

COMMITTENTE:



ALTA
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE
OBIETTIVO N. 443/01
LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA
Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza
PROGETTO ESECUTIVO
RILEVATI
Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00
GENERALE
Relazione Geotecnica**

GENERAL CONTRACTOR				DIRETTORE LAVORI				SCALA	
IL PROGETTISTA		Conorzio Iricav Due						-	
 ing. Giovanni MALAVENDA iscritto all'ordine degli ingegneri di Venezia n. 4289 N. 4289		ing. Polo Carmona Data: Dicembre 2021		Data:					

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO						
I N 1 7	1 2	E	I 2	R B	R I 6 1 0 0	0 0 1	A	-	-	-	D	-	-	-

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Luca RANDOLFI 	Dicembre 2021

Progettazione:

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

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E9100000009	File: IN1712EI2RBRI610001A_03.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 2 di 84

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1	Documentazione di progetto.....	5
2.2	Normativa e standard di riferimento.....	5
2.3	Bibliografia	6
3	INQUADRAMENTO DELL'OPERA	8
3.1	Premessa.....	8
3.2	Geometria del rilevato.....	8
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	11
4.1	Indagini disponibili.....	11
4.2	Inquadramento stratigrafico	12
4.3	Livello di falda	13
4.4	Condizioni geotecniche del sito	13
4.5	Sintesi del modello geotecnico di riferimento	25
4.6	Materiale da rilevato.....	26
4.7	Misto cementato.....	26
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	27
5.1	Sollecitazione sismica di progetto.....	27
5.1.1	Vita Nominale.....	27
5.1.2	Classe d'uso	27
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	28
5.1.4	Categorie di Sottosuolo.....	28
5.1.5	Condizioni topografiche	28
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento	29
5.2	Suscettibilità alla liquefazione.....	29
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT	31
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT.....	32
5.2.3	Commento ai risultati	38
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO FERROVIARIO	39
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite.....	39
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU).....	39
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE)	41
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche.....	41
6.2	Azioni di progetto	41

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 3 di 84

6.2.1	Azioni permanenti	42
6.2.2	Azioni variabili	42
6.2.3	Azione sismica	42
6.3	Verifiche e risultati SLU	43
6.3.1	Premessa	43
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche	43
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche	45
6.4	Verifica e risultati SLE	46
6.4.1	Premessa e descrizione concettuale della soluzione	46
6.4.2	Schematizzazione e Risultati	48
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	53
Allegati		54
ALLEGATO 1 – PROFILO STRATIGRAFICO		55
ALLEGATO 2 – INDAGINI GEOGNOSTICHE		57
ALLEGATO 3 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA		60
ALLEGATO 4 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICA		68
ALLEGATO 5 – TABULATI DI SETTLE 3D		76
ALLEGATO 6 - VERSIONI DEI SOFTWARE UTILIZZATI		84

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 4 di 84

1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI61, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende da pk 31+840,00 a pk 32+130,00.

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.

Vengono quindi presentate le verifiche di SLU e SLE, condotte in base al modello geotecnico sopra definito, ed eseguite ai sensi della Normativa di riferimento (NTC2008, v. capitolo seguente).

Il documento è così organizzato:

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 5 di 84

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni di Progetto Esecutivo
- [2] IN1710EI2RBGE0000003C Relazione Geotecnica (da 21+990 a 33+500)
- [3] IN1710EI2LZGE0000018B Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico 8 di 11
- [4] IN1710EI2RHGE0000006B Relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base 2/2
- [5] IN1710EI2P5GE0000007B Planimetrie con classificazione sismica del territorio 8 di 11
- [6] IN1710EI2RHGE0000004C Relazione idrogeologica 2/2
- [7] IN1710EI2RHGE0000007C-8C Relazione di sintesi dei sondaggi e delle prove eseguite
- [8] IN1710EI2PRGE0000001B-2B, Risultati Indagini in sito di Progetto – SOCOTEC
- [9] IN1710EI2PRGE0000001B-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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 6 di 84

- [23] RFI TCAR ST AR 01 001 D Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h
- [24] Specifiche Tecniche di interoperabilità 2015 (REGOLAMENTO (UE) N. 1299/2014 DELLA COMMISSIONE del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea)

2.3 Bibliografia

- [25] Rocscience (2017), Slide ver 7.0, 2017
- [26] Rocscience (2009), Settle 3D ver 2.0, 2009
- [27] Matlock, H., Reese, L.C. (1960) "Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles". Journal of Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE, Vol.86, No.SM5, pp.63-91
- [28] Reese L.C. and O'Neill M.W. (1999), "Drilled shafts. Construction procedures and design methods" Federal Highway administration. Report FHWA-IF-99-025
- [29] Fioravante, V., Ghionna, V.N., Jamiolkowski, M.B. and Pedroni, S. (1995). "Load carrying capacity of large diameter bored piles in sand and gravel". Proc. 10th ARCSMFE, 2, 3-15.
- [30] Meyerhof G.G. (1976), "Bearing capacity and settlement of pile foundations" JGED, ASCE, GT3, pp.197-228
- [31] Ghionna, V.N., Jamiolkowski, M.B., Pedroni, S. and Salgado, R. et al (1994). "Tip displacement of drilled shafts in sands". in Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments. Ed. A.T. Yeung and G.Y. Felio, ASCE , GSP40, New York, 2, 1039-1057.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982), "Ground motions and soil liquefaction during earthquakes", Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA.
- [38] 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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 7 di 84

- [39] 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.
- [40] Sonmez H. (2003) – Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey). Environ. Geology 44(7): 862-871

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 8 di 84

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

3.1 Premessa

Il rilevato ferroviario in esame si estende da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 per una lunghezza totale di 290 m e risulta in affiancamento alla linea storica lungo tutta la sua estensione. Per la tratta in esame non si evidenziano altre interferenze con opere principali adiacenti e/o attraversate.

3.2 Geometria del rilevato

Come detto, il rilevato risulta sempre in affiancamento, sul suo lato Nord, alla linea storica. Il rilevato ha una sezione pressoché uniforme per tutto il tracciato.

In fase di PD non erano stati previsti trattamenti di consolidamento del terreno di fondazione con inclusioni rigide per la mitigazione dei cedimenti. Le nuove indagini a disposizione hanno permesso una caratterizzazione più accurata della tratta, e più in particolare:

- Nella prima parte della tratta è ragionevole attendersi una estensione della presenza di formazioni compressibili rilevate in RI60.
- Pertanto, dalla pk 31+840 (inizio WBS) alla pk 31+920 si prevede la realizzazione di 3 file di inclusioni rigide, in continuità con il tratto precedente RI60 (Figura 1).

In questo tratto le inclusioni dell'allineamento A ($\Phi 1200\text{mm}$) hanno lunghezza $L_A = 25\text{m}$, mentre per gli allineamenti B e C ($\Phi 1000\text{mm}$) le lunghezze di calcolo sono $L_B = 15\text{m}$ e $L_C = 12\text{m}$.

Per le verifiche di stabilità e per il calcolo dei cedimenti in questi primi 60m di rilevato si faccia riferimento a quanto riportato nella relazione geotecnica di RI60;

- Dalla pk 31+920 alla pk 31+980, la lunghezza degli interventi viene ridotta, accompagnando il cambio stratigrafico. Questo soprattutto per evitare fenomeni di cedimenti differenziali lungo l'asse dei binari, dovuti alla diversa rigidità fra terreno trattato con inclusioni e terreno naturale sotto al piano di posa del rilevato. In questo tratto le inclusioni dell'allineamento A ($\Phi 1200\text{mm}$) hanno lunghezza $L_A = 20\text{m}$, mentre per gli allineamenti B e C ($\Phi 1000\text{mm}$) le lunghezze di calcolo sono $L_B = 10\text{m}$ e $L_C = 10\text{m}$.
- Dalla pk 31+980 alla pk 32+130, la stratigrafia è caratterizzata da una prevalenza di sabbie e ghiaie (come evidenziato dalla CPTU90-90bis e in particolare dal sondaggio BH-PZ-PE-64) ed è possibile una progettazione senza interventi.

Per la geometria di dettaglio si faccia riferimento agli elaborati grafici di progetto.

In relazione alle problematiche esecutive dei pali in questione, si rimanda a quanto riportato al punto 7.

Alla pk 32+100 si riscontra l'altezza massima del rilevato pari a 9.5 m; questa sezione è quella ritenuta più significativa per le verifiche di sicurezza (Figura 2). Nel paragrafo 6.3 vengono presentate le verifiche di stabilità per la sezione, mentre il calcolo dei cedimenti viene presentato nel paragrafo 6.4.

Tabella 1 - Lunghezza degli interventi in funzione delle progressive

Progressive		L tratto (m)	Lunghezza Pali allineamento (m)		
Da	a		A (D=1200)	B (D=1000)	C (D=1000)
31+840.00	31+920.00	80.00	25.00	15.00	12.00
31+920.00	31+980.00	60.00	20.00	10.00	10.00

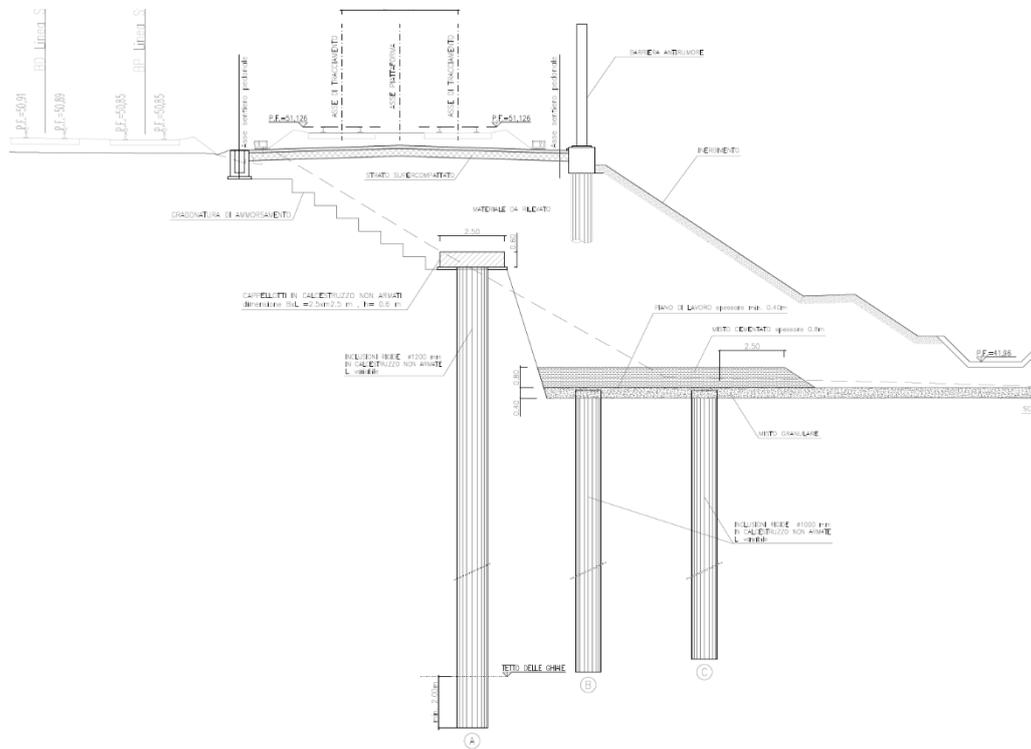


Figura 1 – Sezione di intervento tipo fino a pk 31+900

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 10 di 84</p>

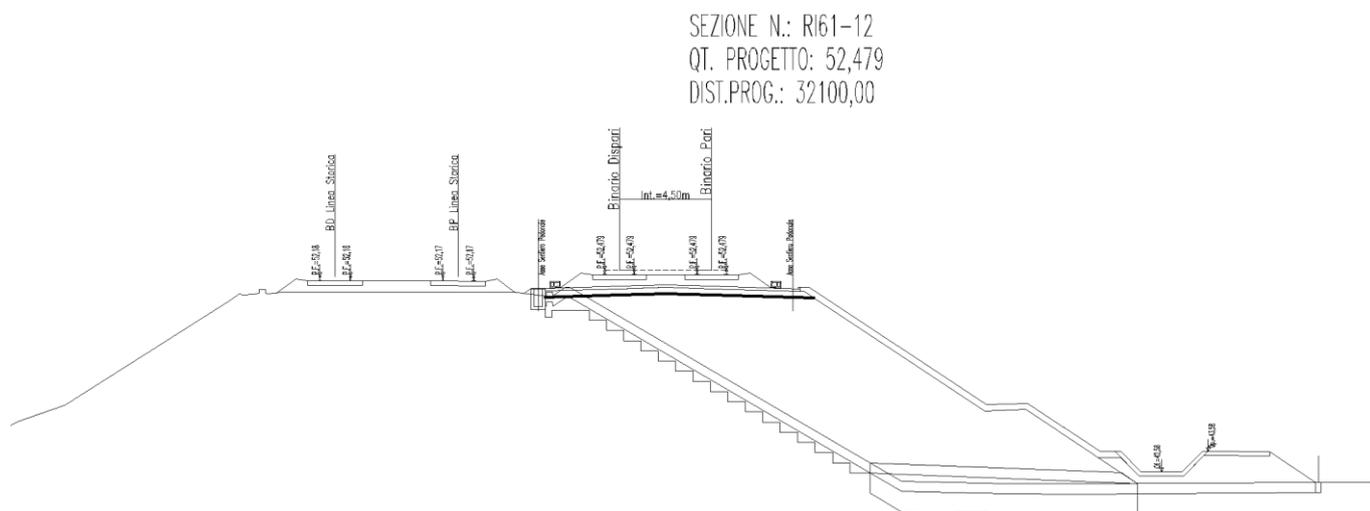


Figura 2 – Sezione di riferimento (pk 32+100,00 n. RI61-12) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32 +130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 11 di 84

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1 Indagini disponibili

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

Le indagini disponibili lungo il tratto d'interesse sono riportate in Tabella 2. Nel seguente paragrafo si riporta la caratterizzazione geotecnica, ottenuta basandosi sui risultati delle indagini di Tabella 2 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 2 - Indagini disponibili da pk 31+840,00 a pk 32+130,00

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
31+975	CPTU90-CPTU90bis	2014/2015
31+988	BH-PZ-PE-64	2020-2021

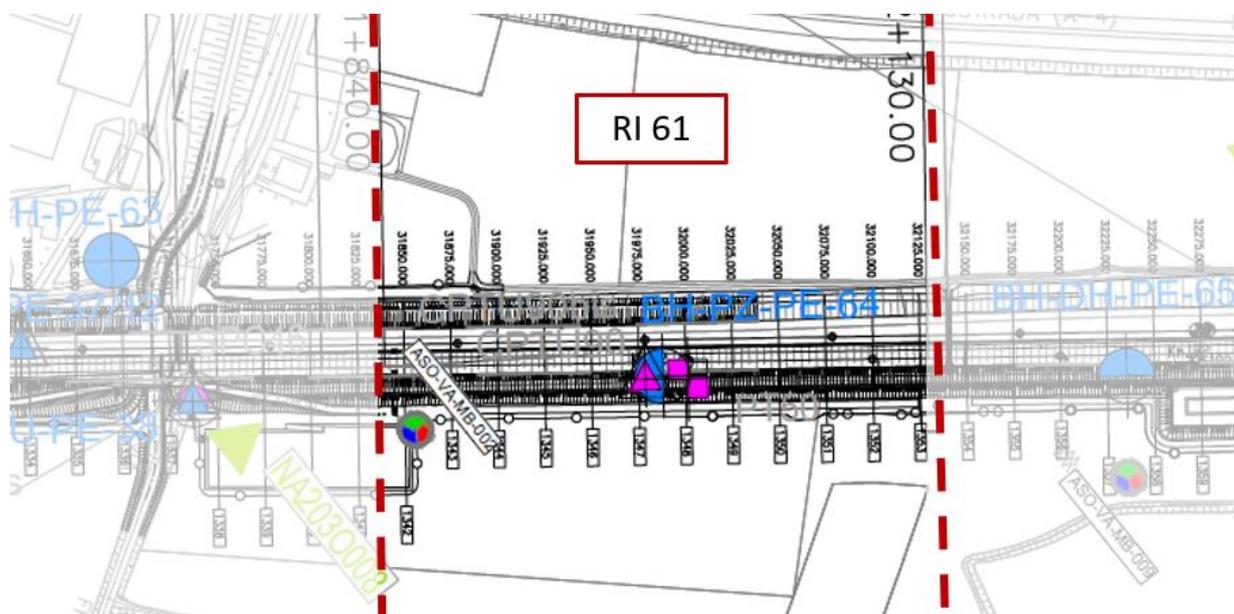


Figura 3 - Planimetria Rilevato RI61, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32 +130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 12 di 84

4.2 Inquadramento stratigrafico

Per il primo tratto del rilevato, si può ragionevolmente ritenere che siano presenti materiali relativamente compressibili, in analogia con quanto riscontrato in RI60.

Proseguendo più oltre, le indagini, con particolare riferimento al BH-PZ-PE-64, evidenziano una situazione stratigrafica caratterizzata da un'alternanza di strati di materiali granulari e di lenti di materiali più limoso/argillosi. In particolare, si incontra per i primi 5 m da p.c. uno strato di ghiaie (Unità 6), seguito da uno strato di 4 m di limi argillosi (Unità 3a/3b). Da 9 m p.c. incontriamo uno strato di sabbie (Unità 4) seguito di nuovo dall'Unità 3a/3b. Al di sotto di tali alternanze, da circa 21 m p.c. le indagini disponibili indicano la presenza di ghiaie (Unità 6).

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

Nella Figura 4 si riporta il profilo geotecnico specifico per il rilevato RI61 estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 8 di 11 (Doc. Rif. [3]).

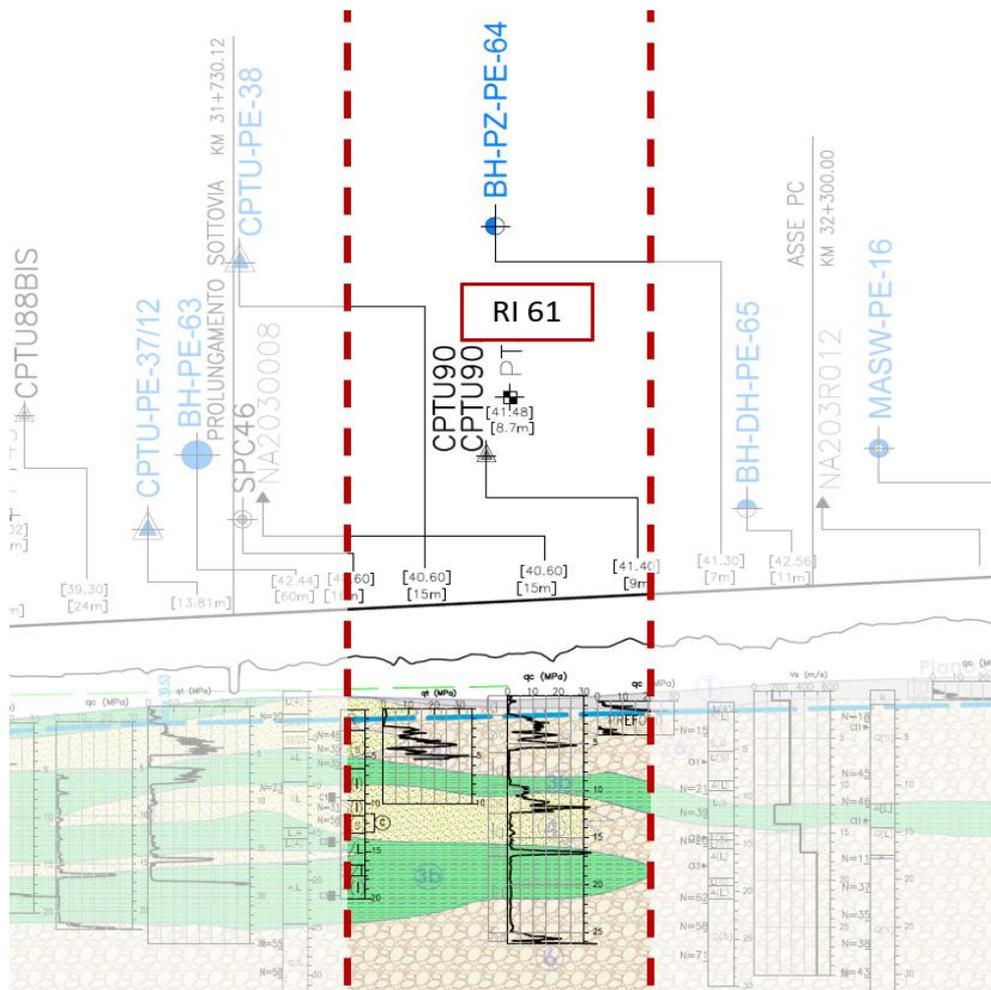


Figura 4 - Profilo Geotecnico Rilevato RI61, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 13 di 84

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]). Questi ultimi indicano una sostanziale stabilità nelle escursioni stagionali.

