

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 seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88

GENERALE

Relazione Geotecnica

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consorzio Iricav Due ing. Paolo Carmona Data: Aprile 2021			

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

I	N	1	7	1	0	E	I	2	R	B	R	I	6	8	B	0	0	0	1	A	-	-	-	P	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma Luca RANDOLFI	Data Aprile 2021

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	N. Valimberti <i>N. Valimberti</i>	Aprile 2021	V. Pastore <i>V. Pastore</i>	Aprile 2021	P. Ascari <i>P. Ascari</i>	Aprile 2021	

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2RBRI68B0001A.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 2 di 92</p>

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1	Documentazione di progetto.....	5
2.2	Normativa e standard di riferimento.....	5
2.3	Bibliografia	6
3	INQUADRAMENTO DELL'OPERA	7
3.1	Geometria del rilevato.....	7
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	9
4.1	Indagini disponibili.....	9
4.2	Inquadramento stratigrafico	10
4.3	Condizioni geotecniche del sito	13
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	36
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite.....	36
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU).....	36
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE)	38
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche	38
6.2	Azioni di progetto	38
6.2.1	Azioni permanenti	39
6.2.2	Azioni variabili	39

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 3 di 92

6.2.3	Azione sismica	39
6.3	Verifiche e risultati SLU	40
6.3.1	Premessa.....	40
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche	40
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche	41
6.4	Verifica e risultati SLE.....	43
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	50
Allegati		51
ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO.....		52
ALLEGATO 2 - SONDAGGI.....		54
ALLEGATO 3 - SEZ. N° 18 - TABULATI DI SLIDE		59
ALLEGATO 1 - SEZ. N° 18 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE.....		76

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 4 di 92

1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI68B, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende tra il km 185+735.92 e il km 186+234.88 della seconda variante della Linea Storica LS, che corrispondono alle pk da 36+000 a 36+512,79 della adiacente linea AV.

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 dell'4 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).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 5 di 92</p>

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni di Progetto Esecutivo
- [2] IN1710EI2RBGE0000004A Relazione Geotecnica (da 33+500 a 44+250)
- [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] IN1710EI2LZGE0000020A Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico tav.9-11
- [6] IN1710EI2P5GE0000020A Planimetria con ubicazione indagini di Progetto Esecutivo tav.9-11
- [7] IN1710EI2RHGE0000008A Relazione di sintesi dei sondaggi e prove eseguite 2/2 (da 21+990 a 44+250)
- [8] IN1710EI2PRGE0000002A Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – SOCOTEC (da 21+990 a 44+250)
- [9] IN1710EI2PRGE0000004A Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI (da 21+990 a 44+250)
- [10] IN1710EI2PRGE0000007A-8A, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – SOCOTEC (da 21+990 a 44+250)
- [11] IN1710EI2PRGE00000011A-12A, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING - GEOLAVORI (da 21+990 a 44+250)
- [12] IN1710EI2IGGE0000002A Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – SOCOTEC (da 21+990 a 44+250)
- [13] IN1710EI2IGGE0000004A Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI (da 21+990 a 44+250)

2.2 Normativa e standard di riferimento

- [14] Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30
- [15] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008
- [16] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [17] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- [18] RFI DTC SI PS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle opere civili, Parte II – Sezione 2, Ponti e strutture

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 6 di 92</p>

- [19] RFI DTC SI CS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle opere civili, Parte II – Sezione 3, Corpo stradale
- [20] RFI DTC INC PO SP IFS 001 A Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario
- [21] RFI DTC INC CS SP IFS 001 A Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- [22] RFI DTC SICS SP IFS 001 B Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi”– RFI
- [23] RFI TCAR ST AR 01 001 D Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h
- [24] Specifiche Tecniche di interoperabilità 2015 (REGOLAMENTO (UE) N. 1299/2014 DELLA COMMISSIONE del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea)

2.3 Bibliografia

- [25] Hynes, M.E., and Olsen, R.S. (1999), “Influence of confining stress on liquefaction resistance”, Proc., Int. Workshop on Phys. And Mech. Of Soil Liquefaction, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 145-152.
- [26] Idriss, I.M. and Boulanger, R.W. (2004), “Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes”. In: Proceedings, 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake engineering, and 3d International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. D. Doolin et al., eds., Stallion press, Vol. 1, pp. 32-56.
- [27] Liao, S.C.C. and Whitman, R.V. (1986), “Overburden Correction Factors for SPT in sand”, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, No. 3, 373-377.
- [28] Robertson P.K. and Wride C.E. (1998). “ Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test”. Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, 35(3), pp. 442-459.
- [29] 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.
- [30] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982), “Ground motions and soil liquefaction during earthquakes”, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA.
- [31] 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.
- [32] Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, L.W.D., Harder, L.F. Jr., Hynes, M.H., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F. III, Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B. and Stokoe, K.H. II (2001), “Liquefaction Resistance of Soil: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol. 127, n° 10, pp.817-833.
- [33] Rocscience (2017), Slide ver 9.012, dic. 2020
- [34] Rocscience (2009), Settle 3D ver 2.011

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 7 di 92

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame si estende dalla pk 185+735.92 a pk 186+234.88, per una lunghezza totale di 498,96 m. E' il rilevato ferroviario della seconda variante della linea storica e risulta affiancato dalla linea AV (RI68A) per tutta la tratta in esame: si tratta in pratica di un corpo unico di rilevato sul quale viaggiano i binari di entrambe le linee (LS e AV).

La tratta è compresa tra il bacino di laminazione MV-BL04 (tratto terminale della WBS RI67) e l'inizio della galleria GA03.

All'interno del tratto di rilevato in esame sono presenti 2 attraversamenti idraulici Ø800 e al piede di entrambe le scarpate, lato Nord e lato Sud, si sviluppa una pista di accesso al bacino di laminazione MV-BL04, con a tergo fossi di guardia in cls.

3.1 Geometria del rilevato

Il rilevato presenta nel suo sviluppo una altezza pressoché costante con valore compreso tra circa 1.50÷2.0 m rispetto al piano campagna. Il rilevato in esame risulta sempre in affiancamento alla linea AV e presenta sia lato Nord che lato Sud, la pista di accesso al bacino di laminazione. Il rilevato ferroviario si raccorda al terreno naturale con una scarpata con pendenza 2/3 (V:H).

Di seguito si riporta la sezione n. 18 alla pk 36+400,00 della linea AV, che risulta più rappresentativa per altezza massima del rilevato e/o per conformazione geometrica.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 8 di 92</p>

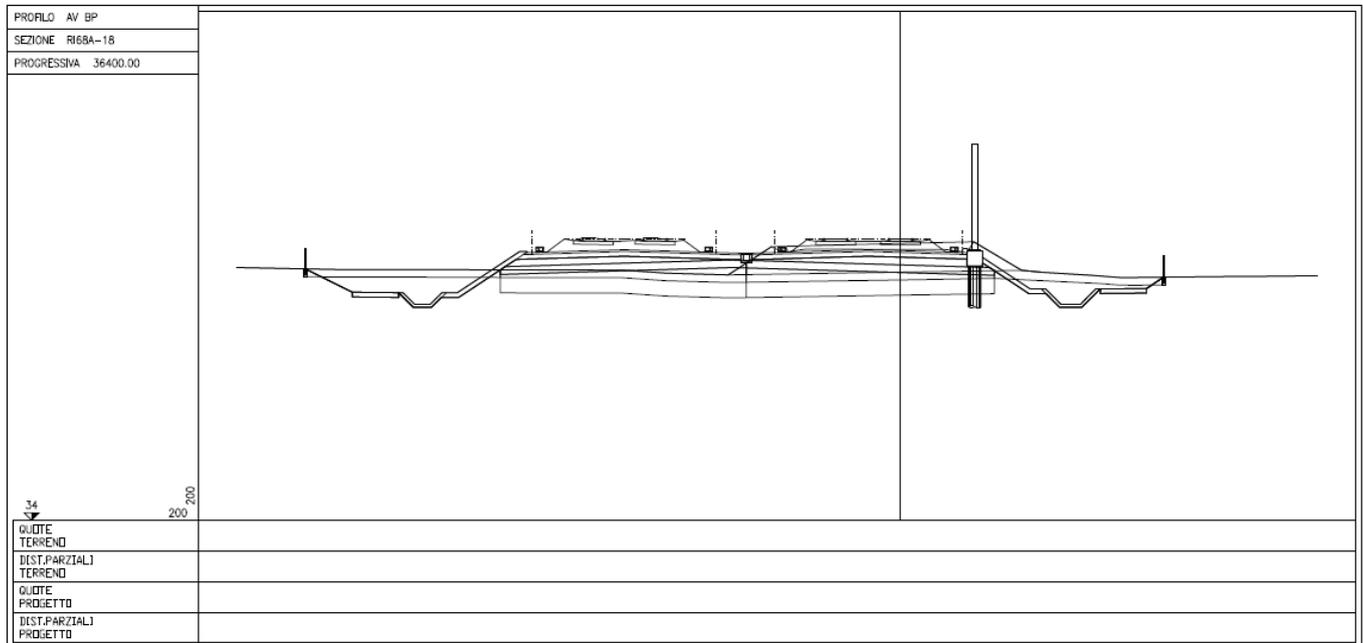


Figura 1 – Sezione di riferimento n° 18 (pk 36+400,00 di AV) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 9 di 92

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. [5]). Per ulteriori dettagli si rimanda alle relazioni di sintesi delle indagini (Doc. Rif. [8]-[13]).

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 35+875 a pk 36+543,71 della Linea AV

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
35+875	S59	2014
35+960	NA203R015	2002
36+480	XA203B021	2002
36+500	S60	2014

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 10 di 92</p>

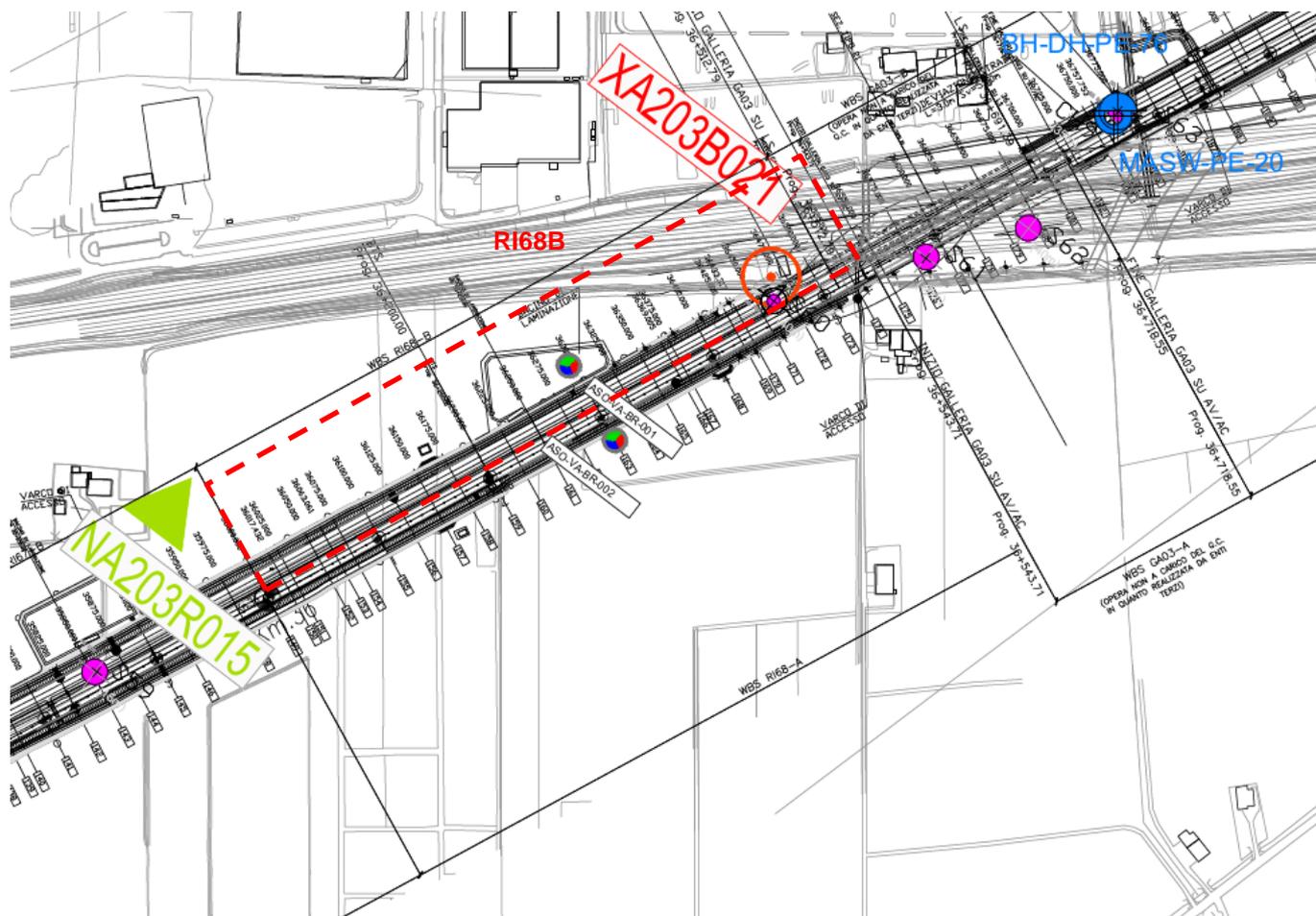


Figura 2 - Planimetria Rilevato R168b, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [5])

4.2 Inquadramento stratigrafico

Per l'inquadramento geotecnico del rilevato in questione, si è scelto di considerare sia le indagini eseguite nella tratta relativa a questo rilevato (R168), sia le indagini eseguite nella tratta adiacente (sondaggio S59 e prova penetrometrica NA203B021) relative al tratto terminale del rilevato precedente (R167): ciò in considerazione della uniformità delle caratteristiche dei materiali incontrati, e, in particolare, dello strato superficiale (Unità 2), la cui caratterizzazione riveste il maggior impatto progettuale. Pertanto, le indagini qui considerate sono quelle eseguite fra la pk 35+875 e la pk 36+544.

L'assetto stratigrafico dell'area è caratterizzato dalla presenza, al di sotto della coltre superficiale, di uno strato di limi argillosi sabbiosi (Unità 2), avente uno spessore variabile fra 3 e 7 m dal p.c., sovrastante ghiaie sabbiose (Unità 6) che si estendono almeno fino a circa 20 m da p.c.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 11 di 92

Al di sotto delle ghiaie, si rinvengono localmente livelli ancora di limi argillosi sabbiosi (Unità 2) e successivamente, in tutte le indagini condotte nell'area in questione, si riscontra nuovamente la presenza di materiali ghiaiosi dell'Unità 6.

Per quanto riguarda più specificatamente la parte sommitale, i dati disponibili indicano uno strato superficiale di terreno naturale vegetale da rimuovere di entità variabile da pochi decimetri fino al metro circa. Al di sotto si possono rivenire materiali granulari, (sia pure per spessori limitati, dell'ordine del metro), e quindi potenzialmente compattabili, ovvero terreni limosi dell'Unità 2, per i quali vi è una possibilità di intervenire con trattamenti a calce.

