

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+957,72 a pk 27+379,82

GENERALE

Relazione Geotecnica

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

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO
I N 1 7	1 2	E	I 2	R B	R I 4 3 0 0	0 0 1	A	- - - - - -

	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 	Maggio 2021	V. Pastore 	Maggio 2021	P. Ascari 	Maggio 2021	P. Ascari Data: Maggio 2021

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2RBRI4300001A_02.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 2 di 81

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	23
4.4.1	Materiale da rilevato	23
4.4.2	Falda	23
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	24
5.1	Sollecitazione sismica di progetto	24
5.1.1	Vita Nominale	24
5.1.2	Classe d'uso	24
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	25
5.1.4	Categorie di Sottosuolo	25
5.1.5	Condizioni topografiche	25
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento	26
5.2	Suscettibilità alla liquefazione	26
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT	28
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT	30
5.3	Risultati delle verifiche a liquefazione	33
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO	35
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite	35
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU)	35
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE)	37
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche	37
6.2	Azioni di progetto	38
6.2.1	Azioni permanenti	38
6.2.2	Azioni variabili	38

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4300001A

Foglio

3 di 81

6.2.3	Azione sismica	38
6.3	Verifiche e risultati SLU	39
6.3.1	Premessa	39
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche	39
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche	40
6.4	Verifica e risultati SLE	42
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	50
	Allegati	51
	ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO	52
	ALLEGATO 2 - SONDAGGI	54
	ALLEGATO 3 - SEZ. N° 15 - TABULATI DI SLIDE	57
	ALLEGATO 4 - SEZ. N° 15 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE	73

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 4 di 81

1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI43, 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+957,72 ed il km 27+379,82.

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+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 5 di 81

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 6 di 81

- [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+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4300001A</p>	<p>Foglio 7 di 81</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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI430001A</p>	<p>Foglio 8 di 81</p>

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame è quello relativo alla Linea AV che si estende dalla pk 26+957,72 alla pk 27+379,82, per una lunghezza totale di 422,10 m.

3.1 Geometria del rilevato

Il rilevato, lungo 422,10 m, presenta nel suo sviluppo una altezza variabile da 3,0 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 15 alla pk 27+300 che risulta la più rappresentativa sia per altezza massima del rilevato o per geometria.

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

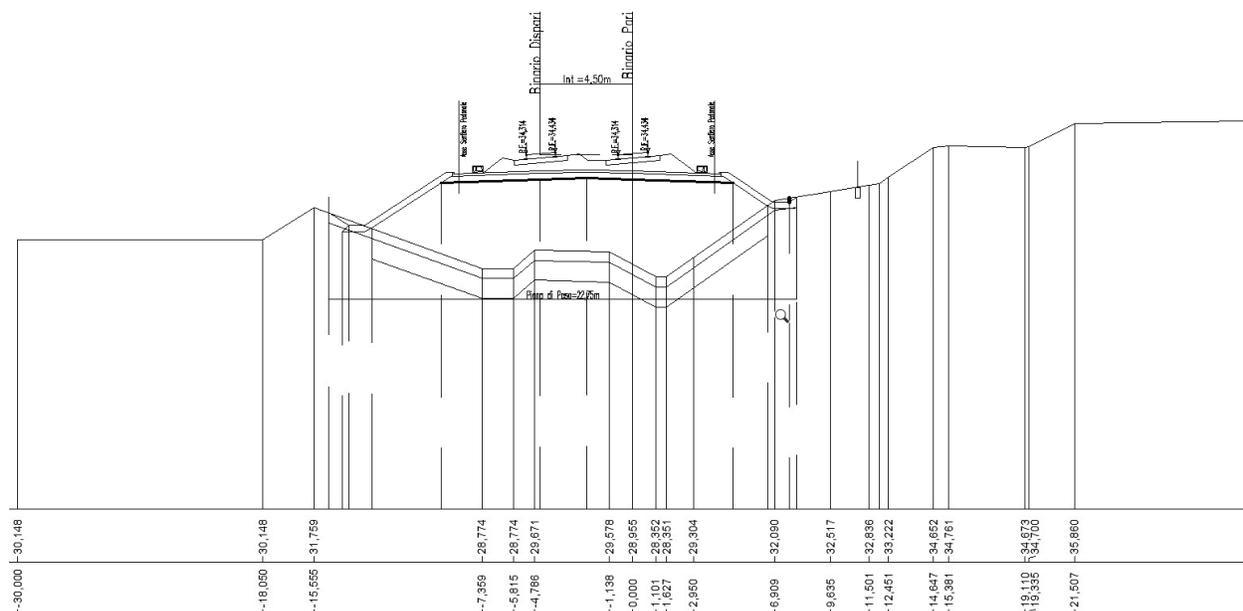


Figura 1 – Sezione di riferimento n. 15 alla pk 27+300 estratta da sezioni PE (Doc Rif.[1])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 9 di 81

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1 Indagini disponibili

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

Il risultato delle indagini è riportato in ALLEGATO 2 - .

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

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

Tabella 1 - Indagini da pk 26+957,72 a pk 27+379,82

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
27+220	BH28V	2015

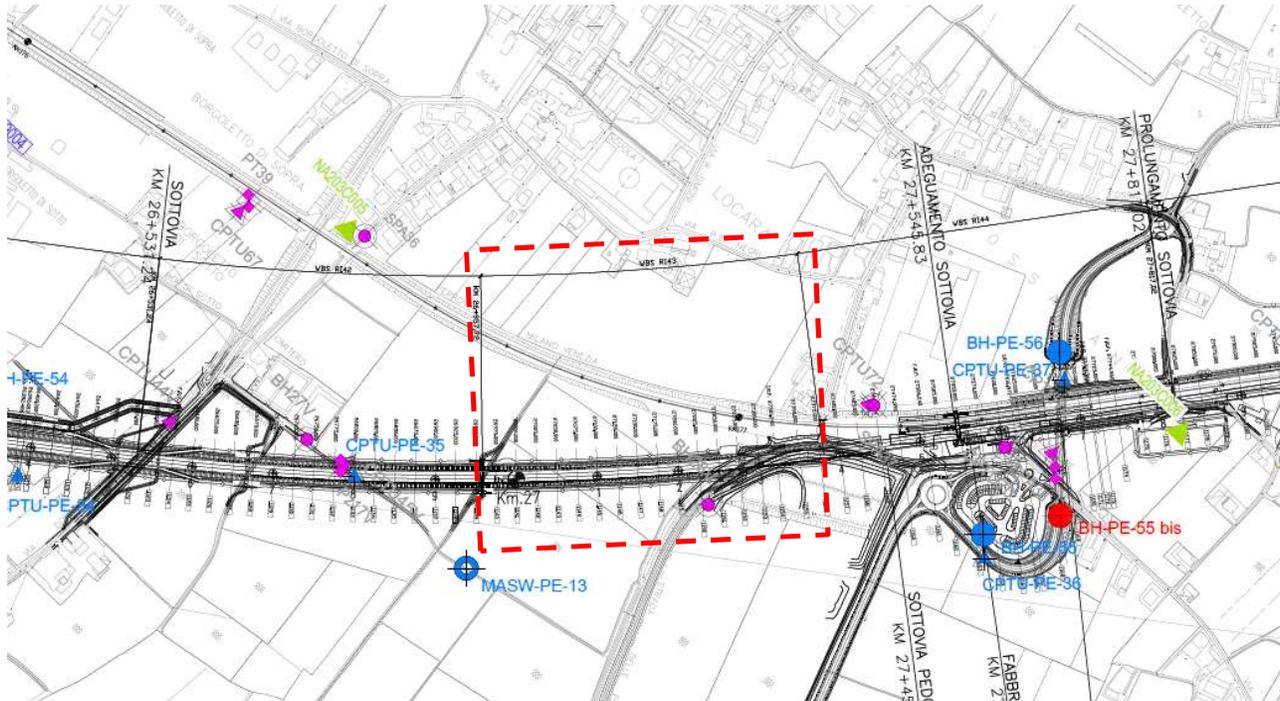


Figura 2 - Planimetria Rilevato R43, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif.[6])

4.2 Inquadramento stratigrafico

L'andamento stratigrafico nell'area è caratterizzato dalla presenza di materiale coesivo afferente all'Unità 3b (limi argillosi e argille limose, da tenere a mediamente compatte) intercalato da lenti più o meno spesse di materiale incoerente costituito da sabbia limosa, passante in profondità a sabbia ghiaiosa limosa (unità 4).

Lo spessore dell'unità 3b è dell'ordine dei 6 m circa. Alla base dello strato, al contatto con lo strato sabbioso sottostante, i dati del sondaggio indicano la presenza di terreni di natura limoso-argillosa molto consistenti, con valori del pocket fino a 3 kg/cm^2 .

Lo spessore degli strati sabbiosi varia tra i 7 metri circa in corrispondenza della pk 26+957, ed i 3-5 metri nella rimanente tratta di rilevato oggetto del presente elaborato.

In profondità, superate le lenti sabbiose, il materiale dell'Unità 3b si estende fino a circa 20-30 metri. Fanno seguito una lente sottile di materiale sabbioso (Unità 4) ed infine materiale coesivo compatto 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 RI43, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico (Doc. Rif. [6]).

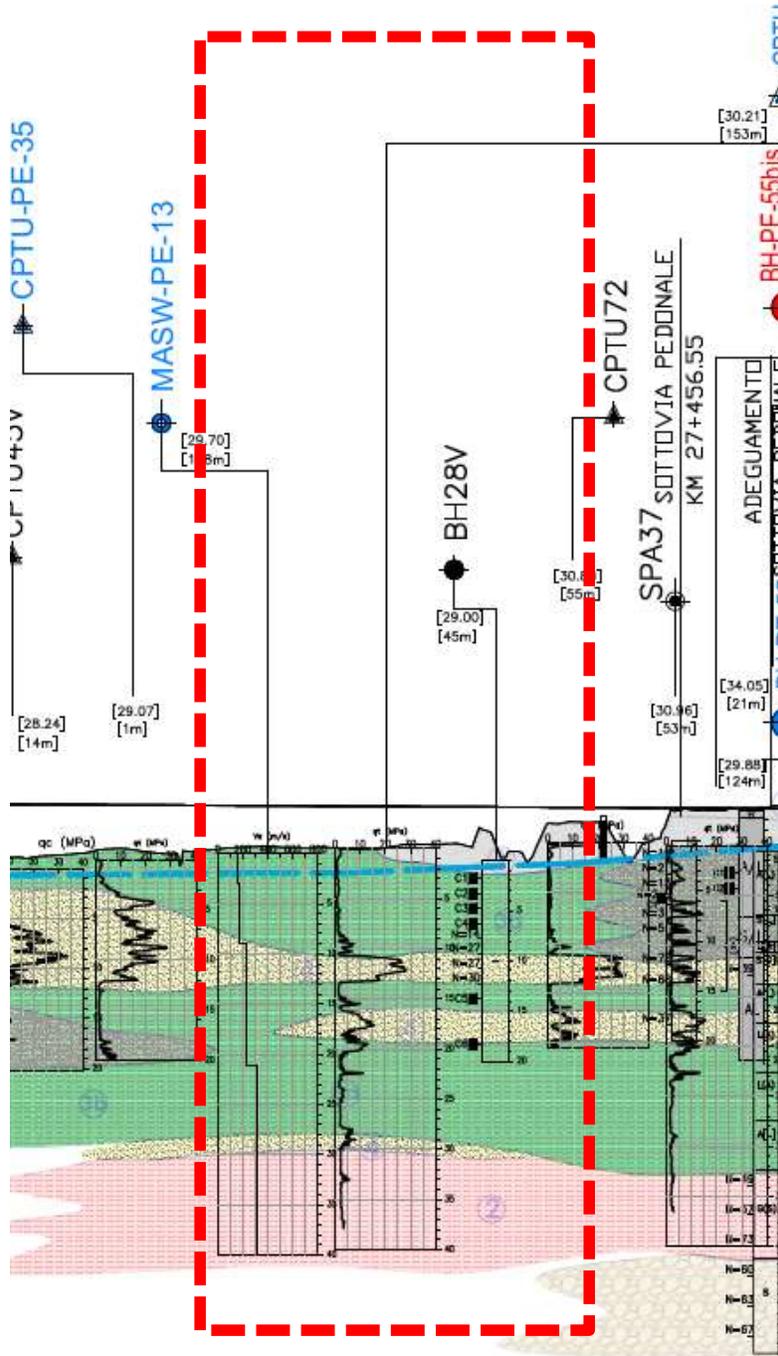


Figura 3 - Profilo Geotecnico Rilevato R143, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [6])

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4300001A</p>	<p>Foglio 12 di 81</p>

4.3 Condizioni geotecniche del sito

La Figura 5 mostra i risultati delle prove SPT eseguite nel tratto interessato dal rilevato in esame. Le prove hanno attraversato unicamente uno degli strati sabbiosi superficiale (Unità 4).

All'interno del deposito coesivo superficiale le percentuali di materiale a grana fine sono superiori al 80% (Unità 3b costituita da limi argillosi e argille limose, da tenere a mediamente compatte).

Dal sondaggio BH28V sono stati prelevati campioni per l'esecuzione di prove di laboratorio. In particolare, sono state eseguite misure di contenuto d'acqua (w%) e limiti liquido e plastico (LL, LP), prove edometriche e triassiali non consolidate non drenate.

I campioni sono stati prelevati alle profondità di circa 0-6m (4 campioni) e un campione in profondità, tutti in corrispondenza degli strati definiti come Unità 3b. I risultati delle prove sono riportati nella Figura 4, nella Figura 6 e nella Figura 7.

I terreni superficiali sono costituiti da limi argillosi da debolmente sabbiosi a sabbiosi, talora con valori del limite liquido elevati (fino a 130 circa, localmente), a testimonianza della possibile presenza di una importante componente organica. I contenuti d'acqua sono tuttavia contenuti (se rapportati al lime liquido), e risultano oscillare nel campo 35-80%.

Per quanto concerne le resistenze al taglio, riportate in Figura 8, ci si è avvalsi anche dei dati della vicina prova penetrometrica CPTU72, nella quale lo spessore della coltra argillosa è maggiore, ma con caratteristiche ragionevolmente simili. Si nota un buon accordo nell'andamento dei valori: accanto a strati più teneri ($c_u = 35-40$ kPa), vi sono, prevalenti, livelli consistenti con resistenze al taglio nel campo 70-150 kPa, specie negli strati a contatto con le sabbie inferiori.

Per quanto riguarda le pressioni di preconsolidazione da prove edometriche, queste oscillano fra 140 e 200 kPa, in linea con i dati di resistenza al taglio. I valori del coefficiente di compressione nel campo NC (CR) risultano variabile fra 0.15 e .25, mentre nel campo della ricomprensione si ritrovano gli usuali valori di $RR = 0.015-0.025$.

Si sottolinea che, in ogni caso, questi valori sono ricavati da prove sui campioni più tipicamente argillosi, mentre la compressibilità complessiva dell'unità 3b risulterà beneficiare della presenza delle intercalazioni sabbiose.

Il banco di sabbia (Unità 4) è caratterizzato da un contenuto di sabbia superiore al 90%. Intorno ai 7 metri vi è uno dei vari passaggi di strato e le frazioni incoerente e coesiva sono presenti rispettivamente con il 80% circa ed il 20% circa.

