

COMMITTENTE:



ALTA  
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE  
OBIETTIVO N. 443/01**

**LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA**

**Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**RILEVATI**

**Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00**

**GENERALE**

**Relazione Geotecnica**

GENERAL CONTRACTOR				DIRETTORE LAVORI				SCALA	
IL PROGETTISTA INTEGRATORE		Consorzio						-	
Ing. Giovanni MALAVENDA Insieme all'ordine degli ingegneri di Venezia n. 4289 Data: Febbraio 2022		Iricav Due Ing. Paolo Carmona Data: Febbraio 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	2	6	0	0	0	0	1	B	-	-	-	D	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Luca RANDOLFI 	Febbraio 2022

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	M. Conti 	Luglio 2021	V. Pastore 	Luglio 2021	P. Ascari 	Luglio 2021	
B	RECEPIMENTO ISTRUTTORIE	M. Conti 	Febbraio 2022	V. Pastore 	Febbraio 2022	P. Ascari 	Febbraio 2022	

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712E12RBRI2600001B.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 2 di 82

## 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 .....	10
4.3	Livello di falda .....	11
4.4	Condizioni geotecniche del sito .....	11
4.5	Sintesi del modello geotecnico di riferimento .....	20
4.6	Materiale da rilevato .....	20
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE .....	21
5.1	Sollecitazione sismica di progetto .....	21
5.1.1	Vita Nominale .....	21
5.1.2	Classe d'uso .....	21
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica .....	22
5.1.4	Categorie di Sottosuolo .....	22
5.1.5	Condizioni topografiche .....	22
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento .....	23
5.2	Susceptibilità alla liquefazione .....	23
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT .....	25
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT .....	27
5.2.3	Soil improvement .....	33
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO .....	36
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite .....	36
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU) .....	36
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE) .....	38
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche .....	38
6.2	Azioni di progetto .....	38
6.2.1	Azioni permanenti .....	38
6.2.2	Azioni variabili .....	39
6.2.3	Azione sismica .....	39

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 3 di 82

6.3	Verifiche e risultati SLU .....	40
6.3.1	Premessa .....	40
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche .....	40
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche .....	41
6.3.4	Verifiche SLU in condizioni post sismiche .....	43
6.4	Verifica e risultati SLE .....	44
6.4.1	Metodologia di calcolo .....	44
6.4.1	Schematizzazione e risultati .....	46
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....	49
Allegati .....		50
ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO .....		51
ALLEGATO 2 - SONDAGGI .....		53
ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA .....		55
ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU IN CAMPO SISMICO .....		62
ALLEGATO 5 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU POST SISMA .....		70
ALLEGATO 6 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE .....		78
ALLEGATO 7 – VERSIONE SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI .....		82

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 4 di 82

## 1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI26, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende tra il km 15+548 e il km 15+800.

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

Il documento è così organizzato:

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 5 di 82

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Documentazione di progetto

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

### 2.2 Normativa e standard di riferimento

- [14] Decreto Ministeriale del 14 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
- [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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 6 di 82

- [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 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 7 di 82

### 3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame si estende tra il km 15+548 e il km 15+800 per una lunghezza totale di ca. 250 m. Per la tratta in esame non si evidenziano altre interferenze con opere principali adiacenti e/o attraversate.

#### 3.1 Geometria del rilevato

Il rilevato presenta una sezione regolare per tutto il tracciato, con scarpate di pendenza 2/3 (V:H). Alla pk 15+700, si riscontra l'altezza massima del rilevato pari a 2.4 m. La sezione citata, denominata Sezione A (Figura 1) è quella ritenuta più significativa per le verifiche del rilevato in esame.



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
E12RBRI2600001B

Foglio  
8 di 82

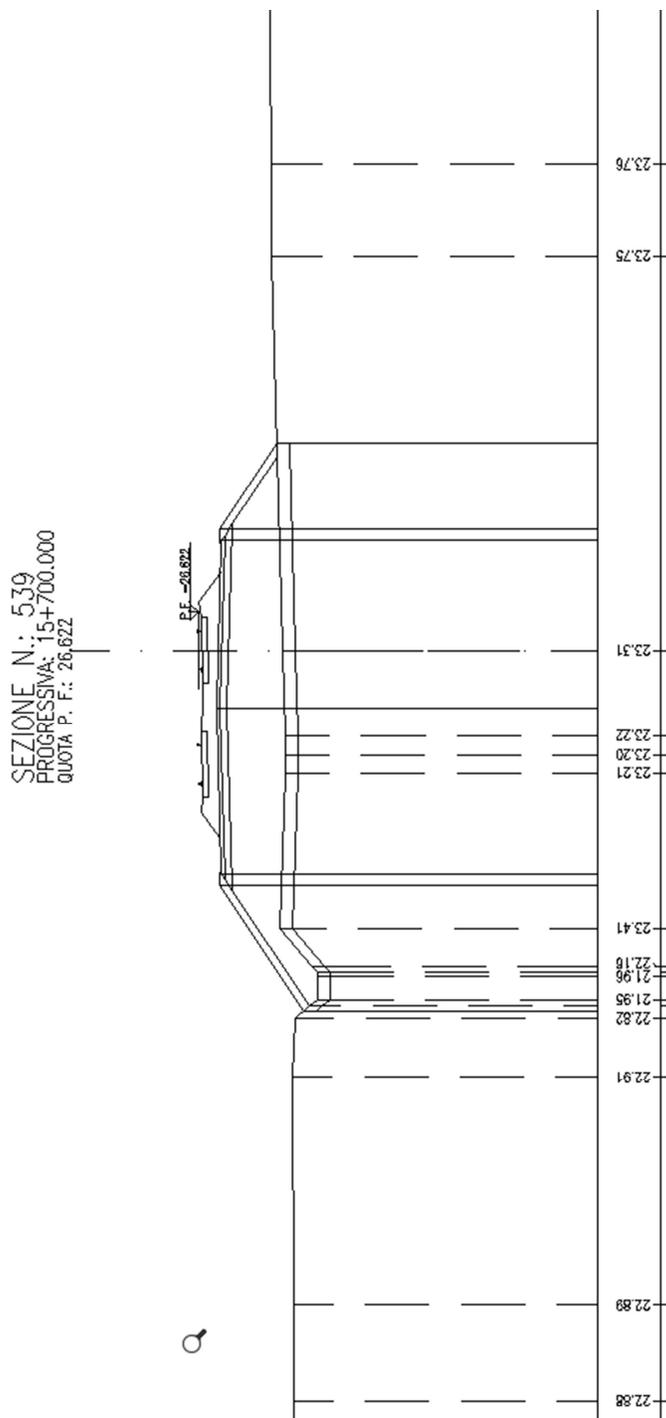


Figura 1 – Sezione di riferimento A (pk 15+700, n 539) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 4.1 Indagini disponibili

L'ubicazione delle indagini disponibili relative all'opera esaminata è illustrata nella Figura 2, 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][2]).

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 15+055,00 a pk 15+549,00

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
15+548	CPTU-PE-11	2020-2021
15+830	CPTU-PE-12	2020-2021
15+860	BH-PE-33	2020-2021

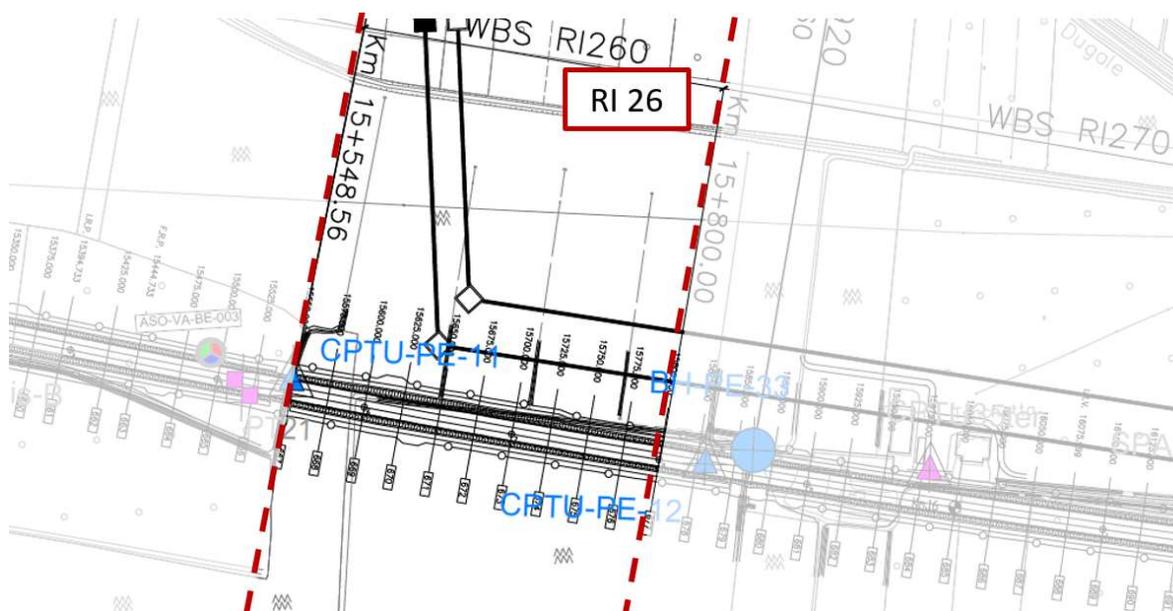


Figura 2 - Planimetria Rilevato RI26, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 10 di 82

## 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 6 a 4 m ca di terreni limoso/argillosi superficiali (Unità 3b), che si alternano a terreni sciolti di natura limoso sabbiosa (Unità 3a). Lo spessore di tali coperture diminuisce procedendo da Ovest verso EST (da CPTU-PE-11 a CPTU-PE-12). Al di sotto di questi depositi si riscontra uno strato di ghiaie ben addensate (Unità 6) fino a una profondità di circa 12 m.

Al di sotto delle ghiaie si incontrano circa 2-3 m di limi argillosi (Unità 2) ed infine il substrato sabbioso (Unità 4) che si estende in profondità a partire da 15 m pc.

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 3 si riporta il profilo geotecnico specifico per il rilevato RI26, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 3 di 11 (Doc. Rif. [3]).

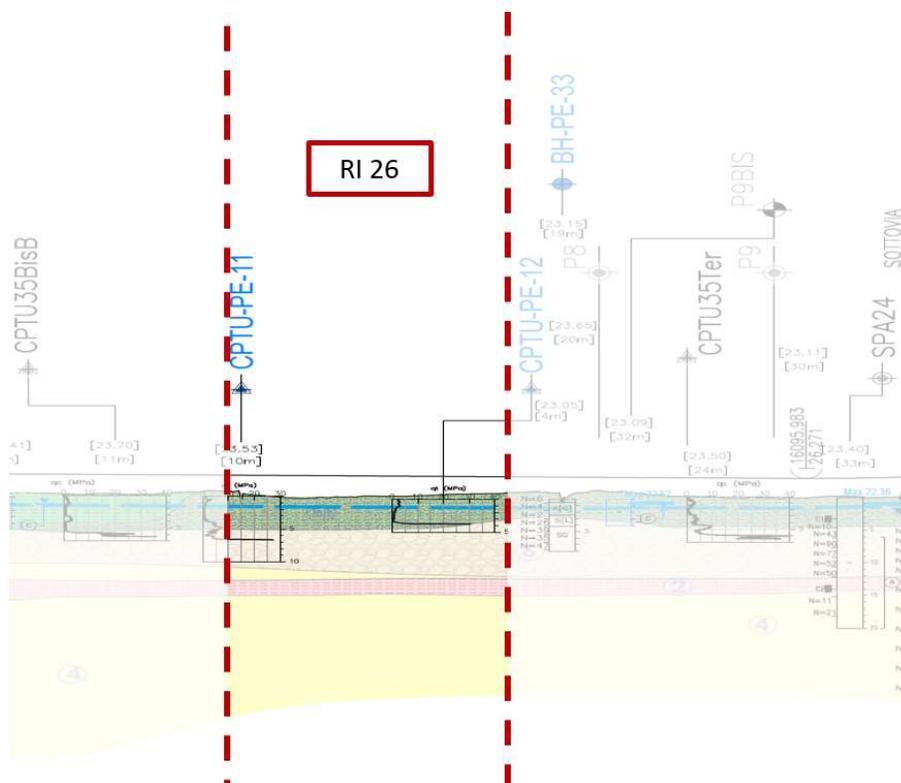


Figura 3 - Profilo Geotecnico Rilevato RI26, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 11 di 82

### 4.3 Livello di falda

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

### 4.4 Condizioni geotecniche del sito

Come definito dalla sezione stratigrafica, il tratto in oggetto è caratterizzato da alternanze di terreni a comportamento granulare alternati a materiali argillosi. Lo spessore complessivo di tali alternanze e dell'ordine dei 6 m a inizio della WBS in oggetto, per scendere fino a circa 4 m alla sua estremità Est.

La Figura 5 mostra i risultati delle prove SPT eseguite nel tratto interessato dal rilevato in esame. Si noti che, nel tratto specifico, non sono disponibili prove SPT. Inoltre, alcune prove (2 su 3) sono riferibili a materiali a prevalente contenuto di fine. In relazione a tali dati, si sottolinea quanto segue:

- Le prove indicano valori molto bassi, tipici comunque di materiali soffici, come confermato da tutti i dati a disposizione nell'area
- Anche qualora fosse prevalente la componente fine (molte volta ricavata da una descrizione visiva del campione), questo non è sufficiente ad escludere che i materiali abbiano caratteristiche granulometriche tali da rientrare nei materiali potenzialmente liquefacibili, fissati dalla NTC 2008. A tale proposito, la Figura 4 riporta i dati granulometrici dei materiali sciolti, così come ottenuti dalle determinazioni granulometriche di laboratorio delle indagini effettuate nella zona. Come si può notare, gran parte dei materiali di superficie ricade nell'ambito dei terreni potenzialmente liquefacibili, così come definiti dalle NTC 2008.

I livelli argillosi, posti a 1.5-2.0 al disotto del p.c., si presentano quindi teneri, con resistenze al taglio non drenate  $c_u=40-50$  kPa così come desunto dalla interpretazione della prova CPTU-PE-11 e CPTUPE-12 (Figura 8).

Procedendo con la profondità si incontra uno strato di ghiaie e ghiaie sabbiose ben addensate (Unità 6), che si estende fino a circa 12 m pc. All'interno del deposito incoerente le percentuali di materiale a grana fine sono generalmente inferiori a 20% e si registrano valori di  $N_{SPT}$  mediamente pari a 50 colpi/30cm. La densità relativa delle ghiaie risulta pari 50% e quindi il deposito risulta mediamente addensato.

Sotto lo strato di ghiaie, a profondità tra 12 e 15 m pc, si incontra una formazione di argille limose (Unità 2). Tali materiali sono debolmente sovraconsolidati.

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 12 di 82

Il profilo di Vs derivante delle interpretazioni discusse nella Relazione Sismica (Doc. Rif. [4]), basata sui risultati delle prove DH, MASW e infine SPT, conferma la presenza di materiali incoerenti da mediamente a molto addensati. Fino a 11 m pc, per le ghiaie superficiali si stimano valori di Vs pari a 320-350 m/s. A profondità maggiori, nelle sabbie, le velocità sono pari a 370 m/s. Sulla base dei valori di Vs si sono stimati i valori del modulo di taglio alle piccole deformazioni ( $G_0$ ). Per le ghiaie si considera un valore di 200 MPa, mentre per le sabbie profonde si ottengono valori pari a 300 MPa.

