

COMMITTENTE:



ALTA
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE
OBIETTIVO N. 443/01**

LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA

Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza

PROGETTO ESECUTIVO

RILEVATI

Rilevato ferroviario da pk 28+175,00 a pk 28+450,00

GENERALE

Relazione Geotecnica

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

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

I	N	1	7	1	2	E	I	2	R	B	R	I	4	6	0	0	0	0	1	A	-	-	-	P	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Luca RANDOLFI 	Dicembre 2021

Progettazione:

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

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2RBRI4600001A_03.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 2 di 108

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1	Documentazione di progetto.....	5
2.2	Normativa e standard di riferimento.....	5
2.3	Bibliografia	6
3	INQUADRAMENTO DELL'OPERA	8
3.1	Premessa.....	8
3.2	Geometria del rilevato.....	8
3.3	Descrizione degli interventi.....	9
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	11
4.1	Indagini disponibili.....	11
4.2	Inquadramento stratigrafico	12
4.3	Livello di falda	13
4.4	Condizioni geotecniche del sito	14
4.5	Sintesi del modello geotecnico di riferimento	26
4.6	Materiale da rilevato.....	27
4.7	Misto cementato.....	27
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	28
5.1	Sollecitazione sismica di progetto.....	28
5.1.1	Vita Nominale.....	28
5.1.2	Classe d'uso	28
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	29
5.1.4	Categorie di Sottosuolo.....	29
5.1.5	Condizioni topografiche	29
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento	30
5.2	Suscettibilità alla liquefazione.....	30
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT	32
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT.....	33
5.2.3	Commento ai risultati	38
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO FERROVIARIO	39
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite.....	39
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU).....	39
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE)	41
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche.....	41

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 3 di 108

6.2	Azioni di progetto	41
6.2.1	Azioni permanenti	42
6.2.2	Azioni variabili	42
6.2.3	Azione sismica	42
6.3	Verifiche e risultati SLU	43
6.3.1	Premessa	43
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche	44
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche	45
6.4	Verifica e risultati SLE	46
6.4.1	Premessa e descrizione concettuale della soluzione	46
6.4.2	Metodologia di calcolo	47
6.4.3	Schematizzazione e risultati	49
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	55
ALLEGATI		56
ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO		57
ALLEGATO 2 - SONDAGGI		59
ALLEGATO 3 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA		62
ALLEGATO 4 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICA		70
ALLEGATO 5 – TABULATI DI PLAXIS		78
ALLEGATO 6 – VERSIONI SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI		108

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 4 di 108

1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI46, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende tra il km 28+175,00 e il km 28+450,00.

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

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

Il documento è così organizzato:

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 5 di 108

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni di Progetto Esecutivo
- [2] IN1710EI2RBGE0000003C Relazione Geotecnica (da 21+990 a 33+500)
- [3] IN1710EI2LZGE0000018B Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico 7 di 11
- [4] IN1710EI2RHGE0000006B Relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base 2/2
- [5] IN1710EI2P5GE0000007C Planimetrie con classificazione sismica del territorio 7 di 11
- [6] IN1710EI2RHGE0000004C Relazione idrogeologica 2/2
- [7] IN1710EI2RHGE0000007C-8C Relazione di sintesi dei sondaggi e delle prove eseguite
- [8] IN1710EI2PRGE0000001B-2B, Risultati Indagini in sito di Progetto – SOCOTEC
- [9] IN1710EI2PRGE0000001B-4B, Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI
- [10] IN1710EI2PRGE0000005B-6B-7C-8B, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [11] IN1710EI2PRGE0000009B-12B, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING - GEOLAVORI
- [12] IN1710EI2IGGE0000001B-2B, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [13] IN1710EI2IGGE0000003B-4B, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING - GEOLAVORI

2.2 Normativa e standard di riferimento

- [14] Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30
- [15] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008
- [16] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [17] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- [18] RFI DTC SI PS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle opere civili, Parte II – Sezione 2, Ponti e strutture
- [19] RFI DTC SI CS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle opere civili, Parte II – Sezione 3, Corpo stradale
- [20] RFI DTC INC PO SP IFS 001 A Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario
- [21] RFI DTC INC CS SP IFS 001 A Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 6 di 108

[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] Rocscience (2017), Slide ver 7.0, 2017

[26] Bentley (2017), PLAXIS 3D, 2017

[27] Matlock, H., Reese, L.C. (1960) "Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles". Journal of Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE, Vol.86, No.SM5, pp.63-91

[28] Reese L.C. and O'Neill M.W. (1999), "Drilled shafts. Construction procedures and design methods" Federal Highway administration. Report FHWA-IF-99-025

[29] Fioravante, V., Ghionna, V.N., Jamiolkowski, M.B. and Pedroni, S. (1995). "Load carrying capacity of large diameter bored piles in sand and gravel". Proc. 10th ARCSMFE, 2, 3-15.

