

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 26+065,14 a pk 26+531,24

GENERALE

Relazione Geotecnica

GENERAL CONTRACTOR				DIRETTORE LAVORI				SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE		Consorzio Iricav Due		Data:				
 Ing. Giovanni MALAVENDA Insieme all'ordine degli Ingegneri di Venezia n. 4289 Data: Maggio 2021		ing. Paolo Carmona Data: Maggio 2021						

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

I	N	1	7	1	2	E	I	2	R	B	R	I	4	1	0	0	0	0	1	A	-	-	-	P	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma Luca RANDOLFI	Data Maggio 2021

Progettazione:								
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	N. Valimberti 	Maggio 2021	V. Pastore 	Maggio 2021	P. Ascari 	Maggio 2021	P. Ascari Data: Maggio 2021

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2RBRI4100001A_02.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	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	Geometria del rilevato	8
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	9
4.1	Indagini disponibili	9
4.2	Inquadramento stratigrafico	10
4.3	Condizioni geotecniche del sito	12
4.4	Sintesi del modello geotecnico di riferimento	26
4.4.1	Materiale da rilevato	26
4.4.2	Falda	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	33
5.3	Risultati delle verifiche a liquefazione	36
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO	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	42
6.2.1	Azioni permanenti	42
6.2.2	Azioni variabili	42

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12



Codifica

EI2RBRI4100001A

Foglio

3 di 84

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	44
6.4	Verifica e risultati SLE	46
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	51
	Allegati	52
	ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO	53
	ALLEGATO 2 - SONDAGGI	56
	ALLEGATO 3 - SEZ. N° 20 - TABULATI DI SLIDE	61
	ALLEGATO 4 - SEZ. N° 20 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE	77

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 4 di 84

1 INTRODUZIONE



Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI41, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende tra il km 26+065,14 ed il km 26+531,24.

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

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

Il documento è così organizzato:

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 5 di 84

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni di Progetto Esecutivo
- [2] IN1710EI2RBGE0000003A Relazione Geotecnica (da 21+990 a 33+500)
- [3] IN1710EI2RHGE0000004A Relazione idrogeologica 2/2 (da 22+000 a 44+250)
- [4] IN1710EI2RHGE0000006A Relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base 2/2 (da 22+000 a 44+250)
- [5] IN1711EI2P5GE0000045A-55A Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico tav.1-11
- [6] IN1710EI2LZGE0000018A Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico
- [7] IN1711EI2RGGE0000008A Relazione di sintesi dei sondaggi e prove eseguite 2/2 (da 21+990 a 44+250)
- [8] IN1711EI2P5GE0000067A-77A Carta di ubicazione indagini di Progetto Esecutivo, tav. 1-11
- [9] IN1711EI2SGGE0000002A Programma indagini in sito di Progetto Esecutivo (da 21+990 a 44+250)
- [10] IN1711EI2PRGE0000002A Programma indagini di laboratorio di Progetto Esecutivo 1 di 2 (da 21+990 a 44+250)
- [11] IN1710EI2RHGE0000008A Relazione di sintesi dei sondaggi e prove eseguite 2/2 (da 21+990 a 44+250)
- [12] IN1710EI2PRGE0000002A Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – SOCOTEC (da 21+990 a 44+250)
- [13] IN1710EI2PRGE0000004A Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI (da 21+990 a 44+250)
- [14] IN1710EI2PRGE0000007A-8A, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – SOCOTEC (da 21+990 a 44+250)
- [15] IN1710EI2PRGE00000011A-12A, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING - GEOLAVORI (da 21+990 a 44+250)
- [16] IN1710EI2IGGE0000002A Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – SOCOTEC (da 21+990 a 44+250)
- [17] IN1710EI2IGGE0000004A Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI (da 21+990 a 44+250)

2.2 Normativa e standard di riferimento



- [18] 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
- [19] 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
- [20] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4100001A</p>	<p>Foglio 6 di 84</p>

- [21] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- [22] RFI DTC SI PS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle opere civili, Parte II – Sezione 2, Ponti e strutture
- [23] RFI DTC SI CS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle opere civili, Parte II – Sezione 3, Corpo stradale
- [24] 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
- [25] RFI DTC INC CS SP IFS 001 A Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- [26] 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
- [27] RFI TCAR ST AR 01 001 D Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h
- [28] 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



- [29] 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.
- [30] 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.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] 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.
- [34] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982), “Ground motions and soil liquefaction during earthquakes”, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA.
- [35] 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.
- [36] 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.,

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4100001A</p>	<p>Foglio 7 di 84</p>

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.

[37] Rocscience (2017), Slide ver 9.012, dic. 2020

[38] Rocscience (2009), Settle 3D ver 2.011

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 8 di 84

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame è quello relativo alla Linea AV che si estende dalla pk 26+065,14 alla pk 26+531,24, per una lunghezza totale di 466,10 m. Alla pk 26+531,24 è presente un sottovia in prossimità del cimitero lungo via Don E. Guiotto.

3.1 Geometria del rilevato

Il rilevato, lungo 466,10 m, presenta nel suo sviluppo una altezza variabile da 4,0 a circa 6,0 m rispetto al piano campagna.

La sezione del rilevato si raccorda al terreno naturale con una scarpata con pendenza 2/3 (V:H).

Di seguito si riporta la sezione alla pk 26+531,24 che risulta la più rappresentativa sia per altezza massima del rilevato sia per l'interazione con altre strutture viarie (sottovia).

La presente relazione pertanto riporta le analisi di stabilità e dei cedimenti della sezione appena descritta.

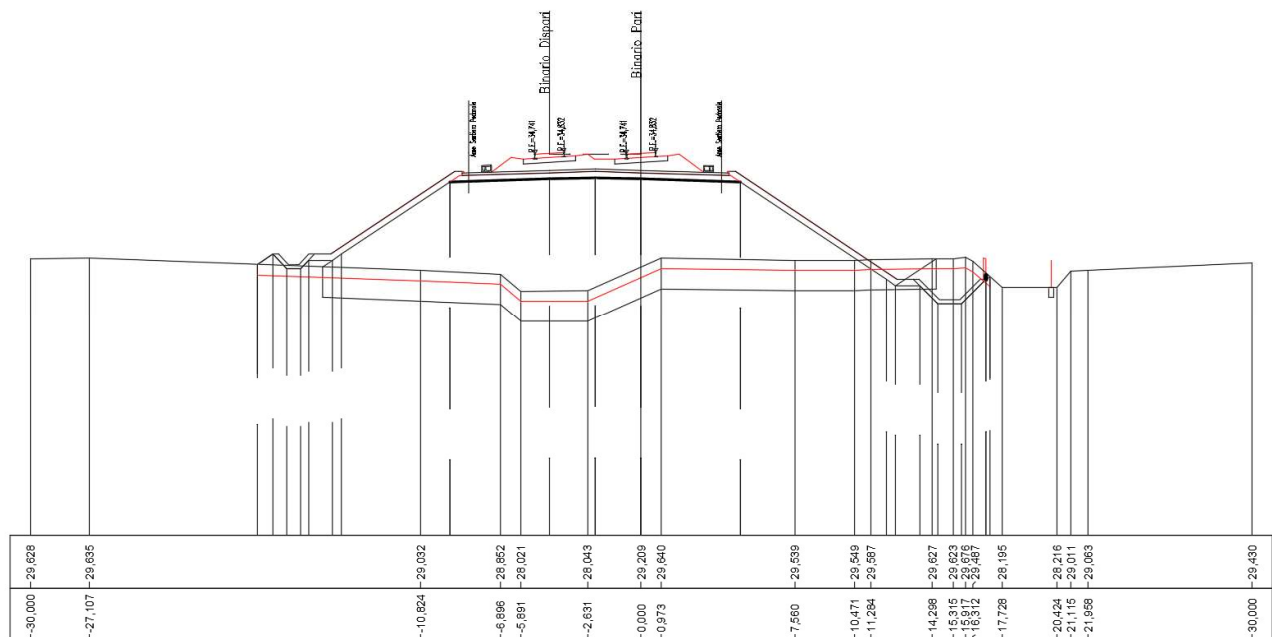




Figura 1 – Sezione di riferimento n.20 alla pk 26+531,24 estratta da sezioni PE (Doc Rif.[1]).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 9 di 84

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1 Indagini disponibili

L'ubicazione delle indagini disponibili relative all'opera esaminata è illustrata nella Figura 2, estratta dalla Planimetria geotecnica con ubicazione indagini e profilo geotecnico (Doc. Rif. [6]). Per ulteriori dettagli si rimanda alle relazioni di sintesi delle indagini (Doc. Rif. [7] - Doc. Rif [17]).

Il risultato delle indagini è riportato in ALLEGATO 2 - .

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

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

Tabella 1 - Indagini da pk 26+065,14 a pk 26+531,24

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
26+284	BH – DH – PE54	2020-2021
26+281	CPTU-PE33	2020-2021
26+300	MASW-PE12	2020-2021
26+389	CPTU-PE34	2020-2021

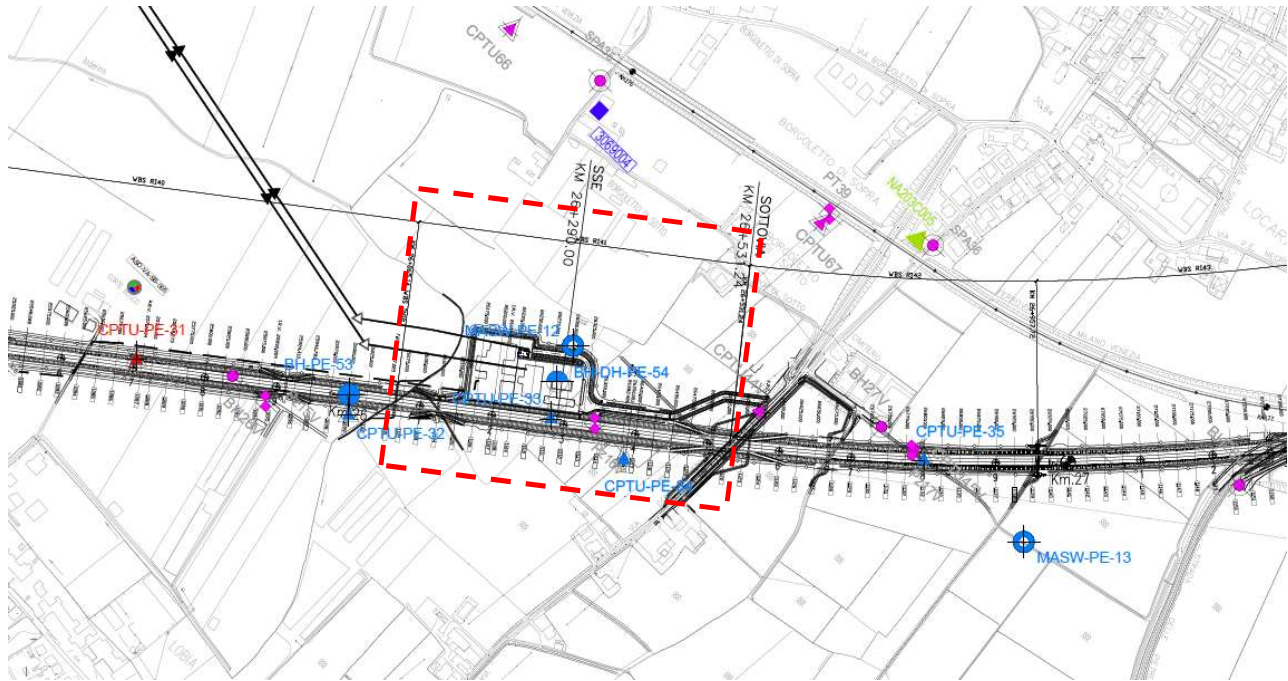


Figura 2 - Planimetria Rilevato R41, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif.[6])

4.2 Inquadramento stratigrafico

L'andamento stratigrafico nell'area è caratterizzato dalla presenza, al di sotto della coltre vegetale, fino a circa 15 m di profondità, di uno strato costituito da sabbia limosa, passante in profondità a sabbia ghiaiosa limosa (unità 4).

In corrispondenza dell'ultimo tratto del rilevato (da pk 26+400 circa fino a 26+531) lo spessore del banco sabbioso si riduce lasciando posto in superficie ad uno strato di circa 2 metri di materiale coesivo afferente all'Unità 3b (limi argillosi e argille limose NC o debolmente OC).

In profondità, oltre i 15 m e fino alle massime profondità indagate, si rinvencono i terreni coesivi appartenenti all'Unità 3b. Nella parte iniziale del rilevato (dalla pk 26+065), al tetto dell'Unità 3b è presente una lente, nella quale si alternano materiali delle Unità 3a e 3b, il cui spessore è di circa 5 m in corrispondenza del sondaggio BH-PE-53, eseguito nella parte terminale della WBS precedente.

Nelle tratte adiacenti, ove le perforazioni sono state spinte a profondità maggiori, al di sotto dell'Unità 3b è presente il substrato è costituito dai limi argillosi dell'Unità 2.

Per una trattazione di dettaglio delle unità sopra citate si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale del tratto in esame (Doc. Rif. [2]). Nella Figura 3 si riporta il profilo geotecnico specifico per il rilevato RI41, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico (Doc. Rif. [6]).

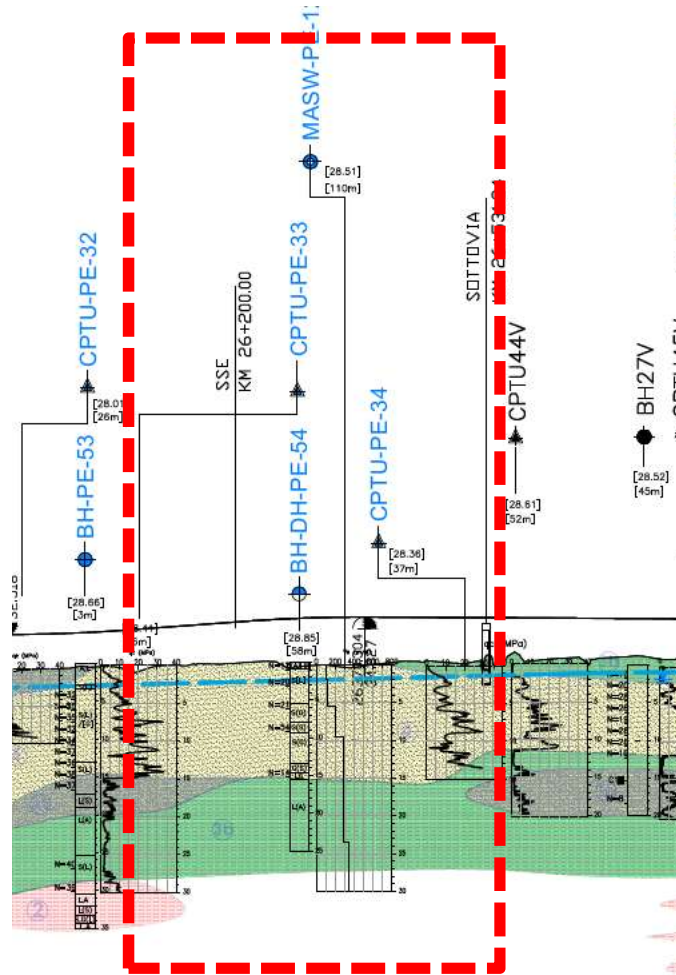




Figura 3 - Profilo Geotecnico Rilevato RI41, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [6])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 12 di 84

4.3 Condizioni geotecniche del sito

La Figura 4 mostra i risultati delle prove SPT eseguite nel tratto interessato dal rilevato in esame, mentre la Figura 5 riporta i risultati delle CPTU. Le prove hanno interessato principalmente lo strato sabbioso superficiale (Unità 4). Solo l'ultima prova a circa 15 metri di profondità ha attraversato completamente l'Unità 4 e si è approfondita nell'Unità 3b, costituita da limi argillosi e argille limose, da tenere a mediamente compatte.

Per l'Unità 4 si registrano valori di N_{SPT} compresi tra 10 e 20 colpi/30cm crescenti con la profondità. La prova eseguita a 9 metri di profondità mostra un valore elevato di N_{SPT} (pari a 54 colpi/30cm) che potrebbe dipendere localmente dalla presenza di materiale ghiaioso (ciottoli). Anche i valori di q_c aumentano con la profondità, da circa 10 MPa nei primi 6 m, si incrementano fino a 20-25 alla base dello strato (14 m ca da p.c.)

Per il materiale fino l'unico valore registrato è pari a 14 colpi/30cm.

La densità relativa risulta variabile fra il 50% e il 70%, per incrementarsi nel campo 80-90% con la profondità. (Figura 7 e Figura 8)

L'angolo di resistenza al taglio, si assesta intorno a 38° con un leggero incremento dal p.c. fino ai 10 metri di profondità.

Per quanto concerne lo strato profondo di natura coesiva, una interpretazione della prova CPT in termini di resistenza non drenata (Figura 13) restituisce valori minimi attorno a 80-100 kPa.


