

COMMITTENTE:



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+330,58 a pk 12+725,00  
 GENERALE  
 Relazione Geotecnica**

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

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

I	N	1	7	1	2	E	I	2	R	B	R	I	1	8	0	0	0	0	1	B	-	-	-	D	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma Alberto LEVORATO 	Data Ottobre 2022

Progettazione:

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

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712E12RBRI1800001B
		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+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 2 di 84

## INDICE

1	INTRODUZIONE .....	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
2.1	Documentazione di progetto.....	5
2.2	Normativa e standard di riferimento.....	5
2.3	Bibliografia .....	6
3	INQUADRAMENTO DELL'OPERA .....	7
3.1	Geometria del rilevato .....	7
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	9
4.1	Indagini disponibili.....	9
4.2	Inquadramento stratigrafico .....	9
4.3	Livello di falda .....	11
4.4	Condizioni geotecniche del sito .....	12
4.5	Sintesi del modello geotecnico di riferimento .....	19
4.5.1	Materiale da rilevato.....	19
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	20
5.1	Sollecitazione sismica di progetto.....	20
5.1.1	Vita Nominale.....	20
5.1.2	Classe d'uso .....	20
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica .....	21
5.1.4	Categorie di Sottosuolo.....	21
5.1.5	Condizioni topografiche .....	21
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento .....	22
5.2	Suscettibilità alla liquefazione.....	22
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT .....	24
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT.....	26
5.2.3	Soil improvement .....	34
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO .....	39
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite.....	39
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU).....	39
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE).....	41
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche .....	41
6.2	Azioni di progetto .....	41
6.2.1	Azioni permanenti .....	42
6.2.2	Azioni variabili .....	42

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1800001B

Foglio

3 di 84

6.2.3	Azione sismica .....	42
6.3	Verifiche e risultati SLU .....	43
6.3.1	Premessa .....	43
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche .....	43
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche e post sismiche .....	44
6.4	Verifica e risultati SLE .....	45
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....	51
	Allegati .....	52
	ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO .....	53
	ALLEGATO 2 - SONDAGGI .....	55
	ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA .....	65
	ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU post sisma .....	73
	ALLEGATO 5 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE .....	81

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 4 di 84

## 1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI18, 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+331 e il km 12+725.

La relazione descrive in dettaglio il modello geotecnico definito per il rilevato, ricavato sulla base delle indagini geognostiche eseguite nelle vicinanze dell'opera e delle caratteristiche geotecniche attribuite ai materiali rinvenuti lungo la tratta.

Le verifiche discusse sono state eseguite ai sensi della Normativa vigente (v. capitolo seguente) e gli interventi proposti sono volti a garantire la stabilità dei rilevati ed il rispetto dei requisiti prestazionali previsti per le opere in oggetto.

Il documento è così organizzato:

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 5 di 84

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Documentazione di progetto

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

### 2.2 Normativa e standard di riferimento

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 6 di 84

- [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+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 7 di 84

### 3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame si estende dal km 12+331 al km 12+725 per una lunghezza totale di ca. 400 m. Per la tratta in esame non si evidenziano altre interferenze con opere principali adiacenti e/o attraversate.

#### 3.1 Geometria del rilevato

Il rilevato, presenta una sezione regolare per tutto il tracciato, con scarpate di pendenza 2/3 (V:H). Alla pk 12+331.647, sezione n. 266, si riscontra l'altezza massima del rilevato pari a 4.9 m. La sezione citata, denominata Sezione A (Figura 1), è quella ritenuta più severa per le verifiche del rilevato in esame.



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
E12RBRI1800001B

Foglio  
8 di 84

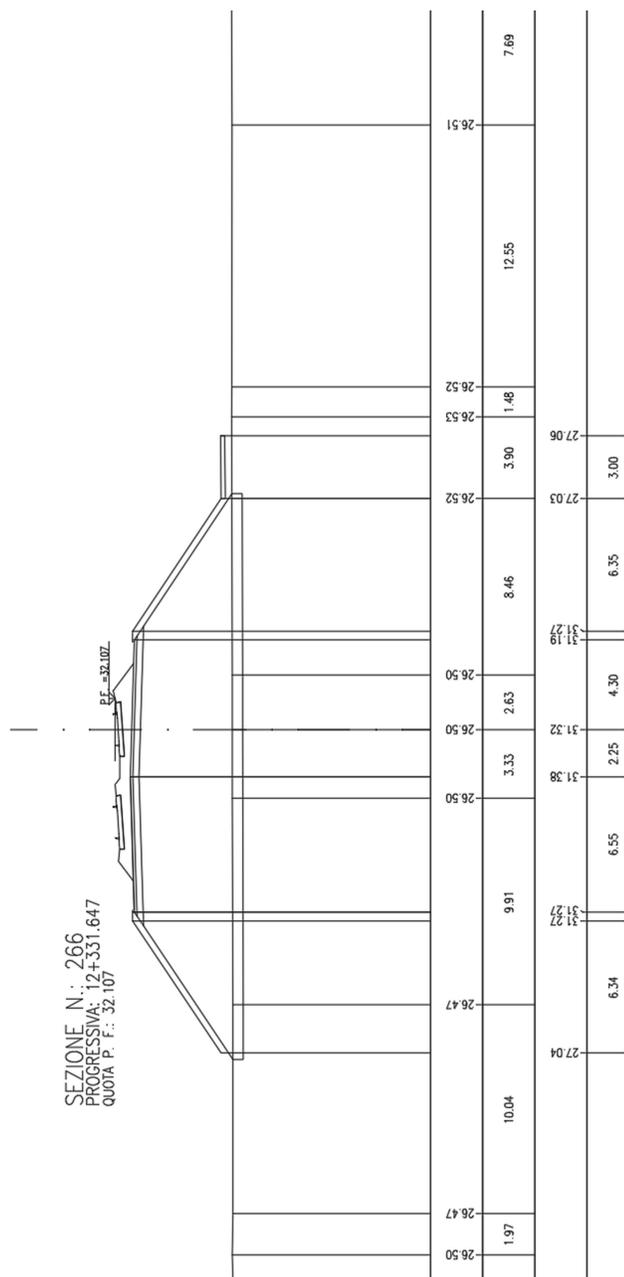


Figura 1 – Sezione di riferimento A (pk 12+331 n. 266) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 9 di 84

## 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+331 a pk 12+725*

<b>Progressiva pk</b>	<b>ID indagini -</b>	<b>Campagna anno</b>
12+319	BH-PE-27	2020-2021
12+340	SPA20bis	2014/2015
12+470	P2	2015
12+510	CPTU28 e CPTU28bis	2014/2015
12+510	CPTU29 e CPTU29bis	2014/2015
12+510	SPA21	2014/2015
12+580	CPTU30 e CPTU30bis	2014/2015

### 4.2 Inquadramento stratigrafico

Dal punto di vista stratigrafico, l'area del rilevato è interessata dalla presenza di una coltre superficiale di spessore variabile da 3 a 4 m circa di terreni limoso/sabbiosi superficiali (unità 3a), seguiti da uno strato di ghiaie ben addensate (Unità 6) fino a una profondità variabile tra i 12 e i 14 m. Al di sotto delle ghiaie, per la prima metà della tratta, si incontrano circa 2 m di limi argillosi (Unità 2) ed infine il substrato sabbioso (Unità 4) che si estende in profondità a partire da 14-15 m pc.

Si segnala che la prova CPTU 30 bis, che fornirebbe spessori maggiori (fino a 6m), è ubicata a circa 120 m dall'asse

della linea (si veda la Figura 3), e pertanto si è dato maggiore credito all'allineamento delle prove eseguite lungo linea, ivi comprese anche quelle eseguite (cfr. CPTU 30 ter), qualche metro oltre l'estremo Est della WBS in questione.

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 RI18, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 1 di 11 (Doc. Rif. [3]).

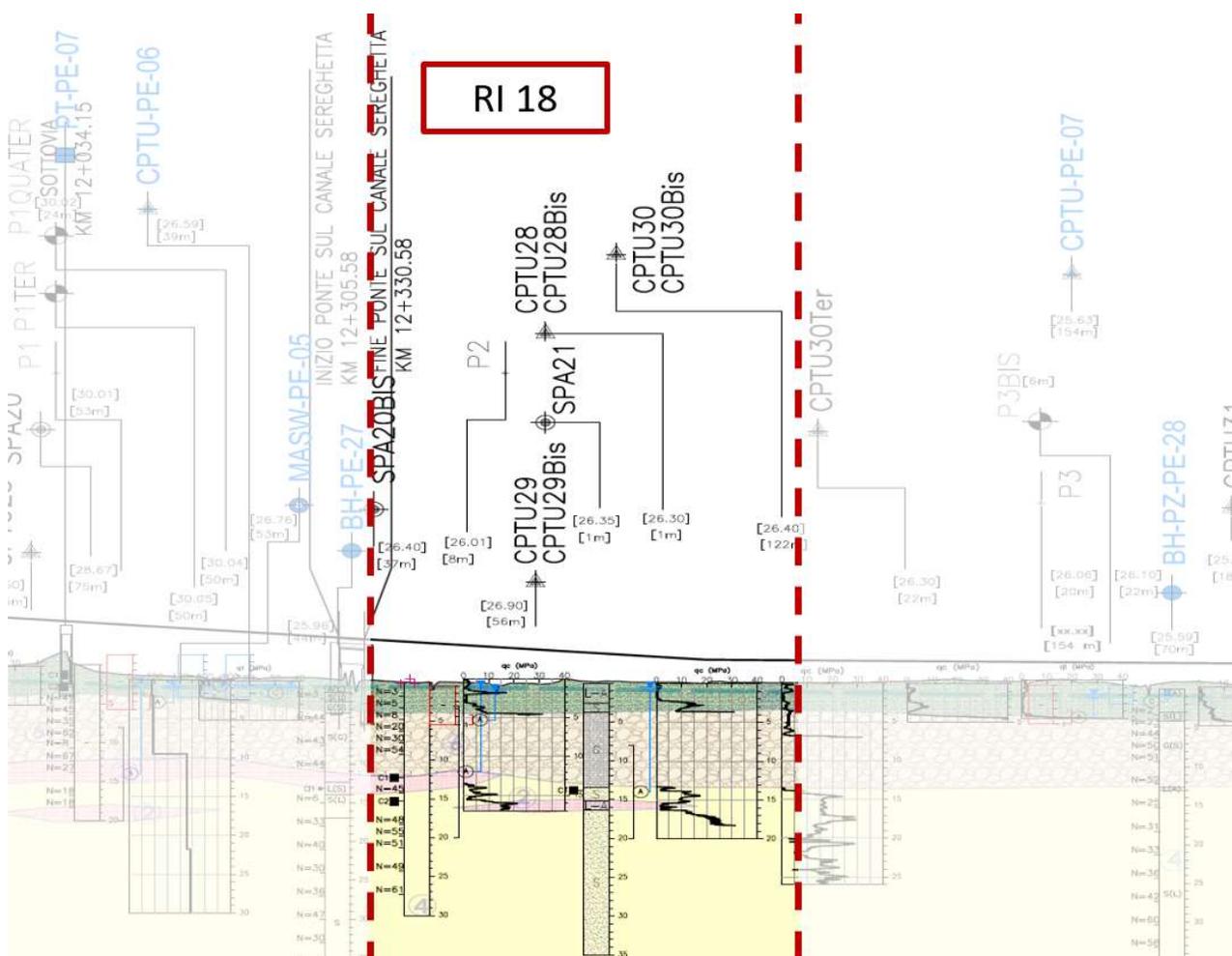


Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato RI18, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

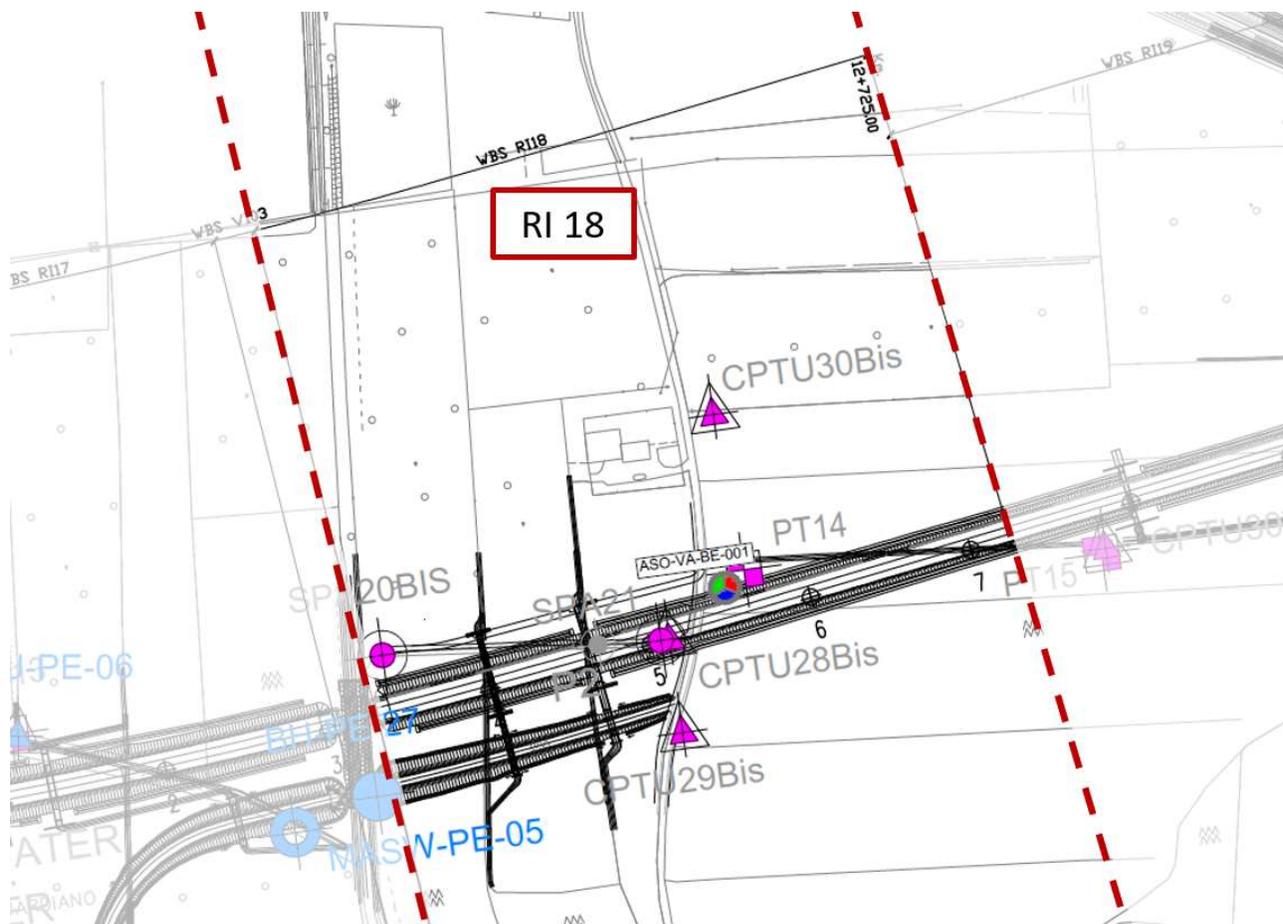


Figura 3 - Planimetria Rilevato RI18, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

### 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+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 12 di 84

#### 4.4 Condizioni geotecniche del sito

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

La Figura 5 mostra i risultati delle prove SPT eseguite nel tratto interessato dal rilevato in esame. I valori registrati sono indice di terreni molto sciolti (SPT=3-10), 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 12 m pc. All'interno del deposito incoerente 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 50% e quindi il deposito risulta mediamente addensato.

Più in profondità si individua un deposito di sabbia limosa mediamente addensata (Unità 4), a partire dalla profondità di 14-15 m pc fino alla quota di fine sondaggi. In questo deposito le percentuali di materiale fino sono inferiori al 10%, i valori medi di  $N_{SPT}$  sono pari a 40 colpi/30cm con valori compresi tra 30 e 60 colpi/30cm. La densità relativa delle sabbie risulta generalmente attorno a 60%, con valori anche del 70%.

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

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

Le seguenti figure riportano i risultati delle principali prove di sito e dei parametri geotecnici dei terreni, interpretati alla luce di quanto riferito in [2] e [4].