[30] Meyerhof G.G. (1976), "Bearing capacity and settlement of pile foundations" JGED, ASCE, GT3, pp.197-228

[31] Ghionna, V.N., Jamiolkowski, M.B., Pedroni, S. and Salgado, R. et al (1994). "Tip displacement of drilled shafts in sands". in Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments. Ed. A.T. Yeung and G.Y. Felio, ASCE, GSP40, New York, 2, 1039-1057.

[32] Hynes, M.E., and Olsen, R.S. (1999), "Influence of confining stress on liquefaction resistance", Proc., Int. Workshop on Phys. And Mech. Of Soil Liquefaction, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 145-152.

[33] Idriss, I.M. and Boulanger, R.W. (2004), "Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes". In: Proceedings, 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake engineering, and 3d International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. D. Doolin et al., eds., Stallion press, Vol. 1, pp. 32-56.

[34] Liao, S.C.C. and Whitman, R.V. (1986), "Overburden Correction Factors for SPT in sand", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, No. 3, 373-377.

[35] Robertson P.K. and Wride C.E. (1998). "Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test". Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, 35(3), pp. 442-459.

[36] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1971), "Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 97(9), pp.1249-1273.

[37] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982), "Ground motions and soil liquefaction during earthquakes", Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 7 di 108

- [38] Seed, R.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F., Chung, L.M. (1985), "The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations", *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 111(12), pp.1425-1445.
- [39] Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, L.W.D., Harder, L.F. Jr., Hynes, M.H., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F. III, Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B. and Stokoe, K.H. II (2001), "Liquefaction Resistance of Soil: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 127, n° 10, pp.817-833.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 8 di 108

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

3.1 Premessa

Il rilevato ferroviario in esame si estende dalla pk 28+175,00 alla pk 28+450,00 per una lunghezza totale di 275 m. Il rilevato risulta in affiancamento alla linea storica lungo tutta la sua estensione. Per la tratta in esame non si evidenziano altre interferenze con opere principali adiacenti e/o attraversate.

3.2 Geometria del rilevato

Come detto, il rilevato risulta sempre in affiancamento alla linea storica. Il rilevato, lungo 275 m, ha una sezione pressoché uniforme per tutto il tracciato, ed è realizzato in affiancamento sul suo lato nord. Per limitare i cedimenti indotti sul rilevato della Linea Storica, in accordo a quanto fatto nel PD è stato necessario prevedere inclusioni rigide per la riduzione di cedimenti (vedi par. 3.3). Nel paragrafo 6.1.1 vengono presentate le verifiche di stabilità per la sezione, mentre il calcolo dei cedimenti viene presentato nel paragrafo 6.1.2. Per entrambe le verifiche si fa riferimento alla sezione di massima altezza del rilevato lungo la tratta, pari a 4.7 m (vedi Figura 1).

