

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 da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
GENERALE
Relazione Geotecnica**

GENERAL CONTRACTOR				DIRETTORE LAVORI				SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE		Consorzio Iricav Due						
Ing. Giovanni MALAVENDA iscritto all'ordine degli ingegneri di Venezia n. 4289 Data: Luglio 2021		Ing. Paolo Carmona Data: Luglio 2021		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	3	2	0	0	0	0	1	A	-	-	-	D	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma Luca RANDOLFI	Data Luglio 2021



Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	M. Conti 	Luglio 2021	V. Pastore 	Luglio 2021	P. Ascari 	Luglio 2021	P. Ascari
								Data: Luglio 2021

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2RBRI3200001A_01
		Cod. origine:





Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3200001A</p>	<p>Foglio 2 di 71</p>

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1	Documentazione di progetto.....	5
2.2	Normativa e standard di riferimento.....	5
2.3	Bibliografia	6
3	INQUADRAMENTO DELL'OPERA	7
3.1	Geometria del rilevato.....	7
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	9
4.1	Indagini disponibili.....	9
4.2	Inquadramento stratigrafico	9
4.3	Livello di falda	11
4.4	Condizioni geotecniche del sito	11
4.5	Sintesi del modello geotecnico di riferimento	20
4.5.1	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	22
5.2	Suscettibilità 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	34
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO	35
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite.....	35
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU).....	35
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE).....	37
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche.....	37
6.2	Azioni di progetto	37
6.2.1	Azioni permanenti	38
6.2.2	Azioni variabili	38
6.2.3	Azione sismica	38

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3200001A	Foglio 3 di 71

6.3	Verifiche e risultati SLU	39
6.3.1	Premessa.....	39
6.3.1	Verifiche SLU in condizione statiche	39
6.3.2	Verifiche SLU in condizioni sismiche e post sismiche	39
6.4	Verifica e risultati SLE.....	41
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	46
Allegati		47
ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO.....		48
ALLEGATO 2 - SONDAGGI.....		50
ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA		52
ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU POST SISMA.....		60
ALLEGATO 5 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE		68

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3200001A</p>	<p>Foglio 4 di 71</p>



1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI32, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende da pk 17+638,47 a pk 18+203,00.

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).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3200001A</p>	<p>Foglio 5 di 71</p>



2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di progetto

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

2.2 Normativa e standard di riferimento



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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3200001A</p>	<p>Foglio 6 di 71</p>

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

2.3 Bibliografia

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



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3200001A	Foglio 7 di 71

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame si estende da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 per una lunghezza totale di circa 560 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 17+850, si riscontra l'altezza massima del rilevato pari a 2.9 m. La sezione citata, denominata Sezione A (Figura 1) è quella ritenuta più significativa per le verifiche del rilevato in esame.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3200001A	Foglio 9 di 71

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1 Indagini disponibili

L'ubicazione delle indagini disponibili relative all'opera esaminata è illustrata nella Figura 3, estratta dalla Planimetria geotecnica con ubicazione indagini e profilo geotecnico (Doc. Rif. [3]). Per ulteriori dettagli si rimanda alle relazioni di sintesi delle indagini (Doc. Rif. [7] - [13]). Il risultato delle indagini è riportato in ALLEGATO 2.

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

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

Tabella 1 - Indagini disponibili da 17+638,47 a pk 18+203,00

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
17+580	BH4V	2015
17+650	CPTU-PE-17	2020-2021
17+725	CPTU5V	2015
17+875	CPTU6V	2015

4.2 Inquadramento stratigrafico

Dal punto di vista stratigrafico, l'area del rilevato è interessata dalla presenza di una coltre superficiale di circa 2 m terreni sciolti di natura limoso sabbiosa (Unità 3a), soprastanti 3-4 m di livelli limoso argillosi teneri (Unità 3b). Al di sotto di questi depositi si riscontra uno strato di ghiaie ben addensate (Unità 6) fino a una profondità di 20 m. Sotto le ghiaie si incontra il substrato sabbioso (Unità 4) che si estende fino alla quota di fine sondaggi.

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

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

Nella Figura 2 si riporta il profilo geotecnico specifico per il rilevato RI32, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 5 di 11 (Doc. Rif. [3]).

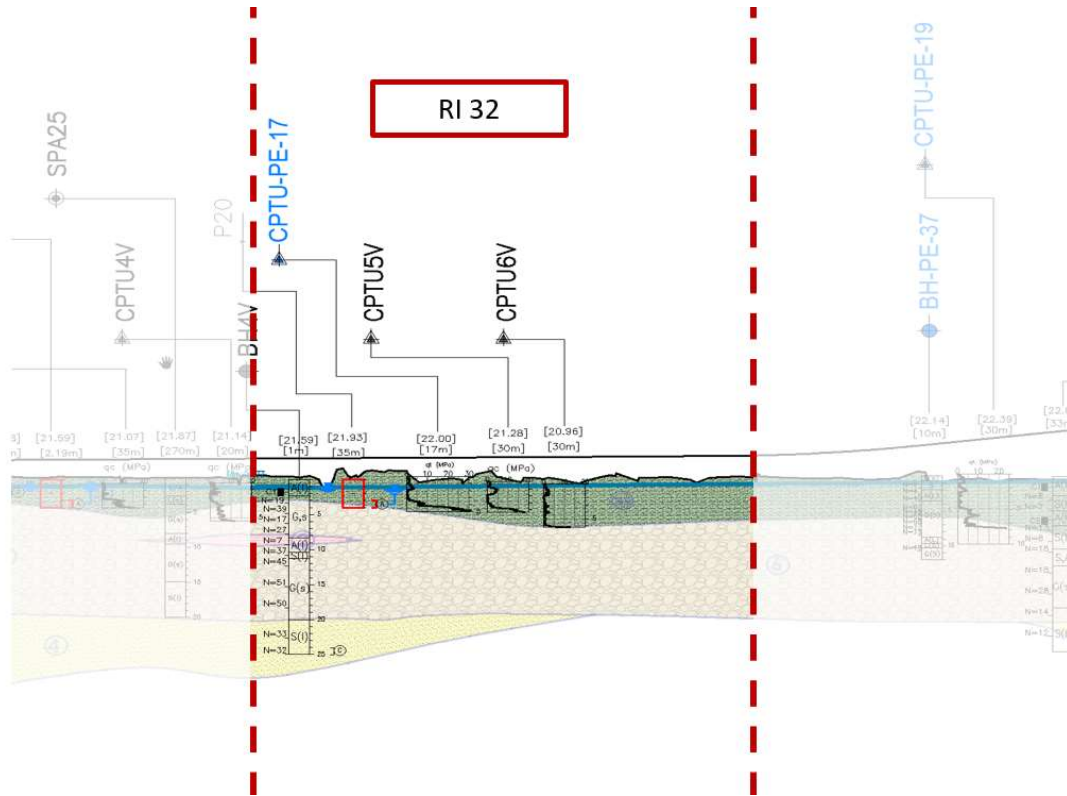


Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato RI32, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

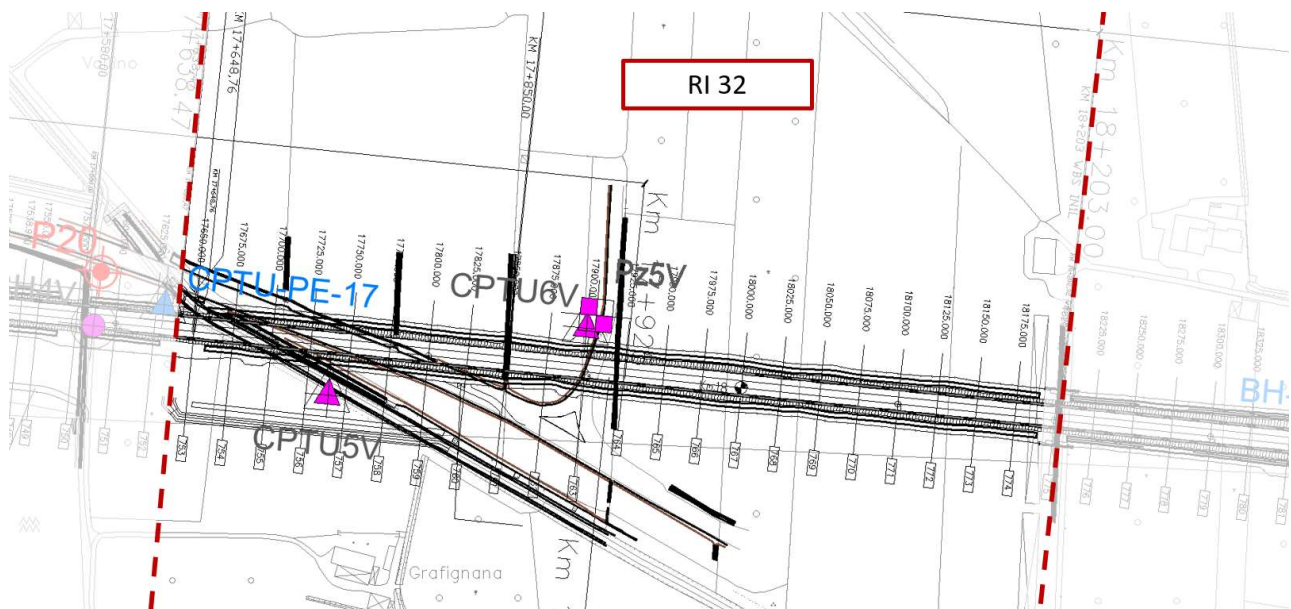




Figura 3 - Planimetria Rilevato RI32, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3200001A</p>	<p>Foglio 11 di 71</p>

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 una copertura superficiale di prevalenti limi sabbiosi (Unità3a) per uno spessore di circa 2 m, sovrastante uno strato di limi argillosi con spessore max di ca 4 m (Unità 3b)

Le descrizioni dei materiali dei sondaggi, e le caratteristiche granulometriche stimabili dalla prova CPT indicano che tali coltri più superficiali (nei primi 2 m) sono costituiti, in predominanza, da limi sabbiosi, generalmente sciolti.



A tale proposito, la Figura 4 riporta i dati granulometrici dei materiali granulari, così come ottenuti dalle determinazioni granulometriche di laboratorio delle indagini effettuate nella zona. Come si può notare, gran parte dei materiali di superficie (primi 2 m) ricade nell'ambito dei terreni potenzialmente liquefacibili, così come definiti dalle NTC 2008.

Le caratteristiche granulometriche stimabili dalla CPTU6V indicano invece la presenza di materiali sciolti (Unità 3a) solo nei primi 2m, al di sotto dei quali si trovano materiali per lo più limosi argillosi (Unità 3b). Tale deposito, presente fino a 6 m p.c., può essere caratterizzato da una resistenza al taglio non drenata $c_u=30-35$ kPa crescente con la profondità (Figura 5). Tali materiali si presentano sovraconsolidati, con una pressione di preconsolidazione $\sigma'_p=150$ kPa e parametri di deformabilità $RR=0.025$ e $CR=0.18$.

Procedendo con la profondità si incontra uno strato di ghiaie e ghiaie sabbiose ben addensate (Unità 6), che si estende fino anche 20 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 45% e quindi il deposito risulta mediamente addensato.

Sotto lo strato di ghiaie 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. La densità relativa delle sabbie risulta generalmente attorno a 60%.

Il profilo di V_s derivante dalle interpretazioni discusse nella Relazione Sismica (Doc. Rif. [4]), basata sui risultati delle prove DH, MASW e infine SPT, conferma la presenza di materiali incoerenti da mediamente a molto addensati. Fino a 15 m pc, per le ghiaie superficiali si stimano valori di V_s pari a 320-350 m/s. A profondità maggiori, nelle sabbie, le velocità sono pari a 370 m/s. Sulla base dei valori di V_s si sono stimati i valori del modulo di taglio alle piccole

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3200001A	Foglio 12 di 71

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);
- Resistenza al taglio non drenata dell'Unità 3b (v. Figura 5);
- Valori N_{SPT} da prove SPT (v. Figura 6);
- Densità relativa stimata da prove SPT (v. Figura 7);
- Angolo di attrito stimato da prove SPT (v. Figura 8);
- 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 V_s (v. Figura 10).