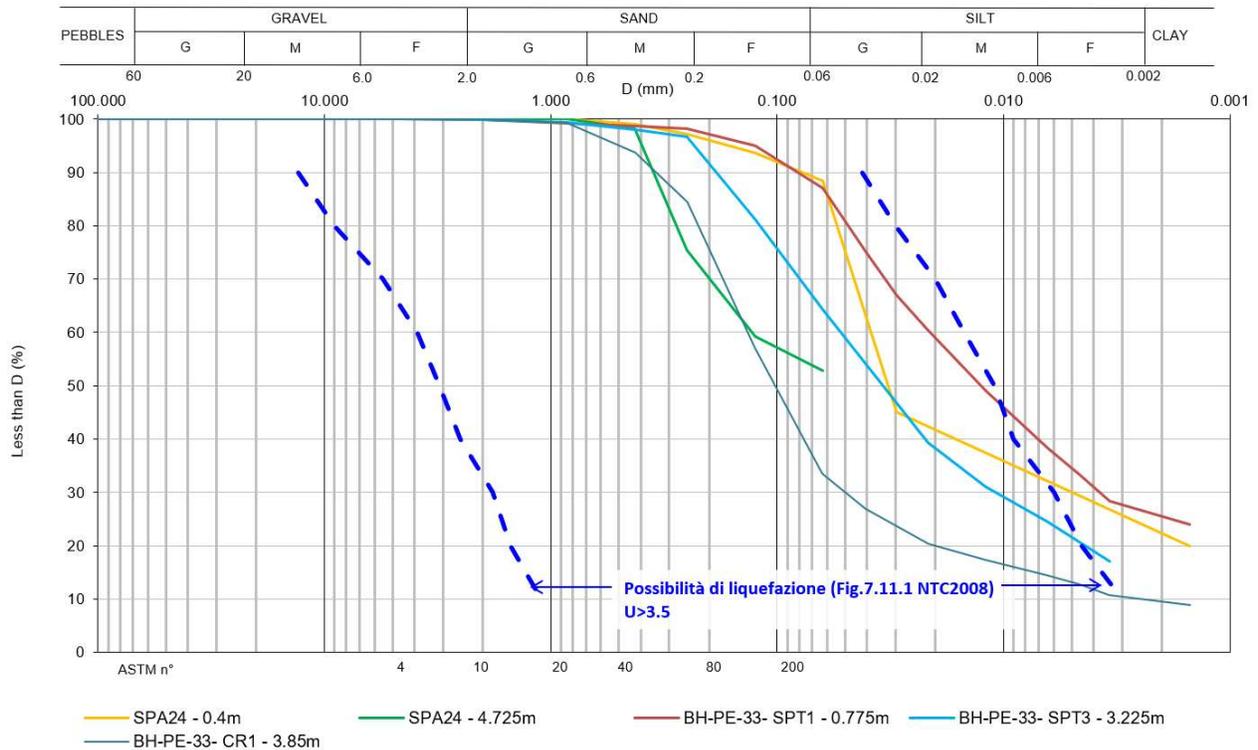
Per i materiali a grana grossa, si è stimato il valore del modulo di Young ( $E_0$ ) utilizzando da teoria dell'elasticità a partire dal valore del modulo  $G_0$ , ed utilizzando valori di  $\nu = 0.25-0.30$ . Il valore del modulo di Young operativo ( $E_{op}$ ) per il calcolo di cedimenti di fondazioni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

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

- Distribuzione delle granulometrie da analisi di laboratorio, con riferimento all'Unità 3a (v. Figura 4);
- Valori  $N_{SPT}$  da prove SPT (v. Figura 5);
- Densità relativa stimata da prove SPT (v. Figura 6);
- Angolo di attrito stimato da prove SPT (v. Figura 7);
- Velocità delle onde di taglio stimata da prove in sito (v. Figura 9);
- Modulo di taglio alle piccole deformazioni valutati a partire dai valori stimati di Vs (v. Figura 10).



