

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+531,24 a pk 26+957,72

GENERALE

Relazione Geotecnica

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA
IL PROGETTISTA INTEGRATORE Ing. Giovanni MALAVENDA Insieme all'ordine degli ingegneri di Venezia n. 4289 Data: Maggio 2021	Consorzio Iricav Due 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	2	0	0	0	0	1	A	-	-	-	P	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---



VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
Firma	Data
Luca RANDOLFI	Maggio 2021

Progettazione:								
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	N. Valimberti <i>Nico Valimberti</i>	Maggio 2021	V. Pastore <i>V. Pastore</i>	Maggio 2021	P. Ascari <i>Paolo Ascari</i>	Maggio 2021	P. Ascari
								Data: Maggio 2021

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712E12RBRI4200001A_02.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 2 di 82

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1	Documentazione di progetto	5
2.2	Normativa e standard di riferimento	5
2.3	Bibliografia	6
3	INQUADRAMENTO DELL'OPERA	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	41
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite	41
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU)	41
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE)	43
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche	43
6.2	Azioni di progetto	44
6.2.1	Azioni permanenti	44
6.2.2	Azioni variabili	44

GENERAL CONTRACTOR





ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI4200001A	3 di 82

6.2.3	Azione sismica	44
6.3	Verifiche e risultati SLU	45
6.3.1	Premessa	45
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche	45
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche	46
6.4	Verifica e risultati SLE	48
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	53
	Allegati	54
	ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO	55
	ALLEGATO 2 - INDAGINI DISPONIBILI	57
	ALLEGATO 3 - SEZ. N° 12 - TABULATI DI SLIDE	60
	ALLEGATO 4 - SEZ. N° 12 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE	76

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 4 di 82

1 INTRODUZIONE



Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI42, 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+531,24 ed il km 26+957,72.

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+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 5 di 82

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+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4200001A</p>	<p>Foglio 6 di 82</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+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4200001A</p>	<p>Foglio 7 di 82</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+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI420001A	Foglio 8 di 82

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame è quello relativo alla Linea AV che si estende dalla pk 26+531,24 alla pk 26+957,72, per una lunghezza totale di 425,98 m.

3.1 Geometria del rilevato

Il rilevato, lungo 425,98 m, presenta nel suo sviluppo una altezza variabile da 4,0 a circa 5,0 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 12 alla pk 26+800 che risulta la più rappresentativa sia per altezza massima del rilevato sia per geometria.

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

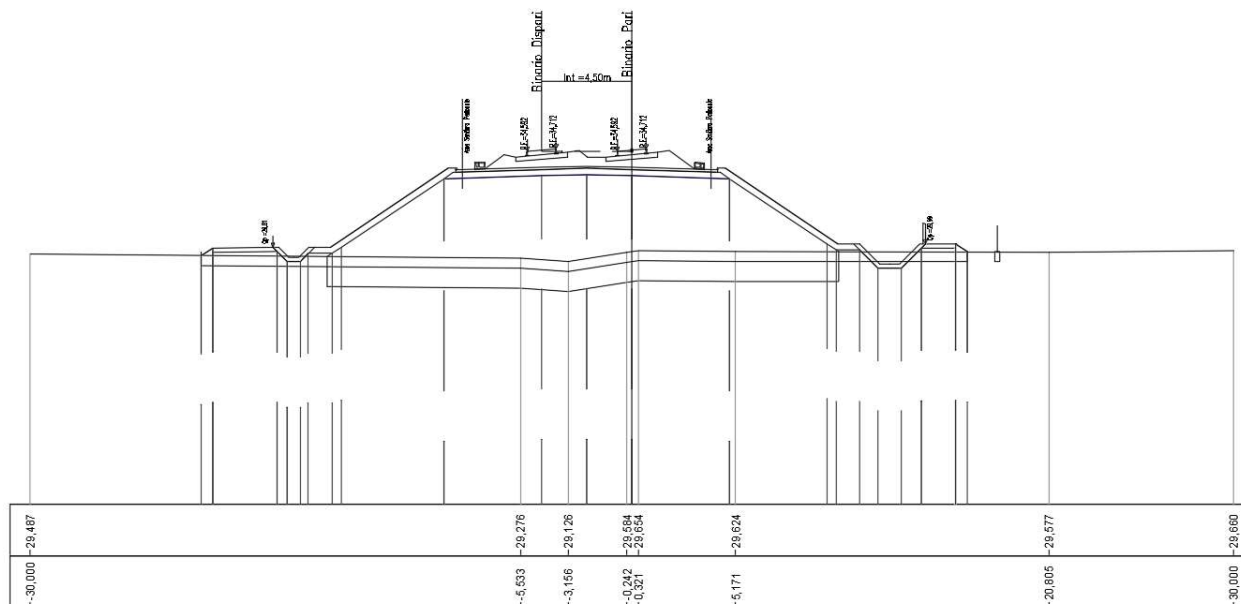




Figura 1 – Sezione di riferimento n. 12 alla pk 26+800 estratta da sezioni PE (Doc Rif.[1])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 9 di 82

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]) ..

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+531,24 a pk 26+957,72

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
26+550	CPTU44V	2015
26+725	BH27V	2015
26+775	CPTU45V	2015
26+801	CPTU-PE-35	2020-2021

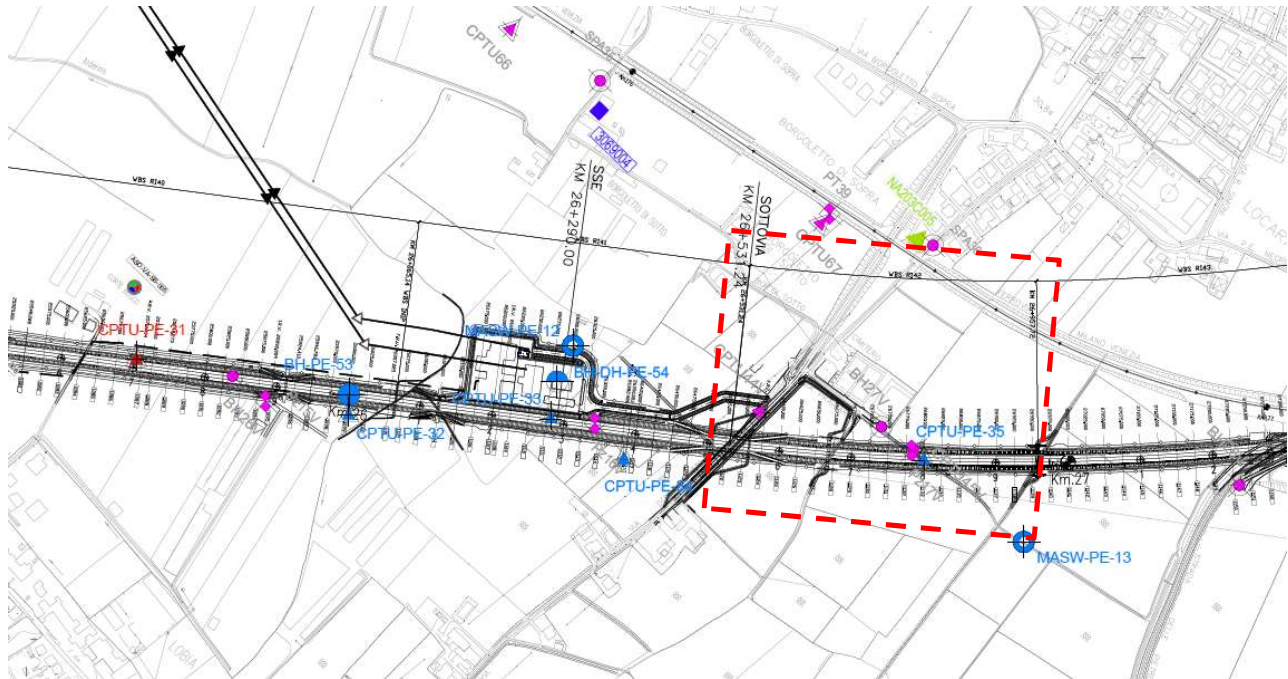


Figura 2 - Planimetria Rilevato R42, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif.[6])

4.2 Inquadramento stratigrafico

L'andamento stratigrafico nell'area è caratterizzato dalla presenza, al di sotto di uno strato di riporto e materiale coesivo (Unità 3b), di un deposito costituito da sabbia limosa, passante in profondità a sabbia ghiaiosa limosa (unità 4). Lo spessore dello strato superficiale si mantiene intorno ai 2-3 nella gran parte della tratta in esame per poi approfondirsi nel tratto terminale del rilevato oggetto del presente elaborato. Anche lo spessore del sottostante strato sabbioso si mantiene intorno ai 9-10 m per la gran parte della tratta, riducendo ove lo strato sovrastante va approfondendosi.

In profondità, al di sotto del banco sabbioso e fino ai 25 m circa, come risulta dalle indagini eseguite nei lotti adiacenti, è presente perlopiù terreno argilloso (Unità 3b) intervallato tra le quote -15 m e -20 m da p.c. da uno strato di materiale riconducibile all'Unità 3a/b, ovvero sia alternanza, sia verticalmente che planimetricamente, di materiale a comportamento incoerente (sabbie e limi) e materiale coesivo compatto.

Oltre i 25 metri trovano posto, verosimilmente, i materiali a comportamento coesivo 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 R42, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico (Doc. Rif. [6]).

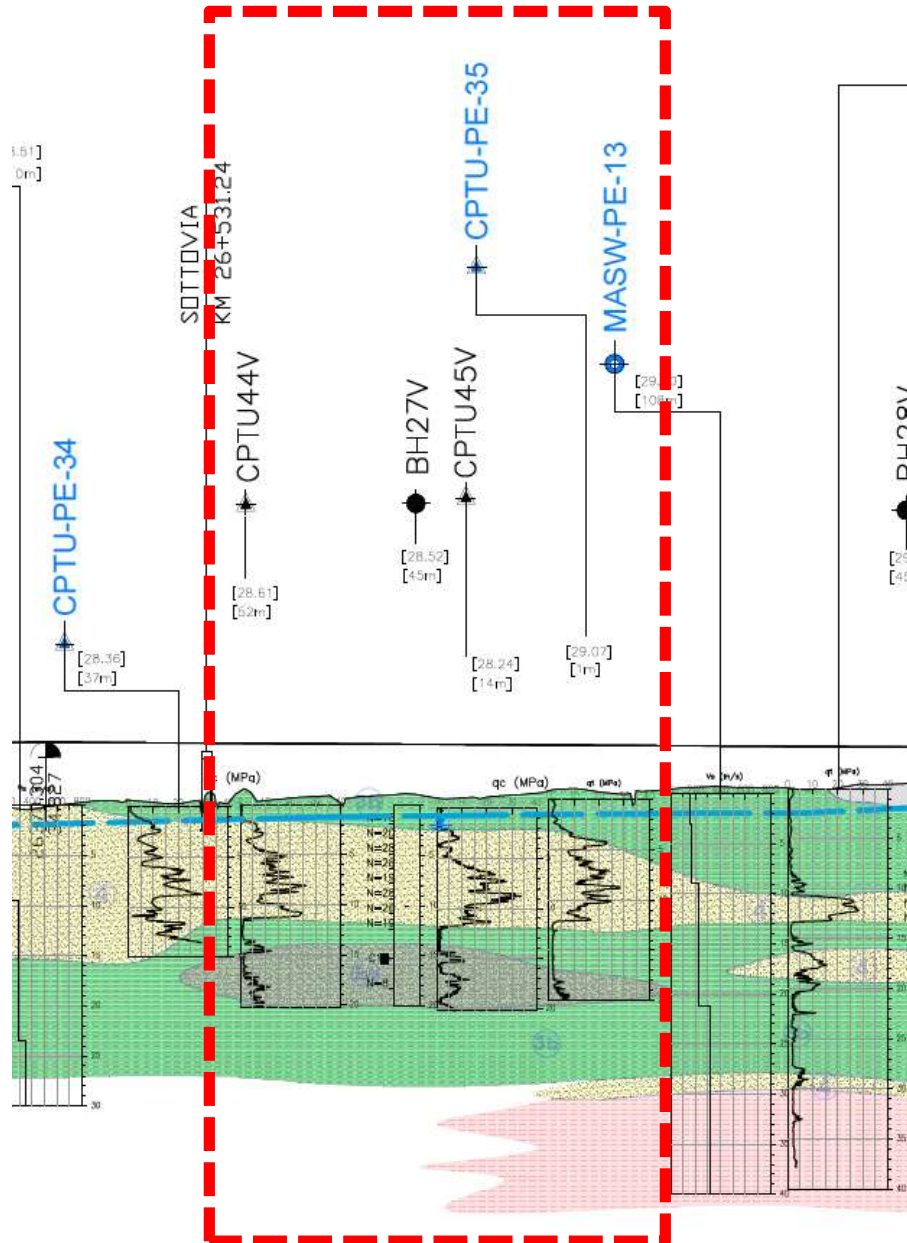




Figura 3 - Profilo Geotecnico Rilevato RI42, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [6])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 12 di 82

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 prove CPTU.

In superficie, vi è uno strato di materiali alternati di natura fine e grossolana, di spessore 2-4 m, con resistenze alla punta nel campo 2-5 MPa.

Successivamente, vi è un uniforme banco di sabbie con valori di q_c crescenti con la profondità da un minimo di circa 10 MPa in sommità, fino ad arrivare nel campo 20-25 MPa alla base dello strato., posta a circa 12 m di profondità dal p.c.

Al disotto, e fino alle massime profondità indagate (20 m). sono presenti fitte alternanze di materiali coesivi relativamente compatte (Unità 3b, con $q_c = 1.0-2.0\text{MPa}$) , e livelletti sabbioso limosi ($q_c= 5-10\text{MPa}$) .

Per l'Unità 4 si registrano valori di N_{SPT} compresi tra 20 e 30 colpi/30cm. Per il materiale fine l'unico valore registrato in superficie è pari a 16 colpi/30cm, mentre il valore registrato a 18 metri è di soli 8 colpi/30cm (Unità mista 3a/b).

La densità relativa, calcolata per il solo materiale granulare dell'Unità 4, risulta variabile fra il 60% e il 80%, con un buon accordo fra dati SPT e CPT (Figura 7 e Figura 8).



L'angolo di resistenza al taglio, si assesta nell'intervallo 38-41°, con una variabilità piuttosto contenuta (Figura 9 e Figura 10)

I materiali argillosi sottostanti si presentano come limi argillosi di plasticità medio-bassa(Figura 11 e Figura 12), e valori di minimi di resistenza al taglio non drenata di 60-70 kPa (Figura 13) . Si sottolinea che la resistenza al taglio disponibile mediamente in tale strato deve comunque essere considerata più elevata, in virtù della fitta presenza di intercalazioni sabbiose.

