

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 15+800,00 a pk 16+193,94  
GENERALE  
Relazione Geotecnica**

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consorzio Iricav Due Ing. Paolo Carmona Data: Febbraio 2022			

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO
IN17	12	E	I2	RB	RI2700	001	B	- - - D - - -

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma Luca RANDOLFI	Data Luglio 2021

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	M. Conti <i>Maria Conti</i>	Luglio 2021	V. Pastore <i>V. Pastore</i>	Luglio 2021	P. Ascari <i>P. Ascari</i>	Luglio 2021	
B	RECEPIMENTO ISTRUTTORIA	M. Conti <i>Maria Conti</i>	Febbraio 2022	V. Pastore <i>V. Pastore</i>	Febbraio 2022	P. Ascari <i>P. Ascari</i>	Febbraio 2022	

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712E12RBRI2700001B.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato  
dalla Unione Europea

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

<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 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2700001B</p>	<p>Foglio 2 di 88</p>

## INDICE

1	INTRODUZIONE .....	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
2.1	Documentazione di progetto.....	5
2.2	Normativa e standard di riferimento.....	5
2.3	Bibliografia .....	6
3	INQUADRAMENTO DELL'OPERA .....	7
3.1	Geometria del rilevato.....	7
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	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 .....	34
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO .....	40
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite.....	40
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU).....	40
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE).....	42
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche.....	42
6.2	Azioni di progetto .....	42
6.2.1	Azioni permanenti .....	42
6.2.2	Azioni variabili .....	43
6.2.3	Azione sismica .....	43



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI2700001B	3 di 88

6.3	Verifiche e risultati SLU .....	43
6.3.1	Premessa.....	43
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche .....	44
6.3.1	Verifiche SLU in condizioni sismiche .....	45
6.3.2	Verifiche SLU in condizioni post sismiche .....	46
6.4	Verifica e risultati SLE.....	47
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....	52
Allegati .....		53
ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO .....		54
ALLEGATO 2 - SONDAGGI.....		56
ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA .....		59
ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU IN CAMPO SIMSICO .....		67
ALLEGATO 5 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU POST SISMA.....		76
ALLEGATO 6 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE .....		84
ALLEGATO 7 – VERSIONE SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI .....		88

<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 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2700001B</p>	<p>Foglio 4 di 88</p>

## 1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI27, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende tra il km 15+800,00 e il km 16+193,94.

La relazione descrive in dettaglio il modello geotecnico definito per il rilevato sulla base delle indagini geognostiche eseguite nelle vicinanze dell'opera e delle caratteristiche geotecniche attribuite ai materiali rinvenuti lungo la tratta. Le verifiche discusse sono state eseguite ai sensi della Normativa vigente (v. capitolo seguente) e gli interventi proposti sono volti a garantire la stabilità dei rilevati ed il rispetto dei requisiti prestazionali previsti per le opere in oggetto.

Il documento è così organizzato:

- documenti e normativa di riferimento (capitolo 2);
- inquadramento dell'opera e caratteristiche geometriche del rilevato (capitolo 3);
- definizione del modello geotecnico di riferimento (capitolo 4);
- valutazione della suscettibilità alla liquefazione e descrizione degli eventuali interventi di mitigazione (capitolo 5);
- verifiche geotecniche dei rilevati (capitolo 6);
- conclusioni e raccomandazioni (capitolo 7).

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 5 di 88

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni di Progetto Esecutivo
- [2] IN1710EI2RBGE0000002C Relazione Geotecnica (da 10+050 a 21+990)
- [3] IN1710EI2LZGE0000014B Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico 4 di 11
- [4] IN1710EI2RHGE0000005B Relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base 1/2
- [5] IN1710EI2P5GE0000001B Planimetrie con classificazione sismica del territorio 1 di 11
- [6] IN1710EI2RHGE0000003C Relazione idrogeologica 1/2
- [7] IN1710EI2RHGE0000007C-8C Relazione di sintesi dei sondaggi e delle prove eseguite
- [8] IN1710EI2PRGE0000001B-2B, Risultati Indagini in sito di Progetto – SOCOTEC
- [9] IN1710EI2PRGE0000003B-4B, Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI
- [10] IN1710EI2PRGE0000005B-6B-7C-8B, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [11] IN1710EI2PRGE0000009B-12B, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING - GEOLAVORI
- [12] IN1710EI2IGGE0000001B-2B, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [13] IN1710EI2IGGE0000003B-4B, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI

### 2.2 Normativa e standard di riferimento

- [14] Decreto Ministeriale del 14 Febbraio 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 Febbraio 2008
- [16] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [17] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- [18] RFI DTC SI PS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle opere civili, Parte II – Sezione 2, Ponti e strutture
- [19] RFI DTC SI CS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle opere civili, Parte II – Sezione 3, Corpo stradale
- [20] RFI DTC INC PO SP IFS 001 A Specifica per la progettazione e l’esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario
- [21] RFI DTC INC CS SP IFS 001 A Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- [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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 6 di 88

- [23] RFI TCAR ST AR 01 001 D Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h
- [24] Specifiche Tecniche di interoperabilità 2015 (REGOLAMENTO (UE) N. 1299/2014 DELLA COMMISSIONE del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea)

### 2.3 Bibliografia

- [25] Hynes, M.E., and Olsen, R.S. (1999), "Influence of confining stress on liquefaction resistance", Proc., Int. Workshop on Phys. And Mech. Of Soil Liquefaction, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 145-152.
- [26] Idriss, I.M. and Boulanger, R.W. (2004), "Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes". In: Proceedings, 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake engineering, and 3d International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. D. Doolin et al., eds., Stallion press, Vol. 1, pp. 32-56.
- [27] Liao, S.C.C. and Whitman, R.V. (1986), "Overburden Correction Factors for SPT in sand", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, No. 3, 373-377.
- [28] Robertson P.K. and Wride C.E. (1998). "Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test". Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, 35(3), pp. 442-459.
- [29] Rocscience (2017), Slide ver 7.0, 2017
- [30] Rocscience (2009), Settle 3D ver 2.0, 2009
- [31] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1971), "Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 97(9), pp.1249-1273.
- [32] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982), "Ground motions and soil liquefaction during earthquakes", Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA.
- [33] Seed, R.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F., Chung, L.M. (1985), "The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 111(12), pp.1425-1445.
- [34] Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, L.W.D., Harder, L.F. Jr., Hynes, M.H., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F. III, Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B. and Stokoe, K.H. II (2001), "Liquefaction Resistance of Soil: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol. 127, n° 10, pp.817-833.
- [35] Priebe H.J., "Vibroreplacement to prevent earthquake induced liquefaction". Ground Engineering, September 1998.
- [36] Idriss I.M. and Boulanger R.W. (2008), "Soil liquefaction during earthquakes".

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 7 di 88

### 3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame si estende tra il km 15+800 e il km 16+194 per una lunghezza totale di ca. 390 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 16+175, si riscontra l'altezza massima del rilevato pari a 2.3 m. La sezione citata, denominata Sezione A (Figura 1) è quella ritenuta più significativa per le verifiche del rilevato in esame.



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2700001B

Foglio  
8 di 88

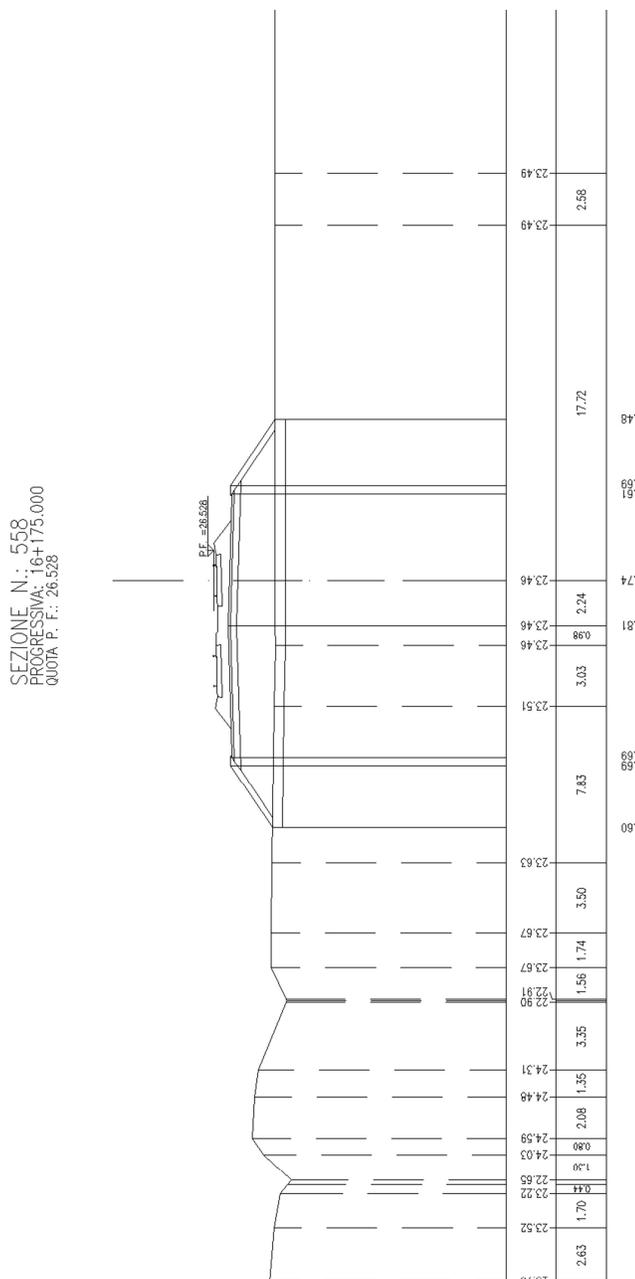


Figura 1 – Sezione di riferimento A (pk 16+175, n. 558) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 9 di 88

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 4.1 Indagini disponibili

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

Il risultato delle indagini è riportato in ALLEGATO 2.

Le indagini disponibili lungo il tratto d'interesse per il rilevato in oggetto sono elencate in Tabella 1. Nel seguente paragrafo si riporta la caratterizzazione geotecnica, ottenuta basandosi sui risultati delle indagini relative all'area di interesse e sulla caratterizzazione generale dell'area in cui si inserisce il rilevato, presentata nella Relazione Geotecnica (Doc. Rif. [2]).

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

*Tabella 1 - Indagini tra pk 15+800,00 e pk 16+193,94*

<b>Progressiva pk</b>	<b>ID indagini -</b>	<b>Campagna anno</b>
15+830	CPTU-PE-12	2020-2021
15+860	BH-PE-33	2020-2021
15+880	P8	2015
15+960	CPTU35Ter	2014/2015
16+030	P9	2015
16+030	P9bis	2015
16+160	SPA24	2014/2015
16+170	BH1V	2015
16+237	CPTU-PE-13	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 4 a 6 ca di terreni sciolti di natura limoso sabbiosa, alternati a terreni argillosi teneri (Unità 3a/3b). Al di sotto di questi depositi si riscontra uno strato di ghiaie ben addensate (Unità 6) fino a una profondità di circa 12 m. Al di sotto delle ghiaie si incontrano circa 2 m di limi argillosi (Unità 2) ed infine il substrato sabbioso (Unità 4) che si

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2700001B</p>	<p>Foglio 10 di 88</p>

estende in profondità a partire da 14 m pc.

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

Per una trattazione di dettaglio delle unità sopra citate si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale del tratto in esame (Doc. Rif. [2]).

Nella Figura 2 si riporta il profilo geotecnico specifico per il rilevato RI27, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 3 di 11 (Doc. Rif. [3]).

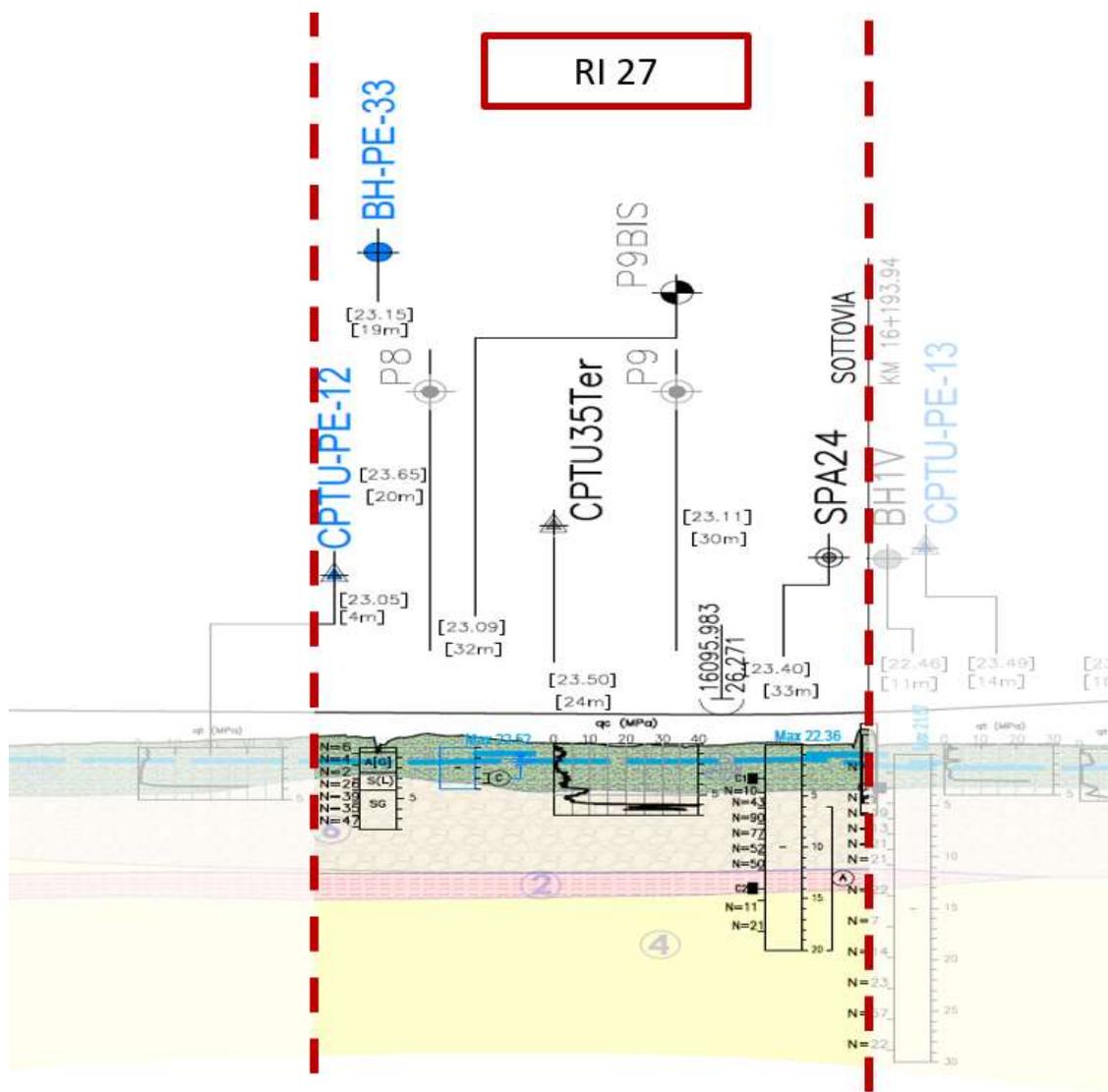


Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato RI27, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

11 di 88

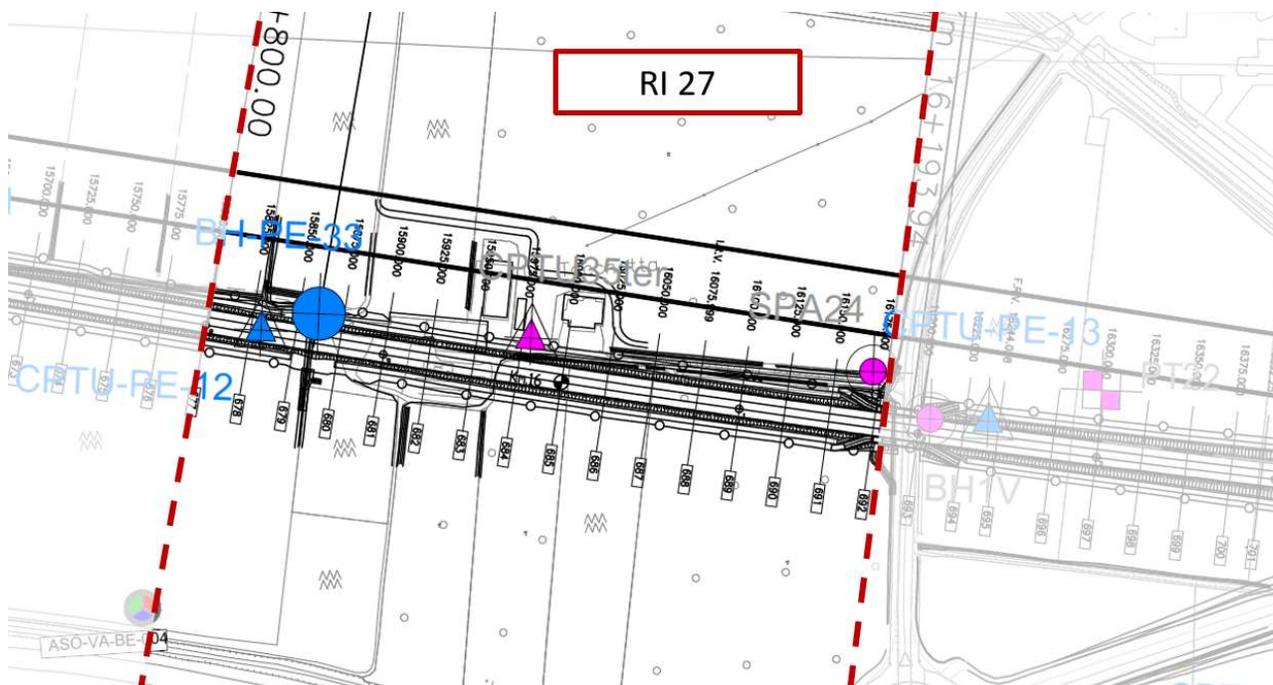


Figura 3 - Planimetria Rilevato RI27, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

### 4.3 Livello di falda

Per il livello di falda si è fatto riferimento ai valori di soggiacenza misurati nei piezometri lungo l'area in cui si inserisce l'opera in esame e riportati nella Relazione Idrogeologica (Doc. Ref. [6]). Quest'ultimi indicano una sostanziale stabilità nelle escursioni stagionali.

Ai fini progettuali si assume perciò una falda di progetto a piano campagna.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 12 di 88

#### 4.4 Condizioni geotecniche del sito

Come definito dalla sezione stratigrafica, il tratto in oggetto è caratterizzato da una copertura superficiale di prevalenti limi sabbiosi (Unità3a) per uno spessore mediamente di 4 m, che può arrivare fino a 6 m come in corrispondenza della CPTU35ter, alternati a materiali più fini, teneri (Unità 3a/3b)

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=3-5) e, nel caso si tratti di materiale a componenti fine, teneri. I dati sono confermati dai valori di resistenza alla punta  $q_c$ , dell'ordine di 1-2 MPa, e talora anche inferiori ad 1.0 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, generalmente sciolti.

A tale proposito, la Figura 4 riporta i dati granulometrici dei materiali della copertura superficiale, 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 12 m pc. All'interno del deposito incoerente le percentuali di materiale a grana fine sono generalmente inferiori a 20% e si registrano valori di  $N_{SPT}$  mediamente pari a 50 colpi/30cm. La densità relativa delle ghiaie risulta pari 50% e quindi il deposito risulta mediamente addensato.

Sotto lo strato di ghiaie, a profondità tra 12 e 14 m pc, si incontra una formazione di argille limose (Unità 2). Tali materiali sono debolmente sovraconsolidati.

Più in profondità si individua un deposito di sabbia limosa mediamente addensata (Unità 4), a partire dalla profondità di 15 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 fino a 60 colpi/30cm. La densità relativa delle sabbie risulta generalmente attorno a 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 11 m pc, per le ghiaie superficiali si stimano valori di  $V_s$  pari a 320-350 m/s. A profondità maggiori, nelle sabbie, le velocità sono pari a 370 m/s. Sulla base dei valori di  $V_s$  si sono stimati i valori del modulo di taglio alle piccole deformazioni ( $G_0$ ). Per le ghiaie si considera un valore di 200 MPa, mentre per le sabbie profonde si ottengono valori pari a 300 MPa.