Per analizzare il profilo delle onde di taglio Vs è stato redatto un grafico di confronto tra i risultati delle correlazioni con le SPT del sondaggio di riferimento (BH-PE-54) ed i risultati derivanti delle interpretazioni discusse nella Relazione Sismica (Doc. Rif.[4]), basata sui risultati delle prove MASW e SPT (vedi Figura 14) di tutta la tratta da pk 24+000 a pk 28+000, nonché con il risultato della prova MASW eseguita nel tratto in esame (MASW 12). I profili MASW locale e quello delle Vs generale dell'intera tratta sono confrontabili tra loro con uno scarto contenuto entro i 50 m/s..

I valori di Vs per le sabbie superficiali sono compresi tra 100 m/s e 200 m/s fino a 5 metri di profondità, tra 200 m/s e 250 m/s dai 5 ai 10 metri e tra 250 m/s, e 300 m/s dai 10 ai 15 metri di profondità dove termina il banco di materiale incoerente. A profondità maggiori, ovvero oltre i 15 metri, le velocità restano comprese tra i 200 m/s e 300 m/s fino a 20 metri per poi crescere oltre i 300 m/s nel restante intervallo di profondità investigato.

Sulla base dei valori di Vs si sono stimati i valori del modulo di taglio alle piccole deformazioni (G_0).

Sulla base dei risultati precedenti, per le sabbie superficiali si ottengono valori compresi tra 50 MPa e 150 MPa, mentre gli strati profondi si ottengono valori compresi tra 150 MPa e 200 MPa.

Per i materiali a grana grossa, il valore del modulo di Young (E_0) è stato stimato utilizzando la 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4100001A</p>	<p>Foglio 13 di 84</p>

Dal sondaggio BH-PE-54 sono stati prelevati campioni per l'esecuzione di prove di laboratorio. In particolare sono state eseguite misure di contenuto d'acqua (w%) e limiti liquido e plastico (LL, LP) e prove edometriche.

I campioni sono stati prelevati alle profondità di circa 18m, 21m e 24m in corrispondenza degli strati definiti come Unità 3b (limi argillosi e argille limose).

Il contenuto d'acqua è compreso tra il 25% ed il 30%. Il limite plastico è compreso tra 26% e 29% (Figura 11), mentre il limite liquido è di circa 41%. Il riflesso di tale condizione è visibile anche in Figura 12 (Carta di Casagrande), che permette di considerare i materiali come argille inorganiche di bassa-media plasticità.

AV/AC VERONA VICENZA

RI41 da pk 26+065 a pk 26+531

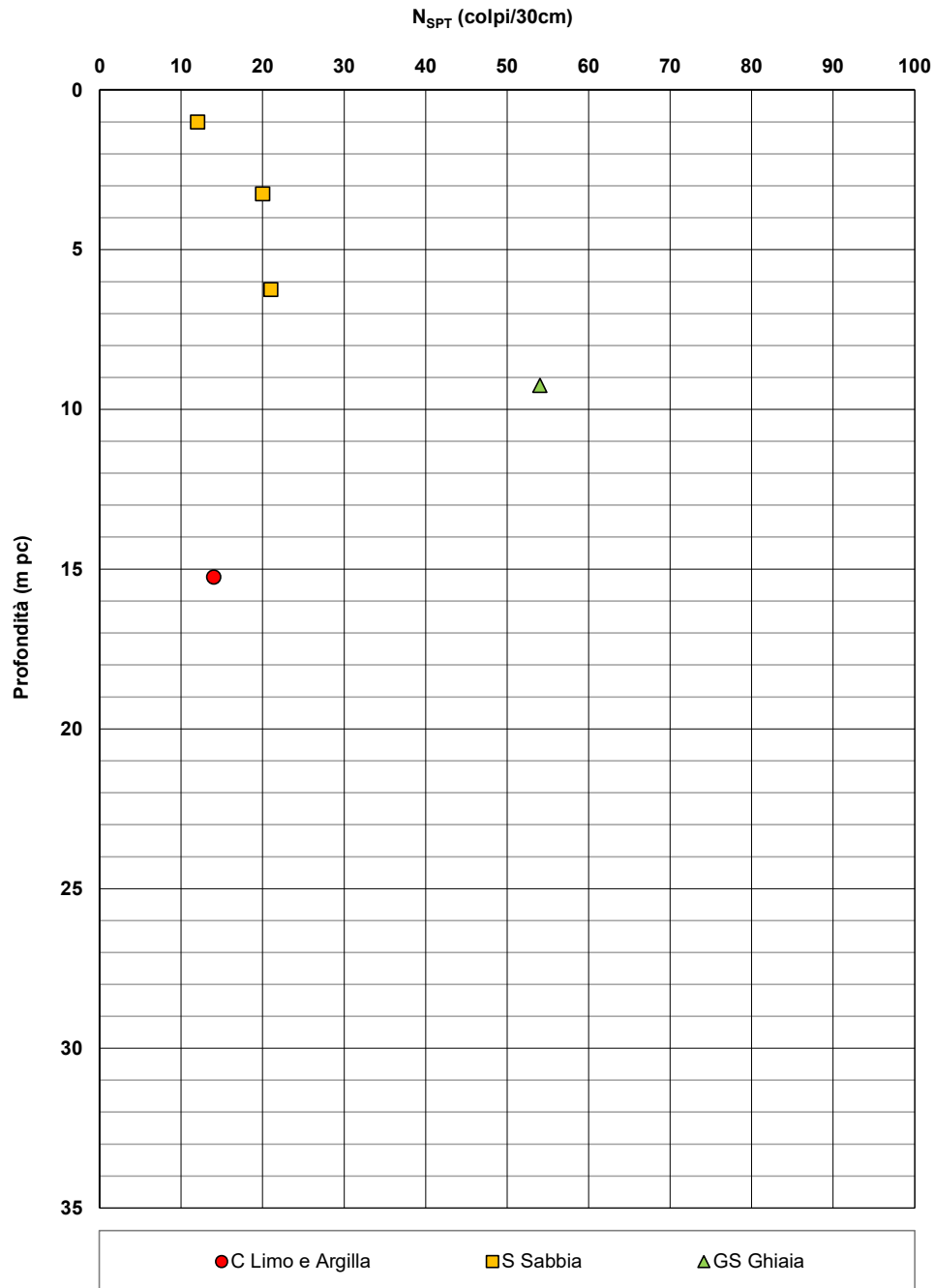


Figura 4 – Esito delle prove SPT – RI41 (pk 26+065 ÷ 26+531)

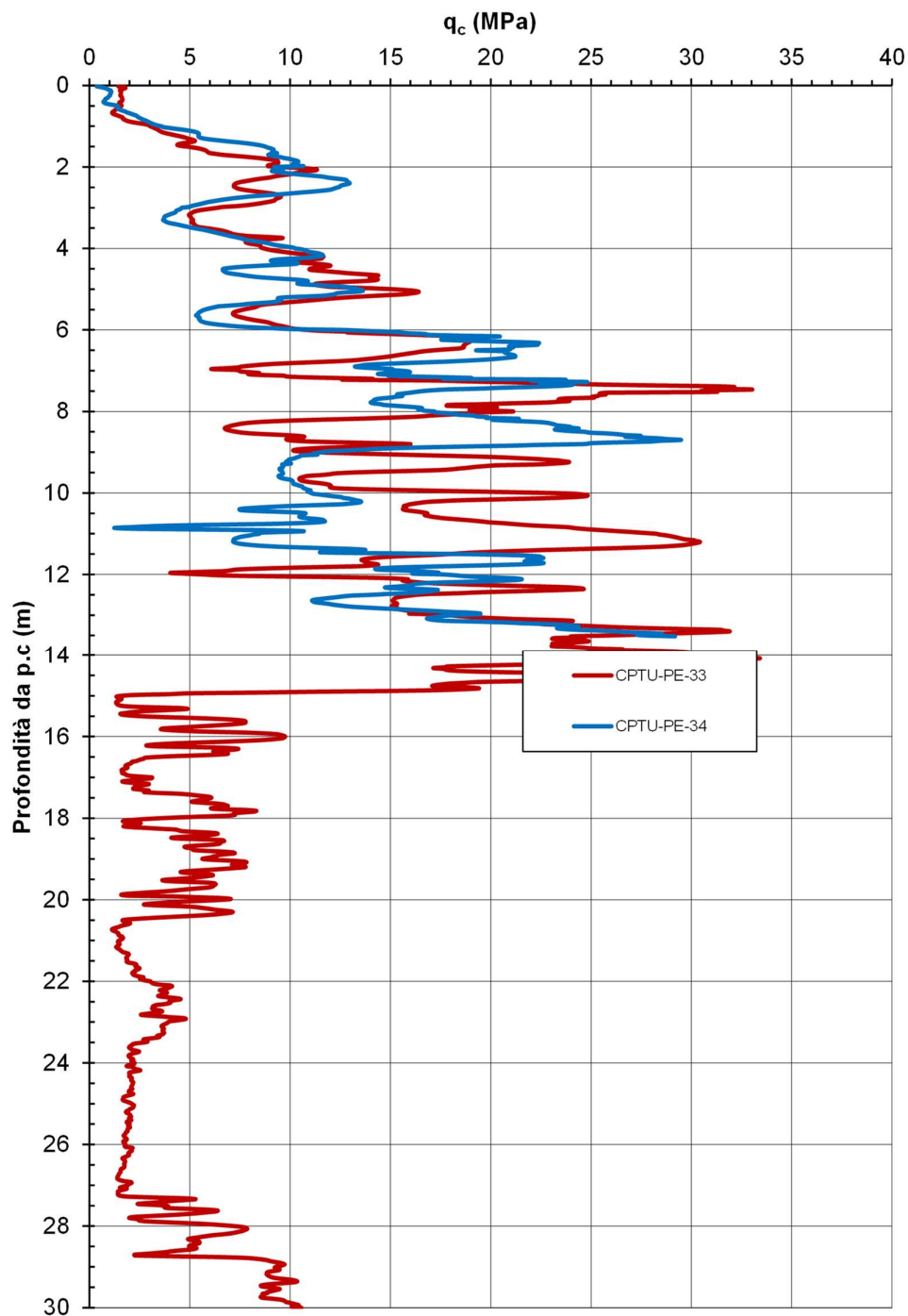


Figura 5 – Esito delle prove CPTU – RI41 (pk 26+065 ÷ 26+531)

AV/AC VERONA VICENZA

RI41 da pk 26+065 a pk 26+531

Contributi granulometrici (%)

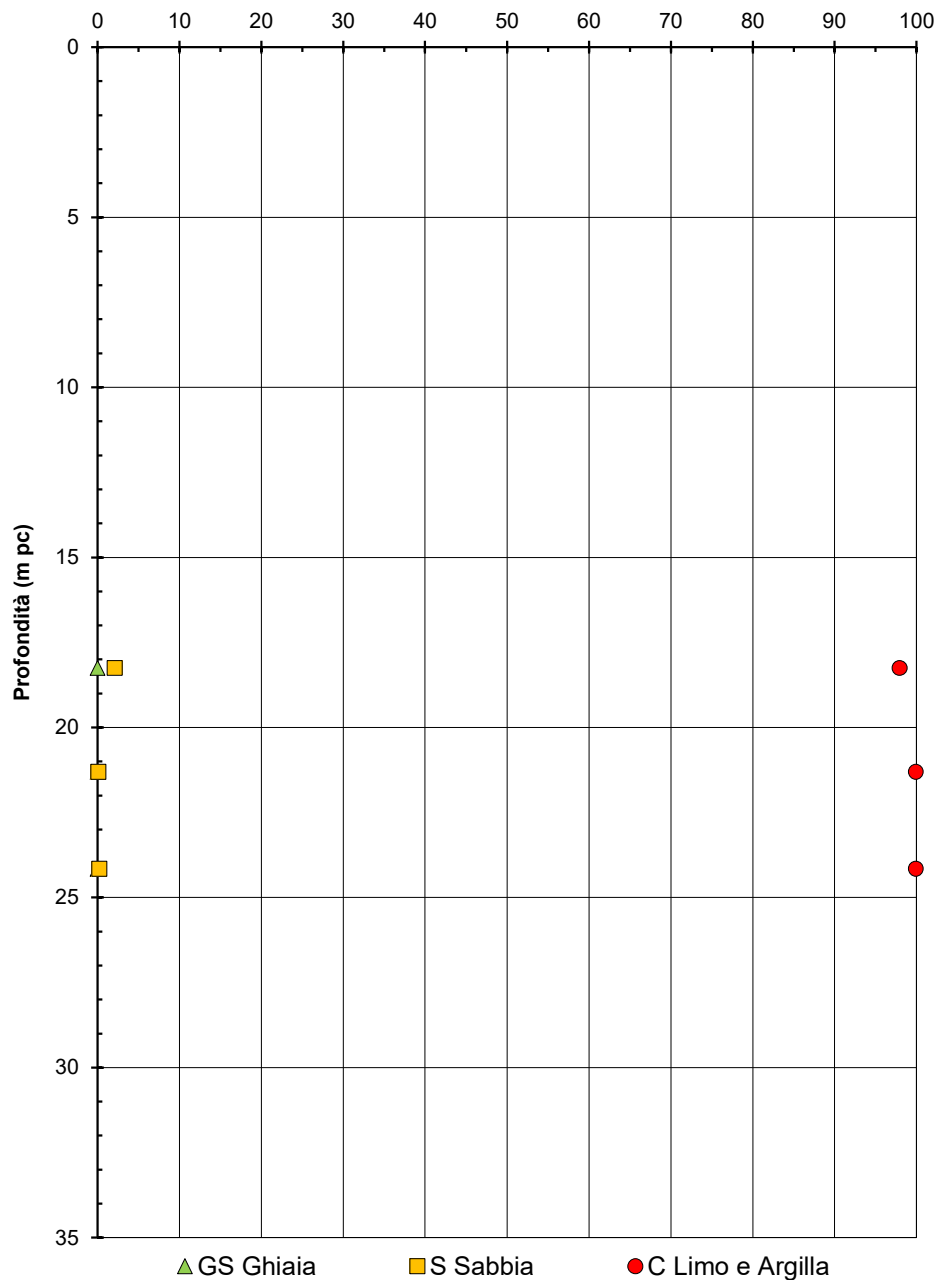


Figura 6 – Sintesi analisi granulometriche – RI41 (pk 26+065 ÷ 26+531)

AV/AC VERONA VICENZA

RI41 da pk 26+065 a pk 26+531

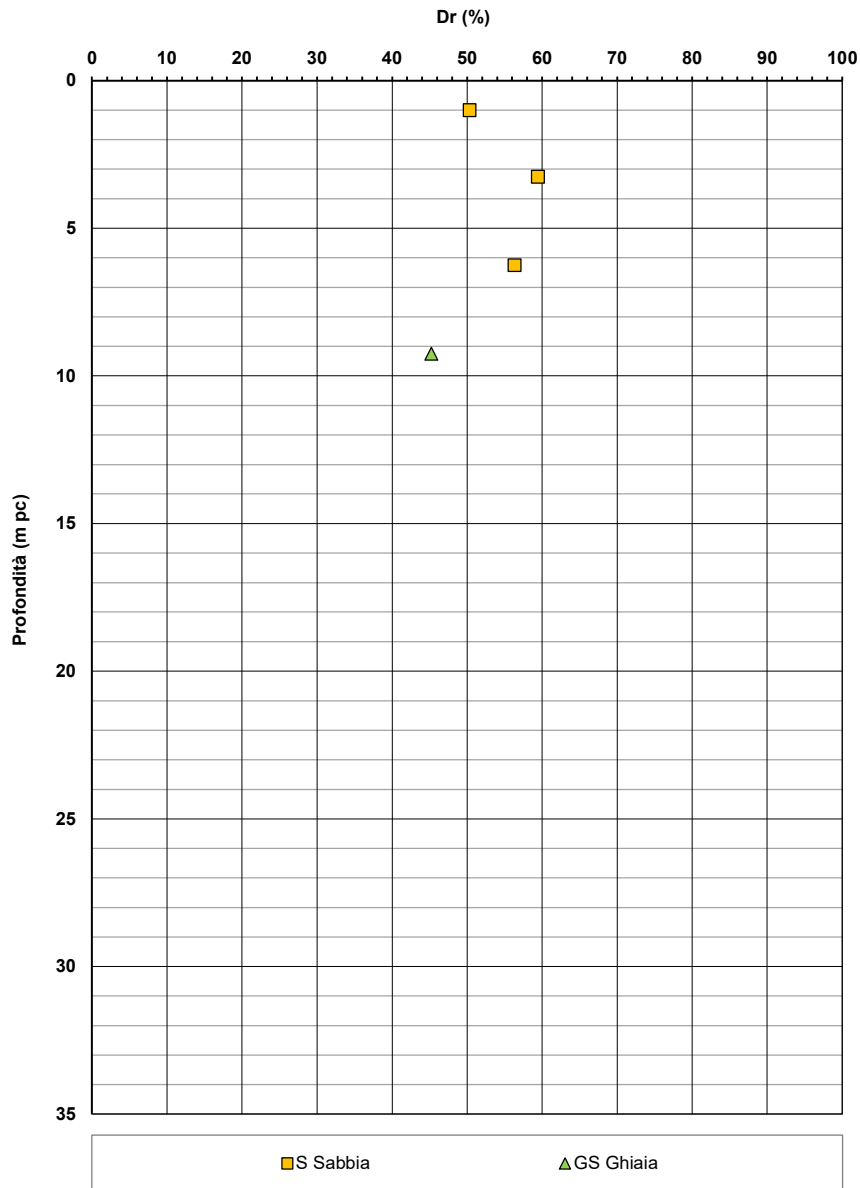


Figura 7 – Densità relativa da prove SPT - RI41 (pk 26+065 ÷ 26+531)