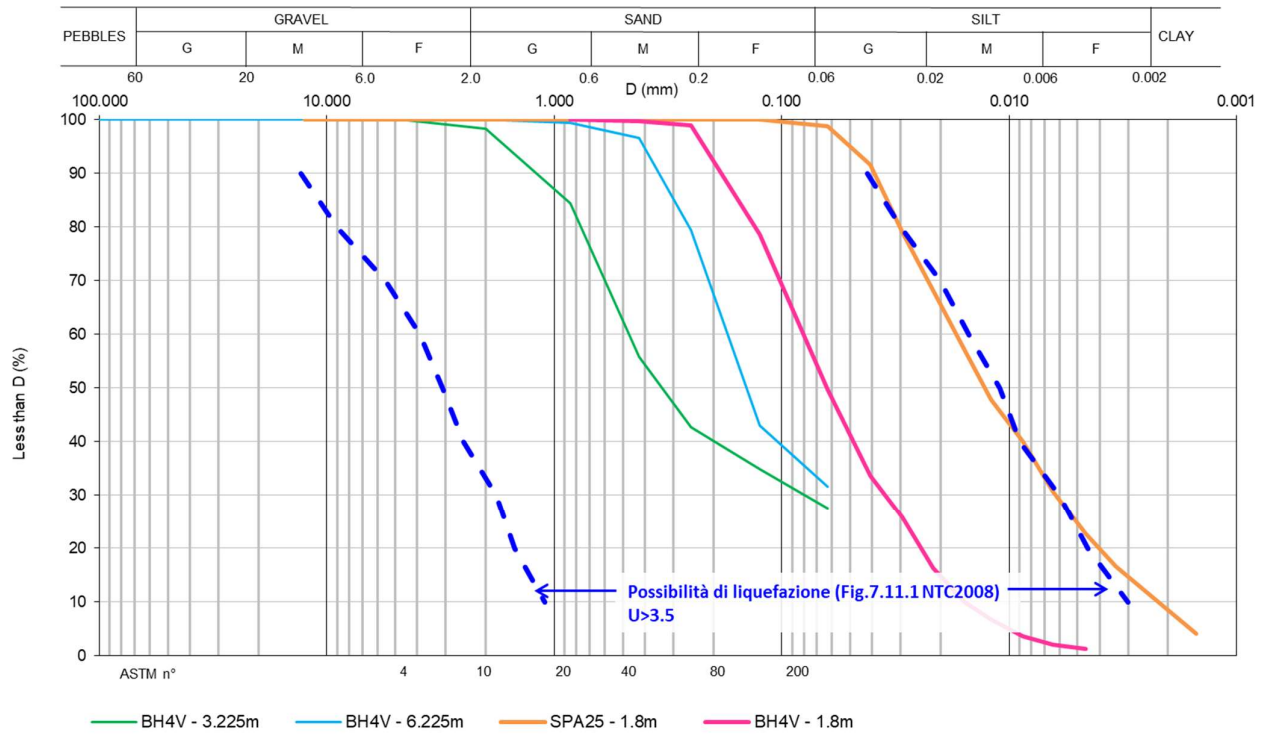


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche dei terreni superficiali, suscettibili alla liquefazione

