

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 dal Km 14+200,00 al km 14+640,00
GENERALE
Relazione Geotecnica**

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consorzio Iricav Due Ing. Paolo Carmona Data: Febbraio 2022			

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO
IN17	12	E	I2	RB	RI2300	001	B	- - - D - - -

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma Luca RANDOLFI	Data Febbraio 2022

Progettazione:



Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	M. Conti <i>Maria Conti</i>	Ottobre 2021	V. Pastore <i>V. Pastore</i>	Ottobre 2021	P. Ascari <i>P. Ascari</i>	Ottobre 2021	
B	REVISIONE	M. Conti <i>Maria Conti</i>	Febbraio 2022	V. Pastore <i>V. Pastore</i>	Febbraio 2022	P. Ascari <i>P. Ascari</i>	Febbraio 2022	

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E9100000009	File: IN1712EI2RBRI2300001B.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 2 di 82



INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1	Documentazione di progetto.....	5
2.2	Normativa e standard di riferimento.....	5
2.3	Bibliografia	6
3	INQUADRAMENTO DELL'OPERA	7
3.1	Geometria del rilevato.....	7
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	9
4.1	Indagini disponibili.....	9
4.2	Inquadramento stratigrafico	9
4.3	Livello di falda	11
4.4	Condizioni geotecniche del sito	11
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	35
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO	36
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite.....	36
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU).....	36
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE).....	38
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche.....	38
6.2	Azioni di progetto	38
6.2.1	Azioni permanenti	38
6.2.2	Azioni variabili	39
6.2.3	Azione sismica	39
6.3	Verifiche e risultati SLU	40



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI2300001B	3 di 82

6.3.1	Premessa	40
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche	40
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche	41
6.4	Verifica e risultati SLE	43
6.4.1	Metodologia di calcolo	43
6.4.2	Schematizzazione e risultati	45
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	49
Allegati		50
ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO		51
ALLEGATO 2 - SONDAGGI.....		53
ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA		62
ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICA.....		70
ALLEGATO 5 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE		78
ALLEGATO 6 – VERSIONE SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI		82

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 4 di 82

1 INTRODUZIONE



Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI23, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende dal km 14+200,00 al km 14+640,00.

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  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 5 di 82



2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di progetto

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

2.2 Normativa e standard di riferimento



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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 6 di 82

[24] Specifiche Tecniche di interoperabilità 2015 (REGOLAMENTO (UE) N. 1299/2014 DELLA COMMISSIONE del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea)

2.3 Bibliografia

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



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 7 di 82

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame si estende tra il km 14+200,00 e il km 14+640,00 per una lunghezza totale di 400 m. Per la tratta in esame non si evidenziano altre interferenze con opere principali adiacenti e/o attraversate.

3.1 Geometria del rilevato

Il rilevato, presenta una sezione regolare per tutto il tracciato, con scarpate di pendenza 2/3 (V:H). Alla pk 14+640, sezione n. 362, si riscontra l'altezza massima del rilevato pari a 2.7 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 dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 9 di 82

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. [2]-[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 tra pk 14+200 e pk 14+620

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
14+143	CPTU-PE-09	2020-2021
14+350	CPTU32bis	2014/2015
14+350	P6	2015
14+641	BH-PZ-PE-31	2020-2021
14+691	BH-PE-32	2020-2021
14+691	BH-PE-32Bis	2020-2021
14+705	CPTU-PE-10	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 5 m circa di depositi limoso argillosi (Unità 3b). Sotto di essi si trova uno strato di ghiaie ben addensate (Unità 6) fino a una profondità di 11 m ed infine si incontra il substrato sabbioso (Unità 4) che si estende in profondità fino a quota di fine sondaggi.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI230001B</p>	<p>Foglio 10 di 82</p>

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 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 RI23, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 4 di 11 (Doc. Rif. [3]).

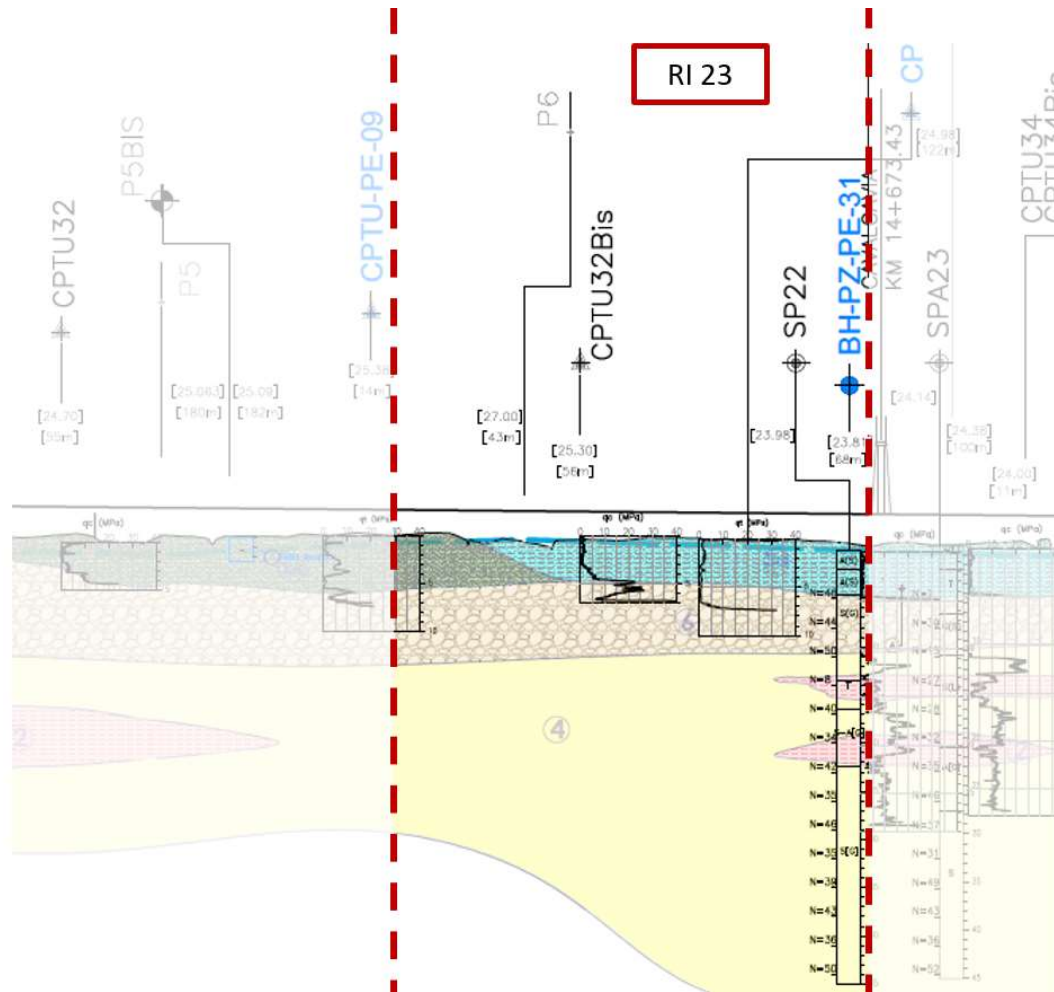




Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato RI23, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 11 di 82

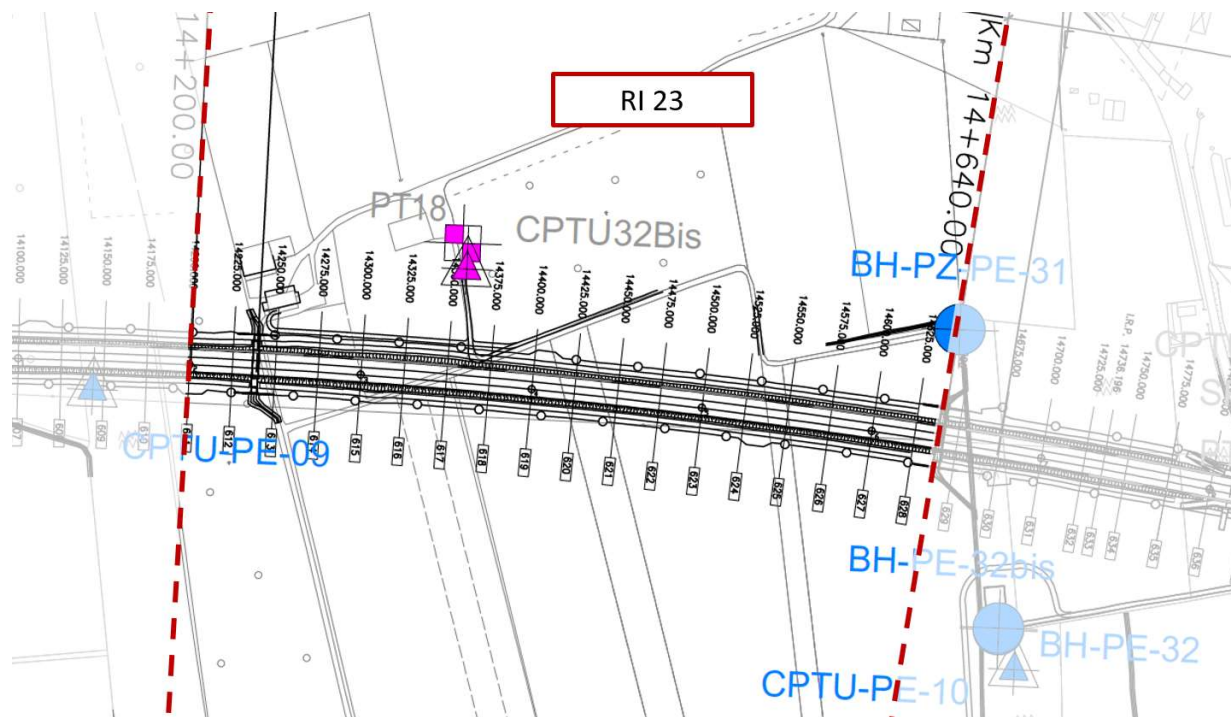


Figura 3 - Planimetria Rilevato RI23, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

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.

4.4 Condizioni geotecniche del sito

Come definito dalla sezione stratigrafica, il tratto in cui si sviluppa la WBS è caratterizzato da due porzioni distinte:

- Un primo tratto, nel quale prevalgono ragionevolmente le condizioni stratigrafiche e geotecniche desunte per la WBS precedente (RI22), con alternanze di terreni limoso argillosi teneri e limi sabbiosi sciolti (Unità 3a/b)
- Un secondo tratto (a partire circa dall'altezza della CPTU 32bis, e fino alla fine della WBS), è caratterizzato da depositi di materiali argillosi (Unità 3b) fino a 5m di profondità.

Per le condizioni geotecniche della prima parte, si rimanda pertanto alla relazione relativa alla WBS RI22. Per quanto riguarda invece la seconda parte del tracciato, analizzando i risultati delle prove CPTU riportate in Figura 5, tali materiali sono caratterizzati da una resistenza al taglio non drenata $c_u \approx 80-50$ kPa rispettivamente nei primi 3 metri

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 12 di 82

di profondità e nei successivi 2 m.

Procedendo con la profondità si incontra uno strato di ghiaie e ghiaie sabbiose ben addensate (Unità 6), che si estende fino a 11 m pc. All'interno del deposito incoerente si registrano valori di N_{SPT} mediamente pari a 40 colpi/30cm. La densità relativa delle ghiaie risulta del 45% e quindi il deposito risulta mediamente addensato.

Sotto le ghiaie si individua un deposito di sabbia limosa mediamente addensata (Unità 4), a partire dalla profondità di 11 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%.

Il profilo di V_s derivante dalle interpretazioni discusse nella Relazione Sismica (Doc. Rif. [4]), basata sui risultati delle prove DH, MASW e infine CPT, conferma la presenza di materiali incoerenti da mediamente a molto addensati. Fino a 15 m pc, per le ghiaie superficiali si stimano valori di V_s pari a 320-350 m/s. A profondità maggiori, nelle sabbie, le velocità sono pari a 370 m/s. Sulla base dei valori di V_s si sono stimati i valori del modulo di taglio alle piccole deformazioni (G_0). Per le ghiaie si considera un valore di 250 MPa, mentre per le sabbie profonde si ottengono valori pari a 300 MPa.

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

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

- Valori N_{SPT} da prove SPT (v. Figura 4);
- Resistenza al taglio non drenata da CPTU per unità 3b (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).