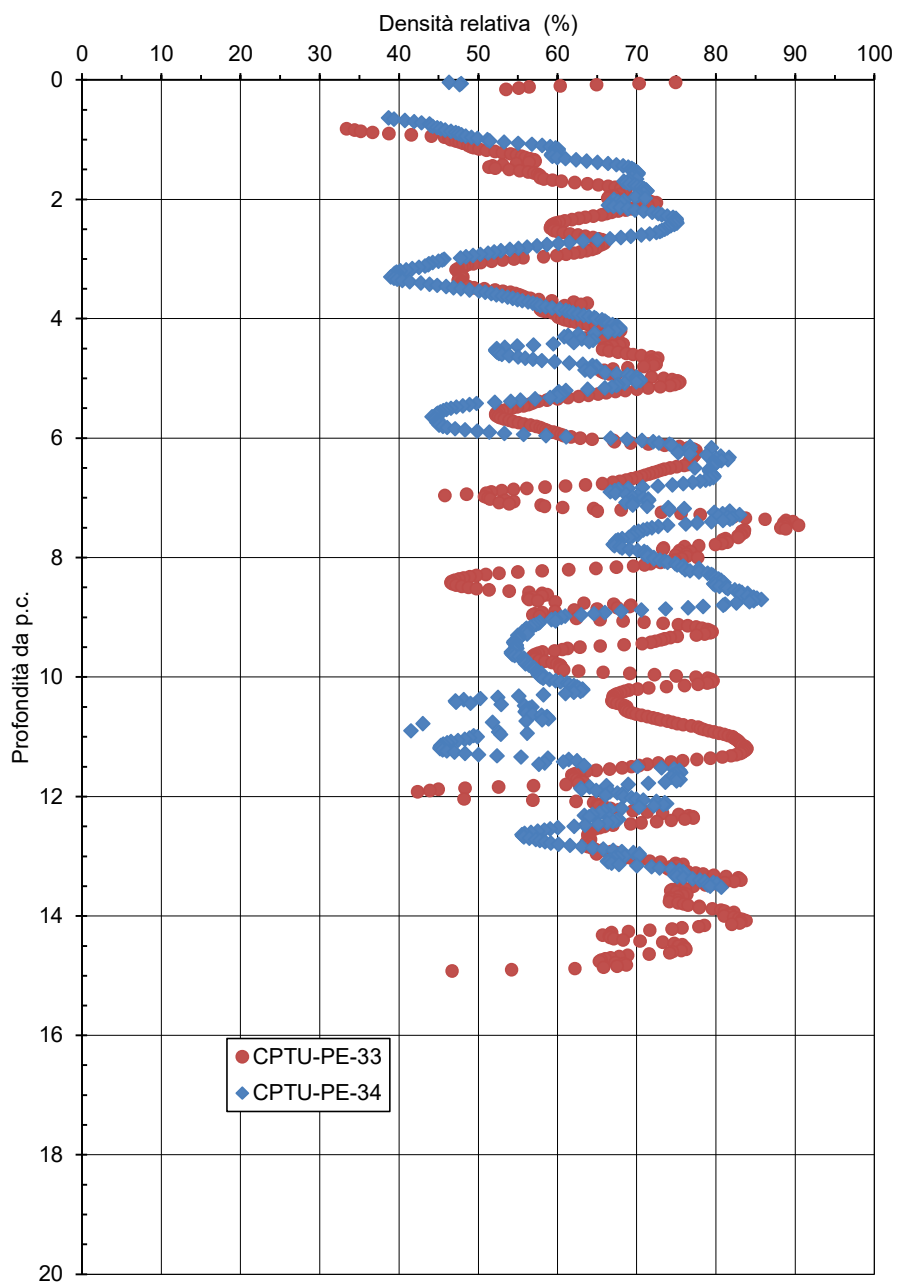


Figura 8 – Densità relativa da prove CPTU - RI41 (pk 26+065 ÷ 26+531)

AV/AC VERONA VICENZA

RI41 da pk 26+065 a pk 26+531

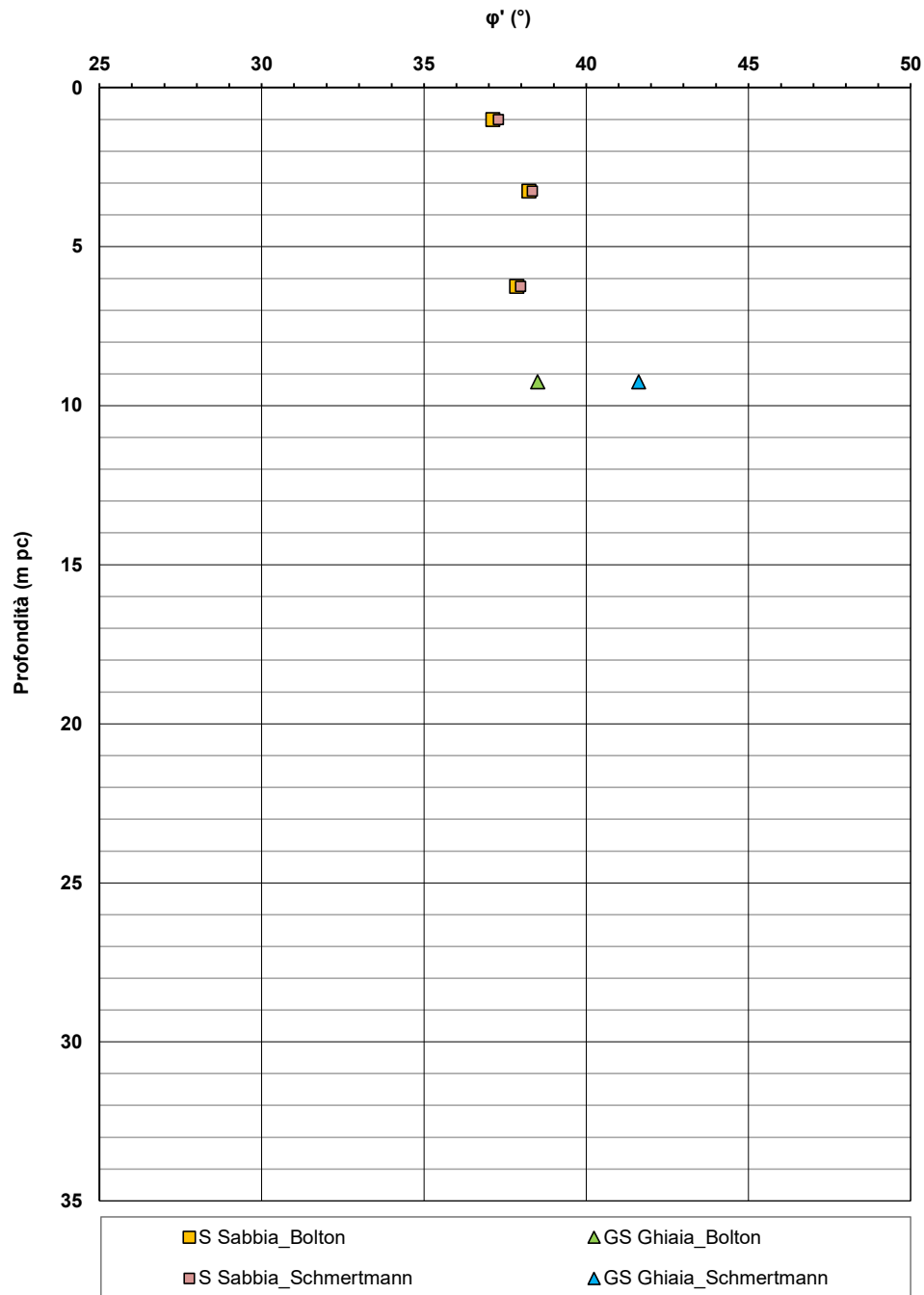


Figura 9 – Angoli di attrito da prove SPT - RI41 (pk 26+065 ÷ 26+531)

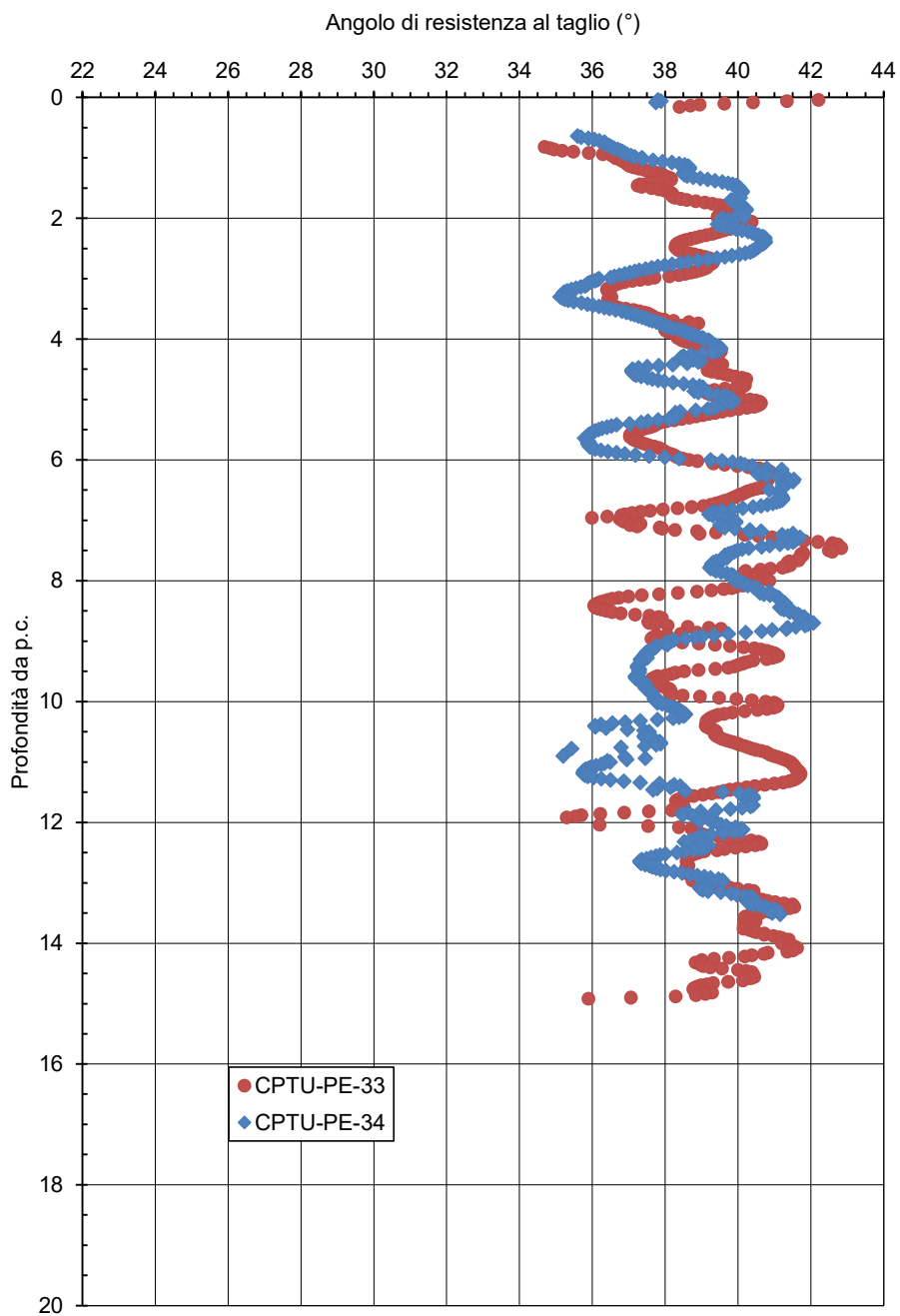


Figura 10 – Angoli di attrito da prove CPTU - RI41 (pk 26+065 ÷ 26+531)

AV/AC VERONA VICENZA

RI41 da pk 26+065 a pk 26+531

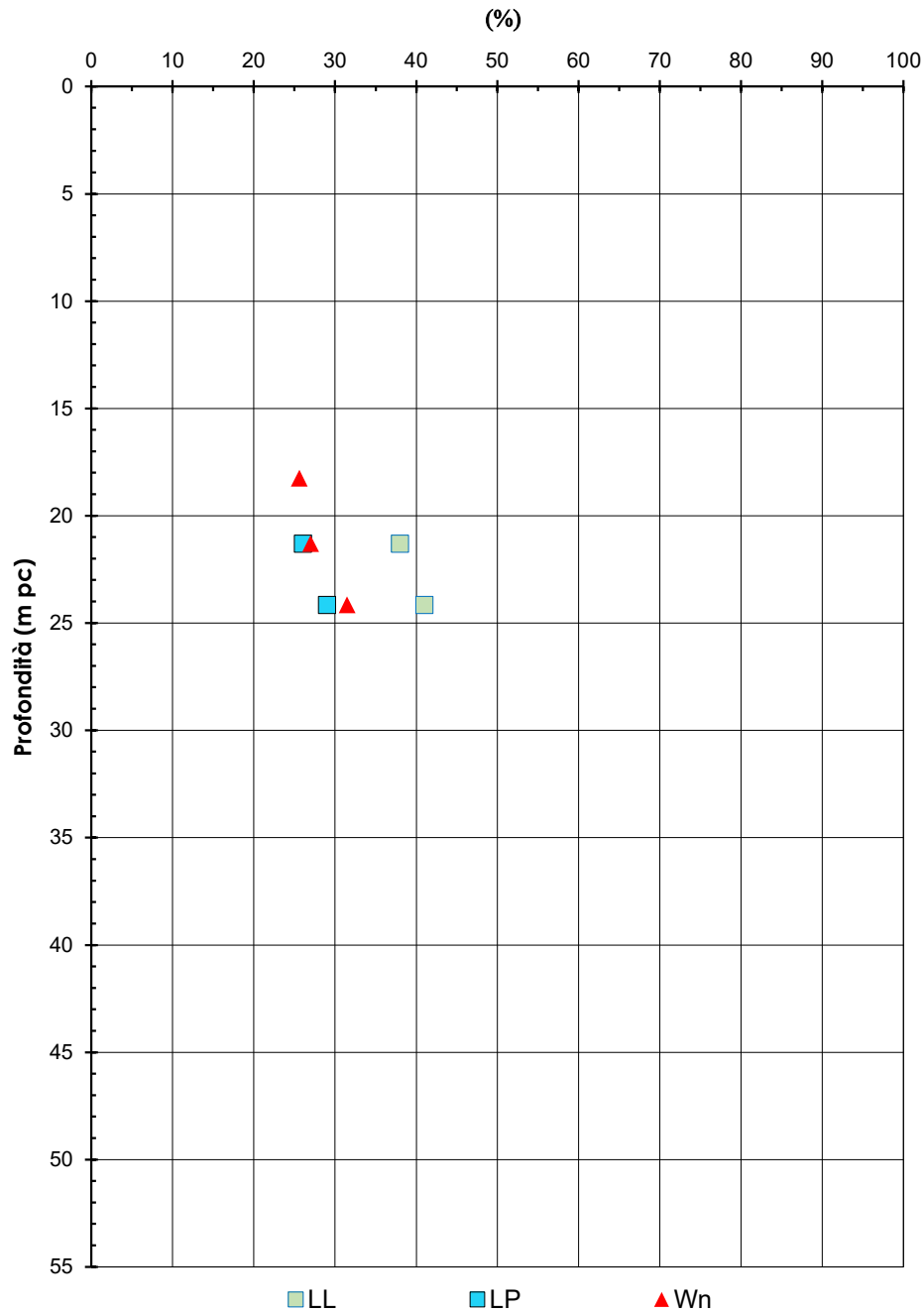


Figura 11 – Contenuto d’acqua, limite liquido e limite plastico - RI41 (pk 26+065 ÷ 26+531)

AV/AC VERONA VICENZA

RI41 da pk 26+065 a pk 26+531

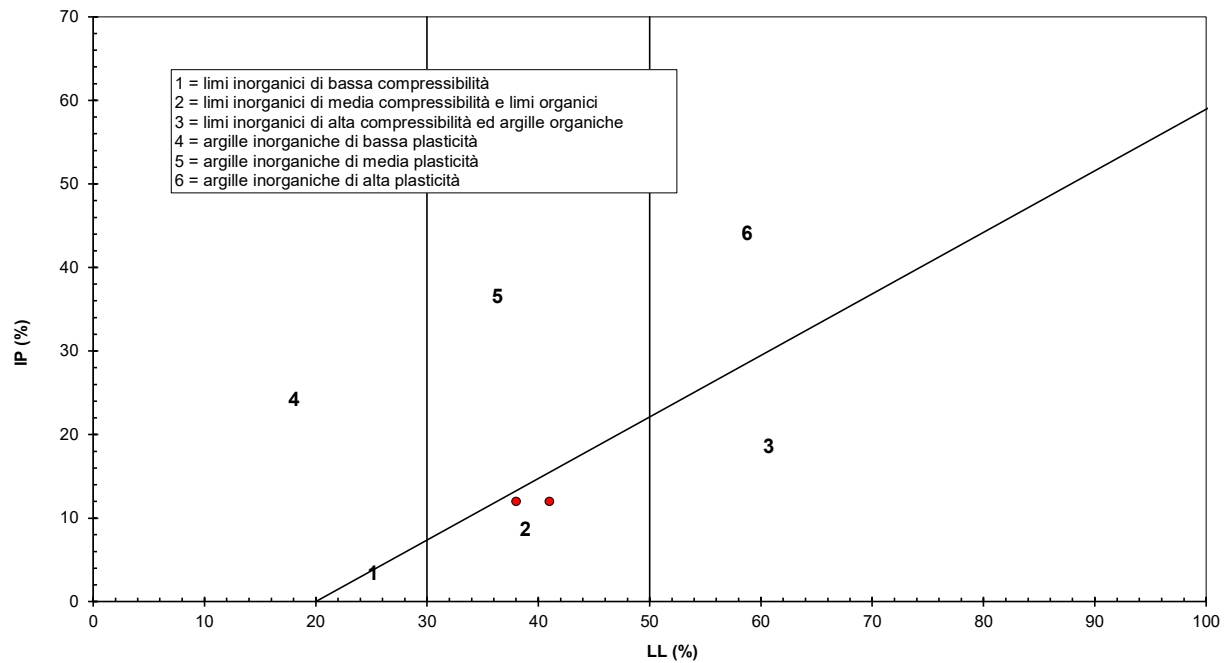


Figura 12 – Carta di Casagrande - RI41 (pk 26+065 ÷ 26+531).