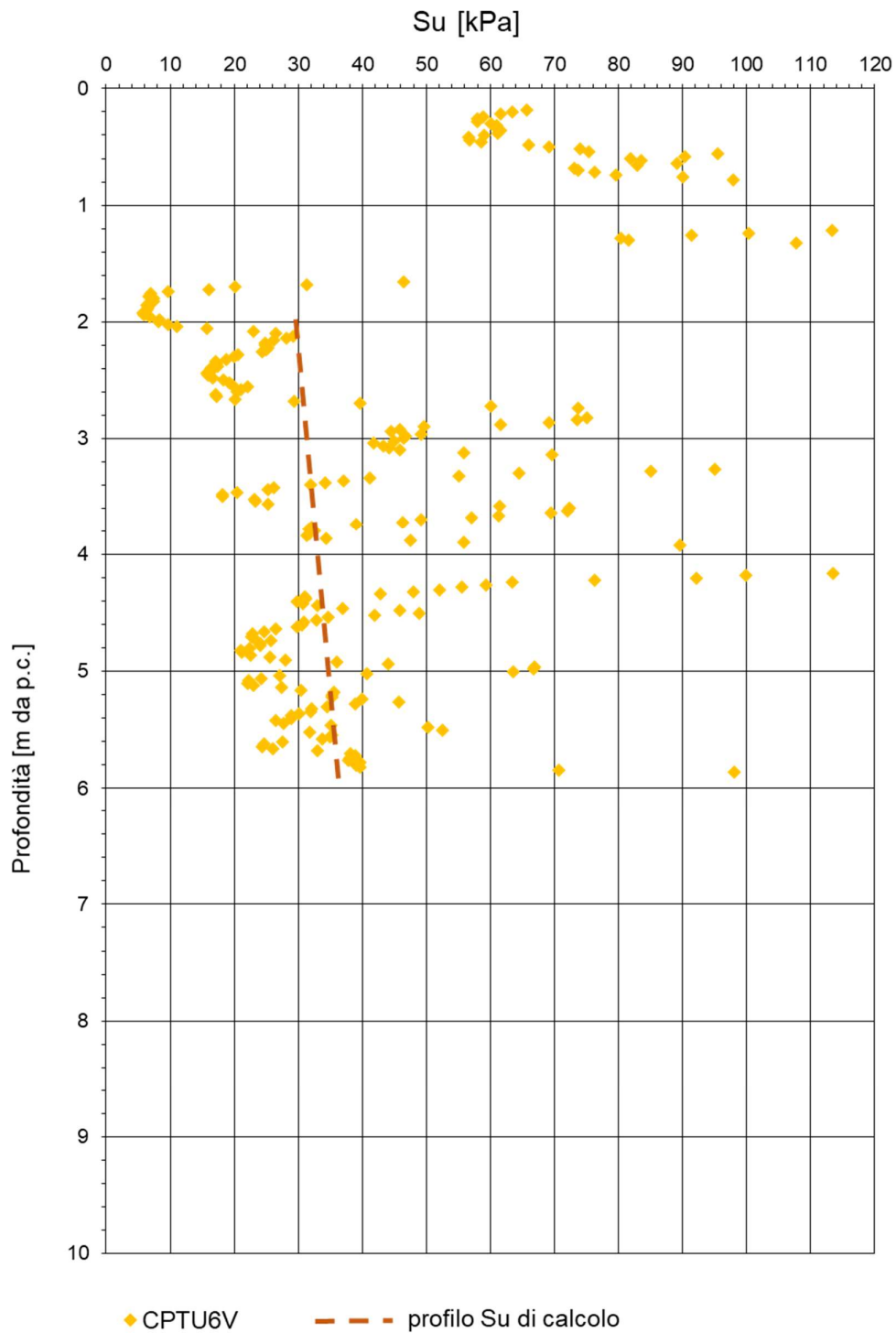


Figura 5 – Resistenza al taglio non drenata da CPTU6V

AV/AC VERONA VICENZA

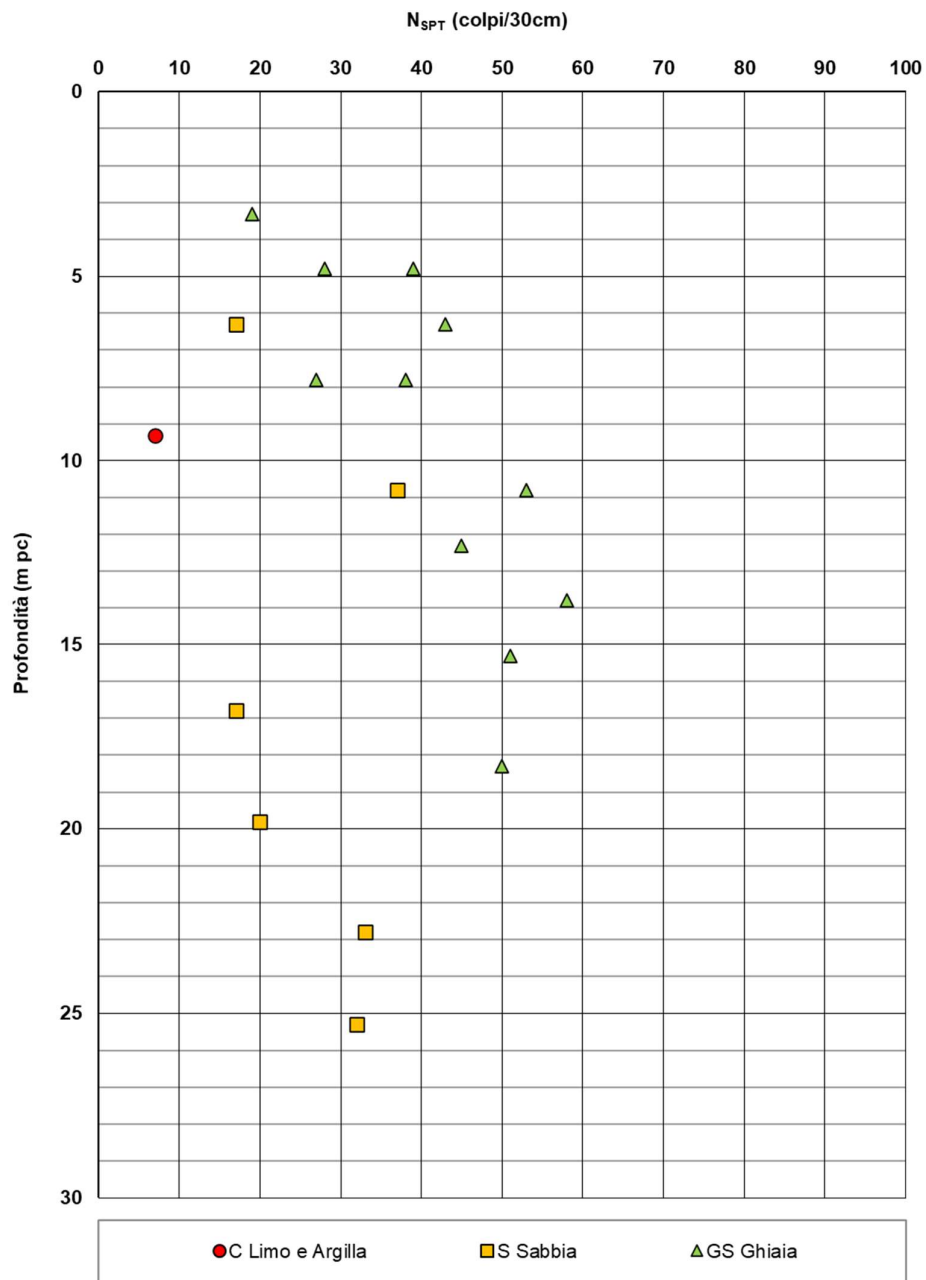


Figura 6 – Esito delle prove SPT da pk 17+638,47 a pk 18+203,00

AV/AC VERONA VICENZA

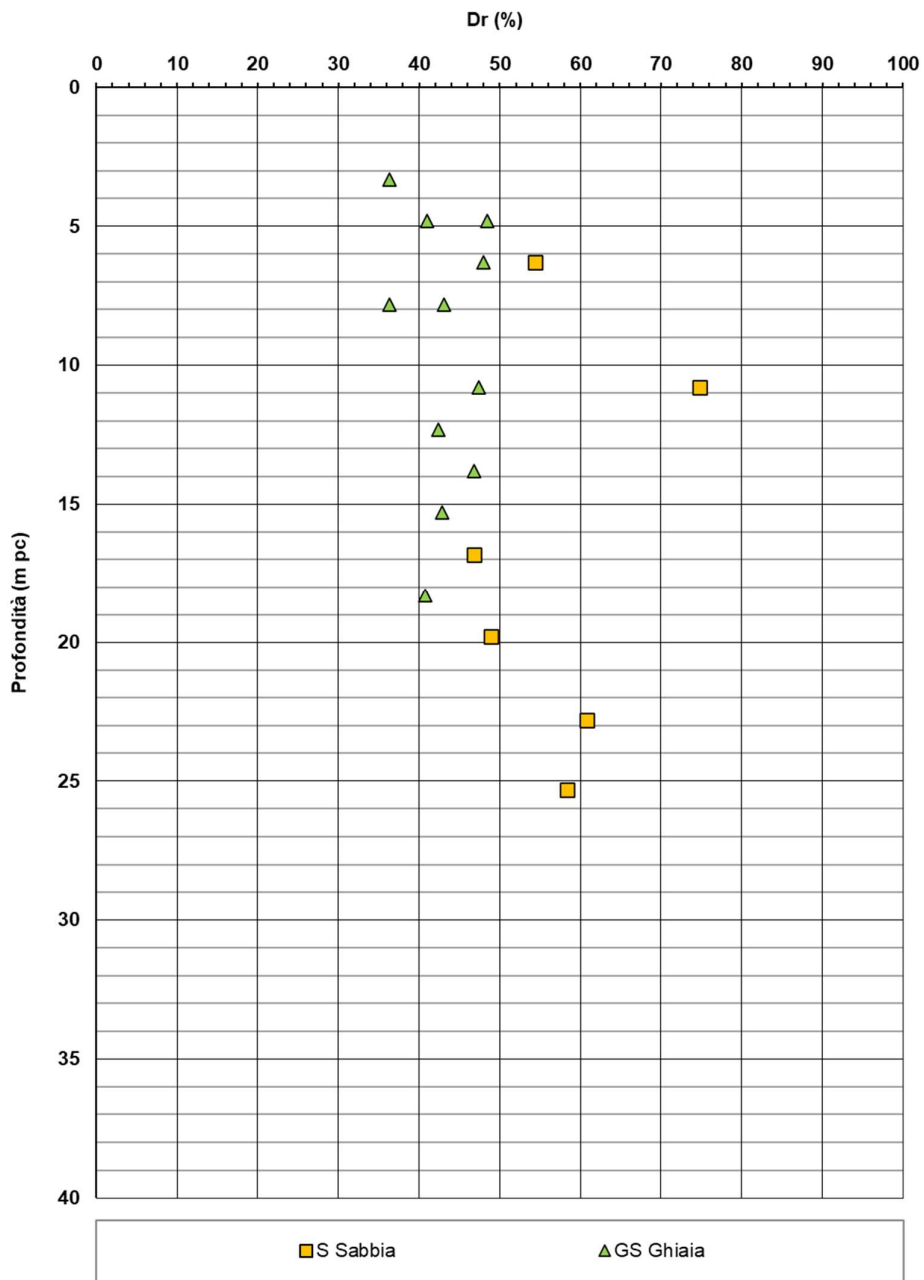


Figura 7 – Densità relativa da prove SPT da pk 17+638,47 a pk 18+203,00

AV/AC VERONA VICENZA

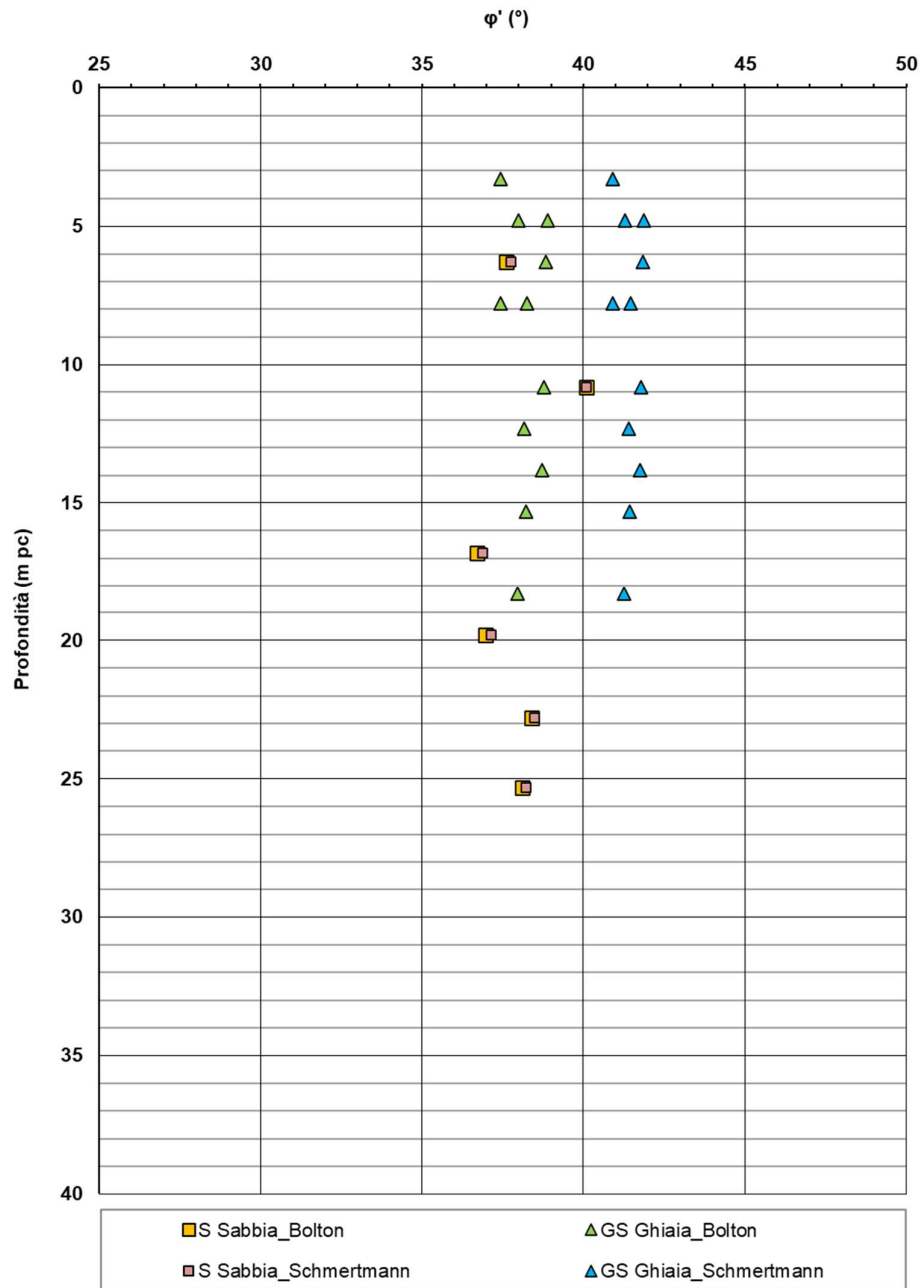


Figura 8 – Angoli di attrito da prove SPT da pk 17+638,47 a pk 18+203,00

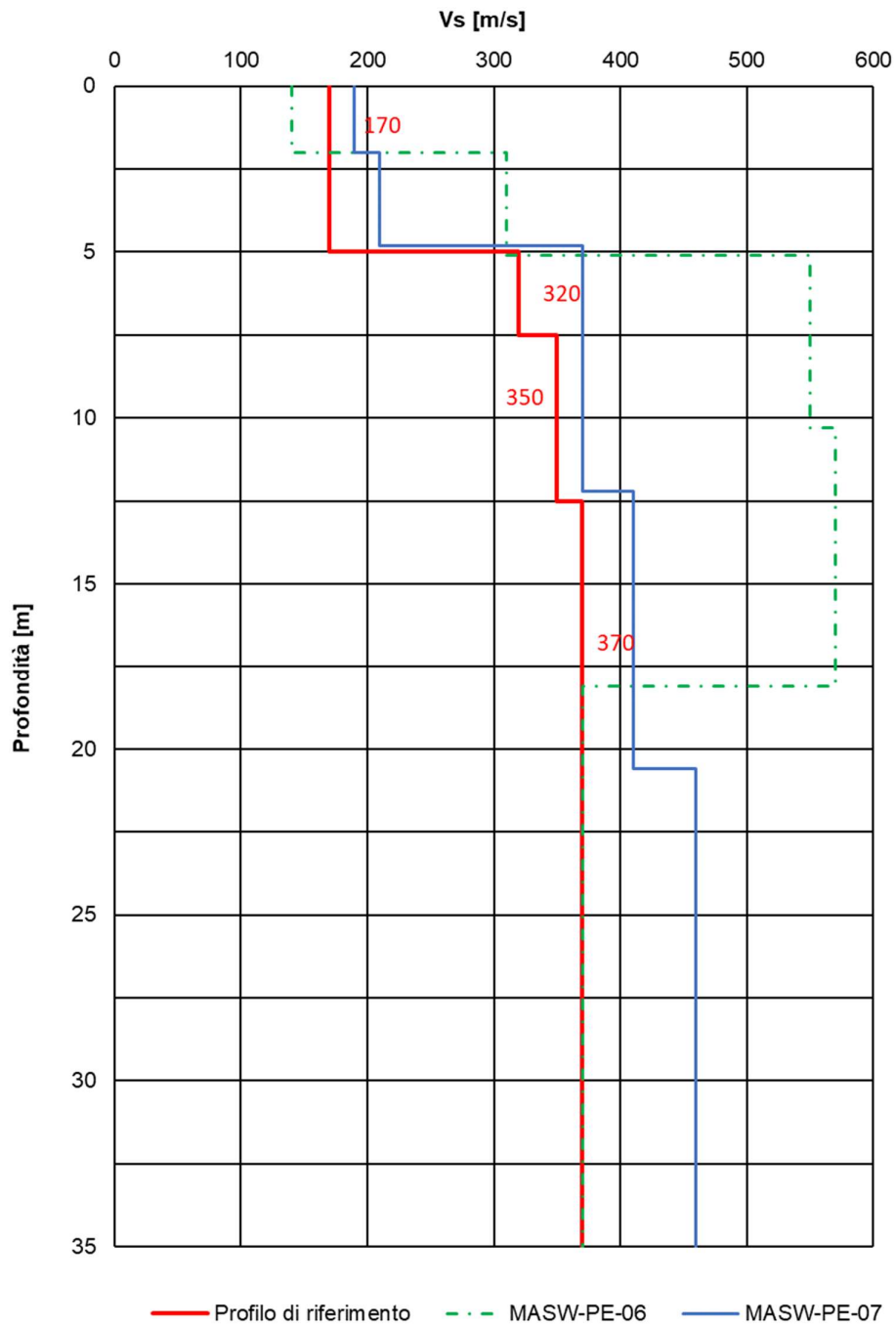


Figura 9 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW da pk 17+638,47 a pk 18+203,00

AV/AC VERONA VICENZA

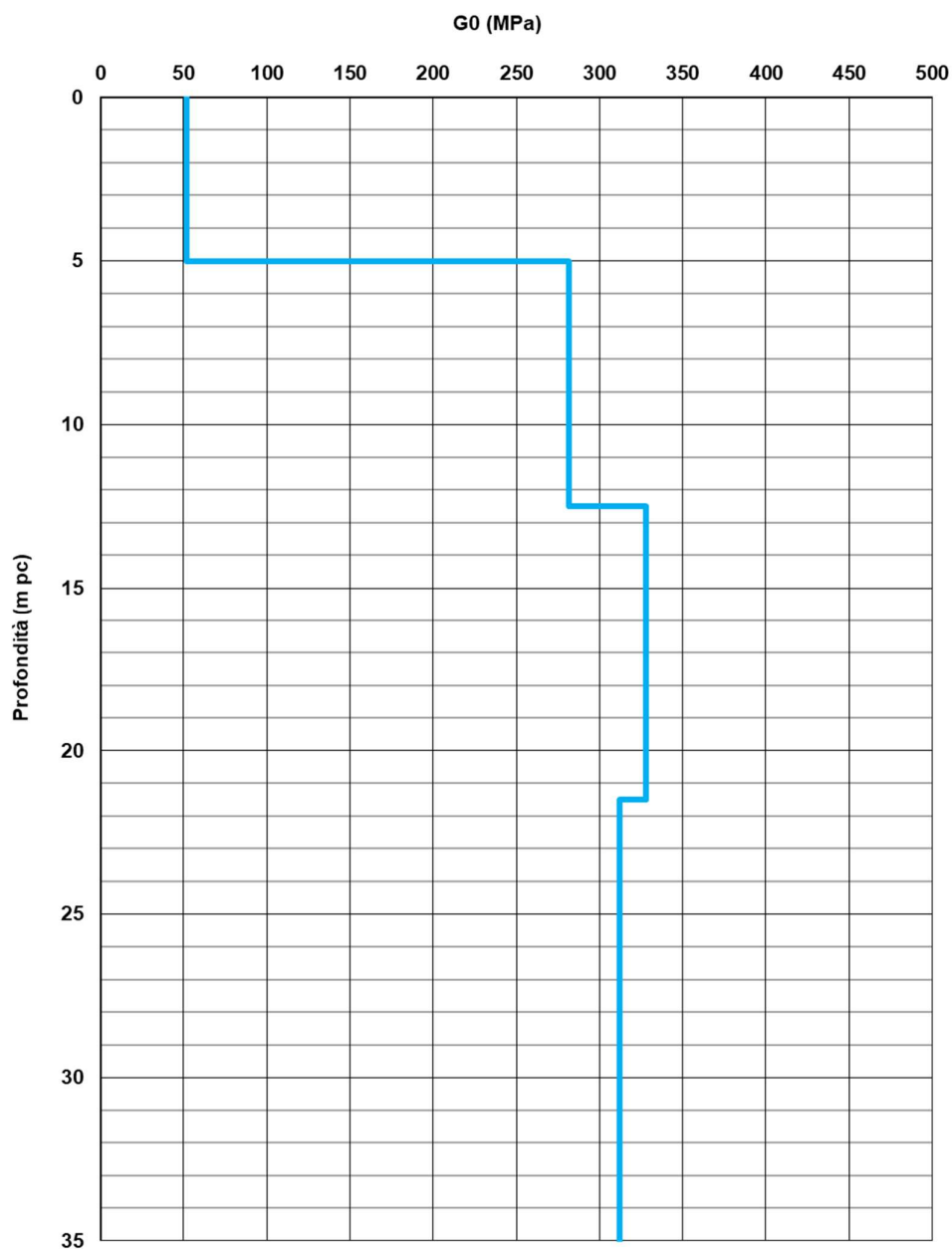




Figura 10 – Modulo di taglio G_0 da pk 17+638,47 a pk 18+203,00

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3200001A	Foglio 20 di 71

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*	γ kN/m ³	φ_k °	c_k' kPa	$c_{u,k}$ kPa	RR	CR	σ'_p kPa	G_0 MPa	E'_{op} MPa
3a	1	2	18	34 (36)**	-	-	-	-	-	-	5(20)**
3b	2	6	18	-	-	30-35***	0.025	0.18	160	-	-
6	6	15	19	39	-	-	-	-	-	200	60
4	15	-	19	38	-	-	-	-	-	300	80

* quota piano campagna = 21.1 m s.l.m.

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

***valori crescenti linearmente con la profondità



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

4.5.1 Materiale da rilevato

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

Tabella 3 - Caratteristiche materiale da rilevato

	γ kN/m ³	φ °	c' kPa
Materiale da rilevato	20	38	0

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3200001A	Foglio 21 di 71

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 ($V < 250$ km/h)</i>	$V_N = 50$ anni
<i>Altre opere nuove a velocità $V < 250$ km/h</i>	$V_N = 75$ anni
<i>Altre opere nuove a velocità $V \geq 250$ 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.



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3200001A</p>	<p>Foglio 22 di 71</p>

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 *Depositati 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 *Depositati 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 $i > 30^\circ$.*

5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3200001A</p>	<p>Foglio 23 di 71</p>

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

5.2 Suscettibilità alla liquefazione

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



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

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

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

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

La valutazione di suscettibilità alla liquefazione è stata quindi condotta in accordo al "metodo semplificato" originariamente proposto da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), confrontando lo sforzo di taglio ciclico normalizzato rispetto alla pressione verticale in sito (CSR) e la resistenza normalizzata del terreno al taglio ciclico (CRR) così definiti:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3200001A	Foglio 24 di 71

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

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

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

τ_c valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

σ_{vo} tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni totali

σ'_{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 $M=7.5$.