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2300001B

Foglio
13 di 82

AV/AC VERONA VICENZA

RI23 da pk 14+200,00 a pk 14+620,00

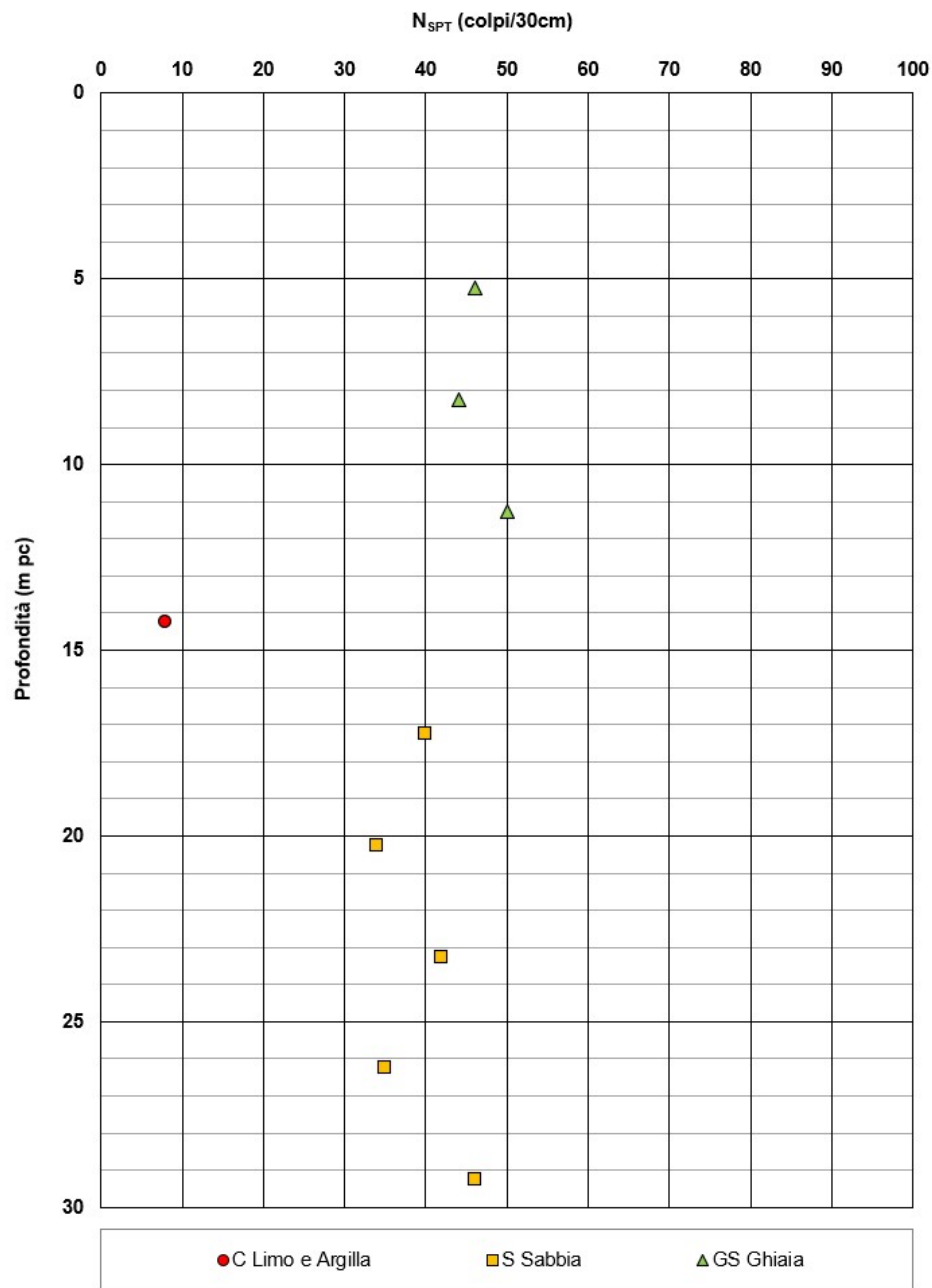


Figura 4 – Esito delle prove SPT tra pk 14+200 e pk 14+620



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2300001B

Foglio
14 di 82

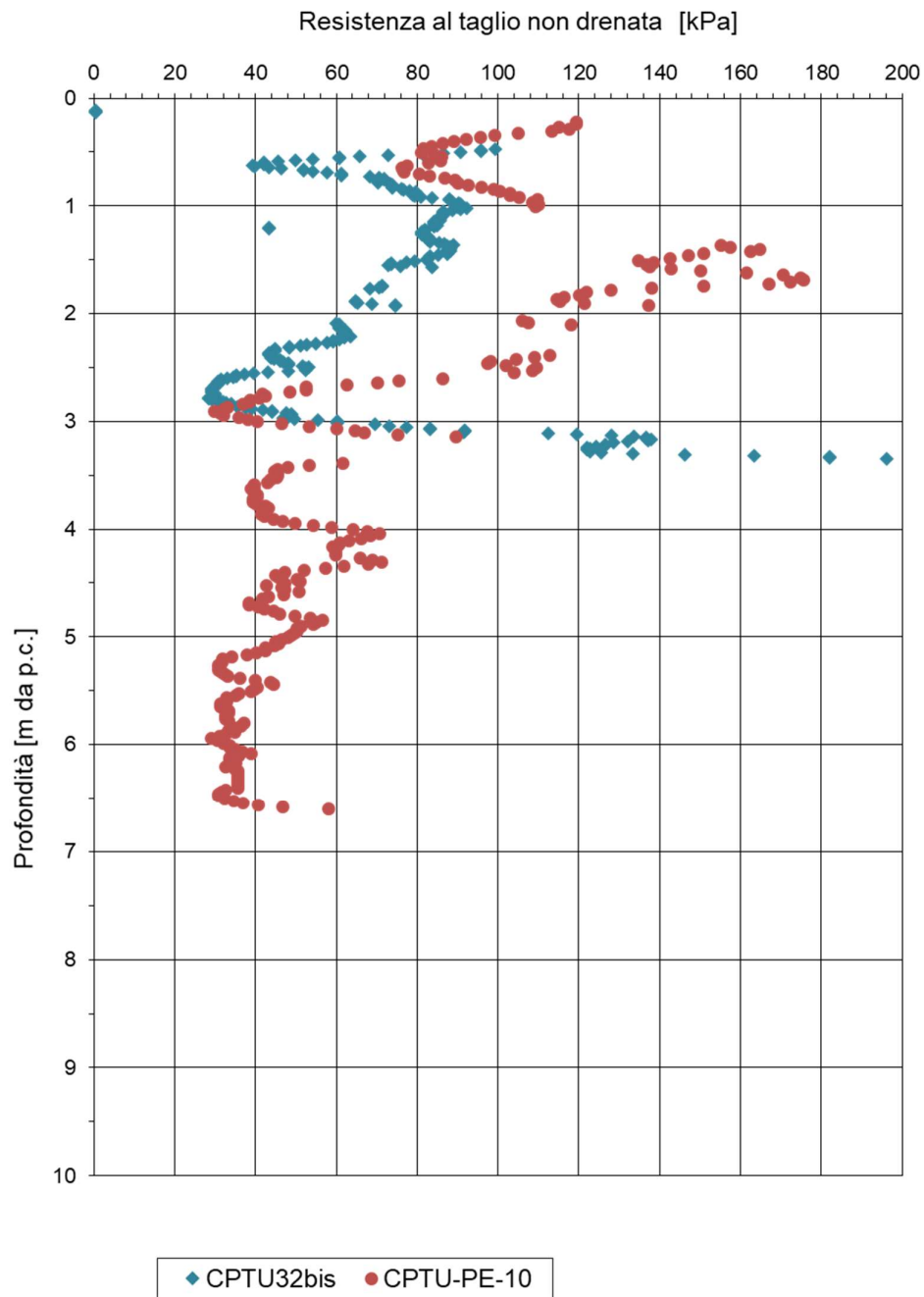


Figura 5 – Resistenza al taglio non drenata da prove CPTU tra pk 14+200 e pk 14+620



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2300001B

Foglio
15 di 82

AV/AC VERONA VICENZA

RI23 da pk 14+200,00 a pk 14+620,00

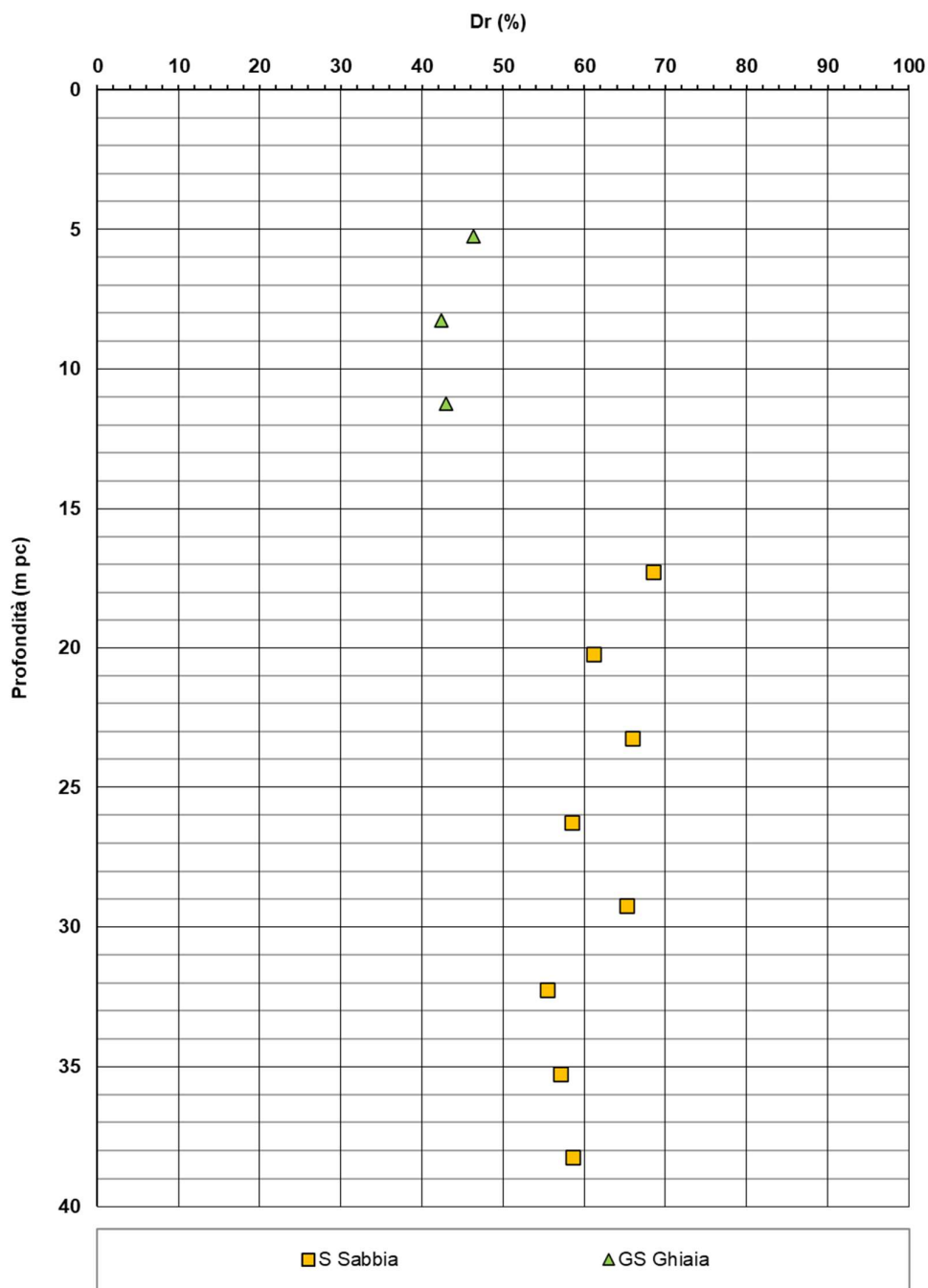


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT tra pk 14+200 e pk 14+620



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2300001B

Foglio
16 di 82

AV/AC VERONA VICENZA

RI23 da pk 14+200,00 a pk 14+620,00

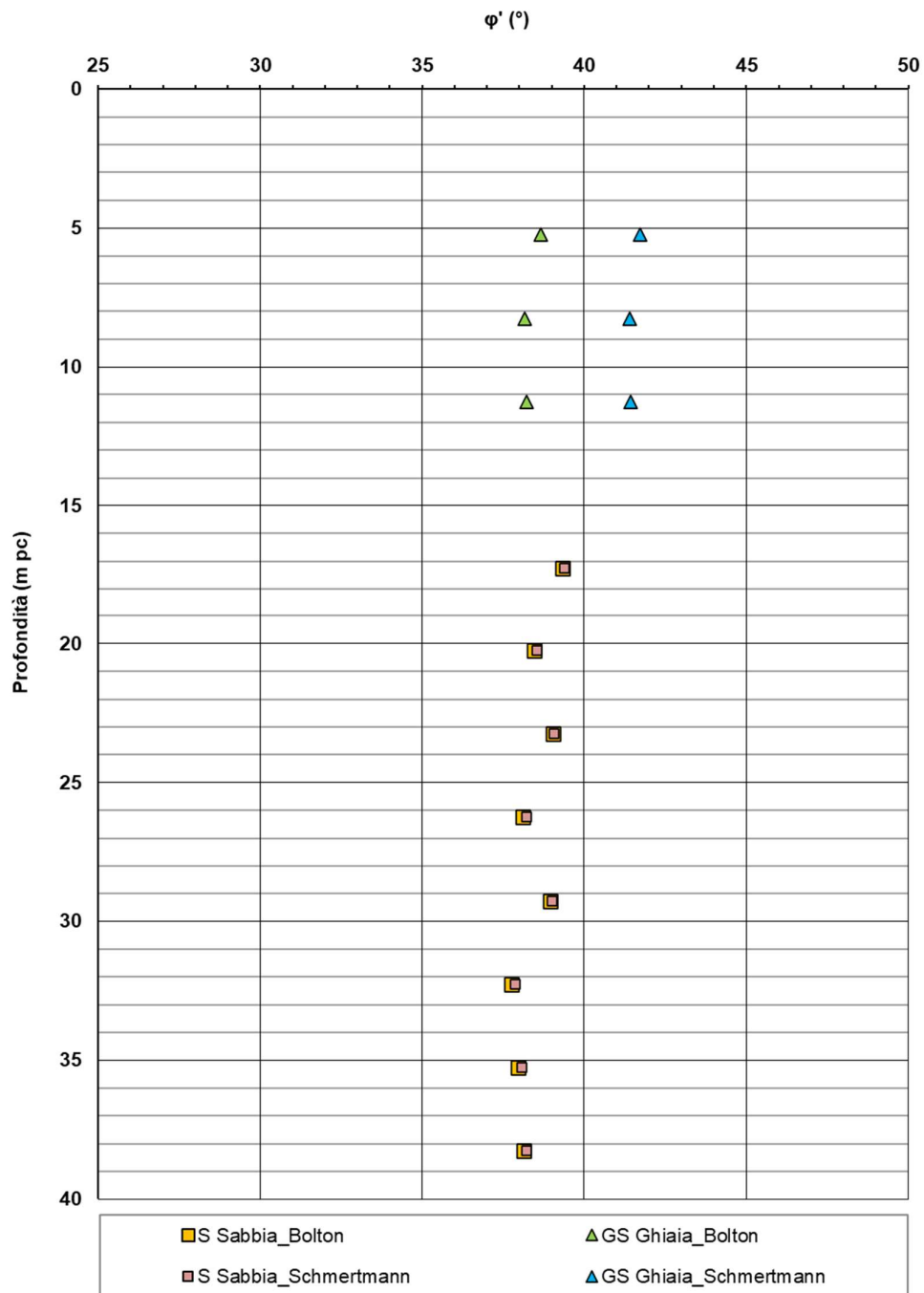


Figura 7 – Angoli di attrito da prove SPT tra pk 14+200 e pk 14+620



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2300001B

Foglio
17 di 82

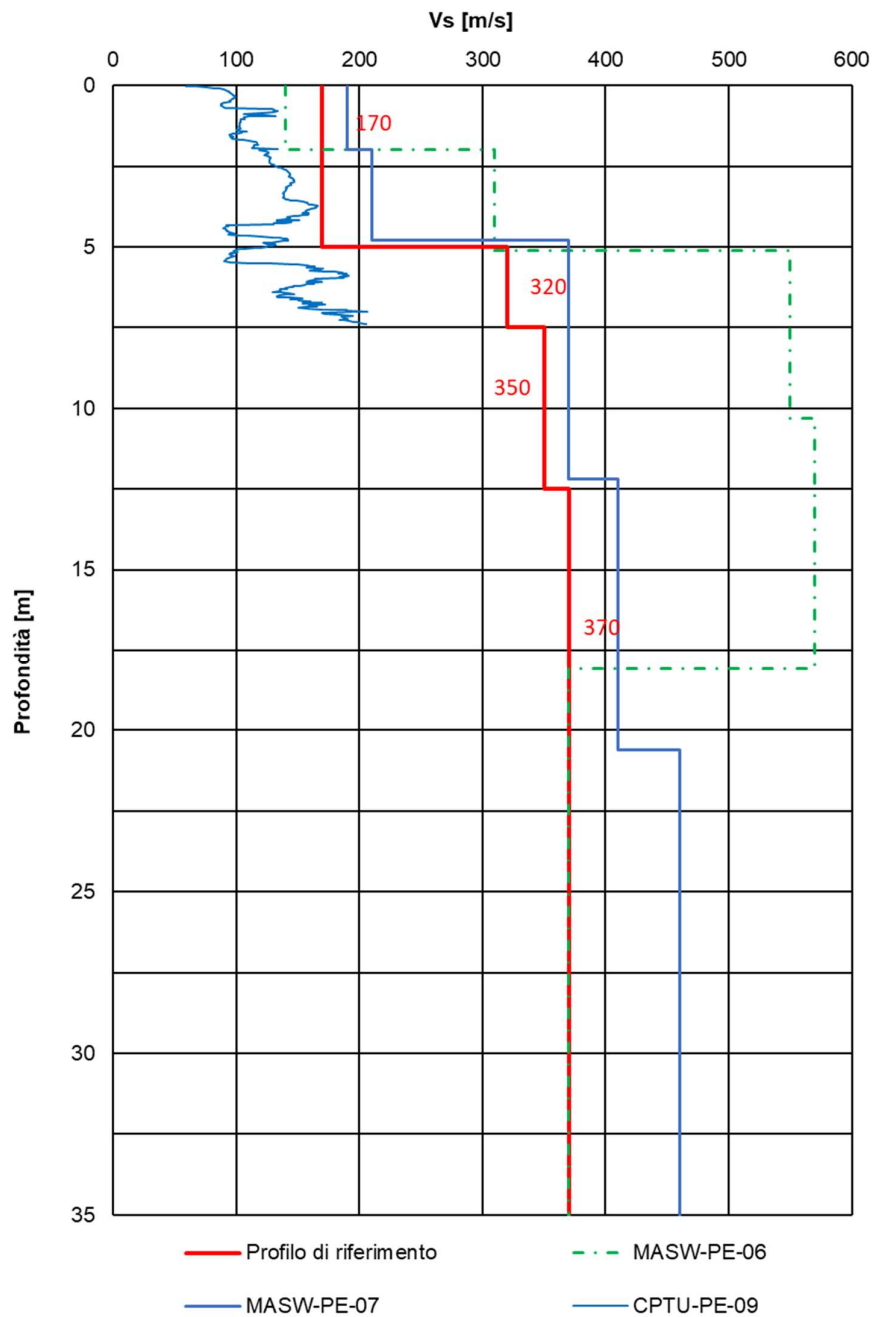


Figura 8 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT, CPTU e prove geofisiche tipo MASW tra pk 14+200 e pk 14+620