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

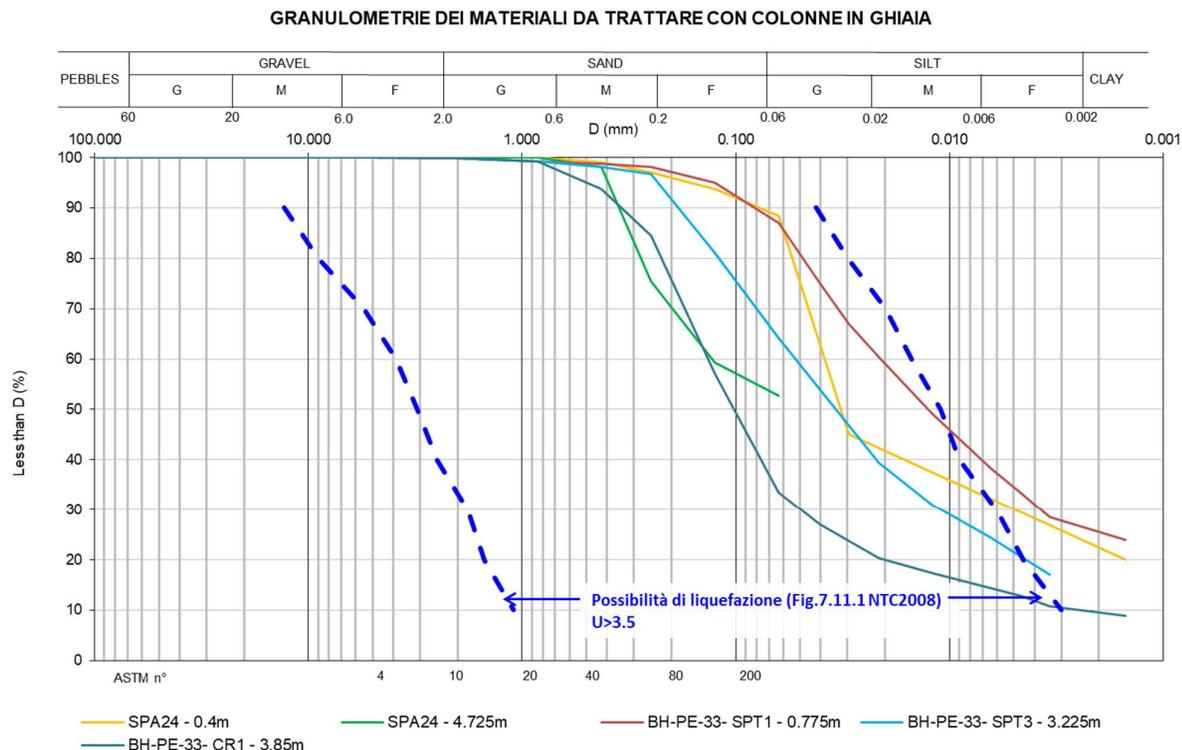


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche dei terreni superficiali, suscettibili alla liquefazione



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2700001B

Foglio  
14 di 88

### AV/AC VERONA VICENZA

RI27 da pk 15+800,00 a pk 16+200,00

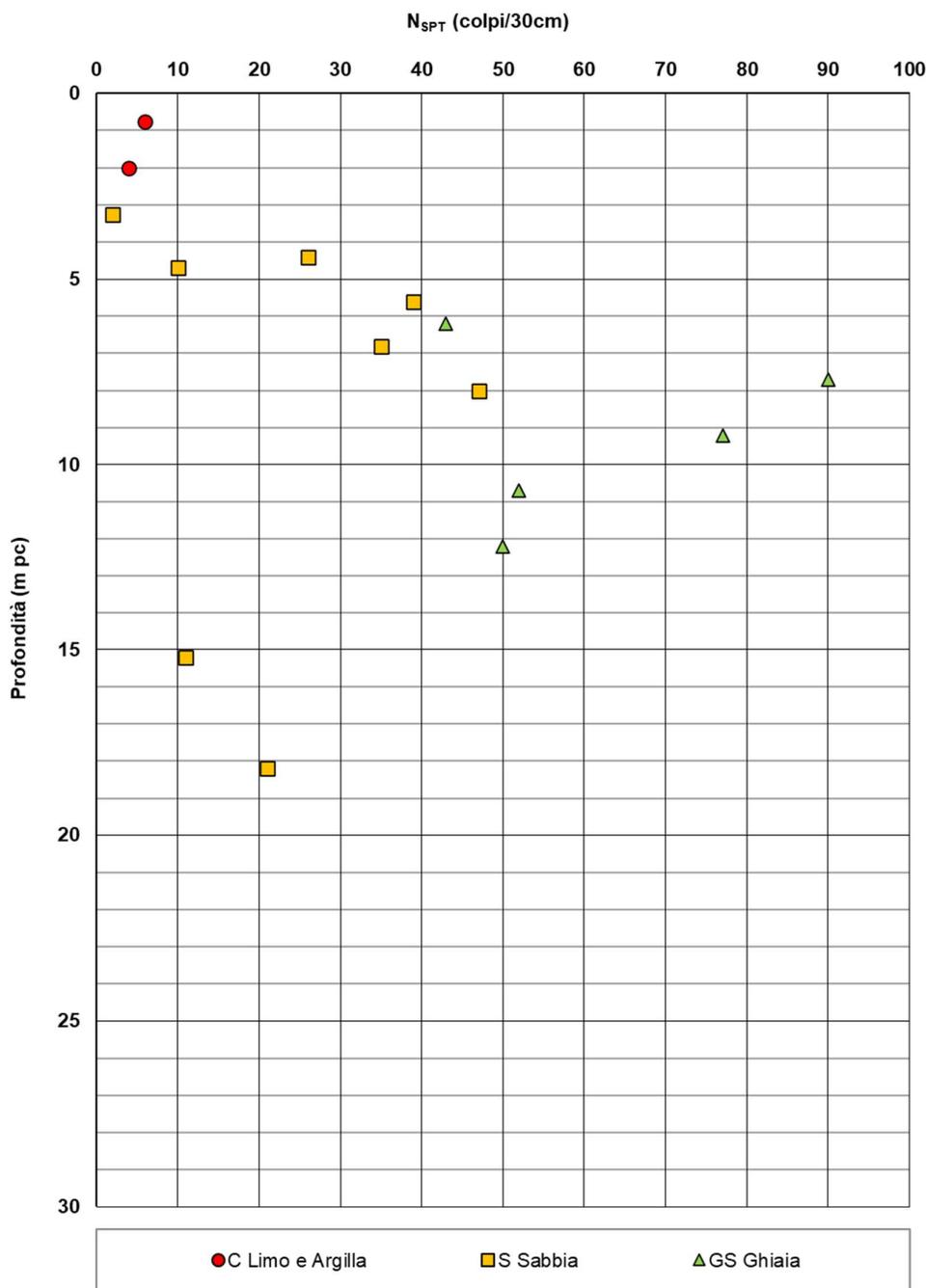


Figura 5 – Esito delle prove SPT tra pk 15+800,00 e pk 16+193,94



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2700001B

Foglio  
15 di 88

**AV/AC VERONA VICENZA**

**RI27 da pk 15+800,00 a pk 16+200,00**

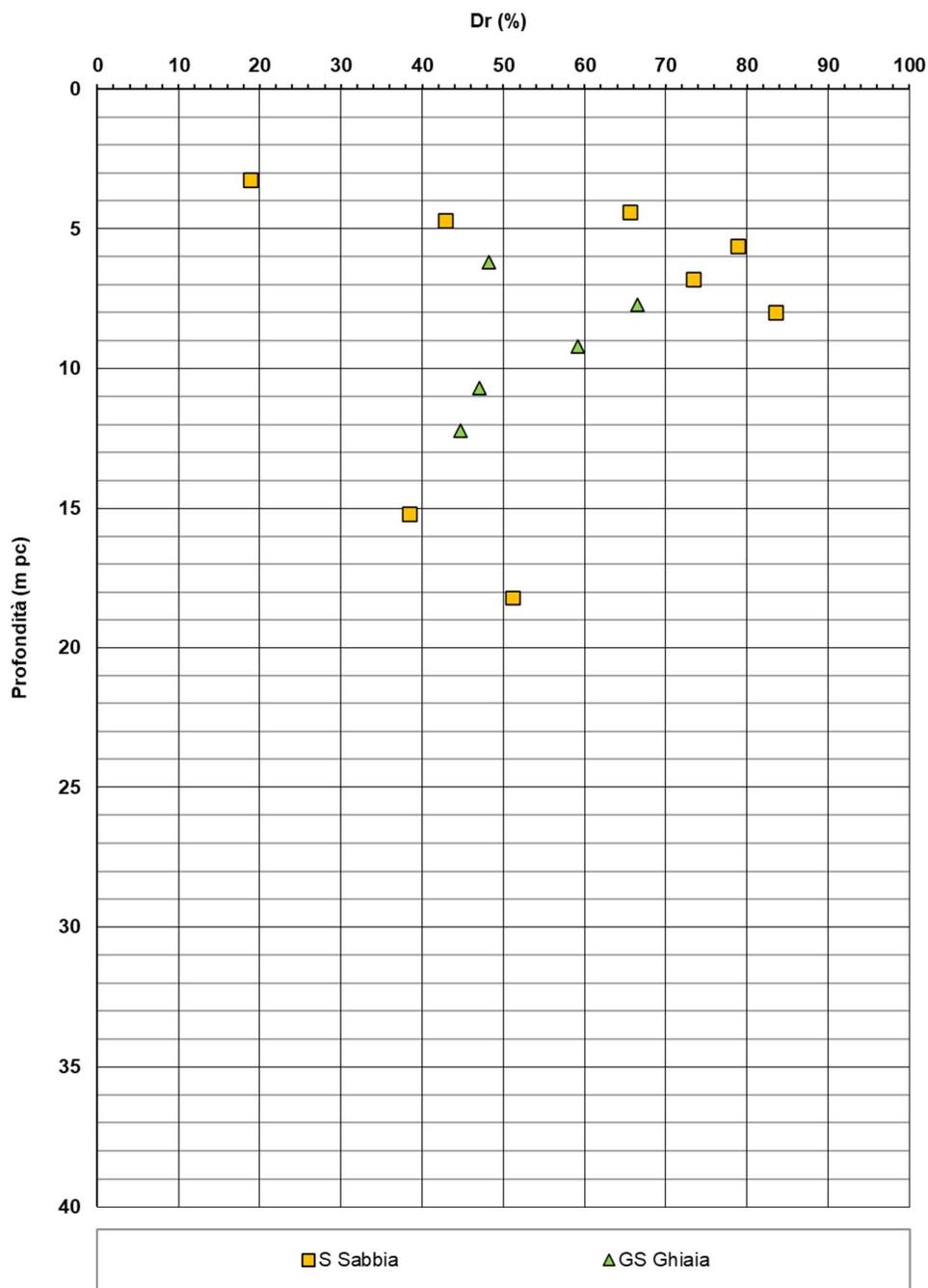


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT tra pk 15+800,00 e pk 16+193,94



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2700001B

Foglio  
16 di 88

**AV/AC VERONA VICENZA**

**RI27 da pk 15+800,00 a pk 16+200,00**

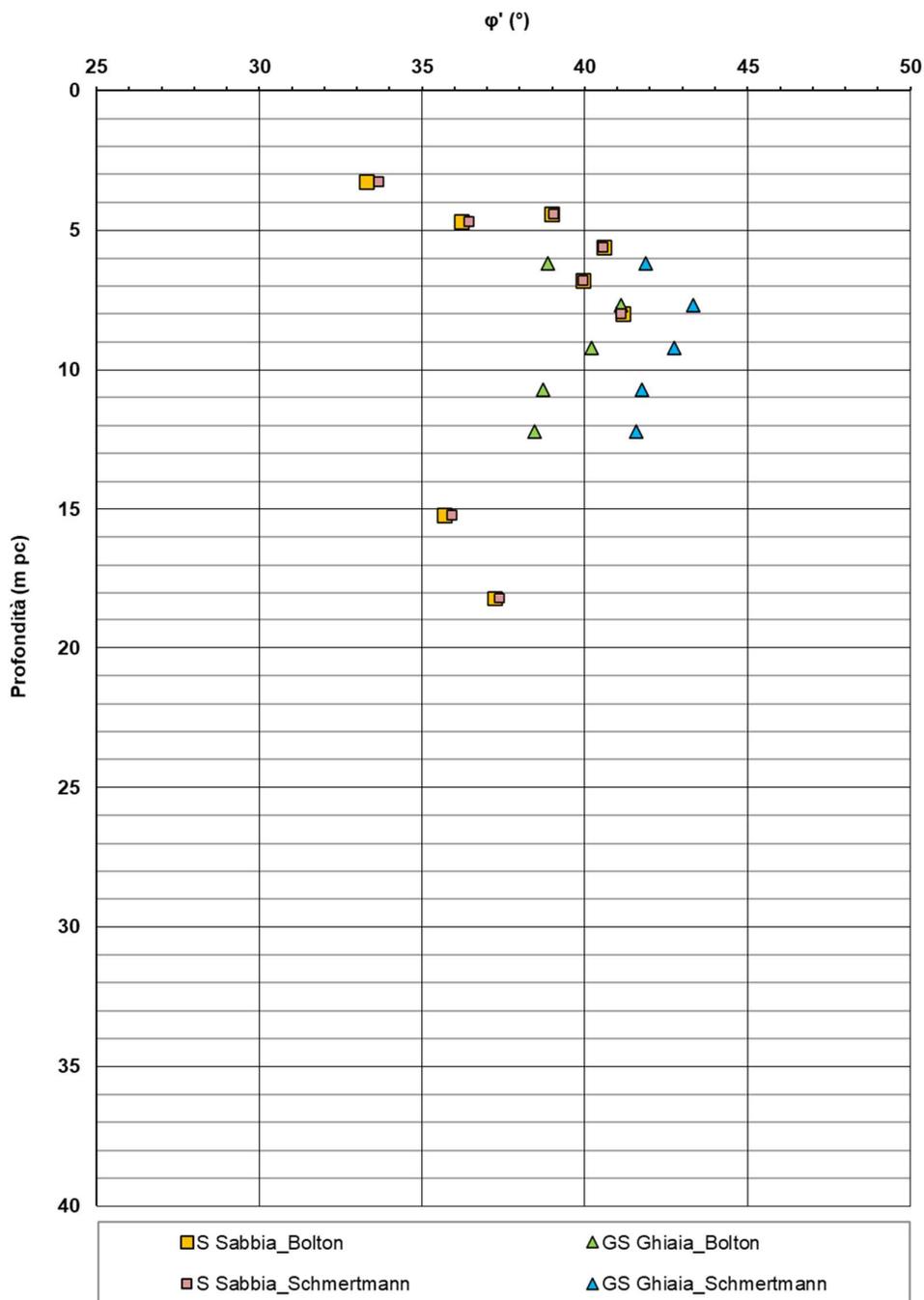


Figura 7 – Angoli di attrito da prove SPT tra pk 15+800,00 e pk 16+193,94

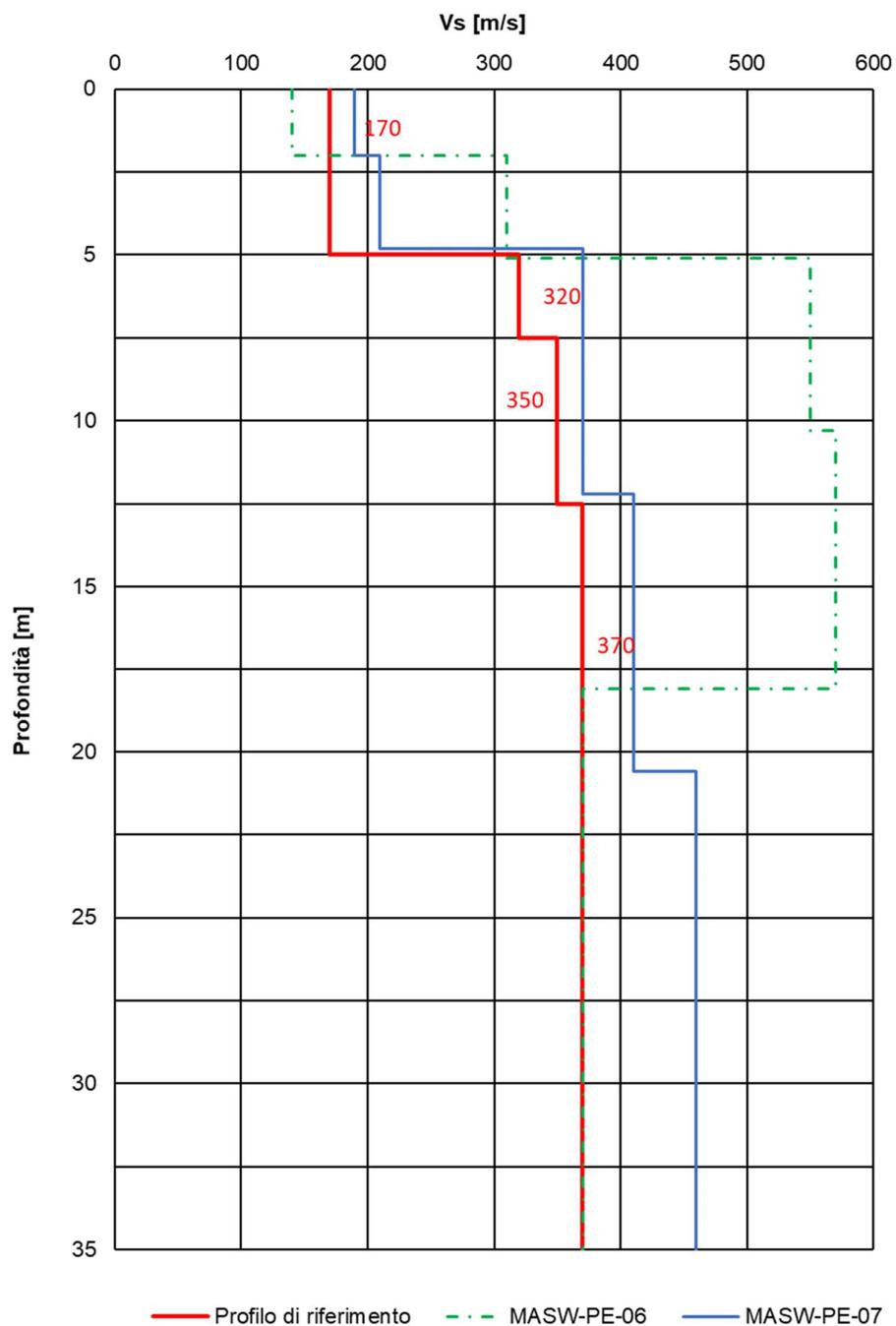


Figura 8 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW tra pk 115+800,00 e pk 16+193,94