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

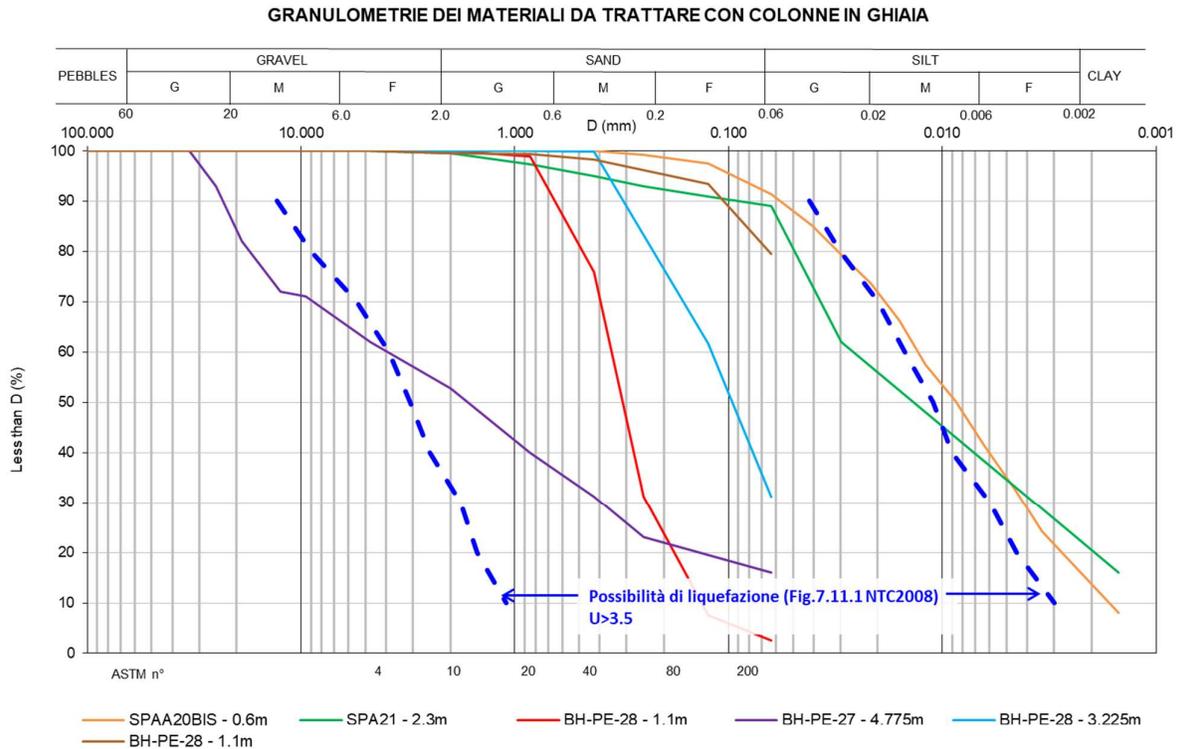


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche dei terreni suscettibili alla liquefazione



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1800001B

Foglio  
14 di 84

**AV/AC VERONA VICENZA**

**RI 18 da pk 12+331 a pk 12+725**

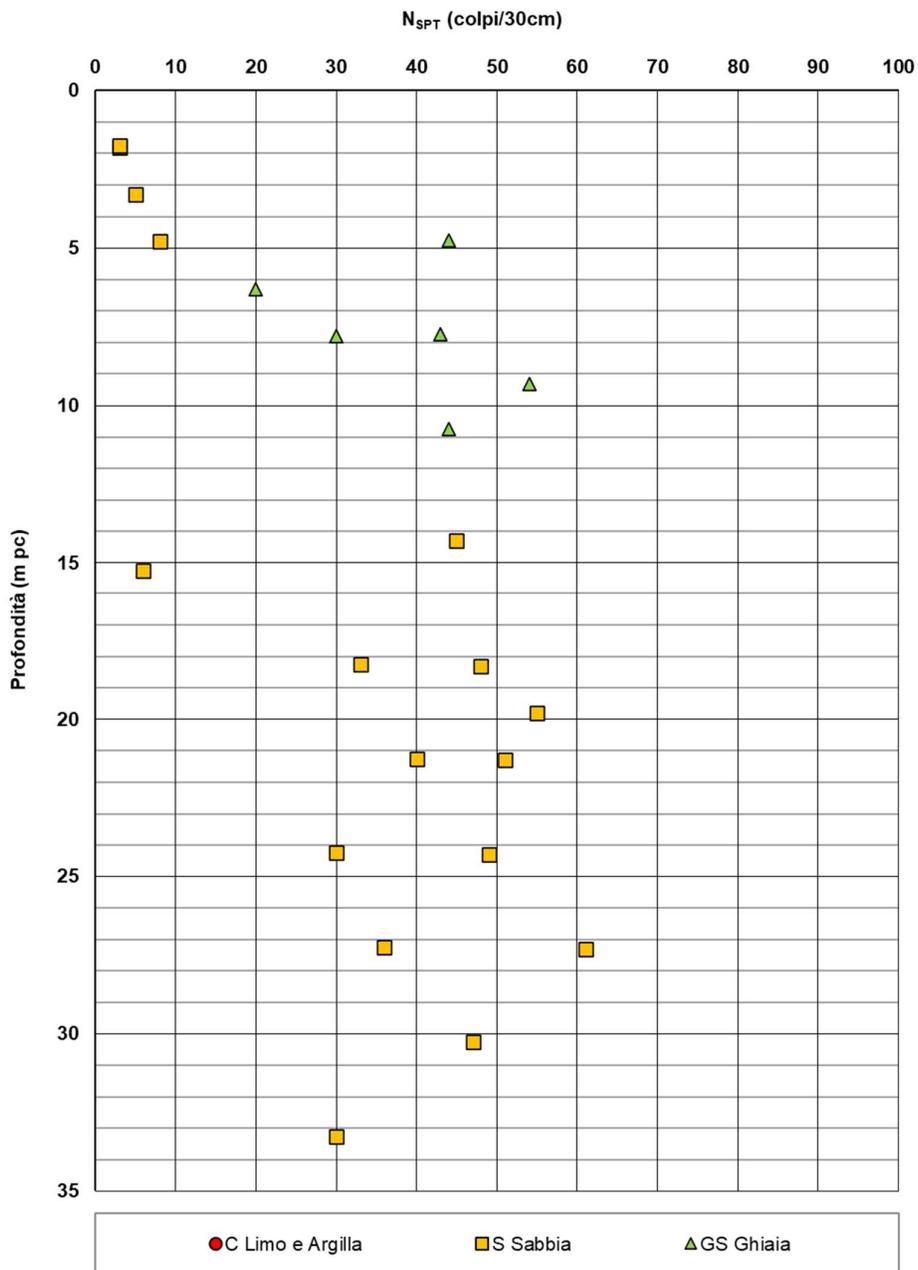


Figura 5 – Esito delle prove SPT tra pk 12+331 e pk 12+725



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1800001B

Foglio  
15 di 84

**AV/AC VERONA VICENZA**

**RI 18 da pk 12+331 a pk 12+725**

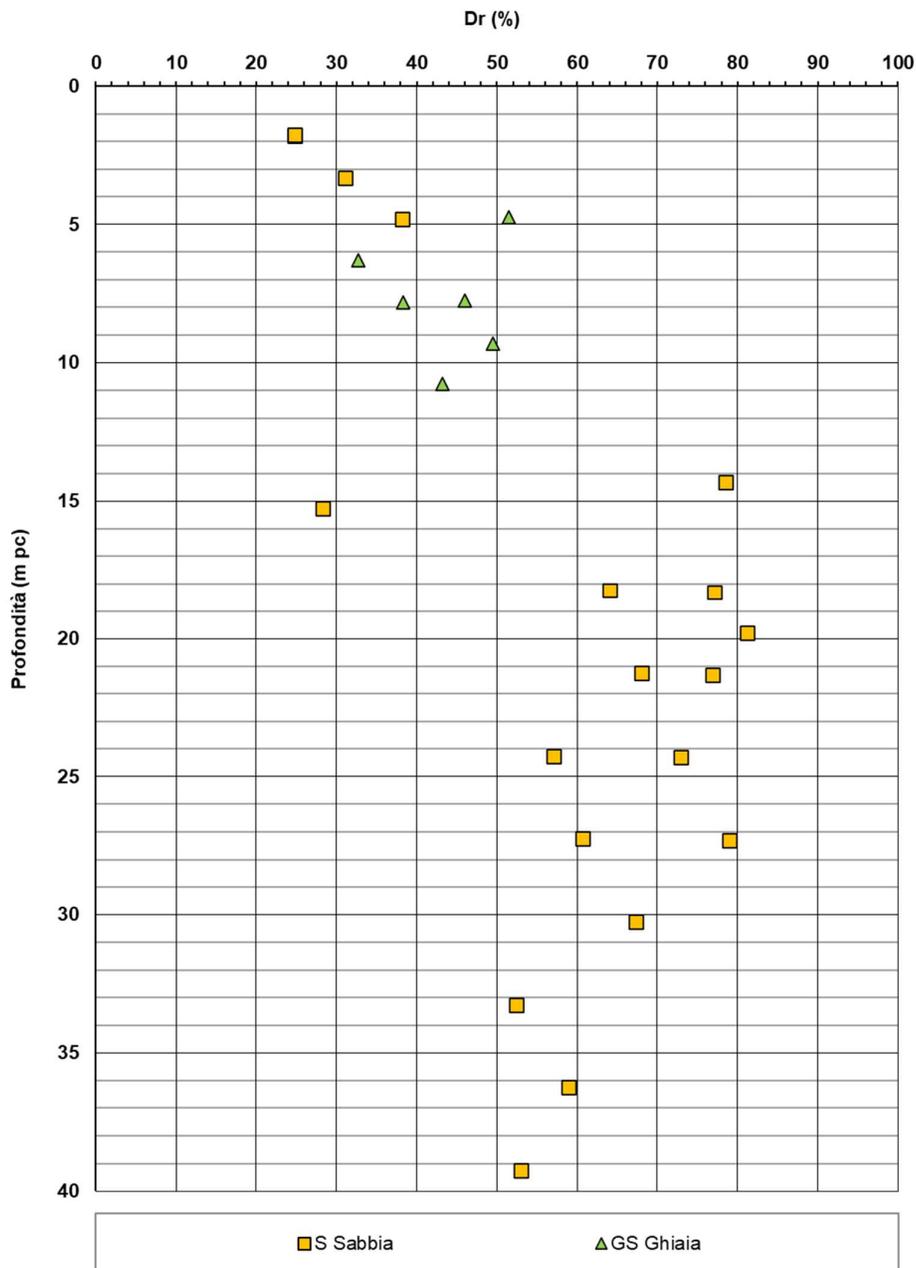


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT tra pk 12+331 e pk 12+725



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1800001B

Foglio  
16 di 84

**AV/AC VERONA VICENZA**

**RI 18 da pk 12+331 a pk 12+725**

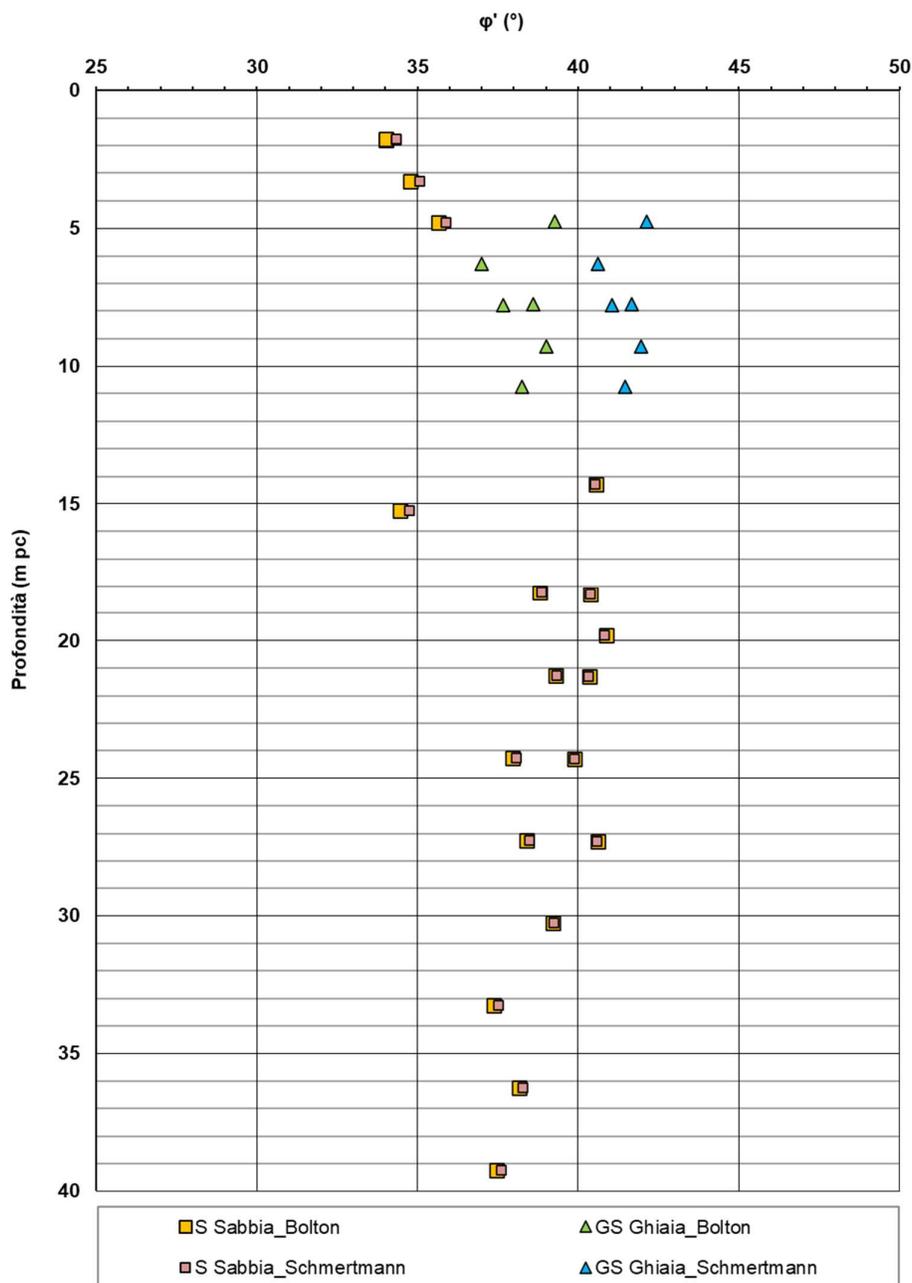


Figura 7 – Angoli di attrito da prove SPT tra pk 12+331 e pk 12+725



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1800001B

Foglio  
17 di 84

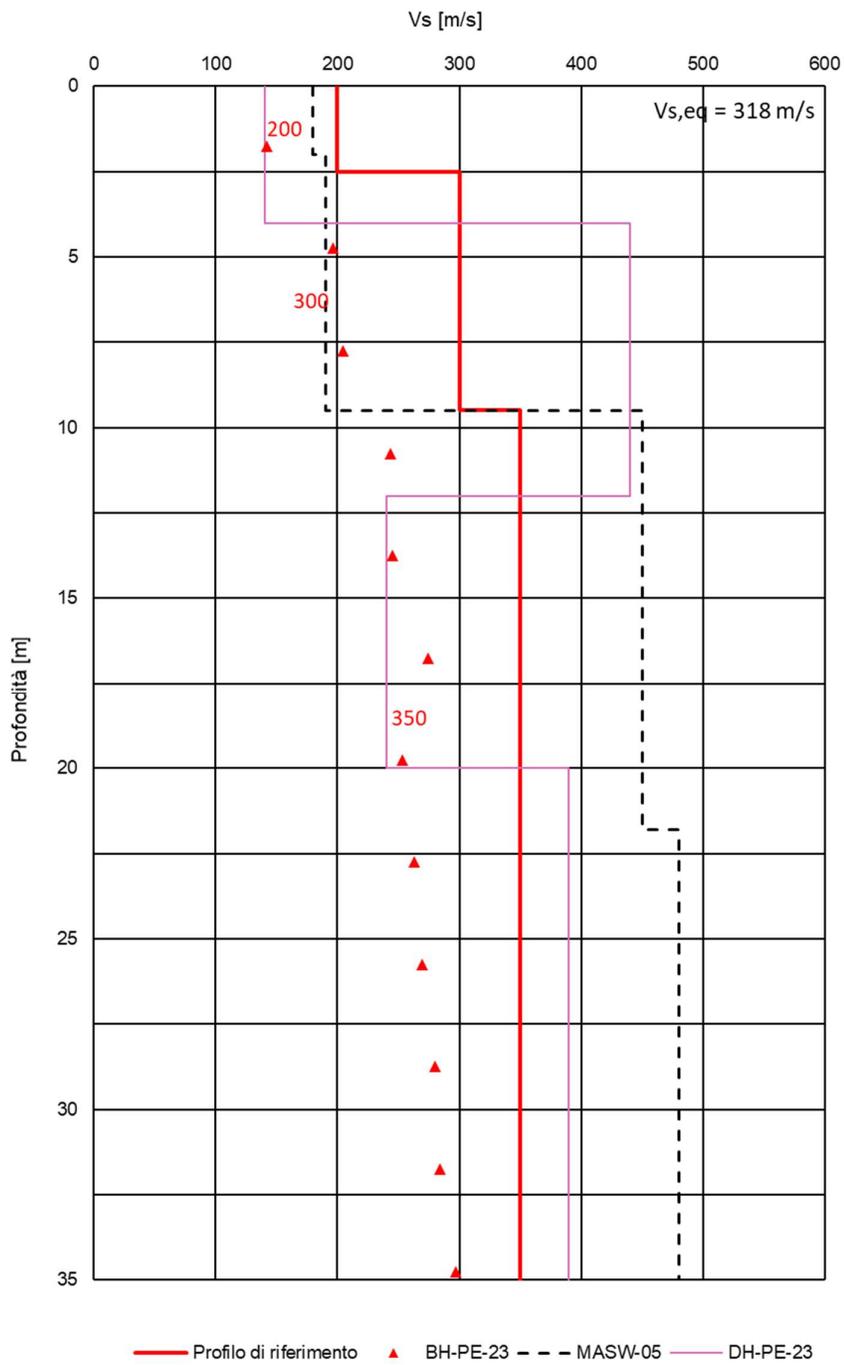


Figura 8 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW tra pk 12+331 e pk 12+725