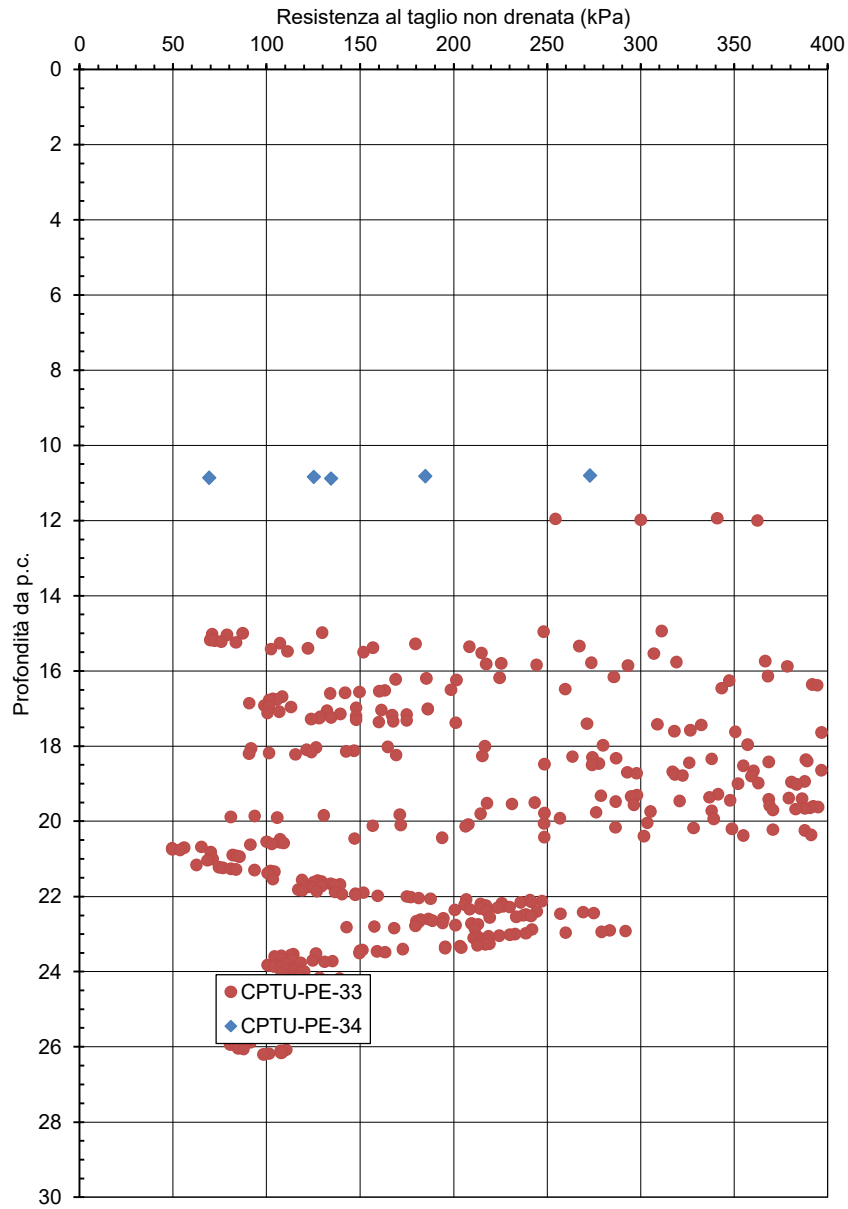


Figura 13 – Resistenza al taglio non drenata da CPTU - RI41 (pk 26+065 ÷ 26+531)

AV/AC VERONA VICENZA

RI41 da pk 26+065 a pk 26+531

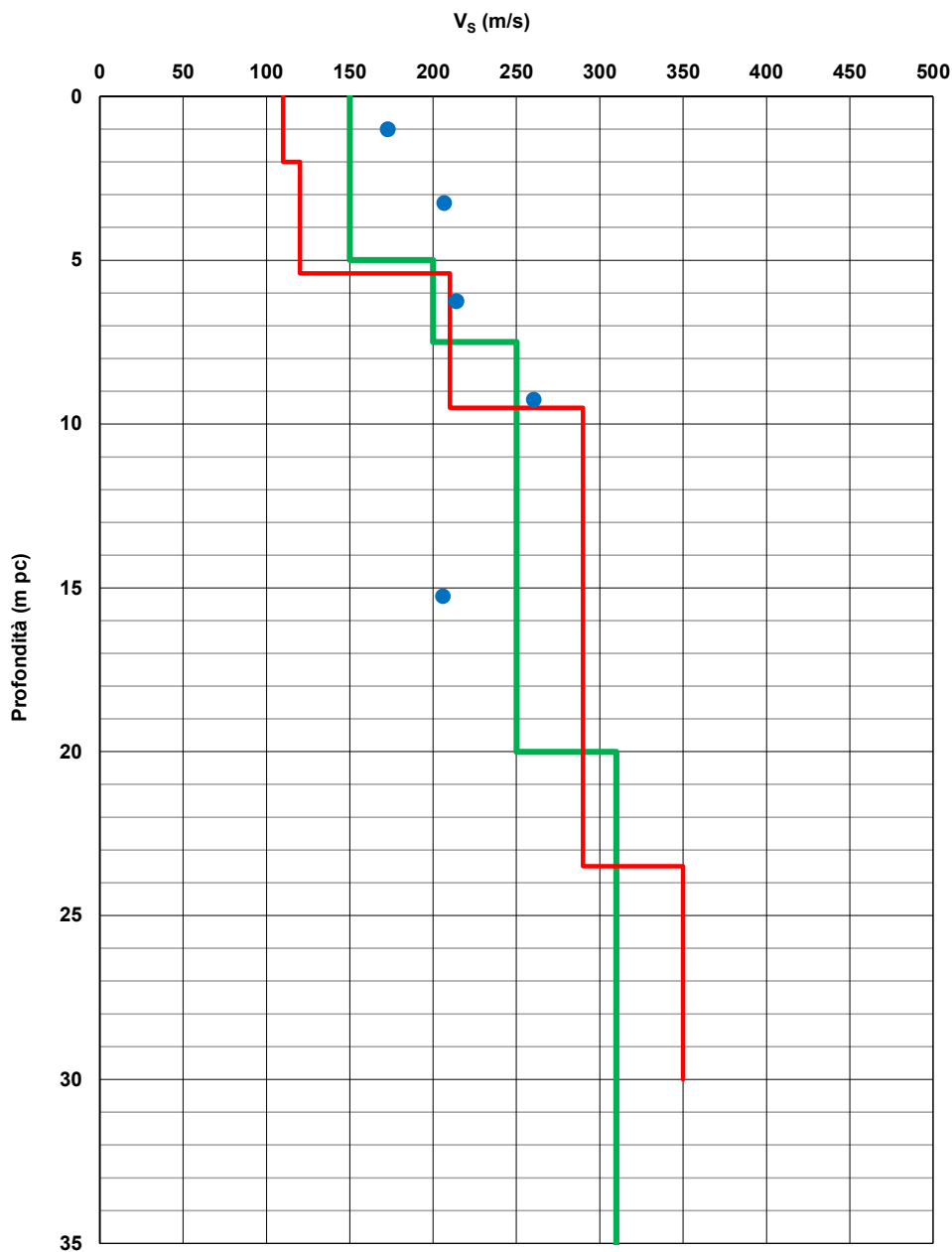


Figura 14 – Confronto Vs con dati di correlazioni con SPT (blu) e prova DH (rosso) di RI41 e Profilo generale (verde) tra pk 24+000 a pk 28+000 (Doc. Rif.[2])

AV/AC VERONA VICENZA

RI41 da pk 26+065 a pk 26+531

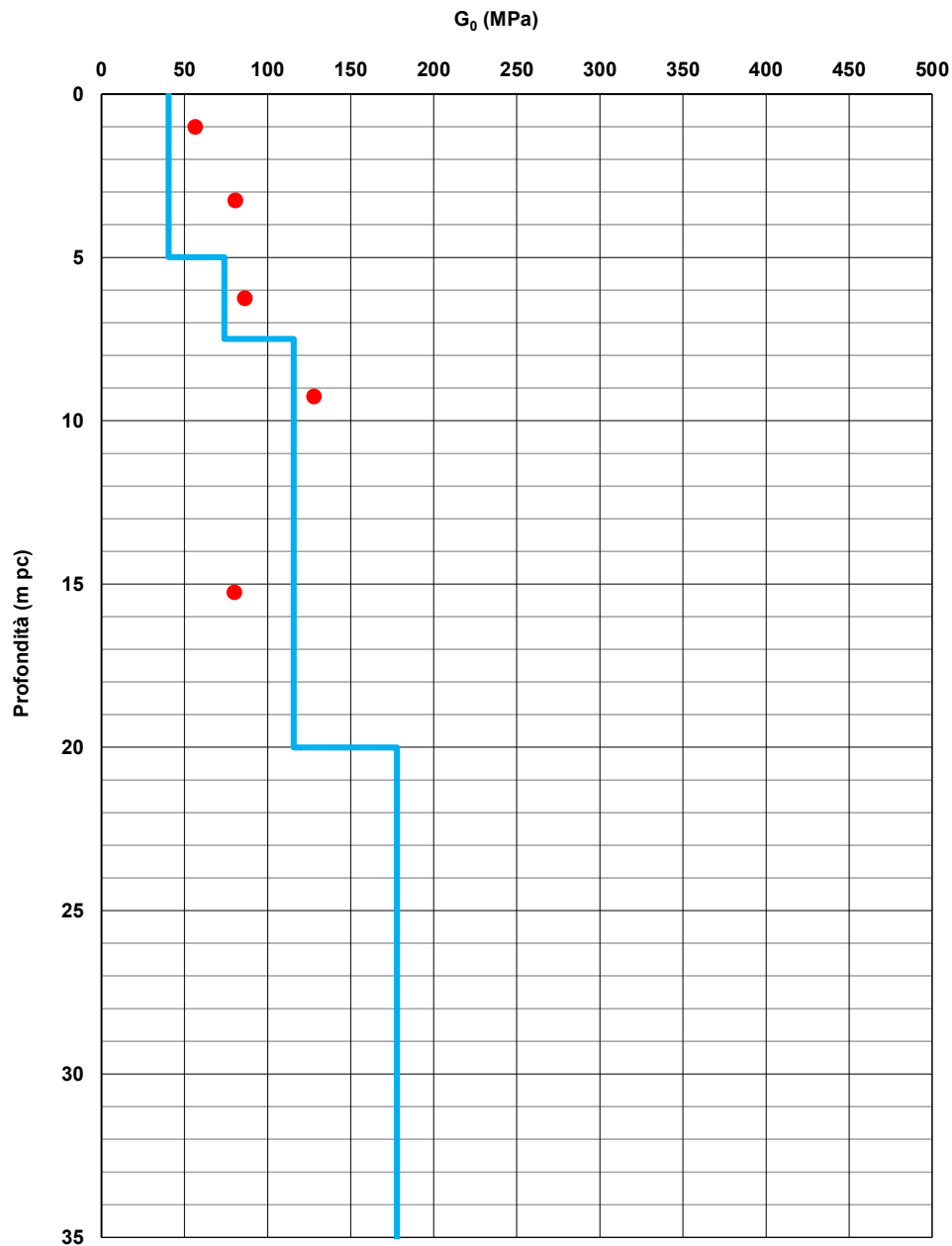




Figura 15 – Confronto G_0 con dati di correlazioni con SPT di RI41 e Profilo generale tra pk 24+000 a pk 28+000 (Doc. Rif.[2]).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 26 di 84

4.4 Sintesi del modello geotecnico di riferimento

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

Tabella 2 – Modello geotecnico di riferimento

Unità	da m pc*	a m pc*	γ kN/m ³	φ_k °	c_k' kPa	$c_{u,k}$ kPa	G_0 MPa	E'_{op} MPa
4	0	5	19.5	37	0	-	50	25
4	5	15	19.5	38	0	-	100	50
3b	15	25	18.5	28	0	80	--	15
2	>25		18.5			100		25

4.4.1 Materiale da rilevato

Le caratteristiche dei rilevati ferroviari sono desunte dal MdP (Doc. rif. [23]) e sono di seguito riassunte:

Tabella 3 - Caratteristiche materiale da rilevato



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

4.4.2 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. Rif.[3]). Quest'ultimi indicano una sostanziale stabilità nelle escursioni stagionali.

Ai fini progettuali si assume:

- falda di progetto a medio e lungo termine: piano campagna
- falda di progetto media: -2m da p.c.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	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. [22] e [23]), l'opera in oggetto viene inserita nella tipologia di costruzione con $V_N = 100$ anni.

Tabella 4 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

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

5.1.2 Classe d'uso

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

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

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



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 28 di 84

Tabella 5 – Valori del coefficiente di uso C_u

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

5.1.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

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

5.1.4 Categorie di Sottosuolo



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

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

5.1.5 Condizioni topografiche

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	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:

a_g (g) (SLV)	0.207
Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s	1.397
Coefficiente di amplificazione topografica S_t	1.0
Accelerazione massima attesa al suolo	
a_{max} (g) ($a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$)	0.289

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 applicata (Doc. rif. [18]).



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 CPT111.
- Magnitudo attesa per un periodo di ritorno pari almeno a 975 anni valutata sulla base del modello delle zone sismogenetiche ZS9 (riportato in Figura 1), alla base delle mappe di pericolosità sismica del territorio italiano allegate alle NTC2008, e sulla distribuzione dei valori di magnitudo associati ai massimi terremoti storici.

Facendo sempre riferimento al Doc. rif. [4] per i dettagli dell'analisi sopra descritta, e in continuità con le considerazioni esposte in sede di Progetto Definitivo, è stato considerato ragionevole assumere per il tracciato di progetto un valore di magnitudo di riferimento da adottare nelle verifiche a liquefazione di cui ai paragrafi successivi pari a 6.5.

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	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 $M=7.5$.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4100001A</p>	<p>Foglio 31 di 84</p>

Nel presente studio, in accordo sia alle prescrizioni dell'Eurocodice 8, sia a quanto suggerito da Youd et al., 2001 e Idriss e Boulanger (2004) si è assunto per $M = 6.5 - MSF = 1.7$.