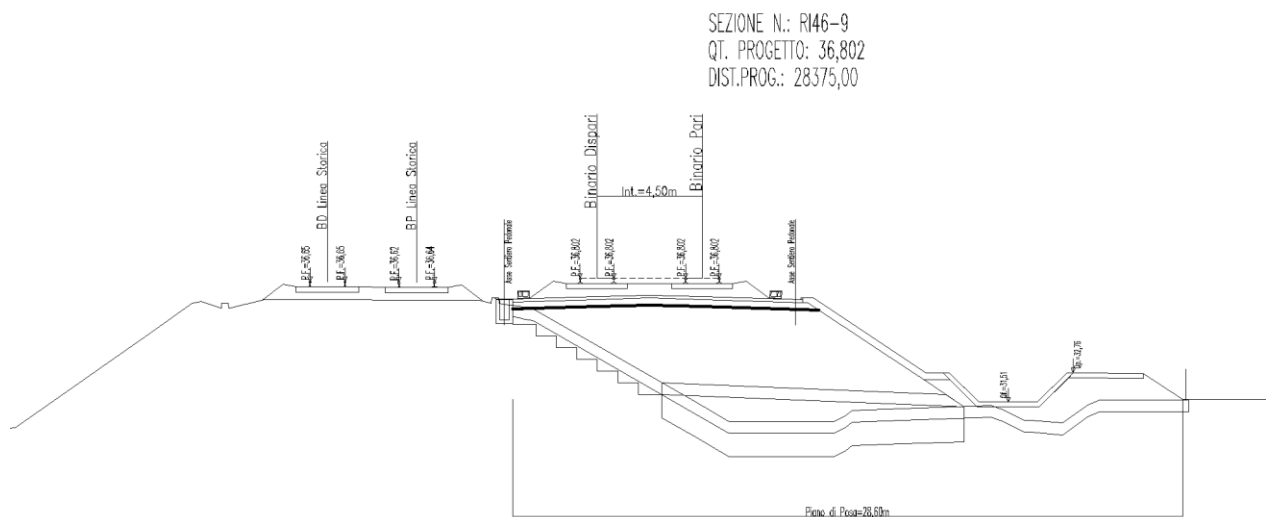


Figura 1 – Sezione di riferimento (pk 28+375,00 n. RI46-9) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 9 di 108

3.3 Descrizione degli interventi

Come anticipato, per il rilevato in esame sono previsti dei consolidamenti mediante inclusioni rigide volti a garantire i requisiti prestazionali dell'opera (soluzione in continuità con quanto previsto nell'ambito del Progetto Definitivo). Gli interventi migliorativi consisteranno in inclusioni rigide in calcestruzzo $\Phi 1000$ mm disposte in pianta con uno schema a quinconce ed interasse pari a 4.5 m.

In Figura 2 è riportato lo schema della disposizione in sezione, mentre la Figura 3 riporta lo schema planimetrico. Si osserva quanto segue:

- La fila A viene realizzata a ridosso del rilevato esistente e ha un ruolo fondamentale nella mitigazione dei cedimenti, sia con riferimento a quelli del rilevato AV che a quelli indotti sulla LS. Per tale motivo queste inclusioni sono sormontate da cappellotti in calcestruzzo (larghi 2.5m x 2.5m e spessi 0.6 m). La lunghezza delle inclusioni è di circa 32 m, tale da raggiungere lo strato di unità 2. Per la geometria di dettaglio si faccia riferimento agli elaborati grafici di progetto.
- Le file B e C vengono invece realizzate a partire dal piano campagna, e sono sormontate da uno strato di misto cementato dello spessore di 80 cm. Le inclusioni B sono lunghe 20 m, quelle dell'allineamento C 18 m.
- La disposizione degli interventi è a quinconce, con una spaziatura su maglia di base regolare a interasse 4.5 m.