**GRANULOMETRIE DEI MATERIALI DA TRATTARE CON COLONNE IN GHIAIA**



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



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2600001B

Foglio

14 di 82

## AV/AC VERONA VICENZA

RI26 da pk 15+548,56 a pk 15+800,00

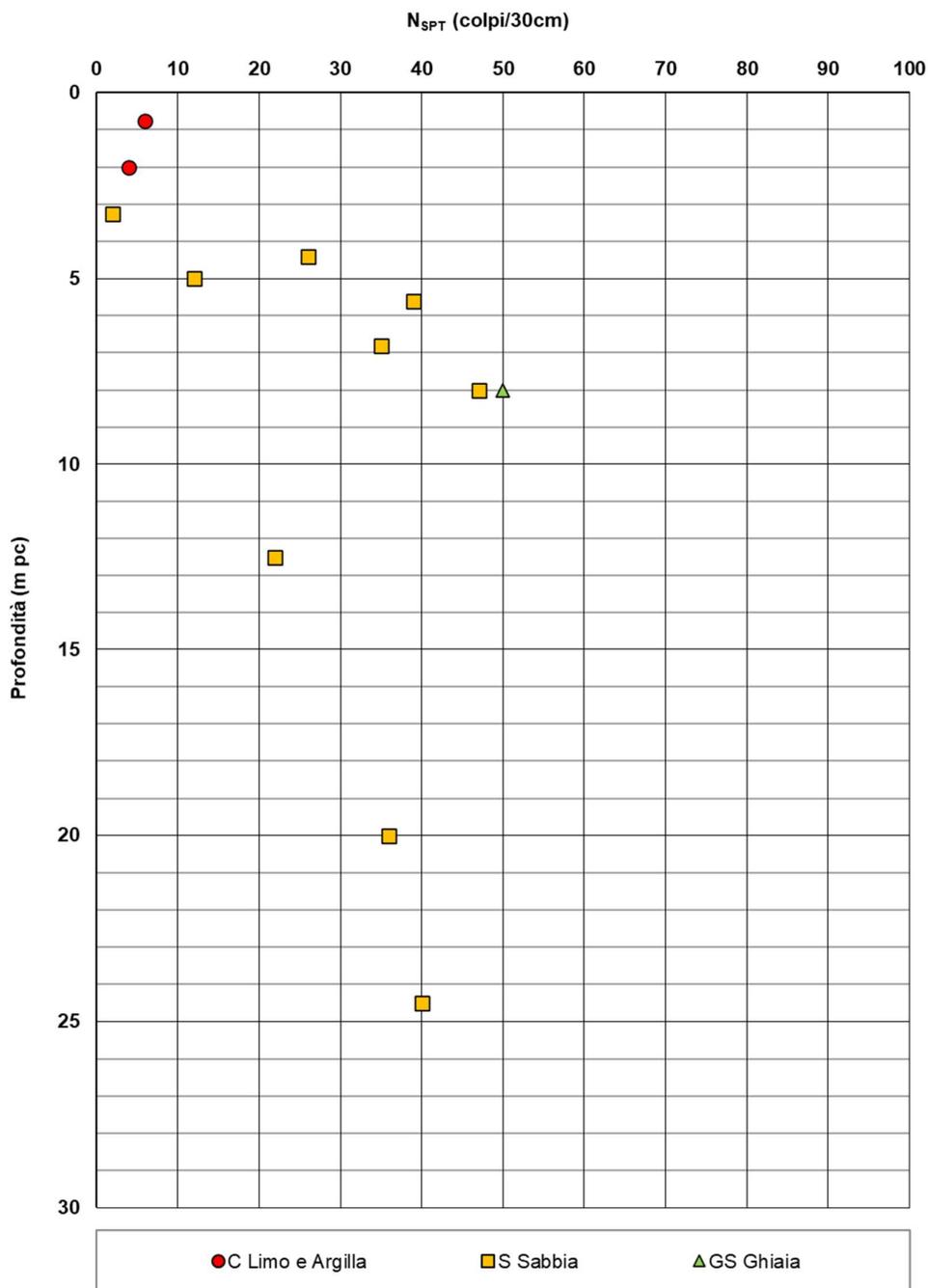


Figura 5 – Esito delle prove SPT tra pk 15+548 e 15+800



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2600001B

Foglio  
15 di 82

### AV/AC VERONA VICENZA

RI26 da pk 15+548,56 a pk 15+800,00

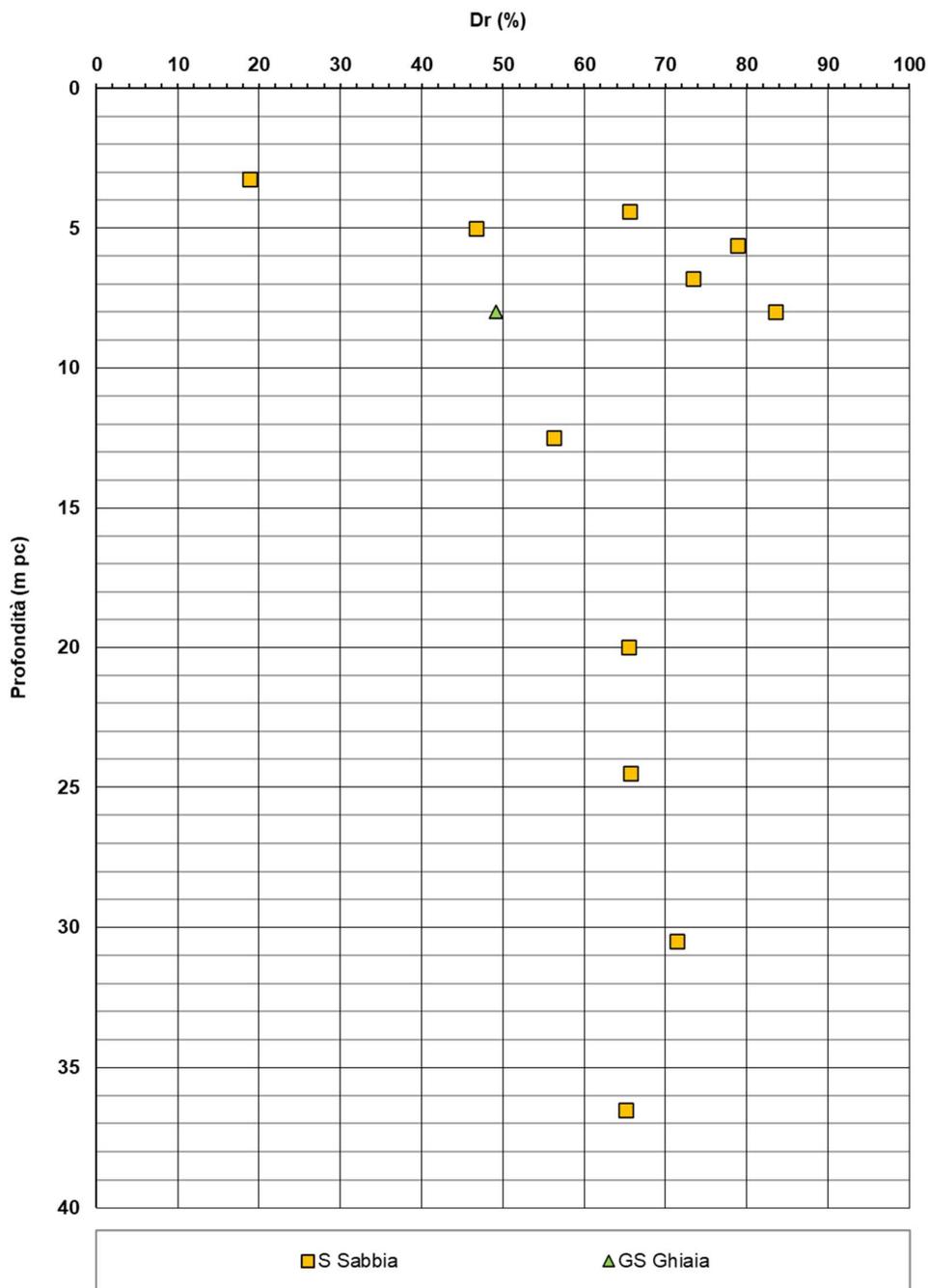


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT tra pk 15+548 e 15+800



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2600001B

Foglio  
16 di 82

### AV/AC VERONA VICENZA

RI26 da pk 15+548,56 a pk 15+800,00

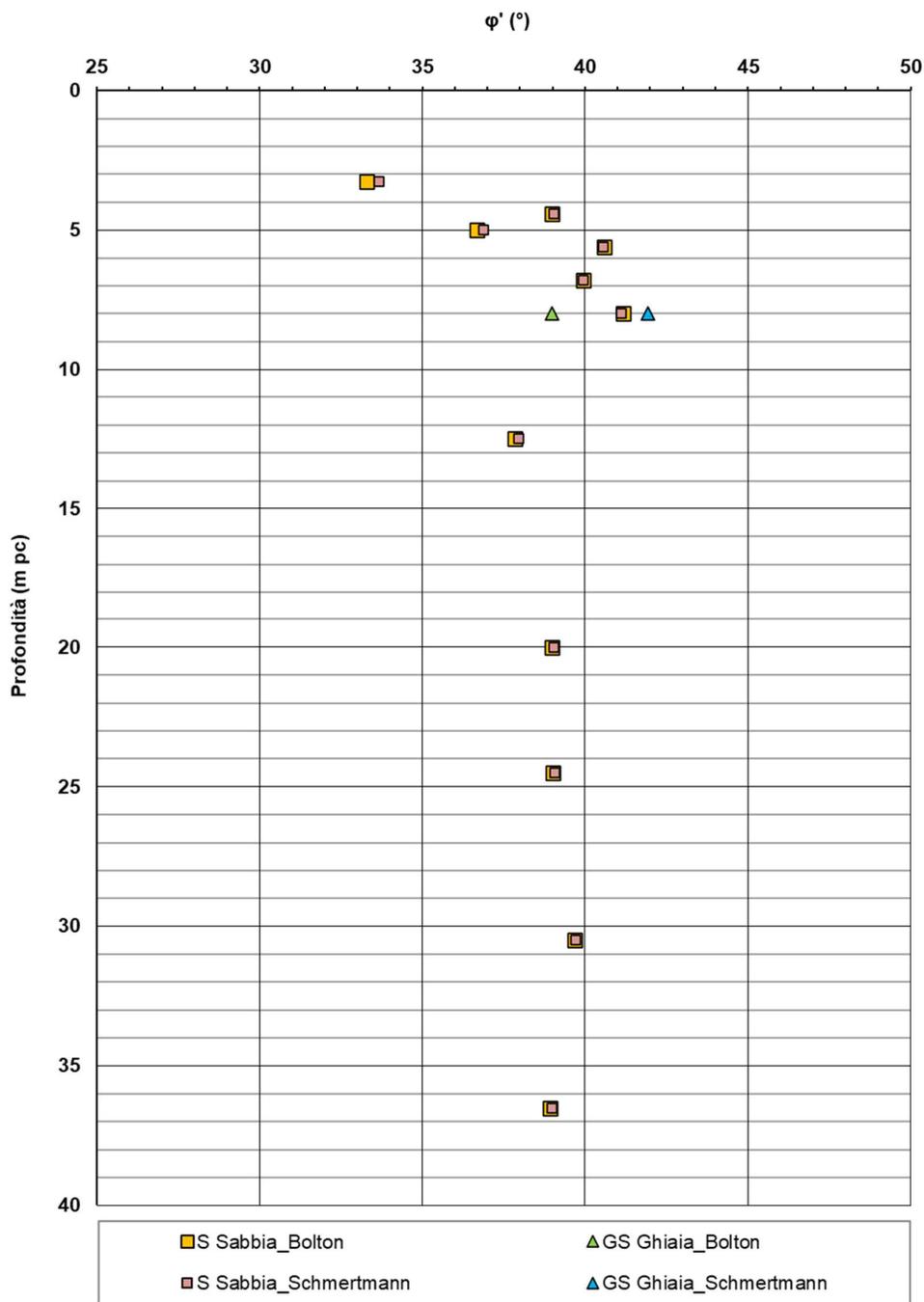


Figura 7 – Angoli di attrito da prove SPT tra pk 15+548 e 15+800



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2600001B

Foglio  
17 di 82

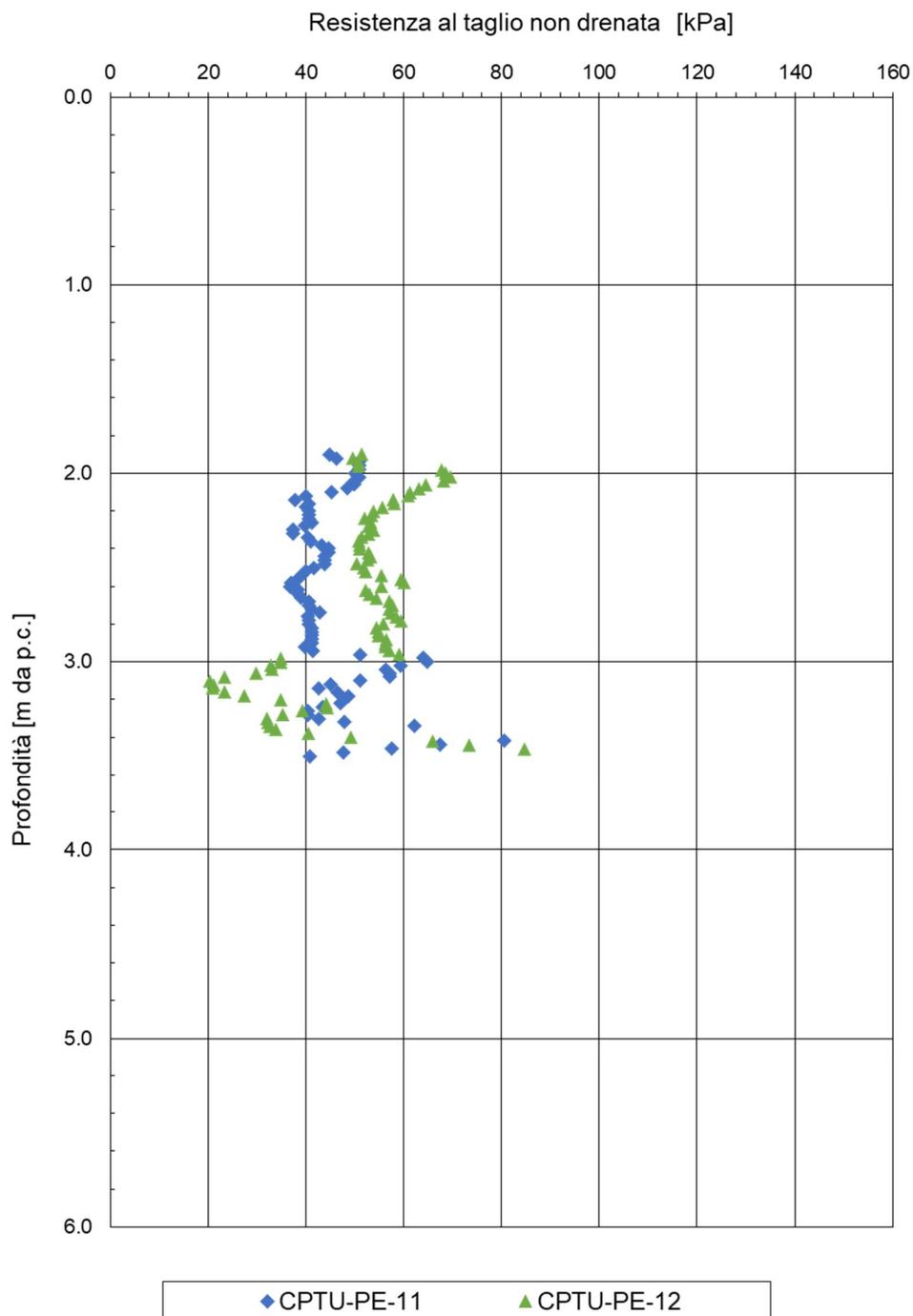


Figura 8 – Resistenza al taglio non drenata da prova CPTU-PE-11 e CPTU-PE-12



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2600001B

Foglio

18 di 82

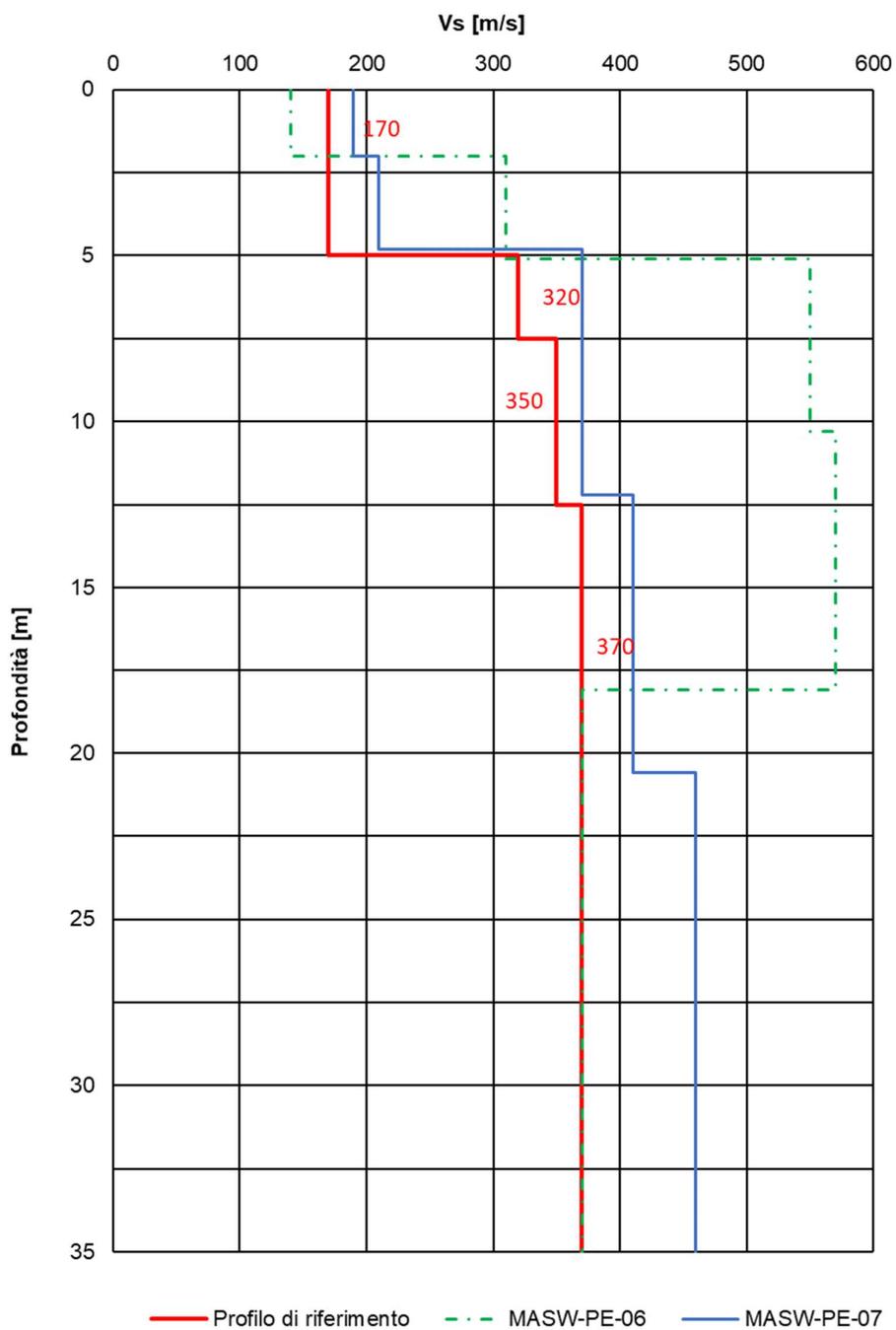


Figura 9 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW tra pk 15+548 e 15+800



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2600001B

Foglio

19 di 82

**AV/AC VERONA VICENZA**

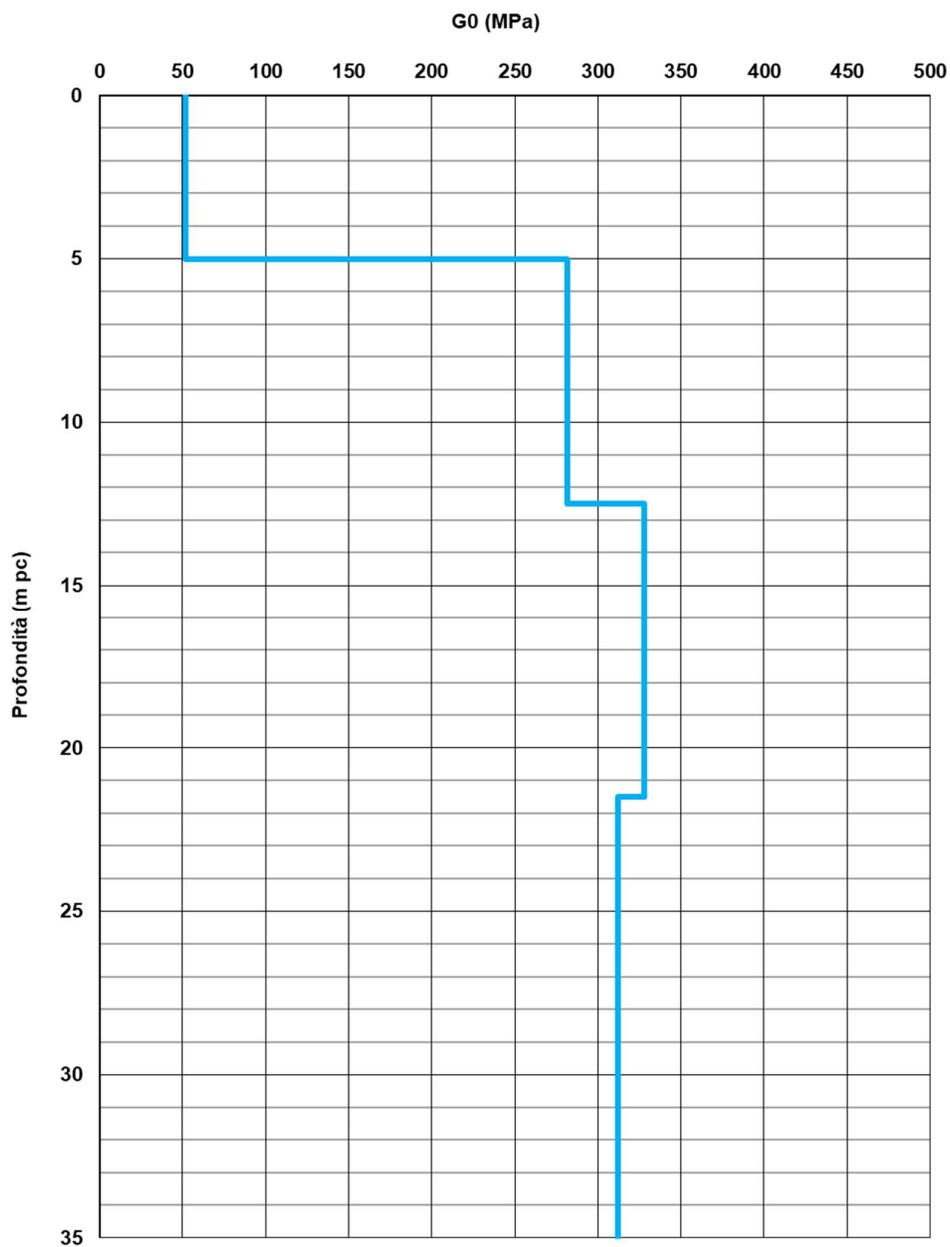


Figura 10 – Modulo di taglio  $G_0$  tra pk 15+548 e 15+800

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 20 di 82

#### 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	RR	CR	$\sigma'_p$ KPa	$G_0$ MPa	$E'_{op}$ MPa
3a	0.	2	18	34 (36)	-	-	-	-	-	-	5(12)
3b	2	3.5	18	-	-	40	-	-	-	-	5(12)
3a	3.5	6	18	34(36)	-	-	-	-	-	-	5(12)
6	6	12	19	39	-	-	-	-	-	200	60
2	12	15	19	28	-	60	-	-	-	-	25
4	15	-	19	38	0	-	-	-	-	300	80

\* quota piano campagna = 23.0 m s.l.m.

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

- Come si vedrà in seguito, le coperture superficiali si presentano sciolte, e necessitano di interventi di miglioramento delle caratteristiche meccaniche, in relazione all'esito delle verifiche di liquefazione.
- I valori dei parametri indicati fra parentesi sono quelli del terreno migliorato con le colonne di ghiaia. In particolare:
  - Il valore dell'angolo di resistenza al taglio del terreno sciolto con colonne di ghiaia con  $\phi=40^\circ$  è stato stimato pari a  $36^\circ$
  - Nel caso in esame, come ipotesi limite volta a dimostrare la non sussistenza di problematiche di stabilità una volta intervenuti con le colonne, la resistenza al taglio dello strato argilloso è stata mantenuta inalterata, trascurando il benefico effetto delle colonne stesse.
- I moduli  $E'$  del terreno naturale sono stati impiegati per ricavare le caratteristiche del terreno migliorato con colonne di ghiaia, secondo quanto riportato al punto 6.4

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

#### 4.6 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 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI260001B	Foglio 21 di 82

## 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 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 22 di 82

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 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 23 di 82

### 5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

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

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

## 5.2 Suscettibilità alla liquefazione

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 24 di 82

(CRR) così definiti:

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

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

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

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

dove:

$a_{max}$                     accelerazione di picco al sito

$g$                             accelerazione di gravità

$\tau_c$                         valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

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

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

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 25 di 82

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 11: 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 11, la resistenza alla punta  $q_c$  è normalizzata rispetto al valore di pressione atmosferica ( $p_a = 100 \text{ kPa}$ ) e corretta ( $q_{c1N}$ ) mediante la seguente relazione:

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

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

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

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

dove:

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

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

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

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  $n = 0.75$ .

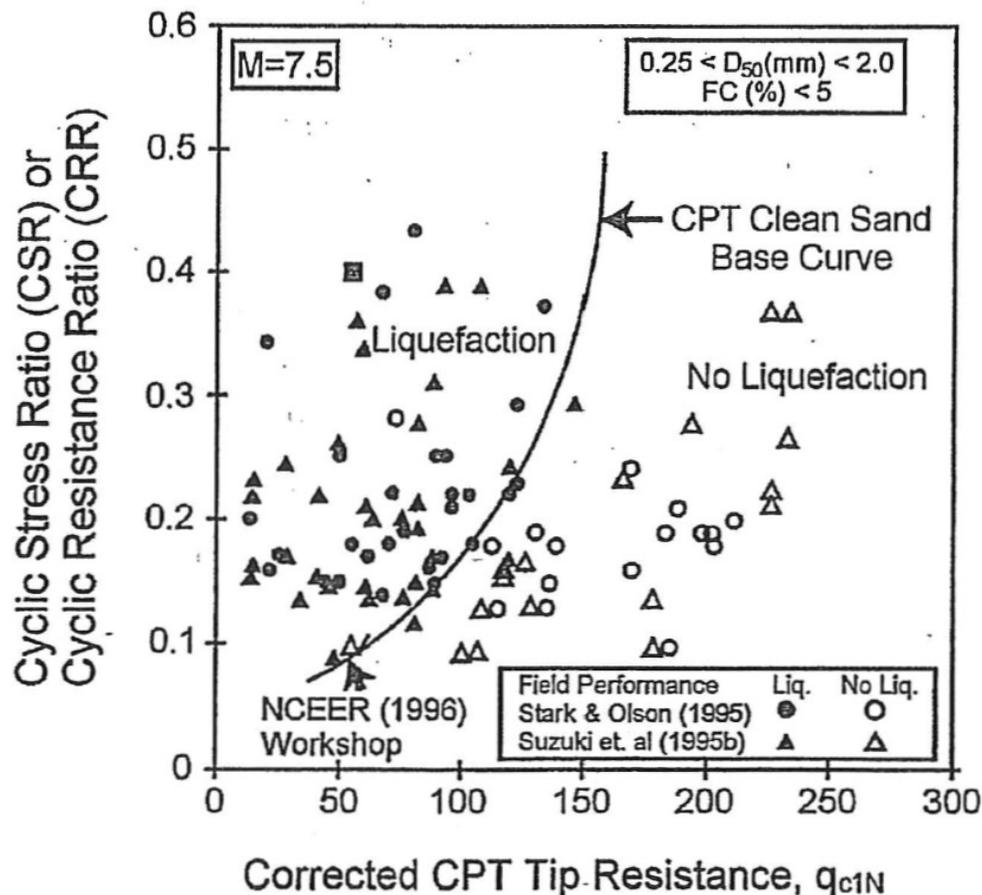
Il valore della resistenza penetrometrica normalizzata  $q_{c1N}$  è stato riportato ad un valore equivalente per le sabbie pulite attraverso la seguente relazione:

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

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

$$\text{per } I_c \leq 1.64 \quad K_c = 1.0$$

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



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 27 di 82

Figura 11: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta qc1N – 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 12, originariamente proposta da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), e successivamente confermata da Youd et al. (2001).