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 16: 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 16, la resistenza alla punta q_c è normalizzata rispetto al valore di pressione atmosferica ($p_a = 100 \text{ kPa}$) e corretta (q_{c1N}) mediante la seguente relazione:

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

dove σ'_{vo} 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:

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 32 di 84

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

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

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

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

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

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

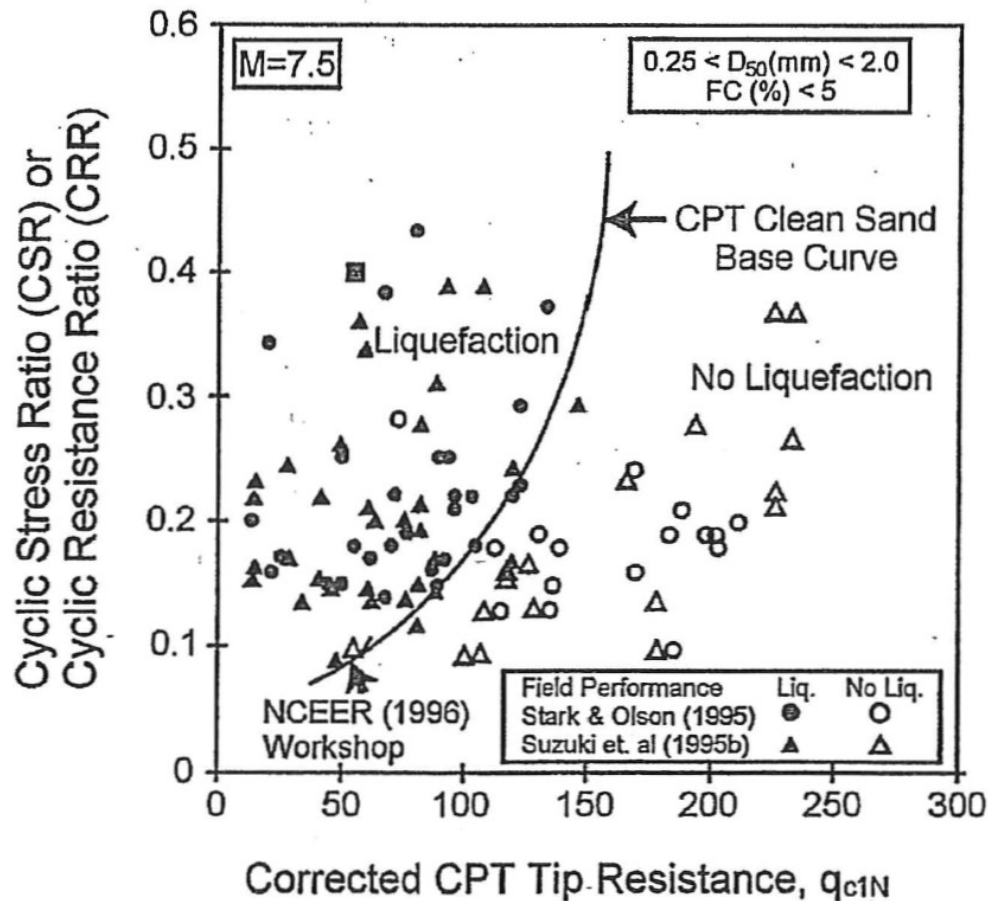


Figura 16: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

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 19, originariamente proposta da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), e successivamente confermata da Youd et al. (2001).

In Figura 19, i risultati delle prove SPT sono espressi in termini di numero di colpi corretti $N_{1(60)}$, ossia i valori sono normalizzati per una pressione verticale efficace pari a 100 kPa e corretti per un valore standard di energia trasmessa (60% del valore nominale) come segue:

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

dove:

C_N = coefficiente correttivo che tiene conto dell'influenza della pressione verticale efficace. In letteratura sono presenti diversi metodi per la valutazione del coefficiente correttivo C_N . Qui è stata applicata la seguente relazione

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 34 di 84

proposta da Liao e Whitman (1986):

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

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

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

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

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

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

Sempre in Figura 19, 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 19 come curve diverse siano state sviluppate per terreni aventi diverso contenuto di fini, a partire dalla curva di riferimento corrispondente alla sabbia pulita ($FC < 5\%$).

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 35 di 84

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

In cui:

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

σ'_{v0} = tensione verticale efficace

p_a = pressione atmosferica di riferimento

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

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

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

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

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

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

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

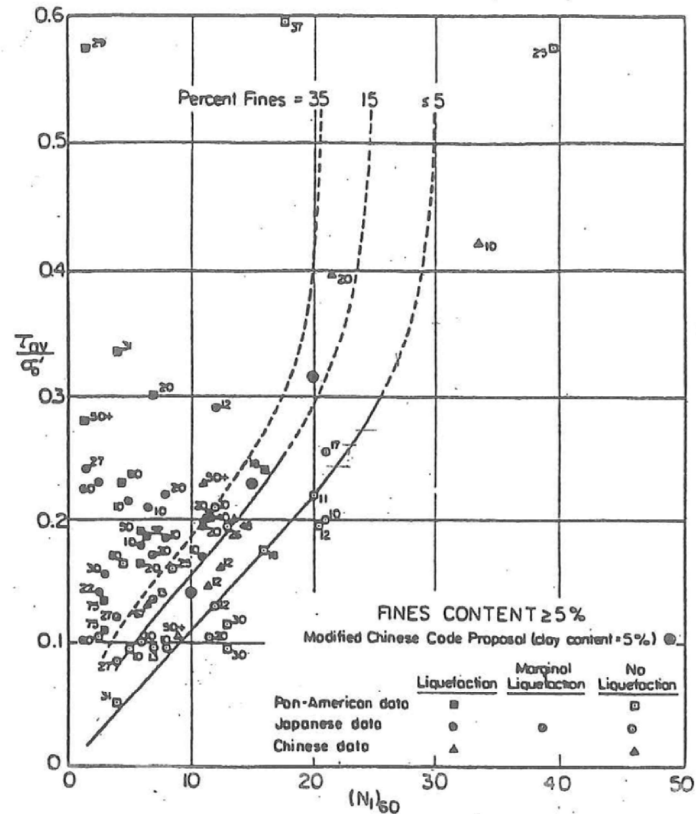


Figura 17: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

5.3 Risultati delle verifiche a liquefazione

I risultati (cfr. Figura 18 e Figura 19) indicano la presenza di sottili strati decimetrici di materiale che potrebbe sviluppare sovrappressioni interstiziali in occasione dell'evento sismico di progetto, ma non si identificano strati continui, di spessore rilevante, nei quali il coefficiente di sicurezza scenda sotto l'unità. Pertanto, il possibile effetto in superficie di tali sovrappressioni potrebbe essere lo sviluppo di cedimenti di qualche centimetro.

Si conclude pertanto come non si evidenzino rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI41, in linea con gli stati di addensamento e le granulometrie descritte in precedenza.

Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI4100001A

Foglio
37 di 84

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Trattata Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-33 Pr. 26-281
a_{max} = 0.28g M_{calc} = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 6m

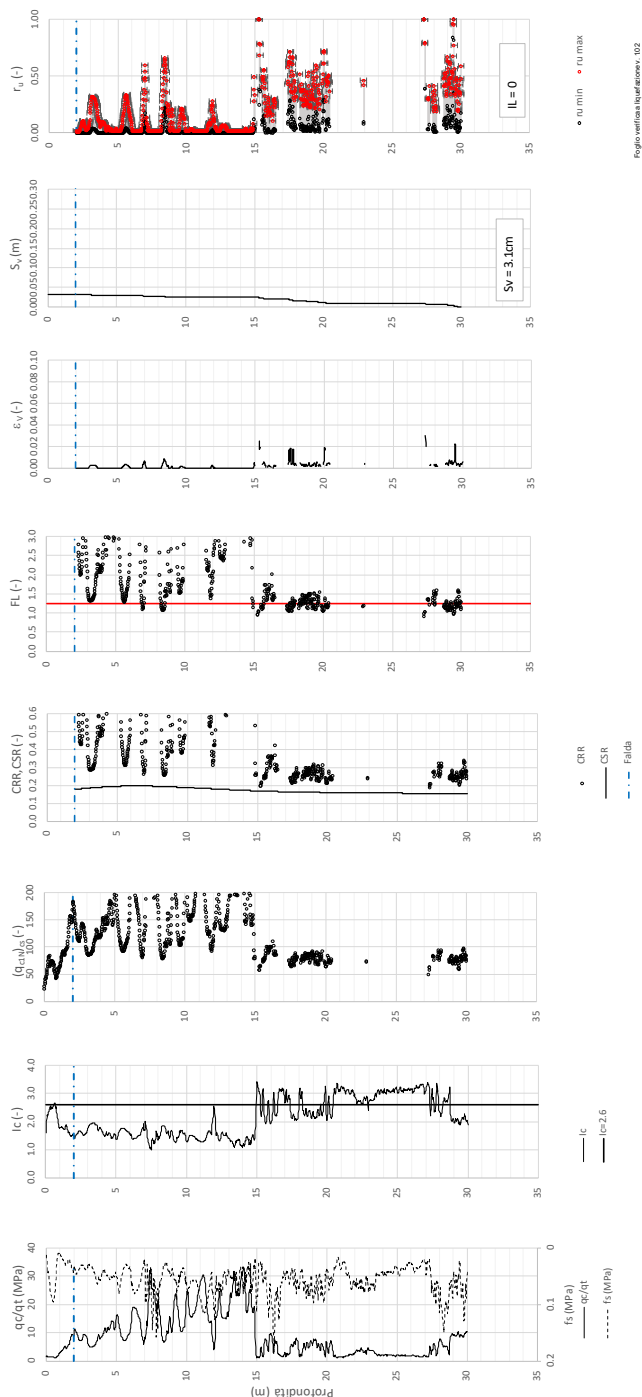


Figura 18 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-33

T tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-34 Pr. 26+389
a_{r,max} = 0.289g M_{calc} = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 6m

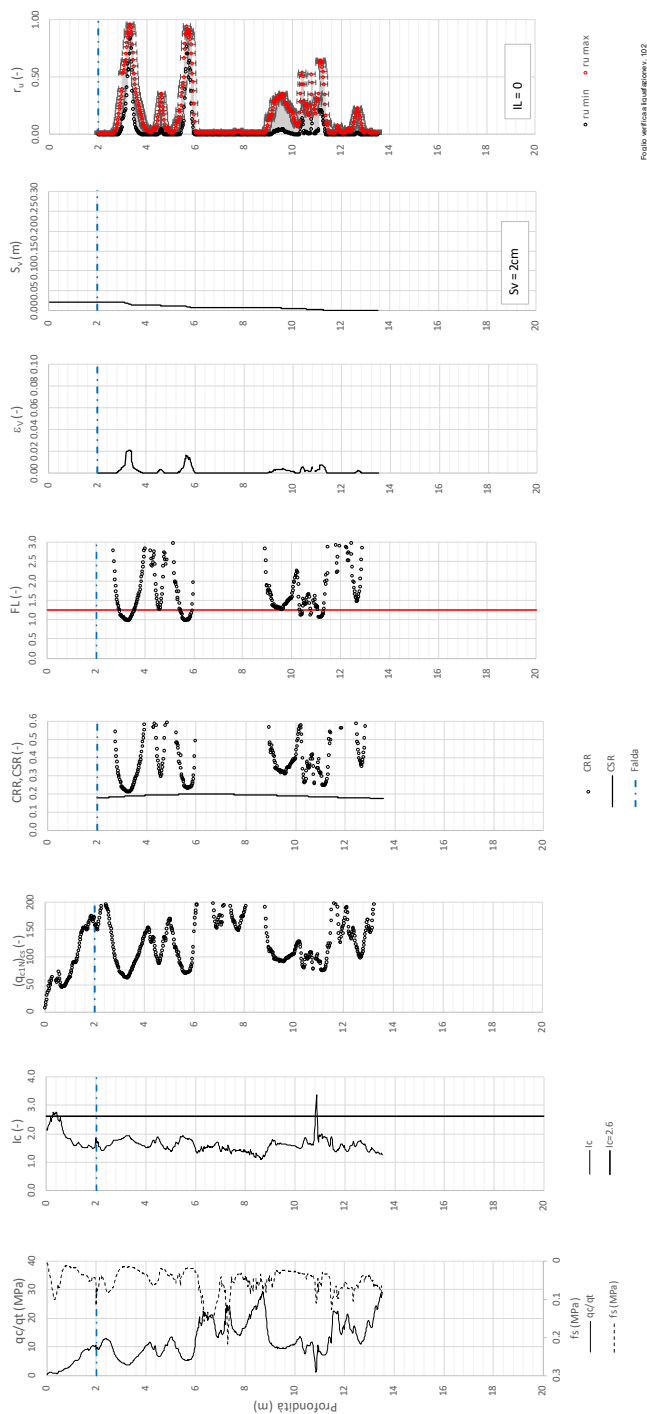




Figura 19 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-34

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 39 di 84

6 VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO

6.1 Criteri di verifica agli Stati Limite

Per le opere in esame, la normativa applicata richiede l'esecuzione delle seguenti verifiche di sicurezza e delle prestazioni attese (par. 6.2.3. del Doc. Rif. [18]):

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

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

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 6.2.1 del Doc. Rif. [18]})$$

dove:

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

R_d valore di progetto della resistenza.

La verifica della condizione $E_d \leq R_d$ deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3). I coefficienti da adottarsi nelle diverse combinazioni sono definiti in funzione del tipo di verifica da effettuare (si vedano i paragrafi seguenti). Si sottolinea che per quanto concerne le azioni di progetto E_d tali forze possono essere determinate applicando i coefficienti parziali di cui sopra alle azioni caratteristiche oppure, a posteriori, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche (Par. 6.2.3.1 del Doc. Rif. [18]).

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

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 del Doc. Rif. [18]})$$

dove:

E_d valore di progetto dell'effetto dell'azione;

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

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



Le verifiche vengono condotte con analisi statiche o pseudo-statiche e, in accordo a quanto riportato dal MDP ITALFERR, 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 le seguenti.

6.1.1 Stati limite ultimi (SLU)

Le verifiche di stabilità in campo statico di opere in materiali sciolti, quali rilevati, devono essere eseguite secondo l'Approccio 1 Combinazione 2 (A2 + M2 + R2, Doc. Rif. [18]), tenendo conto dei coefficienti parziali sotto definiti.

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 40 di 84

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

essendo R resistenza globale del sistema (vedasi Par. C.6.8.6.2 del Doc. Rif. [18]), calcolata sulla base delle azioni di progetto, dei parametri di progetto e della geometria di progetto $R = R \left[\gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_m}; a_d \right]$.

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. [18]), per le verifiche agli stati limite ultimi si sono adottati i valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle che seguono.

Tabella 6 – Coefficienti parziali sulle azioni

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

dove:

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

Tabella 7 – Coefficienti parziali sui terreni (Tab. 6.2.II, Doc. Rif. [18])

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



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 41 di 84

Tabella 8 – Coefficienti parziali per verifiche di stabilità globale - SLU

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

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. [18]), 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 fine della vita utile dell'opera (100 anni) i cedimenti residui devono essere inferiori a 5 cm.



Nel caso di rilevato da realizzarsi in affiancamento ad un rilevato esistente e mantenendo quest'ultimo in esercizio durante i lavori, si richiede che una stima del cedimento delle due rotaie in una stessa sezione verticale del rilevato, valutandone il decorso nel tempo. Inoltre, con riferimento alla tabella che segue, è necessario verificare che gli spostamenti indotti sui binari in esercizio durante la costruzione siano inferiori a 15 mm, ovvero inferiori ai valori limite dei difetti riferiti al secondo livello di qualità (Doc. rif. [23] e [27]). Laddove si superino i limiti riferiti al primo livello di qualità (10 mm, Doc. rif. [27]), è richiesto il monitoraggio del binario durante la costruzione.

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

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

6.1.3 Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche

La stabilità globale in condizioni sismiche e post-sismiche di opere in materiali sciolti, quali rilevati, è stata verificata secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2 + M2 + R2), tenendo conto dei coefficienti parziali richiamati in precedenza e ponendo i coefficienti parziali sulle azioni tutti pari ad uno. Il coefficiente di combinazione ψ per il carico variabile da traffico è stato posto pari a 0.2 (Doc. rif. [23]).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 42 di 84

6.2 Azioni di progetto

Le azioni di progetto considerate nella analisi sono state definite coerentemente a quanto prescritto nel MdP (Doc. rif. [22]) e nelle NTC (Doc. rif. [18]) e sono di seguito descritte.

6.2.1 Azioni permanenti

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

- Peso massicciata e armamento 18 kN/m³
- Peso elementi in cls 25 kN/m³

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

6.2.2 Azioni variabili

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

6.2.3 Azione sismica

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

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

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

dove

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa (v. Tabella 10)

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

g accelerazione di gravità.



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 43 di 84

Tabella 10 - Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (Doc. rif.[18])

	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

6.3 Verifiche e risultati SLU

6.3.1 Premessa

Le verifiche SLU della stabilità globale del rilevato (sia in condizioni statiche che sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo SLIDE 9 (Doc. Rif. [37]). Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento rispettivamente ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico e ai coefficienti parziali (M2) per le analisi sismiche. Tali coefficienti sono contenuti nella Tabella 7 della presente relazione.

Come da NTC 2008 (Doc. Rif. [18]), la verifica SLU di stabilità globale è soddisfatta se è verificata, sia in condizioni statiche che sismiche, la relazione seguente:

$$FS \geq R2 = 1.1.$$

La verifica è stata condotta con riferimento alla già citate sezioni di riferimento, in condizioni drenate, in relazione ai litotipi presenti. La verifica è stata condotta facendo ricorso al metodo di Bishop modificato. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici caratteristici definiti in Tabella 2, per i terreni di fondazione, e in Tabella 3, per il materiale da rilevato.

6.3.2 Verifiche SLU in condizione statiche

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

Per quanto riguarda la falda, è stata considerata la condizione di lungo termine come da punto 4.4.2. Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.



