

COMMITTENTE:



ALTA  
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE  
OBIETTIVO N. 443/01  
LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA  
Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza  
PROGETTO ESECUTIVO  
RILEVATI  
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
GENERALE  
Relazione Geotecnica**

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

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

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

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma Alberto LEVORATO 	Data Ottobre 2022

Progettazione:

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

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E9100000009	File: IN1712E12RBRI1700001B
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato  
dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 2 di 87

## INDICE

1	INTRODUZIONE .....	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
2.1	Documentazione di progetto .....	5
2.2	Normativa e standard di riferimento .....	5
2.3	Bibliografia .....	6
3	INQUADRAMENTO DELL'OPERA .....	7
3.1	Geometria del rilevato .....	7
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	9
4.1	Indagini disponibili .....	9
4.2	Inquadramento stratigrafico .....	9
4.3	Livello di falda .....	11
4.4	Condizioni geotecniche del sito .....	12
4.5	Sintesi del modello geotecnico di riferimento .....	19
4.5.1	Materiale da rilevato .....	19
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE .....	20
5.1	Sollecitazione sismica di progetto .....	20
5.1.1	Vita Nominale .....	20
5.1.2	Classe d'uso .....	20
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica .....	21
5.1.4	Categorie di Sottosuolo .....	21
5.1.5	Condizioni topografiche .....	21
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento .....	22
5.2	Suscettibilità alla liquefazione .....	22
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT .....	24
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT .....	26
5.2.3	Soil improvement .....	32
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO .....	35
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite .....	35
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU) .....	35
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE) .....	37
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche .....	37
6.2	Azioni di progetto .....	37
6.2.1	Azioni permanenti .....	38
6.2.2	Azioni variabili .....	38

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

3 di 87

6.2.3	Azione sismica .....	38
6.3	Verifiche e risultati SLU .....	39
6.3.1	Premessa .....	39
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche .....	39
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche e post sismiche .....	40
6.4	Verifica e risultati SLE .....	42
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....	48
	Allegati .....	49
	ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO .....	50
	ALLEGATO 2 - SONDAGGI .....	52
	ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA sez. 12+100 .....	60
	ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU post sisma sez 12+100 .....	68
	ALLEGATO 5 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU post sisma sez 12+305 .....	76
	ALLEGATO 6 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE .....	84

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 4 di 87

## 1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI17, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende tra il km 12+034.15 e il km 12+305.58.

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 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 5 di 87

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Documentazione di progetto

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

### 2.2 Normativa e standard di riferimento

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 6 di 87

- [21] RFI DTC INC CS SP IFS 001 A Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- [22] RFI DTC SICS SP IFS 001 B Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi” – RFI
- [23] RFI TCAR ST AR 01 001 D Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h
- [24] Specifiche Tecniche di interoperabilità 2015 (REGOLAMENTO (UE) N. 1299/2014 DELLA COMMISSIONE del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell’Unione europea)

### 2.3 Bibliografia

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 7 di 87

### 3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame si estende dalla pk 12+034,15 alla pk 12+305,58 per una lunghezza totale di ca. 270 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, lungo 270 m, presenta una sezione uniforme per tutto il tracciato, con scarpate di pendenza 2/3 (V:H). Alla pk 12+100, sezione n. 255, si riscontra l'altezza massima del rilevato pari a 5.7 m. La sezione citata, denominata Sezione A (Figura 1) è quella ritenuta più significativa per le verifiche del rilevato in esame.



GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 9 di 87

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 4.1 Indagini disponibili

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

Il risultato delle indagini è riportato in ALLEGATO 2.

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

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

*Tabella 1 - Indagini da pk 12+034 a pk 12+305*

<b>Progressiva pk</b>	<b>ID indagini -</b>	<b>Campagna anno</b>
12+010	SPA20	2014-2015
12+035	PT-PE-07	2020-2021
12+100	P1	2015
12+100	P1 bis	2015
12+100	P1 quater	2015
12+100	P1 ter	2015
12+117	CPTU-PE-06	2020-2021
12+266	MASW-PE-05	2020-2021
12+319	BH-PE-27	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 2 a 3.5 m ca di terreni limoso/sabbiosi superficiali (unità 3a), seguiti da uno strato di ghiaie ben addensate (Unità 6) fino a una profondità di circa 12 m. Al di sotto delle ghiaie si incontrano circa 3 m di limi argillosi (Unità 2) ed infine il substrato sabbioso (Unità 4) che si estende in profondità a partire da 15 m pc.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 10 di 87

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 RI17, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 3 di 11 (Doc. Rif. [3]).

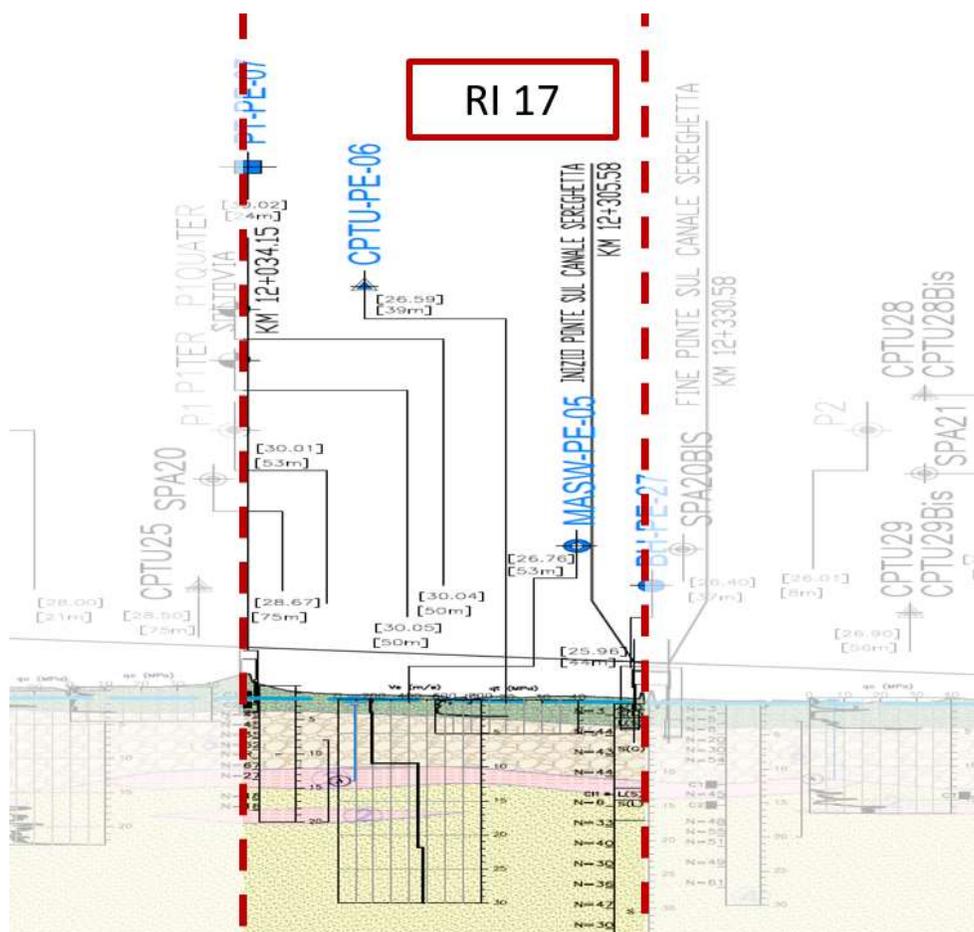


Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato RI17, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

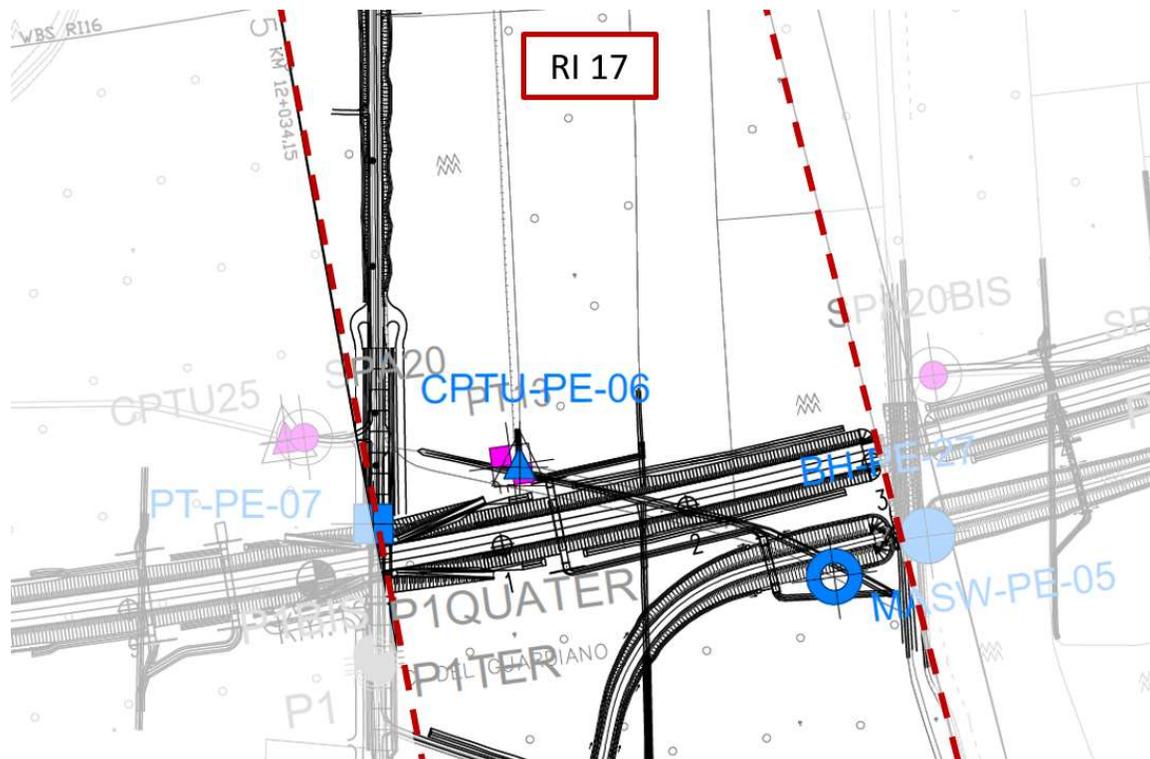


Figura 3 - Planimetria Rilevato RI17, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

### 4.3 Livello di falda

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 12 di 87

#### 4.4 Condizioni geotecniche del sito

Come definito dalla sezione stratigrafica, il tratto in oggetto è costituita da una copertura superficiali composta di prevalenti limi sabbiosi, di spessore compreso fra i 2 e 3.5 m.

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

A tale proposito, la Figura 4 riporta i dati granulometrici dei materiali superficiali, così come ottenuti dalle determinazioni granulometriche di laboratorio delle indagini effettuate nella zona.

Procedendo con la profondità si incontra uno strato di ghiaie e ghiaie sabbiose ben addensate (Unità 6), che si estende fino a circa 11 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 40 colpi/30cm. La densità relativa delle ghiaie risulta generalmente variabile fra il 40 e il 70% e quindi il deposito risulta da mediamente addensato ad addensato.

Più in profondità si individua 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 35 colpi/30cm con valori compresi tra 30 e 45 colpi/30cm. La densità relativa delle sabbie risulta generalmente attorno a 60%.

Il profilo di  $V_s$  derivante dalle interpretazioni discusse nella Relazione Sismica (Doc. Rif. [4]), basata sui risultati delle prove DH, MASW e infine SPT, conferma la presenza di materiali incoerenti da mediamente a molto addensati. Fino a 150 m pc, per le ghiaie superficiali si stimano valori di  $V_s$  pari a 300 m/s. A profondità maggiori, nelle sabbie, le velocità sono pari a 350 m/s. Sulla base dei valori di  $V_s$  si sono stimati i valori del modulo di taglio alle piccole deformazioni ( $G_0$ ). Per le ghiaie si considera un valore di 160 MPa, mentre per le sabbie profonde si ottengono valori pari a 230 MPa.

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

Le seguenti figure riportano i risultati delle principali prove di sito e dei parametri geotecnici dei terreni, interpretati

alla luce di quanto riferito in [2] e [4].

- Distribuzione delle granulometrie da analisi di laboratorio , con riferimento all'Unità 3a (v. Figura 4);
- Valori  $N_{SPT}$  da prove SPT (v. Figura 5);
- Densità relativa stimata da prove SPT (v. Figura 6);
- Angolo di attrito stimato da prove SPT (v. Figura 7);
- Velocità delle onde di taglio stimata da prove in sito (v. Figura 8);
- Modulo di taglio alle piccole deformazioni valutati a partire dai valori stimati di  $V_s$  (v. Figura 9).

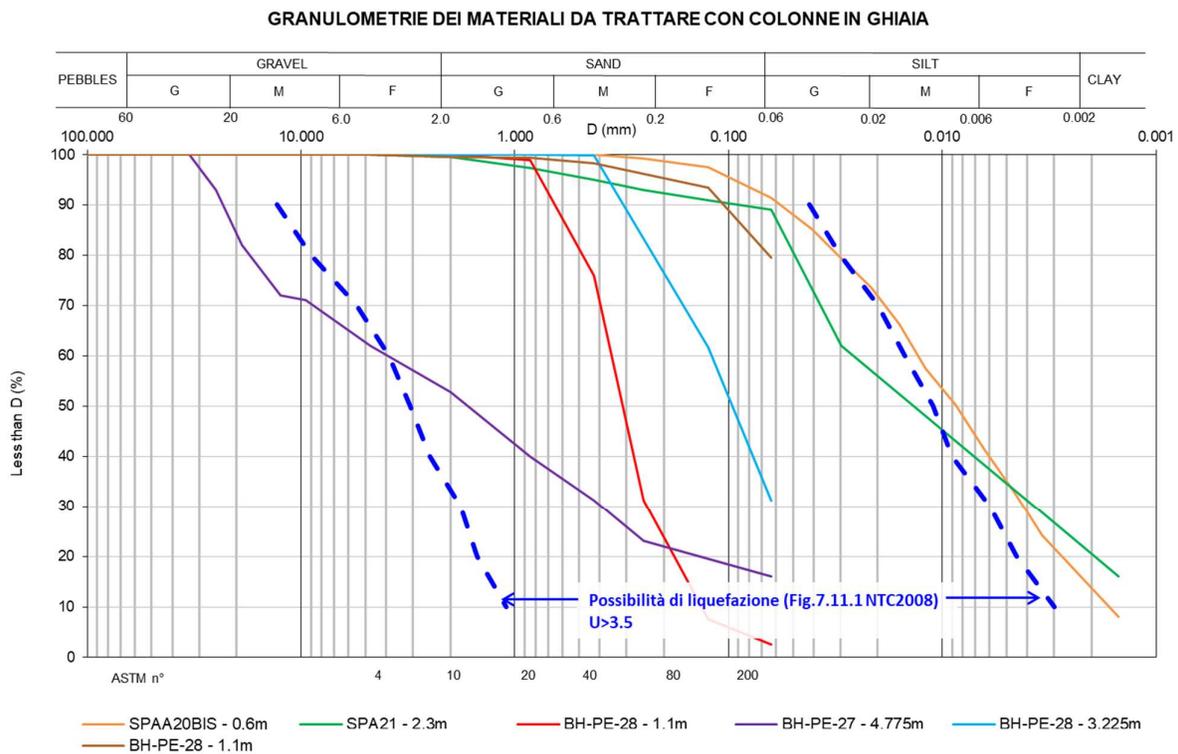


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche dei terreni suscettibili alla liquefazione