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 (BH27V) 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 13). I profili MASW locale e quello delle Vs generale dell'intera tratta sono confrontabili tra loro con uno scarto generalmente contenuto entro i 30 m/s. Le prove SPT confermano l'andamento generale dello strato superficiale.

Il valore di Vs per lo strato superficiale Unità 3b è compreso tra 150 e 200 m/s. I valori di Vs per le sabbie sono compresi tra 150 m/s e 200 m/s fino a 8 metri di profondità circa, e tra 200 m/s e 250 m/s da 8 a 12 metri di profondità dove termina il banco di materiale incoerente. A profondità maggiori, ovvero oltre i 12 metri, le velocità restano comprese tra i 200 m/s e 2500 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). Impiegando le

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 13 di 82

risultanze delle prove SPT, per le sabbie si ottengono valori compresi tra 50 MPa e 100 MPa, mentre gli strati profondi si ottengono valori compresi tra 100 MPa e 150 MPa. Oltre i 20 metri i valori salgono e risultano compresi tra 150 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.

AV/AC VERONA VICENZA

RI42 da pk 26+531,24 a pk 26+957,72

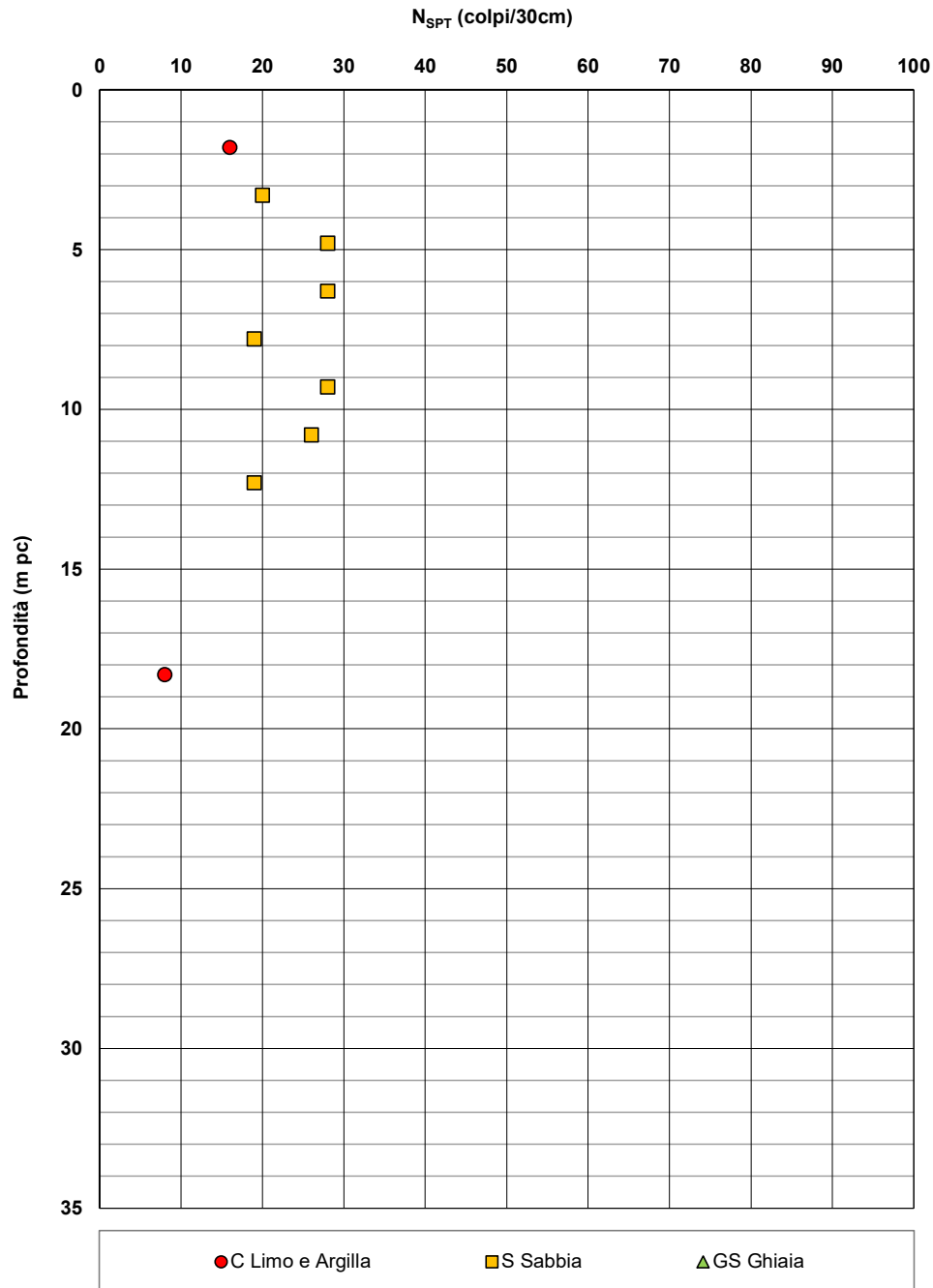


Figura 4 – Esito delle prove SPT – RI42 (pk 26+531 ÷ 26+957)

Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4200001A

Foglio

15 di 82

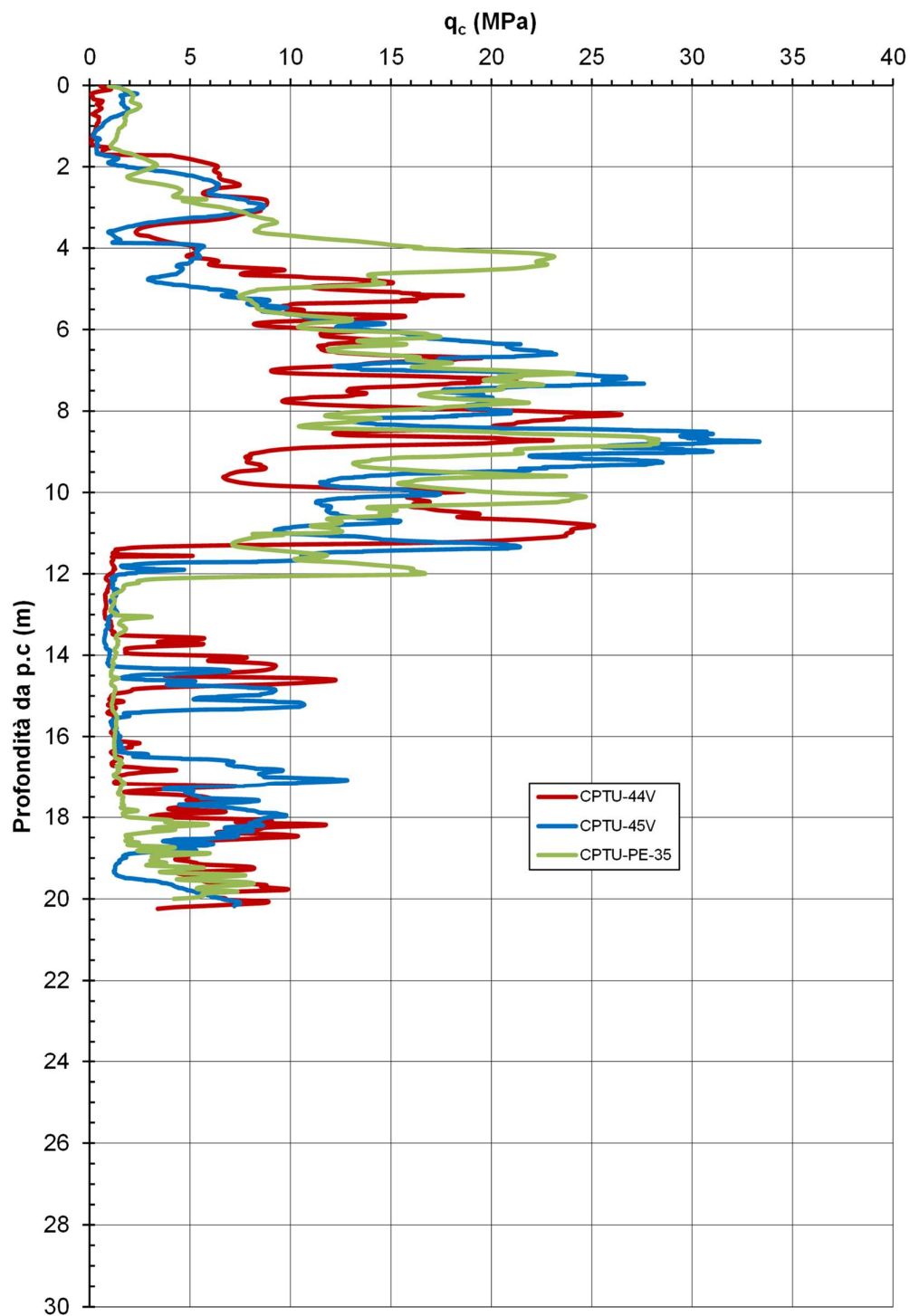


Figura 5 – Esito delle prove CPTU – RI42 (pk 26+531 ÷ 26+957)

AV/AC VERONA VICENZA

RI42 da pk 26+531,24 a pk 26+957,72

Contributi granulometrici (%)

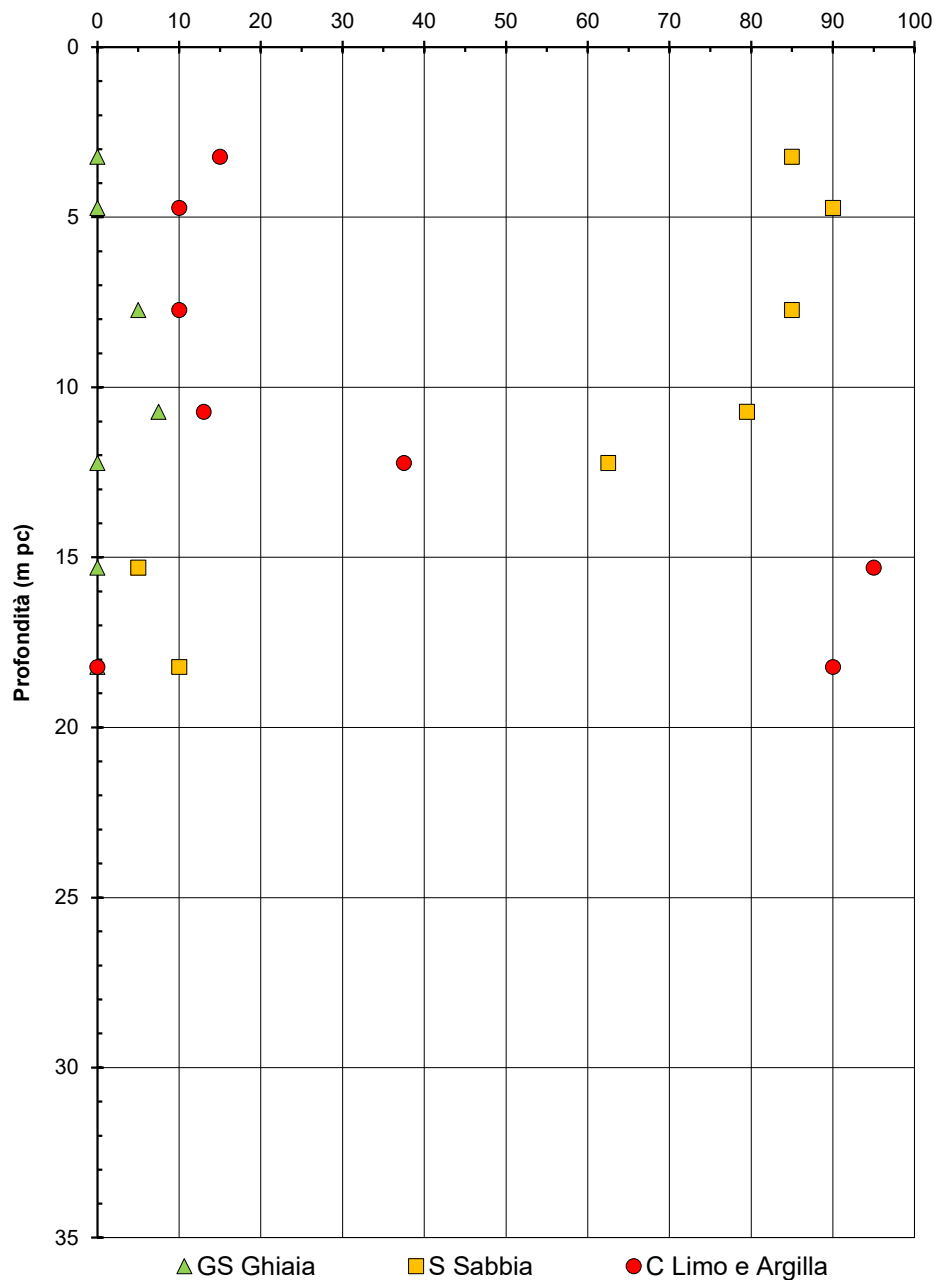


Figura 6 – Sintesi analisi granulometriche – RI42 (pk 26+531 ÷ 26+957)

