

COMMITTENTE:



ALTA
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE
OBIETTIVO N. 443/01
LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA
Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza
PROGETTO ESECUTIVO
RILEVATI
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
GENERALE
Relazione Geotecnica**

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

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

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

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma Alberto LEVORATO 	Data Ottobre 2022

Progettazione:

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

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712E12RBRI2100001C
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2100001C</p>	<p>Foglio 2 di 87</p>

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1	Documentazione di progetto	5
2.2	Normativa e standard di riferimento	5
2.3	Bibliografia	6
3	INQUADRAMENTO DELL'OPERA	7
3.1	Geometria del rilevato	7
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	9
4.1	Indagini disponibili	9
4.2	Inquadramento stratigrafico	9
4.3	Livello di falda	11
4.4	Condizioni geotecniche del sito	12
4.5	Sintesi del modello geotecnico di riferimento	19
4.5.1	Materiali da rilevato	19
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	20
5.1	Sollecitazione sismica di progetto	20
5.1.1	Vita Nominale	20
5.1.2	Classe d'uso	20
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	21
5.1.4	Categorie di Sottosuolo	21
5.1.5	Condizioni topografiche	21
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento	21
5.2	Suscettibilità alla liquefazione	22
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT	24
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT	26
5.2.3	Soil improvement	34
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO	38
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite	38
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU)	38
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE)	40
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche	40
6.2	Azioni di progetto	40
6.2.1	Azioni permanenti	40
6.2.2	Azioni variabili	41
6.2.3	Azione sismica	41

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2100001C</p>	<p>Foglio 3 di 87</p>

6.3	Verifiche e risultati SLU	42
6.3.1	Premessa	42
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche	42
6.3.1	Verifiche SLU in condizioni sismiche	43
6.3.2	Verifiche SLU in condizioni post sismiche	44
6.4	Verifica e risultati SLE	45
6.4.1	Metodologia di calcolo	45
6.4.2	Schematizzazione e risultati	47
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	50
Allegati		51
ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO		52
ALLEGATO 2 - SONDAGGI		54
ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA		62
ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU IN CAMPO SISMICO		69
ALLEGATO 5 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU post sisma		76
ALLEGATO 6 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE		83
ALLEGATO 7 – VERSIONE SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI		87

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2100001C</p>	<p>Foglio 4 di 87</p>

1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI21, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende tra il km 13+240,00 e il km 13+725,00.

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

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

Il documento è così organizzato:

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 5 di 87

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di progetto

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

2.2 Normativa e standard di riferimento

- [14] Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30
- [15] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008
- [16] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [17] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- [18] RFI DTC SI PS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle opere civili, Parte II – Sezione 2, Ponti e strutture
- [19] RFI DTC SI CS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle opere civili, Parte II – Sezione 3, Corpo stradale
- [20] RFI DTC INC PO SP IFS 001 A Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario
- [21] RFI DTC INC CS SP IFS 001 A Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- [22] RFI DTC SICS SP IFS 001 B Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi” – RFI
- [23] RFI TCAR ST AR 01 001 D Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 6 di 87

[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".

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2100001C</p>	<p>Foglio 7 di 87</p>

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame si estende dal km 13+240 al km 13+725 per una lunghezza totale di ca. 250 m. Per la tratta in esame non si evidenziano altre interferenze con opere principali adiacenti e/o attraversate.

3.1 Geometria del rilevato

Il rilevato, presenta una sezione regolare per tutto il tracciato, con scarpate di pendenza 2/3 (V:H). Alla pk 13+600, sezione n. 320, si riscontra l'altezza massima del rilevato pari a 2.2 m. La sezione citata, denominata Sezione A (Figura 1), è quella ritenuta più severa per le verifiche del rilevato in esame.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 9 di 87

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1 Indagini disponibili

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

Si segnala che le indagini qui considerate non sono solo quelle di stretta pertinenza del rilevato, ma anche quelle eseguite nelle aree circostanti, e più in generale, in questa tratta del tracciato, che evidenzia una suzione stratigrafica molto omogenea. Si ritiene quindi che il dettaglio dell'indagine sia adeguato allo scopo progettuale.

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

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

Tabella 1 - Indagini da pk 13+240 a pk 13+725

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
13+285	CPTU-PE-08	2020-2021
13+287	BH-PE-29	2020-2021
13+320	P4	2015
13+485	CPTU31bis	2014/2015
13+721	BH-PE-30	2020-2021

4.2 Inquadramento stratigrafico

Dal punto di vista stratigrafico, l'area del rilevato è interessata dalla presenza di una coltre superficiale di spessore di 3 m circa di terreni limoso/sabbiosi superficiali (unità 3a), seguiti da uno strato di ghiaie ben addensate (Unità 6) fino a una profondità di 12 m. Al di sotto delle ghiaie si incontra il substrato sabbioso (Unità 4) che si estende in profondità a partire da 12 m pc.

Da quanto sopra, e tenendo in conto la modesta altezza del rilevato, risulta evidente che il comportamento del rilevato sarà governato principalmente dalle caratteristiche della coltre superficiale soprastante le ghiaie. Pertanto, nei capitoli

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2100001C</p>	<p>Foglio 10 di 87</p>

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 RI21, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 3 di 11 (Doc. Rif. [3]).

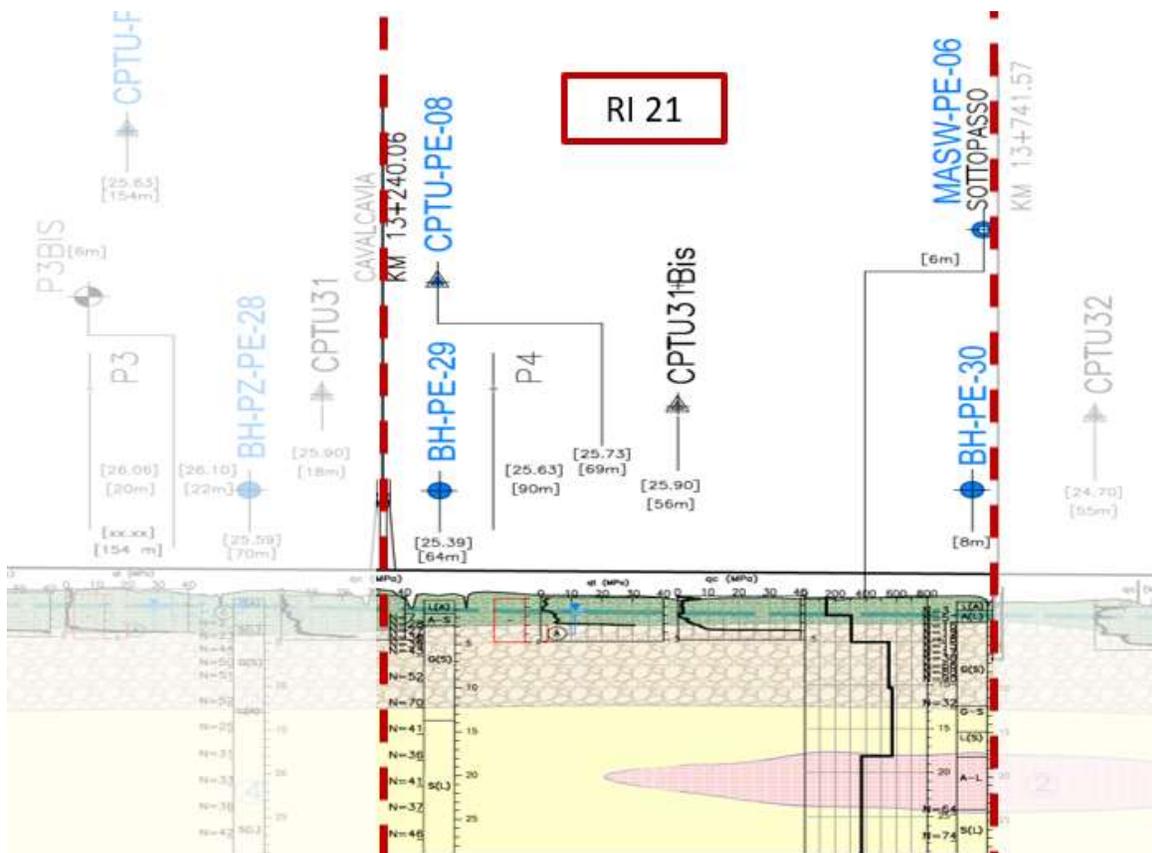


Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato RI21, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

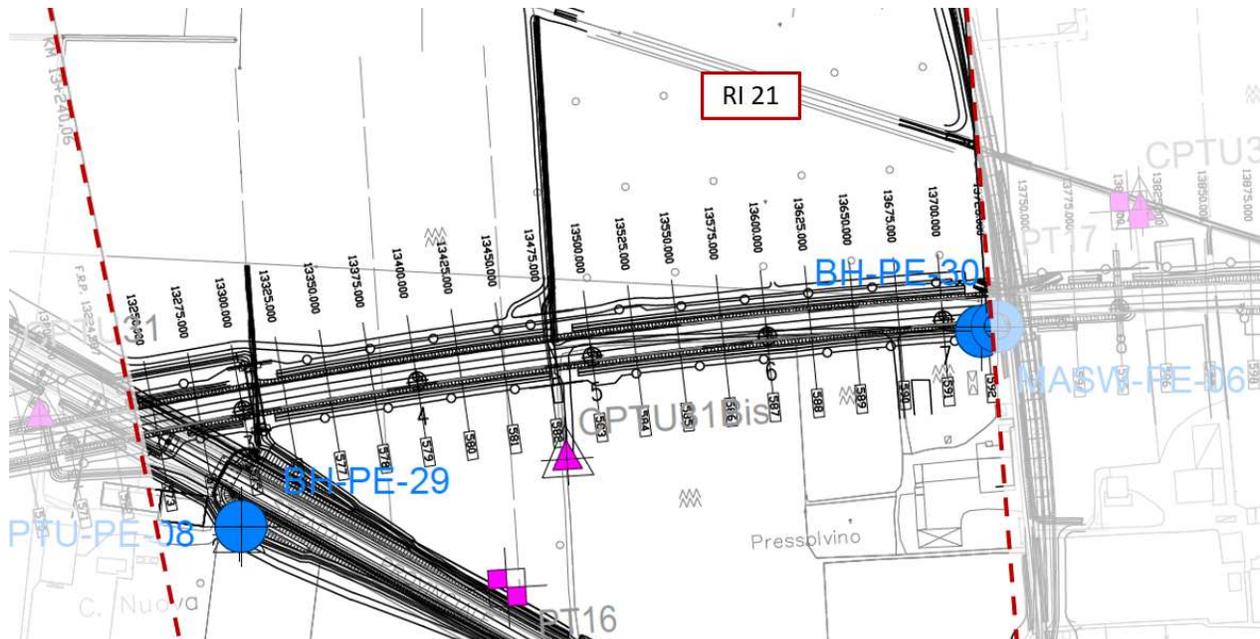


Figura 3 - Planimetria Rilevato RI21, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

4.3 Livello di falda

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 12 di 87

4.4 Condizioni geotecniche del sito

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

La Figura 5 mostra i risultati delle prove SPT eseguite nel tratto interessato dal rilevato in esame. I valori registrati sono indice di terreni molto sciolti ($SPT=3$), così come confermato dai valori di resistenza alla punta q_c , dell'ordine di 1-2 MPa, e talora anche inferiori ad 1.0 MPa. Le descrizioni dei materiali dei sondaggi, e le caratteristiche granulometriche stimabili dalla prova CPT indicano che tali coltri sono costituiti, in predominanza, da limi sabbiosi, localmente argillosi, generalmente sciolti.

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

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

Più in profondità si individua un deposito di sabbia limosa mediamente addensata (Unità 4), a partire dalla profondità di 12 m pc fino alla quota di fine sondaggi. In questo deposito le percentuali di materiale fino sono inferiori al 10%, i valori medi di N_{SPT} sono pari a 40 colpi/30cm con valori compresi tra 30 e 60 colpi/30cm. La densità relativa delle sabbie risulta generalmente attorno a 60-70%.

In corrispondenza del BH-PE-30 si riscontrano 3 m di argille limose (Unità 2), i valori di Pocket Penetrometer forniscono valori di $c_u=70$ kPa.

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI210001C	Foglio 13 di 87

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

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

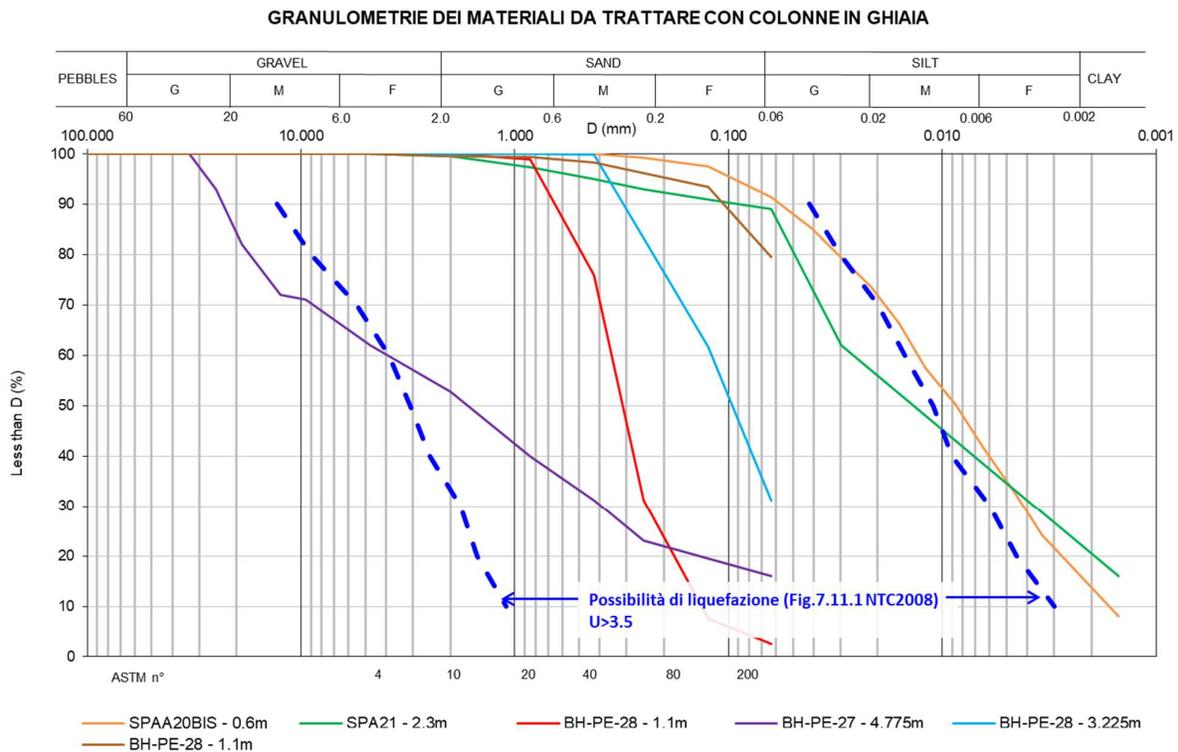


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche dei terreni suscettibili alla liquefazione