In Figura 12, i risultati delle prove SPT sono espressi in termini di numero di colpi corretti  $N_{1(60)}$ , ossia i valori sono normalizzati per una pressione verticale efficace pari a 100 kPa e corretti per un valore standard di energia trasmessa (60% del valore nominale) come segue:

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

dove:

$C_N$  = coefficiente correttivo che tiene conto dell'influenza della pressione verticale efficace. In letteratura sono presenti diversi metodi per la valutazione del coefficiente correttivo  $C_N$ . Qui è stata applicata la seguente relazione proposta da Liao e Whitman (1986):

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

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

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

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

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

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

Sempre in Figura 12, 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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 28 di 82

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

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

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

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

L'equazione che segue (Idriss e Seed, come riportato da Youd et al. 2001) viene utilizzata per la correzione di valori di  $N_{1(60)}$  ai valori corrispondenti per sabbia pulita  $N_{1(60)cs}$ :

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

In cui:

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 29 di 82

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:

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

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

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):

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

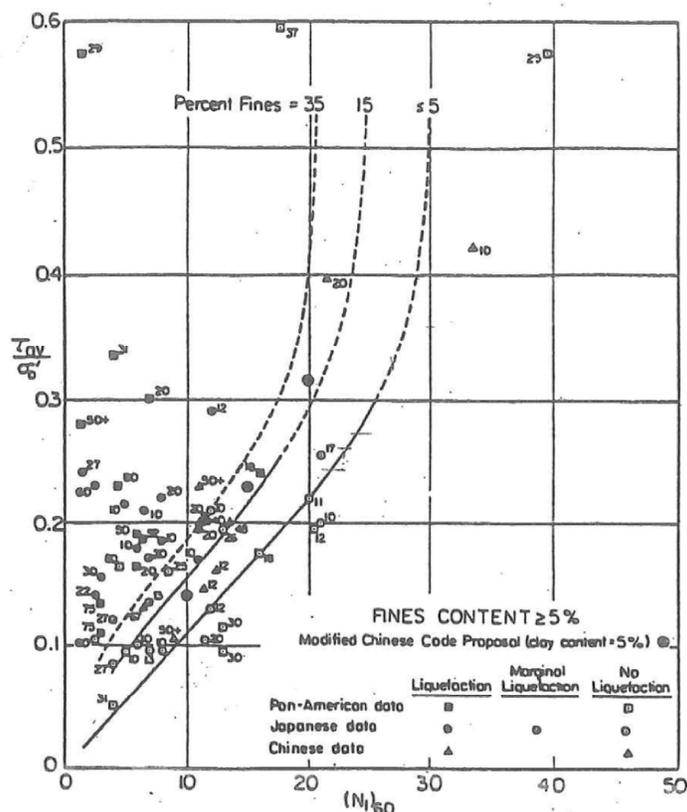


Figura 12: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e  $N_{1(60)}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

I risultati (cfr. Figura 13, Figura 14) indicano rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI26. In particolare:

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2600001B

Foglio

30 di 82

- dall'analisi sulla CPTU-PE-11 si evidenzia la presenza di tra 0 e 6 m pc di materiale potenzialmente liquefacibile (con livelli classificati come argillosi, e quindi non liquefacibili, ma comunque teneri) , con  $FL < 1.0$ .
- dall'analisi sulla CPTU-PE-12 si evidenzia la presenza di tra 0 e 4 m pc di materiale potenzialmente liquefacibile, con  $FL < 1.0$ .

Si conclude quindi che l'area è interessata da coperture superficiali di terreni potenzialmente liquefacibili, in misura tale da compromettere la stabilità dei rilevati. Ove non liquefacibili, i terreni argillosi si presentano teneri, e passibili comunque di perdite di resistenza al taglio sotto carico ciclico.

Si prescrivono pertanto interventi di miglioramento dei terreni, che verranno illustrati nel paragrafo successivo.



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2600001B

Foglio  
31 di 82

T tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-11 Pr. 15+548  
s<sub>max</sub> = 0.304g M<sub>calc</sub> = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 2m

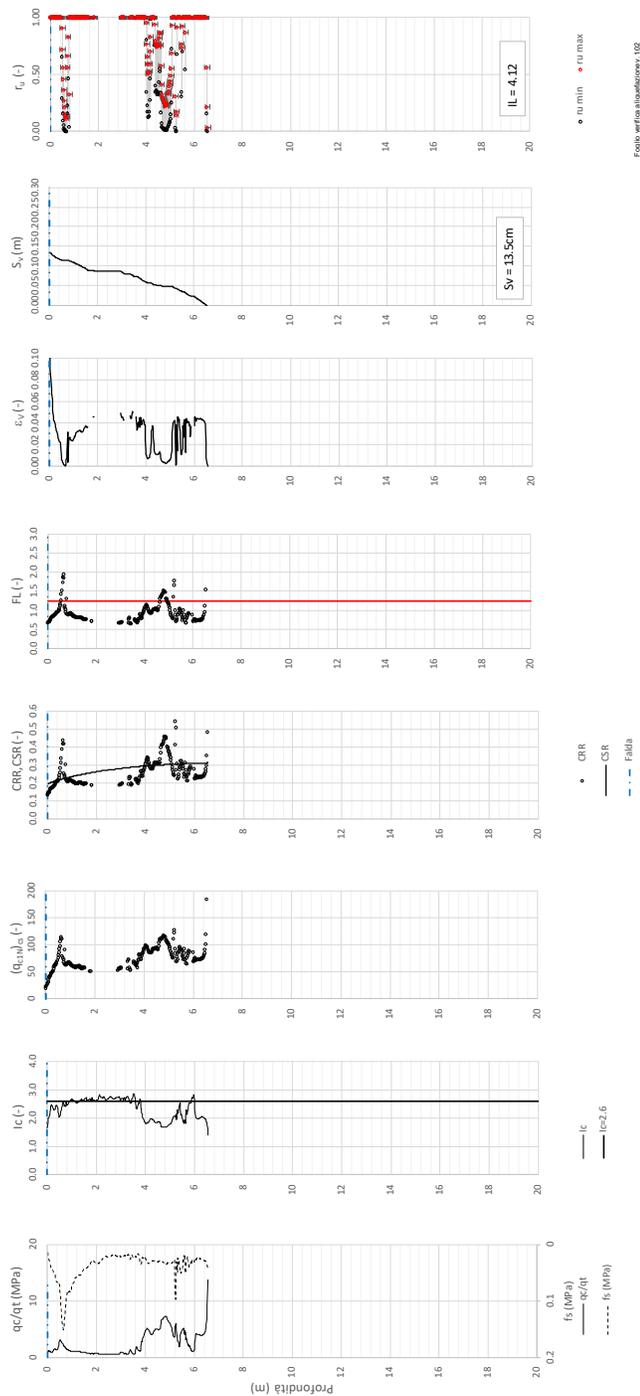


Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-11



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2600001B

Foglio  
32 di 82

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-12 Pr. 15-830  
s<sub>u,max</sub> = 0.30kg M<sub>calc</sub> = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1986 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 2m

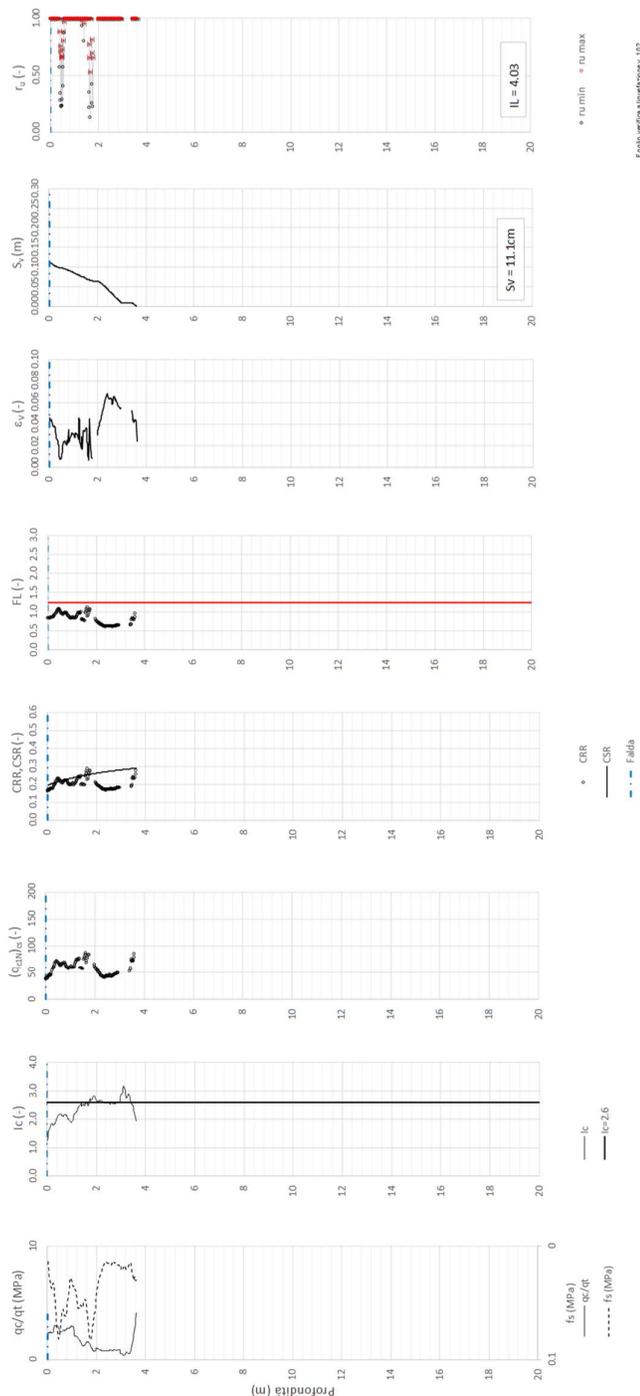


Figura 14 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-12

### 5.2.3 Soil improvement

Visti i rischi di potenziale liquefazione nella tratta in esame, si prescrive:

- dalla pk 15+548 e fino alla pk 15+650: installazione di colonne in ghiaia aventi diametro  $D=800$  mm, lunghezza  $L=6$ m, interasse  $i=2$ m, a maglia quadrata.
- dalla pk 15+650 a pk 15+800: installazione di colonne in ghiaia aventi diametro  $D=800$  mm, lunghezza  $L=4$ m, interasse  $i=2$ m, a maglia quadrata.

Per la descrizione accurata delle metodologie operative e per la geometria del trattamento si faccia riferimento agli elaborati grafici di progetto.

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

- Si è dimensionata la spaziatura degli interventi sulla base delle indicazioni di Priebe (Doc.Rif.[35]). Il metodo proposto da Priebe consiste nel valutare, in funzione della "densità" del trattamento (i.e., la spaziatura fra le colonne), la diminuzione di azione ciclica sul terreno dovuta alla presenza delle colonne stesse. Nel grafico di Figura 15  $A_c$  è l'area della colonna, mentre  $A$  è l'area di pertinenza della colonna stessa. A titolo di esempio, spaziando colonne  $D=800$  mm su maglia quadrata  $2 \times 2$  m, si ottiene un "area ratio"  $A/A_c=4/0.5=8$ , che consente di ridurre l'azione ciclica sul terreno di un fattore ( $P_s/P$  nel grafico in ordinate) che può essere stimato pari a 0.6 per colonne realizzate con materiale avente angolo di resistenza al taglio dell'ordine dei  $40^\circ$ .
- Sulla base di tale riduzione, si è rivalutato l'effetto dell'azione ciclica ridotta sui terreni naturali. In Figura 16 si riportano le verifiche di liquefazione di CPTU-PE-11 e CPTU-PE-12 eseguite con tale criterio. Come si può notare, per effetto della riduzione della PGA da 0.301 a 0.18 (appunto di un fattore 0.6), il materiale non viene più portato a liquefazione, ma si limita a sviluppare sovrappressioni interstiziali del tutto compatibili con la stabilità del rilevato.

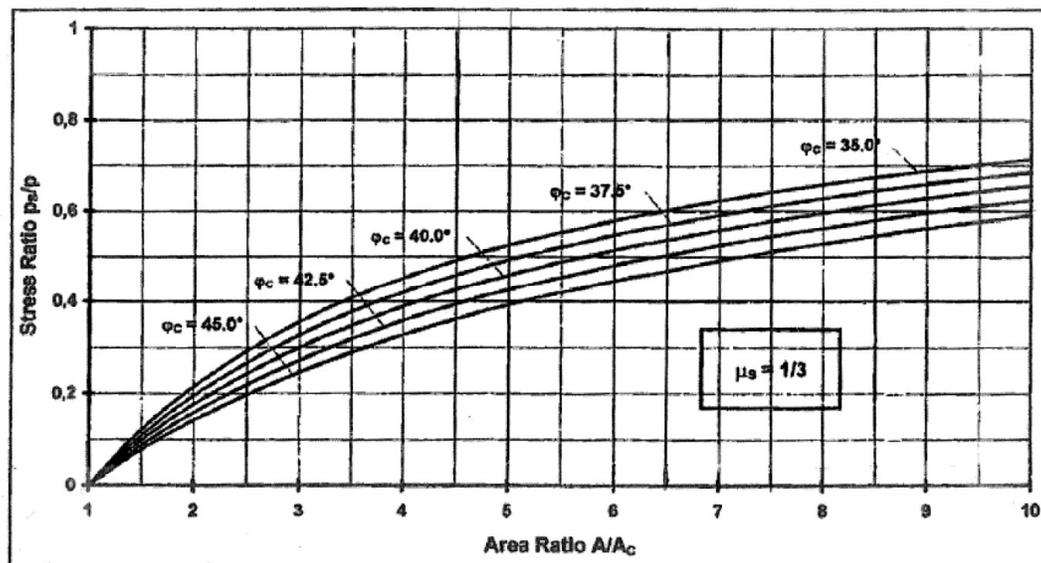


Figura 15 – Riduzione dello stress ratio sismico in funzione dell'area ratio delle colonne di ghiaia (Doc.Rif.[35])



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2600001B

Foglio  
34 di 82

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-11 Pr. 15+548  
a<sub>v,max</sub> = 0.180%; M<sub>calc</sub> = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 2m