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

18 di 82

AV/AC VERONA VICENZA

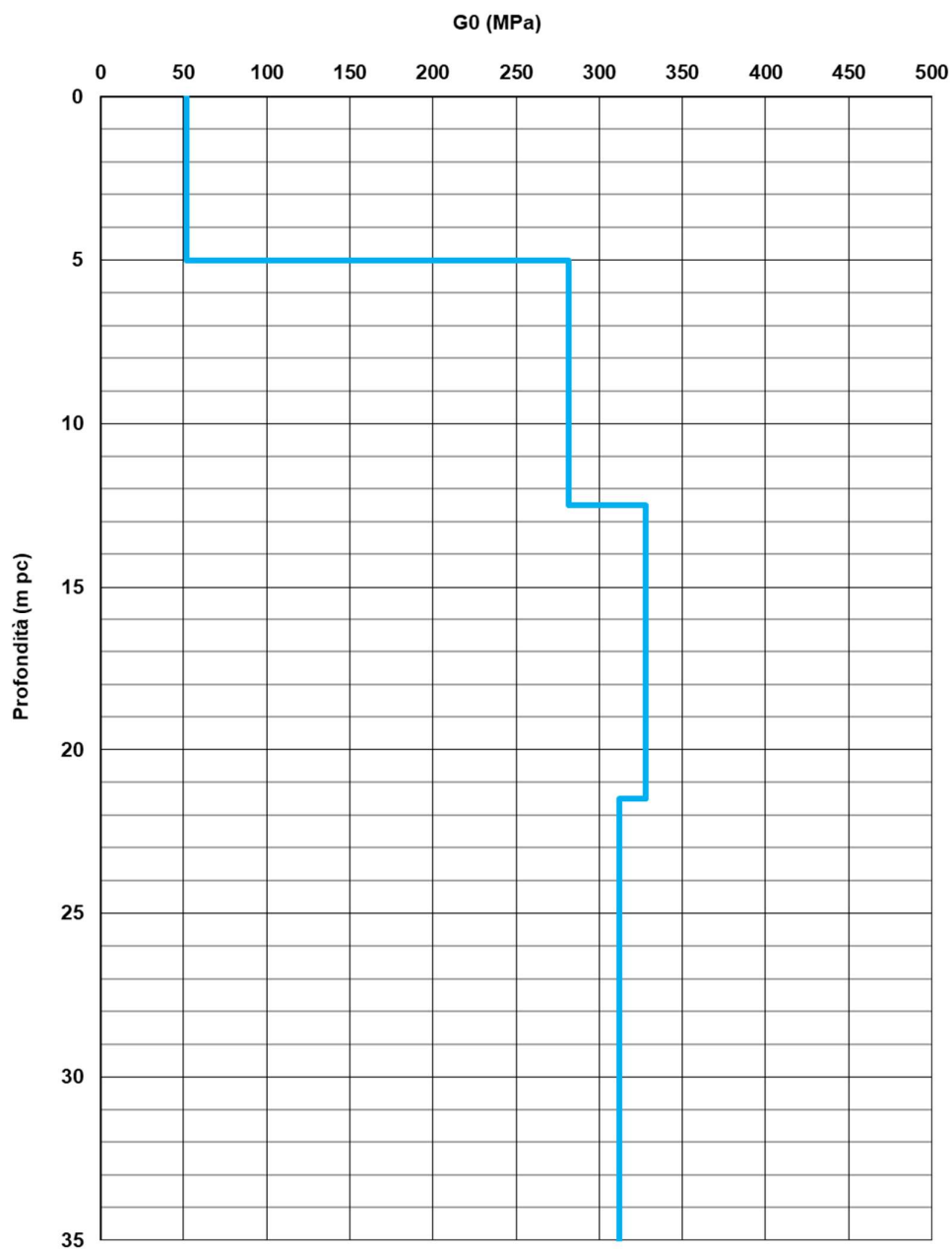




Figura 9 – Modulo di taglio G_0 tra pk 14+200 e pk 14+620

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 19 di 82

4.5 Sintesi del modello geotecnico di riferimento

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

Tabella 2 – Modello geotecnico di riferimento per il tratto dalla 14+300 fino alla fine delle WBS

	da m pc*	a m pc*	γ kN/m ³	φ_k °	c_k' kPa	c_{u,k} kPa	G₀ MPa	E'_{op} MPa
3b	1	3	18	-	-	80	-	12
3b	3	5	18	-	-	50	-	8
6	5	11	19	39	0	-	160	60
4	11	-	19	38	0	-	230	80

* quota piano campagna = 24.1 m s.l.m.

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

Per la prima parte, si fa invece riferimento al modello del rilevato RI 22, che si riporta in Tabella 3.

Tabella 3 – Modello geotecnico di riferimento per il tratto dalla 14+200 alla 14+300

	da m pc*	a m pc*	γ kN/m ³	φ_k °	c_k' kPa	c_{u,k} kPa	RR	CR	σ'p	G₀ MPa	E'_{op} MPa
3a	0.5	4	18	34(36)**	-	-	-	-	-	-	5(12)**
3b	4	5.5	18	-	-	40	0.02	0.18	180	-	-
3a	5.5	6.5	18	34	-	-	-	-	-	-	5
6	6.5	15	19	39	0	-	-	-	-	160	60
4	15	-	19	38	0	-	-	-	-	230	80

* quota piano campagna = 24.1 m s.l.m.

**i valori tra parentesi () si riferiscono alle caratteristiche del terreno trattato con colonne in 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 4 - 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 dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 20 di 82

5 CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

5.1 Sollecitazione sismica di progetto

5.1.1 Vita Nominale

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

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

Tabella 5 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

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

5.1.2 Classe d'uso

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

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

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



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 21 di 82

Tabella 6 – 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 dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 22 di 82

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

5.2 Suscettibilità alla liquefazione

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



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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 23 di 82

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

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

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  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 24 di 82

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

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

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

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

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

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

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

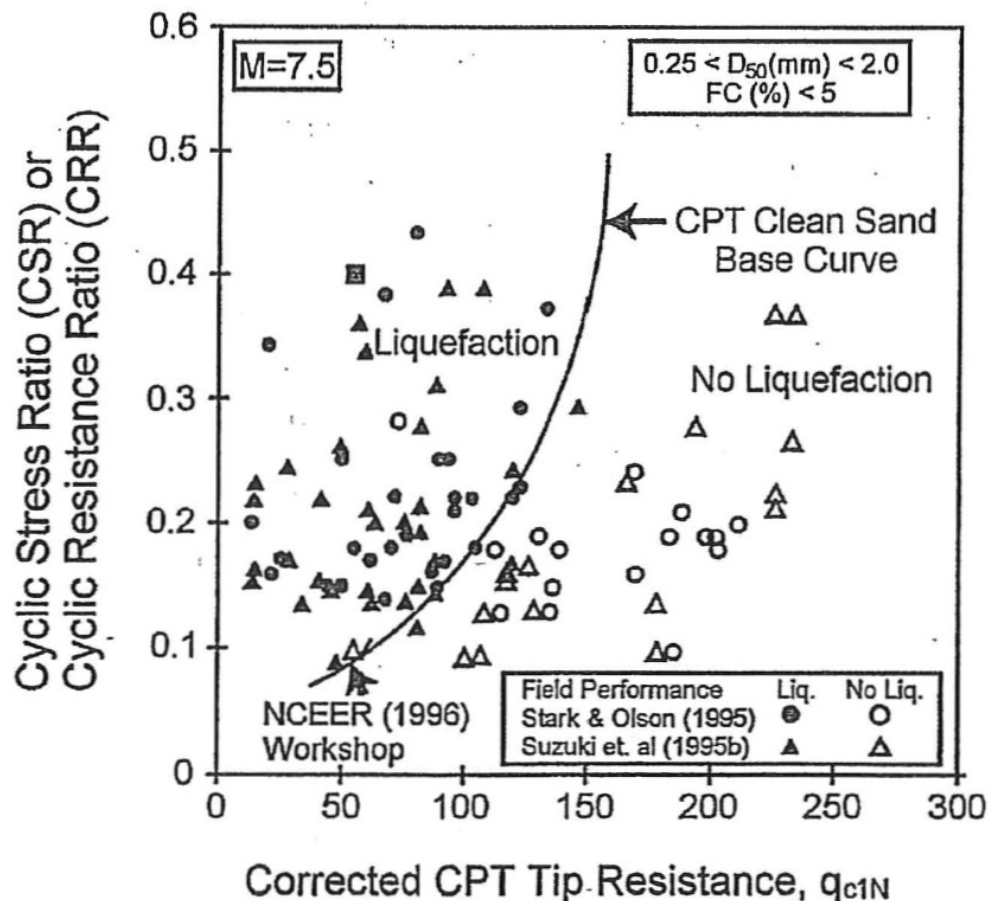




Figura 10: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 26 di 82

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 dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 27 di 82

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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

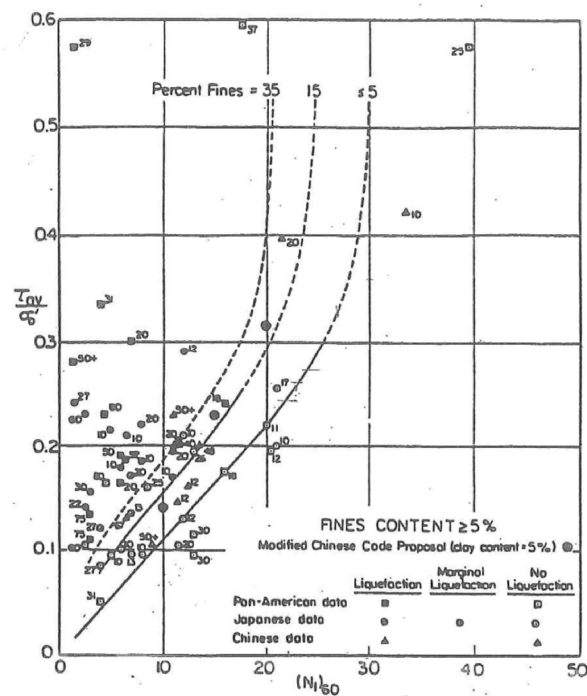




Figura 11: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

I risultati delle analisi (cfr. da Figura 12 a Figura 16) indicano rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI23. In particolare:

- dai risultati di CPTU-PE-09, che è riferibile alla prima parte della WBS in esame (RI23), in continuità con RI22, si evidenzia la presenza di materiale potenzialmente liquefacibile

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 29 di 82

- dai risultati di CPTU32 si evidenzia la presenza di 2 m di materiale potenzialmente liquefacibile, con $FL < 1.0$, in sommità. Anche la CPTU-PE-10, posta più a Ovest, indica simili problematiche.
- Non si evidenziano problemi di liquefazione dai risultati SPT su BH-PE-31.

Per quanto riguarda i rischi evidenziati dalla CPTU32bis e dalla CPTU-PE-10, si sono esaminati i sondaggi vicini a quest'ultima (cfr BH-PE-31 e BH-PE-32 in ALLEGATO 2) e, dalla quale emerge quanto segue:

- I dati delle due CPTU, in termini di previsione di potenziale di liquefazione, risultano molto simili, con valori di I_c praticamente coincidenti con il valore "spartiacque" di 2.6, fa terreni clay-like e sand-like
- In tali circostanze, i risultati del metodo rimangono in un terreno ai limiti della applicabilità.
- Tuttavia, i sondaggi eseguiti in prossimità della CPTU-PE10 (BH-PE-32bis e BH-PE-32) indicano chiaramente che si tratta di terreni argillosi, e che quindi non suscettibili di liquefazione.

Si può pertanto concludere che nella seconda parte della WBS, i terreni delle coperture superficiali sono costituiti da materiali appartenenti all'Unità 3b, e pertanto non suscettibili di liquefazione.



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2300001B

Foglio
30 di 82

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-09 Pr. 14+143
 $\sigma_{v,max} = 0.30 \text{ Mg}$ $M_{calc} = 6$ $MSF = 2$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
 Altezza rilevato = 2m

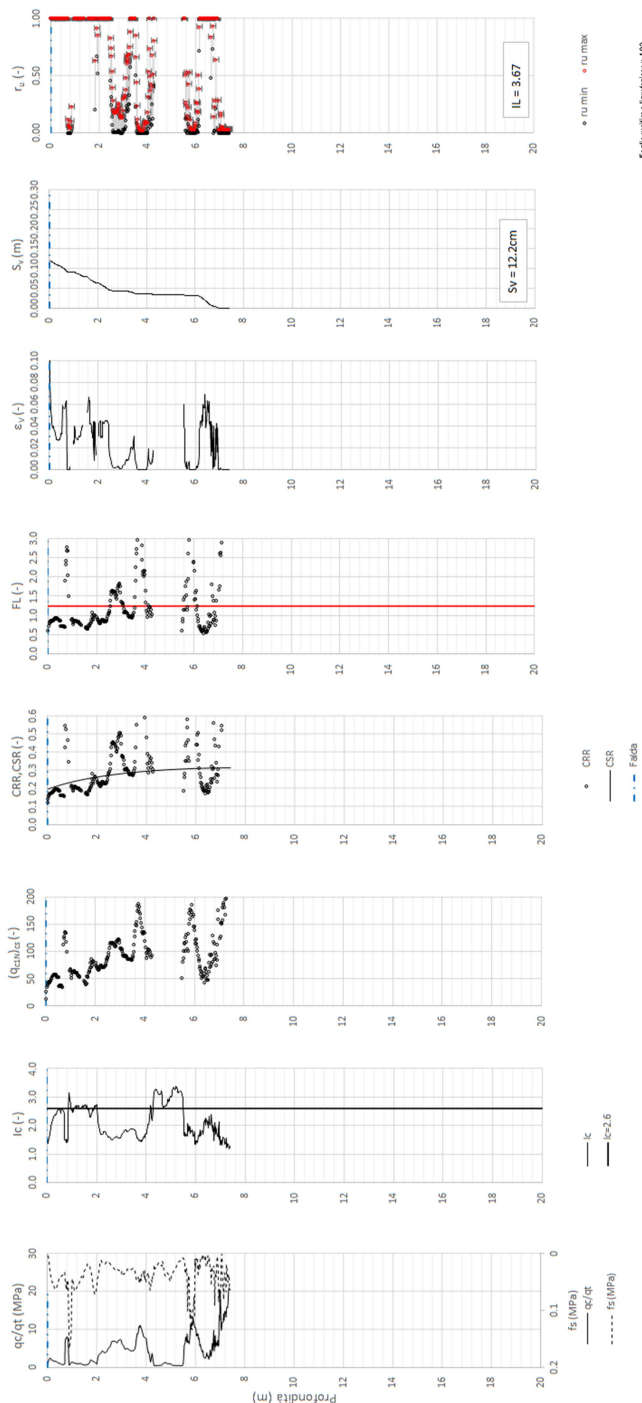


Figura 12 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-09



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI230001B

Foglio
31 di 82

Tratta AC/AV Verona - Padova - Sub Tratta - Verona - Vicenza - Prova CPTU32BIS Pr. 14+350

Amax_calc / g = 0.301 M_calc = 6 Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001 MSF = 2