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
 Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1800001B

Foglio

18 di 84

**AV/AC VERONA VICENZA**

**pk 12+331 - pk 12+275**

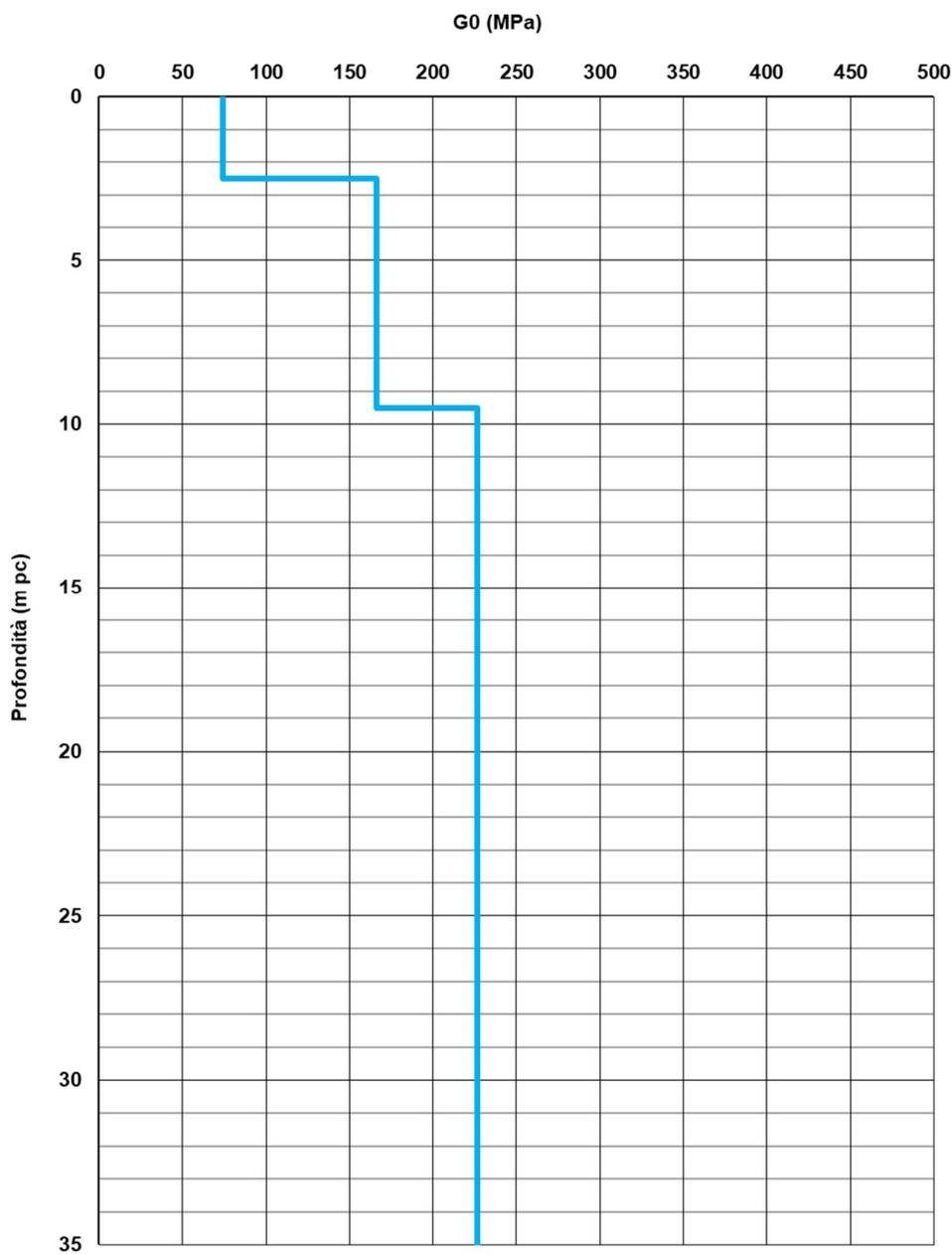


Figura 9 – Modulo di taglio G<sub>0</sub> tra pk 12+331 e pk 12+725

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 19 di 84

## 4.5 Sintesi del modello geotecnico di riferimento

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

*Tabella 2 – Modello geotecnico di riferimento*

Unità	da m pc*	a m pc*	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\varphi_k$ °	$c_k'$ kPa	$c_{u,k}$ kPa	$G_0$ MPa	$E'_{op}$ MPa
3a	0.5	4	18	34(36) <sup>***</sup>	-	-	-	5(12) <sup>***</sup>
6	4	12	19	39	0	-	160	60
2	12	14	19	28	-	50	-	10
4	14	-	19	38	0	-	230	80

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

\*\* fino alla pk 12+150

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

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

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

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

### 4.5.1 Materiale da rilevato

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

*Tabella 3 - Caratteristiche materiale da rilevato*

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 20 di 84

## 5 CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

### 5.1 Sollecitazione sismica di progetto

#### 5.1.1 Vita Nominale

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

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

Tabella 4 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

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

#### 5.1.2 Classe d'uso

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 21 di 84

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+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 22 di 84

### 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+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 23 di 84

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+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 24 di 84

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+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 25 di 84

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

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

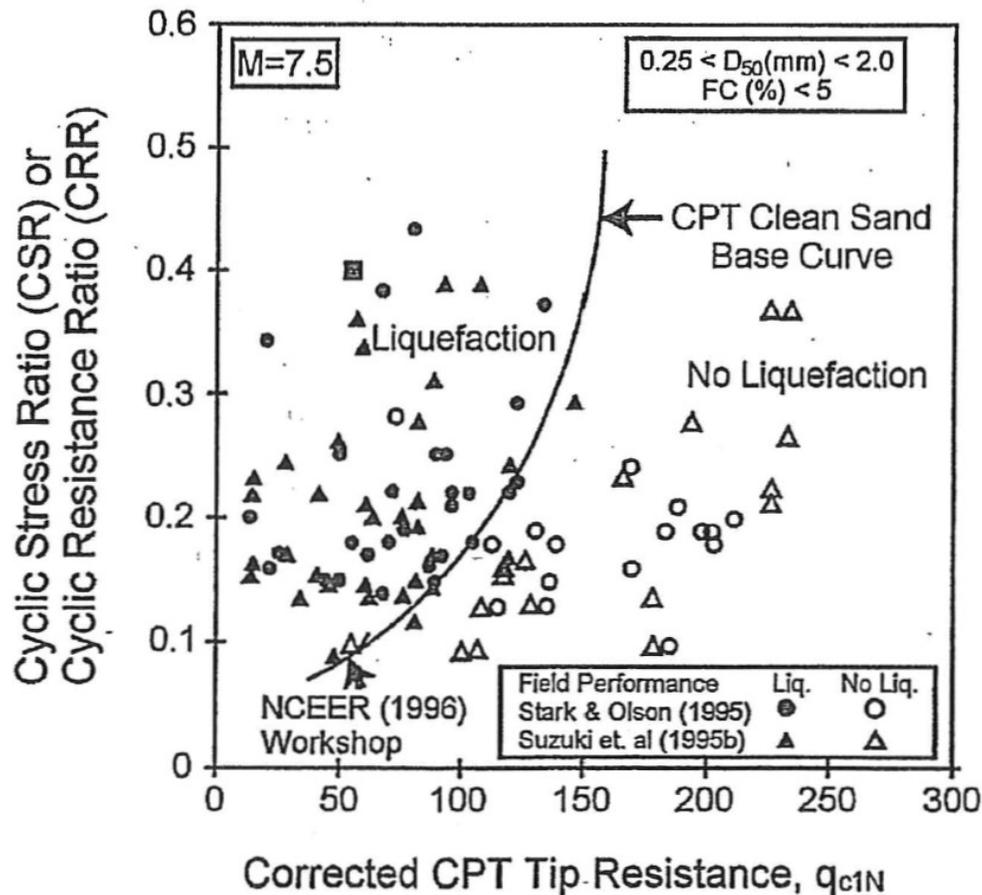


Figura 10: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta  $q_{c1N}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

### 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+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 27 di 84

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+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 28 di 84

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

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

In cui:

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

$p_a$  = pressione atmosferica di riferimento

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

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

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

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

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

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

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

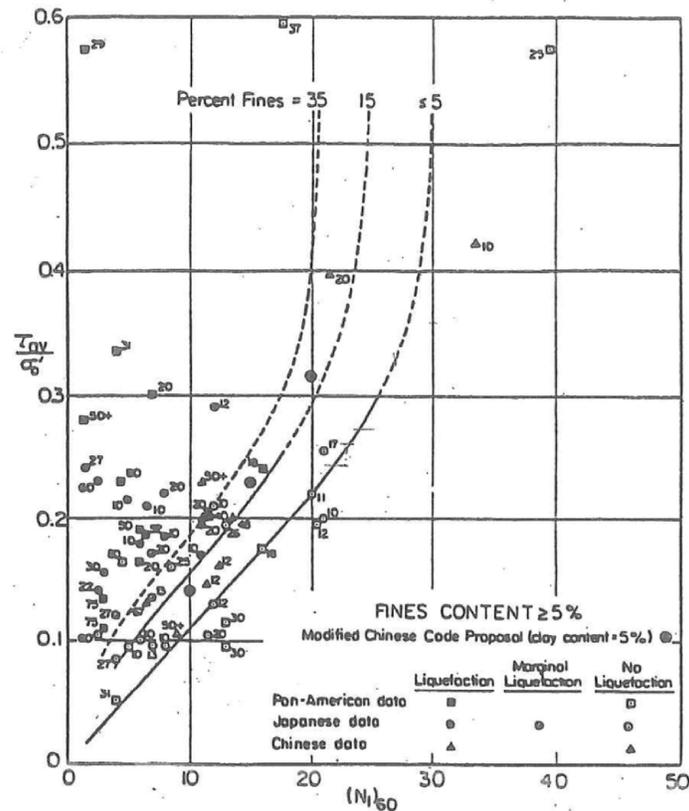


Figura 11: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e  $N_{1(60)}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

I risultati (cfr. Figura 12, Figura 15) indicano rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI19. In particolare:

- dall'analisi di SPA20bis, CTPTU28e28bis, CTPTU29e29bis si evidenzia la presenza di 4 m continui di materiale potenzialmente liquefacibile, con  $FL < 1.0$  ;
- La CTPTU30e30bis indica uno spessore maggiore di materiale potenzialmente instabile, questa CPT è però situato a distanza dalla sede ferroviaria, perciò non è ritenuto dimensionante per gli interventi di miglioramento del terreno.