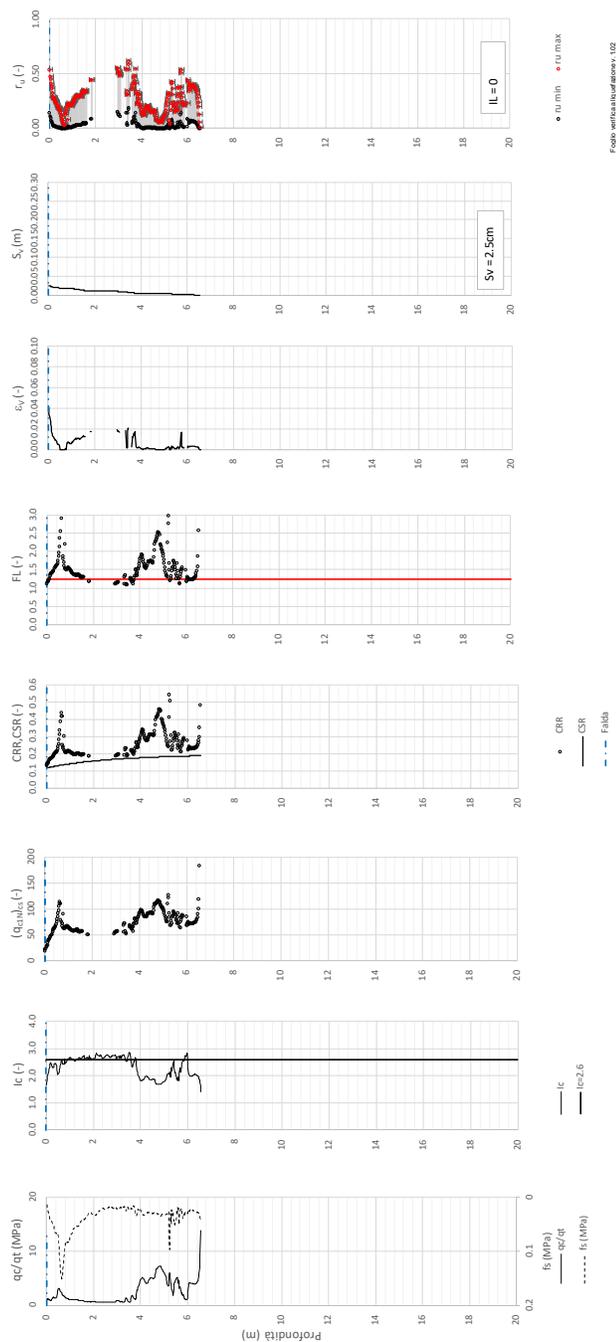


Figura 16 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-11 dopo soil improvement



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2600001B

Foglio  
35 di 82

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-12 Pr. 15+830  
 $a_{max} = 0.1806g$ ,  $M_{calc} = 6$  MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
 Altezza rilevato = 2m

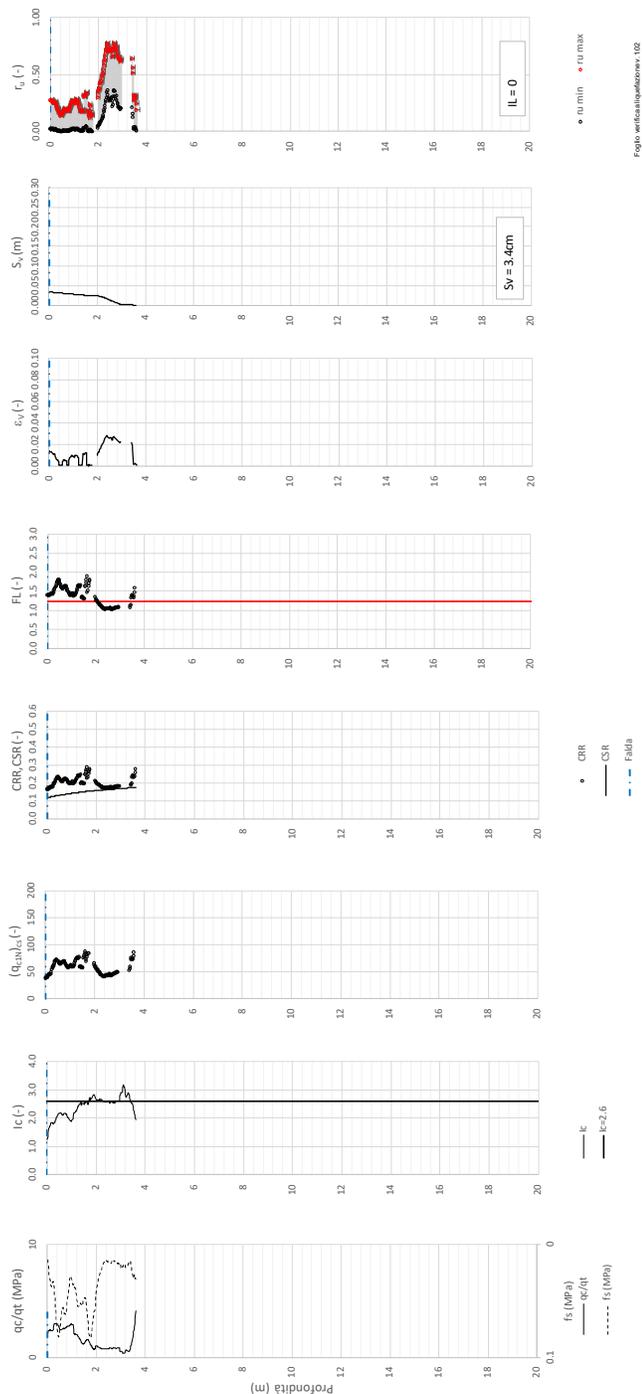


Figura 17 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-12 dopo soil improvement

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 36 di 82

## 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

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 37 di 82

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

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

**Tabella 6 – Coefficienti parziali sulle azioni**

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

dove:

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

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

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

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

Coefficiente	R2
$\gamma_R$	1.1

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 38 di 82

### 6.1.2 Stati limite di esercizio (SLE)

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

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

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

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

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

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

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

## 6.2 Azioni di progetto

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

### 6.2.1 Azioni permanenti

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 39 di 82

stati calcolati assumendo:

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

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

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

### 6.2.2 Azioni variabili

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

### 6.2.3 Azione sismica

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

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

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

dove

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

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

$g$                      accelerazione di gravità.

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

	Categoria di sottosuolo	
	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 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 40 di 82

## 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, secondo il metodo di Bishop modificato.

La verifica è stata condotta esaminando la massima altezza del rilevato, ed il massimo spessore di materiale liquefacibile (6m). Il soddisfacimento delle verifiche in tali condizioni comporta necessariamente il soddisfacimento anche nelle sezioni con copertura di spessore liquefacibile minore, (e altezze anche minori).

Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici caratteristici definiti in Tabella 2.

### 6.3.2 Verifiche SLU in condizione statiche

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

In Figura 18 sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2. Il valore minimo di FS è pari a:

$$F_{S_{MIN}} (DA1C2) = 1.334 > R2 = 1.1$$

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 41 di 82

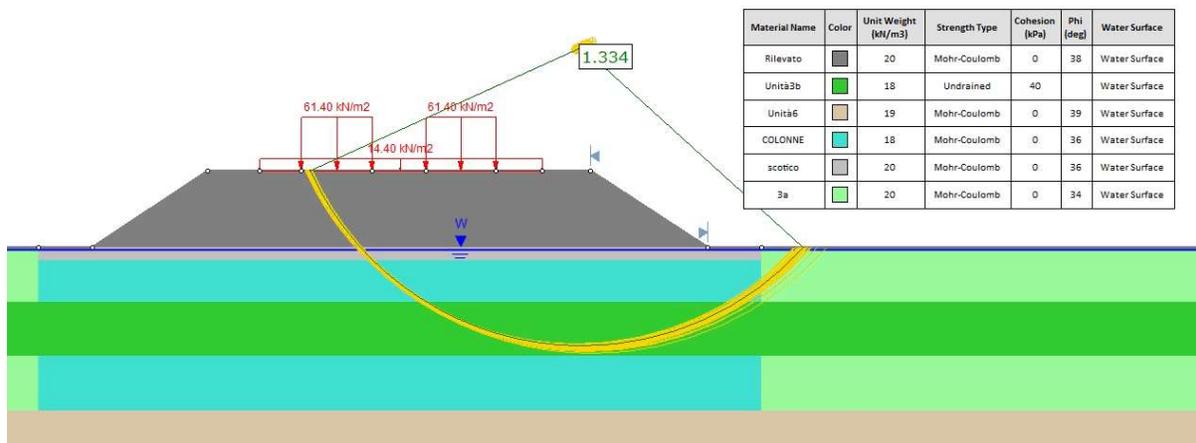


Figura 18 – Sezione A - Analisi SLU in campo statico DA1C2

### 6.3.3 Verifiche SLU in condizioni sismiche

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

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

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

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

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

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

$$FS_{\text{MIN}} = 1.167 > R2 = 1.1$$

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



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI260001B

Foglio

42 di 82

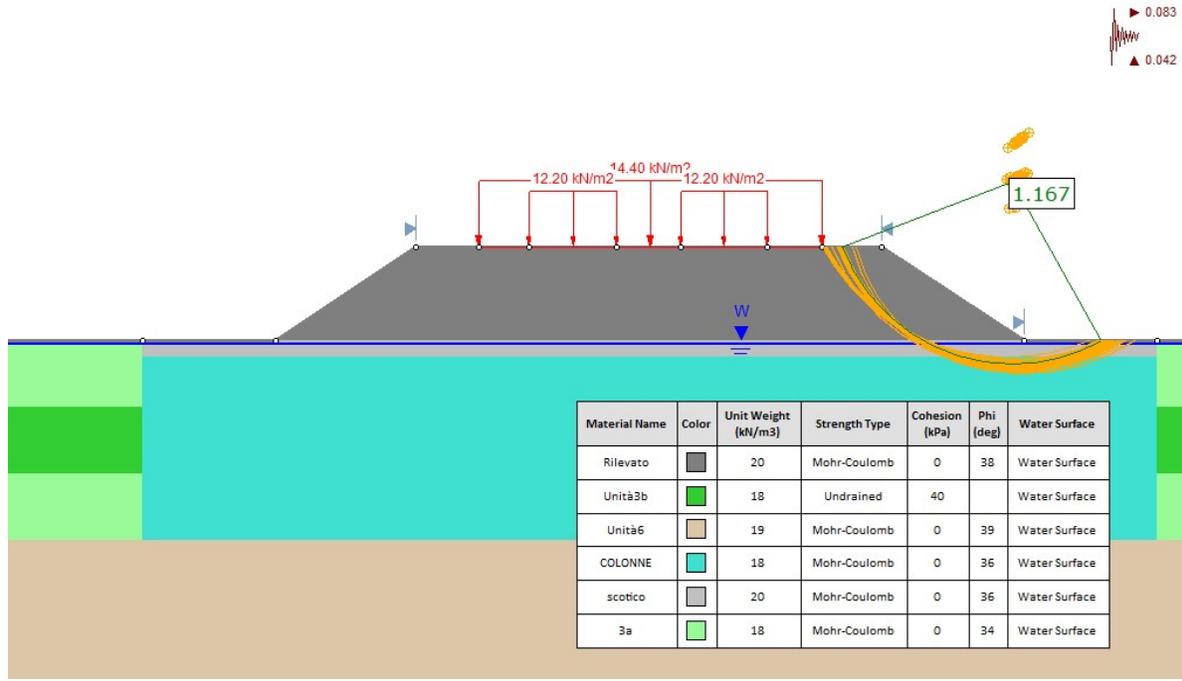


Figura 19 – Sezione A - Analisi SLU in campo sismico

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 43 di 82

### 6.3.4 Verifiche SLU in condizioni 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 quelle che non interessano la sede ferroviaria.

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

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

$$FS_{MIN}=1.377 > R2=1.1$$

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

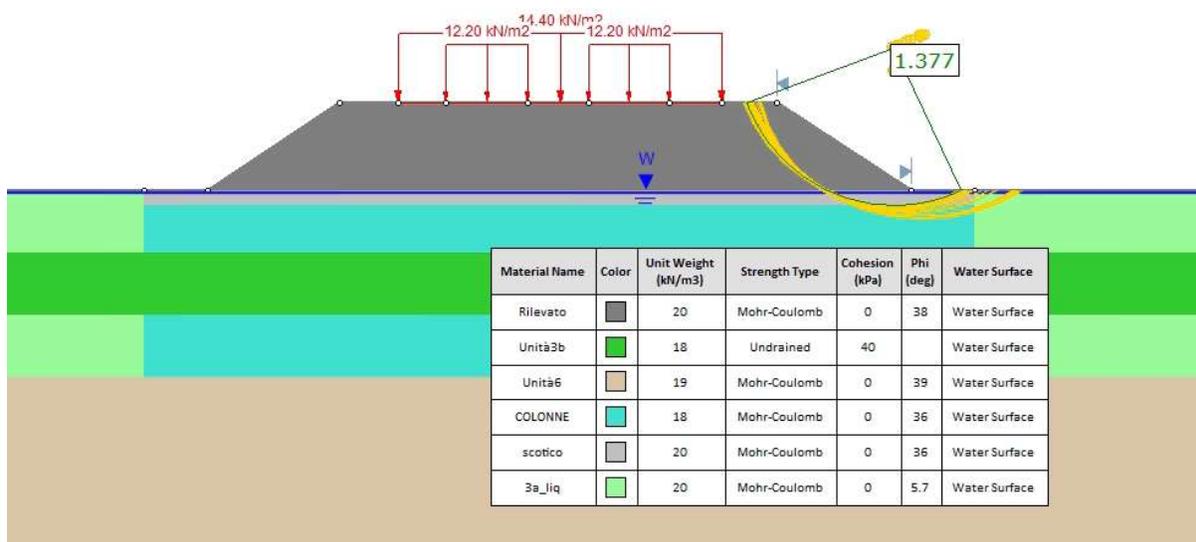


Figura 20 – Sezione A - Analisi SLU in condizioni post sisma

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI260001B	Foglio 44 di 82

## 6.4 Verifica e risultati SLE

### 6.4.1 Metodologia di calcolo

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

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

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

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

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

Il calcolo dell'incremento delle tensioni normali indotte da un'area di carico 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.

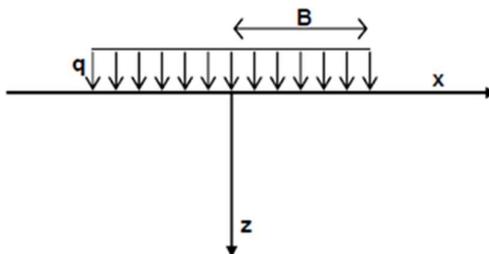


Figura 21 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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

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

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

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

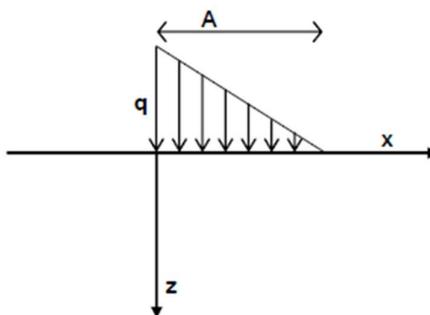


Figura 22 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 46 di 82

di progetto riportata in Tabella 2. Si sono assunti i valori caratteristici sia sulle azioni che sui materiali.

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

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

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

dove

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

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

#### 6.4.1 Schematizzazione e risultati

La verifica è stata condotta con riferimento alla già citata sezione di riferimento A riportata in Figura 1. Il modello di calcolo implementato per il rilevato tipologico con altezza pari a 2.4 m, è riportato in Figura 23. La larghezza del rilevato è pari a 20 m, con pendenza delle scarpate è 2V:3H. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici definiti in Tabella 2.

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

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

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

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

I cedimenti sono stati calcolati al centro del nuovo rilevato, i valori calcolati sono riportati nella Figura 24.

Il cedimento calcolato in corrispondenza del centro del nuovo rilevato è di circa 4.5 cm.

Considerando la presenza delle colonne di ghiaia  $D=800$  a maglia quadrata con lato 2 m, se ne deduce che i massimi percorsi di drenaggio saranno dell'ordine del metro. In tali condizioni di drenaggio, e considerando la natura dei terreni, con prevalenza di componente sabbiosa, i cedimenti si esauriranno praticamente all'atto dell'applicazione dei carichi, e quindi non risultano essere necessarie dettagliate analisi di consolidazione.