Riempimento h = 2 m Sovraccarico = 0 MPa

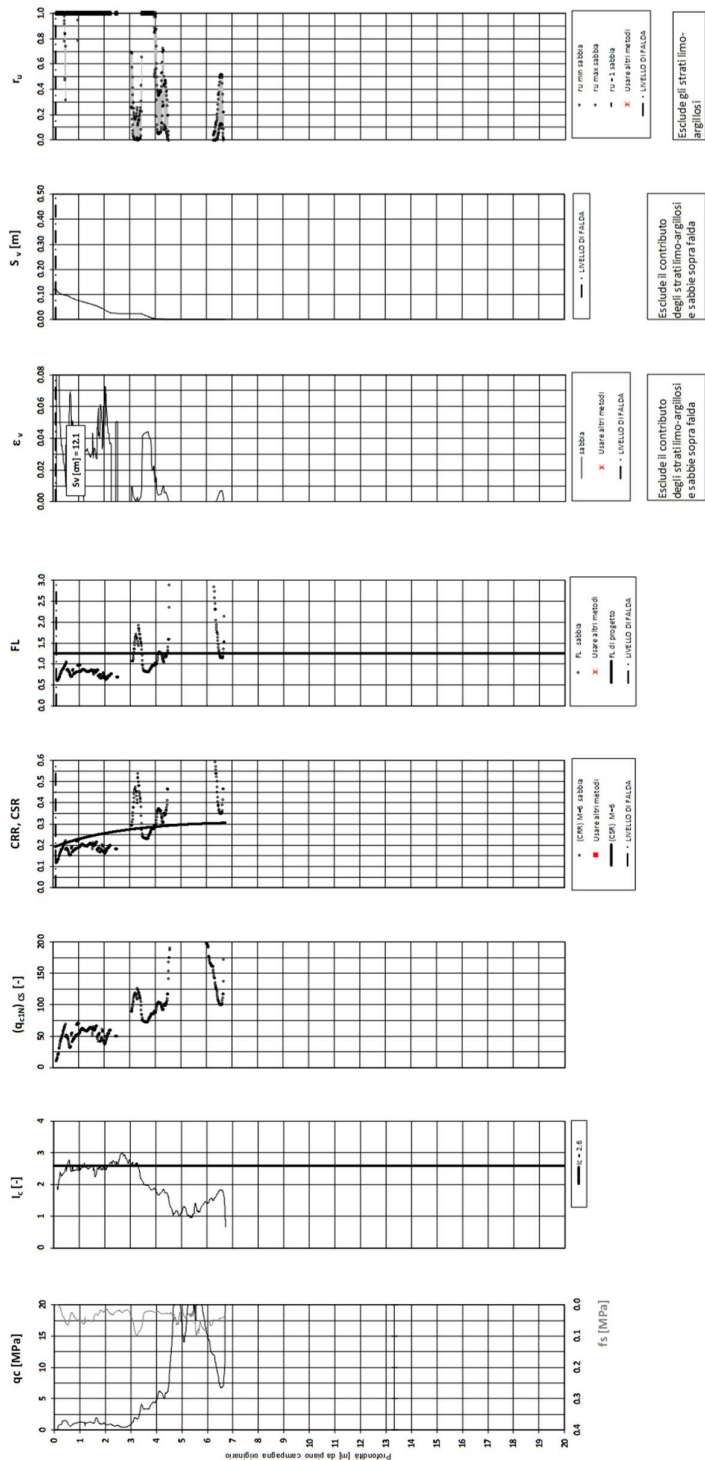


Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU32bis



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

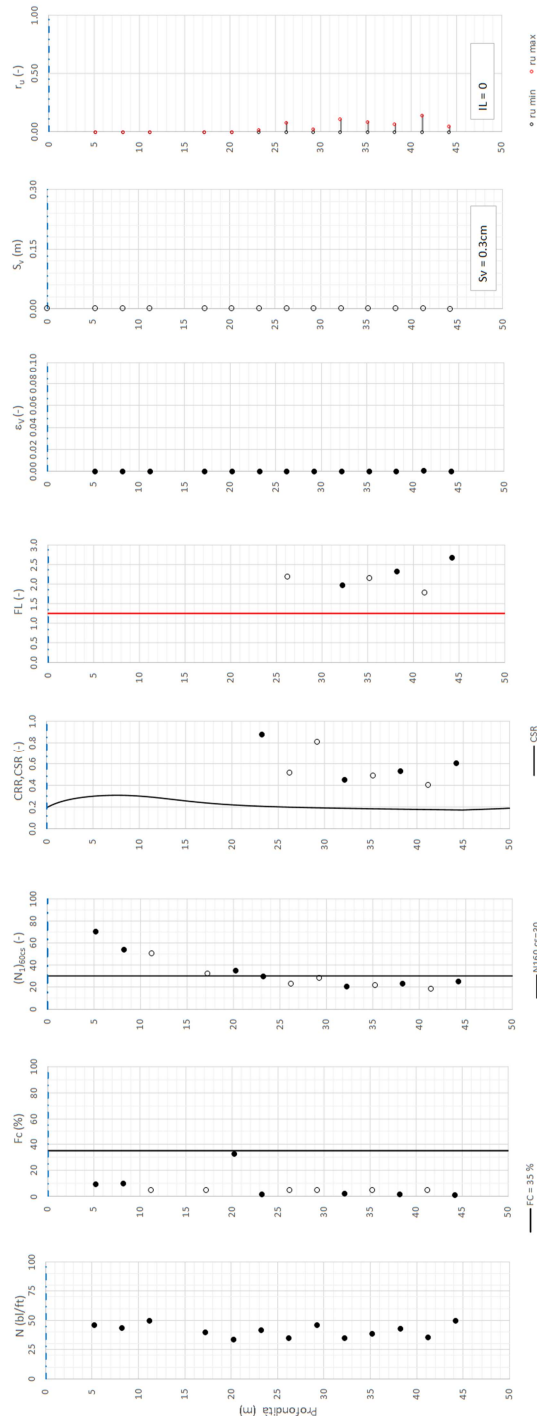
Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI230001B

Foglio
32 di 82

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-31 Pr. 14+673
a_rmax = 0.301g M_{calc} = 6 MSF = 2 Metodo NICEF 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

Figura 14 – Verifica Liquefazione da risultati BH-PE-31



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

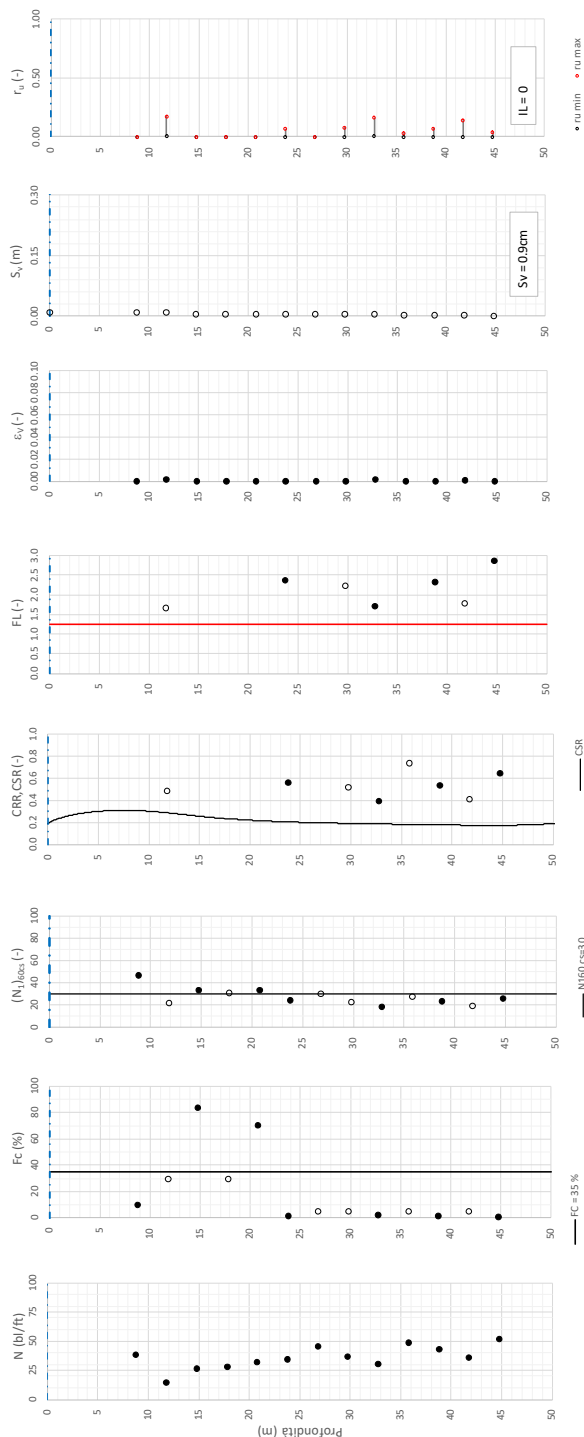
Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2300001B

Foglio
33 di 82

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-32 Pr. 14-700
a_{s,max} = 0,30kg 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 su lab. stima di valori finali per lo strato

Foglio verifica liquefazione Nappi v. 102

Figura 15 – Verifica Liquefazione da risultati BH-PE-32



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2300001B

Foglio
34 di 82

T tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-10 Pr. 14-705
s_{max} = 0.301g M_{calc} = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 2m

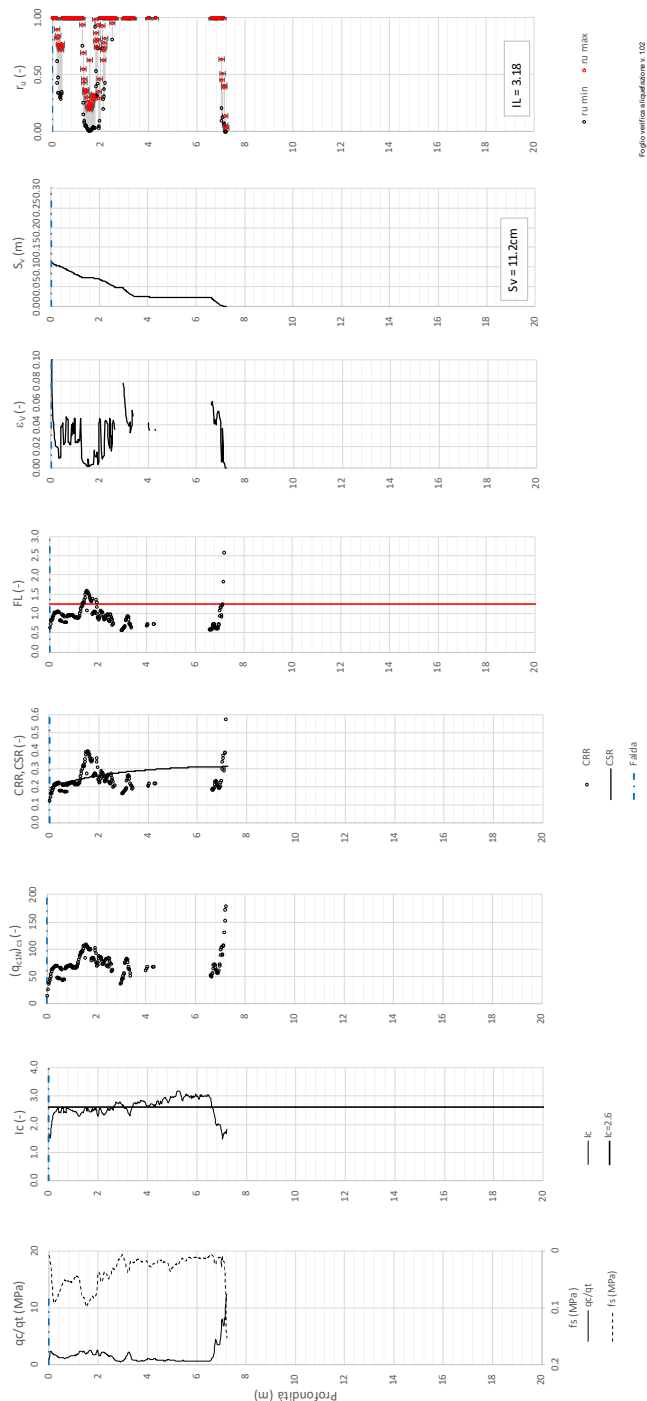




Figura 16 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-10

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 35 di 82

5.2.3 Soil improvement



Come illustrato al punto precedente, la CPTU-PE-09 alla pk 14+143 evidenzia la presenza di materiali liquefacibili. Considerando la vicinanza di questa prova con l'inizio della WBS, in continuità con gli interventi per Ri22, si prescrive dalla pk 14+200 alla 14+300 l'esecuzione di un trattamento di miglioramento delle caratteristiche dei terreni.

Tale trattamento prevede l'installazione di colonne in ghiaia con diametro $D=800$ mm, lunghezza $L=4$ m, interasse $i=2.0$ m, a maglia quadrata.

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

Dalla pk 14+300 alla pk 14+640, si prescrive quanto segue:

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 36 di 82

6 VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO

6.1 Criteri di verifica agli Stati Limite

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

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

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

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

dove:

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

R_d valore di progetto della resistenza.

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

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

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

dove:

E_d valore di progetto dell'effetto dell'azione;

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

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

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

6.1.1 Stati limite ultimi (SLU)



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

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

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

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  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 37 di 82

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

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

Tabella 7 – 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 8 – 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 9 – 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 dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 38 di 82

6.1.2 Stati limite di esercizio (SLE)

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

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

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

Tabella 10 – 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 dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 39 di 82

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 11)

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

g accelerazione di gravità.

Tabella 11 - 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  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 40 di 82

6.3 Verifiche e risultati SLU

6.3.1 Premessa

Le verifiche SLU della stabilità globale del rilevato (sia in condizioni statiche che sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo SLIDE 7.0 (Doc. Rif. [29]). Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento rispettivamente ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico e ai coefficienti parziali (M2) per le analisi sismiche. Tali coefficienti sono contenuti nella Tabella 8 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 17 sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2. Il valore minimo di FS è pari a:

$$F_{S_{MIN}} (DA1C2) = 1.319 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

6.3.3 Verifiche SLU in condizioni sismiche

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

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

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

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

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

$$FS_{MIN} = 1.154 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale post liquefazione risulta soddisfatta.

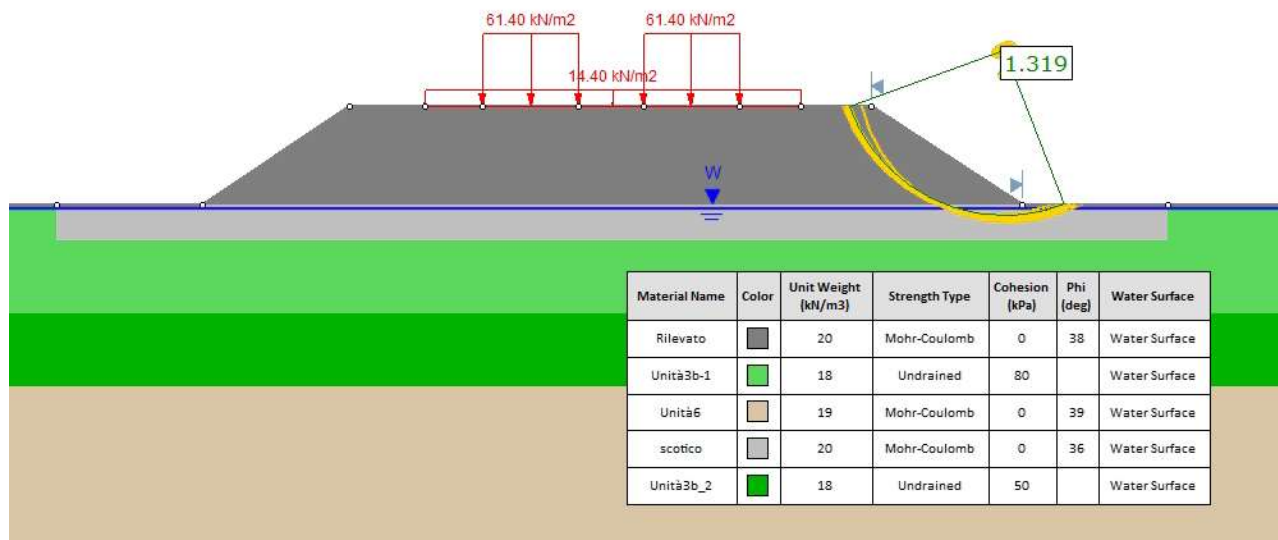


Figura 17 - Rilevato RI23 - Analisi SLU in campo statico DA1C2



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17



Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2300001B

Foglio
42 di 82



Figura 18 - Rilevato RI23 - Analisi SLU in campo sismico

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 43 di 82

6.4 Verifica e risultati SLE

6.4.1 Metodologia di calcolo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 = semi-larghezza dell'area di carico in direzione x

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

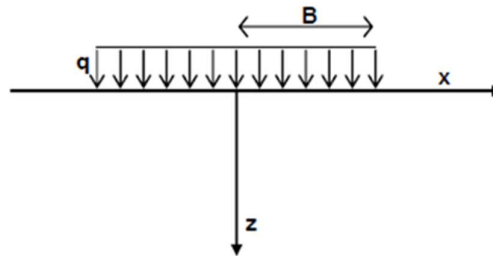


Figura 19 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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:

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

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

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

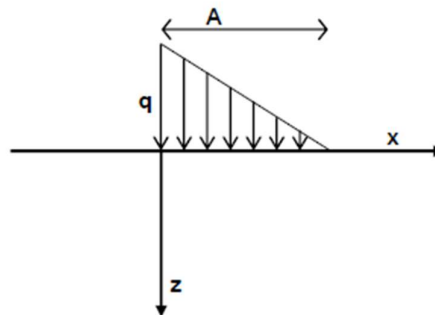




Figura 20 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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 dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 45 di 82

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

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

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

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

dove

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

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

6.4.2 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 2.70 m è riportato in Figura 21. La larghezza del rilevato è pari a 21 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 4.0 m² (maglia 2.0x2.0 m), si ottiene un modulo equivalente pari a:

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

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 22.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 46 di 82

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

Considerando che:

- La maggior parte (3 cm) avviene per compressione degli strati argillosi in superficie (Figura 23), che verranno ricompresi nel ramo di ricarico, con valori di cv elevati ($\geq 5 \cdot 10^{-7}$ m²/s);
- Gli strati di argilla hanno tempi di consolidazione rapidi;

Si conclude che tali cedimenti si esauriranno praticamente all'atto dell'applicazione dei carichi, e quindi non risultano essere necessarie dettagliate analisi di consolidazione. Inoltre, considerata la natura dei terreni i cedimenti secondari sono trascurabili.