Per l'Unità 4 si registrano valori di N_{SPT} determinati nello strato sabbioso compresi tra 14 e 30 colpi/30cm.

La densità relativa è pari a circa 65% (ad esclusione del valore relativo a materiale in prossimità del passaggio di strato per il quale il valore di densità relativa scende a 48%. (Figura 9)

L'angolo di resistenza al taglio si assesta intorno a 39° con una variabilità piuttosto contenuta (Figura 10).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 13 di 81

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 (BH28V) ed i risultati derivanti delle interpretazioni discusse nella Relazione Sismica (Doc. Rif.[4]), basata sui risultati delle prove MASW e SPT (vedi Figura 11) di tutta la tratta da pk 24+000 a pk 28+000. Le poche prove SPT disponibili confermano l'andamento generale dello strato sabbioso.

Il valore di Vs (Figura 11) per lo strato superficiale Unità 3b è compreso tra 150 e 200 m/s. I valori di Vs per le sabbie sono compresi tra 200 m/s e 250 m/s. A profondità maggiori, ovvero oltre i 20 metri, le velocità crescono oltre i 300 m/s fino al 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 , Figura 12). Impiegando le risultanze delle prove SPT, per gli strati superficiali i valori sono pari a circa 50MPa, per le sabbie si ottengono valori compresi tra 70 MPa e 120 MPa, mentre gli strati profondi si ottengono valori compresi tra 100 MPa e 170 MPa.

Per i materiali a grana grossa, si è stimato il valore del modulo di Young (E_0) 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

RI43 da pk 26+957,72 a PK 27+379,82

Contributi granulometrici (%)

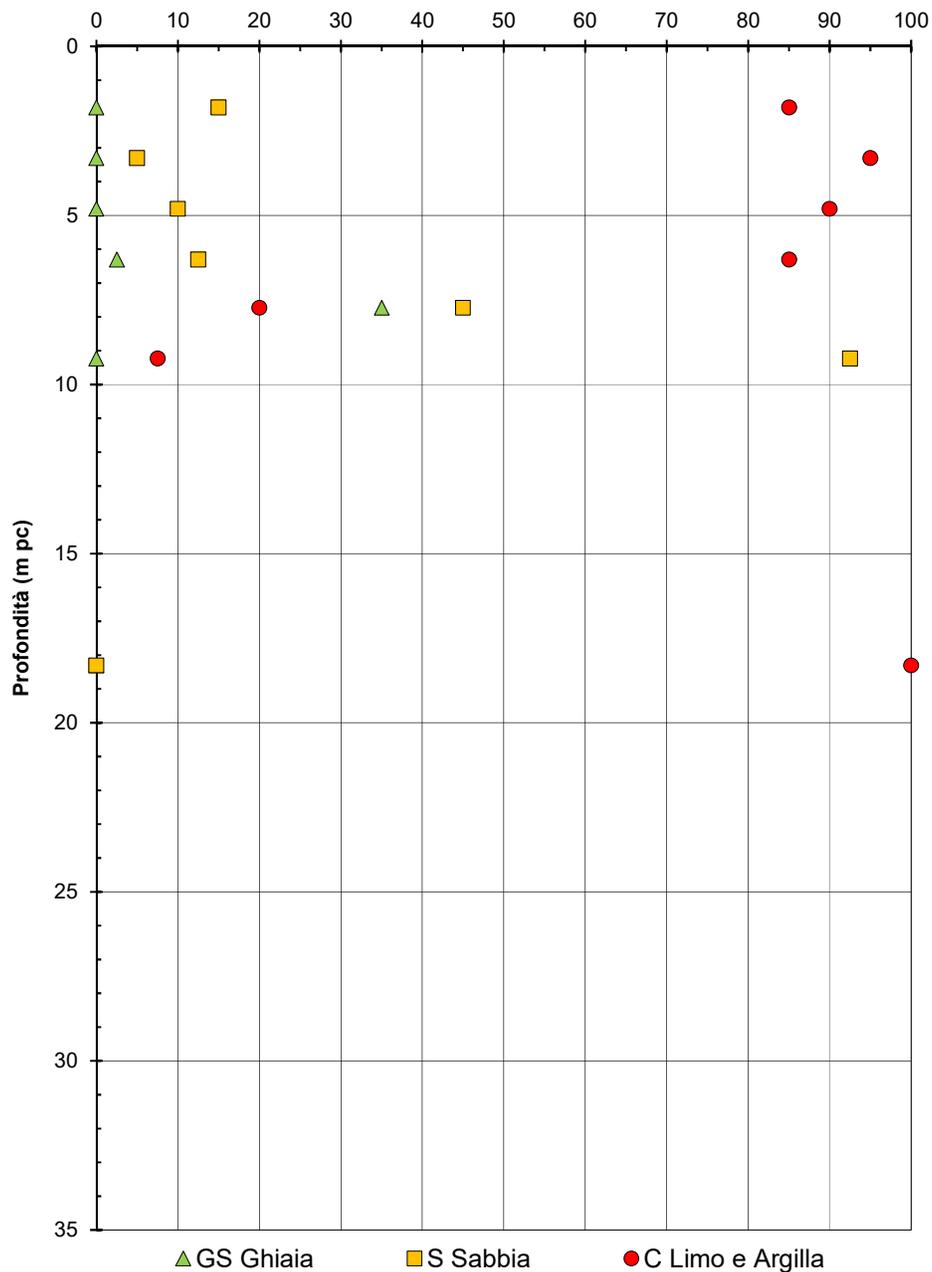


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche – RI43 (pk 26+957 ÷ 27+379)

AV/AC VERONA VICENZA

RI43 da pk 26+957,72 a pk 27+379,82

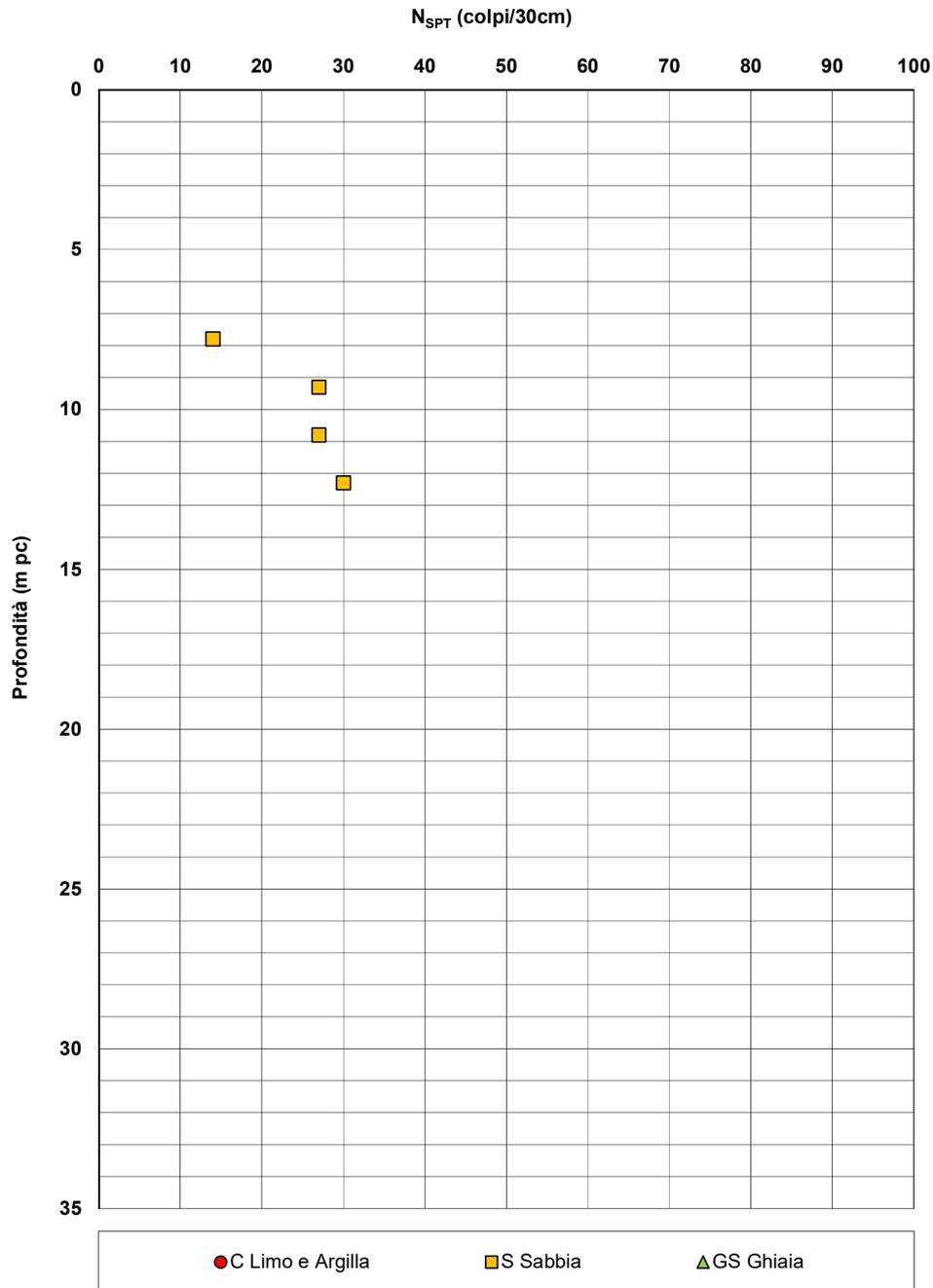


Figura 5 – Esito delle prove SPT – RI43 (pk 26+957 ÷ 27+379)

AV/AC VERONA VICENZA

RI43 da pk 26+957,72 a PK 27+379,82

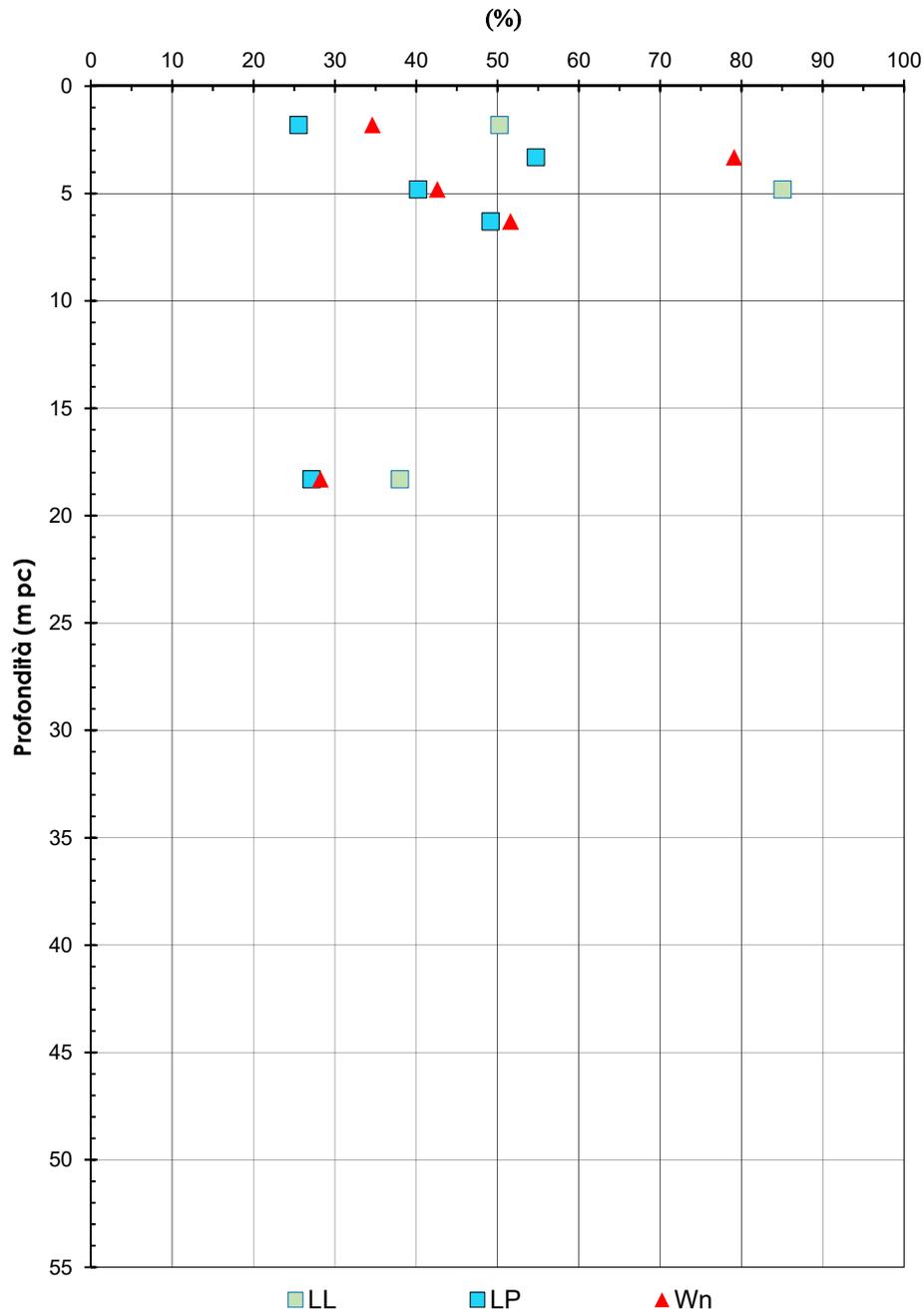


Figura 6 – Contenuto d'acqua, limite liquido e limite plastico - RI43 (pk 26+957 ÷ 27+379)

Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4300001A

Foglio

17 di 81

AV/AC VERONA VICENZA

RI43 da pk 26+957,72 a PK 27+379,82

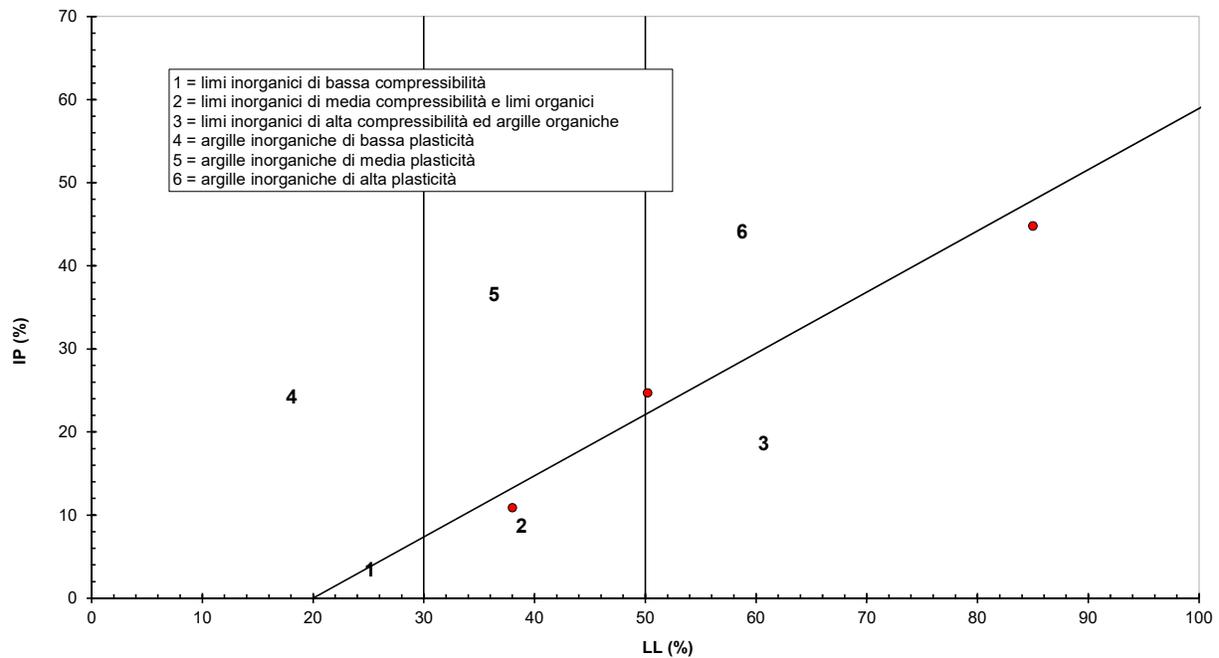


Figura 7 – Carta di Casagrande - RI43 (pk 26+957 ÷ 27+379)

