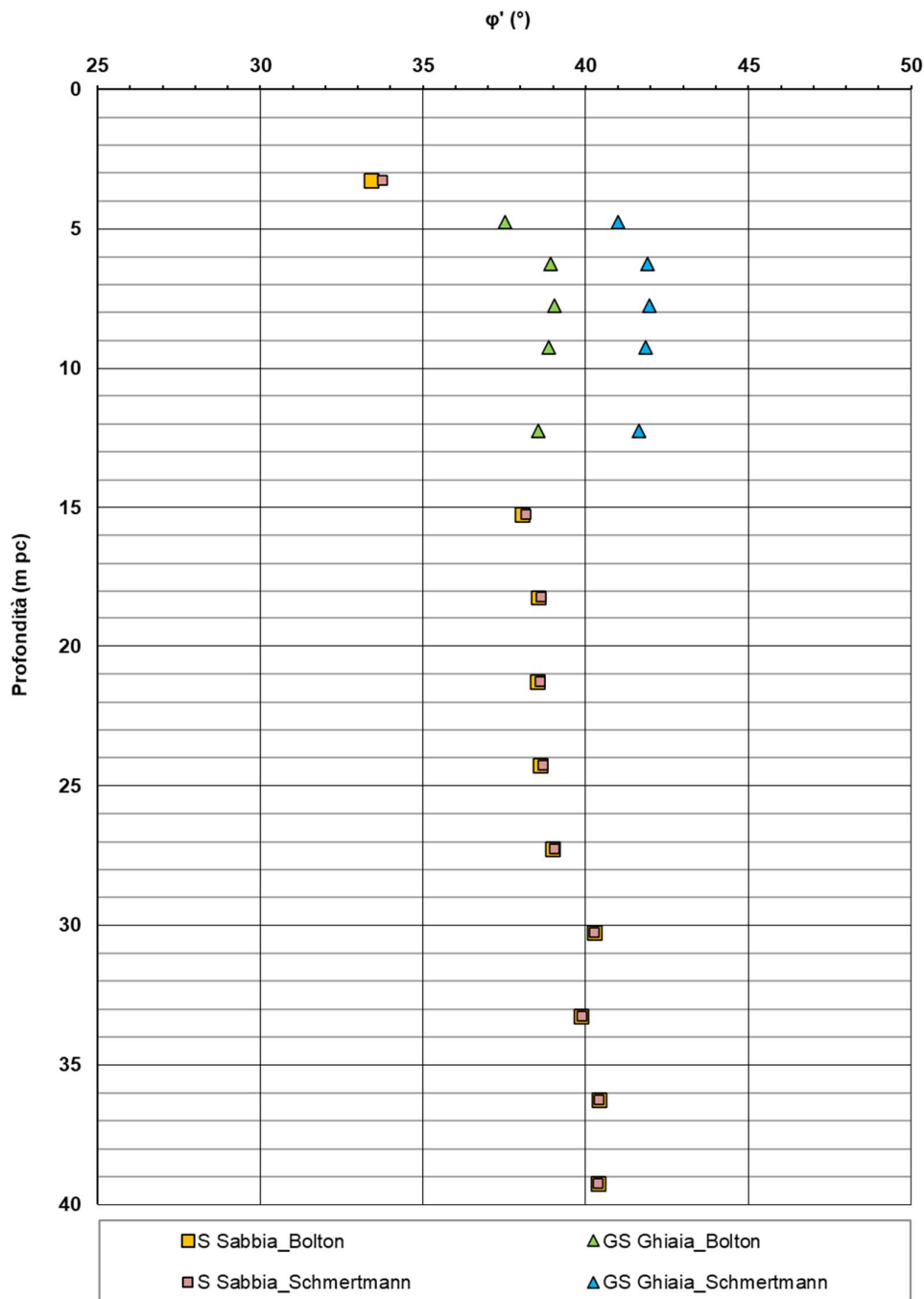


Figura 7 – Angoli di attrito da prove SPT tra pk 12+725 e pk 12+986





Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1900001B

Foglio  
17 di 75

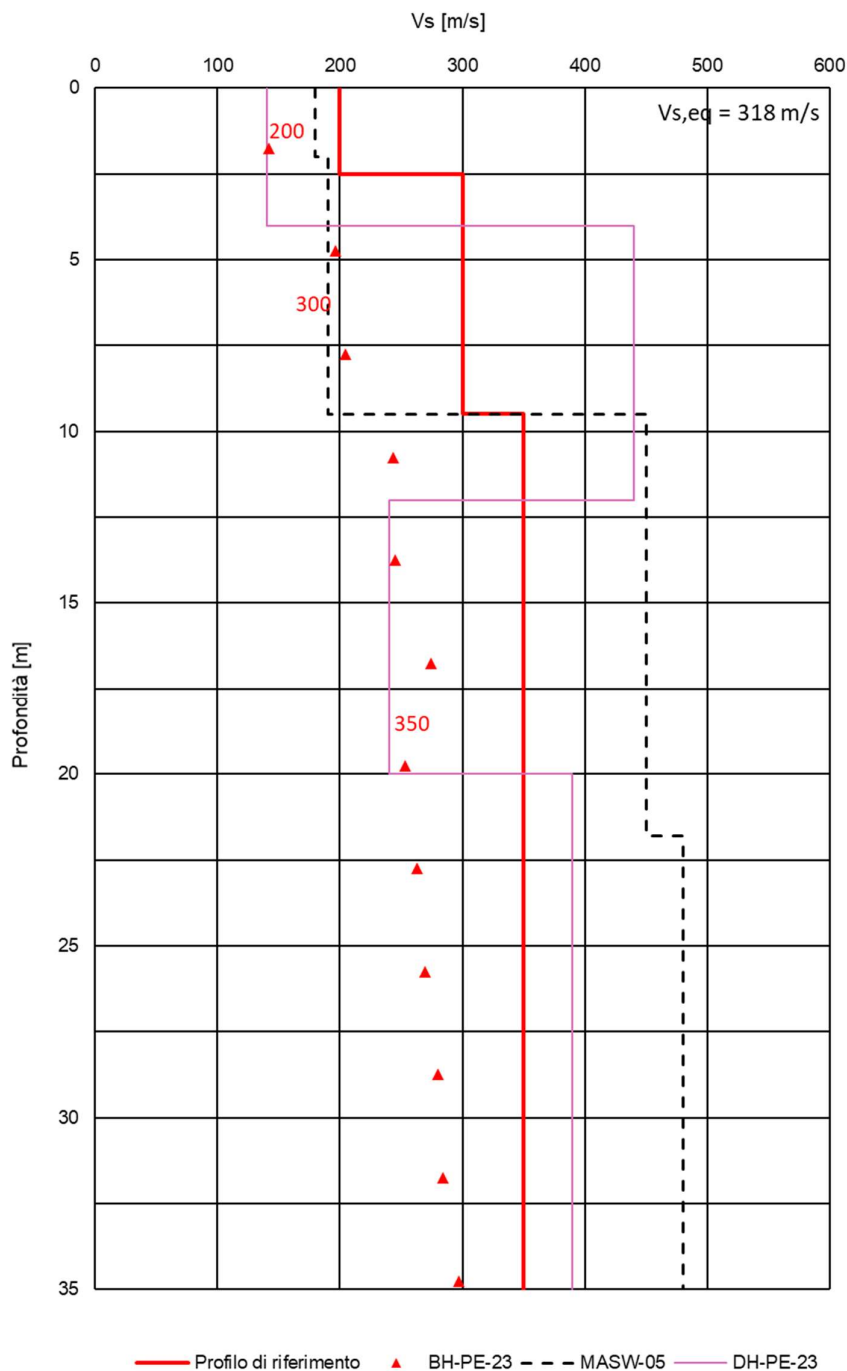


Figura 8 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW tra pk 12+725 e pk 12+986



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

18 di 75

## AV/AC VERONA VICENZA

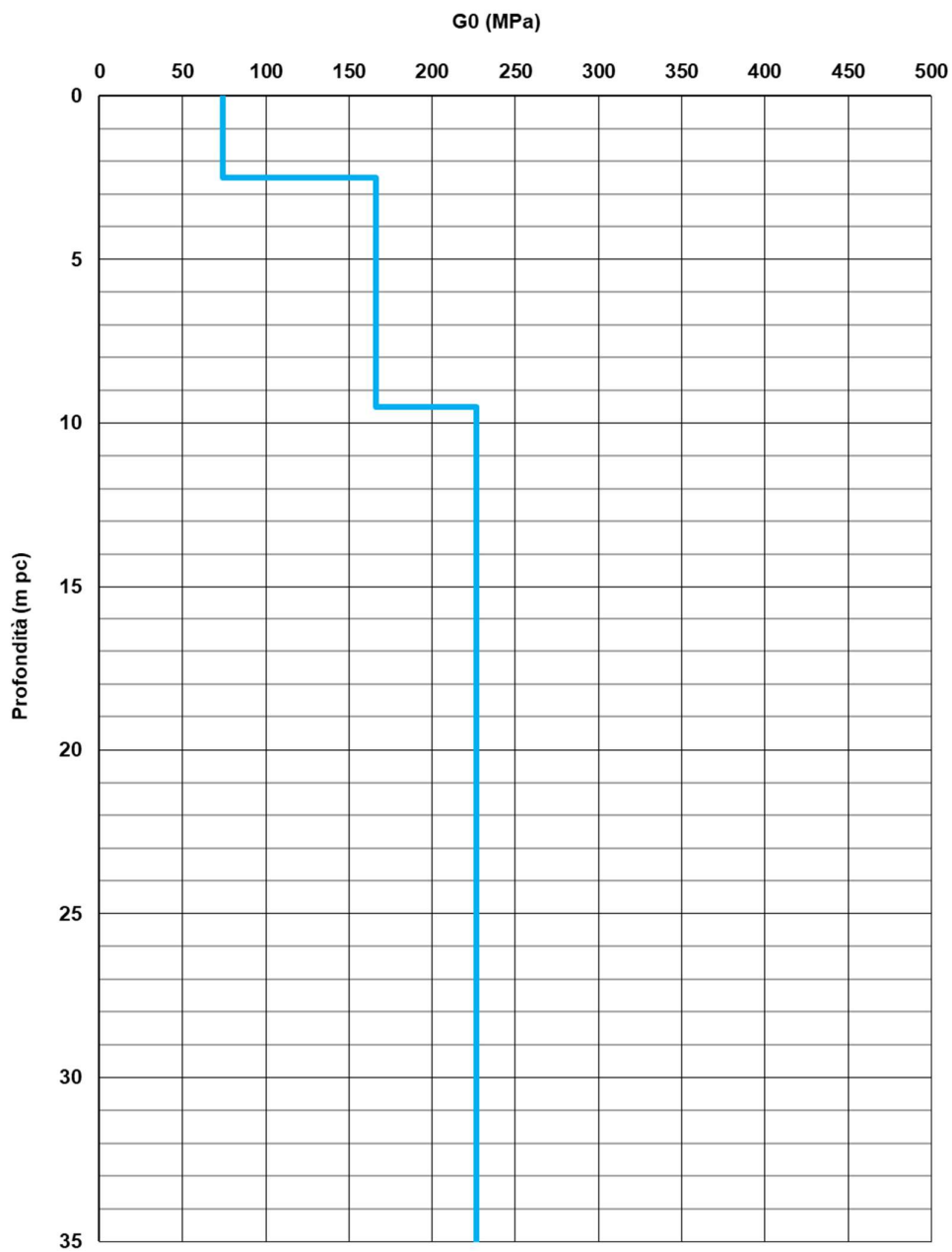




Figura 9 – Modulo di taglio  $G_0$  tra pk 12+725 e pk 12+986

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	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*	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\varphi_k$ °	$c_k'$ 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*

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	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 (<math>V &lt; 250</math> km/h)</i>	$V_N = 50$ anni
<i>Altre opere nuove a velocità <math>V &lt; 250</math> km/h</i>	$V_N = 75$ anni
<i>Altre opere nuove a velocità <math>V \geq 250</math> 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+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	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+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	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+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	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

$\tau_c$  valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

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

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	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  $\sigma'_{v0}$  è la tensione verticale efficace alla profondità in e l'esponente "n" varia da 0.5 per i materiali a grana grossa a 1 per i materiali a grana fine.