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

18 di 88

## AV/AC VERONA VICENZA

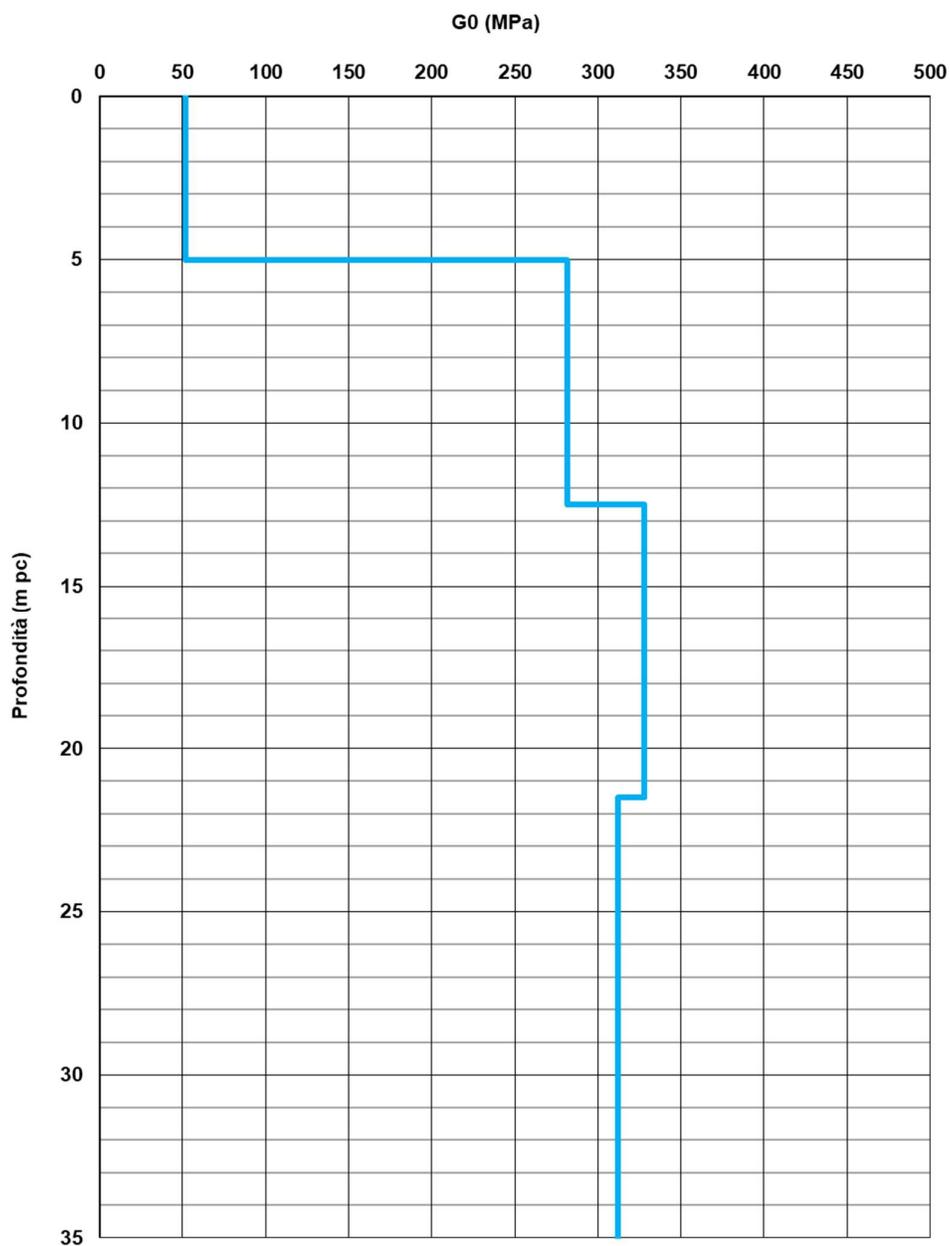


Figura 9 – Modulo di taglio  $G_0$  tra pk 15+548 e 15+800

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 19 di 88

#### 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)
3a	4	5	18	36	-	-	-	30
3a	5	6	18	34	-	-	-	5
6	6	12	19	39	-	-	200	60
2	12	14	19	28	-	60	-	25
4	14	-	19	38	0	-	300	80

\* quota piano campagna = 23.50 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;
- I valori dei parametri indicati fra parentesi ( ), sono quelli del terreno migliorato con le colonne di ghiaia. Il valore dell'angolo di resistenza al taglio del terreno sciolto con colonne di ghiaia con  $\varphi=40^\circ$  è stato stimato pari a  $36^\circ$ ;
- I moduli  $E'$  del terreno naturale sono stati impiegati per ricavare le caratteristiche del terreno migliorato con colonne di ghiaia, secondo quanto riportato al punto 6.4.

Per 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  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 20 di 88

## 5 CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

### 5.1 Sollecitazione sismica di progetto

#### 5.1.1 Vita Nominale

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

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

Tabella 4 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

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

#### 5.1.2 Classe d'uso

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 21 di 88

Tabella 5 – Valori del coefficiente di uso  $C_u$

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente d'uso	0.7	1.0	1.5	2.0

### 5.1.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Il periodo di riferimento  $V_R = V_N \cdot C_U = 100 \cdot 1.5 = 150$  anni.

### 5.1.4 Categorie di Sottosuolo

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

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

### 5.1.5 Condizioni topografiche

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2700001B</p>	<p>Foglio 22 di 88</p>

### 5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

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

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

## 5.2 Suscettibilità alla liquefazione

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

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

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

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

Facendo sempre riferimento al Doc. rif. [4] per i dettagli dell'analisi sopra descritta, e in continuità con le considerazioni 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 normalizzato rispetto alla pressione verticale in sito (CSR) e la resistenza normalizzata del terreno al taglio ciclico

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 23 di 88

(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:

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

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  $M=7.5$ .

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 24 di 88

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

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

### 5.2.1 CRR da correlazione su prove CPT

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

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{v0}} \times 100$$

Tanto maggiore è il valore di  $I_c$ , tanto maggiore sarà il contenuto presunto di fini. Nell'analisi condotta il valore  $I_c =$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 25 di 88

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

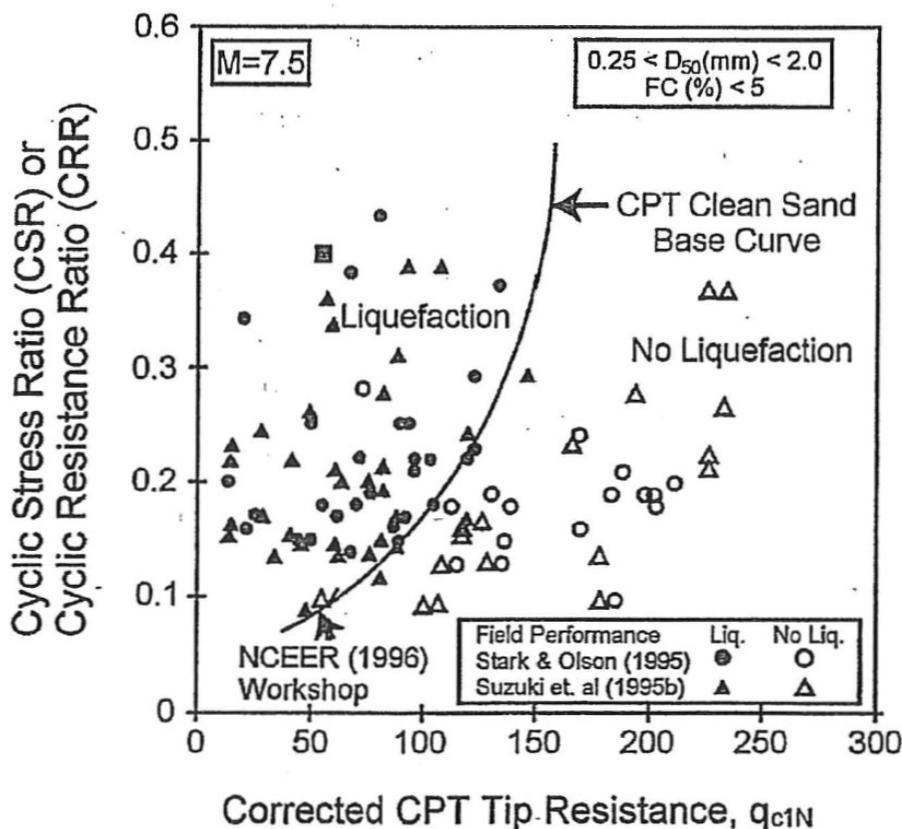


Figura 10: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta  $q_{c1N}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 26 di 88

### 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 proposta da Liao e Whitman (1986):

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

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

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

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

in cui  $ER_m$  è il fattore di rendimento (espresso in %) del trasferimento dell'energia del maglio all'attrezzo 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.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 27 di 88

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 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:

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

$$p_a = \text{pressione atmosferica di riferimento}$$

$$f = \text{fattore che dipende dalla densità relative del materiale in sito.}$$

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

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

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

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

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

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

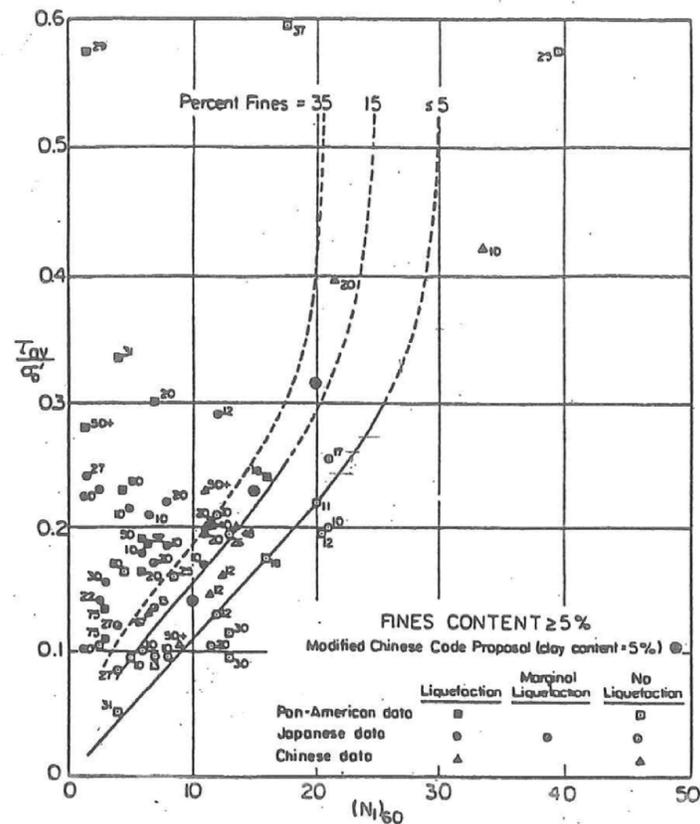


Figura 11: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e  $N_{1(60)}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 29 di 88

I risultati (cfr. Figura 12 - Figura 15) indicano rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI27. In particolare:

- dall'analisi sulla CPTU-PE-12 si evidenzia la presenza di tra 0 e 4 m pc di materiale potenzialmente liquefacibile, con  $FL < 1.0$ .
- anche il sondaggio BH-PE-35 segnala la presenza di livelli liquefacibili a profondità circa comprese fra 2 e 4 m da p.c..
- dall'analisi sulla CPTU35ter si evidenzia la presenza di tra 0 e 6 m pc di materiale potenzialmente liquefacibile (con un livello sabbioso non soggetto a liquefazione tra 4 e 5 m pc), con  $FL < 1.0$ .
- dall'analisi sulla CPTU-PE-13 si evidenzia la presenza di tra 0 e 4 m pc di materiale potenzialmente liquefacibile, con  $FL < 1.0$ .

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



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2700001B

Foglio  
30 di 88

T tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-33 Pr. 15-125  
 $\sigma_{max} = 0,30g$   $\sigma_{Latic} = 0$   $MSF = 2$  Metodo NCEM 1996 - 1998 - 2001  
 Altezze rilevate = zm

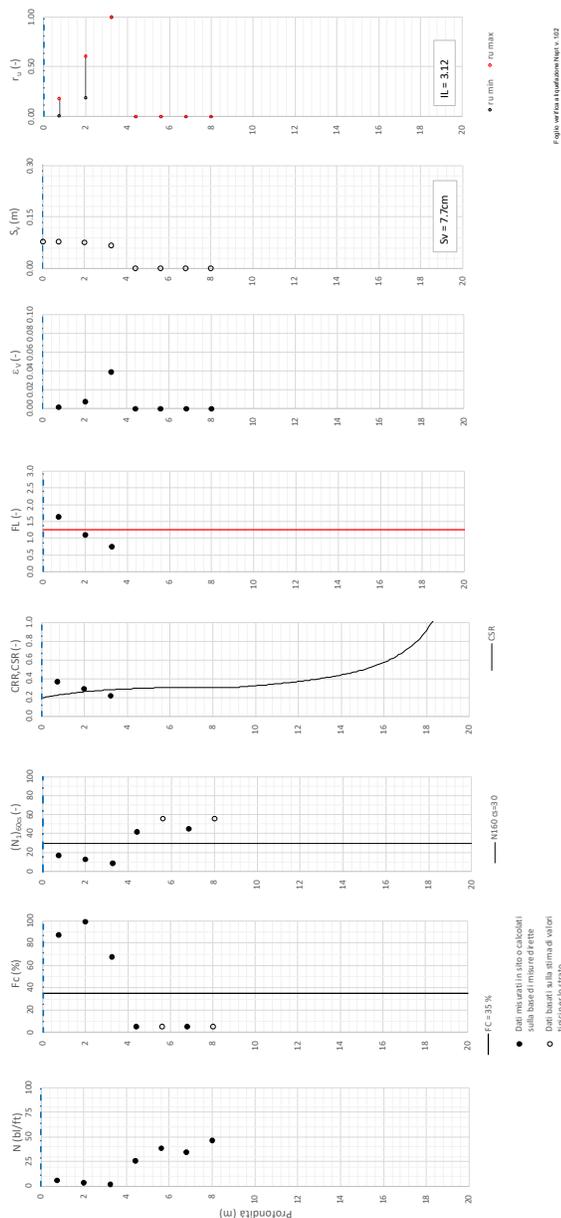


Figura 12 – Verifica Liquefazione da risultati BH-PE-33



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2700001B

Foglio  
31 di 88

Tratta AC(AV)Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-12 Pr. 15-830  
 $a_{r,max} = 0.301g$   $M_{calc} = 6$   $MSF = 2$  Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
 Altezza rilevato = 2m

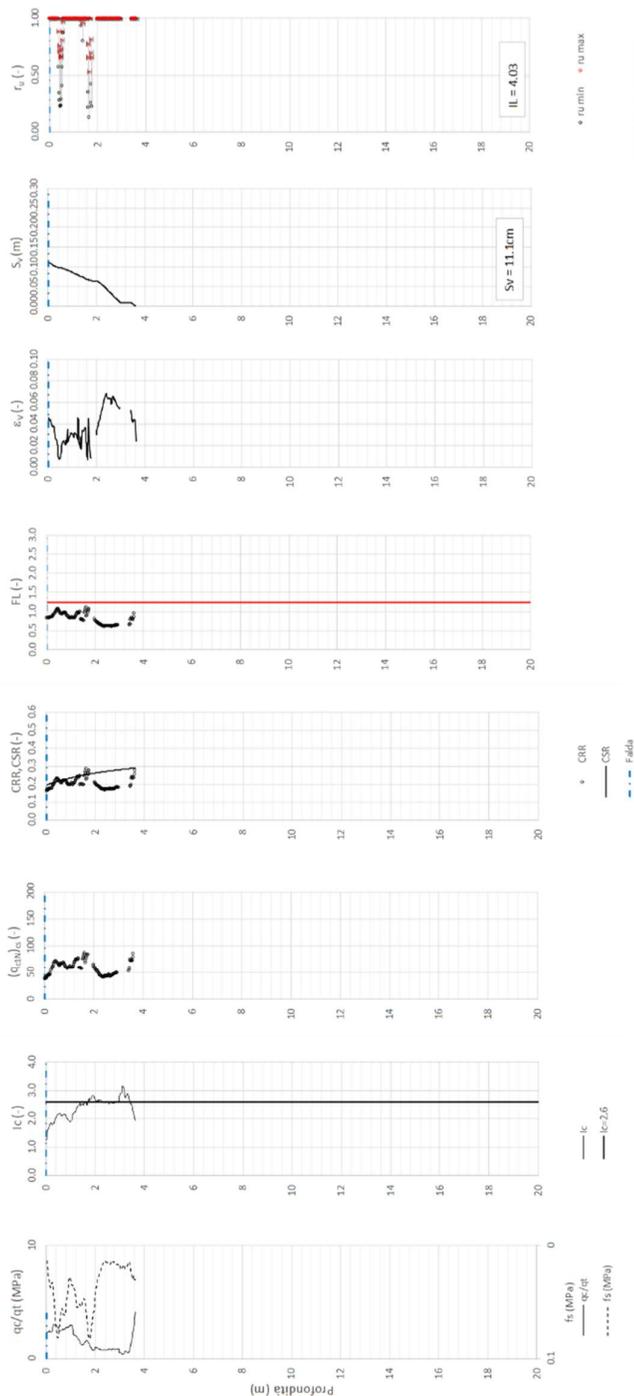


Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-12



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2700001B

Foglio  
32 di 88

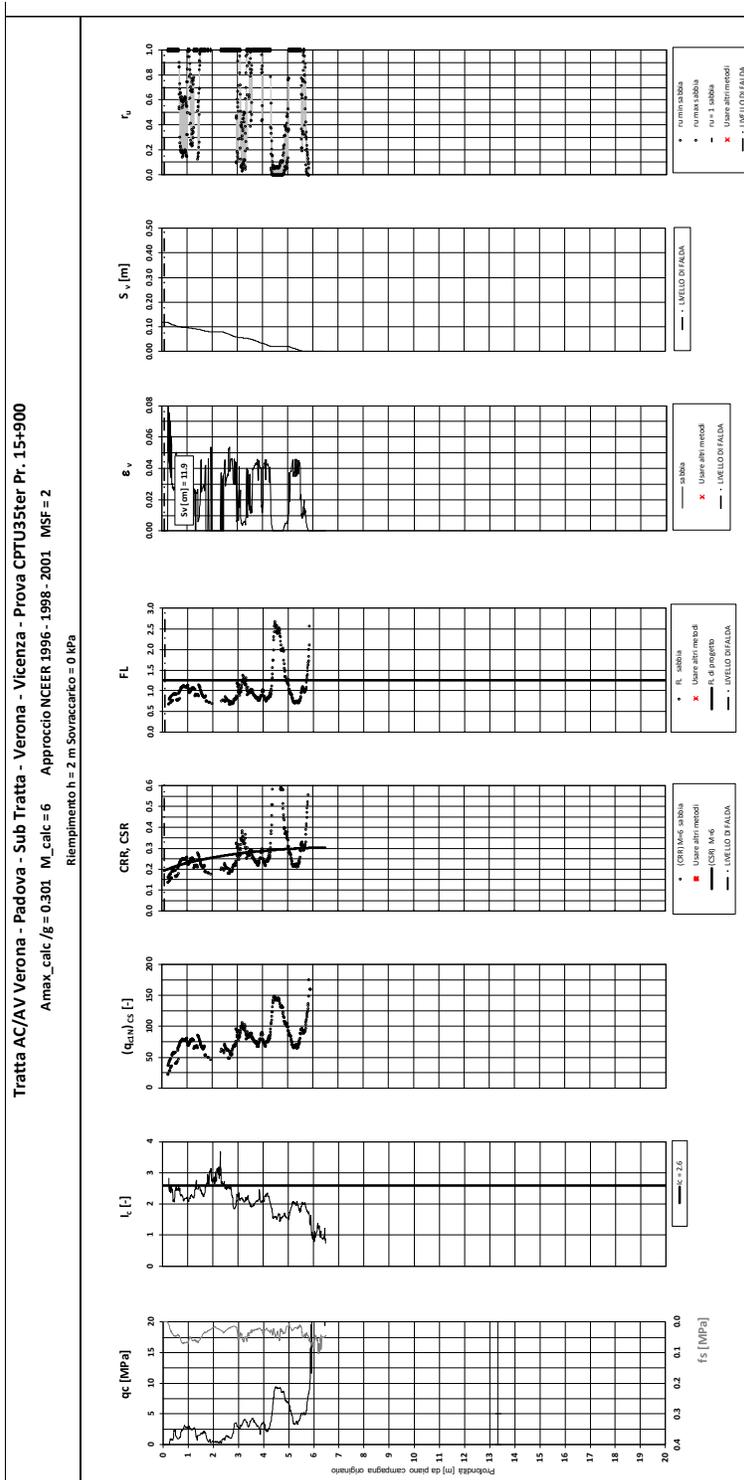


Figura 14 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU35ter



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2700001B

Foglio  
33 di 88

Traita AC/AV Verona-Padova - Sub Traita Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-13 Pr. 16+237  
a<sub>max</sub> = 0.301g M<sub>calc</sub> = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 2m

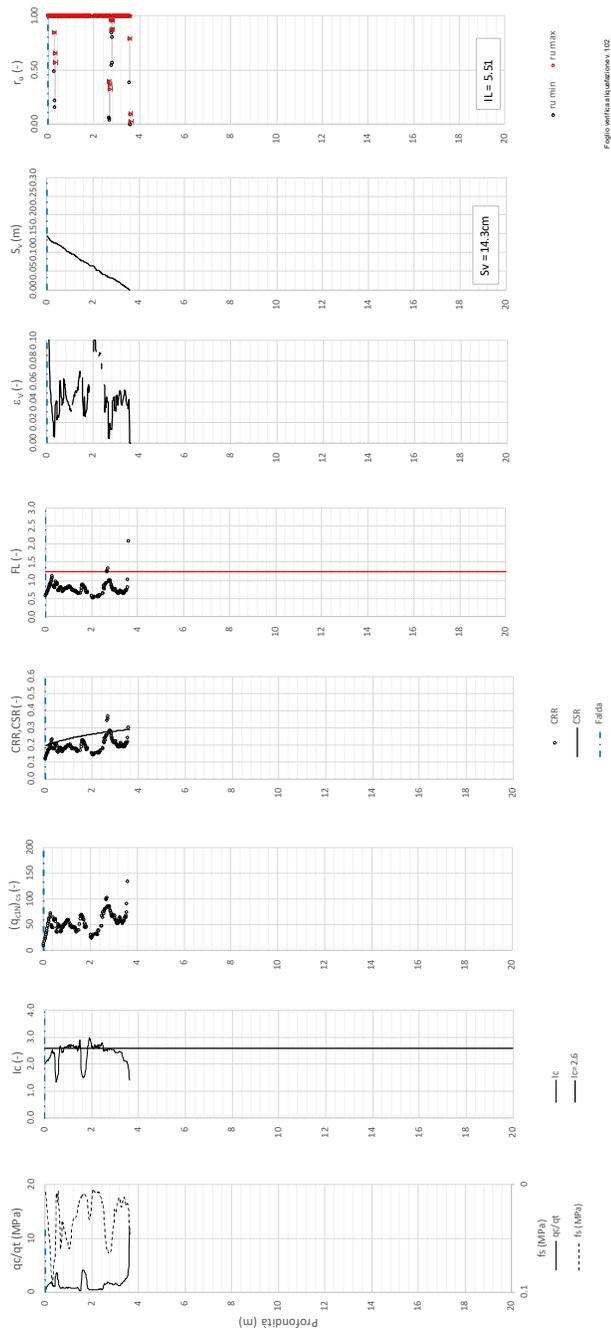


Figura 15 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-13

<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 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2700001B</p>	<p>Foglio 34 di 88</p>

### 5.2.3 Soil improvement

Visti i rischi di potenziale liquefazione nella tratta in esame, si prescrive per l'intera tratta, quindi dalla pk 15+800 a pk 16+194, l'installazione di colonne in ghiaia aventi diametro  $D=800$  mm, lunghezza  $L=4$  m, interasse  $i=2$  m, a maglia quadrata.