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



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1800001B

Foglio  
30 di 84

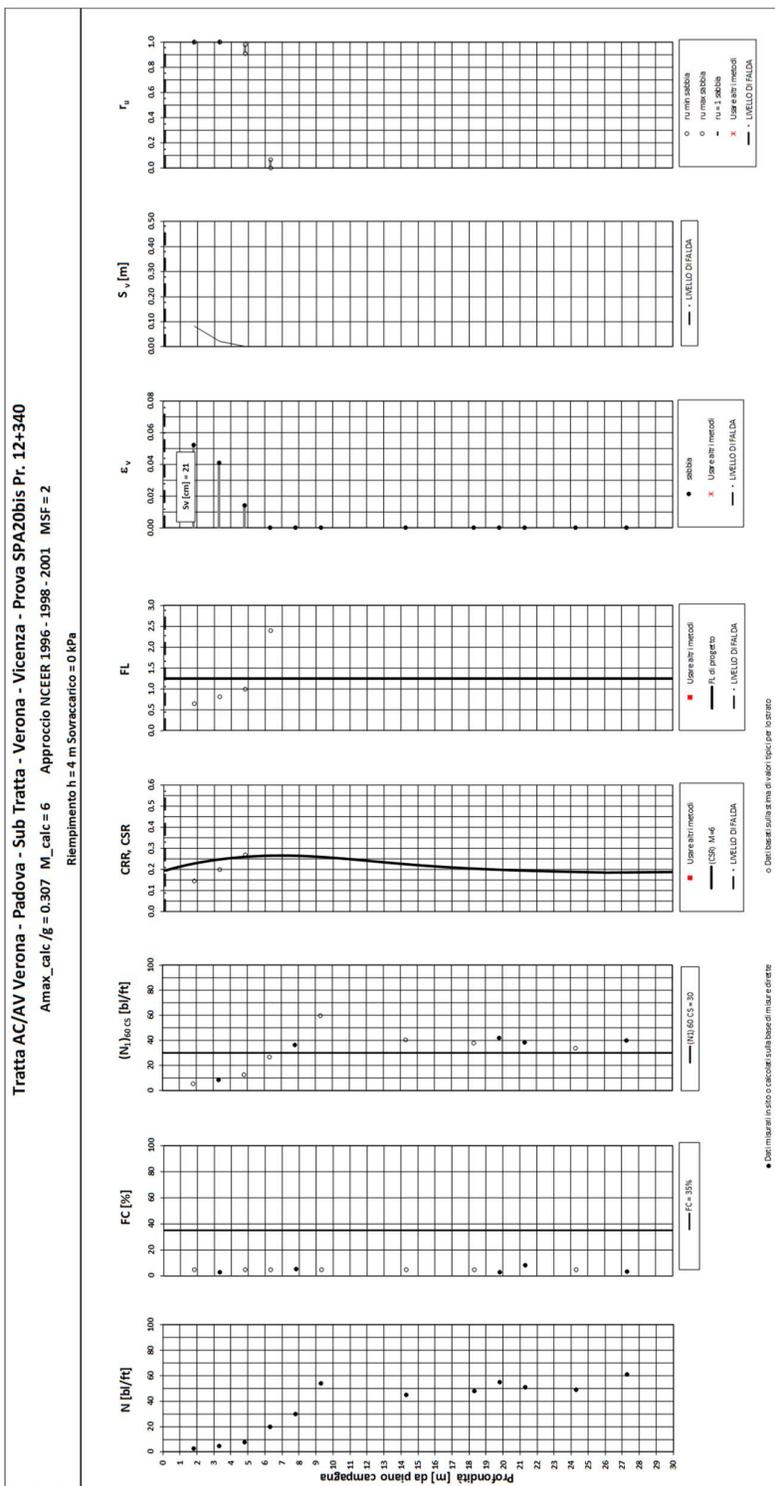


Figura 12 – Verifica Liquefazione da risultati SPA20bis



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1800001B

Foglio  
31 di 84

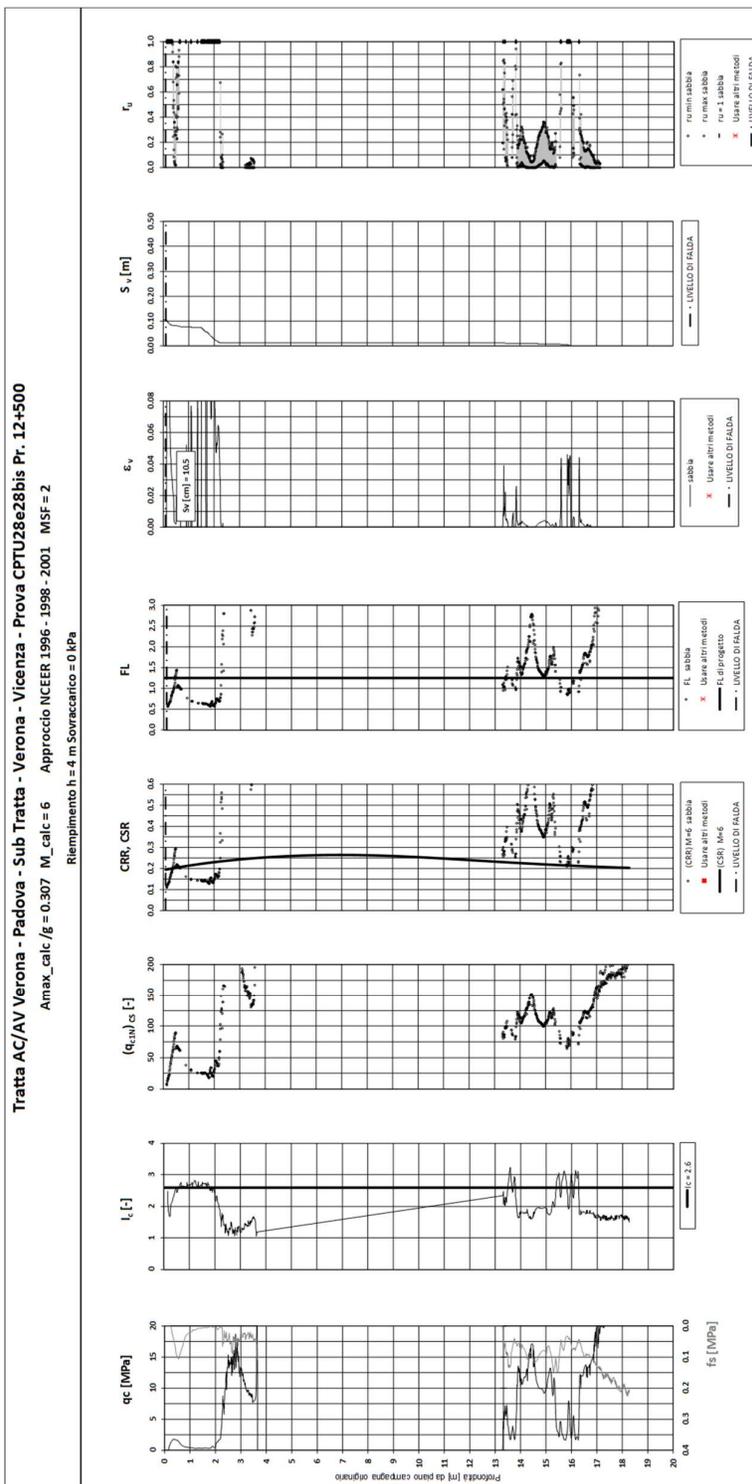


Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU28e28bis



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
 Relazione Geotecnica

Progetto  
 IN17

Lotto  
 12

Codifica  
 EI2RBRI1800001B

Foglio  
 32 di 84

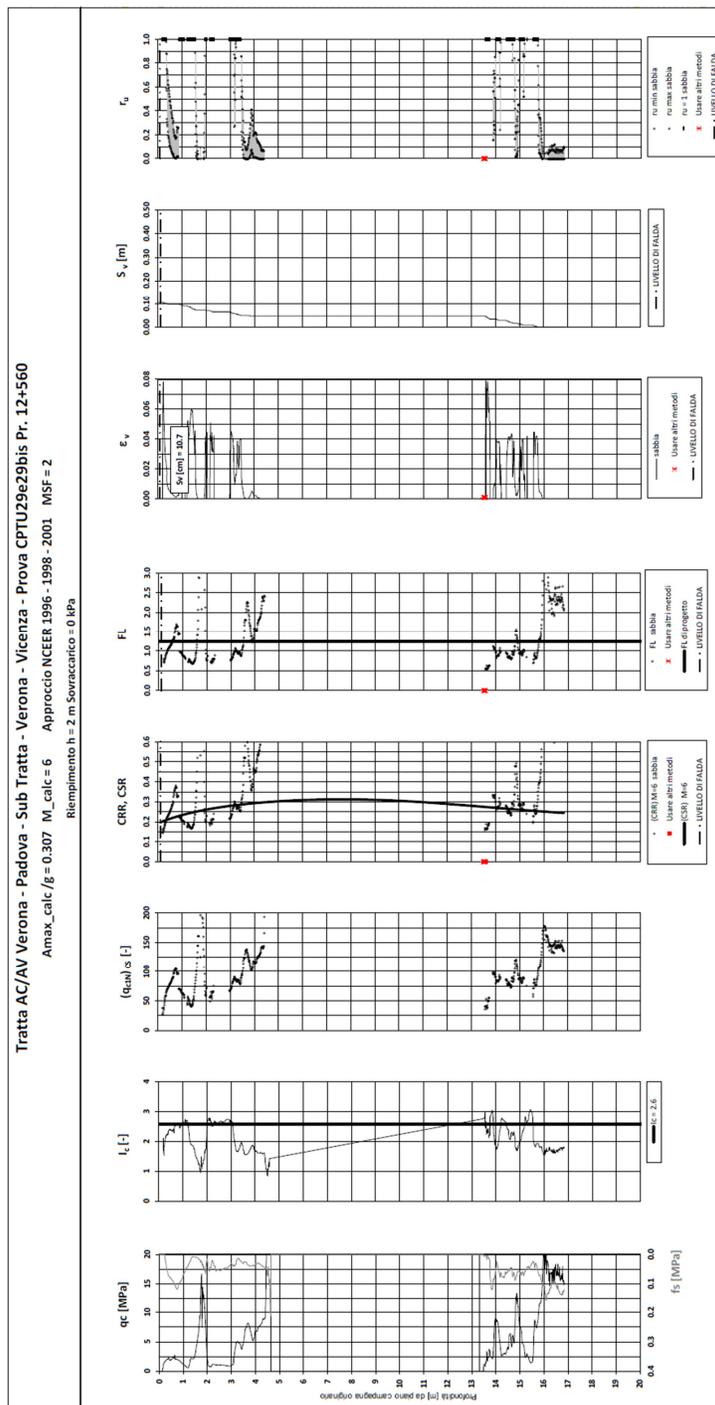


Figura 14 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU29e29bis



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1800001B

Foglio  
33 di 84

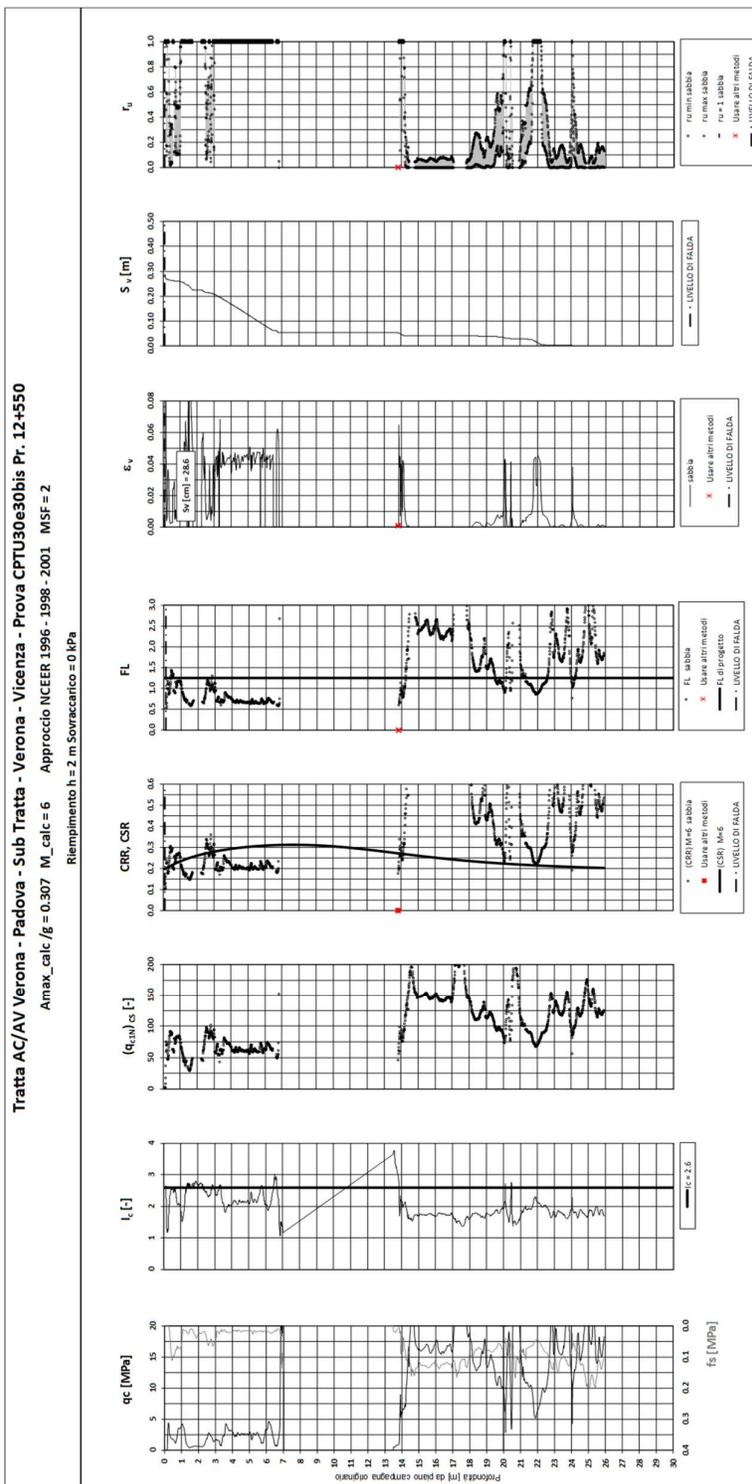


Figura 15 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU30e30bis (indagine fuori asse linea ferroviaria)

### 5.2.3 Soil improvement

Come illustrato nel paragrafo precedente, lungo tutta la tratta è presente uno strato di materiale a rischio di liquefazione per spessori di 4m. Pertanto, dalla pk 12+331 alla 12+725, si prescrive l'esecuzione di un trattamento di miglioramento delle caratteristiche dei terreni, mediante l'installazione di colonne in ghiaia aventi diametro  $D=800$  mm, lunghezza  $L=4$ m, interasse  $i=2.0$ m, a maglia quadrata.

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

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

- Si è dimensionata la spaziatura degli interventi sulla base delle indicazioni di Priebe (Doc.Rif.[35]). Il metodo proposto da Priebe consiste nel valutare, in funzione della "densità" del trattamento (i.e., la spaziatura fra le colonne), la diminuzione di azione ciclica sul terreno dovuta alla presenza delle colonne stesse. Nel grafico di Figura 16  $A_c$  è l'area della colonna, mentre  $A$  è l'area di pertinenza della colonna stessa. A titolo di esempio, spaziando colonne  $D=800$  mm su maglia quadrata  $2 \times 2$  m, si ottiene un "area ratio"  $A/A_c=4/0.5=8$ , che consente di ridurre l'azione ciclica sul terreno di un fattore ( $P_s/P$  nel grafico in ordinate) che può essere stimato pari a 0.6 per colonne realizzate con materiale avente angolo di resistenza al taglio dell'ordine dei  $40^\circ$ .
- Sulla base di tale riduzione, si è rivalutato l'effetto dell'azione ciclica ridotta sui terreni naturali. Nelle figure seguenti si riportano le verifiche di liquefazione eseguite con tale criterio. Come si può notare, per effetto della riduzione della PGA da 0.307 a 0.18 (appunto di un fattore 0.6), il materiale non viene più portato a liquefazione, ma si limita a sviluppare sovrappressioni interstiziali del tutto compatibili con la stabilità del rilevato.

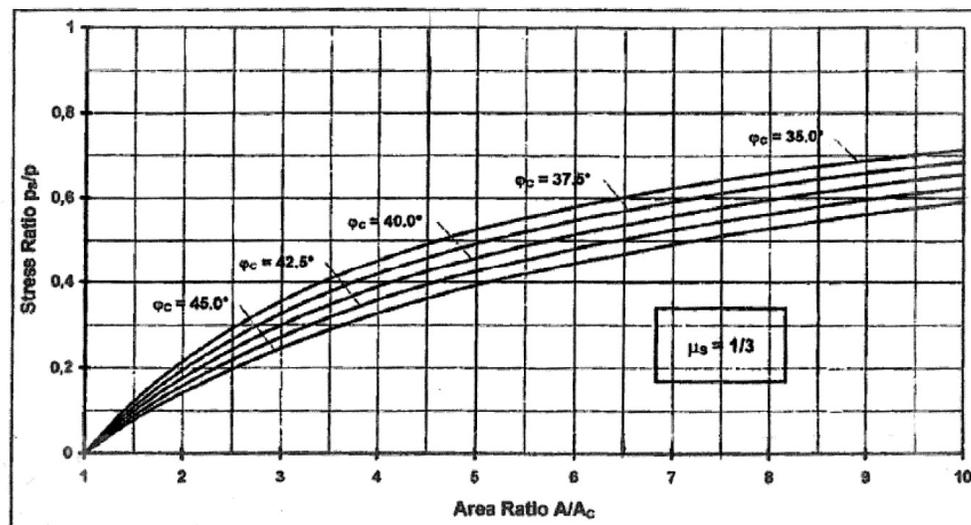


Figura 16 – Riduzione dello stress ratio sismico in funzione dell'area ratio delle colonne di ghiaia (Doc.Rif.[35])



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
 Relazione Geotecnica

Progetto  
 IN17

Lotto  
 12

Codifica  
 EI2RBRI1800001B

Foglio  
 35 di 84

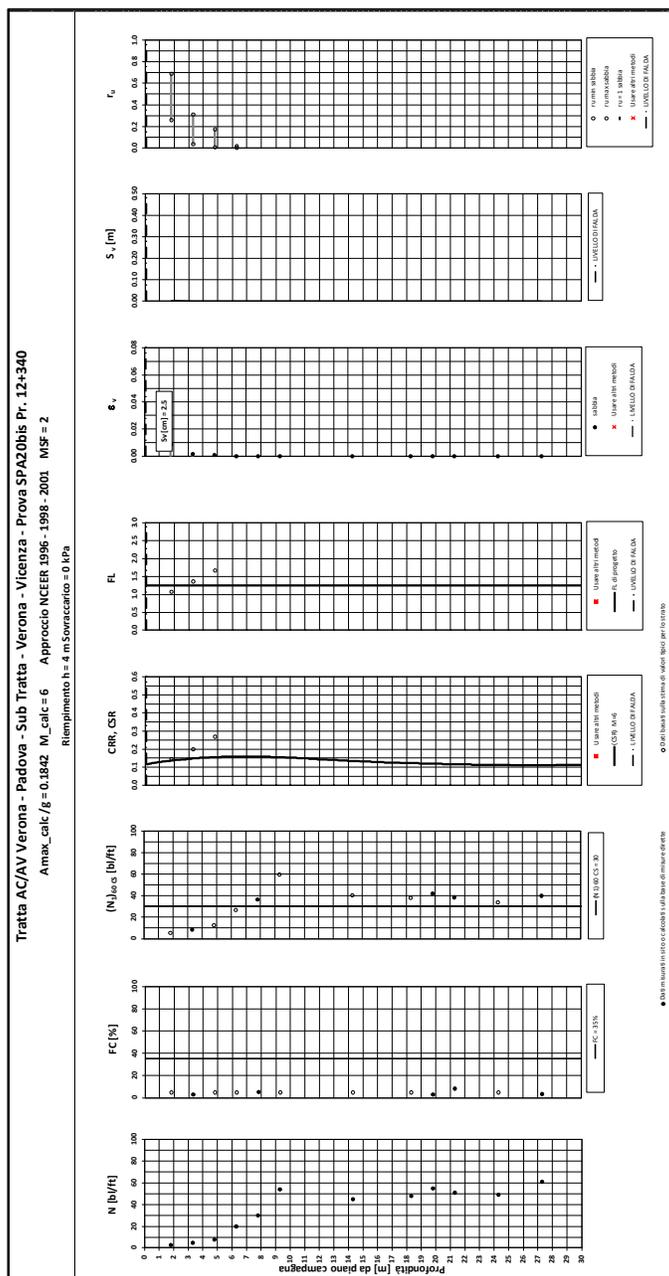


Figura 17 – Verifica Liquefazione da risultati SPA20bis dopo soil improvement



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1800001B

Foglio  
36 di 84

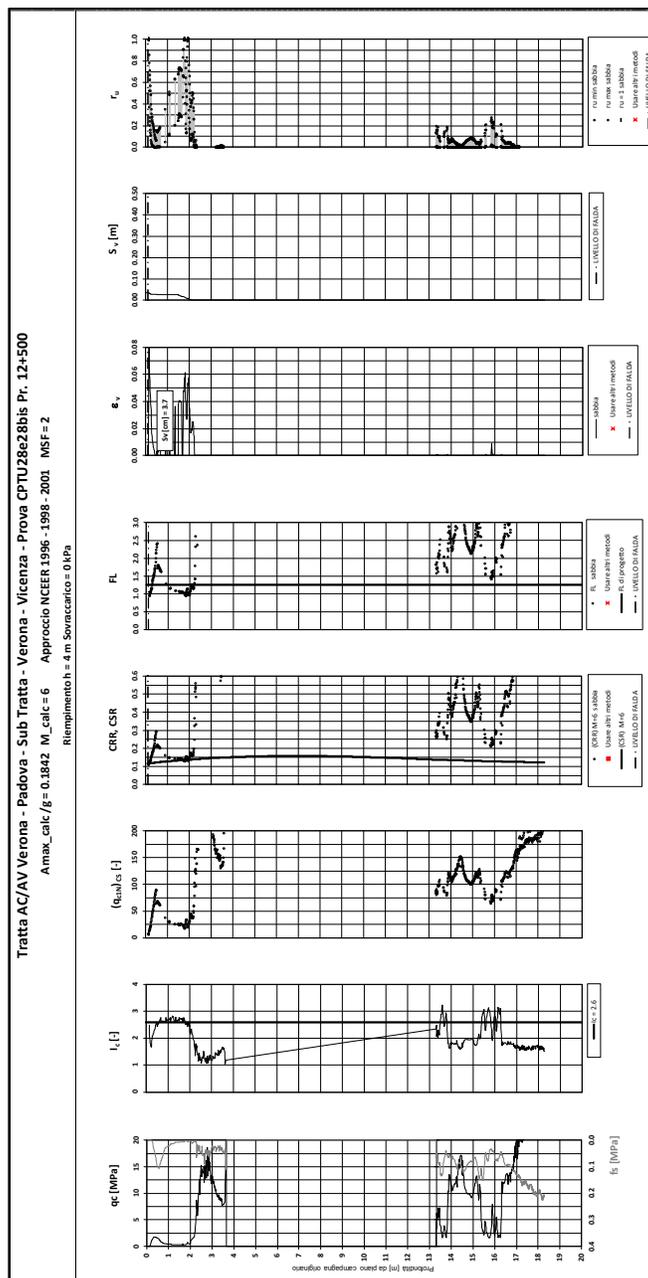


Figura 18 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU28e28bis dopo soil improvement