In Figura 20 sono riportate le superfici di rottura critiche per la combinazione DA1C2 della sezione di calcolo; il fattore di sicurezza FS relativo a tali meccanismi è pari a:

Sezione	FS (DA1C2)
20	1.276

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS_{MIN} \geq R2 = 1.1$$

le verifiche di stabilità globale in campo statico risultano soddisfatte.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 44 di 84

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:

$$K_H = + 0.081 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.041 \quad (\text{positivo sisma verso il basso})$$

Il carico da traffico ferroviario (q), assunto pari a 61.4 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è stato inserito nei calcoli col proprio valore caratteristico in accordo a quanto specificato dalle NTC 2008 (vedasi Par.7.11.1 del Doc. Rif. [18]). Seguendo le prescrizioni desunte dal MdP (Doc. rif. [23]), in condizioni sismiche si applica il coefficiente di combinazione ψ per il carico variabile da traffico ferroviario pari a 0,2. La quota della falda è stata assunta come la media delle letture disponibili come riportato al punto 4.4.2. Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

In Figura 21 sono riportate le superfici di rottura critiche della sezione di calcolo facendo riferimento alla situazione più gravosa, ovverosia quella con sisma verso l'alto (-kv); il fattore di sicurezza FS relativo a tali meccanismi è pari a:

Sezione	FS (sismica)
20	1.123

Essendo soddisfatta in tutti i casi la relazione:

$$F_{S_{MIN}} \geq R_2 = 1.1,$$

le verifiche di stabilità globale in campo sismico risultano soddisfatte.

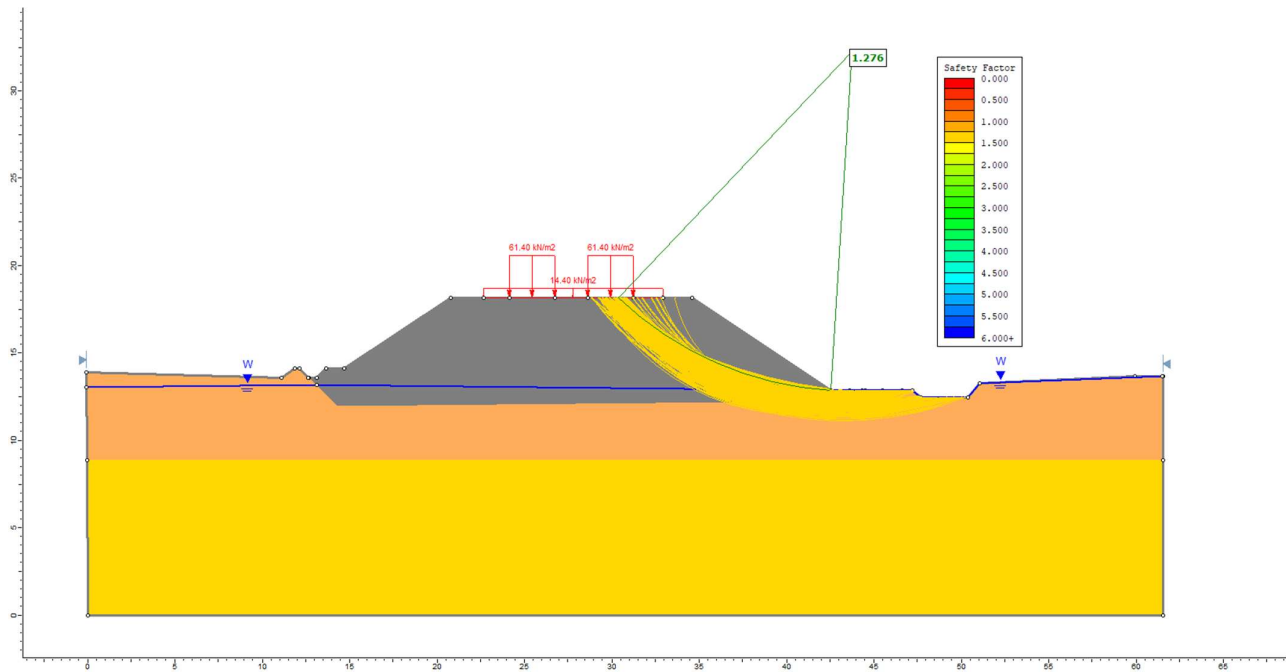


Figura 20 - Rilevato sezione n.20 alla pk 26+531,24 - Analisi SLU in campo statico DA1C2

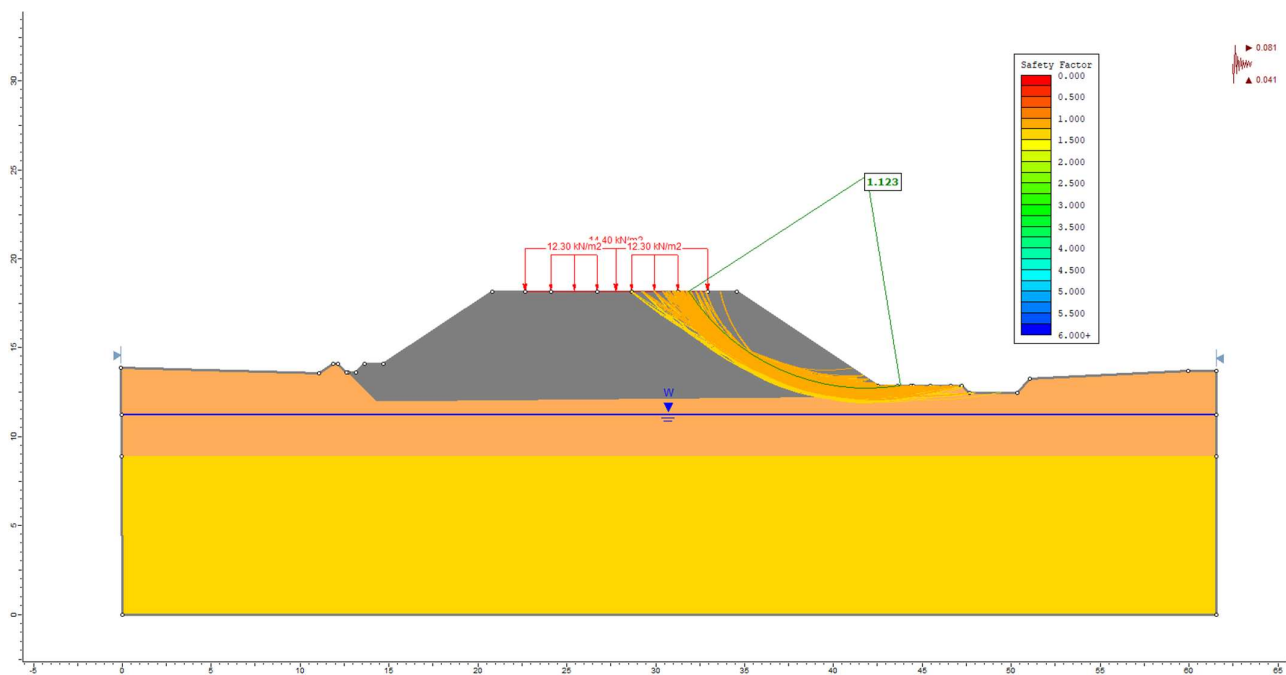



Figura 21 - Rilevato sezione n° n.20 alla pk 26+531,24 - Analisi SLU in campo sismico

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 46 di 84

6.4 Verifica e risultati SLE

La determinazione del campo di spostamenti è stata svolta mediante l'utilizzo del codice di calcolo SETTLE 3D (Doc. Rif. [38]) 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).

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

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

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

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 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4100001A</p>	<p>Foglio 47 di 84</p>

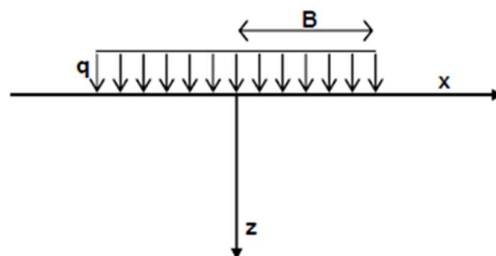


Figura 22 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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

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

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

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

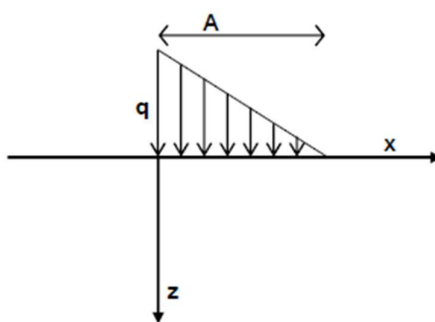




Figura 23 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 48 di 84

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 2. Si sono assunti i valori caratteristici sia sulle azioni che sui materiali.

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

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

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 del Doc. Rif. [18]})$$

dove

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

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

La verifica è stata condotta con riferimento alle seguenti sezioni:

- sezione n. 20 - sezione di riferimento per il sottovia ubicato alla pk 26+531,24

illustrata alla figura Figura 1. Il modello di calcolo implementato la sezione analizzata è illustrato da Figura 24 e Figura 25.

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



La storia di carico riprodotta nell'analisi è la seguente:

- Costruzione rilevato per AV
- Completamento rilevato con posa del ballast

I cedimenti totali sono stati calcolati in corrispondenza degli assi dei due binari AV di nuova costruzione. I risultati sono illustrati in Figura 26 dove sono anche indicate le posizioni degli assi dei binari della linea AV.

Risulta quanto segue:

- sezione n.20 - pk 26+531,24
 - i cedimenti totali lungo i due assi delle nuove linee AV sono pari a 74 mm e 75 mm
 - il differenziale tra il cedimento dopo la costruzione del rilevato e quello dovuto alla posa del ballast è pari a circa 4 mm su entrambi gli assi della AV

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4100001A</p>	<p>Foglio 49 di 84</p>

Considerato l'andamento stratigrafico (presenza in modo preponderante di materiali incoerenti), tale cedimento si esaurirà in pratica all'atto della applicazione dei carichi. I cedimenti di lungo termine sono da considerarsi nulli, e quindi non risultano essere necessarie analisi di consolidazione.

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

Dato il valore limitato dei cedimenti attesi, **la verifica SLE è quindi da considerarsi soddisfatta.**

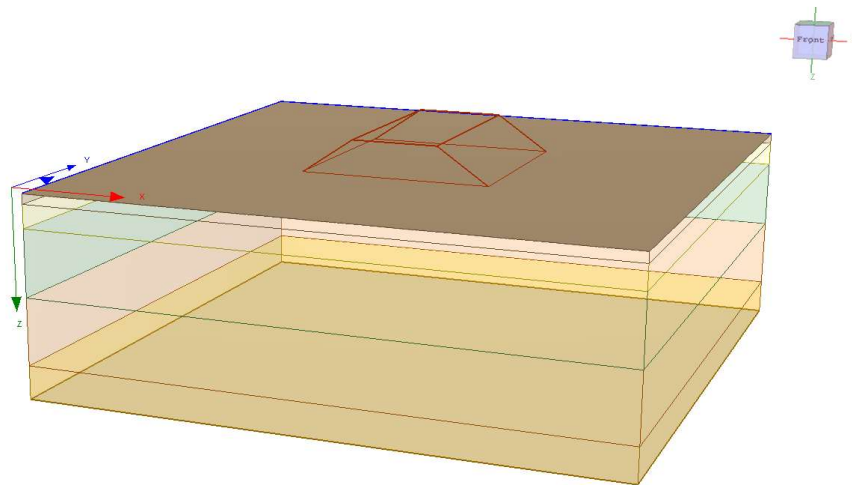


Figura 24 - Rilevato sez n° 20 alla pk 26+531,24 - Analisi SLE – Modello di calcolo – Costruzione rilevato AV

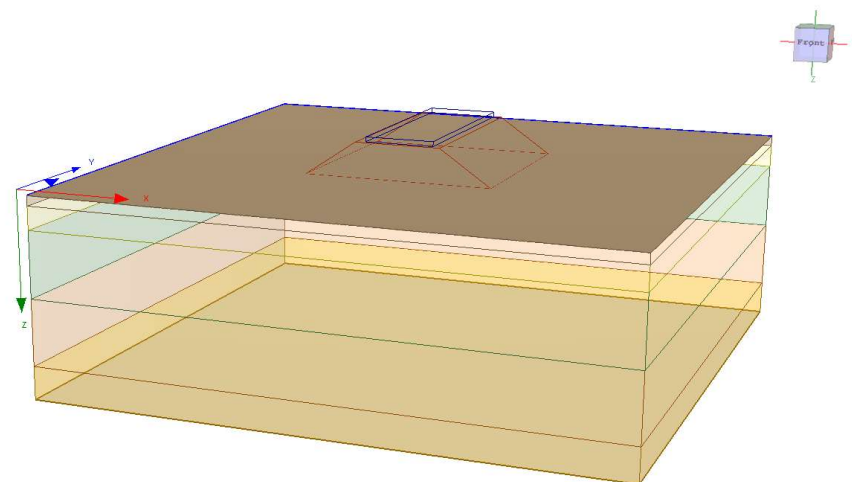


Figura 25 - Rilevato sez n° 20 alla pk 26+531,24 - Analisi SLE – Modello di calcolo – Posa Ballast

Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4100001A

Foglio

50 di 84

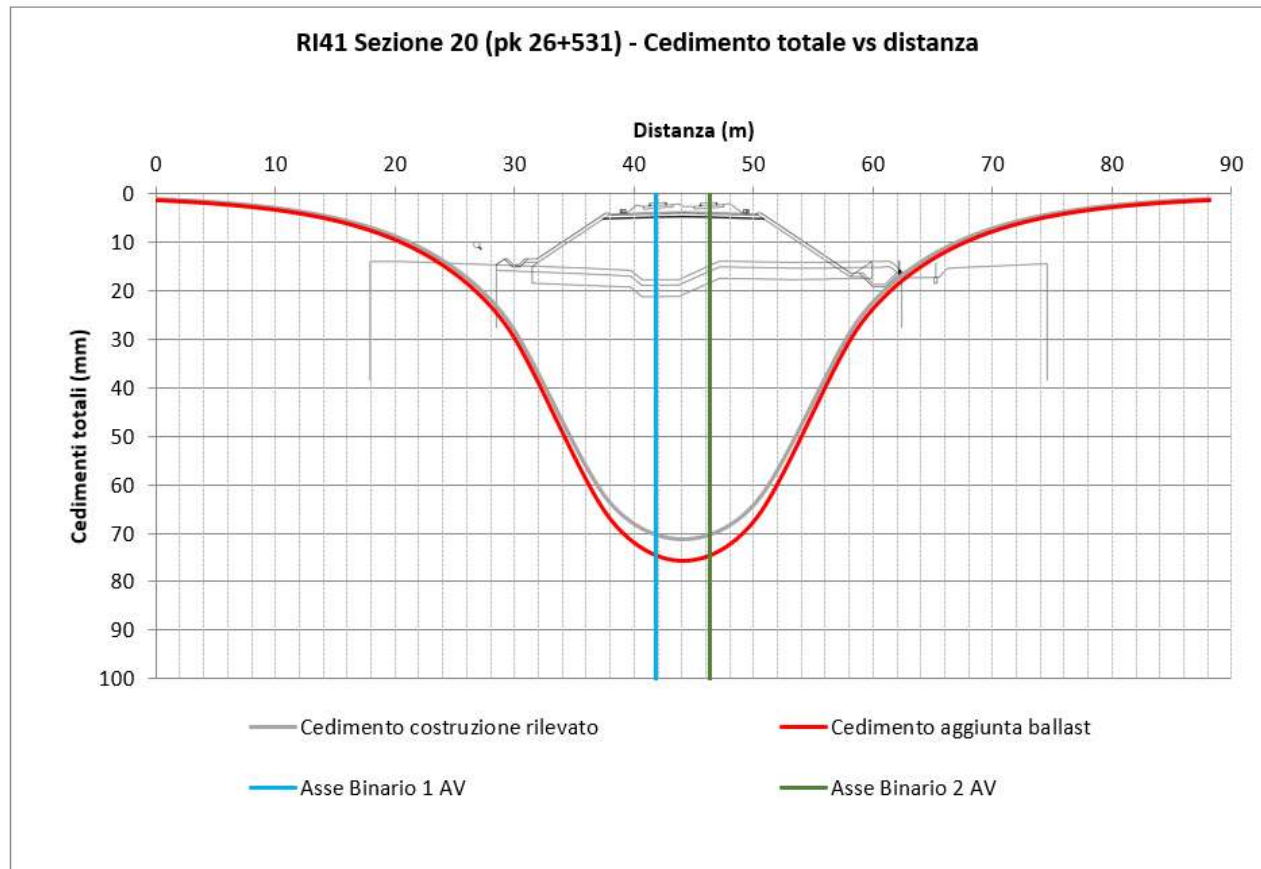




Figura 26 - Rilevato sezione n° 20 alla pk 26+531,24 - Analisi SLE – Risultato Cedimenti

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 51 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. Non si evidenziano criticità di tipo geotecnico e pertanto non è previsto un monitoraggio.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI4100001A	52 di 84