Nel presente studio, in accordo sia alle prescrizioni dell'Eurocodice 8, sia a quanto suggerito da Youd et al., 2001 e

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3200001A	Foglio 25 di 71

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 σ'_{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:

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3200001A	Foglio 26 di 71

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

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

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

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

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

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

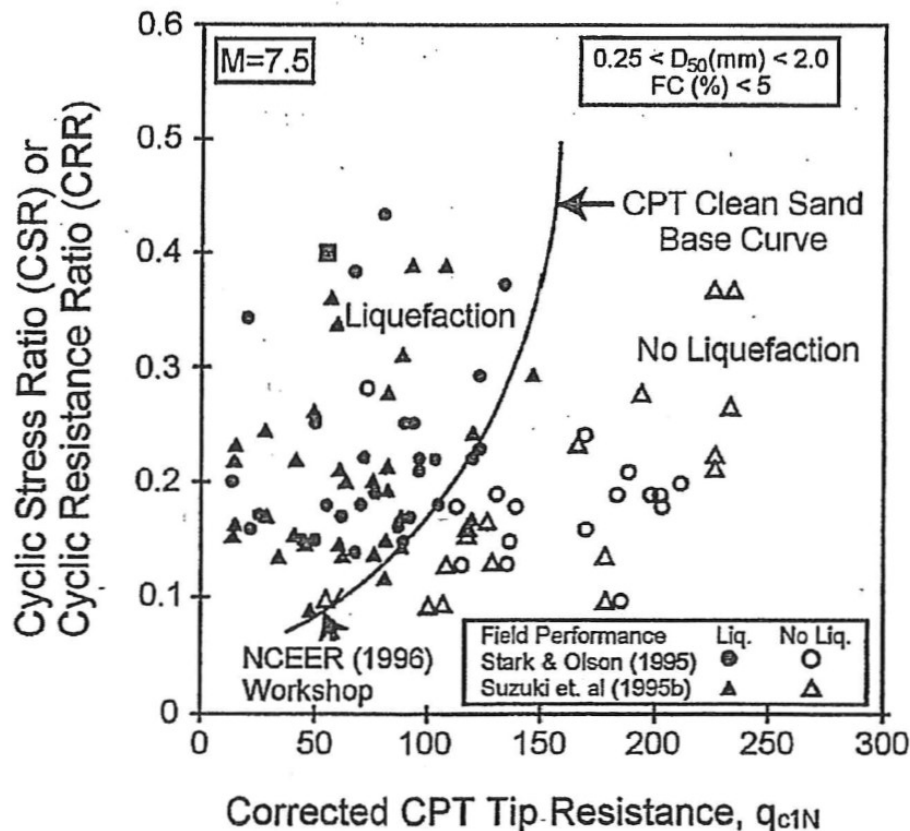




Figura 11: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3200001A</p>	<p>Foglio 27 di 71</p>

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):

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

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

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



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

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

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

Sempre in Figura 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 (MSF) per adattare le curve di CRR alla magnitudo di riferimento per il caso in esame, come indicato in precedenza.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3200001A	Foglio 28 di 71

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:

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

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

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

Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3200001A

Foglio

29 di 71

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

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

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

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

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

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

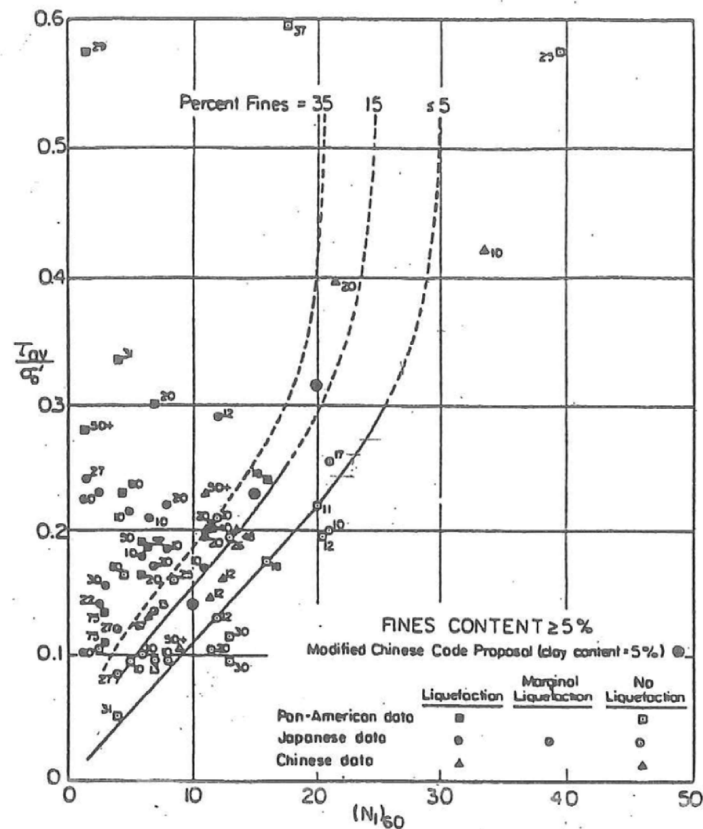




Figura 12: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3200001A	Foglio 30 di 71

I risultati (cfr. Figura 13 - Figura 15) indicano rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI32. In particolare:

- dall'analisi sulle CPTU-PE-17, CPTU5V e CPTU 6V si evidenzia la presenza di tra 0 e 2 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. Lo spessore di tali terreni è tuttavia limitato ad una coltre superficiale piuttosto esigua, dell'ordine generalmente del paio di metri, di materiali in grado di sviluppare rilevanti sovrappressioni interstiziali in occasione dell'evento sismico di progetto.

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

Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3200001A

Foglio
31 di 71

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-17 Pr. 17+629
a_vmax = 0.30lg M_vcalc = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1986 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 2m

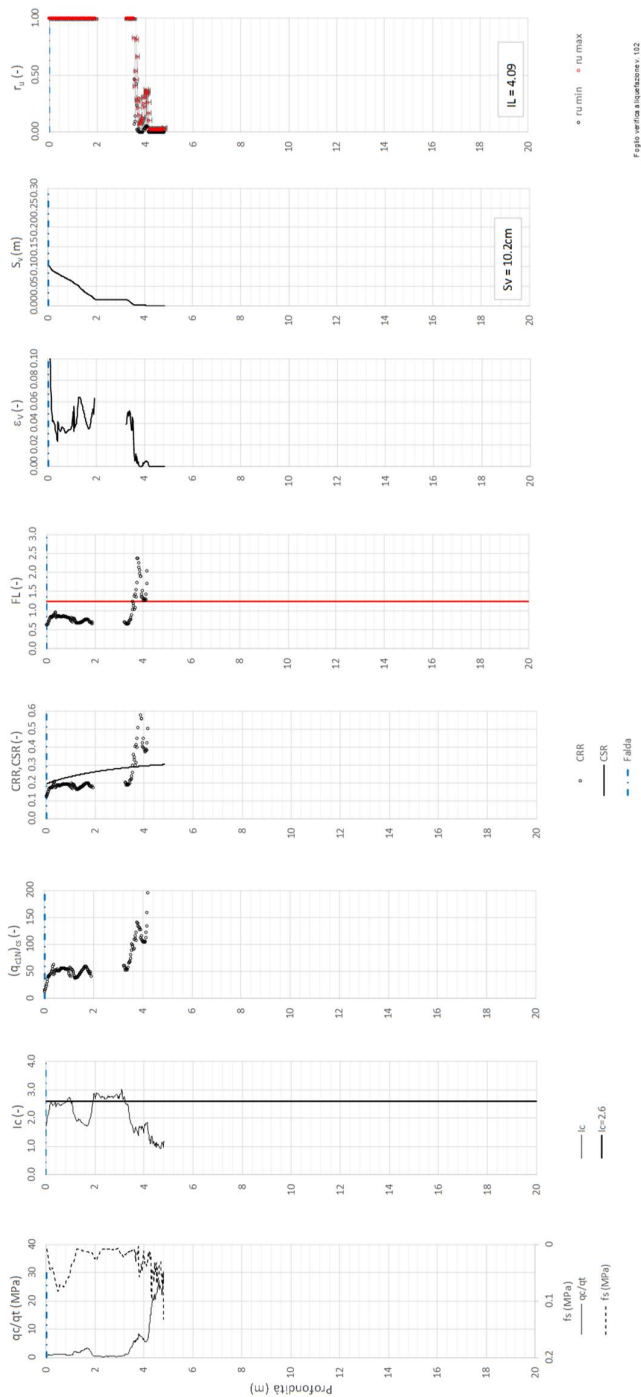


Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-17

Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI320001A

Foglio
32 di 71

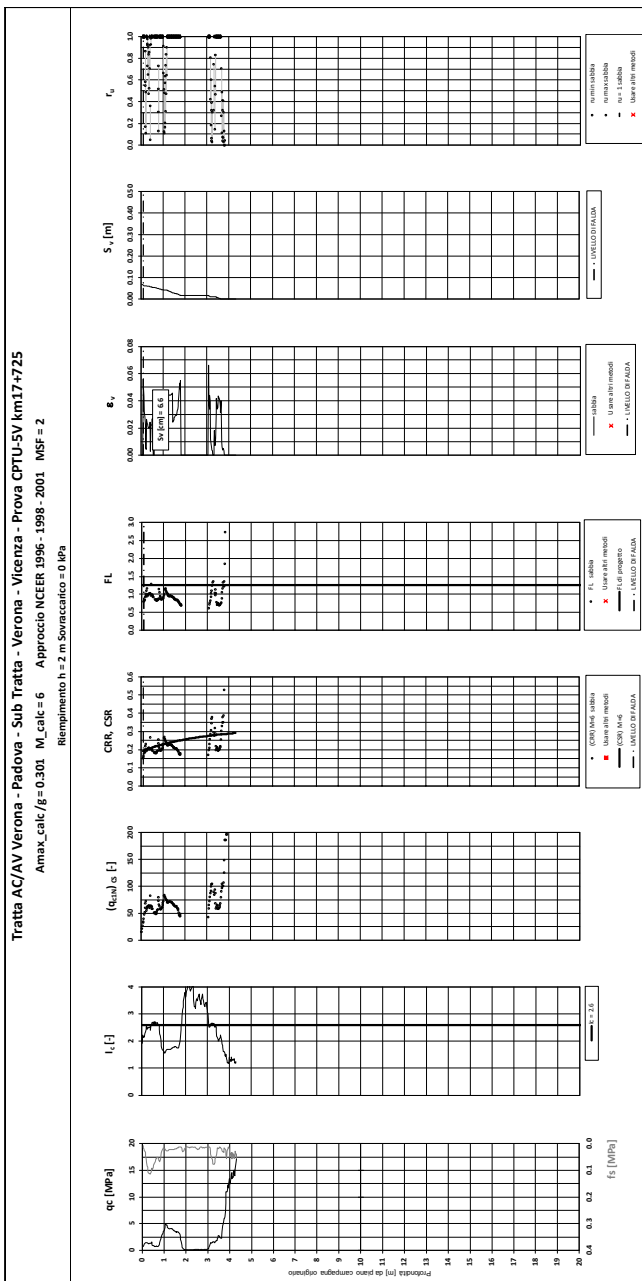


Figura 14 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU5V

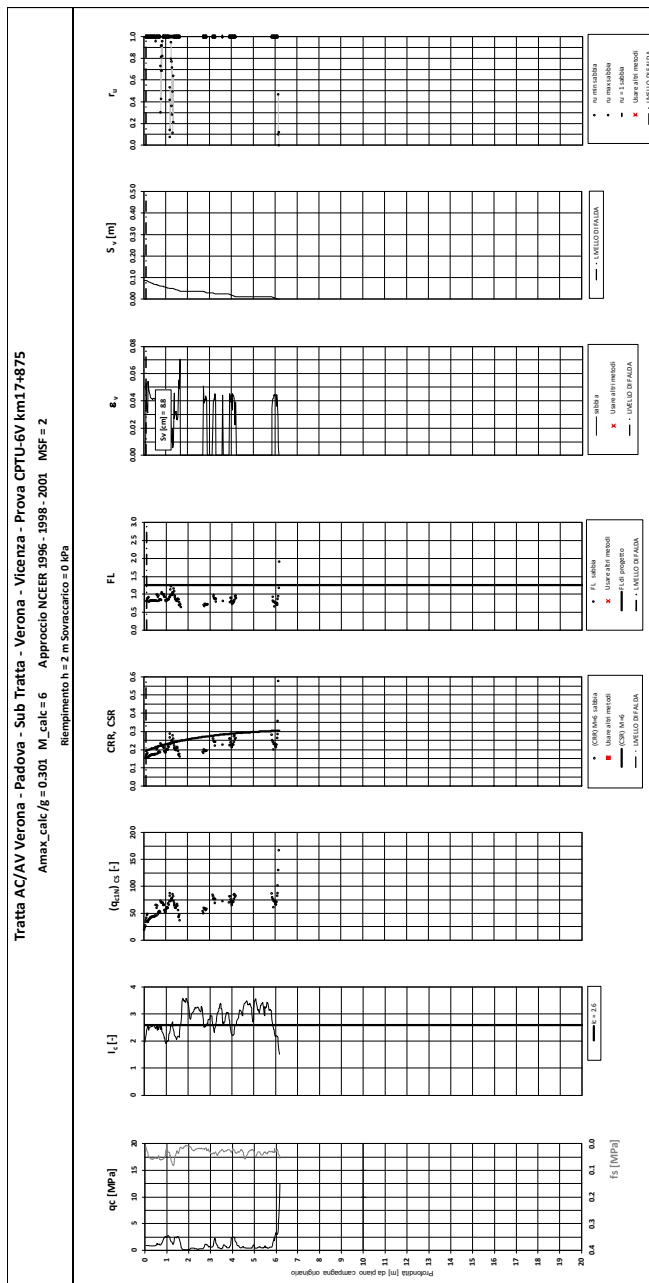






Figura 15 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU6V

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3200001A</p>	<p>Foglio 34 di 71</p>

5.2.3 Soil improvement

Come illustrato al punto precedente, le prove disponibili nell'area evidenziano la presenza di materiali liquefacibili per spessori di circa 2 m. Pertanto, in continuità con gli interventi dei rilevati precedenti, si prescrive dalla pk da pk 17+638,47 a pk 18+203,00:

- realizzazione di uno scotico + bonifico per uno spessore complessivo di 1 m così da rimuovere, al disotto del rilevato e per uno spessore allargato di 2 m all'esterno del piede del rilevato, eventuali materiali sciolti passibili di liquefazione;
- compattazione del fondo scavo per mezzo di rulli vibranti con peso statico equivalente di almeno 15 t, raggiungendo i livelli di compattazione come da capitolato. Il grado di addensamento raggiunto, da verificare a fondo scavo con prove di carico su piastra ($M_d > 20$ MPa), aumenterà la densità relativa dei materiali compattati, ancora eventualmente presenti dal fondo scavo e fino al tetto delle ghiaie, in misura tale da renderlo non più suscettibile a liquefazione.
- relazione del rinterro in accordo alle specifiche.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3200001A	Foglio 35 di 71

6 VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO

6.1 Criteri di verifica agli Stati Limite

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

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

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

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

dove:

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

R_d valore di progetto della resistenza.

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

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

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

dove:

E_d valore di progetto dell'effetto dell'azione;

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

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

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

6.1.1 Stati limite ultimi (SLU)



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

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3200001A	Foglio 36 di 71

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 γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

dove:



- γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;
- γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- γ_Q coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
- γ_{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 γ_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}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 8 – Coefficienti parziali per verifiche di stabilità globale

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3200001A	Foglio 37 di 71

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 ΔH 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 ψ 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3200001A</p>	<p>Foglio 38 di 71</p>

6.2.1 Azioni permanenti

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

Peso massicciata e armamento 18 kN/m³

Peso elementi in cls 25 kN/m³

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



β_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
	β_s	β_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 da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3200001A	Foglio 39 di 71

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

6.3.1 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 16 sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2. Il valore minimo di FS è pari a:

$$FS_{MIN} (DA1C2) = 1.155 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

6.3.2 Verifiche SLU in condizioni sismiche e post sismiche

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

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

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

In Figura 17 sono riportate le superfici di rottura critiche. Il fattore di sicurezza FS è pari a:

$$FS_{MIN}=1.369 > R2=1.1$$

la verifica di stabilità globale post sisma risulta soddisfatta.