Ai fini progettuali si assume cautelativamente una falda di progetto coincidente con p.c.

Sulla base delle osservazioni di campagna, nelle ghiaie di base è presente una falda che può presentare una prevalenza dell'ordine di 1.5÷2.5 m rispetto al p.c.

4.4 Condizioni geotecniche del sito

Per il tratto iniziale del rilevato, si rimanda a quanto riportato nella relazione di RI60. Nel tratto centrale e fino alla fine della WBS, si riscontra una copertura superficiale di ghiaie (Unità 6), fino a 5 m di profondità come mostrato nella Figura 5. Al di sotto si individuano 4 m di limi argillosi (Unità 3a/3b). A 9 m p.c. incontriamo uno strato di sabbie (Unità 4) seguito di nuovo dall'Unità 3a/3b. Da circa 21 m p.c. le indagini disponibili indicano la presenza di ghiaie (Unità 6).

Per la caratterizzazione dell'unità 3b si è fatto riferimento principalmente all'interpretazione delle prove riportate in Figura 9, che comprendono prove eseguite anche nel tratto adiacente Ri61. Infatti, la prova CPTU90-90bis va a rifiuto nei primi 5m e non fornisce informazioni su tale unità. Per i materiali compresi tra 5 e 9 m p.c. si può assumere una resistenza al taglio non drenata $c_u=70$ kPa.

Per i materiali a grana fine presenti da 14 m di profondità si assume un valore di $c_u =80$ kPa.

Per quanto concerne i valori di pressione di preconsolidazione e dei coefficienti di compressione edometrici RR e CR, nel campo ϵ_v - $\log\sigma'_v$, si nota quanto segue:

- i valori di tensione di preconsolidazione σ'_p sono stati generalmente ricavati dalle prove edometriche, ed utilizzando la correlazione $c_u/\sigma'_p =0.22$
- i valori di RR e CR sono stati desunti dalle prove edometriche.

Le intercalazioni di sabbia limosa (Unità 4) sono caratterizzate da valori di $N_{SPT}=40$ colpi/30cm. La densità relativa delle sabbie risulta generalmente attorno al 50%, i depositi risultano perciò mediamente addensati.

Per le ghiaie profonde (unità 6) di registrano valori di $N_{SPT}=60$ colpi/30cm. La densità relativa risulta attorno al 40%, caratterizzando le ghiaie come mediamente addensate.

Il profilo di Vs derivante dalle interpretazioni discusse nella Relazione Sismica (Doc. Rif. [4]), basata sui risultati delle prove disponibili, indica che nei materiali a grana fina più superficiali le velocità di propagazione di onde sismiche di taglio oscillano tra 130 e 220 m/s, mentre per le ghiaie più profonde i valori stimati arrivano fino a 400m/s.

Sulla base dei valori di Vs, ed osservando anche le interpretazioni delle prove CPT, si sono stimati i valori del modulo di taglio alle piccole deformazioni (G_0). Per i limi argillosi e le sabbie più superficiali si può considerare un valore

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 14 di 84

compreso tra 30 MPa e 110 MPa; per le ghiaie invece G_0 raggiunge valori di 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 Doc. Rif. [2] e Doc. Rif.[4]:

- Resistenza alla punta q_c nell'area di stretta pertinenza della WBS in questione. (v. Figura 5);
- Distribuzione delle granulometrie da analisi di laboratorio (v. Figura 6);
- Limiti di Atterberg e contenuto d'acqua dei campioni indisturbati (v. Figura 7);
- Peso di volume dei campioni indisturbati (v. Figura 8);
- Resistenza al taglio non drenata nei depositi di unità 3b (v. Figura 9);
- Valori N_{SPT} da prove SPT (v. Figura 10);
- Densità relativa stimata da prove SPT (v. Figura 11);
- Angolo di resistenza al taglio stimato da prove SPT (v. Figura 12);
- Velocità delle onde di taglio stimata da prove in sito (v. Figura 13);
- Modulo di taglio alle piccole deformazioni valutati a partire dai valori stimati di V_s (v. Figura 14).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 15 di 84</p>

AV/AC VERONA VICENZA

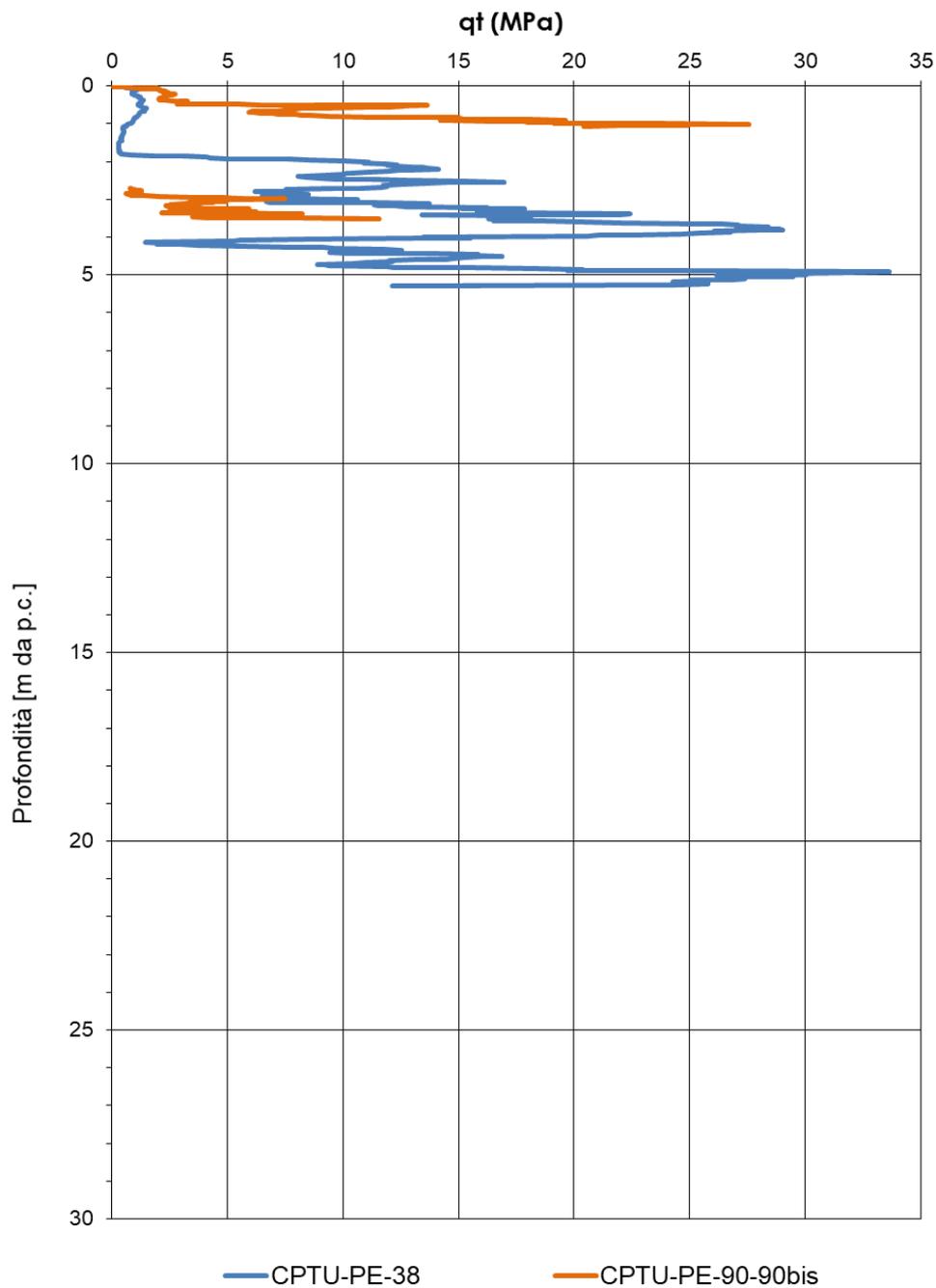


Figura 5 – Resistenza alla punta q_t da prove CPTU disponibili nell'area in esame

AV/AC VERONA VICENZA

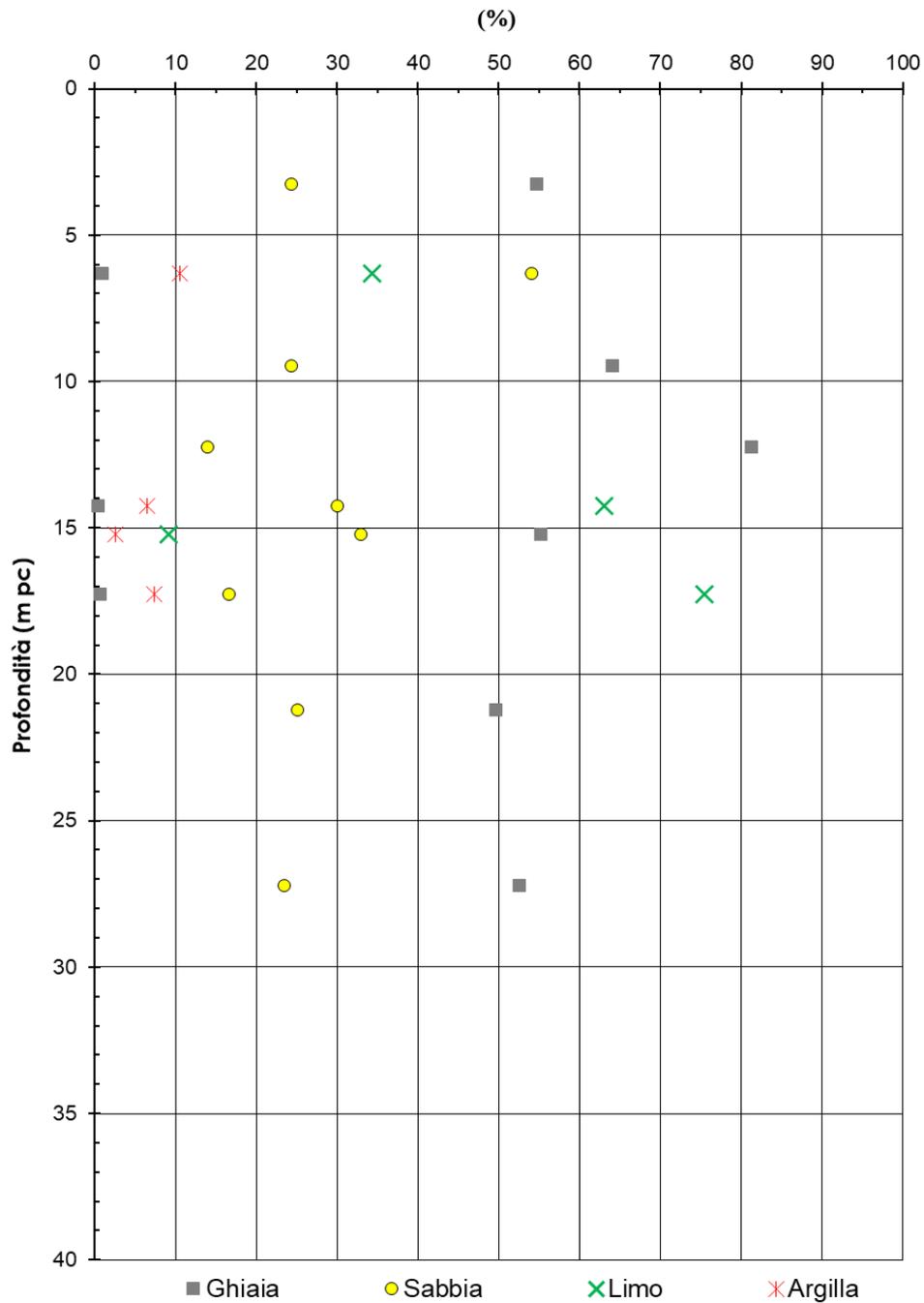


Figura 6 – Sintesi analisi granulometriche dei terreni nell'area in esame

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 17 di 84

AV/AC VERONA VICENZA

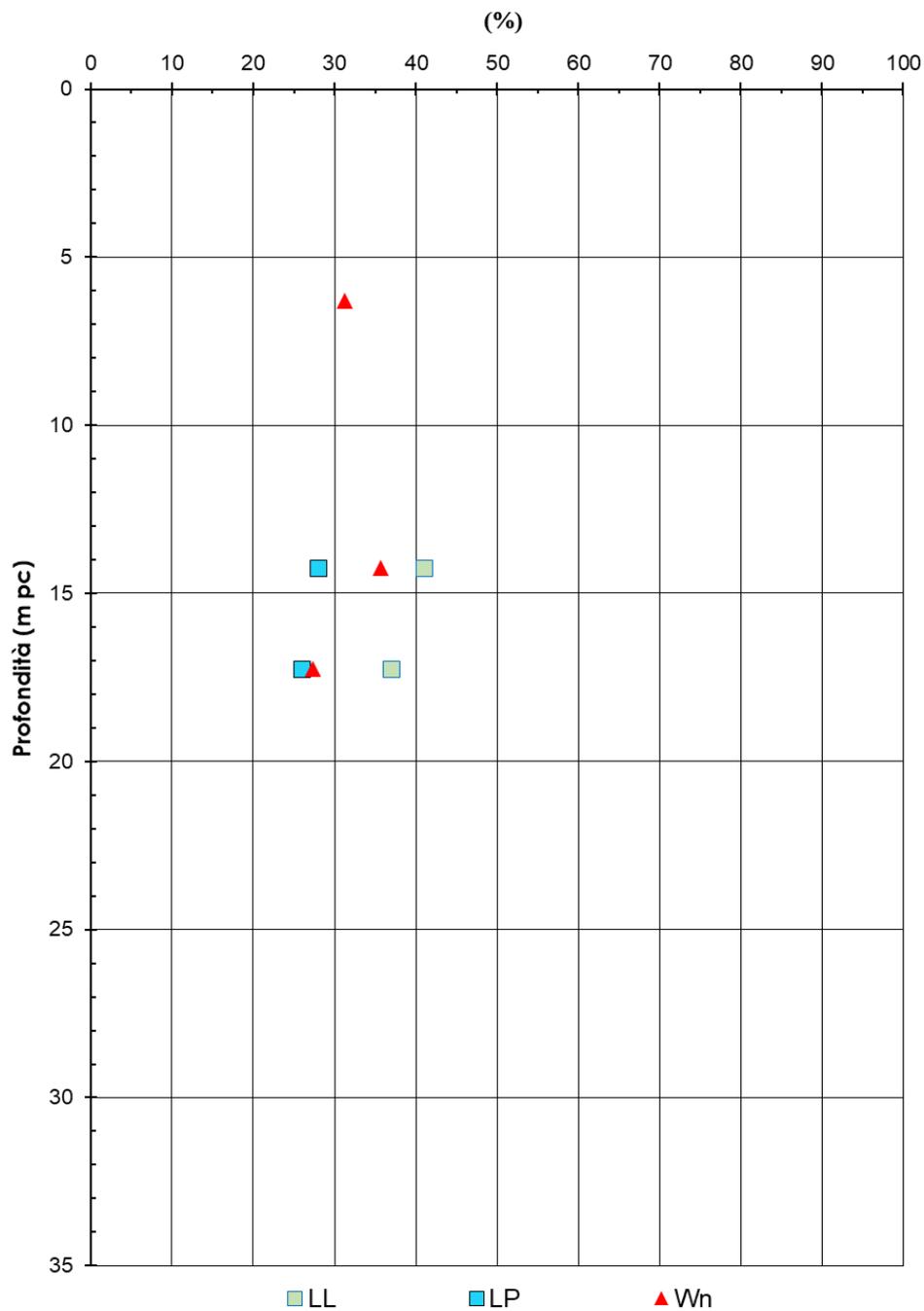


Figura 7 – Limiti di Atterberg e contenuto d'acqua naturale dei campioni a grana fine nell'area in esame