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 RI68B, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico (Doc. Rif. [5]), vedi ALLEGATO 1 -

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 12 di 92</p>

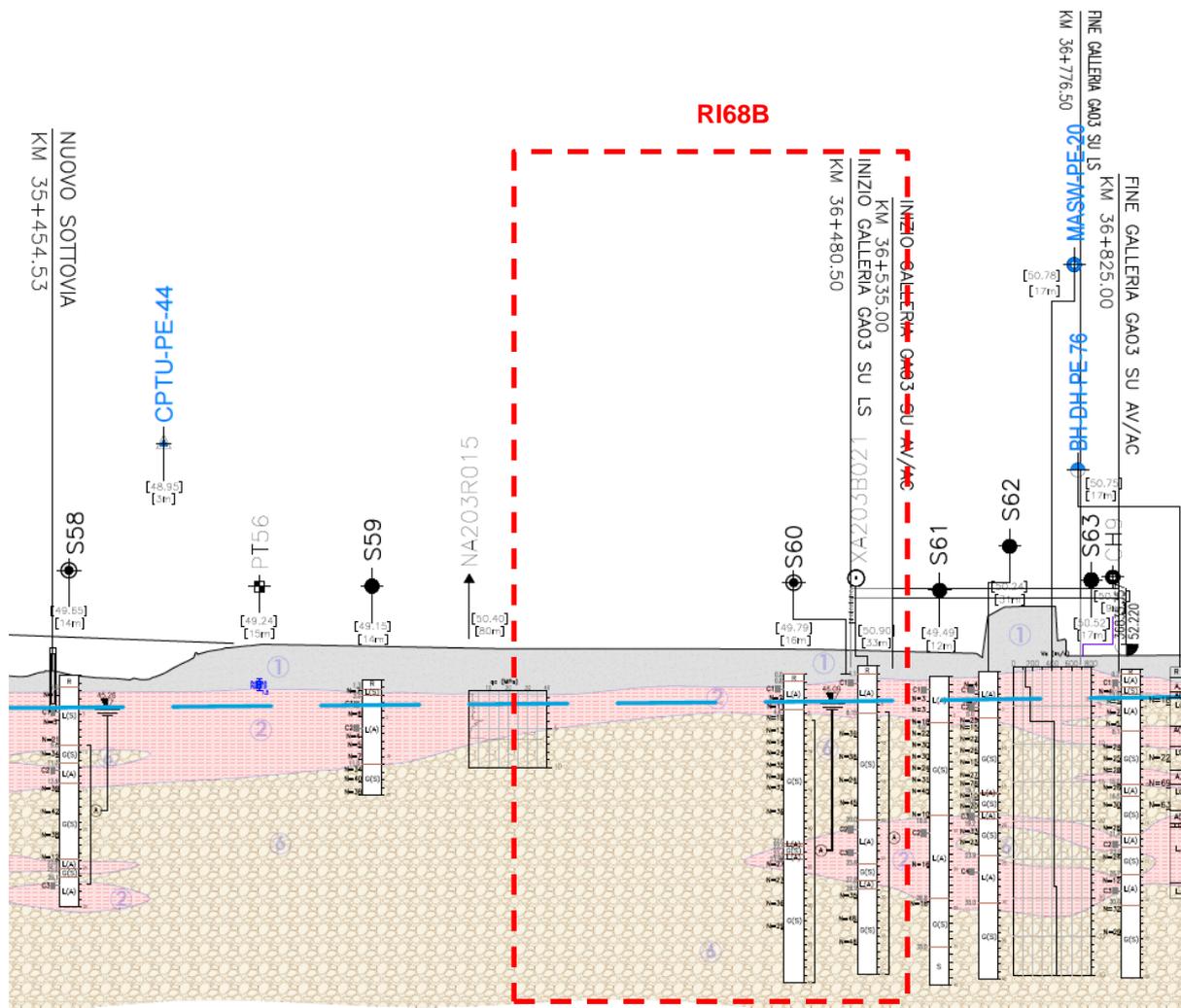


Figura 3 - Profilo Geotecnico Rilevato R168B, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [5])

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 13 di 92</p>

4.3 Condizioni geotecniche del sito

La porzione più superficiale è costituita da uno strato di terreno vegetale naturale, che verrà rimosso nell'ambito delle attività di scotico, seguito da uno strato di materiale che potrà essere eventualmente compattato, o trattato a calce, che servirà, in entrambi i casi, come terreno di fondazione del rilevato.

Procedendo con la profondità si incontra uno strato superficiale di materiale a grana fine (Unità 2) costituito in prevalenza da limo argilloso sabbioso, che si estende da 2 m dal p.c. fino a circa 5÷9 m dal p.c. Tali materiali, di maggiore interesse progettuale in quanto governano l'esito delle verifiche di stabilità e di cedimento, risultano da poco a mediamente plastici, con valori di LP nel campo 20-25 e LL generalmente compresi fra 40 e 60. I corrispondenti valori dell'indice plastico sono generalmente compresi fra 20 e 35. Si presentano compatti, con valori di pesi di volume dell'ordine dei 19 kN/m³, e contenuti d'acqua nel campo 30-37%. Le curve edometriche definiscono materiali generalmente sovraconsolidati, specie in sommità, con valori di preconsolidazione stimati nel campo di 200-300 kPa. Infine, sempre a partire dai risultati delle prove edometriche, si sono stimati i valori di deformabilità:

- Rapporto di ricompressione $RR = 0.03 \div 0.035$
- Rapporto di compressione $CR = 0.15 \div 0.20$

Prove di laboratorio, pocket e CPTU eseguite in quest'area e in zone limitrofe indicano valori di resistenza al taglio non drenata nel campo 50-70 kPa (Riff. Doc [2])

Proseguendo in profondità si incontra uno strato di ghiaie sabbiose debolmente limose ben addensate (Unità 6) con percentuali di materiale a grana fine inferiori al 15%. All'interno del deposito si registrano valori di N_{SPT} mediamente pari a 30 colpi/30cm, con valori anche superiori a 50 colpi/30cm. La densità relativa delle ghiaie risulta generalmente variabile fra il 30 e il 40% e quindi il deposito risulta mediamente addensato.

Più in profondità, come mostrato nel profilo geotecnico in Figura 3, è presente un ulteriore strato di materiale fine (Unità 2), inserito nel substrato ghiaioso (Unità 6). Si evidenzia in ogni caso che i modestissimi incrementi di carico attesi, andranno ad interessare (e si esauriranno) all'interno dei primi due strati presenti in sommità. Si può pertanto concludere che il contributo ai cedimenti degli strati al di sotto del primo strato ghiaioso sia del tutto trascurabile.

Il profilo di V_s derivante dalle interpretazioni discusse nella Relazione Sismica (Doc. Rif. [4]), basata sui risultati delle prove DH, MASW e infine SPT, conferma la presenza, da p.c. fino a circa 8÷9 m di profondità, di terreni limoso-argillosi (Unità 2) seguiti in profondità da materiali incoerenti da mediamente addensati ad addensati. Fino a 15 m dal p.c., per le ghiaie superficiali si stimano valori di V_s crescenti e compresi tra 200 m/s e 350 m/s. A profondità maggiori, nelle sabbie, le velocità sono da considerarsi pressoché costanti pari a circa 450 m/s fino a 35 m pc. Sulla base dei valori di V_s si sono stimati i valori del modulo di taglio alle piccole deformazioni (G_0). Per le ghiaie si ottengono valori crescenti compresi tra 80 MPa e 200 MPa, mentre per le sabbie profonde si ottengono valori maggiori di 300 MPa.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 14 di 92

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

Sulla base di questi criteri, i parametri geotecnici sono stati determinati mediante l'interpretazione dei risultati delle prove di sito e di laboratorio:

- Distribuzione delle granulometrie da analisi di laboratorio (v. Figura 4);
- Valori N_{SPT} da prove SPT (v. Figura 5);
- Densità relativa stimata da prove SPT (v. Figura 6);
- Angolo di resistenza al taglio stimato da prove SPT (v. Figura 7);
- Contenuto d'acqua, limite liquido e limite plastico da prove di laboratorio (v. Figura 8);
- Carta di Casagrande da prove di laboratorio (v. Figura 9);
- Confronto della Velocità delle onde di taglio stimata da prove in sito (v. Figura 10);
- Confronto Modulo di taglio alle piccole deformazioni stimato da prove in sito (v. Figura 11)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 15 di 92</p>

AV/AC VERONA VICENZA

RI68B da pk 185+735.92 a pk 186+234.88

Contributi granulometrici (%)

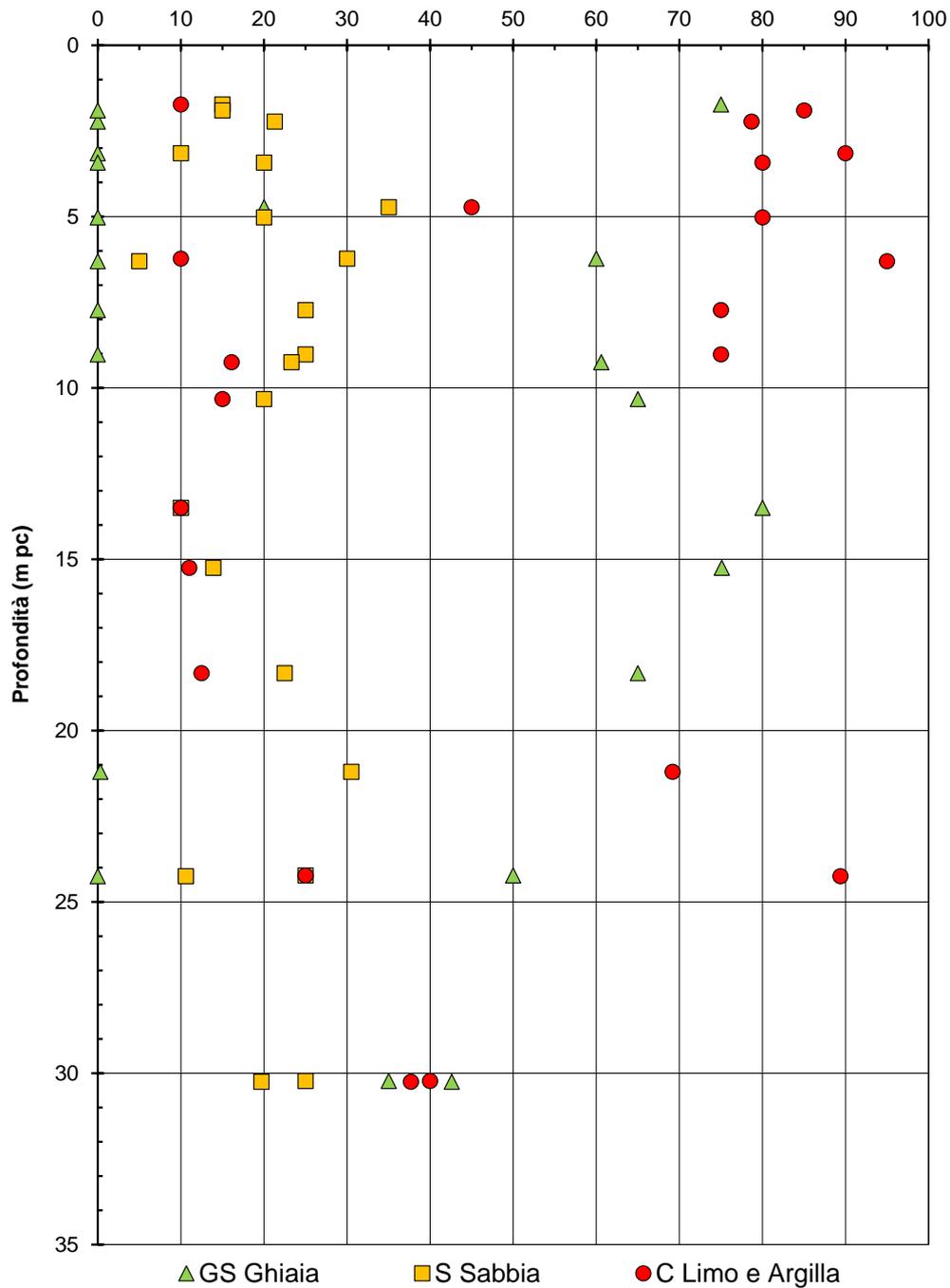


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche – RI68b (pk 36+000 ÷ 36+543,71 della AV)

AV/AC VERONA VICENZA

RI68B da pk 185+735.92 a pk 186+234.88

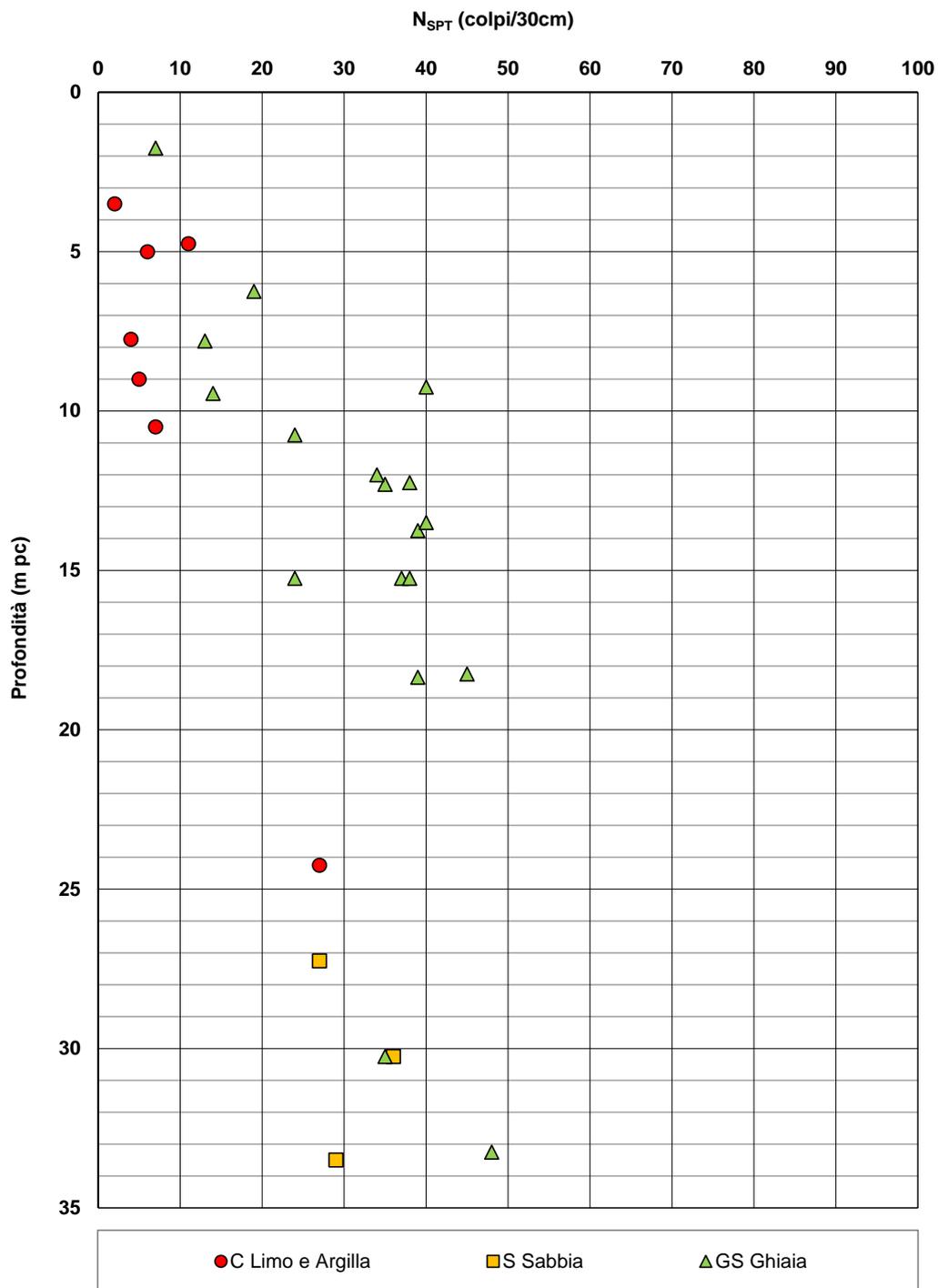


Figura 5 – Esito delle prove SPT – RI68b (pk 36+000 ÷ 36+543,71 della AV)

AV/AC VERONA VICENZA

RI68B da pk 185+735.92 a pk 186+234.88

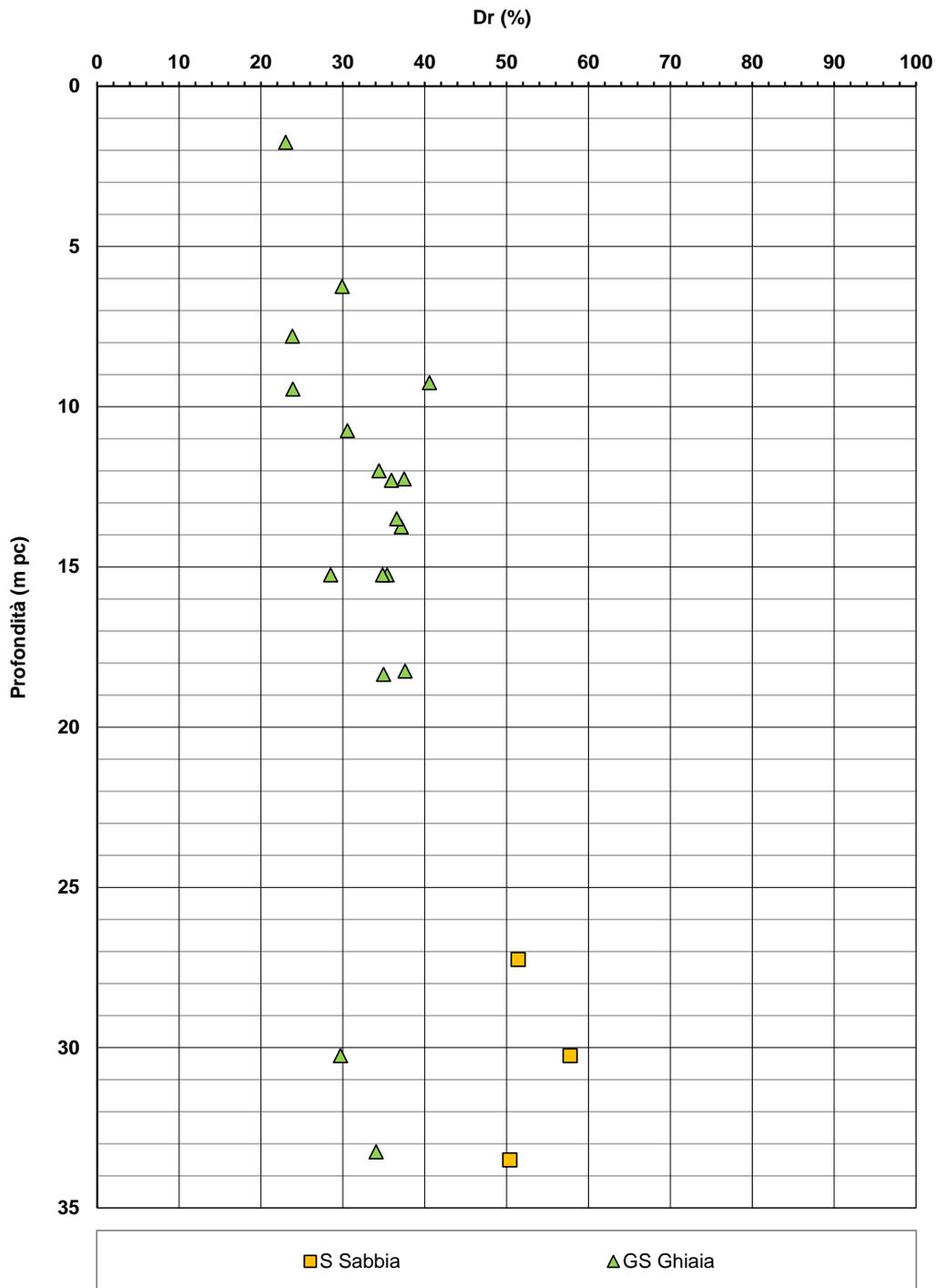


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT - RI68b (pk 36+000 ÷ 36+543,71 della AV)

Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88
 186+234.88
 Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI68B0001A

Foglio

18 di 92

AV/AC VERONA VICENZA

RI68B da pk 185+735.92 a pk 186+234.88

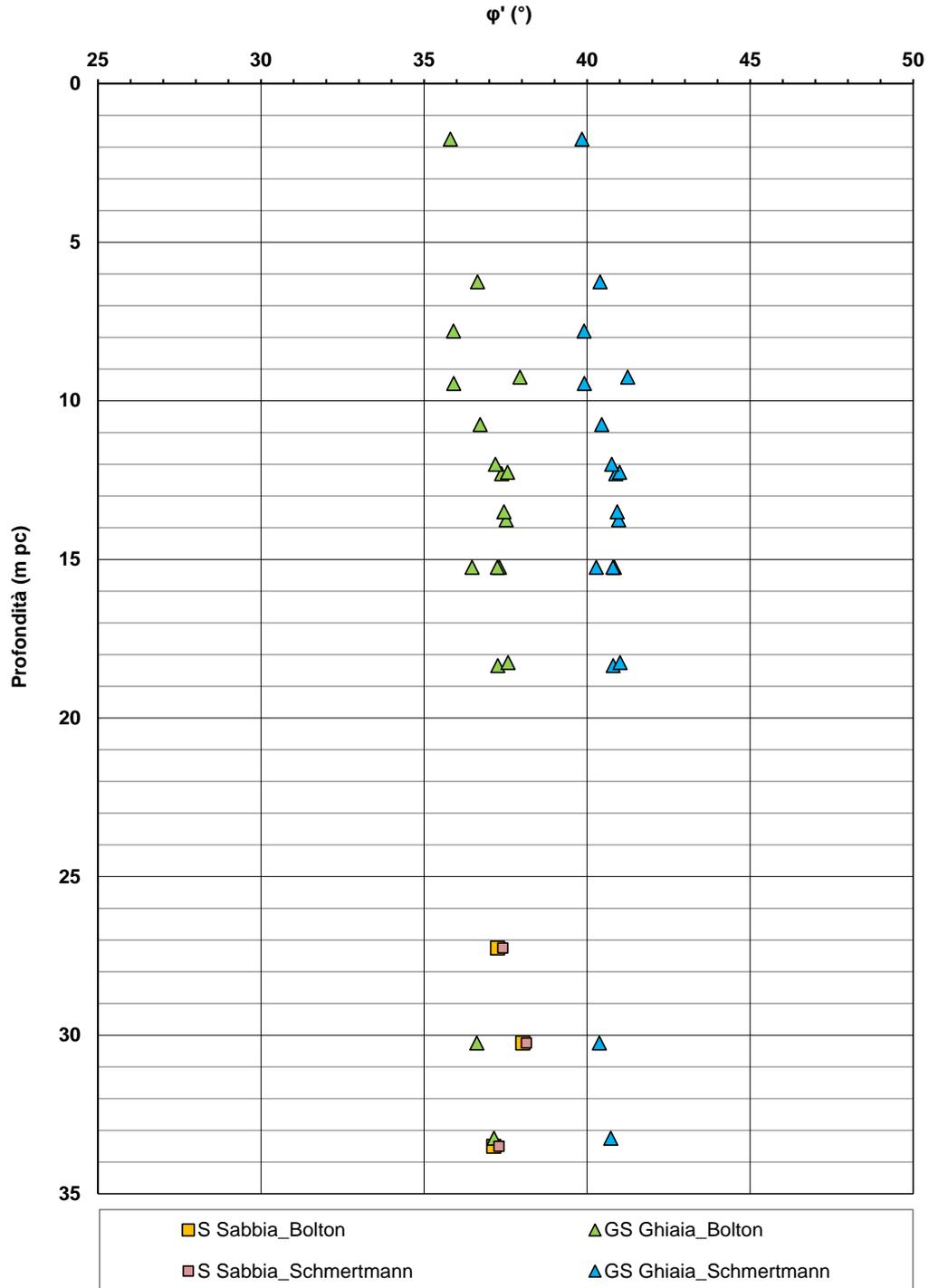


Figura 7 – Angoli di attrito da prove SPT - RI68b (pk 36+000 ÷ 36+543,71 della AV)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 19 di 92</p>

AV/AC VERONA VICENZA

RI68B da pk 185+735.92 a pk 186+234.88

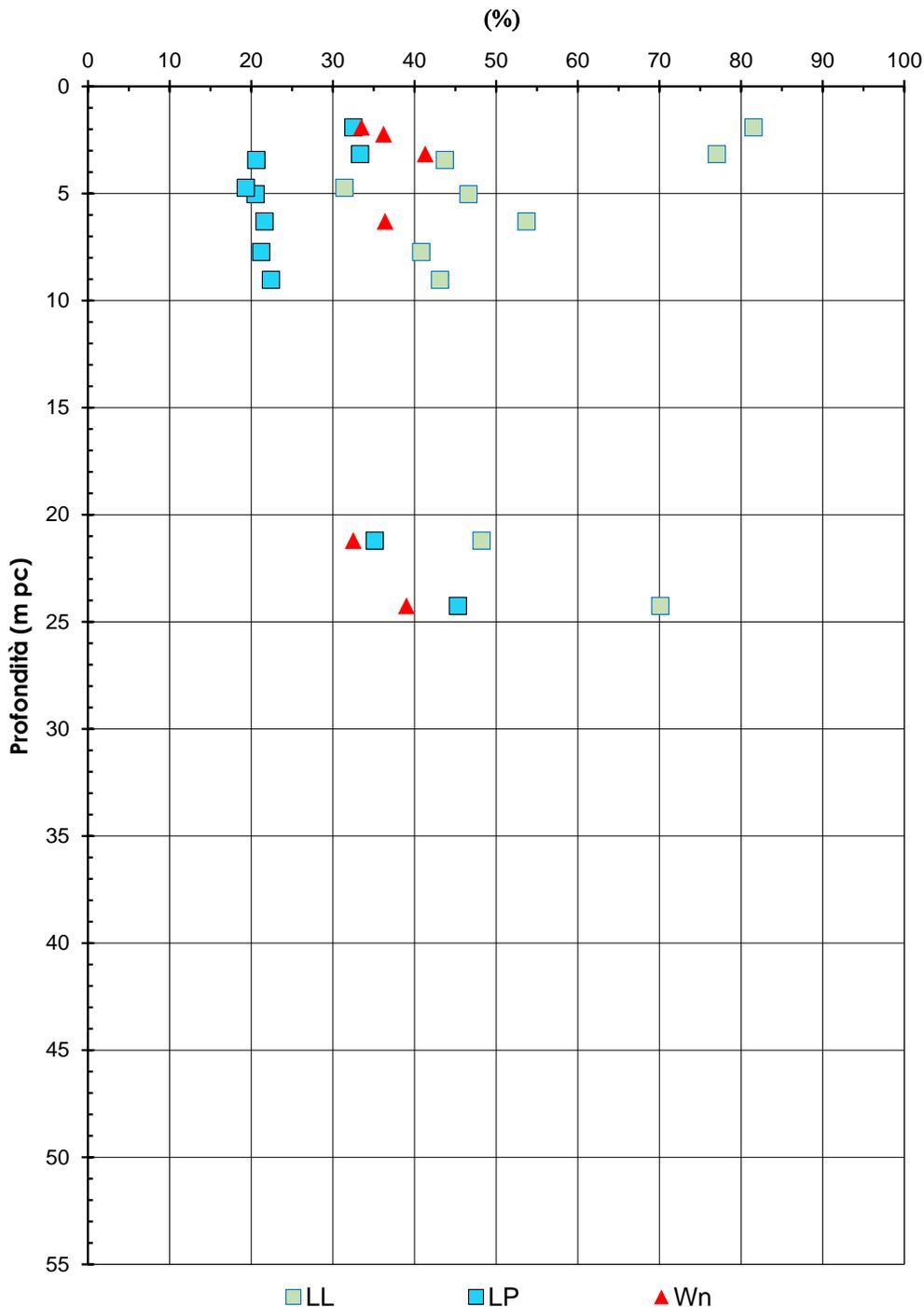


Figura 8 – Contenuto d'acqua, limite liquido e limite plastico - RI68b (pk 36+000 ÷ 36+543,71 della AV)

AV/AC VERONA VICENZA

RI68B da pk 185+735.92 a pk 186+234.88

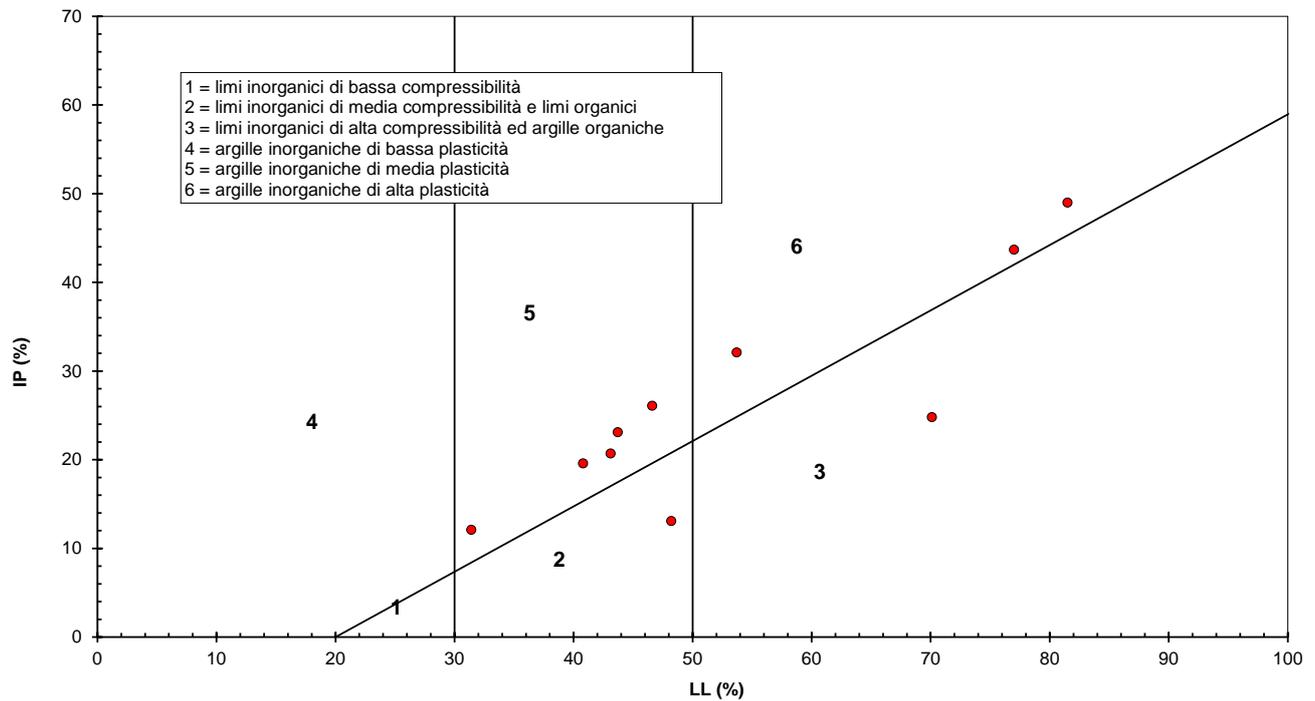


Figura 9 – Carta di Casagrande - RI68b (pk 36+000 ÷ 36+543,71 della AV)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 22 di 92</p>

AV/AC VERONA VICENZA

RI68B da pk 185+735.92 a pk 186+234.88

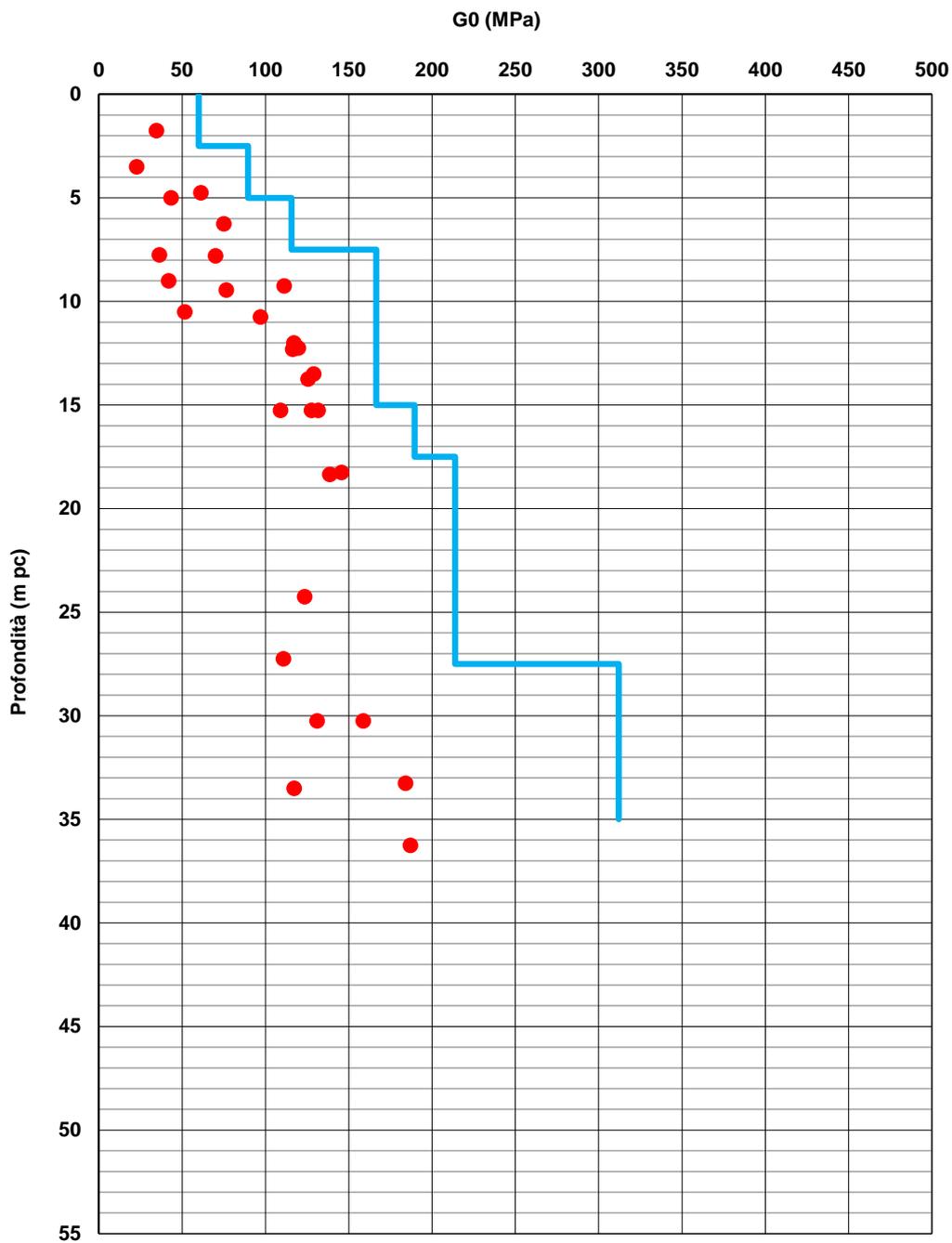


Figura 11 – Confronto G₀ con dati di correlazioni con SPT di RI68b e Profilo generale della AV tra pk 36+000 a pk 36+543,71 (Doc. Rif.[2])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 23 di 92

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
2	0	9	18.5	26	0	50	-	10
6	9	17	20.0	39	0	-	120	60
6	17	--	20.0	39	0	-	200	100

4.4.1 Materiale da rilevato

Le caratteristiche dei rilevati ferroviari sono desunte dal MdP (Doc. rif. [19]) 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. Ref. [3]). Quest'ultimi indicano una sostanziale stabilità nelle escursioni stagionali.