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

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

dove:

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



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	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  $I_c > 1.64$                        $K_c = - 0.403(I_c)^4 + 5.581(I_c)^3 - 21.63(I_c)^2 + 33.75(I_c) - 17.88$

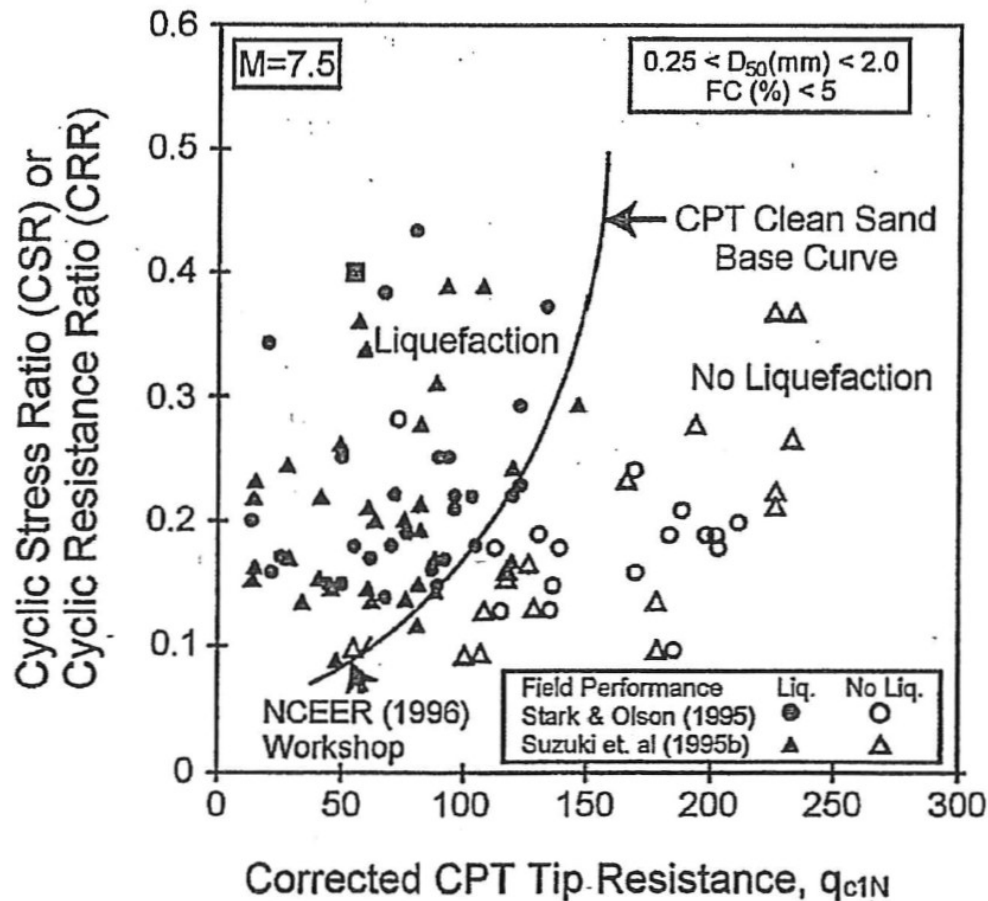


Figura 10: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta  $q_{c1N}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

### 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+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	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  $\sigma'_{v0}$  è la tensione verticale in sito, in termini di sforzi efficaci.

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

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

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

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

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

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

Si può osservare dalla



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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	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:

$\sigma'_{v0}$  = tensione verticale efficace

$p_a$  = pressione atmosferica di riferimento

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

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

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

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

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):

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

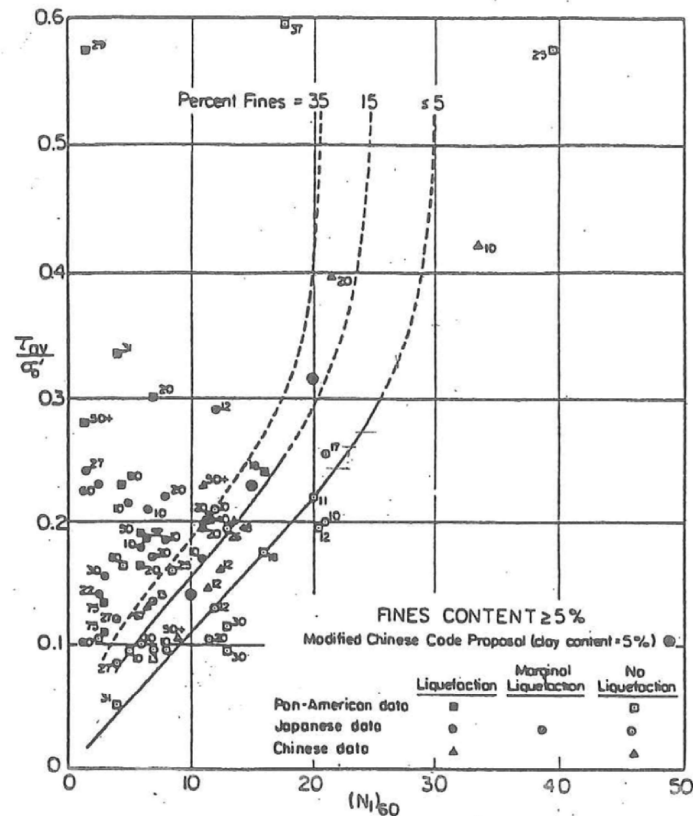


Figura 11: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e  $N_{1(60)}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

I risultati (cfr. Figura 12) indicano rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI19. Dall'analisi della CPTU30ter si evidenzia la presenza di 4 m continui di materiale potenzialmente liquefacibile, con  $FL < 1.0$ . Anche i dati della vicina CPTU-PE-07 confermano tale eventualità per i terreni della coltre superficiale.

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



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1900001B

Foglio  
30 di 75

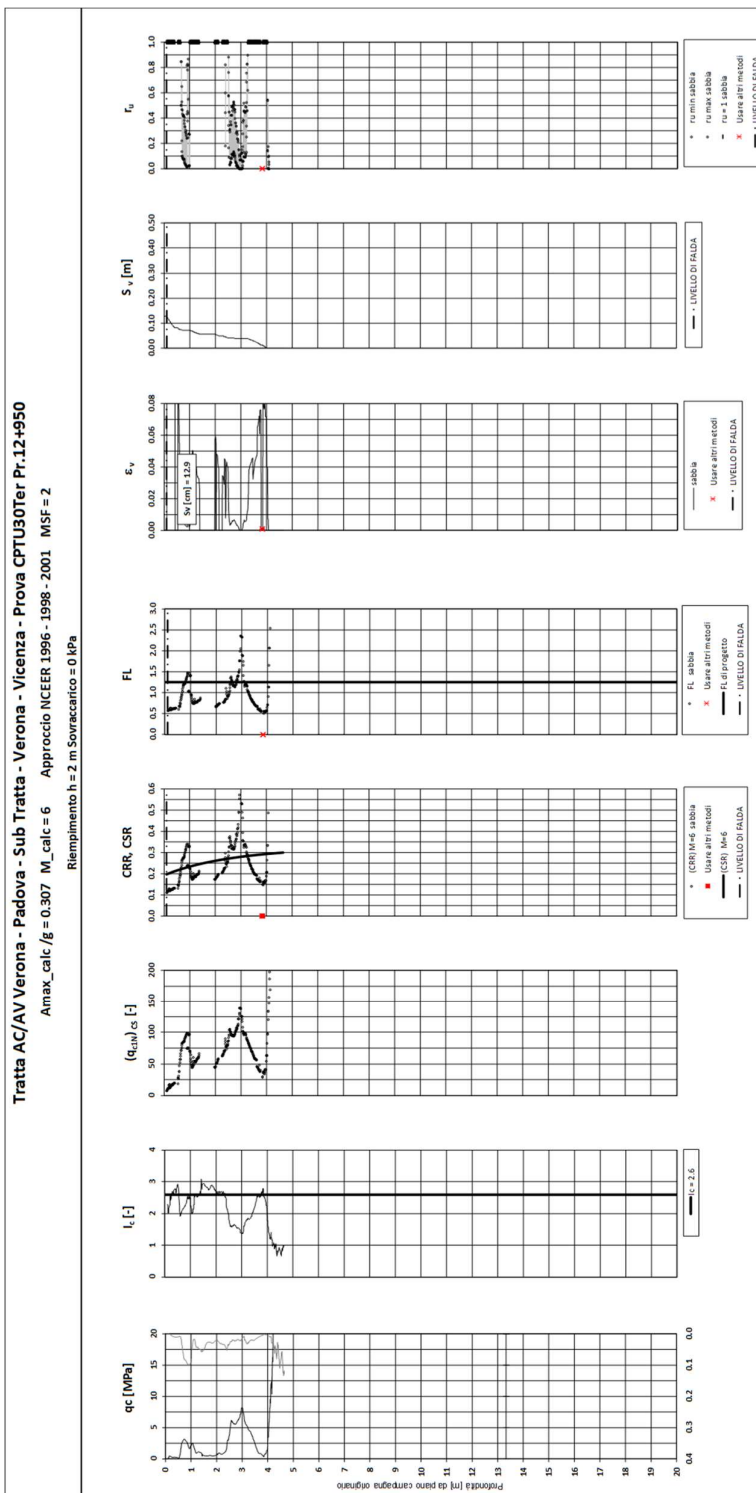


Figura 12 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU30ter



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1900001B

Foglio  
31 di 75

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1. - Prova CPTU-PE-07 Pr. 13+033  
a<sub>p,max</sub> = 0.307g M<sub>calc</sub> = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 2m