Come si vedrà al punto 6.3.2, anche la possibilità che, in limitate porzioni del rilevato, rimango zone di terreno non trattato al disotto dei 4 da p.c., non comporta problemi per la stabilità del rilevato.

Per la descrizione accurata delle metodologie operative e per la geometria del trattamento si faccia riferimento agli elaborati grafici 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 16  $A_c$  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. Da Figura 17 a Figura 20 si riportano le verifiche di liquefazione di CPTU-PE-12, CPTU35ter e CPTU-PE-13 eseguite con tale criterio. Come si può notare, per effetto della riduzione della PGA da 0.301 a 0.18 (appunto di un fattore 0.6), il materiale non viene più portato a liquefazione, ma si limita a sviluppare sovrappressioni interstiziali del tutto compatibili con la stabilità del rilevato.

Si noti che il risultato della verifica non si applica i terreni non trattati. Pertanto, quanto riportato in Figura 17 - Figura 20 non si applica ai terreni a profondità superiori ai 4 m, ove le colonne non sono presenti. Per questi terreni, rimangono valide le verifiche da Figura 12 a Figura 15.

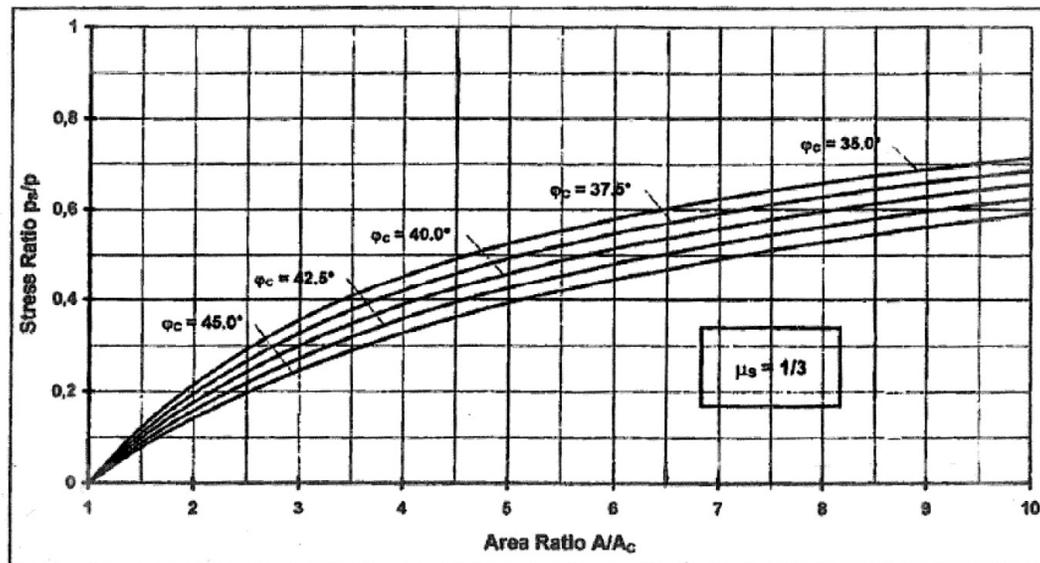


Figura 16 – Riduzione dello stress ratio sismico in funzione dell'area ratio delle colonne di ghiaia (Doc.Rif.[35])

T tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-12 Pr. 15-H830  
a<sub>max</sub> = 0.180kg M<sub>calc</sub> = 6 MSF = 2 Metodo NCEER:1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 2m

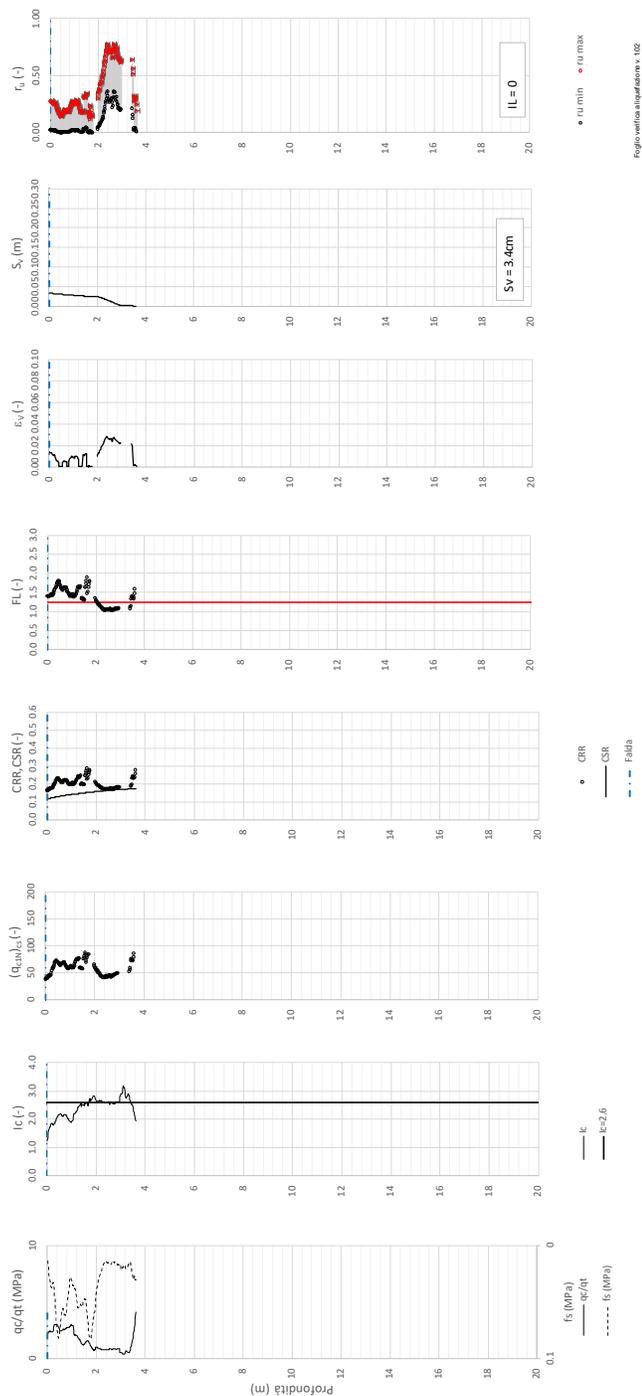


Figura 17 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-12 dopo soil improvement



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

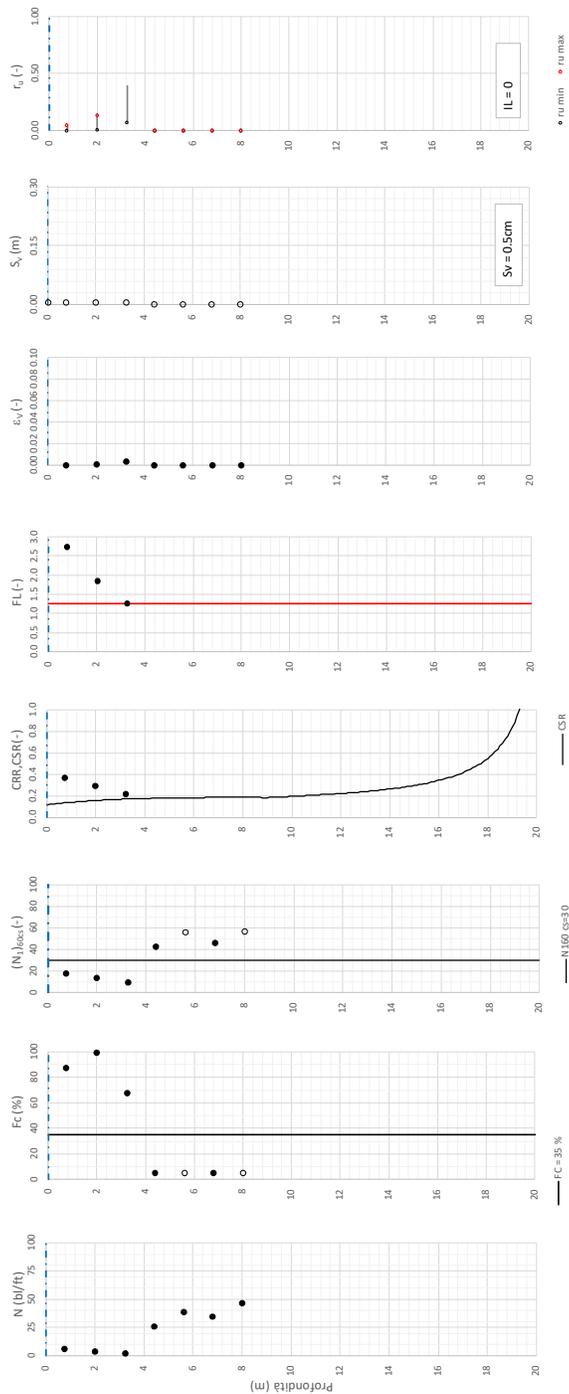
Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2700001B

Foglio  
37 di 88

T tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-33 Pr. 15+860  
a\_max = 0.180g W\_Lcalc = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 2m



Foglio verifica liquefazione N° 102

Figura 18 – Verifica Liquefazione da risultati BH-PE-33 dopo soil improvement



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2700001B

Foglio  
38 di 88

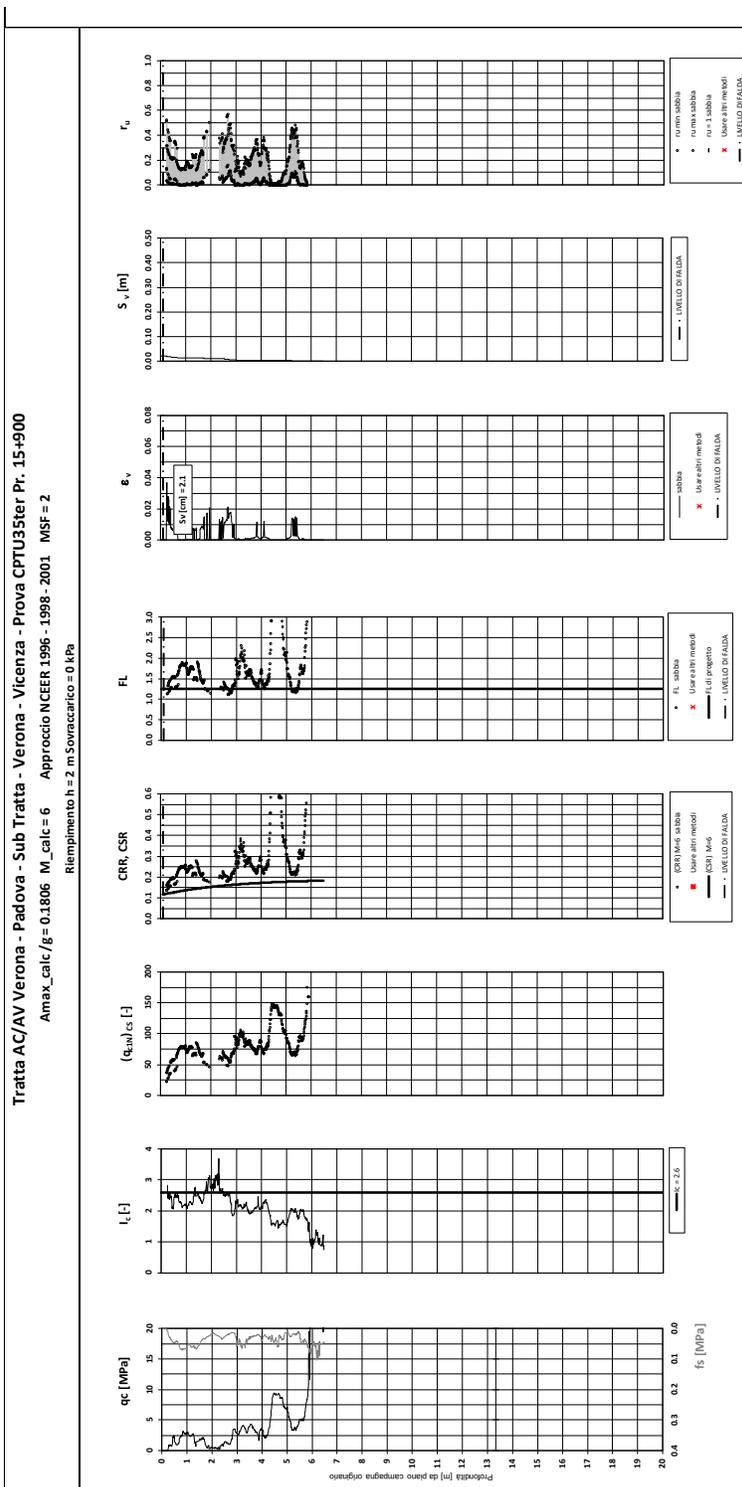


Figura 19 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU35bis dopo soil improvement



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2700001B

Foglio  
39 di 88

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-13 Pr. 16+237  
a<sub>max</sub> = 0.180g; M<sub>calc</sub> = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = Zm

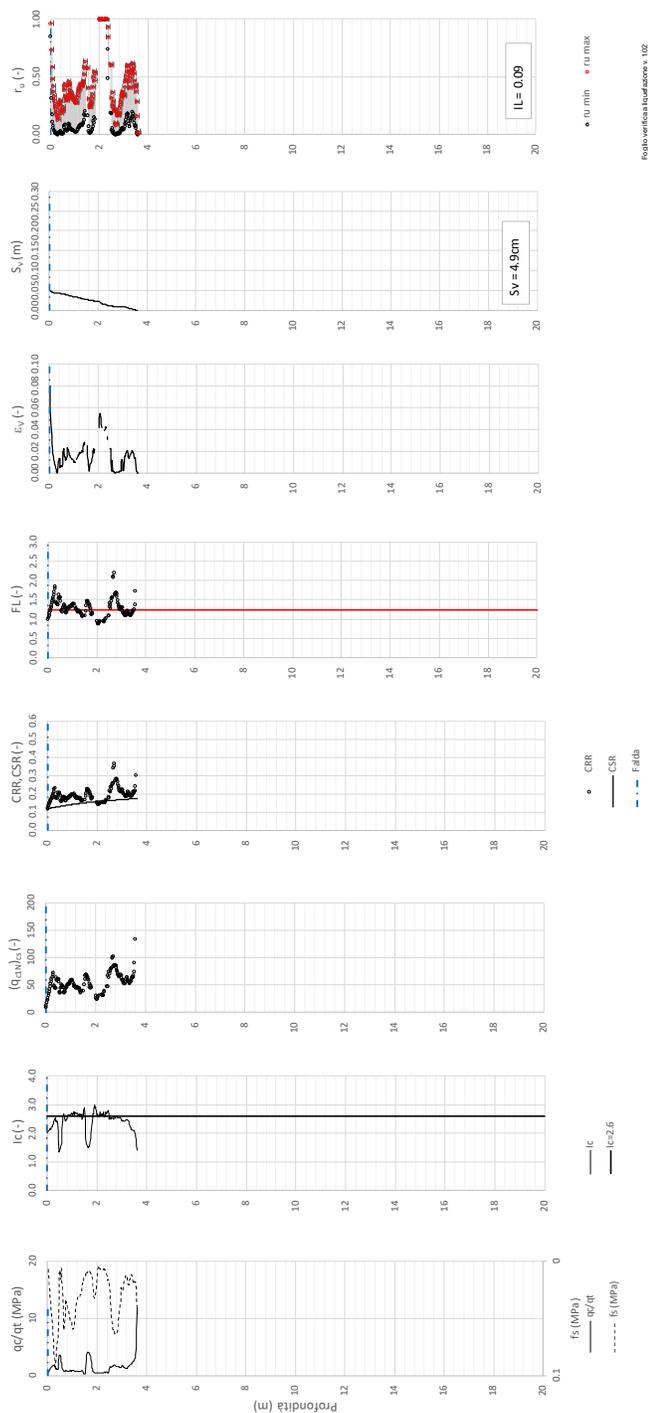


Figura 20 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-13 dopo soil improvement

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 40 di 88

## 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:

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 41 di 88

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

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

*Tabella 6 – Coefficienti parziali sulle azioni*

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

dove:

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

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

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

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

Coefficiente	R2
$\gamma_R$	1.1

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 42 di 88

### 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.

### 6.2.1 Azioni permanenti

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 43 di 88

stati calcolati assumendo:

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

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

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

### 6.2.2 Azioni variabili

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

### 6.2.3 Azione sismica

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

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

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

dove

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

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

$g$                             accelerazione di gravità.

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

	Categoria di sottosuolo	
	<b>A</b>	<b>B, C, D, E</b>
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	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

## 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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 44 di 88

il codice di calcolo SLIDE 7.0 (Doc. Rif. [29]). Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento rispettivamente ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico e ai coefficienti parziali (M2) per le analisi sismiche. Tali coefficienti sono contenuti nella Tabella 7 della presente relazione.

Come da NTC 2008 (Doc. Rif. [14]), la verifica SLU di stabilità globale è soddisfatta se la relazione:

$$FS \geq R2 = 1.1.$$

è verificata sia in condizioni statiche che sismiche.

La verifica è stata condotta con riferimento alla già citata sezione di riferimento A riportata in Figura 1, secondo il metodo di Bishop modificato. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici caratteristici definiti in Tabella 2.