Ai fini progettuali si assume:

- falda di progetto a medio termine e a lungo termine: -1 m da p.c.
- falda di progetto media: -3 metri da p.c.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 24 di 92

5 CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

5.1 Sollecitazione sismica di progetto

5.1.1 Vita Nominale

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

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

Tabella 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 25 di 92</p>

Tabella 5 – Valori del coefficiente di uso C_u

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

5.1.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

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

5.1.4 Categorie di Sottosuolo

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

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

5.1.5 Condizioni topografiche

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 26 di 92</p>

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)	0.217
Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s	1.383
Coefficiente di amplificazione topografica S_t	1.0
Accelerazione massima attesa al suolo a_{max} (g) ($a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g$)	0.300

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. [14]).

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

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

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

Facendo sempre riferimento al Doc. rif. [14] 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 seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 27 di 92

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

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

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

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

dove:

a_{max} accelerazione di picco al sito

g accelerazione di gravità

τ_c valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

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

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

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

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

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

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 28 di 92</p>

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

Il rapporto di resistenza ciclica CRR è stato valutato mediante relazioni empiriche che correlano la sollecitazione sismica ai risultati di prove in sito di tipo SPT o CPT.

5.2.1 CRR da correlazione su prove CPT

Per la stima del CRR sulla base di prove in-situ o di laboratorio sono disponibili diverse procedure. La procedura basata sui risultati di prove CPT è piuttosto ben consolidata e diffusa e viene qui utilizzata ai fini di una analisi del potenziale di liquefazione, considerando i dati di prove in sito disponibili allo stato attuale delle conoscenze.

Il procedimento utilizzato per la stima di CRR a partire dai risultati di prove CPT si basa sulla relazione riportata in Figura 12: 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 12, la resistenza alla punta q_c è normalizzata rispetto al valore di pressione atmosferica ($p_a = 100$ kPa) e corretta (q_{c1N}) mediante la seguente relazione:

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

dove σ'_{v0} è la tensione verticale efficace alla profondità in e l'esponente "n" varia da 0.5 per i materiali a grana grossa a 1 per i materiali a grana fine.

La natura dei materiali ed il relativo valore dell'esponente "n" sono determinati con procedura iterativa in relazione al valore del parametro I_c , indice del tipo di terreno, determinato come:

$$I_c = \left[(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2 \right]^{0.5}$$

dove:

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 29 di 92

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:

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 30 di 92

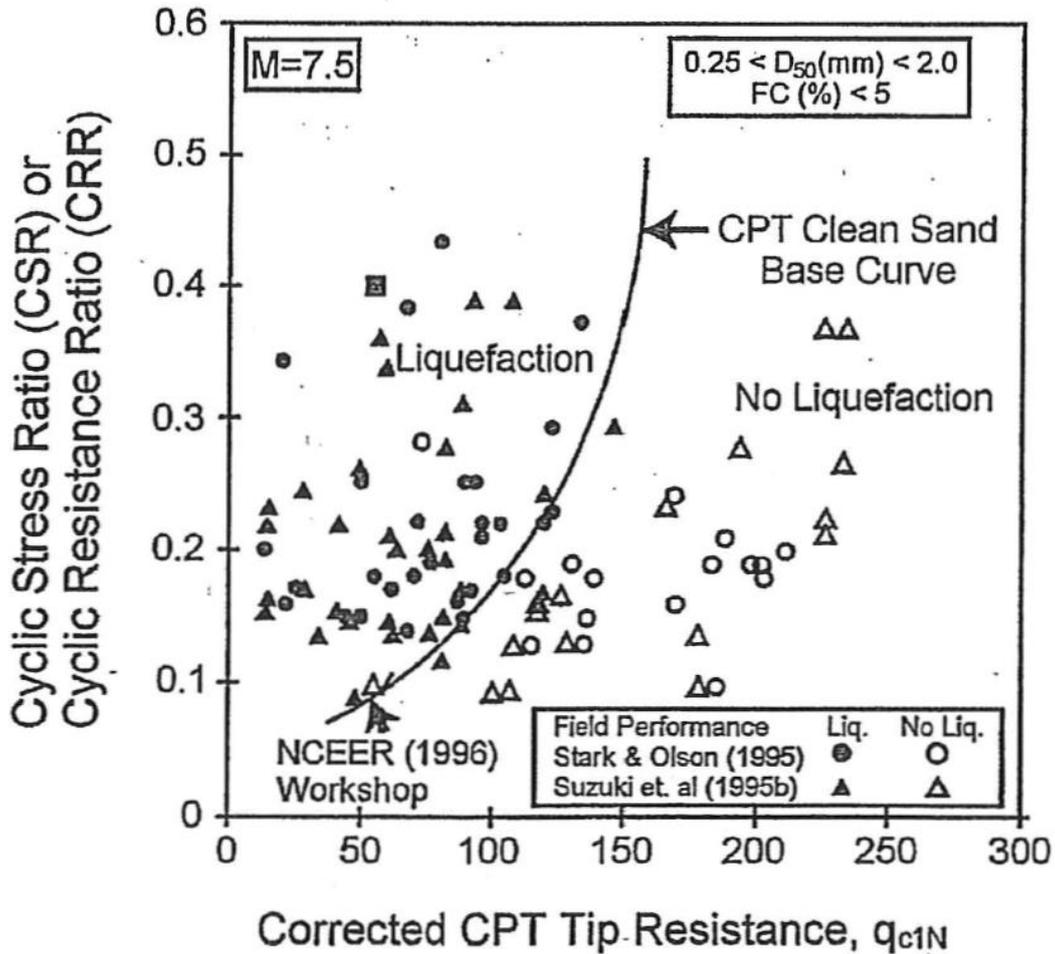


Figura 12: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

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

In Figura 13, 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 seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 31 di 92

proposta da Liao e Whitman (1986):

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

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

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

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

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

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

Sempre in Figura 13, 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 13 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 seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 32 di 92

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

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):

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 33 di 92</p>

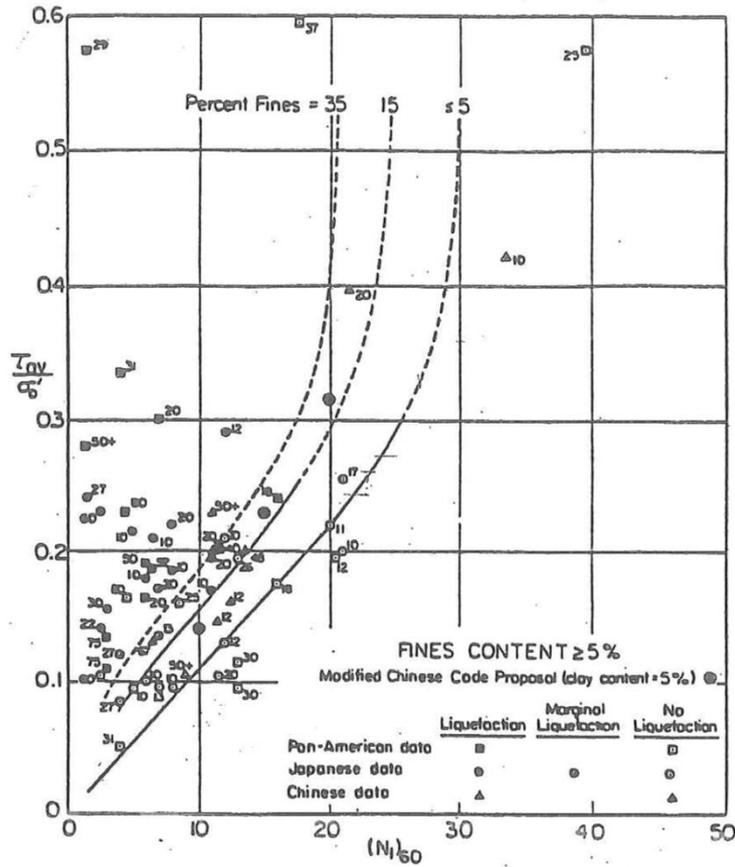


Figura 13: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

5.3 Risultati delle verifiche a liquefazione

I risultati (cfr. Figura 14 e Figura 15) indicano come non si evidenzino rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI68B, in linea con gli stati di addensamento e le granulometrie descritte in precedenza.

Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI68B0001A

Foglio
35 di 92

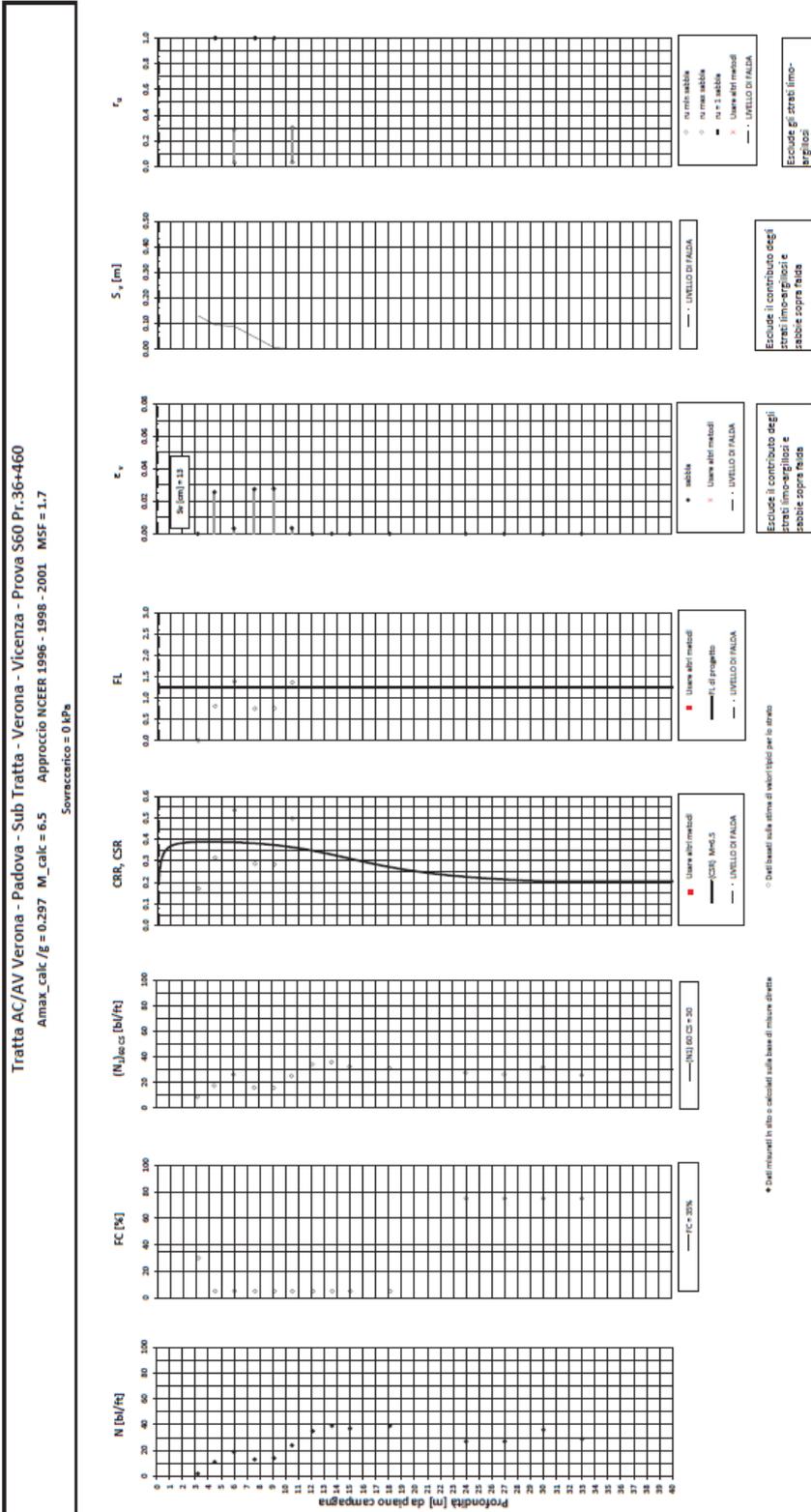


Figura 15 – Verifica Liquefazione da risultati SPT S60

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 36 di 92

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. [14]):

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

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

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

dove:

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

R_d valore di progetto della resistenza.

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

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

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

dove:

E_d valore di progetto dell'effetto dell'azione;

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

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

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

6.1.1 Stati limite ultimi (SLU)

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

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

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

essendo R resistenza globale del sistema (vedasi Par. C.6.8.6.2 del Doc. Rif. [14]), calcolata sulla base delle azioni

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 37 di 92</p>

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

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

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

Tabella 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. [14])

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

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

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 38 di 92</p>

6.1.2 Stati limite di esercizio (SLE)

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

In particolare, successivamente al completamento del piano di posa del ballast, e fino alla 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. [19] e [23]). Laddove si superino i limiti riferiti al primo livello di qualità (10 mm, Doc. rif. [23]), è richiesto il monitoraggio del binario durante la costruzione.

Tabella 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. [19]).

6.2 Azioni di progetto

Le azioni di progetto considerate nella analisi sono state definite coerentemente a quanto prescritto nel MdP (Doc. rif. [18]) e nelle NTC (Doc. rif. [14]) e sono di seguito descritte.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 39 di 92</p>

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.

Tabella 10 - Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (Doc. rif.[14])

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 40 di 92

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. [33]). 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. [14]), 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 citata sezione 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.

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, e pertanto è stato amplificato con un coefficiente parziale A2 pari a 1.3

Per quanto riguarda la falda si è 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:

Sezione	FS _{MIN} (DA1C2)
18	1.619

Essendo soddisfatta in tutti i casi la relazione:

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

le verifiche di stabilità globale in campo statico risultano soddisfatte.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 41 di 92

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:

$$K_H = + 0.084 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.042 \quad (\text{positivo sisma verso il basso})$$

Il carico stradale (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. [14]). Seguendo le prescrizioni desunte dal MdP (Doc. rif. [19]), in condizioni sismiche si applica il coefficiente di combinazione ψ per il carico variabile da traffico ferroviario pari a 0,2. Per quanto riguarda la falda è stata considerata la condizione a medio termine con livello della falda coincidente cautelativamente alla quota di piano campagna, come riportato nel paragrafo 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 quella con sisma verso l'alto (-kv); il fattore di sicurezza FS relativo a tali meccanismi è pari a:

Sezione	FS _{MIN} (sismica)
18	1.573

Essendo soddisfatta in tutti i casi la relazione:

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

le verifiche di stabilità globale in campo sismico risultano soddisfatte.

Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI68B0001A

Foglio

42 di 92

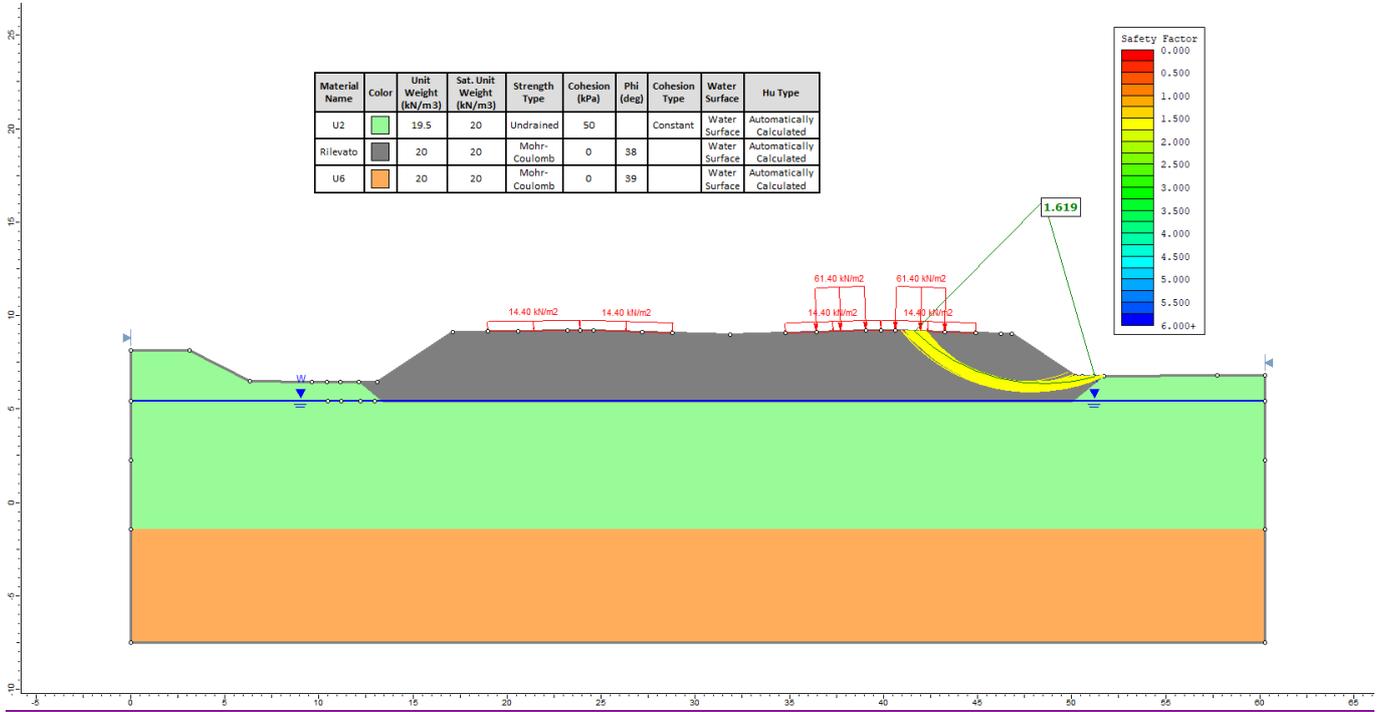


Figura 16 - Rilevato sezione n° 18 - Analisi SLU in campo statico DA1C2

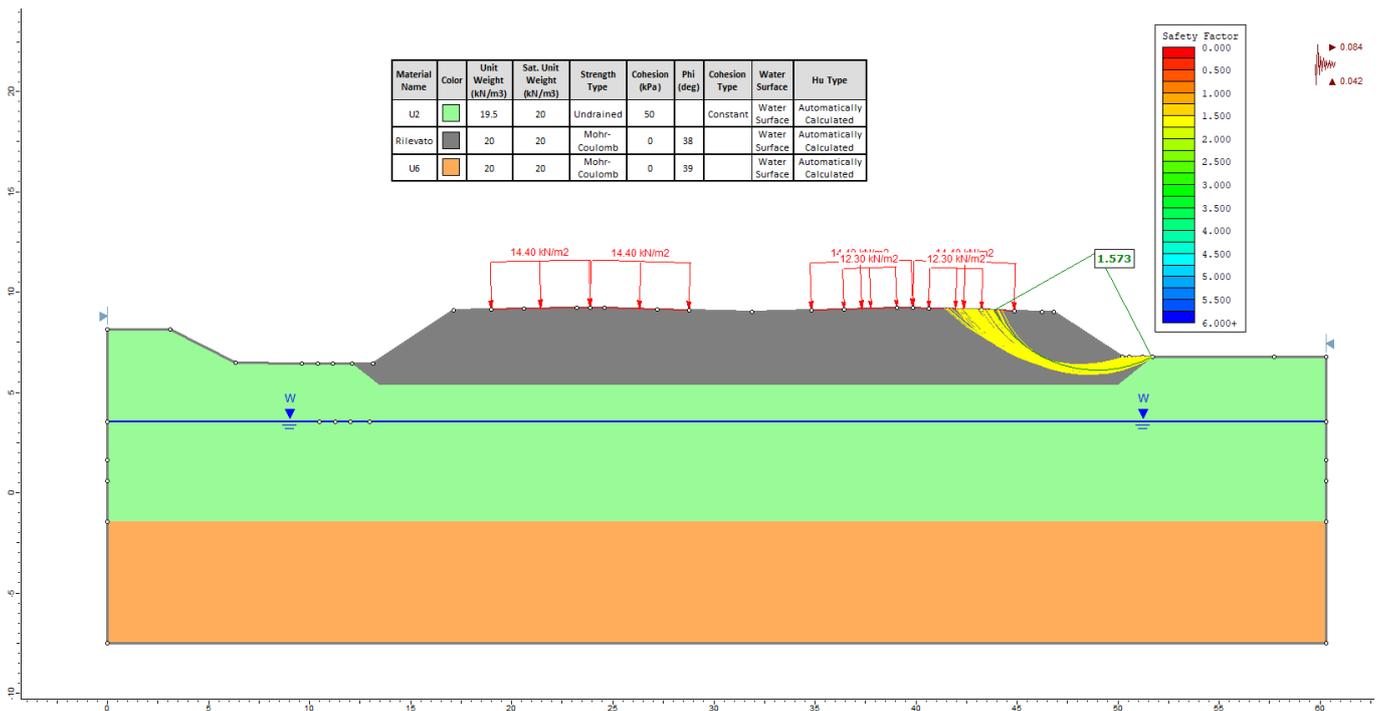


Figura 17 - Rilevato sezione n° 18 - Analisi SLU in campo sismico

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 43 di 92</p>

6.4 Verifica e risultati SLE

La determinazione del campo di spostamenti è stata svolta mediante l'utilizzo del codice di calcolo SETTLE 3D (Doc. Rif. [34]) 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).

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

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

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

dove:

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

q = carico applicato

u = coefficiente di Poisson

B = semilarghezza dell'area di carico in direzione x

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 44 di 92</p>

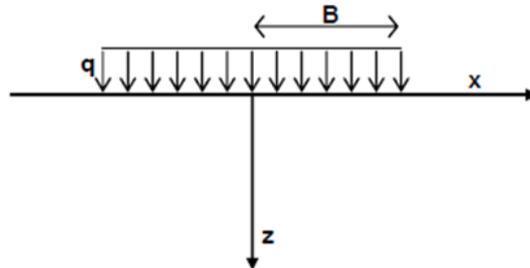


Figura 18 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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:

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

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

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

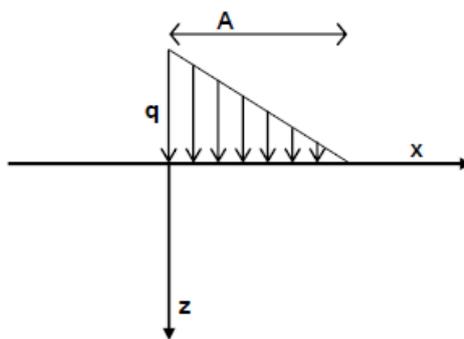


Figura 19 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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 seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 45 di 92</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, dev'essere verificata la seguente disequaglianza:

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

dove

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

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

La verifica è stata condotta con riferimento alla già citata sezione di riferimento n° 18 riportata in Figura 1

L'opera verrà costruita per step successivi: dapprima verrà realizzato il rilevato B (variante linea storica) e, successivamente, in adiacenza, verrà costruito il rilevato dell'alta velocità (sezione A).

La larghezza totale del rilevato alla fine della costruzione è pari a 36 m; la larghezza della parte relativa alla linea storica in variante è 21 m; a quest'ultima si aggiunge l'allargamento di 15 m con pendenza delle scarpate è 2V:3H. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici definiti in Tabella 2.

Al di sotto del rilevato è stato inserito uno strato di bonifica di 0.5 m con modulo elastico $E = 20$ Mpa.

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

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

- Costruzione del rilevato della linea storica in variante, vedi Figura 20
- Armamento del ballast del rilevato della linea storica in variante, vedi Figura 21
- Costruzione del rilevato della linea AV, vedi Figura 22
- Armamento del ballast AV, vedi Figura 23

I cedimenti sono stati calcolati al centro del nuovo rilevato della linea in variante, in corrispondenza dei due binari della linea storica in variante e in corrispondenza dell'asse delle nuove linee AV in modo da determinarne il cedimento differenziale dovuto alla costruzione del nuovo rilevato.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 46 di 92</p>

I valori calcolati relativi al solo processo di costruzione del rilevato della linea storica in variante sono riportati nella Figura 24, dove sono anche indicate le posizioni delle rotaie della linea storica, mentre i cedimenti dovuti al rilevato della AV sono riportati in Figura 25.

Risulta quanto segue:

- sezione n.18 - pk 36+400,00 – costruzione rilevato LSV
 - i cedimenti totali lungo i due assi delle linee LSV sono pari a 47 mm e 46 mm
 - il differenziale tra il cedimento dopo la costruzione del rilevato e quello dovuto alla posa del ballast è rispettivamente pari a 10 mm e 9 mm
- sezione n.18 - pk 36+400,00 costruzione rilevato AV
 - i cedimenti totali lungo i due assi delle nuove linee AV sono pari a 41 mm per entrambi gli assi
 - il differenziale tra il cedimento dopo la costruzione del rilevato e quello dovuto alla posa del ballast è rispettivamente pari a 7 e 6 mm
 - Il cedimento totale medio del binario dispari della linea esistente è pari a circa 2 mm. Il cedimento differenziale tra le due rotaie è inferiore ad 1 mm
 - Il cedimento totale medio del binario pari della linea esistente è pari a circa 4 mm. Il cedimento differenziale tra le due rotaie è di 1 mm

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

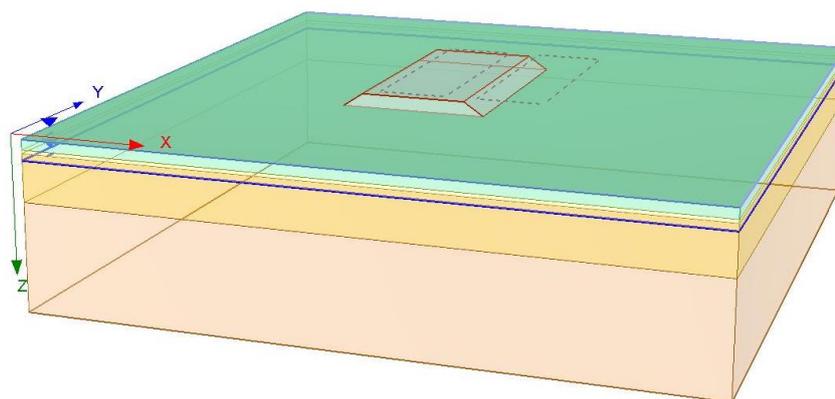


Figura 20 - Rilevato sezione n° 18 (pk 36+400,00) - Analisi SLE – Modello di calcolo - • Costruzione del rilevato della linea storica in variante

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 47 di 92</p>

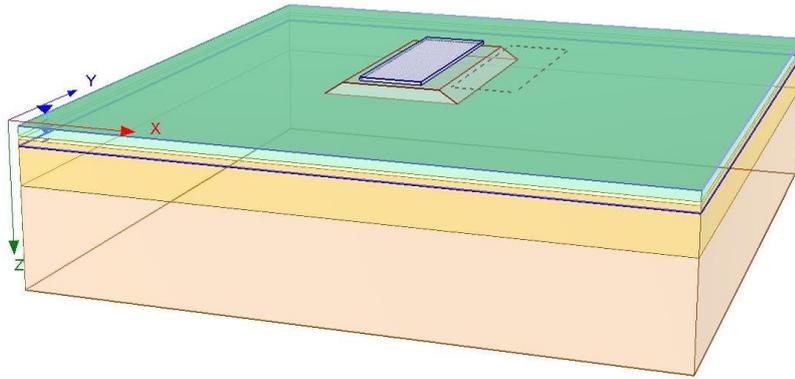


Figura 21 - Rilevato sezione n° 18 (pk 36+400,00) - Analisi SLE – Modello di calcolo- Armamento del ballast del rilevato della linea storica in variante

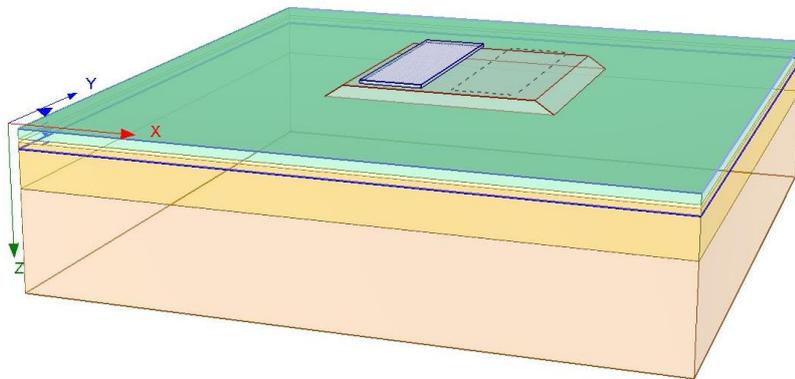


Figura 22 - Rilevato sezione n° 18 (pk 36+400,00) - Analisi SLE – Modello di calcolo - Costruzione del rilevato della linea AV

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 48 di 92</p>

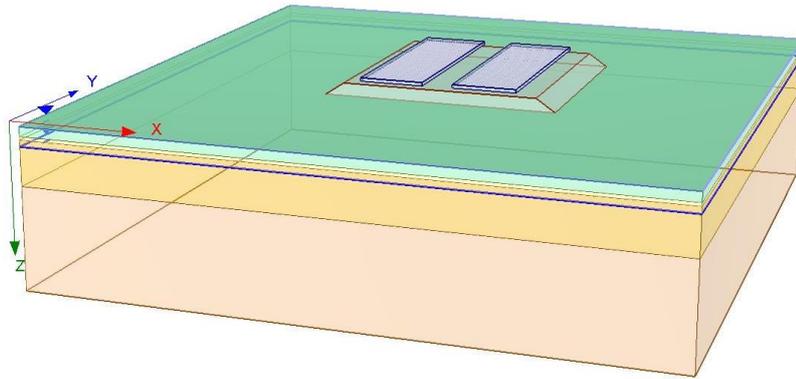


Figura 23 - Rilevato sezione n° 18 (pk 36+400,00) - Analisi SLE – Modello di calcolo - • Armamento del ballast AV

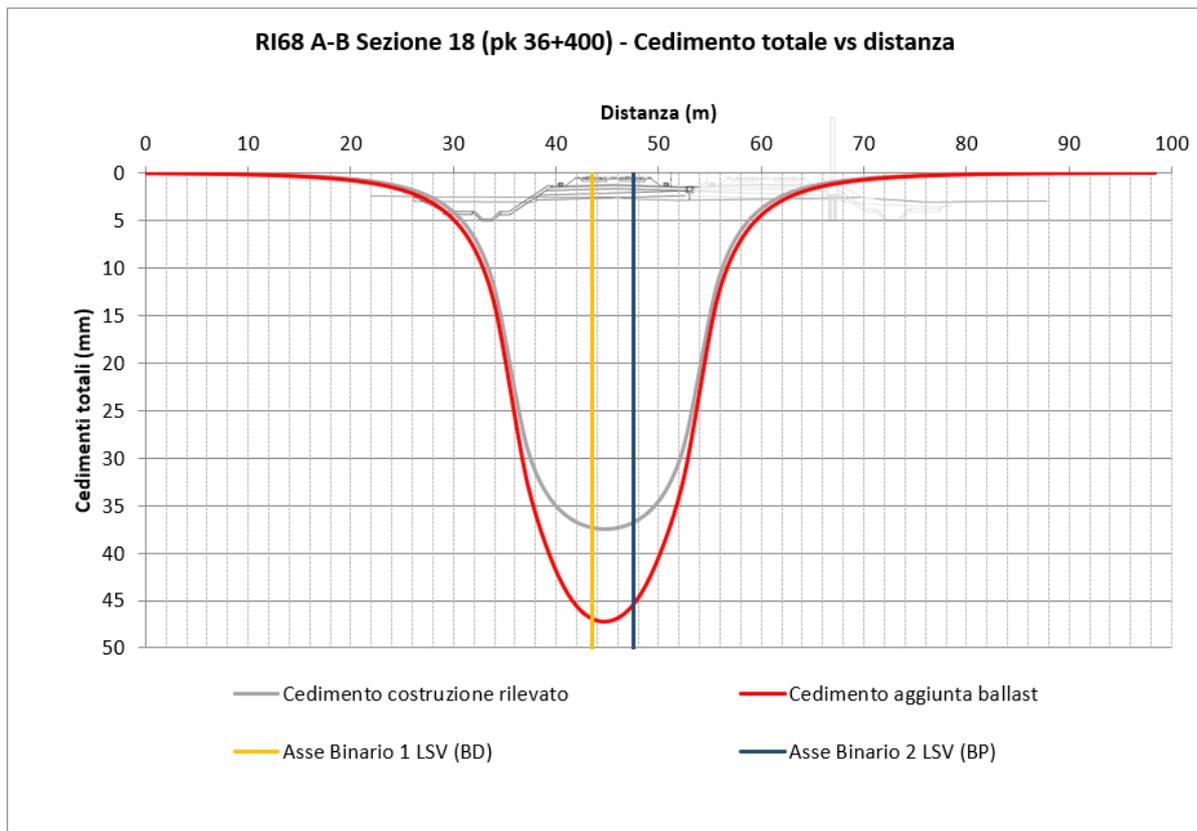


Figura 24 - Rilevato sezione n° 18 (pk 36+400,00) - Analisi SLE – Cedimenti post armamento linea storica in variante