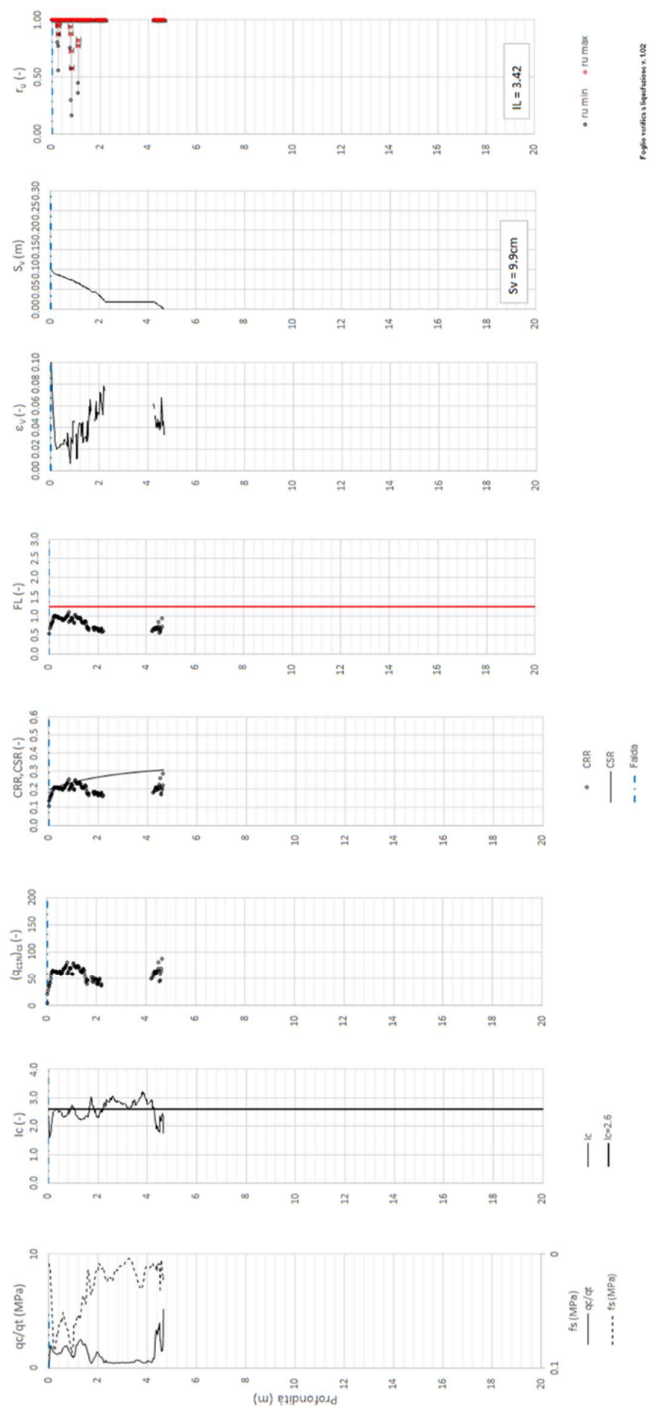


Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-07

### 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+725 alla pk12+986, 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 14  $A_c$  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  $2 \times 2$ m, si ottiene un "area ratio"  $A/A_c=4/0.5=8$ , che consente di ridurre l'azione ciclica sul terreno di un fattore ( $P_s/P$  nel grafico in ordinate) che può essere stimato pari a 0.6 per colonne realizzate con materiale avente angolo di resistenza al taglio dell'ordine dei  $40^\circ$ .
- 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.

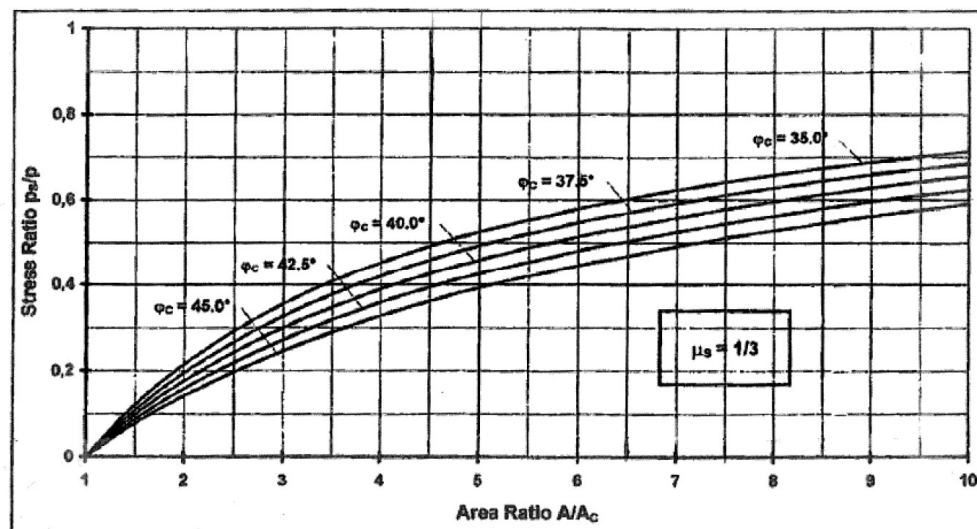


Figura 14 – Riduzione dello stress ratio sismico in funzione dell'area ratio delle colonne di ghiaia (Doc.Rif.[35])





Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI190001B

Foglio  
33 di 75

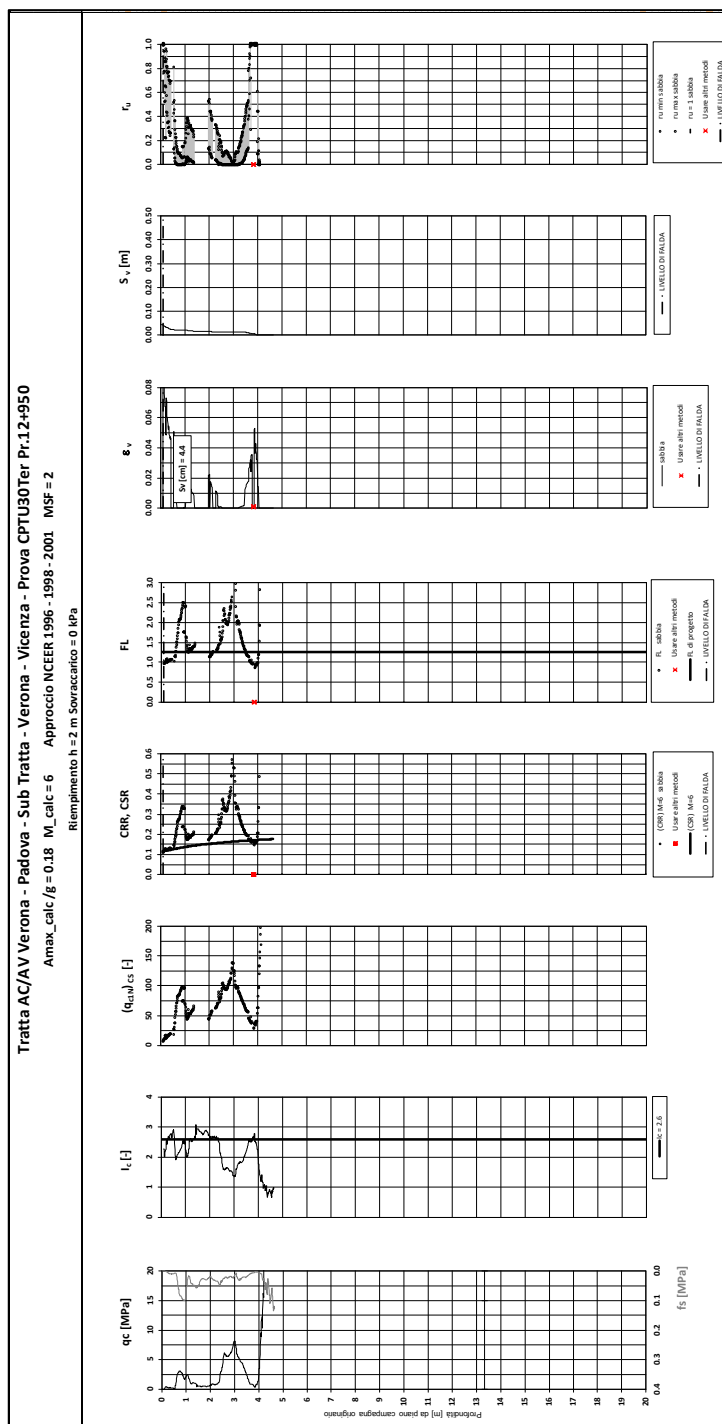


Figura 15 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU30ter dopo soil improvement



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1900001B

Foglio  
34 di 75

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-07 Pr. 13-033  
a<sub>r,max</sub> = 0.18g, M<sub>calc</sub> = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1986 - 1988 - 2001  
Altezza rilevato = 2m

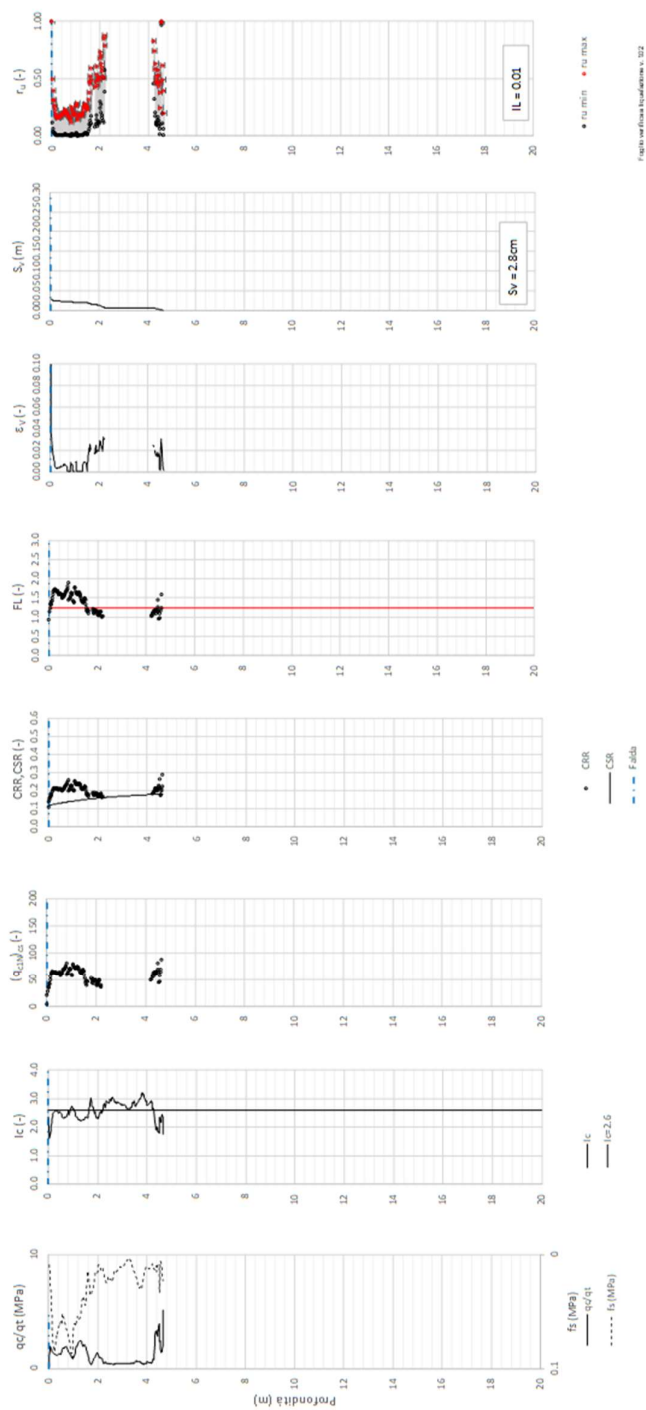




Figura 16 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-07 dopo soil improvement

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	Foglio 35 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  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	Foglio 36 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 $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

dove:



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

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

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

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

Coefficiente	<b>R2</b>
$\gamma_R$	1.1

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI190001B	Foglio 37 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 $\Delta H$ può essere ammesso solo a seguito di una verifica di assenza di problemi di sagoma (gallerie, interasse, posizione linea di contatto ecc.)		
(2) ATTENZIONE al rispetto delle condizioni di lavorabilità del binario previste dalla Norma sulla l.r.s.		