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
E12RBRI1800001B

Foglio  
37 di 84

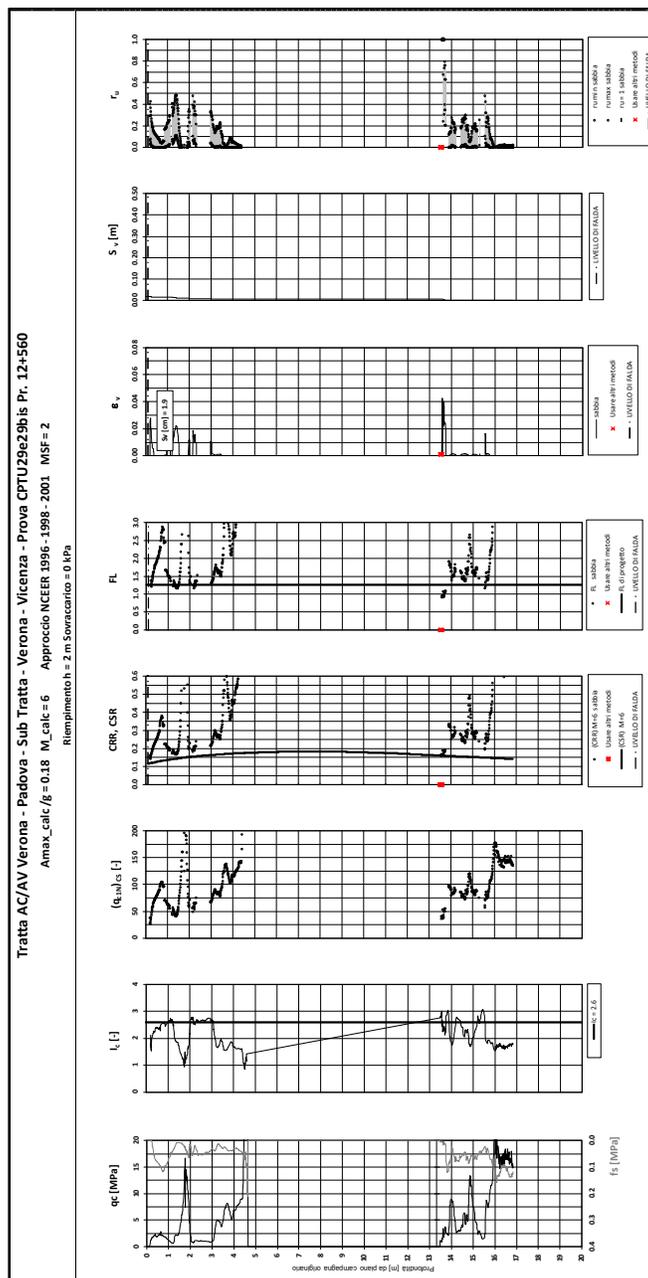


Figura 19 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU29e29bis dopo soil improvement

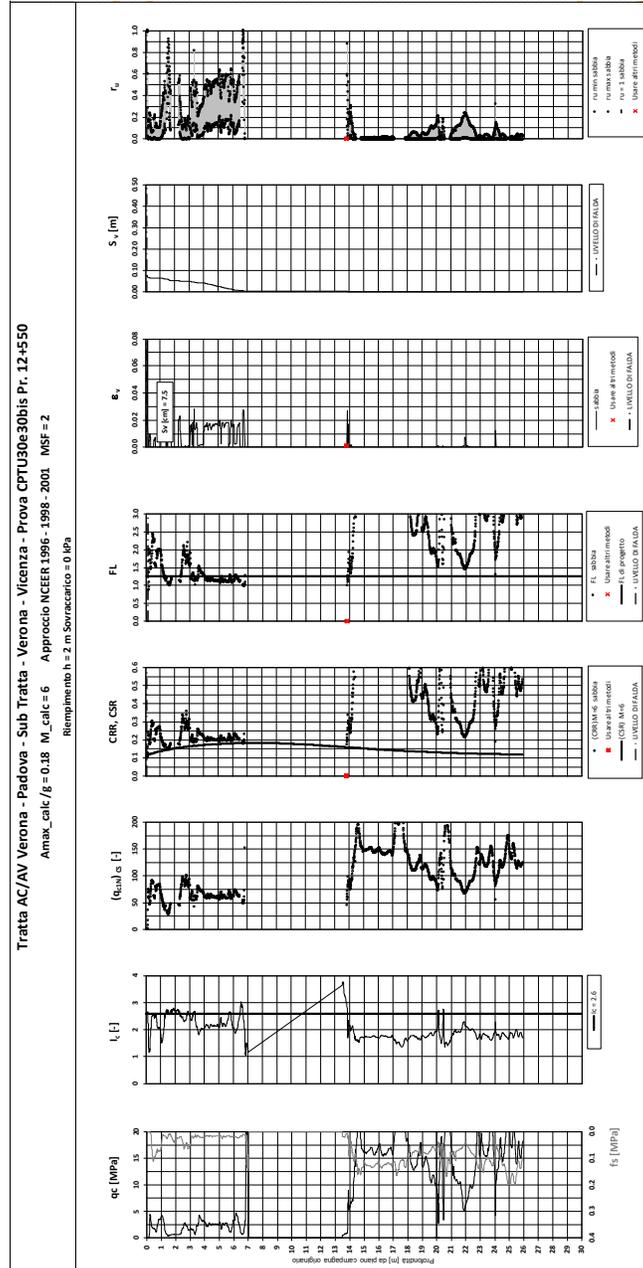


Figura 20 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU30e30bis dopo soil improvement (indagine fuori asse linea ferroviaria)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 39 di 84

## 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+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 40 di 84

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+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 41 di 84

### 6.1.2 Stati limite di esercizio (SLE)

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

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

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

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

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

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

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

## 6.2 Azioni di progetto

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 42 di 84

### 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+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 43 di 84

## 6.3 Verifiche e risultati SLU

### 6.3.1 Premessa

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

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

$$FS \geq R2 = 1.1.$$

è verificata sia in condizioni statiche che sismiche.

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

### 6.3.2 Verifiche SLU in condizione statiche

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

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

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

$$F_{S\text{MIN}} (DA1C2) = 1.215 > R2 = 1.1$$

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

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

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

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

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

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

$$FS_{MIN}=1.205 > R2=1.1$$

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

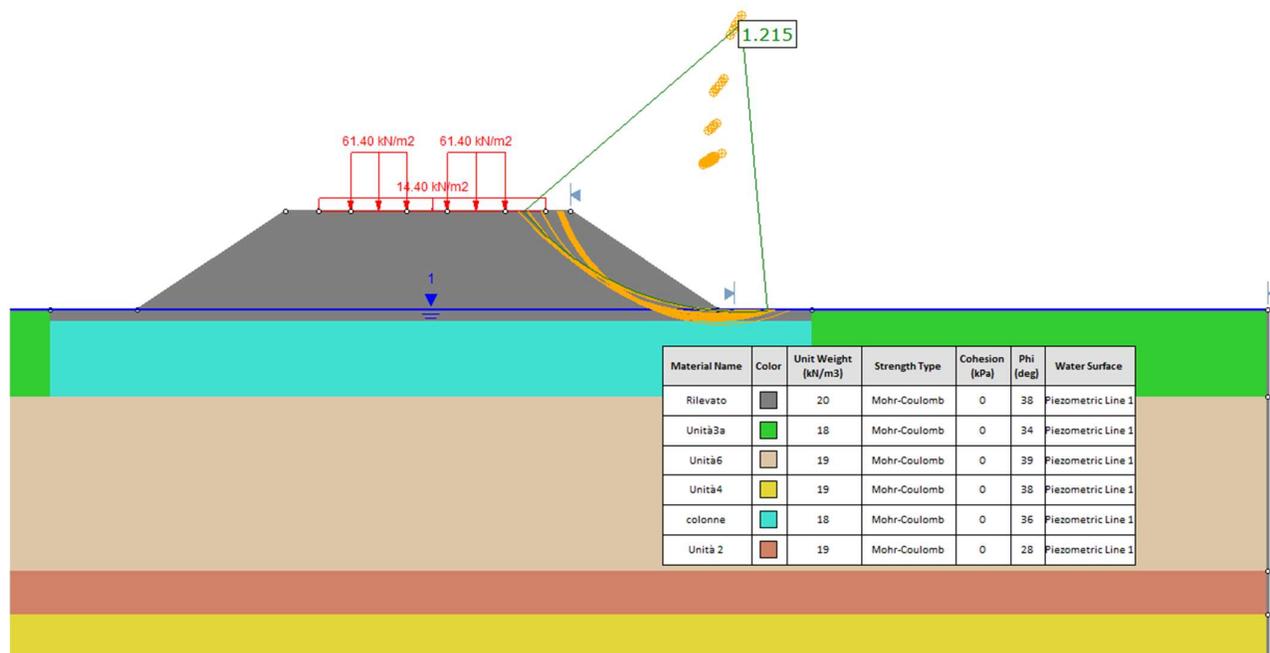


Figura 21 - Rilevato H=4.90 m - Analisi SLU in campo statico DA1C2

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI1800001B</p>	<p>Foglio 45 di 84</p>

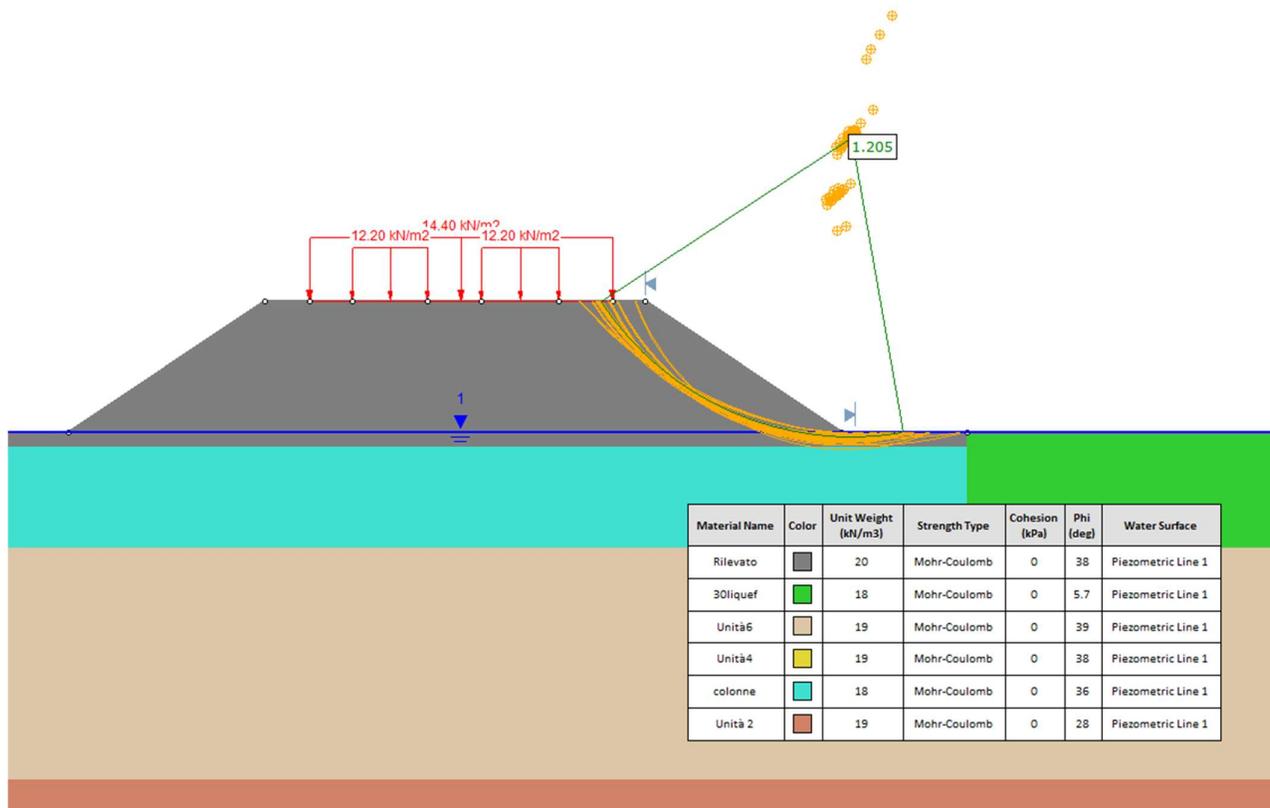


Figura 22 - Rilevato H=4.90 m - Analisi SLU in condizioni post sisma

## 6.4 Verifica e risultati SLE

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 46 di 84

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).

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

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

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

dove:

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

$q$  = carico applicato

$\nu$  = coefficiente di Poisson

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

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

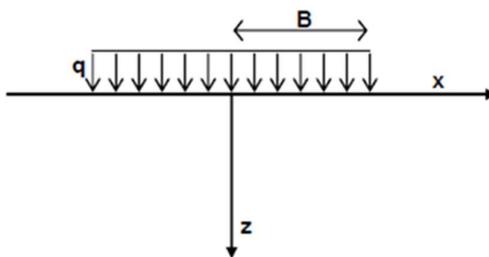


Figura 23 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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

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

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

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

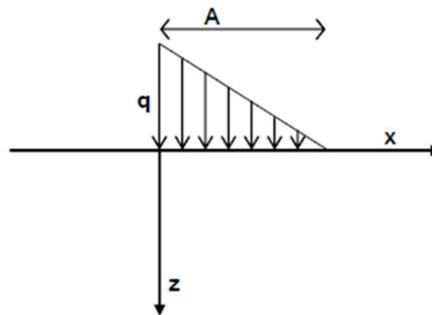


Figura 24 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI1800001B	Foglio 48 di 84

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 4.90 m, è riportato in Figura 25. La larghezza del rilevato è pari a 27 m, con pendenza delle scarpate è 2V:3H. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici definiti in Tabella 2.

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

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

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

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

I cedimenti sono stati calcolati al centro del nuovo rilevato, i valori calcolati sono riportati nella Figura 26.

Il cedimento calcolato in corrispondenza del centro del nuovo rilevato è di circa 7.5 cm. Considerando che:

- gran parte del cedimento avviene per compressione degli strati in materiale sciolto;
- una modesta quota parte (2 cm) avviene per compressione degli strati argillosi in profondità (Figura 26), 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.