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

14 di 87

**AV/AC VERONA VICENZA**

**RI 17 da pk 12+034 a pk 12+305**

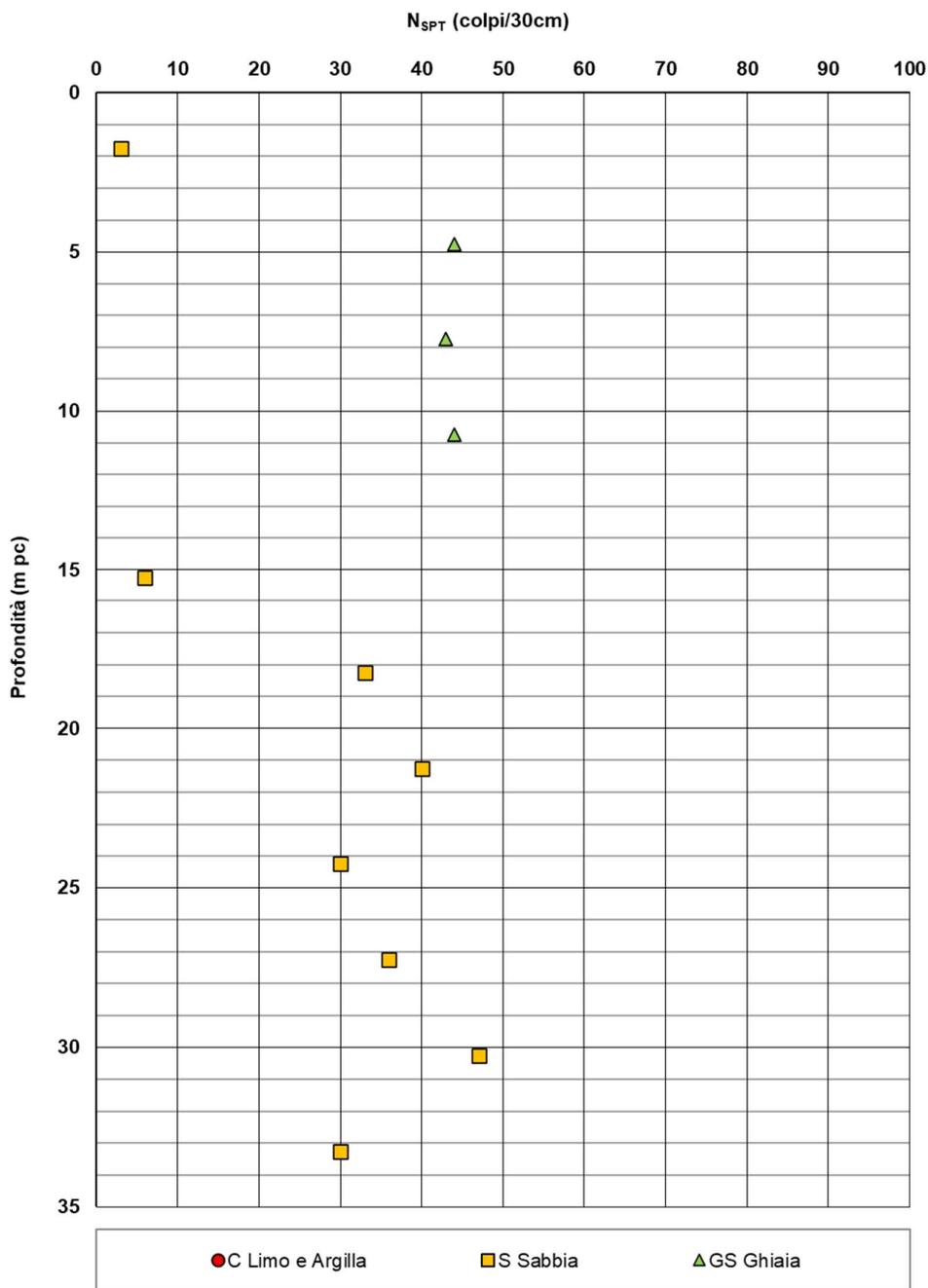


Figura 5 – Esito delle prove SPT tra pk 12+034 e pk 12+305



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1700001B

Foglio  
15 di 87

## AV/AC VERONA VICENZA

**RI 17 da pk 12+034 a pk 12+305**

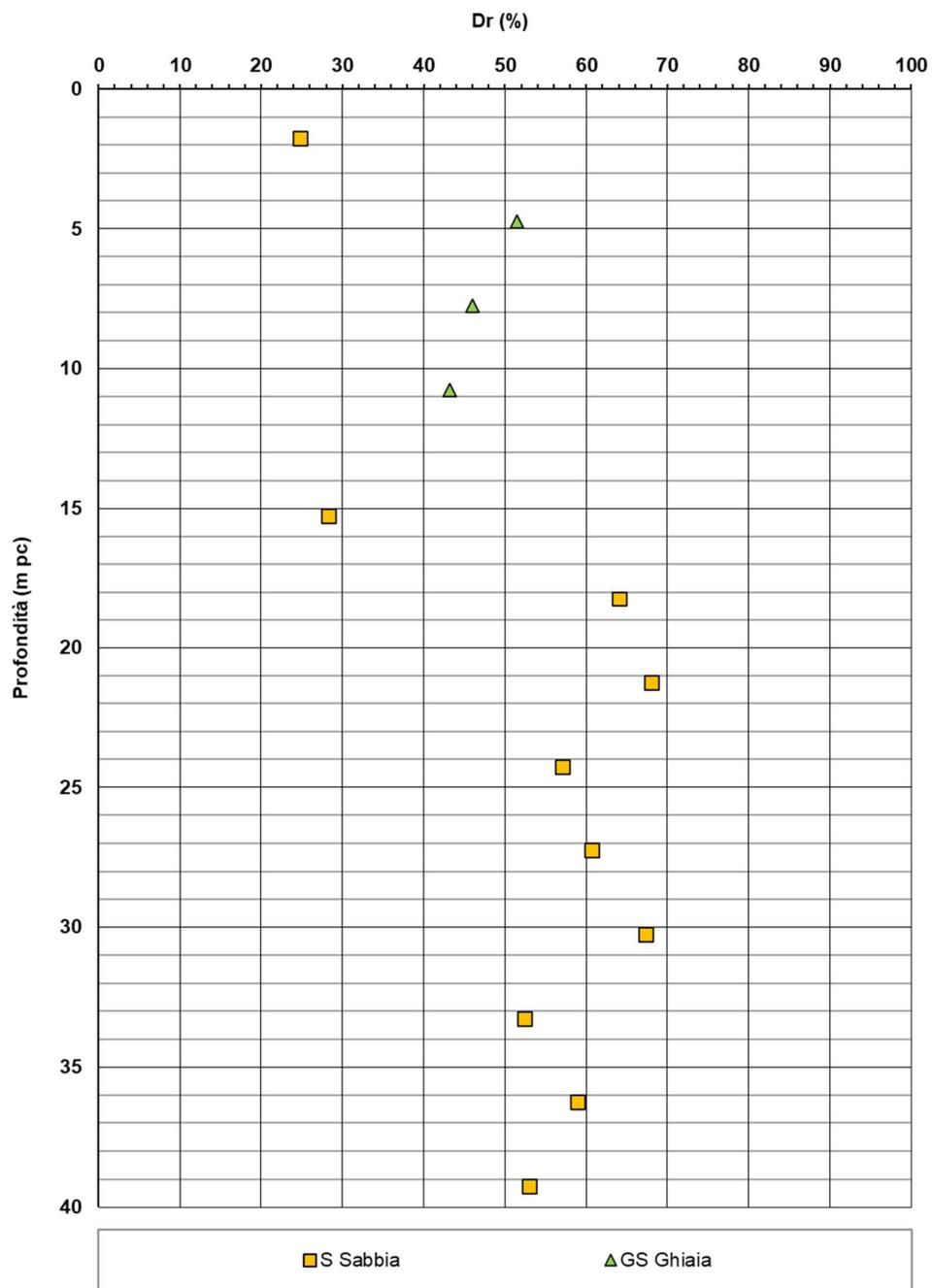


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT tra pk 12+034 e pk 12+305



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1700001B

Foglio  
16 di 87

### AV/AC VERONA VICENZA

RI 17 da pk 12+034 a pk 12+305

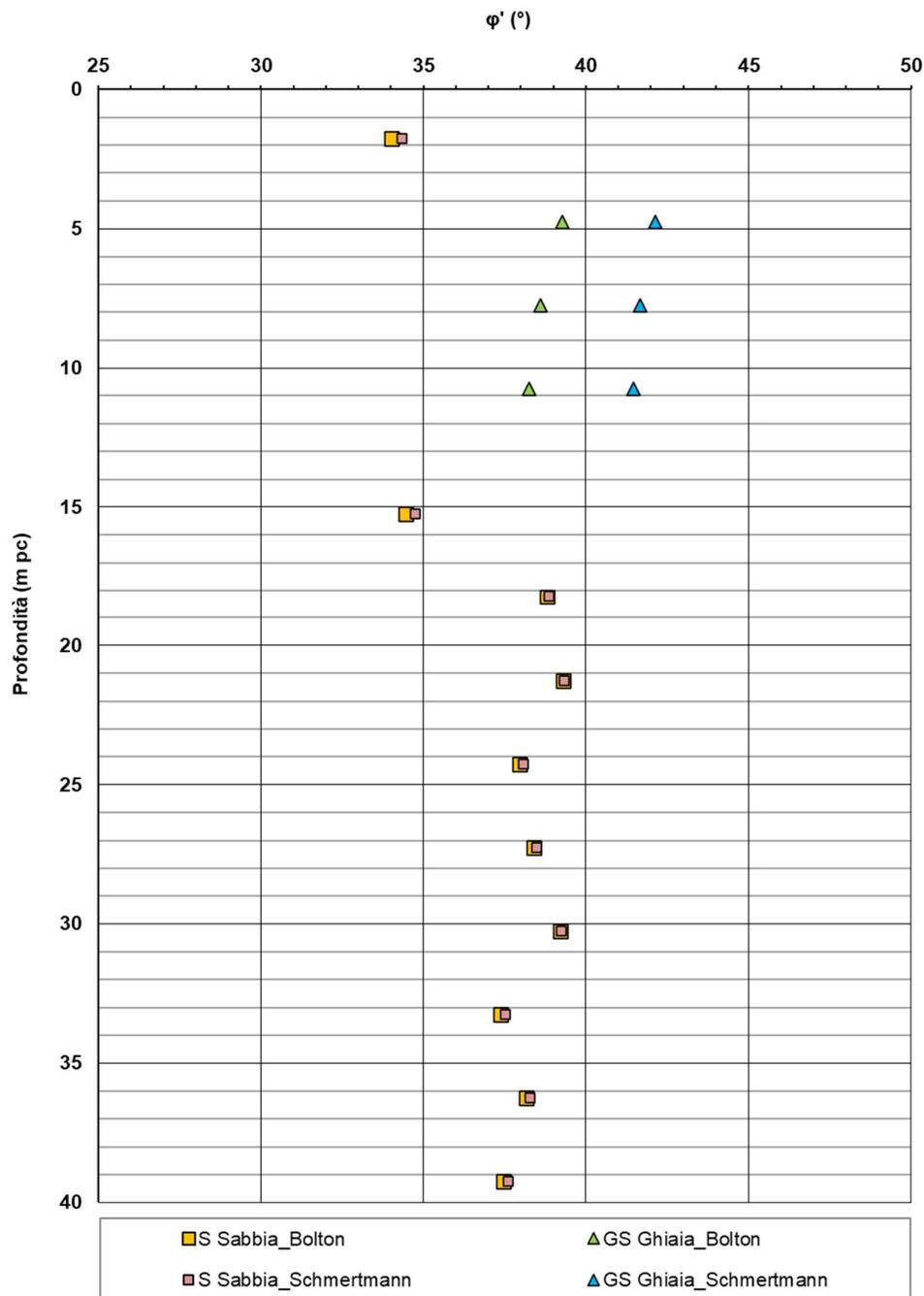


Figura 7 – Angoli di attrito da prove SPT tra pk 12+034 e pk 12+305



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1700001B

Foglio  
17 di 87

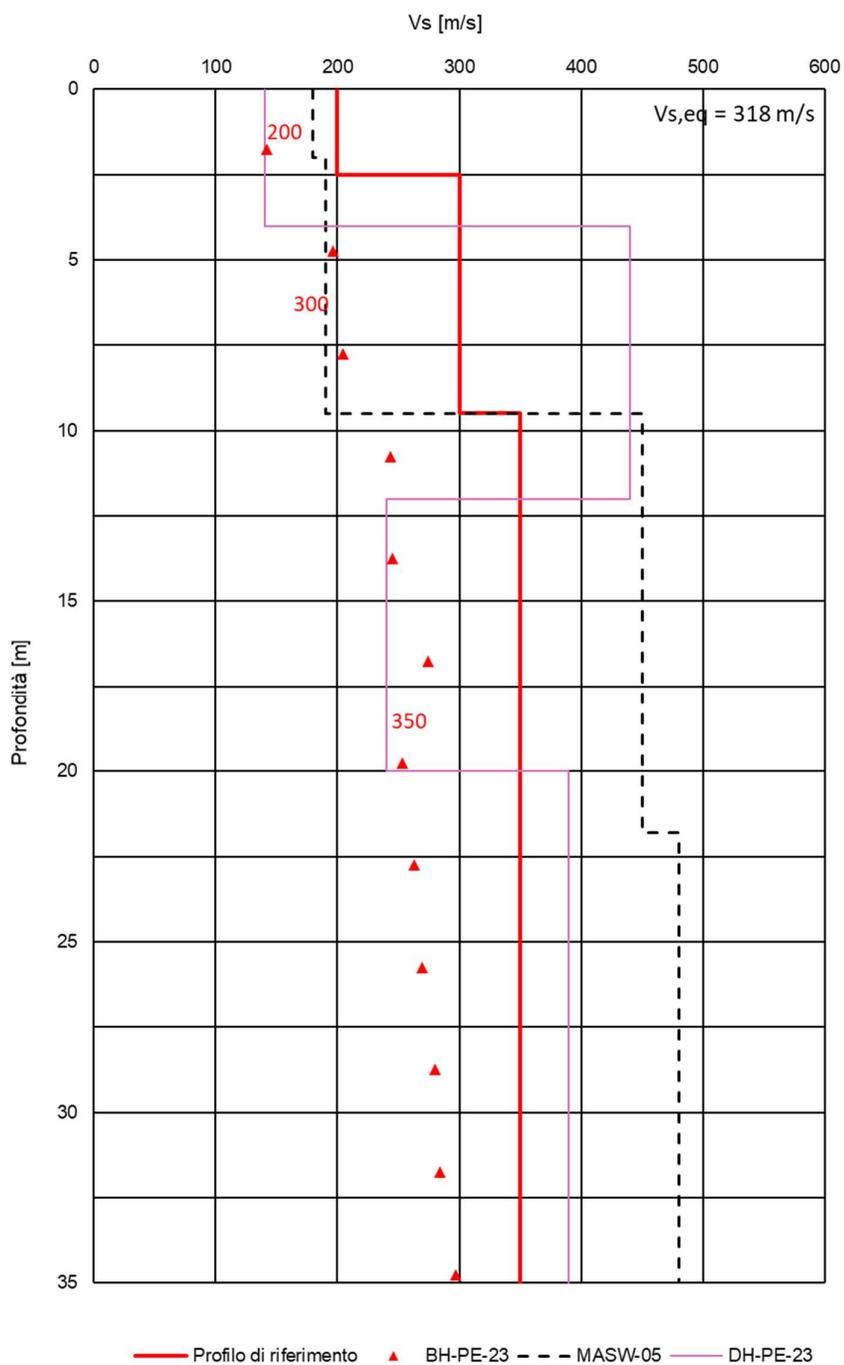


Figura 8 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW tra pk 12+034 e pk 12+305



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

18 di 87

## AV/AC VERONA VICENZA

pk 12+034-12+305

$G_0$  (MPa)

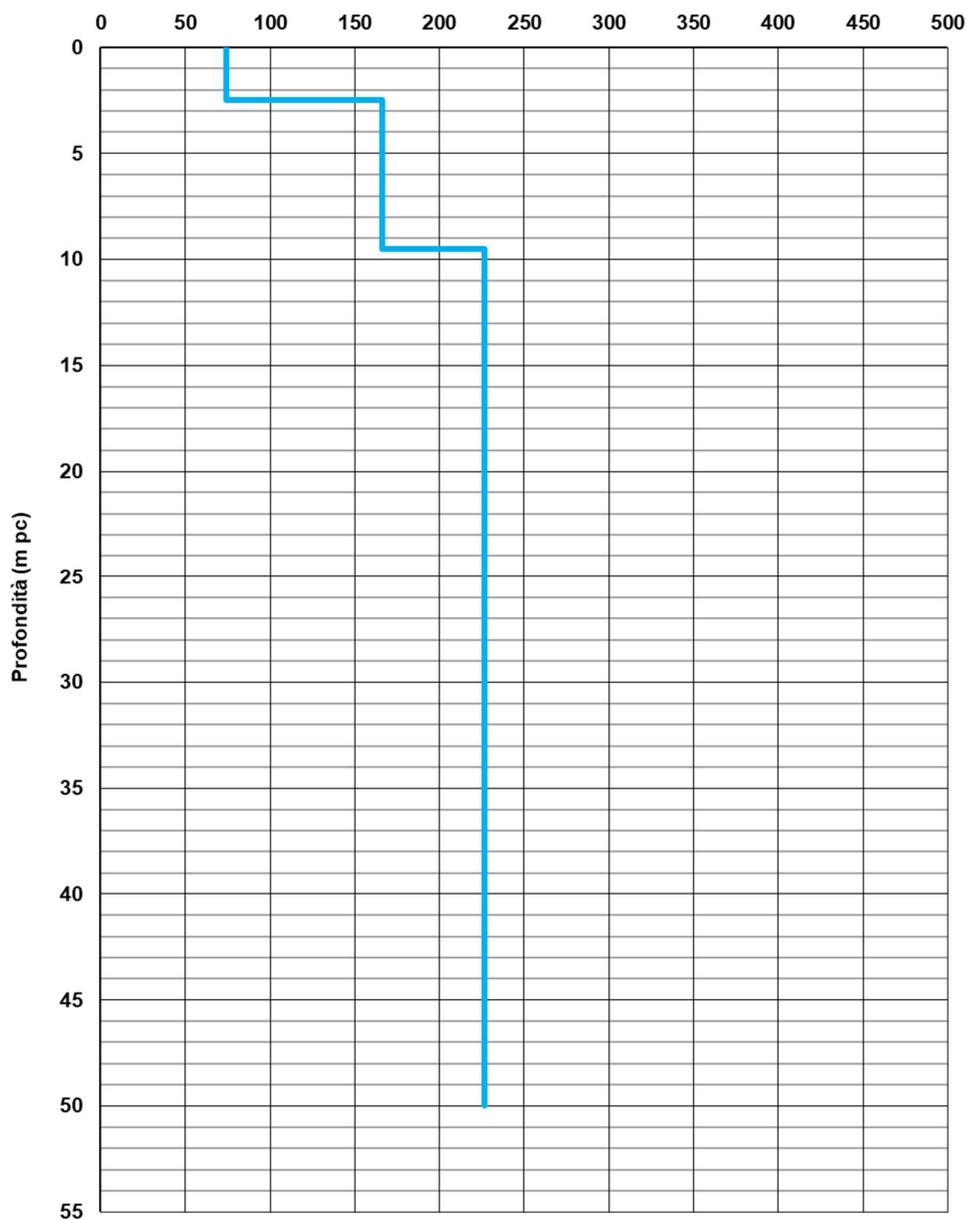


Figura 9 – Modulo di taglio  $G_0$  tra pk 12+034 e pk 12+305

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 19 di 87

## 4.5 Sintesi del modello geotecnico di riferimento

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

*Tabella 2 – Modello geotecnico di riferimento*

Unità	da m pc*	a m pc*	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\varphi_k$ °	$c_k'$ kPa	$c_{u,k}$ kPa	$G_0$ MPa	$E'_{op}$ MPa
3a	0.5	2** -3.5	18	34(36)***	-	-	-	5(15)***
6	2** -3.5	10	19	39	0	-	160	60
2	10	13	19	28	-	50	-	10
4	13	-	19	38	0	-	230	80

\* quota piano campagna = 27.3 m s.l.m.