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

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

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



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2600001B

Foglio  
47 di 82

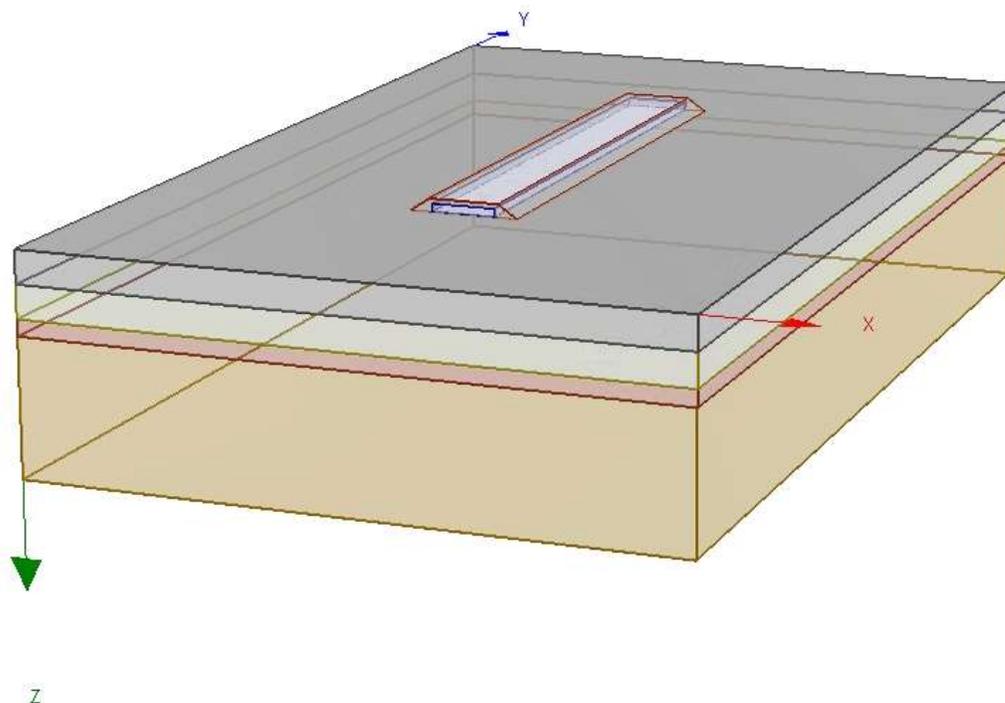


Figura 23 – Rilevato RI26 H=2.40 m - Analisi SLE – Modello di calcolo

**Ri26 : Cedimento del rilevato ferroviario linea AV**

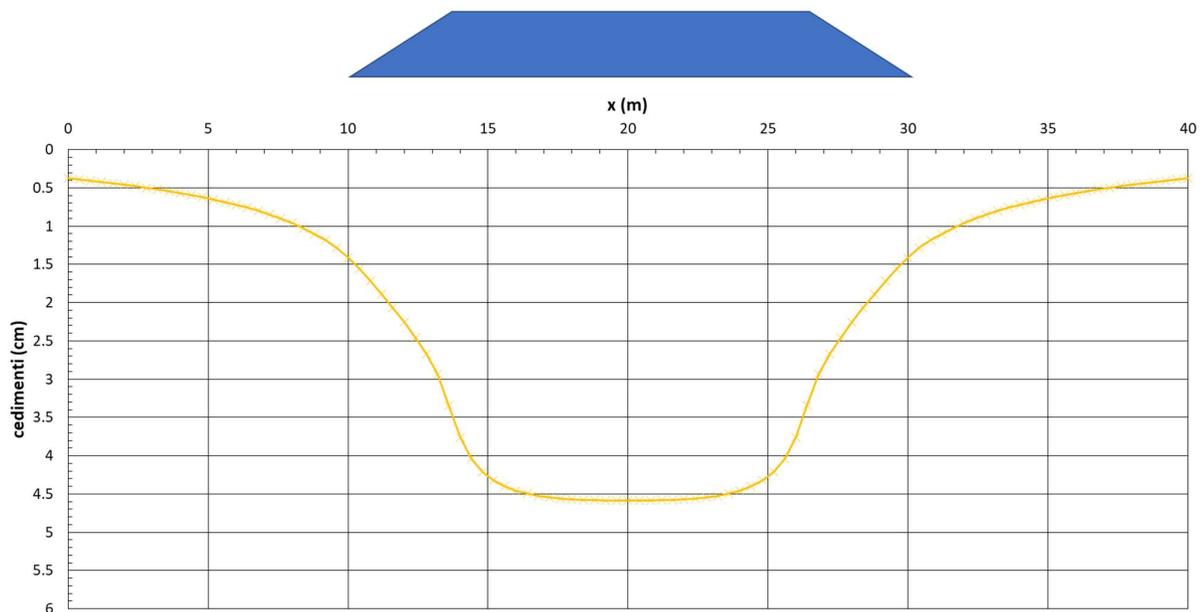


Figura 24 - Rilevato RI26 - Analisi SLE – Risultato Cedimenti



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2600001B

Foglio

48 di 82

## Ri26 : Cedimento del rilevato ferroviario linea AV

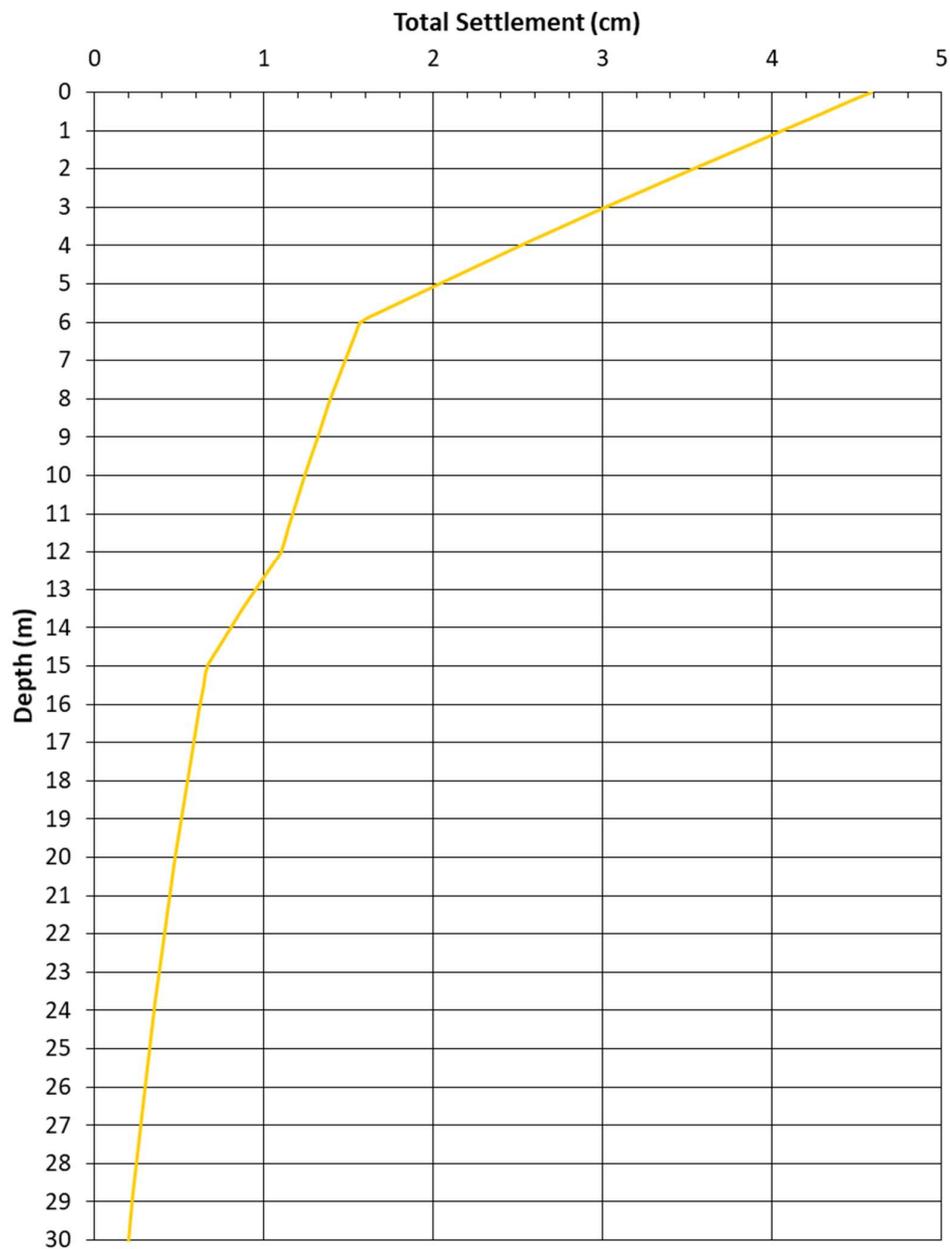


Figura 25 - Rilevato RI26 - Analisi SLE – Risultato cedimenti in profondità al centro del rilevato

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 49 di 82

## 7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2600001B

Foglio

50 di 82

**ALLEGATI**

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

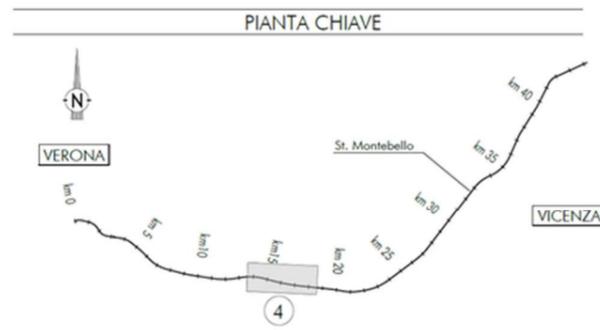
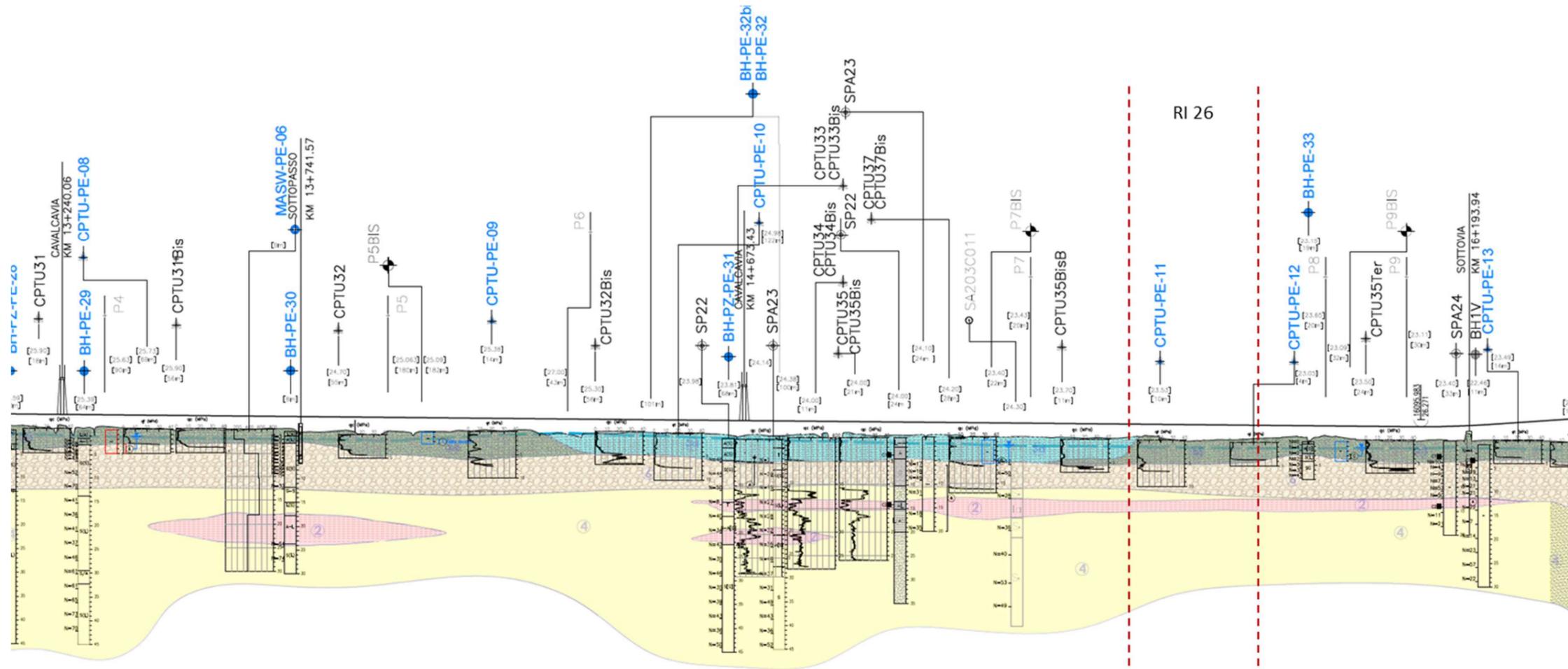
Codifica

EI2RBRI2600001B

Foglio

51 di 82

## ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



- LEGENDA**
- Campagna indagini integrative PE**
- BH-PE-A Sondaggio a carotaggio continuo
  - BH-PZ-PE-A Sondaggio a carotaggio continuo con l'installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande
  - MASW-PE-A Indagini MASW
  - CPTU-PE-A Prova penetrometrica statica con piezometro
  - SP Sondaggio geognostico
  - P1+P15, P20 Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - P1+15Bis Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)
- Campagna indagini 2018 per CDS**
- SP Sondaggio geognostico
- Campagna indagini 2015**
- P1+P15, P20 Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - P1+15Bis Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)
- Campagna indagini 2014**
- SP Sondaggio a carotaggio continuo
  - SPC Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - SDC Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - CPTU Prova penetrometrica statica con piezometro (possibilità di avanzamento con trivellazione)
  - CPTU Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"
  - CH Foro a distribuzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
  - PE Pozzetto esplorativo a 1,5 m da p.c. con prove di carico su piastra
  - Profondità delle indagini
- Indagini artigianali**
- PE-A Pozzetto esplorativo
  - BH-CH-PE-A Sondaggio con esecuzione di prova down hole
  - CH-PE-A Sondaggio con esecuzione di prova cross hole
- Nota per PE:** in blu le indagini segnalate e con coordinate cart. in rosso indagini ancora non disponibili o con coordinate non note

- Campagna indagini pregresse**
- 1998 Sondaggio geognostico (campagna 1998)
  - 2002 Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
  - 2002 CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
  - 2000 Pozzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (VI) per gentile concessione Centro Idrico Navoledo s.r.l.)
- Asse di progetto**
- Asse di progetto
  - confine di Provincia
  - Confine Comunale
- Classi dei terreni**
- 1 Riporto
  - 2 Limi argillosi e limi da compatte a molto compatte, generalmente sovraconsolidati
  - 3a Area con prevalenza di sabbie limose/ con limo e limi sabbiosi/ con sabbia, a comportamento drenato, da sciolti a mediamente addensati
  - 3b Area con prevalenza di limi argillosi e argille limose, da tenere a mediamente compatte, generalmente NC o debolmente OC
  - 3c Area di altamorza, sia in verticale che planimetrica, di materiali 3a e 3b
  - 4 Sabbie generalmente da debolmente limose a limose, da mediamente addensati a molto addensati
  - 6 Ghiaie, ghiaie con sabbie, con presenza locale di ciottoli, anche di grandi dimensioni (fino a 80/100mm)

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	11	EI2RBRI2600001B	53 di 82

## ALLEGATO 2 - SONDAGGI



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2600001B</p>	<p>Foglio 55 di 82</p>

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



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2600001B

Foglio

56 di 82

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: RI26\_stat.slim  
 Last saved with Slide 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



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2600001B

Foglio

57 di 82

SLIDE 7.030



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

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

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

#### Random Numbers

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

#### Surface Options

Surface Type: Circular  
Search Method: Auto Refine Search  
Divisions along slope: 10  
Circles per division: 10  
Number of iterations: 10  
Divisions to use in next iteration: 50%  
Composite Surfaces: Disabled  
Minimum Elevation: Not Defined  
Minimum Depth [m]: 1.8  
Minimum Area: Not Defined  
Minimum Weight: Not Defined