AV/AC VERONA VICENZA

RI42 da pk 26+531,24 a pk 26+957,72

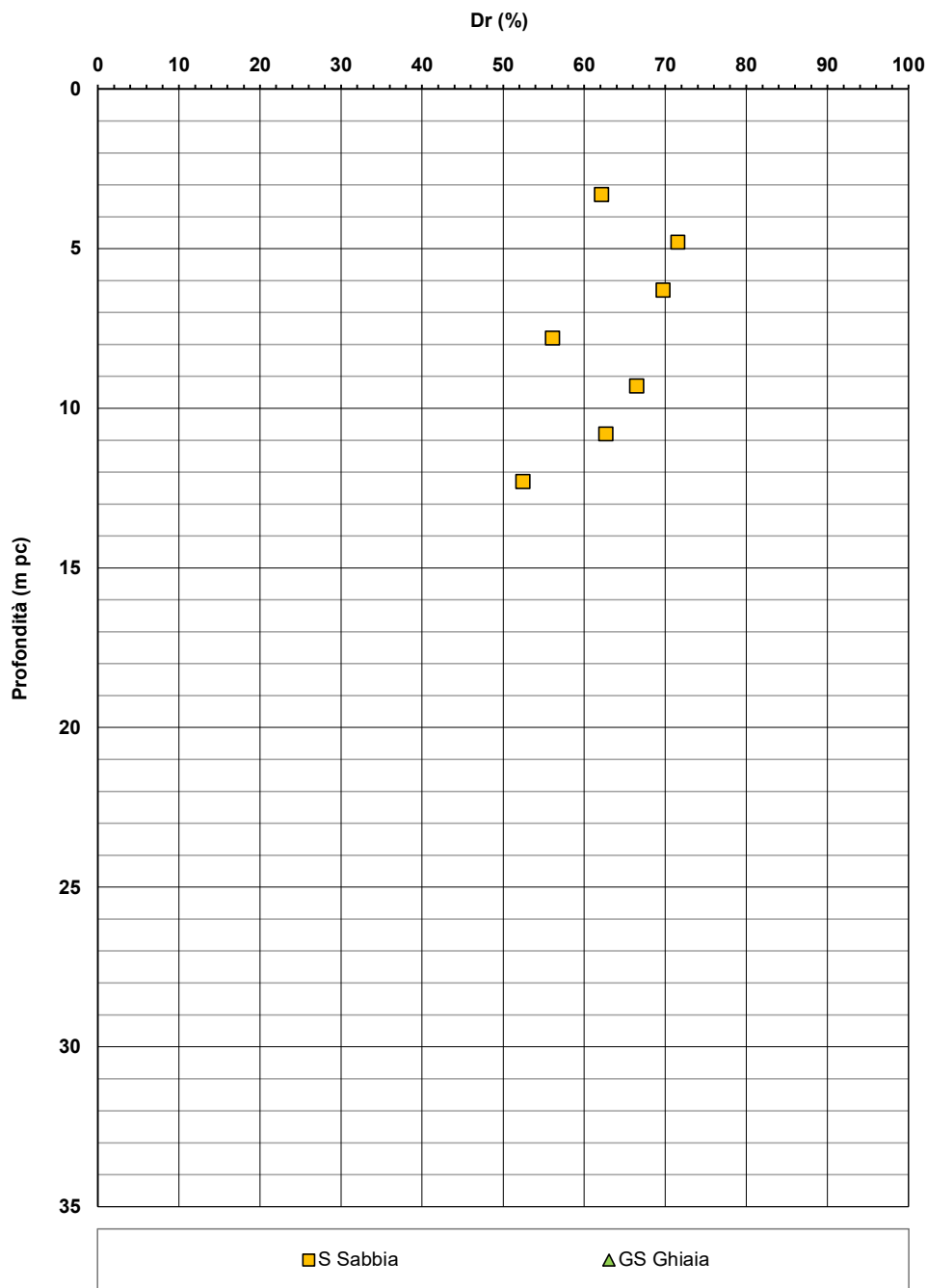


Figura 7 – Densità relativa da prove SPT - RI42 (pk 26+531 ÷ 26+957)

Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI4200001A

Foglio
18 di 82

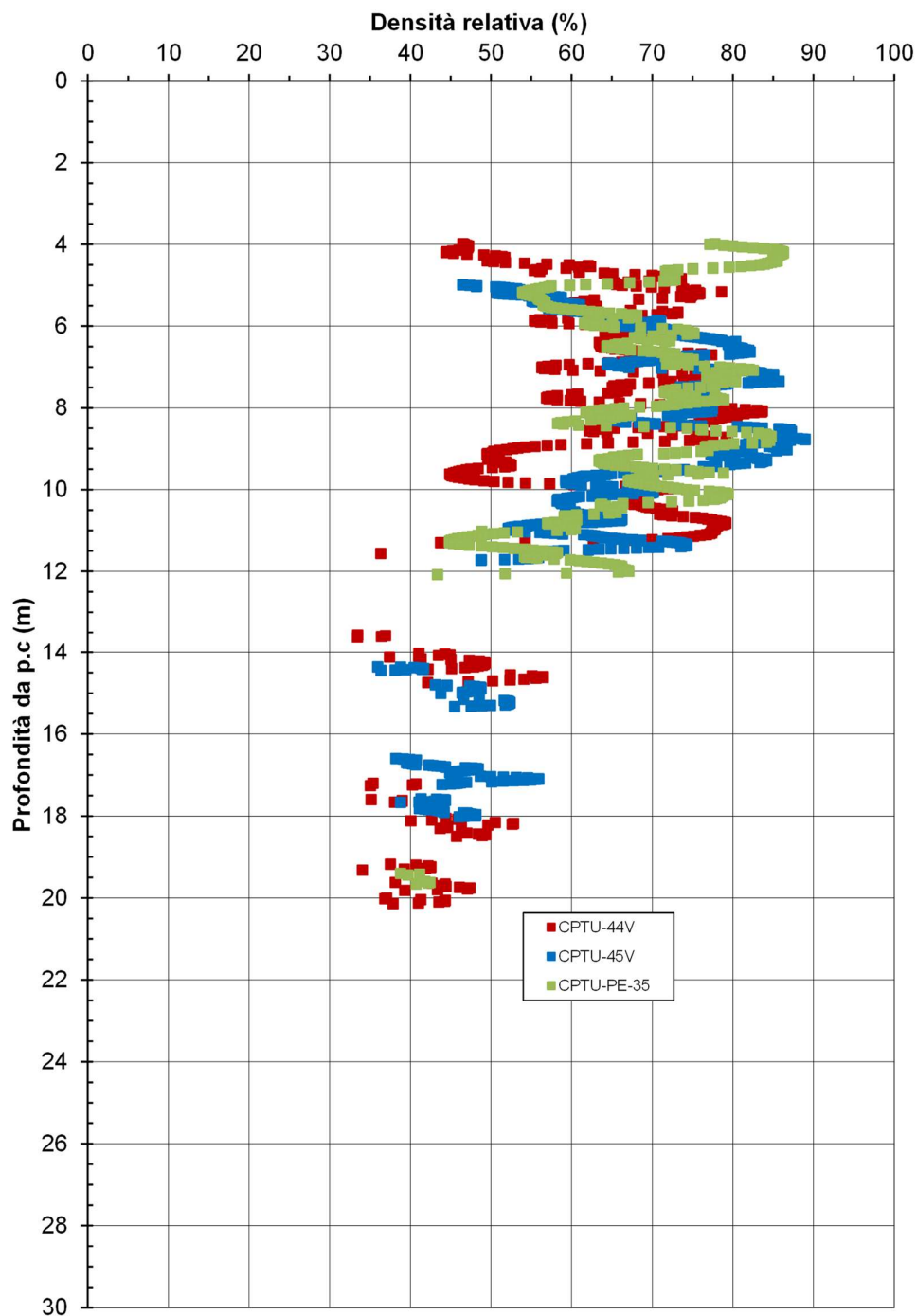


Figura 8 – Densità relativa da prove CPTU - RI42 (pk 26+531 ÷ 26+957)

AV/AC VERONA VICENZA

RI42 da pk 26+531,24 a pk 26+957,72

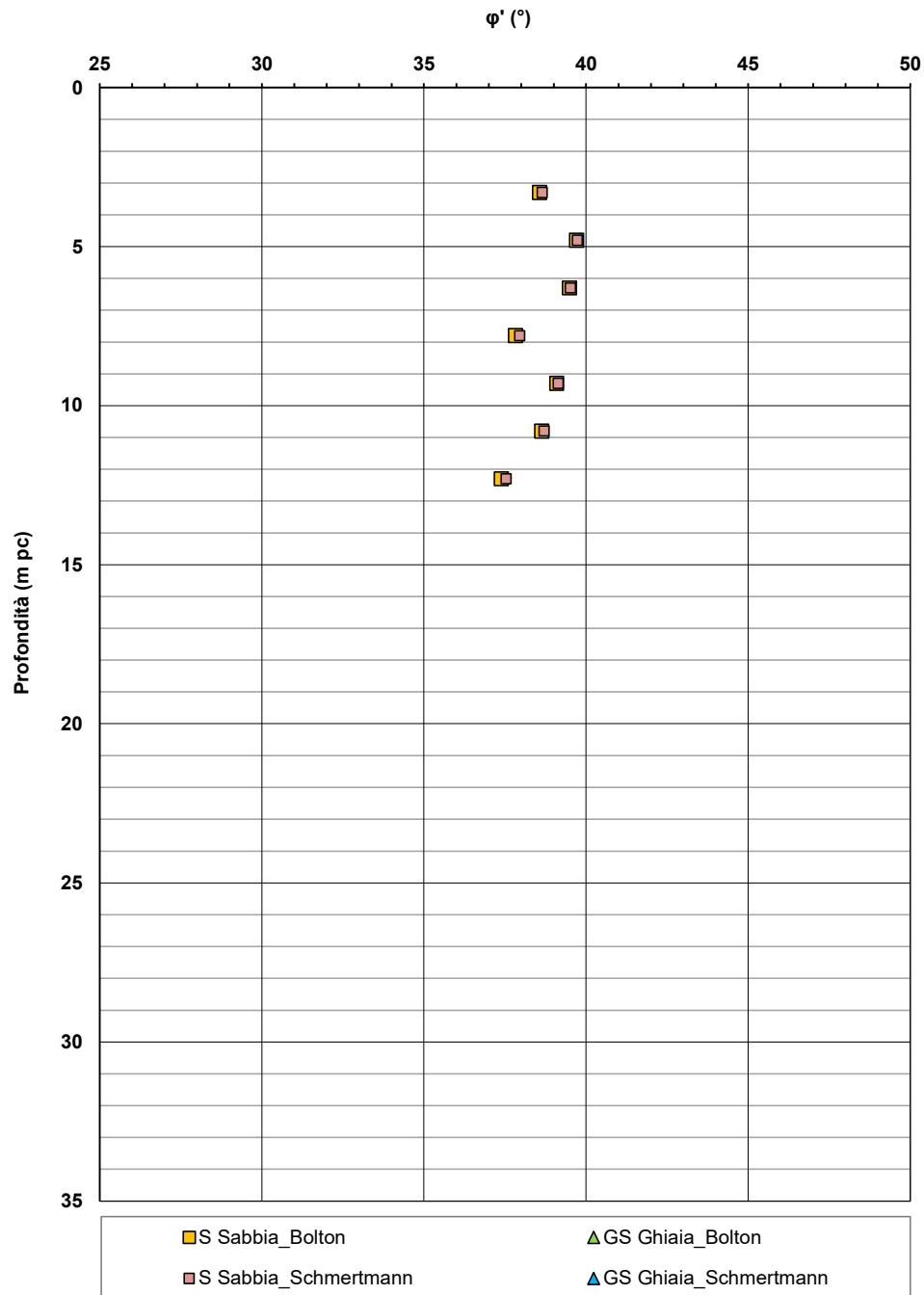


Figura 9 – Angolo di resistenza al taglio da prove SPT - RI42 (pk 26+531 ÷ 26+957)

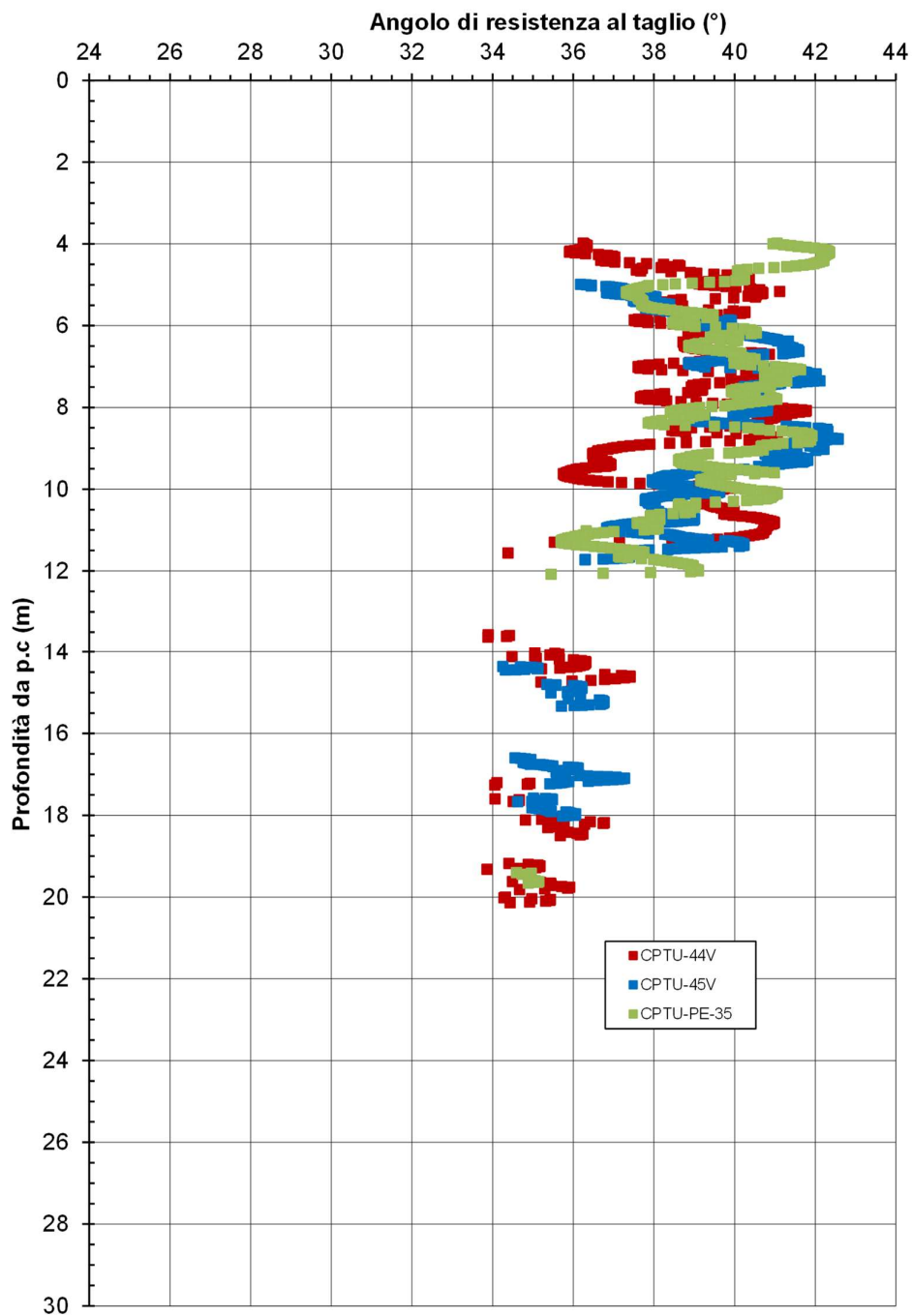


Figura 10 – Angolo di resistenza al taglio da prove CPTU - RI42 (pk 26+531 ÷ 26+957)