\*\* fino alla pk 12+150

\*\*\*i valori tra parentesi ( ) si riferiscono alle caratteristiche del terreno compattato

In relazione a quanto riportato nella tabella, si precisa quanto segue:

- Come si vedrà in seguito, le coperture superficiali si presentano sciolte, e necessitano di interventi di miglioramento delle caratteristiche meccaniche, in relazione all'esito delle verifiche di liquefazione. Nella tabella si sono forniti i parametri del terreno naturale (in assenza di interventi), e quelli del terreno migliorato con compattazione.
- Quelli del terreno naturale sono stati impiegati per ricavare le caratteristiche del terreno migliorato con colonne di ghiaia.

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

### 4.5.1 Materiale da rilevato

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

*Tabella 3 - Caratteristiche materiale da rilevato*

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 20 di 87

## 5 CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

### 5.1 Sollecitazione sismica di progetto

#### 5.1.1 Vita Nominale

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

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

Tabella 4 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

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  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 21 di 87

Tabella 5 – Valori del coefficiente di uso  $C_u$

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

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

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

### 5.1.4 Categorie di Sottosuolo

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

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

### 5.1.5 Condizioni topografiche

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 22 di 87

### 5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

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

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

## 5.2 Suscettibilità alla liquefazione

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

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 23 di 87

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

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

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

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

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

dove:

$a_{max}$                     accelerazione di picco al sito

$g$                             accelerazione di gravità

$\tau_c$                         valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

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

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 24 di 87

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

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

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

### 5.2.1 CRR da correlazione su prove CPT

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

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 25 di 87

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

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

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

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

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

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

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

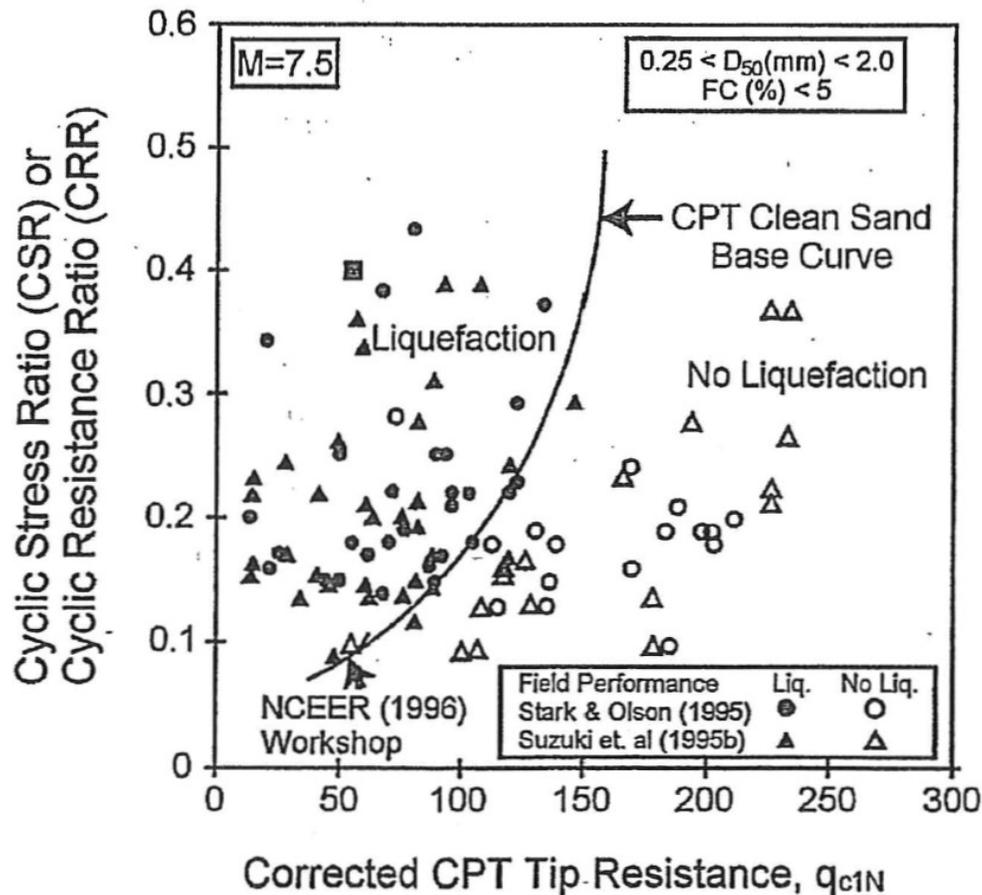


Figura 10: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta  $q_{c1N}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

### 5.2.2 CRR da correlazione su prove SPT

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

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

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

dove:

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 27 di 87

proposta da Liao e Whitman (1986):

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

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

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

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

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

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

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

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

Si può osservare dalla

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 28 di 87

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

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

In cui:

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

$p_a$  = pressione atmosferica di riferimento

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

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

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

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

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

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

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

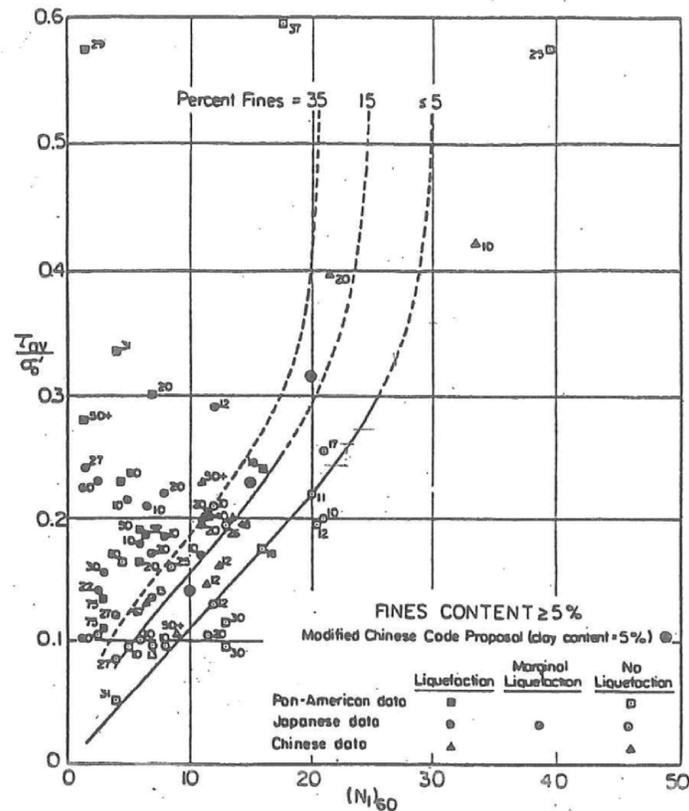


Figura 11: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e  $N_{1(60)}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

I risultati (cfr. Figura 12, Figura 13) indicano rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI17. In particolare:

- dall'analisi sulla CPTU-PE-06 (ubicata alla 12+117) si evidenzia la presenza di 2 m continui di materiale potenzialmente liquefacibile, con  $FL < 1.0$  ;
- anche i dati del BH-PE-27 indicano la presenza di materiali potenzialmente liquefacibile fino a circa 3.5 m da p.c..

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.

Spostandosi invece verso Est della prova CPTU-PE-06, i dati dei sondaggi e delle prove nel tratto precedente non indicano tale possibilità.



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1700001B

Foglio  
30 di 87

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-06 Pr. 12+117  
a<sub>max</sub> = 0.307g M<sub>calc</sub> = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 6m

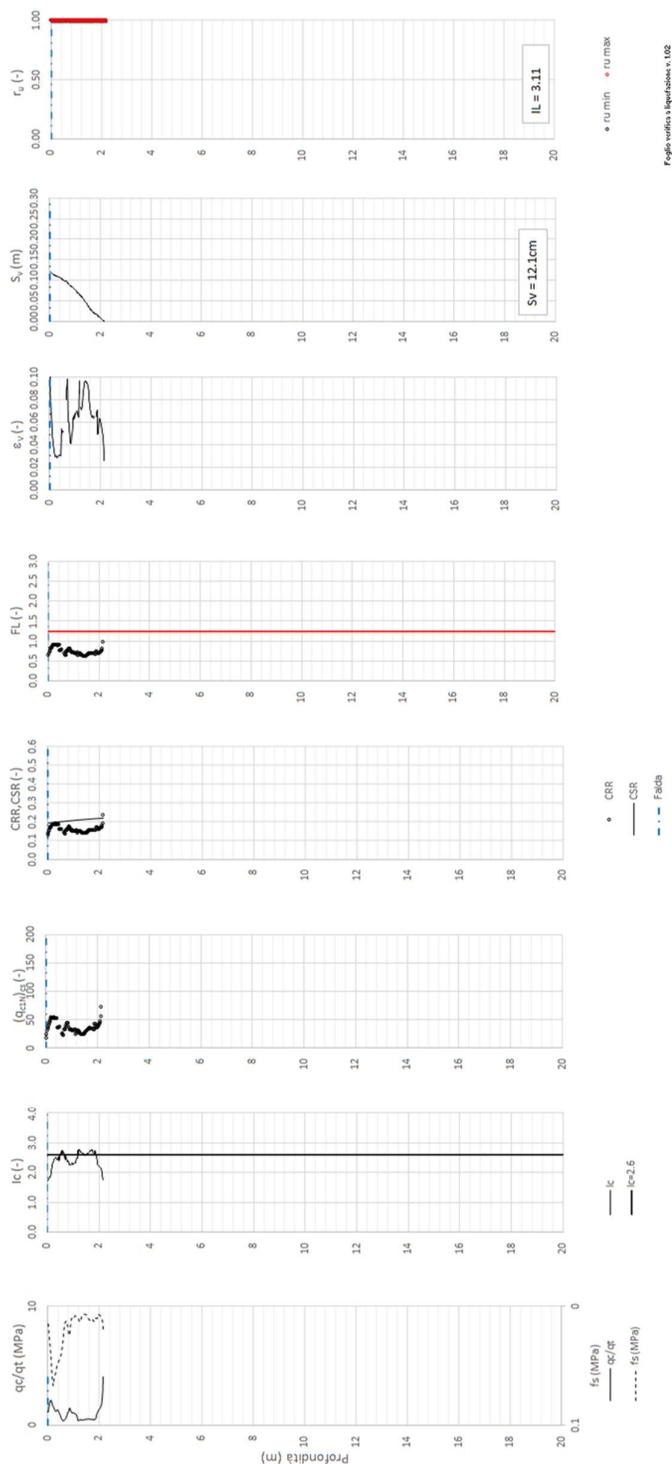


Figura 12 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-06



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

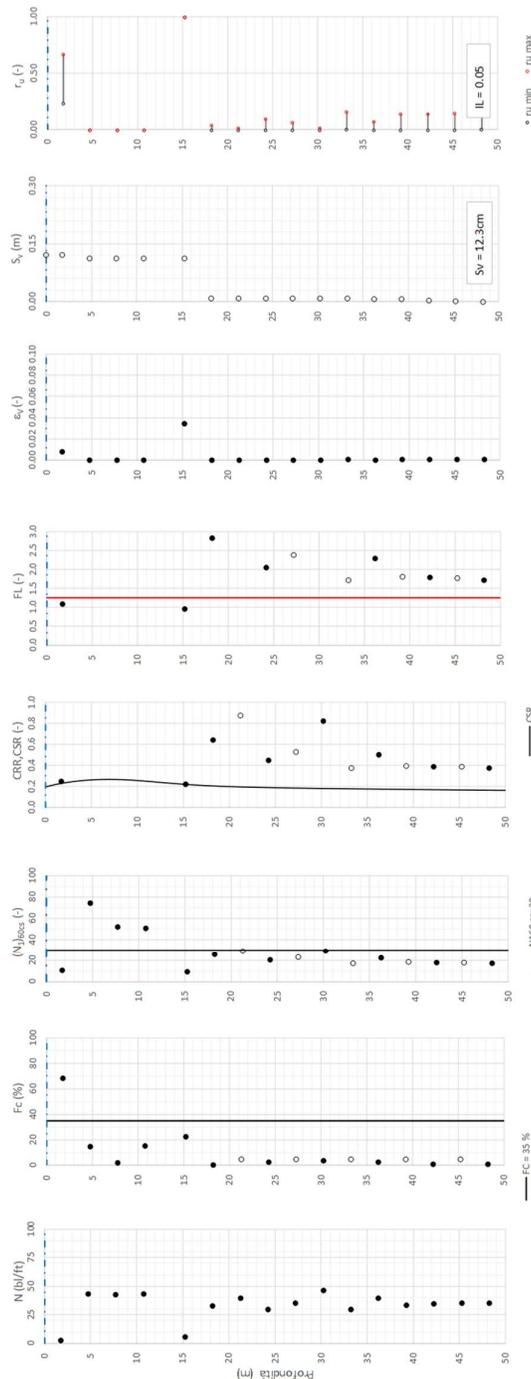
Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1700001B

Foglio  
31 di 87

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-27 Pr. 12+305  
a\_max = 0.307g, M\_calc = 6 MSF = 2, Metodo NCEE6, 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 4m



Foglio verifica e valutazione Nbsp: 152

Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati SPT BH-PE-27

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 32 di 87

### 5.2.3 Soil improvement

Visti i rischi di potenziale liquefazione nella tratta in esame, dall'inizio della WBS alla pk 12+034.15) e fino alla pk 12+150, si prescrive quanto segue:

- realizzazione di uno scotico + bonifico per uno spessore complessivo di 1.0 m così da rimuovere, al disotto del rilevato e per uno spessore allargato di 2 m all'esterno del piede del rilevato, i materiali sciolti passibili di liquefazione;
- compattazione del fondo scavo per mezzo di rulli vibranti con peso statico equivalente di almeno 15 t, raggiungendo i livelli di compattazione come da capitolato. Il grado di addensamento raggiunto, da verificare a fondo scavo con prove di carico su piastra ( $M_d > 20$  MPa), aumenterà la densità relativa dei materiali in misura tale da renderlo non più suscettibile a liquefazione.
- relazione del rinterro in accordo alle specifiche.

Per il tratto compreso tra la pk 12+150 e 12+305 lo spessore di materiale soggetto a liquefazione aumenta fino a un massimo 3.5m. Pertanto, si prescrive l'esecuzione di un trattamento di miglioramento delle caratteristiche dei terreni, mediante l'installazione di colonne in ghiaia aventi diametro  $D=800$  mm, lunghezza  $L=3$  m, interasse  $i=2.0$  m, a maglia quadrata.

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

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

- Si è dimensionata la spaziatura degli interventi sulla base delle indicazioni di Priebe (Doc.Rif.[35]). Il metodo proposto da Priebe consiste nel valutare, in funzione della "densità" del trattamento (i.e., la spaziatura fra le colonne), la diminuzione di azione ciclica sul terreno dovuta alla presenza delle colonne stesse. Nel grafico di Figura 14  $A_c$  è l'area della colonna, mentre  $A$  è l'area di pertinenza della colonna stessa. A titolo di esempio, spaziando colonne  $D=800$  mm su maglia quadrata  $2 \times 2$  m, si ottiene un "area ratio"  $A/A_c=4/0.5=8$ , che consente di ridurre l'azione ciclica sul terreno di un fattore ( $P_s/P$  nel grafico in ordinate) che può essere stimato pari a 0.6 per colonne realizzate con materiale avente angolo di resistenza al taglio dell'ordine dei  $40^\circ$ .
- Sulla base di tale riduzione, si è rivalutato l'effetto dell'azione ciclica ridotta sui terreni naturali. In Figura 15 si riporta la verifica di liquefazione del BH-PE-27 eseguita con tale criterio. Come si può notare, per effetto della riduzione della PGA da 0.307 a 0.18 (appunto di un fattore 0.6), il materiale non viene più portato a liquefazione, ma si limita a sviluppare sovrappressioni interstiziali del tutto compatibili con la stabilità del rilevato.