AV/AC VERONA VICENZA

RI21 pk 13+240 - pk 13+725

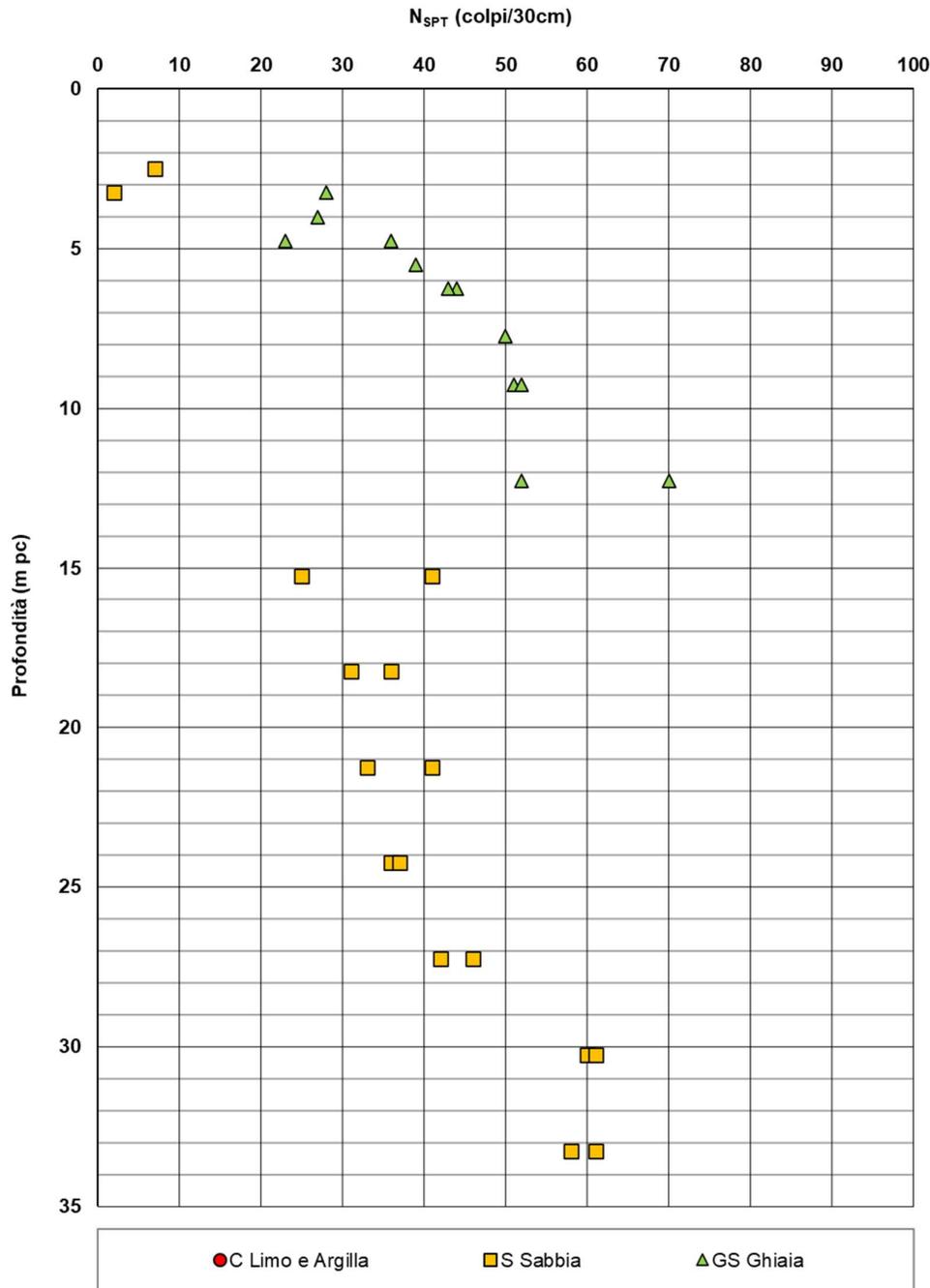


Figura 5 – Esito delle prove SPT tra pk 13+240 e pk 13+725



AV/AC VERONA VICENZA

RI21 pk 13+240 - pk 13+725

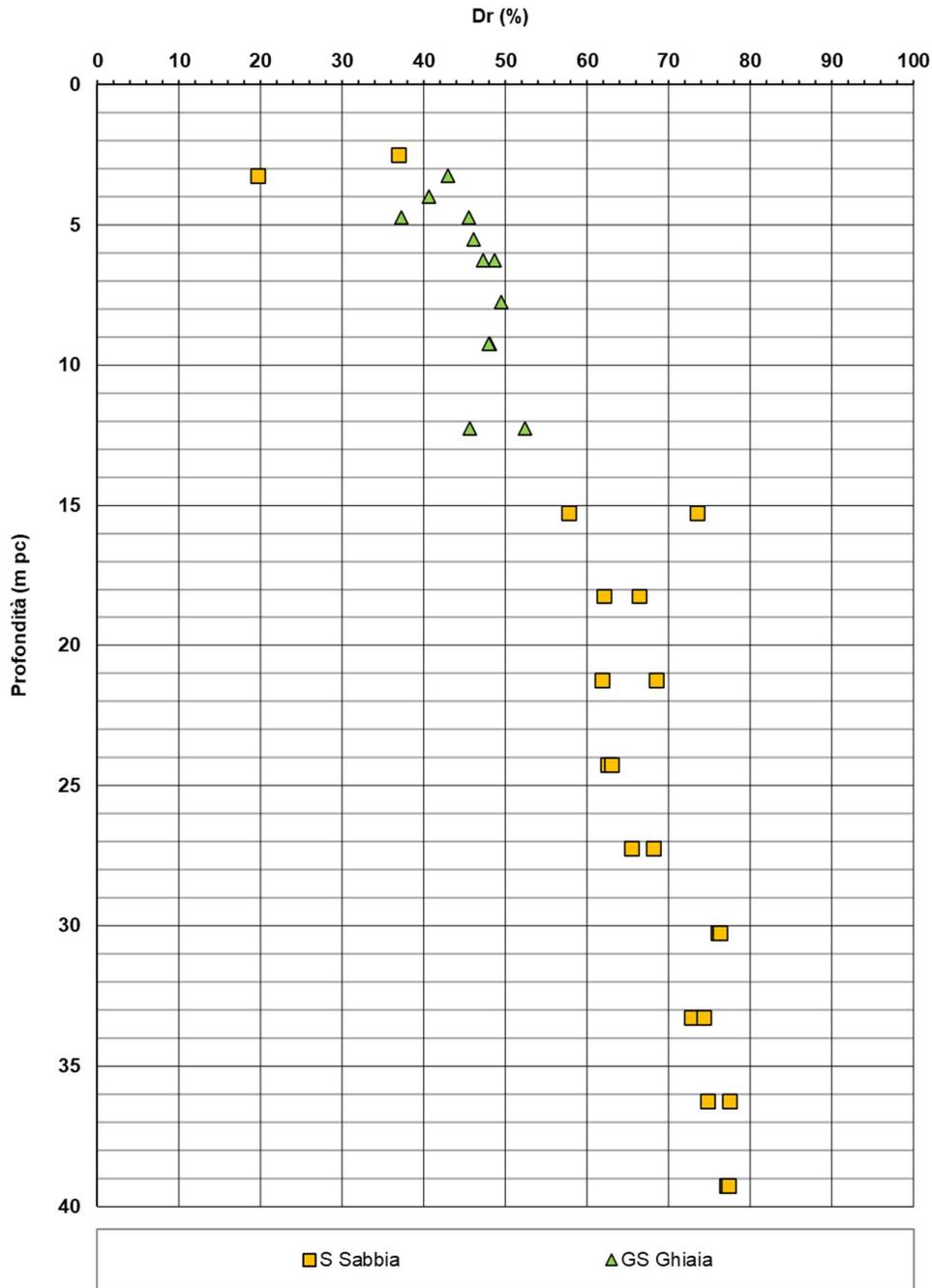


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT tra pk 13+240 e pk 13+725



AV/AC VERONA VICENZA

RI21 pk 13+240 - pk 13+725

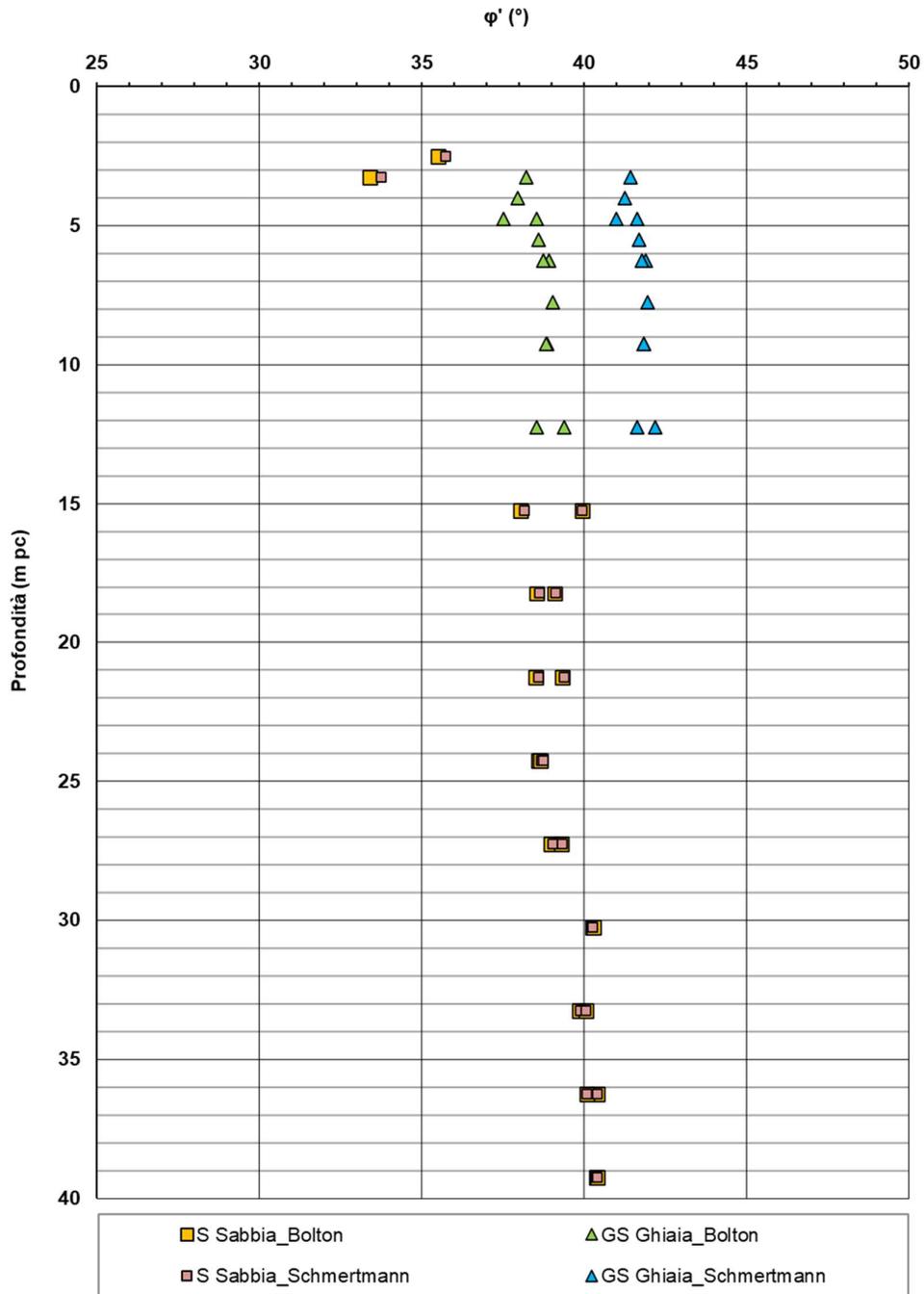


Figura 7 – Angoli di attrito da prove SPT tra pk 13+240 e pk 13+725

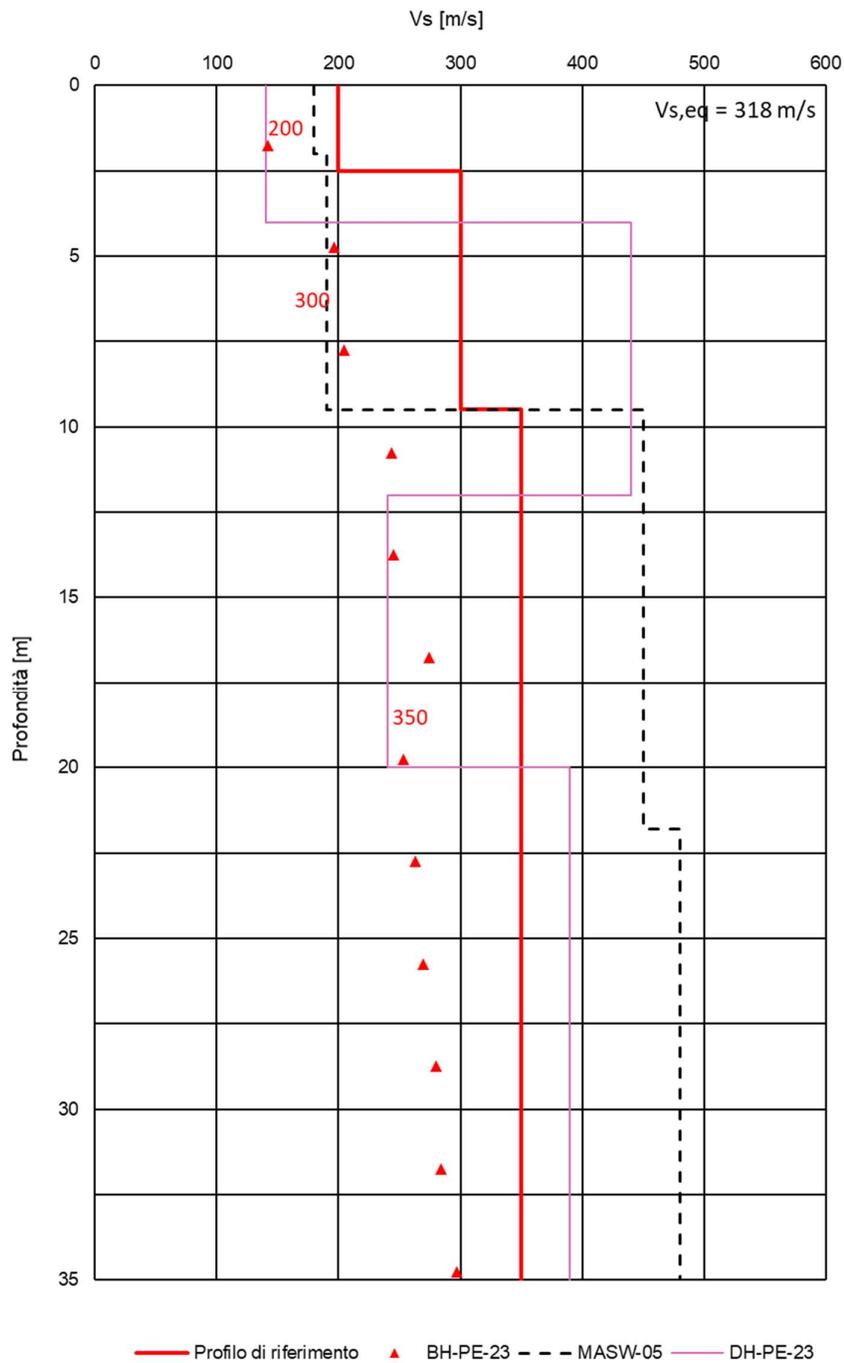


Figura 8 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW tra pk 13+240 e pk 13+725

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

18 di 87

AV/AC VERONA VICENZA

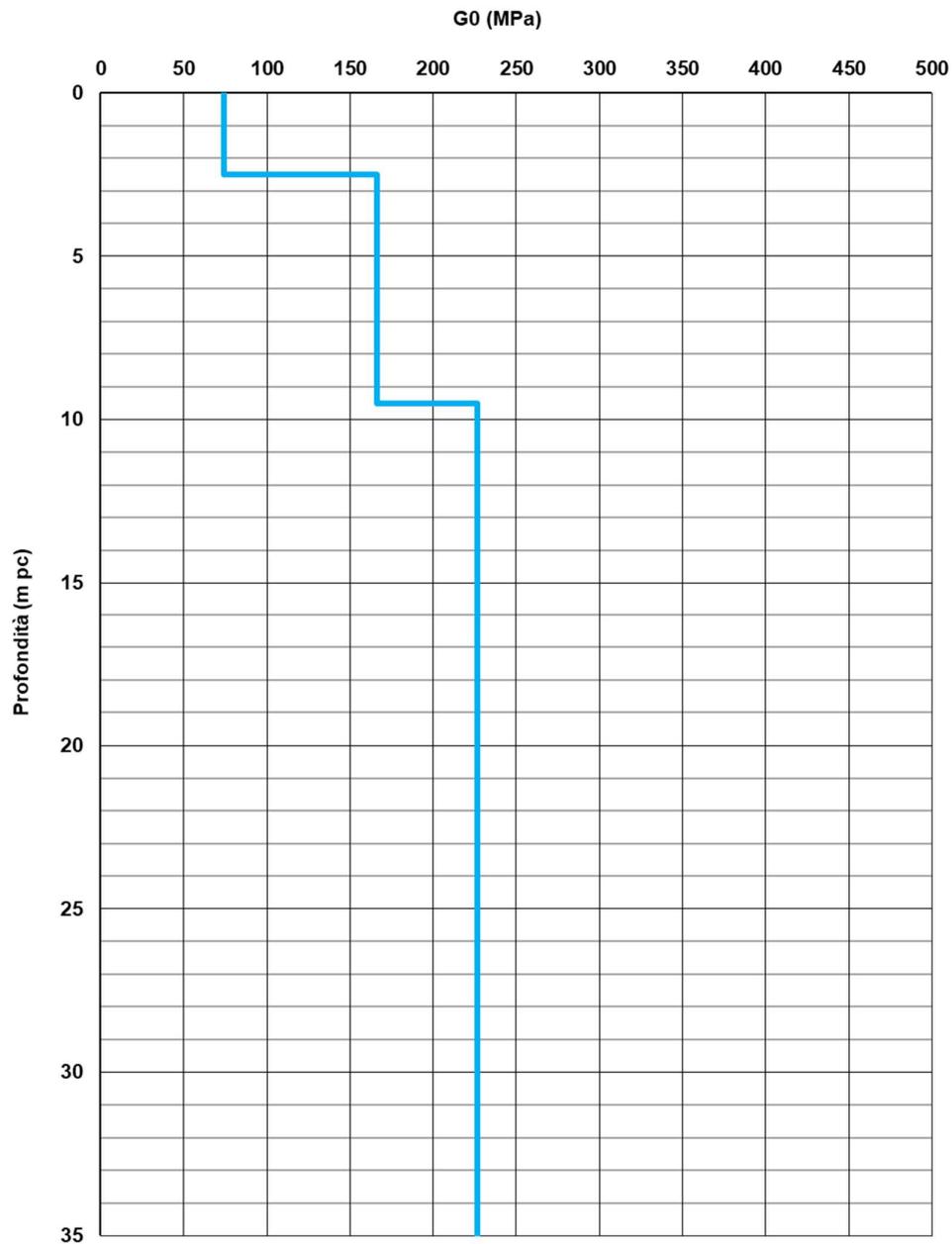


Figura 9 – Modulo di taglio G_0 tra pk 13+240 e pk 13+725

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 19 di 87

4.5 Sintesi del modello geotecnico di riferimento

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

Tabella 2 – Modello geotecnico di riferimento

Unità	da m pc*	a m pc*	γ kN/m ³	φ_k °	c_k' kPa	$c_{u,k}$ kPa	G_0 MPa	E'_{op} MPa
3a	0.5	3	18	34(36)**	-	-	-	5(12)**
6	3	12	19	39	0	-	160	60
4	12	-	19	38	0	-	230	80

* quota piano campagna = 25.6 m s.l.m.

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

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

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

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

4.5.1 Materiale da rilevato

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

Tabella 3 - Caratteristiche materiale da rilevato

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 20 di 87

5 CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

5.1 Sollecitazione sismica di progetto

5.1.1 Vita Nominale

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

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

Tabella 4 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

<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.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 21 di 87

Tabella 5 – Valori del coefficiente di uso C_u

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

5.1.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

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

5.1.4 Categorie di Sottosuolo

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

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

5.1.5 Condizioni topografiche

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

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

5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 22 di 87

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

5.2 Suscettibilità alla liquefazione

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

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

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

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

Facendo sempre riferimento al Doc. rif. [4] per i dettagli dell'analisi sopra descritta, e in continuità con le considerazioni 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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 23 di 87

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

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

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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 24 di 87

Idriss e Boulanger (2004) si è assunto per $M = 6.0 - MSF = 2$.