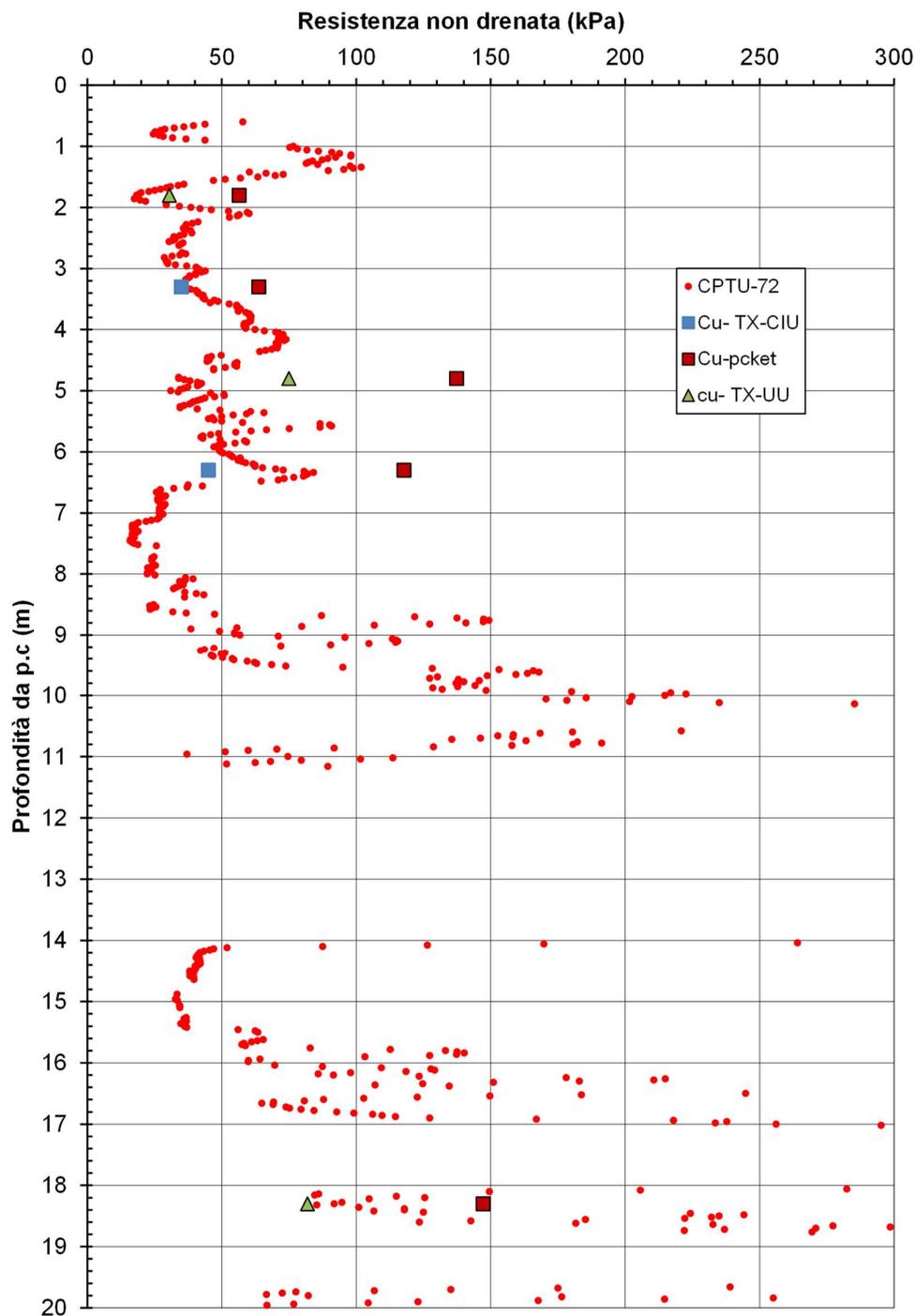


Figura 8 – Resistenza al taglio non drenata da prove di lab e da interpretazione CPTU 72 - RI43 (pk 26+957 ÷ 27+379)

Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4300001A

Foglio

19 di 81

AV/AC VERONA VICENZA

RI43 da pk 26+957,72 a pk 27+379,82

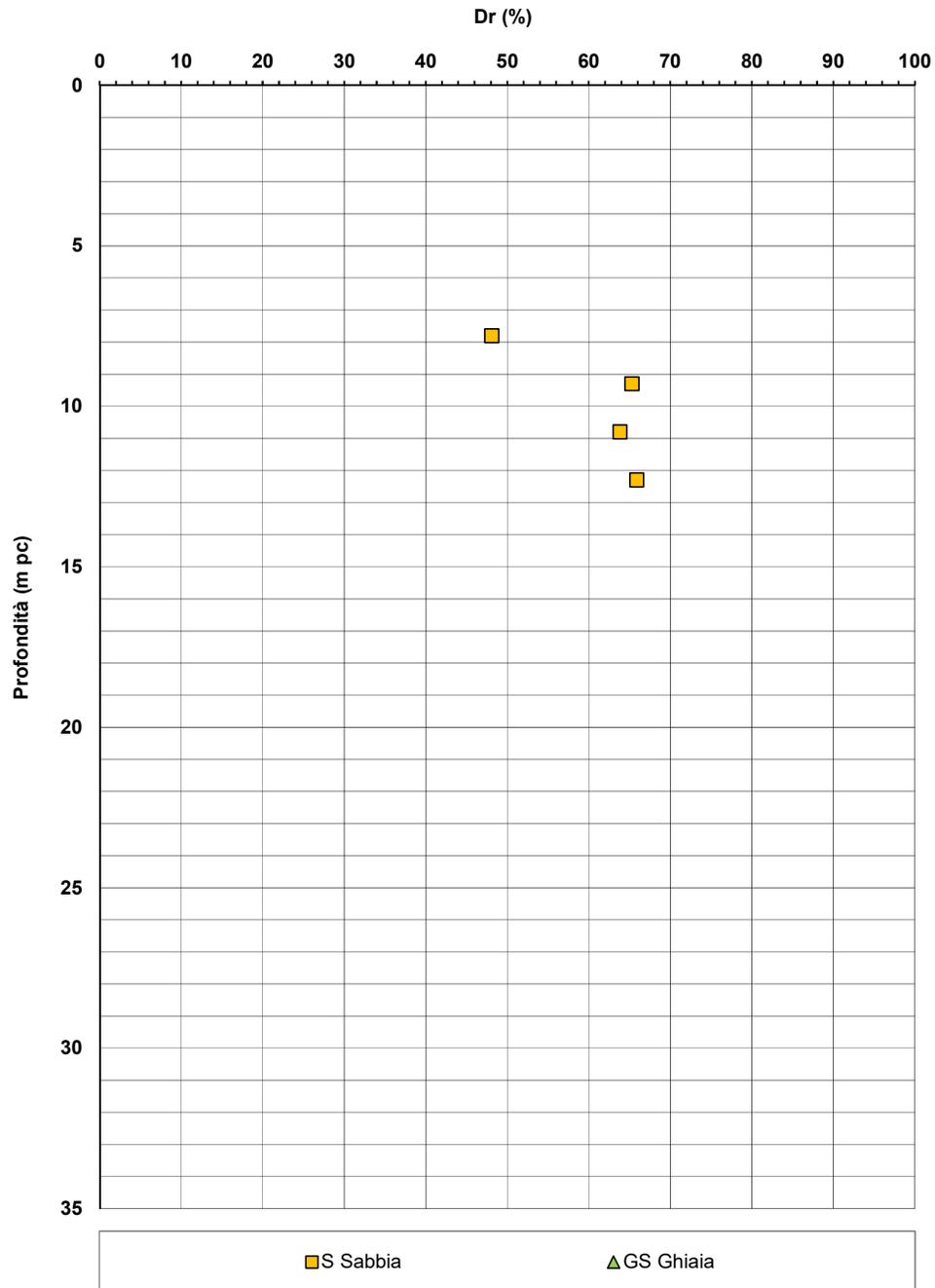


Figura 9 – Densità relativa da prove SPT - RI43 (pk 26+957 ÷ 27+379)

AV/AC VERONA VICENZA

RI43 da pk 26+957,72 a pk 27+379,82

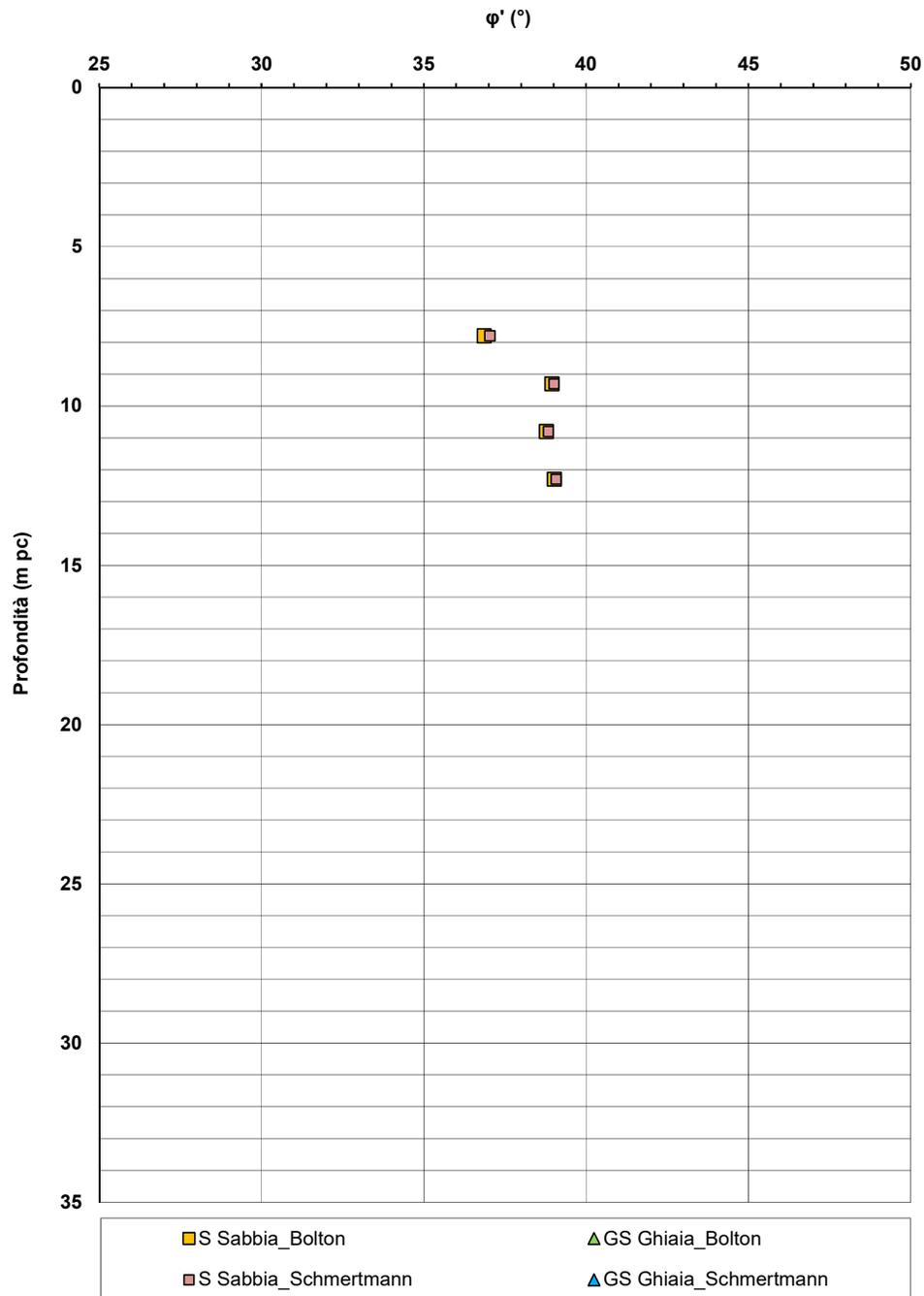


Figura 10 – Angoli di attrito da prove SPT - RI43 (pk 26+957 ÷ 27+379)