AV/AC VERONA VICENZA

RI42 da pk 26+531,24 a pk 26+957,72

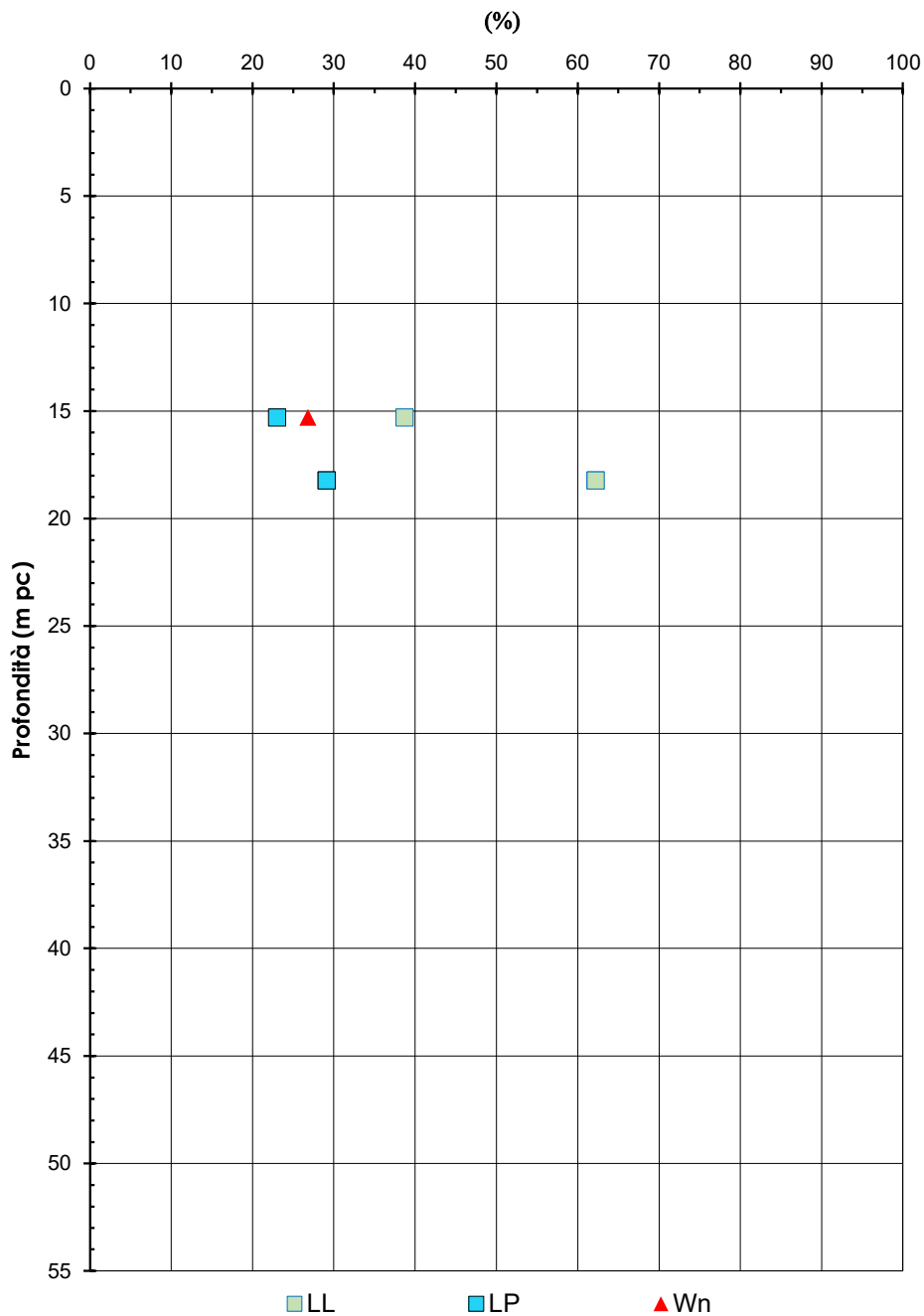


Figura 11 – Contenuto d’acqua, limite liquido e limite plastico - RI42 (pk 26+531 ÷ 26+957)

Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI4200001A

Foglio
22 di 82

AV/AC VERONA VICENZA

RI42 da pk 26+531,24 a pk 26+957,72

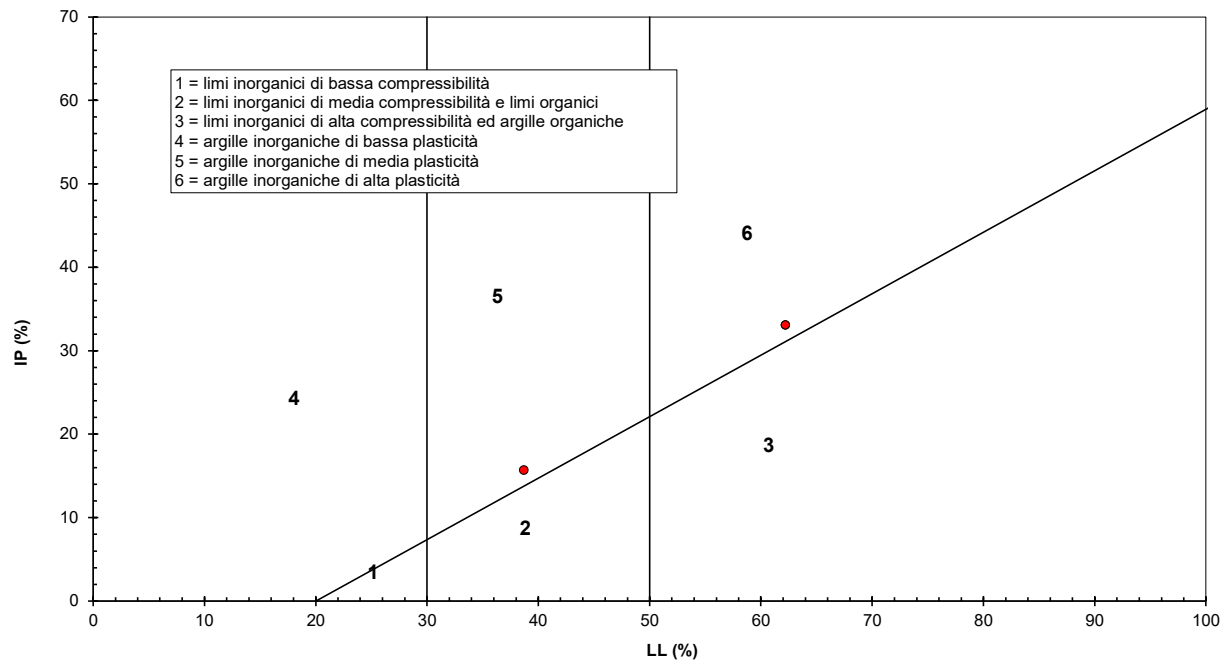


Figura 12 – Carta di Casagrande - RI42 (pk 26+531 ÷ 26+957)

Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI4200001A

Foglio
23 di 82

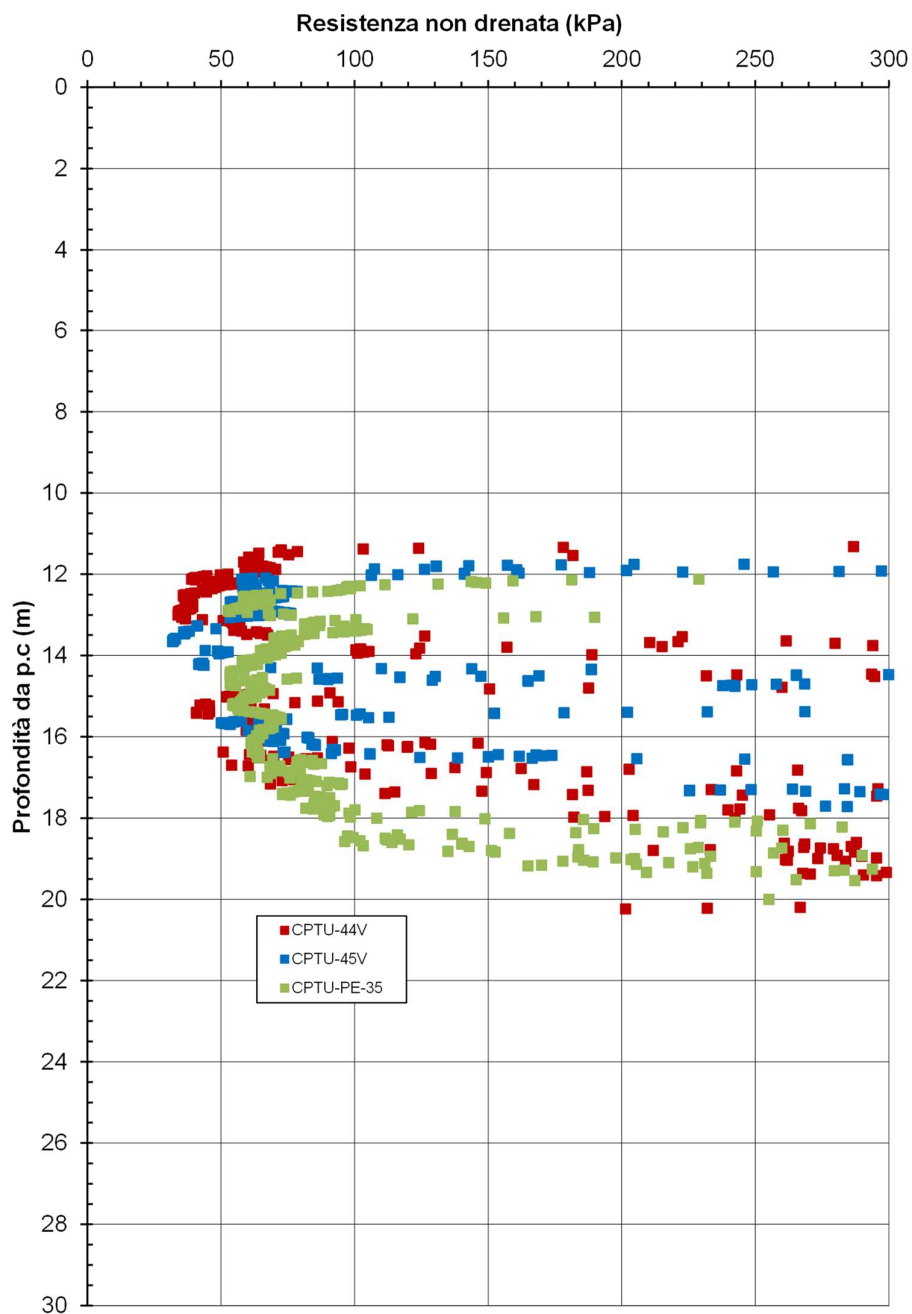


Figura 13 – Resistenza al taglio non drenata da CPTU - RI42 (pk 26+531 ÷ 26+957)

AV/AC VERONA VICENZA

RI42 da pk 26+531,24 a pk 26+957,72

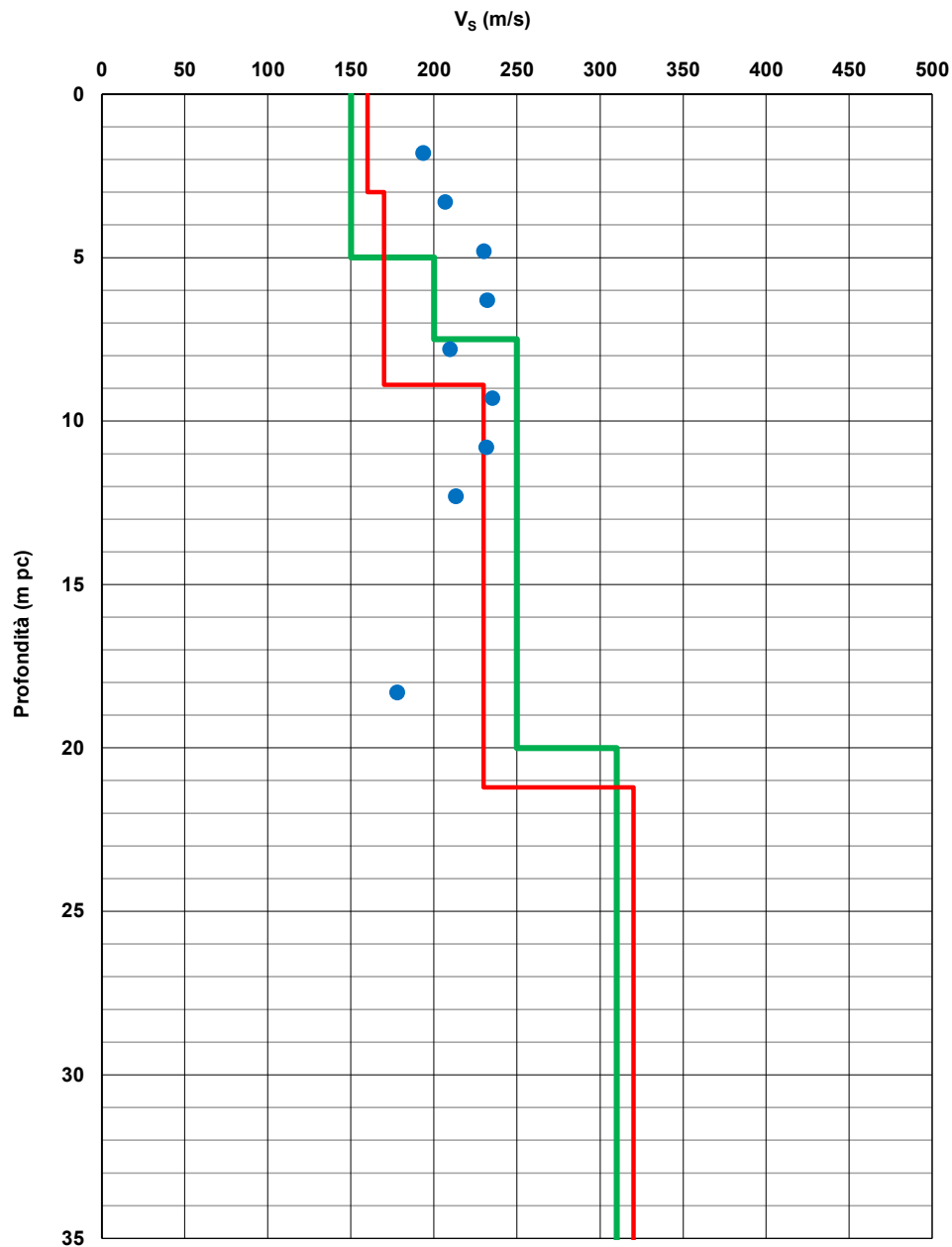


Figura 14 – Confronto V_s con dati di correlazioni con SPT (blu) e prova DH (rosso) di RI42 e Profilo generale (verde) tra pk 24+000 a pk 28+000 (Doc. Rif.[2])