### 6.3.2 Verifiche SLU in condizione statiche

Il carico da traffico ferroviario (q), assunto pari a 61.4 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è di tipo variabile- sfavorevole, pertanto, in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2 riportato e pari a 1.3. Per quanto riguarda la falda, è stata considerata la condizione a lungo termine e quindi è stato preso un livello coincidente a piano campagna, come riportato nel paragrafo 4.3. Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

In Figura 21 sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2. Il valore minimo di FS è pari a:

$$F_{S\text{MIN}} (DA1C2) = 1.450 > R2 = 1.1$$

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

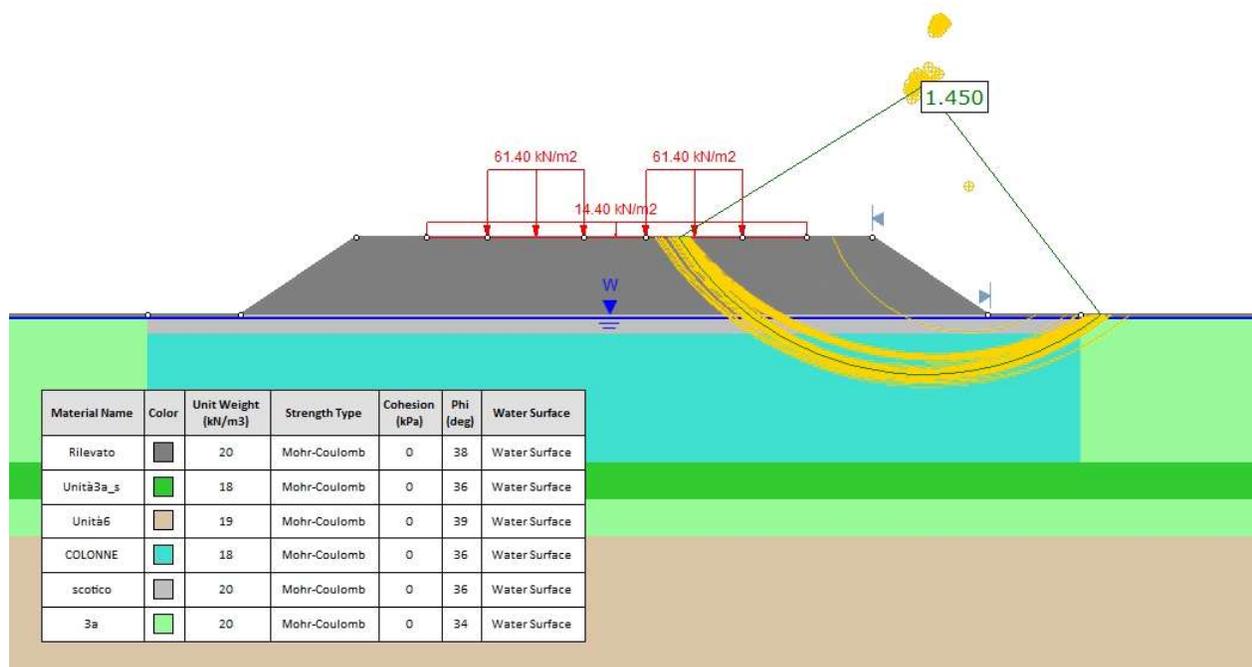


Figura 21 – Sezione A - Analisi SLU in campo statico DA1C2

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 45 di 88

### 6.3.1 Verifiche SLU in condizioni sismiche

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

$$K_H = + 0.083 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.042 \quad (\text{verificando la più cautelativa tra negativo e positivo})$$

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

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

In Figura 22 sono riportate le superfici di rottura critiche. Il fattore di sicurezza FS è pari a:

$$FS_{MIN} = 1.183 > R2 = 1.1$$

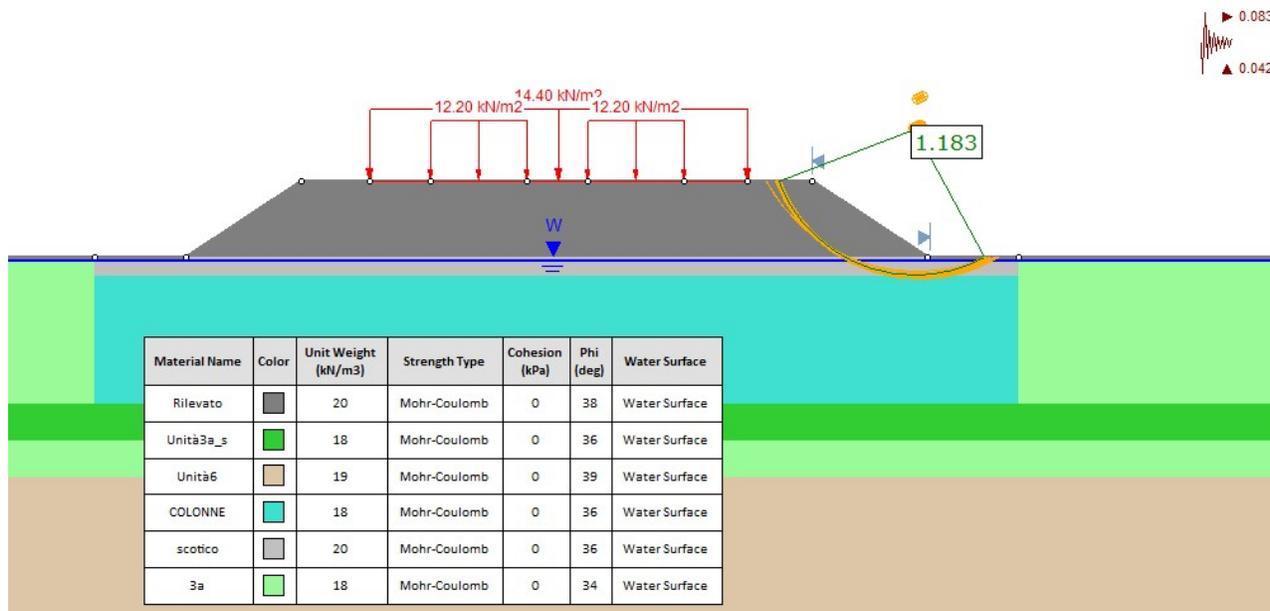


Figura 22 – Sezione A - Analisi SLU in campo sismico

### 6.3.2 Verifiche SLU in condizioni post sismiche

Nel caso di analisi di stabilità con 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 non interessano la sede ferroviaria.

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

In Figura 23 sono riportate le superfici di rottura critiche. Il fattore di sicurezza FS è pari a:

$$FS_{MIN}=1.429 > R2=1.1$$

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

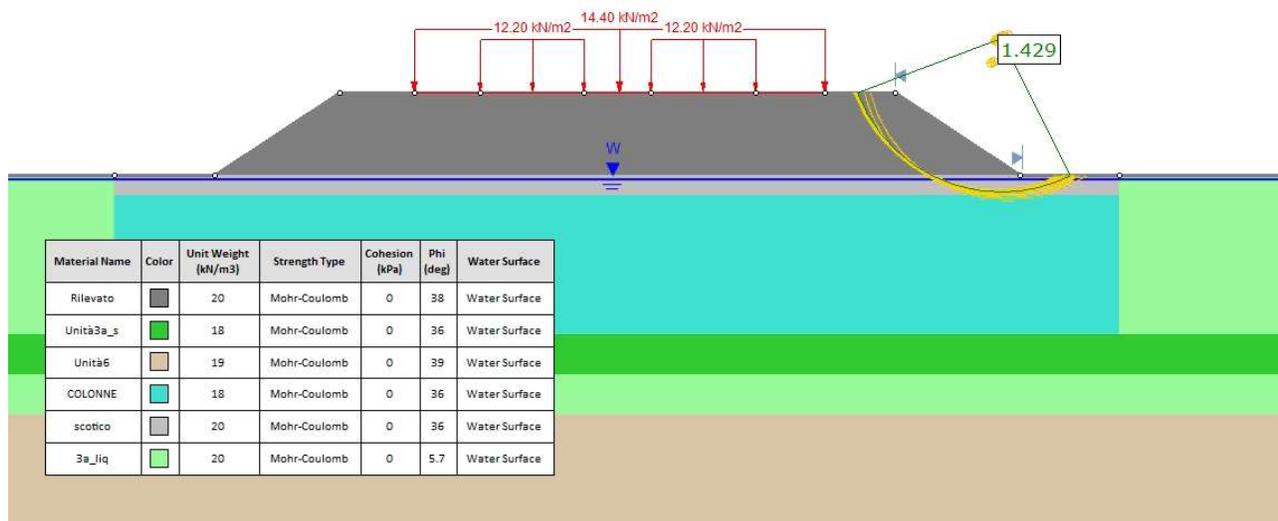


Figura 23 – Sezione A - Analisi SLU in condizioni post sisma

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 47 di 88

## 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 rigidezza 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 nastroforme, soggetta a un carico uniformemente distribuito (parte centrale del rilevato), viene eseguita sulla base delle formule di Jumikis (1971).

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

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

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

dove:

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

q = carico applicato

$\nu$  = coefficiente di Poisson

B = semilarghezza dell'area di carico in direzione x

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

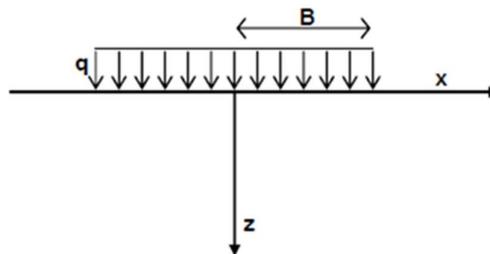


Figura 24 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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

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

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

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

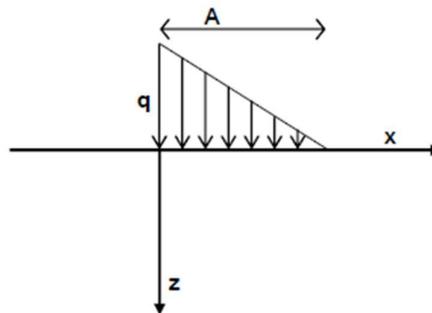


Figura 25 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

Il calcolo della deformazione verticale per ogni singolo sublayer viene valutato sulla base dell'incremento di sforzo verticale, utilizzando la seguente espressione:

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta\sigma_z}{E}$$

Il cedimento verticale totale viene quindi calcolato come sommatoria dei cedimenti dei diversi strati.

Il calcolo dei cedimenti indotti dalla realizzazione del rilevato ferroviario è stato svolto modellando la successione stratigrafica in sito tenendo conto delle diverse caratteristiche di deformabilità degli strati, in accordo alla stratigrafia

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 49 di 88

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 2.3 m, è riportato in Figura 26. La larghezza del rilevato è pari a 20 m, con pendenza delle scarpate è 2V:3H. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici definiti in Tabella 2.

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

I cedimenti sono stati calcolati al centro del nuovo rilevato, i valori calcolati sono riportati nella Figura 27.

Il cedimento calcolato in corrispondenza del centro del nuovo rilevato è di circa 4.6 cm.

Considerando la presenza delle colonne di ghiaia  $D=800$  a maglia quadrata con lato 2 m, e tenendo anche conto che la distanza fra base delle colonne e base della ghiaia, nelle condizioni stratigrafiche più sfavorevoli, è di circa 2 m, se ne deduce che i massimi percorsi di drenaggio saranno dell'ordine del metro.

In tali condizioni di drenaggio, e considerando la natura dei terreni, con prevalenza di componente sabbiosa, i cedimenti si esauriranno praticamente all'atto dell'applicazione dei carichi, e quindi non risultano essere necessarie dettagliate analisi di consolidazione.

Inoltre, considerata la natura dei terreni i cedimenti secondari sono trascurabili.

I cedimenti di lungo termine, e più in particolare quelli a far data dal termine dell'applicazione del carico del ballast e fino alla fine di vita utile dell'opera (100 anni), sono pertanto da considerare trascurabili.

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

Assumendo per le colonne un valore del modulo  $E'=60$  MPa, ed un'area di competenza di ciascuna colonna  $D=800$  mm pari a  $4 \text{ m}^2$  (maglia 2x2), si ottiene un modulo equivalente pari a:

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

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

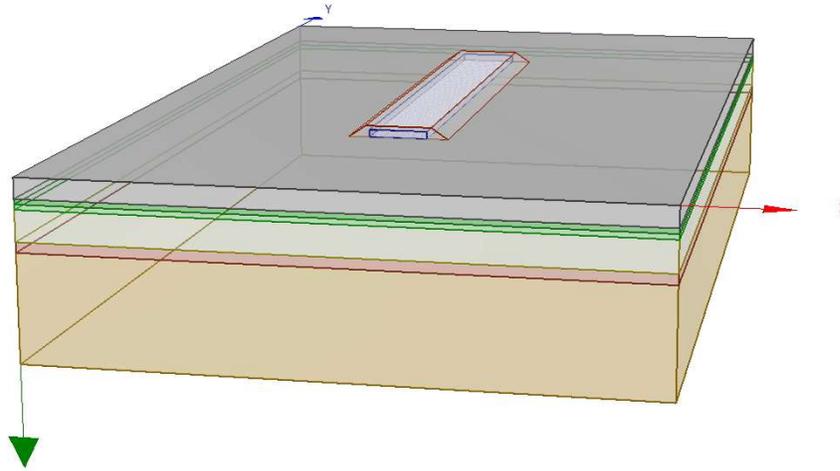


Figura 26 – Rilevato RI27 H=2.30 m - Analisi SLE – Modello di calcolo

Ri27 : Cedimento del rilevato ferroviario linea AV

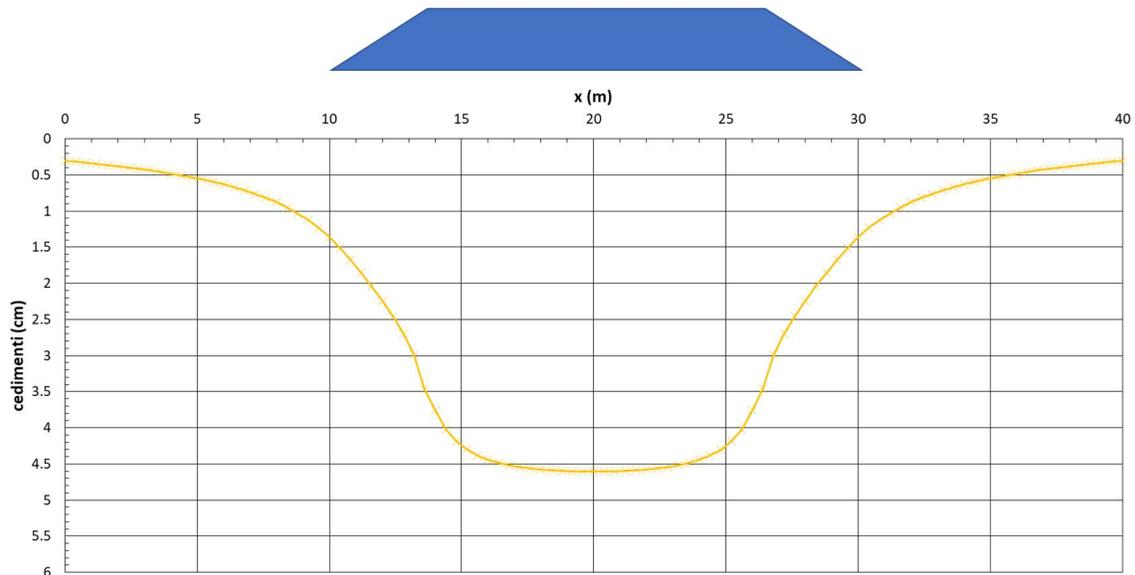


Figura 27 - Rilevato RI27 - Analisi SLE – Risultato Cedimenti



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2700001B

Foglio  
51 di 88

### Ri27 : Cedimento al centro del rilevato ferroviario

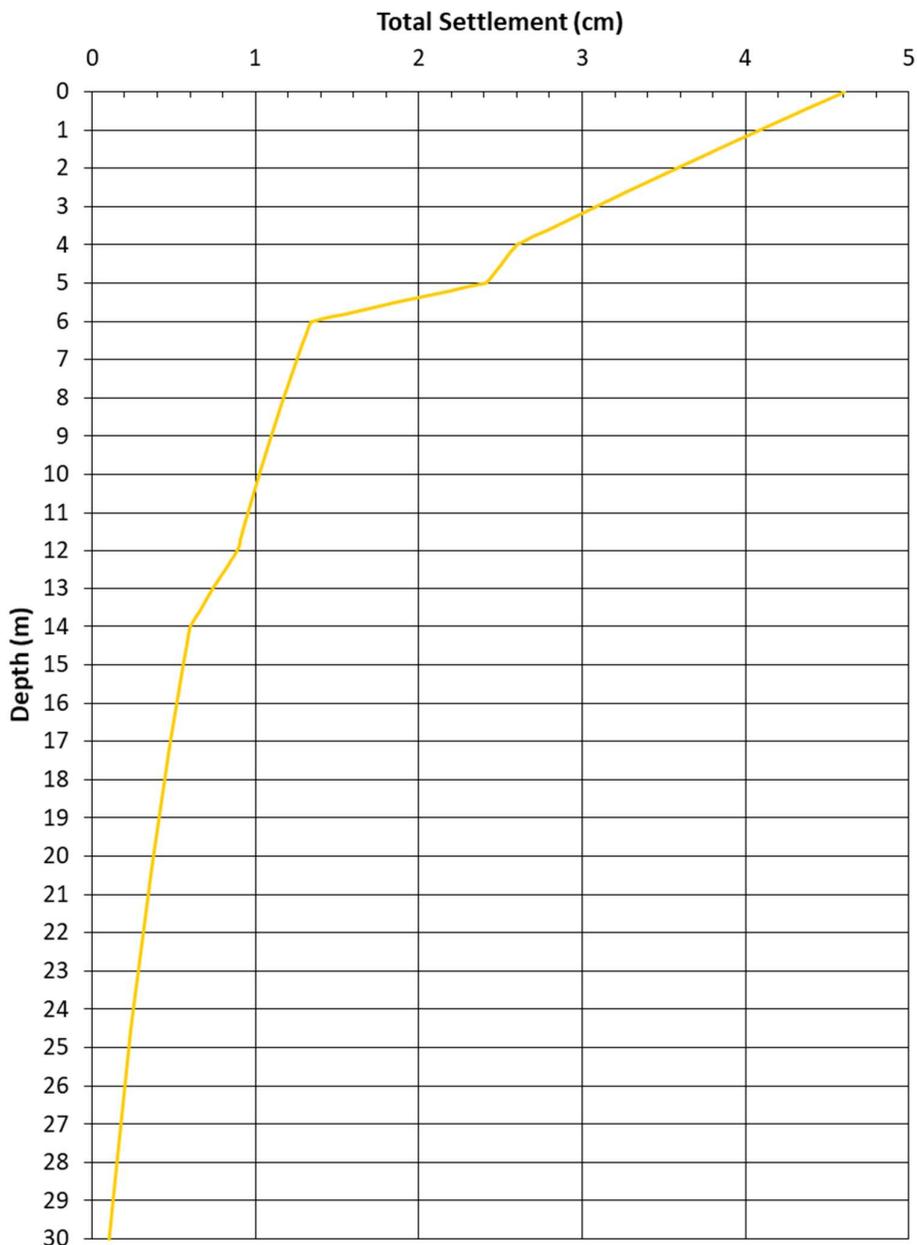


Figura 28 - Rilevato RI27 - Analisi SLE – Risultato cedimenti in profondità al centro del rilevato

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

52 di 88

## 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 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI2700001B	53 di 88