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

5.2.1 CRR da correlazione su prove CPT

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

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

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

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

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

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

dove 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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 25 di 87

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 l_c sono determinati al termine di una procedura iterativa, ipotizzando in prima istanza $n = 1$. Se l_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 l_c è ancora inferiore a 2.6, i nuovi valori di n e l_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:

$$q_{c1N_{es}} = q_{c1N} \cdot k_c$$

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

per $l_c \leq 1.64$

$$K_c = 1.0$$

per $l_c > 1.64$

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

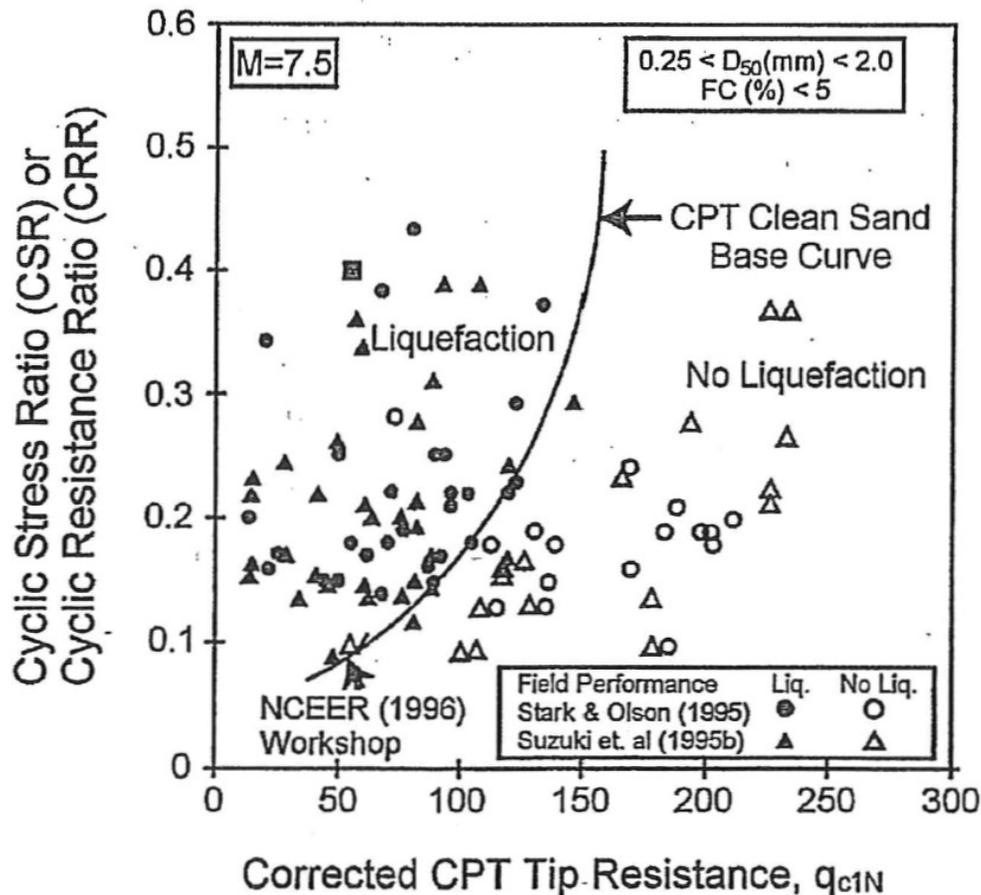


Figura 10: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 26 di 87

5.2.2 CRR da correlazione su prove SPT

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

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

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

dove:

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 27 di 87

Si può osservare dalla

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

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

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

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

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

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

In cui:

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 28 di 87

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

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

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

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

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

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

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

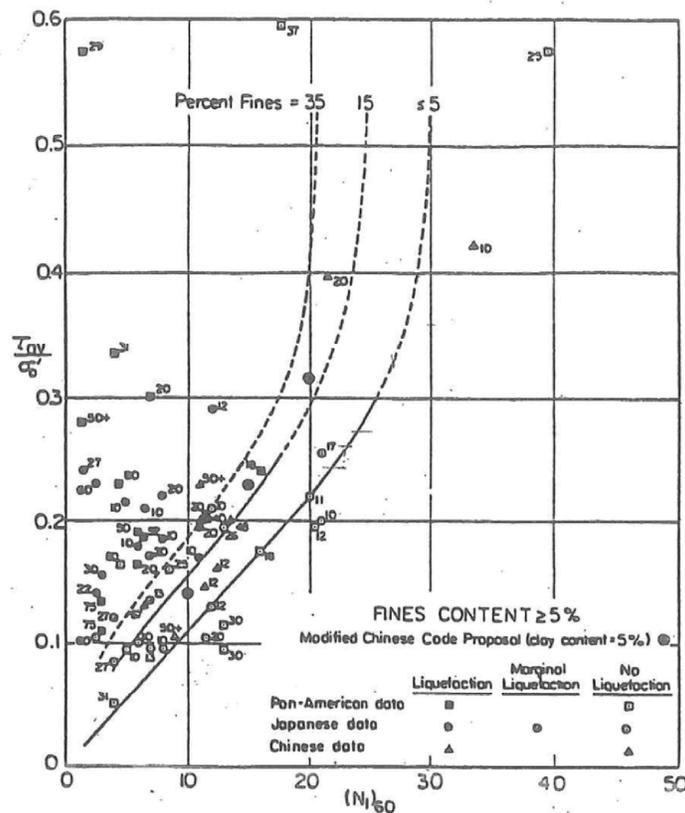


Figura 11: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

I risultati delle analisi (cfr. Figura 12 - Figura 15) indicano rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2100001C</p>	<p>Foglio 29 di 87</p>

interessata dal rilevato RI21. In particolare, dai risultati di CPTU-PE-07 e CPTU31bis e BH-PE-29 si evidenzia la presenza di 3 m di materiale potenzialmente liquefacibile, con $FL < 1.0$. Si sottolinea che gli strati argillosi eventualmente presenti, ancorché, a rigore, non potenzialmente liquefacibili, presentano comunque caratteristiche di resistenza al taglio molto modeste. Pertanto, anche in questo caso, l'effetto dei carichi ciclici si tradurrebbe in una perdita di capacità portante, difficilmente quantificabile ma ragionevolmente rilevante, tale da indurre situazione di potenziale rischio per la stabilità del rilevato.

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



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI210001C

Foglio
30 di 87

T tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-08 Pr. 13+285
 $\sigma_{max} = 0.30g$ $M_{calc} = 6$ $MSF = 2$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 2m

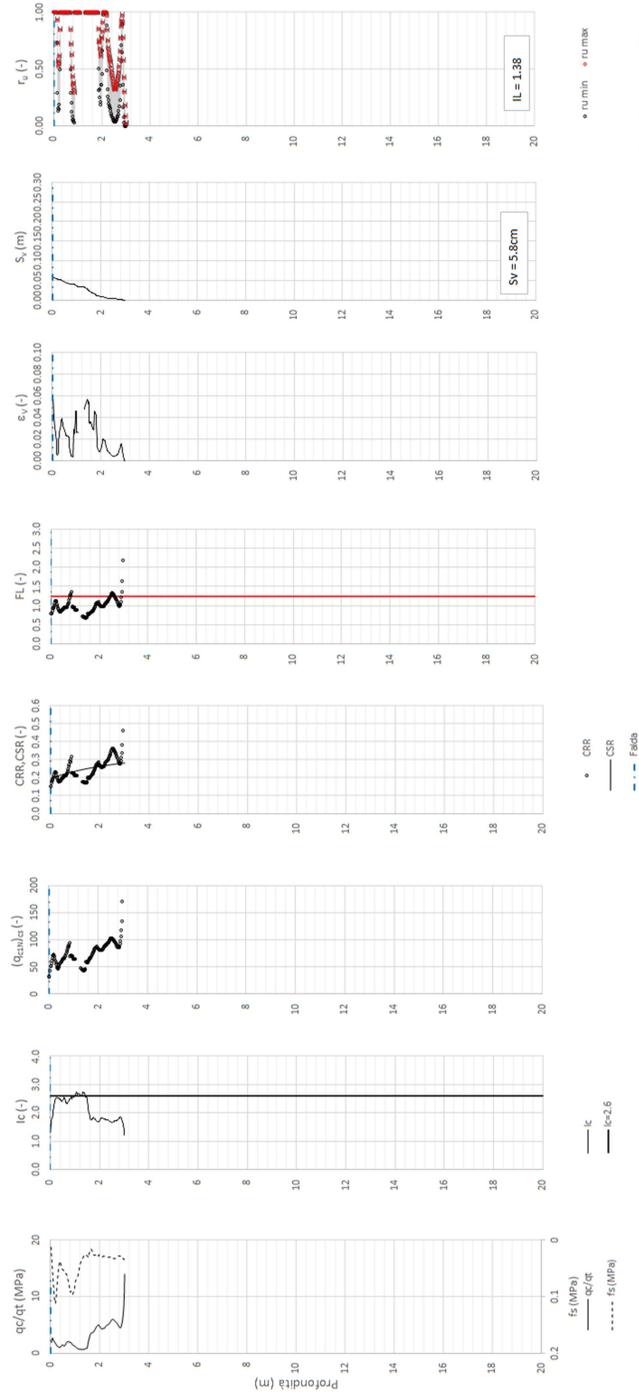


Figura 12 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-08

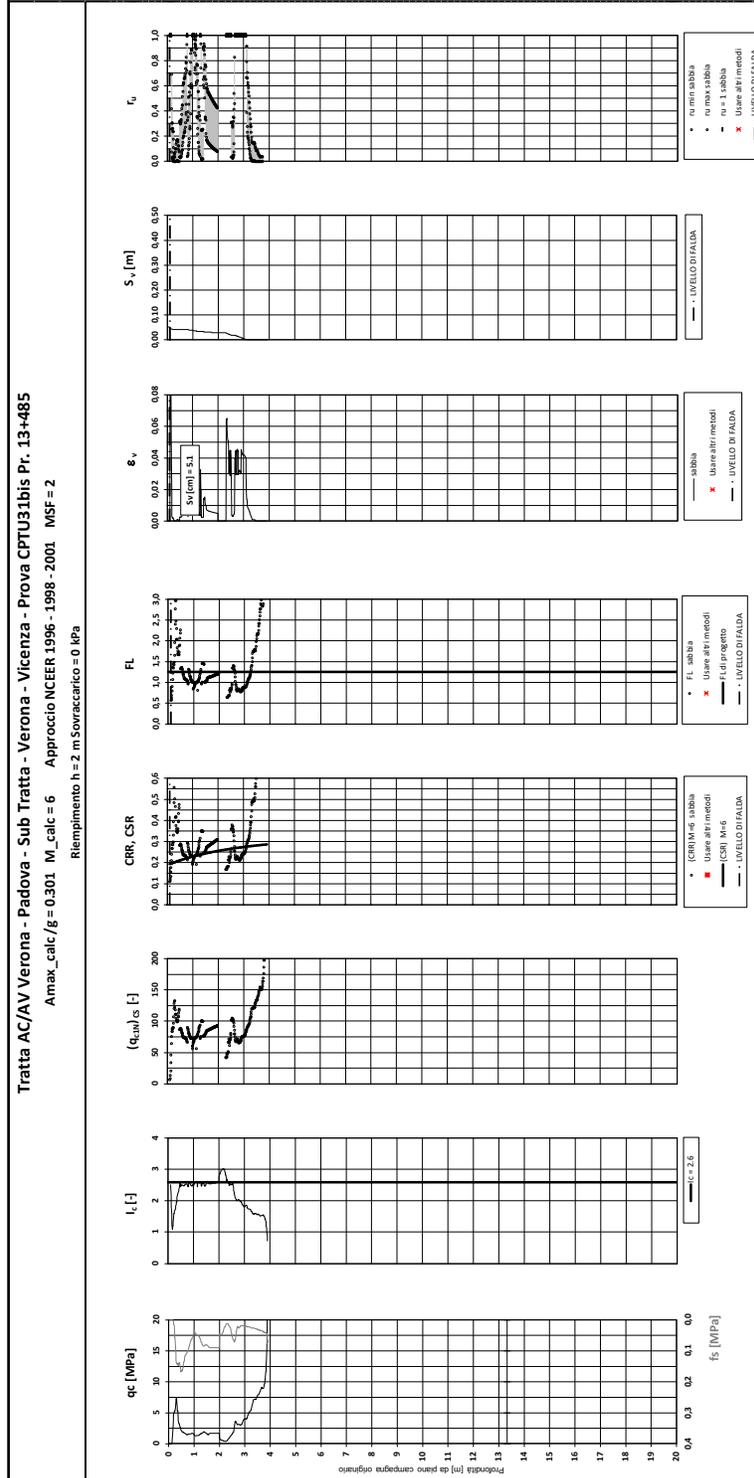


Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU31bis



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

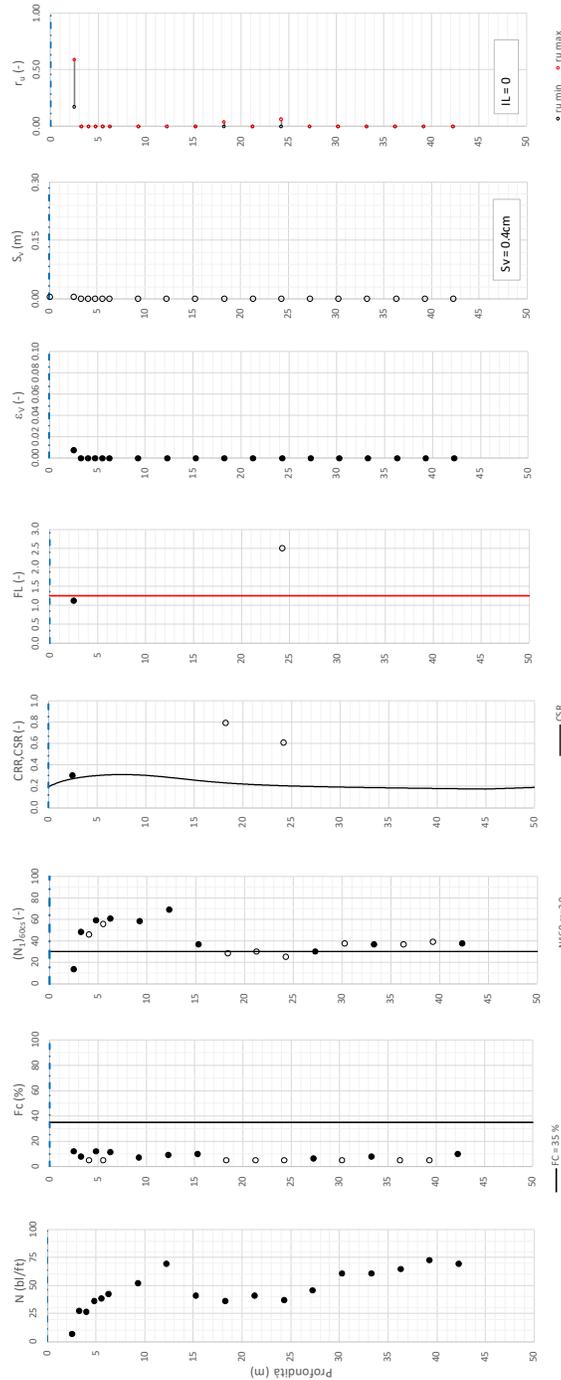
Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI210001C

Foglio
32 di 87

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-29 Pr. 13-300
a_{max} = 0.304g M_{calc} = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 2m



● Dati misurati in sito o calcolati sulla base di misure dirette
○ Dati basati sulla stima di valori tipici per lo strato

Foglio verificato/autorizzato da NCEER, 102

Figura 14 – Verifica Liquefazione da risultati BH-PE-29



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

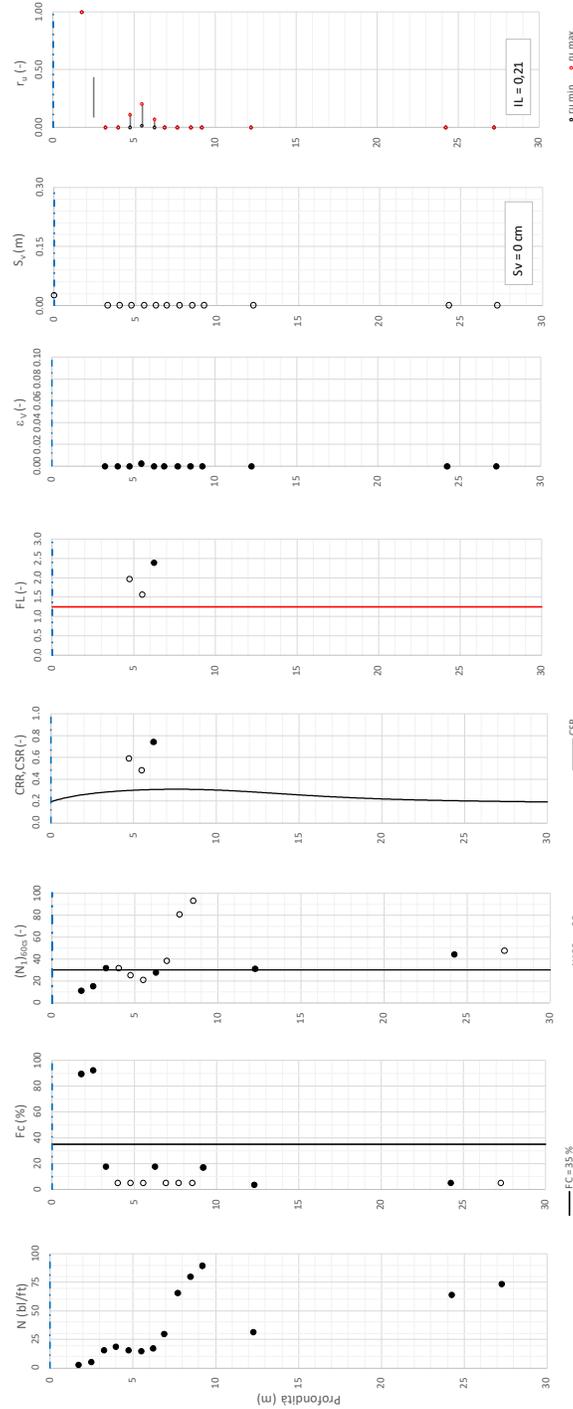
Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2100001C

Foglio
33 di 87

Trattata AC/AV Verona-Padova - Sub Trattata Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-30 Pr. 13+721
 $a_{max} = 0,30g$ $M_{calc} = 6$ $MSF = 2$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
 Altezza rilevato = Z_m



● Dati ricavati in sito e calcolati sulla base di misure dirette
 ○ Dati basati sulla stima di valori tipici per lo strato

Foglio Verba alla quotazione Nappi v. 102

Figura 15 – Verifica Liquefazione da risultati BH-PE-30

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2100001C</p>	<p>Foglio 34 di 87</p>

5.2.3 Soil improvement

Come illustrato nel paragrafo precedente, lungo tutta la tratta è presente uno strato di materiale a rischio di liquefazione per spessori di 4m. Pertanto, dalla pk 13+240 alla pk 13+725, si prescrive l'esecuzione di un trattamento di miglioramento delle caratteristiche dei terreni, mediante l'installazione di colonne in ghiaia aventi diametro $D=800$ mm, lunghezza $L=3$ m, interasse $i=2$ m, a maglia quadrata.