#### Seismic

Advanced seismic analysis: No  
Staged pseudostatic analysis: No

#### Loading



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2600001B

Foglio  
58 di 82

SLIDE 7.039



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

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	Unità3b	Unità6	Unità4	COLONNE	Unità 2	scotico	3a
Color								
Strength Type	Mohr-Coulomb	Undrained	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	20	20
Cohesion [kPa]	0		0	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38		39	38	36	28	36	34
Cohesion Type		40						
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	0	1	1	1	1	1	1

**List Of Coordinates**

**Water Table**

X	Y
-1	22.9
68	22.9

**Distributed Load**

X	Y
36.4432	25.808
26.0989	25.808

**Distributed Load**



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2600001B

Foglio

59 di 82

SLIDE 7.039



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

X	Y
30.2474	25.808
27.6344	25.808

**Distributed Load**

X	Y
34.7678	25.808
32.1863	25.808

**External Boundary**

X	Y
67.5	3.6e-015
67.5	8
67.5	11
67.5	17
67.5	19
67.5	21
67.5	23
44.5	23
42.5	23
38.2092	25.808
24.21	25.808
20	23
18	23
0	23
0	21
0	19
0	17
0	11
0	8
0	0

**Material Boundary**

X	Y
20	23
42.5	23

**Material Boundary**

X	Y
18	22.5
44.482	22.5

**Material Boundary**

X	Y
0	19
18	19
44.482	19
67.5	19



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2600001B

Foglio

60 di 82

SLIDE 7.030



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

**Material Boundary**

X	Y
0	11
67.5	11

**Material Boundary**

X	Y
0	8
67.5	8

**Material Boundary**

X	Y
44.482	19
44.482	21
44.482	22.5
44.5	23

**Material Boundary**

X	Y
18	19
18	21
18	22.5
18	23

**Material Boundary**

X	Y
0	21
18	21

**Material Boundary**

X	Y
44.482	21
67.5	21

**Material Boundary**

X	Y
0	17
18	17
44.5	17
67.5	17

**Material Boundary**

X	Y
18	17
18	19

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2600001B

Foglio

61 di 82

SLIDE 7.039



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

**Material Boundary**

X	Y
44,482	19
44,5	17

**Material Boundary**

X	Y
18	21
44,482	21

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 62 di 82
--	------------------	-------------	-----------------------------	--------------------

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



## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: RI26\_sisma.slim  
 Slide Modeler Version: 7.038  
 Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
 Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

#### General Settings

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

#### Design Standard

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

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

#### Analysis Options

Slices Type: Vertical

##### Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

#### Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2600001B

Foglio

64 di 82

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

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

3 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

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

#### Distributed Load 2

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

#### Distributed Load 3

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

### Material Properties





Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2600001B

Foglio

65 di 82

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Property	Rilevato	Unità3b	Unità6	Unità4	COLONNE	Unità 2	scotico	3a
Color								
Strength Type	Mohr-Coulomb	Undrained	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	20	18	19	19	18	19	20	18
Cohesion [kPa]	0		0	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38		39	38	36	28	36	34
Cohesion Type		40						
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	0	1	1	1	1	1	1

### Global Minimums

#### Method: bishop simplified

FS	1.167030
Center:	42.146, 27.775
Radius:	5.475
Left Slip Surface Endpoint:	37.037, 25.808
Right Slip Surface Endpoint:	44.825, 23.000
Resisting Moment:	485.089 kN-m
Driving Moment:	415.661 kN-m
Total Slice Area:	9.24173 m2
Surface Horizontal Width:	7.78863 m
Surface Average Height:	1.18657 m

### Valid / Invalid Surfaces

#### Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1001  
Number of Invalid Surfaces: 0

### Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.16703





Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI2600001B

66 di 82

SLIDEINTERPRET 7.038

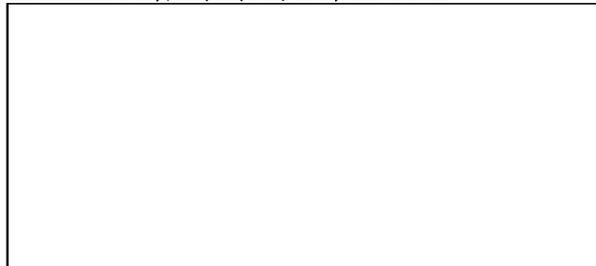


SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 7

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	0.162027	0.612388	-66.7953	Rilevato	0	32.0066	0.862454	1.00651	1.61033	0	1.61033	3.62214	3.62214
2	0.162027	1.73535	-62.7887	Rilevato	0	32.0066	2.69252	3.14225	5.02737	0	5.02737	10.2639	10.2639
3	0.162027	2.68764	-59.2747	Rilevato	0	32.0066	4.47814	5.22612	8.3614	0	8.3614	15.8959	15.8959
4	0.162027	3.51995	-56.0951	Rilevato	0	32.0066	6.20503	7.24146	11.5858	0	11.5858	20.8182	20.8182
5	0.162027	4.26099	-53.1608	Rilevato	0	32.0066	7.87025	9.18482	14.695	0	14.695	25.2004	25.2004
6	0.162027	4.92895	-50.416	Rilevato	0	32.0066	9.47474	11.0573	17.6909	0	17.6909	29.1504	29.1504
7	0.162027	5.53623	-47.8226	Rilevato	0	32.0066	11.0208	12.8616	20.5776	0	20.5776	32.7415	32.7415
8	0.162027	5.99189	-45.3533	Rilevato	0	32.0066	12.3059	14.3614	22.9772	0	22.9772	35.4358	35.4358
9	0.162027	6.16848	-42.9876	Rilevato	0	32.0066	13.0318	15.2085	24.3326	0	24.3326	36.4797	36.4797
10	0.162027	6.29547	-40.71	Rilevato	0	32.0066	13.6494	15.9293	25.4858	0	25.4858	37.2303	37.2303
11	0.162027	6.38664	-38.508	Rilevato	0	32.0066	14.1838	16.5529	26.4835	0	26.4835	37.769	37.769
12	0.162027	6.44527	-36.3715	Rilevato	0	32.0066	14.6391	17.0843	27.3337	0	27.3337	38.1153	38.1153
13	0.162027	6.47405	-34.2923	Rilevato	0	32.0066	15.019	17.5276	28.0429	0	28.0429	38.2851	38.2851
14	0.162027	6.47521	-32.2634	Rilevato	0	32.0066	15.3262	17.8861	28.6165	0	28.6165	38.2916	38.2916
15	0.162027	6.45061	-30.2789	Rilevato	0	32.0066	15.5633	18.1628	29.0591	0	29.0591	38.1458	38.1458
16	0.186582	7.36563	-28.1894	scotico	0	30.1666	14.869	17.3526	29.8547	0	29.8547	37.8238	37.8238
17	0.146462	5.71475	-26.2273	scotico	0	30.1666	14.8093	17.2829	30.0888	0.35392	29.7349	37.3847	37.0308
18	0.146462	5.63757	-24.5305	scotico	0	30.1666	14.5456	16.9752	30.2412	1.03569	29.2055	36.8794	35.8437
19	0.146462	5.54513	-22.8564	scotico	0	30.1666	14.2456	16.6251	30.2695	1.66637	28.6032	36.2744	34.608
20	0.146462	5.438	-21.2026	scotico	0	30.1666	13.9101	16.2335	30.1771	2.24787	27.9293	35.5732	33.3254
21	0.146462	5.31671	-19.5672	scotico	0	30.1666	13.5394	15.8009	29.967	2.7819	27.1851	34.7795	31.9976
22	0.146462	5.18168	-17.9483	scotico	0	30.1666	13.1342	15.328	29.6415	3.26995	26.3715	33.8959	30.626
23	0.146462	5.03331	-16.344	scotico	0	30.1666	12.6947	14.8151	29.2023	3.71333	25.489	32.9251	29.2118
24	0.154452	5.12644	-14.7097	COLONNE	0	30.1666	12.1903	14.2264	28.599	4.12289	24.4761	31.7993	27.6764
25	0.154452	4.92032	-13.0445	COLONNE	0	30.1666	11.6199	13.5608	27.8283	4.4973	23.331	30.5205	26.0232
26	0.154452	4.7011	-11.3905	COLONNE	0	30.1666	11.0147	12.8545	26.9414	4.82544	22.1159	29.1604	24.335
27	0.154452	4.469	-9.74601	COLONNE	0	30.1666	10.3745	12.1073	25.9386	5.10819	20.8304	27.7205	22.6123
28	0.154452	4.22425	-8.10961	COLONNE	0	30.1666	9.69889	11.3189	24.8201	5.34627	19.4739	26.2022	20.8559
29	0.154452	3.967	-6.47985	COLONNE	0	30.1666	8.98734	10.4885	23.5855	5.54026	18.0453	24.6063	19.066
30	0.154452	3.6974	-4.85534	COLONNE	0	30.1666	8.23932	9.61553	22.234	5.69066	16.5433	22.9339	17.2432
31	0.154452	3.41554	-3.23474	COLONNE	0	30.1666	7.45392	8.69895	20.7641	5.79783	14.9663	21.1854	15.3876
32	0.154452	3.12151	-1.61672	COLONNE	0	30.1666	6.63017	7.73761	19.1744	5.86203	13.3124	19.3615	13.4995
33	0.154452	2.81535	0	COLONNE	0	30.1666	5.76687	6.73011	17.4624	5.88341	11.579	17.4624	11.579
34	0.154452	2.49706	1.61672	COLONNE	0	30.1666	4.86259	5.67479	15.6254	5.86203	9.76335	15.4881	9.6261
35	0.154452	2.17341	3.23474	COLONNE	0	30.1666	3.93721	4.59484	13.7031	5.79783	7.90529	13.4806	7.68277
36	0.154452	2.04519	4.85534	COLONNE	0	30.1666	3.6375	4.24507	12.9942	5.69066	7.30356	12.6852	6.99457
37	0.154452	2.00256	6.47985	COLONNE	0	30.1666	3.63229	4.23899	12.8334	5.54026	7.2931	12.4208	6.88054
38	0.154452	1.94759	8.10961	COLONNE	0	30.1666	3.60974	4.21267	12.5941	5.34627	7.24782	12.0797	6.73347
39	0.154452	1.88012	9.74601	COLONNE	0	30.1666	3.56898	4.16511	12.2742	5.10819	7.16598	11.6612	6.55298
40	0.154452	1.79999	11.3905	COLONNE	0	30.1666	3.50902	4.09513	11.871	4.82544	7.04558	11.1641	6.33865
41	0.154452	1.70699	13.0445	COLONNE	0	30.1666	3.4287	4.00139	11.3816	4.4973	6.88427	10.5872	6.08989
42	0.154452	1.60088	14.7097	COLONNE	0	30.1666	3.32668	3.88234	10.8023	4.12289	6.67946	9.92901	5.80612
43	0.146462	1.40171	16.344	scotico	0	30.1666	3.18127	3.71264	10.1008	3.71333	6.38751	9.16791	5.45458
44	0.146462	1.26932	17.9483	scotico	0	30.1666	2.98824	3.48736	9.2699	3.26995	5.99995	8.30194	5.03199
45	0.146462	1.12359	19.5672	scotico	0	30.1666	2.76373	3.22535	8.33106	2.7819	5.54916	7.34872	4.56682
46	0.146462	0.964132	21.2026	scotico	0	30.1666	2.50495	2.92335	7.27744	2.24787	5.02957	6.30571	4.05784
47	0.146462	0.790497	22.8564	scotico	0	30.1666	2.20862	2.57753	6.10095	1.66637	4.43458	5.16997	3.5036
48	0.146462	0.60218	24.5305	scotico	0	30.1666	1.87083	2.18332	4.79205	1.03569	3.75636	3.93825	2.90256
49	0.146462	0.398604	26.2273	scotico	0	30.1666	1.48683	1.73517	3.33925	0.35392	2.98533	2.60676	2.25284
50	0.186582	0.186582	28.1894	scotico	0	30.1666	0.650706	0.759393	1.30652	0	1.30652	0.957769	0.957769

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.16703





Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI2600001B

67 di 82

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	37.0365	25.808	0	0	0
2	37.1985	25.43	0.519812	0	0
3	37.3606	25.1149	1.81209	0	0
4	37.5226	24.8423	3.58948	0	0
5	37.6846	24.6012	5.67	0	0
6	37.8467	24.3849	7.92753	0	0
7	38.0087	24.1889	10.2694	0	0
8	38.1707	24.0101	12.6243	0	0
9	38.3327	23.8461	14.8982	0	0
10	38.4948	23.695	16.975	0	0
11	38.6568	23.5556	18.8405	0	0
12	38.8188	23.4267	20.4882	0	0
13	38.9808	23.3074	21.9146	0	0
14	39.1429	23.1969	23.1186	0	0
15	39.3049	23.0946	24.1015	0	0
16	39.4669	23	24.8659	0	0
17	39.6535	22.9	25.6903	0	0
18	39.8	22.8278	26.1681	0	0
19	39.9464	22.761	26.5284	0	0
20	40.0929	22.6993	26.7723	0	0
21	40.2394	22.6425	26.9023	0	0
22	40.3858	22.5904	26.9219	0	0
23	40.5323	22.543	26.8359	0	0
24	40.6787	22.5	26.6498	0	0
25	40.8332	22.4595	26.3534	0	0
26	40.9876	22.4237	25.9641	0	0
27	41.1421	22.3926	25.4925	0	0
28	41.2966	22.366	24.9502	0	0
29	41.451	22.344	24.3501	0	0
30	41.6055	22.3265	23.7059	0	0
31	41.7599	22.3134	23.0328	0	0
32	41.9144	22.3046	22.347	0	0
33	42.0688	22.3003	21.6663	0	0
34	42.2233	22.3003	21.0099	0	0
35	42.3777	22.3046	20.3985	0	0
36	42.5322	22.3134	19.8515	0	0
37	42.6866	22.3265	19.2894	0	0
38	42.8411	22.344	18.6698	0	0
39	42.9955	22.366	17.9971	0	0
40	43.15	22.3926	17.2767	0	0
41	43.3044	22.4237	16.5151	0	0
42	43.4589	22.4595	15.7203	0	0
43	43.6133	22.5	14.9017	0	0
44	43.7598	22.543	14.1185	0	0
45	43.9063	22.5904	13.3467	0	0
46	44.0527	22.6425	12.6018	0	0
47	44.1992	22.6993	11.9017	0	0
48	44.3456	22.761	11.2674	0	0
49	44.4921	22.8278	10.7232	0	0
50	44.6386	22.9	10.2978	0	0
51	44.8251	23	0	0	0

### List Of Coordinates

#### Water Table

X	Y
-1	22.9
69	22.9

#### Distributed Load

X	Y
36.4432	25.808
26.0989	25.808



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2600001B

Foglio

68 di 82

SLIDEINTERPRET 7.038



**Distributed Load**

X	Y
302474	25.808
276344	25.808

**Distributed Load**

X	Y
34.7678	25.808
32.1863	25.808

**External Boundary**

X	Y
67.5	3.6e-015
67.5	8
67.5	11
67.5	17
67.5	19
67.5	21
67.5	23
46.5	23
42.5	23
38.2092	25.808
24.21	25.808
20	23
16	23
0	23
0	21
0	19
0	17
0	11
0	8
0	0

**Material Boundary**

X	Y
20	23
42.5	23

**Material Boundary**

X	Y
16	22.5
46.5	22.5

**Material Boundary**

X	Y
0	19
16	19
46.5	19
67.5	19

**Material Boundary**

X	Y
0	11
67.5	11

**Material Boundary**

X	Y
0	8
67.5	8



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2600001B

Foglio

69 di 82

SLIDEINTERPRET 7.038



**Material Boundary**

X	Y
46.5	19
46.5	21
46.5	22.5
46.5	23

**Material Boundary**

X	Y
16	19
16	21
16	22.5
16	23

**Material Boundary**

X	Y
0	21
16	21

**Material Boundary**

X	Y
46.5	21
67.5	21

**Material Boundary**

X	Y
0	17
16	17
46.5	17
67.5	17

**Material Boundary**

X	Y
16	17
16	19

**Material Boundary**

X	Y
46.5	17
46.5	19

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 70 di 82
--	------------------	-------------	-----------------------------	--------------------