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

La verifica SLE è quindi da considerarsi soddisfatta.

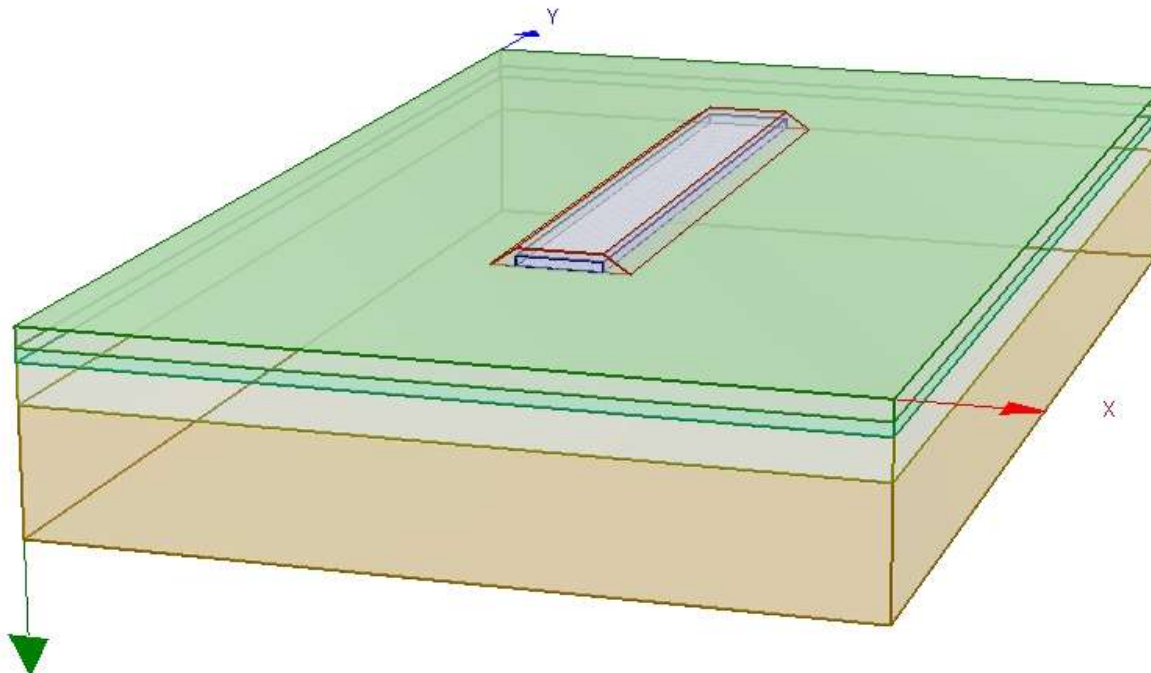


Figura 21 - Rilevato RI23 H=2.70 m - Analisi SLE – Modello di calcolo



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
 Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

47 di 82

Ri23: Cedimento del rilevato ferroviario linea AV

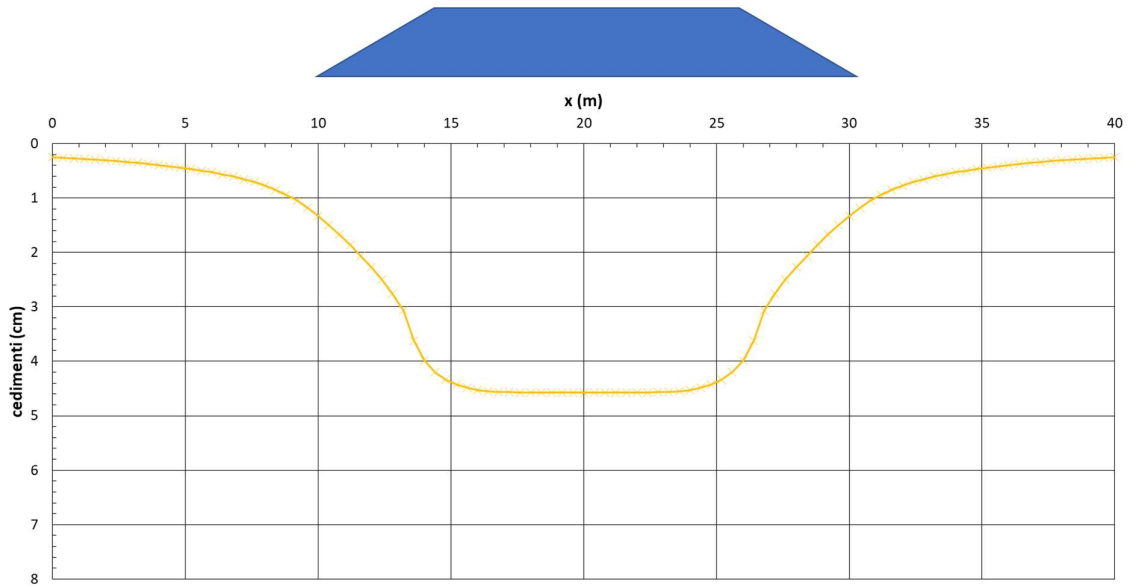


Figura 22 - Analisi SLE – Risultato Cedimenti



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

48 di 82

Ri23: cedimento al centro del rilevato AV

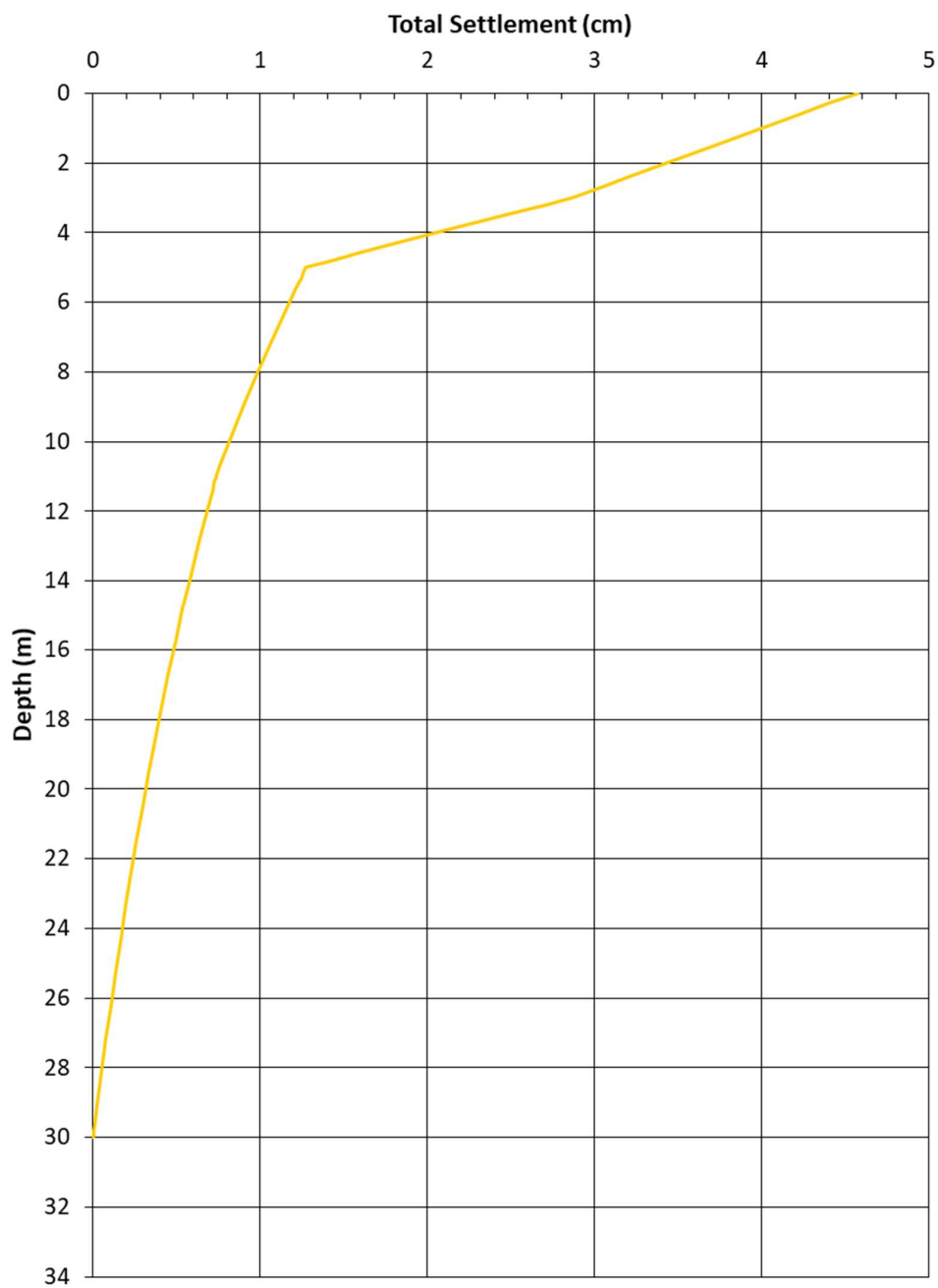


Figura 23 - Analisi SLE – Risultato cedimenti in profondità al centro del rilevato

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

49 di 82

7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 50 di 82
---	------------------	-------------	-----------------------------	--------------------

ALLEGATI

GENERAL CONTRACTOR

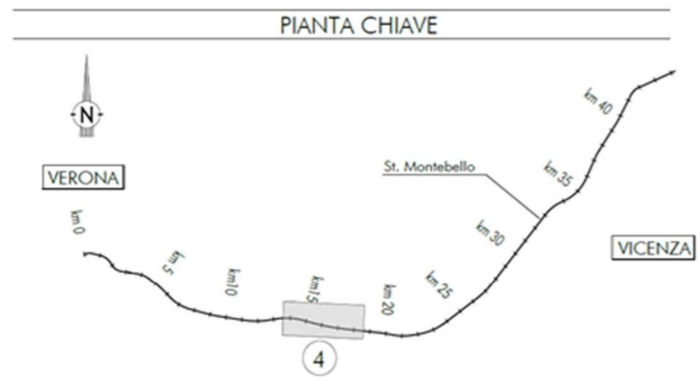
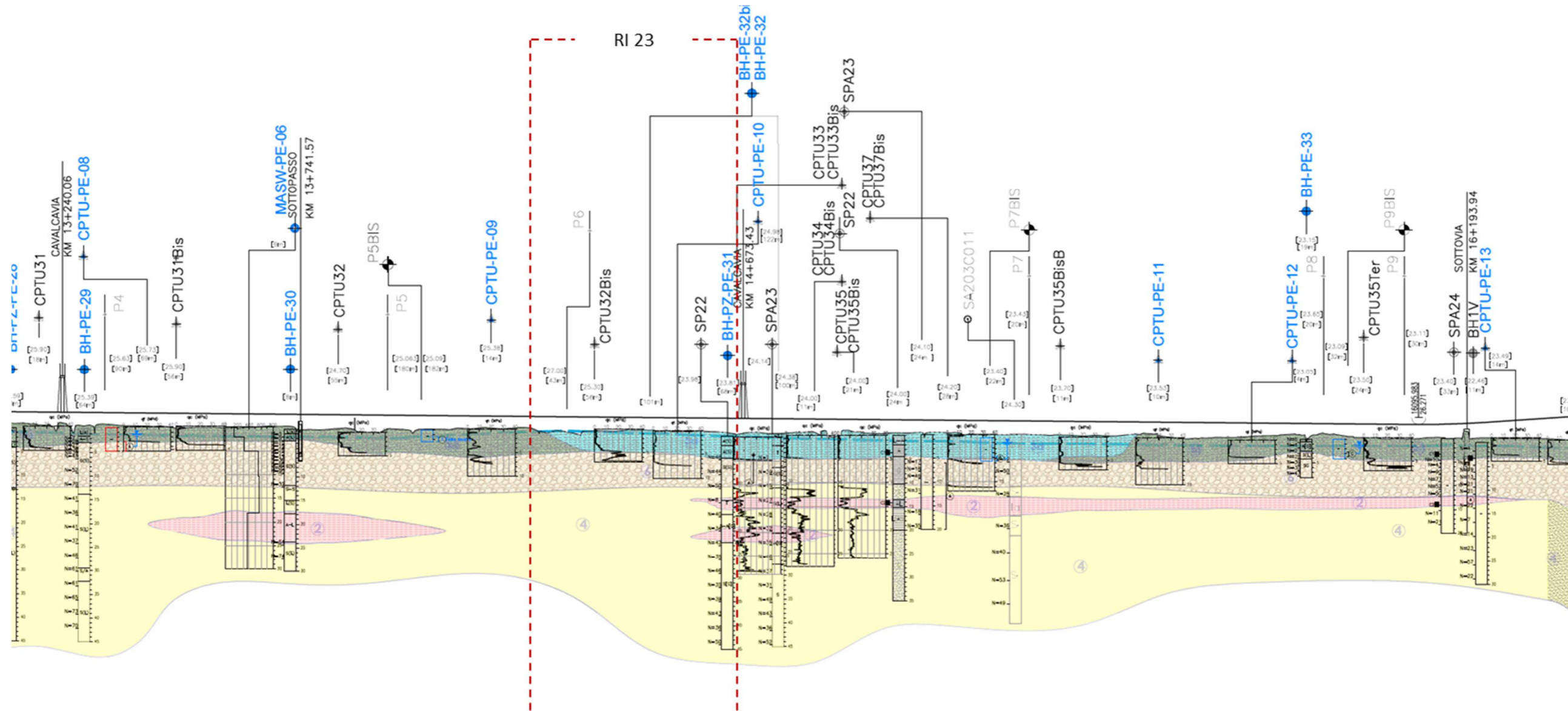


ALTA SORVEGLIANZA





Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI2300001B	51 di 82

ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



- LEGENDA**
- Campagna indagini integrative PE**
- BH-PE-A Sondaggio a carotaggio continuo
 - BH-PE-B Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande
 - MASW-PE-A Indagini MBW
 - CPTU-PE-A Prova penetrometrica statica con piezometro
- Campagna indagini 2018 per CDS**
- Sondaggio geognostico
- Campagna indagini 2015**
- P1-P15, P20 Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - P1-15Bis Foro a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)
- Campagna indagini 2014**
- SP Sondaggio a carotaggio continuo
 - SPC Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SDA Foro a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - CPTU Prova penetrometrica statica con piezometro (possibilita di avanzamento con trivellazione)
 - CRU Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"
 - CR Foro a distruzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
 - PE Pazzetto esplorativo a 1,5 m da p.c. con prove di carico su piastra
 - Profondità delle indagini
- PIZZETTI**
- PI-PE-A Pazzetto esplorativo
 - BH-PE-B Sondaggio con esecuzione di prova down hole
 - CR-PE-A Sondaggio con esecuzione di prova cross hole
 - Indagini antisismi
- Nota per PE: in tu le indagini disponibili e con coordinate ortis, in caso indagini ancora non disponibili o con coordinate non note