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

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

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

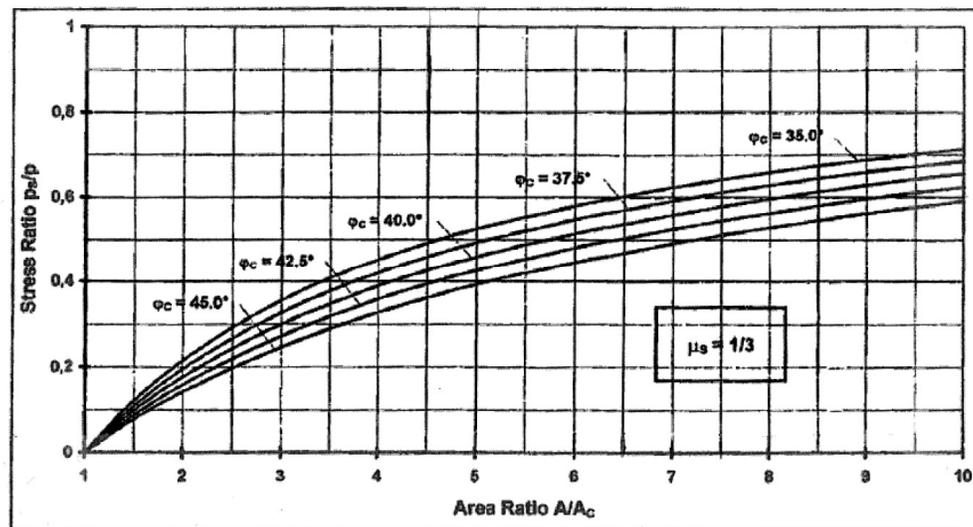


Figura 16 – Riduzione dello stress ratio sismico in funzione dell'area ratio delle colonne di ghiaia (Doc.Rif.[35])



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2100001C

Foglio
35 di 87

T tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPT-PE-08 Pr. 13+285
a_max = 0.180kg M_calic = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 2m

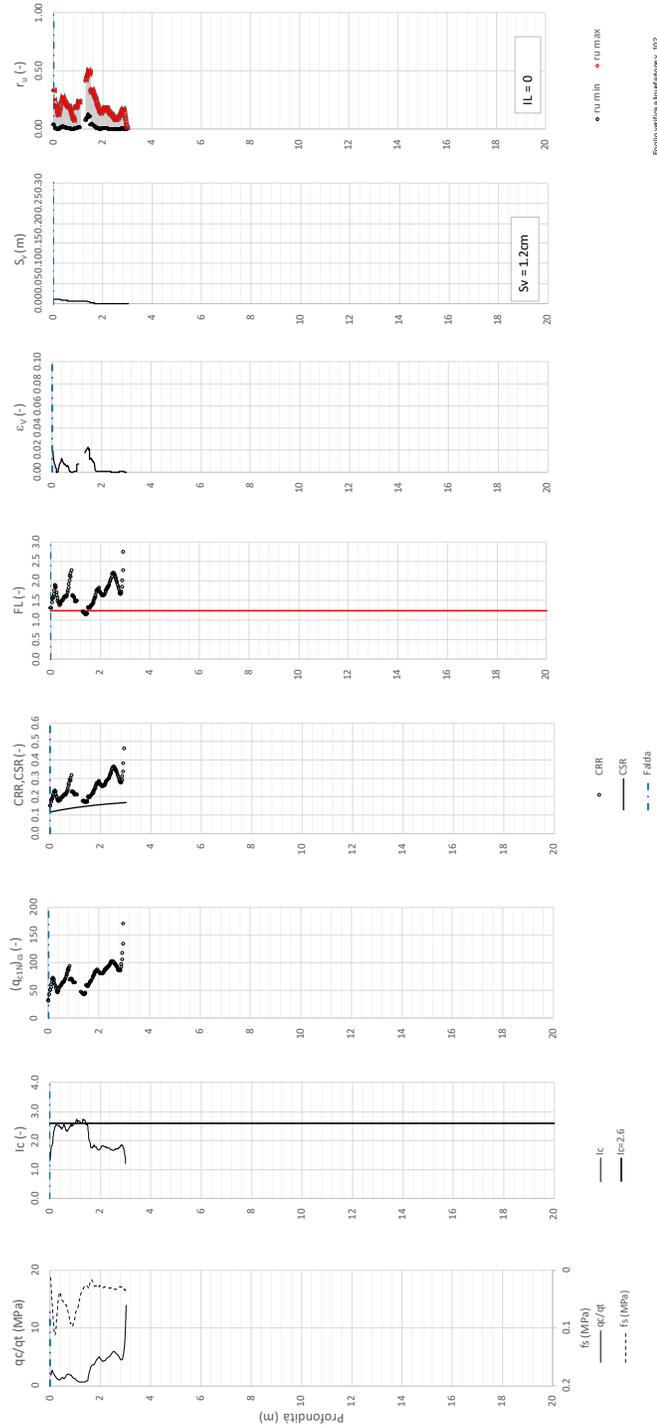


Figura 17 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-08 dopo soil improvement

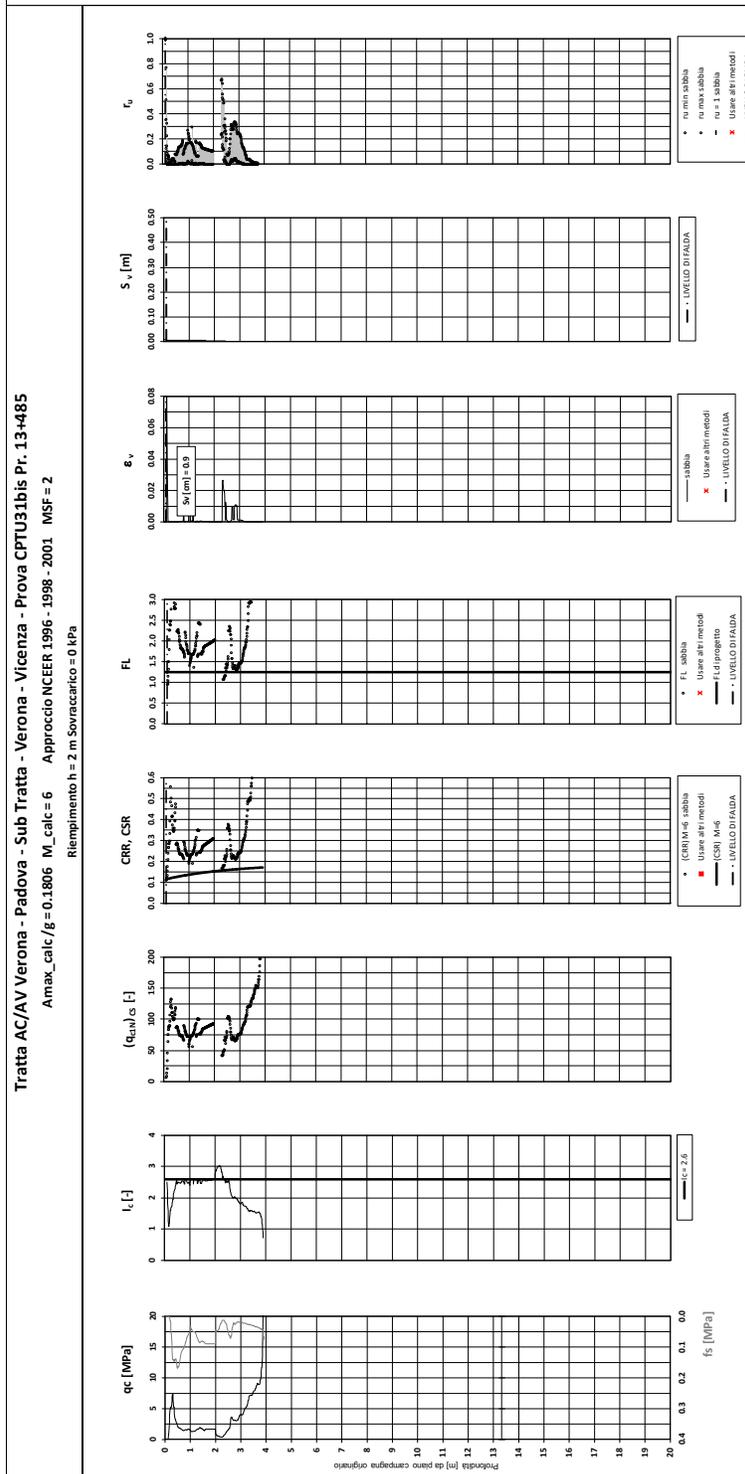


Figura 18 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU31bis dopo soil improvement



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

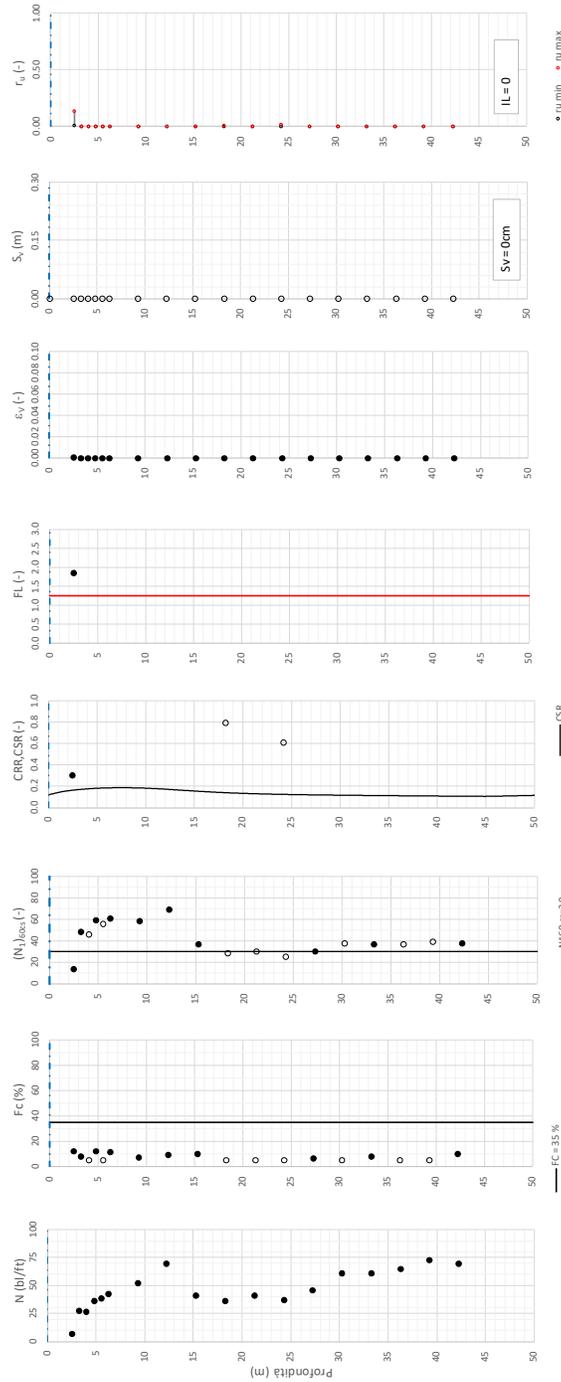
Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2100001C

Foglio
37 di 87

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-29 Pr. 13-300
a_{max} = 0.180kg, M_{calc} = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 2m



● Dati misurati in sito o calcolati sulla base di misure dirette
○ Dati basati sulla stima di valori tipici per lo strato

Foglio verificata l'installazione N. 102

Figura 19 – Verifica Liquefazione da risultati BH-PE-29 dopo soil improvement

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 38 di 87

6 VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO

6.1 Criteri di verifica agli Stati Limite

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

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

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

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

dove:

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

R_d valore di progetto della resistenza.

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

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

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

dove:

E_d valore di progetto dell'effetto dell'azione;

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

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

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

6.1.1 Stati limite ultimi (SLU)

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

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

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

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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 39 di 87

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 40 di 87

6.1.2 Stati limite di esercizio (SLE)

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

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

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

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

	V ≤ 160 km/h	160 < V ≤ 300 km/h
1° livello di qualità	$\Delta H \leq 10$ SCARTXL ≤ 6	$\Delta H \leq 10$ SCARTXL ≤ 4
2° livello di qualità	$10 < \Delta H \leq 15$ $6 < \text{SCARTXL} \leq 10$	$10 < \Delta H \leq 15$ $4 < \text{SCARTXL} \leq 8$
3° livello di qualità esecuzione a breve termine anche in relazione ai limiti di sghembo (2)	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) $10 < \text{SCARTXL} \leq 14$	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) $8 < \text{SCARTXL} \leq 12$
(1) il valore di 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.

6.2.1 Azioni permanenti

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 41 di 87

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, qui determinati sulla base dello schema di carico più gravoso tra quelli previsti dalle NTC 2008, dalle Norme Europee e, conseguentemente, dal Manuale di Progettazione di RFI. In particolare, tale carico tiene conto della diffusione a partire dalla traversa e fino al piano di posa del ballast, secondo le prescrizioni di NTC e MdP. Nello specifico, è stato considerato il caso peggiore tra i tre modelli di carico previsti, ossia LM71, SW/0 ed SW/2. Per ogni binario, tale azione risulta essere pari a 61.4 kPa (LM71), da applicarsi su una superficie definita dalla larghezza della traversa e dalla larghezza di diffusione del carico nel ballast (2.8 m² 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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 42 di 87

6.3 Verifiche e risultati SLU

6.3.1 Premessa

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

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

$$FS \geq R2 = 1.1.$$

è verificata sia in condizioni statiche che sismiche.

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

6.3.2 Verifiche SLU in condizione statiche

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

Per quanto riguarda la falda, è stata considerata la condizione a lungo termine e quindi è stato preso un livello coincidente a piano campagna, come riportato nel paragrafo 4.3. Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria. In Figura 20 sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2. Il valore minimo di FS è pari a:

$$FS_{MIN} (DA1C2) = 1.437 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

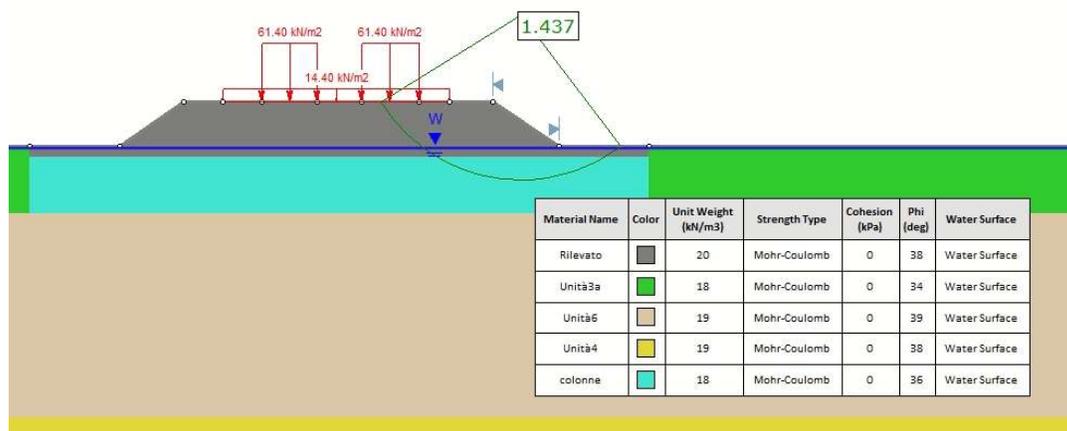


Figura 20 - Rilevato RI21 - Analisi SLU in campo statico DA1C2

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2100001C</p>	<p>Foglio 43 di 87</p>

6.3.1 Verifiche SLU in condizioni sismiche

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

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

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

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

In Figura 21 sono riportate le superfici di rottura critiche. Il fattore di sicurezza FS è pari a:

$$FS_{MIN} = 1.255 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale post liquefazione risulta soddisfatta.