## ALLEGATI

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

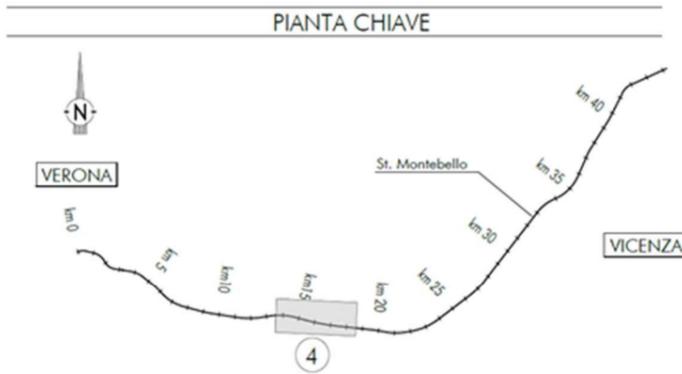
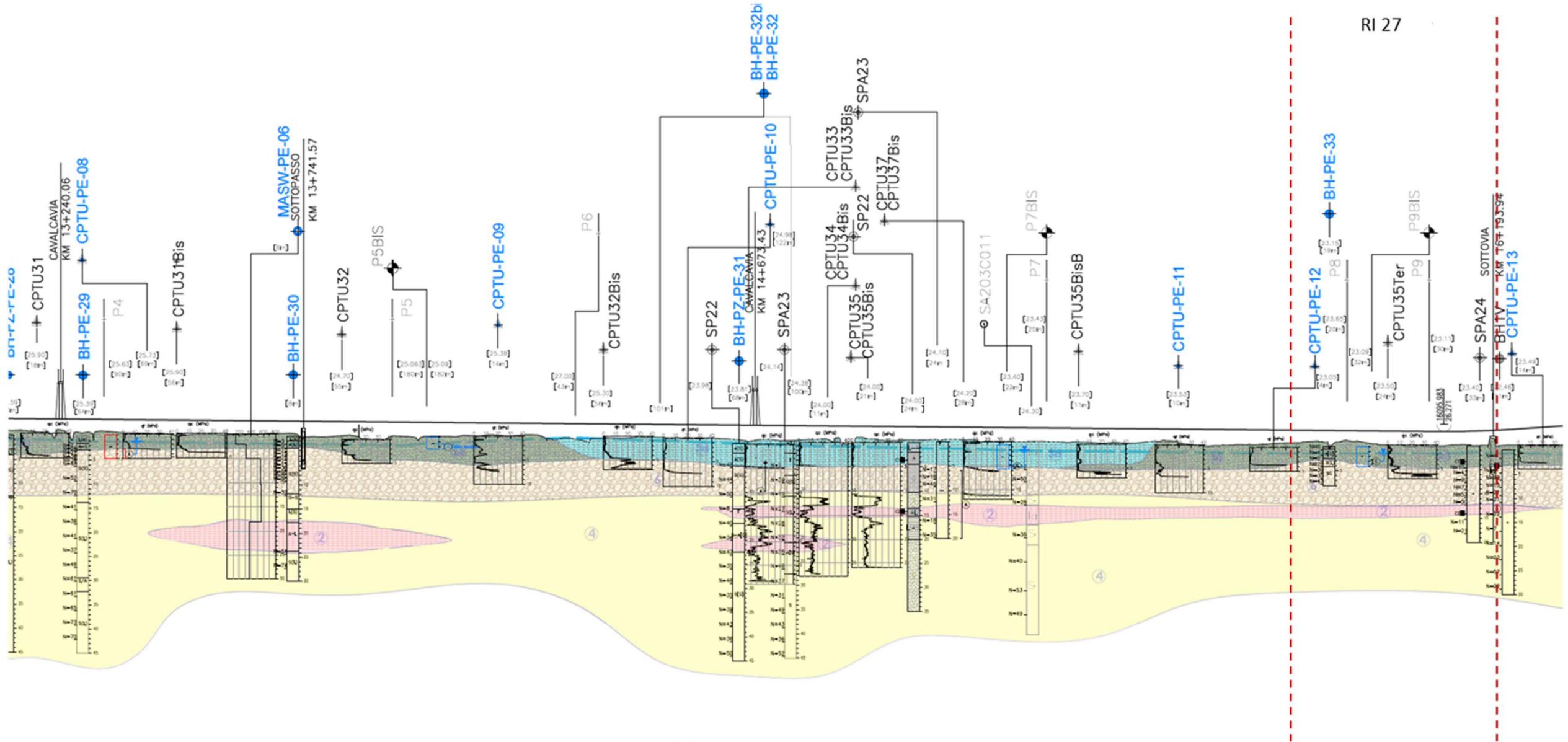
Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

54 di 88

## ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



**LEGENDA**

<b>Campagna indagini integrative PE</b>	<b>BH-PE-A</b>	Sondaggio a carotaggio continuo	<b>BH-PE-A</b>	Sondaggio con esecuzione di prova down hole
<b>BH-PE-A</b>	Sondaggio a carotaggio continuo con l'installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande	<b>CH-PE-A</b>	Sondaggio con esecuzione di prova cross hole	
<b>MAGN-PE-A</b>	Indagine MEG	<b>Indagini orientali</b>		
<b>CPTU-PE-A</b>	Prova penetrometrica statica con piezometro			
<b>Campagna indagini 2018 per CDS</b>				
<b>Sondaggio geognostico</b>				
<b>Campagna indagini 2015</b>				
<b>P1+P15, P20</b>	Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)			
<b>P1+15Bis</b>	Foro a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)			
<b>Campagna indagini 2014</b>				
<b>SP</b>	Sondaggio a carotaggio continuo			
<b>SPC</b>	Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)			
<b>SPCA</b>				
<b>SOC</b>	Foro a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)			
<b>SDA</b>				
<b>CPTU</b>	Prova penetrometrica statica con piezometro (possibilità di avanzamento con trivellazione)			
<b>CRU</b>	Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"			
<b>CH</b>	Foro a distruzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE			
<b>PE</b>	Pozzetto esplorativo a 1,5 m da p.c. con prove di carico su piastra			
<b>---</b>	Profondità delle indagini			

**Campagna indagini pregresse**

<b>S</b>	Sondaggio geognostico (campagna 1998)
<b>SA203P005</b>	Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
<b>CPTU33</b>	CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
<b>400000</b>	Pozzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (VI) per gentile concessione Centro Idrico Navoledo s.r.l.)

<b>Asse di progetto</b>	<b>confine di Provincia</b>	<b>Confine Comunale</b>
-------------------------	-----------------------------	-------------------------

**Classi dei terreni**

<b>1</b> Riporto	<b>3a</b> Area con prevalenza di sabbie limose/ con limo e limi sabbiosi/ con sabbia, a comportamento drenato, da sciolti a mediamente addensati	<b>4</b> Sabbie generalmente da debolmente limose a limose, da mediamente addensati a molto addensati
<b>2</b> Limi argillosi e limi da compatte a molto compatte, generalmente sovraconsolidati	<b>3b</b> Area con prevalenza di limi argillosi e argille limose, da tenero a mediamente compatte, generalmente NC o debolmente OC	<b>6</b> Ghiaie, ghiaie con sabbie, con presenza locale di ciottoli, anche di grandi dimensioni (fino a 80/100mm)
	<b>3c</b> Area di atterramento, sia in verticale che planimetrica, di materiali 3a e 3b	

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>RI27 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 11</p>	<p>Codifica EI2GERI270001</p>	<p>A</p>

**ALLEGATO 2 - SONDAGGI**



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2700001B

Foglio  
57 di 88



Laboratorio Sperimentale  
per prove geotecniche terre, rocce e prove in situ  
Via Collemaroni, 3 - San Vittore del Lazio (FR)  
e-mail: info@geoserving.it

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 33
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 19/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CMV1200, prog. 15+860	

SCALA 1:60 **STRATIGRAFIA - BH PE 33** Pagina 1/1

Prof. (m)	R (mm)	metri	PreL. % 0-100	RQD % 0-100	Litologia	prof. (m)	Quota (m)	Spess. (m)	Descrizione	Campioni	RP	Sondaggio			SPT	N	D	prova in situ	A	Pz
												in	S.P.T.	N						
0						0,5	0,5	0,5	Materiale di riporto, sabbia limosa debolmente argillosa, dura, colore marrone scuro. Presenti frammenti di laterzi e inclusi litici di varia natura.	SPT1) SPT 0,85 SPT 1,00	>4		2-3-3	6	A					
1									Argilla debolmente ghiaiosa, a tratti sabbiosa, da consistente a molto consistente, colore marrone chiaro con venature grigiastre.		1,5		2-2-2	4	A					
2						2,5	2,5	2,0	Sabbia limosa debolmente argillosa e ghiaiosa, fine, da sciolta a poco addensata, colore grigio-verdastro.	SPT2) SPT 1,75 SPT 2,20	2,4		1-1-1	2	A					
3										SPT3) SPT 3,00 SPT 3,45	4,2		13-12-14	26	C					
4						4,2	4,2	1,7	Sabbia ghiaiosa e ghiaia sabbiosa, da moderatamente addensata ad addensata, colore marrone scuro. Presenti ciottoli da sub-arrotondati ad arrotondati, Ø max. 7-8 cm.	SPT4) SPT 2,20 SPT 4,65	5,4		18-18-21	30	C					
5										SPT5) SPT 2,40 SPT 5,85	6,6		15-16-19	35	C					
6										SPT6) SPT 5,60 SPT 7,05	7,8		19-21-26	47	C					
7										SPT8) SPT 7,80 SPT 8,25										
8						8,0	8,0	3,8												
101						8,3	8,3	0,3												

Utilizzato carotiere semplice.  
Prelevati n. 7 campioni rimaneggiati S.P.T.  
Eseguite n. 7 prove S.P.T.  
Approvvigionamento e trasporto di acqua necessaria per la perforazione.

Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Giuseppe Pacitti

Il Responsabile della Commessa  
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2700001B

Foglio  
58 di 88

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

VICENZETTO		SCHEMA DI SONDAGGIO		COMMESSA		OBRM.14			
SECONDO PROVA/SONDAGGIO N° 12/17		PAG. 1		DI 1					
<b>COMMITTENTE</b> Consorzio Iricav Due <b>PROGETTO</b> Linea AV/AC VR-PP Sub tratta VR-VI 1° Sub lotto Verona - Montebellio V. <b>PERFEZIONAMENTO</b> SPA 24 <b>DATA INIZIO</b> 17/02/2015 <b>COORDINATE Nord</b> EM <b>RESPONSABILE</b> Ing. P. Zampieri <b>OPERATORE</b> SGL Chimaggio <b>QUOTAZIONE</b> QUOTI P.C. <b>ATTREZZATURA</b> MARYSA S.p.A.		Profondità di perforazione Profondità di campionamento Profondità di campionamento		Profondità di perforazione Profondità di campionamento Profondità di campionamento		Profondità di perforazione Profondità di campionamento Profondità di campionamento			
Descrizione stratigrafica	PROFONDITA' m da p.c.	EMBOLOGIA STRATIGRAFICA	TIPO	NUMERO	PROFONDITA' m da p.c.	POCKET REMETER Kg/m³	TORNARE Kg/m³	N	H
Linea argillosa rocciosa Linea argillosa debolmente sabbiosa rocciosa	0-40 1-30		1	0-80	0,80	1,25 1,5	0,5 0,75	2 6	4,50 4,50
Sabbia fine limosa rocciosa, da 2,00 m grigia	2-20		2	2-50	2,70	1,5	0,75	6	4,50
Argilla debolmente limosa grigia	3-20		A	3-50	3,00			6	4,50
Sabbia medio fine debolmente limosa rocciosa	5-00		3	4-50	4,50			6	4,50
Sabbia da fine a grossa debolmente limosa rocciosa con ghiaia antracitica fine e media (Dmax 4 cm)	6-00		4	7-50	7,50			6	4,50
Ghiaia poligenica antracitica in prevalenza fine e media (Dmax 5 cm) sabbiosa limosa rocciosa			5	10-50	10,50			6	4,50
Linea argillosa rocciosa, passante a grigio, da 14,50 a 14,80 m sabbia fine con limo grigia	13,50		B	13-70	13,70	1,5	0,4	6	4,50
Sabbia fine debolmente limosa, localmente limosa rocciosa	15,00		6	15-45	15,45			6	4,50
			7	18-45	18,45			7	18,45
								9	18,45
								12	18,45

PROVA	TIPO	PROFONDITA' m da p.c.	STRUMENTAZIONE	METODO DI PERFORAZIONE	ATTREZZO DI PERFORAZIONE	RIVESTIMENTO	DATA
100	100	100	100	CAROTAGGIO CONTINUO A SECCO	CAROTIERE SEMPLICE Ø 101 mm	TUBI Ø 127 mm	18/02/2015

PROVA	TIPO	PROFONDITA' m da p.c.	STRUMENTAZIONE	METODO DI PERFORAZIONE	ATTREZZO DI PERFORAZIONE	RIVESTIMENTO	DATA
150	150	150	150	CAROTIERE SEMPLICE Ø 101 mm	CAROTIERE SEMPLICE Ø 101 mm	TUBI Ø 127 mm	18/02/2015

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

59 di 88

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



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

60 di 88

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: R127\_stat.slim  
Slide Modeler Version: 7.038  
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

#### General Settings

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

#### Design Standard

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

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

#### Analysis Options

Slices Type: Vertical

##### Analysis Methods Used

Bishop simplified

Number of slices: 50  
Tolerance: 0.005  
Maximum number of iterations: 75  
Check  $m\alpha < 0.2$ : 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 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

61 di 88

SLIDEINTERPRET 7.030



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

### Seismic

Advanced seismic analysis: No  
Staged pseudostatic analysis: No

### Loading

3 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

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

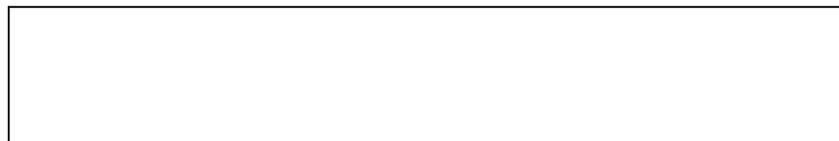
#### Distributed Load 2

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

#### Distributed Load 3

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

### Material Properties





Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

62 di 88

SLIDEINTERPRET 7.030



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

Property	Rilevato	Unità3a_s	Unità6	Unità4	COLONNE	Unità 2	scotico	3a
Color								
Strength Type	Mohr-Coulomb							
Unit Weight [kN/m3]	20	18	19	19	18	19	20	20
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	36	39	38	36	28	36	34
Water Surface	Water Table							
Hu Value	1	0	1	1	1	1	1	1

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

FS	1.450040
Center:	38.505, 29.718
Radius:	7.826
Left Slip Surface Endpoint:	31.857, 25.589
Right Slip Surface Endpoint:	43.257, 23.500
Resisting Moment:	2513.25 kN-m
Driving Moment:	1733.23 kN-m
Total Slice Area:	22.8313 m <sup>2</sup>
Surface Horizontal Width:	11.3997 m
Surface Average Height:	2.0028 m

**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

Number of Valid Surfaces: 1685  
Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.45004





Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI2700001B

63 di 88

SLIDEINTERPRET 7.030



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	0.237047	0.851484	-56.5784	Rilevato	0	32.0066	25.536	37.0282	59.2423	0	59.2423	97.9379	97.9379
2	0.237047	2.46352	-53.5424	Rilevato	0	32.0066	28.512	41.3436	66.1466	0	66.1466	104.738	104.738
3	0.237047	3.91088	-50.7115	Rilevato	0	32.0066	31.2919	45.3745	72.5958	0	72.5958	110.843	110.843
4	0.237047	5.2227	-48.0431	Rilevato	0	32.0066	33.9063	49.1655	78.6613	0	78.6613	116.375	116.375
5	0.237047	6.41965	-45.5068	Rilevato	0	32.0066	36.3778	52.7493	84.3951	0	84.3951	121.422	121.422
6	0.237047	7.51706	-43.0805	Rilevato	0	32.0066	38.7236	56.1507	89.8369	0	89.8369	126.049	126.049
7	0.237047	8.52665	-40.747	Rilevato	0	32.0066	40.9569	59.3891	95.0181	0	95.0181	130.305	130.305
8	0.237047	9.45762	-38.4928	Rilevato	0	32.0066	23.7236	34.4002	55.0377	0	55.0377	73.9035	73.9035
9	0.133806	5.7246	-36.7726	scotico	0	30.1666	17.6508	25.5943	44.0344	0	44.0344	57.2257	57.2257
10	0.201385	9.10389	-35.2583	scotico	0	30.1666	18.4122	26.6984	46.6325	0.698317	45.9342	59.6489	58.9506
11	0.201385	9.65875	-33.4717	scotico	0	30.1666	19.1237	27.7301	49.7588	2.04974	47.709	62.4029	60.3531
12	0.201385	10.1776	-31.7212	scotico	0	30.1666	19.8094	28.7244	52.7333	3.31342	49.4199	64.978	61.6646
13	0.2361	12.5139	-29.858	COLONNE	0	30.1666	20.4809	29.6981	55.6836	4.58879	51.0948	67.4407	62.8519
14	0.2361	13.0674	-27.8836	COLONNE	0	30.1666	21.1374	30.6501	58.599	5.86632	52.7327	69.7829	63.9166
15	0.2361	13.5769	-25.9446	COLONNE	0	30.1666	21.768	31.5644	61.3482	7.04251	54.3057	71.9391	64.8966
16	0.2361	14.0447	-24.0371	COLONNE	0	30.1666	19.8141	28.7312	57.5537	8.12246	49.4313	66.3909	58.2684
17	0.2361	14.4728	-22.1575	COLONNE	0	30.1666	17.9921	26.0892	53.9964	9.11056	44.8858	61.3232	52.2127
18	0.2361	14.8627	-20.3027	COLONNE	0	30.1666	18.4878	26.8081	56.1333	10.0106	46.1227	62.9731	52.9625
19	0.2361	15.2159	-18.4699	COLONNE	0	30.1666	18.9628	27.4968	58.1334	10.8259	47.3075	64.4672	53.6413
20	0.2361	15.5336	-16.6566	COLONNE	0	30.1666	19.4177	28.1564	60.0014	11.5592	48.4422	65.8109	54.2517
21	0.2361	15.8168	-14.8602	COLONNE	0	30.1666	19.8529	28.7875	61.7411	12.2129	49.5282	67.0088	54.7959
22	0.2361	16.0664	-13.0787	COLONNE	0	30.1666	20.2691	29.391	63.3559	12.7892	50.5667	68.0648	55.2756
23	0.2361	16.2815	-11.31	COLONNE	0	30.1666	20.6637	29.9632	64.8408	13.2899	51.5509	68.9735	55.6836
24	0.2361	16.0444	-9.55213	COLONNE	0	30.1666	20.3718	29.5399	64.5389	13.7164	50.8225	67.9671	54.2507
25	0.2361	15.454	-7.80332	COLONNE	0	30.1666	19.5281	28.3165	62.7879	14.07	48.7179	65.4641	51.3941
26	0.2361	14.8324	-6.0618	COLONNE	0	30.1666	18.6383	27.0263	60.8497	14.3516	46.4981	62.829	48.4774
27	0.2361	14.18	-4.32589	COLONNE	0	30.1666	17.7021	25.6687	58.7246	14.5622	44.1624	60.0637	45.5015
28	0.2361	13.4971	-2.59395	COLONNE	0	30.1666	16.7188	24.243	56.4118	14.7023	41.7095	57.1692	42.4669
29	0.2361	12.7838	0.864389	COLONNE	0	30.1666	15.6878	22.748	53.9095	14.7722	39.1373	54.1462	39.374
30	0.2361	12.0402	0.864389	COLONNE	0	30.1666	14.608	21.1822	51.2156	14.7722	36.4434	50.9952	36.223
31	0.2361	11.2662	2.59395	COLONNE	0	30.1666	13.478	19.5436	48.3265	14.7023	33.6242	47.7159	33.0136
32	0.2361	10.462	4.32589	COLONNE	0	30.1666	12.2964	17.8302	45.2388	14.5622	30.6766	44.3086	29.7464
33	0.2361	9.62711	6.0618	COLONNE	0	30.1666	11.0611	16.039	41.9464	14.3516	27.5948	40.7717	26.4201
34	0.2361	8.76147	7.80332	COLONNE	0	30.1666	9.76994	14.1668	38.4436	14.07	24.3736	37.1047	23.0347
35	0.2361	7.86467	9.55213	COLONNE	0	30.1666	8.42032	12.2098	34.7231	13.7164	21.0067	33.3061	19.5897
36	0.2361	6.9363	11.31	COLONNE	0	30.1666	7.00912	10.1635	30.7759	13.2899	17.486	29.374	16.0841
37	0.2361	6.21587	13.0787	COLONNE	0	30.1666	5.9818	8.67385	27.7124	12.7892	14.9232	26.3227	13.5335
38	0.2361	5.95185	14.8602	COLONNE	0	30.1666	5.82709	8.44952	26.7501	12.2129	14.5372	25.204	12.9911
39	0.2361	5.66864	16.6566	COLONNE	0	30.1666	5.66813	8.21901	25.6998	11.5592	14.1406	24.0039	12.4447
40	0.2361	5.35097	18.4699	COLONNE	0	30.1666	5.47595	7.94034	24.487	10.8259	13.6611	22.658	11.8321
41	0.2361	4.99779	20.3027	COLONNE	0	30.1666	5.24811	7.60997	23.1034	10.0106	13.0928	21.1618	11.1512
42	0.2361	4.60788	22.1575	COLONNE	0	30.1666	4.9817	7.22366	21.5387	9.11056	12.4281	19.51	10.3995
43	0.2361	4.17982	24.0371	COLONNE	0	30.1666	4.67325	6.7764	19.7811	8.12246	11.6586	17.6968	9.57436
44	0.2361	3.71198	25.9446	COLONNE	0	30.1666	4.31858	6.26212	17.8163	7.04251	10.7738	15.7152	8.67268
45	0.2361	3.20244	27.8836	COLONNE	0	30.1666	3.91261	5.67344	15.6273	5.86632	9.76102	13.5572	7.69084
46	0.2361	2.649	29.858	COLONNE	0	30.1666	3.44902	5.00121	13.1933	4.58879	8.60449	11.2134	6.62458
47	0.185378	1.64194	31.6518	scotico	0	30.1666	2.92172	4.23661	10.6525	3.36347	7.28899	8.85137	5.4879
48	0.209388	1.32659	33.3667	3a	0	28.3516	2.07255	3.00528	7.69599	2.12659	5.5694	6.33112	4.20453
49	0.209388	0.728318	35.2228	3a	0	28.3516	1.38806	2.01274	4.45514	0.725115	3.73002	3.47514	2.75003
50	0.133806	0.133806	36.7726	3a	0	28.3516	0.514854	0.746559	1.38352	0	1.38352	0.998748	0.998748