AV/AC VERONA VICENZA

RI43 da pk 26+957,72 a pk 27+379,82

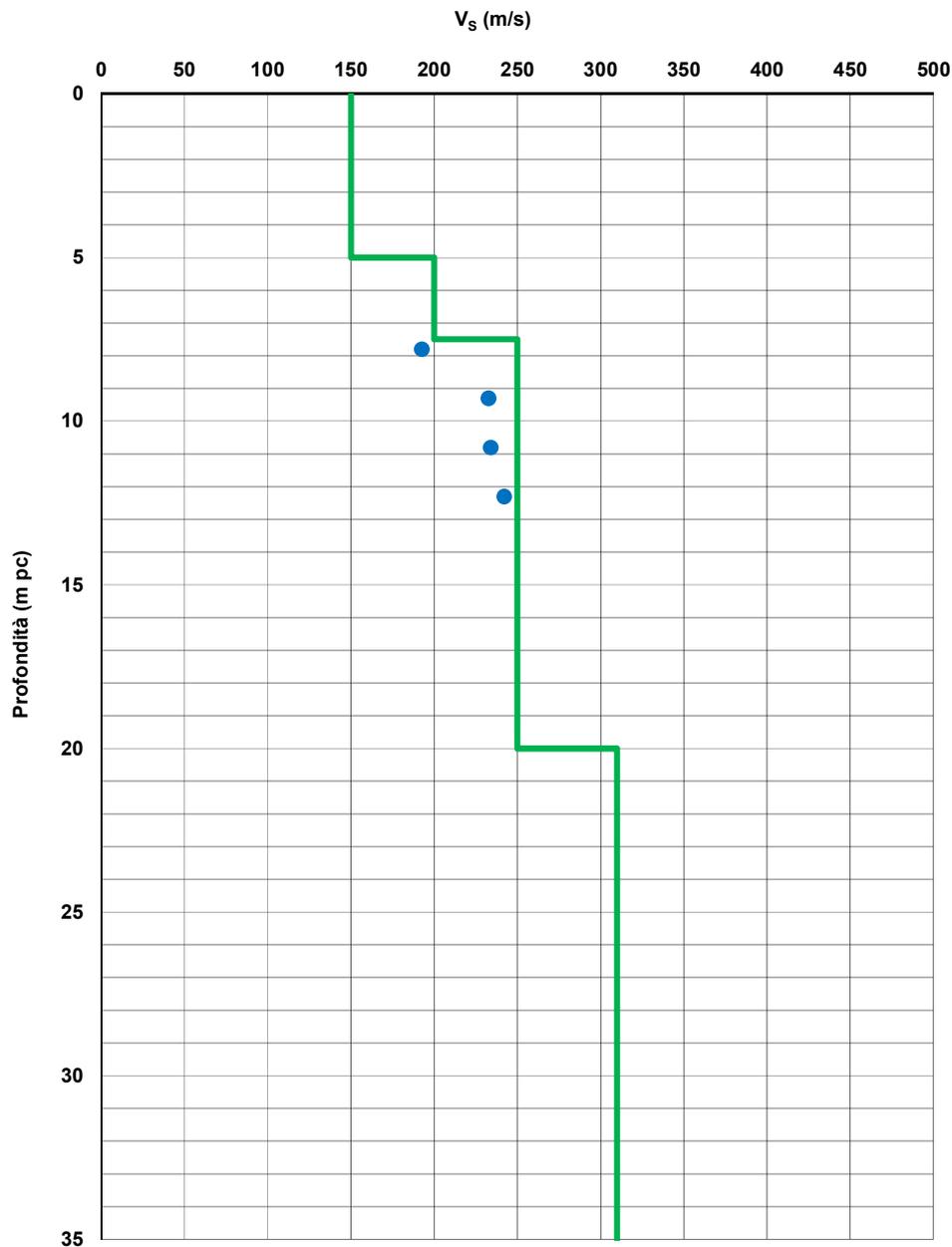


Figura 11 – Confronto V_s con dati di correlazioni con SPT di RI43 e Profilo generale (verde) tra pk 24+000 a pk 28+000 (Doc. Rif.[2])

AV/AC VERONA VICENZA

RI43 da pk 26+957,72 a pk 27+379,82

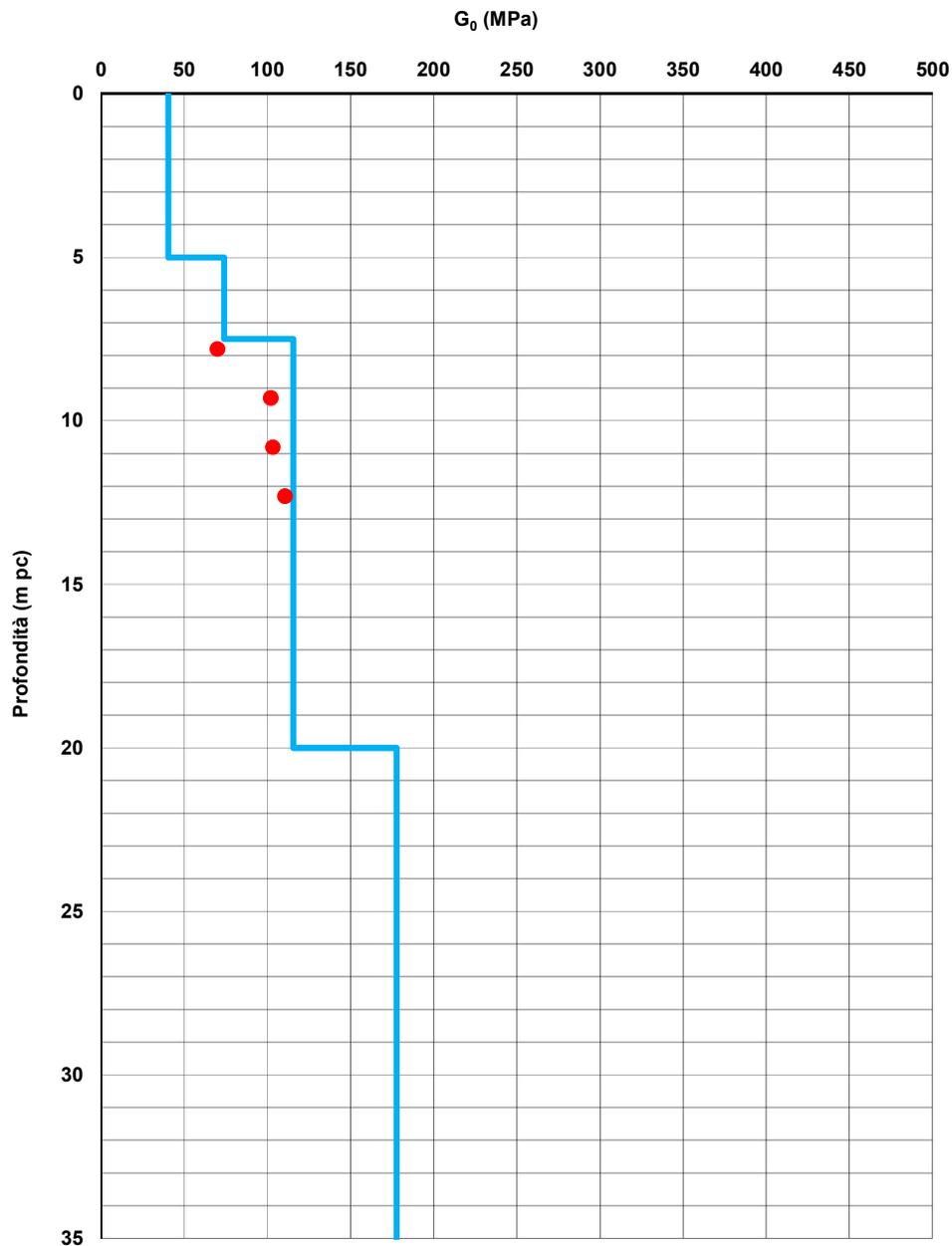


Figura 12 – Confronto G_0 con dati di correlazioni con SPT di RI43 e Profilo generale tra pk 24+000 a pk 28+000 (Doc. Rif.[2])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 23 di 81

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	σ'_p kPa	Indice RR	Indice CR
3b	0	6	18.5	28	0	50	--		140	0.025	0.21
4	6	13	19.5	38	0	-	100	50			
3b	13	30	18.5	28	0	80	--	15			
2	>30					100		25			

Il coefficiente di consolidazione dell'Unità 3b è stimato pari a $C_v = 4 \cdot 10^{-7}$ m²/s.

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+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 24 di 81

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+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI430001A	Foglio 25 di 81

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 *Depositati 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 *Depositati 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+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 26 di 81

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+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 27 di 81

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

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

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+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 28 di 81

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 13: 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 13, 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+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 29 di 81

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):

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

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

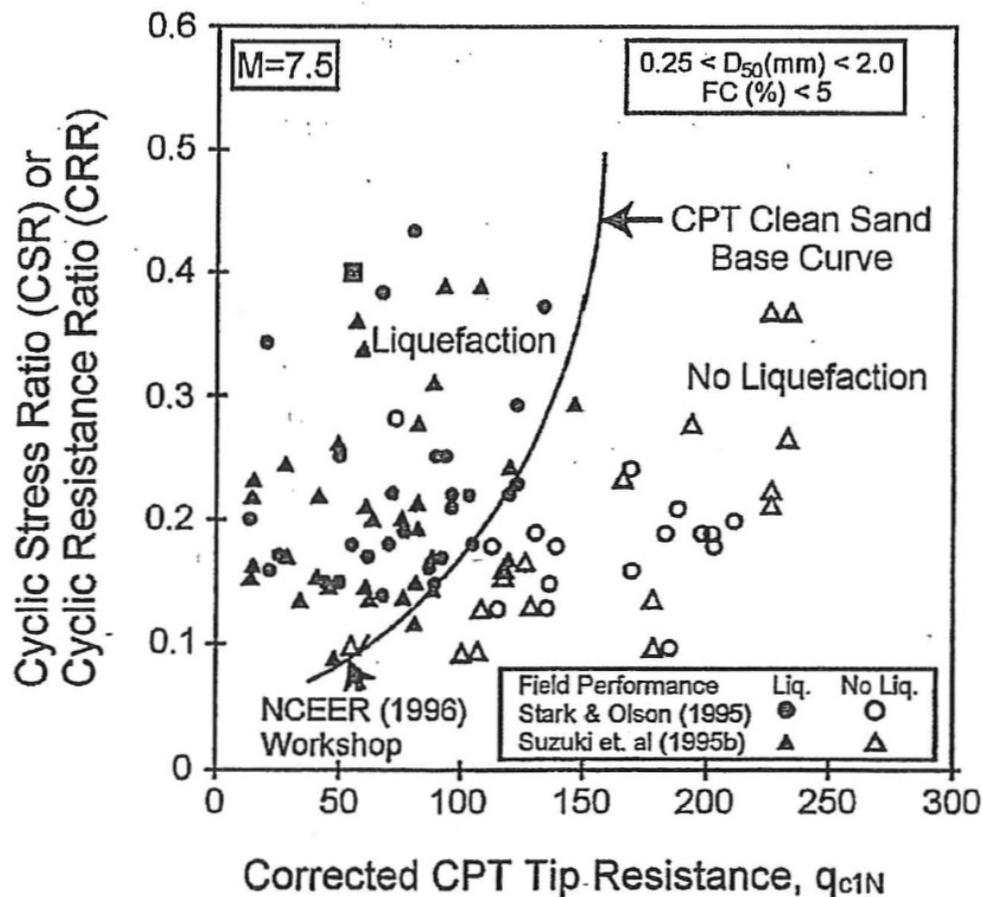


Figura 13: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

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

In Figura 14, 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+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI430001A	Foglio 31 di 81

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 14, 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 14 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+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 32 di 81

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

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):

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

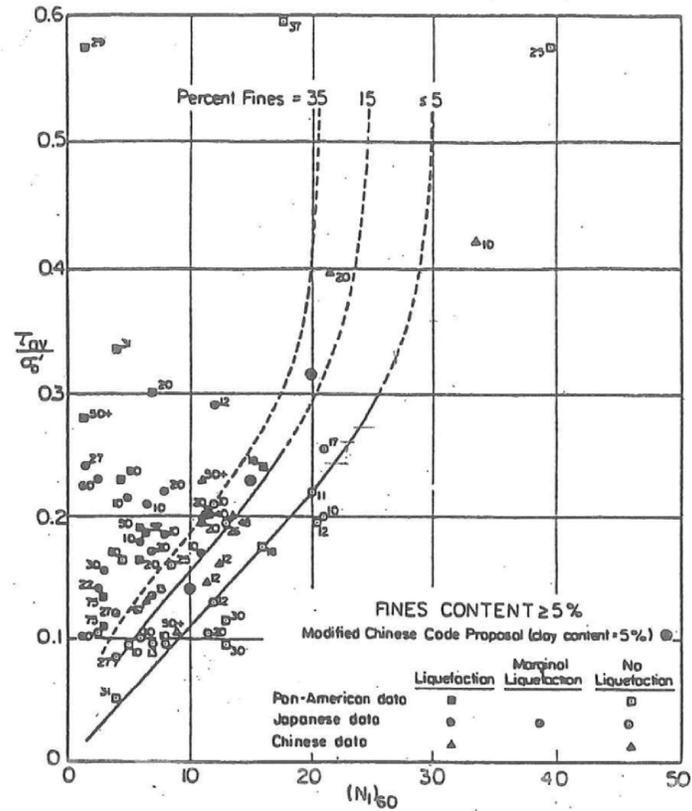


Figura 14: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

5.3 Risultati delle verifiche a liquefazione

I risultati (cfr. Figura 15) indicano come non si evidenzino rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI43, in linea con gli stati di addensamento e le granulometrie descritte in precedenza.

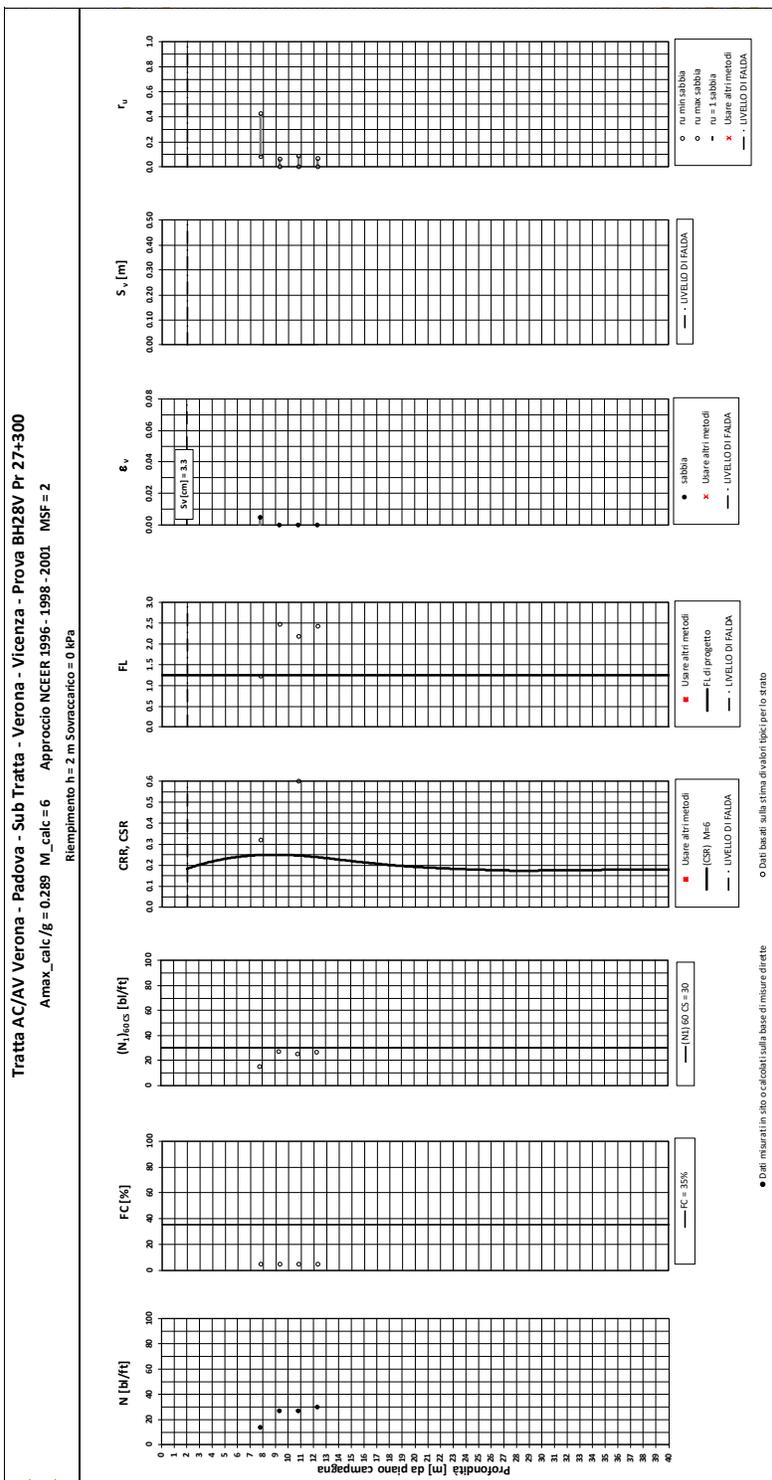


Figura 15 – Verifica Liquefazione da risultati SPT BH28V

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 35 di 81

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+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI430001A	Foglio 36 di 81

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

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+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 37 di 81

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]).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4300001A</p>	<p>Foglio 38 di 81</p>

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+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 39 di 81

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.