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 49 di 92</p>

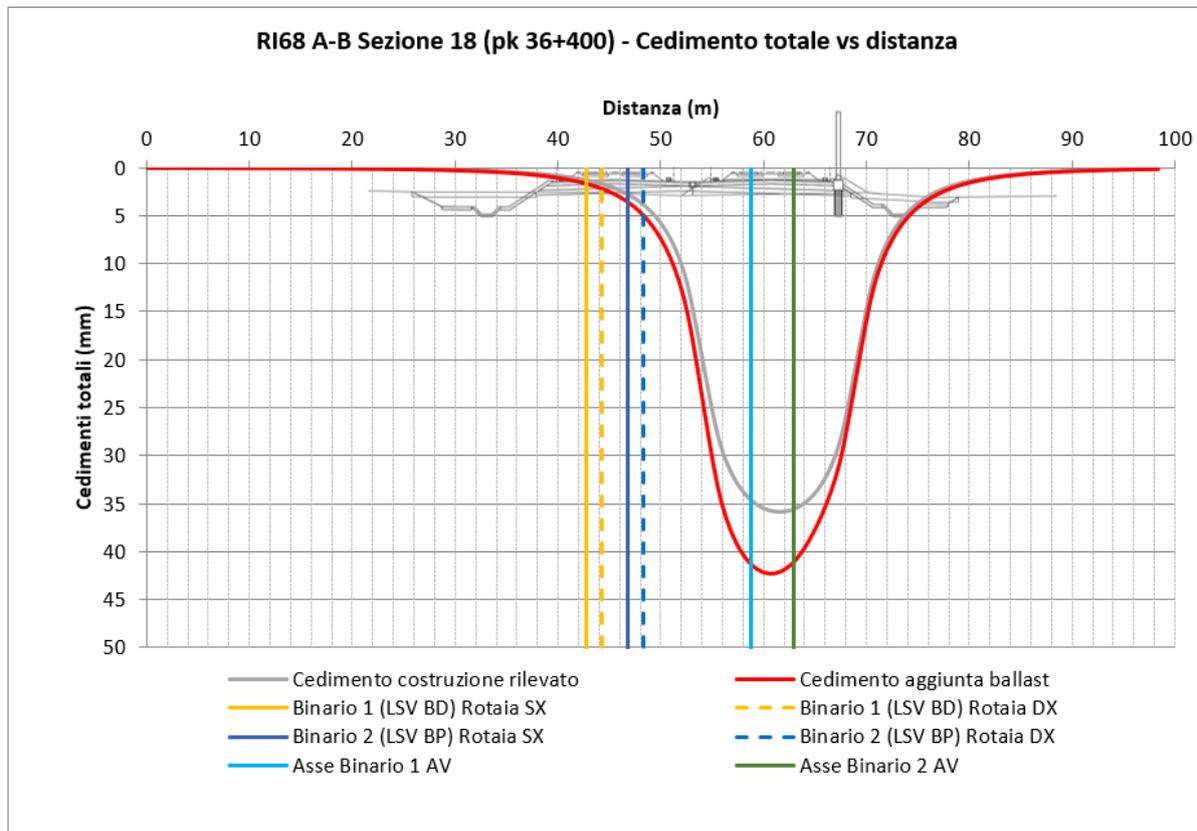


Figura 25 - Rilevato sezione n° 18 (pk 36+400,00) - Analisi SLE – Cedimenti post armamento linea AV

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 50 di 92</p>

7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

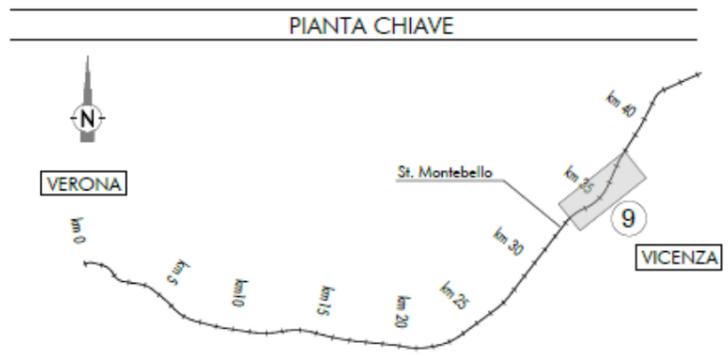
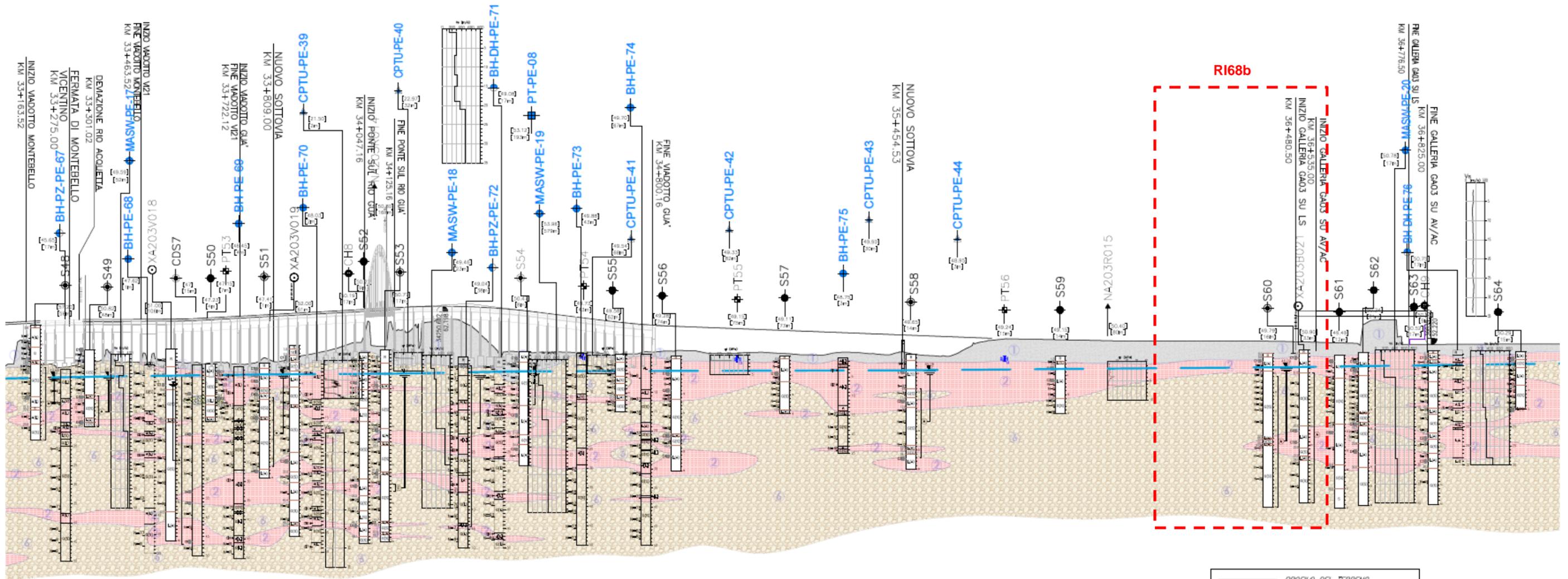
In conclusione, il rilevato oggetto di questa analisi risulta stabile e i cedimenti attesi sono limitati e non differiti nel tempo. Non si evidenziano criticità di tipo geotecnico e pertanto non è previsto un monitoraggio.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 51 di 92</p>

ALLEGATI

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 52 di 92</p>

ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



LEGENDA

Campagna indagini integrative PE	PT-PE	Pozzetto esplorativo
BH-PE	BH-DH-PE	Sondaggio con esecuzione di prova down hole
BH-PZ-PE	CH-PE	Sondaggio con esecuzione di prova cross hole
MASW-PE	Indagini orientati	
CPTU-PE	Nota per PE: in blu le indagini disponibili e con coordinate certe, in rosso indagini ancora non disponibili o con coordinate non note	
PT-PE		
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+15B		Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)
Campagna indagini 2014		
SP		Sondaggio a carotaggio continuo
SP/SP		Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
SP/SA		Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
SOC		Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
S03		Foro a distribuzione 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 distribuzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
PT		Pozzetto esplorativo a 1,5 m da p.a. con prove di carico su piastra
		Profondità delle indagini

Campagna indagini pregresse

NA203R015	Sondaggio geognostico (campagna 1998)
NA203R015	Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
NA203R015	CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
NA203R015	Pozzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (VI) per gentile concessione Centro Idrico Novoledo s.r.l.)

Asse di progetto

confine di Provincia

Confine Comunale

Classi dei terreni

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>R110a Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 11</p>	<p>Codifica EI2GER110A0001</p>	<p>A</p>

ALLEGATO 2 - SONDAGGI

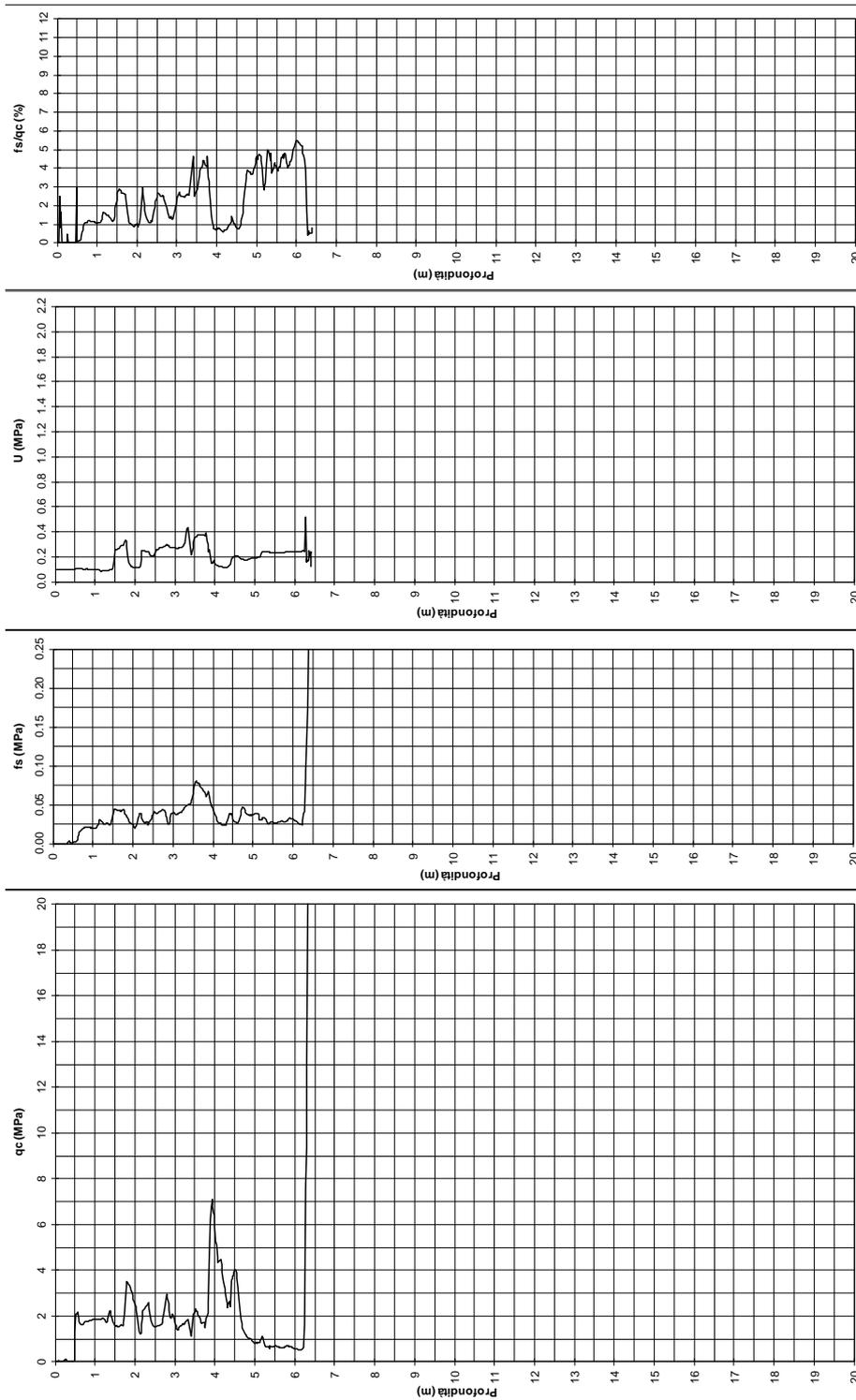
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88
 Relazione Geotecnica

Progetto
 IN17

Lotto
 12

Codifica
 EI2RBRI68B0001A

Foglio
 58 di 92



Prova penetrometrica NA203R015

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 59 di 92</p>

ALLEGATO 3 - SEZ. N° 18 - TABULATI DI SLIDE

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 60 di 92</p>

Slide Analysis Information

Sez_68_DX

Project Summary

File Name:	Sez_68_DX.sldm
Slide Modeler Version:	9.012
Project Title:	SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created:	13/04/2021, 15:59:19

Currently Open Scenarios

Group Name	Scenario Name	Global Minimum	Compute Time
Statica 	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.618560 Spencer: 1.620260 Gle/morgenstern-price: 1.623270	00h:00m:03.134s
Sismica kv+ 	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.691060 Spencer: 1.690910 Gle/morgenstern-price: 1.693440	00h:00m:02.907s
Sismica kv- 	Master Scenario	Bishop Simplified: 1.573220 Spencer: 1.581960 Gle/morgenstern-price: 1.584540	00h:00m:03.257s

General Settings

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

Design Standard

 **Statica**

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 61 di 92</p>

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-**

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 62 di 92</p>

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

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

Analysis Options

All Open Scenarios

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

Groundwater Analysis

All Open Scenarios

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 63 di 92</p>

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]: 2.5
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic Loading

◆ Statica

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

◆ Sismica kv+

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.084
Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.042

◆ Sismica kv-

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No
Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.084
Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.042

Loading

◆ Statica

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 64 di 92</p>

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

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

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

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

◆ **Sismica kv+**

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

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

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

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

◆ **Sismica kv-**

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 65 di 92</p>

 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	14.4
Orientation:	Normal to boundary
Load Action:	Dead
 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	14.4
Orientation:	Normal to boundary
Load Action:	Dead
 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	12.3
Orientation:	Normal to boundary
Load Action:	Live
 	
Distribution:	Constant
Magnitude [kPa]:	12.3
Orientation:	Normal to boundary
Load Action:	Live

Materials

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 66 di 92

U2	
Color	
Strength Type	Undrained
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	19.5
Saturated Unit Weight [kN/m3]	20
Cohesion [kPa]	50
Cohesion Type	Constant
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Value	Automatically Calculated
Rilevato	
Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	20
Saturated Unit Weight [kN/m3]	20
Cohesion [kPa]	0
Friction Angle [deg]	38
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Value	Automatically Calculated
U6	
Color	
Strength Type	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	20
Saturated Unit Weight [kN/m3]	20
Cohesion [kPa]	0
Friction Angle [deg]	39
Water Surface	Assigned per scenario
Hu Value	Automatically Calculated

Materials In Use

Material	Statica	Sismica kv+	Sismica kv-
U2 	✓	✓	✓
Rilevato 	✓	✓	✓
U6 	✓	✓	✓

Global Minimums

◆ Statica

Method: bishop simplified

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 67 di 92</p>

FS	1.618560
Center:	48.511, 16.138
Radius:	9.766
Left Slip Surface Endpoint:	41.668, 9.171
Right Slip Surface Endpoint:	51.236, 6.760
Resisting Moment:	2584.71 kN-m
Driving Moment:	1596.92 kN-m
Total Slice Area:	13.2531 m ²
Surface Horizontal Width:	9.5681 m
Surface Average Height:	1.38514 m

Method: spencer

FS	1.620260
Center:	48.511, 16.138
Radius:	9.766
Left Slip Surface Endpoint:	41.668, 9.171
Right Slip Surface Endpoint:	51.236, 6.760
Resisting Moment:	2587.42 kN-m
Driving Moment:	1596.92 kN-m
Resisting Horizontal Force:	237.226 kN
Driving Horizontal Force:	146.412 kN
Total Slice Area:	13.2531 m ²
Surface Horizontal Width:	9.5681 m
Surface Average Height:	1.38514 m