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.45004

--



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

64 di 88

SLIDEINTERPRET 7.030



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	31.8572	25.5891	0	0	0
2	32.0942	25.2299	15.2467	0	0
3	32.3313	24.9091	29.7329	0	0
4	32.5683	24.6194	43.3728	0	0
5	32.8054	24.3557	56.1019	0	0
6	33.0424	24.1144	67.8694	0	0
7	33.2794	23.8927	78.6344	0	0
8	33.5165	23.6885	88.3629	0	0
9	33.7535	23.5	93.1326	0	0
10	33.8873	23.4	95.182	0	0
11	34.0887	23.2576	98.1251	0	0
12	34.2901	23.1245	100.912	0	0
13	34.4915	23	103.5	0	0
14	34.7276	22.8645	106.227	0	0
15	34.9637	22.7395	108.573	0	0
16	35.1998	22.6247	110.497	0	0
17	35.4359	22.5194	111.895	0	0
18	35.672	22.4232	112.853	0	0
19	35.9081	22.3359	113.405	0	0
20	36.1442	22.257	113.527	0	0
21	36.3803	22.1864	113.196	0	0
22	36.6164	22.1237	112.391	0	0
23	36.8525	22.0689	111.096	0	0
24	37.0886	22.0217	109.295	0	0
25	37.3247	21.9819	107.065	0	0
26	37.5608	21.9496	104.501	0	0
27	37.7969	21.9245	101.641	0	0
28	38.033	21.9066	98.5239	0	0
29	38.2691	21.8959	95.1928	0	0
30	38.5052	21.8924	91.693	0	0
31	38.7413	21.8959	88.0728	0	0
32	38.9774	21.9066	84.3841	0	0
33	39.2135	21.9245	80.6824	0	0
34	39.4496	21.9496	77.0277	0	0
35	39.6857	21.9819	73.4846	0	0
36	39.9218	22.0217	70.1235	0	0
37	40.1579	22.0689	67.0208	0	0
38	40.394	22.1237	64.0931	0	0
39	40.6301	22.1864	61.046	0	0
40	40.8662	22.257	57.8967	0	0
41	41.1023	22.3359	54.677	0	0
42	41.3384	22.4232	51.4239	0	0
43	41.5745	22.5194	48.1807	0	0
44	41.8106	22.6247	44.9979	0	0
45	42.0467	22.7395	41.935	0	0
46	42.2828	22.8645	39.0621	0	0
47	42.5189	23	36.4623	0	0
48	42.7043	23.1143	34.7051	0	0
49	42.9137	23.2522	33.2113	0	0
50	43.1231	23.4	32.263	0	0
51	43.2569	23.5	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	23.4
61	23.4

Distributed Load

X	Y
35.3125	25.5891
25.0113	25.5891



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

65 di 88

SLIDEINTERPRET 7.030



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

**Distributed Load**

X	Y
29.2826	25.5891
26.6717	25.5891

**Distributed Load**

X	Y
33.5745	25.5891
30.9457	25.5891

**External Boundary**

X	Y
0	0
60.3906	0
60.3906	7.5
60.3906	9.5
60.3906	17.5
60.3906	18.5
60.3906	19.5
60.3906	23.5
42.7043	23.5
40.2043	23.5
37.0721	25.5891
23.1321	25.5891
20	23.5
17.5	23.5
0	23.5
0	19.5
0	18.5
0	17.5
0	9.5
0	7.5

**Material Boundary**

X	Y
17.5	23.5
17.5	23
17.5	19.5
42.7043	19.5
60.3906	19.5

**Material Boundary**

X	Y
20	23.5
40.2043	23.5

**Material Boundary**

X	Y
42.7043	19.5
42.7043	23
42.7043	23.5

**Material Boundary**

X	Y
17.5	23
42.7043	23

**Material Boundary**

X	Y
0	19.5
17.5	19.5

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

66 di 88

SLIDEINTERPRET 7.030



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

**Material Boundary**

X	Y
0	18.5
60.3906	18.5

**Material Boundary**

X	Y
0	17.5
60.3906	17.5

**Material Boundary**

X	Y
0	9.5
60.3906	9.5

**Material Boundary**

X	Y
0	7.5
60.3906	7.5

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI2700001B	67 di 88

**ALLEGATO 4- TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU IN CAMPO SIMSICO**



## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: RI27\_sism.slim  
 Slide Modeler Version: 7.038  
 Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
 Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

#### General Settings

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

#### Design Standard

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

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

#### Analysis Options

Slices Type: Vertical

##### Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

#### Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

69 di 88

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

### Seismic

Advanced seismic analysis: No  
Staged pseudostatic analysis: No

### Loading

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

3 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

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

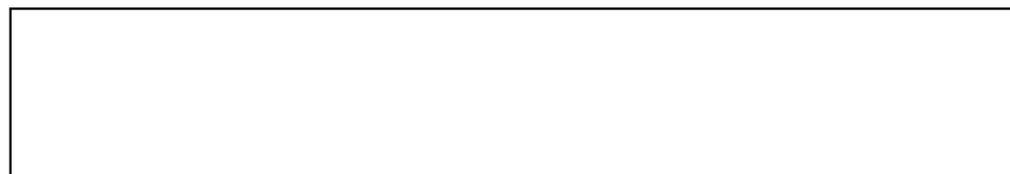
#### Distributed Load 2

Distribution: Constant  
Magnitude [kPa]: 12.2  
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 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

70 di 88

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Property	Rilevato	Unità3a_s	Unità6	Unità4	COLONNE	Unità 2	scotico	3a
Color								
Strength Type	Mohr-Coulomb							
Unit Weight [kN/m3]	20	18	19	19	18	19	20	18
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	36	39	38	36	28	36	34
Water Surface	Water Table							
Hu Value	1	0	1	1	1	1	1	1

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

<b>FS</b>	<b>1.183040</b>
Center:	39.862, 27.005
Radius:	3.977
Left Slip Surface Endpoint:	36.145, 25.589
Right Slip Surface Endpoint:	41.741, 23.500
Resisting Moment:	195.453 kN-m
Driving Moment:	165.213 kN-m
Total Slice Area:	4.95318 m2
Surface Horizontal Width:	5.59617 m
Surface Average Height:	0.885103 m

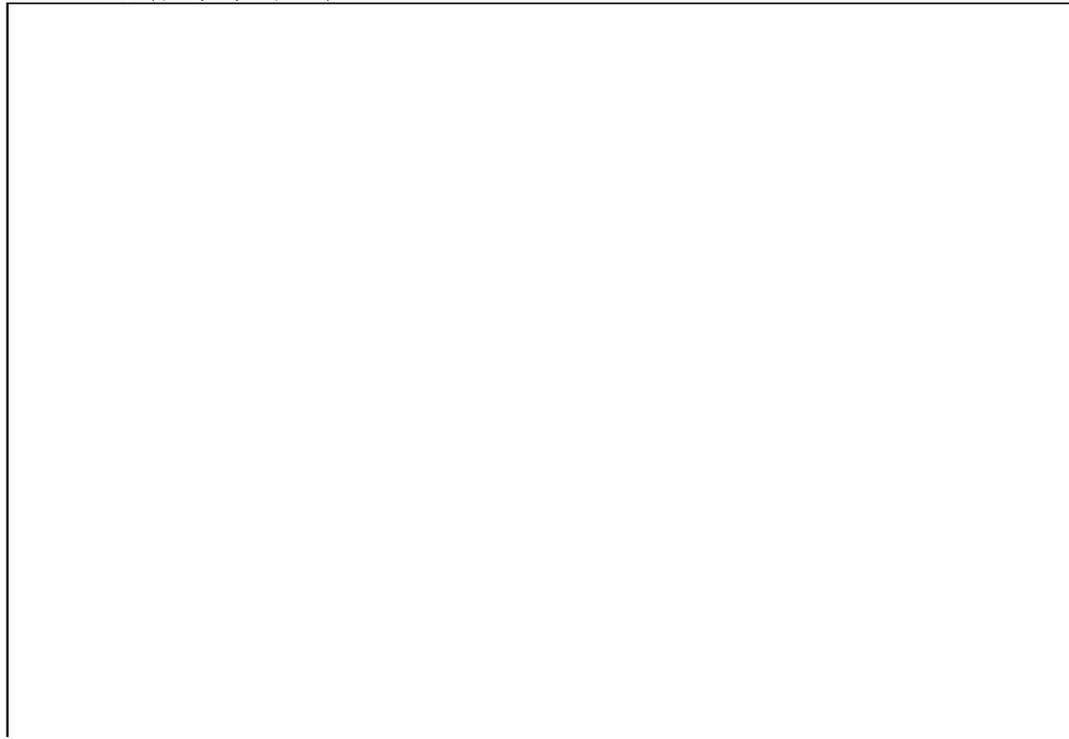
**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

Number of Valid Surfaces: 1082  
Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.18304





Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
E12RBRI2700001B

Foglio  
71 di 88

SLIDEINTERPRET 7.038

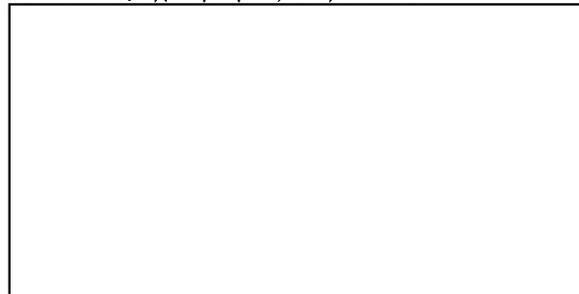


SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 7

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	0.114831	0.310981	-67.0222	Rilevato	0	32.0066	0.610553	0.722309	1.15564	0	1.15564	2.59557	2.59557
2	0.114831	0.881605	-63.0762	Rilevato	0	32.0066	1.90529	2.25404	3.6063	0	3.6063	7.35797	7.35797
3	0.114831	1.36613	-59.6139	Rilevato	0	32.0066	3.16868	3.74868	5.99761	0	5.99761	11.4015	11.4015
4	0.114831	1.79008	-56.4806	Rilevato	0	32.0066	4.39071	5.19438	8.31064	0	8.31064	14.9394	14.9394
5	0.114831	2.16793	-53.5892	Rilevato	0	32.0066	5.5693	6.5887	10.5414	0	10.5414	18.0925	18.0925
6	0.114831	2.50888	-50.8845	Rilevato	0	32.0066	6.70513	7.93244	12.6913	0	12.6913	20.9374	20.9374
7	0.114831	2.81919	-48.3293	Rilevato	0	32.0066	7.79984	9.22752	14.7633	0	14.7633	23.5267	23.5267
8	0.114831	3.1034	-45.8966	Rilevato	0	32.0066	8.85532	10.4762	16.7611	0	16.7611	25.898	25.898
9	0.114831	3.28975	-43.5666	Rilevato	0	32.0066	9.65301	11.4199	18.271	0	18.271	27.4527	27.4527
10	0.114831	3.35572	-41.3236	Rilevato	0	32.0066	10.1019	11.951	19.1207	0	19.1207	28.0029	28.0029
11	0.114831	3.40313	-39.1556	Rilevato	0	32.0066	10.4903	12.4105	19.8559	0	19.8559	28.3981	28.3981
12	0.114831	3.43415	-37.0525	Rilevato	0	32.0066	10.823	12.804	20.4854	0	20.4854	28.6566	28.6566
13	0.114831	3.45015	-35.0063	Rilevato	0	32.0066	11.1022	13.1344	21.0141	0	21.0141	28.7898	28.7898
14	0.114831	3.45227	-33.0101	Rilevato	0	32.0066	11.3306	13.4045	21.4461	0	21.4461	28.8071	28.8071
15	0.114831	3.44144	-31.0582	Rilevato	0	32.0066	11.5095	13.6162	21.7849	0	21.7849	28.7165	28.7165
16	0.114831	3.41848	-29.1456	Rilevato	0	32.0066	11.6407	13.7714	22.0333	0	22.0333	28.5246	28.5246
17	0.0998948	2.94644	-27.3882	scotico	0	30.1666	11.0677	13.0935	22.5271	0	22.5271	28.2611	28.2611
18	0.0998948	2.91321	-25.7788	scotico	0	30.1666	11.0954	13.1263	22.5836	0	22.5836	27.9422	27.9422
19	0.111976	3.21741	-24.0962	scotico	0	30.1666	10.9901	13.0017	22.6148	0.245645	22.3691	27.53	27.2843
20	0.111976	3.15775	-22.3406	scotico	0	30.1666	10.7516	12.7196	22.6008	0.717007	21.8838	27.0193	26.3023
21	0.111976	3.08916	-20.6069	scotico	0	30.1666	10.4847	12.4038	22.4897	1.14925	21.3404	26.4321	25.2828
22	0.111976	3.01195	-18.8927	scotico	0	30.1666	10.1897	12.0548	22.2838	1.54374	20.7401	25.7711	24.2274
23	0.111976	2.9264	-17.196	scotico	0	30.1666	9.86712	11.6732	21.9852	1.90169	20.0835	25.0388	23.1371
24	0.111976	2.83274	-15.5146	scotico	0	30.1666	9.51718	11.2592	21.5953	2.22414	19.3712	24.2373	22.0131
25	0.111976	2.73119	-13.8468	scotico	0	30.1666	9.13984	10.8128	21.1152	2.51199	18.6033	23.3681	20.8561
26	0.111976	2.62192	-12.191	scotico	0	30.1666	8.73529	10.3342	20.5458	2.76603	17.7798	22.433	19.667
27	0.111976	2.50509	-10.5454	scotico	0	30.1666	8.30329	9.82313	19.8874	2.98694	16.9005	21.4331	18.4462
28	0.111976	2.38081	-8.90858	scotico	0	30.1666	7.84367	9.27937	19.1403	3.17528	15.965	20.3698	17.1945
29	0.111976	2.24922	-7.27906	scotico	0	30.1666	7.35607	8.70253	18.304	3.33153	14.9725	19.2436	15.9121
30	0.111976	2.11038	-5.65545	scotico	0	30.1666	6.84006	8.09207	17.3783	3.45608	13.9222	18.0557	14.5996
31	0.111976	1.96438	-4.03639	scotico	0	30.1666	6.29506	7.44731	16.3621	3.54923	12.8129	16.8063	13.2571
32	0.111976	1.81126	-2.42055	scotico	0	30.1666	5.72037	6.76743	15.2544	3.6112	11.6432	15.4962	11.885
33	0.111976	1.65106	-0.806636	scotico	0	30.1666	5.11514	6.05142	14.0535	3.64215	10.4114	14.1255	10.4834
34	0.111976	1.4838	0.806636	scotico	0	30.1666	4.47839	5.29811	12.7574	3.64215	9.11525	12.6943	9.05219
35	0.111976	1.30946	2.42055	scotico	0	30.1666	3.80891	4.50609	11.3638	3.6112	7.75265	11.2028	7.59164
36	0.111976	1.12805	4.03639	scotico	0	30.1666	3.10535	3.67375	9.86986	3.54923	6.32063	9.65073	6.1015
37	0.111976	1.01325	5.65545	scotico	0	30.1666	2.69189	3.18461	8.93514	3.45608	5.47906	8.66857	5.21249
38	0.111976	0.98451	7.27906	scotico	0	30.1666	2.66873	3.15722	8.76345	3.33153	5.43192	8.42257	5.09104
39	0.111976	0.94884	8.90858	scotico	0	30.1666	2.63065	3.11217	8.52969	3.17528	5.35441	8.11734	4.94206
40	0.111976	0.905843	10.5454	scotico	0	30.1666	2.57539	3.04679	8.22887	2.98694	5.24193	7.74944	4.7625
41	0.111976	0.855412	12.191	scotico	0	30.1666	2.50194	2.95989	7.85846	2.76603	5.09243	7.31794	4.55191
42	0.111976	0.797416	13.8468	scotico	0	30.1666	2.40915	2.85012	7.41555	2.51199	4.90356	6.82172	4.30973
43	0.111976	0.731702	15.5146	scotico	0	30.1666	2.29568	2.71588	6.89675	2.22414	4.67261	6.25947	4.03533
44	0.111976	0.658091	17.196	scotico	0	30.1666	2.16	2.55537	6.29814	1.90169	4.39645	5.62968	3.72799
45	0.111976	0.576375	18.8927	scotico	0	30.1666	2.00429	2.36642	5.61512	1.54374	4.07138	4.93055	3.38681
46	0.111976	0.486315	20.6069	scotico	0	30.1666	1.81442	2.14653	4.84231	1.14925	3.69306	4.16006	3.01081
47	0.111976	0.387639	22.3406	scotico	0	30.1666	1.59985	1.89269	3.97335	0.717007	3.25634	3.31587	2.59887
48	0.111976	0.280031	24.0962	scotico	0	30.1666	1.35356	1.60131	3.00066	0.245645	2.75501	2.39529	2.14965
49	0.0998948	0.151595	25.7788	scotico	0	30.1666	0.936241	1.10761	1.90562	0	1.90562	1.45345	1.45345
50	0.0998948	0.0517001	27.3882	scotico	0	30.1666	0.32668	0.386476	0.664923	0	0.664923	0.495673	0.495673

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.18304





Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

72 di 88

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	36.1448	25.5891	0	0	0
2	36.2596	25.3183	0.268724	0	0
3	36.3745	25.0922	0.938707	0	0
4	36.4893	24.8964	1.86305	0	0
5	36.6041	24.723	2.9486	0	0
6	36.7189	24.5673	4.13073	0	0
7	36.8338	24.4261	5.3619	0	0
8	36.9486	24.2971	6.60566	0	0
9	37.0634	24.1786	7.83308	0	0
10	37.1783	24.0694	8.99419	0	0
11	37.2931	23.9684	10.0442	0	0
12	37.4079	23.8749	10.9796	0	0
13	37.5228	23.7882	11.7988	0	0
14	37.6376	23.7078	12.5014	0	0
15	37.7524	23.6332	13.0877	0	0
16	37.8673	23.564	13.5593	0	0
17	37.9821	23.5	13.9183	0	0
18	38.082	23.4482	14.224	0	0
19	38.1819	23.4	14.4479	0	0
20	38.2939	23.3499	14.6178	0	0
21	38.4058	23.3039	14.717	0	0
22	38.5178	23.2618	14.7472	0	0
23	38.6298	23.2235	14.7111	0	0
24	38.7418	23.1888	14.6118	0	0
25	38.8537	23.1577	14.4534	0	0
26	38.9657	23.1301	14.2402	0	0
27	39.0777	23.1059	13.9775	0	0
28	39.1897	23.0851	13.671	0	0
29	39.3016	23.0675	13.3269	0	0
30	39.4136	23.0532	12.9524	0	0
31	39.5256	23.0422	12.5549	0	0
32	39.6376	23.0343	12.1429	0	0
33	39.7495	23.0295	11.7254	0	0
34	39.8615	23.0279	11.3123	0	0
35	39.9735	23.0295	10.9143	0	0
36	40.0855	23.0343	10.543	0	0
37	40.1975	23.0422	10.2112	0	0
38	40.3094	23.0532	9.895	0	0
39	40.4214	23.0675	9.55278	0	0
40	40.5334	23.0851	9.18748	0	0
41	40.6454	23.1059	8.80298	0	0
42	40.7573	23.1301	8.40393	0	0
43	40.8693	23.1577	7.99589	0	0
44	40.9813	23.1888	7.58538	0	0
45	41.0933	23.2235	7.18007	0	0
46	41.2052	23.2618	6.78892	0	0
47	41.3172	23.3039	6.42239	0	0
48	41.4292	23.3499	6.09271	0	0
49	41.5412	23.4	5.81423	0	0
50	41.6411	23.4482	5.64143	0	0
51	41.741	23.5	0	0	0