In Figura 16 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:

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 40 di 81

Sezione	FS (DA1C2)
15	1.540

Essendo soddisfatta in tutti i casi 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 17 sono riportate le superfici di rottura critiche della sezione di calcolo facendo riferimento alla situazione più gravosa, ovvero sia quella con sisma verso l'alto (-kv); il fattore di sicurezza FS relativo a tali meccanismi è pari a:

Sezione	FS (sismica)
15	1.341

Essendo soddisfatta la relazione:

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

le verifiche di stabilità globale in campo sismico risultano soddisfatte.

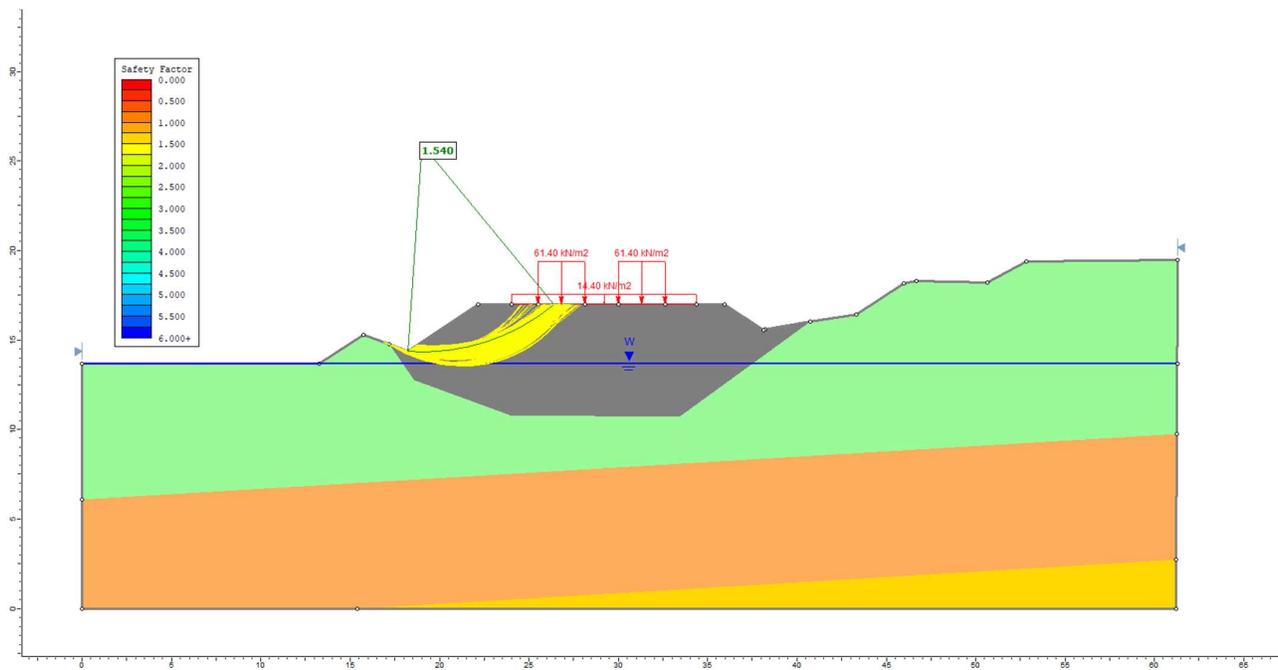


Figura 16 - Rilevato sezione n° 15 alla pk 27+300 - Analisi SLU in campo statico DA1C2

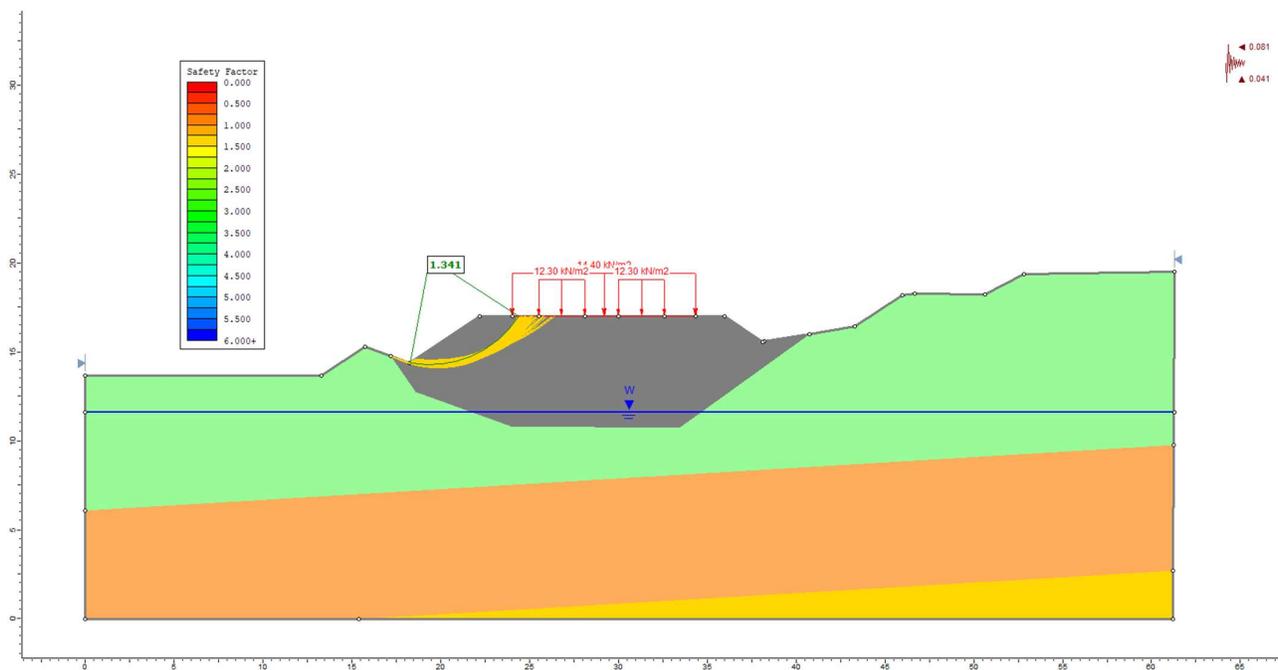


Figura 17 - Rilevato sezione n° 15 alla pk 27+300 - Analisi SLU in campo sismico

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 42 di 81

6.4 Verifica e risultati SLE

La determinazione del campo di spostamenti è stata svolta mediante l'utilizzo del codice di calcolo SETTLE 3D (Doc. Rif. [38]) che permette di valutare l'andamento dei cedimenti nel tempo sotto diverse ipotesi di carico. Il programma discretizza l'area analizzata in un numero finito di aree di carico e valuta gli incrementi di tensione indotti da ogni singola area di carico componendo poi gli effetti. A partire dagli incrementi tensionali vengono poi calcolati i cedimenti.

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

q = carico applicato

ν = coefficiente di Poisson

B = semilarghezza dell'area di carico in direzione x

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4300001A</p>	<p>Foglio 43 di 81</p>

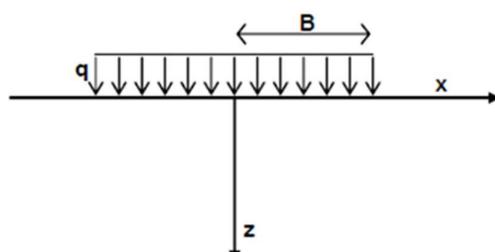


Figura 18 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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:

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

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

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

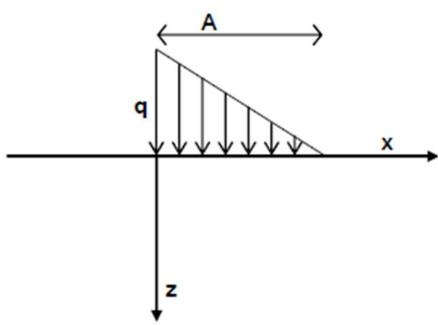


Figura 19 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4300001A</p>	<p>Foglio 44 di 81</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 diseuguaglianza:

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

dove

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

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

La verifica è stata condotta con riferimento alle seguenti sezioni:

- sezione n.15 - pk 27+300 illustrata in Figura 1.

Il modello di calcolo implementato per la sezione analizzata è riportato in Figura 20 e Figura 21. 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.

In considerazione dell'assetto stratigrafico dell'area interessata dalla realizzazione dell'opera in oggetto (presenza di terreni coesivi in prossimità del p.c.) la stima dei cedimenti, per i materiali dell'Unità 3b, è stata condotta facendo riferimento ai parametri di compressibilità ricavati dalle prove edometriche. Trattandosi inoltre di materiali sovraconsolidati, in accordo alle indicazioni di letteratura, è stato assunto che il cedimento edometrico rappresenti una stima attendibile del cedimento totale. Infine, per valutare adeguatamente il decorso dei cedimenti nel tempo, nelle analisi è stato assunto un coefficiente di consolidazione $C_v = 4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ e presa in conto la seguente storia dei carichi:

- realizzazione del nuovo rilevato,
- posa in opera del ballast e dell'armamento ferroviario (dopo 8 mesi da inizio costruzione rilevato)
- fine fase di posa in opera del ballast e dell'armamento ferroviario (circa 10 mesi da inizio costruzione rilevato, ovvero 2 mesi da inizio posa del ballast),
- attesa esaurimento dei cedimenti nel tempo.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 45 di 81

Il decorso dei cedimenti nel tempo in corrispondenza degli assi dei due binari della linea AV di nuova costruzione è riportato nelle Figura 22 e Figura 23.

In Figura 24 è riportato l'andamento dei cedimenti trasversalmente alla sezione dell'opera. Le curve mostrano l'andamento dei cedimenti stimato allo step di carico corrispondente alla fine della posa del ballast/armamento e allo step corrispondente al termine del processo di consolidazione. Nella figura è anche indicata la posizione degli assi dei binari della linea ferroviaria.

Risulta quanto segue:

- i cedimenti totali in corrispondenza degli assi dei due binari sono pari a 117 mm
- il differenziale tra la stima del cedimento dopo due mesi dalla posa del ballast e quella al termine del processo di consolidazione è pari a 6mm sui due assi

Considerato quanto sopra discusso, **la verifica SLE è quindi da considerarsi soddisfatta.**

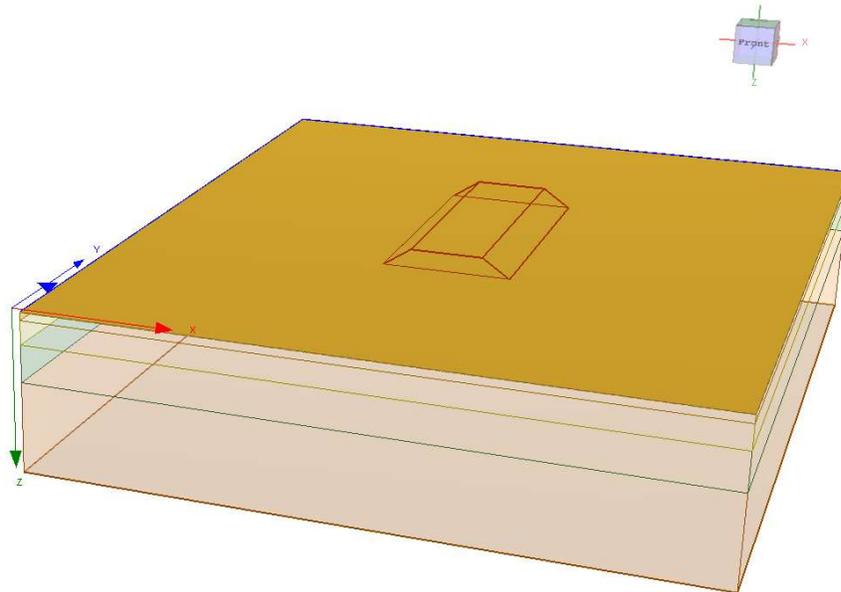


Figura 20 - Rilevato sez n° 15 alla pk 27+300 - Analisi SLE – Modello di calcolo – Costruzione rilevato AV

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4300001A

Foglio

46 di 81

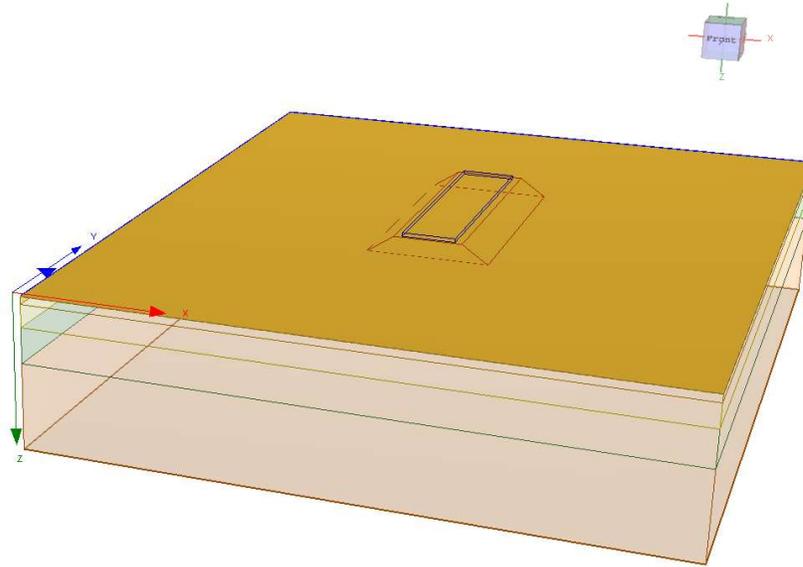


Figura 21 - Rilevato sez n° 15 alla pk 27+300 - Analisi SLE – Modello di calcolo – Posa Ballast