### 6.1.3 Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche

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

## 6.2 Azioni di progetto

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	Foglio 38 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/m<sup>3</sup>

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

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

### 6.2.2 Azioni variabili

Le azioni variabili sono rappresentate dai carichi da traffico ferroviario, qui determinati 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 m<sup>2</sup> in totale).

### 6.2.3 Azione sismica

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

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

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

dove



$\beta_s$                          coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa (v. Tabella 10)

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

$g$                          accelerazione di gravità.

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	Foglio 39 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 17 sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2. Il valore minimo di FS è pari a:

$$F_{S\text{MIN}} (DA1C2) = 1.436 > R2 = 1.1$$

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI190001B</p>	<p>Foglio 40 di 75</p>

### 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  $5.7^\circ$  (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 18 sono riportate le superfici di rottura critiche. Il fattore di sicurezza FS è pari a:

$$FS_{MIN}=1.710 > R2=1.1$$

**la verifica di stabilità globale post liquefazione risulta soddisfatta.**

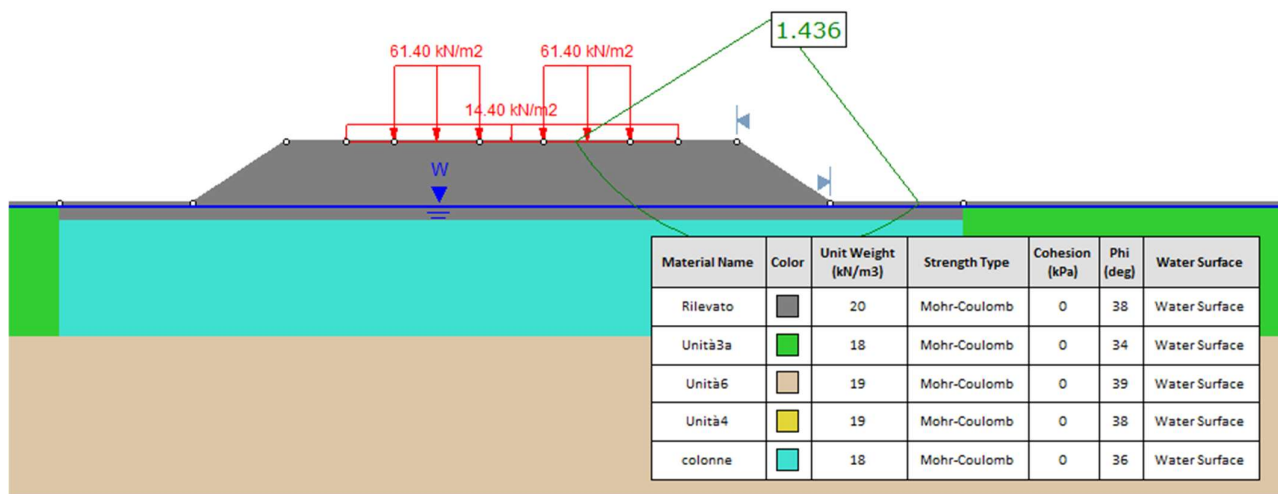




Figura 17 - Rilevato H=2.20 m - Analisi SLU in campo statico DA1C2



GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	Foglio 41 di 75

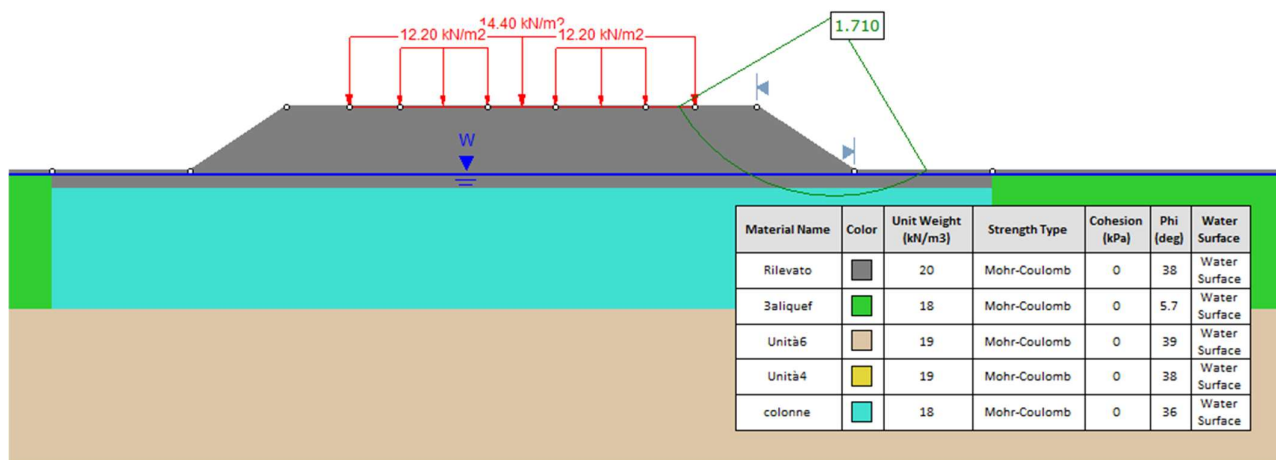


Figura 18 - Rilevato H=2.20 m - Analisi SLU in condizioni post sisma

## 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

$\nu$  = coefficiente di Poisson

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

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

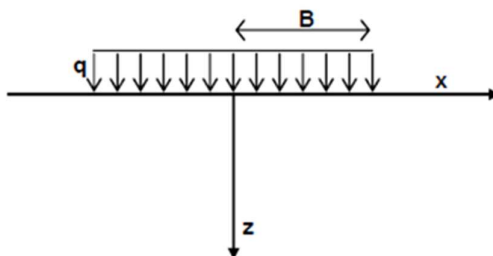




Figura 19 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI190001B	Foglio 43 di 75

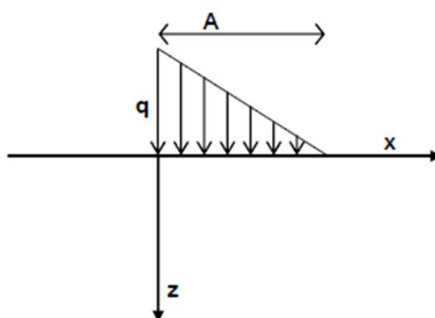


Figura 20 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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 2.20 m, è riportato in Figura 21. La larghezza del rilevato è pari a 19 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+725,00 a pk 12+986,22 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1900001B	Foglio 44 di 75

mm pari a 4 m<sup>2</sup> (maglia 2\*2m), 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 22.

Il cedimento calcolato in corrispondenza del centro del nuovo rilevato è di circa 3.4 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.**

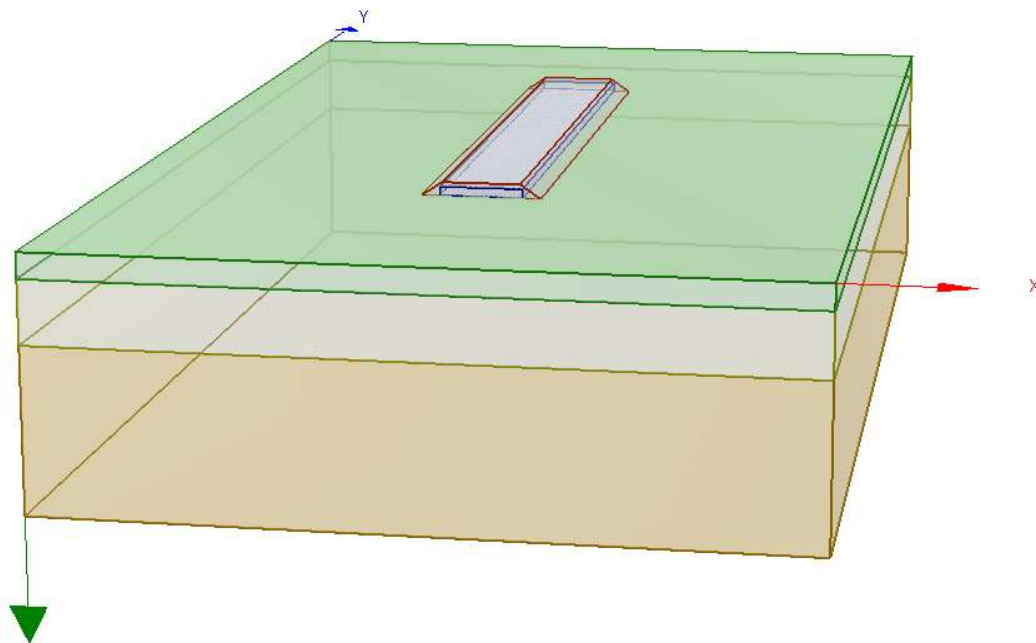


Figura 21 - Rilevato H=2.20 m - Analisi SLE – Modello di calcolo



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
 Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

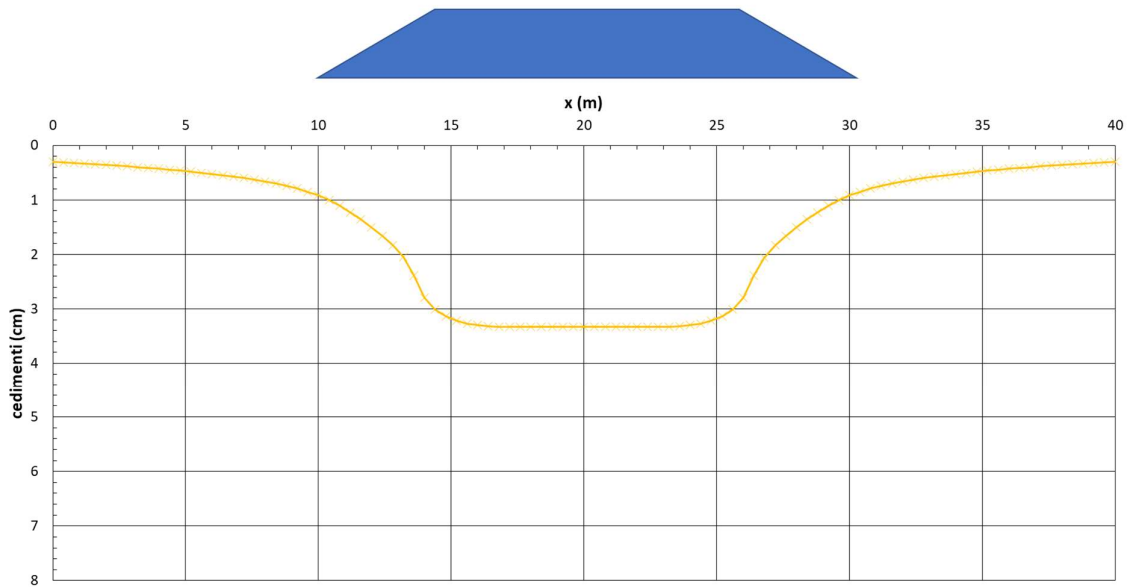
Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