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 18 di 84</p>

AV/AC VERONA VICENZA

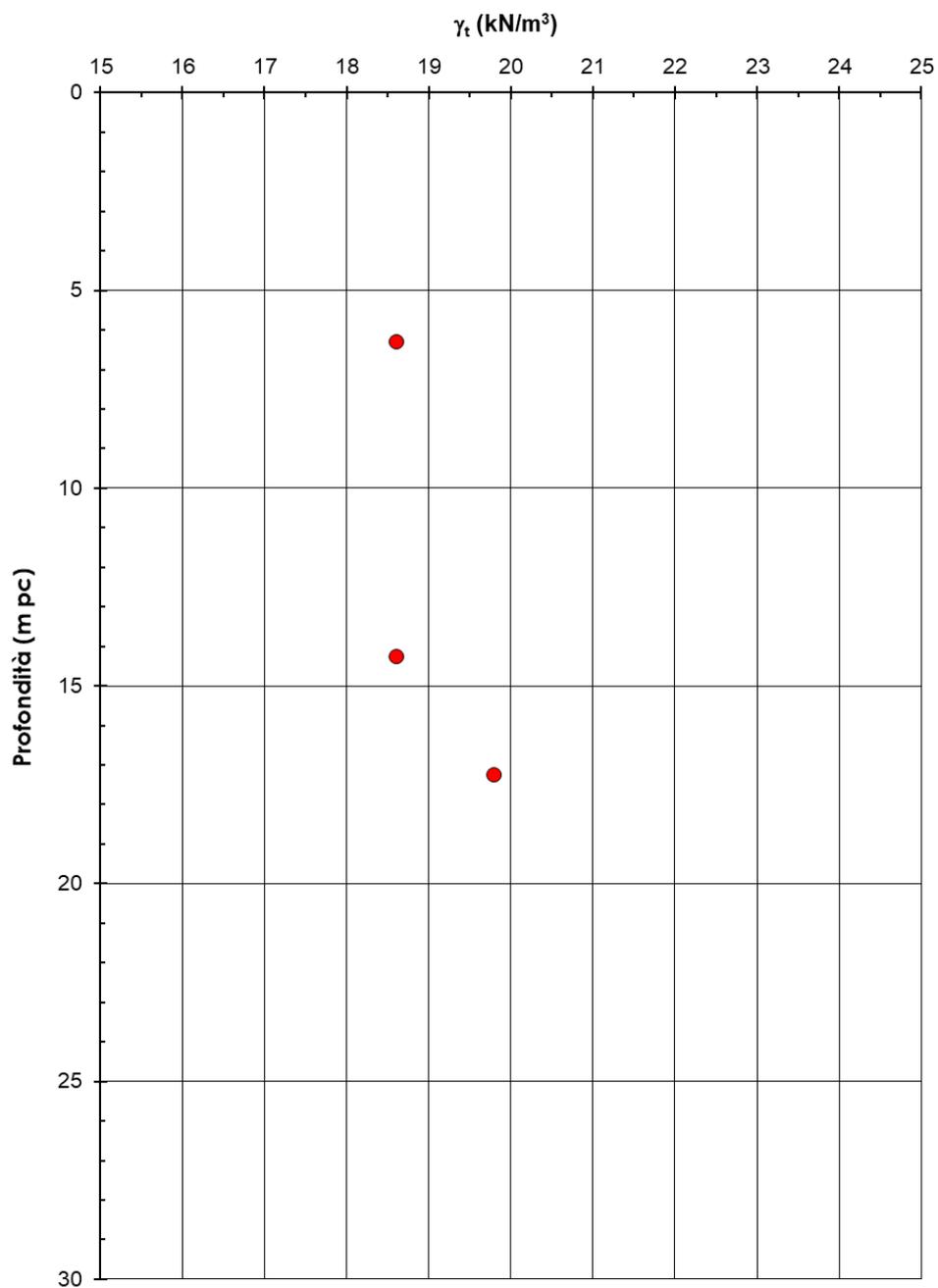


Figura 8 – Peso di volume dei campioni a grana fine nell'area in esame

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 19 di 84

AV/AC VERONA VICENZA

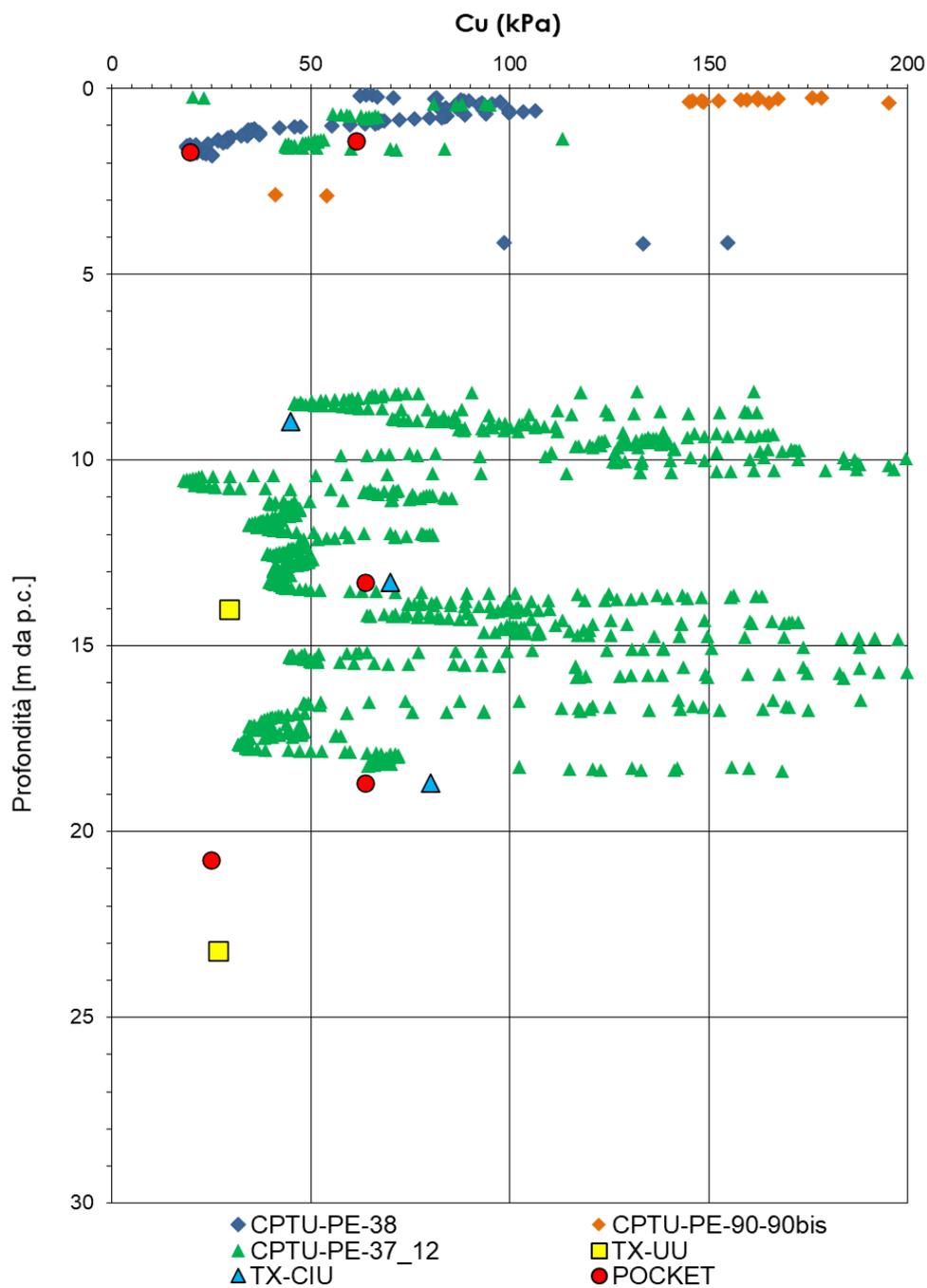


Figura 9 – Resistenza al taglio non drenata da prove in situ e di laboratorio nell'area in esame

AV/AC VERONA VICENZA

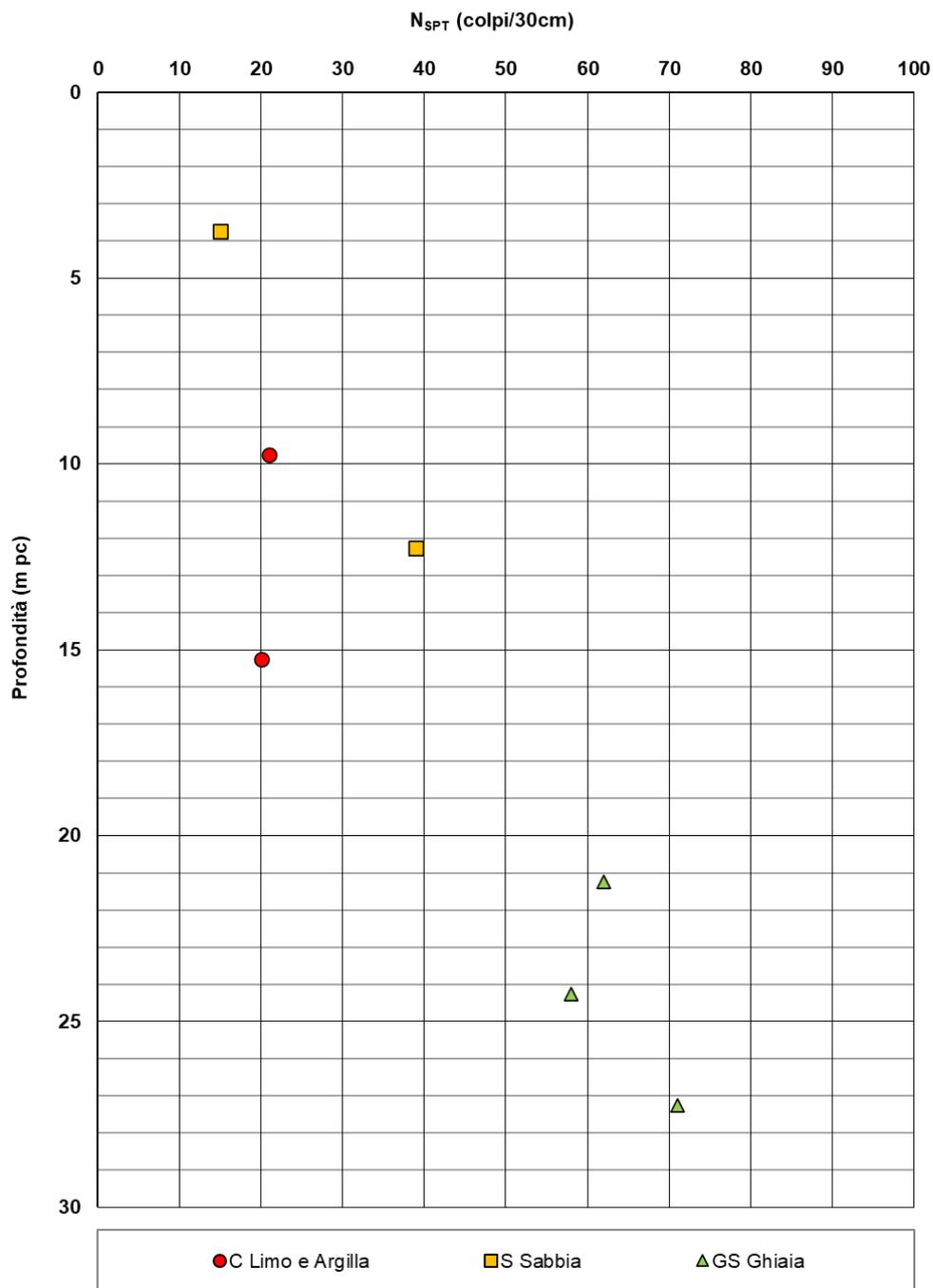


Figura 10 – Esito delle prove SPT nell'area in esame

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 21 di 84

AV/AC VERONA VICENZA

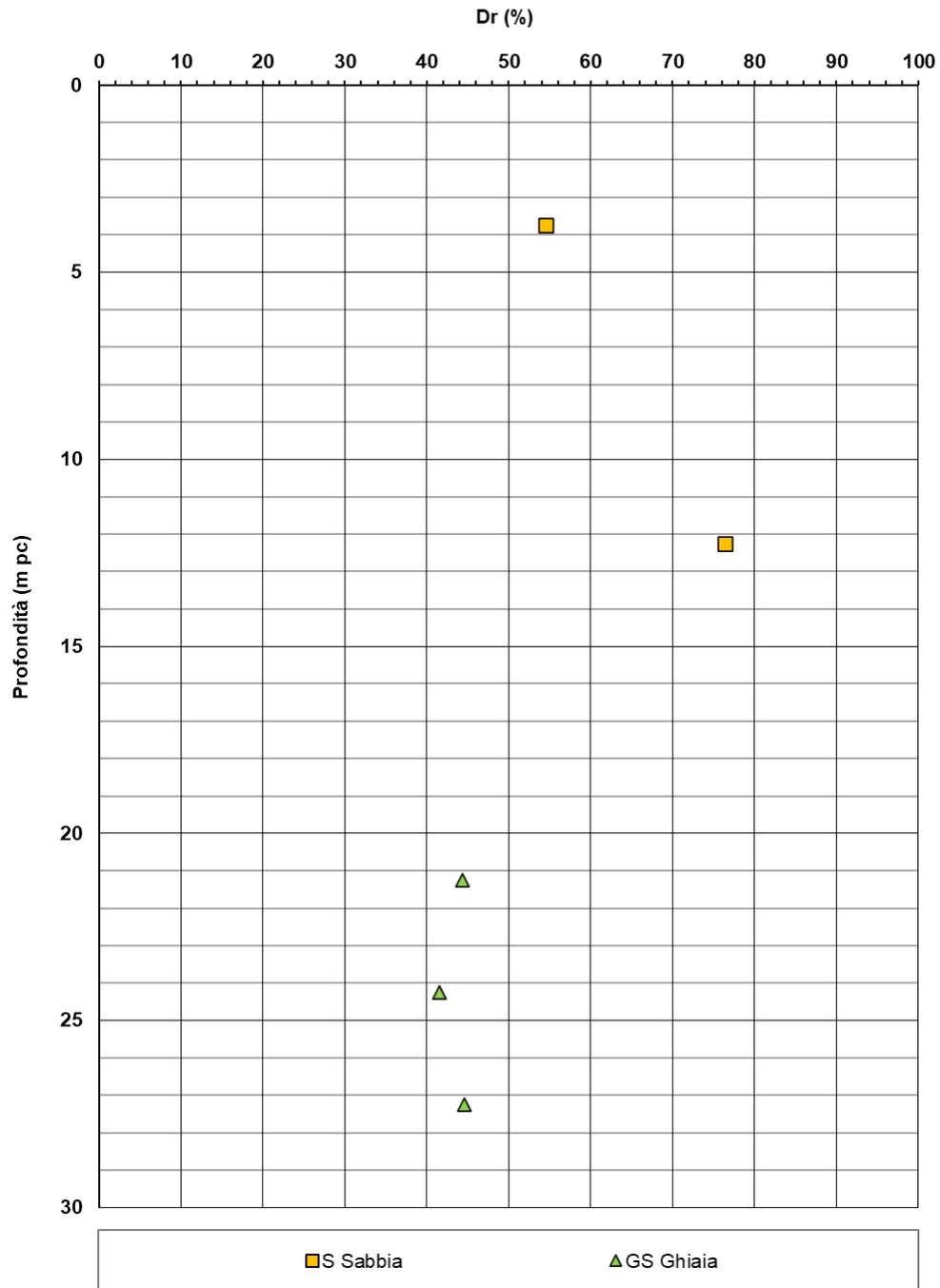


Figura 11 – Densità relativa da prove SPT nell'area in esame

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 22 di 84

AV/AC VERONA VICENZA

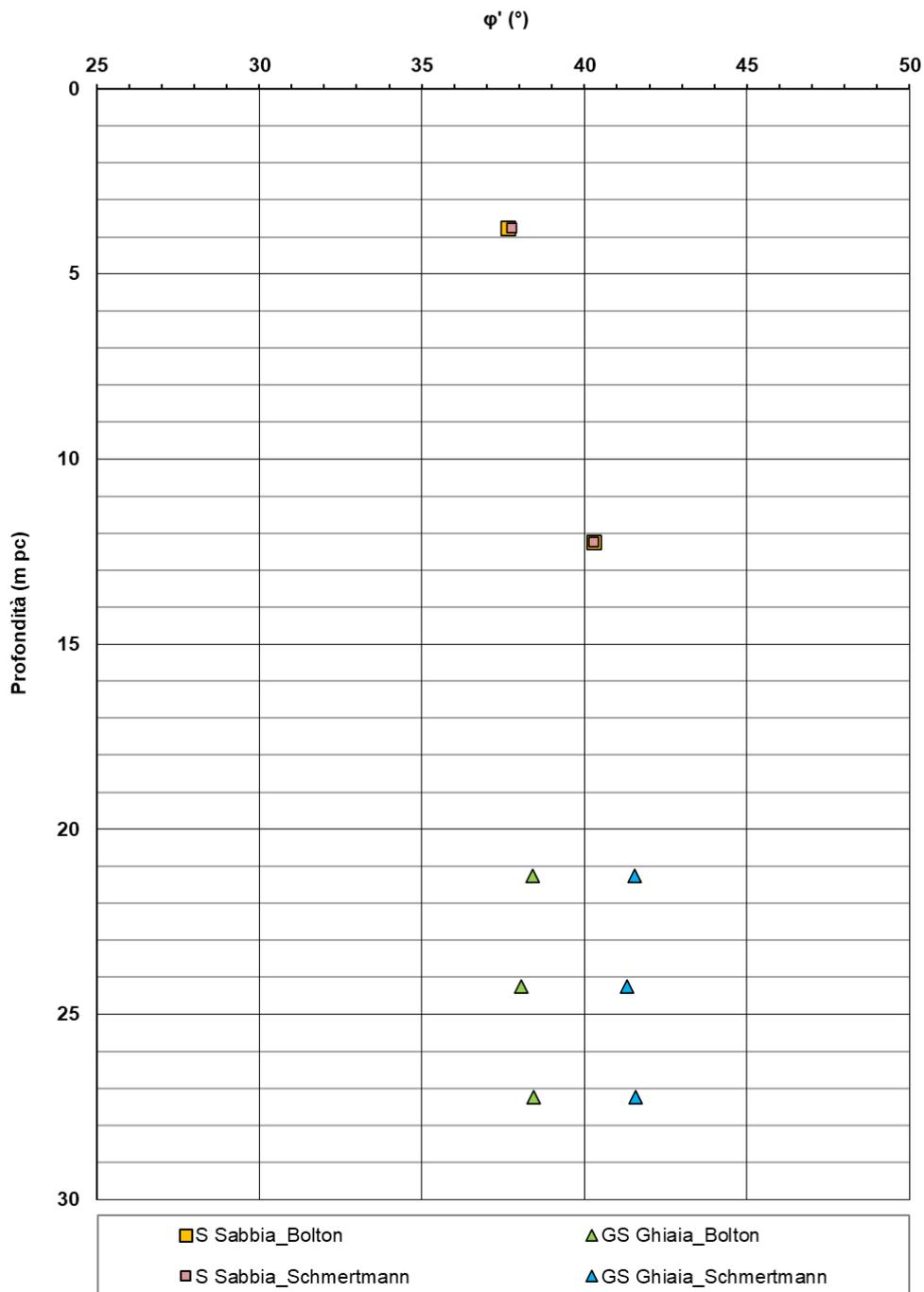


Figura 12 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT nell'area in esame

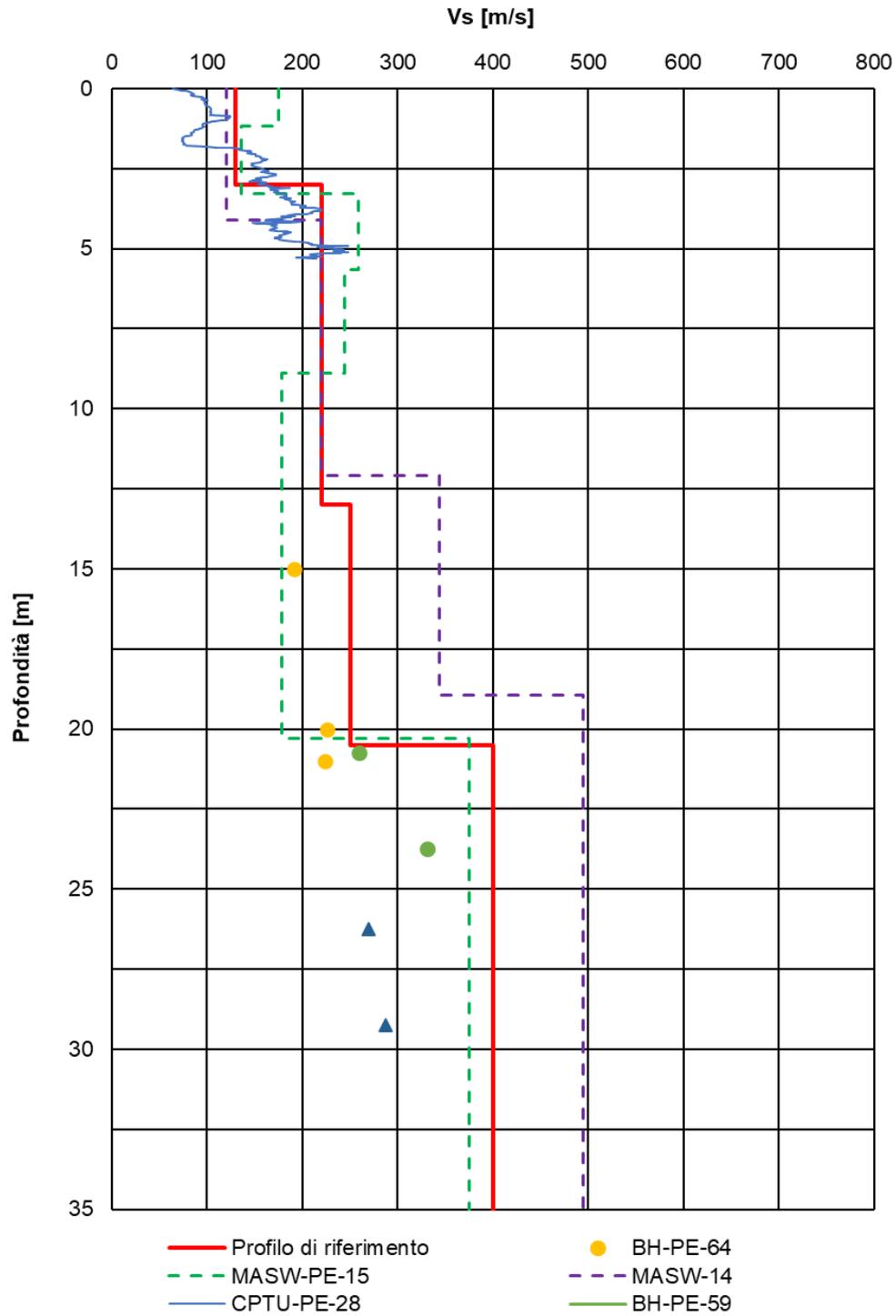


Figura 13 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW nell'area in esame