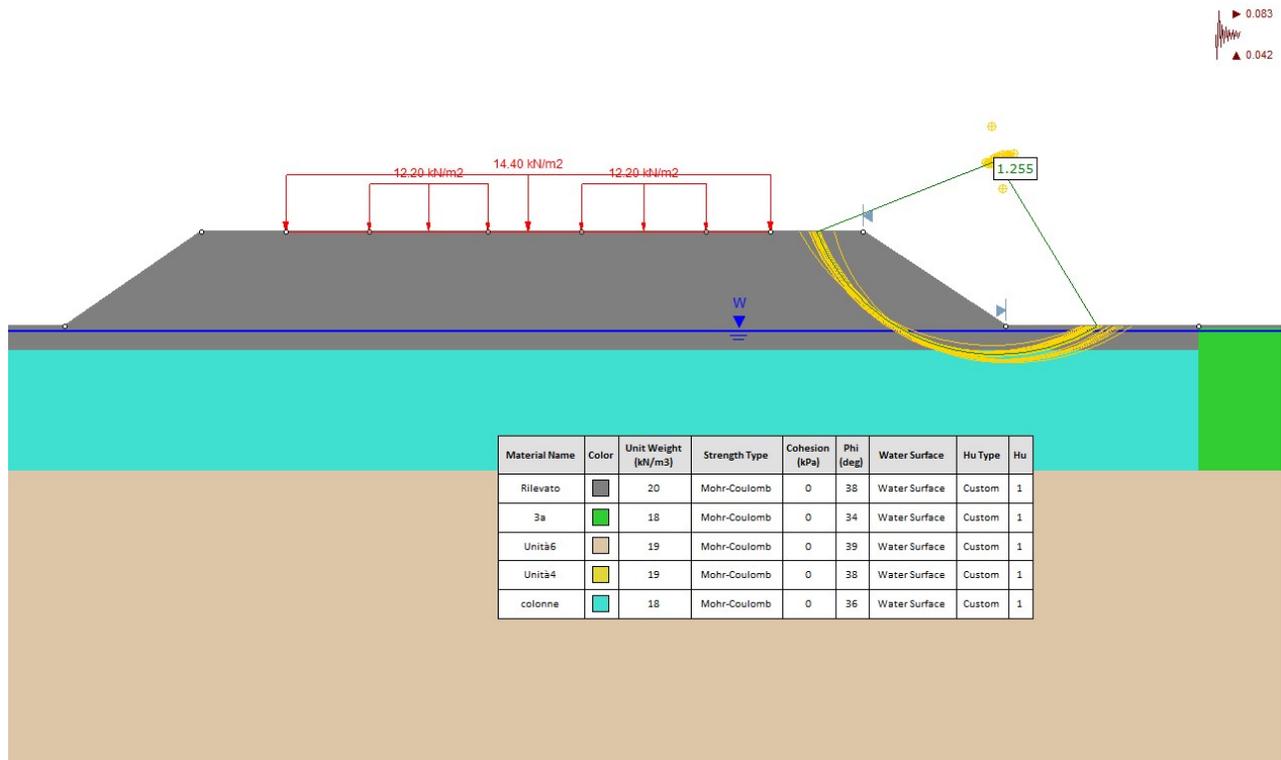


Figura 21 - Rilevato RI21 - Analisi SLU in campo sismico

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 44 di 87

6.3.2 Verifiche SLU in condizioni post sismiche

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

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

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

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

$$FS_{MIN}=1.665 > R2=1.1$$

la verifica di stabilità globale post liquefazione risulta soddisfatta.

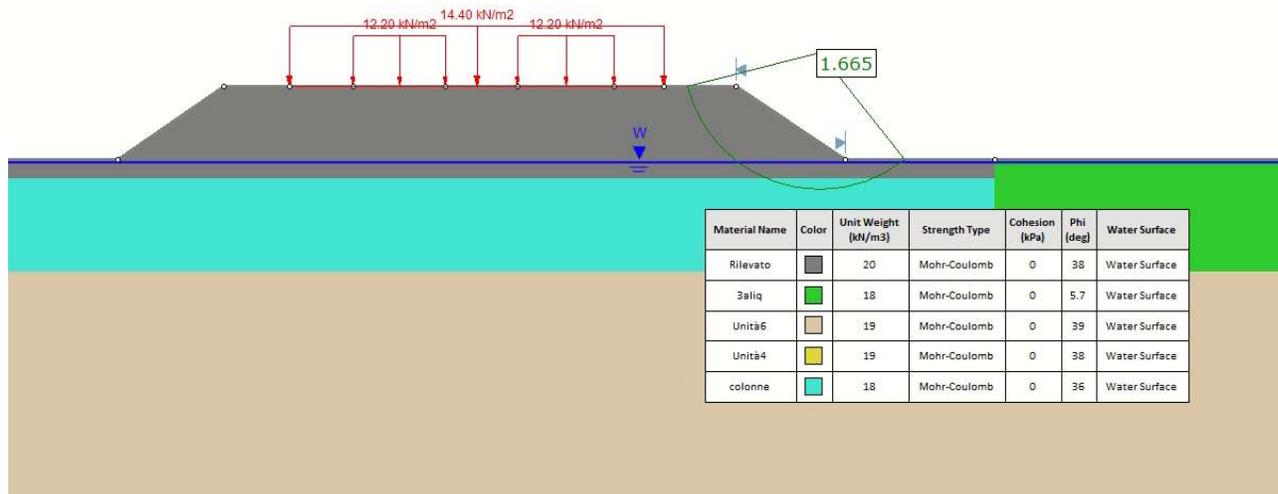


Figura 22 - Rilevato RI21 - Analisi SLU in condizioni post sisma

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 45 di 87

6.4 Verifica e risultati SLE

6.4.1 Metodologia di calcolo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

q = carico applicato

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.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 46 di 87

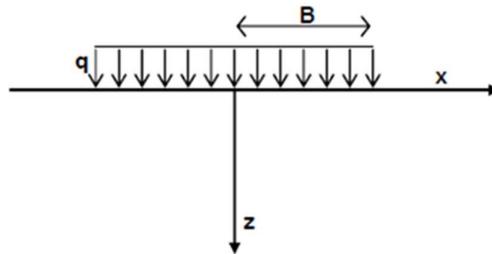


Figura 23 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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:

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

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

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

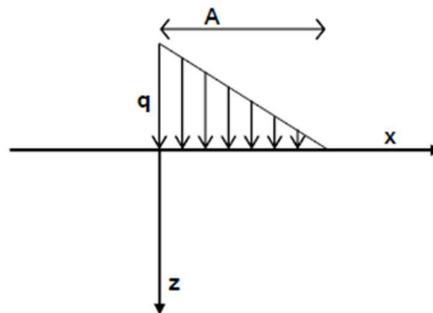


Figura 24 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2100001C	Foglio 47 di 87

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

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

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

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

dove

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

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

6.4.2 Schematizzazione e risultati

La verifica è stata condotta con riferimento alla già citata sezione di riferimento A riportata in Figura 1. Il modello di calcolo implementato per il rilevato tipologico con altezza pari a 2.20 m è riportato in Figura 25. La larghezza del rilevato è pari a 18.5 m, con pendenza delle scarpate è 2V:3H. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici definiti in Tabella 2.

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

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

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

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

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

Il cedimento calcolato in corrispondenza del centro del nuovo rilevato è di circa 3 cm. Tenendo conto che la stratigrafia è caratterizzata da materiali sciolti, tali cedimenti si esauriranno praticamente all'atto dell'applicazione dei carichi, e quindi non risultano essere necessarie dettagliate analisi di consolidazione.

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

La verifica SLE è quindi da considerarsi soddisfatta.

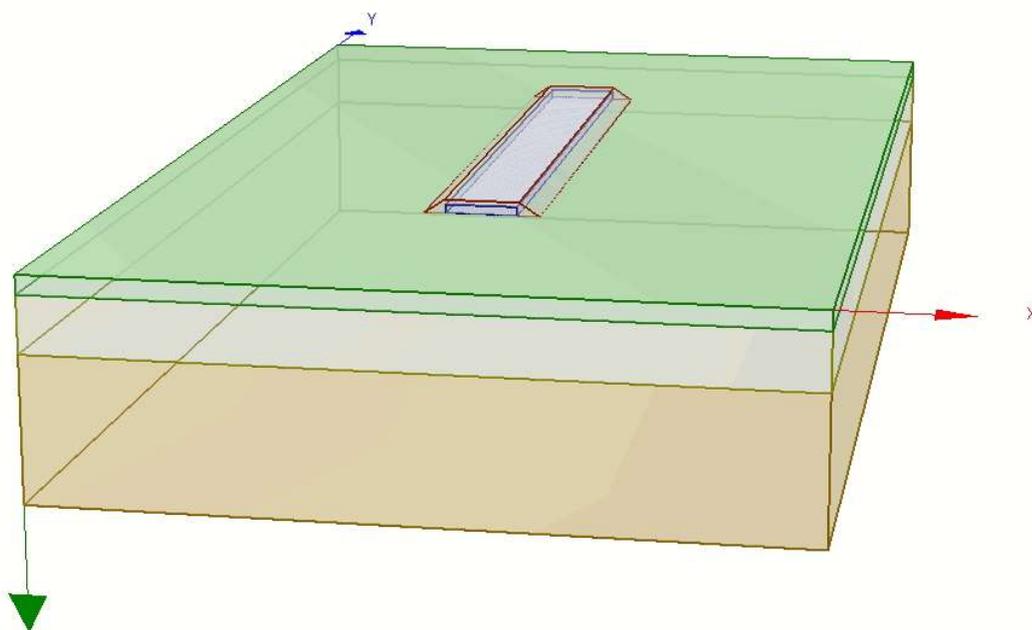


Figura 25 - Rilevato H=2.20 m - Analisi SLE – Modello di calcolo

Ri21: Cedimento del rilevato ferroviario linea AV

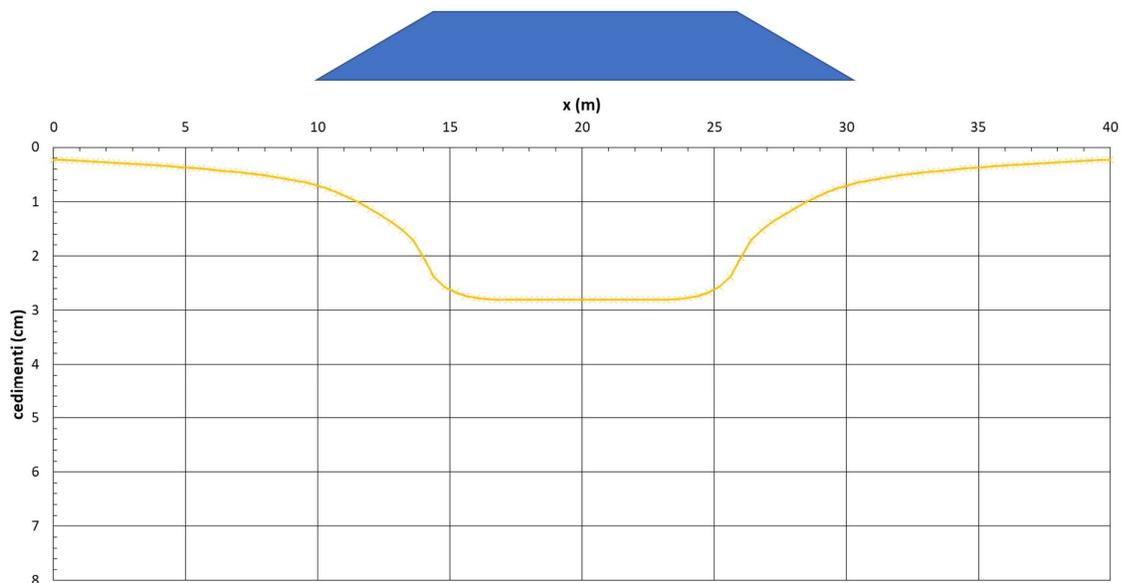


Figura 26 - Analisi SLE – Risultato Cedimenti

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

49 di 87

Ri21: cedimento al centro del rilevato AV

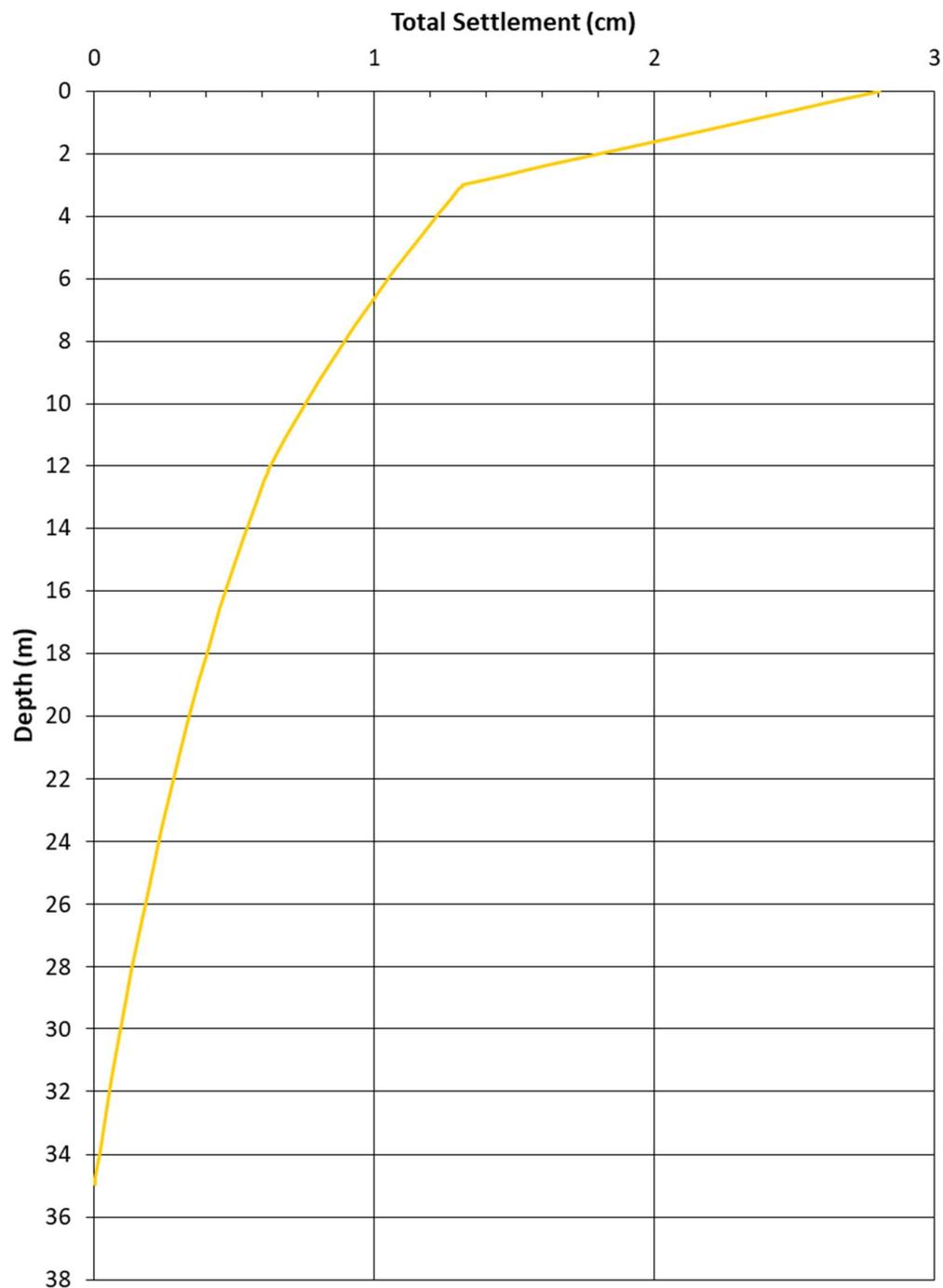


Figura 27 - Analisi SLE – Risultato cedimenti in profondità al centro del rilevato

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2100001C</p>	<p>Foglio 50 di 87</p>

7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

51 di 87

ALLEGATI

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

52 di 87

ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



R19 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	
	IN17	11	EI2GERI190001	A

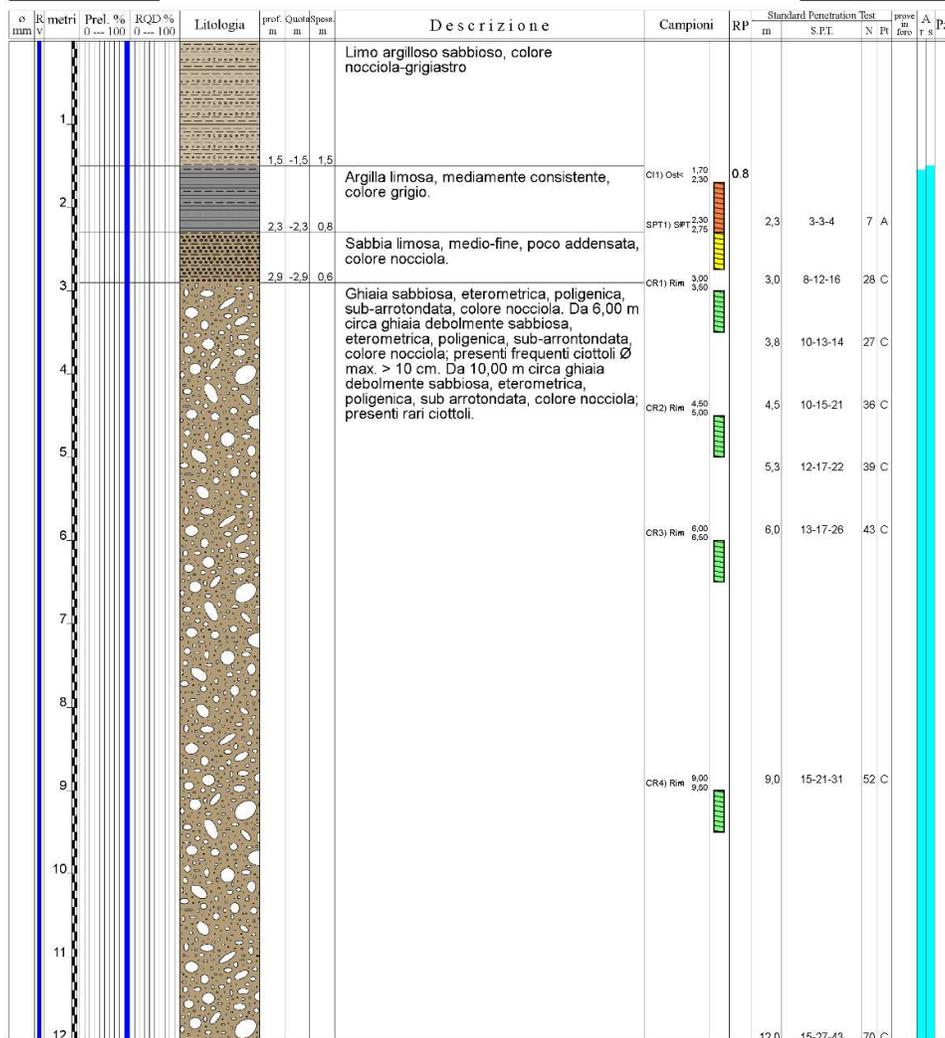
ALLEGATO 2 - SONDAGGI

Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 29
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 17/11/2020 - 19/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 66, prog. 13+305	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 29