45 di 75

**Ri19: Cedimento del rilevato ferroviario linea AV**



*Figura 22 - Rilevato H=2.20 m - Analisi SLE – Risultato Cedimenti*



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

46 di 75

## Ri19: cedimento al centro del rilevato AV

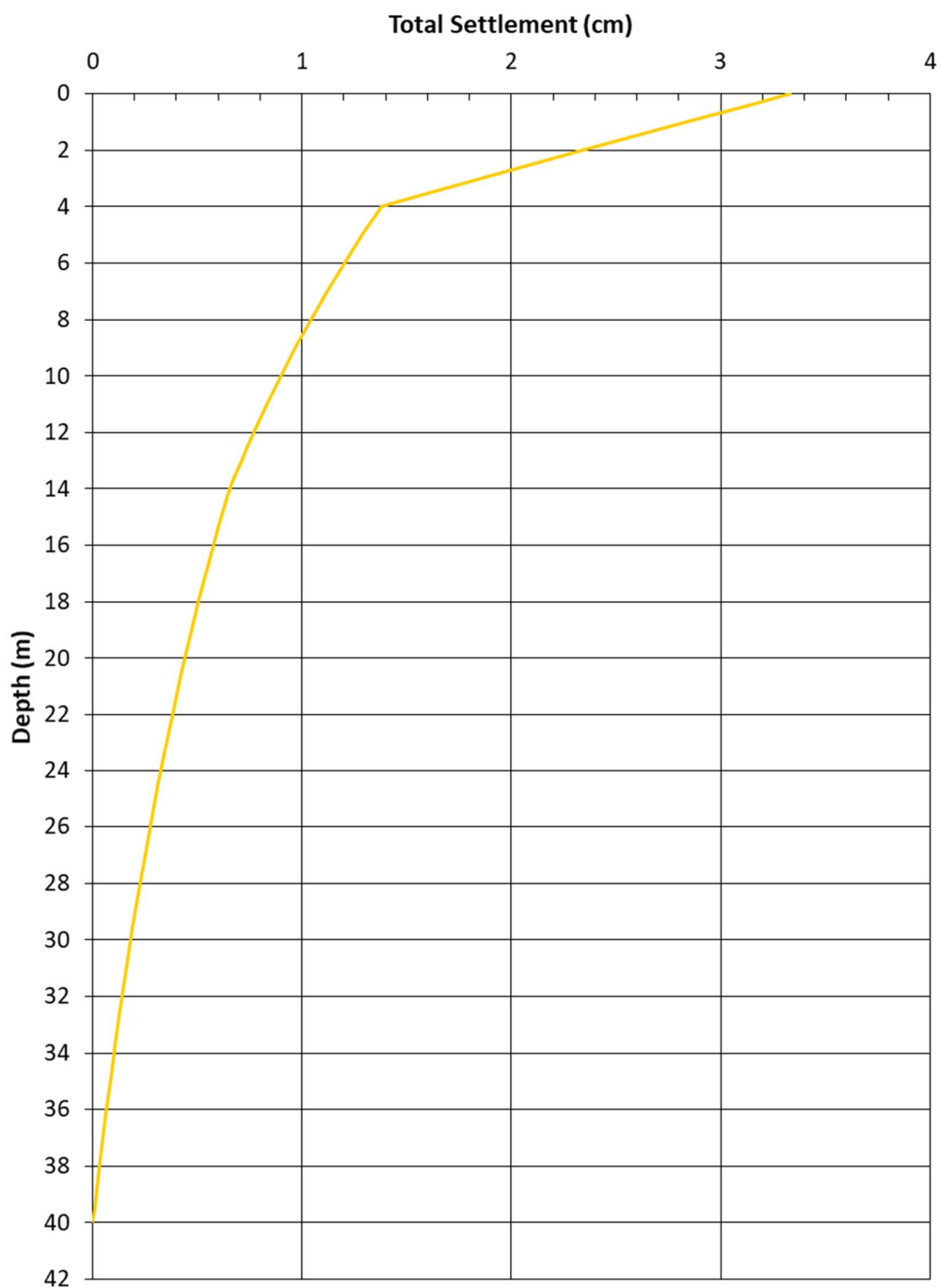


Figura 23 - Rilevato H=2.20 m - Analisi SLE – Risultato cedimenti in profondità al centro del rilevato

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

47 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+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

48 di 75

**ALLEGATI**



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica



EI2RBRI1900001B

Foglio

49 di 75

## ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>R19 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 11</p>	<p>Codifica E12GERI190001</p>	<p>A</p>

**ALLEGATO 2 - SONDAGGI**

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
E12RBRI190001B

Foglio  
52 di 75

VICENZETTO		SCHEDA DI SONDAGGIO				COMMESSA 038cm14	
		SECONDO RACCOMANDAZIONI AGI (1977)				PAG. 1 DI 1	
		VERBALE DI ACCETTAZIONE N°				DIRETTORE	
Rev 0	Data	Gennaio 2015	CERTIFICATO N°	SPERIMENTATORE	P.I. CALORE	Dott. Geol. T. Vicenzetto	
<b>COMMITTENTE</b> Consorzio Iricav Due							
<b>PROGETTO</b> Linea AV/AC VR-PD Sub tratta VR-VI 1° Sub lotto Verona - Montebello V.							
PERFORAZIONE N.		PT 15	DATA INIZIO	14/01/2015	ULTIMAZIONE	14/01/2015	
COORDINATE: Nord		Est		QUOTA P.C. =			
RESPONSABILE		Dott. P. Pasqualetto	OPERATORE	P.I. Calore	ATTREZZATURA	TERNA	
Da m	0.00	A m	0.80	Profondità Finale m	0.80	PAG. 1	DI 1
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA		PROFONDITA' m da p.c.	SIMBOLOGIA STRATIGRAFICA	CAMPIONI	POCKET PENETROMETER Kg/cm²	TORVAE Kg/cm²	S.P.T.
Argilla debolmente limosa marron (TERRENO AGRICOLO)				NUMERO	PROFONDITA' m da p.c.		
Limo sabbioso grigio nocciola		0.50		1	0		
		0.80		2	0.50		
					0.50		
					0.80		
Pc1 0.50m							

VICENZETTO S.r.l. - 35040 VILLA ESTENSE (PD) - VIA MUNICIPIO n. 18 - TEL. 0429/91798 - FAX 0429/91200 - info@vicenzetto.it





Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

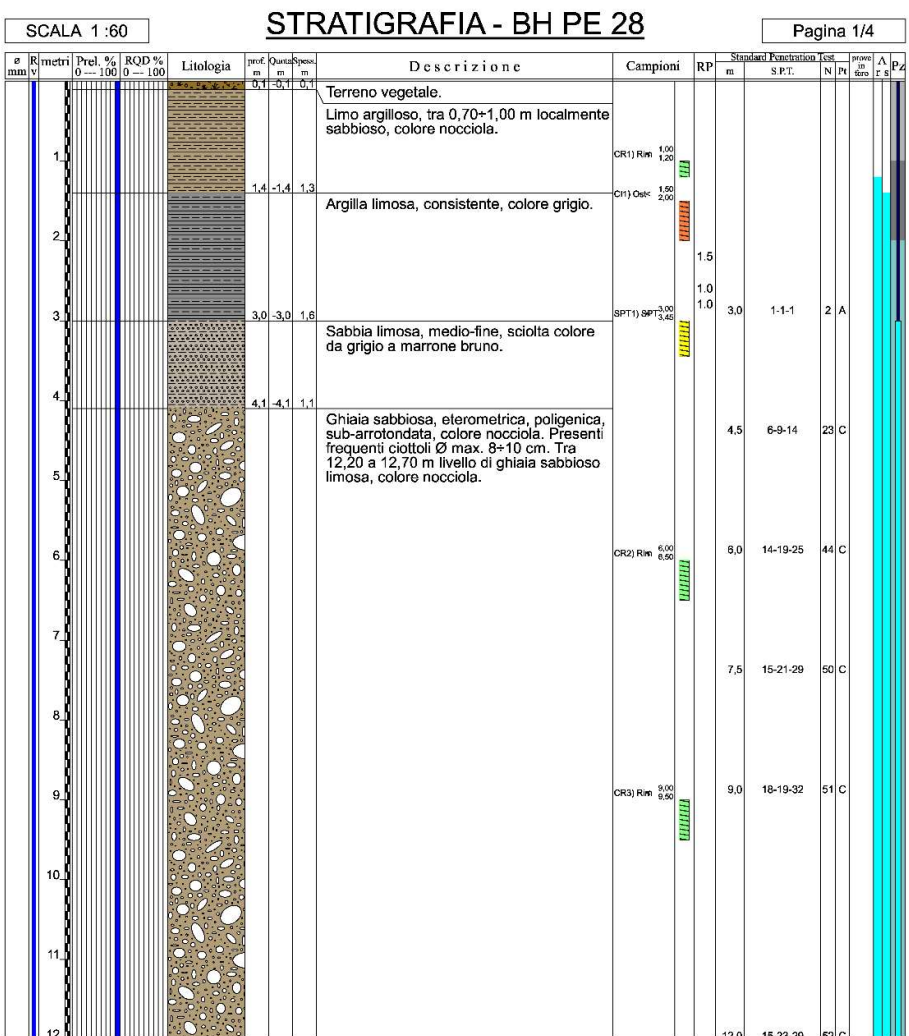
Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1900001B