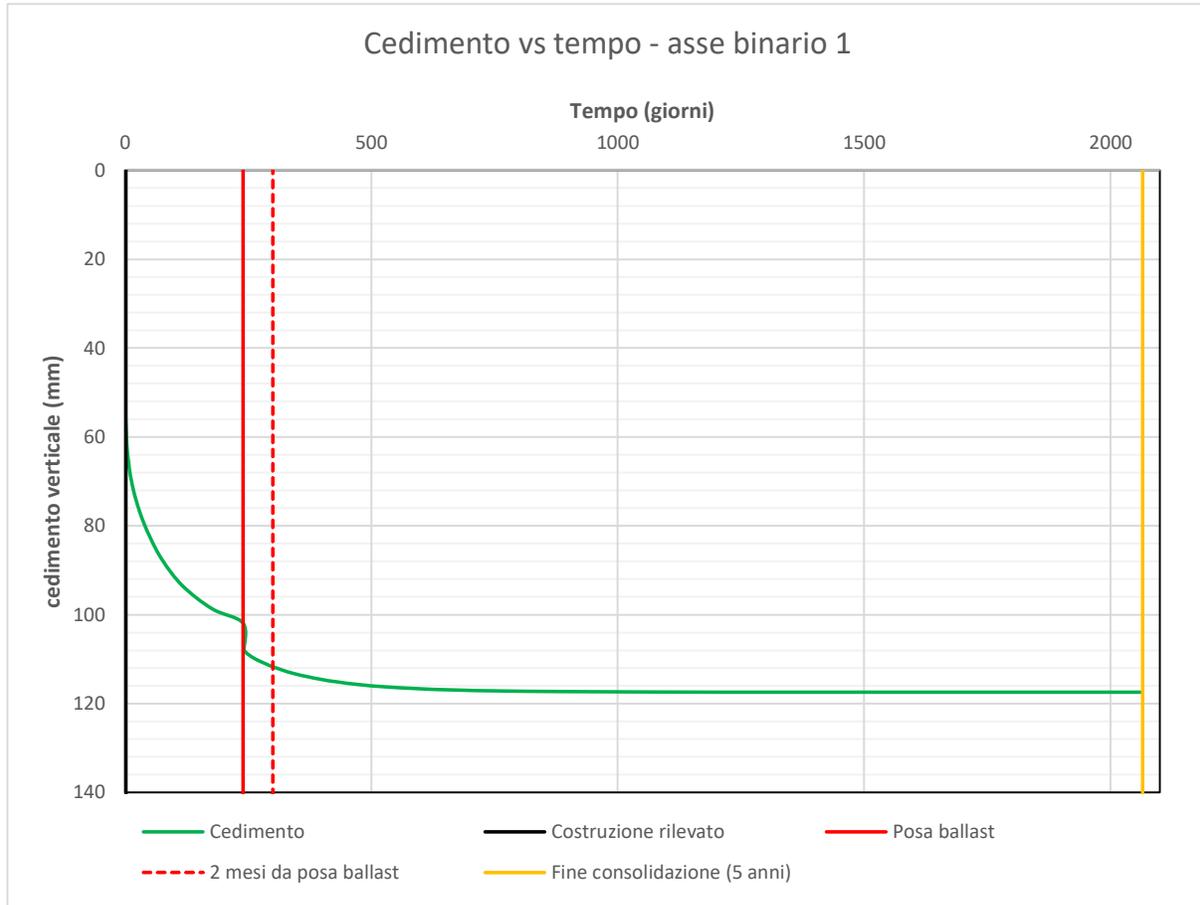


Figura 22 - Rilevato sezione n°15 alla pk 27+300 - Analisi SLE – Decorso dei cedimenti nel tempo in corrispondenza dell'asse del binario 1

Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4300001A

Foglio

48 di 81

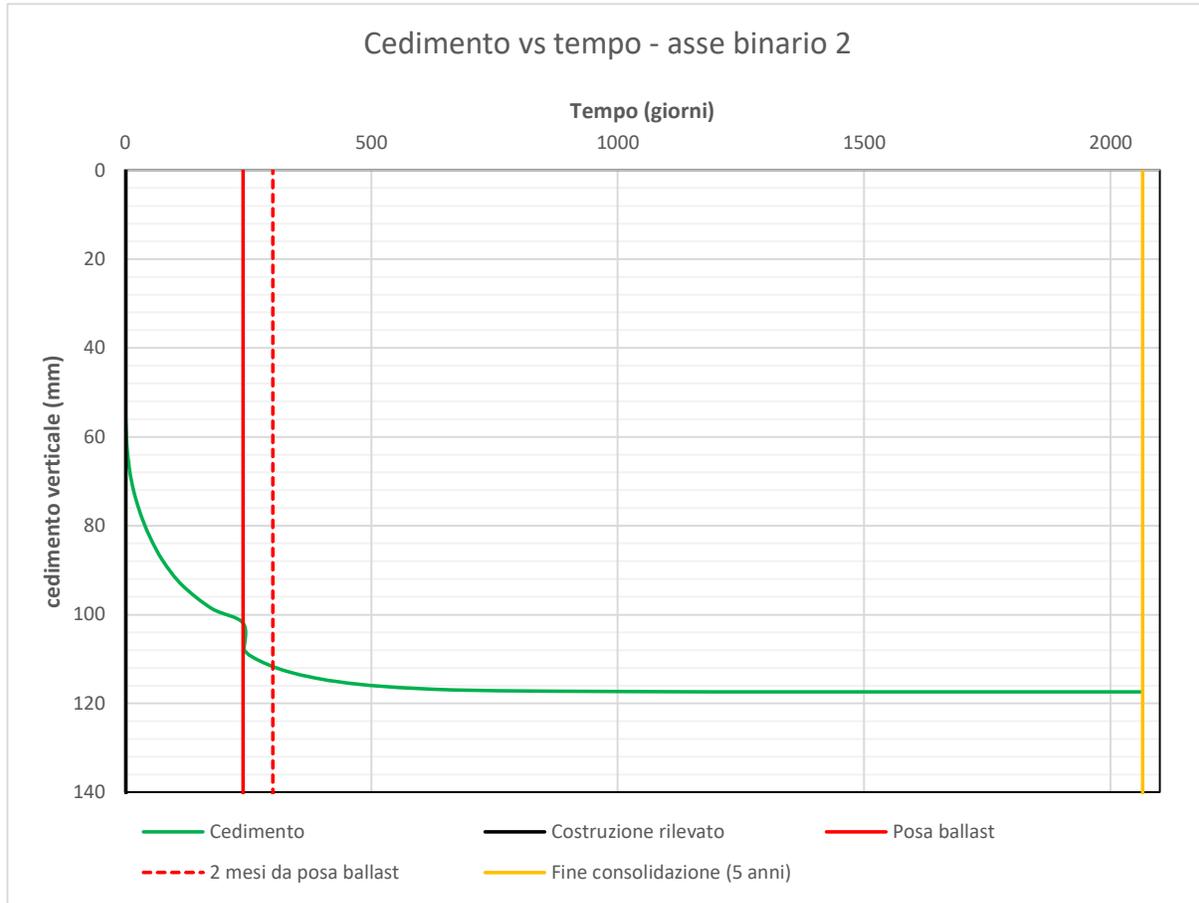


Figura 23 - Rilevato sezione n° 15 alla pk 27+300 - Analisi SLE – Decorso dei cedimenti nel tempo in corrispondenza dell'asse del binario 2

Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4300001A

Foglio

49 di 81

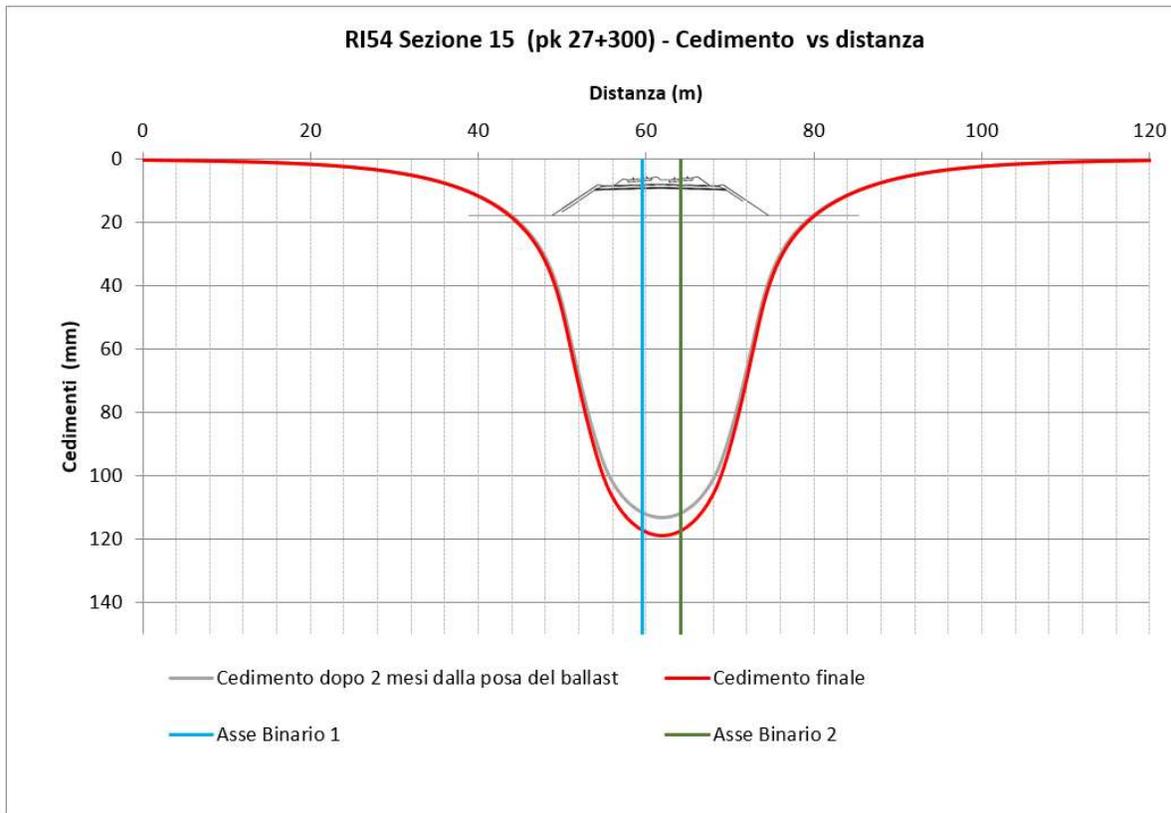


Figura 24 - Rilevato sezione n° 15 alla pk 27+300 - Analisi SLE – Risultato Cedimenti – Binario pari

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 50 di 81

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

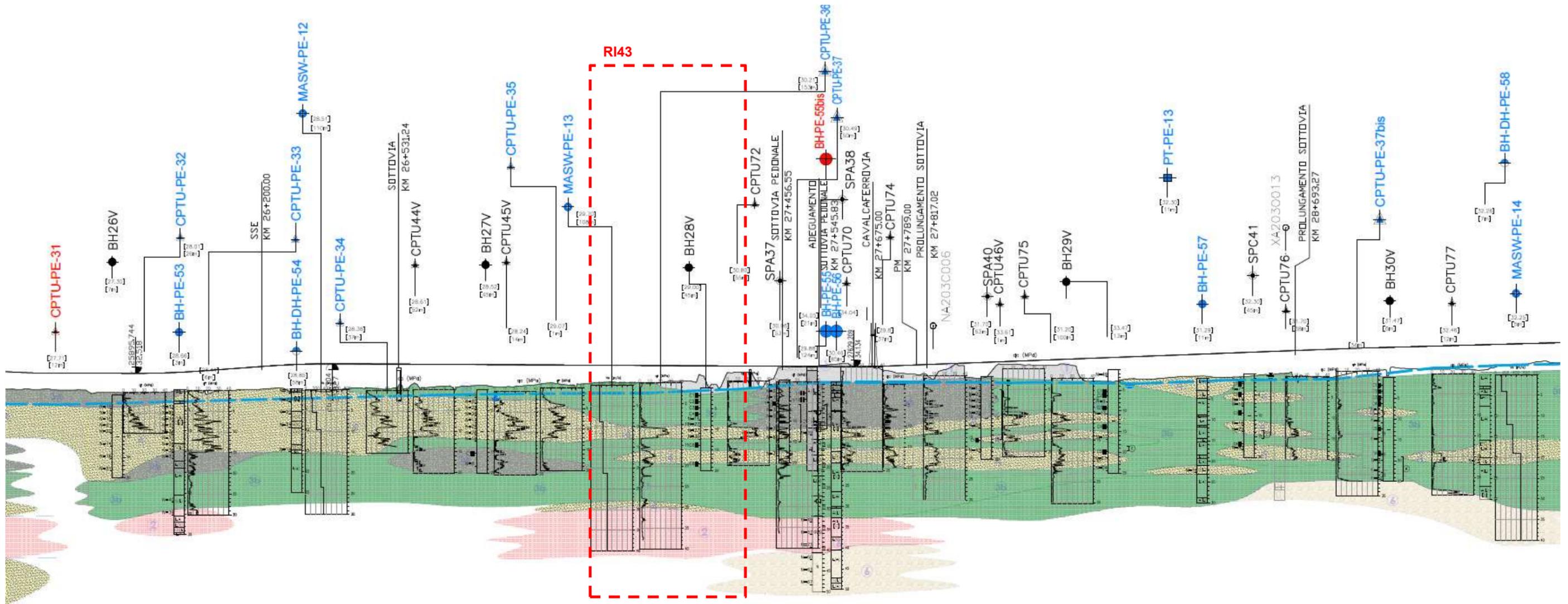


Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI4300001A	51 di 81

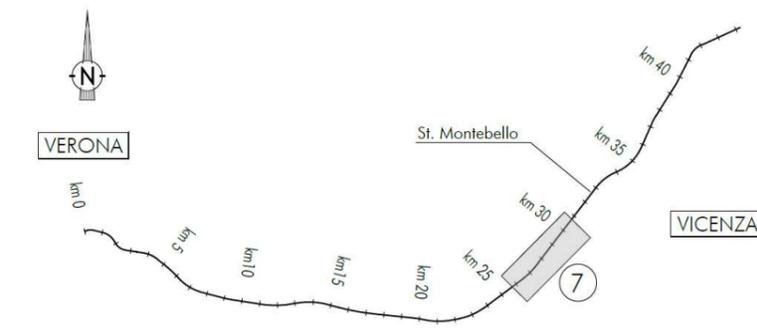
ALLEGATI

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4300001A</p>	<p>Foglio 52 di 81</p>

ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



PIANTA CHIAVE



LEGENDA

- Campagna indagini integrative PE**
- BH-PE-n Sondaggio a carotaggio continuo
 - BH-PZ-PE-n Sondaggio a carotaggio continuo con l'installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande
 - MASW-PE-n Indagini MASW
 - CPTU-PE-n Prova penetrometrica statica con piezocono
- Campagna indagini 2018 per CDS**
- Sondaggio geognostico
- Campagna indagini 2015**
- P1-P15, P20 Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - P1-15Bis Foro a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)
- Campagna indagini 2014**
- SP Sondaggio a carotaggio continuo
 - SPC Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SPCA Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SPMA Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SDA Foro a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - CPTU Prova penetrometrica statica con piezocono (possibilità di avanzamento con trivellazione)
 - CPTU* Prova penetrometrica statica con piezocono "tradizionale"
 - CH Foro a distruzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
 - PT Pozzetto esplorativo a 1,5 m da p.c. con prove di carico su piastra
 - Profondità delle indagini
- Campagna indagini pregresse**
- 3 Sondaggio geognostico (campagna 1998)
 - 3A2030000 Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
 - 3A2030013 CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
 - 4000000 Pozzetto con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (VI) per gentile concessione Centro Idrico Novoleda s.r.l.)
- Classi dei terreni**
- 1 Riporto
 - 2 Limi argillosi e limi da compatte a molto compatte, generalmente sovraconsolidati
 - 3a Area con prevalenza di sabbie limose/con limo e limi sabbiosi/con sabbie, a comportamento drenato, da sciolti a mediamente addensati
 - 3b Area con prevalenza di limi argillosi e argille limose, da tenere a mediamente compatte, generalmente NC o debolmente OC
 - 3c Area di alternanza, sia in verticale che planimetrica, di materiali 3a e 3b
 - 4 Sabbie generalmente da debolmente limose a limose, da mediamente addensati a molto addensati
 - 6 Ghiaie, ghiaie con sabbie, con presenza locale di ciottoli, anche di grandi dimensioni (fino a 80/100mm)

Campagna indagini pregresse

- 3 Sondaggio geognostico (campagna 1998)
- 3A2030000 Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
- 3A2030013 CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
- 4000000 Pozzetto con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (VI) per gentile concessione Centro Idrico Novoleda s.r.l.)