Pagina 1/4



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

56 di 87

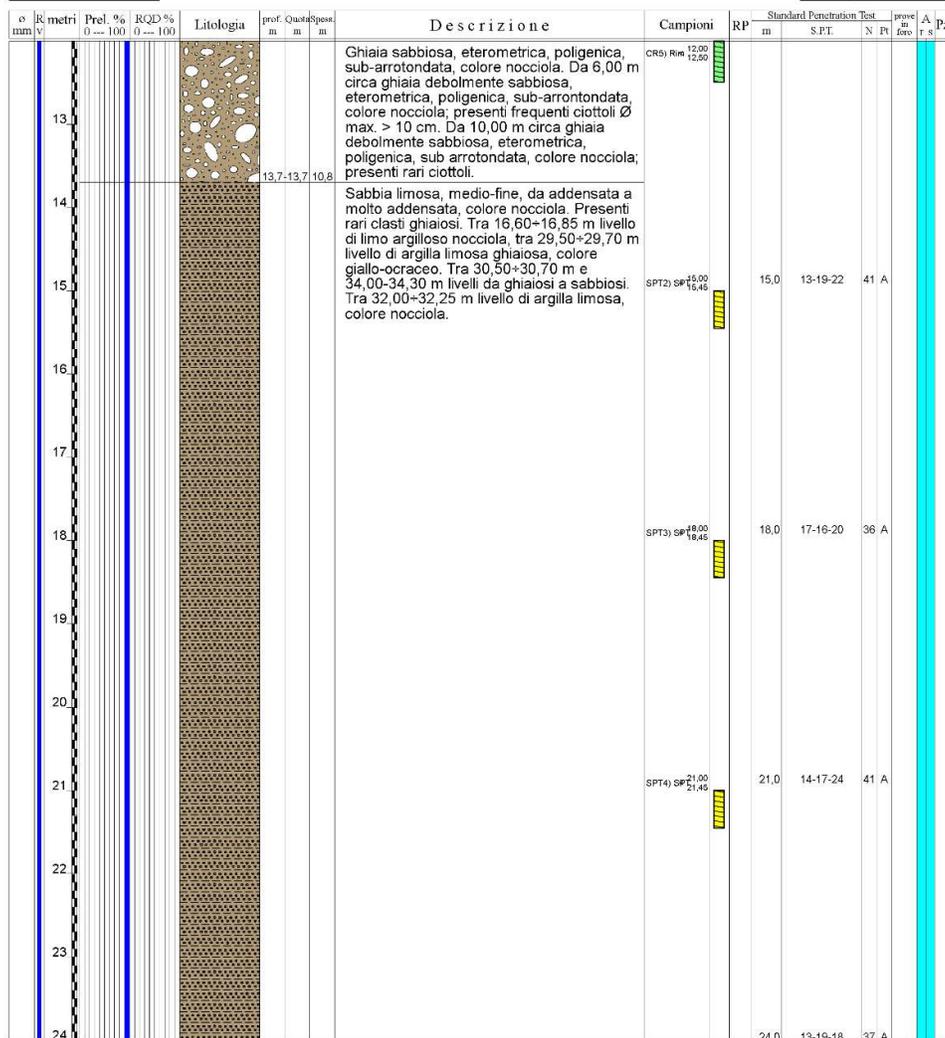


Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 29
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 17/11/2020 - 19/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 66, prog. 13+305	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 29

Pagina 2/4



Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gabriele Sproccati

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

57 di 87



Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 29
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 17/11/2020 - 19/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 66, prog. 13+305	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 29

Pagina 3/4

o mm	R m	Prel. % 0 --- 100	RQD % 0 --- 100	Litologia	prof. m	Quota m	Spes. m	Descrizione	Campioni	RP m	Standard Penetration Test			prove in foro	A r s	Pz
											S.P.T.	N	Pt			
								Sabbia limosa, medio-fine, da addensata a molto addensata, colore nocciola. Presenti rari clasti ghiaiosi. Tra 16,60+16,85 m livello di limo argilloso nocciola, tra 29,50+29,70 m livello di argilla limosa ghiaiosa, colore giallo-ocraceo. Tra 30,50+30,70 m e 34,00-34,30 m livelli da ghiaiosi a sabbiosi. Tra 32,00+32,25 m livello di argilla limosa, colore nocciola.	SPT5) SP ^{24,00} _{24,46}							
25																
26																
27									SPT6) SP ^{27,00} _{27,46}	27,0	19-21-25	46	A			
28																
29																
30									SPT7) SP ^{30,00} _{30,46}	30,0	21-29-32	61	A			
31																
32																
33									SPT8) SP ^{33,00} _{33,46}	33,0	19-26-35	61	A			
34																
35																
36										36,0	16-30-35	65	A			

Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gabriele Sproccati



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI2100001C

58 di 87



Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 29
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 17/11/2020 - 19/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 66, prog. 13+305	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 29

Pagina 4/4

o mm	R m	Prel. % 0 --- 100	RQD % 0 --- 100	Litologia	prof. m	Quota m	Spes. m	Descrizione	Campioni	RP m	Standard Penetration Test			prove in foro	A r s	Pz
											S.P.T.	N	Pt			
								Sabbia limosa, medio-fine, da addensata a molto addensata, colore nocciola. Presenti rari clasti ghiaiosi. Tra 16,60+16,85 m livello di limo argilloso nocciola, tra 29,50+29,70 m livello di argilla limosa ghiaiosa, colore giallo-ocraceo. Tra 30,50+30,70 m e 34,00-34,30 m livelli da ghiaiosi a sabbiosi. Tra 32,00+32,25 m livello di argilla limosa, colore nocciola.	SPT9) SP 28,00 36,46							
37,0																
38,0																
39,0									SPT10) SP 30,00 36,46	39,0	21-31-42	73	A			
40,0																
41,0																
42,0									SPT11) SP 22,00 42,45	42,0	16-31-39	70	A			
43,0																
44,0																
45,0					45,0-45,0	31,3										

Utilizzato carotiere semplice.
Prelevato n. 1 campione indisturbato.
Prelevati n. 5 campioni rimaneggiati.
Prelevati n. 11 campioni rimaneggiati SPT.
Eseguite n. 18 prove SPT.

Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 30
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 13/11/2020 - 16/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 66, prog. 13+740	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 30

Pagina 1/3

o mm	R v	Prof. % 0 --- 100	RQD % 0 --- 100	Litologia	prof. Quota m m	Spes. m	Descrizione	Campioni	RP m	Standard Penetration Test S.P.T.	N	Pt	prove in foro	A r s	Pz
1				Limo argilloso, colore marrone, passante a 0,90 m a limo sabbioso, colore marrone. Presenti rari clasti ghiaiosi e piccoli pezzi di coifo.	1,0	1,0									
2				Argilla limosa, mediamente consistente, colore da marrone a grigio.				SPT1) SWT 1,50 1,95	0,8 1,0	1,5	1-1-2	3	A		
3				Sabbia limosa, medio-fine, colore nocciola.	2,4	2,4	1,4								
4				Ghiaia sabbiosa, eterometrica, poligenica, sub-arrotondata, colore nocciola. Presenti ciottoli Ø max. 10 cm. Da 7,50 m circa più frequenti ciottoli Ø max. >10 cm.	2,6	2,6	0,1								
5								CR1) Rm 3,00 3,50	3,0		6-8-8	16	C		
6								CR2) Rm 4,50 5,00	4,5		7-6-10	16	C		
7								CR3) Rm 6,00 6,50	6,0		5-6-9	15	C		
8								CR4) Rm 7,50 8,00	7,5		10-13-17	30	C		
9								CR5) Rm 9,00 9,50	9,0		25-29-37	66	C		
10				Ghiaia debolmente sabbiosa, eterometrica, poligenica, sub-arrotondata, colore nocciola.	10,0	10,0	7,5								
11															
12				Sabbia debolmente limosa, medio-fine, addensata, colore da marrone chiaro a nocciola.	11,9	11,9	1,9								
									12,0		9-15-17	32	A		

Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gabriele Sproccati

Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 30
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 13/11/2020 - 16/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 66, prog. 13+740	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 30

Pagina 2/3

o mm	R v	Prof. % 0 --- 100	RQD % 0 --- 100	Litologia	prof. m	Quota m	Spes. m	Descrizione	Campioni	RP m	Standard m	Penetration S.P.T.	Test N	Pt	prove in foro	A r	Pz
13				Sabbia debolmente limosa, medio-fine, addensata, colore da marrone chiaro a nocciola.	12,6-12,6		0,7		SPT3) SR 12,00 12,46								
13				Ghiaia sabbiosa, eterometrica, policengica, sub-arrotondata, colore da marrone chiaro a nocciola.	13,7-13,7		1,1										
14				Sabbia limosa, medio-fine, colore da nocciola ad ocra.	14,2-14,2		0,6										
14				Ghiaia sabbiosa, eterometrica, poligenica, subarrotondata, colore da nocciola ad ocra.	14,9-14,9		0,7										
15				Limo sabbioso, colore da nocciola ad ocra.	15,5-15,5		0,6		C11) Ostr 15,00 16,50								
16				Sabbia limosa, localmente debolmente ghiaiosa, medio-fine, colore da nocciola ad ocra.	17,8-17,8		2,3										
18				Argilla da limoso torbosa, colore marrone a limosa, colore grigio.	18,6-18,6		0,9		C12) Ostr 18,00 19,50								
19				Argilla limosa, consistente, colore da grigio nocciola a grigio scuro. Presenti sparsi resti vegetali nerastri. Tra 19,95-20,30 m presenti frequenti noduli calcarei Ø max. 3 cm.	20,3-20,3		1,7										
20				Limo argilloso, consistete, colore da grigio nocciola a grigio chiaro. Presente livello di potenza 8-10 cm di limo sabbioso e frequenti clasti selciferi nel limo argilloso.	21,8-21,8		1,5										
22				Alternanze di limo argilloso, limo sabbioso e argilla limosa, materiale consistente, colore da arancio-ocrea a nocciola.	23,8-23,8		2,0		CR6) Rim 22,80 23,00								
24				Sabbia limosa, medio-fine, colore nocciola; tra 24,70-25,00 m ossidata, colore marrone bruno-ocrea.													

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

61 di 87



Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 30
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 13/11/2020 - 16/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 66, prog. 13+740	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 30

Pagina 3/3

o mm	R metri	Prel. % 0 --- 100	RQD % 0 --- 100	Litologia	prof. m	Quota m	Spes. m	Descrizione	Campioni	RP m	Standard Penetration Test S.P.T.	N	Pt	prove in foro	A r s	Pz
	25							Sabbia limosa, medio-fine, colore nocciola; tra 24,70+25,00 m ossidata, colore marrone bruno-ocraceo.	SPT4) SP 24,00 24,46							
	26															
	27								SPT5) SP 27,00 27,46	27,0	20-33-41	74	A			
	28															
	29															
101	30				30,0	30,0	6,3									

Utilizzato carotiere semplice.
Prelevati n. 2 campioni indisturbati.
Prelevati n. 6 campioni rimaneggiati.
Prelevati n. 5 campioni rimaneggiati S.P.T.
Eseguite n. 14 prove SPT.
Approvvigionamento e trasporto di acqua necessaria per la perforazione.

Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gabriele Sproccati

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

62 di 87

ALLEGATO 3- TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

63 di 87

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RI21_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 $\alpha < 0.2$: Yes
Create interslice boundaries at intersections with water tables and piezos: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

64 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

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]: 61.4
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Variable

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Material Properties





Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI2100001C

65 di 87

SLIDEINTERPRET 7.030



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

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

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.436530
Center:	37.249, 31.407
Radius:	7.301
Left Slip Surface Endpoint:	31.046, 27.557
Right Slip Surface Endpoint:	41.674, 25.600
Resisting Moment:	2137.74 kN-m
Driving Moment:	1488.12 kN-m
Total Slice Area:	20.0099 m2
Surface Horizontal Width:	10.6281 m
Surface Average Height:	1.88275 m

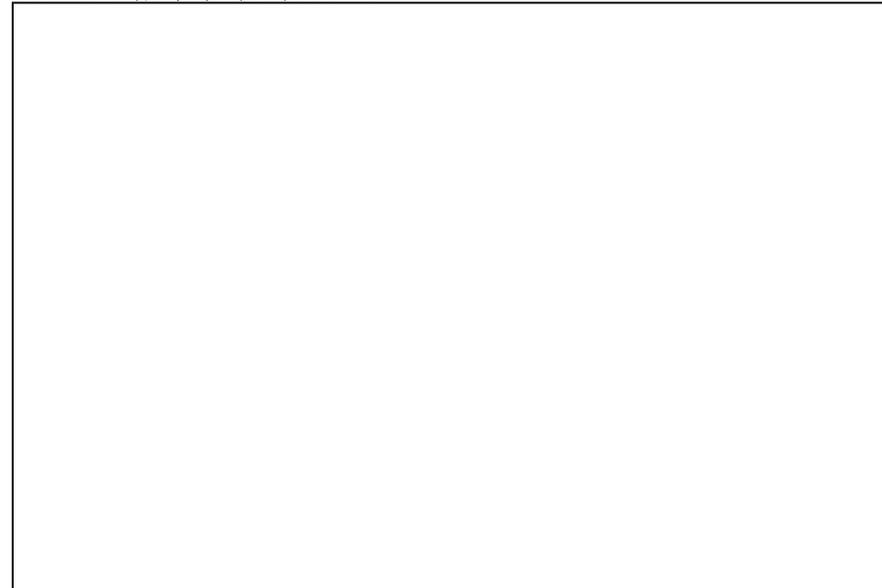
Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces:	1328
Number of Invalid Surfaces:	0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.43653





Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBR12100001C

66 di 87

SLIDENETREPORT 7.030



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

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	0.212482	0.686163	-56.6557	Rilevato	0	32.0066	25.5549	36.7104	58.734	0	58.734	97.5722	97.5722
2	0.212482	1.9876	-53.7292	Rilevato	0	32.0066	28.3236	40.6877	65.0973	0	65.0973	108.696	108.696
3	0.212482	3.16031	-50.9948	Rilevato	0	32.0066	30.9125	44.4067	71.0473	0	71.0473	109.214	109.214
4	0.212482	4.22651	-48.4137	Rilevato	0	32.0066	33.3498	47.908	76.6493	0	76.6493	114.23	114.23
5	0.212482	5.20212	-45.958	Rilevato	0	32.0066	35.6563	51.2213	81.9503	0	81.9503	118.819	118.819
6	0.212482	6.09901	-43.607	Rilevato	0	32.0066	37.8477	54.3694	86.987	0	86.987	123.038	123.038
7	0.212482	6.92632	-41.3448	Rilevato	0	32.0066	39.9366	57.3701	91.7879	0	91.7879	126.928	126.928
8	0.212482	7.69126	-39.1588	Rilevato	0	32.0066	39.2954	56.449	90.3143	0	90.3143	122.316	122.316
9	0.212482	8.39964	-37.0388	Rilevato	0	32.0066	17.6791	25.3965	40.6324	0	40.6324	53.9733	53.9733
10	0.204373	8.69945	-35.015	Rilevato	0	32.0066	18.7752	26.9711	43.8543	0.702316	43.152	57.0082	56.3059
11	0.204373	9.26414	-33.0787	Rilevato	0	32.0066	19.5654	28.1063	47.0257	2.05759	44.9681	59.7698	57.7122
12	0.204373	9.789	-31.1841	Rilevato	0	32.0066	20.3263	29.1994	50.034	3.31727	46.7168	62.5364	59.0191
13	0.216326	10.8652	-29.2735	colonne	0	30.1666	19.8353	28.494	53.542	4.5188	49.0232	64.661	60.1422
14	0.216326	11.3191	-27.3446	colonne	0	30.1666	20.4425	29.3663	56.1861	5.66232	50.5238	66.7574	61.0951
15	0.216326	11.7373	-25.4488	colonne	0	30.1666	17.672	25.3863	50.3925	6.71597	43.6765	58.8022	52.0862
16	0.216326	12.1216	-23.5824	colonne	0	30.1666	16.6341	23.8954	48.7954	7.6841	41.1113	56.0566	48.3725
17	0.216326	12.4734	-21.7423	colonne	0	30.1666	17.11	24.5791	50.8583	8.57045	42.2879	57.6819	49.1114
18	0.216326	12.794	-19.9254	colonne	0	30.1666	17.5667	25.2351	52.7948	9.37825	43.4165	59.1627	49.7844
19	0.216326	13.0846	-18.1292	colonne	0	30.1666	18.0047	25.8643	54.6094	10.1103	44.4991	60.5044	50.3941
20	0.216326	13.3461	-16.3513	colonne	0	30.1666	18.4246	26.4675	56.3057	10.769	45.5367	61.7114	50.9424
21	0.216326	13.5793	-14.5894	colonne	0	30.1666	18.8268	27.0453	57.8875	11.3565	46.531	62.7878	51.4313
22	0.216326	13.7849	-12.8416	colonne	0	30.1666	19.2119	27.5985	59.3572	11.8746	47.4826	63.7367	51.8621
23	0.216326	13.9636	-11.1058	colonne	0	30.1666	19.5802	28.1275	60.7173	12.3247	48.3926	64.5609	52.2362
24	0.216326	13.8928	-9.38035	colonne	0	30.1666	19.5408	28.071	61.004	12.7083	48.2957	64.2321	51.5238
25	0.216326	13.4023	-7.66342	colonne	0	30.1666	18.7775	26.9745	59.4355	13.0264	46.4091	61.9621	48.9357
26	0.216326	12.8786	-5.95338	colonne	0	30.1666	17.9592	25.799	57.6665	13.2798	44.3867	59.5393	46.2595
27	0.216326	12.3295	-4.24866	colonne	0	30.1666	17.0987	24.5628	55.7288	13.4693	42.2595	56.999	43.5297
28	0.216326	11.7553	-2.5477	colonne	0	30.1666	16.1953	23.2651	53.6225	13.5953	40.0272	54.3431	40.7478
29	0.216326	11.156	0.848984	colonne	0	30.1666	15.2485	21.9049	51.3451	13.6583	37.6868	51.5711	37.9128
30	0.216326	10.5317	0.848984	colonne	0	30.1666	14.2572	20.4809	48.8954	13.6583	35.2371	48.6841	35.0258
31	0.216326	9.88248	2.5477	colonne	0	30.1666	13.2204	18.9915	46.2695	13.5953	32.6742	45.6813	32.086
32	0.216326	9.20818	4.24866	colonne	0	30.1666	12.1365	17.4345	43.465	13.4693	29.9957	42.5634	29.0941
33	0.216326	8.5087	5.95338	colonne	0	30.1666	11.0042	15.8078	40.4767	13.2798	27.1969	39.3292	26.0494
34	0.216326	7.78384	7.66342	colonne	0	30.1666	9.8211	14.1083	37.2993	13.0264	24.2729	35.9778	22.9514
35	0.216326	7.03332	9.38035	colonne	0	30.1666	8.58499	12.3326	33.9264	12.7083	21.2181	32.5082	19.7999
36	0.216326	6.2568	11.1058	colonne	0	30.1666	7.29327	10.477	30.3501	12.3247	18.0254	28.9185	16.5938
37	0.216326	5.47904	12.8416	colonne	0	30.1666	5.99441	8.61115	26.6898	11.8746	14.8152	25.3234	13.4488
38	0.216326	5.11343	14.5894	colonne	0	30.1666	5.55191	7.97548	25.0782	11.3565	13.7217	23.6331	12.2766
39	0.216326	4.88024	16.3513	colonne	0	30.1666	5.41091	7.77293	24.1422	10.769	13.3732	22.5546	11.7856
40	0.216326	4.61877	18.1292	colonne	0	30.1666	5.24009	7.52754	23.0613	10.1103	12.951	21.3456	11.2353
41	0.216326	4.3282	19.9254	colonne	0	30.1666	5.0373	7.23623	21.828	9.37825	12.4498	20.002	10.6237
42	0.216326	4.00756	21.7423	colonne	0	30.1666	4.80003	6.89538	20.4338	8.57045	11.8634	18.5195	9.94909
43	0.216326	3.65575	23.5824	colonne	0	30.1666	4.52528	6.5007	18.8684	7.6841	11.1843	16.893	9.20891
44	0.216326	3.27147	25.4488	colonne	0	30.1666	4.20946	6.04702	17.1197	6.71597	10.4038	15.1165	8.40056
45	0.216326	2.85325	27.3446	colonne	0	30.1666	3.84823	5.5281	15.1733	5.66232	9.51099	13.1833	7.52097
46	0.216326	2.39935	29.2735	colonne	0	30.1666	3.43624	4.93626	13.0115	4.5188	8.4927	11.0853	6.56647
47	0.204373	1.79093	31.1841	Rilevato	0	32.0066	3.21281	4.6153	10.7014	3.31727	7.38417	8.75691	5.43964
48	0.204373	1.26607	33.0787	Rilevato	0	32.0066	2.50891	3.60412	7.8239	2.05759	5.76631	6.1897	4.13211
49	0.204373	0.701376	35.015	Rilevato	0	32.0066	1.70599	2.45071	4.62327	0.702316	3.92096	3.42806	2.72574
50	0.134397	0.134397	36.6516	Rilevato	0	32.0066	0.642412	0.922844	1.47648	0	1.47648	0.998489	0.998489