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



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

E12RBRI2600001B

Foglio

71 di 82

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: RI26\_post.slim  
Slide Modeler Version: 7.038  
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

#### General Settings

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

#### Design Standard

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

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

#### Analysis Options

Slices Type: Vertical

##### Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

#### Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2600001B

Foglio

72 di 82

SLIDEINTERPRET 7.038



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

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

### Random Numbers

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

### Surface Options

Surface Type: Circular  
Search Method: Auto Refine Search  
Divisions along slope: 10  
Circles per division: 10  
Number of iterations: 10  
Divisions to use in next iteration: 50%  
Composite Surfaces: Disabled  
Minimum Elevation: Not Defined  
Minimum Depth [m]: 1.8  
Minimum Area: Not Defined  
Minimum Weight: Not Defined

### Seismic

Advanced seismic analysis: No  
Staged pseudostatic analysis: No

### Loading

3 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

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

#### Distributed Load 2

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

#### Distributed Load 3

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

### Material Properties





Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2600001B

Foglio  
73 di 82



Property	Rilevato	Unità3b	Unità6	Unità4	COLONNE	Unità 2	scotico	3a_liq
Color								
Strength Type	Mohr-Coulomb	Undrained	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	20	18	19	19	18	19	20	20
Cohesion [kPa]	0		0	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38		39	38	36	28	36	5.7
Cohesion Type		40						
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	0	1	1	1	1	1	1

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

<b>FS</b>	<b>1.377440</b>
Center:	41.943, 27.552
Radius:	5.026
Left Slip Surface Endpoint:	37.230, 25.808
Right Slip Surface Endpoint:	44.073, 23.000
Resisting Moment:	410.901 kN-m
Driving Moment:	298.308 kN-m
Total Slice Area:	7.46543 m2
Surface Horizontal Width:	6.84366 m
Surface Average Height:	1.09085 m

**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

Number of Valid Surfaces: 1043  
Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.37744





Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBR12600001B

74 di 82

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	0.135973	0.449759	-67.6536	Rilevato	0	32.0066	0.714631	0.984362	1.57491	0	1.57491	3.31335	3.31335
2	0.135973	1.27618	-63.8555	Rilevato	0	32.0066	2.21647	3.05305	4.88466	0	4.88466	9.40015	9.40015
3	0.135973	1.9799	-60.5212	Rilevato	0	32.0066	3.67045	5.05582	8.08893	0	8.08893	14.582	14.582
4	0.135973	2.59721	-57.5032	Rilevato	0	32.0066	5.06845	6.98149	11.1699	0	11.1699	19.1267	19.1267
5	0.135973	3.14876	-54.7185	Rilevato	0	32.0066	6.41025	8.82973	14.1269	0	14.1269	23.1867	23.1867
6	0.135973	3.64768	-52.1144	Rilevato	0	32.0066	7.69805	10.6036	16.965	0	16.965	26.8587	26.8587
7	0.135973	4.10296	-49.6549	Rilevato	0	32.0066	8.93469	12.307	19.6903	0	19.6903	30.209	30.209
8	0.135973	4.44437	-47.3144	Rilevato	0	32.0066	9.95143	13.7075	21.931	0	21.931	32.7207	32.7207
9	0.135973	4.59322	-45.0736	Rilevato	0	32.0066	10.5461	14.5266	23.2415	0	23.2415	33.8147	33.8147
10	0.135973	4.70852	-42.9177	Rilevato	0	32.0066	11.0612	15.2361	24.3767	0	24.3767	34.6617	34.6617
11	0.135973	4.79823	-40.8348	Rilevato	0	32.0066	11.5124	15.8576	25.371	0	25.371	35.3204	35.3204
12	0.135973	4.86477	-38.8157	Rilevato	0	32.0066	11.9094	16.3962	26.2327	0	26.2327	35.8086	35.8086
13	0.135973	4.9101	-36.8523	Rilevato	0	32.0066	12.2373	16.8561	26.9685	0	26.9685	36.1406	36.1406
14	0.135973	4.93585	-34.9382	Rilevato	0	32.0066	12.5168	17.2411	27.5844	0	27.5844	36.3287	36.3287
15	0.135973	4.94341	-33.0678	Rilevato	0	32.0066	12.744	17.5541	28.0852	0	28.0852	36.3828	36.3828
16	0.135973	4.93393	-31.2365	Rilevato	0	32.0066	12.9209	17.7978	28.4752	0	28.4752	36.3116	36.3116
17	0.135973	4.90843	-29.44	Rilevato	0	32.0066	13.0491	17.9744	28.7577	0	28.7577	36.1225	36.1225
18	0.135973	4.86776	-27.6748	Rilevato	0	32.0066	13.1299	18.0857	28.9358	0	28.9358	35.8219	35.8219
19	0.135973	4.81266	-25.9377	Rilevato	0	32.0066	13.1645	18.1333	29.012	0	29.012	35.4151	35.4151
20	0.14146	3.98779	-24.3616	scotico	0	30.1666	12.3833	17.0573	29.3466	0	29.3466	34.9539	34.9539
21	0.14146	3.93141	-22.9408	scotico	0	30.1666	12.337	16.9935	29.237	0	29.237	34.4587	34.4587
22	0.140874	4.76257	-21.372	scotico	0	30.1666	12.1514	16.7378	29.0675	0.270405	28.7971	33.8227	33.5523
23	0.140874	4.65138	-19.657	scotico	0	30.1666	11.8237	16.2865	28.8082	0.787633	28.0206	33.0317	32.2441
24	0.140874	4.52686	-17.9601	scotico	0	30.1666	11.4653	15.7928	28.4296	1.25844	27.1712	32.1461	30.8877
25	0.140874	4.3894	-16.2794	scotico	0	30.1666	11.0766	15.2573	27.9341	1.68421	26.2499	31.1688	29.4846
26	0.140874	4.23935	-14.613	scotico	0	30.1666	10.6577	14.6804	27.3235	2.06616	25.2573	30.1022	28.036
27	0.140874	4.07702	-12.9592	scotico	0	30.1666	10.209	14.0623	26.5992	2.40532	24.1939	28.9485	26.5432
28	0.140874	3.90266	-11.3163	scotico	0	30.1666	9.73044	13.4031	25.7623	2.70261	23.0597	27.7095	25.0069
29	0.140874	3.71649	-9.68273	scotico	0	30.1666	9.22189	12.7026	24.8133	2.95878	21.8545	26.3867	23.428
30	0.140874	3.5187	-8.05711	scotico	0	30.1666	8.68321	11.9606	23.7524	3.1745	20.5779	24.9816	21.8071
31	0.140874	3.30945	-6.438	scotico	0	30.1666	8.11411	11.1767	22.5796	3.35028	19.2294	23.4952	20.145
32	0.140874	3.08885	-4.82404	scotico	0	30.1666	7.51423	10.3504	21.2942	3.48657	17.8076	21.9284	18.4418
33	0.140874	2.857	-3.21391	scotico	0	30.1666	6.88295	9.48085	19.8953	3.58368	16.3116	20.2818	16.6981
34	0.140874	2.61396	-1.60632	scotico	0	30.1666	6.21963	8.56717	18.3815	3.64186	14.7396	18.5559	14.914
35	0.140874	2.35979	0	scotico	0	30.1666	5.52346	7.60824	16.7511	3.66124	13.0898	16.7511	13.0898
36	0.140874	2.09448	1.60632	scotico	0	30.1666	4.79349	6.60275	15.0018	3.64186	11.3599	14.8674	11.2255
37	0.140874	1.81803	3.21391	scotico	0	30.1666	4.02858	5.54913	13.1309	3.58368	9.54718	12.9046	9.32097
38	0.140874	1.53039	4.82404	scotico	0	30.1666	3.22741	4.44556	11.1351	3.48657	7.64852	10.8627	7.76114
39	0.140874	1.2705	6.438	scotico	0	30.1666	2.51107	3.45885	9.30119	3.35028	5.95091	9.01784	5.66756
40	0.140874	1.19348	8.05711	scotico	0	30.1666	2.37687	3.274	8.80731	3.1745	5.63281	8.47085	5.29635
41	0.140874	1.13152	9.68273	scotico	0	30.1666	2.30631	3.17681	8.42441	2.95878	5.46653	8.0309	5.07212
42	0.140874	1.05795	11.3163	scotico	0	30.1666	2.21495	3.05096	7.95172	2.70261	5.24911	7.50848	4.80587
43	0.140874	0.972568	12.9592	scotico	0	30.1666	2.10163	2.89487	7.38587	2.40532	4.98055	6.90225	4.49693
44	0.140874	0.875158	14.613	scotico	0	30.1666	1.96504	2.70673	6.72302	2.06616	4.65686	6.21069	4.14453
45	0.140874	0.765462	16.2794	scotico	0	30.1666	1.80369	2.48447	5.95869	1.68421	4.27448	5.43196	3.74775
46	0.140874	0.643178	17.9601	scotico	0	30.1666	1.61582	2.2257	5.0877	1.25844	3.82926	4.56393	3.30549
47	0.140874	0.50796	19.657	scotico	0	30.1666	1.39941	1.92761	4.10403	0.787633	3.3164	3.60416	2.81652
48	0.140874	0.359409	21.372	scotico	0	30.1666	1.15208	1.58692	3.00667	0.270405	2.73026	2.54982	2.27942
49	0.14146	0.173145	22.9408	scotico	0	30.1666	0.778691	1.0726	1.84539	0	1.84539	1.51581	1.51581
50	0.14146	0.0589987	24.3616	scotico	0	30.1666	0.269411	0.371098	0.638466	0	0.638466	0.516474	0.516474

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.37744

Interslice Data Table Content
-------------------------------



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI260001B

75 di 82

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	37.2297	25.808	0	0	0
2	37.3657	25.4772	0.42408	0	0
3	37.5016	25.2002	1.47677	0	0
4	37.6376	24.9596	2.92501	0	0
5	37.7736	24.7462	4.6224	0	0
6	37.9096	24.554	6.46841	0	0
7	38.0455	24.3792	8.38978	0	0
8	38.1815	24.2192	10.3308	0	0
9	38.3175	24.0717	12.2153	0	0
10	38.4534	23.9354	13.9543	0	0
11	38.5894	23.809	15.5371	0	0
12	38.7254	23.6915	16.9582	0	0
13	38.8614	23.5821	18.2144	0	0
14	38.9973	23.4802	19.3044	0	0
15	39.1333	23.3852	20.2282	0	0
16	39.2693	23.2967	20.9874	0	0
17	39.4053	23.2142	21.5844	0	0
18	39.5412	23.1374	22.0227	0	0
19	39.6772	23.0661	22.3066	0	0
20	39.8132	23	22.4411	0	0
21	39.9273	22.9483	22.549	0	0
22	40.0415	22.9	22.5579	0	0
23	40.1823	22.8449	22.4541	0	0
24	40.3232	22.7946	22.2434	0	0
25	40.4641	22.7489	21.9317	0	0
26	40.605	22.7077	21.5256	0	0
27	40.7458	22.671	21.0326	0	0
28	40.8867	22.6386	20.4614	0	0
29	41.0276	22.6104	19.8213	0	0
30	41.1685	22.5864	19.1228	0	0
31	41.3093	22.5664	18.3772	0	0
32	41.4502	22.5505	17.5967	0	0
33	41.5911	22.5386	16.7948	0	0
34	41.7319	22.5307	15.9857	0	0
35	41.8728	22.5268	15.1849	0	0
36	42.0137	22.5268	14.4093	0	0
37	42.1546	22.5307	13.677	0	0
38	42.2954	22.5386	13.0074	0	0
39	42.4363	22.5505	12.4218	0	0
40	42.5772	22.5664	11.9214	0	0
41	42.7181	22.5864	11.412	0	0
42	42.8589	22.6104	10.8857	0	0
43	42.9998	22.6386	10.3505	0	0
44	43.1407	22.671	9.81594	0	0
45	43.2816	22.7077	9.29308	0	0
46	43.4224	22.7489	8.79467	0	0
47	43.5633	22.7946	8.33546	0	0
48	43.7042	22.8449	7.93244	0	0
49	43.8451	22.9	7.60524	0	0
50	43.9859	22.9483	7.42749	0	0
51	44.0734	23	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	22.9
69	22.9

Distributed Load

X	Y
36.4432	25.808
26.0989	25.808

Distributed Load



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2600001B

Foglio

76 di 82



X	Y
30.2474	25.808
27.6344	25.808

**Distributed Load**

X	Y
34.7678	25.808
32.1863	25.808

**External Boundary**

X	Y
67.5	3.6e-015
67.5	8
67.5	11
67.5	17
67.5	19
67.5	21
67.5	23
44.5	23
42.5	23
38.2092	25.808
24.21	25.808
20	23
18	23
0	23
0	21
0	19
0	17
0	11
0	8
0	0

**Material Boundary**

X	Y
20	23
42.5	23

**Material Boundary**

X	Y
18	22.5
44.5	22.5

**Material Boundary**

X	Y
0	19
18	19
44.5	19
67.5	19

**Material Boundary**

X	Y
0	11
67.5	11

**Material Boundary**

X	Y
0	8
67.5	8

**Material Boundary**

X	Y
0	0
67.5	0



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
E12RBRI2600001B

Foglio  
77 di 82



X	Y
44.5	19
44.5	21
44.5	22.5
44.5	23

**Material Boundary**

X	Y
18	19
18	21
18	22.5
18	23

**Material Boundary**

X	Y
0	21
18	21

**Material Boundary**

X	Y
44.5	21
67.5	21

**Material Boundary**

X	Y
0	17
18	17
44.5	17
67.5	17

**Material Boundary**

X	Y
18	17
18	19

**Material Boundary**

X	Y
44.5	17
44.5	19

**Material Boundary**

X	Y
18	21
44.5	21

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 78 di 82
--	------------------	-------------	-----------------------------	--------------------

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



## Settle3D Analysis Information

### Rilevato

#### Project Settings

Document Name: Ri26.s3z  
Project Title: Rilevato  
Date Created: 08/06/2021, 14:59:10  
Stress Computation Method: Boussinesq

#### Stage Settings

Stage #	Name
1	Stage 1

#### Results

Time taken to compute: 0 seconds

#### Stage: Stage 1

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.0458811
Consolidation Settlement [m]	0	0
Immediate Settlement [m]	0	0.0458811
Loading Stress [kPa]	0	79.6084
Total Stress [kPa]	0	767.582
Total Strain	7.16249e-009	0.00660163
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	1.24753	767.35
Over-consolidation Ratio	1	1
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [m]	0	0

#### Loads

##### 1. Rectangular Load

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

##### Coordinates



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

E12RBRI2600001B

Foglio

80 di 82

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

## Embankments

### 1. Embankment

Center Line: (0, -50) to (0, 50)

Number of Layers: 1

Near End Angle: 90 degrees

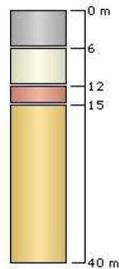
Far End Angle: 90 degrees

Base Width: 20

Layer	Stage	Left Bench Width (m)	Left Angle (deg)	Height (m)	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Right Angle (deg)	Right Bench Width (m)
1	Stage 1	0	34	2.4	20	34	0

## Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	COLONNE	6	0
2	u6	6	6
3	u2	3	12
4	u4	25	15



## Soil Properties

Property	u6	u2	u4	COLONNE
Color				
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	19	19	19	18
Immediate Settlement	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled
Es [kPa]	60000	25000	80000	12000
Esur [kPa]	60000	25000	80000	12000

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2600001B

Foglio

81 di 82



SETTELENO 2.003

Page 3 of 3

### Query Points

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

### Query Lines

Line #	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	-20, 0	20, 0	100	Auto: 37

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 15+548,56 a pk 15+800,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2600001B	Foglio 82 di 82

## ALLEGATO 7 – VERSIONE SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI

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