AV/AC VERONA VICENZA

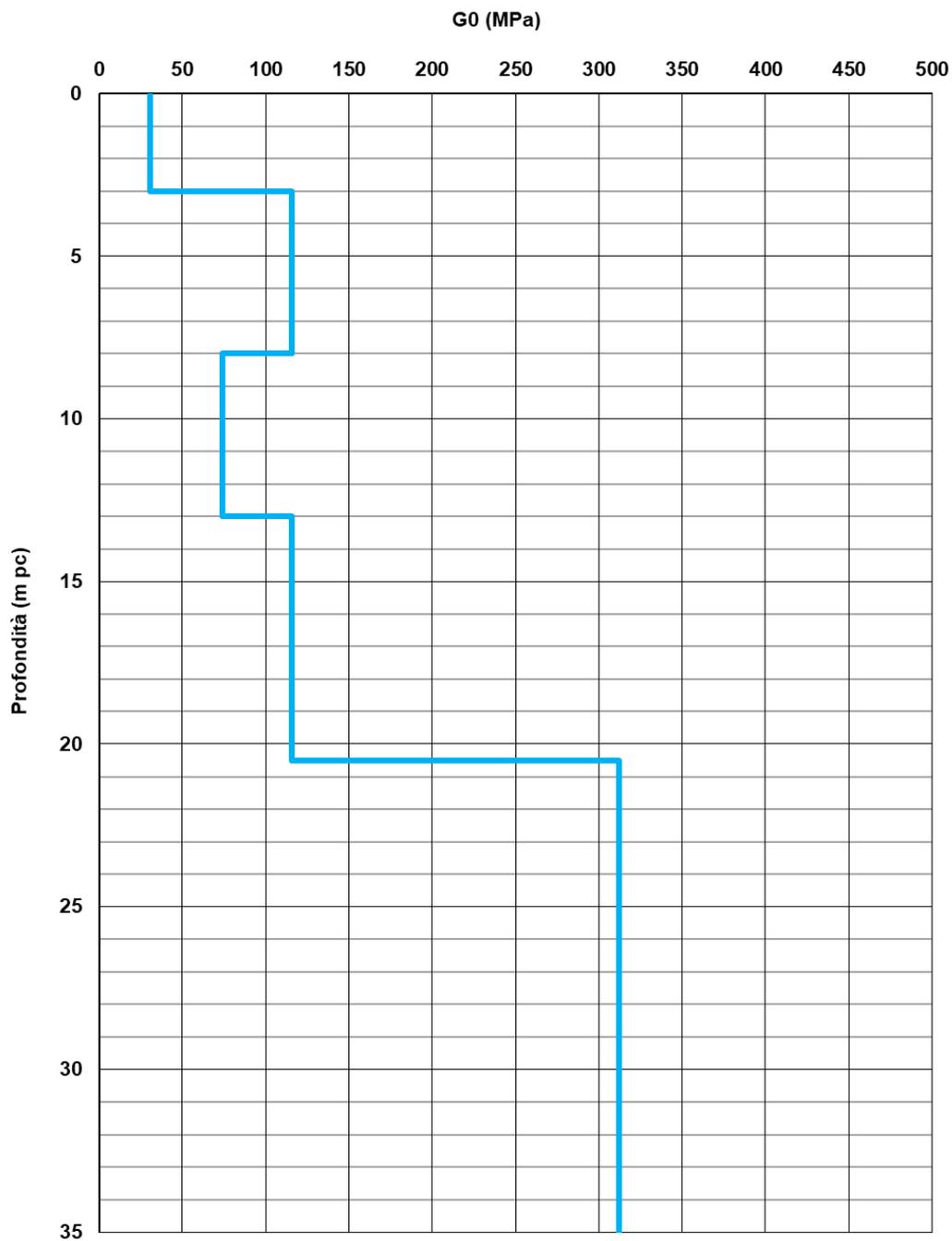


Figura 14 – Modulo di taglio G_0 nell'area in esame

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 25 di 84

4.5 Sintesi del modello geotecnico di riferimento

Sulla base di quanto riportato nella relazione geotecnica generale della tratta (Doc.Rif. [2]), e di quanto riportato al punto 3, nella parte iniziale della WBS in questione, e precisamente dalla pk 31+840,00 e fino alla 31+980,00, si fa riferimento alla stratigrafia di progetto riportato in Tabella 3.

Nel proseguo della WBS RI61, e fino al termine (pk 32+130,00) il modello geotecnico considerato per le verifiche del rilevato in questione è riportato in Tabella 4.

Tabella 3 – Modello geotecnico di riferimento da pk 31+840,00 a pk 31+980,00

Unità	da m pc*	a m pc*	γ kN/m ³	φ_k °	c_k' kPa	$c_{u,k}$ kPa	RR -	CR -	e_0 -	σ'_p kPa	E'_{op} MPa
3b	0	2	18.5	-	-	60	0.015	0.16	1	260	-
4	2	5	19	38	-	-	-	-	-	-	50
3b	5	6	18.5	-	-	50	0.015	0.16	1	220	-
4	6	7.5	19	38	-	-	-	-	-	-	40
3b	7.5	15.5	18.5	-	-	55	0.015	0.16	1	250	-
4	15.5	16.5	19	38	-	-	-	-	-	-	60
3b	16.5	20	18.5	-	-	55-70**	0.015	0.16	1	290	-
6	20	35	19	39	-	-	-	-	-	-	150

Tabella 4 – Modello geotecnico di riferimento da pk 31+980,00 a pk 32+130,00

Unità	da m pc*	a m pc*	γ kN/m ³	φ_k °	c_k' kPa	$c_{u,k}$ kPa	RR -	CR -	e_0 -	σ'_p kPa	E'_{op} MPa
6	0	5	19	39	-	-	-	-	-	-	60
3b	5	9	18.5	-	-	70	0.015	0.18	1	300	-
4	9	14	19	38	-	-	-	-	-	-	80
3b	14	21	18.5	-	-	80	0.015	0.18	1	350	15
6	21	35	19	39	-	-	-	-	-	-	150

* quota piano campagna = 42.0 m s.l.m.

Per la falda si fa riferimento a quanto riportato al punto 4.3.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 26 di 84

4.6 Materiale da rilevato

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

Tabella 5 - Caratteristiche materiale da rilevato

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

4.7 Misto cementato

Secondo quanto previsto dal Capitolato RFI, il misto cementato sarà costituito da inerte calcareo di frantoio rispondente alle norme CNR BU N.29 con fuso di tipo A1 e cemento in ragione del 3% - 4% in massa dell'inerte secco. L'acqua di impasto sarà in ragione del 6% circa della massa secca dell'inerte. La resistenza a compressione con provini cilindrici compattati a 7 gg di stagionatura, come previsto dalla norma CNR citata dovrà essere compresa tra 3 e 7 MPa. Il modulo di rigidezza a 28gg sarà compreso tra 3 GPa e 8 GPa, in linea con le indicazioni della norma UNI EN 12697 – 26.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 27 di 84

5 CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

5.1 Sollecitazione sismica di progetto

5.1.1 Vita Nominale

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

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

Tabella 6 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

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

5.1.2 Classe d'uso

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 28 di 84

Tabella 7 – Valori del coefficiente di uso C_u

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

5.1.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

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

5.1.4 Categorie di Sottosuolo

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

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

5.1.5 Condizioni topografiche

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 29 di 84

5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

Di seguito si riportano i valori dei parametri spettrali dipendenti dal sito dell'opera in oggetto (Doc. rif. [14]):

a_g (g) (SLV)	0.212
Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s	1.390
Coefficiente di amplificazione topografica S_t	1.0
Accelerazione massima attesa al suolo	
a_{max} (g) ($a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$)	0.295

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 alla base delle mappe di pericolosità sismica del territorio italiano allegato alle NTC2008, e sulla distribuzione dei valori di magnitudo associati ai massimi terremoti storici.

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 30 di 84

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

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

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 AV da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 31 di 84

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 15: 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 15, la resistenza alla punta q_c è normalizzata rispetto al valore di pressione atmosferica ($p_a = 100$ kPa) e corretta (q_{c1N}) mediante la seguente relazione:

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

dove 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:

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

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

Tanto maggiore è il valore di I_c , tanto maggiore sarà il contenuto presunto di fini. Nell'analisi condotta il valore $I_c = 2.6$ è stato considerato lo spartiacque tra terreni con contenuto di fine inferiore a 35% e comportamento assimilabile

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 32 di 84

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:

$$q_{c1Ncs} = q_{c1N} \cdot k_c$$

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

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

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

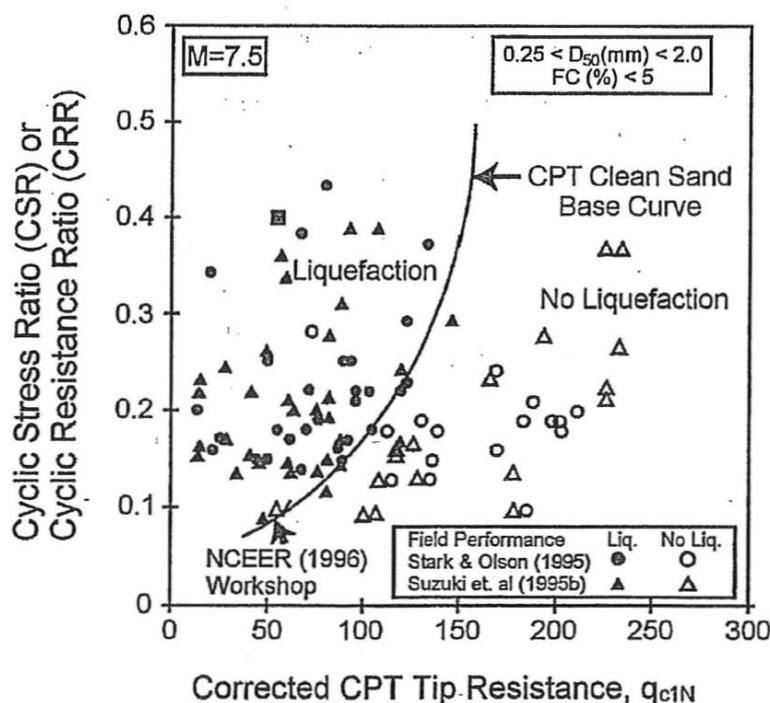


Figura 15 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

5.2.2 CRR da correlazione su prove SPT

Il procedimento utilizzato per la stima di CRR a partire dai risultati di prove SPT si basa sulla relazione riportata in Figura 16, originariamente proposta da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), e successivamente confermata da Youd et al. (2001).

In Figura 16, i risultati delle prove SPT sono espressi in termini di numero di colpi corretti $N_{1(60)}$, ossia i valori sono

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 33 di 84

normalizzati per una pressione verticale efficace pari a 100 kPa e corretti per un valore standard di energia trasmessa (60% del valore nominale) come segue:

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

dove:

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

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

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

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

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

in cui ER_m è il fattore di rendimento (espresso in %) del trasferimento dell'energia del maglio all'attrezzo campionatore, 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 campionatore) sono stati assunti pari ad 1 dato che le prove sono state eseguite sulla base delle raccomandazioni fornite dall'AGI (1977).

Sempre in Figura 16, viene riportato il valore di CSR calcolato ed i corrispondenti valori di $N_{1(60)}$ da siti in cui sono stati osservati o meno gli effetti della liquefazione per eventi simili avvenuti in passato, con Magnitudo pari $M = 7.5$. Le corrispondenti curve CRR sono state determinate all'interno del grafico in modo da separare chiaramente i dati corrispondenti all'avvenuta liquefazione da quelli per i quali non è stato osservato il fenomeno in esame.

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

Si può osservare dalla Figura 16 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)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 34 di 84

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

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:

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

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

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

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

$$\beta = [0.99 + (FC1.5/1000)] \text{ per } 5\% < FC < 35\%$$

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

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

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

dove:

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32 +130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 35 di 84

da laboratorio per ogni prova SPT. Nei casi in cui 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):

$$FL = (CRR_{7.5}/CSR) MSF k_s$$

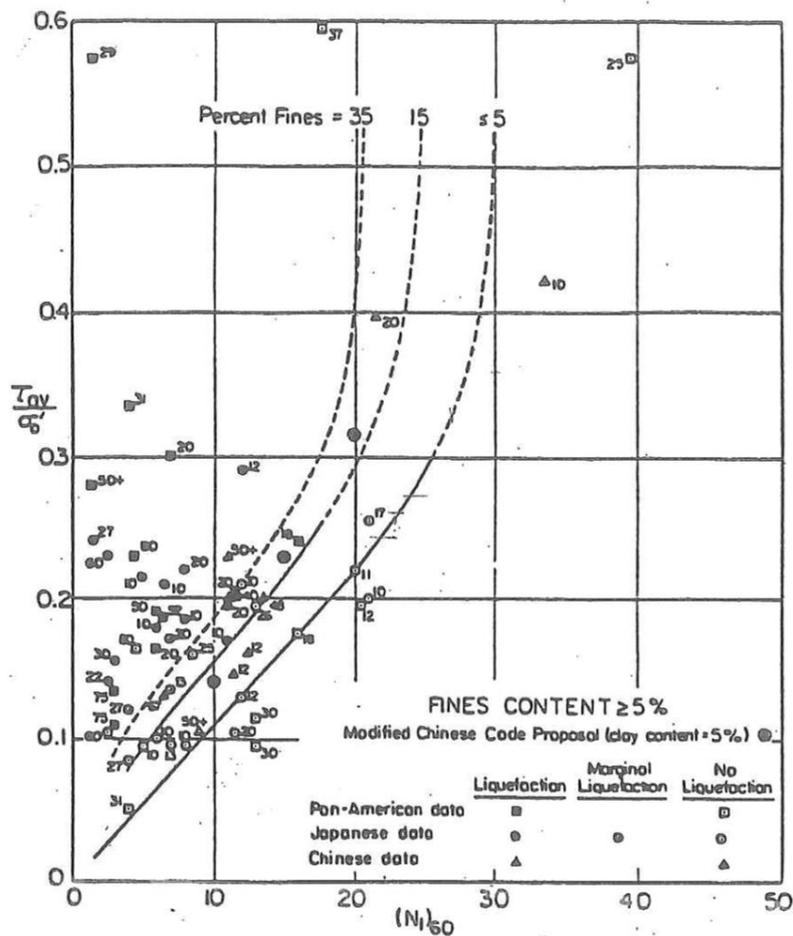


Figura 16 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

I risultati delle analisi di liquefazione delle indagini disponibili sono riportati in Figura 17 e Figura 18 .



Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI6100001A

Foglio
36 di 84

Tratta A/C AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU 90-90bis Pr. 31+975

$a_{j,max} = 0.295g$ $M_{calc} = 6$ $MSF = 2$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001

Altezza rilevato = 5.5m

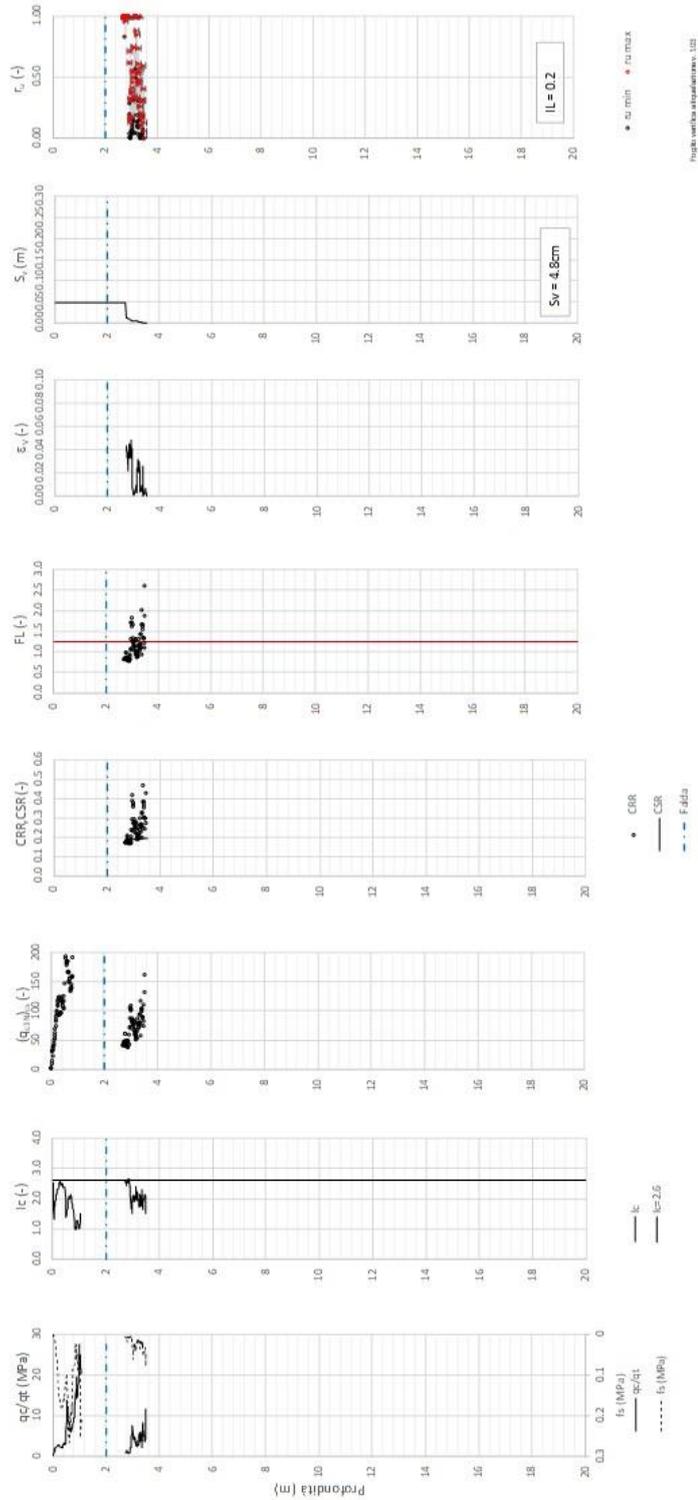


Figura 17 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-90bis



Rilevato ferroviario AV da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00
Relazione Geotecnica

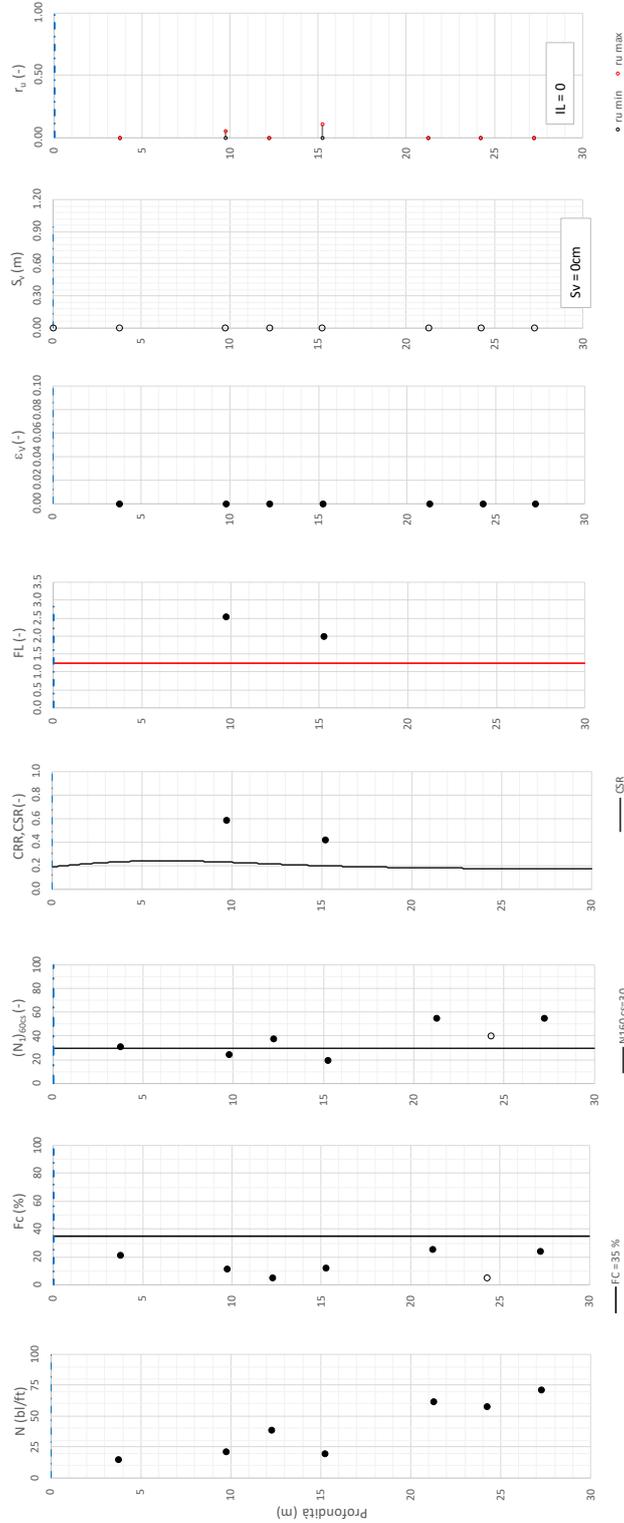
Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI6100001A

Foglio
37 di 84

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova BH-PE-64 Pr. 31+975
a_{max} = 0,25kg M_{calc} = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 5m



Foglio verifica aiqualificazionepg. 102

Figura 18 – Verifica Liquefazione da risultati SPT BH-PE-64

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 38 di 84</p>

5.2.3 Commento ai risultati

Sulla base di quanto emerge dai risultati di Figura 17 e Figura 18, non si rilevano problematiche significative legate a potenziali fenomeni di liquefazione dei terreni di fondazione.