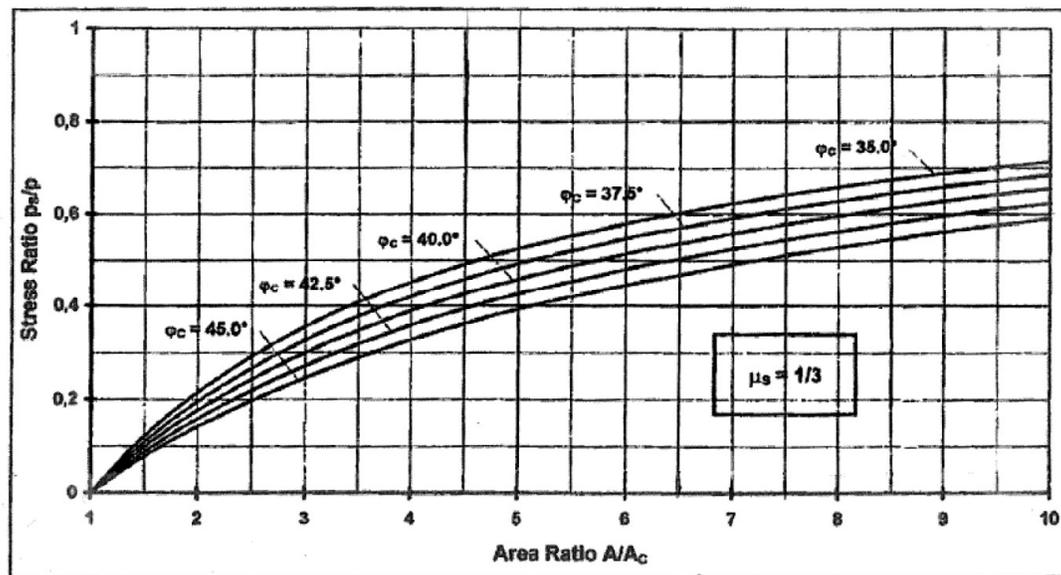


Figura 14 – Riduzione dello stress ratio sismico in funzione dell'area ratio delle colonne di ghiaia  
(Doc.Rif.[35])



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1700001B

Foglio  
34 di 87

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE 27 Pr. 12+305  
a<sub>s,max</sub> = 0.1842g M<sub>s,calc</sub> = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 4m

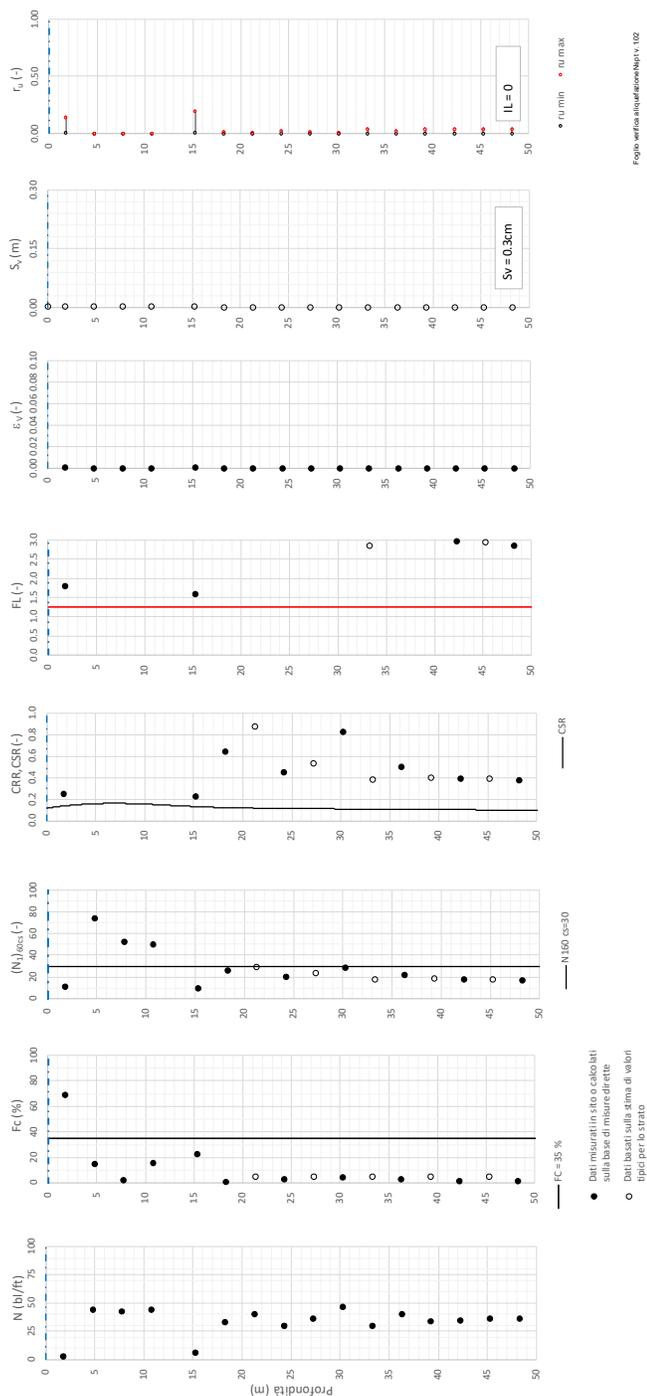


Figura 15 – Verifica Liquefazione da risultati SPT BH-PE-27 dopo soil improvement

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 35 di 87

## 6 VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO

### 6.1 Criteri di verifica agli Stati Limite

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

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

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

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

dove:

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

$R_d$  valore di progetto della resistenza.

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

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

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

dove:

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

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

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

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

#### 6.1.1 Stati limite ultimi (SLU)

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

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

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

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 36 di 87

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

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

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

*Tabella 6 – Coefficienti parziali sulle azioni*

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

dove:

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 37 di 87

### 6.1.2 Stati limite di esercizio (SLE)

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

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

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

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

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

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

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

## 6.2 Azioni di progetto

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 38 di 87

### 6.2.1 Azioni permanenti

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

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

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

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

### 6.2.2 Azioni variabili

Le azioni variabili sono rappresentate dai carichi da traffico ferroviario, qui determinati sulla base dello schema di carico più gravoso tra quelli previsti dalle NTC 2008, dalle Norme Europee e, conseguentemente, dal Manuale di Progettazione di RFI. In particolare, tale carico tiene conto della diffusione a partire dalla traversa e fino al piano di posa del ballast, secondo le prescrizioni di NTC e MdP. Nello specifico, è stato considerato il caso peggiore tra i tre modelli di carico previsti, ossia LM71, SW/0 ed SW/2. Per ogni binario, tale azione risulta essere pari a 61.4 kPa (LM71), da applicarsi su una superficie definita dalla larghezza della traversa e dalla larghezza di diffusione del carico nel ballast (2.8 m<sup>2</sup> in totale).

### 6.2.3 Azione sismica

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

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

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

dove

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

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

g                      accelerazione di gravità.

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 39 di 87

## 6.3 Verifiche e risultati SLU

### 6.3.1 Premessa

Le verifiche SLU della stabilità globale del rilevato (sia in condizioni statiche che sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo SLIDE 7.0 (Doc. Rif. [29]). Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento rispettivamente ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico e ai coefficienti parziali (M2) per le analisi sismiche. Tali coefficienti sono contenuti nella Tabella 7 della presente relazione.

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

$$FS \geq R2 = 1.1.$$

è verificata sia in condizioni statiche che sismiche.

La verifica è stata condotta con riferimento alla già citata sezione di riferimento A riportata in Figura 1 e per le condizioni post sisma anche per la sezione B di Figura 16. La verifica è stata condotta facendo ricorso al metodo di Bishop modificato. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici caratteristici definiti in Tabella 2.

### 6.3.2 Verifiche SLU in condizione statiche

Il carico da traffico ferroviario (q) assunto pari a 61.4 kPa (cfr. par. 6.2.2) è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è di tipo variabile/sfavorevole e, pertanto, il coefficiente parziale sulle azioni A2 è pari a 1.3.

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

In Figura 17 sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2. Il valore minimo di FS è pari a:

$$FS_{\text{MIN}} (DA1C2) = 1.143 > R2 = 1.1$$

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 40 di 87

### 6.3.3 Verifiche SLU in condizioni sismiche e post sismiche

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

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

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

La verifica in condizioni post sisma è stata eseguita per entrambe le tipologie di intervento, in particolare la sezione di Figura 1 è rappresentativa dell'intervento di compattazione, mentre la sezione in Figura 16 è rappresentativa per l'intervento con colonne in ghiaia.

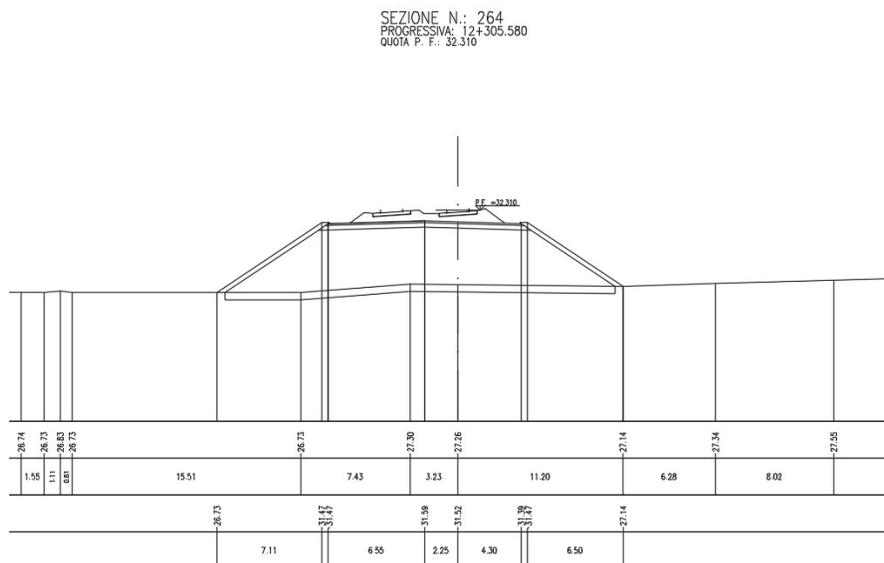


Figura 16 – Sezione di riferimento B (pk 12+305, n.264) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

In Figura 18 e Figura 19 sono riportate le superfici di rottura critiche. Il fattore di sicurezza FS è pari a:

sezione 12+100 (terreno compattato):  $FS_{MIN}=1.140 > R2=1.1$

sezione 12+305 (colonne in ghiaia):  $FS_{MIN}=1.281 > R2=1.1$

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

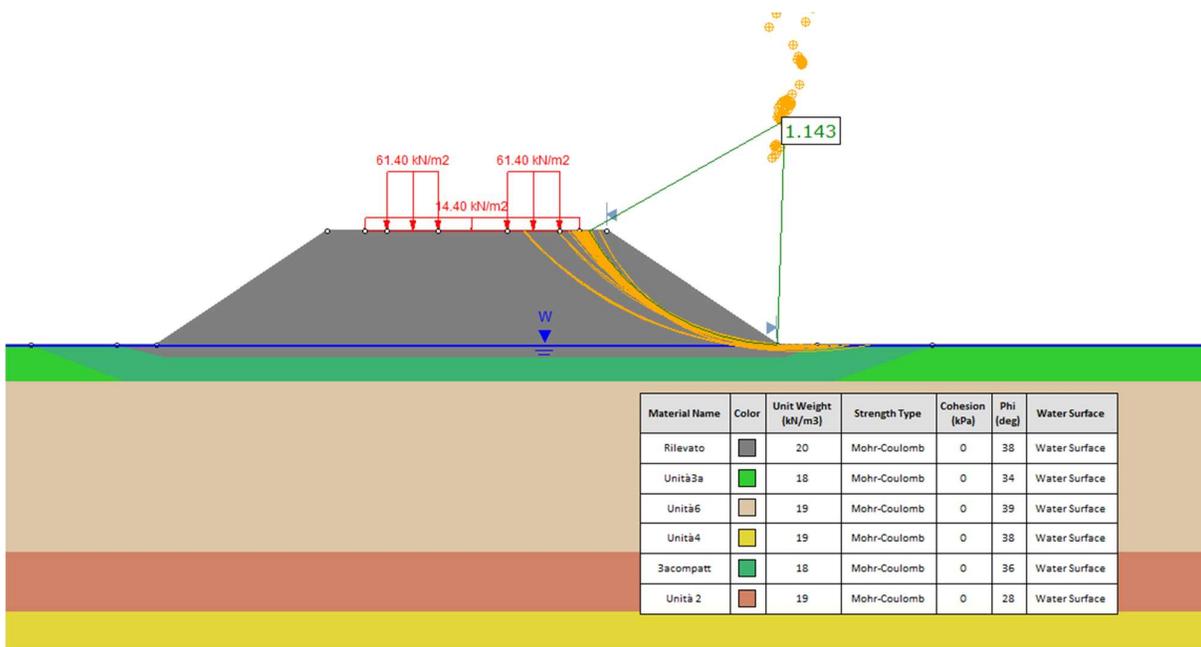


Figura 17 - Rilevato H=5.70 m (pk 12+034 alla pk 12+305) - Analisi SLU in campo statico DA1C2

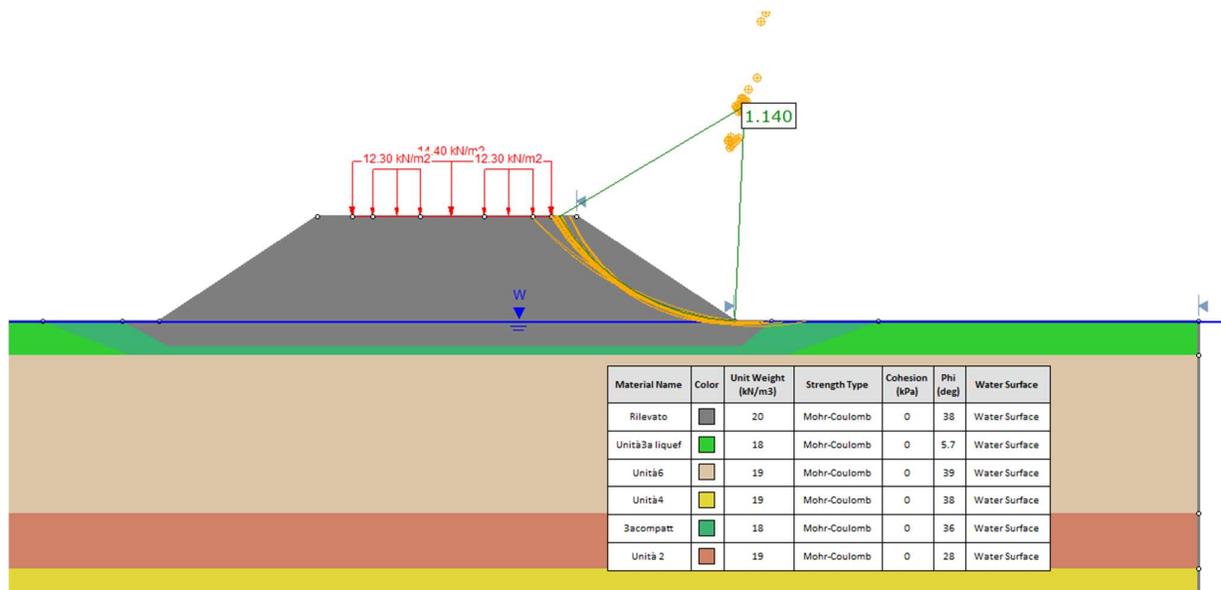


Figura 18 - Rilevato H=5.70 m (pk 12+034 alla pk 12+100) - Analisi SLU in condizioni post sisma

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 42 di 87

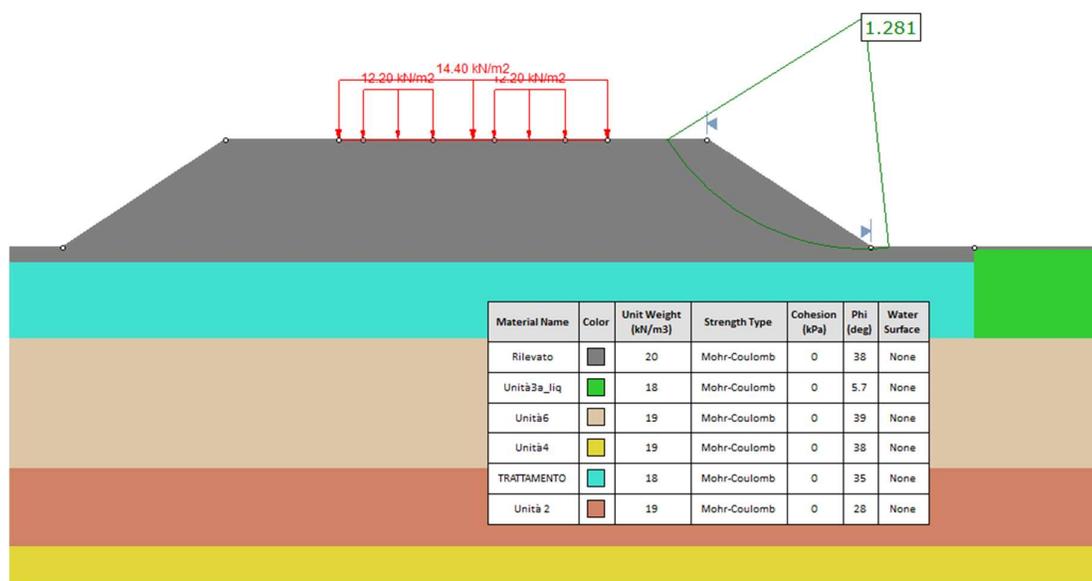


Figura 19 - Rilevato H=4.30 m (pk 12+100 alla pk 12+305) - Analisi SLU in condizioni post sisma

## 6.4 Verifica e risultati SLE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

$q$  = carico applicato

$\nu$  = coefficiente di Poisson

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

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

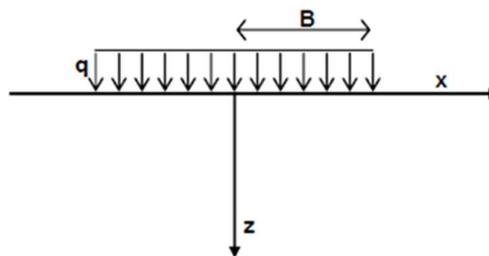


Figura 20 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 44 di 87

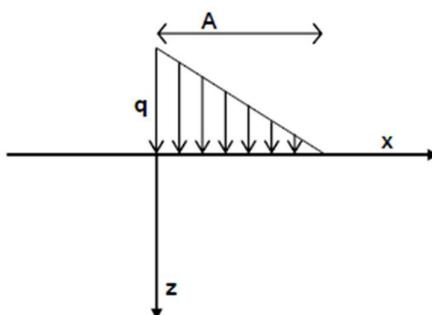


Figura 21 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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

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

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

Il calcolo dei cedimenti indotti dalla realizzazione del rilevato ferroviario è stato svolto modellando la successione stratigrafica in sito tenendo conto delle diverse caratteristiche di deformabilità degli strati, in accordo alla stratigrafia di progetto riportata in Tabella 2. Si sono assunti i valori caratteristici sia sulle azioni che sui materiali.

Si osserva come, in accordo con la stratigrafia e i parametri di progetto riportati nel Capitolo 4, i moduli elastici risultano di fatto indipendenti dallo stato tensionale ed il valore della quota della falda non ha alcuna influenza sull'esito del calcolo. Pertanto, nel calcolo la falda è stata rappresentata ad una quota convenzionale praticamente coincidente con il p.c.

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

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

dove

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

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

La verifica è stata condotta con riferimento alla già citata sezione di riferimento A riportata in Figura 1. Il modello di calcolo implementato per il rilevato tipologico con altezza pari a 5.70 m, è riportato in Figura 22. La larghezza del rilevato è pari a 30 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 23.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1700001B	Foglio 45 di 87

Il cedimento calcolato in corrispondenza del centro del nuovo rilevato è di circa 9 cm. Considerando che:

- gran parte del cedimento avviene per compressione degli strati granulari;
- una quota parte (2-3 cm) avviene per compressione degli strati argillosi in profondità (Figura 23), che verranno ricompresi nel ramo di ricarico, con valori di cv pertanto elevati ( $\geq 5 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s), ed interesseranno strati di spessore esiguo, e pertanto con tempi di consolidazione molto rapidi;

si conclude che tali 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 e lo stato di sovraconsolidazione dei materiali argillosi in profondità, 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:

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

Considerata la similitudine con la stratigrafia e le caratteristiche dello strato migliorato con colonne di ghiaia, e il fatto che la sezione interessata dalle colonne presenta altezze minori (dell'ordine dei 3.5 m) rispetto alla sezione analizzata, l'analisi sopra riportata può essere considerata valida anche per la sezione trattata con colonne di ghiaia.