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

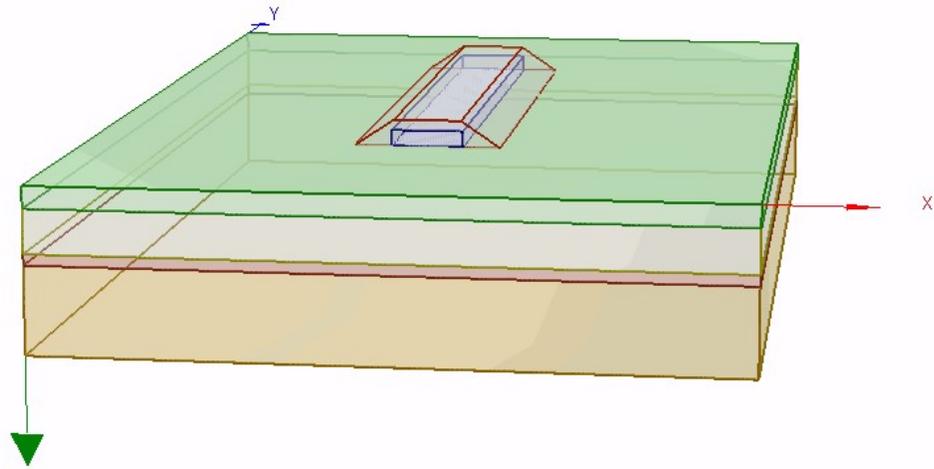


Figura 25 - Rilevato H=4.90 m - Analisi SLE – Modello di calcolo

**Ri18 : Cedimento del rilevato ferroviario linea AV**

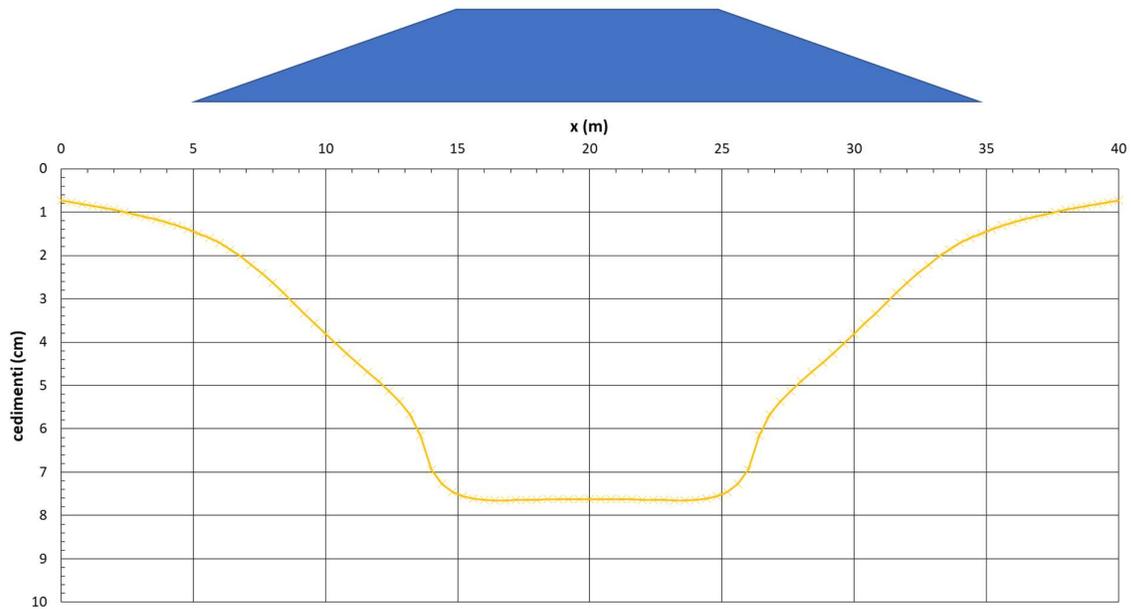


Figura 26 - Rilevato H=4.90 m - Analisi SLE – Risultato Cedimenti



### Ri18: cedimento al centro del rilevato AV

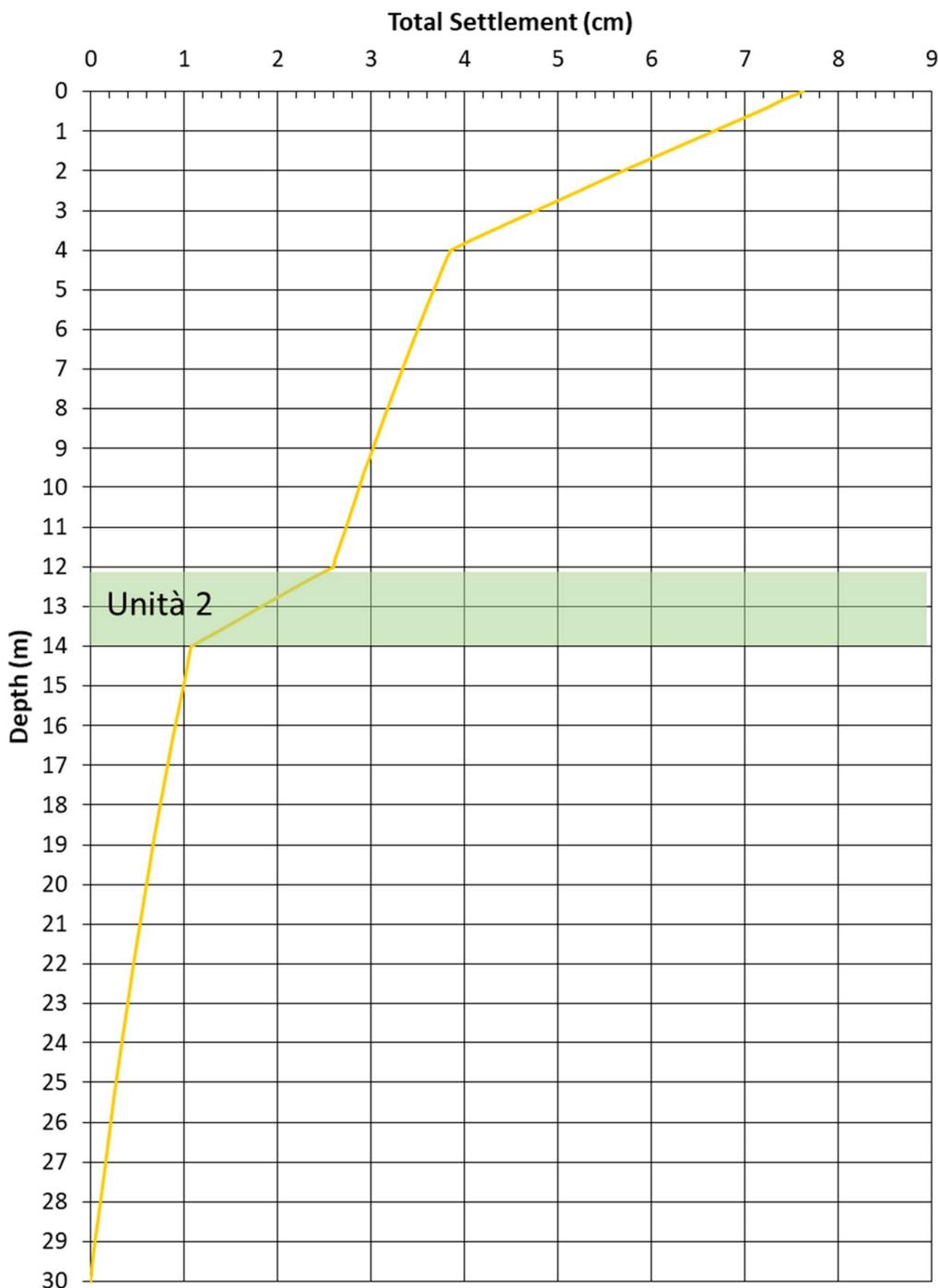


Figura 27 - Rilevato H=4.90 m - Analisi SLE – Risultato cedimenti in profondità al centro del rilevato

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1800001B

Foglio

51 di 84

## 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+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1800001B

Foglio

52 di 84

**ALLEGATI**

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

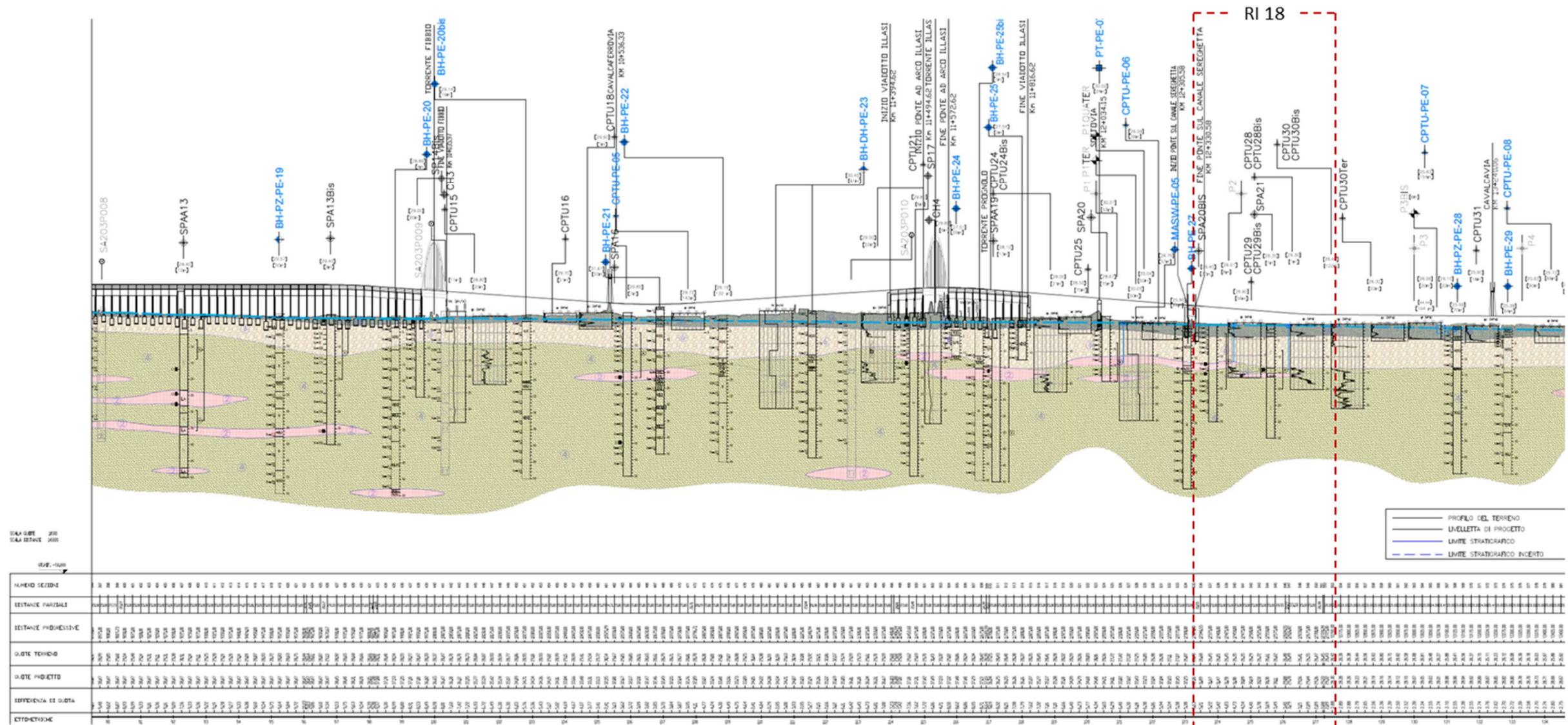
Codifica

EI2RBRI1800001B

Foglio

53 di 84

## ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



SCALA QUOTE 1:500  
SCALA DISTANZE 1:5000

NUMERO SEZIONI

DISTANZE PARZIALI

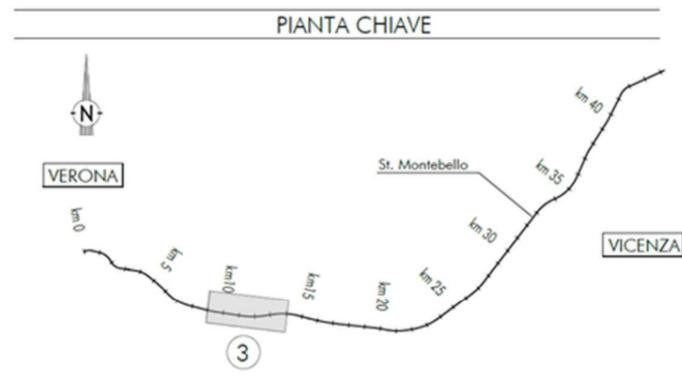
DISTANZE PROGRESSIVE

QUOTE TEORICO

QUOTE PROIETTATO

DIFFERENZA DI QUOTA

CTTD-CT1234E



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

- Campagna indagini progresse**
- Sondaggio geognostico (campagna 1998)
  - Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
  - ▲ CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
  - Pozzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (VI) per gentile concessione Centro Idrico Novoledo s.r.l.)
- 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 soffici 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 argilla, sia in verticale che parametrica, 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>R18 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 11</p>	<p>Codifica E12GERI180001</p>	<p>A</p>

**ALLEGATO 2 - SONDAGGI**



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI1800001B	56 di 84



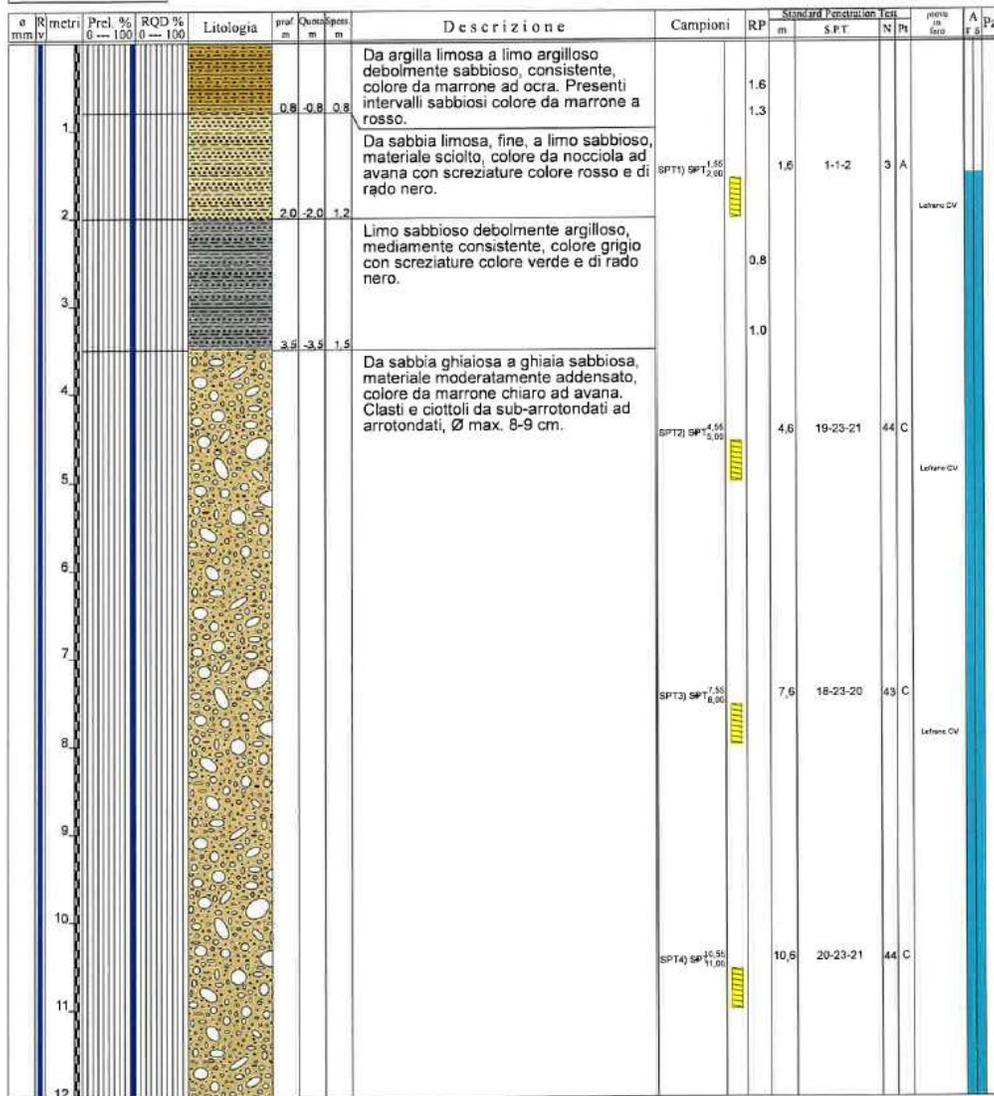
Laboratorio Sperimentale  
per prove geotecniche terre, rocce e prove in situ  
Via Collenerani, 3 - San Vittore del Lazio (FR)  
e-mail: info@geoserving.it

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



Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa  
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI1800001B	57 di 84