Method: gle/morgenstern-price

FS	1.623270
Center:	48.511, 16.138
Radius:	9.766
Left Slip Surface Endpoint:	41.668, 9.171
Right Slip Surface Endpoint:	51.236, 6.760
Resisting Moment:	2592.23 kN-m
Driving Moment:	1596.92 kN-m
Resisting Horizontal Force:	237.376 kN
Driving Horizontal Force:	146.233 kN
Total Slice Area:	13.2531 m ²
Surface Horizontal Width:	9.5681 m
Surface Average Height:	1.38514 m

◆ **Sismica kv+**

Method: bishop simplified

FS	1.691060
Center:	48.541, 13.989
Radius:	7.884
Left Slip Surface Endpoint:	42.316, 9.152
Right Slip Surface Endpoint:	51.692, 6.763
Resisting Moment:	1648.83 kN-m
Driving Moment:	975.027 kN-m
Total Slice Area:	14.027 m ²
Surface Horizontal Width:	9.37575 m
Surface Average Height:	1.49609 m

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 68 di 92</p>

Method: spencer

FS	1.690910
Center:	48.494, 13.939
Radius:	7.815
Left Slip Surface Endpoint:	42.316, 9.152
Right Slip Surface Endpoint:	51.588, 6.762
Resisting Moment:	1621.36 kN-m
Driving Moment:	958.868 kN-m
Resisting Horizontal Force:	190.452 kN
Driving Horizontal Force:	112.633 kN
Total Slice Area:	13.9018 m2
Surface Horizontal Width:	9.27133 m
Surface Average Height:	1.49945 m

Method: gle/morgenstern-price

FS	1.693440
Center:	48.487, 13.932
Radius:	7.806
Left Slip Surface Endpoint:	42.316, 9.152
Right Slip Surface Endpoint:	51.573, 6.762
Resisting Moment:	1620.02 kN-m
Driving Moment:	956.646 kN-m
Resisting Horizontal Force:	190.33 kN
Driving Horizontal Force:	112.392 kN
Total Slice Area:	13.8848 m2
Surface Horizontal Width:	9.25693 m
Surface Average Height:	1.49994 m

◆ Sismica kv-

Method: bishop simplified

FS	1.573220
Center:	48.985, 11.983
Radius:	5.876
Left Slip Surface Endpoint:	43.863, 9.105
Right Slip Surface Endpoint:	51.682, 6.763
Resisting Moment:	796.469 kN-m
Driving Moment:	506.267 kN-m
Total Slice Area:	10.7209 m2
Surface Horizontal Width:	7.81913 m
Surface Average Height:	1.37111 m

Method: spencer

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 69 di 92</p>

FS	1.581960
Center:	48.939, 11.980
Radius:	5.870
Left Slip Surface Endpoint:	43.820, 9.106
Right Slip Surface Endpoint:	51.627, 6.762
Resisting Moment:	805.607 kN-m
Driving Moment:	509.245 kN-m
Resisting Horizontal Force:	123.988 kN
Driving Horizontal Force:	78.3761 kN
Total Slice Area:	10.8003 m2
Surface Horizontal Width:	7.80696 m
Surface Average Height:	1.38342 m

Method: gle/morgenstern-price

FS	1.584540
Center:	48.985, 11.983
Radius:	5.876
Left Slip Surface Endpoint:	43.863, 9.105
Right Slip Surface Endpoint:	51.682, 6.763
Resisting Moment:	802.198 kN-m
Driving Moment:	506.267 kN-m
Resisting Horizontal Force:	122.813 kN
Driving Horizontal Force:	77.5069 kN
Total Slice Area:	10.7209 m2
Surface Horizontal Width:	7.81913 m
Surface Average Height:	1.37111 m

Global Minimum Support Data

All Open Scenarios

No Supports Present

Entity Information

◆ Statica

Shared Entities

Type	Coordinates (x,y)
------	-------------------

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 70 di 92</p>

<p>External Boundary</p>	<p>-0.00787053, -7.477 60.2979, -7.477 60.2979, -1.42739 60.2979, 2.27437 60.2979, 6.79302 57.7418, 6.79302 51.729, 6.76279 51.2061, 6.76016 50.5647, 6.76016 50.2061, 6.76016 46.836, 9.01779 46.2554, 9.03338 44.8903, 9.07433 43.255, 9.12339 40.6554, 9.20138 39.8554, 9.22538 39.0633, 9.20261 36.4557, 9.12765 34.8202, 9.08063 31.8768, 8.99602 28.7951, 9.08461 27.1887, 9.13079 24.5917, 9.20544 23.8996, 9.22534 23.2145, 9.21416 20.5917, 9.17138 17.1296, 9.11491 13.1176, 6.44022 12.1176, 6.44022 11.132, 6.44022 10.417, 6.44022 9.6176, 6.44022 6.3319, 6.47307 3.11598, 8.14354 -0.00787053, 8.13207 -0.00787053, 2.27437 -0.00787053, -1.42739</p>
<p>Material Boundary</p>	<p>13.1176, 6.44022 50.5647, 6.76016</p>
<p>Material Boundary</p>	<p>18.892, 9.07511 18.892, 7.55454 28.7627, 7.55454 28.7951, 9.08461</p>
<p>Material Boundary</p>	<p>20.5917, 9.17138 20.5917, 8.33496 23.1961, 8.33496 23.2145, 9.21416</p>
<p>Material Boundary</p>	<p>24.5917, 9.20544 24.5917, 8.32815 27.1839, 8.32815 27.1887, 9.13079</p>
<p>Material Boundary</p>	<p>34.8202, 9.08063 34.8202, 7.55145 44.8576, 7.55145 44.8903, 9.07433</p>

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 71 di 92</p>

Material Boundary	36.4557, 9.12765 36.4557, 8.31229 39.0633, 8.31229 39.0633, 9.20261
Material Boundary	40.6554, 9.20138 40.6554, 8.28269 43.255, 8.28269 43.255, 9.12339
Material Boundary	12.1176, 6.44022 13.466, 5.352 49.988, 5.352 51.729, 6.76279
Material Boundary	-0.00787053, -1.42739 60.2979, -1.42739

Scenario-based Entities

Type	Coordinates (x,y)	Master Scenario
Water Table	-0.00787053, 5.41448 10.4847, 5.41448 11.2071, 5.41448 12.2091, 5.41448 12.9847, 5.41448 60.2979, 5.41448	Assigned to:  U2  Rilevato  U6
Distributed Load	28.7951, 9.08461 27.1887, 9.13079 24.5917, 9.20544 23.8996, 9.22534 23.2145, 9.21416 20.5917, 9.17138 18.9909, 9.14527	Constant DistributionOrientation: Normal to boundary Magnitude: 14.4 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	44.8903, 9.07433 43.255, 9.12339 40.6554, 9.20138 39.8554, 9.22538 39.0633, 9.20261 36.4557, 9.12765 34.8202, 9.08063	Constant DistributionOrientation: Normal to boundary Magnitude: 14.4 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	39.0633, 9.20261 36.4557, 9.12765	Constant DistributionOrientation: Normal to boundary Magnitude: 61.4 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	43.255, 9.12339 40.6554, 9.20138	Constant DistributionOrientation: Normal to boundary Magnitude: 61.4 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No

◆ Sismica kv+

Shared Entities

Type	Coordinates (x,y)
------	-------------------

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 72 di 92</p>

<p>External Boundary</p>	<p>-0.00787053, -7.477 60.2979, -7.477 60.2979, -1.42739 60.2979, 0.602476 60.2979, 1.61243 60.2979, 6.79302 57.7418, 6.79302 51.729, 6.76279 51.2061, 6.76016 50.5647, 6.76016 50.2061, 6.76016 46.836, 9.01779 46.2554, 9.03338 44.8903, 9.07433 43.255, 9.12339 40.6554, 9.20138 39.8554, 9.22538 39.0633, 9.20261 36.4557, 9.12765 34.8202, 9.08063 31.8768, 8.99602 28.7951, 9.08461 27.1887, 9.13079 24.5917, 9.20544 23.8996, 9.22534 23.2145, 9.21416 20.5917, 9.17138 17.1296, 9.11491 13.1176, 6.44022 12.1176, 6.44022 11.132, 6.44022 10.417, 6.44022 9.6176, 6.44022 6.3319, 6.47307 3.11598, 8.14354 -0.00787053, 8.13207 -0.00787053, 1.61243 -0.00787053, 0.602476 -0.00787053, -1.42739</p>
<p>Material Boundary</p>	<p>13.1176, 6.44022 50.5647, 6.76016</p>
<p>Material Boundary</p>	<p>18.892, 9.07511 18.892, 7.55454 28.7627, 7.55454 28.7951, 9.08461</p>
<p>Material Boundary</p>	<p>20.5917, 9.17138 20.5917, 8.33496 23.1961, 8.33496 23.2145, 9.21416</p>
<p>Material Boundary</p>	<p>24.5917, 9.20544 24.5917, 8.32815 27.1839, 8.32815 27.1887, 9.13079</p>
<p>Material Boundary</p>	<p>34.8202, 9.08063 34.8202, 7.55145 44.8576, 7.55145 44.8903, 9.07433</p>

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 73 di 92

Material Boundary	36.4557, 9.12765 36.4557, 8.31229 39.0633, 8.31229 39.0633, 9.20261
Material Boundary	40.6554, 9.20138 40.6554, 8.28269 43.255, 8.28269 43.255, 9.12339
Material Boundary	12.1176, 6.44022 13.466, 5.352 49.988, 5.352 51.729, 6.76279
Material Boundary	-0.00787053, -1.42739 60.2979, -1.42739

Scenario-based Entities

Type	Coordinates (x,y)	Master Scenario
Water Table	-0.00787053, 3.52236 10.4847, 3.52236 11.2841, 3.52236 11.9991, 3.52236 12.9847, 3.52236 60.2979, 3.52236	Assigned to:  U2  Rilevato  U6
Distributed Load	28.7951, 9.08461 27.1887, 9.13079 24.5917, 9.20544 23.8996, 9.22534 23.2145, 9.21416 20.5917, 9.17138 18.9909, 9.14527	Constant DistributionOrientation: Normal to boundary Magnitude: 14.4 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	44.8903, 9.07433 43.255, 9.12339 40.6554, 9.20138 39.8554, 9.22538 39.0633, 9.20261 36.4557, 9.12765 34.8202, 9.08063	Constant DistributionOrientation: Normal to boundary Magnitude: 14.4 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	39.0633, 9.20261 36.4557, 9.12765	Constant DistributionOrientation: Normal to boundary Magnitude: 12.3 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	43.255, 9.12339 40.6554, 9.20138	Constant DistributionOrientation: Normal to boundary Magnitude: 12.3 kN/m2 Creates Excess Pore Pressure: No

◆ Sismica kv-

Shared Entities

Type	Coordinates (x,y)
------	-------------------

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 74 di 92</p>

<p>External Boundary</p>	<p>-0.00787053, -7.477 60.2979, -7.477 60.2979, -1.42739 60.2979, 0.602476 60.2979, 1.61243 60.2979, 6.79302 57.7418, 6.79302 51.729, 6.76279 51.2061, 6.76016 50.5647, 6.76016 50.2061, 6.76016 46.836, 9.01779 46.2554, 9.03338 44.8903, 9.07433 43.255, 9.12339 40.6554, 9.20138 39.8554, 9.22538 39.0633, 9.20261 36.4557, 9.12765 34.8202, 9.08063 31.8768, 8.99602 28.7951, 9.08461 27.1887, 9.13079 24.5917, 9.20544 23.8996, 9.22534 23.2145, 9.21416 20.5917, 9.17138 17.1296, 9.11491 13.1176, 6.44022 12.1176, 6.44022 11.132, 6.44022 10.417, 6.44022 9.6176, 6.44022 6.3319, 6.47307 3.11598, 8.14354 -0.00787053, 8.13207 -0.00787053, 1.61243 -0.00787053, 0.602476 -0.00787053, -1.42739</p>
<p>Material Boundary</p>	<p>13.1176, 6.44022 50.5647, 6.76016</p>
<p>Material Boundary</p>	<p>18.892, 9.07511 18.892, 7.55454 28.7627, 7.55454 28.7951, 9.08461</p>
<p>Material Boundary</p>	<p>20.5917, 9.17138 20.5917, 8.33496 23.1961, 8.33496 23.2145, 9.21416</p>
<p>Material Boundary</p>	<p>24.5917, 9.20544 24.5917, 8.32815 27.1839, 8.32815 27.1887, 9.13079</p>
<p>Material Boundary</p>	<p>34.8202, 9.08063 34.8202, 7.55145 44.8576, 7.55145 44.8903, 9.07433</p>

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 75 di 92

Material Boundary	36.4557, 9.12765 36.4557, 8.31229 39.0633, 8.31229 39.0633, 9.20261
Material Boundary	40.6554, 9.20138 40.6554, 8.28269 43.255, 8.28269 43.255, 9.12339
Material Boundary	12.1176, 6.44022 13.466, 5.352 49.988, 5.352 51.729, 6.76279
Material Boundary	-0.00787053, -1.42739 60.2979, -1.42739

Scenario-based Entities

Type	Coordinates (x,y)	Master Scenario
Water Table	-0.00787053, 3.52236 10.4847, 3.52236 11.2841, 3.52236 11.9991, 3.52236 12.9847, 3.52236 60.2979, 3.52236	Assigned to:  U2  Rilevato  U6
Distributed Load	28.7951, 9.08461 27.1887, 9.13079 24.5917, 9.20544 23.8996, 9.22534 23.2145, 9.21416 20.5917, 9.17138 18.9909, 9.14527	Constant DistributionOrientation: Normal to boundaryMagnitude: 14.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	44.8903, 9.07433 43.255, 9.12339 40.6554, 9.20138 39.8554, 9.22538 39.0633, 9.20261 36.4557, 9.12765 34.8202, 9.08063	Constant DistributionOrientation: Normal to boundaryMagnitude: 14.4 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	39.0633, 9.20261 36.4557, 9.12765	Constant DistributionOrientation: Normal to boundaryMagnitude: 12.3 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No
Distributed Load	43.255, 9.12339 40.6554, 9.20138	Constant DistributionOrientation: Normal to boundaryMagnitude: 12.3 kN/m2Creates Excess Pore Pressure: No

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 76 di 92</p>

ALLEGATO 1 - SEZ. N° 18 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 77 di 92

Settle3 Analysis Information

RI68A_B

Project Settings

Document Name	RI68A_B.s3z
Date Created	13/04/2021, 16:40:34
Stress Computation Method	Boussinesq
Minimum settlement ratio for subgrade modulus	0.9
Use average properties to calculate layered stresses	
Improve consolidation accuracy	
Ignore negative effective stresses in settlement calculations	

Stage Settings

Stage #	Name
1	Rilevato linea storica
2	Ballast storica
3	Rilevato AV
4	Ballast AV

Results

Time taken to compute: 0 seconds

Stage: Rilevato linea storica

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 78 di 92</p>

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [mm]	0	37.4906
Total Consolidation Settlement [mm]	0	0
Virgin Consolidation Settlement [mm]	0	0
Recompression Consolidation Settlement [mm]	0	0
Immediate Settlement [mm]	0	37.4906
Loading Stress ZZ [kPa]	0	41.859
Loading Stress XX [kPa]	-18.1683	33.8363
Loading Stress YY [kPa]	-18.4405	61.7821
Effective Stress ZZ [kPa]	0	276.358
Effective Stress XX [kPa]	-8.5452	287.769
Effective Stress YY [kPa]	-6.33921	320.499
Total Stress ZZ [kPa]	0	492.178
Total Stress XX [kPa]	-8.5452	503.589
Total Stress YY [kPa]	-6.33921	536.319
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	0.00399882
Pore Water Pressure [kPa]	0	215.82
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.5	324.818
Over-consolidation Ratio	1	3
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [mm]	0	0
Undrained Shear Strength	0	2.33678

Stage: Ballast storica

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 79 di 92</p>

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [mm]	0	47.2023
Total Consolidation Settlement [mm]	0	0
Virgin Consolidation Settlement [mm]	0	0
Recompression Consolidation Settlement [mm]	0	0
Immediate Settlement [mm]	0	47.2023
Loading Stress ZZ [kPa]	0	53.8677
Loading Stress XX [kPa]	-18.254	35.8843
Loading Stress YY [kPa]	-17.616	61.764
Effective Stress ZZ [kPa]	0	278.658
Effective Stress XX [kPa]	-6.31465	287.677
Effective Stress YY [kPa]	-4.93178	320.175
Total Stress ZZ [kPa]	0	494.478
Total Stress XX [kPa]	-6.31465	503.497
Total Stress YY [kPa]	-4.93178	535.995
Modulus of Subgrade Reaction (Total) [kPa/m]	0	323.371
Modulus of Subgrade Reaction (Immediate) [kPa/m]	0	323.371
Modulus of Subgrade Reaction (Consolidation) [kPa/m]	0	0
Total Strain	0	0.00533523
Pore Water Pressure [kPa]	0	215.82
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.500008	324.818
Over-consolidation Ratio	1	2.99999
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [mm]	0	0
Undrained Shear Strength	0	3.33279