I materiali granulari sono generalmente di tipo ghiaioso – sabbioso (formazione 6), con resistenza penetrometrica elevata e stato di addensamento da mediamente denso a denso. I materiali sabbiosi della formazione 4 hanno elevata densità, confermata dai valori elevati di N_{SPT} .

Per quanto riguarda l'analisi della prova CPTU90/90bis, si rileva quanto segue:

- Al di sotto dei 3.8 m di profondità la prova CPTU90/90 bis va a rifiuto;
- Si evidenzia uno strato di circa 80 cm di spessore, tra 2.80 e 3.80 m di profondità nel quale si identificano passaggi (non continui) di materiale potenzialmente liquefacibile, alternati a livelli non liquefacibili;
- Al di sopra ed al di sotto di esso non si evidenziano problematiche di questo tipo;
- Si tratta, con ogni probabilità, di una lente di materiale più fine (sabbia limosa) all'interno di uno strato a forte componente ghiaiosa (strato 6); questo livello risulterebbe, in ogni caso, efficacemente confinato da strati superiori ed inferiori di terreno stabile (non liquefacibile);
- L'impatto di eventuali fenomeni di mobilità ciclica e sviluppo di sovrappressioni interstiziali all'interno dei livelli descritti è da ritenersi trascurabile.

Gli strati di materiali più fine hanno comunque una significativa componente argillosa e limosa (3b) e, nel contempo, una consistenza da mediamente compatta a compatta. Si tratta quindi di materiali ragionevolmente non liquefacibili, in quanto la loro composizione granulometrica non ricade nell'ambito dei materiali suscettibili a tale fenomeno.

Pertanto, si ritiene di poter escludere problematiche legate a potenziali fenomeni di liquefazione per il rilevato in esame.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 39 di 84</p>

6 VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO FERROVIARIO

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, alle 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 dal 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.

Le verifiche vengono condotte con analisi statiche o pseudostatiche e, in accordo al MdP (Doc. rif. [19]), il coefficiente di incremento dinamico delle azioni derivanti dal passaggio del treno è assunto pari all'unità.

In base a quanto indicato dalle NTC 2008, le verifiche di sicurezza che devono essere condotte per opere costituite da materiali sciolti sono indicate nei paragrafi 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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 40 di 84

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

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

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

Tabella 8 – 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 9 – 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	γ_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 10 – Coefficienti parziali per verifiche di stabilità globale

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32 +130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 41 di 84</p>

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 piano di posa del ballast e fino alla durata della vita utile dell'opera, i cedimenti residui debbono essere inferiori a 5 cm.

Nel caso di rilevato da realizzarsi in affiancamento ad un rilevato esistente (come nel caso esistente) e mantenendo quest'ultimo in esercizio durante i lavori, si richiede 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. La soluzione adottata tende comunque a minimizzare i cedimenti assoluti sul binario della LS.

Tabella 11 – 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 < SCARTXL ≤ 10	$10 < \Delta H \leq 15$ 4 < SCARTXL ≤ 8
3° livello di qualità esecuzione a breve termine anche in relazione ai limiti di sghembo (2)	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) 10 < SCARTXL ≤ 14	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) 8 < SCARTXL ≤ 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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 42 di 84

6.2.1 Azioni permanenti

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

Peso massicciata e armamento 18 kN/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 12)

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

g accelerazione di gravità.

Tabella 12 - 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

Le verifiche vengono condotte con analisi statiche o pseudo-statiche 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 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 43 di 84

6.3 Verifiche e risultati SLU

6.3.1 Premessa

Per quanto riguarda le prime sezioni della tratta, come già descritto ai paragrafi 3 e 4, la stratigrafia e la geometria del rilevato sono riconducibili a quelle adottate per Ri60. Per le verifiche SLU fino alla pk 31+980 si rimanda pertanto alla relazione di Ri60. Le verifiche qui riportate sono rappresentative dalla pk pk 31+980 fino alla fine della tratta.

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. [25]). 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 9 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 sezione A riportata in Figura 2, secondo il metodo di Bishop modificato. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici caratteristici definiti in Tabella 4.

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 stato preso un livello coincidente con il 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 interessano la sede ferroviaria.

In Figura 19, sono riportate le superfici di rottura critiche. Il valore minimo di FS è pari a:

$$FS_{MIN} (DA1C2) = 1.260 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 44 di 84</p>

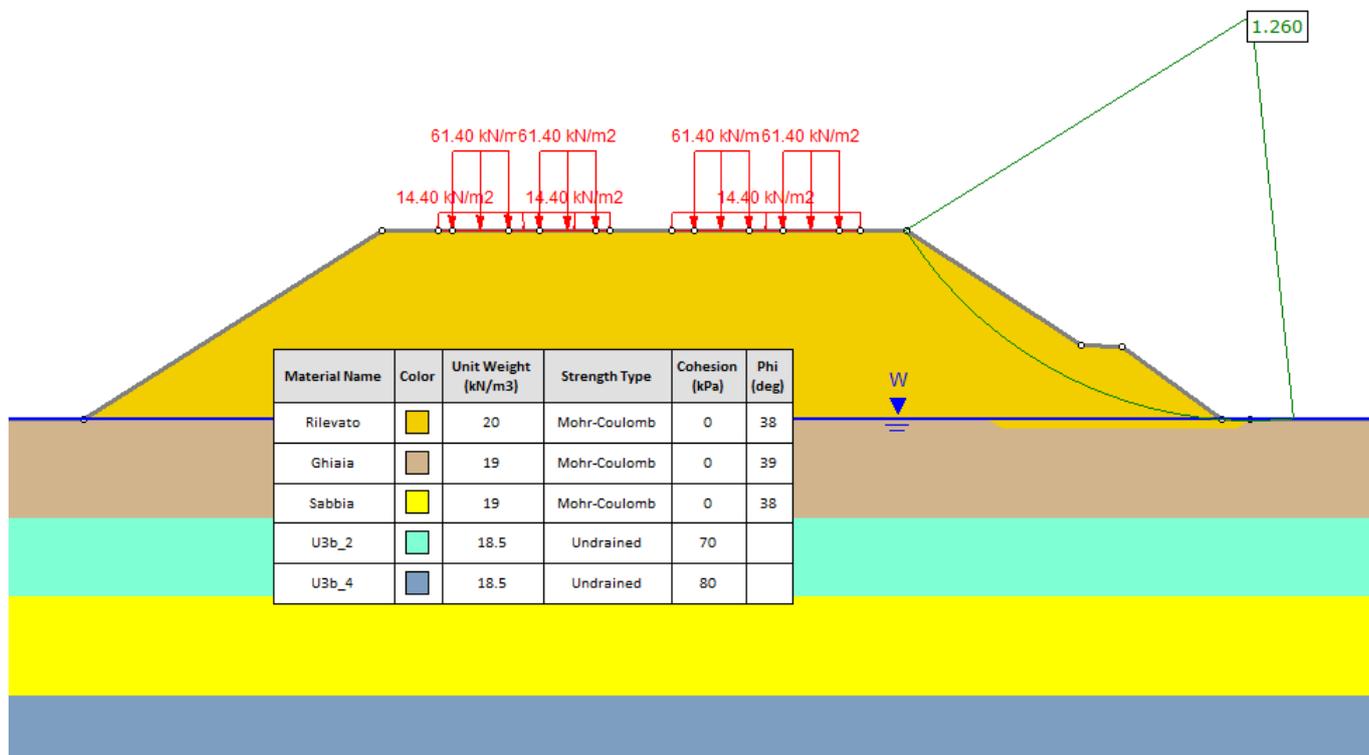


Figura 19 – Rilevato RI61 - Analisi SLU in campo statico DA1C2

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 45 di 84</p>

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:

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

$$K_V = \pm 0.041 \quad (\text{verificando la pi\`u cautelativa tra negativo e positivo})$$

Per quanto riguarda la falda, è stato preso un livello coincidente a p.c., come riportato nel paragrafo 4.3.

Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle di spessore ridotto e che interessano la sede ferroviaria.

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

$$FS_{MIN} = 1.182 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.

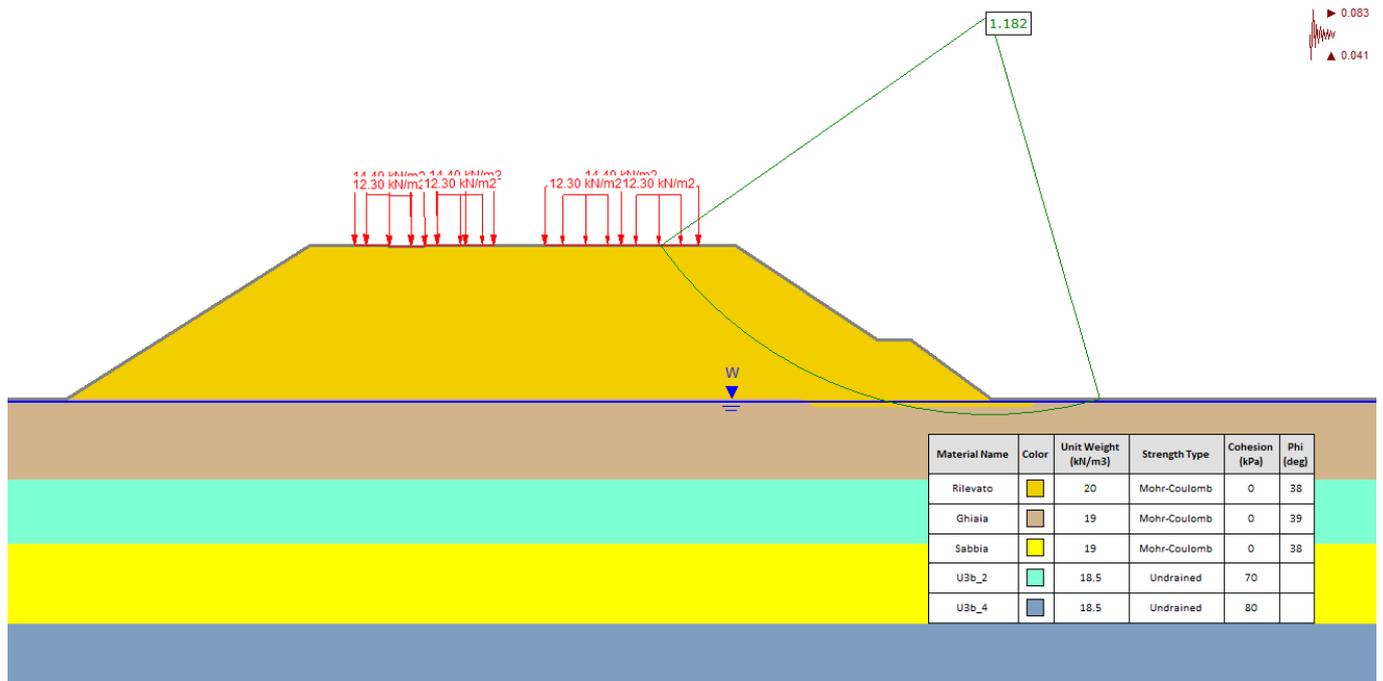


Figura 20 – Rilevato RI61 - Analisi SLU in campo sismico

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 46 di 84</p>

6.4 Verifica e risultati SLE

6.4.1 Premessa e descrizione concettuale della soluzione

Per la parte iniziale del rilevato (fino alla 31+980), laddove si ritiene siano presenti i terreni più cedevoli ritrovati nell'area dell'RI60 (sia pure in misura sempre minore), si potrà fare riferimento alle analisi PLAXIS riportate nella relazione geotecnica del rilevato citato.

Per quanto riguarda invece le progressive dalla 31+980 in avanti, la determinazione del campo di spostamenti è stata svolta mediante l'utilizzo del codice di calcolo SETTLE 3D (Doc. Rif. [26]) 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 = semilarghezza dell'area di carico in direzione x

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 47 di 84</p>

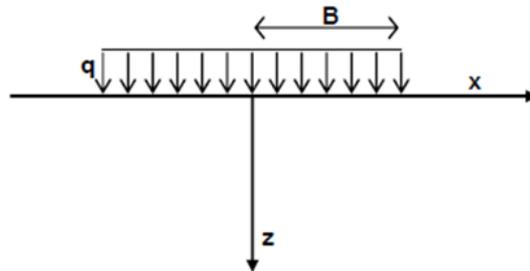


Figura 21 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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

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

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

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

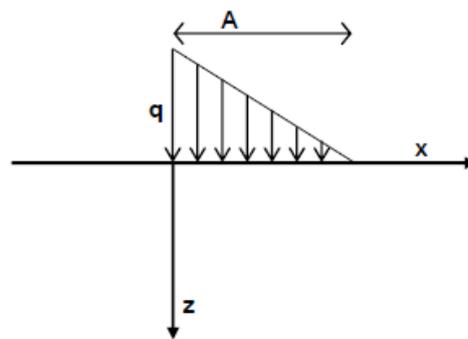


Figura 22 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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

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

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

Il calcolo dei cedimenti indotti dalla realizzazione del rilevato ferroviario è stato svolto modellando la successione stratigrafica in sito tenendo conto delle diverse caratteristiche di deformabilità degli strati, in accordo alla stratigrafia di progetto riportata in Tabella 4. Si sono assunti i valori caratteristici sia sulle azioni che sui materiali.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 48 di 84</p>

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

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

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

dove

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

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

6.4.2 Schematizzazione e Risultati

La verifica è stata condotta con riferimento alla sezione riportata in Figura 2. Il modello di calcolo, implementato per il rilevato tipologico con altezza pari a 9.5 m, è riportato in Figura 23.

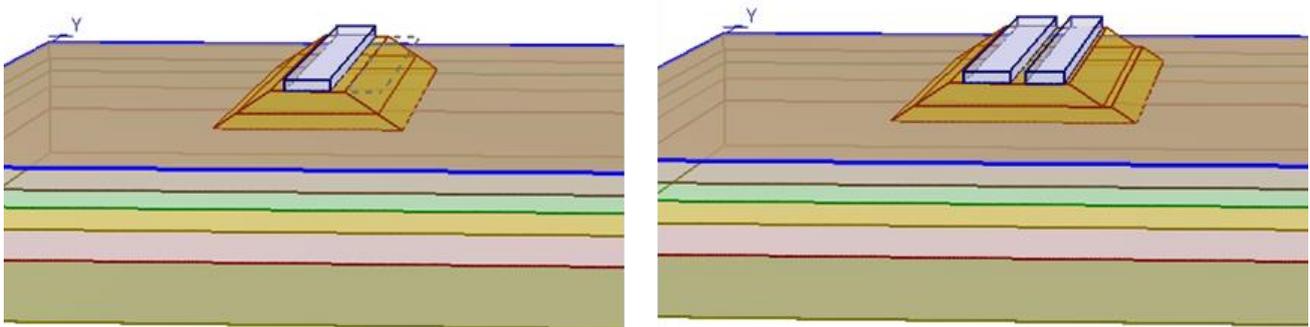


Figura 23 – Rilevato RI61 - Analisi SLE – Modello di calcolo

Il rilevato della linea storica in corrispondenza della sezione di riferimento è alto 9.4 m e largo 46 m circa. Il rilevato AV è alto 9.4 m, largo circa 11m, per entrambi la pendenza delle scarpate è di 2V:3H.

Il carico dato dal completamento della linea ferroviaria, assunto pari a 14.4 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato in testa al rilevato.

L'analisi è stata condotta nel dominio del tempo, assumendo la seguente sequenza costruttiva:

1. Posa e costruzione del rilevato linea storica: ricostruita la storia tensionale del sito;
2. Realizzazione del rilevato AV: 4 mesi;
3. Periodo di maturazione del rilevato: massimo 3-4 mesi;
4. Lavorazioni di finitura rilevati (sub-ballast, canalette, ecc.): 3 mesi;
5. Realizzazione impianti: 2 mesi;
6. Posa in opera di ballast ed armamento ferroviario: 2 mesi;
7. Consolidazione finale.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 49 di 84</p>

I risultati sono riportati in Figura 24. In particolare:

- La linea verde rappresenta il valore del cedimento prima della posa del ballast. Il valore massimo calcolato in corrispondenza del centro del rilevato è di circa 5.1 cm. Si segnala che tale valore del cedimento viene raggiunto già al completamento del rilevato e si mantiene quindi costante.
- la linea rossa mostra il cedimento stimato al termine della costruzione, dopo la posa dell'armamento ed al termine dei fenomeni di consolidazione. Il valore massimo calcolato in corrispondenza del centro del rilevato è di circa 5.3 cm.
- I cedimenti differenziali tra ciascuna rotaia della Linea Storica sono di circa 3 mm, ampiamente entro il limite dei 15 mm.

Se ne deduce che la maggior parte dei cedimenti si verificheranno nel corso della costruzione del rilevato. Questo è dovuto al fatto che i carichi applicati non sono tali da portare il terreno di fondazione nel campo della normalconsolidazione. I valori operativi dei coefficienti di consolidazione c_v rimangono quindi alti (a causa della poca compressibilità dei materiali), e con conseguenti sviluppo rapido dei cedimenti.

Anche tenendo conto di una quota parte di cedimento secondario, stimabile pari ad un 10% del totale, (quindi pari a meno di un centimetro nel periodo posteriore alla posa in opera del ballast), e tenendo in conto che il valore del cedimento dovuto alla posa in opera del ballast, anch'esso pressoché immediato, risulta essere dell'ordine dei millimetri, si conclude che il cedimento dalla fine della posa in opera del ballast e fino alla fine della vite utile dell'opera (100 anni), risulta essere ampiamente inferiore al limite di 5 cm.

La verifica SLE è quindi da considerarsi soddisfatta.

Ri61 : Cedimento durante/dopo costruzione del rilevato ferroviario linea AV

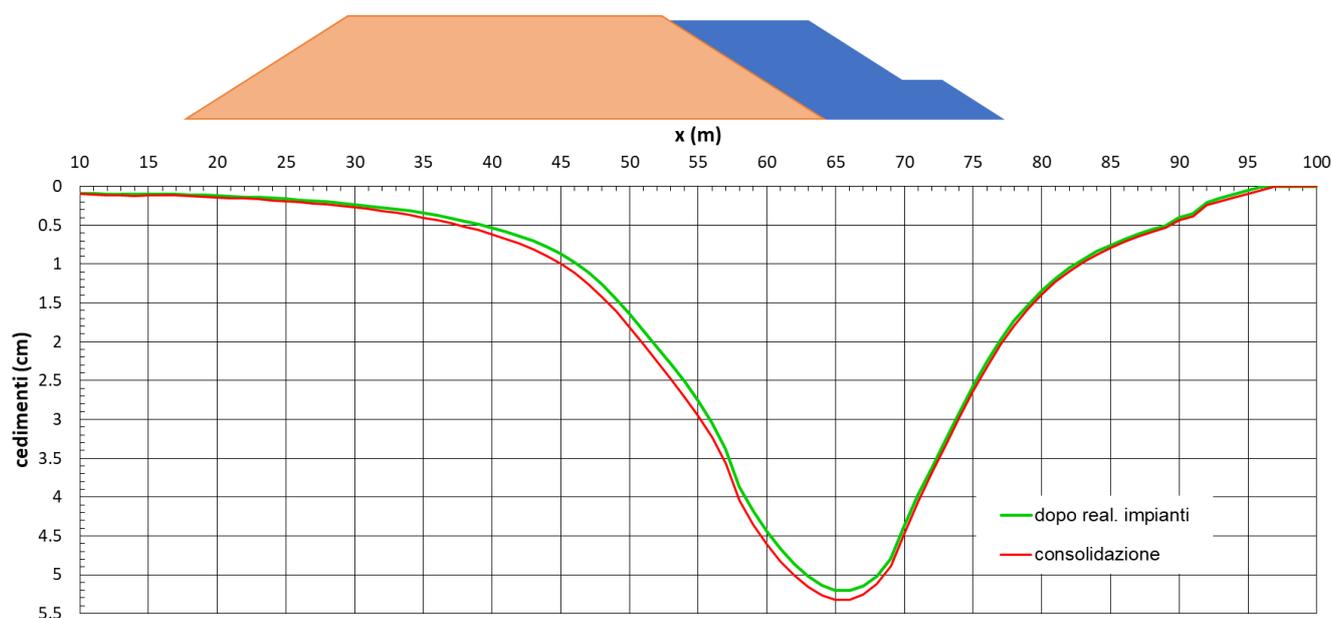


Figura 24 - Rilevato RI61 - Analisi SLE – Risultato Cedimenti

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 50 di 84</p>

Per confronto si riportano gli analoghi risultati dell'analisi Plaxis di RI60, rappresentativi del tratto fino alla pk 31+980.