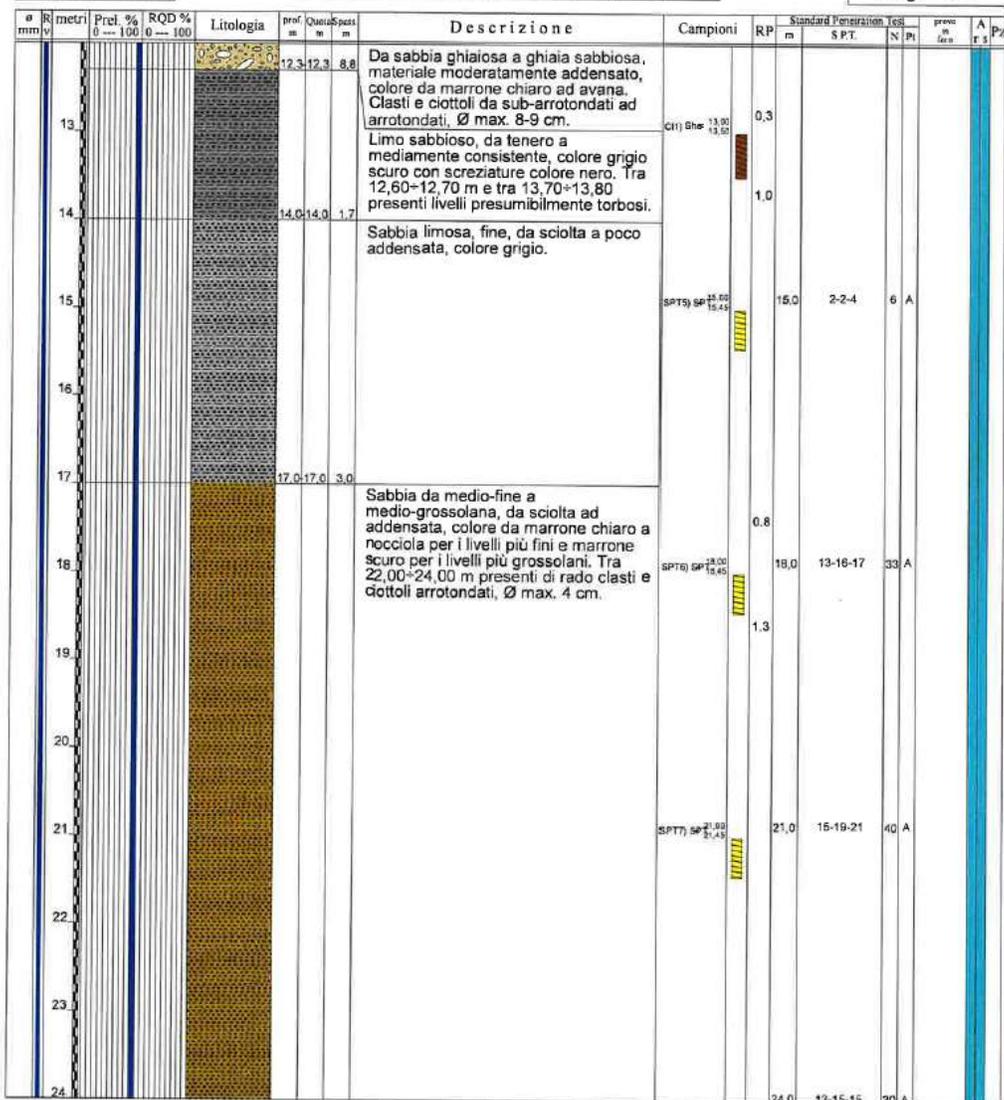
Laboratorio Sperimentale  
per prove geotecniche terra, rocce e prove in situ  
Via Collemaroni, 3 - San Vittore del Lazio (FR)  
e-mail: info@geoserving.it

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 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+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI1800001B	58 di 84



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	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 24,45					
26.00								
27.00			SPT9 SP 27,00 27,45	27,0	16-18-18	35 A		
28.00				0,8				
29.00								
30.00			SPT10 SP 30,00 30,45	30,0	15-19-28	47 A		
31.00								
32.00								
33.00			SPT11 SP 33,00 33,45	33,0	16-9-21	30 A		
34.00								
35.00								
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



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI1800001B	59 di 84



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	Profondità (m)	Qualità (m)	Spes (m)	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test (S.P.T.)	Penetration Test (N/P)	prove in foro	A	Pz	
37,0				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.					SPT12) 26,00 28,45							
38,0																
39,0										SPT13) 26,00 28,45	39,0	16-15-10	34	A		
40,0																
41,0																
42,0										SPT14) 26,00 28,45	42,0	16-17-18	35	A		
43,0																
44,0																
45,0										SPT15) 26,00 28,45	45,0	18-18-18	36	A		
46,0																
47,0																
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+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1800001B

Foglio

60 di 84



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	R mm	Prof. m	Prel. % 0 --- 100	RQD % 0 --- 100	Litologia	prof. m	Quota m	Spes. m	Descrizione	Campioni	Standard Penetration Test			prova in situ	A r s	Pz
											RP m	S.P.T. N	Tri			
100	50	49,1					50,0	50,0	39,0	SPT16) #2, 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+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1800001B

Foglio

65 di 84

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



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1800001B

Foglio

66 di 84

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: RI18\_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

#### Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1800001B

Foglio

67 di 84

SLIDEINTERPRET 7.030



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

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

### Random Numbers

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

### Surface Options

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

Property	Rilevato	Unità3a	Unità6	Unità4	colonne	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	34	39	38	36	28
Water Surface	Piezometric Line 1					
Hu Value	1	1	1	1	1	1

### Global Minimums



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

E12RBRI1800001B

Foglio

68 di 84

SLIDEINTERPRET 7.038



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

**Method: bishop simplified**

FS	1.215020
Center:	52.767, 39.787
Radius:	13.244
Left Slip Surface Endpoint:	42.747, 31.128
Right Slip Surface Endpoint:	53.985, 26.600
Resisting Moment:	1843.79 kN-m
Driving Moment:	1517.5 kN-m
Total Slice Area:	11.6035 m2
Surface Horizontal Width:	11.2387 m
Surface Average Height:	1.03245 m

**Valid / Invalid Surfaces****Method: bishop simplified**

Number of Valid Surfaces: 1141  
Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.21502



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI1800001B

Foglio  
69 di 84

SLIDEVIEWPREP 7.038

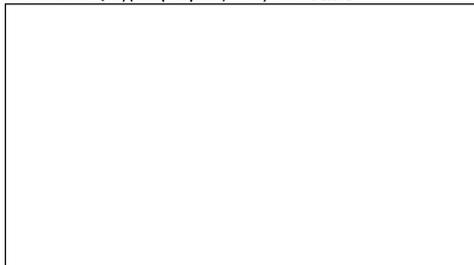


SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 7

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	0.22568	0.574266	-48.4302	Rilevato	0	32.0066	5.52006	6.70698	10.7307	0	10.7307	16.9547	16.9547
2	0.22568	1.6943	-46.9789	Rilevato	0	32.0066	7.26911	8.83212	14.1307	0	14.1307	21.9201	21.9201
3	0.22568	2.75955	-45.566	Rilevato	0	32.0066	8.98899	10.9218	17.4741	0	17.4741	26.6425	26.6425
4	0.22568	3.77411	-44.1878	Rilevato	0	32.0066	10.6791	12.9753	20.7595	0	20.7595	31.1401	31.1401
5	0.22568	4.7415	-42.8412	Rilevato	0	32.0066	10.1746	12.3624	19.7789	0	19.7789	29.2143	29.2143
6	0.22568	5.66479	-41.5233	Rilevato	0	32.0066	8.87599	10.7845	17.2544	0	17.2544	25.1137	25.1137
7	0.22568	6.54665	-40.2318	Rilevato	0	32.0066	10.4025	12.6393	20.222	0	20.222	29.0227	29.0227
8	0.22568	7.38946	-38.9644	Rilevato	0	32.0066	11.9005	14.4594	23.134	0	23.134	32.7586	32.7586
9	0.22568	8.19529	-37.7194	Rilevato	0	32.0066	13.3697	16.2445	25.9899	0	25.9899	36.3305	36.3305
10	0.22568	8.87758	-36.495	Rilevato	0	32.0066	14.6639	17.8169	28.5058	0	28.5058	39.3545	39.3545
11	0.22568	9.01692	-35.2896	Rilevato	0	32.0066	15.0739	18.3151	29.3028	0	29.3028	39.9716	39.9716
12	0.22568	9.04283	-34.1019	Rilevato	0	32.0066	15.2939	18.5824	29.7304	0	29.7304	40.0859	40.0859
13	0.22568	9.03814	-32.9307	Rilevato	0	32.0066	15.4593	18.7833	30.0518	0	30.0518	40.0646	40.0646
14	0.22568	9.00407	-31.7748	Rilevato	0	32.0066	15.5706	18.9186	30.2683	0	30.2683	39.913	39.913
15	0.22568	8.94172	-30.6332	Rilevato	0	32.0066	15.6286	18.9891	30.3812	0	30.3812	39.6362	39.6362
16	0.22568	8.85212	-29.5049	Rilevato	0	32.0066	15.6339	18.9955	30.3914	0	30.3914	39.2384	39.2384
17	0.22568	8.73616	-28.389	Rilevato	0	32.0066	15.5869	18.9384	30.3	0	30.3	38.724	38.724
18	0.22568	8.5947	-27.2848	Rilevato	0	32.0066	15.488	18.8182	30.1077	0	30.1077	38.0964	38.0964
19	0.22568	8.4285	-26.1914	Rilevato	0	32.0066	15.3374	18.6353	29.8152	0	29.8152	37.3593	37.3593
20	0.22568	8.23826	-25.1082	Rilevato	0	32.0066	15.1356	18.3901	29.4229	0	29.4229	36.5156	36.5156
21	0.22568	8.02463	-24.0345	Rilevato	0	32.0066	14.8828	18.0829	28.9313	0	28.9313	35.5683	35.5683
22	0.22568	7.78821	-22.9698	Rilevato	0	32.0066	14.5789	17.7137	28.3406	0	28.3406	34.5199	34.5199
23	0.22568	7.52954	-21.9133	Rilevato	0	32.0066	14.2242	17.2827	27.6511	0	27.6511	33.373	33.373
24	0.22568	7.24912	-20.8647	Rilevato	0	32.0066	13.8186	16.7899	26.8627	0	26.8627	32.1297	32.1297
25	0.22568	6.94742	-19.8233	Rilevato	0	32.0066	13.3622	16.2353	25.9753	0	25.9753	30.7921	30.7921
26	0.22568	6.62487	-18.7887	Rilevato	0	32.0066	12.8548	15.6188	24.9889	0	24.9889	29.3622	29.3622
27	0.22568	6.28185	-17.7604	Rilevato	0	32.0066	12.2962	14.9401	23.903	0	23.903	27.8415	27.8415
28	0.22568	5.91873	-16.738	Rilevato	0	32.0066	11.6862	14.199	22.7174	0	22.7174	26.2318	26.2318
29	0.22568	5.53583	-15.721	Rilevato	0	32.0066	11.0247	13.3952	21.4313	0	21.4313	24.5346	24.5346
30	0.22568	5.13347	-14.7091	Rilevato	0	32.0066	10.3111	12.5282	20.0442	0	20.0442	22.751	22.751
31	0.22568	4.71192	-13.7019	Rilevato	0	32.0066	9.54519	11.5976	18.5553	0	18.5553	20.8825	20.8825
32	0.22568	4.27144	-12.699	Rilevato	0	32.0066	8.72644	10.6028	16.9637	0	16.9637	18.9301	18.9301
33	0.22568	3.81226	-11.7	Rilevato	0	32.0066	7.85432	9.54316	15.2683	0	15.2683	16.8949	16.8949
34	0.22568	3.33458	-10.7046	Rilevato	0	32.0066	6.92825	8.41796	13.4681	0	13.4681	14.7778	14.7778
35	0.22568	2.83861	-9.71252	Rilevato	0	32.0066	5.94754	7.22638	11.5617	0	11.5617	12.5797	12.5797
36	0.22568	2.3245	-8.72333	Rilevato	0	32.0066	4.91145	5.96751	9.54759	0	9.54759	10.3012	10.3012
37	0.22568	1.79242	-7.73675	Rilevato	0	32.0066	3.81917	4.64037	7.42425	0	7.42425	7.94312	7.94312
38	0.22568	1.24249	-6.75248	Rilevato	0	32.0066	2.66979	3.24385	5.18994	0	5.18994	5.50605	5.50605
39	0.22568	0.67483	-5.7702	Rilevato	0	32.0066	1.46232	1.77675	2.84267	0	2.84267	2.99044	2.99044
40	0.221564	0.15119	-4.79856	Rilevato	0	32.0066	0.291526	0.35421	0.657942	0.0912312	0.566711	0.682415	0.591184
41	0.221564	0.115346	-3.83723	Rilevato	0	32.0066	0.131904	0.160266	0.511768	0.255355	0.256413	0.520615	0.265226
42	0.221564	0.172943	-2.87698	Rilevato	0	32.0066	0.199434	0.242316	0.770552	0.382863	0.387689	0.780575	0.397712
43	0.221564	0.214049	-1.91754	Rilevato	0	32.0066	0.248927	0.302451	0.95776	0.473864	0.483896	0.966094	0.49223
44	0.221564	0.238699	-0.958635	Rilevato	0	32.0066	0.27996	0.340157	1.07266	0.528433	0.544272	1.07734	0.548912
45	0.221564	0.246913	0	Rilevato	0	32.0066	0.292082	0.354886	1.11441	0.546618	0.567792	1.11441	0.567792
46	0.221564	0.238699	0.958635	Rilevato	0	32.0066	0.284813	0.346054	1.0821	0.528433	0.553663	1.07733	0.548898
47	0.221564	0.214049	1.91754	Rilevato	0	32.0066	0.257637	0.313034	0.974694	0.473864	0.50083	0.966068	0.492204
48	0.221564	0.172943	2.87698	Rilevato	0	32.0066	0.210001	0.255156	0.791094	0.382863	0.408231	0.78054	0.397677
49	0.221564	0.115346	3.83723	Rilevato	0	32.0066	0.141315	0.171701	0.530064	0.255355	0.274709	0.520586	0.265231
50	0.221564	0.0412101	4.79856	Rilevato	0	32.0066	0.0509453	0.0618996	0.190266	0.0912312	0.099035	0.18599	0.0947583

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.21502





Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI1800001B

70 di 84

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	42.7466	31.1278	0	0	0
2	42.9723	30.8733	1.48677	0	0
3	43.198	30.6315	3.26622	0	0
4	43.4237	30.4013	5.26313	0	0
5	43.6494	30.1819	7.41102	0	0
6	43.875	29.9727	9.25792	0	0
7	44.1007	29.7728	10.706	0	0
8	44.3264	29.5819	12.2231	0	0
9	44.5521	29.3994	13.7641	0	0
10	44.7778	29.2248	15.2882	0	0
11	45.0034	29.0579	16.7437	0	0
12	45.2291	28.8981	18.0278	0	0
13	45.4548	28.7453	19.1249	0	0
14	45.6805	28.5992	20.0344	0	0
15	45.9062	28.4594	20.7574	0	0
16	46.1318	28.3257	21.2963	0	0
17	46.3575	28.198	21.655	0	0
18	46.5832	28.076	21.8387	0	0
19	46.8089	27.9596	21.8537	0	0
20	47.0346	27.8486	21.7076	0	0
21	47.2602	27.7429	21.409	0	0
22	47.4859	27.6422	20.9674	0	0
23	47.7116	27.5466	20.3935	0	0
24	47.9373	27.4558	19.6988	0	0
25	48.163	27.3698	18.896	0	0
26	48.3886	27.2884	17.9985	0	0
27	48.6143	27.2116	17.0207	0	0
28	48.84	27.1394	15.9781	0	0
29	49.0657	27.0715	14.8868	0	0
30	49.2914	27.008	13.7642	0	0
31	49.517	26.9487	12.6285	0	0
32	49.7427	26.8937	11.4988	0	0
33	49.9684	26.8428	10.3953	0	0
34	50.1941	26.7961	9.33918	0	0
35	50.4198	26.7534	8.35272	0	0
36	50.6454	26.7148	7.45924	0	0
37	50.8711	26.6802	6.68323	0	0
38	51.0968	26.6495	6.05035	0	0
39	51.3225	26.6228	5.58748	0	0
40	51.5482	26.6	5.32283	0	0
41	51.7697	26.5814	5.27058	0	0
42	51.9913	26.5665	5.249	0	0
43	52.2129	26.5554	5.21347	0	0
44	52.4344	26.548	5.16551	0	0
45	52.656	26.5443	5.10756	0	0
46	52.8776	26.5443	5.04295	0	0
47	53.0991	26.548	4.97593	0	0
48	53.3207	26.5554	4.91171	0	0
49	53.5422	26.5665	4.85645	0	0
50	53.7638	26.5814	4.81731	0	0
51	53.9854	26.6	0	0	0

List Of Coordinates

Piezoline

X	Y
0	26.6
76.9924	26.6

Distributed Load

X	Y
43.7777	31.1278
33.3154	31.1278

Distributed Load

X	Y



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI1800001B

71 di 84

SLIDEINTERPRET 7.038



X	Y
37.3939	31.1278
34.7847	31.1278

**Distributed Load**

X	Y
41.9284	31.1278
39.2432	31.1278

**External Boundary**

X	Y
51.6766	26.6
44.8883	31.1278
31.7883	31.1278
25	26.6
21	26.6
0	26.6
0	22.6
0	14.6
0	12.6
0	0
76.9924	0
76.9924	12.6
76.9924	14.6
76.9924	22.6
76.9924	26.6
56	26.6

**Material Boundary**

X	Y
21	26.6
21	26.1
56	26.1

**Material Boundary**

X	Y
56	26.1
56	26.6

**Material Boundary**

X	Y
0	22.6
21	22.6
56	22.6
76.9924	22.6

**Material Boundary**

X	Y
0	14.6
76.9924	14.6

**Material Boundary**

X	Y
0	12.6
76.9924	12.6

**Material Boundary**

X	Y
21	22.6
21	26.1

**Material Boundary**

X	Y

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1800001B

Foglio

72 di 84

SLIDEINTERPRET 7.020



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

X	Y
56	22.6
56	26.1

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI1800001B	73 di 84

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



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

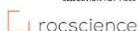
Codifica

EI2RBRI1800001B

Foglio

74 di 84

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: RI18\_post\_sisma.slim  
Slide Modeler Version: 7.038  
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