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.43653





Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI210001C

67 di 87

SLIDEINTERPRET 7.030



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	31.0458	27.5567	0	0	0
2	31.2583	27.2338	13.5541	0	0
3	31.4708	26.9442	26.405	0	0
4	31.6833	26.6819	38.4963	0	0
5	31.8958	26.4424	49.7854	0	0
6	32.1083	26.2227	60.2382	0	0
7	32.3207	26.0203	69.8273	0	0
8	32.5332	25.8334	78.5294	0	0
9	32.7457	25.6603	85.8344	0	0
10	32.9582	25.5	88.605	0	0
11	33.1626	25.3568	91.0592	0	0
12	33.3669	25.2237	93.3332	0	0
13	33.5713	25.1	95.3812	0	0
14	33.7876	24.9787	97.5967	0	0
15	34.004	24.8669	99.4739	0	0
16	34.2203	24.7639	100.851	0	0
17	34.4366	24.6695	101.872	0	0
18	34.6529	24.5832	102.57	0	0
19	34.8693	24.5048	102.921	0	0
20	35.0856	24.434	102.907	0	0
21	35.3019	24.3705	102.507	0	0
22	35.5182	24.3142	101.707	0	0
23	35.7346	24.2649	100.491	0	0
24	35.9509	24.2224	98.8471	0	0
25	36.1672	24.1867	96.8133	0	0
26	36.3835	24.1576	94.4941	0	0
27	36.5999	24.135	91.9223	0	0
28	36.8162	24.1189	89.1307	0	0
29	37.0325	24.1093	86.1545	0	0
30	37.2488	24.1061	83.0308	0	0
31	37.4652	24.1093	79.7997	0	0
32	37.6815	24.1189	76.5034	0	0
33	37.8978	24.135	73.1878	0	0
34	38.1141	24.1576	69.9017	0	0
35	38.3305	24.1867	66.6982	0	0
36	38.5468	24.2224	63.6345	0	0
37	38.7631	24.2649	60.773	0	0
38	38.9794	24.3142	58.1642	0	0
39	39.1958	24.3705	55.5549	0	0
40	39.4121	24.434	52.8558	0	0
41	39.6284	24.5048	50.0925	0	0
42	39.8447	24.5832	47.2945	0	0
43	40.0611	24.6695	44.4966	0	0
44	40.2774	24.7639	41.739	0	0
45	40.4937	24.8669	39.0689	0	0
46	40.7101	24.9787	36.5416	0	0
47	40.9264	25.1	34.2228	0	0
48	41.1308	25.2237	32.2445	0	0
49	41.3351	25.3568	30.6919	0	0
50	41.5395	25.5	29.6823	0	0
51	41.739	25.6	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1.513	25.5
68.36	25.5

Distributed Load

X	Y
28.225	27.5567
25.7578	27.5567



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

68 di 87

SLIDEINTERPRET 7.030



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

Distributed Load

X	Y
32.7239	27.5567
30.16	27.5567

Distributed Load

X	Y
34.0718	27.5567
24.0416	27.5567

External Boundary

X	Y
1.3e-015	25.6
3.55271e-015	22.6
0	13.6
0	3.6
66.1618	3.6
66.1618	13.6
66.1618	22.6
66.1618	25.6
42.918	25.6
38.918	25.6
35.9844	27.5567
22.2946	27.5567
19.4601	25.6
15.4601	25.6

Material Boundary

X	Y
3.55271e-015	22.6
15.4601	22.6
42.918	22.6
66.1618	22.6

Material Boundary

X	Y
0	13.6
66.1618	13.6

Material Boundary

X	Y
15.4601	22.6
15.4601	25.1
15.4601	25.6

Material Boundary

X	Y
42.918	22.6
42.918	25.1
42.918	25.6

Material Boundary

X	Y
15.4601	25.1
42.918	25.1

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

69 di 87

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



Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: 21_sisma
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 malpha < 0.2: Yes
Create interslice boundaries at intersections with water tables and piezos: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen iteration: Yes

Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

71 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

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

Random Numbers

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

Surface Options

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

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

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

3 Distributed Loads present

Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Material Properties



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI2100001C

72 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

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

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.254660
Center:	38.746, 29.014
Radius:	3.994
Left Slip Surface Endpoint:	35.027, 27.557
Right Slip Surface Endpoint:	40.819, 25.600
Resisting Moment:	202.61 kN-m
Driving Moment:	161.485 kN-m
Total Slice Area:	5.11801 m ²
Surface Horizontal Width:	5.79222 m
Surface Average Height:	0.883601 m

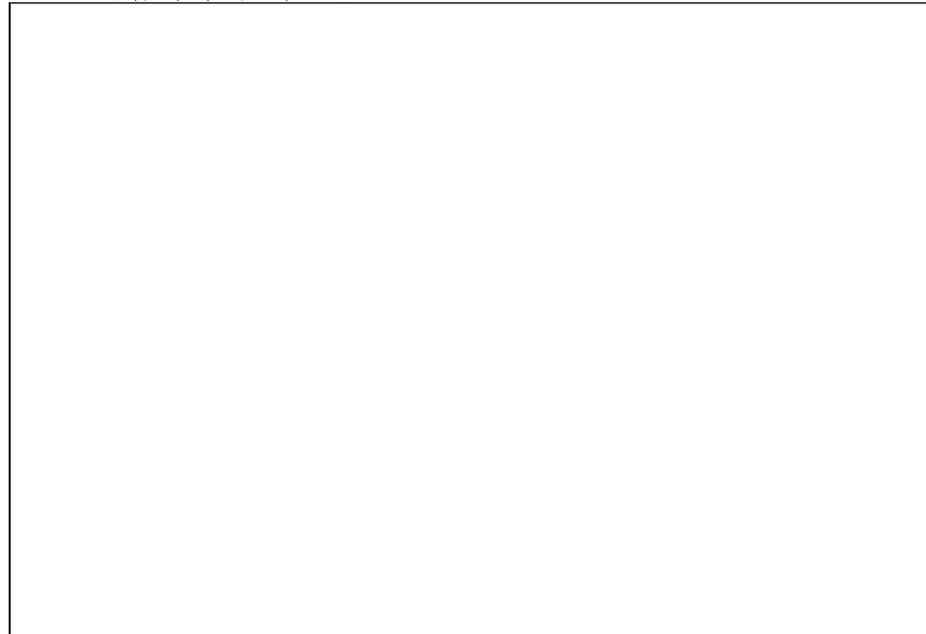
Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces:	1128
Number of Invalid Surfaces:	0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.25466





Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI210001C

73 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038

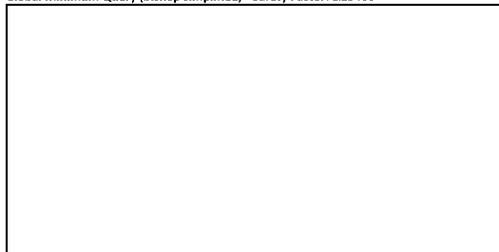


SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 6

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	0.121345	0.337409	-66.4234	Rilevato	0	32.0066	0.620048	0.77795	1.24466	0	1.24466	2.66548	2.66548
2	0.121345	0.956116	-62.3701	Rilevato	0	32.0066	1.92783	2.41877	3.86986	0	3.86986	7.55277	7.55277
3	0.121345	1.480666	-58.8123	Rilevato	0	32.0066	3.19616	4.01009	6.41585	0	6.41585	11.6959	11.6959
4	0.121345	1.93889	-55.5912	Rilevato	0	32.0066	4.4169	5.54171	8.86631	0	8.86631	15.3149	15.3149
5	0.121345	2.34658	-52.6173	Rilevato	0	32.0066	5.58922	7.01257	11.2196	0	11.2196	18.5346	18.5346
6	0.121345	2.71374	-49.8343	Rilevato	0	32.0066	6.71462	8.42457	13.4787	0	13.4787	21.434	21.434
7	0.121345	3.04723	-47.2038	Rilevato	0	32.0066	7.79534	9.7805	15.6481	0	15.6481	24.0674	24.0674
8	0.121345	3.35074	-44.6983	Rilevato	0	32.0066	8.83052	11.0793	17.726	0	17.726	26.464	26.464
9	0.121345	3.51149	-42.2971	Rilevato	0	32.0066	9.50672	11.9277	19.0834	0	19.0834	27.733	27.733
10	0.121345	3.57252	-39.9845	Rilevato	0	32.0066	9.91368	12.4383	19.9004	0	19.9004	28.2144	28.2144
11	0.121345	3.61358	-37.7479	Rilevato	0	32.0066	10.2597	12.8724	20.5949	0	20.5949	28.5381	28.5381
12	0.121345	3.63648	-35.5771	Rilevato	0	32.0066	10.5478	13.3339	21.1733	0	21.1733	28.7184	28.7184
13	0.121345	3.64271	-33.4637	Rilevato	0	32.0066	10.7809	13.5264	21.6412	0	21.6412	28.7672	28.7672
14	0.121345	3.63949	-31.4008	Rilevato	0	32.0066	10.9611	13.7525	22.0029	0	22.0029	28.6938	28.6938
15	0.121345	3.60986	-29.3823	Rilevato	0	32.0066	11.0903	13.9145	22.2622	0	22.2622	28.5067	28.5067
16	0.122499	3.60642	-27.3939	Rilevato	0	32.0066	11.0467	13.8598	22.4861	0.311374	22.1747	28.2106	27.8992
17	0.122499	3.55536	-25.4314	Rilevato	0	32.0066	10.8351	13.5944	22.6585	0.908462	21.75	27.8107	26.9022
18	0.122499	3.49178	-23.5004	Rilevato	0	32.0066	10.5878	13.2841	22.709	1.45544	21.2536	27.3128	25.8574
19	0.122499	3.41626	-21.5974	Rilevato	0	32.0066	10.3057	12.9301	22.6418	1.95457	20.6872	26.7215	24.7669
20	0.122499	3.32927	-19.7191	Rilevato	0	32.0066	9.9894	12.5333	22.4601	2.4078	20.0523	26.0406	23.6328
21	0.122499	3.23123	-17.8627	Rilevato	0	32.0066	9.6395	12.0943	22.1668	2.81681	19.35	25.2734	22.4566
22	0.122499	3.12251	-16.0254	Rilevato	0	32.0066	9.25637	11.6136	21.7639	3.18303	18.5809	24.4226	21.2395
23	0.122499	3.00342	-14.205	Rilevato	0	32.0066	8.84008	11.0913	21.253	3.50771	17.7453	23.4907	19.983
24	0.122499	2.87421	-12.3991	Rilevato	0	32.0066	8.39072	10.5275	20.6352	3.7919	16.8433	22.4798	18.6879
25	0.113759	2.54245	-10.6692	colonne	0	30.1666	7.40657	9.29273	20.017	4.02912	15.9879	21.4124	17.3833
26	0.113759	2.41023	-9.01281	colonne	0	30.1666	6.93754	8.70425	19.1983	4.22275	14.9755	20.2986	16.0759
27	0.113759	2.27113	-7.364	colonne	0	30.1666	6.44422	8.08531	18.294	4.38337	13.9106	19.1269	14.7435
28	0.113759	2.12521	-5.7213	colonne	0	30.1666	5.92631	7.4355	17.304	4.51139	12.7926	17.8977	13.3863
29	0.113759	1.97256	-4.08331	colonne	0	30.1666	5.38334	6.75426	16.2276	4.60712	11.6205	16.6119	12.0048
30	0.113759	1.81322	-2.44865	colonne	0	30.1666	4.81475	6.04088	15.064	4.67082	10.3932	15.2699	10.5991
31	0.113759	1.64722	-0.815997	colonne	0	30.1666	4.21989	5.29453	13.8117	4.70263	9.10909	13.8718	9.1692
32	0.113759	1.47459	0.815997	colonne	0	30.1666	3.59791	4.51416	12.4691	4.70263	7.76648	12.4179	7.71524
33	0.113759	1.31599	2.44865	colonne	0	30.1666	3.03014	3.8018	11.2117	4.67082	6.54088	11.0821	6.41131
34	0.113759	1.28018	4.08331	colonne	0	30.1666	2.95772	3.71093	10.9917	4.60712	6.38459	10.7806	6.17344
35	0.113759	1.2602	5.7213	colonne	0	30.1666	2.9638	3.71856	10.9091	4.51139	6.39768	10.6121	6.10074
36	0.113759	1.23348	7.364	colonne	0	30.1666	2.95837	3.71175	10.7693	4.38337	6.38597	10.387	6.00363
37	0.113759	1.19995	9.01281	colonne	0	30.1666	2.94092	3.68985	10.5711	4.22275	6.34832	10.1046	5.88185
38	0.113759	1.15953	10.6692	colonne	0	30.1666	2.91085	3.65213	10.3125	4.02912	6.28339	9.76412	5.735
39	0.110249	1.07597	12.3088	Rilevato	0	32.0066	3.09794	3.88686	10.0247	3.80601	6.21868	9.34873	5.54272
40	0.110249	1.0193	13.9329	Rilevato	0	32.0066	3.01392	3.78144	9.60389	3.55385	6.05004	8.85619	5.30234
41	0.110249	0.955277	15.5684	Rilevato	0	32.0066	2.91006	3.65114	9.11056	3.26903	5.84153	8.29978	5.03075
42	0.110249	0.883747	17.2171	Rilevato	0	32.0066	2.78495	3.49416	8.54118	2.95079	5.59039	7.67818	4.72739
43	0.110249	0.804511	18.8807	Rilevato	0	32.0066	2.63687	3.30838	7.89145	2.59827	5.29318	6.98964	4.39137
44	0.110249	0.717348	20.5609	Rilevato	0	32.0066	2.46389	3.09135	7.15642	2.21048	4.94594	6.23222	4.02174
45	0.110249	0.622004	22.2599	Rilevato	0	32.0066	2.26365	2.84011	6.33027	1.7863	4.54397	5.40373	3.61743
46	0.110249	0.518186	23.9797	Rilevato	0	32.0066	2.03336	2.55117	5.40609	1.32441	4.08168	4.50164	3.17723
47	0.110249	0.405563	25.7229	Rilevato	0	32.0066	1.76961	2.22026	4.37561	0.82335	3.55226	3.52308	2.69973
48	0.110249	0.283752	27.492	Rilevato	0	32.0066	1.46829	1.8422	3.22881	0.281414	2.94739	2.46473	2.18331
49	0.0872144	0.132094	29.0993	Rilevato	0	32.0066	0.999673	1.25425	2.0067	0	2.0067	1.45031	1.45031
50	0.0872144	0.0448791	30.5415	Rilevato	0	32.0066	0.347642	0.436172	0.697843	0	0.697843	0.492727	0.492727