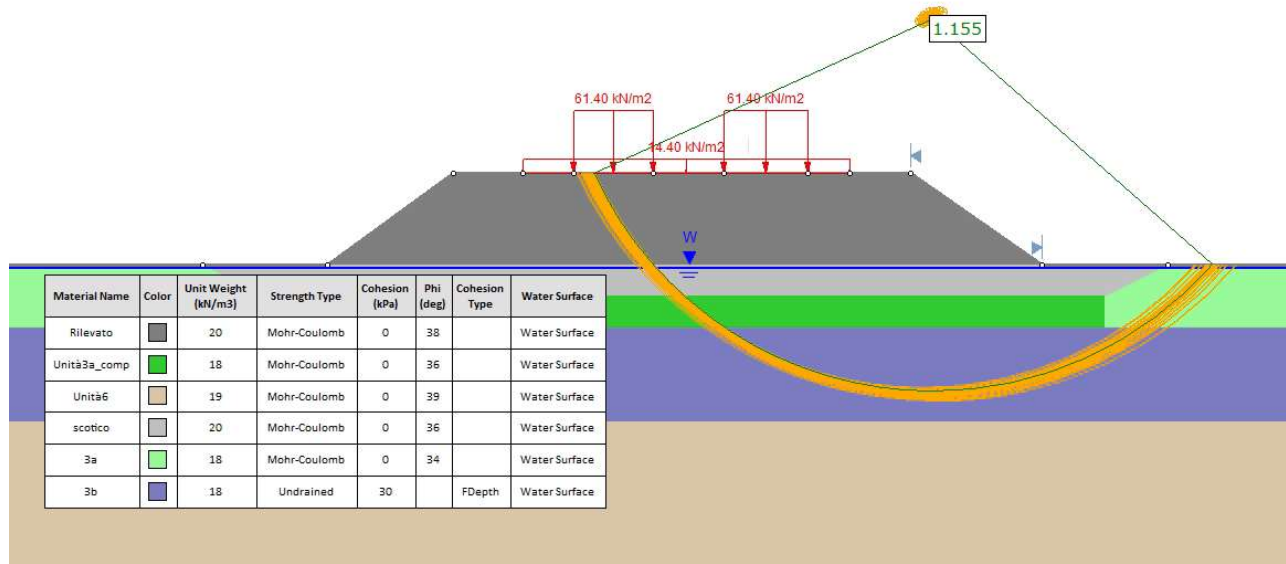


Figura 16 – Sezione A - Analisi SLU in campo statico DA1C2

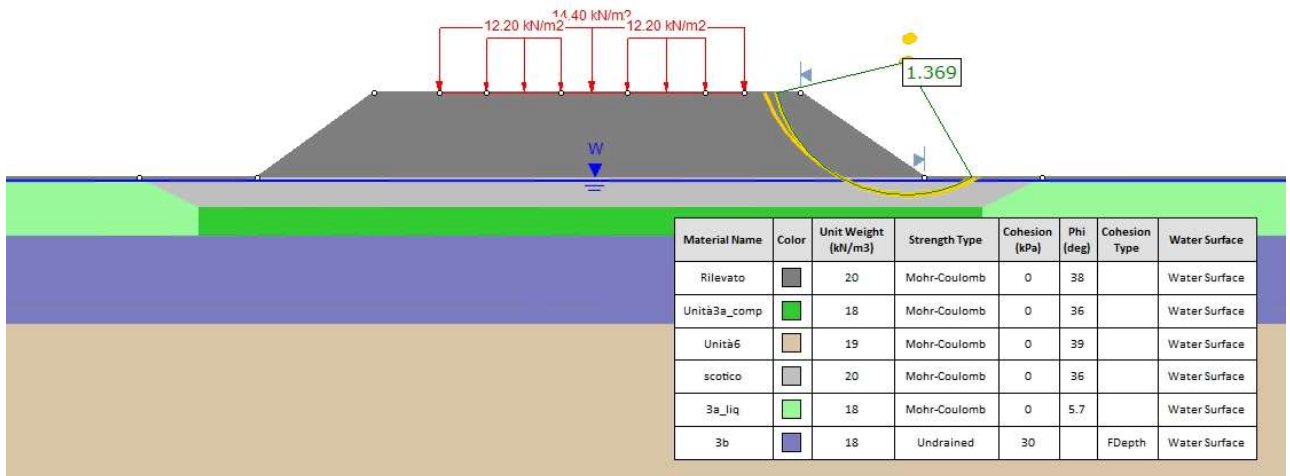


Figura 17 – Sezione A - Analisi SLU post sisma

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3200001A	Foglio 41 di 71

6.4 Verifica e risultati SLE

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

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

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

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

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

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

ν = coefficiente di Poisson

B = semilarghezza dell'area di carico in direzione x

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

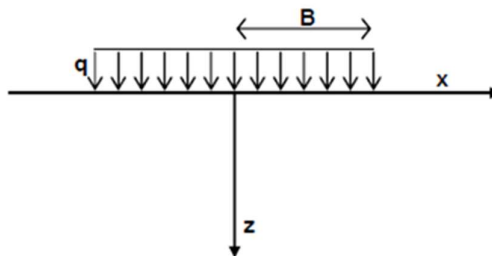


Figura 18 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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:

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

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

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

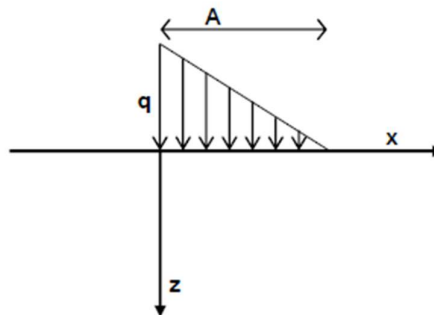




Figura 19 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3200001A</p>	<p>Foglio 43 di 71</p>

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

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

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

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

dove

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

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

La verifica è stata condotta con riferimento alla già citata sezione di riferimento A riportata in Figura 1. Il modello di calcolo implementato per il rilevato tipologico con altezza pari a 2.9 m, è riportato in Figura 20. La larghezza del rilevato è pari a 23 m, con pendenza delle scarpate è 2V:3H. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici definiti in Tabella 2.

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

I cedimenti sono stati calcolati al centro del nuovo rilevato, i valori calcolati sono riportati nella Figura 21.

Il cedimento calcolato in corrispondenza del centro del nuovo rilevato è di circa 3.5 cm.

Considerando che:

- Gran parte del cedimento (1.5 cm) avviene per compressione degli strati argillosi in superficie (Figura 22), che verranno ricompresi parte nel ramo di ricarico, e parte nel ramo di consolidazione vergine, con valori di c_v elevati ($\geq 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$);
- Gli strati di argilla hanno tempi di consolidazione rapidi, visto lo spessore;

Si conclude che tali cedimenti si esauriranno praticamente all'atto dell'applicazione dei carichi, e quindi non risultano essere necessarie dettagliate analisi di consolidazione. Inoltre, considerata la natura dei terreni 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 da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3200001A

Foglio
44 di 71

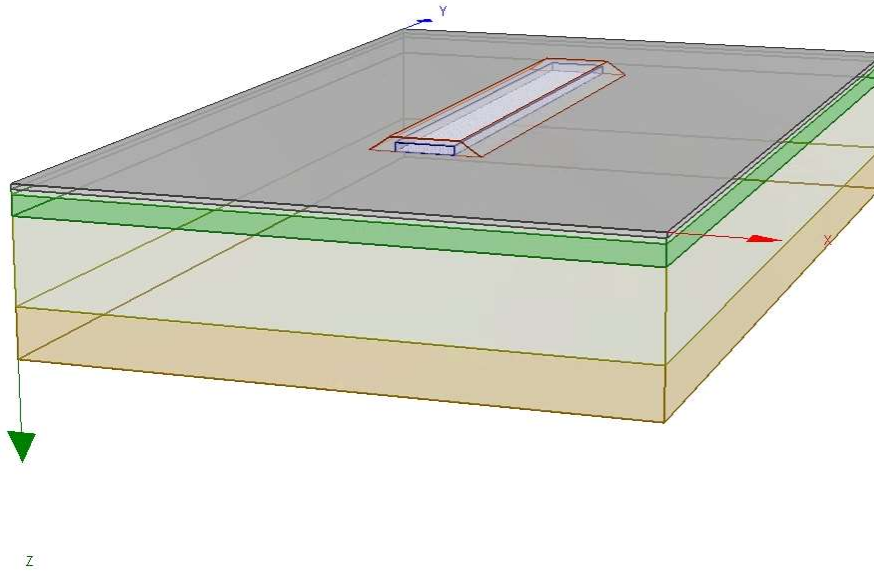


Figura 20 – Rilevato RI32 H=2.90 m - Analisi SLE – Modello di calcolo

Ri32 : Cedimento del rilevato ferroviario linea AV

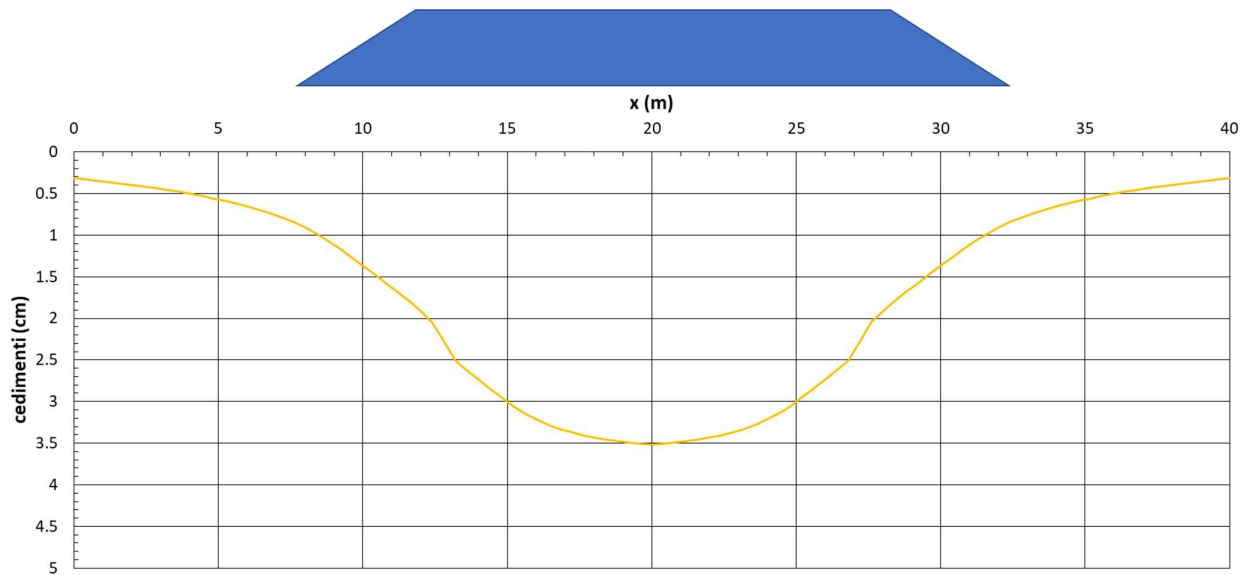


Figura 21 - Rilevato RI32 - Analisi SLE – Risultato Cedimenti

Ri32: Cedimento al centro del rilevato ferroviario

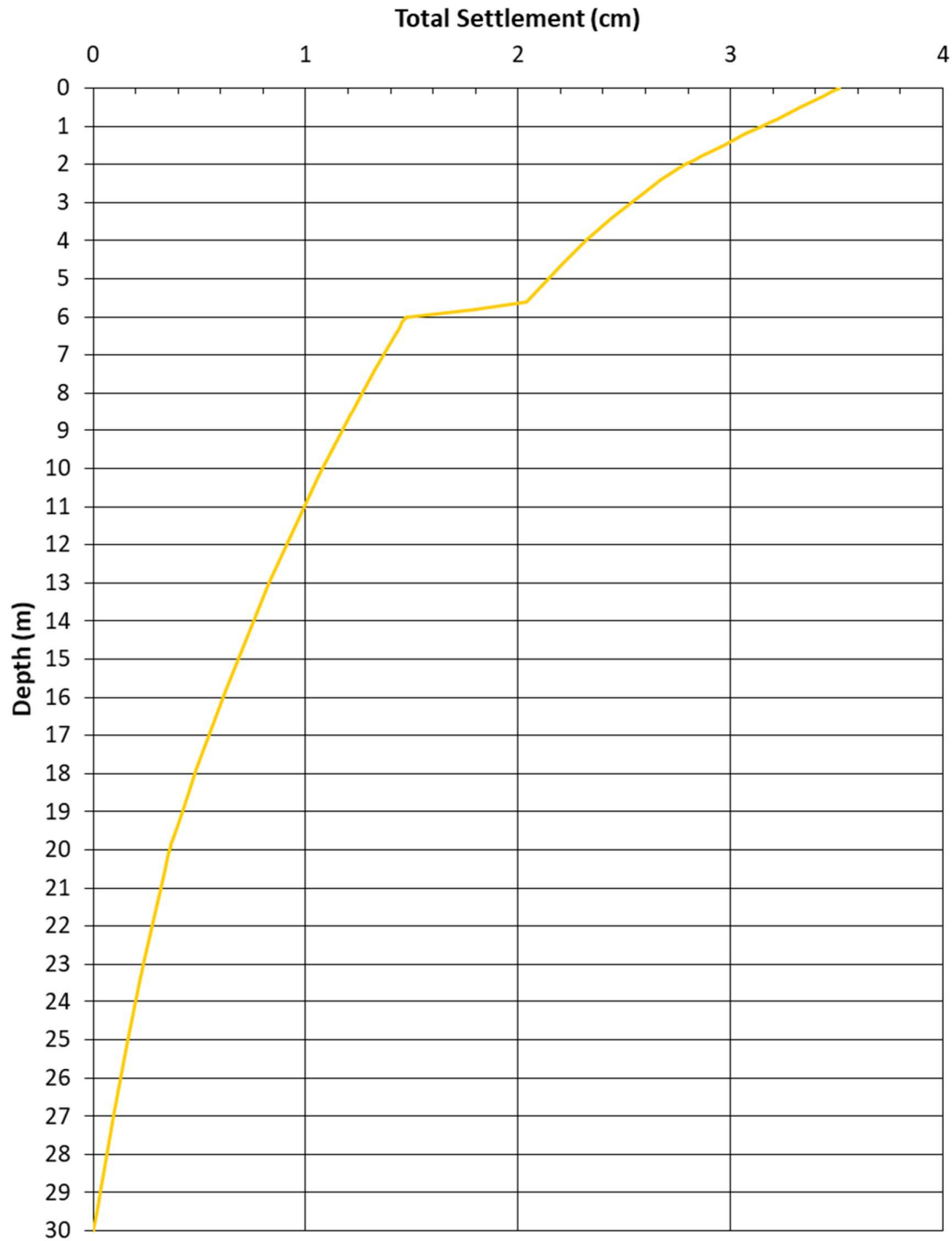




Figura 22 - Rilevato RI32 - Analisi SLE – Risultato cedimenti in profondità al centro del rilevato