Stage: Rilevato AV

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 80 di 92</p>

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [mm]	0	49.1806
Total Consolidation Settlement [mm]	0	0
Virgin Consolidation Settlement [mm]	0	0
Recompression Consolidation Settlement [mm]	0	0
Immediate Settlement [mm]	0	49.1806
Loading Stress ZZ [kPa]	0	53.8677
Loading Stress XX [kPa]	-19.1279	37.0556
Loading Stress YY [kPa]	-21.0783	53.0549
Effective Stress ZZ [kPa]	0	285.084
Effective Stress XX [kPa]	-7.53796	285.993
Effective Stress YY [kPa]	-7.96217	315.947
Total Stress ZZ [kPa]	0	500.904
Total Stress XX [kPa]	-7.53796	501.813
Total Stress YY [kPa]	-7.96217	531.767
Modulus of Subgrade Reaction (Total) [kPa/m]	0	308.244
Modulus of Subgrade Reaction (Immediate) [kPa/m]	0	308.244
Modulus of Subgrade Reaction (Consolidation) [kPa/m]	0	0
Total Strain	0	0.00533568
Pore Water Pressure [kPa]	0	215.82
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.500008	324.818
Over-consolidation Ratio	1	2.99999
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [mm]	0	0
Undrained Shear Strength	0	3.33494

Stage: Ballast AV

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 81 di 92</p>

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [mm]	0	49.8699
Total Consolidation Settlement [mm]	0	0
Virgin Consolidation Settlement [mm]	0	0
Recompression Consolidation Settlement [mm]	0	0
Immediate Settlement [mm]	0	49.8699
Loading Stress ZZ [kPa]	0	53.8677
Loading Stress XX [kPa]	-19.0332	37.0406
Loading Stress YY [kPa]	-20.404	53.0816
Effective Stress ZZ [kPa]	0	286.434
Effective Stress XX [kPa]	-6.00772	285.926
Effective Stress YY [kPa]	-6.99634	315.902
Total Stress ZZ [kPa]	0	502.254
Total Stress XX [kPa]	-6.00772	501.746
Total Stress YY [kPa]	-6.99634	531.722
Modulus of Subgrade Reaction (Total) [kPa/m]	0	304.442
Modulus of Subgrade Reaction (Immediate) [kPa/m]	0	304.442
Modulus of Subgrade Reaction (Consolidation) [kPa/m]	0	0
Total Strain	0	0.00534095
Pore Water Pressure [kPa]	0	215.82
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.500018	324.818
Over-consolidation Ratio	1	2.99998
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [mm]	0	0
Undrained Shear Strength	0	3.34007

Loads

1. Rectangular Load: "Rectangular Load 1"

Length	10 m
Width	33 m
Rotation angle	0 degrees
Load Type	Flexible
Area of Load	330 m ²
Load	14.4 kPa
Depth	-2.4 m
Installation Stage	Ballast storica

Coordinates

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 82 di 92</p>

X [m]	Y [m]
1.923	1.133
11.923	1.133
11.923	34.133
1.923	34.133

2. Rectangular Load: "Rectangular Load 2"

Length	10 m
Width	33 m
Rotation angle	0 degrees
Load Type	Flexible
Area of Load	330 m2
Load	10 kPa
Depth	-2.4 m
Installation Stage	Ballast AV

Coordinates

X [m]	Y [m]
16.609	1.356
26.609	1.356
26.609	34.356
16.609	34.356

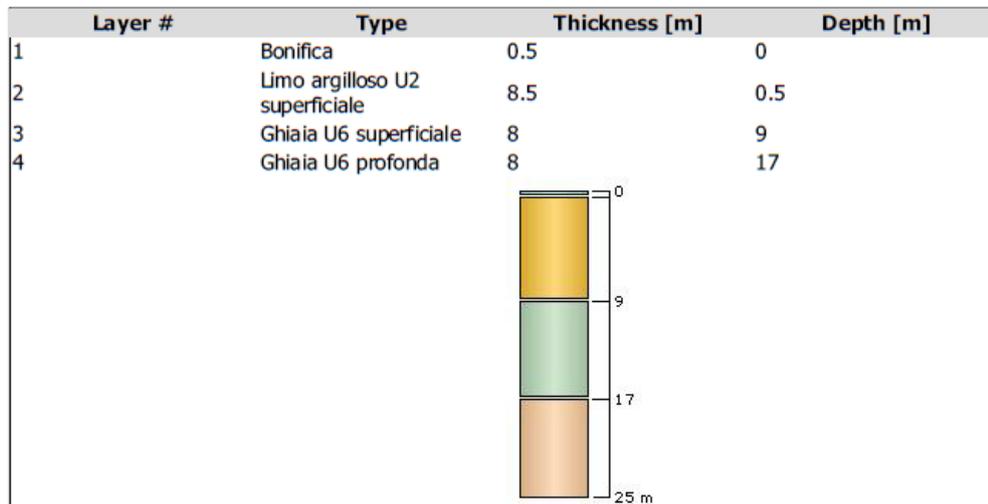
Embankments

1. Embankment: "Embankment Load 1"

Label	Embankment Load 1						
Center Line	(7.086, 0.778) to (7.086, 34.834)						
Near End Angle	90 degrees						
Far End Angle	90 degrees						
Number of Layers	1						
Base Width	21.5						
Layer	Stage	Left Bench Width (m)	Left Angle (deg)	Height (m)	Unit Weight (kN/m3)	Right Angle (deg)	Right Bench Width (m)
1	Rilevato linea storica	0	34	2	20	34	0

Soil Layers

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 83 di 92</p>



Soil Properties

Property	Ghiaia U6 superficiale	Ghiaia U6 profonda	Limo argilloso U2 superficiale	Bonifica
Color				
Unit Weight [kN/m ³]	19	19	18.5	20
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	19.5	19.5	18.5	20
K ₀	1	1	1	1
Immediate Settlement	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled
Es [kPa]	60000	100000	10000	20000
Es _{ur} [kPa]	60000	100000	10000	20000
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	2	2	2	2

Groundwater

Groundwater method: Piezometric Lines
Water Unit Weight: 9.81 kN/m³

Piezometric Line Entities

ID	Depth (m)
1	0 m
2	3 m

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 84 di 92

Query Points

Point #	Query Point Name	(X,Y) Location	Number of Divisions
1	Query Point 1	7.086, 17.9396	Auto: 67

Query Lines

Line #	Query Line Name	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	Query Line 1	-37.72, 17.633	60.665, 17.633	300	Auto: 67

Field Point Grid

Number of points 440
Expansion Factor 3

Grid Coordinates

X [m]	Y [m]
60.665	68.89
60.665	-33.278
-37.72	-33.278
-37.72	68.89

Time Points

Point #	(X,Y) Location	Depth	Goal Type	Goal	Time Until Goal
1	5.665, 16.671	5.5 m	Degree of Consolidation	90%	0 d

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 85 di 92

STAGE DI RIFERIMENTO: POSA BALLAST

Settle3 Analysis Information

RI68A_B

Project Settings

Document Name	RI68A_B.s3z
Date Created	13/04/2021, 16:40:34
Stress Computation Method	Boussinesq
Minimum settlement ratio for subgrade modulus	0.9
Use average properties to calculate layered stresses	
Improve consolidation accuracy	
Ignore negative effective stresses in settlement calculations	

Stage Settings

Stage #	Name
1	Rilevato linea storica
2	Ballast storica
3	Rilevato AV
4	Ballast AV

Results (relative to Stage: Ballast storica)

Time taken to compute: 10.9338 seconds

Stage: Rilevato linea storica

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 86 di 92</p>

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [mm]	-9.71513	0
Total Consolidation Settlement [mm]	0	0
Virgin Consolidation Settlement [mm]	0	0
Recompression Consolidation Settlement [mm]	0	0
Immediate Settlement [mm]	-9.71513	0
Loading Stress ZZ [kPa]	-13.8677	0
Loading Stress XX [kPa]	-5.98592	0.250936
Loading Stress YY [kPa]	-4.39271	0.349929
Effective Stress ZZ [kPa]	-13.8677	0
Effective Stress XX [kPa]	-5.98592	0.250936
Effective Stress YY [kPa]	-4.39271	0.349929
Total Stress ZZ [kPa]	-13.8677	0
Total Stress XX [kPa]	-5.98592	0.250936
Total Stress YY [kPa]	-4.39271	0.349929
Modulus of Subgrade Reaction (Total) [kPa/m]	-323.371	0
Modulus of Subgrade Reaction (Immediate) [kPa/m]	-323.371	0
Modulus of Subgrade Reaction (Consolidation) [kPa/m]	0	0
Total Strain	-0.00133641	0
Pore Water Pressure [kPa]	0	0
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	-13.8534	0
Over-consolidation Ratio	0	0.326686
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [mm]	0	0
Undrained Shear Strength	-3.33279	0

Stage: Ballast storica

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 87 di 92</p>

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [mm]	0	0
Total Consolidation Settlement [mm]	0	0
Virgin Consolidation Settlement [mm]	0	0
Recompression Consolidation Settlement [mm]	0	0
Immediate Settlement [mm]	0	0
Loading Stress ZZ [kPa]	0	0
Loading Stress XX [kPa]	0	0
Loading Stress YY [kPa]	0	0
Effective Stress ZZ [kPa]	0	0
Effective Stress XX [kPa]	0	0
Effective Stress YY [kPa]	0	0
Total Stress ZZ [kPa]	0	0
Total Stress XX [kPa]	0	0
Total Stress YY [kPa]	0	0
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
Pore Water Pressure [kPa]	0	0
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0	0
Over-consolidation Ratio	0	0
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [mm]	0	0
Undrained Shear Strength	0	0

Stage: Rilevato AV

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 88 di 92</p>

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [mm]	0	35.8227
Total Consolidation Settlement [mm]	0	0
Virgin Consolidation Settlement [mm]	0	0
Recompression Consolidation Settlement [mm]	0	0
Immediate Settlement [mm]	0	35.8227
Loading Stress ZZ [kPa]	-0.114979	42.0804
Loading Stress XX [kPa]	-17.2671	34.0157
Loading Stress YY [kPa]	-17.8654	63.417
Effective Stress ZZ [kPa]	-0.114979	42.0804
Effective Stress XX [kPa]	-17.2671	34.0157
Effective Stress YY [kPa]	-17.8654	63.417
Total Stress ZZ [kPa]	-0.114979	42.0804
Total Stress XX [kPa]	-17.2671	34.0157
Total Stress YY [kPa]	-17.8654	63.417
Modulus of Subgrade Reaction (Total) [kPa/m]	-142.629	220.078
Modulus of Subgrade Reaction (Immediate) [kPa/m]	-142.629	220.078
Modulus of Subgrade Reaction (Consolidation) [kPa/m]	0	0
Total Strain	-5.03758e-06	0.00399782
Pore Water Pressure [kPa]	0	0
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0	41.6849
Over-consolidation Ratio	-1.99832	0.00243015
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [mm]	0	0
Undrained Shear Strength	-6.73209e-07	3.31489

Stage: Ballast AV

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 89 di 92</p>

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [mm]	0	42.2914
Total Consolidation Settlement [mm]	0	0
Virgin Consolidation Settlement [mm]	0	0
Recompression Consolidation Settlement [mm]	0	0
Immediate Settlement [mm]	0	42.2914
Loading Stress ZZ [kPa]	-0.000289905	49.6304
Loading Stress XX [kPa]	-17.3234	35.2878
Loading Stress YY [kPa]	-16.8872	63.6244
Effective Stress ZZ [kPa]	-0.000289905	49.6304
Effective Stress XX [kPa]	-17.3234	35.2878
Effective Stress YY [kPa]	-16.8872	63.6244
Total Stress ZZ [kPa]	-0.000289905	49.6304
Total Stress XX [kPa]	-17.3234	35.2878
Total Stress YY [kPa]	-16.8872	63.6244
Modulus of Subgrade Reaction (Total) [kPa/m]	-156.474	224.268
Modulus of Subgrade Reaction (Immediate) [kPa/m]	-156.474	224.268
Modulus of Subgrade Reaction (Consolidation) [kPa/m]	0	0
Total Strain	-1.1921e-08	0.00492432
Pore Water Pressure [kPa]	0	0
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0	49.6205
Over-consolidation Ratio	-1.99832	0.000476716
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [mm]	0	0
Undrained Shear Strength	0	3.32314

Loads

1. Rectangular Load: "Rectangular Load 1"

Length	10 m
Width	33 m
Rotation angle	0 degrees
Load Type	Flexible
Area of Load	330 m2
Load	14.4 kPa
Depth	-2.4 m
Installation Stage	Ballast storica

Coordinates

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 90 di 92</p>

X [m]	Y [m]
1.923	1.133
11.923	1.133
11.923	34.133
1.923	34.133

2. Rectangular Load: "Rectangular Load 2"

Length	10 m
Width	33 m
Rotation angle	0 degrees
Load Type	Flexible
Area of Load	330 m2
Load	10 kPa
Depth	-2.4 m
Installation Stage	Ballast AV

Coordinates

X [m]	Y [m]
16.609	1.356
26.609	1.356
26.609	34.356
16.609	34.356

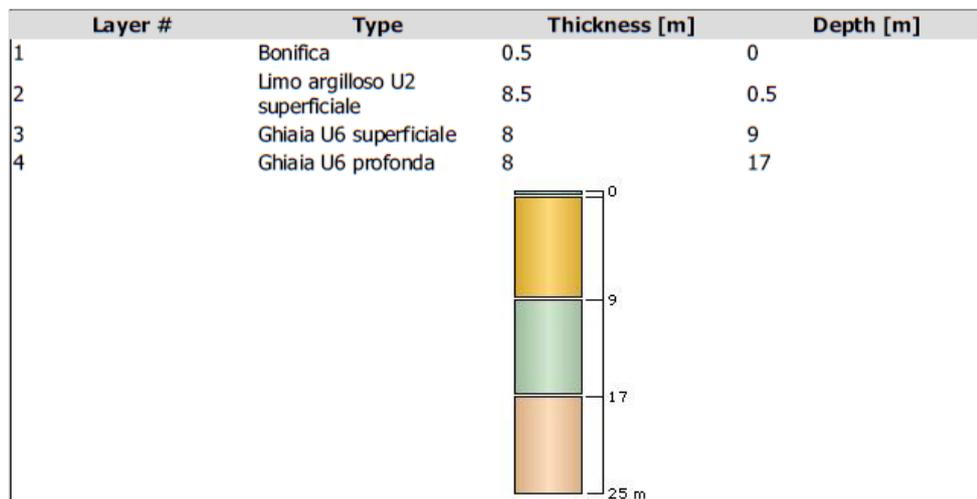
Embankments

1. Embankment: "Embankment Load 1"

Label	Embankment Load 1						
Center Line	(7.086, 0.778) to (7.086, 34.834)						
Near End Angle	90 degrees						
Far End Angle	90 degrees						
Number of Layers	1						
Base Width	21.5						
Layer	Stage	Left Bench Width (m)	Left Angle (deg)	Height (m)	Unit Weight (kN/m3)	Right Angle (deg)	Right Bench Width (m)
1	Rilevato linea storica	0	34	2	20	34	0

Soil Layers

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI68B0001A</p>	<p>Foglio 91 di 92</p>



Soil Properties

Property	Ghiaia U6 superficiale	Ghiaia U6 profonda	Limo argilloso U2 superficiale	Bonifica
Color				
Unit Weight [kN/m ³]	19	19	18.5	20
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	19.5	19.5	18.5	20
K ₀	1	1	1	1
Immediate Settlement	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled
Es [kPa]	60000	100000	10000	20000
E _{sur} [kPa]	60000	100000	10000	20000
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	2	2	2	2

Groundwater

Groundwater method: Piezometric Lines
Water Unit Weight: 9.81 kN/m³

Piezometric Line Entities

ID	Depth (m)
1	0 m
2	3 m

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario seconda variante L.S. da pk 185+735.92 a pk 186+234.88 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI68B0001A	Foglio 92 di 92

Query Points

Point #	Query Point Name	(X,Y) Location	Number of Divisions
1	Query Point 1	7.086, 17.9396	Auto: 67

Query Lines

Line #	Query Line Name	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	Query Line 1	-37.72, 17.633	60.665, 17.633	300	Auto: 67

Field Point Grid

Number of points 440
Expansion Factor 3

Grid Coordinates

X [m]	Y [m]
60.665	68.89
60.665	-33.278
-37.72	-33.278
-37.72	68.89

Time Points

Point #	(X,Y) Location	Depth	Goal Type	Goal	Time Until Goal
1	5.665, 16.671	5.5 m	Degree of Consolidation	90%	-1 d