ALLEGATI

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI4100001A	53 di 84

ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO

GENERAL CONTRACTOR

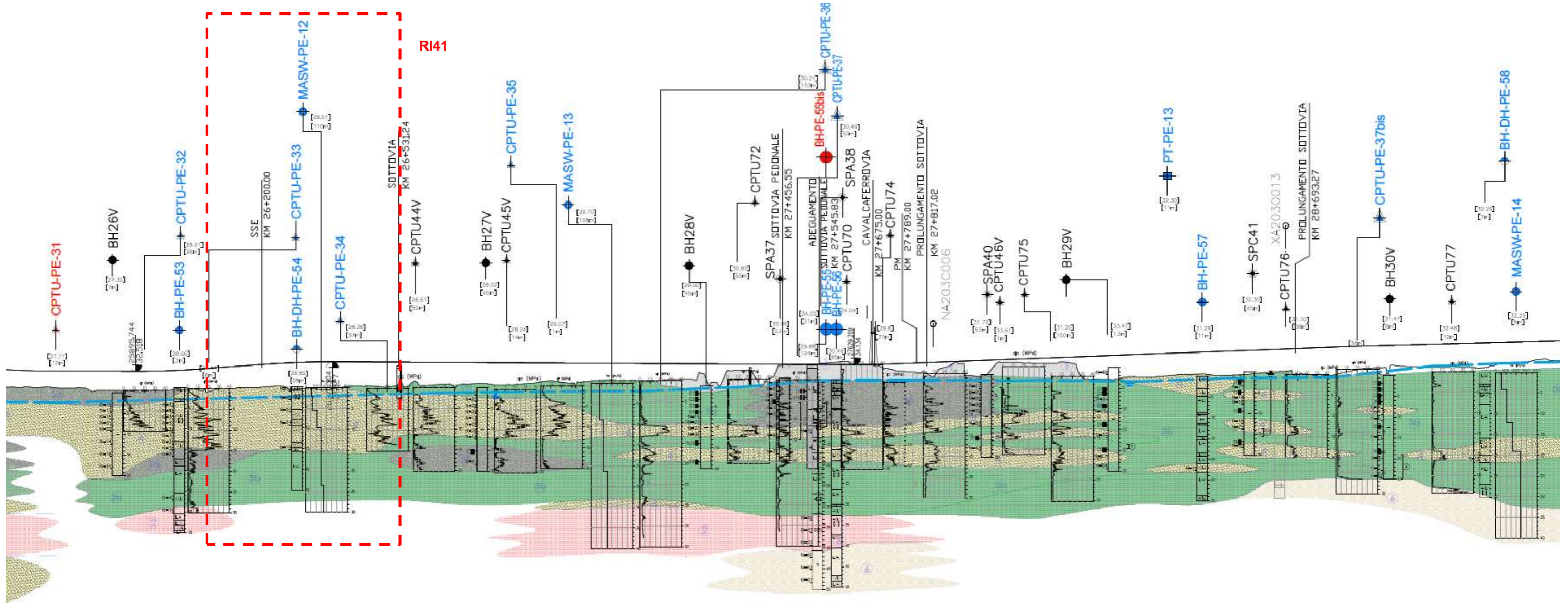




ALTA SORVEGLIANZA



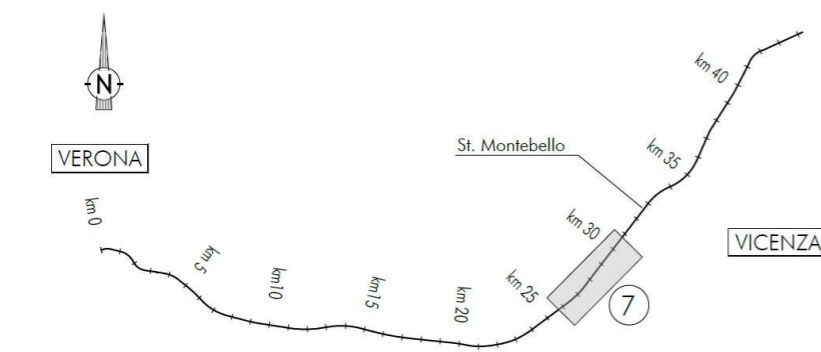
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI4100001A	54 di 84



GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 55 di 84

PIANTA CHIAVE



LEGENDA

- Campagna indagini integrative PE**
- BH-PE-n Sondaggio a carotaggio continuo
 - BH-PZ-PE-n Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande
 - MASW-PE-n Indagine MASW
 - CPTU-PE-n Prova penetrometrica statica con piezocono
- Campagna indagini 2018 per CDS**
- Sondaggio geognostico
- Campagna indagini 2015**
- P1+P15,P20 Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - P1-15Bis Foro a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)
- Campagna indagini 2014**
- SP Sondaggio a carotaggio continuo
 - SPC Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SPCA Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SPAA Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SDC Foro a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SDA Foro a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - CPTU Prova penetrometrica statica con piezocono (possibilità di avanzamento con trivellazione)
 - CPTU* Prova penetrometrica statica con piezocono "tradizionale"
 - CH Foro a distruzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
 - PT Pozzetto esplorativo a 1.5 m da p.c. con prove di carico su piastra
 - Profondità delle indagini
- PT-PE-n** Pozzetto esplorativo
- BH-GH-PE-n** Sondaggio con esecuzione di prova down hole
- CH-PE-n** Sondaggio con esecuzione di prova cross hole
- Indagini ambientali**
- Nota per PE: in blu le indagini disponibili e con coordinate certe; le sigle in rosso si riferiscono ad ulteriori indagini in corso che saranno rese disponibili nel corso dello sviluppo del PE.

Campagna indagini pregresse

- S3 Sondaggio geognostico (campagna 1998)
- KA2680000 Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
- PA3351000 CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
- 4060000 Pozzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (VI) per gentile concessione Centro Idrico Novoleda s.r.l.)

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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI4100001A	56 di 84

ALLEGATO 2 - SONDAGGI



Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI4100001A	57 di 84

Azienda con Sistemi di Gestione certificati da Certiquity - 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: San Bonifacio (VR)

PERFORAZIONE: BH-PE-54 RDP SITO N°: SF210117 PROFONDITA': 25,00 m
ESECUZIONE: 27-28/01/2021 OPERATORE: EL HACHMI RIVESTIMENTO: 25,00 m
COMMESSA: 22036AV-20 RESPONSABILE: MAGHINI QUOTA: -

Indisturbato
 Rimaneggiato
 Ambientale
SPT
PA: punta aperta
PC: punta chiusa

METRI	METRI da P.C.	LITOLOGIA	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	CAMPIONI			P.P. kPa		T.V. kPa		PROVE			METODO UTENSILE	FALDA	DOWN-HOLE
				TIPO	NUM.	PROF.	TIPO	NUM.	PROF.	TIPO	NUM.	PROF.				
1	0.90		Limo argilloso debolmente sabbioso, marrone Presenza di apparati radicali tra 0.00 e 0.10 m				75	35	75	35	SPT1	0.80-1.25	3 - 4 - 8	PA		
2																
3			Sabbia (a grana medio-fine) debolmente limosa, marrone								SPT2	3.00-3.45 m	2 - 7 - 13	PA		
4																
5																
6	5.50										SPT3	6.00-6.45 m	12 - 11 - 10	PA		
7			Sabbia (a grana medio-grossa) ghiaiosa, marrone													
8																
9	7.90		Ghiaia poligenica (da fine a grossolana) arrotondata in matrice sabbiosa (grana medio-grossa); marrone								SPT4	9.00-9.45	15 - 26 - 28	PC		
10																
11			Sabbia (a grana medio-grossa) ghiaiosa, marrone-grigiastro													
12																
13	12.90		Sabbia ghiaiosa limosa, marrone-grigiastro (Incoerente)													
14	13.40		Ghiaia poligenica (da fine a grossolana) arrotondata in matrice sabbiosa (grana medio-grossa); grigio													
15	14.65		Limo con ghiaia, grigio (Poco consistente)								SPT5	15.00-15.45 m	9 - 7 - 7	PC		
16	15.60															
17			Limo argilloso debolmente sabbioso, grigio (Poco consistente)													
18																
19	19.50		Presenza di un livello torboso da 16.00 a 16.10 m													
20			Limo argilloso, grigio (Poco consistente)													

Il Direttore Tecnico SOA:
ing. Massimo De lasi

SF210117_BH-PE-54 - pag 1 di 4

Il Responsabile Prove in Sito:
dott. Massimo Romagnoli

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI4100001A

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 Barola, 101-103 - 20120 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: San Bonifacio (VR)

PERFORAZIONE: BH-PE-54
ESECUZIONE: 27-28/01/2021
COMMESSA: 22036AV-20

RDP SITO N°: SF210117
OPERATORE: EL HACHMI
RESPONSABILE: MAGHINI

PROFONDITA': 25,00 m
RIVESTIMENTO: 25,00 m
QUOTA: -

Indisturbato
 Rimaneggiato
 Ambientale

SPT
PA: punta aperta
PC: punta chiusa

METRI	METRI da P.C.	LITOLOGIA	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	CAMPIONI			PROVE			DOWN-HOLE				
				TIPO	NUM.	PROF.	TIPO	NUM.	PROF.	METODO	UTENSIL	FALDA		
21		Limo argilloso, grigio (Poco consistente)												
22														
23														
24														
24.65														
25		Limo, grigio												
25.00		Presenza di frequenti intercalazioni sabbiose (3-4 cm)												
		FINE SONDAGGIO												
26		nota: approvvigionamento idrico												
27														
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														

Il Direttore Tecnico SOA:
ing. Massimo De Iasi

SF210117_BH-PE-54 - pag 2 di 4

Il Responsabile Prove in Sito:
dott. Massimo Romagnoli

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI4100001A

Foglio
59 di 84

Azienda con Sistemi di Gestione certificati da Certquality - 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 - 20120 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: San Bonifacio (VR)

PERFORAZIONE: BH-PE-54
ESECUZIONE: 27-28/01/2021
COMMESSA: 22036AV-20

RDP SITO N°: SF210117
OPERATORE: EL HACHMI
RESPONSABILE: MAGHINI

PROFONDITA': 25,00 m
RIVESTIMENTO: 25,00 m
QUOTA: -

Indisturbato
 Rimaneggiato
 Ambientale

SPT
PA: punta aperta
PC: punta chiusa

UBICAZIONE

LOCALITA': San Bonifacio (VR)

PERFORAZIONE: BH-PE-54
UBICAZIONE: Lat.: 45.404802° N
Long.: 11.333217° E



Ubicazione sondaggio



Cassetta 1: 0.00 - 5.00 m da p.c.



Cassetta 2: 5.00 - 10.00 m da p.c.

Il Direttore Tecnico SOA:
ing. Massimo De Iasi

SF210117_BH-PE-54 - pag 3 di 4

Il Responsabile Prove in Sito:
dott. Massimo Romagnoli

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4100001A

Foglio

60 di 84

Azienda con Sistemi di Gestione certificata da Certquality - 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.na 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: San Bonifacio (VR)

PERFORAZIONE: BH-PE-54
ESECUZIONE: 27-28/01/2021
COMMESSA: 22036AV-20

RDP SITO N°: SF210117
OPERATORE: EL HACHMI
RESPONSABILE: MAGHINI

PROFONDITA': 25,00 m
RIVESTIMENTO: 25,00 m
QUOTA: -

Indisturbato
 Rimaneggiato
 Ambientale

SPT
PA: punta aperta
PC: punta chiusa



Cassetta 3: 10.00 - 15.00 m da p.c.



Cassetta 4: 15.00 - 20.00 m da p.c.



Cassetta 5: 20.00 - 25.00 m da p.c.

Il Direttore Tecnico SOA:
ing. Massimo De Iasi

SF210117_BH-PE-54 - pag 4 di 4

Il Responsabile Prove in Sito:
dott. Massimo Romagnoli

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI4100001A	61 di 84

ALLEGATO 3 - SEZ. N° 20 - TABULATI DI SLIDE

Slide Analysis Information

RI41

Project Summary

File Name:	RI41.slmd
Slide Modeler Version:	9.012
Project Title:	SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created:	19/05/2021, 12:16:50

Currently Open Scenarios

Group Name	Scenario Name	Global Minimum	Compute Time
Statica A2+M2+R2	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.275980 Spencer: 1.275610 Gle/morgenstern-price: 1.272070	00h:00m:04.328s
Sismica kv+	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.139740 Spencer: 1.140540 Gle/morgenstern-price: 1.143910	00h:00m:03.631s
Sismica kv-	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.123070 Spencer: 1.122590 Gle/morgenstern-price: 1.128680	00h:00m:03.295s

General Settings

Units of Measurement:	Metric Units
Time Units:	days
Permeability Units:	meters/second
Data Output:	Standard
Failure Direction:	Left to Right

Design Standard

◆ Statica A2+M2+R2

RI41

giovedì 20 maggio 2021

Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
Name: NTC2008 A2+M2+R2 Statica

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

◆ **Sismica kv+**

Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
Name: NTC2008 A2+M2+R2 Sismica

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

◆ **Sismica kv-**

RI41

giovedì 20 maggio 2021

Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
Name: NTC2008 A2+M2+R2 Sismica

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



All Open Scenarios

Slices Type:	Vertical
Analysis Methods Used	
	Bishop simplified
	GLE/Morgenstern-Price with interslice force function (Half Sine)
	Spencer
Number of slices:	50
Tolerance:	0.005
Maximum number of iterations:	75
Check malpha < 0.2:	Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos:	Yes
Initial trial value of FS:	1
Steffensen Iteration:	Yes

Groundwater Analysis

All Open Scenarios

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 65 di 84

RI41

giovedì 20 maggio 2021

Random Numbers

All Open Scenarios

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

Surface Options

All Open Scenarios

Surface Type: Circular
Search Method: Auto Refine Search
Divisions along slope: 20
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]: 3
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic Loading

◆ Statica A2+M2+R2

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

◆ Sismica kv+

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.081
Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.041

◆ Sismica kv-

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.081
Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.041

Loading

◆ Statica A2+M2+R2

RI41

giovedì 20 maggio 2021

 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	14.4
Orientation:	Vertical
Load Action:	Permanent
 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	61.4
Orientation:	Vertical
Load Action:	Variable
 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	61.4
Orientation:	Vertical
Load Action:	Variable

◆ **Sismica kv+**

 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	14.4
Orientation:	Vertical
Load Action:	Dead
 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	12.3
Orientation:	Vertical
Load Action:	Live
 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	12.3
Orientation:	Vertical
Load Action:	Live

◆ **Sismica kv-**

 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	14.4
Orientation:	Vertical
Load Action:	Dead
 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	12.3
Orientation:	Vertical
Load Action:	Live
 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	12.3
Orientation:	Vertical
Load Action:	Live

RI41

giovedì 20 maggio 2021

Materials

Rilevato

Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m ³]	20
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	20
Cohesion [kPa]	0
Friction Angle [deg]	38
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Value	0

U4 superficiale

Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m ³]	19,5
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	20
Cohesion [kPa]	0
Friction Angle [deg]	38
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Value	Automatically Calculated

U4 profondo

Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m ³]	19,5
Cohesion [kPa]	0
Friction Angle [deg]	38
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Value	Automatically Calculated



Materials In Use

Material	Statica A2+M2+R2	Sismica kv+	Sismica kv-
Rilevato 	✓	✓	✓
U4 superficiale 	✓	✓	✓
U4 profondo 	✓	✓	✓

Global Minimums

◆ Statica A2+M2+R2

Method: bishop simplified

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 68 di 84

RI41

giovedì 20 maggio 2021

FS	1.275980
Center:	43.752, 32.253
Radius:	19.428
Left Slip Surface Endpoint:	30.378, 18.161
Right Slip Surface Endpoint:	42.512, 12.865
Resisting Moment:	5917.09 kN-m
Driving Moment:	4637.3 kN-m
Total Slice Area:	21.4233 m ²
Surface Horizontal Width:	12.1337 m
Surface Average Height:	1.7656 m

Method: spencer



FS	1.275610
Center:	43.752, 32.253
Radius:	19.428
Left Slip Surface Endpoint:	30.378, 18.161
Right Slip Surface Endpoint:	42.512, 12.865
Resisting Moment:	5915.37 kN-m
Driving Moment:	4637.3 kN-m
Resisting Horizontal Force:	268.892 kN
Driving Horizontal Force:	210.795 kN
Total Slice Area:	21.4233 m ²
Surface Horizontal Width:	12.1337 m
Surface Average Height:	1.7656 m

Method: gle/morgenstern-price

FS	1.272070
Center:	43.752, 32.253
Radius:	19.428
Left Slip Surface Endpoint:	30.378, 18.161
Right Slip Surface Endpoint:	42.512, 12.865
Resisting Moment:	5898.97 kN-m
Driving Moment:	4637.3 kN-m
Resisting Horizontal Force:	268.55 kN
Driving Horizontal Force:	211.113 kN
Total Slice Area:	21.4233 m ²
Surface Horizontal Width:	12.1337 m
Surface Average Height:	1.7656 m