### List Of Coordinates

#### Water Table

X	Y
-1	23.4
61	23.4

#### Distributed Load

X	Y
35.3125	25.5891
25.0113	25.5891

#### Distributed Load



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

73 di 88

SLIDEINTERPRET 7.038



X	Y
29.2826	25.5891
26.6717	25.5891

**Distributed Load**

X	Y
33.5745	25.5891
30.9457	25.5891

**External Boundary**

X	Y
0	0
60.3906	0
60.3906	7.5
60.3906	9.5
60.3906	17.5
60.3906	18.5
60.3906	19.5
60.3906	23.5
42.7043	23.5
40.2043	23.5
37.0721	25.5891
23.1321	25.5891
20	23.5
17.5	23.5
0	23.5
0	19.5
0	18.5
0	17.5
0	9.5
0	7.5

**Material Boundary**

X	Y
17.5	23.5
17.5	23
17.5	19.5
42.7043	19.5
60.3906	19.5

**Material Boundary**

X	Y
20	23.5
40.2043	23.5

**Material Boundary**

X	Y
42.7043	19.5
42.7043	23
42.7043	23.5

**Material Boundary**

X	Y
17.5	23
42.7043	23

**Material Boundary**

X	Y
0	19.5
17.5	19.5

**Material Boundary**



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

74 di 88

SLIDEINTERPRET 7.038



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

X	Y
0	18.5
60.3906	18.5

**Material Boundary**

X	Y
0	17.5
60.3906	17.5

**Material Boundary**

X	Y
0	9.5
60.3906	9.5

**Material Boundary**

X	Y
0	7.5
60.3906	7.5

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

75 di 88

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI2700001B	76 di 88

**ALLEGATO 5 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU POST SISMA**



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

77 di 88

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: RI27\_post.slim  
Slide Modeler Version: 7.038  
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

#### General Settings

Units of Measurement: Metric Units  
Time Units: days  
Permeability Units: meters/second  
Failure Direction: Left to Right  
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 piezoms: Yes  
Initial trial value of FS: 1  
Steffensen Iteration: Yes

#### Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

78 di 88

SLIDEINTERPRET 7.038

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



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

### Random Numbers

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

### Surface Options

Surface Type: Circular  
Search Method: Auto Refine Search  
Divisions along slope: 10  
Circles per division: 10  
Number of iterations: 10  
Divisions to use in next iteration: 50%  
Composite Surfaces: Disabled  
Minimum Elevation: Not Defined  
Minimum Depth [m]: 1.5  
Minimum Area: Not Defined  
Minimum Weight: Not Defined

### Seismic

Advanced seismic analysis: No  
Staged pseudostatic analysis: No

### Loading

3 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

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

#### Distributed Load 2

Distribution: Constant  
Magnitude [kPa]: 12.2  
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

Property	Rilevato	Unità3a_s	Unità6	Unità4	COLONNE	Unità 2	scotico	3a_liq
Color								
Strength Type	Mohr-Coulomb							
Unit Weight [kN/m3]	20	18	19	19	18	19	20	20
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	36	39	38	36	28	36	5.7
Water Surface	Water Table							
Hu Value	1	0	1	1	1	1	1	1



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

79 di 88

SLIDEINTERPRET 7.038



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

### Global Minimums

#### Method: bishop simplified

	FS	1.429150
Center:	39.735, 26.945	
Radius:	3.855	
Left Slip Surface Endpoint:	36.127, 25.589	
Right Slip Surface Endpoint:	41.466, 23.500	
Resisting Moment:	200.308 kN-m	
Driving Moment:	140.159 kN-m	
Total Slice Area:	4.73891 m <sup>2</sup>	
Surface Horizontal Width:	5.33913 m	
Surface Average Height:	0.887582 m	

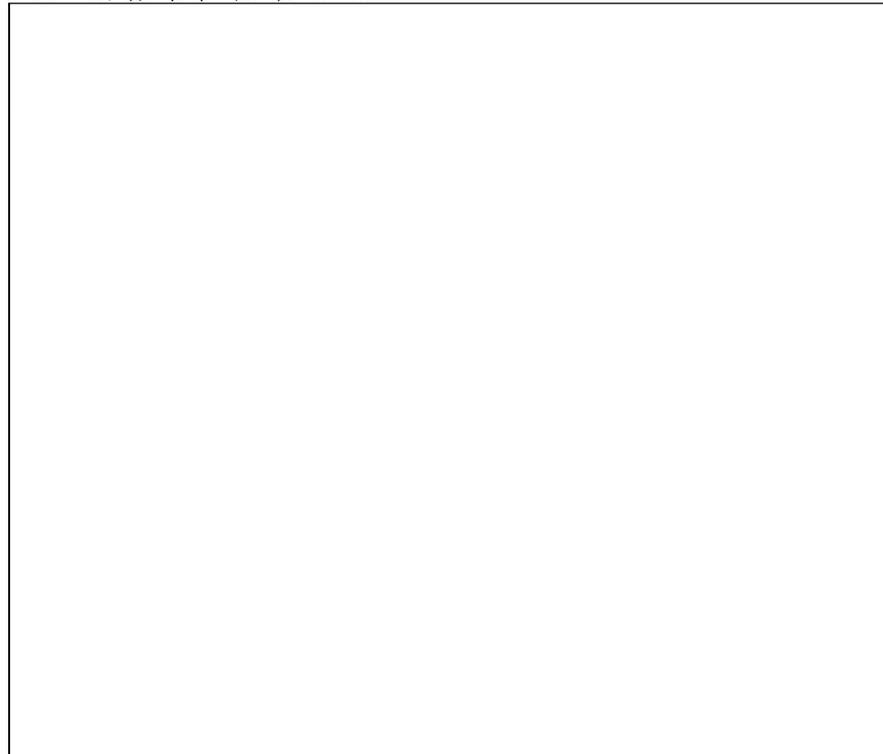
### Valid / Invalid Surfaces

#### Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 952  
Number of Invalid Surfaces: 0

### Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.42915





Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2700001B

Foglio  
80 di 88

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	0.104353	0.261517	-67.3932	Rilevato	0	32.0066	0.534739	0.764222	1.2227	0	1.2227	2.5069	2.5069
2	0.104353	0.742685	-63.6292	Rilevato	0	32.0066	1.65423	2.36414	3.78246	0	3.78246	7.11915	7.11915
3	0.104353	1.15338	-60.3168	Rilevato	0	32.0066	2.73594	3.91007	6.25584	0	6.25584	11.0557	11.0557
4	0.104353	1.51414	-57.3144	Rilevato	0	32.0066	3.77459	5.39445	8.63072	0	8.63072	14.5135	14.5135
5	0.104353	1.83676	-54.5414	Rilevato	0	32.0066	4.77036	6.81756	10.9076	0	10.9076	17.6056	17.6056
6	0.104353	2.12877	-51.9463	Rilevato	0	32.0066	5.7251	8.18203	13.0907	0	13.0907	20.4043	20.4043
7	0.104353	2.39535	-49.494	Rilevato	0	32.0066	6.64111	9.49114	15.1852	0	15.1852	22.9593	22.9593
8	0.104353	2.64026	-47.1595	Rilevato	0	32.0066	7.52069	10.7482	17.1963	0	17.1963	25.3063	25.3063
9	0.104353	2.86629	-44.9236	Rilevato	0	32.0066	8.36588	11.9561	19.1289	0	19.1289	27.4725	27.4725
10	0.104353	3.01158	-42.7718	Rilevato	0	32.0066	8.98758	12.8446	20.5505	0	20.5505	28.8648	28.8648
11	0.104353	3.06096	-40.6924	Rilevato	0	32.0066	9.32414	13.3256	21.3199	0	21.3199	29.3378	29.3378
12	0.104353	3.0965	-38.6762	Rilevato	0	32.0066	9.6139	13.7397	21.9826	0	21.9826	29.6782	29.6782
13	0.104353	3.11962	-36.7154	Rilevato	0	32.0066	9.86027	14.0918	22.5458	0	22.5458	29.8995	29.8995
14	0.104353	3.13126	-34.8034	Rilevato	0	32.0066	10.0652	14.3847	23.0145	0	23.0145	30.0108	30.0108
15	0.104353	3.13223	-32.9349	Rilevato	0	32.0066	10.2306	14.621	23.3926	0	23.3926	30.0199	30.0199
16	0.104353	3.12321	-31.1051	Rilevato	0	32.0066	10.3578	14.8029	23.6837	0	23.6837	29.9332	29.9332
17	0.104353	3.10478	-29.31	Rilevato	0	32.0066	10.4484	14.9323	23.8906	0	23.8906	29.7563	29.7563
18	0.104353	3.07744	-27.546	Rilevato	0	32.0066	10.5032	15.0106	24.0158	0	24.0158	29.4941	29.4941
19	0.107684	3.13801	-25.7825	scotico	0	30.1666	9.90659	14.158	24.3585	0	24.3585	29.1438	29.1438
20	0.107684	3.091	-24.0176	scotico	0	30.1666	9.88392	14.1256	24.3029	0	24.3029	28.7071	28.7071
21	0.108215	3.0503	-22.2724	scotico	0	30.1666	9.75195	13.937	24.1958	0.217397	23.9784	28.1899	27.9725
22	0.108215	2.98594	-20.5445	scotico	0	30.1666	9.51482	13.5981	24.0289	0.633722	23.3952	27.5948	26.961
23	0.108215	2.91355	-18.836	scotico	0	30.1666	9.25445	13.226	23.7687	1.01372	22.755	26.9256	25.9119
24	0.108215	2.83341	-17.1446	scotico	0	30.1666	8.97128	12.8213	23.4172	1.35854	22.0587	26.1848	24.8263
25	0.108215	2.74572	-15.4685	scotico	0	30.1666	8.66557	12.3844	22.9762	1.66917	21.307	25.3743	23.7051
26	0.108215	2.65069	-13.8059	scotico	0	30.1666	8.33754	11.9156	22.447	1.9465	20.5005	24.4958	22.5493
27	0.108215	2.54847	-12.1551	scotico	0	30.1666	7.98734	11.4151	21.8306	2.19126	19.6394	23.551	21.3598
28	0.108215	2.43921	-10.5145	scotico	0	30.1666	7.61495	10.8829	21.1278	2.4041	18.7237	22.5411	20.137
29	0.108215	2.32302	-8.88257	scotico	0	30.1666	7.22031	10.3189	20.339	2.58557	17.7534	21.4674	18.8818
30	0.108215	2.20002	-7.25787	scotico	0	30.1666	6.80325	9.72287	19.4641	2.73613	16.728	20.3305	17.5944
31	0.108215	2.07028	-5.63902	scotico	0	30.1666	6.36362	9.09457	18.5031	2.85614	15.647	19.1314	16.2753
32	0.108215	1.93386	-4.02468	scotico	0	30.1666	5.90105	8.43349	17.4555	2.94589	14.5097	17.8707	14.9249
33	0.108215	1.79082	-2.41353	scotico	0	30.1666	5.41516	7.73908	16.3205	3.00561	13.3149	16.5488	13.5431
34	0.108215	1.64118	-0.8043	scotico	0	30.1666	4.90543	7.0106	15.097	3.03544	12.0616	15.1659	12.1304
35	0.108215	1.48496	0.8043	scotico	0	30.1666	4.37126	6.24718	13.7835	3.03544	10.7481	13.7222	10.6867
36	0.108215	1.32216	2.41353	scotico	0	30.1666	3.8119	5.44778	12.3784	3.00561	9.37276	12.2177	9.21209
37	0.108215	1.15276	4.02468	scotico	0	30.1666	3.22653	4.6112	10.8794	2.94589	7.93351	10.6524	7.70649
38	0.108215	0.976743	5.63902	scotico	0	30.1666	2.61415	3.73601	9.28383	2.85614	6.42769	9.02572	6.16958
39	0.108215	0.828762	7.25787	scotico	0	30.1666	2.11118	3.01719	7.92714	2.73613	5.19101	7.65827	4.92214
40	0.108215	0.786867	8.88257	scotico	0	30.1666	2.03494	2.90824	7.58913	2.58557	5.00356	7.2711	4.68553
41	0.108215	0.74683	10.5145	scotico	0	30.1666	1.97825	2.82721	7.26826	2.4041	4.86416	6.9011	4.497
42	0.108215	0.699872	12.1551	scotico	0	30.1666	1.90595	2.72389	6.87765	2.19126	4.68639	6.46714	4.27588
43	0.108215	0.645872	13.8059	scotico	0	30.1666	1.81719	2.59704	6.41465	1.9465	4.46815	5.96811	4.02161
44	0.108215	0.584688	15.4685	scotico	0	30.1666	1.71099	2.44526	5.87619	1.66917	4.20702	5.4027	3.73353
45	0.108215	0.516155	17.1446	scotico	0	30.1666	1.5862	2.26692	5.25872	1.35854	3.90018	4.76939	3.41085
46	0.108215	0.44008	18.836	scotico	0	30.1666	1.44151	2.06013	4.55813	1.01372	3.54441	4.0664	3.05268
47	0.108215	0.356244	20.5445	scotico	0	30.1666	1.27539	1.82272	3.76966	0.633722	3.13594	3.29169	2.65796
48	0.108215	0.264394	22.2724	scotico	0	30.1666	1.08602	1.55209	2.88773	0.217397	2.67034	2.44293	2.22554
49	0.107684	0.163698	24.0176	scotico	0	30.1666	0.75498	1.07898	1.85636	0	1.85636	1.51994	1.51994
50	0.107684	0.0560132	25.7825	scotico	0	30.1666	0.263228	0.376193	0.647231	0	0.647231	0.520081	0.520081

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.42915

--



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI2700001B

81 di 88

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	36.1266	25.5891	0	0	0
2	36.231	25.3385	0.250652	0	0
3	36.3353	25.128	0.874297	0	0
4	36.4397	24.945	1.73426	0	0
5	36.544	24.7823	2.7443	0	0
6	36.6484	24.6358	3.84501	0	0
7	36.7527	24.5025	4.99305	0	0
8	36.8571	24.3803	6.15542	0	0
9	36.9614	24.2678	7.30623	0	0
10	37.0658	24.1637	8.42463	0	0
11	37.1701	24.0672	9.47121	0	0
12	37.2745	23.9775	10.4119	0	0
13	37.3788	23.8939	11.2456	0	0
14	37.4832	23.8161	11.9719	0	0
15	37.5876	23.7436	12.5917	0	0
16	37.6919	23.676	13.1061	0	0
17	37.7963	23.613	13.5171	0	0
18	37.9006	23.5544	13.827	0	0
19	38.005	23.5	14.0389	0	0
20	38.1127	23.448	14.2398	0	0
21	38.2203	23.4	14.3423	0	0
22	38.3286	23.3557	14.36	0	0
23	38.4368	23.3151	14.3055	0	0
24	38.545	23.2782	14.1821	0	0
25	38.6532	23.2448	13.9937	0	0
26	38.7614	23.2149	13.7446	0	0
27	38.8696	23.1883	13.4398	0	0
28	38.9778	23.165	13.0849	0	0
29	39.0861	23.1449	12.6857	0	0
30	39.1943	23.128	12.2488	0	0
31	39.3025	23.1142	11.7813	0	0
32	39.4107	23.1035	11.2908	0	0
33	39.5189	23.0959	10.7855	0	0
34	39.6271	23.0913	10.2744	0	0
35	39.7354	23.0898	9.76678	0	0
36	39.8436	23.0913	9.27311	0	0
37	39.9518	23.0959	8.8044	0	0
38	40.06	23.1035	8.3763	0	0
39	40.1682	23.1142	7.99072	0	0
40	40.2764	23.128	7.65315	0	0
41	40.3846	23.1449	7.30473	0	0
42	40.4929	23.165	6.94481	0	0
43	40.6011	23.1883	6.57838	0	0
44	40.7093	23.2149	6.21127	0	0
45	40.8175	23.2448	5.85026	0	0
46	40.9257	23.2782	5.50317	0	0
47	41.0339	23.3151	5.17901	0	0
48	41.1422	23.3557	4.88819	0	0
49	41.2504	23.4	4.64276	0	0
50	41.3581	23.448	4.47243	0	0
51	41.4657	23.5	0	0	0

### List Of Coordinates

#### Water Table

X	Y
-1	23.4
61	23.4

#### Distributed Load

X	Y
35.3125	25.5891
25.0113	25.5891

#### Distributed Load



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

82 di 88

SLIDEINTERPRET 7.038



X	Y
29.2826	25.5891
26.6717	25.5891

**Distributed Load**

X	Y
33.5745	25.5891
30.9457	25.5891

**External Boundary**

X	Y
0	0
60.3906	0
60.3906	7.5
60.3906	9.5
60.3906	17.5
60.3906	18.5
60.3906	19.5
60.3906	23.5
42.7043	23.5
40.2043	23.5
37.0721	25.5891
23.1321	25.5891
20	23.5
17.5	23.5
0	23.5
0	19.5
0	18.5
0	17.5
0	9.5
0	7.5

**Material Boundary**

X	Y
17.5	23.5
17.5	23
17.5	19.5
42.7043	19.5
60.3906	19.5

**Material Boundary**

X	Y
20	23.5
40.2043	23.5

**Material Boundary**

X	Y
42.7043	19.5
42.7043	23
42.7043	23.5

**Material Boundary**

X	Y
17.5	23
42.7043	23

**Material Boundary**

X	Y
0	19.5
17.5	19.5

**Material Boundary**

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

83 di 88

SLIDEINTERPRET 7.038



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

X	Y
0	18.5
60.3906	18.5

**Material Boundary**

X	Y
0	17.5
60.3906	17.5

**Material Boundary**

X	Y
0	9.5
60.3906	9.5

**Material Boundary**

X	Y
0	7.5
60.3906	7.5

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2700001B	Foglio 84 di 88
--------------------------------------------------------------------------------	------------------	-------------	-----------------------------	--------------------

**ALLEGATO 6 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE**



## Settle3D Analysis Information

### Rilevato

#### Project Settings

Document Name: Ri27.s3z  
Project Title: Rilevato  
Date Created: 08/06/2021, 14:59:10  
Stress Computation Method: Boussinesq

#### Stage Settings

Stage #	Name
1	Stage 1

#### Results

Time taken to compute: 0.985126 seconds

#### Stage: Stage 1

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.0460427
Consolidation Settlement [m]	0	0
Immediate Settlement [m]	0	0.0460427
Loading Stress [kPa]	0	76.274
Total Stress [kPa]	0	674.303
Total Strain	2.12511e-009	0.0109134
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.828326	673.914
Over-consolidation Ratio	1	1
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [m]	0	0

#### Loads

##### 1. Rectangular Load

Length: 11.6 m  
Width: 100 m  
Rotation angle: 0 degrees  
Load Type: Flexible  
Area of Load: 1160 m<sup>2</sup>  
Load: 13 kPa  
Depth: 0 m  
Installation Stage: Stage 1

##### Coordinates



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

86 di 88

X [m]	Y [m]
-5.79696	-50
5.80304	-50
5.80304	50
-5.79696	50

## Embankments

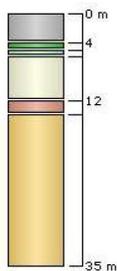
### 1. Embankment

Center Line: (0, -50) to (0, 50)  
Number of Layers: 1  
Near End Angle: 90 degrees  
Far End Angle: 90 degrees  
Base Width: 20

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	2.3	20	34	0

## Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	COLONNE	4	0
2	3a_s	1	4
3	3a	1	5
4	u6	6	6
5	u2	2	12
6	u4	21	14



## Soil Properties

Property	u6	u2	u4	COLONNE	3a_s	3a
Color						
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	19	19	19	18	18	18
Immediate Settlement	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

87 di 88

Es [kPa]	60000	25000	80000	12000	30000	5000
Esur [kPa]	60000	25000	80000	12000	30000	5000

### Query Points

Point #	(X,Y) Location	Number of Divisions
1	0.00303833, 4.9738e-014	Auto: 57

### Query Lines

Line #	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	-20, 0	20, 0	100	Auto: 49

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 15+800,00 a pk 16+193,94  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2700001B

Foglio

88 di 88

## ALLEGATO 7- VERSIONE SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI

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