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



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1700001B

Foglio  
46 di 87

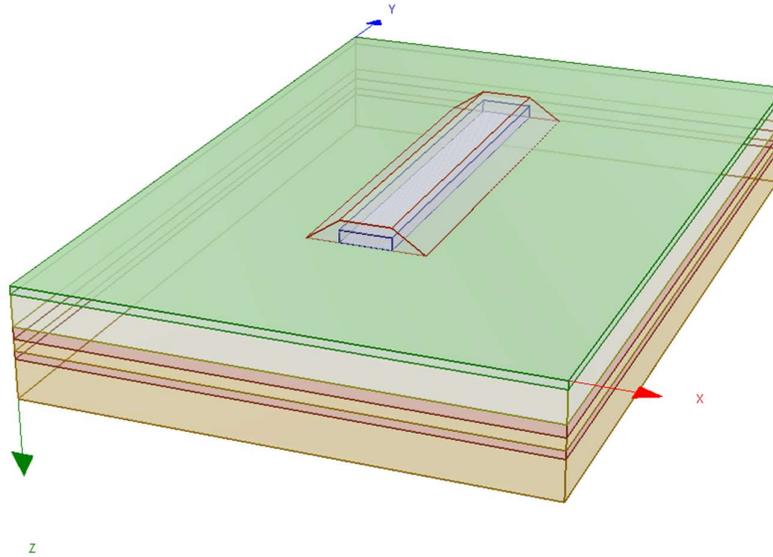


Figura 22 - Rilevato H=5.70 m (pk 12+034 alla pk 12+305)- Analisi SLE – Modello di calcolo

**Ri17 : Cedimento del rilevato ferroviario linea AV**

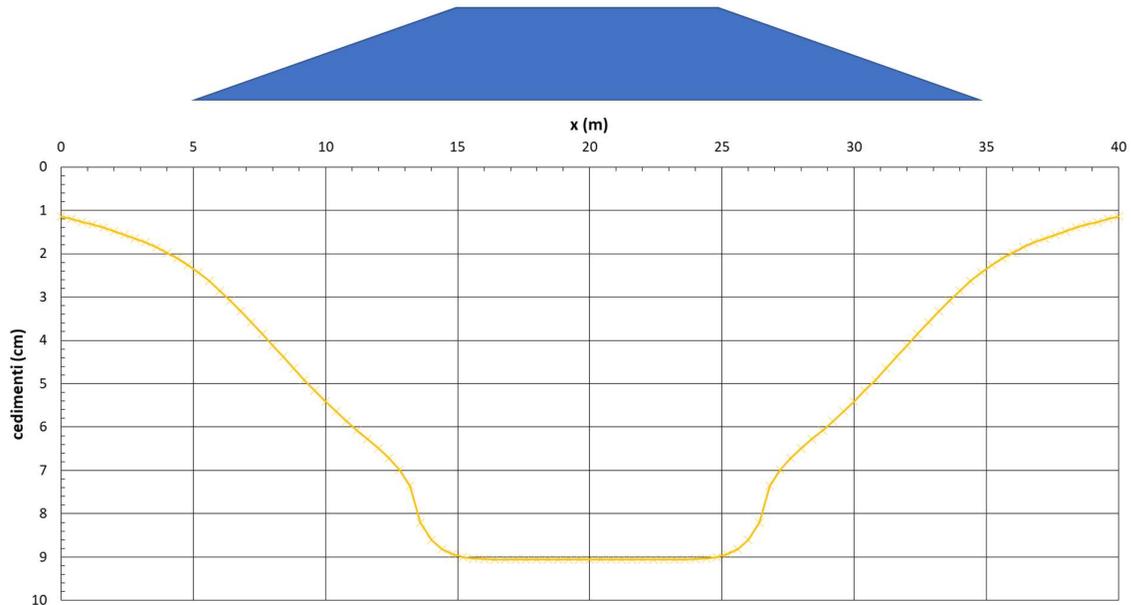


Figura 23 - Rilevato H=5.70 m (pk 12+034 alla pk 12+305) - Analisi SLE – Risultato Cedimenti



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
 Relazione Geotecnica

Progetto  
 IN17

Lotto  
 12

Codifica  
 EI2RBRI1700001B

Foglio  
 47 di 87

**Ri17: cedimento al centro del rilevato AV**

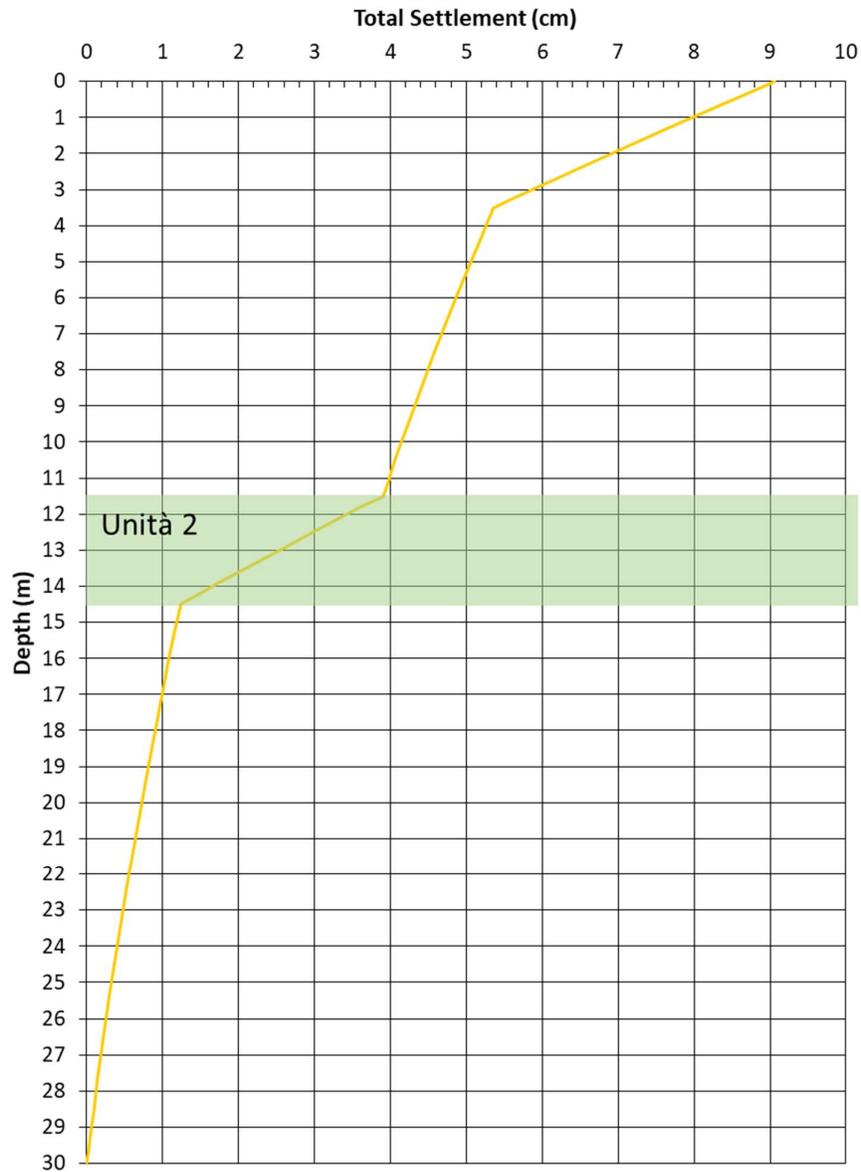


Figura 24 - Rilevato H=5.70 m (pk 12+034 alla pk 12+305) - Analisi SLE – Risultato cedimenti in profondità al centro del rilevato

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

48 di 87

## 7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

49 di 87

**ALLEGATI**

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

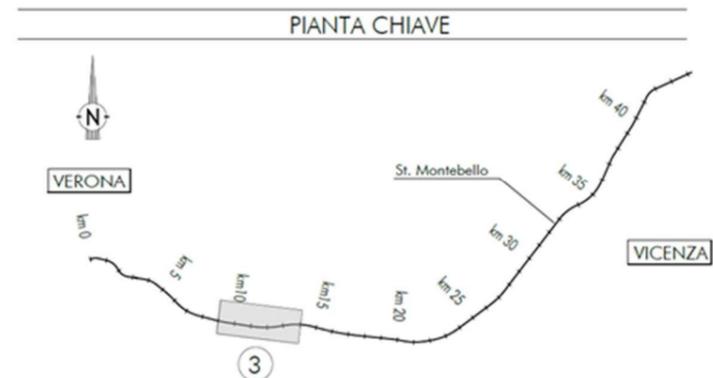
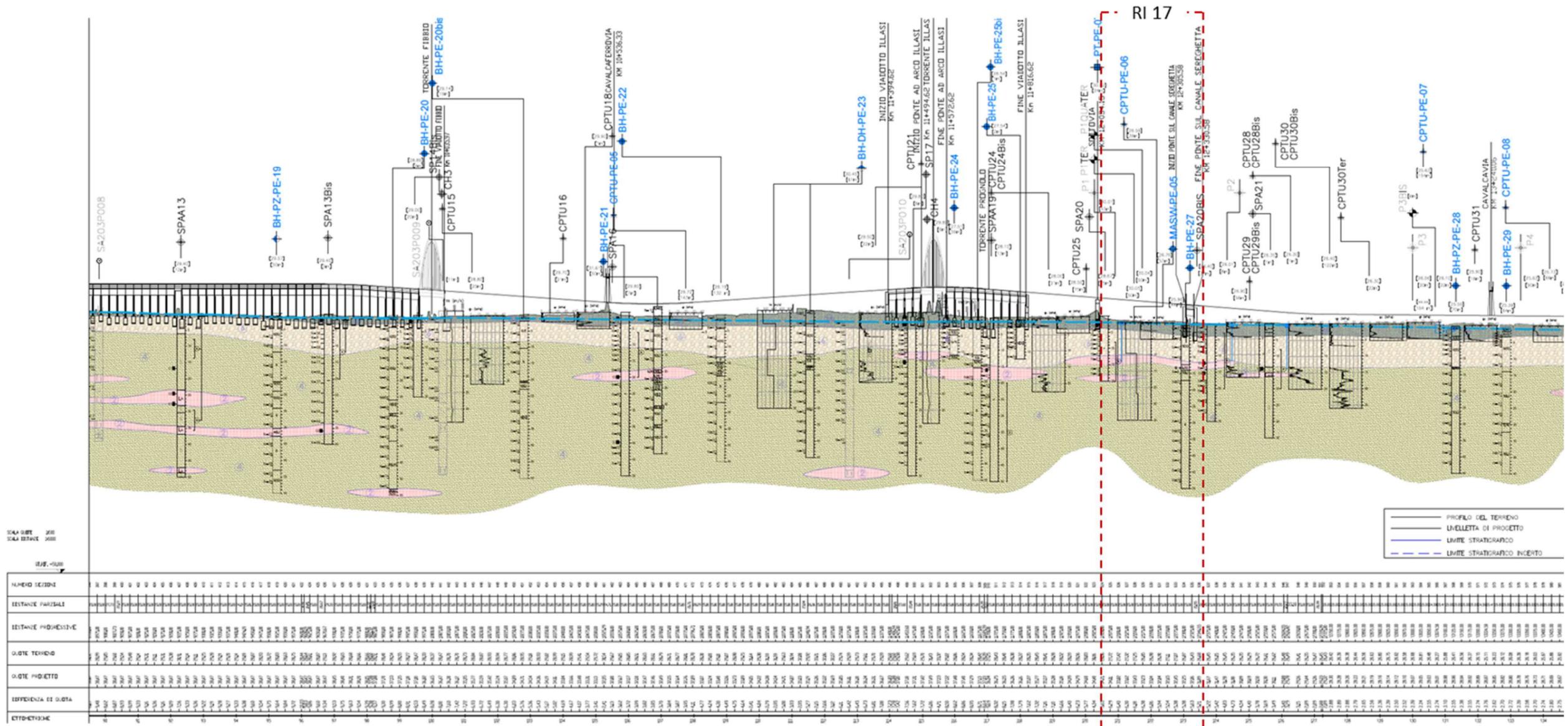
Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

50 di 87

## ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



- LEGENDA**
- Campagna indagini integrative PE**
- BH-PE-n Sondaggio a carotaggio continuo
  - BH-PZ-PE-n Sondaggio a carotaggio continuo con l'installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande
  - MADW-PE-n Indagine MGV
  - CPTU-PE-n Prova penetrometrica statica con piezometro
- Campagna indagini 2018 per CDS**
- Sondaggio geognostico
- Campagna indagini 2015**
- P1+P15, P20 Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - P1+15Bn Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)
- Campagna indagini 2014**
- SP Sondaggio a carotaggio continuo
  - SP, SPA, SPAC, SPA Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - SOC, SOA Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - cmu Prova penetrometrica statica con piezometro (possibilità di avanzamento con trivellazione)
  - cmu Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"
  - ch Foro a distribuzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
  - PT Pozzetto esplorativo a 1,5 m da p.c. con prove di carico su piastra
  - Profondità delle indagini
- PE-PE-n** Pozzetto esplorativo
- BH-DH-PE-n** Sondaggio con esecuzione di prova down hole
- CH-PE-n** Sondaggio con esecuzione di prova cross hole
- Indagini orientati**
- Nota per PE: in blu le indagini disponibili e con coordinate certe, in rosso indagini ancora non disponibili o con coordinate non certe

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>R17 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 11</p>	<p>Codifica E12GERI170001</p>	<p>A</p>

**ALLEGATO 2 - SONDAGGI**

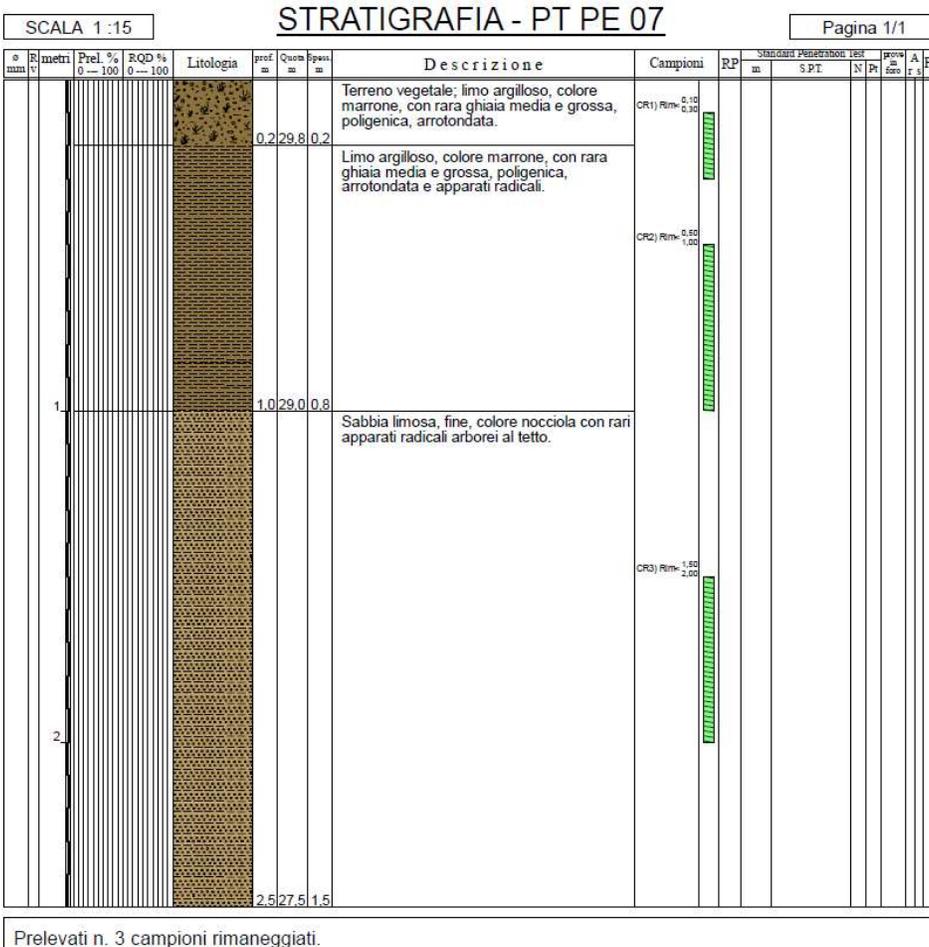


Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI1700001B	53 di 87



Committente: IricAV Due	Sondaggio: PT PE 07
Riferimento: Integrazione AV/AC VR-VI	Data: 14/01/2021
Coordinate: 45° 23' 47.04884" N - 11° 09' 37.52608" E	Quota: 30,0250 m s.l.m.
Perforazione: Pozzetto esplorativo, attrezzatura MINI ESCAVATORE, prog. km 12+030	



Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Alessio Saccon

Il Responsabile della Commessa  
dott.geol. Giuseppe Pacitti

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI1700001B

54 di 87



Committente: IricAV Due	Sondaggio: PT PE 07 bis
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 05/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Pozzetto esplorativo, attrezzatura TERNA, prog. 12+030	

SCALA 1:15

STRATIGRAFIA - PT PE 07 bis

Pagina 1/1

Ø mm	R metri	Prel. % 0-100	RQD % 0-100	Litologia	prof. m	Quota m	Spess. m	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test		N <sub>60</sub>	P <sub>a</sub>	S <sub>u</sub>	A <sub>v</sub>	P <sub>z</sub>
											m	S.P.T.					
					0,9	0,9	0,9	Limo argilloso, colore marrone. Presenti rari clasti ghiaiosi.	CR1) Rim= 0,01 0,50								
	1,				1,6	1,6	0,7	Argilla limosa, colore da marrone a nocciola. A 1,60 m intercettata la falda.	CR2) Rim= 0,50 1,60								

Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gabriele Sprocati



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI1700001B	55 di 87



Laboratorio Sperimentale  
per prove geotecniche terre, rocce e prove in situ  
Via Collenerani, 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 27
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 27/11/2020 - 30/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CMV1200, prog. 12+305	

SCALA 1:60

### STRATIGRAFIA - BH PE 27

Pagina 1/5

a mm	R v	metri	Prel % 0-100	ROD % 0-100	Litologia	prof m	Quota m	Spes m	Descrizione	Campioni	RP m	Standard Penetration Test			N Pt	Classe di fatto	A F.S.	Pz
												SPT	N	Cl				
		1.1			Da argilla limosa a limo argilloso debolmente sabbioso, consistente, colore da marrone ad ocra. Presenti intervalli sabbiosi colore da marrone a rosso.	0.8	-0.8	0.8			1.6							
		1.3									1.3							
		2.0			Da sabbia limosa, fine, a limo sabbioso, materiale sciolto, colore da nocciola ad avana con screziature colore rosso e di rado nero.	2.0	-2.0	1.2		SPT11) SP <sup>1.55</sup> <sub>1.00</sub>	1.6	1-1-2	3	A				
		3.0			Limo sabbioso debolmente argilloso, mediamente consistente, colore grigio con screziature colore verde e di rado nero.						0.8							
		3.5									1.0							
		4.0			Da sabbia ghiaiosa a ghiaia sabbiosa, materiale moderatamente addensato, colore da marrone chiaro ad avana. Clasti e ciottoli da sub-arrottondati ad arrotondati, Ø max. 8-9 cm.	3.5	-3.5	1.5		SPT12) SP <sup>4.55</sup> <sub>1.00</sub>	4.6	19-25-21	44	C				
		5.0																
		7.0																
		7.6								SPT3) SP <sup>7.55</sup> <sub>1.00</sub>	7.6	18-23-20	43	C				
		8.0																
		10.0																
		10.6								SPT4) SP <sup>15.55</sup> <sub>1.00</sub>	10.6	20-23-21	44	C				
		11.0																
		12.0																

Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa  
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI1700001B	56 di 87



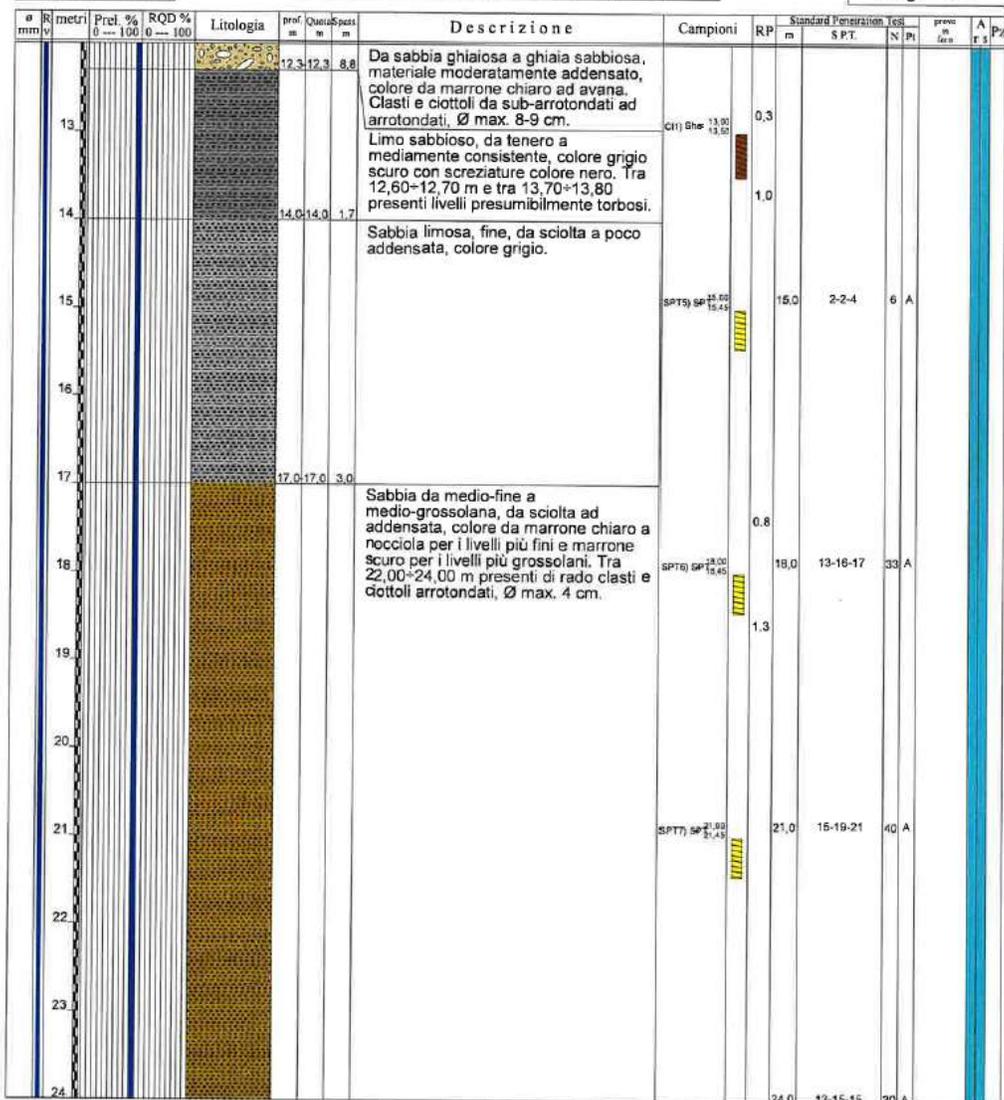
Laboratorio Sperimentale  
per prove geotecniche, prove e prove in situ  
Via Collemaroni, 3 - San Vittore del Lazio (FR)  
e-mail: info@geoserving.it

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 27
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 27/11/2020 - 30/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CMV1200, prog. 12+305	

SCALA 1:60

### STRATIGRAFIA - BH PE 27

Pagina 2/5



Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa  
dott.geol. Giuseppe Pacitti

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI1700001B	57 di 87



Laboratorio Sperimentale  
per prove geotecniche terre, rocce e prove in situ  
Via Collemaroni, 2 - 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 27
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 27/11/2020 - 30/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CMV1200, prog. 12+305	

SCALA 1:60

### STRATIGRAFIA - BH PE 27

Pagina 3/5

Profondità (m)	Litologia	Descrizione	Campioni	Standard Penetration Test			prova in situ	Pz
				RP	S.P.T.	N <sub>60</sub>		
25.00 - 26.00	Sabbia da medio-fine a medio-grossolana, da sciolta ad addensata, colore da marrone chiaro a nocciola per i livelli più fini e marrone scuro per i livelli più grossolani. Tra 22,00-24,00 m presenti di rado ciasti e ciottoli arrotondati, Ø max. 4 cm.		SPT8 SP 24,00 / 24,40					
27.00 - 27.40			SPT9 SP 27,00 / 27,40	27,0	16-18-18	35 A		
28.00 - 29.00			0.8					
30.00 - 30,40			SPT10 SP 30,00 / 30,40	30,0	15-19-28	47 A		
31.00 - 33,40			SPT11 SP 33,00 / 33,40	33,0	16-9-21	30 A		
36.00				36,0	17-20-20	40 A		

Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa  
dott.geol. Giuseppe Pacitti

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI1700001B	58 di 87



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 27
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 27/11/2020 - 30/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CMV1200, prog. 12+305	

SCALA 1:60

### STRATIGRAFIA - BH PE 27

Pagina 4/5

Profondità (m)	Profondità (mm)	Prelevato (%)	RQD (%)	Litologia	Qualità	Spes. (m)	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test (S.P.T.)	N°	Prove in foro	A	Pz
37				Sabbia da medio-fine a medio-grossolana, da sciolta ad addensata, colore da marrone chiaro a nocciola per i livelli più fini e marrone scuro per i livelli più grossolani. Tra 22,00+24,00 m presenti di rado clasti e ciottoli arrotondati, Ø max. 4 cm.				SPT12) 26,00 28,45						
38														
39									SPT13) 26,00 28,45	39,0	16-15-10	34	A	
40														
41														
42									SPT14) 26,00 28,45	42,0	16-17-18	35	A	
43														
44														
45									SPT15) 26,00 28,45	45,0	18-18-18	36	A	
46														
47														
48									48,0	19-15-21	36	A		

Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa  
dott.geol. Giuseppe Pacitti

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

59 di 87



Laboratorio Sperimentale  
per prove geotecniche terra, roccia e prove in situ  
Via Collameroni, 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 27
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 27/11/2020 - 30/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CMV1200, prog. 12+305	

SCALA 1:60

## STRATIGRAFIA - BH PE 27

Pagina 5/5

Ø mm	Prof. m	Prel. % 0 --- 100	RQD % 0 --- 100	Litologia	prof. m	Quota m	Spes. m	Descrizione	Campioni	RP m	Standard Penetration Test S.P.T.	Test N [Pa]	prova in situ	A r s	Pz
100	50				50,0	50,0	39,0	Sabbia da medio-fine a medio-grossolana, da sciolta ad addensata, colore da marrone chiaro a nocciola per i livelli più fini e marrone scuro per i livelli più grossolani. Tra 22,00-24,00 m presenti di rado clasti e ciottoli arrotondati, Ø max. 4 cm.	SPT16) #22,45						

Utilizzato carotiere semplice.  
Prelevato n. 1 campione indisturbato.  
Prelevati n. 16 campioni rimaneggiati S.P.T.  
Eseguite n. 16 prove S.P.T.  
Eseguite n. 3 prove Lefranc.

Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa  
dott.geol. Giuseppe Pacitti

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

60 di 87

**ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA SEZ. 12+100**



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

61 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: R117\_st.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



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

62 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

### Groundwater Analysis

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

### Random Numbers

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

### Surface Options

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

### Seismic

Advanced seismic analysis: No  
Staged pseudostatic analysis: No

### Loading

3 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

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

#### Distributed Load 2

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

#### Distributed Load 3

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

### Material Properties





Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1700001B

Foglio  
63 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Property	Rilevato	Unità3a	Unità6	Unità4	3acompatt	Unità 2
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	20	18	19	19	18	19
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	34	39	38	36	28
Water Surface	Water Table					
Hu Value	1	1	1	1	1	1

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

FS	1.142560
Center:	56.361, 38.594
Radius:	11.248
Left Slip Surface Endpoint:	46.595, 33.015
Right Slip Surface Endpoint:	55.992, 27.353
Resisting Moment:	1651.94 kN-m
Driving Moment:	1445.82 kN-m
Total Slice Area:	13.03 m2
Surface Horizontal Width:	9.39736 m
Surface Average Height:	1.38656 m

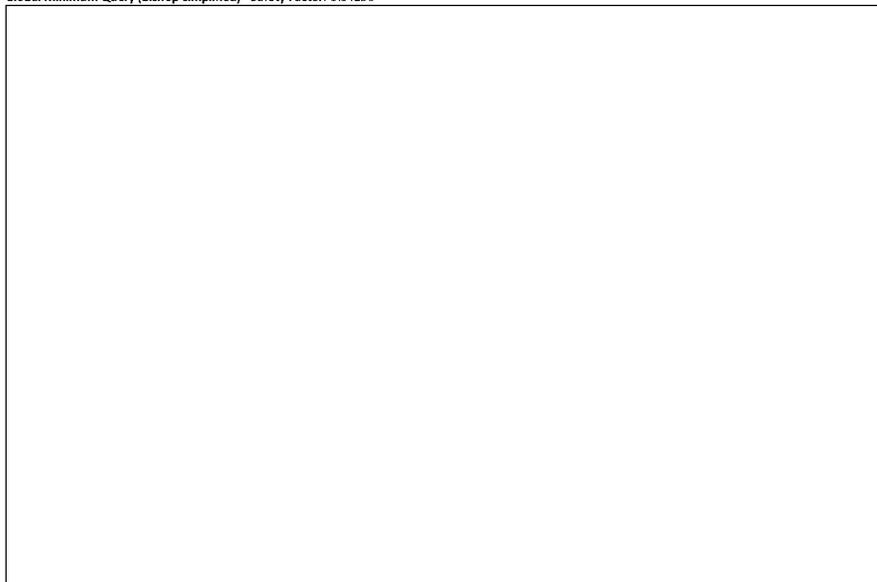
**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

Number of Valid Surfaces:	1258
Number of Invalid Surfaces:	0

**Slice Data**

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.14256





Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
E12RBRI1700001B

Foglio  
64 di 87



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	0.187947	0.595441	-59.3218	Rilevato	0	32.0066	0.902027	1.03062	1.64892	0	1.64892	3.16943	3.16943
2	0.187947	1.7452	-57.4927	Rilevato	0	32.0066	2.73434	3.12415	4.99843	0	4.99843	9.28929	9.28929
3	0.187947	2.81836	-55.7513	Rilevato	0	32.0066	4.55025	5.19893	8.31792	0	8.31792	15.0012	15.0012
4	0.187947	3.8249	-54.0846	Rilevato	0	32.0066	6.34479	7.2493	11.5984	0	11.5984	20.3584	20.3584
5	0.187947	4.73496	-52.4825	Rilevato	0	32.0066	8.05069	9.1984	14.7168	0	14.7168	25.202	25.202
6	0.187947	5.24554	-50.9368	Rilevato	0	32.0066	9.12355	10.4242	16.678	0	16.678	27.9193	27.9193
7	0.187947	5.62472	-49.4409	Rilevato	0	32.0066	9.99099	11.4153	18.2636	0	18.2636	29.9371	29.9371
8	0.187947	5.96082	-47.9895	Rilevato	0	32.0066	10.7976	12.3369	19.7382	0	19.7382	31.7257	31.7257
9	0.187947	6.25745	-46.5778	Rilevato	0	32.0066	11.5452	13.1911	21.1049	0	21.1049	33.3041	33.3041
10	0.187947	6.51765	-45.2019	Rilevato	0	32.0066	12.2355	13.9798	22.3666	0	22.3666	34.6887	34.6887
11	0.187947	6.74404	-43.8587	Rilevato	0	32.0066	12.8698	14.7045	23.5262	0	23.5262	35.8932	35.8932
12	0.187947	6.93888	-42.545	Rilevato	0	32.0066	13.4496	15.367	24.5861	0	24.5861	36.9299	36.9299
13	0.187947	7.10416	-41.2585	Rilevato	0	32.0066	13.9762	15.9687	25.5487	0	25.5487	37.8092	37.8092
14	0.187947	7.24162	-39.9968	Rilevato	0	32.0066	14.4508	16.5109	26.4162	0	26.4162	38.5405	38.5405
15	0.187947	7.35279	-38.758	Rilevato	0	32.0066	14.8743	16.9948	27.1905	0	27.1905	39.1318	39.1318
16	0.187947	7.43903	-37.5404	Rilevato	0	32.0066	15.2479	17.4216	27.8732	0	27.8732	39.5904	39.5904
17	0.187947	7.50157	-36.3424	Rilevato	0	32.0066	15.5722	17.7922	28.4663	0	28.4663	39.923	39.923
18	0.187947	7.5415	-35.1626	Rilevato	0	32.0066	15.8484	18.1077	28.9709	0	28.9709	40.1352	40.1352
19	0.187947	7.5598	-33.9996	Rilevato	0	32.0066	16.0768	18.3687	29.3885	0	29.3885	40.2323	40.2323
20	0.187947	7.55738	-32.8523	Rilevato	0	32.0066	16.2583	18.5761	29.7203	0	29.7203	40.2191	40.2191
21	0.187947	7.53503	-31.7197	Rilevato	0	32.0066	16.3934	18.7304	29.9673	0	29.9673	40.0999	40.0999
22	0.187947	7.49348	-30.6008	Rilevato	0	32.0066	16.4825	18.8323	30.1304	0	30.1304	39.8785	39.8785
23	0.187947	7.43341	-29.4947	Rilevato	0	32.0066	16.5264	18.8824	30.2104	0	30.2104	39.5586	39.5586
24	0.187947	7.35543	-28.4005	Rilevato	0	32.0066	16.5251	18.8809	30.208	0	30.208	39.1433	39.1433
25	0.187947	7.2601	-27.3175	Rilevato	0	32.0066	16.479	18.8283	30.1238	0	30.1238	38.6357	38.6357
26	0.187947	7.14793	-26.245	Rilevato	0	32.0066	16.3885	18.7248	29.9583	0	29.9583	38.0385	38.0385
27	0.187947	7.01938	-25.1823	Rilevato	0	32.0066	16.2537	18.5708	29.7119	0	29.7119	37.3542	37.3542
28	0.187947	6.87491	-24.1288	Rilevato	0	32.0066	16.0747	18.3663	29.3848	0	29.3848	36.5851	36.5851
29	0.187947	6.71489	-23.0839	Rilevato	0	32.0066	15.8518	18.1116	28.9772	0	28.9772	35.7333	35.7333
30	0.187947	6.53971	-22.0471	Rilevato	0	32.0066	15.5848	17.8066	28.4893	0	28.4893	34.8009	34.8009
31	0.187947	6.3497	-21.0178	Rilevato	0	32.0066	15.2739	17.4514	27.9209	0	27.9209	33.7895	33.7895
32	0.187947	6.14516	-19.9956	Rilevato	0	32.0066	14.919	17.0438	27.2721	0	27.2721	32.7009	32.7009
33	0.187947	5.9264	-18.9799	Rilevato	0	32.0066	14.5199	16.5899	26.5426	0	26.5426	31.5365	31.5365
34	0.187947	5.69368	-17.9705	Rilevato	0	32.0066	14.0766	16.0834	25.7322	0	25.7322	30.298	30.298
35	0.187947	5.44723	-16.9667	Rilevato	0	32.0066	13.5888	15.526	24.8404	0	24.8404	28.9863	28.9863
36	0.187947	5.18729	-15.9683	Rilevato	0	32.0066	13.0562	14.9175	23.8669	0	23.8669	27.6029	27.6029
37	0.187947	4.91406	-14.9749	Rilevato	0	32.0066	12.4786	14.2576	22.8111	0	22.8111	26.1488	26.1488
38	0.187947	4.62773	-13.986	Rilevato	0	32.0066	11.8556	13.5457	21.6722	0	21.6722	24.6251	24.6251
39	0.187947	4.32849	-13.0014	Rilevato	0	32.0066	11.1868	12.7816	20.4496	0	20.4496	23.0325	23.0325
40	0.187947	4.01647	-12.0207	Rilevato	0	32.0066	10.4717	11.9645	19.1424	0	19.1424	21.3721	21.3721
41	0.187947	3.69184	-11.0435	Rilevato	0	32.0066	9.70977	11.094	17.7496	0	17.7496	19.6446	19.6446
42	0.187947	3.35472	-10.0696	Rilevato	0	32.0066	8.90045	10.1693	16.2701	0	16.2701	17.8506	17.8506
43	0.187947	3.00522	-9.09862	Rilevato	0	32.0066	8.04302	9.18963	14.7027	0	14.7027	15.9908	15.9908
44	0.187947	2.64347	-8.13026	Rilevato	0	32.0066	7.13685	8.15428	13.0463	0	13.0463	14.0658	14.0658
45	0.187947	2.26954	-7.16423	Rilevato	0	32.0066	6.1811	7.06228	11.2991	0	11.2991	12.0761	12.0761
46	0.187947	1.88352	-6.20025	Rilevato	0	32.0066	5.17493	5.91267	9.45984	0	9.45984	10.022	10.022
47	0.187947	1.48349	-5.23802	Rilevato	0	32.0066	4.11738	4.70435	7.52663	0	7.52663	7.90409	7.90409
48	0.187947	1.0755	-4.27728	Rilevato	0	32.0066	3.00743	3.43617	5.49763	0	5.49763	5.72256	5.72256
49	0.187947	0.653605	-3.31774	Rilevato	0	32.0066	1.84397	2.10685	3.3708	0	3.3708	3.4777	3.4777
50	0.187947	0.219843	-2.35913	Rilevato	0	32.0066	0.625789	0.715001	1.14395	0	1.14395	1.16973	1.16973