◆ **Sismica kv+**
Method: bishop simplified

FS	1.139740
Center:	41.866, 24.680
Radius:	11.966
Left Slip Surface Endpoint:	31.830, 18.161
Right Slip Surface Endpoint:	43.740, 12.861
Resisting Moment:	3078.6 kN-m
Driving Moment:	2701.14 kN-m
Total Slice Area:	21.0932 m ²
Surface Horizontal Width:	11.9101 m
Surface Average Height:	1.77104 m

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 69 di 84

RI41

giovedì 20 maggio 2021

Method: spencer

FS	1.140540
Center:	42.554, 27.736
Radius:	14.896
Left Slip Surface Endpoint:	31.143, 18.161
Right Slip Surface Endpoint:	43.418, 12.865
Resisting Moment:	3860.9 kN-m
Driving Moment:	3385.14 kN-m
Resisting Horizontal Force:	231.401 kN
Driving Horizontal Force:	202.887 kN
Total Slice Area:	20.9515 m ²
Surface Horizontal Width:	12.2755 m
Surface Average Height:	1.70677 m



Method: gle/morgenstern-price

FS	1.143910
Center:	41.548, 24.185
Radius:	11.380
Left Slip Surface Endpoint:	31.893, 18.161
Right Slip Surface Endpoint:	42.713, 12.865
Resisting Moment:	2865.41 kN-m
Driving Moment:	2504.93 kN-m
Resisting Horizontal Force:	222.632 kN
Driving Horizontal Force:	194.624 kN
Total Slice Area:	20.6288 m ²
Surface Horizontal Width:	10.8192 m
Surface Average Height:	1.90668 m

◆ Sismica kv-
Method: bishop simplified

FS	1.123070
Center:	41.871, 24.688
Radius:	11.976
Left Slip Surface Endpoint:	31.829, 18.161
Right Slip Surface Endpoint:	43.756, 12.861
Resisting Moment:	2840.02 kN-m
Driving Moment:	2528.8 kN-m
Total Slice Area:	21.1065 m ²
Surface Horizontal Width:	11.9275 m
Surface Average Height:	1.76957 m

Method: spencer

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 70 di 84

RI41

giovedì 20 maggio 2021

FS	1.122590
Center:	41.871, 24.688
Radius:	11.976
Left Slip Surface Endpoint:	31.829, 18.161
Right Slip Surface Endpoint:	43.756, 12.861
Resisting Moment:	2838.8 kN-m
Driving Moment:	2528.8 kN-m
Resisting Horizontal Force:	209.606 kN
Driving Horizontal Force:	186.716 kN
Total Slice Area:	21.1065 m2
Surface Horizontal Width:	11.9275 m
Surface Average Height:	1.76957 m

Method: gle/morgenstern-price

FS	1.128680
Center:	42.554, 27.736
Radius:	14.896
Left Slip Surface Endpoint:	31.143, 18.161
Right Slip Surface Endpoint:	43.418, 12.865
Resisting Moment:	3581.56 kN-m
Driving Moment:	3173.23 kN-m
Resisting Horizontal Force:	213.993 kN
Driving Horizontal Force:	189.596 kN
Total Slice Area:	20.9515 m2
Surface Horizontal Width:	12.2755 m
Surface Average Height:	1.70677 m

Global Minimum Support Data

All Open Scenarios

No Supports Present

Entity Information

◆ Statica A2+M2+R2

Shared Entities

RI41

giovedì 20 maggio 2021

Type	Coordinates (x,y)
External Boundary	0.0057814, 0.0110499
	61.521, 0.0110499
	61.521, 8.88775
	61.521, 13.6899
	59.9299, 13.6899
	51.0448, 13.27
	50.3537, 12.4751
	47.6575, 12.454
	47.2037, 12.8672
	46.5831, 12.8646
	45.461, 12.847
	44.4784, 12.847
	44.331, 12.847
	43.5831, 12.8646
	42.5122, 12.8646
	34.5709, 18.1614
	32.9243, 18.1614
	31.2351, 18.1614
	28.6299, 18.1614
	26.7238, 18.1614
	24.1299, 18.1614
	22.6523, 18.1614
	20.7889, 18.1614
14.6928, 14.0953	
13.6219, 14.0953	
13.1219, 13.5953	
12.6723, 13.5953	
12.6219, 13.5953	
12.1219, 14.0953	
11.8391, 14.0953	
11.0788, 13.5884	
-0.0700675, 13.8878	
-0.0427379, 8.88775	
Material Boundary	12.6723, 13.5953
	14.2948, 11.9693
	42.4005, 12.7906
	44.331, 12.847
Material Boundary	-0.0427379, 8.88775
	61.521, 8.88775
Material Boundary	22.6523, 18.1614
	22.6523, 17.3196
	32.9243, 17.3196
	32.9243, 18.1614
Material Boundary	24.1299, 18.1614
	24.1299, 17.8736
	26.7204, 17.8736
	26.7238, 18.1614
Material Boundary	28.6299, 18.1614
	28.6299, 17.9404
	31.2373, 17.9404
	31.2351, 18.1614
Material Boundary	14.2948, 11.9693
	41.577, 12.245
	42.4005, 12.7906
	42.5122, 12.8646

Scenario-based Entities

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica




EI2RBRI4100001A

Foglio

72 di 84

RI41

giovedì 20 maggio 2021

Type	Coordinates (x,y)	Master Scenario
Water Table	-0.0655265, 13.057 13.0863, 13.1805 42.5122, 12.8646 47.2037, 12.8672 47.6575, 12.454 50.3537, 12.4751 51.0448, 13.27 61.5024, 13.6899	Assigned to:  Rilevato  U4 superficiale  U4 profondo
Distributed Load	22.6523, 18.1614 24.1299, 18.1614 26.7238, 18.1614 28.6299, 18.1614 31.2351, 18.1614 32.9243, 18.1614	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 14.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	24.1299, 18.1614 26.7238, 18.1614	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 61.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	28.6299, 18.1614 31.2351, 18.1614	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 61.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No

◆ **Sismica kv+**

Shared Entities

Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4100001A

Foglio

73 di 84

RI41

giovedì 20 maggio 2021

Type	Coordinates (x,y)
External Boundary	0.0057814, 0.0110499
	61.521, 0.0110499
	61.521, 8.88775
	61.521, 13.6899
	59.9299, 13.6899
	51.0448, 13.27
	50.3537, 12.4751
	47.6575, 12.454
	47.2037, 12.8672
	46.5831, 12.8646
	45.461, 12.847
	44.4784, 12.847
	44.331, 12.847
	43.5831, 12.8646
	42.5122, 12.8646
	34.5709, 18.1614
	32.9243, 18.1614
	31.2351, 18.1614
	28.6299, 18.1614
	26.7238, 18.1614
	24.1299, 18.1614
	22.6523, 18.1614
	20.7889, 18.1614
	14.6928, 14.0953
	13.6219, 14.0953
	13.1219, 13.5953
	12.6723, 13.5953
12.6219, 13.5953	
12.1219, 14.0953	
11.8391, 14.0953	
11.0788, 13.5884	
-0.0700675, 13.8878	
-0.0427379, 8.88775	
Material Boundary	12.6723, 13.5953
	14.2948, 11.9693
	42.4005, 12.7906
	44.331, 12.847
Material Boundary	-0.0427379, 8.88775
	61.521, 8.88775
Material Boundary	22.6523, 18.1614
	22.6523, 17.3196
	32.9243, 17.3196
	32.9243, 18.1614
Material Boundary	24.1299, 18.1614
	24.1299, 17.8736
	26.7204, 17.8736
	26.7238, 18.1614
Material Boundary	28.6299, 18.1614
	28.6299, 17.9404
	31.2373, 17.9404
	31.2351, 18.1614
Material Boundary	14.2948, 11.9693
	41.577, 12.245
	42.4005, 12.7906
	42.5122, 12.8646

Scenario-based Entities

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4100001A

Foglio

74 di 84

RI41

giovedì 20 maggio 2021

Type	Coordinates (x,y)	Master Scenario
Water Table	-0.0668042, 11.249 61.5181, 11.249	Assigned to: <div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> Rilevato</div> <div style="display: flex; align-items: center;"> U4 superficiale</div> <div style="display: flex; align-items: center;"> U4 profondo</div> </div>
Distributed Load	22.6523, 18.1614 24.1299, 18.1614 26.7238, 18.1614 28.6299, 18.1614 31.2351, 18.1614 32.9243, 18.1614	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 14.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	24.1299, 18.1614 26.7238, 18.1614	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 12.3 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	28.6299, 18.1614 31.2351, 18.1614	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 12.3 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No

Sismica kv-

Shared Entities

RI41

giovedì 20 maggio 2021

Type	Coordinates (x,y)
External Boundary	0.0057814, 0.0110499
	61.521, 0.0110499
	61.521, 8.88775
	61.521, 13.6899
	59.9299, 13.6899
	51.0448, 13.27
	50.3537, 12.4751
	47.6575, 12.454
	47.2037, 12.8672
	46.5831, 12.8646
	45.461, 12.847
	44.4784, 12.847
	44.331, 12.847
	43.5831, 12.8646
	42.5122, 12.8646
	34.5709, 18.1614
	32.9243, 18.1614
	31.2351, 18.1614
	28.6299, 18.1614
	26.7238, 18.1614
	24.1299, 18.1614
	22.6523, 18.1614
	20.7889, 18.1614
14.6928, 14.0953	
13.6219, 14.0953	
13.1219, 13.5953	
12.6723, 13.5953	
12.6219, 13.5953	
12.1219, 14.0953	
11.8391, 14.0953	
11.0788, 13.5884	
-0.0700675, 13.8878	
-0.0427379, 8.88775	
Material Boundary	12.6723, 13.5953
	14.2948, 11.9693
	42.4005, 12.7906
Material Boundary	44.331, 12.847
	-0.0427379, 8.88775
Material Boundary	61.521, 8.88775
	22.6523, 18.1614
	22.6523, 17.3196
	32.9243, 17.3196
Material Boundary	32.9243, 18.1614
	24.1299, 18.1614
	24.1299, 17.8736
	26.7204, 17.8736
Material Boundary	26.7238, 18.1614
	28.6299, 18.1614
	28.6299, 17.9404
	31.2373, 17.9404
Material Boundary	31.2351, 18.1614
	14.2948, 11.9693
	41.577, 12.245
	42.4005, 12.7906
Material Boundary	42.5122, 12.8646

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI4100001A	76 di 84

RI41

giovedì 20 maggio 2021

Type	Coordinates (x,y)	Master Scenario
Water Table	-0.0668042, 11.249 61.5181, 11.249	Assigned to: <div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> Rilevato</div> <div style="display: flex; align-items: center;"> U4 superficiale</div> <div style="display: flex; align-items: center;"> U4 profondo</div> </div>
Distributed Load	22.6523, 18.1614 24.1299, 18.1614 26.7238, 18.1614 28.6299, 18.1614 31.2351, 18.1614 32.9243, 18.1614	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 14.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	24.1299, 18.1614 26.7238, 18.1614	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 12.3 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	28.6299, 18.1614 31.2351, 18.1614	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 12.3 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4100001A</p>	<p>Foglio 77 di 84</p>

ALLEGATO 4 - SEZ. N° 20 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4100001A

Foglio

78 di 84

Settle3 Analysis Information

RI41

Project Settings

Document Name	RI41.s3z
Date Created	20/05/2021, 12:24:36
Stress Computation Method	Boussinesq
Minimum settlement ratio for subgrade modulus	0.9
Use average properties to calculate layered stresses	
Improve consolidation accuracy	
Ignore negative effective stresses in settlement calculations	

Stage Settings

Stage #	Name
1	Rilevato
2	Ballast

Results

Time taken to compute: 0.107506 seconds

Stage: Rilevato

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4100001A	Foglio 79 di 84
---	------------------	-------------	-----------------------------	--------------------

RI41

venerdì 21 maggio 2021

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [mm]	0	71.1062
Total Consolidation Settlement [mm]	0	0
Virgin Consolidation Settlement [mm]	0	0
Recompression Consolidation Settlement [mm]	0	0
Immediate Settlement [mm]	0	71.1062
Loading Stress ZZ [kPa]	0	106
Loading Stress XX [kPa]	-38.0132	80.6397
Loading Stress YY [kPa]	-44.5807	154.542
Effective Stress ZZ [kPa]	0	272.155
Effective Stress XX [kPa]	-21.9793	289.915
Effective Stress YY [kPa]	-26.387	389.113
Total Stress ZZ [kPa]	0	566.455
Total Stress XX [kPa]	-21.9793	584.215
Total Stress YY [kPa]	-18.58	683.413
Modulus of Subgrade Reaction (Total) [kPa/m]	0	0
Modulus of Subgrade Reaction (Immediate) [kPa/m]	0	0
Modulus of Subgrade Reaction (Consolidation) [kPa/m]	0	0
Total Strain	0	0.00423049
Pore Water Pressure [kPa]	0	294.3
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.61425	271.813
Over-consolidation Ratio	1	1
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [mm]	0	0
Undrained Shear Strength	0	2.47165

Stage: Ballast

RI41

venerdì 21 maggio 2021

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [mm]	0	75.7375
Total Consolidation Settlement [mm]	0	0
Virgin Consolidation Settlement [mm]	0	0
Recompression Consolidation Settlement [mm]	0	0
Immediate Settlement [mm]	0	75.7375
Loading Stress ZZ [kPa]	0	117.6
Loading Stress XX [kPa]	-38.1167	82.0538
Loading Stress YY [kPa]	-43.9892	154.213
Effective Stress ZZ [kPa]	0	273.596
Effective Stress XX [kPa]	-20.4856	290.028
Effective Stress YY [kPa]	-25.4623	388.877
Total Stress ZZ [kPa]	0	567.896
Total Stress XX [kPa]	-20.4856	584.328
Total Stress YY [kPa]	-17.6208	683.177
Modulus of Subgrade Reaction (Total) [kPa/m]	0	153.166
Modulus of Subgrade Reaction (Immediate) [kPa/m]	0	153.166
Modulus of Subgrade Reaction (Consolidation) [kPa/m]	0	0
Total Strain	3.76093e-09	0.00463705
Pore Water Pressure [kPa]	0	294.3
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.614438	273.257
Over-consolidation Ratio	1	1
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [mm]	0	0
Undrained Shear Strength	0	2.58757

Loads

1. Rectangular Load: "Rectangular Load 1"

Length	10.4 m
Width	29 m
Rotation angle	0 degrees
Load Type	Flexible
Area of Load	301.6 m ²
Load	14.4 kPa
Depth	-5.3 m
Installation Stage	Ballast

Coordinates



Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI4100001A	82 di 84

RI41

venerdì 21 maggio 2021

X [m]	Y [m]
-6.93432	0.568
3.46568	0.568
3.46568	29.568
-6.93432	29.568

Embankments

1. Embankment: "Embankment Load 1"

Label	Embankment Load 1						
Center Line	(-1.871, -0.02) to (-1.871, 29.727)						
Near End Angle	90 degrees						
Far End Angle	90 degrees						
Number of Layers	1						
Base Width	28.7						
Layer	Stage	Left Bench Width (m)	Left Angle (deg)	Height (m)	Unit Weight (kN/m3)	Right Angle (deg)	Right Bench Width (m)
1	Rilevato	0	34	5.3	20	34	0

Soil Layers






Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	Bonifica	1.5	0
2	UG4 superficiale	3.5	1.5
3	UG4 profonda	10	5
4	UG3b	10	15
5	UG2	5	25

The diagram shows a vertical cross-section of soil layers. The depth axis is on the right, ranging from 0 to 30 meters. The layers are stacked from top to bottom: a thin grey layer (0-1.5m), a yellow layer (1.5-5m), a green layer (5-15m), an orange layer (15-25m), and a yellow layer (25-30m).

Soil Properties

RI41

venerdì 21 maggio 2021

Property	UG4 superficiale	UG4 profonda	UG3b	UG2
Color				
Unit Weight [kN/m ³]	19.5	19.5	18.5	18.5
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	18	18	18	18
K0	1	1	1	1
Immediate Settlement	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled
Es [kPa]	25000	50000	15000	25000
Esur [kPa]	25000	50000	15000	25000
Undrained Su A [kN/m ²]	0	0	0	0
Undrained Su S	0.2	0.2	0.2	0.2
Undrained Su m	0.8	0.8	0.8	0.8
Piezo Line ID	1	1	1	1
Property	Bonifica			
Color				
Unit Weight [kN/m ³]	20			
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	18			
K0	1			
Immediate Settlement	Enabled			
Es [kPa]	50000			
Esur [kPa]	50000			
Undrained Su A [kN/m ²]	0			
Undrained Su S	0.2			
Undrained Su m	0.8			
Piezo Line ID	1			

Groundwater

Groundwater method

Piezometric Lines

Water Unit Weight

9.81 kN/m³

Piezometric Line Entities

ID	Depth (m)
1	0 m

Query Lines

Line #	Query Line Name	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	Query Line 1	-45.968, 15.068	42.226, 15.068	200	Auto: 63

Field Point Grid

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+065,14 a pk 26+531,24
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4100001A

Foglio

84 di 84

RI41

venerdì 21 maggio 2021

Number of points 420
Expansion Factor 3

Grid Coordinates

X [m]	Y [m]
42.226	59.474
42.226	-29.767
-45.968	-29.767
-45.968	59.474