I risultati dell'analisi sono riassunti in Figura 25 e Figura 26 (a e b).

Si evidenzia quanto segue:

- Sotto il rilevato AV, i cedimenti assoluti, a fine consolidazione, risultano compresi tra 8 e 11 cm, come mostrato nella Figura 25.
- I cedimenti residui della linea AV, a far data dal completamento del piano di posa del ballast, sono inferiori a 5 cm. In particolare, come illustrato in Figura 26-a) il cedimento residuo è inferiore a 1cm
- In relazione ai binari della Linea Storica, la Figura 26-b) mostra, per il binario più vicino alla linea AV, un cedimento totale atteso di circa 7 cm ed un differenziale sulle rotaie di circa 9-10 mm.

Tenendo conto che:

- I cedimenti totali sono estremamente contenuti. Tenendo conto dello spessore di stratto compressibile (circa 30 m), questo significa che il materiale si muove principalmente nel campo delle piccole deformazioni, con sviluppo quindi di sovrappressioni interstiziali di trascurabile entità
- Tenuto conto della geometria del problema (aree di carico di estensione inferiore allo spessore del materiale compressibile), eventuali gradienti di sovrappressione interstiziale saranno soprattutto in direzione orizzontale, ove la dissipazione di queste sovrappressioni trova agevoli percorsi di drenaggio dovute alla presenza di fitte intercalazioni sabbiose.

Se ne conclude che i cedimenti calcolati saranno praticamente contestuali all'applicazione del carico, come anche i risultati dell'analisi confermano.

Sulla base di quanto sopra, i cedimenti secondari sono da considerarsi dell'ordine di qualche millimetro, e quindi tali da non modificare l'accettabilità dei risultati ottenuti.

I valori di cedimento assoluto in fase di esercizio della linea AV in progetto, e di cedimento differenziale tra rotaie della linea storica sono inferiori ai limiti tollerabili.

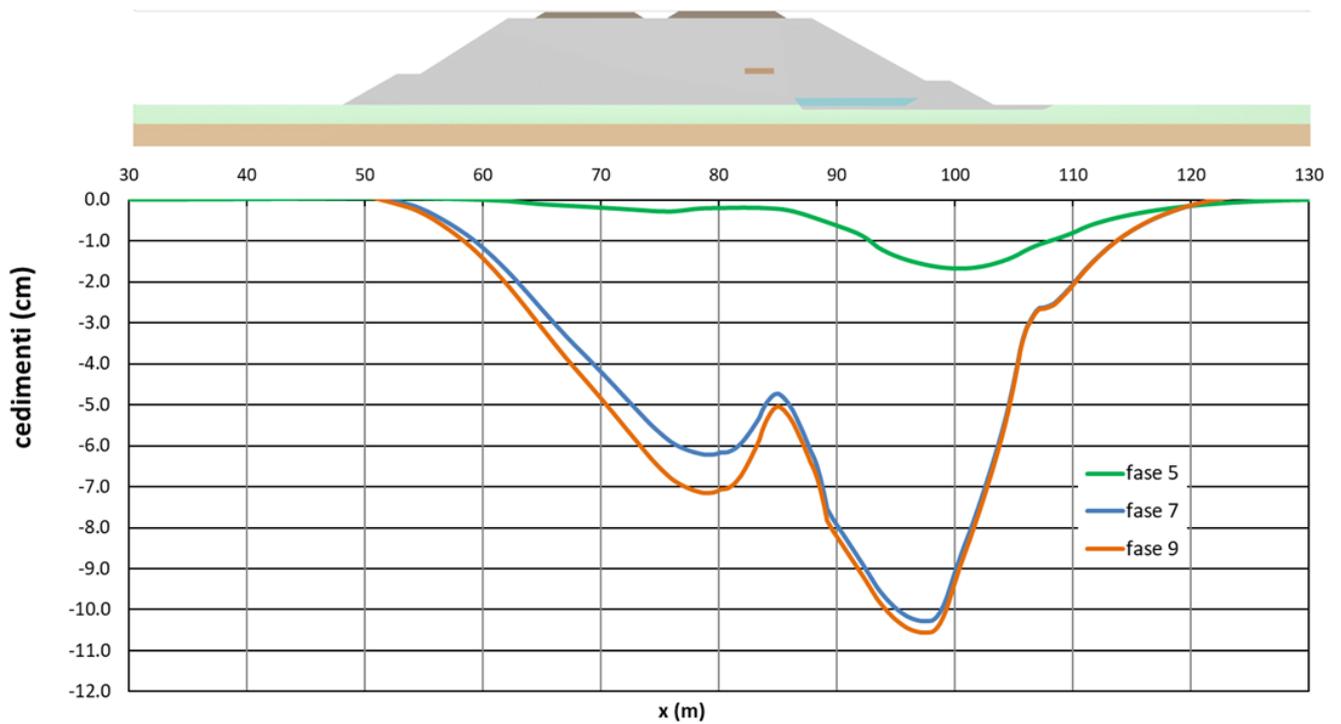
Per quanto concerne il cedimento differenziale longitudinale delle due linee (AV e LS), si considera quanto segue:

- Il cedimento differenziale longitudinale lungo la linea AV non costituisce un problema, in quanto i cedimenti (di qualunque entità) avverranno praticamente all'atto di applicazione dei carichi, e il cedimento differenziale longitudinale durante la vita utile dell'opera sarà trascurabile;
- Per quanto riguarda la linea LS, occorre tenere presente che le due schematizzazioni fanno riferimento a due situazioni stratigrafiche "estreme", e che in realtà vi sarà un cambio stratigrafico progressivo. In ogni caso il rilevato sarà adeguatamente strumentato per verificare i cedimenti attuali dell'opera. ,

La verifica SLE è quindi da considerarsi soddisfatta.

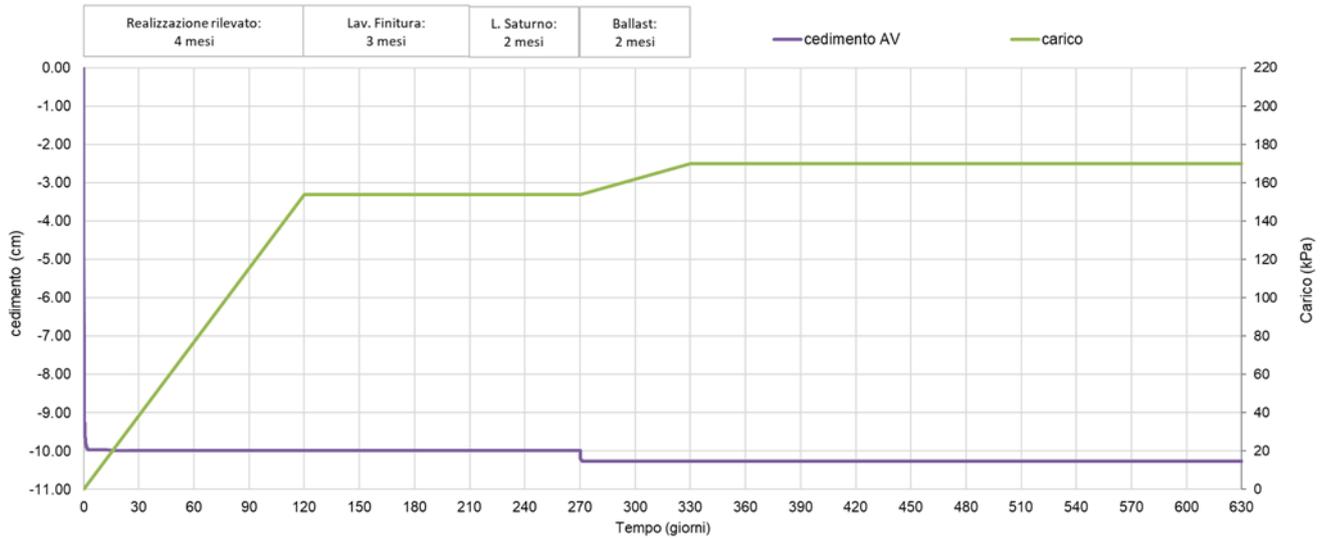
<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 51 di 84</p>

Ri60: Cedimenti durante/dopo costruzione linea AV (presi a base rilevato)



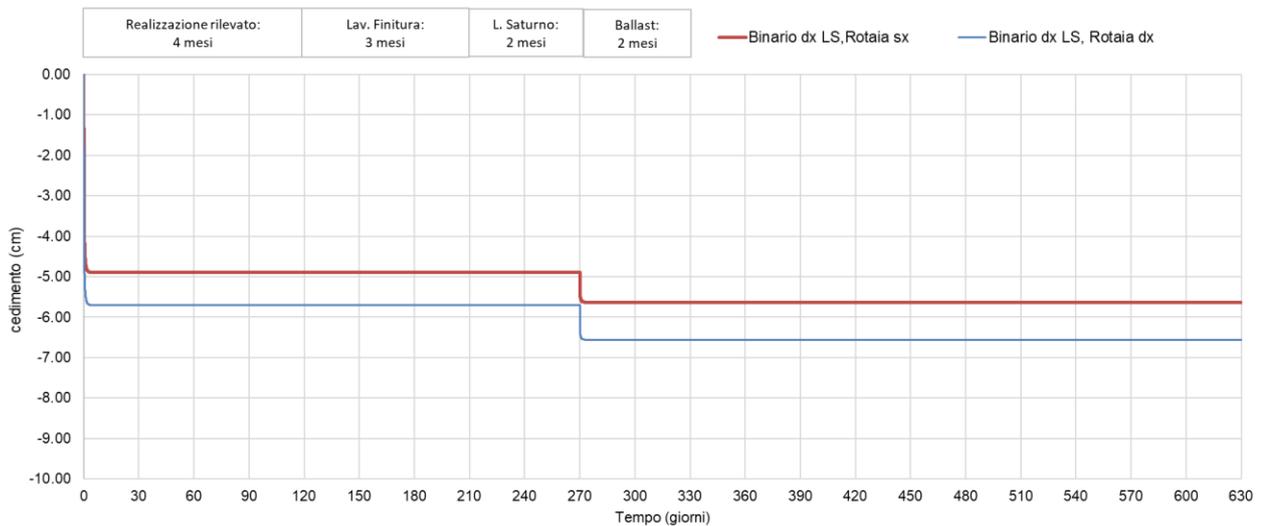
*Figura 25 – Ri60 sezione B (rappresentativo fino a pk 31-980):
Cedimenti a p.c. durante e alla fine della costruzione del rilevato ferroviario AV*

Ri60: cedimenti del rilevato AV durante e dopo la costruzione



a) cedimenti presi a piano campagna, al centro del rilevato AV

Ri60: cedimenti sui binari LS durante e dopo la costruzione nuovo rilevato AV



b) cedimenti presi a quota ballast, considerando il binario LS più vicino al nuovo rilevato AV

Figura 26 – Ri60 sezione B (rappresentativo fino a pk 31-980):

andamento dei cedimenti nel tempo dopo/durante la costruzione del rilevato AV

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 53 di 84

7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

In conclusione, il rilevato oggetto di questa analisi risulta stabile e i cedimenti attesi sono limitati e non differiti nel tempo.

Sulla base delle considerazioni stratigrafiche riportate nel capitolo 4, si è pervenuti alla determinazione gli interventi “a scalare” riportati in Tabella 1.

Vista la prossimità della linea esistente, e le condizioni geotecniche del sito, si prevede l’installazione di strumentazione di monitoraggio, sia durante la fase di costruzione che in esercizio, come definito nella relazione dedicata.

Lo scopo principale, tra gli altri, del sistema di monitoraggio in fase di costruzione è quello di misurare gli spostamenti indotti sui binari della LS, al fine di garantirne la sicurezza e la funzionalità dell’esercizio.

L’accettabilità dei cedimenti osservati sarà stabilita in relazione a valori soglia di attenzione e allarme, che saranno individuati tenendo conto dei “livelli di qualità geometrica correnti” definiti negli Standard di Qualità di RFI in funzione delle velocità massime consentite sulla linea, con riferimento alle misure di Scartamento, Allineamento, Livello longitudinale, Livello trasversale e Sghembo.

Si chiarisce che la definizione dei valori soglia da rispettare e delle contromisure da intraprendere in caso di superamento degli stessi esula dal contenuto del presente elaborato, e sarà oggetto di uno specifico elaborato di successiva emissione.

In relazione alla problematica della realizzazione delle inclusioni rigide dell’allineamento A, si segnala quanto segue:

1. Si raccomanda di eseguire prove tecnologiche preliminari di realizzazione delle inclusioni rigide nell’area di interesse, volte a valutare la effettiva problematica di prevalenza della falda nello strato inferiore di ghiaie e sabbie.
2. Si raccomanda altresì di additivare opportunamente i fanghi di perforazione in modo da pervenire a pesi dell’ordine di 1.1 t/m³. Anche in caso di prevalenze maggiori, o di rinvenimento di livelli sabbioso-ghiaiosi in pressione a quote più elevate di quanto previsto (vale a dire più prossime al p.c.), la presenza di fanghi pesanti può avviare a tale inconveniente.
3. Sarà cura della Direzione Lavori verificare che le lunghezze dei consolidamenti prescritte, definite sulla base delle indagini disponibili, siano tali da garantire ovunque un immersione delle inclusioni rigide della fila A di almeno 2 m nelle ghiaie di base.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 54 di 84</p>

ALLEGATI

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 55 di 84</p>

ALLEGATO 1 – PROFILO STRATIGRAFICO

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 57 di 84</p>

ALLEGATO 2 – INDAGINI GEOGNOSTICHE

Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32 +130,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI6100001A

Foglio
58 di 84

Azienda con Sistemi di Gestione certificati da Certiquality - Qualità Ambiente Sicurezza - UNI EN ISO 9001:2008 - UNI EN ISO 14001:2004 - BS OHSAS 18001:2007

FERRARA DEPARTMENT

Via Annibale Zucchini, 69 - 44122 Ferrara (FE)
Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119

SOCOTEC ITALIA Srl - P. Iva 01872430648
Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099
www.socotec.it



COMMITTENTE: CONSORZIO IRICAV DUE - Via Francesco Tovaglieri 413-00155 Roma (RM)

CANTIERE: Montebello Vicentino

PERFORAZIONE: BH-PE-64

ESECUZIONE: 27/11 - 1/12 / 2020

COMMESSA: 22036AV-20

RDP SITO N°: SF201091

OPERATORE: EL HACHMI

RESPONSABILE: FERRABOSCHI

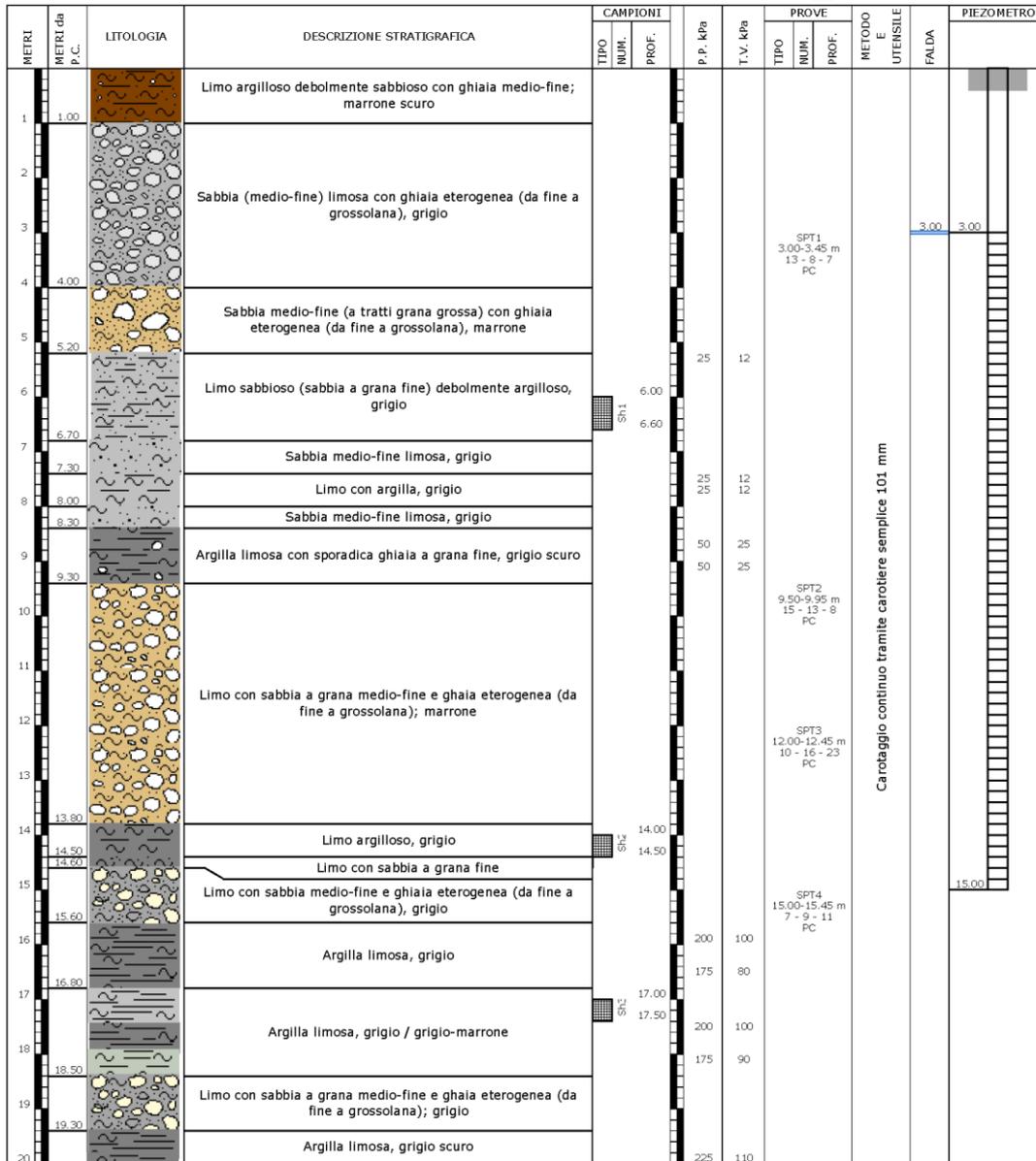
PROFONDITA': 30,00 m

RIVESTIMENTO: 30,00 m

QUOTA: -

Indisturbato
 Rimaneggiato
 Ambientale

SPT
PA: punta aperta
PC: punta chiusa



Il Direttore Tecnico SOA:
ing. Massimo De Iasi

SF201091-BH-PE-64 - pag 1 di 5

Il Responsabile Prove in Sito:
dott. Massimo Romagnoli

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI6100001A

Foglio

59 di 84

Azienda con Sistemi di Gestione certificati da Certiquality - Qualità Ambiente Sicurezza - UNI EN ISO 9001:2008 - UNI EN ISO 14001:2004 - BS OHSAS 18001:2007

FERRARA DEPARTMENT

Via Annibale Zucchini, 69 - 44122 Ferrara (FE)
Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119

SOCOTEC ITALIA Srl - P. Iva 01872430648
Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099
www.socotec.it