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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI4300001A	54 di 81

ALLEGATO 2 - SONDAGGI



Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI430001A

Foglio
55 di 81

Geolavori Indagini geognostiche prove geotecniche in sito		SCHEDA DI SONDAGGIO				COMM. cm017/15								
SECONDO RACCOMANDAZIONI A.G.I. (1977)		PAG. 1		DI 1										
Rev 0	Data 31/12/2008	CERTIFICATO	cerstr028cm01715	DIRETTORE Dott. Ing. Davide Splendore										
COMMITTENTE Iricav Due														
CANTIERE Linea AV/AC VR-PD Variante di San Bonifacio														
PERFORAZIONE N. BH28V		DATA INIZIO 13/03/2015		ULTIMAZIONE 13/03/2015										
COORDINATE GB: Nord		Est		Quota s.l.m.m.										
RESPONSABILE Dott. Carturan		OPERATORE Sig. Motta		ATTREZZATURA Mustang A66R										
Da m 0.00	A m 20.00	Profondità Finale m	PAC. 1	DI 2	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	PROFONDITA' m da fonale	SIMBOLOGIA STRATIGRAFICA	TIPO	CAMPIONI NUMERO	PROFONDITA' m da p.c.	POCKET PENETROMETER Kg/cm ²	TORVANE Kg/cm ²	S.P.T. N H	
					Riporto: ghiaia da fine a grossa, sub-arrotondata, in prevalenza carbonatica, in matrice di sabbia medio fine limosa.	0.40					0.56 >1 0.31 >1 0.23 0.82 0.06 0.28			
					Argilla limosa marrone scura.	1.15								
					Argilla con limo debolmente sabbiosa, marrone.	2.10		A		1.50 2.10				
					Argilla limosa debolmente sabbiosa marrone.						0.6 0.30 0.7 0.36 0.9 0.44			
					Argilla debolmente limosa grigio scura, grigio fumo con screziature ocre.	3.60		B		3.00 3.60	1.5 0.66 1.6 0.92 1.9 >1 2.0 >1			
					Argilla debolmente limosa grigio scura, grigio fumo con concrezioni carbonatiche, Ø<5 mm.	5.10		C		4.50 5.10	2.4 >1 2.8 >1 3.2 >1 3.6 >1			
					Sabbia medio fine debolmente ghiaiosa grigia, clasti sub-arrotondati, carbonatici. Al tetto livello decimetrico di sabbia medio fine con argilla grigio fumo-nero.	6.60		D		6.00 6.60				
					Sabbia medio grossa, a tratti medio fine, debolmente ghiaiosa, clasti medio fini, sub-arrotondati, carbonatici.	7.40			1	7.50 7.95			4 7.50 5 7.65 9 7.80 9 7.95	
					Sabbia medio grossa, ben gradata, grigia.				2	9.00 9.45			8 9.00 11 9.15 16 9.30 16 9.45	
					Argilla debolmente limosa, grigio chiara.	10.40			3	10.50 10.95			8 10.50 12 10.65 15 10.80 15 10.95	
					Argilla debolmente limosa, debolmente sabbiosa, grigio scura marrone.	13.15			4	12.00 12.45			10 12.00 14 12.15 16 12.30 16 12.45	
					Limo argilloso grigio, da debolmente sabbioso a sabbioso.	14.10		E		13.50 14.10	1.2 0.64			
					Sabbia fine limosa grigia.	14.70					0.6 0.38 0.7 0.39 0.9 0.36 1.2 0.36 1.0 0.30			
					Argilla con limo, color grigio.	15.70			5	15.00 15.50				
					Argilla con limo, color grigio.	16.05			6	16.50 17.00	0.4 0.20 1.2 0.40 0.8 0.32 1.3 0.36 1.2 0.32 1.6 0.28 1.4 0.33 1.6 0.36			
					Argilla con limo, color grigio.	18.00		F		18.00 18.60				
					Argilla con limo, color grigio.	18.60					1.5 0.25 2.4 0.32 2.5 0.36 1.5 0.32 1.9 0.30			
					Argilla con limo, color grigio.	19.50			7	19.50 20.00				
					FINE SONDAGGIO	20.00								

GEOLAVORI s.r.l. - 35042 ESTE (PD) - VIA CALLIDO n. 7 - TEL. 0429/601478 - FAX 0429/55639

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI4300001A	57 di 81

ALLEGATO 3 - SEZ. N° 15 - TABULATI DI SLIDE

Slide Analysis Information

RI43

Project Summary

File Name:	RI43.slmd
Slide Modeler Version:	9.012
Project Title:	SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created:	19/05/2021, 13:00:36

Currently Open Scenarios

Group Name	Scenario Name	Global Minimum	Compute Time
Statica A2+M2+R2	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.539520 Spencer: 1.540250 Gle/morgenstern-price: 1.540530	00h:00m:04.472s
Sismica kv+	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.363870 Spencer: 1.367910 Gle/morgenstern-price: 1.366330	00h:00m:03.132s
Sismica kv-	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.341420 Spencer: 1.344350 Gle/morgenstern-price: 1.342160	00h:00m:03.254s

General Settings

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

Design Standard

◆ Statica A2+M2+R2

Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4300001A

Foglio

59 di 81

RI43

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+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI430001A	Foglio 60 di 81

RI43

giovedì 20 maggio 2021

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

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

Analysis Options

All Open Scenarios

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

Groundwater Analysis

All Open Scenarios

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

RI43

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+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI430001A	62 di 81

RI43

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

RI43

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]	50
Cohesion Type	Constant
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Value	0

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

U3b prof

Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight [kN/m3]	18.5
Cohesion [kPa]	80
Cohesion Type	Constant
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Value	0

Materials In Use

Material	Statica A2+M2+R2	Sismica kv+	Sismica kv-
U3b 	✓	✓	✓
Rilevato 	✓	✓	✓
U4 	✓	✓	✓
U3b prof 	✓	✓	✓

Global Minimums

RI43

giovedì 20 maggio 2021

◆ Statica A2+M2+R2

Method: bishop simplified

FS	1.539520
Center:	19.018, 25.952
Radius:	11.601
Left Slip Surface Endpoint:	18.247, 14.377
Right Slip Surface Endpoint:	26.392, 16.996
Resisting Moment:	2114.41 kN-m
Driving Moment:	1373.42 kN-m
Total Slice Area:	10.2193 m ²
Surface Horizontal Width:	8.14507 m
Surface Average Height:	1.25466 m

Method: spencer

FS	1.540250
Center:	19.018, 25.952
Radius:	11.601
Left Slip Surface Endpoint:	18.247, 14.377
Right Slip Surface Endpoint:	26.392, 16.996
Resisting Moment:	2115.41 kN-m
Driving Moment:	1373.42 kN-m
Resisting Horizontal Force:	165.343 kN
Driving Horizontal Force:	107.348 kN
Total Slice Area:	10.2193 m ²
Surface Horizontal Width:	8.14507 m
Surface Average Height:	1.25466 m

Method: gle/morgenstern-price

FS	1.540530
Center:	18.978, 25.889
Radius:	11.536
Left Slip Surface Endpoint:	18.247, 14.377
Right Slip Surface Endpoint:	26.325, 16.996
Resisting Moment:	2037.69 kN-m
Driving Moment:	1322.72 kN-m
Resisting Horizontal Force:	160.164 kN
Driving Horizontal Force:	103.967 kN
Total Slice Area:	10.0531 m ²
Surface Horizontal Width:	8.07826 m
Surface Average Height:	1.24446 m

◆ Sismica kv+

Method: bishop simplified

Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI430001A

Foglio

65 di 81

RI43

giovedì 20 maggio 2021

FS	1.363870
Center:	19.375, 20.436
Radius:	6.127
Left Slip Surface Endpoint:	18.290, 14.406
Right Slip Surface Endpoint:	24.445, 16.996
Resisting Moment:	578.273 kN-m
Driving Moment:	423.994 kN-m
Total Slice Area:	7.42422 m ²
Surface Horizontal Width:	6.15559 m
Surface Average Height:	1.20609 m

Method: spencer

FS	1.367910
Center:	19.393, 20.159
Radius:	5.871
Left Slip Surface Endpoint:	18.274, 14.395
Right Slip Surface Endpoint:	24.339, 16.996
Resisting Moment:	546.265 kN-m
Driving Moment:	399.344 kN-m
Resisting Horizontal Force:	84.1938 kN
Driving Horizontal Force:	61.5494 kN
Total Slice Area:	7.36102 m ²
Surface Horizontal Width:	6.06466 m
Surface Average Height:	1.21376 m

Method: gle/morgenstern-price

FS	1.366330
Center:	19.375, 20.436
Radius:	6.127
Left Slip Surface Endpoint:	18.290, 14.406
Right Slip Surface Endpoint:	24.445, 16.996
Resisting Moment:	579.316 kN-m
Driving Moment:	423.994 kN-m
Resisting Horizontal Force:	85.6484 kN
Driving Horizontal Force:	62.685 kN
Total Slice Area:	7.42422 m ²
Surface Horizontal Width:	6.15559 m
Surface Average Height:	1.20609 m

 **Sismica kv-**
Method: bishop simplified

FS	1.341420
Center:	19.380, 20.252
Radius:	5.955
Left Slip Surface Endpoint:	18.281, 14.400
Right Slip Surface Endpoint:	24.366, 16.996
Resisting Moment:	509.469 kN-m
Driving Moment:	379.798 kN-m
Total Slice Area:	7.34969 m ²
Surface Horizontal Width:	6.08506 m
Surface Average Height:	1.20783 m

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4300001A	Foglio 66 di 81

RI43

giovedì 20 maggio 2021

Method: spencer

	FS	1.344350
Center:	19.380, 20.252	
Radius:	5.955	
Left Slip Surface Endpoint:	18.281, 14.400	
Right Slip Surface Endpoint:	24.366, 16.996	
Resisting Moment:	510.581 kN-m	
Driving Moment:	379.798 kN-m	
Resisting Horizontal Force:	77.6045 kN	
Driving Horizontal Force:	57.7263 kN	
Total Slice Area:	7.34969 m2	
Surface Horizontal Width:	6.08506 m	
Surface Average Height:	1.20783 m	

Method: gle/morgenstern-price

	FS	1.342160
Center:	19.380, 20.252	
Radius:	5.955	
Left Slip Surface Endpoint:	18.281, 14.400	
Right Slip Surface Endpoint:	24.366, 16.996	
Resisting Moment:	509.751 kN-m	
Driving Moment:	379.798 kN-m	
Resisting Horizontal Force:	77.5581 kN	
Driving Horizontal Force:	57.7858 kN	
Total Slice Area:	7.34969 m2	
Surface Horizontal Width:	6.08506 m	
Surface Average Height:	1.20783 m	

Global Minimum Support Data

All Open Scenarios

No Supports Present

Entity Information

◆ Statica A2+M2+R2

Shared Entities

Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI430001A

Foglio

67 di 81

RI43

giovedì 20 maggio 2021

Type	Coordinates (x,y)
External Boundary	61.3142, 19.4966
	52.8211, 19.3816
	50.6493, 18.2213
	46.6951, 18.2829
	45.9614, 18.1737
	43.2996, 16.42
	40.7614, 16.016
	38.2231, 15.612
	38.1291, 15.5459
	35.9552, 16.9959
	34.3659, 16.9959
	32.6142, 16.9959
	30.0142, 16.9959
	28.1241, 16.9959
	25.5142, 16.9959
	24.0523, 16.9959
	22.1732, 16.9959
	18.2444, 14.3755
	17.1859, 14.761
	15.759, 15.2807
13.2639, 13.6698	
-0.00580029, 13.67	
-0.00580029, 6.07721	
-0.00580029, -0.0144126	
15.3782, -0.0144126	
61.1854, -0.0144126	
61.2035, 2.71967	
61.25, 9.76723	
Material Boundary	24.0523, 16.9959
	24.0523, 16.3753
	34.3659, 16.3753
	34.3659, 16.9959
Material Boundary	25.5142, 16.9959
	25.5142, 16.7699
	28.1281, 16.7699
	28.1241, 16.9959
Material Boundary	30.0142, 16.9959
	30.0142, 16.8053
	32.6142, 16.8053
	32.6142, 16.9959
Material Boundary	17.1859, 14.761
	18.5941, 12.7481
Material Boundary	18.5941, 12.7481
	23.9547, 10.7956
	33.4309, 10.7259
Material Boundary	40.7614, 16.016
	-0.00580029, 6.07721
	61.25, 9.76723
Material Boundary	15.3782, -0.0144126
	61.2035, 2.71967

Scenario-based Entities

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4300001A

Foglio

68 di 81

RI43

giovedì 20 maggio 2021

Type	Coordinates (x,y)	Master Scenario
Water Table	-0.00580029, 13.67 61.2757, 13.67	Assigned to:  U3b  Rilevato  U4  U3b prof
Distributed Load	24.0523, 16.9959 25.5142, 16.9959 28.1241, 16.9959 30.0142, 16.9959 32.6142, 16.9959 34.3659, 16.9959	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 14.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	25.5142, 16.9959 28.1241, 16.9959	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 61.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	30.0142, 16.9959 32.6142, 16.9959	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 61.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No

◆ **Sismica kv±**

Shared Entities

RI43

giovedì 20 maggio 2021

Type	Coordinates (x,y)
External Boundary	61.3142, 19.4966
	52.8211, 19.3816
	50.6493, 18.2213
	46.6951, 18.2829
	45.9614, 18.1737
	43.2996, 16.42
	40.7614, 16.016
	38.2231, 15.612
	38.1291, 15.5459
	35.9552, 16.9959
	34.3659, 16.9959
	32.6142, 16.9959
	30.0142, 16.9959
	28.1241, 16.9959
	25.5142, 16.9959
	24.0523, 16.9959
	22.1732, 16.9959
	18.2444, 14.3755
	17.1859, 14.761
	15.759, 15.2807
	13.2639, 13.6698
	-0.00580029, 13.67
	-0.00580029, 6.07721
-0.00580029, -0.0144126	
15.3782, -0.0144126	
61.1854, -0.0144126	
61.2035, 2.71967	
61.25, 9.76723	
Material Boundary	24.0523, 16.9959
	24.0523, 16.3753
	34.3659, 16.3753
	34.3659, 16.9959
Material Boundary	25.5142, 16.9959
	25.5142, 16.7699
	28.1281, 16.7699
	28.1241, 16.9959
Material Boundary	30.0142, 16.9959
	30.0142, 16.8053
	32.6142, 16.8053
	32.6142, 16.9959
Material Boundary	17.1859, 14.761
	18.5941, 12.7481
Material Boundary	18.5941, 12.7481
	23.9547, 10.7956
	33.4309, 10.7259
	40.7614, 16.016
Material Boundary	-0.00580029, 6.07721
	61.25, 9.76723
Material Boundary	15.3782, -0.0144126
	61.2035, 2.71967