Foglio  
53 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

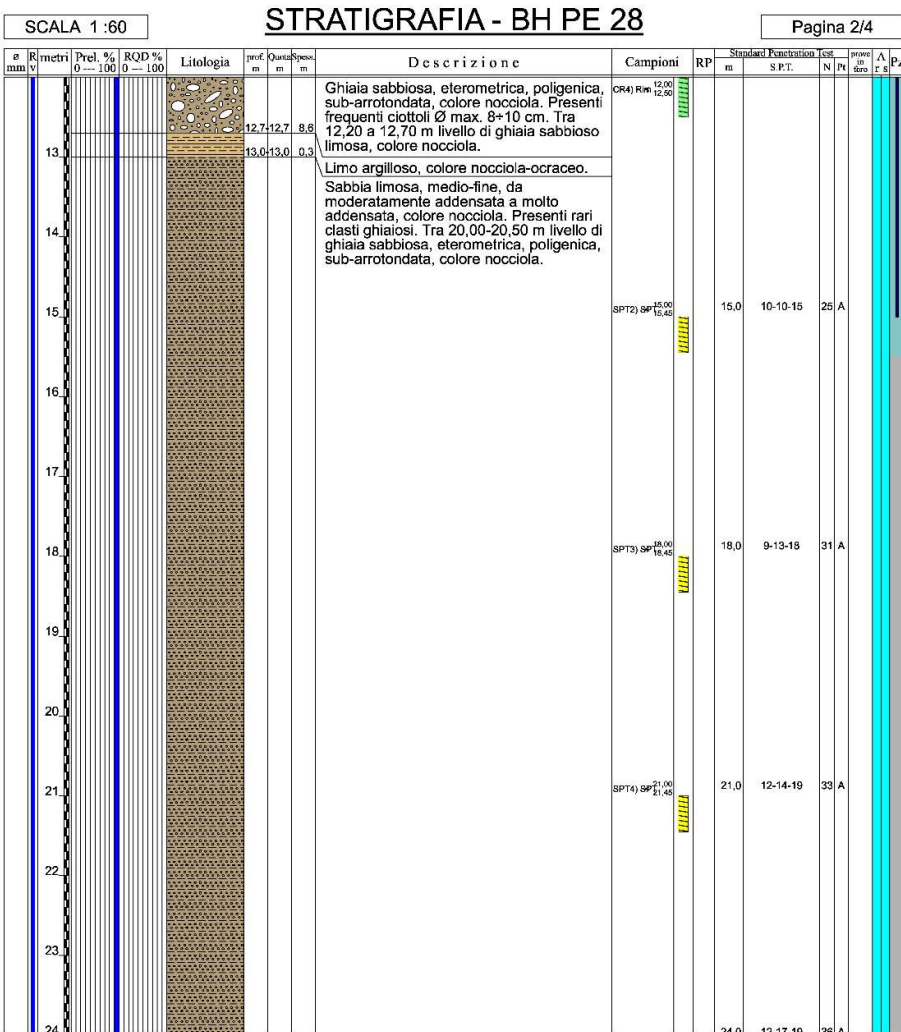


Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI1900001B	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+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI1900001B	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 3/4

a mm	R metri	Prel. % 0-100	RQD % 0-100	Litologia	prof. m	Quarzi m	Spessi m	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test		Cst	N	P <sub>u</sub>	A	P <sub>z</sub>
											m	S.P.T.					
	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 Sprocati



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

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 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															
101	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.  
Eseguiti 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+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

57 di 75

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



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

58 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: R119\_stat.slm  
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  $m\alpha < 0.2$ : Yes  
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos: Yes  
Initial trial value of FS: 1  
Steffensen Iteration: Yes

##### Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

59 di 75

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Groundwater Method: Water Surfaces  
Pore Fluid Unit Weight [kN/m<sup>3</sup>]: 9.81  
Use negative pore pressure cutoff: Yes  
Maximum negative pore pressure [kPa]: 0  
Advanced Groundwater Method: None

### Random Numbers

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

### Surface Options

Surface Type: Circular  
Search Method: Auto Refine Search  
Divisions along slope: 10  
Circles per division: 10  
Number of iterations: 10  
Divisions to use in next iteration: 50%  
Composite Surfaces: Disabled  
Minimum Elevation: Not Defined  
Minimum Depth [m]: 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+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

60 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	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1	1

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

FS	1.436490
Center:	41.538, 32.328
Radius:	7.110
Left Slip Surface Endpoint:	35.503, 28.568
Right Slip Surface Endpoint:	45.884, 26.700
Resisting Moment:	2017.62 kN-m
Driving Moment:	1404.55 kN-m
Total Slice Area:	19.1401 m2
Surface Horizontal Width:	10.3808 m
Surface Average Height:	1.84379 m

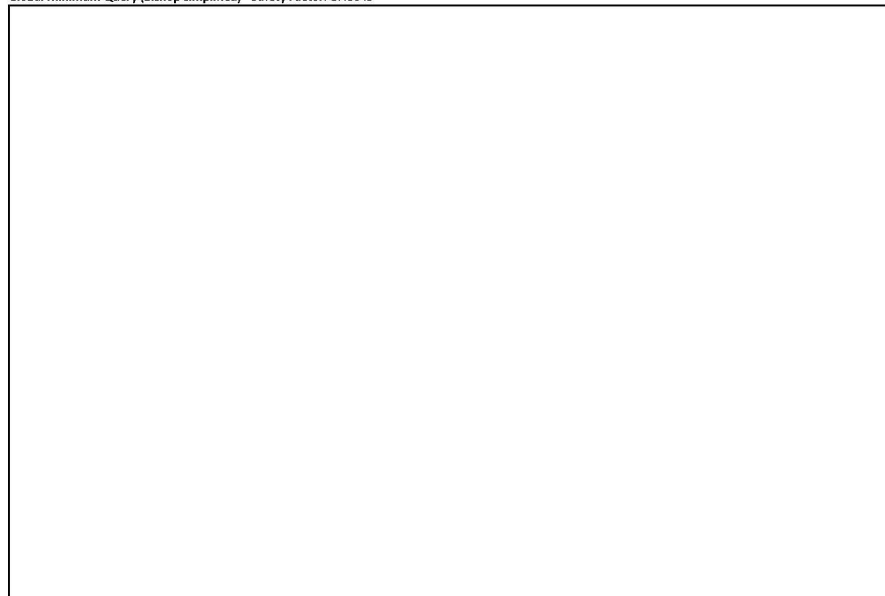
**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

Number of Valid Surfaces:	1298
Number of Invalid Surfaces:	0

**Slice Data**

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.43649





Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI1900001B

61 di 75

SLIDEINTERPRET 7.038

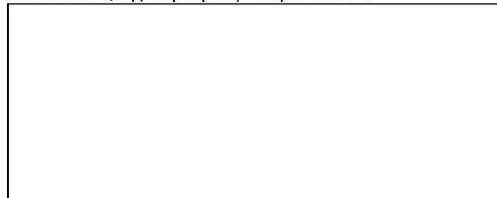


SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 6

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	0.202468	0.62168	-56.5992	Rilevato	0	32.0066	25.535	36.6808	58.6867	0	58.6867	97.4115	97.4115
2	0.202468	1.80219	-53.7379	Rilevato	0	32.0066	28.1964	40.5038	64.8031	0	64.8031	103.241	103.241
3	0.202468	2.86834	-51.0650	Rilevato	0	32.0066	30.6873	44.082	70.5281	0	70.5281	108.506	108.506
4	0.202468	3.83951	-48.5305	Rilevato	0	32.0066	33.0342	47.4533	75.9218	0	75.9218	113.3	113.3
5	0.202468	4.72965	-46.1215	Rilevato	0	32.0066	35.2567	50.6459	81.0297	0	81.0297	117.694	117.694
6	0.202468	5.54926	-43.8139	Rilevato	0	32.0066	37.3698	53.6814	85.8861	0	85.8861	121.74	121.74
7	0.202468	6.30643	-41.5925	Rilevato	0	32.0066	39.3852	56.5765	90.5182	0	90.5182	125.477	125.477
8	0.202468	7.00755	-39.4452	Rilevato	0	32.0066	41.3125	59.345	94.9476	0	94.9476	128.937	128.937
9	0.202468	7.65781	-37.3624	Rilevato	0	32.0066	22.601	32.4661	51.9434	0	51.9434	69.1997	69.1997
10	0.202152	8.24811	-35.3375	Rilevato	0	32.0066	18.1354	26.0513	42.3831	0.703036	41.6801	55.2415	54.5385
11	0.202152	8.80694	-33.3637	Rilevato	0	32.0066	18.9214	27.1804	45.5455	2.05898	43.4865	58.0047	55.9457
12	0.202152	9.3258	-31.4339	Rilevato	0	32.0066	19.6778	28.2669	48.5429	3.31795	45.225	60.5702	57.2523
13	0.212147	10.7282	-29.4971	colonne	0	30.1666	19.2185	27.6072	52.0102	4.51266	47.4975	62.8822	58.3695
14	0.212147	10.7186	-27.5509	colonne	0	30.1666	19.8161	28.4657	54.6189	5.6442	48.9747	64.9569	59.3127
15	0.212147	11.1244	-25.6386	colonne	0	30.1666	20.3907	29.291	57.0811	6.68649	50.3946	66.8675	60.181
16	0.212147	11.497	-23.7565	colonne	0	30.1666	16.7467	24.0565	49.0328	7.64392	41.3889	56.4038	48.7599
17	0.212147	11.8382	-21.9013	colonne	0	30.1666	16.4617	23.647	49.2046	8.52027	40.6843	55.8226	47.3023
18	0.212147	12.149	-20.0699	colonne	0	30.1666	16.9089	24.2895	51.1084	9.31879	41.7896	57.2862	47.9674
19	0.212147	12.4306	-18.2597	colonne	0	30.1666	17.3378	24.9056	52.8917	10.0423	42.8494	58.6121	48.5698
20	0.212147	12.684	-16.4683	colonne	0	30.1666	17.7487	25.4959	54.5582	10.6932	43.865	59.8049	49.1117
21	0.212147	12.91	-14.6932	colonne	0	30.1666	18.1423	26.0612	56.1113	11.2737	44.8376	60.8685	49.5948
22	0.212147	13.1092	-12.9325	colonne	0	30.1666	18.5188	26.6021	57.554	11.7855	45.7685	61.8064	50.0209
23	0.212147	13.2823	-11.1841	colonne	0	30.1666	18.8787	27.119	58.8881	12.2302	46.6579	62.6207	50.3905
24	0.212147	13.807	-9.44619	colonne	0	30.1666	19.1345	27.4865	59.8991	12.6091	47.29	63.0826	50.4735
25	0.212147	13.009	-7.71704	colonne	0	30.1666	18.5678	26.6724	58.8123	12.9232	45.8891	61.3284	48.4052
26	0.212147	12.5061	-5.99494	colonne	0	30.1666	17.7694	25.5256	57.0896	13.1735	43.9161	58.9556	45.7821
27	0.212147	11.9785	-4.27826	colonne	0	30.1666	16.9294	24.3189	55.2007	13.3606	41.8401	56.4672	43.1066
28	0.212147	11.4266	-2.56543	colonne	0	30.1666	16.0472	23.0516	53.1446	13.4851	39.6595	53.8636	40.3785
29	0.212147	10.8504	0.854889	colonne	0	30.1666	15.1221	21.7227	50.9207	13.5472	37.3735	51.1464	37.5992
30	0.212147	10.25	0.854889	colonne	0	30.1666	14.1532	20.3309	48.526	13.5472	34.9788	48.3148	34.7676
31	0.212147	9.62543	2.56543	colonne	0	30.1666	13.1393	18.8745	45.9583	13.4851	32.4732	45.3696	31.8845
32	0.212147	8.97659	4.27826	colonne	0	30.1666	12.0792	17.3517	43.2138	13.3606	29.8532	42.3102	28.9496
33	0.212147	8.30336	5.99494	colonne	0	30.1666	10.9712	15.76	40.2881	13.1735	27.1146	39.136	25.9625
34	0.212147	7.60555	7.71704	colonne	0	30.1666	9.81316	14.0965	37.176	12.9232	24.2528	35.8462	22.923
35	0.212147	6.88288	9.44619	colonne	0	30.1666	8.60291	12.358	33.8707	12.6091	21.2616	32.4394	19.8303
36	0.212147	6.13502	11.1841	colonne	0	30.1666	7.33768	10.5405	30.3649	12.2302	18.1347	28.9141	16.6839
37	0.212147	5.37359	12.9325	colonne	0	30.1666	6.03959	8.67581	26.712	11.7855	14.9265	25.3252	13.5397
38	0.212147	4.98242	14.6932	colonne	0	30.1666	5.52566	7.93756	24.9301	11.2737	13.6564	23.4811	12.2074
39	0.212147	4.75647	16.4683	colonne	0	30.1666	5.38753	7.73914	24.0082	10.6932	13.315	22.4156	11.7224
40	0.212147	4.50309	18.2597	colonne	0	30.1666	5.21995	7.4984	22.9431	10.0423	12.9008	21.2208	11.1785
41	0.212147	4.22145	20.0699	colonne	0	30.1666	5.02075	7.21225	21.7273	9.31879	12.4085	19.893	10.5742
42	0.212147	3.91062	21.9013	colonne	0	30.1666	4.78743	6.8771	20.3522	8.52027	11.8319	18.4275	9.90724
43	0.212147	3.56949	23.7565	colonne	0	30.1666	4.51701	6.48864	18.8075	7.64392	11.1636	16.8193	9.17541
44	0.212147	3.1968	25.6386	colonne	0	30.1666	4.20587	6.04169	17.0811	6.68649	10.3946	15.0625	8.37601
45	0.212147	2.79108	27.5509	colonne	0	30.1666	3.84965	5.52998	15.1584	5.6442	9.51421	13.1501	7.50586
46	0.212147	2.35062	29.4971	colonne	0	30.1666	3.44295	4.94576	13.0217	4.51266	8.50908	11.074	6.56138
47	0.202152	1.77175	31.4339	Rilevato	0	32.0066	3.22472	4.63228	10.7293	3.31795	7.41131	8.75826	5.44031
48	0.202152	1.25288	33.3637	Rilevato	0	32.0066	2.52076	3.62104	7.85237	2.05898	5.79339	6.19252	4.13354
49	0.202152	0.69405	35.3375	Rilevato	0	32.0066	1.71556	2.46439	4.64588	0.703036	3.94285	3.42951	2.72647
50	0.132678	0.132678	37.0054	Rilevato	0	32.0066	0.646441	0.928606	1.4857	0	1.4857	0.998476	0.998476