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.25466





Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

74 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	35.0272	27.5567	0	0	0
2	35.1485	27.2787	0.298943	0	0
3	35.2698	27.0469	1.04174	0	0
4	35.3912	26.8464	2.06339	0	0
5	35.5125	26.6692	3.25976	0	0
6	35.6339	26.5104	4.55892	0	0
7	35.7552	26.3667	5.90813	0	0
8	35.8766	26.2356	7.26706	0	0
9	35.9979	26.1155	8.60334	0	0
10	36.1193	26.0051	9.84946	0	0
11	36.2406	25.9034	10.9696	0	0
12	36.3619	25.8094	11.9609	0	0
13	36.4833	25.7226	12.8222	0	0
14	36.6046	25.6424	13.5536	0	0
15	36.726	25.5683	14.1565	0	0
16	36.8473	25.5	14.6331	0	0
17	36.9698	25.4365	15.0082	0	0
18	37.0923	25.3783	15.2974	0	0
19	37.2148	25.325	15.5014	0	0
20	37.3373	25.2765	15.622	0	0
21	37.4598	25.2326	15.6623	0	0
22	37.5823	25.1931	15.6262	0	0
23	37.7048	25.1579	15.5185	0	0
24	37.8273	25.1269	15.3452	0	0
25	37.9498	25.1	15.1129	0	0
26	38.0636	25.0786	14.9113	0	0
27	38.1773	25.0605	14.6695	0	0
28	38.2911	25.0458	14.3948	0	0
29	38.4049	25.0344	14.095	0	0
30	38.5186	25.0263	13.7788	0	0
31	38.6324	25.0214	13.4556	0	0
32	38.7461	25.0198	13.1352	0	0
33	38.8599	25.0214	12.8286	0	0
34	38.9737	25.0263	12.5389	0	0
35	39.0874	25.0344	12.2199	0	0
36	39.2012	25.0458	11.8634	0	0
37	39.3149	25.0605	11.4713	0	0
38	39.4287	25.0786	11.046	0	0
39	39.5425	25.1	10.5905	0	0
40	39.6562	25.1241	10.0975	0	0
41	39.763	25.1514	9.5875	0	0
42	39.8732	25.1821	9.06649	0	0
43	39.9834	25.2163	8.54137	0	0
44	40.0937	25.254	8.02023	0	0
45	40.2039	25.2953	7.5125	0	0
46	40.3142	25.3405	7.02919	0	0
47	40.4244	25.3895	6.58318	0	0
48	40.5347	25.4426	6.18957	0	0
49	40.6449	25.5	5.86619	0	0
50	40.7322	25.5485	5.69266	0	0
51	40.8194	25.6	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1.513	25.5
68.36	25.5

Distributed Load

X	Y
28.225	27.5567
25.7578	27.5567

Distributed Load



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

75 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

X	Y
32.7239	27.5567
30.16	27.5567

Distributed Load

X	Y
34.0718	27.5567
24.0416	27.5567

External Boundary

X	Y
1.3e-015	25.6
3.55271e-015	22.6
0	13.6
0	3.6
66.1618	3.6
66.1618	13.6
66.1618	22.6
66.1618	25.6
42.918	25.6
38.918	25.6
35.9844	27.5567
22.2946	27.5567
19.4601	25.6
15.4601	25.6

Material Boundary

X	Y
3.55271e-015	22.6
15.4601	22.6
42.918	22.6
66.1618	22.6

Material Boundary

X	Y
0	13.6
66.1618	13.6

Material Boundary

X	Y
15.4601	22.6
15.4601	25.1
15.4601	25.6

Material Boundary

X	Y
42.918	22.6
42.918	25.1
42.918	25.6

Material Boundary

X	Y
15.4601	25.1
42.918	25.1

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

76 di 87

ALLEGATO 5 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU POST SISMA



Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: 21post.slim
 Slide Modeler Version: 7.038
 Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
 Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

General Settings

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

Design Standard

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

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

Groundwater Analysis

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

78 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

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]: 12.2
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Live

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Material Properties





Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI2100001C

79 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

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

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.664950
Center:	38.231, 28.462
Radius:	3.664
Left Slip Surface Endpoint:	34.680, 27.557
Right Slip Surface Endpoint:	40.520, 25.600
Resisting Moment:	267.996 kN-m
Driving Moment:	160.963 kN-m
Total Slice Area:	6.98874 m2
Surface Horizontal Width:	5.83997 m
Surface Average Height:	1.19671 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 857
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.66495



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2100001C

Foglio
80 di 87

SLIDEINTERPRET 7.030

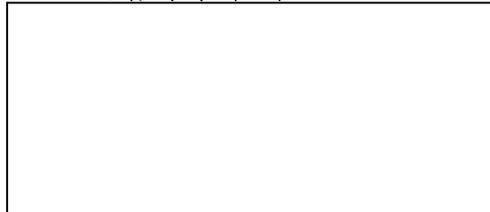


SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 6

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	0.116074	0.431482	-72.6588	Rilevato	0	32.0066	0.633881	1.05538	1.68853	0	1.68853	3.71854	3.71854
2	0.116074	1.18449	-67.2642	Rilevato	0	32.0066	2.02121	3.36522	5.38411	0	5.38411	10.2075	10.2075
3	0.116074	1.76955	-62.9217	Rilevato	0	32.0066	3.30077	5.49562	8.7926	0	8.7926	15.2489	15.2489
4	0.116074	2.25872	-59.1575	Rilevato	0	32.0066	4.48631	7.46949	11.9507	0	11.9507	19.4639	19.4639
5	0.116074	2.68241	-55.7737	Rilevato	0	32.0066	5.59157	9.30969	14.8948	0	14.8948	23.1145	23.1145
6	0.116074	3.05709	-52.6637	Rilevato	0	32.0066	6.62747	11.0344	17.6543	0	17.6543	26.3427	26.3427
7	0.116074	3.39294	-49.7624	Rilevato	0	32.0066	7.60263	12.658	20.2518	0	20.2518	29.2363	29.2363
8	0.116074	3.69678	-47.0261	Rilevato	0	32.0066	8.52362	14.1914	22.7052	0	22.7052	31.854	31.854
9	0.116074	3.97344	-44.424	Rilevato	0	32.0066	9.3959	15.6437	25.0287	0	25.0287	34.2376	34.2376
10	0.116074	4.22652	-41.9334	Rilevato	0	32.0066	10.2237	17.022	27.2339	0	27.2339	36.4179	36.4179
11	0.116074	4.45876	-39.5368	Rilevato	0	32.0066	11.0107	18.3322	29.3302	0	29.3302	38.4186	38.4186
12	0.116074	4.62022	-37.2204	Rilevato	0	32.0066	11.6286	19.3611	30.9764	0	30.9764	39.8095	39.8095
13	0.116549	4.66118	-34.9688	Rilevato	0	32.0066	11.7741	19.6033	31.7637	0.399825	31.3638	39.9984	39.5986
14	0.116549	4.66243	-32.7731	Rilevato	0	32.0066	11.743	19.5515	32.4487	1.16769	31.281	40.0087	38.8411
15	0.116549	4.6491	-30.6304	Rilevato	0	32.0066	11.6772	19.4419	32.9798	1.87422	31.1056	39.894	38.0198
16	0.116549	4.62219	-28.5343	Rilevato	0	32.0066	11.5787	19.278	33.3669	2.52355	30.8434	39.6626	37.1391
17	0.116549	4.5825	-26.4791	Rilevato	0	32.0066	11.4496	19.063	33.6185	3.11915	30.4993	39.3218	36.2027
18	0.116549	4.53075	-24.46	Rilevato	0	32.0066	11.2911	18.7992	33.7413	3.66396	30.0773	38.8774	35.2135
19	0.116702	4.46773	-22.4716	colonne	0	30.1666	10.4099	17.3319	33.9799	4.16077	29.8191	38.2858	34.125
20	0.116702	4.3826	-20.5101	colonne	0	30.1666	10.1724	16.9366	33.7506	4.61168	29.1389	37.556	32.9443
21	0.116702	4.28796	-18.5734	colonne	0	30.1666	9.91291	16.5045	33.4138	5.01816	28.3957	36.7448	31.7266
22	0.116702	4.18414	-16.6585	colonne	0	30.1666	9.632	16.0368	32.9728	5.38179	27.591	35.8549	30.4731
23	0.116702	4.07144	-14.7625	colonne	0	30.1666	9.33019	15.5343	32.4302	5.70392	26.7263	34.8889	29.1849
24	0.116702	3.95009	-12.883	colonne	0	30.1666	9.00778	14.9975	31.7886	5.98568	25.8029	33.8488	27.8632
25	0.116702	3.8203	-11.0175	colonne	0	30.1666	8.66513	14.427	31.0494	6.22806	24.8214	32.7365	26.5084
26	0.116702	3.68226	-9.16381	colonne	0	30.1666	8.30235	13.823	30.2141	6.43185	23.7822	31.5394	25.1216
27	0.116702	3.5361	-7.31972	colonne	0	30.1666	7.91958	13.1857	29.2835	6.59772	22.6858	30.3008	23.7031
28	0.116702	3.38192	-5.48323	colonne	0	30.1666	7.51674	12.515	28.258	6.7262	21.5318	28.9795	22.2533
29	0.116702	3.21983	-3.65238	colonne	0	30.1666	7.09367	11.8106	27.1376	6.81769	20.3199	27.5904	20.7727
30	0.116702	3.04988	-1.82526	colonne	0	30.1666	6.65023	11.0723	25.9221	6.87247	19.0496	26.134	19.2615
31	0.116702	2.8721	0	colonne	0	30.1666	6.18595	10.2993	24.6105	6.89071	17.7198	24.6105	17.7198
32	0.116702	2.68651	1.82526	colonne	0	30.1666	5.70056	9.49114	23.2017	6.87247	16.3293	23.0201	16.1476
33	0.116702	2.4931	3.65238	colonne	0	30.1666	5.19339	8.64673	21.6941	6.81769	14.8765	21.3626	14.545
34	0.116702	2.29182	5.48323	colonne	0	30.1666	4.66377	7.76495	20.0856	6.7262	13.3594	19.6379	12.9117
35	0.116702	2.08263	7.31972	colonne	0	30.1666	4.11089	6.84442	18.3734	6.59772	11.7756	17.8453	11.2476
36	0.116702	1.86543	9.16381	colonne	0	30.1666	3.53371	5.88345	16.5542	6.43185	10.1224	15.9842	9.55231
37	0.116702	1.6741	11.0175	colonne	0	30.1666	3.04013	5.06167	14.9365	6.22806	8.70848	14.3446	8.11657
38	0.116702	1.6085	12.883	colonne	0	30.1666	2.95805	4.92501	14.4591	5.98568	8.47339	13.7825	7.9682
39	0.116702	1.54816	14.7625	colonne	0	30.1666	2.90716	4.84028	14.0315	5.70392	8.3276	13.2654	7.56153
40	0.116702	1.47918	16.6585	colonne	0	30.1666	2.84278	4.73309	13.525	5.38179	8.14317	12.6743	7.29254
41	0.116702	1.40132	18.5734	colonne	0	30.1666	2.76406	4.60203	12.9358	5.01816	7.91768	12.0071	6.9889
42	0.116702	1.31428	20.5101	colonne	0	30.1666	2.67003	4.44547	12.26	4.61168	7.64837	11.2612	6.64955
43	0.116702	1.21772	22.4716	colonne	0	30.1666	2.55951	4.26145	11.4925	4.16077	7.33175	10.4338	6.27305
44	0.116549	1.1037	24.46	Rilevato	0	32.0066	2.62805	4.37558	10.6645	3.66396	7.00058	9.46908	5.80512
45	0.116549	0.974244	26.4791	Rilevato	0	32.0066	2.41922	4.02788	9.56348	3.11915	6.44433	8.35841	5.23926
46	0.116549	0.832723	28.5343	Rilevato	0	32.0066	2.17945	3.62867	8.32915	2.52355	5.8056	7.14412	4.62057
47	0.116549	0.678434	30.6304	Rilevato	0	32.0066	1.9048	3.17139	6.94821	1.87422	5.07399	5.82035	3.94613
48	0.116549	0.510554	32.7731	Rilevato	0	32.0066	1.59024	2.64767	5.40377	1.16769	4.23608	4.37998	3.21229
49	0.116549	0.3281	34.9688	Rilevato	0	32.0066	1.22927	2.04668	3.67436	0.399825	3.27454	2.81461	2.41479
50	0.130942	0.130942	37.3689	Rilevato	0	32.0066	0.526159	0.876029	1.40158	0	1.40158	0.999754	0.999754

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.66495





Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI210001C

81 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	34.6798	27.5567	0	0	0
2	34.7959	27.185	0.554143	0	0
3	34.912	26.908	1.81107	0	0
4	35.0281	26.681	3.42444	0	0
5	35.1441	26.4866	5.22708	0	0
6	35.2602	26.3159	7.11994	0	0
7	35.3763	26.1638	9.03756	0	0
8	35.4924	26.0266	10.9336	0	0
9	35.6084	25.902	12.7737	0	0
10	35.7245	25.7882	14.5311	0	0
11	35.8406	25.684	16.1847	0	0
12	35.9567	25.5882	17.7176	0	0
13	36.0727	25.5	19.0998	0	0
14	36.1893	25.4185	20.3176	0	0
15	36.3058	25.3435	21.3845	0	0
16	36.4224	25.2744	22.3003	0	0
17	36.5389	25.2111	23.0661	0	0
18	36.6555	25.153	23.6843	0	0
19	36.772	25.1	24.1579	0	0
20	36.8887	25.0517	24.5841	0	0
21	37.0054	25.0081	24.8711	0	0
22	37.1221	24.9689	25.0252	0	0
23	37.2388	24.9339	25.0533	0	0
24	37.3555	24.9032	24.9624	0	0
25	37.4722	24.8765	24.7603	0	0
26	37.5889	24.8538	24.4552	0	0
27	37.7056	24.8349	24.0557	0	0
28	37.8223	24.82	23.571	0	0
29	37.9391	24.8088	23.0109	0	0
30	38.0558	24.8013	22.3857	0	0
31	38.1725	24.7976	21.7065	0	0
32	38.2892	24.7976	20.985	0	0
33	38.4059	24.8013	20.2338	0	0
34	38.5226	24.8088	19.4665	0	0
35	38.6393	24.82	18.6976	0	0
36	38.756	24.8349	17.9427	0	0
37	38.8727	24.8538	17.2189	0	0
38	38.9894	24.8765	16.5249	0	0
39	39.1061	24.9032	15.794	0	0
40	39.2228	24.9339	15.0234	0	0
41	39.3395	24.9689	14.2196	0	0
42	39.4562	25.0081	13.3899	0	0
43	39.5729	25.0517	12.5433	0	0
44	39.6896	25.1	11.69	0	0
45	39.8061	25.153	10.8185	0	0
46	39.9227	25.2111	9.98148	0	0
47	40.0392	25.2744	9.1998	0	0
48	40.1558	25.3435	8.49844	0	0
49	40.2723	25.4185	7.90775	0	0
50	40.3889	25.5	7.46505	0	0
51	40.5198	25.6	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1.513	25.5
68.36	25.5

Distributed Load

X	Y
28.225	27.5567
25.7578	27.5567



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

82 di 87

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Distributed Load

X	Y
32.7239	27.5567
30.16	27.5567

Distributed Load

X	Y
34.0718	27.5567
24.0416	27.5567

External Boundary

X	Y
1.3e-015	25.6
3.55271e-015	22.6
0	13.6
0	3.6
66.1618	3.6
66.1618	13.6
66.1618	22.6
66.1618	25.6
42.918	25.6
38.918	25.6
35.9844	27.5567
22.2946	27.5567
19.4601	25.6
15.4601	25.6

Material Boundary

X	Y
3.55271e-015	22.6
15.4601	22.6
42.918	22.6
66.1618	22.6

Material Boundary

X	Y
0	13.6
66.1618	13.6

Material Boundary

X	Y
15.4601	22.6
15.4601	25.1
15.4601	25.6

Material Boundary

X	Y
42.918	22.6
42.918	25.1
42.918	25.6

Material Boundary

X	Y
15.4601	25.1
42.918	25.1

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

83 di 87

ALLEGATO 6- TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE



Settle3D Analysis Information

Rilevati

Project Settings

Document Name: RI21.s3z
Project Title: Rilevati
Date Created: 08/06/2021, 14:59:10
Stress Computation Method: Boussinesq

Stage Settings

Stage #	Name
1	Stage 1

Results

Time taken to compute: 0 seconds

Stage: Stage 1

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.0280921
Consolidation Settlement [m]	0	0
Immediate Settlement [m]	0	0.0280921
Loading Stress [kPa]	0	74.1815
Total Stress [kPa]	0	675.769
Total Strain	-0	0.00608947
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	2.70001	675.555
Over-consolidation Ratio	1	1
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [m]	0	0

Loads

1. Rectangular Load

Length: 11.35 m
Width: 100 m
Rotation angle: 0 degrees
Load Type: Flexible
Area of Load: 1135 m²
Load: 13 kPa
Depth: 0 m
Installation Stage: Stage 1

Coordinates



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

85 di 87

X [m]	Y [m]
-5.67196	-50
5.67804	-50
5.67804	50
-5.67196	50

Embankments

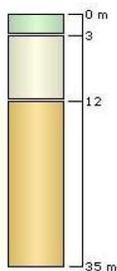
1. Embankment

Center Line: (0, -50) to (0, 50)
Number of Layers: 1
Near End Angle: 90 degrees
Far End Angle: 90 degrees
Base Width: 18.5

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	2.2	20	34	0

Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	3a+colonne	3	0
2	u6	9	3
3	u4	23	12



Soil Properties

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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2100001C

Foglio

86 di 87

Query Points

Point #	(X,Y) Location	Number of Divisions
1	0.00303833, 4.9738e-014	Auto: 55

Query Lines

Line #	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	-20, 0	20, 0	100	Auto: 35

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 13+240,00 a pk 13+725,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2100001C</p>	<p>Foglio 87 di 87</p>

ALLEGATO 7- VERSIONE SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI

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