AV/AC VERONA VICENZA

RI42 da pk 26+531,24 a pk 26+957,72

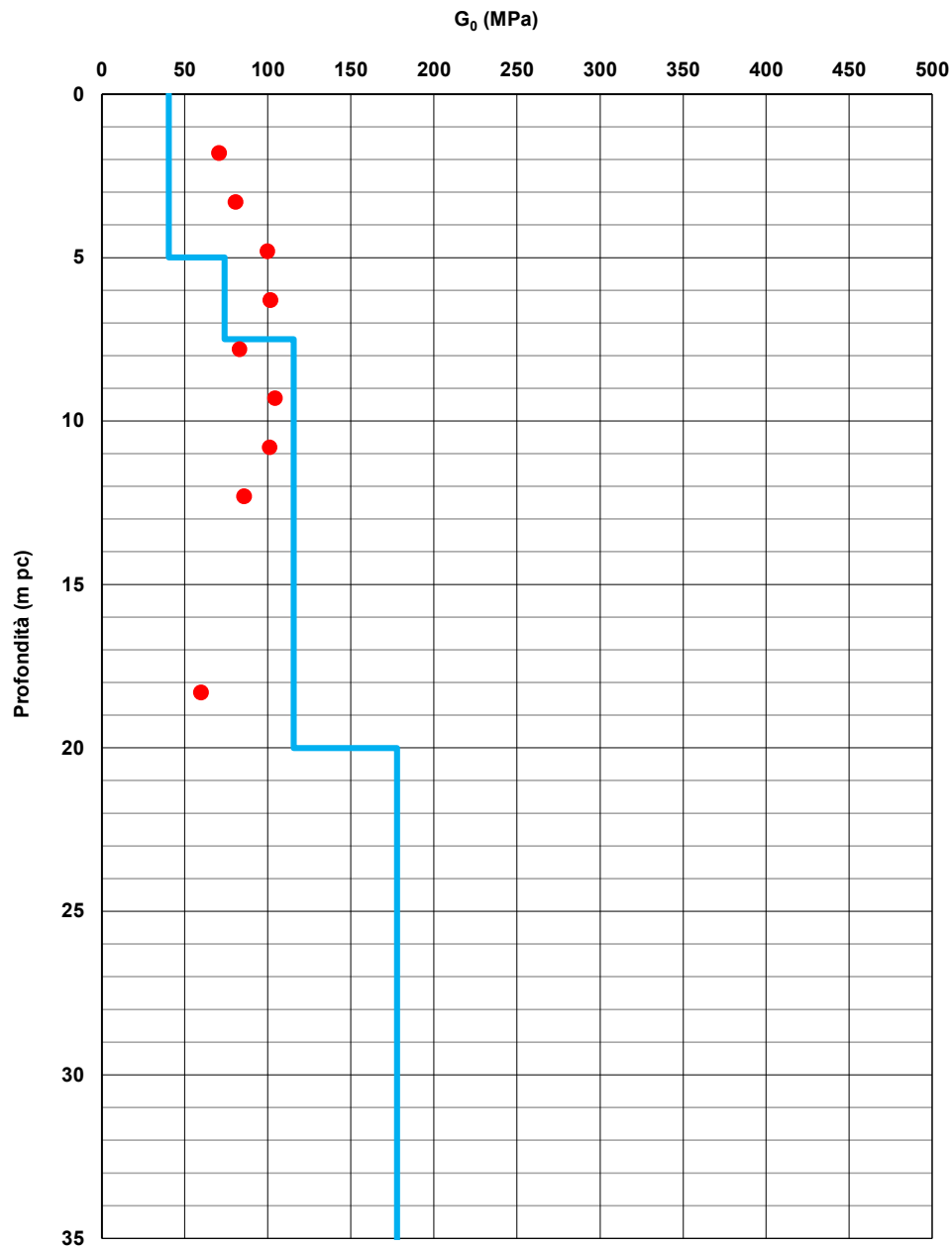




Figura 15 – Confronto G_0 con dati di correlazioni con SPT di RI42 e Profilo generale tra pk 24+000 a pk 28+000 (Doc. Rif.[2])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 26 di 82

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
3b	0	3	18.5			60	--	8
4	3	12	19.5	38	0	-	100	50
3a/b	12	25	18.5			80	--	12
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+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 27 di 82

5 CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

5.1 Sollecitazione sismica di progetto

5.1.1 Vita Nominale

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

Coerentemente a quanto previsto dal MdP (Doc. rif. [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+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 28 di 82

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+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 29 di 82

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+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 30 di 82

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

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

Lo sforzo di taglio indotto ad ogni profondità in un terreno a superficie piana durante l'evento sismico è dovuto essenzialmente alla propagazione delle onde di taglio polarizzate orizzontalmente. In accordo al metodo utilizzato, la tensione di taglio ciclico indotta dallo scuotimento sismico (sforzo di taglio ciclico normalizzato CSR) viene approssimata da un valore efficace dell'accelerazione pari al 65% della accelerazione di picco a_{max} come segue:

$$CSR = \frac{\tau_c}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \frac{\tau_{max}}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d$$

dove:

a_{max} accelerazione di picco al sito

g accelerazione di gravità

τ_c valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

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

σ'_{vo} tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni efficaci



r_d coefficiente di riduzione dello sforzo di taglio ciclico in funzione della profondità da piano campagna, calcolato come segue in accordo a Blake (Blake, 1996, riportato da Youd et al., 2001):

$$r_d = \frac{1 - 0.4113 \cdot z^{0.5} + 0.04052 \cdot z + 0.001753 \cdot z^{1.5}}{1 - 0.4177 \cdot z^{0.5} + 0.05729 \cdot z - 0.006205 \cdot z^{1.5} + 0.00121 \cdot z^2}$$

CSR può essere messo in relazione al numero di cicli significativi dell'azione sismica, funzione della magnitudo M . Per $M \neq 7.5$ è necessario introdurre un fattore di scala della magnitudo MSF così definito:

$$MSF = \frac{CSR_M}{(CSR)_{M=7.5}} = \left(\frac{N_{M=7.5}}{N_M} \right)^b$$

dove CSR_M e N_M rappresentano i valori di CSR e numero di cicli equivalenti per il valore di magnitudo di progetto, mentre $(CSR)_{M=7.5}$ e $N_{M=7.5}$ sono riferiti all'evento con $M=7.5$.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 31 di 82

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+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 32 di 82

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):

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

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

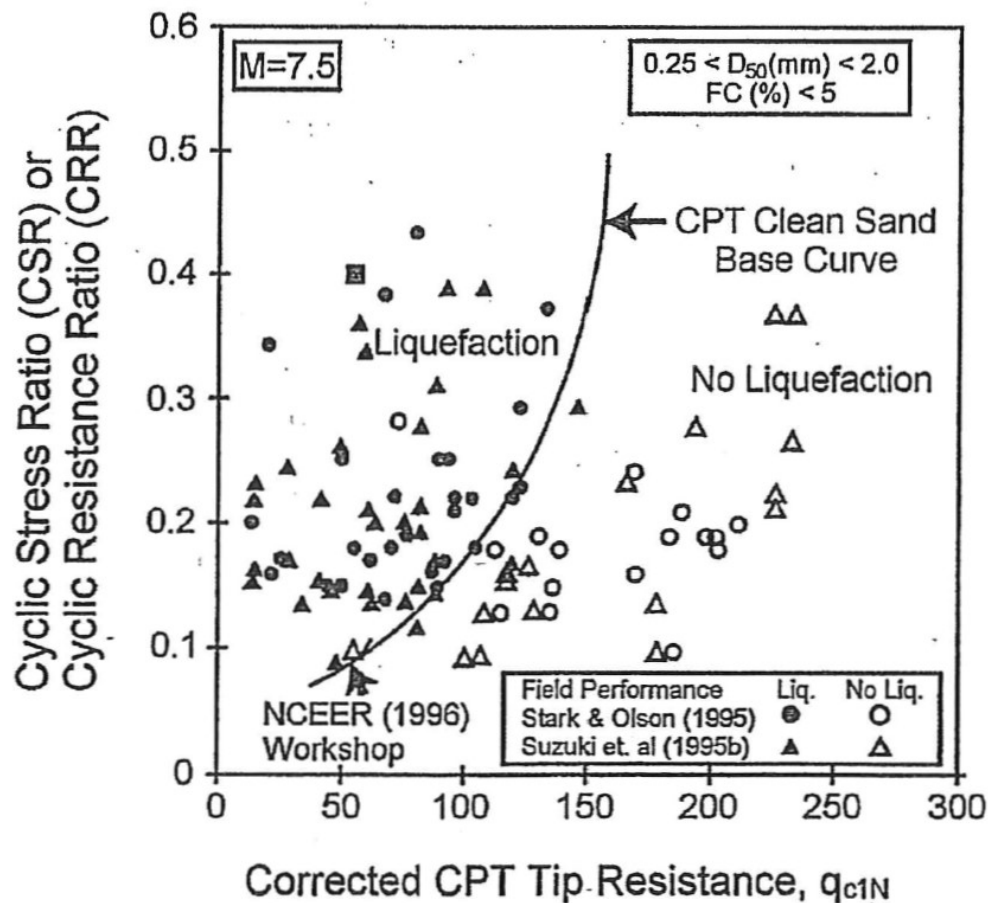


Figura 16: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

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

In Figura 17, 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+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 34 di 82

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 17, 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 17 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+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 35 di 82

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

In cui:

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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):

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

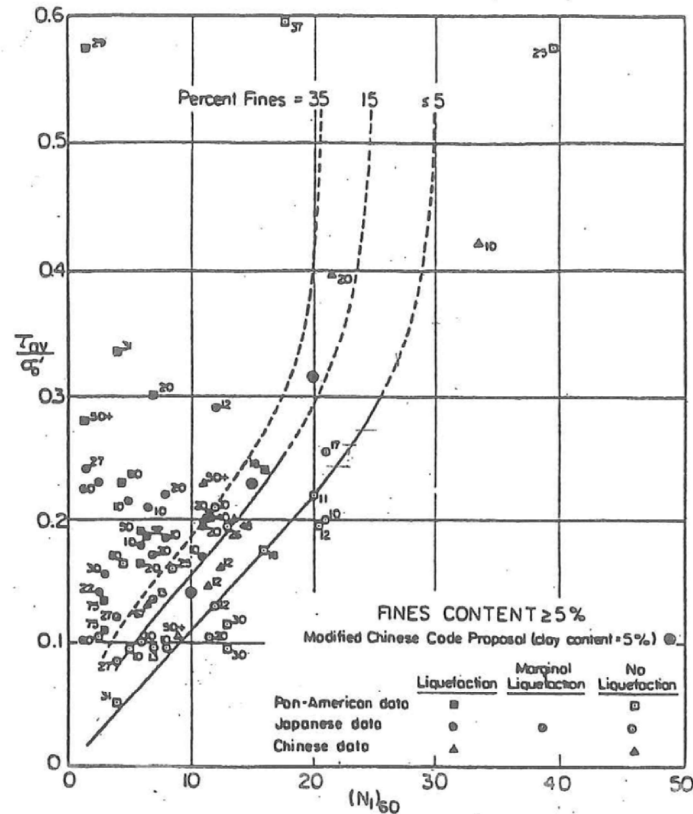


Figura 17: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

5.3 Risultati delle verifiche a liquefazione

I risultati (cfr. Figura 18 - Figura 21) 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 RI42, in linea con gli stati di addensamento e le granulometrie descritte in precedenza.

Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI420001A

Foglio
37 di 82

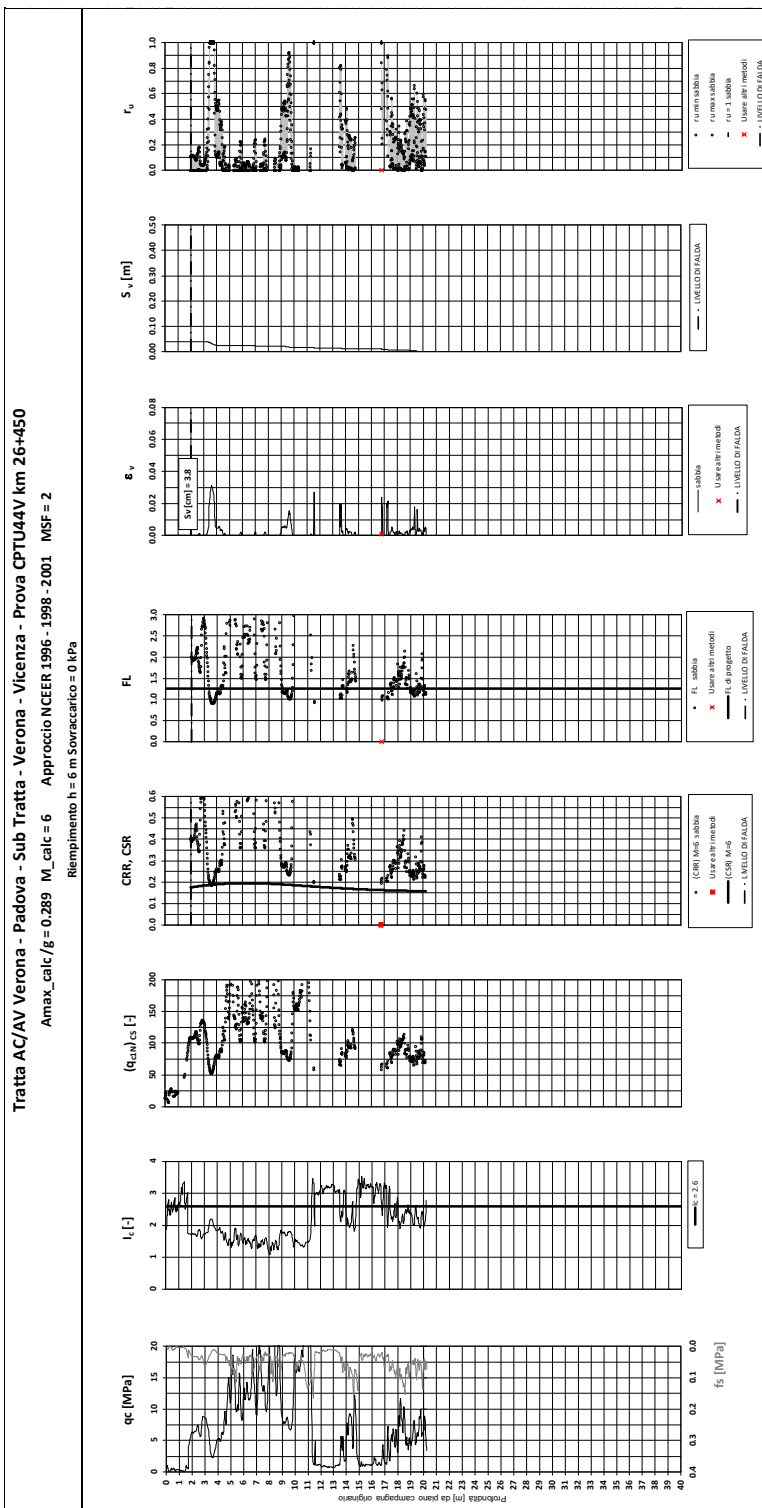


Figura 18 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU44V

Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI420001A

Foglio
38 di 82

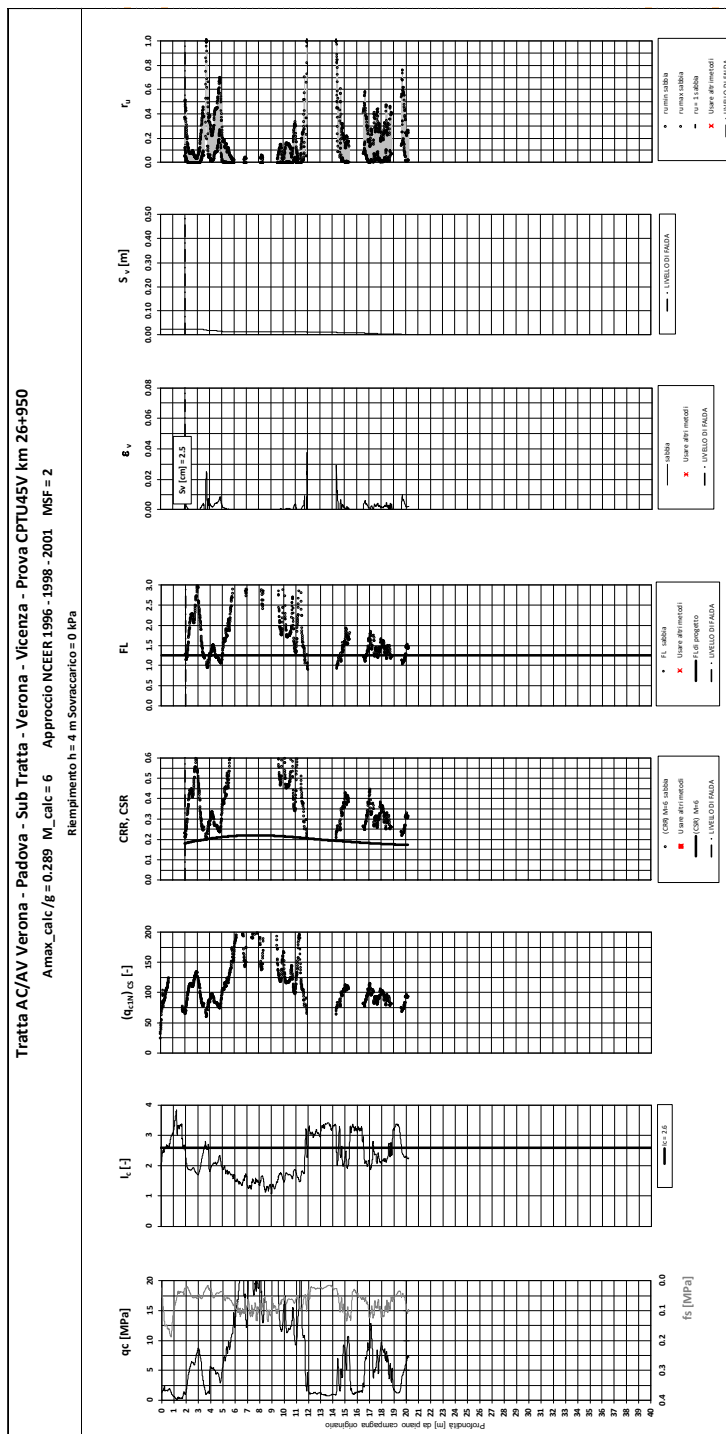


Figura 19 – Verifica Liquefazione da risultati CPT CPTU45V

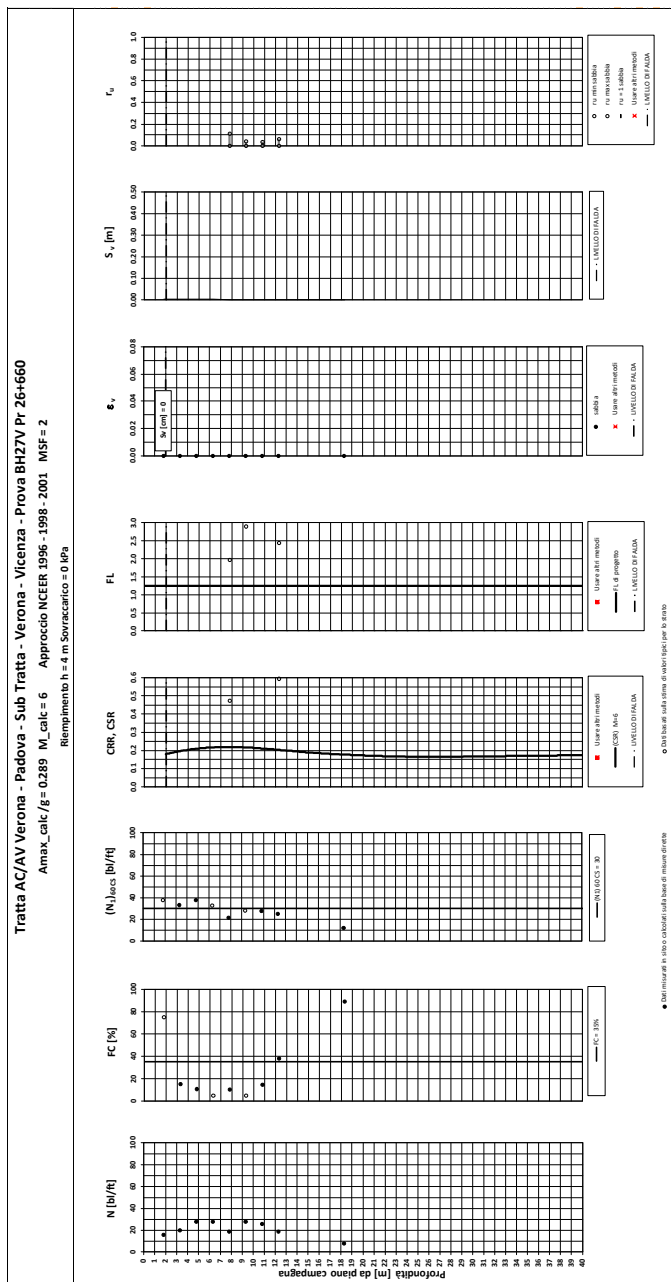




Figura 20 – Verifica Liquefazione da risultati SPT BH27V

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 41 di 82

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+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 42 di 82

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

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)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_γ	1,0	1,0



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 43 di 82

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+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 44 di 82

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+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 45 di 82

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 non 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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 46 di 82

In Figura 22 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)
12	1.323

Essendo soddisfatta la relazione:

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

le verifiche di stabilità globale in campo statico risultano soddisfatte.

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

Sezione	FS (sismica)
12	1.107

Essendo soddisfatta la relazione:

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

le verifiche di stabilità globale in campo sismico risultano soddisfatte.

Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI4200001A

Foglio
47 di 82

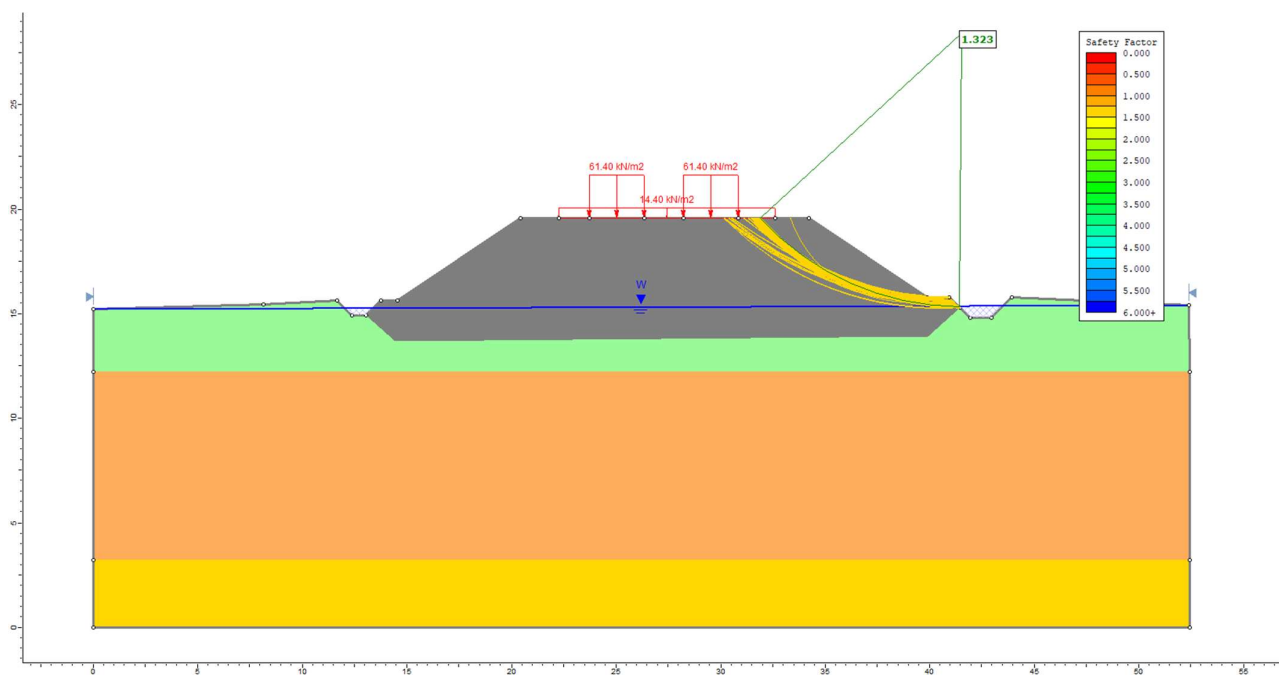


Figura 22 - Rilevato sezione n° 12 alla pk 26+800 - Analisi SLU in campo statico DA1C2

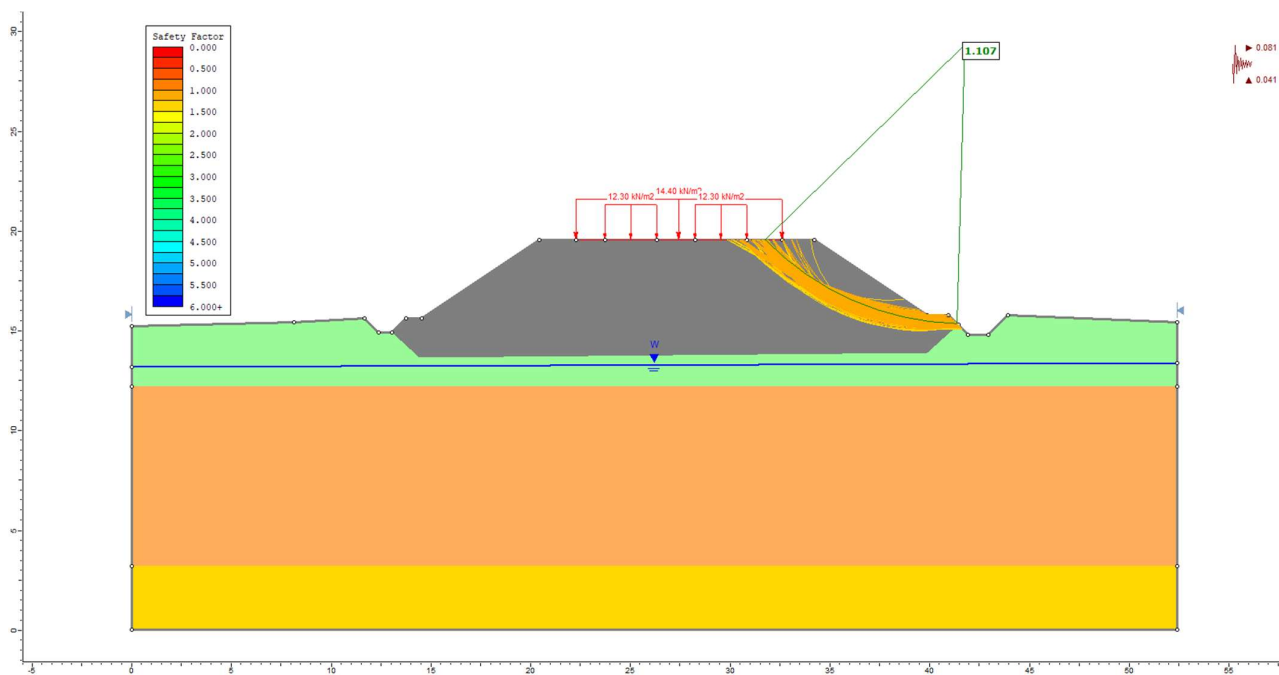




Figura 23 - Rilevato sezione n° 12 alla pk 26+800 - Analisi SLU in campo sismico

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4200001A</p>	<p>Foglio 48 di 82</p>

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

u = 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+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4200001A</p>	<p>Foglio 49 di 82</p>

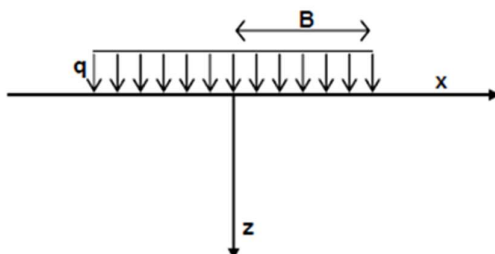


Figura 24 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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:

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

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

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

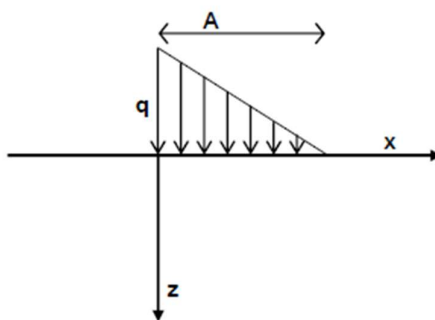




Figura 25 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4200001A</p>	<p>Foglio 50 di 82</p>

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 alla seguente sezione:

- sezione 12 alla pk 26+800

illustrata in Figura 1. Il modello di calcolo implementato per la sezione analizzata è riportato in Figura 26 e Figura 27.