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.14256





Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

65 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	46.5951	33.0147	0	0	0
2	46.783	32.6978	0.353011	0	0
3	46.971	32.4029	1.31375	0	0
4	47.1589	32.1269	2.75544	0	0
5	47.3469	31.8674	4.57366	0	0
6	47.5348	31.6226	6.66425	0	0
7	47.7228	31.391	8.81314	0	0
8	47.9107	31.1714	10.9476	0	0
9	48.0987	30.9628	13.0385	0	0
10	48.2866	30.7642	15.0518	0	0
11	48.4746	30.5749	16.9976	0	0
12	48.6625	30.3943	18.8298	0	0
13	48.8505	30.2218	20.545	0	0
14	49.0384	30.0569	22.1328	0	0
15	49.2264	29.8992	23.5847	0	0
16	49.4143	29.7483	24.8942	0	0
17	49.6022	29.6039	26.0565	0	0
18	49.7902	29.4656	27.0684	0	0
19	49.9781	29.3332	27.928	0	0
20	50.1661	29.2065	28.6346	0	0
21	50.354	29.0851	29.1886	0	0
22	50.542	28.9689	29.5914	0	0
23	50.7299	28.8578	29.8453	0	0
24	50.9179	28.7515	29.9536	0	0
25	51.1058	28.6498	29.9203	0	0
26	51.2938	28.5528	29.7502	0	0
27	51.4817	28.4601	29.4487	0	0
28	51.6697	28.3717	29.0222	0	0
29	51.8576	28.2875	28.4773	0	0
30	52.0456	28.2074	27.8218	0	0
31	52.2335	28.1313	27.0636	0	0
32	52.4215	28.0591	26.2116	0	0
33	52.6094	27.9907	25.2752	0	0
34	52.7973	27.9261	24.2643	0	0
35	52.9853	27.8651	23.1896	0	0
36	53.1732	27.8078	22.0622	0	0
37	53.3612	27.754	20.894	0	0
38	53.5491	27.7037	19.6974	0	0
39	53.7371	27.6569	18.4856	0	0
40	53.925	27.6135	17.2723	0	0
41	54.113	27.5735	16.0719	0	0
42	54.3009	27.5368	14.8997	0	0
43	54.4889	27.5034	13.7713	0	0
44	54.6768	27.4733	12.7035	0	0
45	54.8648	27.4465	11.7136	0	0
46	55.0527	27.4229	10.8198	0	0
47	55.2407	27.4024	10.0411	0	0
48	55.4286	27.3852	9.39765	0	0
49	55.6166	27.3712	8.91017	0	0
50	55.8045	27.3603	8.60062	0	0
51	55.9924	27.3525	0	0	0

### List Of Coordinates

#### Water Table

X	Y
-2.493	27.3
91.295	27.3

#### Distributed Load

X	Y
46.1256	33.0147
35.406	33.0147



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

66 di 87

SLIDEINTERPRET 7.030



**Distributed Load**

X	Y
39.0935	33.0147
36.5104	33.0147

**Distributed Load**

X	Y
45.1291	33.0147
42.5209	33.0147

**External Boundary**

X	Y
33.5194	33.0147
25	27.3475
23	27.3475
18.7527	27.3475
0	27.3475
0	25.5
0	17
0	14
0	11
0	9
0	0
80.9625	0
80.9625	9
80.9625	11
80.9625	14
80.9625	17
80.9625	25.5
80.9625	27.3475
63.7319	27.3475
58	27.3475
56	27.3475
47.4594	33.0147

**Material Boundary**

X	Y
25	27.3475
56	27.3475

**Material Boundary**

X	Y
0	25.5
23.4242	25.5
58.6993	25.5
80.9625	25.5

**Material Boundary**

X	Y
0	17
80.9625	17

**Material Boundary**

X	Y
0	14
80.9625	14

**Material Boundary**

X	Y

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

67 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

X	Y
0	11
80.9625	11

**Material Boundary**

X	Y
0	9
80.9625	9

**Material Boundary**

X	Y
23	27.3475
25.555	26.7
56.332	26.7
58	27.3475

**Material Boundary**

X	Y
58.6993	25.5
63.7319	27.3475

**Material Boundary**

X	Y
18.7527	27.3475
23.4242	25.5

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI1700001B	68 di 87

**ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU POST SISMA SEZ 12+100**



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

69 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: R117\_sismica.slim  
Slide Modeler Version: 7.038  
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

#### General Settings

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

#### Design Standard

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

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

#### Analysis Options

Slices Type: Vertical

##### Analysis Methods Used

Bishop simplified

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



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

70 di 87

SLIDEINTERPRET 7.030



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

### Groundwater Analysis

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

### Random Numbers

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

### Surface Options

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

### Seismic

Advanced seismic analysis: No  
Staged pseudostatic analysis: No

### Loading

3 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

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

#### Distributed Load 2

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

#### Distributed Load 3

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

### Material Properties





Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1700001B

Foglio  
71 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Property	Rilevato	Unità3a liquef	Unità6	Unità4	3acompatt	Unità 2
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	20	18	19	19	18	19
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	5.7	39	38	36	28
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1	1	0

**Global Minimums**

Method: bishop simplified

FS	1.140090
Center:	56.501, 38.951
Radius:	11.613
Left Slip Surface Endpoint:	46.520, 33.015
Right Slip Surface Endpoint:	55.997, 27.350
Resisting Moment:	1706.12 kN-m
Driving Moment:	1496.48 kN-m
Total Slice Area:	13.0606 m2
Surface Horizontal Width:	9.47643 m
Surface Average Height:	1.37822 m

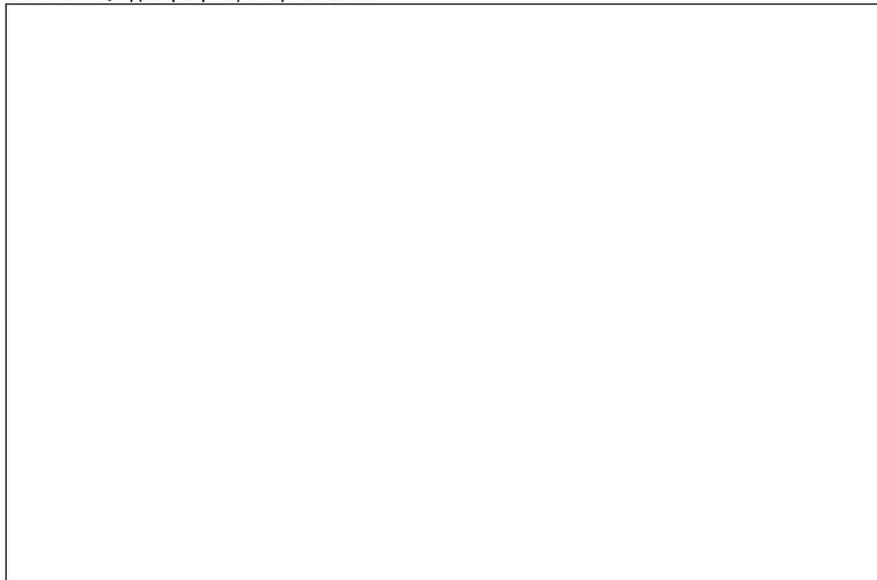
**Valid / Invalid Surfaces**

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces:	1161
Number of Invalid Surfaces:	0

**Slice Data**

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.14009





Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1700001B

Foglio  
72 di 87



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	0.189529	0.583059	-58.3636	Rilevato	0	32.0066	0.892763	1.01783	1.62846	0	1.62846	3.07756	3.07756
2	0.189529	1.71135	-56.6223	Rilevato	0	32.0066	2.7029	3.08155	4.93025	0	4.93025	9.03289	9.03289
3	0.189529	2.76879	-54.958	Rilevato	0	32.0066	4.49667	5.12661	8.20222	0	8.20222	14.6141	14.6141
4	0.189529	3.76397	-53.3602	Rilevato	0	32.0066	6.26982	7.14816	11.4365	0	11.4365	19.8666	19.8666
5	0.189529	4.70327	-51.8202	Rilevato	0	32.0066	8.01872	9.14206	14.6266	0	14.6266	24.824	24.824
6	0.189529	5.33375	-50.3313	Rilevato	0	32.0066	9.2912	10.5928	16.9477	0	16.9477	28.1515	28.1515
7	0.189529	5.70178	-48.8877	Rilevato	0	32.0066	10.1329	11.5524	18.4831	0	18.4831	30.0936	30.0936
8	0.189529	6.02846	-47.4847	Rilevato	0	32.0066	10.9159	12.4451	19.9112	0	19.9112	31.8175	31.8175
9	0.189529	6.31706	-46.1183	Rilevato	0	32.0066	11.6417	13.2726	21.2351	0	21.2351	33.3404	33.3404
10	0.189529	6.57038	-44.7849	Rilevato	0	32.0066	12.3117	14.0365	22.4574	0	22.4574	34.677	34.677
11	0.189529	6.79085	-43.4818	Rilevato	0	32.0066	12.9275	14.7385	23.5805	0	23.5805	35.8404	35.8404
12	0.189529	6.98058	-42.2061	Rilevato	0	32.0066	13.4901	15.3799	24.6067	0	24.6067	36.8414	36.8414
13	0.189529	7.14142	-40.9558	Rilevato	0	32.0066	14.0007	15.9621	25.5382	0	25.5382	37.6899	37.6899
14	0.189529	7.275	-39.7287	Rilevato	0	32.0066	14.4606	16.4864	26.377	0	26.377	38.3947	38.3947
15	0.189529	7.38278	-38.5231	Rilevato	0	32.0066	14.8706	16.9538	27.1248	0	27.1248	38.9632	38.9632
16	0.189529	7.46604	-37.3373	Rilevato	0	32.0066	15.2315	17.3653	27.7833	0	27.7833	39.4023	39.4023
17	0.189529	7.52596	-36.1701	Rilevato	0	32.0066	15.5444	17.722	28.3539	0	28.3539	39.7182	39.7182
18	0.189529	7.56357	-35.0199	Rilevato	0	32.0066	15.8098	18.0246	28.8381	0	28.8381	39.9164	39.9164
19	0.189529	7.57981	-33.8857	Rilevato	0	32.0066	16.0285	18.2739	29.2369	0	29.2369	40.0018	40.0018
20	0.189529	7.57554	-32.7664	Rilevato	0	32.0066	16.201	18.4706	29.5516	0	29.5516	39.9791	39.9791
21	0.189529	7.55154	-31.6611	Rilevato	0	32.0066	16.3279	18.6153	29.7831	0	29.7831	39.8521	39.8521
22	0.189529	7.50852	-30.5687	Rilevato	0	32.0066	16.4097	18.7085	29.9323	0	29.9323	39.6248	39.6248
23	0.189529	7.44711	-29.4885	Rilevato	0	32.0066	16.4467	18.7507	29.9997	0	29.9997	39.3005	39.3005
24	0.189529	7.36792	-28.4197	Rilevato	0	32.0066	16.4393	18.7423	29.9863	0	29.9863	38.8823	38.8823
25	0.189529	7.27148	-27.3616	Rilevato	0	32.0066	16.3878	18.6836	29.8924	0	29.8924	38.3731	38.3731
26	0.189529	7.15829	-26.3135	Rilevato	0	32.0066	16.2925	18.5749	29.7186	0	29.7186	37.7756	37.7756
27	0.189529	7.02882	-25.2748	Rilevato	0	32.0066	16.1535	18.4165	29.465	0	29.465	37.0921	37.0921
28	0.189529	6.88348	-24.2449	Rilevato	0	32.0066	15.971	18.2084	29.1322	0	29.1322	36.3249	36.3249
29	0.189529	6.72268	-23.2233	Rilevato	0	32.0066	15.7452	17.9509	28.7201	0	28.7201	35.4761	35.4761
30	0.189529	6.54675	-22.2095	Rilevato	0	32.0066	15.4759	17.6439	28.2289	0	28.2289	34.5475	34.5475
31	0.189529	6.35605	-21.2029	Rilevato	0	32.0066	15.1632	17.2874	27.6586	0	27.6586	33.5409	33.5409
32	0.189529	6.15087	-20.2032	Rilevato	0	32.0066	14.8072	16.8815	27.0091	0	27.0091	32.458	32.458
33	0.189529	5.9315	-19.2098	Rilevato	0	32.0066	14.4075	16.4259	26.2802	0	26.2802	31.3002	31.3002
34	0.189529	5.6982	-18.2224	Rilevato	0	32.0066	13.9642	15.9205	25.4717	0	25.4717	30.0689	30.0689
35	0.189529	5.45122	-17.2406	Rilevato	0	32.0066	13.4771	15.3651	24.5831	0	24.5831	28.7655	28.7655
36	0.189529	5.19078	-16.264	Rilevato	0	32.0066	12.9459	14.7595	23.6141	0	23.6141	27.3909	27.3909
37	0.189529	4.91707	-15.2922	Rilevato	0	32.0066	12.3703	14.1033	22.5642	0	22.5642	25.9465	25.9465
38	0.189529	4.6303	-14.3249	Rilevato	0	32.0066	11.7499	13.396	21.4327	0	21.4327	24.4331	24.4331
39	0.189529	4.33064	-13.3617	Rilevato	0	32.0066	11.0845	12.6373	20.2188	0	20.2188	22.8517	22.8517
40	0.189529	4.01824	-12.4024	Rilevato	0	32.0066	10.3735	11.8267	18.9219	0	18.9219	21.2031	21.2031
41	0.189529	3.69325	-11.4466	Rilevato	0	32.0066	9.61643	10.9636	17.541	0	17.541	19.4881	19.4881
42	0.189529	3.35581	-10.494	Rilevato	0	32.0066	8.81273	10.0473	16.075	0	16.075	17.7074	17.7074
43	0.189529	3.00603	-9.54436	Rilevato	0	32.0066	7.96188	9.0726	14.5229	0	14.5229	15.8616	15.8616
44	0.189529	2.64402	-8.59735	Rilevato	0	32.0066	7.06309	8.05256	12.8835	0	12.8835	13.9514	13.9514
45	0.189529	2.26988	-7.65269	Rilevato	0	32.0066	6.11568	6.97243	11.1554	0	11.1554	11.9771	11.9771
46	0.189529	1.88369	-6.71013	Rilevato	0	32.0066	5.11883	5.83593	9.33708	0	9.33708	9.93933	9.93933
47	0.189529	1.48553	-5.76938	Rilevato	0	32.0066	4.07167	4.64207	7.42697	0	7.42697	7.83836	7.83836
48	0.189529	1.07546	-4.8302	Rilevato	0	32.0066	2.97324	3.38976	5.42339	0	5.42339	5.67463	5.67463
49	0.189529	0.653541	-3.89231	Rilevato	0	32.0066	1.8225	2.07781	3.32435	0	3.32435	3.44835	3.44835
50	0.189529	0.219812	-2.95547	Rilevato	0	32.0066	0.618337	0.70496	1.12788	0	1.12788	1.15981	1.15981