- Campagna indagini pregresse**
- Sondaggio geognostico (campagna 1998)
 - Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
 - ▲ CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
 - Pozzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (VI) per gentile concessione Centro Idrico Novoledo s.r.l.)
- Asse di progetto --- confine di Provincia Confine Comunale
- Classi dei terreni**
- ① Riporto
 - ② Limi argillosi e limi da compatte a molto compatte, generalmente sovraconsolidati
 - ③a Area con prevalenza di sabbie limose/ con limo e limi sabbiosi/ con sabbia, a comportamento drenato, da scoli a mediamente addensati
 - ③b Area con prevalenza di limi argillosi e argille limose, da tenere a mediamente compatte, generalmente NC o debolmente OC
 - ③c Area di alteranza, sia in verticale che planimetrica, di materiali 3a e 3b
 - ④ Sabbie generalmente da debolmente limose a limose, da mediamente addensati a molto addensati
 - ⑤ Ghiaie, ghiaie con sabbie, con presenza locale di ciottoli, anche di grandi dimensioni (fino a 80/100mm)
 - ⑥

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>R19 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 11</p>	<p>Codifica E12GERI190001</p>	<p>A</p>

ALLEGATO 2 - SONDAGGI



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI2300001B	54 di 82

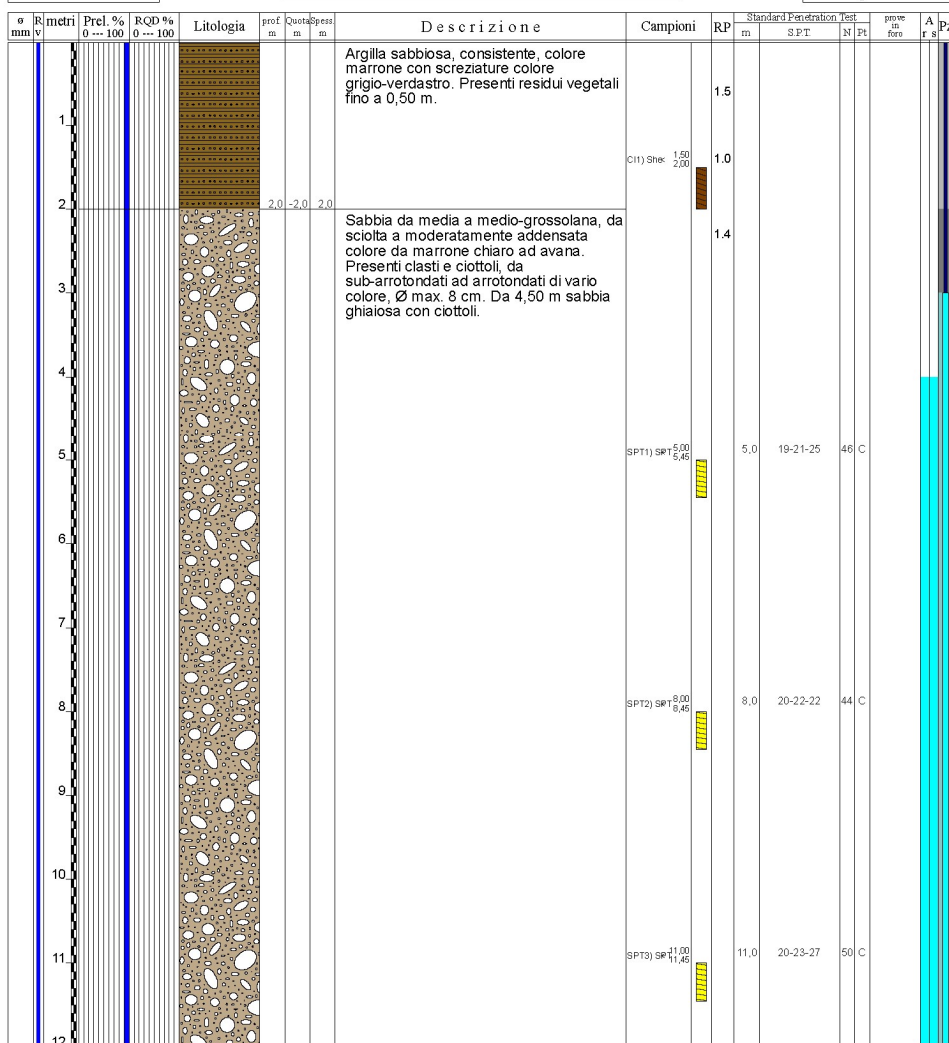
GEOSERVING S.r.l. Laboratorio Sperimentale
per prove geotecniche terra, rocce e prove in situ
Via Callimero, 3 - San Vittore del Lazio (FR)
e-mail: info@geoserving.it

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 31
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 16/11/2020 - 19/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+650	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 31

Pagina 1/4



Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2300001B

Foglio
55 di 82

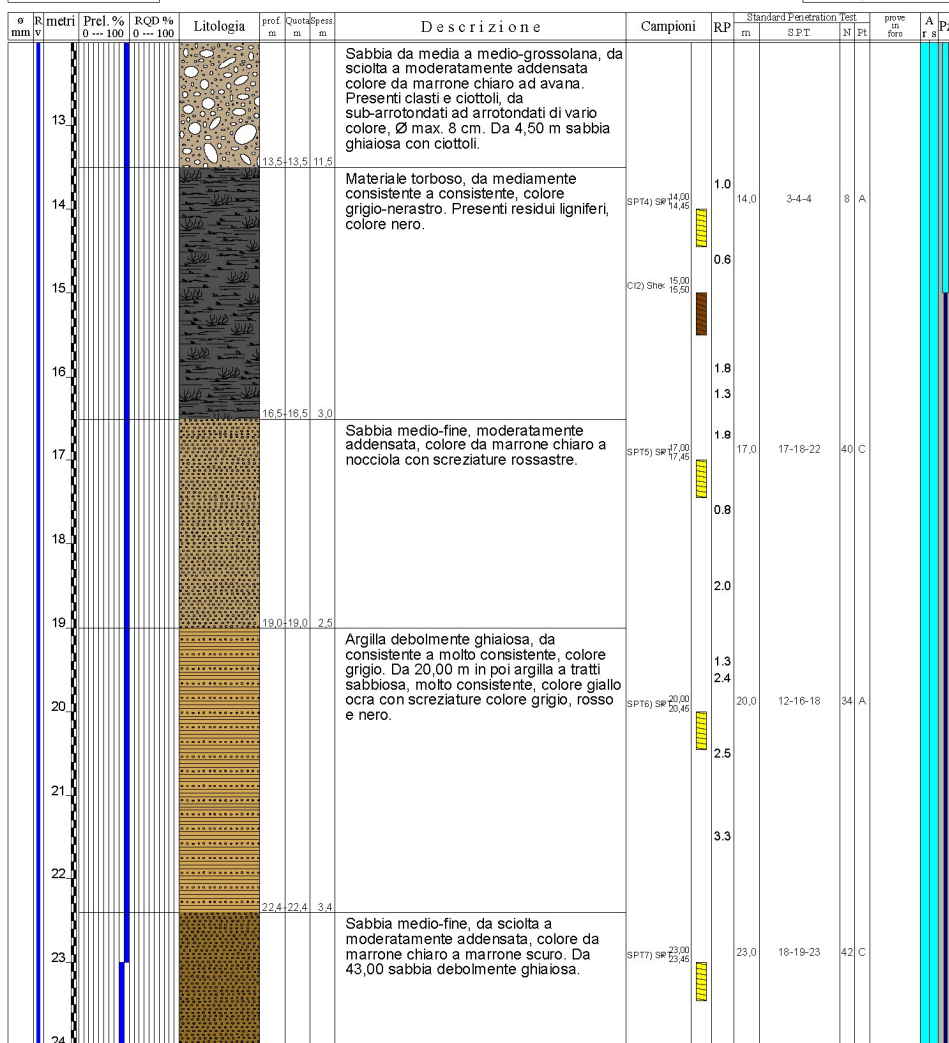
GEOSERVING S.r.l. Laboratorio Sperimentale
per prove geotecniche terra, rocce e prove in situ
Via Callimeroi, 3 - San Vittore del Lazio (FR)
e-mail: info@geoserving.it

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 31
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 16/11/2020 - 19/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+650	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 31

Pagina 2/4



Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI2300001B	56 di 82

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

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 31
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 16/11/2020 - 19/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+650	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 31

Pagina 3/4

σ mm	R v	metri	Prel. % 0 --- 100	RQD % 0 --- 100	Litologia	prof m	Quota m	Spes m	Descrizione	Campioni	RP m	Standard Penetration Test S.P.T.	Test N Pt	prove in foro	A f s	Pz	
		25			Sabbia medio-fine, da sciolta a moderatamente addensata, colore da marrone chiaro a marrone scuro. Da 43,00 sabbia debolmente ghiaiosa.												
		26				SPT8) SP 26,00 25,46	26,0			15-16-19	35	C					
		27															
		28															
		29				SPT9) SP 29,00 28,46	29,0			22-23-23	46	C					
		30															
		31															
		32				SPT10) SP 32,00 31,46	32,0			15-17-18	35	C					
		33															
		34															
		35				SPT11) SP 35,00 34,46	35,0			19-19-20	39	C					
		36															

Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI2300001B

57 di 82

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

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 31
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 16/11/2020 - 19/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+650	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 31

Pagina 4/4

σ mm	R v	Prof. m	Quota m	Spes. m	Litologia	Descrizione	Campioni	RP m	Standard Penetration Test S.P.T.	Test N Pt	prove in foro	A f s	Pz	
		37			Sabbia medio-fine, da sciolta a moderatamente addensata, colore da marrone chiaro a marrone scuro. Da 43,00 sabbia debolmente ghiaiosa.									
		38				SPT12) 38,00 38,45	38,0	17-19-24	43	C				
		39												
		40												
		41				SPT13) 41,00 41,45	41,0	15-18-18	36	C				
		42												
		43												
		44				SPT14) 44,00 44,45	44,0	20-23-27	50	C				
101		45												

Utilizzato carotiere semplice.
Prelevati n. 2 campioni indisturbati.
Prelevati n. 14 campioni rimaneggiati S.P.T.
Eseguiti n. 14 prove S.P.T.
Installato tubo piezometrico a tubo aperto da 2" fino a 15,00 m da p.c.
Installato chiusino in ferro.
Approvvigionamento e trasporto di acqua necessaria per la perforazione.

Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI230001B

Foglio
58 di 82

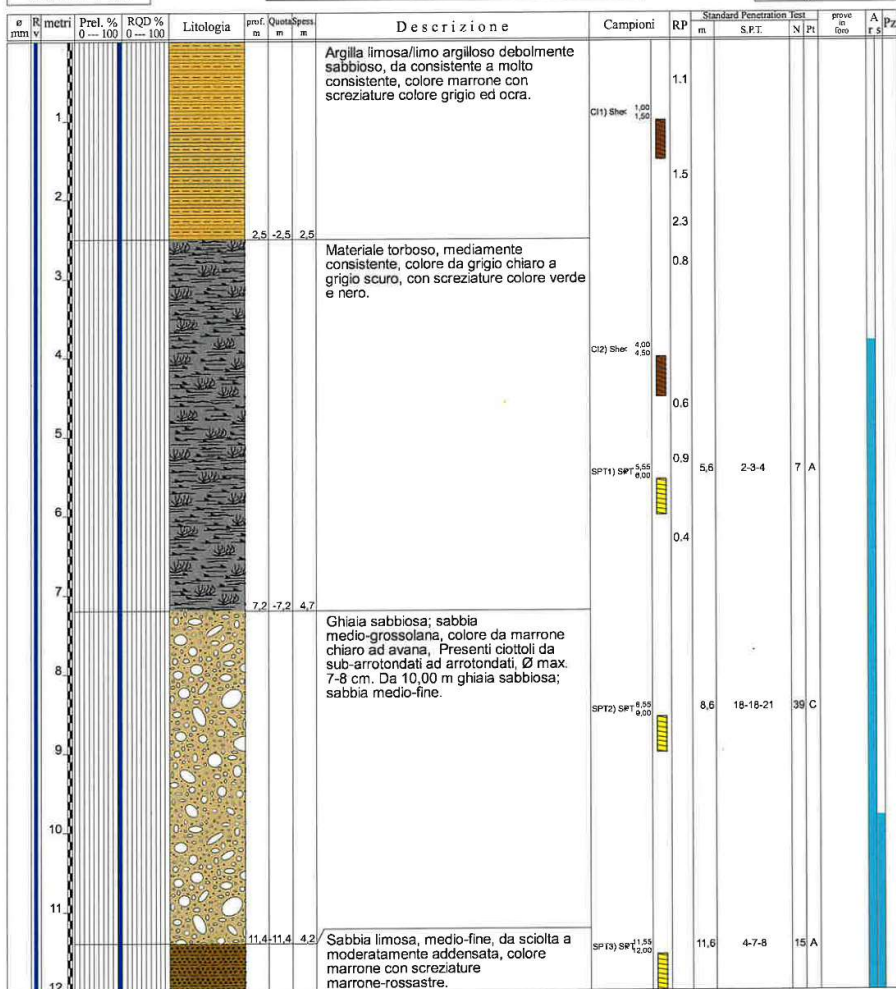
GEOSERVING S.r.l. Laboratorio Sperimentale
per prove geotecniche terre, rocce e prove in situ
Via Collemaroni, 3 - San Vittore del Lazio (FR)
e-mail: info@geoserving.it

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 32
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 19/11/2020 - 25/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+700	

SCALA 1 :60

STRATIGRAFIA - BH PE 32

Pagina 1/4



Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
E12RBRI230001B

Foglio
59 di 82



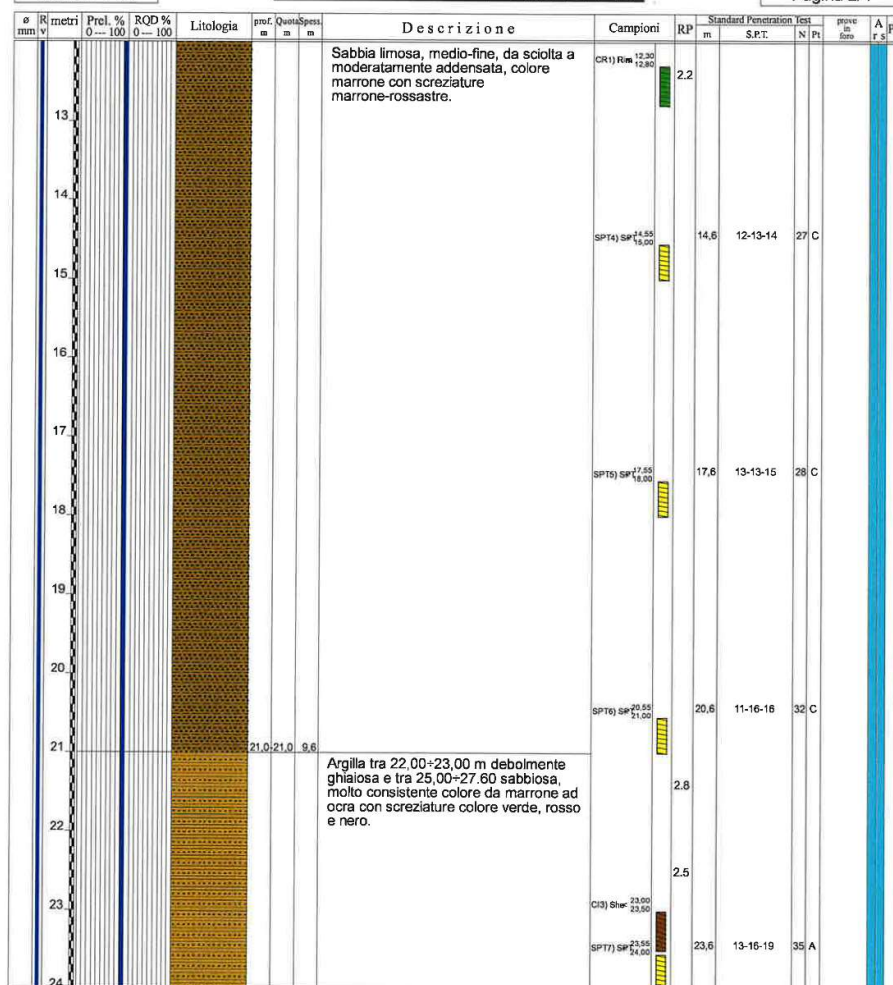
Laboratorio Sperimentale
per prove geotecniche terre, rocce e prove in situ
Via Collemaroni, 3 - San Vittore del Lazio (FR)
e-mail: info@geoserving.it

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 32
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 19/11/2020 - 25/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+700	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 32

Pagina 2/4



Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

61 di 82



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

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 32
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 19/11/2020 - 25/11/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+700	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 32

Pagina 4/4

Prof. m	Rimetri	Prel. %	RQD %	Litologia	prof. m	Quota m	Spess. m	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test			prove in foro	A f. s.	Pz
											m	S.P.T.	N			
37								Sabbia media, addensata, colore ocre. Tra 43,00+45,00 presenti inclusi litici sub-arrotondati.								
38																
39									SPT12) 38,55 36,00	38,6	17-19-24	43	C			
40																
41																
42									SPT13) 41,55 42,00	41,6	18-18-18	36	C			
43																
44																
45									SPT14) 44,55 45,00	44,6	23-24-28	52	C			
101					45,0	45,0	17,4									

Utilizzato carotiere semplice.
Prelevati n. 3 campioni indisturbati.
Prelevato n. 1 campione rimaneggiato.
Prelevati n. 14 campioni rimaneggiati S.P.T.
Eseguite n. 14 prove S.P.T.
Approvvigionamento e trasporto di acqua necessaria per la perforazione.

Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI2300001B	Foglio 62 di 82
---	------------------	-------------	-----------------------------	--------------------

ALLEGATO 3- TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

63 di 82

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RI23_stat.slim
Slide Modeler Version: 7.038
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

General Settings

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

Design Standard

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

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

64 di 82

SLIDEINTERPRET 7.030



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

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

Random Numbers

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

Surface Options

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

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

3 Distributed Loads present

Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Material Properties





Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI2300001B

65 di 82

SLIDEINTERPRET 7.030



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

Property	Rilevato	Unità3b-1	Unità6	Unità4	scotico	Unità3b_2
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Undrained	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained
Unit Weight [kN/m3]	20	18	19	19	20	18
Cohesion [kPa]	0		0	0	0	
Friction Angle [deg]	38		39	38	36	
Cohesion Type		80				50
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	0	1	1	1	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.318570
Center:	42.029, 27.222
Radius:	4.531
Left Slip Surface Endpoint:	37.762, 25.700
Right Slip Surface Endpoint:	43.672, 23.000
Resisting Moment:	274.46 kN-m
Driving Moment:	208.149 kN-m
Total Slice Area:	5.39486 m2
Surface Horizontal Width:	5.91009 m
Surface Average Height:	0.912822 m

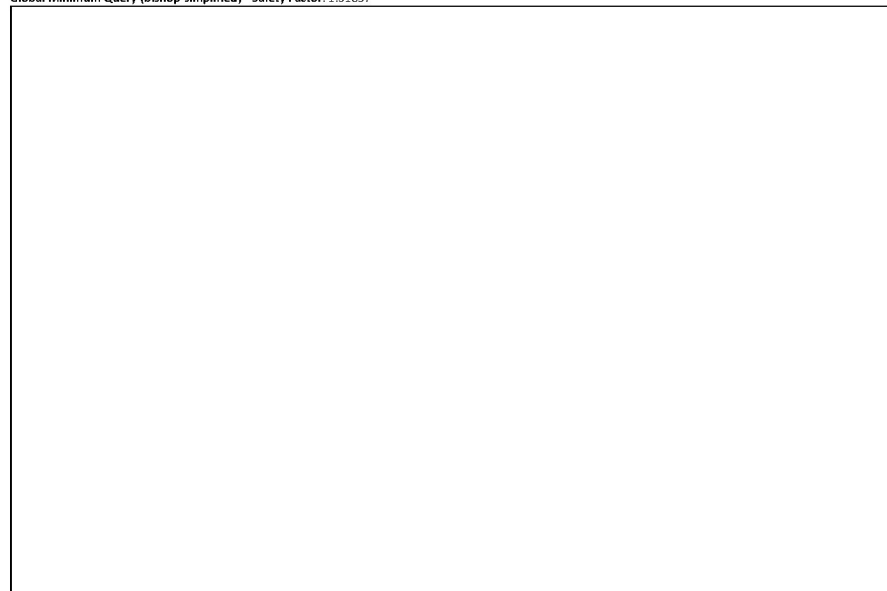
Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

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

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.31857





Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI2300001B

Foglio
66 di 82

SLIDEINTERPRET 7.030



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

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.114107	0.328944	-68.4052	Rilevato	0	32.0066	0.622757	0.821149	1.31378	0	1.31378	2.8871	2.8871
2	0.114107	0.933991	-64.7526	Rilevato	0	32.0066	1.93764	2.55491	4.08766	0	4.08766	8.19651	8.19651
3	0.114107	1.45036	-61.5462	Rilevato	0	32.0066	3.21798	4.24313	6.78868	0	6.78868	12.7269	12.7269
4	0.114107	1.90432	-58.645	Rilevato	0	32.0066	4.45481	5.87398	9.39792	0	9.39792	16.709	16.709
5	0.114107	2.31081	-55.9689	Rilevato	0	32.0066	5.64674	7.44562	11.9125	0	11.9125	20.2743	20.2743
6	0.114107	2.64519	-53.4674	Rilevato	0	32.0066	6.70821	8.84525	14.1518	0	14.1518	23.2066	23.2066
7	0.114107	2.82339	-51.1061	Rilevato	0	32.0066	7.39537	9.75131	15.6014	0	15.6014	24.7686	24.7686
8	0.114107	2.96342	-48.8602	Rilevato	0	32.0066	7.98805	10.5328	16.8517	0	16.8517	25.9957	25.9957
9	0.114107	3.08027	-46.7111	Rilevato	0	32.0066	8.52029	11.2346	17.9745	0	17.9745	27.0195	27.0195
10	0.114107	3.17668	-44.6447	Rilevato	0	32.0066	8.99626	11.8622	18.9786	0	18.9786	27.864	27.864
11	0.114107	3.2548	-42.6495	Rilevato	0	32.0066	9.41945	12.4202	19.8714	0	19.8714	28.548	28.548
12	0.114107	3.31638	-40.7165	Rilevato	0	32.0066	9.79273	12.9124	20.659	0	20.659	29.087	29.087
13	0.114107	3.36285	-38.8382	Rilevato	0	32.0066	10.1188	13.3423	21.3467	0	21.3467	29.4935	29.4935
14	0.114107	3.39542	-37.0084	Rilevato	0	32.0066	10.3995	13.7125	21.939	0	21.939	29.778	29.778
15	0.114107	3.41507	-35.2216	Rilevato	0	32.0066	10.6369	14.0255	22.4398	0	22.4398	29.9493	29.9493
16	0.114107	3.42267	-33.4733	Rilevato	0	32.0066	10.8325	14.2834	22.8524	0	22.8524	30.015	30.015
17	0.114107	3.41895	-31.7597	Rilevato	0	32.0066	10.9876	14.4879	23.1795	0	23.1795	29.9815	29.9815
18	0.114107	3.40455	-30.0773	Rilevato	0	32.0066	11.1033	14.6405	23.4237	0	23.4237	29.8542	29.8542
19	0.114107	3.38001	-28.4231	Rilevato	0	32.0066	11.1807	14.7425	23.5869	0	23.5869	29.6381	29.6381
20	0.114107	3.34582	-26.7944	Rilevato	0	32.0066	11.2205	14.795	23.6709	0	23.6709	29.3374	29.3374
21	0.114107	3.3024	-25.1887	Rilevato	0	32.0066	11.2234	14.7989	23.6772	0	23.6772	28.9558	28.9558
22	0.114107	3.25012	-23.6039	Rilevato	0	32.0066	11.1901	14.7549	23.6069	0	23.6069	28.4966	28.4966
23	0.114107	3.18931	-22.0381	Rilevato	0	32.0066	11.1209	14.6637	23.4608	0	23.4608	27.9626	27.9626
24	0.14237	3.88105	-20.2999	scotico	0	30.1666	10.3358	13.6285	23.4475	0	23.4475	27.2708	27.2708
25	0.14237	3.75813	-18.3913	scotico	0	30.1666	10.1521	13.3863	23.0308	0	23.0308	26.4062	26.4062
26	0.118094	3.01366	-16.6631	scotico	0	30.1666	9.8735	13.0189	22.5721	0.173376	22.3987	25.5273	25.354
27	0.118094	2.91053	-15.1102	scotico	0	30.1666	9.51311	12.5437	22.0844	0.503156	21.5812	24.653	24.1499
28	0.118094	2.79931	-13.5685	scotico	0	30.1666	9.12815	12.0361	21.5073	0.799358	20.7079	23.7103	22.9109
29	0.118094	2.68018	-12.0368	scotico	0	30.1666	8.71861	11.4961	20.8414	1.06267	19.7788	22.7005	21.6378
30	0.118094	2.55327	-10.5138	scotico	0	30.1666	8.28443	10.9236	20.0875	1.29368	18.7938	21.625	20.3313
31	0.118094	2.4187	-8.99828	scotico	0	30.1666	7.82545	10.3184	19.2455	1.49291	17.7526	20.4847	18.9918
32	0.118094	2.27659	-7.48908	scotico	0	30.1666	7.34147	9.68024	18.3154	1.66078	16.6546	19.2805	17.6197
33	0.118094	2.12702	-5.98509	scotico	0	30.1666	6.83219	9.00872	17.2969	1.79766	15.4993	18.0132	16.2156
34	0.118094	1.97005	-4.48524	scotico	0	30.1666	6.29721	8.30331	16.1895	1.90383	14.2857	16.6835	14.7797
35	0.118094	1.80574	-2.98846	scotico	0	30.1666	5.73604	7.56337	14.9921	1.9795	13.0126	15.2915	13.312
36	0.118094	1.63413	-1.49372	scotico	0	30.1666	5.1481	6.78813	13.7037	2.02485	11.6789	13.838	11.8131
37	0.118094	1.45523	0	scotico	0	30.1666	4.53271	5.97669	12.3227	2.03995	10.2827	12.3227	10.2827
38	0.118094	1.26907	1.49372	scotico	0	30.1666	3.88904	5.12797	10.8474	2.02485	8.82252	10.746	8.72111
39	0.118094	1.07562	2.98846	scotico	0	30.1666	3.21618	4.24076	9.2756	1.9795	7.2961	9.1077	7.1282
40	0.118094	0.874869	4.48524	scotico	0	30.1666	2.51306	3.31364	7.60486	1.90383	5.70103	7.40773	5.5039
41	0.118094	0.690716	5.98509	scotico	0	30.1666	1.87209	2.46848	6.04462	1.79766	4.24696	5.84835	4.05069
42	0.118094	0.63604	7.48908	scotico	0	30.1666	1.74277	2.29796	5.61437	1.66078	3.95359	5.38527	3.72449
43	0.118094	0.595622	8.99828	scotico	0	30.1666	1.68229	2.21822	5.30931	1.49291	3.8164	5.04292	3.55001
44	0.118094	0.547656	10.5138	scotico	0	30.1666	1.6049	2.11617	4.93451	1.29368	3.64083	4.63666	3.34298
45	0.118094	0.492037	12.0368	scotico	0	30.1666	1.5097	1.99064	4.48752	1.06267	3.42485	4.16561	3.10294
46	0.118094	0.428642	13.5685	scotico	0	30.1666	1.3957	1.84033	3.9656	0.799358	3.16624	3.62875	2.82939
47	0.118094	0.357328	15.1102	scotico	0	30.1666	1.26176	1.66372	3.36556	0.503156	2.8624	3.02487	2.52171
48	0.118094	0.277929	16.6631	scotico	0	30.1666	1.1066	1.45913	2.68378	0.173376	2.5104	2.35256	2.17918
49	0.14237	0.217348	18.3913	scotico	0	30.1666	0.788149	1.03923	1.78797	0	1.78797	1.52592	1.52592
50	0.14237	0.0749775	20.2999	scotico	0	30.1666	0.277225	0.365541	0.628905	0	0.628905	0.526357	0.526357

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.31857

--



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

67 di 82

SLIDEINTERPRET 7.039



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	37.7618	25.7	0	0	0
2	37.8759	25.4117	0.307867	0	0
3	37.99	25.1698	1.07647	0	0
4	38.1041	24.9592	2.13974	0	0
5	38.2182	24.7719	3.39274	0	0
6	38.3323	24.603	4.76306	0	0
7	38.4464	24.4489	6.17941	0	0
8	38.5605	24.3075	7.54461	0	0
9	38.6746	24.1769	8.83679	0	0
10	38.7887	24.0557	10.0446	0	0
11	38.9029	23.943	11.1598	0	0
12	39.017	23.8379	12.1766	0	0
13	39.1311	23.7397	13.091	0	0
14	39.2452	23.6478	13.9007	0	0
15	39.3593	23.5618	14.6043	0	0
16	39.4734	23.4813	15.2016	0	0
17	39.5875	23.4058	15.6931	0	0
18	39.7016	23.3352	16.0802	0	0
19	39.8157	23.2691	16.3647	0	0
20	39.9298	23.2073	16.5491	0	0
21	40.0439	23.1497	16.6363	0	0
22	40.158	23.0961	16.6298	0	0
23	40.2721	23.0462	16.5335	0	0
24	40.3862	23	16.3517	0	0
25	40.5286	22.9473	16.1191	0	0
26	40.671	22.9	15.7679	0	0
27	40.7891	22.8647	15.403	0	0
28	40.9072	22.8328	14.9868	0	0
29	41.0253	22.8043	14.5248	0	0
30	41.1434	22.7791	14.0228	0	0
31	41.2615	22.7572	13.4874	0	0
32	41.3795	22.7385	12.9257	0	0
33	41.4976	22.7229	12.3455	0	0
34	41.6157	22.7106	11.755	0	0
35	41.7338	22.7013	11.1634	0	0
36	41.8519	22.6951	10.5803	0	0
37	41.97	22.6921	10.0162	0	0
38	42.0881	22.6921	9.48239	0	0
39	42.2062	22.6951	8.99097	0	0
40	42.3243	22.7013	8.55502	0	0
41	42.4424	22.7106	8.18862	0	0
42	42.5605	22.7229	7.8933	0	0
43	42.6786	22.7385	7.6009	0	0
44	42.7967	22.7572	7.30349	0	0
45	42.9148	22.7791	7.00634	0	0
46	43.0329	22.8043	6.71554	0	0
47	43.1509	22.8328	6.43815	0	0
48	43.269	22.8647	6.18224	0	0
49	43.3871	22.9	5.95705	0	0
50	43.5295	22.9473	5.76052	0	0
51	43.6719	23	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	22.9
69	22.9

Distributed Load

X	Y
36.4402	25.7
26.1062	25.7

Distributed Load



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

68 di 82

SLIDEINTERPRET 7.030



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

X	Y
30.3393	25.7
27.684	25.7

Distributed Load

X	Y
34.7431	25.7
32.104	25.7

External Boundary

X	Y
67.5	3.6e-015
67.5	12
67.5	18
67.5	20
67.5	23
46.5	23
42.5	23
38.3742	25.7
24.0481	25.7
20	23
16	23
0	23
0	20
0	18
0	12
0	0

Material Boundary

X	Y
20	23
42.5	23

Material Boundary

X	Y
16	22
46.5	22

Material Boundary

X	Y
46.5	22
46.5	23

Material Boundary

X	Y
16	22
16	23

Material Boundary

X	Y
0	20
67.5	20

Material Boundary

X	Y
0	18
67.5	18

Material Boundary

X	Y
0	0

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

69 di 82

SLIDEINTERPRET 7.030



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

X	Y
0	12
67.5	12

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI2300001B	70 di 82

ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICA



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

71 di 82

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RI23_sisma.slim
Slide Modeler Version: 7.038
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

General Settings

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

Design Standard

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

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified

Number of slices: 50
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 75
Check $\alpha < 0.2$: 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 dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