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.43649





Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

62 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	35.5033	28.5684	0	0	0
2	35.7057	28.2614	12.8659	0	0
3	35.9082	27.9853	25.0611	0	0
4	36.1107	27.7348	36.5394	0	0
5	36.3131	27.5057	47.2651	0	0
6	36.5156	27.2951	57.2102	0	0
7	36.7181	27.1009	66.3514	0	0
8	36.9205	26.9212	74.6693	0	0
9	37.123	26.7546	82.1471	0	0
10	37.3255	26.6	85.6152	0	0
11	37.5276	26.4567	88.0354	0	0
12	37.7298	26.3236	90.2849	0	0
13	37.9319	26.2	92.3173	0	0
14	38.1441	26.08	94.4948	0	0
15	38.3562	25.9693	96.349	0	0
16	38.5684	25.8675	97.8487	0	0
17	38.7805	25.7741	98.8855	0	0
18	38.9927	25.6888	99.6006	0	0
19	39.2048	25.6113	99.986	0	0
20	39.417	25.5413	100.021	0	0
21	39.6291	25.4786	99.6894	0	0
22	39.8413	25.423	98.974	0	0
23	40.0534	25.3743	97.8613	0	0
24	40.2655	25.3323	96.3388	0	0
25	40.4777	25.297	94.4064	0	0
26	40.6898	25.2683	92.1703	0	0
27	40.902	25.246	89.6842	0	0
28	41.1141	25.2301	86.98	0	0
29	41.3263	25.2206	84.0914	0	0
30	41.5384	25.2175	81.0545	0	0
31	41.7506	25.2206	77.9077	0	0
32	41.9627	25.2301	74.6921	0	0
33	42.1749	25.246	71.4517	0	0
34	42.387	25.2683	68.2339	0	0
35	42.5992	25.297	65.0898	0	0
36	42.8113	25.3323	62.0749	0	0
37	43.0235	25.3743	59.2495	0	0
38	43.2356	25.423	56.6709	0	0
39	43.4478	25.4786	54.1155	0	0
40	43.6599	25.5413	51.4705	0	0
41	43.8721	25.6113	48.7606	0	0
42	44.0842	25.6888	46.0148	0	0
43	44.2963	25.7741	43.2665	0	0
44	44.5085	25.8675	40.5551	0	0
45	44.7206	25.9693	37.9264	0	0
46	44.9328	26.08	35.4346	0	0
47	45.1449	26.2	33.1437	0	0
48	45.3471	26.3236	31.1681	0	0
49	45.5492	26.4567	29.6149	0	0
50	45.7514	26.6	28.6033	0	0
51	45.8841	26.7	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-0.986	26.6
63.83	26.6

Distributed Load

X	Y
38.6006	28.5684
28.6204	28.5684



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

63 di 75

SLIDEINTERPRET 7.038



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

**Distributed Load**

X	Y
32.6124	28.5684
30.055	28.5684

**Distributed Load**

X	Y
37.1659	28.5684
34.5669	28.5684

**External Boundary**

X	Y
0	0
63.1931	0
63.1931	12.7
63.1931	22.7
63.1931	26.7
47.1931	26.7
43.1931	26.7
40.3919	28.5684
26.8012	28.5684
24	26.7
20	26.7
0	26.7
0	22.7
0	12.7

**Material Boundary**

X	Y
20	22.7
20	26.2
20	26.7

**Material Boundary**

X	Y
47.1931	22.7
47.1931	26.2
47.1931	26.7

**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+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

64 di 75

#### **ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU POST SISMA**





Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

65 di 75

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: RI19\_post\_sisma.slim  
Slide Modeler Version: 7.038  
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

#### General Settings

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

#### Design Standard

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

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

#### Analysis Options

Slices Type: Vertical

##### Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

#### Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

66 di 75

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Groundwater Method: Water Surfaces  
Pore Fluid Unit Weight [kN/m<sup>3</sup>]: 9.81  
Use negative pore pressure cutoff: Yes  
Maximum negative pore pressure [kPa]: 0  
Advanced Groundwater Method: None

### Random Numbers

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

### Surface Options

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

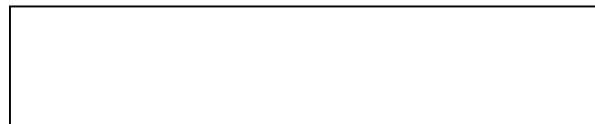
#### Distributed Load 2

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

#### Distributed Load 3

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

### Material Properties





Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI1900001B

67 di 75

SLIDEINTERPRET 7.038



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

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	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1	1

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

FS	1.710000
Center:	42.628, 31.198
Radius:	5.232
Left Slip Surface Endpoint:	38.105, 28.568
Right Slip Surface Endpoint:	45.300, 26.700
Resisting Moment:	468.23 kN-m
Driving Moment:	273.819 kN-m
Total Slice Area:	8.10533 m2
Surface Horizontal Width:	7.19498 m
Surface Average Height:	1.12653 m

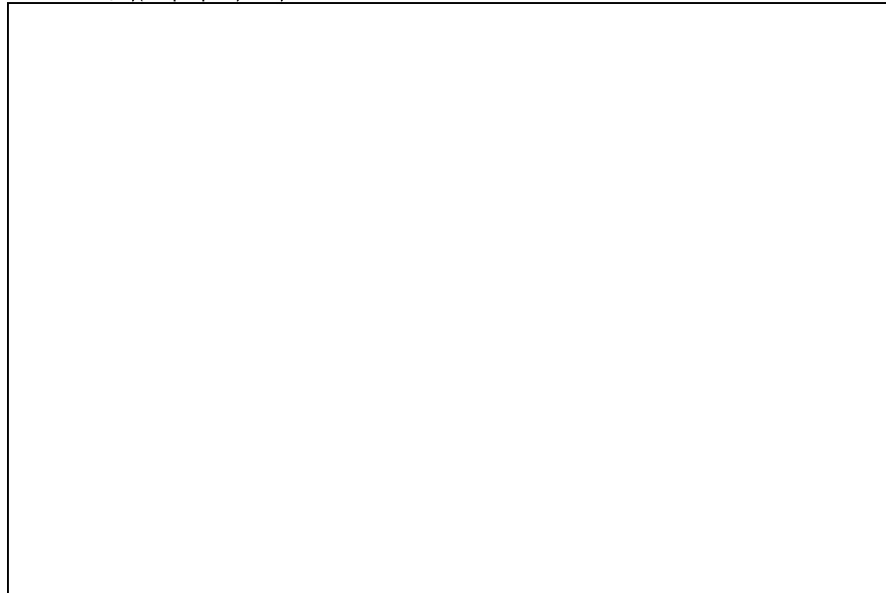
**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

Number of Valid Surfaces: 858  
Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.71





Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI1900001B	68 di 75

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.144799	0.339659	-58.3133	Rilevato	0	32.0066	3.84538	6.5756	10.5205	0	10.5205	16.7499	16.7499
2	0.144799	0.983331	-55.4072	Rilevato	0	32.0066	5.06372	8.65896	13.8537	0	13.8537	21.196	21.196
3	0.144799	1.56259	-52.7021	Rilevato	0	32.0066	6.22351	10.6422	17.0268	0	17.0268	25.1969	25.1969
4	0.144799	2.0891	-50.1561	Rilevato	0	32.0066	5.22511	8.93494	14.2953	0	14.2953	20.5569	20.5569
5	0.144799	2.57111	-47.7395	Rilevato	0	32.0066	4.6293	7.91611	12.6652	0	12.6652	17.7598	17.7598
6	0.144799	3.01469	-45.4307	Rilevato	0	32.0066	5.55145	9.49298	15.188	0	15.188	20.8236	20.8236
7	0.144799	3.42452	-43.213	Rilevato	0	32.0066	6.43585	11.0053	17.6078	0	17.6078	23.6542	23.6542
8	0.144799	3.80423	-41.0733	Rilevato	0	32.0066	7.28409	12.4558	19.9284	0	19.9284	26.2767	26.2767
9	0.144799	4.15676	-39.0013	Rilevato	0	32.0066	8.09754	13.8468	22.1539	0	22.1539	28.7114	28.7114
10	0.144799	4.48449	-36.9885	Rilevato	0	32.0066	8.8776	15.1807	24.2879	0	24.2879	30.9749	30.9749
11	0.144799	4.78938	-35.0276	Rilevato	0	32.0066	9.62538	16.4594	26.3339	0	26.3339	33.0806	33.0806
12	0.144799	5.07309	-33.1128	Rilevato	0	32.0066	10.3421	17.685	28.2947	0	28.2947	35.0399	35.0399
13	0.144799	5.33701	-31.2389	Rilevato	0	32.0066	11.0287	18.859	30.1731	0	30.1731	36.8625	36.8625
14	0.144799	5.58233	-29.4015	Rilevato	0	32.0066	11.686	19.9831	31.9715	0	31.9715	38.5567	38.5567
15	0.135673	5.43766	-27.6527	Rilevato	0	32.0066	12.1892	20.8435	33.6967	0.348684	33.348	40.0834	39.7347
16	0.135673	5.62299	-25.9876	Rilevato	0	32.0066	12.5421	21.447	35.3354	1.02176	34.3136	41.4492	40.4274
17	0.135673	5.65371	-24.3457	Rilevato	0	32.0066	12.5544	21.4681	35.9947	1.64728	34.3474	41.6753	40.028
18	0.135673	5.56854	-22.7249	Rilevato	0	32.0066	12.3055	21.0424	35.8934	2.22711	33.6663	41.0472	38.8201
19	0.135673	5.4712	-21.1231	Rilevato	0	32.0066	12.032	20.5747	35.681	2.76292	32.9181	40.3294	37.5664
20	0.135673	5.36208	-19.5385	Rilevato	0	32.0066	11.7346	20.0661	35.3605	3.25618	32.1043	39.5248	36.2686
21	0.135673	5.24155	-17.9692	Rilevato	0	32.0066	11.4136	19.5172	34.9344	3.70817	31.2262	38.6361	34.9279
22	0.147254	5.53309	-16.348	colonne	0	30.1666	10.3363	17.675	34.5453	4.13587	30.4095	37.5773	33.4414
23	0.147254	5.35218	-14.6742	colonne	0	30.1666	9.92906	16.9787	33.7483	4.53687	29.2115	36.3484	31.8115
24	0.147254	5.15912	-13.0132	colonne	0	30.1666	9.49982	16.2447	32.8416	4.89294	27.9487	35.0371	30.1442
25	0.147254	4.95418	-11.3632	colonne	0	30.1666	9.04877	15.4734	31.8266	5.20502	26.6216	33.6451	28.4401
26	0.147254	4.73758	-9.72277	colonne	0	30.1666	8.57596	14.6649	30.7045	5.47393	25.2306	32.1739	26.7
27	0.147254	4.5095	-8.09033	colonne	0	30.1666	8.0814	13.8192	29.476	5.70036	23.7757	30.6248	24.9244
28	0.147254	4.27009	-6.46448	colonne	0	30.1666	7.56515	12.9364	28.1416	5.88487	22.2567	28.9988	23.1139
29	0.147254	4.01948	-4.84385	colonne	0	30.1666	7.0269	12.016	26.7012	6.02792	20.6733	27.2967	21.2688
30	0.147254	3.75776	-3.22709	colonne	0	30.1666	6.46655	11.0578	25.1546	6.12985	19.0247	25.5192	19.3893
31	0.147254	3.485	-1.6129	colonne	0	30.1666	5.8838	10.0613	23.5011	6.19091	17.3102	23.6667	17.4758
32	0.147254	3.20124	0	colonne	0	30.1666	5.27813	9.02561	21.7396	6.21125	15.5284	21.7396	15.5284
33	0.147254	2.90648	1.6129	colonne	0	30.1666	4.64913	7.95002	19.8688	6.19091	13.6779	19.7379	13.547
34	0.147254	2.60072	3.22709	colonne	0	30.1666	3.99618	6.83347	17.8867	6.12985	11.7568	17.6613	11.5315
35	0.147254	2.28392	4.84385	colonne	0	30.1666	3.31856	5.67473	15.7912	6.02792	9.76323	15.5099	9.48201
36	0.147254	2.01905	6.46448	colonne	0	30.1666	2.76673	4.73111	14.0246	5.88487	8.13974	13.7111	7.82624
37	0.147254	1.95249	8.09033	colonne	0	30.1666	2.69968	4.61646	13.6429	5.70036	7.94252	13.2591	7.55876
38	0.147254	1.89131	9.72277	colonne	0	30.1666	2.65988	4.5484	13.2994	5.47393	7.82543	12.8436	7.36968
39	0.147254	1.81866	11.3632	colonne	0	30.1666	2.60671	4.45747	12.874	5.20502	7.66899	12.3501	7.14513
40	0.147254	1.73433	13.0132	colonne	0	30.1666	2.53957	4.34266	12.3644	4.89294	7.47143	11.7774	6.8845
41	0.147254	1.63813	14.6742	colonne	0	30.1666	2.45778	4.20281	11.7677	4.53687	7.23086	11.1241	6.58726
42	0.147254	1.52978	16.348	colonne	0	30.1666	2.36057	4.03657	11.0807	4.13587	6.94481	10.3883	6.25239
43	0.135673	1.29703	17.9692	Rilevato	0	32.0066	2.42636	4.14907	10.3464	3.70817	6.6382	9.55944	5.85127
44	0.135673	1.17201	19.5385	Rilevato	0	32.0066	2.26029	3.8651	9.44005	3.25618	6.18387	8.63793	5.38175
45	0.135673	1.03558	21.1231	Rilevato	0	32.0066	2.07249	3.54396	8.43301	2.76292	5.67009	7.63234	4.86942
46	0.135673	0.88737	22.7249	Rilevato	0	32.0066	1.86135	3.18291	7.31956	2.22711	5.09245	6.53999	4.31288
47	0.135673	0.726987	24.3457	Rilevato	0	32.0066	1.62503	2.7788	6.09316	1.64728	4.44588	5.35787	3.71059
48	0.135673	0.553969	25.9876	Rilevato	0	32.0066	1.36136	2.32792	4.74627	1.02176	3.72451	4.08266	3.0609
49	0.135673	0.367794	27.6527	Rilevato	0	32.0066	1.06777	1.82588	3.26997	0.348684	2.92128	2.7105	2.36182
50	0.176032	0.176032	29.6	Rilevato	0	32.0066	0.461216	0.78868	1.26183	0	1.26183	0.999821	0.999821

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.71





Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

69 di 75

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	38.1046	28.5684	0	0	0
2	38.2494	28.3338	1.91138	0	0
3	38.3942	28.1239	4.08731	0	0
4	38.539	27.9338	6.42339	0	0
5	38.6838	27.7603	8.14786	0	0
6	38.8286	27.6009	9.49623	0	0
7	38.9734	27.4539	10.9255	0	0
8	39.1182	27.3179	12.3895	0	0
9	39.263	27.1917	13.8504	0	0
10	39.4078	27.0744	15.2765	0	0
11	39.5526	26.9654	16.6409	0	0
12	39.6974	26.8639	17.9208	0	0
13	39.8422	26.7694	19.0964	0	0
14	39.987	26.6816	20.1506	0	0
15	40.1318	26.6	21.0684	0	0
16	40.2675	26.5289	21.8111	0	0
17	40.4031	26.4628	22.4476	0	0
18	40.5388	26.4014	22.9551	0	0
19	40.6745	26.3446	23.3263	0	0
20	40.8102	26.2921	23.5652	0	0
21	40.9458	26.244	23.6767	0	0
22	41.0815	26.2	23.6664	0	0
23	41.2288	26.1568	23.6375	0	0
24	41.376	26.1182	23.4778	0	0
25	41.5233	26.0842	23.1975	0	0
26	41.6705	26.0546	22.8078	0	0
27	41.8178	26.0294	22.3205	0	0
28	41.965	26.0085	21.7483	0	0
29	42.1123	25.9918	21.1046	0	0
30	42.2595	25.9793	20.4038	0	0
31	42.4068	25.971	19.661	0	0
32	42.554	25.9668	18.8926	0	0
33	42.7013	25.9668	18.1159	0	0
34	42.8485	25.971	17.3494	0	0
35	42.9958	25.9793	16.6129	0	0
36	43.1431	25.9918	15.9275	0	0
37	43.2903	26.0085	15.2863	0	0
38	43.4376	26.0294	14.6035	0	0
39	43.5848	26.0546	13.8765	0	0
40	43.7321	26.0842	13.112	0	0
41	43.8793	26.1182	12.3175	0	0
42	44.0266	26.1568	11.502	0	0
43	44.1738	26.2	10.676	0	0
44	44.3095	26.244	9.8918	0	0
45	44.4452	26.2921	9.13083	0	0
46	44.5809	26.3446	8.40783	0	0
47	44.7165	26.4014	7.73955	0	0
48	44.8522	26.4628	7.14517	0	0
49	44.9879	26.5289	6.64669	0	0
50	45.1235	26.6	6.26947	0	0
51	45.2996	26.7	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	26.6
64	26.6

Distributed Load

X	Y
38.6006	28.5684
28.6204	28.5684



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

70 di 75

SLIDEINTERPRET 7.038



**Distributed Load**

X	Y
32.6124	28.5684
30.055	28.5684

**Distributed Load**

X	Y
37.1659	28.5684
34.5669	28.5684

**External Boundary**

X	Y
0	0
63.1931	0
63.1931	12.7
63.1931	22.7
63.1931	26.7
47.1931	26.7
43.1931	26.7
40.3919	28.5684
26.8012	28.5684
24	26.7
20	26.7
0	26.7
0	22.7
0	12.7

**Material Boundary**

X	Y
24	26.7
43.1931	26.7

**Material Boundary**

X	Y
20	22.7
20	26.2
20	26.7

**Material Boundary**

X	Y
47.1931	22.7
47.1931	26.2
47.1931	26.7

**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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

71 di 75



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

X	Y
20	26.2
47.1931	26.2

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

72 di 75

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





Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

73 di 75

## Settle3D Analysis Information

### Ri17

#### Project Settings

Document Name: Ri19.s3z  
Project Title: Ri17  
Date Created: 08/06/2021, 14:59:10  
Stress Computation Method: Boussinesq

#### Stage Settings

Stage #	Name
1	Stage 1

#### Results

Time taken to compute: 0 seconds

#### Stage: Stage 1

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.0333376
Consolidation Settlement [m]	0	0
Immediate Settlement [m]	0	0.0333376
Loading Stress [kPa]	0	74.5439
Total Stress [kPa]	0	768.508
Total Strain	2.64786e-009	0.00606575
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	3.60003	768.265
Over-consolidation Ratio	1	1
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [m]	0	0

#### Loads

##### 1. Rectangular Load

Length: 13.2 m  
Width: 100 m  
Rotation angle: 0 degrees  
Load Type: Flexible  
Area of Load: 1320 m<sup>2</sup>  
Load: 13 kPa  
Depth: 0 m  
Installation Stage: Stage 1

##### Coordinates



Rilevato ferroviario AV da pk 12+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

74 di 75

X [m]	Y [m]
-6.59696	-50
6.60304	-50
6.60304	50
-6.59696	50

## Embankments

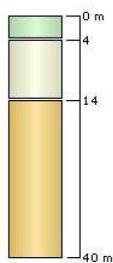
### 1. Embankment

Center Line: (0, -50) to (0, 50)  
Number of Layers: 1  
Near End Angle: 90 degrees  
Far End Angle: 90 degrees  
Base Width: 19

Layer	Stage	Left Bench Width (m)	Left Angle (deg)	Height (m)	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Right Angle (deg)	Right Bench Width (m)
1	Stage 1	0	34	2.2	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 <sup>3</sup> ]	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+725,00 a pk 12+986,22  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1900001B

Foglio

75 di 75

### 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