COMMITTENTE: CONSORZIO IRICAV DUE - Via Francesco Tovaglieri 413-00155 Roma (RM)

CANTIERE: Montebello Vicentino

PERFORAZIONE: BH-PE-64

ESECUZIONE: 27/11 - 1/12 / 2020

COMMESSA: 22036AV-20

RDP SITO N°: SF201091

OPERATORE: EL HACHMI

RESPONSABILE: FERRABOSCHI

PROFONDITA': 30,00 m

RIVESTIMENTO: 30,00 m

QUOTA: -

Indisturbato
 Rimaneggiato
 Ambientale

SPT
PA: punta aperta
PC: punta chiusa

METRI	METRI da P.C.	LITOLOGIA	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	CAMPIONI			P.F. kPa	T.V. kPa	PROVE			FALDA	
				TIPO	NUM.	PROF.			TIPO	NUM.	PROF.		METODO E UTENSIL
20.80	20.80		Argilla limosa ghiaiosa (grana medio-fine), marrone										
21									SPT5				
22									21.00-21.45 m				
23									16 - 25 - 37				
24									FC				
25			Limo sabbioso con ghiaia eterogenea (da fine a grossolana), marrone						SPT6				
26									24.00-24.50 m				
27									12 - 23 - 35				
28									FC				
29									SPT7				
30									27.00-27.45 m				
31									18 - 29 - 42				
32									FC				
33													
34													
35													
36													
37													
38													
39													
40													
			FINE SONDAGGIO										

Il Direttore Tecnico SOA:
ing. Massimo De Iasi

SF201091-BH-PE-64 - pag 2 di 5

Il Responsabile Prove in Sito:
dtt. Massimo Romagnoli

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 60 di 84</p>

ALLEGATO 3– TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: R161_01_stat
 Slide Modeler Version: 7.038
 Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
 Date Created: 01/09/2021, 15:16:31

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 piezoes: Yes
 Initial trial value of FS: 1
 Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 62 di 84</p>



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: Not Defined
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

6 Distributed Loads present

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 63 di 84</p>



Distributed Load 1	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	14.4
Orientation:	Normal to boundary
Load Action:	Permanent
Distributed Load 2	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	14.4
Orientation:	Normal to boundary
Load Action:	Permanent
Distributed Load 3	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	61.4
Orientation:	Normal to boundary
Load Action:	Variable
Distributed Load 4	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	61.4
Orientation:	Normal to boundary
Load Action:	Variable
Distributed Load 5	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	61.4
Orientation:	Normal to boundary
Load Action:	Variable
Distributed Load 6	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	61.4
Orientation:	Normal to boundary
Load Action:	Variable

Material Properties

Property	Rilevato	Ghiaia	Sabbia	U3b_2	U3b_4
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained	Undrained
Unit Weight [kN/m3]	20	19	19	18.5	18.5
Cohesion [kPa]	0	0	0		
Friction Angle [deg]	38	39	38		
Cohesion Type				70	80
Water Surface	Water Table				
Hu Value	1	1	1	0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.260040
Center:	36.483, 20.307
Radius:	20.416
Left Slip Surface Endpoint:	19.164, 9.496
Right Slip Surface Endpoint:	38.588, 0.000
Resisting Moment:	6455.95 kN-m
Driving Moment:	5123.61 kN-m
Total Slice Area:	27.6899 m2
Surface Horizontal Width:	19.4238 m
Surface Average Height:	1.42556 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified



Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32 +130,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI6100001A

64 di 84



Number of Valid Surfaces: 1314
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.26004

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	0.390093	1.49985	-57.0215	Rilevato	0	32.0066	1.08191	1.36325	2.1811	0	2.1811	3.84847	3.84847
2	0.390093	4.00035	-55.06	Rilevato	0	32.0066	2.97742	3.75167	6.00241	0	6.00241	10.2641	10.2641
3	0.390093	6.18132	-53.1906	Rilevato	0	32.0066	4.73101	5.96126	9.53758	0	9.53758	15.8595	15.8595
4	0.390093	8.09039	-51.3995	Rilevato	0	32.0066	6.35034	8.00168	12.8021	0	12.8021	20.7569	20.7569
5	0.390093	9.75887	-49.6762	Rilevato	0	32.0066	7.83836	9.87665	15.8019	0	15.8019	25.0368	25.0368
6	0.390093	11.2119	-48.012	Rilevato	0	32.0066	9.19836	11.5903	18.5437	0	18.5437	28.7638	28.7638
7	0.390093	12.4701	-46.3999	Rilevato	0	32.0066	10.4338	13.147	21.0342	0	21.0342	31.9908	31.9908
8	0.390093	13.5504	-44.8342	Rilevato	0	32.0066	11.5478	14.5507	23.28	0	23.28	34.7612	34.7612
9	0.390093	14.4673	-43.31	Rilevato	0	32.0066	12.5436	15.8055	25.2877	0	25.2877	37.1124	37.1124
10	0.390093	15.2329	-41.8232	Rilevato	0	32.0066	13.4243	16.9152	27.0631	0	27.0631	39.0756	39.0756
11	0.390093	15.8578	-40.3701	Rilevato	0	32.0066	14.1924	17.883	28.6114	0	28.6114	40.6773	40.6773
12	0.390093	16.3509	-38.9478	Rilevato	0	32.0066	14.8505	18.7122	29.938	0	29.938	41.9413	41.9413
13	0.390093	16.7202	-37.5535	Rilevato	0	32.0066	15.4008	19.4056	31.0476	0	31.0476	42.8879	42.8879
14	0.390093	16.9727	-36.1848	Rilevato	0	32.0066	15.8454	19.9658	31.9439	0	31.9439	43.5345	43.5345
15	0.390093	17.1144	-34.8396	Rilevato	0	32.0066	16.1862	20.3952	32.6309	0	32.6309	43.8972	43.8972
16	0.390093	17.1509	-33.5161	Rilevato	0	32.0066	16.4247	20.6958	33.1117	0	33.1117	43.9897	43.9897
17	0.390093	17.0869	-32.2126	Rilevato	0	32.0066	16.5626	20.8695	33.3897	0	33.3897	43.8248	43.8248
18	0.390093	16.9268	-30.9274	Rilevato	0	32.0066	16.6009	20.9178	33.467	0	33.467	43.4132	43.4132
19	0.390093	16.6745	-29.6594	Rilevato	0	32.0066	16.5409	20.8422	33.346	0	33.346	42.7653	42.7653
20	0.390093	16.3335	-28.4071	Rilevato	0	32.0066	16.3835	20.6439	33.0288	0	33.0288	41.89	41.89
21	0.390093	15.907	-27.1695	Rilevato	0	32.0066	16.1296	20.3239	32.5168	0	32.5168	40.7955	40.7955
22	0.390093	15.3979	-25.9455	Rilevato	0	32.0066	15.7797	19.883	31.8113	0	31.8113	39.489	39.489
23	0.390093	15.1183	-24.734	Rilevato	0	32.0066	15.6547	19.7256	31.5596	0	31.5596	38.7713	38.7713
24	0.390093	16.2651	-23.5343	Rilevato	0	32.0066	17.0147	21.4392	34.3012	0	34.3012	41.7115	41.7115
25	0.390093	17.5362	-22.3454	Rilevato	0	32.0066	18.5291	23.3474	37.3541	0	37.3541	44.9706	44.9706
26	0.390093	18.7339	-21.1665	Rilevato	0	32.0066	19.9906	25.189	40.3005	0	40.3005	48.041	48.041
27	0.390093	19.8597	-19.997	Rilevato	0	32.0066	21.399	26.9636	43.1398	0	43.1398	50.9271	50.9271
28	0.390093	20.8801	-18.8361	Rilevato	0	32.0066	22.7155	28.6224	45.7939	0	45.7939	53.5429	53.5429
29	0.390093	20.3905	-17.6832	Rilevato	0	32.0066	22.3944	28.2179	45.1464	0	45.1464	52.2862	52.2862
30	0.390093	19.0807	-16.5377	Rilevato	0	32.0066	21.1539	26.6547	42.6455	0	42.6455	48.9267	48.9267
31	0.390093	17.7049	-15.3989	Rilevato	0	32.0066	19.8125	24.9645	39.9413	0	39.9413	45.3982	45.3982
32	0.390093	16.2642	-14.2663	Rilevato	0	32.0066	18.3695	23.1463	37.0325	0	37.0325	41.7033	41.7033
33	0.390093	14.7596	-13.1394	Rilevato	0	32.0066	16.8242	21.1992	33.9173	0	33.9173	37.8446	37.8446
34	0.390093	13.192	-12.0176	Rilevato	0	32.0066	15.1758	19.1221	30.5939	0	30.5939	33.8245	33.8245
35	0.390093	11.5622	-10.9005	Rilevato	0	32.0066	13.4229	16.9134	27.0603	0	27.0603	29.6453	29.6453
36	0.390093	9.87098	-9.78753	Rilevato	0	32.0066	11.5644	14.5716	23.3136	0	23.3136	25.3085	25.3085
37	0.390093	8.11899	-8.67832	Rilevato	0	32.0066	9.59882	12.0949	19.351	0	19.351	20.8161	20.8161
38	0.390093	6.30678	-7.57237	Rilevato	0	32.0066	7.52454	9.48122	15.1693	0	15.1693	16.1696	16.1696
39	0.390093	4.43487	-6.46926	Rilevato	0	32.0066	5.33965	6.72817	10.7646	0	10.7646	11.3701	11.3701
40	0.375195	2.44457	-5.38953	Rilevato	0	32.0066	3.00545	3.78699	6.23254	0.173623	6.05891	6.51608	6.34246
41	0.375195	0.761839	-4.3327	Rilevato	0	32.0066	0.738123	0.930064	1.97471	0.486678	1.48804	2.03064	1.54396
42	0.375195	0.559536	-3.27735	Rilevato	0	32.0066	0.366515	0.461824	1.47038	0.731493	0.738884	1.49137	0.759872
43	0.375195	0.694794	-2.22312	Rilevato	0	32.0066	0.45919	0.578598	1.83403	0.908318	0.925714	1.85186	0.94354
44	0.375195	0.778182	-1.16963	Rilevato	0	32.0066	0.51894	0.653885	2.0635	1.01733	1.04617	2.0741	1.05677
45	0.389037	0.806042	0.0971202	Ghiaia	0	32.9362	0.520749	0.658165	2.07101	1.05814	1.01287	2.07189	1.01375
46	0.389037	0.774766	0.994789	Ghiaia	0	32.9362	0.499692	0.629632	2.00015	1.02824	0.971914	1.99148	0.963238
47	0.389037	0.697402	2.08706	Ghiaia	0	32.9362	0.454282	0.572413	1.80916	0.925567	0.88359	1.7926	0.867035
48	0.389037	0.565119	3.19009	Ghiaia	0	32.9362	0.37183	0.468521	1.47323	0.750006	0.72322	1.45257	0.702561
49	0.389037	0.377772	4.27428	Ghiaia	0	32.9362	0.251106	0.316403	0.989773	0.501366	0.488407	0.971005	0.469639
50	0.389037	0.135156	5.37003	Ghiaia	0	32.9362	0.0907709	0.114375	0.355924	0.179374	0.17655	0.347392	0.168018

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.26004

--



Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32 +130,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI6100001A

65 di 84



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	19.1639	9.49648	0	0	0
2	19.554	8.8953	0.890118	0	0
3	19.944	8.33694	3.08264	0	0
4	20.3341	7.81567	6.21276	0	0
5	20.7242	7.32702	9.9967	0	0
6	21.1143	6.86743	14.2081	0	0
7	21.5044	6.434	18.665	0	0
8	21.8945	6.02437	23.22	0	0
9	22.2846	5.63652	27.7541	0	0
10	22.6747	5.26879	32.1707	0	0
11	23.0648	4.91972	36.3921	0	0
12	23.4549	4.58808	40.3566	0	0
13	23.845	4.27277	44.0157	0	0
14	24.2351	3.97287	47.3324	0	0
15	24.6252	3.68752	50.2797	0	0
16	25.0153	3.416	52.8393	0	0
17	25.4053	3.15764	55.0006	0	0
18	25.7954	2.91187	56.76	0	0
19	26.1855	2.67815	58.12	0	0
20	26.5756	2.45601	59.089	0	0
21	26.9657	2.24503	59.6803	0	0
22	27.3558	2.04481	59.9124	0	0
23	27.7459	1.85501	59.808	0	0
24	28.136	1.6753	59.3858	0	0
25	28.5261	1.50541	58.5905	0	0
26	28.9162	1.34506	57.3679	0	0
27	29.3063	1.19401	55.6738	0	0
28	29.6964	1.05205	53.4684	0	0
29	30.0865	0.91898	50.7204	0	0
30	30.4766	0.794612	47.6182	0	0
31	30.8667	0.678782	44.3238	0	0
32	31.2567	0.571341	40.9032	0	0
33	31.6468	0.472152	37.4262	0	0
34	32.0369	0.381092	33.9659	0	0
35	32.427	0.29805	30.5993	0	0
36	32.8171	0.222926	27.4074	0	0
37	33.2072	0.155633	24.4748	0	0
38	33.5973	0.0960915	21.8907	0	0
39	33.9874	0.0442335	19.7484	0	0
40	34.3775	-8.34888e-013	18.1461	0	0
41	34.7527	-0.0353972	17.2416	0	0
42	35.1279	-0.0638236	17.0214	0	0
43	35.5031	-0.0853084	16.9157	0	0
44	35.8783	-0.0998736	16.7705	0	0
45	36.2535	-0.107534	16.5921	0	0
46	36.6425	-0.108193	16.3913	0	0
47	37.0315	-0.101438	16.1838	0	0
48	37.4206	-0.0872607	15.9818	0	0
49	37.8096	-0.0656457	15.8056	0	0
50	38.1986	0.0365695	15.6793	0	0
51	38.5877	1.80552e-013	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-32.402	-1.9558e-012
69.9824	-2.274e-013

Distributed Load





SLIDEINTERPRET 7.026

X	Y
4.33788	9.49648
3.61849	9.49648
0.818495	9.49648
-0.748009	9.48648
-3.54801	9.49648
-4.22484	9.49648

Distributed Load

X	Y
16.9034	9.49648
15.8491	9.49648
13.0491	9.49648
11.3491	9.49648
8.54909	9.49648
7.48286	9.49648

Distributed Load

X	Y
-0.748009	9.48648
-3.54801	9.49648

Distributed Load

X	Y
3.61849	9.49648
0.818495	9.49648

Distributed Load

X	Y
11.3491	9.49648
8.54909	9.49648

Distributed Load

X	Y
15.8491	9.49648
13.0491	9.49648

External Boundary



GENERAL CONTRACTOR



Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00
Relazione Geotecnica

ALTA SORVEGLIANZA



Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI6100001A	67 di 84



X	Y
69.9824	-30
69.9824	-24.2564
69.9824	-14
69.9624	-9
69.9824	-5
69.9824	-2.274e-013
36.4162	2.08769e-013
34.9824	1.412e-013
30.0169	3.66565
27.9197	3.67744
19.198	9.49648
16.9034	9.49648
15.8491	9.49648
13.0491	9.49648
11.3491	9.49648
8.54909	9.49648
7.48286	9.49648
4.33788	9.49648
3.61849	9.49648
0.818495	9.49648
-0.748009	9.48648
-3.54801	9.49648
-4.22484	9.49648
-7.025	9.49648
-22.0143	-5.68e-014
-32.402	-1.9558e-012
-32.402	-5
-32.402	-9
-32.402	-14
-32.402	-24.2564
-32.402	-30

Material Boundary

X	Y
-32.402	-5
69.9824	-5

Material Boundary

X	Y
-32.402	-9
69.9824	-9

Material Boundary

X	Y
-32.402	-14
69.9824	-14

Material Boundary

X	Y
-32.402	-24.2564
69.9824	-24.2564

Material Boundary

X	Y
-22.0143	-5.68e-014
23.227	1e-013
24.087	-0.5
35.6597	-0.5
36.4162	2.08769e-013

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 68 di 84</p>

ALLEGATO 4 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICA

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 69 di 84</p>



Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RI61_01_sism
Slide Modeler Version: 7.029
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 01/09/2021, 15:16:31

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

GENERAL CONTRACTOR



Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00
Relazione Geotecnica

ALTA SORVEGLIANZA



Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI6100001A	70 di 84



Groundwater Analysis

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]: 5
 Minimum Area: Not Defined
 Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
 Staged pseudostatic analysis: No

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.083
 Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.041

6 Distributed Loads present

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 71 di 84



Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 12.3
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Live

Distributed Load 4

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 12.3
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Live

Distributed Load 5

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 12.3
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Live

Distributed Load 6

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 12.3
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Live

Material Properties

Property	Rilevato	Ghiaia	Sabbia	U3b_2	U3b_4
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained	Undrained
Unit Weight [kN/m ³]	20	19	19	18.5	18.5
Cohesion [kPa]	0	0	0		
Friction Angle [deg]	38	39	38		
Cohesion Type				70	80
Water Surface	Water Table				
Hu Value	1	1	1	0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.182410
Center:	34.847, 23.826
Radius:	24.783
Left Slip Surface Endpoint:	14.627, 9.496
Right Slip Surface Endpoint:	41.666, 0.000
Resisting Moment:	21143.9 kN-m
Driving Moment:	17882 kN-m
Total Slice Area:	78.1438 m ²
Surface Horizontal Width:	27.0395 m
Surface Average Height:	2.88999 m



Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32 +130,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI6100001A

72 di 84



Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1225
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.18241