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 28 dove sono anche indicate le posizioni degli assi dei binari della linea AV.

Risulta quanto segue:

- sezione n. 12 alla pk 26+800
 - i cedimenti totali lungo i due assi delle nuove linee AV sono pari a 81 mm per entrambe linee
 - il differenziale tra il cedimento dopo la costruzione del rilevato e quello dovuto alla posa del ballast è pari a circa 8 mm su entrambi gli assi della AV

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 51 di 82

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.**

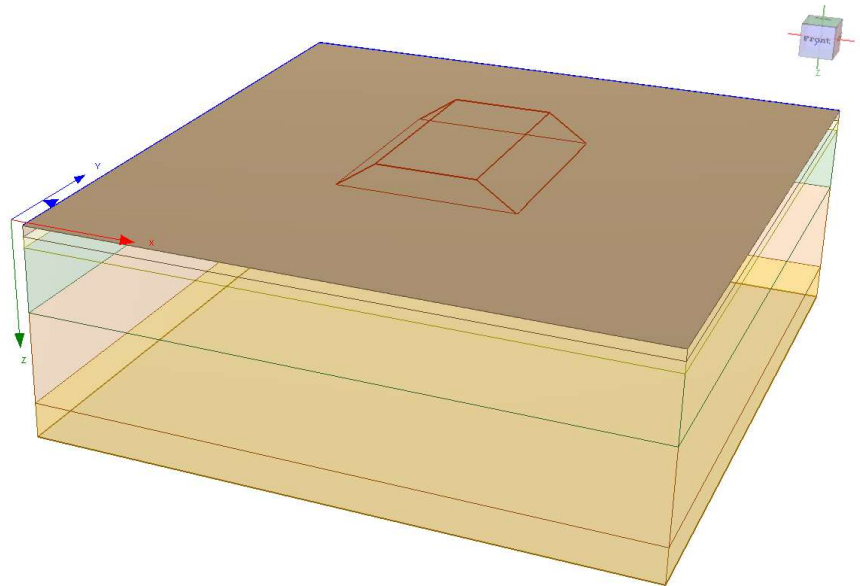


Figura 26 - Rilevato sez n° 12 alla pk 26+800 - Analisi SLE – Modello di calcolo – Costruzione rilevato AV

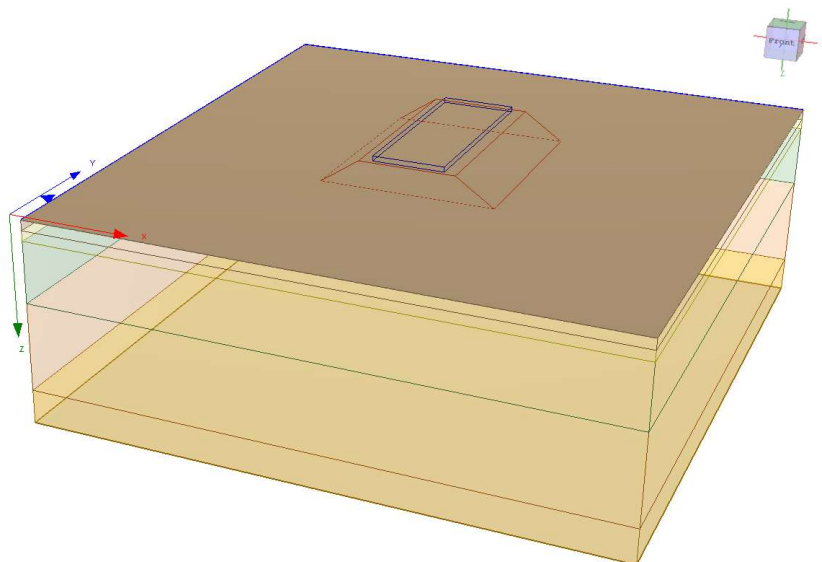


Figura 27 - Rilevato sez n° 12 alla pk 26+800 - Analisi SLE – Modello di calcolo – Posa Ballast

Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72
 Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4200001A

Foglio

52 di 82

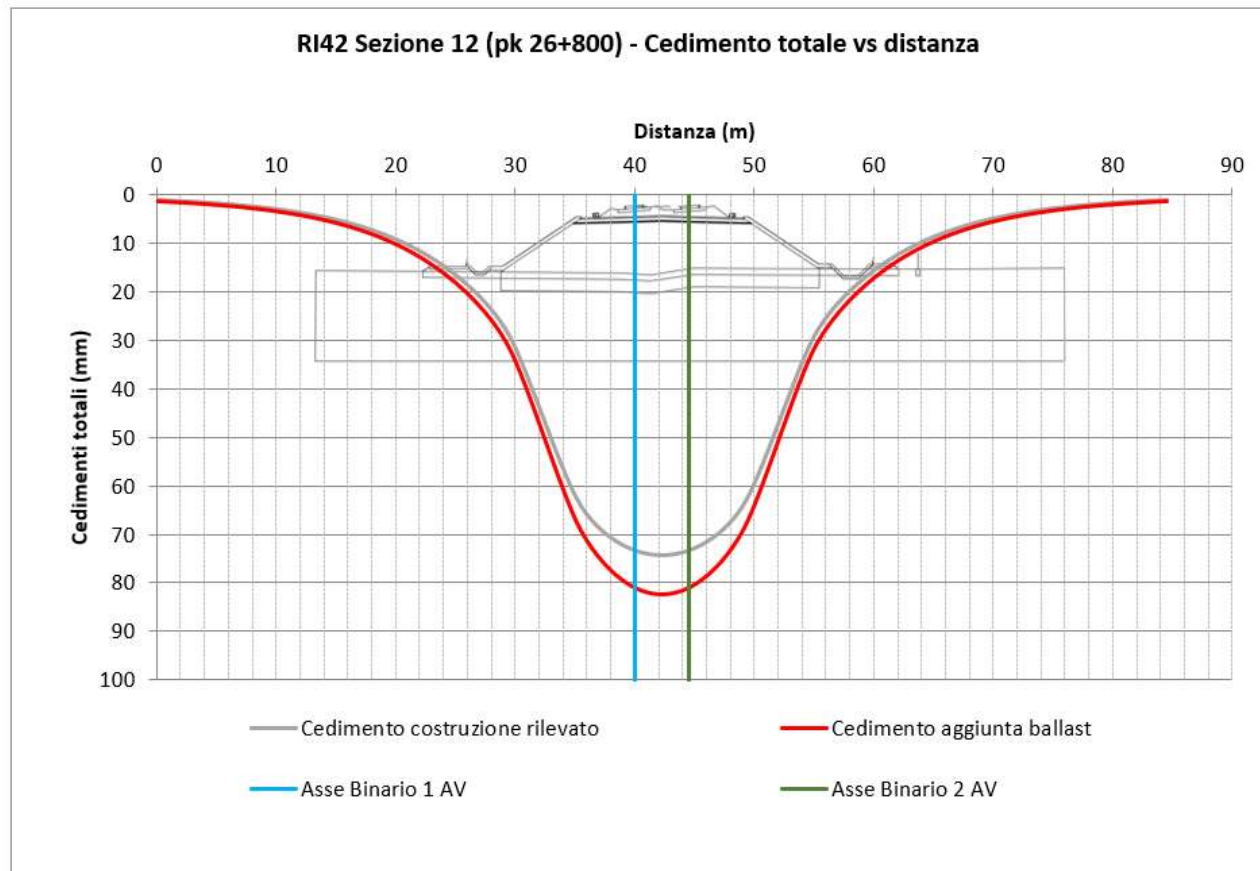




Figura 28 - Rilevato sezione n° 12 alla pk 26+800 - Analisi SLE – Risultato Cedimenti

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 53 di 82

7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI4200001A	54 di 82

ALLEGATI

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI4200001A	55 di 82

ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI4200001A	57 di 82

ALLEGATO 2 - INDAGINI DISPONIBILI



Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI420001A

Foglio
59 di 82

<input type="checkbox"/> CAMPIONE RIMANEGGIATO <input checked="" type="checkbox"/> CAMPIONE RIMANEGGIATO DA S.P.T. <input checked="" type="checkbox"/> CAMPIONE RIMANEGGIATO DA VANE TEST <input type="checkbox"/> SPEZZONE DI CAROTA <input type="checkbox"/> CAMPIONE INDISTURBATO PARETI SOTTILI <input checked="" type="checkbox"/> CAMPIONE INDISTURBATO A PISTONE <input checked="" type="checkbox"/> CAMPIONE INDISTURBATO ROTATIVO										RILIEVO ACQUA IN FORO DURANTE LA PERFORAZIONE				NOTE						
PROF. FORO (m DA P.C.)		PROF. RIVES. (m DA P.C.)		Da Testa Tubo Data H (m)		Da Piano Campagna Data H (m)														
ATTREZZATURA PER SPT MAGLIO "NENZI" A SGANCIAMENTO AUTOMAT. PESO MAGLIO 63.5 Kg ALTEZZA CADUTA 76 cm DIAMETRO ASTE 50 mm PESO ASTE 7.2 kg/m PUNTA Raymond PUNTA CONICA CHIUSA																				
MATERIALE RIPOSTO IN N°4 CASSETTE CATALOGATRICI E FOTOGRAFATO AGGOTTAMENTO IDRICO: N°2 GIORNI																				
POZZETTO IN CALCESTRUZZO CON CHIUSINO CARRABILE IN GHISA DIM. 30X30 cm																				
ESEGUITA IND. GEORADAR																				
PROVE IN FORO		PERMEAB. LEFRANC			VANE TEST		PRESSIOMETRO MENARD		PERMEAB. LUGEON											
MANOVRA DI CAROTAGGIO	T.C.R. %	S.C.R. %	R.Q.D. %	DIMENSIONE SPEZZIONI			PROVE		STRUMENTAZIONE											
				< 5 cm	5-10 cm	> 10 cm	NUMERO	PROFONDITA' m da P.C.	PIEZOMETRO CASAGRANDE		METODO DI PERFORAZIONE	ATTREZZO DI PERFORAZIONE	RIVESTIMENTO	DATA						
	100																			
CEMENTAZIONE DOPPIO TUBO IN PVC Ø 1/2"																				
PERFORAZIONE A CAROTAGGIO CONTINUO A SECCO CAROTTIERE SEMPLICE Ø 101 mm Ø 127 mm																				
16.00 TAPPO IMPERM. IN BENTONITE 18.00 GHIAIA FINE CELLA POROSA "CASAGRANDE" 20.00																				
20.00 20.00 20.00 20.00																				

DAVIDE SPLENDORE
 INGEGNERE
 SEZ. A - N° 4831
 SETTORE INDUSTRIA E INFORMATICA

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI4200001A	60 di 82

ALLEGATO 3 - SEZ. N° 12 - TABULATI DI SLIDE

Slide Analysis Information

RI42_sez12

Project Summary

File Name:	RI42_sez12.slmd
Slide Modeler Version:	9.012
Project Title:	SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created:	19/05/2021, 10:26:53

Currently Open Scenarios

Group Name	Scenario Name	Global Minimum	Compute Time
Statica A2+M2+R2 	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.323070	00h:00m:03.501s
		Spencer: 1.322570 Gle/morgenstern-price: 1.321920	
Sismica kv+ 	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.124470	00h:00m:04.325s
		Spencer: 1.126750 Gle/morgenstern-price: 1.124030	
Sismica kv- 	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.107050	00h:00m:04.303s
		Spencer: 1.108760 Gle/morgenstern-price: 1.105900	

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

RI42_sez12

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-

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 63 di 82

RI42_sez12

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/m3]:	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+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 64 di 82

RI42_sez12

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]: 2
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

Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4200001A

Foglio

65 di 82

RI42_sez12

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

RI42_sez12


giovedì 20 maggio 2021

Materials

U3b

Color	
Strength Type	Undrained
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	18.5
Saturated Unit Weight [kN/m3]	20
Cohesion [kPa]	60
Cohesion Type	Constant
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Value	Automatically Calculated

Rilevato

Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	20
Saturated Unit Weight [kN/m3]	20
Cohesion [kPa]	0
Friction Angle [deg]	38
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Value	Automatically Calculated

U4

Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	19.5
Saturated Unit Weight [kN/m3]	20
Cohesion [kPa]	0
Friction Angle [deg]	38
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Value	Automatically Calculated



U3a/b

Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight [kN/m3]	18.5
Cohesion [kPa]	80
Cohesion Type	Constant
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Value	Automatically Calculated

Materials In Use

Material	Statica A2+M2+R2	Sismica kv+	Sismica kv-
U3b 	✓	✓	✓
Rilevato 	✓	✓	✓
U4 	✓	✓	✓
U3a/b 	✓	✓	✓

Global Minimums

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4200001A	Foglio 67 di 82

RI42_sez12

giovedì 20 maggio 2021

◆ Statica A2+M2+R2

Method: bishop simplified

FS	1.323070
Center:	41.509, 28.412
Radius:	13.075
Left Slip Surface Endpoint:	31.885, 19.561
Right Slip Surface Endpoint:	41.393, 15.337
Left Slope Intercept:	31.885 19.561
Right Slope Intercept:	41.393 15.381
Resisting Moment:	1753.27 kN-m
Driving Moment:	1325.15 kN-m
Total Slice Area:	11.1423 m2
Surface Horizontal Width:	9.50778 m
Surface Average Height:	1.17192 m

Method: spencer

FS	1.322570
Center:	40.116, 26.541
Radius:	10.772
Left Slip Surface Endpoint:	31.911, 19.561
Right Slip Surface Endpoint:	40.912, 15.798
Resisting Moment:	1308.7 kN-m
Driving Moment:	989.515 kN-m
Resisting Horizontal Force:	107.721 kN
Driving Horizontal Force:	81.4482 kN
Total Slice Area:	10.0446 m2
Surface Horizontal Width:	9.0008 m
Surface Average Height:	1.11597 m

Method: gle/morgenstern-price

FS	1.321920
Center:	40.116, 26.541
Radius:	10.772
Left Slip Surface Endpoint:	31.911, 19.561
Right Slip Surface Endpoint:	40.912, 15.798
Resisting Moment:	1308.06 kN-m
Driving Moment:	989.515 kN-m
Resisting Horizontal Force:	107.665 kN
Driving Horizontal Force:	81.4466 kN
Total Slice Area:	10.0446 m2
Surface Horizontal Width:	9.0008 m
Surface Average Height:	1.11597 m

◆ Sismica kv+

Method: bishop simplified

RI42_sez12

giovedì 20 maggio 2021

FS	1.124470
Center:	41.753, 29.348
Radius:	13.990
Left Slip Surface Endpoint:	31.756, 19.561
Right Slip Surface Endpoint:	41.367, 15.363
Resisting Moment:	1872.45 kN-m
Driving Moment:	1665.19 kN-m
Total Slice Area:	10.9802 m2
Surface Horizontal Width:	9.61114 m
Surface Average Height:	1.14245 m