Scenario-based Entities

RI43

giovedì 20 maggio 2021

Type	Coordinates (x,y)	Master Scenario
Water Table	-0.00580029, 11.616 61.2757, 11.616	Assigned to:  U3b  Rilevato  U4  U3b prof
Distributed Load	24.0523, 16.9959 25.5142, 16.9959 28.1241, 16.9959 30.0142, 16.9959 32.6142, 16.9959 34.3659, 16.9959	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 14.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	25.5142, 16.9959 28.1241, 16.9959	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 12.3 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	30.0142, 16.9959 32.6142, 16.9959	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 12.3 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No

 **Sismica kv-**

Shared Entities

RI43

giovedì 20 maggio 2021

Type	Coordinates (x,y)
External Boundary	61.3142, 19.4966
	52.8211, 19.3816
	50.6493, 18.2213
	46.6951, 18.2829
	45.9614, 18.1737
	43.2996, 16.42
	40.7614, 16.016
	38.2231, 15.612
	38.1291, 15.5459
	35.9552, 16.9959
	34.3659, 16.9959
	32.6142, 16.9959
	30.0142, 16.9959
	28.1241, 16.9959
	25.5142, 16.9959
	24.0523, 16.9959
	22.1732, 16.9959
	18.2444, 14.3755
	17.1859, 14.761
	15.759, 15.2807
	13.2639, 13.6698
	-0.00580029, 13.67
	-0.00580029, 6.07721
-0.00580029, -0.0144126	
15.3782, -0.0144126	
61.1854, -0.0144126	
61.2035, 2.71967	
61.25, 9.76723	
Material Boundary	24.0523, 16.9959
	24.0523, 16.3753
	34.3659, 16.3753
	34.3659, 16.9959
Material Boundary	25.5142, 16.9959
	25.5142, 16.7699
	28.1281, 16.7699
	28.1241, 16.9959
Material Boundary	30.0142, 16.9959
	30.0142, 16.8053
	32.6142, 16.8053
	32.6142, 16.9959
Material Boundary	17.1859, 14.761
	18.5941, 12.7481
Material Boundary	18.5941, 12.7481
	23.9547, 10.7956
	33.4309, 10.7259
	40.7614, 16.016
Material Boundary	-0.00580029, 6.07721
	61.25, 9.76723
Material Boundary	15.3782, -0.0144126
	61.2035, 2.71967

Scenario-based Entities



Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI4300001A

Foglio
72 di 81

RI43

giovedì 20 maggio 2021

Type	Coordinates (x,y)	Master Scenario
Water Table	-0.00580029, 11.616 61.2757, 11.616	Assigned to: <div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> U3b</div> <div style="display: flex; align-items: center;"> Rilevato</div> <div style="display: flex; align-items: center;"> U4</div> <div style="display: flex; align-items: center;"> U3b prof</div> </div>
Distributed Load	24.0523, 16.9959 25.5142, 16.9959 28.1241, 16.9959 30.0142, 16.9959 32.6142, 16.9959 34.3659, 16.9959	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 14.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	25.5142, 16.9959 28.1241, 16.9959	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 12.3 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	30.0142, 16.9959 32.6142, 16.9959	Constant DistributionOrientation: VerticalMagnitude: 12.3 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI4300001A	73 di 81

ALLEGATO 4 - SEZ. N° 15 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE

Settle3 Analysis Information

RI43 sez15 R02

Project Settings

Document Name	RI43 sez15 R02.s3z
Date Created	20/05/2021, 18:57:07
Stress Computation Method	Boussinesq
Time-dependent Consolidation Analysis	
Time Units	days
Permeability Units	meters/second
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	Time [days]
1	Posa rilevato	0
2	Posa ballast	240
3	2 mesi da ballast	300
4	5 anni da fine costruzione	2065

Results

Time taken to compute: 0 seconds

Stage: Posa rilevato = 0 d

Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4300001A

Foglio

75 di 81

RI43 sez15 R02

venerdì 21 maggio 2021

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [mm]	0	49.6616
Total Consolidation Settlement [mm]	0	0
Virgin Consolidation Settlement [mm]	0	0
Recompression Consolidation Settlement [mm]	0	0
Immediate Settlement [mm]	0	49.6616
Secondary Settlement [mm]	0	0
Loading Stress ZZ [kPa]	0	70.9923
Loading Stress XX [kPa]	-26.6716	60.0078
Loading Stress YY [kPa]	-25.4108	112.389
Effective Stress ZZ [kPa]	0	266.95
Effective Stress XX [kPa]	-9.34712	316.483
Effective Stress YY [kPa]	-14.774	367.383
Total Stress ZZ [kPa]	0	582.589
Total Stress XX [kPa]	-9.34712	630.411
Total Stress YY [kPa]	-9.72063	683.022
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	0.00352596
Pore Water Pressure [kPa]	0	315.639
Excess Pore Water Pressure [kPa]	0	70.9923
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.61425	266.802
Over-consolidation Ratio	1	10.649
Void Ratio	0	1.65
Permeability [m/s]	0	3.24432e-09
Coefficient of Consolidation [m ² /s]	0	4e-07
Hydroconsolidation Settlement [mm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	0
Undrained Shear Strength	-3.55271e-15	2.22045e-16

Stage: Posa ballast = 240 d

Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4300001A

Foglio

76 di 81

RI43 sez15 R02

venerdì 21 maggio 2021

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [mm]	0	108.658
Total Consolidation Settlement [mm]	0	53.2983
Virgin Consolidation Settlement [mm]	0	0
Recompression Consolidation Settlement [mm]	0	53.2983
Immediate Settlement [mm]	0	55.3593
Secondary Settlement [mm]	0	0
Loading Stress ZZ [kPa]	0	83.2112
Loading Stress XX [kPa]	-26.7316	61.1505
Loading Stress YY [kPa]	-24.1623	112.476
Effective Stress ZZ [kPa]	0	279.955
Effective Stress XX [kPa]	-8.39877	320.036
Effective Stress YY [kPa]	-11.1837	368.887
Total Stress ZZ [kPa]	0	584.755
Total Stress XX [kPa]	-8.39877	632.393
Total Stress YY [kPa]	-8.0212	684.88
Modulus of Subgrade Reaction (Total) [kPa/m]	0	121.585
Modulus of Subgrade Reaction (Immediate) [kPa/m]	0	242.329
Modulus of Subgrade Reaction (Consolidation) [kPa/m]	0	252.17
Total Strain	0	0.0199511
Pore Water Pressure [kPa]	0	315.993
Excess Pore Water Pressure [kPa]	0	27.9609
Degree of Consolidation [%]	0	86.7418
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.61425	279.813
Over-consolidation Ratio	1	10.649
Void Ratio	0	1.65
Permeability [m/s]	0	3.24432e-09
Coefficient of Consolidation [m ² /s]	0	4e-07
Hydroconsolidation Settlement [mm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	0
Undrained Shear Strength	-0.0136824	4.77682

Stage: 2 mesi da ballast = 300 d

RI43 sez15 R02

venerdì 21 maggio 2021

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [mm]	0	113.104
Total Consolidation Settlement [mm]	0	57.7445
Virgin Consolidation Settlement [mm]	0	0
Recompression Consolidation Settlement [mm]	0	57.7445
Immediate Settlement [mm]	0	55.3593
Secondary Settlement [mm]	0	0
Loading Stress ZZ [kPa]	0	83.2112
Loading Stress XX [kPa]	-26.7316	61.1505
Loading Stress YY [kPa]	-24.1623	112.476
Effective Stress ZZ [kPa]	0	281.332
Effective Stress XX [kPa]	-8.39877	322.896
Effective Stress YY [kPa]	-10.7889	369.14
Total Stress ZZ [kPa]	0	584.755
Total Stress XX [kPa]	-8.39877	632.393
Total Stress YY [kPa]	-8.0212	684.88
Modulus of Subgrade Reaction (Total) [kPa/m]	0	116.806
Modulus of Subgrade Reaction (Immediate) [kPa/m]	0	242.329
Modulus of Subgrade Reaction (Consolidation) [kPa/m]	0	228.787
Total Strain	0	0.0213972
Pore Water Pressure [kPa]	0	315.881
Excess Pore Water Pressure [kPa]	0	21.5805
Degree of Consolidation [%]	0	91.8989
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.614261	281.191
Over-consolidation Ratio	1	10.649
Void Ratio	0	1.65
Permeability [m/s]	0	3.24432e-09
Coefficient of Consolidation [m ² /s]	0	4e-07
Hydroconsolidation Settlement [mm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	0
Undrained Shear Strength	-0.00511311	5.19281

Stage: 5 anni da fine costruzione = 2065 d

RI43 sez15 R02

venerdì 21 maggio 2021

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [mm]	0	118.962
Total Consolidation Settlement [mm]	0	63.6022
Virgin Consolidation Settlement [mm]	0	0
Recompression Consolidation Settlement [mm]	0	63.6022
Immediate Settlement [mm]	0	55.3593
Secondary Settlement [mm]	0	0
Loading Stress ZZ [kPa]	0	83.2112
Loading Stress XX [kPa]	-26.7316	61.1505
Loading Stress YY [kPa]	-24.1623	112.476
Effective Stress ZZ [kPa]	0	290.455
Effective Stress XX [kPa]	-8.39877	338.093
Effective Stress YY [kPa]	-10.7889	390.58
Total Stress ZZ [kPa]	0	584.755
Total Stress XX [kPa]	-8.39877	632.393
Total Stress YY [kPa]	-8.0212	684.88
Modulus of Subgrade Reaction (Total) [kPa/m]	0	111.054
Modulus of Subgrade Reaction (Immediate) [kPa/m]	0	242.329
Modulus of Subgrade Reaction (Consolidation) [kPa/m]	0	207.716
Total Strain	0	0.0214477
Pore Water Pressure [kPa]	0	294.3
Excess Pore Water Pressure [kPa]	0	0.000168147
Degree of Consolidation [%]	0	99.9999
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.614261	290.325
Over-consolidation Ratio	1	10.649
Void Ratio	0	1.65
Permeability [m/s]	0	3.24432e-09
Coefficient of Consolidation [m ² /s]	0	4e-07
Hydroconsolidation Settlement [mm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	0
Undrained Shear Strength	0	5.19281

Loads

1. Rectangular Load: "Rectangular Load 1"

Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4300001A

Foglio

79 di 81

RI43 sez15 R02

venerdì 21 maggio 2021

Length	10.4 m
Width	48 m
Rotation angle	0 degrees
Load Type	Flexible
Area of Load	499.2 m2
Load	14.4 kPa
Depth	-3.5 m
Installation Stage	Posa ballast = 240 d

Coordinates

X [m]	Y [m]
-5.2	0.516224
5.2	0.516224
5.2	48.5162
-5.2	48.5162

Embankments

1. Embankment: "Embankment Load 1"

Label	Embankment Load 1						
Center Line	(0, 0) to (0, 50)						
Near End Angle	90 degrees						
Far End Angle	90 degrees						
Number of Layers	1						
Base Width	23.6						
Layer	Stage	Left Bench Width (m)	Left Angle (deg)	Height (m)	Unit Weight (kN/m3)	Right Angle (deg)	Right Bench Width (m)
1	Posa rilevato = 0 d	0	34	3.5	20	34	0

Soil Layers

Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

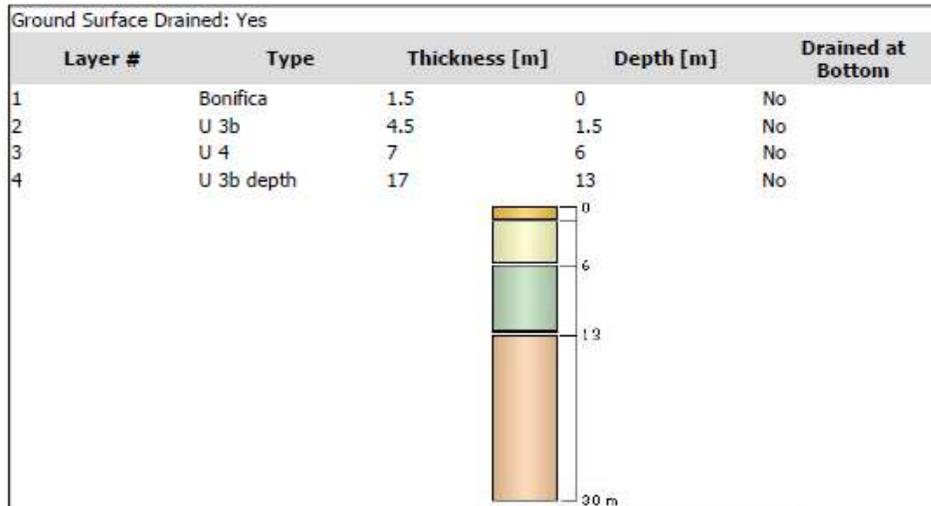
EI2RBRI430001A

Foglio

80 di 81

RI43 sez15 R02

venerdì 21 maggio 2021



Soil Properties

Property	U 3b	U 4	U 3b depth	Bonifica
Color				
Unit Weight [kN/m ³]	18.5	19.5	18.5	18
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	18.5	19.5	18.5	18
K0	1	1	1	1
Immediate Settlement	Disabled	Enabled	Enabled	Enabled
Es [kPa]	-	50000	15000	20000
Esur [kPa]	-	50000	15000	20000
Primary Consolidation	Enabled	Disabled	Disabled	Disabled
Material Type	Non-Linear	-	-	-
Cce	0.21	-	-	-
Cre	0.025	-	-	-
e0	1.65	-	-	-
Pc [kPa]	140	-	-	-
Cv [m ² /s]	4e-07	-	-	-
Cvr [m ² /s]	4e-07	-	-	-
B-bar	1	-	-	-
Undrained Su A [kN/m ²]	0	0	0	0
Undrained Su S	0.2	0.2	0.2	0.2
Undrained Su m	0.8	0.8	0.8	0.8
Piezo Line ID	1	1	1	1

Rilevato ferroviario da pk 26+957,72 a pk 27+379,82
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4300001A

Foglio

81 di 81

RI43 sez15 R02

venerdì 21 maggio 2021

Groundwater

Groundwater method
Water Unit Weight

Piezometric Lines
9.81 kN/m³

Piezometric Line Entities

ID	Depth (m)
1	0 m

Query Points

Point #	Query Point Name	(X,Y) Location	Number of Divisions
1	Query Point 1	-8.88178e-15, 24.5162	Auto: 53
2	Query Point 2	-2.25, 24.516	Auto: 53
3	Query Point 3	2.25, 24.516	Auto: 53

Query Lines

Line #	Query Line Name	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	Query Line 1	-61.9, 24.5162	61.9, 24.5162	300	Auto: 53

Field Point Grid

Number of points 416
Expansion Factor 3

Grid Coordinates

X [m]	Y [m]
61.9	100
61.9	-50
-61.9	-50
-61.9	100