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	0.523794	3.72871	-53.6541	Rilevato	0	32.0066	10.3173	12.1993	19.5179	0	19.5179	33.5397	33.5397
2	0.523794	10.926	-51.6564	Rilevato	0	32.0066	14.8039	17.5043	28.0056	0	28.0056	46.7213	46.7213
3	0.523794	17.6347	-49.7433	Rilevato	0	32.0066	16.5341	19.5501	31.2786	0	31.2786	50.8049	50.8049
4	0.523794	23.9115	-47.903	Rilevato	0	32.0066	19.4085	22.9488	36.7165	0	36.7165	58.1986	58.1986
5	0.523794	29.8019	-46.1261	Rilevato	0	32.0066	20.3177	24.0238	38.4363	0	38.4363	59.5688	59.5688
6	0.523794	35.3427	-44.4049	Rilevato	0	32.0066	22.5439	26.6561	42.6478	0	42.6478	64.7282	64.7282
7	0.523794	40.5645	-42.733	Rilevato	0	32.0066	26.3853	31.1983	49.915	0	49.915	74.2908	74.2908
8	0.523794	45.493	-41.105	Rilevato	0	32.0066	30.1402	35.6381	57.0183	0	57.0183	83.316	83.316
9	0.523794	50.0133	-39.5165	Rilevato	0	32.0066	33.7163	39.8665	63.7836	0	63.7836	91.5935	91.5935
10	0.523794	51.7233	-37.9636	Rilevato	0	32.0066	35.4502	41.9167	67.0636	0	67.0636	94.7242	94.7242
11	0.523794	52.2289	-36.4429	Rilevato	0	32.0066	36.3658	42.9993	68.7958	0	68.7958	95.649	95.649
12	0.523794	52.5114	-34.9514	Rilevato	0	32.0066	37.1193	43.8902	70.2211	0	70.2211	96.1655	96.1655
13	0.523794	52.5831	-33.4867	Rilevato	0	32.0066	37.7139	44.5933	71.3461	0	71.3461	96.2958	96.2958
14	0.523794	52.4546	-32.0463	Rilevato	0	32.0066	38.1528	45.1122	72.1761	0	72.1761	96.0595	96.0595
15	0.523794	52.1354	-30.6283	Rilevato	0	32.0066	38.4382	45.4497	72.7162	0	72.7162	95.4741	95.4741
16	0.523794	51.6341	-29.2307	Rilevato	0	32.0066	38.5726	45.6086	72.9706	0	72.9706	94.5552	94.5552
17	0.523794	50.958	-27.852	Rilevato	0	32.0066	38.5578	45.5911	72.9424	0	72.9424	93.3164	93.3164
18	0.523794	50.1141	-26.4906	Rilevato	0	32.0066	38.3951	45.3988	72.6348	0	72.6348	91.7701	91.7701
19	0.523794	49.1083	-25.1452	Rilevato	0	32.0066	38.0859	45.0332	72.0498	0	72.0498	89.9273	89.9273
20	0.523794	47.946	-23.8145	Rilevato	0	32.0066	37.6312	44.4955	71.1896	0	71.1896	87.7983	87.7983
21	0.523794	46.6321	-22.4972	Rilevato	0	32.0066	37.0313	43.7862	70.0548	0	70.0548	85.3915	85.3915
22	0.523794	45.1711	-21.1924	Rilevato	0	32.0066	36.2868	42.9059	68.6463	0	68.6463	82.7155	82.7155
23	0.523794	43.567	-19.8991	Rilevato	0	32.0066	35.3977	41.8546	66.9643	0	66.9643	79.7774	79.7774
24	0.523794	41.8233	-18.6162	Rilevato	0	32.0066	34.3637	40.632	65.0082	0	65.0082	76.5837	76.5837
25	0.523794	39.9432	-17.3429	Rilevato	0	32.0066	33.1845	39.2377	62.7773	0	62.7773	73.1404	73.1404
26	0.523794	38.6322	-16.0784	Rilevato	0	32.0066	32.4492	38.3683	61.3864	0	61.3864	70.7392	70.7392
27	0.523794	39.859	-14.8219	Rilevato	0	32.0066	33.8459	40.0197	64.0287	0	64.0287	72.985	72.985
28	0.670709	52.9949	-13.3985	Rilevato	0	32.0066	35.2106	41.6334	67.394	0.783658	66.6104	75.7814	74.9978
29	0.670709	54.8919	-11.8094	Rilevato	0	32.0066	36.2891	42.9086	70.9058	2.25516	68.6506	78.4932	76.238
30	0.540677	42.6472	-10.3818	Ghiaia	0	32.9362	35.9593	42.5186	69.0614	3.42887	65.6326	75.6494	72.2205
31	0.540677	39.2853	-9.11341	Ghiaia	0	32.9362	32.9094	38.9124	64.4061	4.34016	60.066	69.6853	65.3451
32	0.540677	35.7975	-7.84947	Ghiaia	0	32.9362	29.7326	35.1561	59.399	5.13119	54.2678	63.498	58.3668
33	0.540677	32.185	-6.58936	Ghiaia	0	32.9362	26.4266	31.2471	54.0367	5.80316	48.2336	57.0894	51.2863
34	0.540677	28.4489	-5.33245	Ghiaia	0	32.9362	22.9888	27.1822	48.3162	6.35704	41.9592	50.4619	44.1049
35	0.540677	24.59	-4.07811	Ghiaia	0	32.9362	19.4164	22.9581	42.2323	6.79366	35.4387	43.6166	36.823
36	0.540677	20.6089	-2.82572	Ghiaia	0	32.9362	15.7057	18.5706	35.7795	7.11364	28.6659	36.5547	29.4411
37	0.540677	16.5062	-1.57469	Ghiaia	0	32.9362	11.853	14.0151	28.9515	7.31744	21.634	29.2773	21.9599
38	0.540677	12.2821	0.324402	Ghiaia	0	32.9362	7.85393	9.28657	21.7404	7.40536	14.335	21.7848	14.3795
39	0.540677	10.0508	0.925728	Ghiaia	0	32.9362	5.77625	6.8299	17.9203	7.37753	10.5428	17.827	10.4494
40	0.540677	9.90012	2.1763	Ghiaia	0	32.9362	5.77765	6.83155	17.7792	7.23389	10.5453	17.5597	10.3258
41	0.540677	9.62823	3.42791	Ghiaia	0	32.9362	5.72315	6.76711	17.4201	6.97426	10.4459	17.0773	10.103
42	0.540677	9.23447	4.68116	Ghiaia	0	32.9362	5.61033	6.63371	16.8382	6.59824	10.2399	16.3788	9.78055
43	0.540677	8.67433	5.93666	Ghiaia	0	32.9362	5.39148	6.37494	15.9458	6.10531	9.8405	15.3852	9.27986
44	0.540677	7.85929	7.19503	Ghiaia	0	32.9362	4.97055	5.87723	14.567	5.49474	9.07222	13.9395	8.44473
45	0.540677	7.04507	8.4569	Ghiaia	0	32.9362	4.61052	5.45152	13.1807	4.76564	8.41508	12.4952	7.72958
46	0.540677	6.1563	9.72292	Ghiaia	0	32.9362	4.23368	5.00594	11.6442	3.91692	7.72728	10.9188	7.00186
47	0.540677	5.14094	10.9938	Ghiaia	0	32.9362	3.78344	4.47358	9.85283	2.94731	6.90552	9.11783	6.17052
48	0.540677	3.99744	12.2701	Ghiaia	0	32.9362	3.25575	3.84963	7.79771	1.85533	5.94238	7.08962	5.23429
49	0.540677	2.72401	13.5526	Ghiaia	0	32.9362	2.64604	3.12871	5.46883	0.639271	4.82956	4.831	4.19172
50	0.742057	1.40991	15.084	Ghiaia	0	32.9362	1.17107	1.38469	2.13744	0	2.13744	1.82181	1.82181

Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32 +130,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI6100001A

73 di 84

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.18241

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	14.6269	9.49648	0	0	0
2	15.1507	8.78462	8.80443	0	0
3	15.6745	8.12242	20.5095	0	0
4	16.1983	7.50383	32.6692	0	0
5	16.7221	6.92408	45.7837	0	0
6	17.2459	6.37928	58.5649	0	0
7	17.7697	5.86625	71.5803	0	0
8	18.2935	5.38235	85.2933	0	0
9	18.8173	4.92533	99.3547	0	0
10	19.341	4.4933	113.418	0	0
11	19.8648	4.0846	126.569	0	0
12	20.3886	3.69782	138.482	0	0
13	20.9124	3.33172	149.123	0	0
14	21.4362	2.9852	158.474	0	0
15	21.96	2.65731	166.528	0	0
16	22.4838	2.34719	173.291	0	0
17	23.0076	2.05408	178.779	0	0
18	23.5314	1.77731	183.019	0	0
19	24.0552	1.51626	186.047	0	0
20	24.579	1.27039	187.907	0	0
21	25.1028	1.03921	188.651	0	0
22	25.6266	0.822281	188.34	0	0
23	26.1504	0.619194	187.041	0	0
24	26.6742	0.429593	184.829	0	0
25	27.198	0.253152	181.788	0	0
26	27.7218	0.0895782	178.006	0	0
27	28.2455	-0.0613933	173.499	0	0
28	28.7693	-0.2	167.97	0	0
29	29.44	-0.359767	159.542	0	0
30	30.1108	-0.5	149.724	0	0
31	30.6514	-0.599056	140.68	0	0
32	31.1921	-0.685788	131.75	0	0
33	31.7328	-0.760327	123.088	0	0
34	32.2735	-0.822784	114.859	0	0
35	32.8141	-0.87325	107.24	0	0
36	33.3548	-0.911798	100.421	0	0
37	33.8955	-0.938485	94.6024	0	0
38	34.4362	-0.953348	90	0	0
39	34.9769	-0.95641	86.8434	0	0
40	35.5175	-0.947673	84.4008	0	0
41	36.0582	-0.927126	81.7363	0	0
42	36.5989	-0.89474	78.8797	0	0
43	37.1396	-0.850467	75.8701	0	0
44	37.6802	-0.794244	72.7812	0	0
45	38.2209	-0.725988	69.7542	0	0
46	38.7616	-0.645599	66.7889	0	0
47	39.3023	-0.552957	63.9341	0	0
48	39.8429	-0.447921	61.2822	0	0
49	40.3836	-0.330331	58.9383	0	0
50	40.9243	-0.2	57.0223	0	0
51	41.6664	9.96813e-014	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-33	-0.2
71	-0.2

GENERAL CONTRACTOR



Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00
Relazione Geotecnica

ALTA SORVEGLIANZA



Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI6100001A	74 di 84



Distributed Load

X	Y
4.33788	9.49648
3.61849	9.49648
0.818495	9.49648
-0.748009	9.48648
-3.54801	9.49648
-4.22484	9.49648

Distributed Load

X	Y
16.9034	9.49648
15.8491	9.49648
13.0491	9.49648
11.3491	9.49648
8.54909	9.49648
7.48286	9.49648

Distributed Load

X	Y
-0.748009	9.48648
-3.54801	9.49648

Distributed Load

X	Y
3.61849	9.49648
0.818495	9.49648

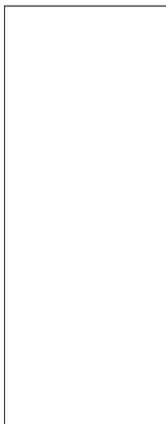
Distributed Load

X	Y
11.3491	9.49648
8.54909	9.49648

Distributed Load

X	Y
15.8491	9.49648
13.0491	9.49648

External Boundary





Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI6100001A

Foglio
75 di 84



X	Y
69.9824	-30
69.9824	-24.2564
69.9824	-14
69.9824	-9
69.9824	-5
69.9824	-2.274e-013
38.072	1.412e-013
34.9824	1.412e-013
30.0169	3.66565
27.9197	3.67744
19.198	9.49648
16.9034	9.49648
15.8491	9.49648
13.0491	9.49648
11.3491	9.49648
8.54909	9.49648
7.48286	9.49648
4.33788	9.49648
3.61849	9.49648
0.818495	9.49648
-0.748009	9.48648
-3.54801	9.49648
-4.22484	9.49648
-7.025	9.49648
-22.0143	-5.68e-014
-32.402	-1.9558e-012
-32.402	-5
-32.402	-9
-32.402	-14
-32.402	-24.2564
-32.402	-30

Material Boundary

X	Y
-32.402	-5
69.9824	-5

Material Boundary

X	Y
-32.402	-9
69.9824	-9

Material Boundary

X	Y
-32.402	-14
69.9824	-14

Material Boundary

X	Y
-32.402	-24.2564
69.9824	-24.2564

Material Boundary

X	Y
-22.0143	-5.68e-014
23.227	1e-013
24.087	-0.5
37.3155	-0.5
38.072	1.412e-013

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 76 di 84</p>

ALLEGATO 5– TABULATI DI SETTLE 3D

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 77 di 84</p>

Settle3D Analysis Information

RI61

Project Settings

Document Name: RI61_cons_def.s3z
Project Title: RI61
Date Created: 08/03/2021, 11:30:59
Stress Computation Method: Boussinesq
Time-dependent Consolidation Analysis
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Use settlement cutoff, load/in situ vertical stress ratio: 0.1
Groundwater method: Water Table
Water Unit Weight: 9.81 kN/m³
Depth to water table: 0 [m]

Stage Settings

Stage #	Name	Time [days]
1	LS	0
2	LS_cons	10000
3	Affiancamento	10000
4	Affiancamento_cons	10120
5	Finitura	10210
6	Impianti	10270
7	Ballast	10330
8	LongTerm	13000

Results

Time taken to compute: 10.0302 seconds

Stage: LS = 0 d

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	0	3.68761
Consolidation Settlement [cm]	0	0
Immediate Settlement [cm]	0	3.68761
Secondary Settlement [cm]	0	0
Loading Stress [kPa]	0	206.178
Effective Stress [kPa]	-0	316.15
Total Stress [kPa]	0	753.354
Total Strain	-0	0.00343148
Pore Water Pressure [kPa]	0	437.204
Excess Pore Water Pressure [kPa]	0	206.178
Degree of Consolidation [%]	0	0

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 78 di 84</p>

Pre-consolidation Stress [kPa]	0.4595	350
Over-consolidation Ratio	1	6.42013
Void Ratio	0	1
Permeability [m/s]	0	0.000864
Coefficient of Consolidation [m ² /s]	0	2.51349
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	0

Stage: LS_cons = 10000 d

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	0	10.1873
Consolidation Settlement [cm]	0	6.4997
Immediate Settlement [cm]	0	3.68761
Secondary Settlement [cm]	0	0
Loading Stress [kPa]	0	206.178
Effective Stress [kPa]	-0	410.004
Total Stress [kPa]	0	753.354
Total Strain	-0	0.0104966
Pore Water Pressure [kPa]	0	343.35
Excess Pore Water Pressure [kPa]	-1.15249e-018	1.62812e-018
Degree of Consolidation [%]	0	100
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.463423	409.904
Over-consolidation Ratio	1	6.41372
Void Ratio	0	1
Permeability [m/s]	0	0.000864
Coefficient of Consolidation [m ² /s]	0	2.51349
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	100

Stage: Affiancamento = 10000 d

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	0	10.4418
Consolidation Settlement [cm]	0	6.4997
Immediate Settlement [cm]	0	3.9666
Secondary Settlement [cm]	0	0
Loading Stress [kPa]	0.00606748	205.803
Effective Stress [kPa]	-0	410.004
Total Stress [kPa]	0.00606748	775.365
Total Strain	-0	0.0104966
Pore Water Pressure [kPa]	-9.14269	378.342
Excess Pore Water Pressure [kPa]	-9.14269	149.13
Degree of Consolidation [%]	0	98.442
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.463423	409.904
Over-consolidation Ratio	1	6.41372
Void Ratio	0	1
Permeability [m/s]	0	0.000864
Coefficient of Consolidation [m ² /s]	0	2.51349
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	99.2742

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 79 di 84</p>

Stage: Affiancamento_cons = 10120 d

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	0	10.8178
Consolidation Settlement [cm]	0	6.85208
Immediate Settlement [cm]	0	3.9666
Secondary Settlement [cm]	0	0
Loading Stress [kPa]	0.00606748	205.803
Effective Stress [kPa]	0.00606748	432.015
Total Stress [kPa]	0.00606748	775.365
Total Strain	-0	0.0106073
Pore Water Pressure [kPa]	0	343.35
Excess Pore Water Pressure [kPa]	-8.14057e-019	1.40311e-018
Degree of Consolidation [%]	0	100
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.466749	431.916
Over-consolidation Ratio	1	6.40735
Void Ratio	0	1
Permeability [m/s]	0	0.000864
Coefficient of Consolidation [m ² /s]	0	2.51349
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	100

Stage: Finitura = 10210 d

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	0	10.8178
Consolidation Settlement [cm]	0	6.85208
Immediate Settlement [cm]	0	3.9666
Secondary Settlement [cm]	0	0
Loading Stress [kPa]	0.00606748	205.803
Effective Stress [kPa]	0.00606748	432.015
Total Stress [kPa]	0.00606748	775.365
Total Strain	-0	0.0106073
Pore Water Pressure [kPa]	0	343.35
Excess Pore Water Pressure [kPa]	-6.42727e-019	1.10819e-018
Degree of Consolidation [%]	0	100
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.466749	431.916
Over-consolidation Ratio	1	6.40735
Void Ratio	0	1
Permeability [m/s]	0	0.000864
Coefficient of Consolidation [m ² /s]	0	2.51349
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	100

Stage: Impianti = 10270 d

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	0	10.8178
Consolidation Settlement [cm]	0	6.85208
Immediate Settlement [cm]	0	3.9666

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32 +130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 80 di 84</p>

Secondary Settlement [cm]	0	0
Loading Stress [kPa]	0.00606748	205.803
Effective Stress [kPa]	0.00606748	432.015
Total Stress [kPa]	0.00606748	775.365
Total Strain	-0	0.0106073
Pore Water Pressure [kPa]	0	343.35
Excess Pore Water Pressure [kPa]	-1.00832e-018	5.84756e-019
Degree of Consolidation [%]	0	100
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.466749	431.916
Over-consolidation Ratio	1	6.40735
Void Ratio	0	1
Permeability [m/s]	0	0.000864
Coefficient of Consolidation [m ² /s]	0	2.51349
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	100

Stage: Ballast = 10330 d

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	0	10.8768
Consolidation Settlement [cm]	0	6.85208
Immediate Settlement [cm]	0	4.02472
Secondary Settlement [cm]	0	0
Loading Stress [kPa]	0.00606748	206.781
Effective Stress [kPa]	0.00606748	432.015
Total Stress [kPa]	0.00606748	777.054
Total Strain	-0	0.0106073
Pore Water Pressure [kPa]	0	345.149
Excess Pore Water Pressure [kPa]	0	7.60139
Degree of Consolidation [%]	0	99.6836
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.466749	431.916
Over-consolidation Ratio	1	6.40735
Void Ratio	0	1
Permeability [m/s]	0	0.000864
Coefficient of Consolidation [m ² /s]	0	2.51349
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	99.7218

Stage: LongTerm = 13000 d

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	0	10.9431
Consolidation Settlement [cm]	0	6.91835
Immediate Settlement [cm]	0	4.02472
Secondary Settlement [cm]	0	0
Loading Stress [kPa]	0.00606748	206.781
Effective Stress [kPa]	0.00606748	433.704
Total Stress [kPa]	0.00606748	777.054
Total Strain	-0	0.0106797
Pore Water Pressure [kPa]	0	343.35
Excess Pore Water Pressure [kPa]	-7.00767e-020	4.18555e-020

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32 +130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 81 di 84

Degree of Consolidation [%]	0	100
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.46848	433.606
Over-consolidation Ratio	1	6.40578
Void Ratio	0	1
Permeability [m/s]	0	0.000864
Coefficient of Consolidation [m ² /s]	0	2.51349
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	100

Loads

1. Rectangular Load

Length: 11 m
Width: 160 m
Rotation angle: 0 degrees
Load Type: Flexible
Area of Load: 1760 m²
Load: 14.4 kPa
Depth: -9.5 m
Installation Stage: LS = 0 d

Coordinates

X [m]	Y [m]
-5.5	-80
5.5	-80
5.5	80
-5.5	80

2. Rectangular Load

Length: 9 m
Width: 160 m
Rotation angle: 0 degrees
Load Type: Flexible
Area of Load: 1440 m²
Load: 14.4 kPa
Depth: -9.5 m
Installation Stage: Ballast = 10330 d

Coordinates

X [m]	Y [m]
9.46567	-80
18.4657	-80
18.4657	80
9.46567	80

Embankments

1. Embankment: "Rilevato"

Label: Rilevato
Center Line: (0, -80) to (0, 80)
Number of Layers: 2

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32 +130,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI6100001A	Foglio 82 di 84

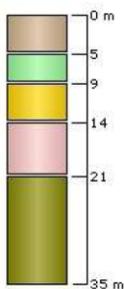
Near End Angle: 90 degrees
Far End Angle: 90 degrees
Base Width: 46.6

Layer	Stage	Left Bench Width (m)	Left Angle (deg)	Height (m)	Unit Weight (kN/m ³)	Right Angle (deg)	Right Bench Width (m)
1	LS = 0 d	0	34	4	20	34	0
2	LS = 0 d	0	34	5.5	20	34	0

Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]	Drained at Bottom
1	U6_1	5	0	No
2	U3_b1_cons	4	5	Yes
3	U4	5	9	No
4	U3_b2_cons	7	14	Yes
5	U6_2	14	21	Yes

Ground Surface Drained: Yes



Soil Properties

Property	U3_b1_cons	U3_b2_cons	U6_1	U6_2	U4
Color					
Unit Weight [kN/m ³]	18.5	18.5	19	19	19
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	18.5	18.5	19	19	19
Immediate Settlement	Disabled	Disabled	Enabled	Enabled	Enabled
Es [kPa]			60000	150000	80000
Esur [kPa]			60000	150000	80000
Primary Consolidation	Enabled	Enabled	Disabled	Disabled	Disabled
Material Type	Non-Linear	Non-Linear			
Cc	0.36	0.36			
Cr	0.03	0.03			
e0	1	1			
Pc [kPa]	300	350			
OCR			1		1

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 31 +840,00 a pk 32+130,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI6100001A

Foglio
83 di 84



Cv [m ² /s]			
K [m/s]	1e-008	1e-008	
Kr	1e-008	1e-008	
B-bar	1	1	

Query Points

Point #	(X,Y) Location	Number of Divisions
1	13.9657, 0	Auto: 59

Query Lines

Line #	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	-40, 0	80, 0	120	Auto: 59
2	-23.05, -15.4099	23.05, -15.4099	20	Auto: 59

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 31+840,00 a pk 32+130,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI6100001A</p>	<p>Foglio 84 di 84</p>

ALLEGATO 6- VERSIONI DEI SOFTWARE UTILIZZATI

- 1) SLIDE ver 7.0
- 2) PLAXIS 3D ver 2017