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.14009





Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

73 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	46.5204	33.0147	0	0	0
2	46.7099	32.707	0.331907	0	0
3	46.8995	32.4193	1.23838	0	0
4	47.089	32.1491	2.60351	0	0
5	47.2785	31.8943	4.33055	0	0
6	47.468	31.6532	6.33738	0	0
7	47.6576	31.4247	8.45116	0	0
8	47.8471	31.2075	10.5462	0	0
9	48.0366	31.0008	12.5951	0	0
10	48.2262	30.8037	14.5754	0	0
11	48.4157	30.6156	16.4684	0	0
12	48.6052	30.4359	18.2587	0	0
13	48.7947	30.264	19.9337	0	0
14	48.9843	30.0995	21.4834	0	0
15	49.1738	29.942	22.8996	0	0
16	49.3633	29.7911	24.1761	0	0
17	49.5529	29.6455	25.3086	0	0
18	49.7424	29.508	26.2936	0	0
19	49.9319	29.3752	27.1296	0	0
20	50.1214	29.2479	27.8158	0	0
21	50.311	29.1259	28.3527	0	0
22	50.5005	29.009	28.7416	0	0
23	50.69	28.8971	28.9849	0	0
24	50.8796	28.7899	29.0857	0	0
25	51.0691	28.6873	29.048	0	0
26	51.2586	28.5892	28.8765	0	0
27	51.4481	28.4955	28.5766	0	0
28	51.6377	28.406	28.1543	0	0
29	51.8272	28.3207	27.6164	0	0
30	52.0167	28.2393	26.9704	0	0
31	52.2063	28.162	26.2241	0	0
32	52.3958	28.0884	25.3862	0	0
33	52.5853	28.0187	24.4659	0	0
34	52.7748	27.9526	23.473	0	0
35	52.9644	27.8903	22.4178	0	0
36	53.1539	27.8314	21.3115	0	0
37	53.3434	27.7761	20.1656	0	0
38	53.533	27.7243	18.9923	0	0
39	53.7225	27.6759	17.8045	0	0
40	53.912	27.6309	16.6156	0	0
41	54.1015	27.5892	15.4398	0	0
42	54.2911	27.5509	14.2919	0	0
43	54.4806	27.5157	13.1873	0	0
44	54.6701	27.4839	12.1424	0	0
45	54.8597	27.4552	11.174	0	0
46	55.0492	27.4298	10.3	0	0
47	55.2387	27.4075	9.53879	0	0
48	55.4282	27.3883	8.90995	0	0
49	55.6178	27.3723	8.43376	0	0
50	55.8073	27.3594	8.1315	0	0
51	55.9968	27.3496	0	0	0

### List Of Coordinates

#### Water Table

X	Y
-2.493	27.3
91.295	27.3

#### Distributed Load

X	Y
46.1256	33.0147
35.406	33.0147



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

74 di 87

SLIDEINTERPRET 7.030



**Distributed Load**

X	Y
39.0935	33.0147
36.5104	33.0147

**Distributed Load**

X	Y
45.1291	33.0147
42.5209	33.0147

**External Boundary**

X	Y
33.5194	33.0147
25	27.3475
23	27.3475
18.7527	27.3475
0	27.3475
0	25.5
0	17
0	14
0	11
0	9
0	0
80.9625	0
80.9625	9
80.9625	11
80.9625	14
80.9625	17
80.9625	25.5
80.9625	27.3475
63.7319	27.3475
58	27.3475
56	27.3475
47.4594	33.0147

**Material Boundary**

X	Y
25	27.3475
56	27.3475

**Material Boundary**

X	Y
0	25.5
23.4242	25.5
58.6993	25.5
80.9625	25.5

**Material Boundary**

X	Y
0	17
80.9625	17

**Material Boundary**

X	Y
0	14
80.9625	14

**Material Boundary**

X	Y
0	14
80.9625	14

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

75 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

X	Y
0	11
80.9625	11

**Material Boundary**

X	Y
0	9
80.9625	9

**Material Boundary**

X	Y
23	27.3475
25.555	26
56.332	26
58	27.3475

**Material Boundary**

X	Y
58.6993	25.5
63.7319	27.3475

**Material Boundary**

X	Y
18.7527	27.3475
23.4242	25.5

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

76 di 87

**ALLEGATO 5- TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU POST SISMA SEZ 12+305**



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

77 di 87

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: R117\_colonne\_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 piezos: Yes  
Initial trial value of FS: 1  
Steffensen Iteration: Yes

#### Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

78 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

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

### Random Numbers

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

### Surface Options

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

### Seismic

Advanced seismic analysis: No  
Staged pseudostatic analysis: No

### Loading

3 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

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

#### Distributed Load 2

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

#### Distributed Load 3

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

### Material Properties

Property	Rilevato	Unità3a Jiq	Unità6	Unità4	TRATTAMENTO	Unità 2
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	20	18	19	19	18	19
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	5.7	39	38	35	28
Water Surface	None	None	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0	0	0



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

79 di 87

SLIDEINTERPRET 7.030



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

### Global Minimums

#### Method: bishop simplified

	FS	1.281160
Center:	55.759, 34.748	
Radius:	8.951	
Left Slip Surface Endpoint:	48.170, 30.004	
Right Slip Surface Endpoint:	56.701, 25.848	
Resisting Moment:	1090.88 kN-m	
Driving Moment:	851.482 kN-m	
Total Slice Area:	10.5473 m <sup>2</sup>	
Surface Horizontal Width:	8.53104 m	
Surface Average Height:	1.23634 m	

### Valid / Invalid Surfaces

#### Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1115  
Number of Invalid Surfaces: 0

### Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.28116





Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI1700001B

80 di 87

SLIDEENRPT 7.038

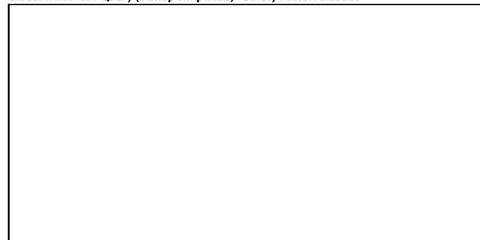


SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 7

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	0.170621	0.448019	-56.9849	Rilevato	0	32.0066	0.732435	0.938367	1.50132	0	1.50132	2.62852	2.62852
2	0.170621	1.31225	-55.0298	Rilevato	0	32.0066	2.21257	2.83466	4.53524	0	4.53524	7.69861	7.69861
3	0.170621	2.11713	-53.1659	Rilevato	0	32.0066	3.66934	4.70101	7.52129	0	7.52129	12.4201	12.4201
4	0.170621	2.8702	-51.38	Rilevato	0	32.0066	5.09985	6.53373	10.4535	0	10.4535	16.8374	16.8374
5	0.170621	3.57741	-49.6613	Rilevato	0	32.0066	6.50244	8.33066	13.3284	0	13.3284	20.9854	20.9854
6	0.170621	4.24354	-48.0015	Rilevato	0	32.0066	7.87622	10.0907	16.1443	0	16.1443	24.8922	24.8922
7	0.170621	4.8725	-46.3935	Rilevato	0	32.0066	9.22071	11.8132	18.9003	0	18.9003	28.5808	28.5808
8	0.170621	5.46754	-44.8316	Rilevato	0	32.0066	10.5358	13.4981	21.596	0	21.596	32.0701	32.0701
9	0.170621	6.03139	-43.311	Rilevato	0	32.0066	11.8218	15.1456	24.2318	0	24.2318	35.3764	35.3764
10	0.170621	6.43771	-41.8276	Rilevato	0	32.0066	12.8224	16.4276	26.2829	0	26.2829	37.7586	37.7586
11	0.170621	6.566	-40.3778	Rilevato	0	32.0066	13.2786	17.012	27.218	0	27.218	38.5101	38.5101
12	0.170621	6.66261	-38.9586	Rilevato	0	32.0066	13.6707	17.5144	28.0217	0	28.0217	39.0757	39.0757
13	0.170621	6.73558	-37.5673	Rilevato	0	32.0066	14.0132	17.9532	28.7238	0	28.7238	39.5028	39.5028
14	0.170621	6.78624	-36.2016	Rilevato	0	32.0066	14.3074	18.3301	29.3269	0	29.3269	39.7989	39.7989
15	0.170621	6.81575	-34.8593	Rilevato	0	32.0066	14.5545	18.6466	29.8331	0	29.8331	39.9711	39.9711
16	0.170621	6.82515	-33.5386	Rilevato	0	32.0066	14.7552	18.9038	30.2448	0	30.2448	40.0253	40.0253
17	0.170621	6.81537	-32.2377	Rilevato	0	32.0066	14.9108	19.1031	30.5636	0	30.5636	39.9671	39.9671
18	0.170621	6.78723	-30.9553	Rilevato	0	32.0066	15.0218	19.2453	30.7911	0	30.7911	39.8012	39.8012
19	0.170621	6.74147	-29.6898	Rilevato	0	32.0066	15.0891	19.3315	30.929	0	30.929	39.5321	39.5321
20	0.170621	6.67878	-28.4401	Rilevato	0	32.0066	15.1131	19.3623	30.9783	0	30.9783	39.1636	39.1636
21	0.170621	6.59975	-27.2205	Rilevato	0	32.0066	15.0945	19.3385	30.9402	0	30.9402	38.6994	38.6994
22	0.170621	6.50493	-25.9835	Rilevato	0	32.0066	15.0337	19.2606	30.8156	0	30.8156	38.1426	38.1426
23	0.170621	6.39483	-24.7745	Rilevato	0	32.0066	14.9311	19.1291	30.6053	0	30.6053	37.4963	37.4963
24	0.170621	6.26989	-23.5772	Rilevato	0	32.0066	14.787	18.9445	30.3098	0	30.3098	36.763	36.763
25	0.170621	6.13053	-22.3907	Rilevato	0	32.0066	14.6015	18.7069	29.9296	0	29.9296	35.9452	35.9452
26	0.170621	5.97712	-21.2143	Rilevato	0	32.0066	14.3749	18.4166	29.4652	0	29.4652	35.045	35.045
27	0.170621	5.81	-20.0471	Rilevato	0	32.0066	14.1074	18.0738	28.9167	0	28.9167	34.0645	34.0645
28	0.170621	5.62949	-18.8886	Rilevato	0	32.0066	13.7987	17.6784	28.2842	0	28.2842	33.0055	33.0055
29	0.170621	5.43588	-17.738	Rilevato	0	32.0066	13.4492	17.2306	27.5677	0	27.5677	31.8697	31.8697
30	0.170621	5.22941	-16.5948	Rilevato	0	32.0066	13.0586	16.7301	26.767	0	26.767	30.6587	30.6587
31	0.170621	5.01033	-15.4584	Rilevato	0	32.0066	12.6268	16.1769	25.8818	0	25.8818	29.3736	29.3736
32	0.170621	4.77885	-14.3281	Rilevato	0	32.0066	12.1535	15.5706	24.9118	0	24.9118	28.0161	28.0161
33	0.170621	4.53516	-13.2036	Rilevato	0	32.0066	11.6386	14.9109	23.8563	0	23.8563	26.5869	26.5869
34	0.170621	4.27944	-12.0841	Rilevato	0	32.0066	11.0817	14.1974	22.7148	0	22.7148	25.0873	25.0873
35	0.170621	4.01185	-10.9694	Rilevato	0	32.0066	10.4824	13.4296	21.4864	0	21.4864	23.5181	23.5181
36	0.170621	3.73252	-9.85882	Rilevato	0	32.0066	9.84022	12.6069	20.1702	0	20.1702	21.8803	21.8803
37	0.170621	3.44159	-8.75199	Rilevato	0	32.0066	9.15475	11.7287	18.765	0	18.765	20.1744	20.1744
38	0.170621	3.13916	-7.64844	Rilevato	0	32.0066	8.42526	10.7941	17.2698	0	17.2698	18.4012	18.4012
39	0.170621	2.82532	-6.54774	Rilevato	0	32.0066	7.65112	9.80231	15.683	0	15.683	16.5612	16.5612
40	0.170621	2.50016	-5.44946	Rilevato	0	32.0066	6.83161	8.75239	14.0032	0	14.0032	14.6549	14.6549
41	0.170621	2.16375	-4.35318	Rilevato	0	32.0066	5.96587	7.64323	12.2286	0	12.2286	12.6827	12.6827
42	0.170621	1.81615	-3.2585	Rilevato	0	32.0066	5.05295	6.47364	10.3573	0	10.3573	10.645	10.645
43	0.170621	1.45738	-2.16501	Rilevato	0	32.0066	4.09185	5.24232	8.3873	0	8.3873	8.54199	8.54199
44	0.170621	1.08749	-1.07231	Rilevato	0	32.0066	3.08143	3.94781	6.31624	0	6.31624	6.37391	6.37391
45	0.170621	0.706499	0.019997	Rilevato	0	32.0066	2.02046	2.58853	4.14146	0	4.14146	4.14075	4.14075
46	0.170621	0.316586	1.11231	Rilevato	0	32.0066	0.913859	1.1708	1.8732	0	1.8732	1.85546	1.85546
47	0.170621	0.145453	2.20504	Rilevato	0	32.0066	0.423841	0.543008	0.868776	0	0.868776	0.852456	0.852456
48	0.170621	0.117466	3.29856	Rilevato	0	32.0066	0.345567	0.442726	0.708328	0	0.708328	0.688411	0.688411
49	0.170621	0.0783217	4.39329	Rilevato	0	32.0066	0.232647	0.298058	0.476871	0	0.476871	0.458997	0.458997
50	0.170621	0.027978	5.48963	Rilevato	0	32.0066	0.0839239	0.10752	0.172024	0	0.172024	0.163958	0.163958

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.28116





Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

81 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	48.1696	30.0037	0	0	0
2	48.3402	29.7411	0.26955	0	0
3	48.5108	29.4971	0.999279	0	0
4	48.6815	29.2694	2.08799	0	0
5	48.8521	29.0558	3.4526	0	0
6	49.0227	28.8549	5.02368	0	0
7	49.1933	28.6654	6.74247	0	0
8	49.3639	28.4862	8.55857	0	0
9	49.5346	28.3166	10.4284	0	0
10	49.7052	28.1558	12.3138	0	0
11	49.8758	28.0031	14.1447	0	0
12	50.0464	27.858	15.8337	0	0
13	50.217	27.72	17.3727	0	0
14	50.3877	27.5888	18.7573	0	0
15	50.5583	27.4639	19.9844	0	0
16	50.7289	27.345	21.0526	0	0
17	50.8995	27.2319	21.9617	0	0
18	51.0701	27.1243	22.7124	0	0
19	51.2408	27.022	23.3067	0	0
20	51.4114	26.9247	23.7471	0	0
21	51.582	26.8323	24.0373	0	0
22	51.7526	26.7446	24.1817	0	0
23	51.9232	26.6614	24.1853	0	0
24	52.0939	26.5827	24.0539	0	0
25	52.2645	26.5082	23.7939	0	0
26	52.4351	26.4379	23.4124	0	0
27	52.6057	26.3717	22.917	0	0
28	52.7763	26.3095	22.3161	0	0
29	52.947	26.2511	21.6186	0	0
30	53.1176	26.1965	20.834	0	0
31	53.2882	26.1457	19.9723	0	0
32	53.4588	26.0985	19.0443	0	0
33	53.6295	26.0549	18.0613	0	0
34	53.8001	26.0149	17.0352	0	0
35	53.9707	25.9783	15.9787	0	0
36	54.1413	25.9453	14.9051	0	0
37	54.3119	25.9156	13.8282	0	0
38	54.4826	25.8893	12.7629	0	0
39	54.6532	25.8664	11.7245	0	0
40	54.8238	25.8468	10.7293	0	0
41	54.9944	25.8306	9.79445	0	0
42	55.165	25.8176	8.93782	0	0
43	55.3357	25.8079	8.17836	0	0
44	55.5063	25.8014	7.53397	0	0
45	55.6769	25.7982	7.03165	0	0
46	55.8475	25.7983	6.6875	0	0
47	56.0181	25.8016	6.52574	0	0
48	56.1888	25.8082	6.44789	0	0
49	56.3594	25.818	6.38211	0	0
50	56.53	25.8311	6.33626	0	0
51	56.7006	25.8475	0	0	0

List Of Coordinates

Distributed Load

X	Y
39.2088	30.0037
36.5153	30.0037

Distributed Load

X	Y
44.2702	30.0037
41.5471	30.0037

Distributed Load



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

82 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

X	Y
45.8981	30.0037
35.5682	30.0037

**External Boundary**

X	Y
0	0
80.9625	0
80.9625	11.3475
80.9625	14.3475
80.9625	17.3475
80.9625	22.3475
80.9625	25.8475
60	25.8475
56	25.8475
49.7365	30.0037
31.248	30.0037
25	25.8475
21	25.8475
0	25.8475
0	22.3475
0	17.3475
0	14.3475
0	11.3475

**Material Boundary**

X	Y
25	25.8475
56	25.8475

**Material Boundary**

X	Y
0	17.3475
80.9625	17.3475

**Material Boundary**

X	Y
0	14.3475
80.9625	14.3475

**Material Boundary**

X	Y
0	22.3475
21	22.3475
60	22.3475
80.9625	22.3475

**Material Boundary**

X	Y
21	22.3475
21	25.3
21	25.8475

**Material Boundary**

X	Y
60	22.3475
60	25.3
60	25.8475

**Material Boundary**

--	--

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

83 di 87



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

X	Y
21	25.3
60	25.3

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

84 di 87

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



## Settle3D Analysis Information

### Ri17

#### Project Settings

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

#### Stage Settings

Stage #	Name
1	Stage 1

#### Results

Time taken to compute: 0.914359 seconds

#### Stage: Stage 1

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.0831491
Consolidation Settlement [m]	0	0
Immediate Settlement [m]	0	0.0831491
Loading Stress [kPa]	0	174.235
Total Stress [kPa]	0	615.184
Total Strain	3.61181e-006	0.0115425
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	2.54884	614.913
Over-consolidation Ratio	1	1
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [m]	0	0

#### Loads

##### 1. Rectangular Load

Length: 13.2 m  
Width: 100 m  
Rotation angle: 0 degrees  
Load Type: Flexible  
Area of Load: 1320 m<sup>2</sup>  
Load: 11.3 kPa  
Depth: -5 m  
Installation Stage: Stage 1

##### Coordinates



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

86 di 87

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

## Embankments

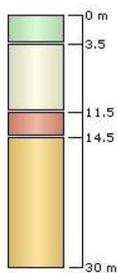
### 1. Embankment

Center Line: (0, -50) to (0, 50)  
Number of Layers: 1  
Near End Angle: 90 degrees  
Far End Angle: 90 degrees  
Base Width: 30

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	5.7	20	34	0

## Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	3a-tratta	3.5	0
2	u6	8	3.5
3	u2	3	11.5
4	u4	15.5	14.5



## Soil Properties

Property	3a-tratta	u6	u2	u4
Color				
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	18	19	19	19
Immediate Settlement	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled
Es [kPa]	15000	60000	10000	80000
Esur [kPa]	15000	60000	10000	80000



Rilevato ferroviario AV da pk 12+034,15 a pk 12+305,58  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1700001B

Foglio

87 di 87

### Query Points

Point #	(X,Y) Location	Number of Divisions
1	0.00303833, 4.9738e-014	Auto: 53

### Query Lines

Line #	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	-20, 0	20, 0	100	Auto: 41