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI3200001A	Foglio 46 di 71

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 da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI3200001A	47 di 71

ALLEGATI

GENERAL CONTRACTOR

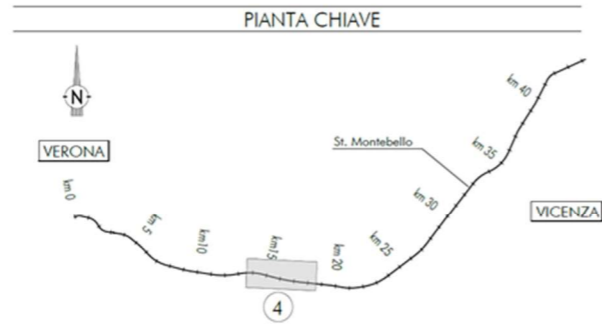
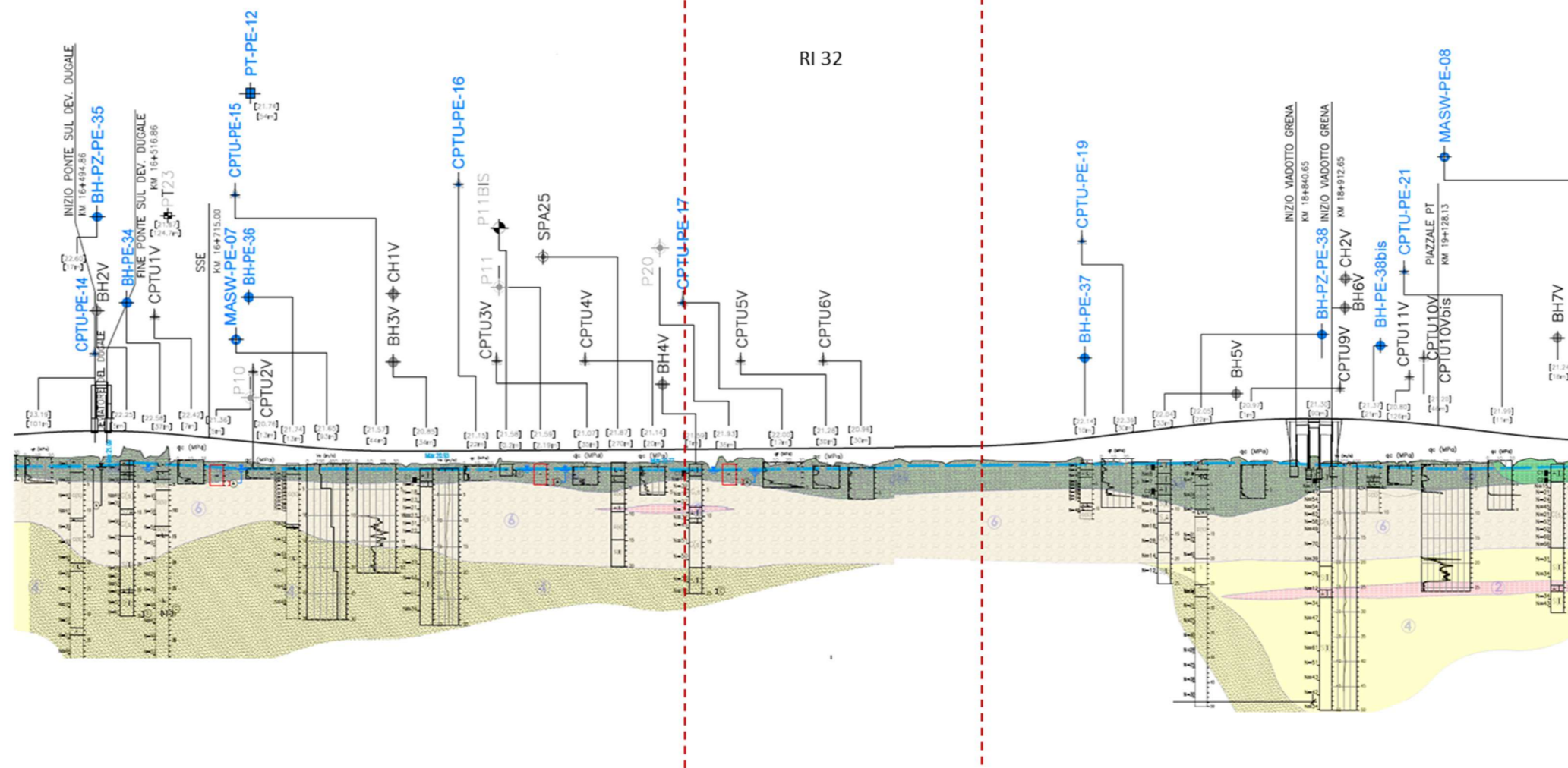


ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI3200001A	48 di 71

ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



LEGENDA

- Campagna indagini integrative PE**
- BH-PE-07 Sondaggio a carotaggio continuo
 - BH-PE-12 Sondaggio a carotaggio continuo con l'installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande
 - MASW-PE-08 Indagini MSW
 - CPTU-14 Prova penetrometrica statica con piezometro
- Campagna indagini 2018 per CDS**
- Sondaggio geognostico
- Campagna indagini 2015**
- P1+P15,P20 Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - P1+15Bis Foro e 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)
 - SPCA Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SPK Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SPK Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - CPTU-15 Prova penetrometrica statica con piezometro (possibilità di avanzamento con trivellazione)
 - CPTU-16 Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"
 - CH Foro a distribuzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
 - PT Pozzetto esplorativo a 1,5 m da p.c. con prove di carico su piastra
 - PT Profondità delle indagini
- PE-PE-07** Pozzetto esplorativo
- BH-PE-07** Sondaggio con esecuzione di prova down hole
- CH-PE-07** Sondaggio con esecuzione di prova cross hole
- Indagini antisettici**
- Nota per PE:** in blu le indagini disponibili e con coordinate certe, 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)
- CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
- Pozzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (VI) per gentile concessione Centro Idrico Navoledo s.r.l.)

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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI3200001A	50 di 71

ALLEGATO 2 - SONDAGGI

Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3200001A

Foglio
51 di 71

RILEVIO ACQUA IN FORO DURANTE LA PERFORAZIONE		NOTE	
PROF. FORO (PROF. RIVES. (m DA P.C.)	DATA	ATTREZZATURA PER SPT	
07/03	07/03	MAGLIO "NEZI" A SGANCIAMENTO AUTOMAT.	
		PESO MAGLIO 63,5 Kg	
		ALTEZZA CADUTA 76 cm	
		DIAMETRO ASTE 50 mm	
		PESO ASTE 7,2 kg/m	
		INCLINAZIONE 0°	
		PUNTA CONICA CHIUSA	
MATERIALE RIPOSTO IN N° 5 MAGLI E CILINDRINI E FOTOGRAFATO AGGIORNAMENTO IDRICO: N° 3 GIORNI			
POZZETTO IN CALCESTRUZZO CON CHIUSINO CARRABILE IN Ø 127 mm. 30x30 cm			

SCHEDE DI SONDAGGIO		COMI. cm/1715	
Rev.0	Data	31/12/2008	DI 2
SECONDO RACCOMANDAZIONI A.G.I. (1977)			
CERTIFICATO cert004cm01715			
DIRETTORE Davide Splendore			
DOTT. IRI: Davide Splendore			
COMMITTENTE Iricav Due			
CANTIERE Linea AV/AC VR-PD Variante di San Bonifacio			
PERFORAZIONE N. BH4V			
DATA INIZIO 08/03/2015			
ULTIMAZIONE 09/03/2015			
COORDINATE GB: Nord			
OPERATORE Sig. Bedon			
RESPONSABILE Dott. Carruran			
Paradisi Fide m. 25,00			
CAMPIONI ATTREZZATURA Mustang A65			
Quota s.l.m/m.			
S.P.T.			
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	PROFONDITA' m da INIZIO	PROFONDITA' m da P.C.	NUMERO
Terreno vegetale.	0.40		
Agilia debole limosa con resti vegetali sparsi, marrone.	2.30	1.50	A
SABBIE fine limosa grigia.	2.60	2.10	
GHIAIA eterometrica, poligenica con sabbia grossa, classi da arrotondati a sub-arrotondati, Ømax=5 cm	3.00	3.00	7
Da -3.00 m a -3.50 m da p.c. livello di sabbia eterometrica limosa.	3.45	3.30	3,15
	4.50	3.45	12
	4.95	4.50	3,45
	6.00	4.65	12
	6.45	4.65	4,50
	6.80	4.95	12
	7.50	6.00	24
	8.00	6.45	4,95
	8.30	6.80	6,45
	9.00	7.50	8
	9.45	7.85	6,30
	10.40	7.95	9
	11.30	8.00	6,45
	12.00	9.00	8
	12.45	9.45	22
	13.50	10.50	15
	14.00	10.95	15
	15.00	12.00	22
	15.45	12.45	20
	18.00	13.50	25
	18.15	14.00	25
	18.30	15.00	18
	18.45	15.45	22
			28
			29
			15,45
			15,45
			18,00
			18,15
			18,30
			24
			18,45
			18,45

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI3200001A	52 di 71

ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA

Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3200001A

Foglio

53 di 71

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: R132_stat.slim
Slide Modeler Version: 7.038
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

General Settings

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

Design Standard

Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
Name: Stabilità Globale_A2+M2+R2

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3200001A

Foglio

54 di 71

SLIDEINTERPRET 7.030



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]: 2.5
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

3 Distributed Loads present

Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Material Properties





Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI320001A

Foglio

55 di 71

SLIDEINTERPRET 7.030



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

Property	Rilevato	Unità3a_comp	Unità6	Unità4	scotico	3a	3b
Color							
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained
Unit Weight [kN/m ³]	20	18	19	19	20	18	18
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	36	39	38	36	34	
Cohesion Type							Function Of Depth
Cohesion (Top) [kPa]							30
Cohesion Change [kPa/m]							1.25
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	0	1	1	1	1	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.154970
Center:	38.227, 29.104
Radius:	11.832
Left Slip Surface Endpoint:	27.459, 24.200
Right Slip Surface Endpoint:	47.122, 21.300
Resisting Moment:	7146.58 kN-m
Driving Moment:	6187.66 kN-m
Total Slice Area:	82.4236 m ²
Surface Horizontal Width:	19.6628 m
Surface Average Height:	4.19186 m

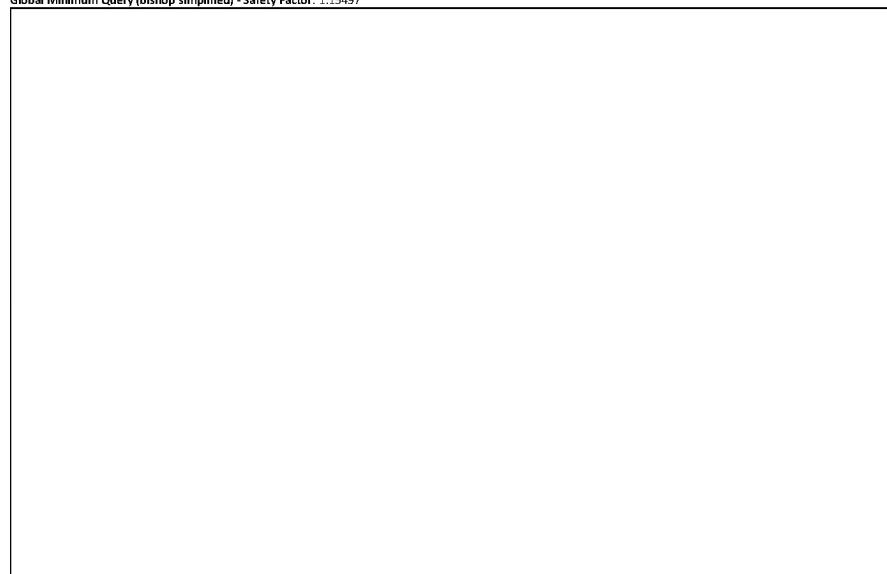
Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces:	1290
Number of Invalid Surfaces:	0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.15497





Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI3200001A

Foglio
56 di 71

SLIDEINTERPRET 7.030

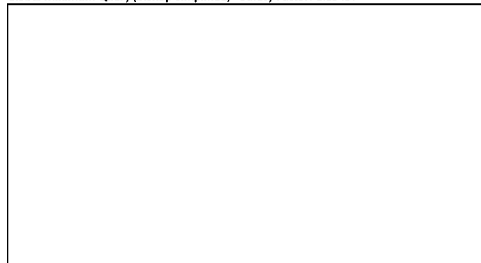


SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 7

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.37483	2.81595	-63.4838	Rilevato	0	32.0066	26.4111	30.504	48.8042	0	48.8042	101.739	101.739
2	0.37483	8.03181	-59.6541	Rilevato	0	32.0066	32.5236	37.5638	60.0993	0	60.0993	115.655	115.655
3	0.37483	12.5324	-56.2249	Rilevato	0	32.0066	38.1872	44.1051	70.5649	0	70.5649	127.662	127.662
4	0.37483	16.5031	-53.0812	Rilevato	0	32.0066	43.4924	50.2324	80.3683	0	80.3683	138.255	138.255
5	0.37483	20.0566	-50.1537	Rilevato	0	32.0066	48.4994	56.0153	89.6203	0	89.6203	147.736	147.736
6	0.088742	5.23578	-48.4135	scotico	0	30.1666	29.4533	34.0177	58.5267	0	58.5267	91.7165	91.7165
7	0.449889	29.1267	-46.507	scotico	0	30.1666	25.2601	29.1746	52.5202	2.32595	50.1942	79.1452	76.8193
8	0.449889	33.1757	-43.4243	scotico	0	30.1666	27.7495	32.0498	61.8816	6.74045	55.1411	88.1452	81.4048
9	0.426838	34.697	-40.5639	Unità3a_comp	0	30.1666	33.6575	38.8734	66.8808	0	66.8808	95.6919	95.6919
10	0.426838	37.3768	-37.8937	Unità3a_comp	0	30.1666	36.8735	42.5878	73.2714	0	73.2714	101.97	101.97
11	0.426838	39.8147	-35.3174	Unità3a_comp	0	30.1666	39.9473	46.1379	79.3793	0	79.3793	107.682	107.682
12	0.401532	39.4856	-32.893	3b	21.5445	0	18.6537	21.5445	180.447	0	180.447	192.512	192.512
13	0.401532	41.2824	-30.6055	3b	21.7665	0	18.8459	21.7665	185.886	0	185.886	197.034	197.034
14	0.401532	42.9244	-28.371	3b	21.9693	0	19.0215	21.9693	190.85	0	190.85	201.123	201.123
15	0.401532	44.4215	-26.1827	3b	22.1543	0	19.1817	22.1543	195.42	0	195.42	204.851	204.851
16	0.401532	45.782	-24.0347	3b	22.3223	0	19.3272	22.3223	199.62	0	199.62	208.239	208.239
17	0.401532	47.0131	-21.9222	3b	22.4744	0	19.4589	22.4744	203.474	0	203.474	211.305	211.305
18	0.401532	48.1207	-19.8407	3b	22.6112	0	19.5773	22.6112	174.046	0	174.046	181.11	181.11
19	0.401532	49.1097	-17.7861	3b	22.7334	0	19.6831	22.7334	130.392	0	130.392	136.707	136.707
20	0.401532	49.9846	-15.7549	3b	22.8415	0	19.7767	22.8415	133.306	0	133.306	138.885	138.885
21	0.401532	50.7489	-13.7438	3b	22.9359	0	19.8584	22.9359	135.288	0	135.288	140.145	140.145
22	0.401532	51.4056	-11.7499	3b	23.017	0	19.9287	23.017	123.879	0	123.879	128.024	128.024
23	0.401532	51.9573	-9.77039	3b	23.0852	0	19.9877	23.0852	125.956	0	125.956	129.398	129.398
24	0.401532	52.406	-7.80257	3b	23.1406	0	20.0357	23.1406	127.77	0	127.77	130.515	130.515
25	0.401532	52.7534	-5.84398	3b	23.1835	0	20.0728	23.1835	129.326	0	129.326	131.38	131.38
26	0.401532	52.8928	-3.89222	3b	23.2141	0	20.0993	23.2141	130.36	0	130.36	131.728	131.728
27	0.401532	51.3426	-1.94499	3b	23.2324	0	20.1152	23.2324	127.184	0	127.184	127.867	127.867
28	0.401532	49.1654	0	3b	23.2384	0	20.1203	23.2384	122.444	0	122.444	122.444	122.444
29	0.401532	46.8996	1.94499	3b	23.2324	0	20.1152	23.2324	117.46	0	117.46	116.777	116.777
30	0.401532	44.5151	3.89222	3b	23.2141	0	20.0993	23.2141	112.23	0	112.23	110.863	110.863
31	0.401532	42.0414	5.84398	3b	23.1835	0	20.0728	23.1835	106.757	0	106.757	104.702	104.702
32	0.401532	39.4676	7.80257	3b	23.1406	0	20.0357	23.1406	101.037	0	101.037	98.2919	98.2919
33	0.401532	36.7924	9.77039	3b	23.0852	0	19.9877	23.0852	95.0714	0	95.0714	91.6296	91.6296
34	0.401532	34.0142	11.7499	3b	23.017	0	19.9287	23.017	88.8555	0	88.8555	84.7104	84.7104
35	0.401532	31.131	13.7438	3b	22.9359	0	19.8584	22.9359	82.3869	0	82.3869	77.5298	77.5298
36	0.401532	28.1402	15.7549	3b	22.8415	0	19.7767	22.8415	75.6609	0	75.6609	70.0815	70.0815
37	0.401532	25.8455	17.7861	3b	22.7334	0	19.6831	22.7334	70.6808	0	70.6808	64.3665	64.3665
38	0.401532	24.8318	19.8407	3b	22.6112	0	19.5773	22.6112	68.9058	0	68.9058	61.8418	61.8418
39	0.401532	23.7242	21.9222	3b	22.4744	0	19.4589	22.4744	66.9145	0	66.9145	59.0834	59.0834
40	0.401532	22.4932	24.0347	3b	22.3223	0	19.3272	22.3223	64.6363	0	64.6363	56.0172	56.0172
41	0.401532	21.1326	26.1827	3b	22.1543	0	19.1817	22.1543	62.0601	0	62.0601	52.6287	52.6287
42	0.401532	19.5747	28.371	3b	21.9693	0	19.0215	21.9693	59.0212	0	59.0212	48.7488	48.7488
43	0.401532	17.7737	30.6055	3b	21.7665	0	18.8459	21.7665	55.4113	0	55.4113	44.2634	44.2634
44	0.401532	15.8165	32.893	3b	21.5445	0	18.6537	21.5445	51.453	0	51.453	39.3887	39.3887
45	0.436058	14.7618	35.3453	3a	0	28.3516	11.6897	13.5012	42.1424	17.1221	25.0203	33.8518	16.7297
46	0.436058	12.023	37.9792	3a	0	28.3516	10.0286	11.5827	35.4004	13.9353	21.4651	27.571	13.6357
47	0.436058	9.12603	40.7117	3a	0	28.3516	8.20579	9.47744	27.9886	10.425	17.5636	20.9276	10.5026
48	0.436058	6.02597	43.5618	3a	0	28.3516	6.11078	7.05777	19.6299	6.55045	13.0795	13.8185	7.26802
49	0.436058	2.59169	46.5543	3a	0	28.3516	3.39739	3.92388	9.52991	2.25818	7.27173	5.94301	3.68483
50	0.088742	0.0798678	48.4135	3a	0	28.3516	0.887867	1.02546	1.90038	0	1.90038	0.899877	0.899877

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.15497





Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3200001A

Foglio

57 di 71

SLIDEINTERPRET 7.030



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	27.4588	24.2	0	0	0
2	27.8336	23.4487	26.7662	0	0
3	28.2084	22.8085	53.0564	0	0
4	28.5833	22.248	78.2918	0	0
5	28.9581	21.7491	102.086	0	0
6	29.3329	21.3	124.162	0	0
7	29.4217	21.2	127.401	0	0
8	29.8715	20.7258	140.944	0	0
9	30.3214	20.3	154.81	0	0
10	30.7483	19.9346	164.882	0	0
11	31.1751	19.6024	173.487	0	0
12	31.6019	19.3	180.443	0	0
13	32.0035	19.0403	219.815	0	0
14	32.405	18.8028	256.399	0	0
15	32.8065	18.5859	290.148	0	0
16	33.2081	18.3885	321.028	0	0
17	33.6096	18.2095	349.013	0	0
18	34.0111	18.0479	374.081	0	0
19	34.4127	17.903	391.438	0	0
20	34.8142	17.7742	400.331	0	0
21	35.2157	17.6609	407.492	0	0
22	35.6173	17.5627	412.806	0	0
23	36.0188	17.4792	415.151	0	0
24	36.4203	17.41	415.835	0	0
25	36.8219	17.355	414.821	0	0
26	37.2234	17.3139	412.077	0	0
27	37.6249	17.2866	407.569	0	0
28	38.0265	17.2729	401.227	0	0
29	38.428	17.2729	393.149	0	0
30	38.8295	17.2866	383.472	0	0
31	39.2311	17.3139	372.336	0	0
32	39.6326	17.355	359.89	0	0
33	40.0341	17.41	346.286	0	0
34	40.4357	17.4792	331.688	0	0
35	40.8372	17.5627	316.266	0	0
36	41.2387	17.6609	300.202	0	0
37	41.6403	17.7742	283.691	0	0
38	42.0418	17.903	266.684	0	0
39	42.4433	18.0479	248.841	0	0
40	42.8449	18.2095	230.216	0	0
41	43.2464	18.3885	210.882	0	0
42	43.6479	18.5859	190.928	0	0
43	44.0495	18.8028	170.493	0	0
44	44.451	19.0403	149.766	0	0
45	44.8525	19.3	128.914	0	0
46	45.2886	19.6093	110.785	0	0
47	45.7246	19.9497	94.3606	0	0
48	46.1607	20.3249	80.2808	0	0
49	46.5968	20.7396	69.476	0	0
50	47.0328	21.2	63.6073	0	0
51	47.1216	21.3	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	21.2
62	21.2

Distributed Load

X	Y
35.5993	24.2
25.2062	24.2

Distributed Load

X	Y



Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3200001A

Foglio

58 di 71

SLIDEINTERPRET 7.030



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

X	Y
29.3533	24.2
26.8165	24.2

Distributed Load

X	Y
34.2469	24.2
31.6022	24.2

External Boundary

X	Y
41.7	21.3
37.5	24.2
23	24.2
19	21.3
15	21.3
0	21.3
0	19.3
0	16.3
0	1.3
0	0
60.7561	0
60.7561	1.3
60.7561	16.3
60.7561	19.3
60.7561	21.3
45.71	21.3

Material Boundary

X	Y
19	21.3
41.7	21.3

Material Boundary

X	Y
0	1.3
60.7561	1.3

Material Boundary

X	Y
15	21.3
17	20.3
43.7	20.3
43.7	19.3

Material Boundary

X	Y
0	19.3
17	19.3
43.7	19.3
60.7561	19.3

Material Boundary

X	Y
43.7	20.3
45.71	21.3

Material Boundary

X	Y
17	19.3
17	20.3

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3200001A

Foglio

59 di 71



SLIDEINTERPRET 7.030



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

Material Boundary

X	Y
0	16.3
60.7561	16.3

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI3200001A</p>	<p>Foglio 60 di 71</p>

ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU POST SISMA

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RI32_post.slim
 Slide Modeler Version: 7.038
 Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
 Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

General Settings

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

Design Standard

Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
 Name: Stabilità Globale_SISMA+M2+R2

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3200001A

Foglio

62 di 71

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]: 2
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

3 Distributed Loads present

Distributed Load 1

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

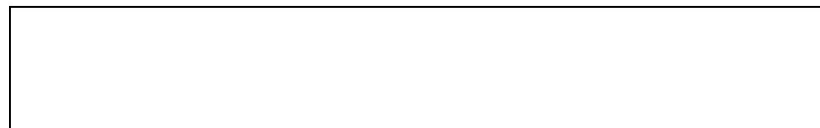
Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Material Properties





Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3200001A

Foglio

63 di 71

Property	Rilevato	Unità3a_comp	Unità6	Unità4	scotico	3a_lig	3b
Color							
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained
Unit Weight [kN/m3]	20	18	19	19	20	18	18
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38	36	39	38	36	5.7	
Cohesion Type							Function Of Depth
Cohesion (Top) [kPa]							30
Cohesion Change [kPa/m]							1.25
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	0	1	1	1	1	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.368610
Center:	41.088, 25.247
Radius:	4.547
Left Slip Surface Endpoint:	36.663, 24.200
Right Slip Surface Endpoint:	43.346, 21.300
Resisting Moment:	398.583 kN-m
Driving Moment:	291.232 kN-m
Total Slice Area:	8.1159 m2
Surface Horizontal Width:	6.683 m
Surface Average Height:	1.21441 m

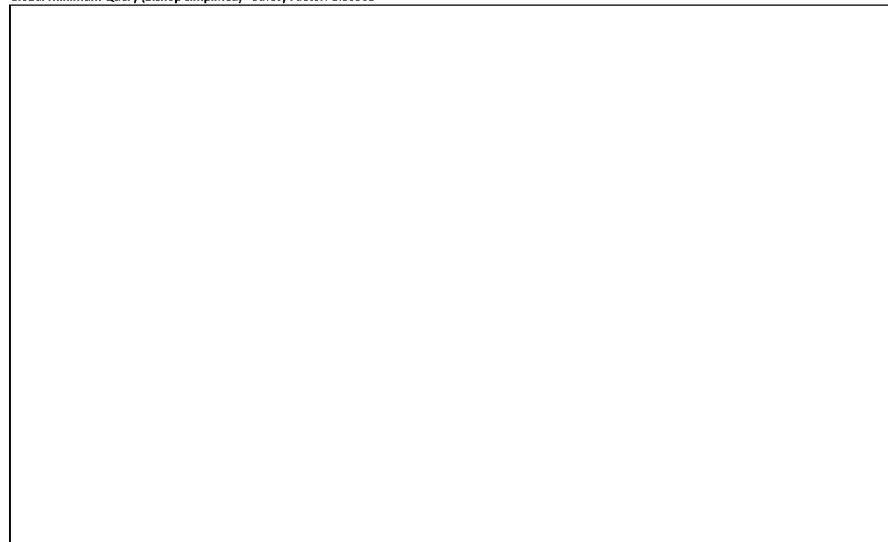
Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1004
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.36861





Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI3200001A

64 di 71

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	0.135426	0.625472	-73.6578	Rilevato	0	32.0066	0.826284	1.13086	1.80929	0	1.80929	4.62724	4.62724
2	0.135426	1.71215	-68.3143	Rilevato	0	32.0066	2.69186	3.6841	5.89428	0	5.89428	12.6635	12.6635
3	0.135426	2.55028	-64.0541	Rilevato	0	32.0066	4.4429	6.0806	9.72853	0	9.72853	18.8597	18.8597
4	0.135426	3.24976	-60.3771	Rilevato	0	32.0066	6.08596	8.3293	13.3263	0	13.3263	24.0296	24.0296
5	0.135426	3.85559	-57.0805	Rilevato	0	32.0066	7.63373	10.4476	16.7153	0	16.7153	28.5065	28.5065
6	0.135426	4.39182	-54.0565	Rilevato	0	32.0066	9.09755	12.451	19.9207	0	19.9207	32.4684	32.4684
7	0.135426	4.78832	-51.2398	Rilevato	0	32.0066	10.3043	14.1025	22.5629	0	22.5629	35.3971	35.3971
8	0.135426	4.97557	-48.5868	Rilevato	0	32.0066	11.0666	15.1458	24.2321	0	24.2321	36.7789	36.7789
9	0.135426	5.1206	-46.067	Rilevato	0	32.0066	11.7264	16.0489	25.677	0	25.677	37.8486	37.8486
10	0.135426	5.23269	-43.6577	Rilevato	0	32.0066	12.3017	16.8362	26.9366	0	26.9366	38.675	38.675
11	0.135426	5.31579	-41.3417	Rilevato	0	32.0066	12.7992	17.5171	28.0261	0	28.0261	39.287	39.287
12	0.135426	5.37295	-39.1056	Rilevato	0	32.0066	13.2248	18.0996	28.958	0	28.958	39.7076	39.7076
13	0.135426	5.40666	-36.9384	Rilevato	0	32.0066	13.5829	18.5897	29.7422	0	29.7422	39.9548	39.9548
14	0.135426	5.4189	-34.8313	Rilevato	0	32.0066	13.8774	18.9928	30.3872	0	30.3872	40.0435	40.0435
15	0.135426	5.41133	-32.777	Rilevato	0	32.0066	14.1115	19.3132	30.8997	0	30.8997	39.9859	39.9859
16	0.135426	5.38535	-30.769	Rilevato	0	32.0066	14.2877	19.5543	31.2855	0	31.2855	39.7923	39.7923
17	0.184534	7.26384	-28.4535	scotico	0	30.1666	13.5974	18.6095	32.0173	0	32.0173	39.3858	39.3858
18	0.129597	5.03258	-26.2208	scotico	0	30.1666	13.5361	18.5257	32.1862	0.313078	31.8732	38.8529	38.5399
19	0.129597	4.9596	-24.4138	scotico	0	30.1666	13.3068	18.2118	32.2477	0.914696	31.333	38.2878	37.3731
20	0.129597	4.87392	-22.6325	scotico	0	30.1666	13.0455	17.8542	32.1859	1.46827	30.7177	37.6249	36.1566
21	0.129597	4.77606	-20.8739	scotico	0	30.1666	12.753	17.4539	32.0048	1.9757	30.0291	36.868	34.8923
22	0.129597	4.66645	-19.1357	scotico	0	30.1666	12.4301	17.012	31.7075	2.43868	29.2688	36.0205	33.5818
23	0.129597	4.54547	-17.4156	scotico	0	30.1666	12.0774	16.5293	31.2969	2.85864	28.4383	35.0854	32.2268
24	0.129597	4.41346	-15.7116	scotico	0	30.1666	11.6953	16.0063	30.7753	3.23686	27.5385	34.0653	30.8284
25	0.129597	4.27071	-14.0217	scotico	0	30.1666	11.284	15.4434	30.1444	3.57443	26.57	32.9624	29.388
26	0.129597	4.11748	-12.3443	scotico	0	30.1666	10.8437	14.8408	29.4055	3.87229	25.5332	31.7786	27.9063
27	0.129597	3.95396	-10.6775	scotico	0	30.1666	10.3744	14.1985	28.5596	4.13126	24.4283	30.5156	26.3843
28	0.129597	3.78035	-9.01978	scotico	0	30.1666	9.87615	13.5166	27.607	4.35202	23.255	29.1748	24.8227
29	0.129597	3.5968	-7.36967	scotico	0	30.1666	9.34868	12.7947	26.5481	4.53514	22.013	27.7573	23.2221
30	0.129597	3.40342	-5.7257	scotico	0	30.1666	8.79177	12.0325	25.3827	4.6811	20.7016	26.2642	21.5831
31	0.129597	3.20032	-4.08644	scotico	0	30.1666	8.20489	11.2293	24.1099	4.79025	19.3197	24.6961	19.9059
32	0.129597	2.98757	-2.45053	scotico	0	30.1666	7.58755	10.3844	22.729	4.86287	17.8661	23.0537	18.1909
33	0.129597	2.76522	0.816623	scotico	0	30.1666	6.93909	9.49691	21.2384	4.89913	16.3392	21.3373	16.4382
34	0.129597	2.53328	0.816623	scotico	0	30.1666	6.25868	8.56569	19.6362	4.89913	14.7371	19.547	14.6479
35	0.129597	2.29176	2.45053	scotico	0	30.1666	5.54533	7.58939	17.9202	4.86287	13.0573	17.6829	12.82
36	0.129597	2.04063	4.08644	scotico	0	30.1666	4.79788	6.56643	16.0876	4.79025	11.2974	15.7448	10.9546
37	0.129597	1.77986	5.7257	scotico	0	30.1666	4.01499	5.49496	14.135	4.6811	9.45393	13.7325	9.05136
38	0.129597	1.5182	7.36967	scotico	0	30.1666	3.22574	4.41478	12.1307	4.53514	7.59553	11.7135	7.17832
39	0.129597	1.40906	9.01978	scotico	0	30.1666	2.96875	4.06306	11.3424	4.35202	6.99037	10.8711	6.51912
40	0.129597	1.35074	10.6775	scotico	0	30.1666	2.90362	3.97393	10.9683	4.13126	6.83704	10.4208	6.28958
41	0.129597	1.28231	12.3443	scotico	0	30.1666	2.81877	3.8578	10.5096	3.87229	6.6373	9.89271	6.02042
42	0.129597	1.20361	14.0217	scotico	0	30.1666	2.71306	3.71312	9.96275	3.57443	6.38832	9.28521	5.71078
43	0.129597	1.11442	15.7116	scotico	0	30.1666	2.58518	3.53811	9.32409	3.23686	6.08723	8.59686	5.36
44	0.129597	1.01449	17.4156	scotico	0	30.1666	2.43364	3.33071	8.58907	2.85864	5.73043	7.82568	4.96704
45	0.129597	0.90353	19.1357	scotico	0	30.1666	2.2567	3.08854	7.75245	2.43868	5.31377	6.96943	4.53075
46	0.129597	0.781206	20.8739	scotico	0	30.1666	2.05229	2.80878	6.80815	1.9757	4.83245	6.02553	4.04983
47	0.129597	0.647133	22.6325	scotico	0	30.1666	1.818	2.48813	5.74904	1.46827	4.28077	4.99107	3.5228
48	0.129597	0.500871	24.4138	scotico	0	30.1666	1.55095	2.12264	4.56664	0.914696	3.65195	3.86265	2.94796
49	0.129597	0.341915	26.2208	scotico	0	30.1666	1.24765	1.70755	3.25087	0.313078	2.9378	2.63639	2.32331
50	0.184534	0.184534	28.4535	scotico	0	30.1666	0.551138	0.754293	1.29775	0	1.29775	0.999082	0.999082

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.36861

--



Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI3200001A

65 di 71

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	36.6629	24.2	0	0	0
2	36.7983	23.7381	0.724076	0	0
3	36.9338	23.3976	2.36799	0	0
4	37.0692	23.1193	4.47591	0	0
5	37.2046	22.8811	6.82818	0	0
6	37.34	22.6719	9.29408	0	0
7	37.4755	22.4851	11.7867	0	0
8	37.6109	22.3164	14.2014	0	0
9	37.7463	22.1629	16.4279	0	0
10	37.8817	22.0223	18.454	0	0
11	38.0172	21.8931	20.2741	0	0
12	38.1526	21.774	21.8854	0	0
13	38.288	21.6639	23.2876	0	0
14	38.4234	21.5621	24.4822	0	0
15	38.5589	21.4678	25.4721	0	0
16	38.6943	21.3806	26.2613	0	0
17	38.8297	21.3	26.8549	0	0
18	39.0142	21.2	27.5552	0	0
19	39.1438	21.1362	27.8608	0	0
20	39.2734	21.0773	28.0385	0	0
21	39.403	21.0233	28.0922	0	0
22	39.5326	20.9739	28.0262	0	0
23	39.6622	20.9289	27.846	0	0
24	39.7918	20.8883	27.5579	0	0
25	39.9214	20.8518	27.1689	0	0
26	40.051	20.8195	26.6866	0	0
27	40.1806	20.7911	26.1196	0	0
28	40.3102	20.7667	25.4771	0	0
29	40.4398	20.7461	24.7691	0	0
30	40.5694	20.7293	24.0062	0	0
31	40.699	20.7163	23.2002	0	0
32	40.8286	20.7071	22.3634	0	0
33	40.9582	20.7015	21.5091	0	0
34	41.0878	20.6997	20.6518	0	0
35	41.2174	20.7015	19.807	0	0
36	41.347	20.7071	18.9911	0	0
37	41.4766	20.7163	18.2223	0	0
38	41.6062	20.7293	17.5199	0	0
39	41.7358	20.7461	16.8998	0	0
40	41.8654	20.7667	16.2829	0	0
41	41.995	20.7911	15.6397	0	0
42	42.1246	20.8195	14.9775	0	0
43	42.2542	20.8518	14.3045	0	0
44	42.3838	20.8883	13.6306	0	0
45	42.5134	20.9289	12.967	0	0
46	42.643	20.9739	12.3268	0	0
47	42.7726	21.0233	11.7252	0	0
48	42.9022	21.0773	11.1797	0	0
49	43.0318	21.1362	10.7107	0	0
50	43.1614	21.2	10.342	0	0
51	43.3459	21.3	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	21.2
62	21.2

Distributed Load

X	Y
35.5993	24.2
25.2062	24.2



Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3200001A

Foglio

66 di 71

SLIDEINTERPRET 7.038



Distributed Load

X	Y
29.3533	24.2
26.8165	24.2

Distributed Load

X	Y
34.2469	24.2
31.6022	24.2

External Boundary

X	Y
41.7	21.3
37.5	24.2
23	24.2
19	21.3
15	21.3
0	21.3
0	19.3
0	16.3
0	1.3
0	0
60.7561	0
60.7561	1.3
60.7561	16.3
60.7561	19.3
60.7561	21.3
45.71	21.3

Material Boundary

X	Y
19	21.3
41.7	21.3

Material Boundary

X	Y
0	1.3
60.7561	1.3

Material Boundary

X	Y
15	21.3
17	20.3
43.7	20.3
43.7	19.3

Material Boundary

X	Y
0	19.3
17	19.3
43.7	19.3
60.7561	19.3

Material Boundary

X	Y
43.7	20.3
45.71	21.3

Material Boundary

X	Y

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3200001A

Foglio

67 di 71

SLIDEINTERPRET 7.038



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

X	Y
17	19.3
17	20.3

Material Boundary

X	Y
0	16.3
60.7561	16.3

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI3200001A	68 di 71

ALLEGATO 5 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE

Settle3D Analysis Information

Rilevato

Project Settings

Document Name: RI32.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: 0.964511 seconds

Stage: Stage 1

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.0351188
Consolidation Settlement [m]	0	0.0131451
Immediate Settlement [m]	0	0.0219737
Loading Stress [kPa]	0	89.5809
Total Stress [kPa]	0	589.961
Total Strain	-0	0.0161367
Degree of Consolidation [%]	0	100
Pre-consolidation Stress [kPa]	1	589.779
Over-consolidation Ratio	1	3.56112
Void Ratio	0	0.999999
Hydroconsolidation Settlement [m]	0	0

Loads

1. Rectangular Load

Length: 12 m
Width: 100 m
Rotation angle: 0 degrees
Load Type: Flexible
Area of Load: 1200 m²
Load: 12.6 kPa
Depth: 0 m
Installation Stage: Stage 1

Coordinates



Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3200001A

Foglio

70 di 71

X [m]	Y [m]
-5.99696	-50
6.00304	-50
6.00304	50
-5.99696	50

Embankments

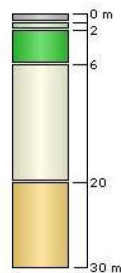
1. Embankment

Center Line: (0, -50) to (0, 50)
Number of Layers: 1
Near End Angle: 90 degrees
Far End Angle: 90 degrees
Base Width: 23

Layer	Stage	Left Bench Width (m)	Left Angle (deg)	Height (m)	Unit Weight (kN/m ³)	Right Angle (deg)	Right Bench Width (m)
1	Stage 1	0	34	2.9	20	34	0

Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	scotico	1	0
2	3a-tratt	1	1
3	3b	4	2
4	u6	14	6
5	u4	10	20



Soil Properties

Property	3a-tratt	u6	u4	scotico	3b
Color					
Unit Weight [kNm ³]	18	19	19	20	18
Immediate Settlement	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled	Disabled
Es [kPa]	20000	60000	80000	20000	

Rilevato ferroviario da pk 17+638,47 a pk 18+203,00
 Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI3200001A

Foglio

71 di 71

Esur [kPa]	20000	60000	80000	20000	
Primary Consolidation	Disabled	Disabled	Disabled	Disabled	Enabled
Material Type					Non-Linear
Cc					0.9
Cr					0.013
e0					1
Pc [kPa]	0				160
OCR		1	1	1	

Query Points

Point #	(X,Y) Location	Number of Divisions
1	0.00303833, 4.9738e-014	Auto: 59

Query Lines

Line #	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	-20, 0	20, 0	100	Auto: 39