Method: spencer



FS	1.126750
Center:	40.168, 26.589
Radius:	10.850
Left Slip Surface Endpoint:	31.901, 19.561
Right Slip Surface Endpoint:	40.962, 15.768
Resisting Moment:	1346.67 kN-m
Driving Moment:	1195.19 kN-m
Resisting Horizontal Force:	110.723 kN
Driving Horizontal Force:	98.2683 kN
Total Slice Area:	10.2065 m2
Surface Horizontal Width:	9.06096 m
Surface Average Height:	1.12643 m

Method: gle/morgenstern-price

FS	1.124030
Center:	41.753, 29.348
Radius:	13.990
Left Slip Surface Endpoint:	31.756, 19.561
Right Slip Surface Endpoint:	41.367, 15.363
Resisting Moment:	1871.73 kN-m
Driving Moment:	1665.19 kN-m
Resisting Horizontal Force:	119.604 kN
Driving Horizontal Force:	106.406 kN
Total Slice Area:	10.9802 m2
Surface Horizontal Width:	9.61114 m
Surface Average Height:	1.14245 m


Sismica kv-
Method: bishop simplified

FS	1.107050
Center:	41.754, 29.348
Radius:	13.990
Left Slip Surface Endpoint:	31.757, 19.561
Right Slip Surface Endpoint:	41.367, 15.363
Resisting Moment:	1726.34 kN-m
Driving Moment:	1559.4 kN-m
Total Slice Area:	10.978 m2
Surface Horizontal Width:	9.61061 m
Surface Average Height:	1.14228 m

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4200001A</p>	<p>Foglio 69 di 82</p>

RI42_sez12

giovedì 20 maggio 2021

Method: spencer

	FS	1.108760
Center:	41.754, 29.348	
Radius:	13.990	
Left Slip Surface Endpoint:	31.757, 19.561	
Right Slip Surface Endpoint:	41.367, 15.363	
Resisting Moment:	1729 kN-m	
Driving Moment:	1559.4 kN-m	
Resisting Horizontal Force:	110.337 kN	
Driving Horizontal Force:	99.514 kN	
Total Slice Area:	10.978 m ²	
Surface Horizontal Width:	9.61061 m	
Surface Average Height:	1.14228 m	

Method: gle/morgenstern-price

	FS	1.105900
Center:	41.754, 29.348	
Radius:	13.990	
Left Slip Surface Endpoint:	31.757, 19.561	
Right Slip Surface Endpoint:	41.367, 15.363	
Resisting Moment:	1724.55 kN-m	
Driving Moment:	1559.4 kN-m	
Resisting Horizontal Force:	110.201 kN	
Driving Horizontal Force:	99.648 kN	
Total Slice Area:	10.978 m ²	
Surface Horizontal Width:	9.61061 m	
Surface Average Height:	1.14228 m	

Global Minimum Support Data

All Open Scenarios

No Supports Present

Entity Information

◆ Statica A2+M2+R2

Shared Entities

RI42_sez12

giovedì 20 maggio 2021

Type	Coordinates (x,y)
External Boundary	-0.0140512, 15.234
	-0.0140512, 12.2322
	-0.0140512, 3.2322
	-0.0140512, 0.0235536
	52.4098, 0.0235536
	52.4089, 3.2322
	52.4064, 12.2322
	52.4056, 15.4203
	43.9324, 15.7978
	42.9324, 14.7978
	41.9324, 14.7978
	41.4324, 15.2978
	40.9324, 15.7978
	39.8615, 15.7978
	34.2199, 19.5608
	32.602, 19.5608
	30.8336, 19.5608
	28.2318, 19.5608
	26.3279, 19.5608
	23.7318, 19.5608
Material Boundary	22.2699, 19.5608
	22.2699, 18.9421
	32.602, 18.9421
	32.602, 19.5608
Material Boundary	23.7318, 19.5608
	23.7318, 19.2861
	26.3279, 19.2861
	26.3279, 19.5608
Material Boundary	28.2318, 19.5608
	28.2318, 19.2918
	30.8336, 19.2918
	30.8336, 19.5608
Material Boundary	13.045, 14.9223
	14.4167, 13.6841
	39.8914, 13.9173
	41.4324, 15.2978
Material Boundary	-0.0140512, 12.2322
	52.4064, 12.2322
Material Boundary	-0.0140512, 3.2322
	52.4089, 3.2322

Scenario-based Entities

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica





EI2RBRI4200001A

Foglio

71 di 82

RI42_sez12

giovedì 20 maggio 2021

Type	Coordinates (x,y)	Master Scenario
Water Table	-0.0140512, 15.234 52.4056, 15.4203	Assigned to:  U3b  Rilevato  U4  U3a/b
Distributed Load	22.2699, 19.5608 23.7318, 19.5608 26.3279, 19.5608 28.2318, 19.5608 30.8336, 19.5608 32.602, 19.5608	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 14.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	23.7318, 19.5608 26.3279, 19.5608	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 61.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	28.2318, 19.5608 30.8336, 19.5608	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 61.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No

◆ Sismica kv+

Shared Entities

RI42_sez12

giovedì 20 maggio 2021

Type	Coordinates (x,y)
External Boundary	-0.0140512, 15.234
	-0.0140512, 12.2322
	-0.0140512, 3.2322
	-0.0140512, 0.0235536
	52.4098, 0.0235536
	52.4089, 3.2322
	52.4064, 12.2322
	52.4056, 15.4203
	43.9324, 15.7978
	42.9324, 14.7978
	41.9324, 14.7978
	41.4324, 15.2978
	40.9324, 15.7978
	39.8615, 15.7978
	34.2199, 19.5608
	32.602, 19.5608
	30.8336, 19.5608
	28.2318, 19.5608
	26.3279, 19.5608
	23.7318, 19.5608
Material Boundary	22.2699, 19.5608
	22.2699, 18.9421
	32.602, 18.9421
	32.602, 19.5608
Material Boundary	23.7318, 19.5608
	23.7318, 19.2861
	26.3279, 19.2861
	26.3279, 19.5608
Material Boundary	28.2318, 19.5608
	28.2318, 19.2918
	30.8336, 19.2918
	30.8336, 19.5608
Material Boundary	13.045, 14.9223
	14.4167, 13.6841
	39.8914, 13.9173
	41.4324, 15.2978
Material Boundary	-0.0140512, 12.2322
	52.4064, 12.2322
Material Boundary	-0.0140512, 3.2322
	52.4089, 3.2322

Scenario-based Entities

GENERAL CONTRACTOR



ALTA Sorveglianza



Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica





EI2RBRI4200001A

Foglio

73 di 82

RI42_sez12

giovedì 20 maggio 2021

Type	Coordinates (x,y)	Master Scenario
Water Table	-0.0140512, 13.2 52.4056, 13.3863	Assigned to:  U3b  Rilevato  U4  U3a/b
Distributed Load	22.2699, 19.5608 23.7318, 19.5608 26.3279, 19.5608 28.2318, 19.5608 30.8336, 19.5608 32.602, 19.5608	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 14.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	23.7318, 19.5608 26.3279, 19.5608	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 12.3 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	28.2318, 19.5608 30.8336, 19.5608	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 12.3 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No

◆ Sismica kv-

Shared Entities

RI42_sez12

giovedì 20 maggio 2021

Type	Coordinates (x,y)
External Boundary	-0.0140512, 15.234
	-0.0140512, 12.2322
	-0.0140512, 3.2322
	-0.0140512, 0.0235536
	52.4098, 0.0235536
	52.4089, 3.2322
	52.4064, 12.2322
	52.4056, 15.4203
	43.9324, 15.7978
	42.9324, 14.7978
	41.9324, 14.7978
	41.4324, 15.2978
	40.9324, 15.7978
	39.8615, 15.7978
	34.2199, 19.5608
	32.602, 19.5608
	30.8336, 19.5608
	28.2318, 19.5608
	26.3279, 19.5608
	23.7318, 19.5608
22.2699, 19.5608	
20.4379, 19.5608	
14.533, 15.6223	
13.745, 15.6223	
13.045, 14.9223	
12.3793, 14.9223	
11.6633, 15.6189	
8.12252, 15.435	
Material Boundary	22.2699, 19.5608
	22.2699, 18.9421
	32.602, 18.9421
	32.602, 19.5608
Material Boundary	23.7318, 19.5608
	23.7318, 19.2861
	26.3279, 19.2861
26.3279, 19.5608	
Material Boundary	28.2318, 19.5608
	28.2318, 19.2918
	30.8336, 19.2918
30.8336, 19.5608	
Material Boundary	13.045, 14.9223
	14.4167, 13.6841
	39.8914, 13.9173
41.4324, 15.2978	
Material Boundary	-0.0140512, 12.2322
	52.4064, 12.2322
Material Boundary	-0.0140512, 3.2322
	52.4089, 3.2322

Scenario-based Entities

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica





EI2RBRI4200001A

Foglio

75 di 82

RI42_sez12

giovedì 20 maggio 2021

Type	Coordinates (x,y)	Master Scenario
Water Table	-0.0140512, 13.2 52.4056, 13.3863	Assigned to:  U3b  Rilevato  U4  U3a/b
Distributed Load	22.2699, 19.5608 23.7318, 19.5608 26.3279, 19.5608 28.2318, 19.5608 30.8336, 19.5608 32.602, 19.5608	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 14.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	23.7318, 19.5608 26.3279, 19.5608	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 12.3 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	28.2318, 19.5608 30.8336, 19.5608	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 12.3 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI4200001A	76 di 82

ALLEGATO 4 - SEZ. N° 12 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4200001A

Foglio

77 di 82

Settle3 Analysis Information

RI42

Project Settings

Document Name	RI42.s3z
Date Created	20/05/2021, 12:46:38
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: 3.33024 seconds

Stage: Rilevato

RI42

venerdì 21 maggio 2021

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [mm]	0	74.352
Total Consolidation Settlement [mm]	0	0
Virgin Consolidation Settlement [mm]	0	0
Recompression Consolidation Settlement [mm]	0	0
Immediate Settlement [mm]	0	74.352
Loading Stress ZZ [kPa]	0	76.0072
Loading Stress XX [kPa]	-31.746	58.3463
Loading Stress YY [kPa]	-32.7173	112.727
Effective Stress ZZ [kPa]	0	304.299
Effective Stress XX [kPa]	-13.9964	321.595
Effective Stress YY [kPa]	-18.0259	389.832
Total Stress ZZ [kPa]	0	598.599
Total Stress XX [kPa]	-13.9964	615.895
Total Stress YY [kPa]	-13.7845	684.132
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	0.00947474
Pore Water Pressure [kPa]	0	294.3
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.76425	303.886
Over-consolidation Ratio	1	1
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [mm]	0	0
Undrained Shear Strength	0	2.00372

Stage: Ballast

RI42

venerdì 21 maggio 2021

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [mm]	0	82.3034
Total Consolidation Settlement [mm]	0	0
Virgin Consolidation Settlement [mm]	0	0
Recompression Consolidation Settlement [mm]	0	0
Immediate Settlement [mm]	0	82.3034
Loading Stress ZZ [kPa]	0	88.9394
Loading Stress XX [kPa]	-31.8637	59.8377
Loading Stress YY [kPa]	-31.7858	112.461
Effective Stress ZZ [kPa]	0	305.811
Effective Stress XX [kPa]	-12.4888	321.494
Effective Stress YY [kPa]	-16.8283	389.589
Total Stress ZZ [kPa]	0	600.111
Total Stress XX [kPa]	-12.4888	615.794
Total Stress YY [kPa]	-12.5734	683.889
Modulus of Subgrade Reaction (Total) [kPa/m]	0	160.845
Modulus of Subgrade Reaction (Immediate) [kPa/m]	0	160.845
Modulus of Subgrade Reaction (Consolidation) [kPa/m]	0	0
Total Strain	3.94907e-09	0.0109062
Pore Water Pressure [kPa]	0	294.3
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.764329	305.402
Over-consolidation Ratio	1	1
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [mm]	0	0
Undrained Shear Strength	0	2.16723

Loads

1. Rectangular Load: "Rectangular Load 1"

Length	10.4 m
Width	28 m
Rotation angle	0 degrees
Load Type	Flexible
Area of Load	291.2 m ²
Load	14.4 kPa
Depth	-3.8 m
Installation Stage	Ballast

Coordinates



Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI4200001A	80 di 82

RI42

venerdì 21 maggio 2021

X [m]	Y [m]
-5.883	0.688352
4.517	0.688352
4.517	28.6884
-5.883	28.6884

Embankments

1. Embankment: "Embankment Load 1"

Label	Embankment Load 1						
Center Line	(-0.683, 0.061) to (-0.683, 29.697)						
Near End Angle	90 degrees						
Far End Angle	90 degrees						
Number of Layers	1						
Base Width	25.3						
Layer	Stage	Left Bench Width (m)	Left Angle (deg)	Height (m)	Unit Weight (kN/m ³)	Right Angle (deg)	Right Bench Width (m)
1	Rilevato	0	34	3.8	20	34	0

Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	Bonifico	1.5	0
2	UG3b	1.5	1.5
3	UG4	9	3
4	UG3a/b	13	12
5	UG2	5	25

Soil Properties



Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI4200001A	81 di 82

RI42

venerdì 21 maggio 2021

Property	UG3b	UG4	UG3a/b	UG2
Color				
Unit Weight [kN/m3]	18.5	19.5	18.5	18.5
Saturated Unit Weight [kN/m3]	19	20	19	19
K0	1	1	1	1
Immediate Settlement	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled
Es [kPa]	8000	50000	12000	25000
Esur [kPa]	8000	50000	12000	25000
Undrained Su A [kN/m2]	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	Bonifico			
Color				
Unit Weight [kN/m3]	20			
Saturated Unit Weight [kN/m3]	20			
K0	1			
Immediate Settlement	Enabled			
Es [kPa]	20000			
Esur [kPa]	20000			
Undrained Su A [kN/m2]	0			
Undrained Su S	0.2			
Undrained Su m	0.8			
Piezo Line ID	1			

Groundwater

Groundwater method
Water Unit Weight

Piezometric Lines
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	-42.969, 14.6884	41.603, 14.6884	200	Auto: 59

Field Point Grid

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+531,24 a pk 26+957,72
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4200001A

Foglio

82 di 82

RI42

venerdì 21 maggio 2021

Number of points 442
Expansion Factor 3

Grid Coordinates

X [m]	Y [m]
41.603	59.333
41.603	-29.575
-42.969	-29.575
-42.969	59.333