##### General Settings

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

##### Design Standard

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

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

##### Analysis Options

Slices Type: Vertical

**Analysis Methods Used**  
Bishop simplified

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

##### Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1800001B

Foglio

75 di 84

SLIDEINTERPRET 7.038



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

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

**Random Numbers**

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

**Surface Options**

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

**Seismic**

Advanced seismic analysis: No  
Staged pseudostatic analysis: No

**Loading**

3 Distributed Loads present

**Distributed Load 1**

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

**Distributed Load 2**

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

**Distributed Load 3**

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

**Material Properties**

Property	Rilevato	30liquef	Unità6	Unità4	colonne	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	36	28
Water Surface	Piezometric Line 1					
Hu Value	1	1	1	1	1	1

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1800001B

Foglio

76 di 84

SLIDEINTERPRET 7.038



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

### Global Minimums

Method: bishop simplified

	FS	1.204550
Center:	52.028, 36.801	
Radius:	10.350	
Left Slip Surface Endpoint:	43.371, 31.128	
Right Slip Surface Endpoint:	53.775, 26.600	
Resisting Moment:	1397.44 kN-m	
Driving Moment:	1160.14 kN-m	
Total Slice Area:	11.7124 m <sup>2</sup>	
Surface Horizontal Width:	10.404 m	
Surface Average Height:	1.12577 m	

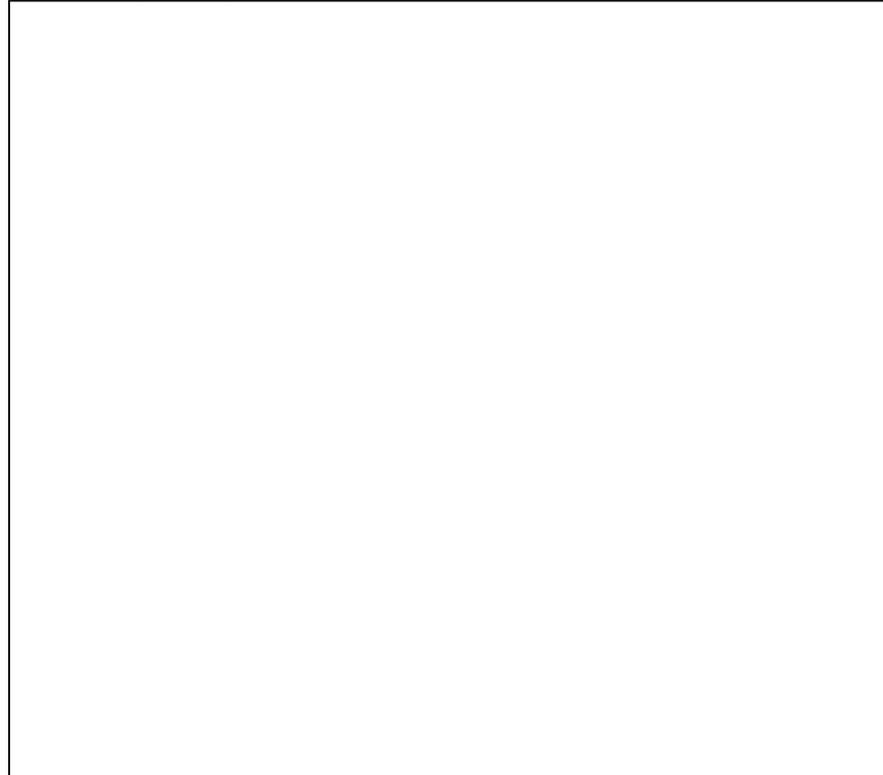
### Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1133  
Number of Invalid Surfaces: 0

### Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.20455





Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI1800001B	77 di 84

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.209348	0.643198	-55.7301	Rilevato	0	32.0066	5.15018	6.20365	9.9254	0	9.9254	17.4838	17.4838
2	0.209348	1.88349	-53.7216	Rilevato	0	32.0066	6.85991	8.2631	13.2203	0	13.2203	22.5664	22.5664
3	0.209348	3.03762	-51.8051	Rilevato	0	32.0066	4.53965	5.46823	8.74876	0	8.74876	14.5187	14.5187
4	0.209348	4.11635	-49.967	Rilevato	0	32.0066	6.31076	7.60163	12.162	0	12.162	19.6741	19.6741
5	0.209348	5.12816	-48.1967	Rilevato	0	32.0066	8.04778	9.69395	15.5096	0	15.5096	24.5095	24.5095
6	0.209348	6.07987	-46.4857	Rilevato	0	32.0066	9.74937	11.7436	18.789	0	18.789	29.0575	29.0575
7	0.209348	6.9771	-44.827	Rilevato	0	32.0066	11.415	13.7499	21.9988	0	21.9988	33.345	33.345
8	0.209348	7.65846	-43.2148	Rilevato	0	32.0066	12.7673	15.3789	24.6051	0	24.6051	36.6007	36.6007
9	0.209348	7.89304	-41.6442	Rilevato	0	32.0066	13.3933	16.1329	25.8114	0	25.8114	37.7211	37.7211
10	0.209348	8.06731	-40.111	Rilevato	0	32.0066	13.9201	16.7675	26.8268	0	26.8268	38.5532	38.5532
11	0.209348	8.20187	-38.6117	Rilevato	0	32.0066	14.3794	17.3207	27.7119	0	27.7119	39.1956	39.1956
12	0.209348	8.29921	-37.1431	Rilevato	0	32.0066	14.7738	17.7946	28.4701	0	28.4701	39.6602	39.6602
13	0.209348	8.3615	-35.7026	Rilevato	0	32.0066	15.1019	18.191	29.1043	0	29.1043	39.9572	39.9572
14	0.209348	8.39063	-34.2876	Rilevato	0	32.0066	15.3681	18.5116	29.6172	0	29.6172	40.0957	40.0957
15	0.209348	8.38829	-32.8961	Rilevato	0	32.0066	15.5725	18.7579	30.0112	0	30.0112	40.084	40.084
16	0.209348	8.35598	-31.5261	Rilevato	0	32.0066	15.7162	18.931	30.2882	0	30.2882	39.9289	39.9289
17	0.209348	8.295	-30.1759	Rilevato	0	32.0066	15.8002	19.0321	30.45	0	30.45	39.637	39.637
18	0.209348	8.20657	-28.844	Rilevato	0	32.0066	15.8252	19.0622	30.4981	0	30.4981	39.2139	39.2139
19	0.209348	8.09173	-27.529	Rilevato	0	32.0066	15.7918	19.022	30.4337	0	30.4337	38.6646	38.6646
20	0.209348	7.95144	-26.2295	Rilevato	0	32.0066	15.7006	18.9121	30.258	0	30.258	37.9937	37.9937
21	0.209348	7.78658	-24.9444	Rilevato	0	32.0066	15.552	18.7332	29.9718	0	29.9718	37.2055	37.2055
22	0.209348	7.59792	-23.6726	Rilevato	0	32.0066	15.3465	18.4856	29.5756	0	29.5756	36.3035	36.3035
23	0.209348	7.38617	-22.413	Rilevato	0	32.0066	15.0841	18.1696	29.07	0	29.07	35.2913	35.2913
24	0.209348	7.15196	-21.1648	Rilevato	0	32.0066	14.7651	17.7853	28.4552	0	28.4552	34.1717	34.1717
25	0.209348	6.89588	-19.927	Rilevato	0	32.0066	14.3894	17.3328	27.7312	0	27.7312	32.9478	32.9478
26	0.209348	6.61845	-18.6988	Rilevato	0	32.0066	13.9571	16.812	26.8979	0	26.8979	31.6218	31.6218
27	0.209348	6.32016	-17.4795	Rilevato	0	32.0066	13.4679	16.2227	25.9551	0	25.9551	30.1962	30.1962
28	0.209348	6.00142	-16.2683	Rilevato	0	32.0066	12.9215	15.5646	24.9022	0	24.9022	28.6729	28.6729
29	0.209348	5.66263	-15.0646	Rilevato	0	32.0066	12.3177	14.8373	23.7386	0	23.7386	27.054	27.054
30	0.209348	5.30414	-13.8676	Rilevato	0	32.0066	11.656	14.0402	22.4633	0	22.4633	25.3409	25.3409
31	0.209348	4.92628	-12.6767	Rilevato	0	32.0066	10.9359	13.1728	21.0754	0	21.0754	23.5353	23.5353
32	0.209348	4.52931	-11.4914	Rilevato	0	32.0066	10.1566	12.2341	19.5737	0	19.5737	21.6385	21.6385
33	0.209348	4.1135	-10.3111	Rilevato	0	32.0066	9.3175	11.2334	17.9566	0	17.9566	19.6517	19.6517
34	0.205618	3.61747	-9.14563	Rilevato	0	32.0066	8.34835	10.056	16.2513	0.162368	16.0889	17.5953	17.4329
35	0.205618	3.18092	-7.9944	Rilevato	0	32.0066	7.2572	8.74166	14.4524	0.466379	13.986	15.4716	15.0052
36	0.205618	2.72706	-6.84641	Rilevato	0	32.0066	6.12272	7.37512	12.5288	0.729113	11.7997	13.2639	12.5348
37	0.205618	2.25603	-5.70117	Rilevato	0	32.0066	4.94411	5.95543	10.4792	0.950892	9.52826	10.9727	10.0219
38	0.205618	1.76795	-4.55822	Rilevato	0	32.0066	3.72049	4.48152	8.30208	1.13199	7.17009	8.59869	7.4667
39	0.205618	1.26291	-3.41709	Rilevato	0	32.0066	2.45086	2.95218	5.99591	1.27261	4.7233	6.14225	4.86964
40	0.205618	0.753014	-2.27731	Rilevato	0	32.0066	1.1639	1.40197	3.61599	1.37294	2.24305	3.66228	2.28934
41	0.205618	0.600752	-1.13843	Rilevato	0	32.0066	0.764549	0.920938	2.90653	1.43309	1.47344	2.92172	1.48863
42	0.205618	0.609154	0	Rilevato	0	32.0066	0.783224	0.943432	2.96256	1.45313	1.50943	2.96256	1.50943
43	0.205618	0.600752	1.13843	Rilevato	0	32.0066	0.780457	0.940099	2.93718	1.43309	1.50409	2.92167	1.48858
44	0.205618	0.575537	2.27731	Rilevato	0	32.0066	0.755568	0.91012	2.82907	1.37294	1.45613	2.79902	1.42608
45	0.205618	0.533479	3.41709	Rilevato	0	32.0066	0.707822	0.852607	2.63672	1.27261	1.36411	2.59446	1.32185
46	0.205618	0.474529	4.55822	Rilevato	0	32.0066	0.636416	0.766595	2.35848	1.13199	1.22649	2.30774	1.17575
47	0.205618	0.398614	5.70117	Rilevato	0	32.0066	0.540477	0.651031	1.99249	0.950892	1.0416	1.93853	0.987642
48	0.205618	0.305644	6.84641	Rilevato	0	32.0066	0.419051	0.504768	1.53671	0.729113	0.807593	1.48639	0.75728
49	0.205618	0.195506	7.9944	Rilevato	0	32.0066	0.2711	0.326553	0.988839	0.466379	0.52246	0.950765	0.484386
50	0.205618	0.0680647	9.14563	Rilevato	0	32.0066	0.0954788	0.115009	0.346374	0.162368	0.184006	0.331003	0.168635

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.20455

--



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI1800001B

78 di 84

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	43.3713	31.1278	0	0	0
2	43.5806	30.8205	1.97292	0	0
3	43.79	30.5353	4.30967	0	0
4	43.9993	30.2692	5.68863	0	0
5	44.2087	30.0201	7.40025	0	0
6	44.418	29.7859	9.34905	0	0
7	44.6274	29.5654	11.454	0	0
8	44.8367	29.3574	13.6456	0	0
9	45.0461	29.1607	15.8165	0	0
10	45.2554	28.9745	17.8218	0	0
11	45.4648	28.7981	19.6431	0	0
12	45.6741	28.631	21.2705	0	0
13	45.8835	28.4724	22.6972	0	0
14	46.0928	28.3219	23.9191	0	0
15	46.3021	28.1792	24.9343	0	0
16	46.5115	28.0438	25.743	0	0
17	46.7208	27.9154	26.3474	0	0
18	46.9302	27.7936	26.7513	0	0
19	47.1395	27.6783	26.9597	0	0
20	47.3489	27.5692	26.9795	0	0
21	47.5582	27.4661	26.8186	0	0
22	47.7676	27.3687	26.4862	0	0
23	47.9769	27.2769	25.9927	0	0
24	48.1863	27.1906	25.3496	0	0
25	48.3956	27.1095	24.5696	0	0
26	48.605	27.0336	23.6664	0	0
27	48.8143	26.9628	22.6548	0	0
28	49.0237	26.8969	21.5507	0	0
29	49.233	26.8358	20.371	0	0
30	49.4424	26.7794	19.1339	0	0
31	49.6517	26.7277	17.8584	0	0
32	49.8611	26.6806	16.5649	0	0
33	50.0704	26.6381	15.2749	0	0
34	50.2798	26.6	14.0111	0	0
35	50.4854	26.5669	12.8351	0	0
36	50.691	26.538	11.7625	0	0
37	50.8966	26.5133	10.8148	0	0
38	51.1022	26.4928	10.0148	0	0
39	51.3078	26.4764	9.38708	0	0
40	51.5135	26.4641	8.95752	0	0
41	51.7191	26.456	8.74813	0	0
42	51.9247	26.4519	8.60304	0	0
43	52.1303	26.4519	8.44224	0	0
44	52.3359	26.456	8.27001	0	0
45	52.5415	26.4641	8.09175	0	0
46	52.7472	26.4764	7.91406	0	0
47	52.9528	26.4928	7.74473	0	0
48	53.1584	26.5133	7.59287	0	0
49	53.364	26.538	7.4689	0	0
50	53.5696	26.5669	7.38468	0	0
51	53.7753	26.6	0	0	0

### List Of Coordinates

#### Piezoline

X	Y
0	26.6
76.9924	26.6

#### Distributed Load

X	Y
43.7777	31.1278
33.3154	31.1278

#### Distributed Load



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1800001B

Foglio

79 di 84

SLIDEINTERPRET 7.038



X	Y
37.3939	31.1278
34.7847	31.1278

**Distributed Load**

X	Y
41.9284	31.1278
39.2432	31.1278

**External Boundary**

X	Y
51.6766	26.6
44.8883	31.1278
31.7883	31.1278
25	26.6
21	26.6
0	26.6
0	22.6
0	14.6
0	12.6
0	0
76.9924	0
76.9924	12.6
76.9924	14.6
76.9924	22.6
76.9924	26.6
56	26.6

**Material Boundary**

X	Y
21	26.6
21	26.1
56	26.1

**Material Boundary**

X	Y
56	26.1
56	26.6

**Material Boundary**

X	Y
0	22.6
21	22.6
56	22.6
76.9924	22.6

**Material Boundary**

X	Y
0	14.6
76.9924	14.6

**Material Boundary**

X	Y
0	12.6
76.9924	12.6

**Material Boundary**

X	Y
21	22.6
21	26.1

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1800001B

Foglio

80 di 84

SLIDEINTERPRET 7.020



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

Material Boundary

X	Y
56	22.6
56	26.1

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1800001B

Foglio

81 di 84

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



## Settle3D Analysis Information

### Ri17

#### Project Settings

Document Name: Ri18.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: 0.897551 seconds

#### Stage: Stage 1

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.0764973
Consolidation Settlement [m]	0	0
Immediate Settlement [m]	0	0.0764973
Loading Stress [kPa]	0	156.016
Total Stress [kPa]	0	606.042
Total Strain	2.44418e-009	0.0129579
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	3.06401	605.759
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: 12 kPa  
Depth: 0 m  
Installation Stage: Stage 1

##### Coordinates



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1800001B

Foglio

83 di 84

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

## Embankments

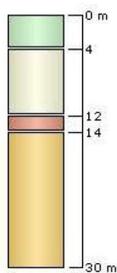
### 1. Embankment

Center Line: (0, -50) to (0, 50)  
Number of Layers: 1  
Near End Angle: 90 degrees  
Far End Angle: 90 degrees  
Base Width: 27

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	4.9	20	34	0

## Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	3a+colonne	4	0
2	u6	8	4
3	u2	2	12
4	u4	16	14



## Soil Properties

Property	3a+colonne	u6	u2	u4
Color				
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	18	19	19	19
Immediate Settlement	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled
Es [kPa]	12000	60000	10000	80000
Esur [kPa]	12000	60000	10000	80000

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 12+330,58 a pk 12+725,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI1800001B

Foglio

84 di 84

### 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