72 di 82

SLIDEINTERPRET 7.038



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

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

Random Numbers

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

Surface Options

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

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

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

3 Distributed Loads present

Distributed Load 1

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

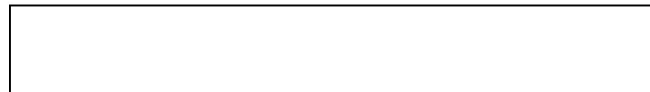
Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Material Properties





Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI2300001B

73 di 82

SLIDEINTERPRET 7.038

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



Property	Rilevato	Unità3b-1	Unità6	Unità4	scotico	Unità3b_2
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Undrained	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained
Unit Weight [kN/m3]	20	18	19	19	20	18
Cohesion [kPa]	0		0	0	0	
Friction Angle [deg]	38		39	38	36	
Cohesion Type		80				50
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	0	1	1	1	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.154190
Center:	42.096, 27.483
Radius:	5.045
Left Slip Surface Endpoint:	37.376, 25.700
Right Slip Surface Endpoint:	44.410, 23.000
Resisting Moment:	376.817 kN-m
Driving Moment:	326.476 kN-m
Total Slice Area:	7.57871 m ²
Surface Horizontal Width:	7.03351 m
Surface Average Height:	1.07752 m

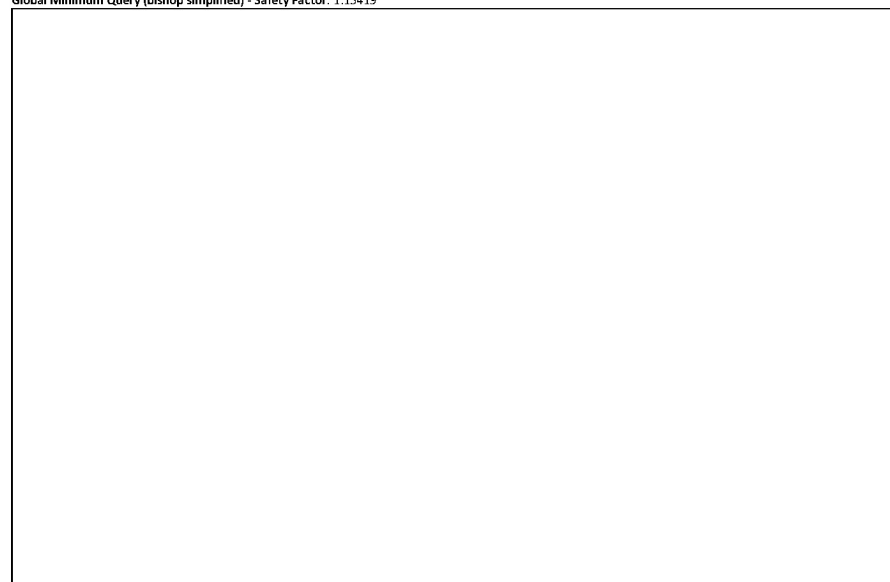
Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1079
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.15419





Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI2300001B	74 di 82

SLIDEINTERPRET 7.030



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

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.141509	0.476933	-67.2242	Rilevato	0	32.0066	0.763875	0.881657	1.41059	0	1.41059	3.22992	3.22992
2	0.141509	1.35299	-63.3561	Rilevato	0	32.0066	2.38623	2.75416	4.40646	0	4.40646	9.16254	9.16254
3	0.141509	2.09837	-59.9588	Rilevato	0	32.0066	3.97395	4.58669	7.33836	0	7.33836	14.21	14.21
4	0.141509	2.75161	-56.8827	Rilevato	0	32.0066	5.51348	6.3636	10.1813	0	10.1813	18.6334	18.6334
5	0.141509	3.33464	-54.0433	Rilevato	0	32.0066	7.00151	8.08107	12.9291	0	12.9291	22.5812	22.5812
6	0.141509	3.86143	-51.3871	Rilevato	0	32.0066	8.43834	9.73945	15.5824	0	15.5824	26.1481	26.1481
7	0.141509	4.34152	-48.8776	Rilevato	0	32.0066	9.82568	11.3407	18.1442	0	18.1442	29.3987	29.3987
8	0.141509	4.66409	-46.4886	Rilevato	0	32.0066	10.8906	12.5698	20.1108	0	20.1108	31.5825	31.5825
9	0.141509	4.80803	-44.2006	Rilevato	0	32.0066	11.5487	13.3294	21.326	0	21.326	32.5569	32.5569
10	0.141509	4.92097	-41.9984	Rilevato	0	32.0066	12.1302	14.0005	22.3998	0	22.3998	33.3212	33.3212
11	0.141509	5.00643	-39.8702	Rilevato	0	32.0066	12.6403	14.5893	23.3418	0	23.3418	33.8996	33.8996
12	0.141509	5.06696	-37.8062	Rilevato	0	32.0066	13.0828	15.1	24.1589	0	24.1589	34.3091	34.3091
13	0.141509	5.10465	-35.7984	Rilevato	0	32.0066	13.4605	15.536	24.8565	0	24.8565	34.564	34.564
14	0.141509	5.12123	-33.8403	Rilevato	0	32.0066	13.7762	15.9004	25.4395	0	25.4395	34.6759	34.6759
15	0.141509	5.11817	-31.9261	Rilevato	0	32.0066	14.0321	16.1957	25.9119	0	25.9119	34.655	34.655
16	0.141509	5.0967	-30.051	Rilevato	0	32.0066	14.2297	16.4238	26.2769	0	26.2769	34.5093	34.5093
17	0.141509	5.05789	-28.2108	Rilevato	0	32.0066	14.3707	16.5865	26.5372	0	26.5372	34.2461	34.2461
18	0.204997	7.22288	-26.0037	scotico	0	30.1666	13.6477	15.752	27.1009	0	27.1009	33.7584	33.7584
19	0.13606	4.70823	-23.8636	scotico	0	30.1666	13.5327	15.6193	27.1679	0.295233	26.8726	33.1545	32.8592
20	0.13606	4.62332	-22.1845	scotico	0	30.1666	13.2413	15.283	27.1567	0.862606	26.2941	32.5562	31.6936
21	0.13606	4.52582	-20.5251	scotico	0	30.1666	12.9165	14.9081	27.0336	1.3846	25.649	31.8694	30.4848
22	0.13606	4.41616	-18.8836	scotico	0	30.1666	12.5586	14.495	26.8011	1.86273	24.9384	31.0969	29.2341
23	0.13606	4.2947	-17.258	scotico	0	30.1666	12.1681	14.0443	26.4612	2.29834	24.1629	30.2414	27.9431
24	0.13606	4.16177	-15.6467	scotico	0	30.1666	11.745	13.556	26.0154	2.69259	23.3229	29.305	26.6124
25	0.13606	4.01764	-14.048	scotico	0	30.1666	11.2897	13.0305	25.4651	3.0465	22.4186	28.29	25.2435
26	0.13606	3.86258	-12.4603	scotico	0	30.1666	10.8019	12.4675	24.811	3.36096	21.45	27.1979	23.8369
27	0.13606	3.69678	-10.8823	scotico	0	30.1666	10.2817	11.867	24.0536	3.63673	20.4169	26.0303	22.3935
28	0.13606	3.52043	-9.31267	scotico	0	30.1666	9.72855	11.2286	23.1931	3.87447	19.3186	24.7884	20.9139
29	0.13606	3.33369	-7.75004	scotico	0	30.1666	9.14226	10.5519	22.2291	4.07473	18.1543	23.4733	19.3986
30	0.13606	3.13668	-6.19319	scotico	0	30.1666	8.52227	9.83632	21.1612	4.23798	16.9232	22.0859	17.848
31	0.13606	2.9295	-4.64092	scotico	0	30.1666	7.86791	9.08106	19.9883	4.36458	15.6238	20.627	16.2624
32	0.13606	2.71223	-3.09207	scotico	0	30.1666	7.17838	8.28521	18.7093	4.4548	14.2545	19.0971	14.6423
33	0.13606	2.48493	-1.54547	scotico	0	30.1666	6.45275	7.4477	17.3224	4.50886	12.8136	17.4965	12.9877
34	0.13606	2.24763	0	scotico	0	30.1666	5.6899	6.56722	15.8256	4.52687	11.2987	15.8256	11.2987
35	0.13606	2.00035	1.54547	scotico	0	30.1666	4.88851	5.64227	14.2163	4.50886	9.7074	14.0844	9.57551
36	0.13606	1.74306	3.09207	scotico	0	30.1666	4.0471	4.67112	12.4913	4.4548	8.03654	12.2727	7.81791
37	0.13606	1.50966	4.64092	scotico	0	30.1666	3.28934	3.79652	10.8964	4.36458	6.53181	10.6294	6.26479
38	0.13606	1.4477	6.19319	scotico	0	30.1666	3.17222	3.66135	10.5373	4.23798	6.2993	10.193	5.95507
39	0.13606	1.40241	7.75004	scotico	0	30.1666	3.13538	3.61883	10.3008	4.07473	6.22609	9.87411	5.79938
40	0.13606	1.34686	9.31267	scotico	0	30.1666	3.07858	3.55327	9.98779	3.87447	6.11332	9.48296	5.60849
41	0.13606	1.28091	10.8823	scotico	0	30.1666	3.00074	3.46342	9.59548	3.63673	5.95875	9.01859	5.38186
42	0.13606	1.20442	12.4603	scotico	0	30.1666	2.90061	3.34785	9.12086	3.36096	5.7599	8.47992	5.11896
43	0.13606	1.11719	14.048	scotico	0	30.1666	2.77678	3.20493	8.5605	3.0465	5.514	7.8657	4.8192
44	0.13606	1.01902	15.6467	scotico	0	30.1666	2.62763	3.03278	7.91041	2.69259	5.21782	7.17446	4.48187
45	0.13606	0.909659	17.258	scotico	0	30.1666	2.45126	2.82922	7.16598	2.29834	4.86764	6.40447	4.10613
46	0.13606	0.788825	18.8836	scotico	0	30.1666	2.24549	2.59172	6.32173	1.86273	4.459	5.53565	3.69092
47	0.13606	0.656195	20.5251	scotico	0	30.1666	2.00773	2.3173	5.37147	1.3846	3.98687	4.6198	3.2352
48	0.13606	0.511399	22.1845	scotico	0	30.1666	1.73495	2.00246	4.30779	0.862606	3.44519	3.60032	2.73772
49	0.13606	0.354015	23.8636	scotico	0	30.1666	1.4235	1.64299	3.12196	0.295233	2.82672	2.49223	2.197
50	0.204997	0.204997	26.0037	scotico	0	30.1666	0.639413	0.738004	1.26972	0	1.26972	0.957803	0.957803

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.15419

--



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI2300001B

75 di 82

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	37.3762	25.7	0	0	0
2	37.5177	25.363	0.406974	0	0
3	37.6592	25.0809	1.42464	0	0
4	37.8007	24.8362	2.83246	0	0
5	37.9423	24.6193	4.48976	0	0
6	38.0838	24.4242	6.29859	0	0
7	38.2253	24.247	8.18668	0	0
8	38.3668	24.0849	10.0984	0	0
9	38.5083	23.9359	11.9431	0	0
10	38.6498	23.7983	13.6437	0	0
11	38.7913	23.6709	15.1906	0	0
12	38.9328	23.5527	16.5774	0	0
13	39.0743	23.4429	17.8002	0	0
14	39.2158	23.3408	18.857	0	0
15	39.3573	23.2459	19.7474	0	0
16	39.4988	23.1578	20.4725	0	0
17	39.6404	23.0759	21.0343	0	0
18	39.7819	23	21.4363	0	0
19	39.9869	22.9	21.9499	0	0
20	40.1229	22.8398	22.1338	0	0
21	40.259	22.7843	22.2258	0	0
22	40.395	22.7334	22.2222	0	0
23	40.5311	22.6868	22.1284	0	0
24	40.6672	22.6446	21.9488	0	0
25	40.8032	22.6065	21.6885	0	0
26	40.9393	22.5724	21.3538	0	0
27	41.0753	22.5424	20.9516	0	0
28	41.2114	22.5162	20.4895	0	0
29	41.3475	22.4939	19.9764	0	0
30	41.4835	22.4754	19.4216	0	0
31	41.6196	22.4606	18.8355	0	0
32	41.7556	22.4496	18.2296	0	0
33	41.8917	22.4422	17.6161	0	0
34	42.0278	22.4385	17.0086	0	0
35	42.1638	22.4385	16.4214	0	0
36	42.2999	22.4422	15.8706	0	0
37	42.4359	22.4496	15.3731	0	0
38	42.572	22.4606	14.9308	0	0
39	42.7081	22.4754	14.464	0	0
40	42.8441	22.4939	13.9634	0	0
41	42.9802	22.5162	13.4337	0	0
42	43.1162	22.5424	12.881	0	0
43	43.2523	22.5724	12.3123	0	0
44	43.3884	22.6065	11.7361	0	0
45	43.5244	22.6446	11.1619	0	0
46	43.6605	22.6868	10.6012	0	0
47	43.7965	22.7334	10.0671	0	0
48	43.9326	22.7843	9.57496	0	0
49	44.0687	22.8398	9.14249	0	0
50	44.2047	22.9	8.7904	0	0
51	44.4097	23	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	22.9
69	22.9

Distributed Load

X	Y
36.4402	25.7
26.1062	25.7



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

76 di 82

SLIDEINTERPRET 7.038



Distributed Load

X	Y
30.3393	25.7
27.684	25.7

Distributed Load

X	Y
34.7431	25.7
32.104	25.7

External Boundary

X	Y
67.5	3.6e-015
67.5	12
67.5	18
67.5	20
67.5	23
46.5	23
42.5	23
38.3742	25.7
24.0481	25.7
20	23
16	23
0	23
0	20
0	18
0	12
0	0

Material Boundary

X	Y
20	23
42.5	23

Material Boundary

X	Y
16	22
46.5	22

Material Boundary

X	Y
46.5	22
46.5	23

Material Boundary

X	Y
16	22
16	23

Material Boundary

X	Y
0	20
67.5	20

Material Boundary

X	Y
0	18
67.5	18

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

77 di 82

SLIDEINTERPRET 7.0208



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

Material Boundary

X	Y
0	12
67.5	12

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI2300001B	78 di 82

ALLEGATO 5- TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

79 di 82

Settle3D Analysis Information

Rilevato

Project Settings

Document Name: Ri23.s3z
Project Title: Rilevato
Date Created: 08/06/2021, 14:59:10
Stress Computation Method: Boussinesq

Stage Settings

Stage #	Name
1	Stage 1

Results

Time taken to compute: 0.84293 seconds

Stage: Stage 1

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.0457138
Consolidation Settlement [m]	0	0
Immediate Settlement [m]	0	0.0457138
Loading Stress [kPa]	0	88.1062
Total Stress [kPa]	0	585.913
Total Strain	-0	0.00822661
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	57.7577	585.739
Over-consolidation Ratio	1	49.9998
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [m]	0	0

Loads

1. Rectangular Load

Length: 13 m
Width: 100 m
Rotation angle: 0 degrees
Load Type: Flexible
Area of Load: 1300 m²
Load: 11.6 kPa
Depth: 0 m
Installation Stage: Stage 1

Coordinates



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

80 di 82

X [m]	Y [m]
-6.49696	-50
6.50304	-50
6.50304	50
-6.49696	50

Embankments

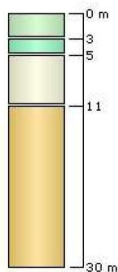
1. Embankment

Center Line: (0, -50) to (0, 50)
Number of Layers: 1
Near End Angle: 90 degrees
Far End Angle: 90 degrees
Base Width: 21

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	2.7	20	34	0

Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	3b_1	3	0
2	3b_2	2	3
3	u6	6	5
4	u4	19	11



Soil Properties

Property	3b_1	u6	u4	3b_2
Color				
Unit Weight [kN/m ³]	18	19	19	18
Immediate Settlement	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled
Es [kPa]	12000	60000	80000	8000
Esur [kPa]	12000	60000	80000	8000



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio



81 di 82

Query Points

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

Query Lines

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI2300001B</p>	<p>Foglio 82 di 82</p>

ALLEGATO 6 – VERSIONE SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI

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