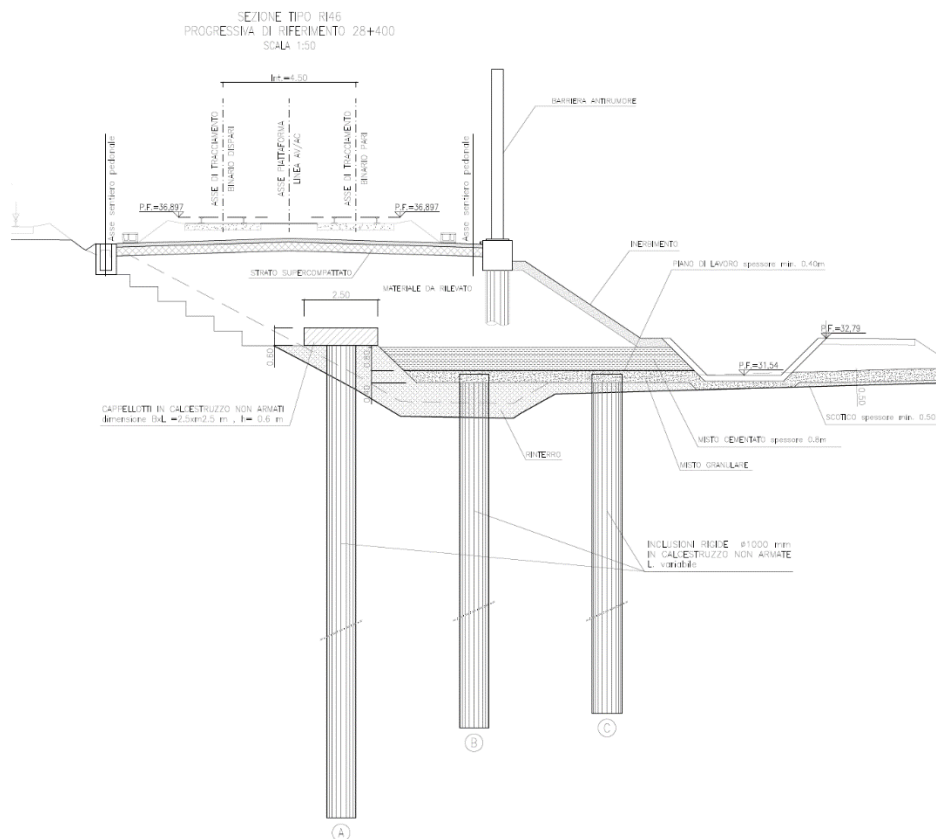



Figura 2 – Schema in sezione degli interventi con inclusioni rigide

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 10 di 108</p>

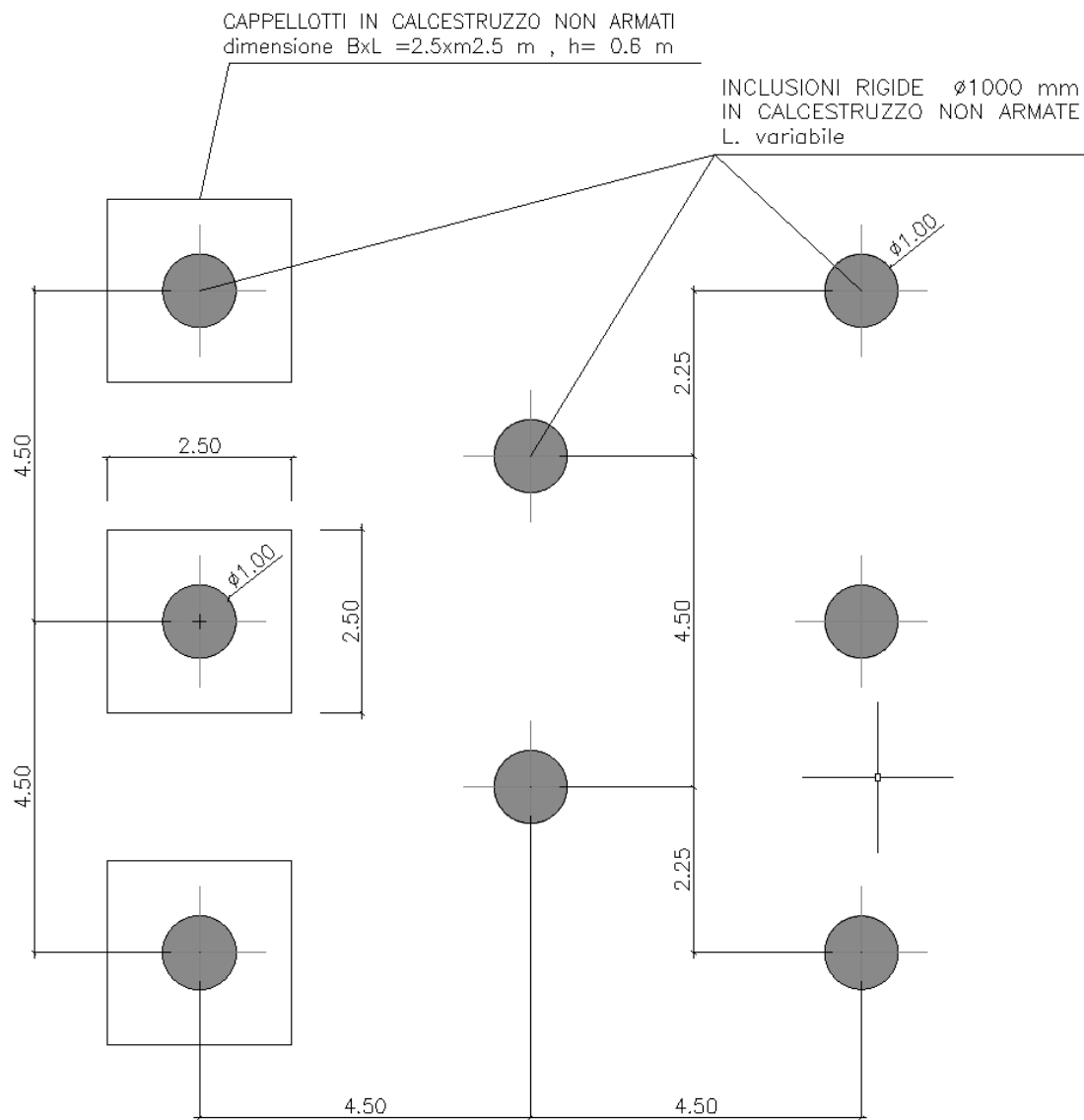


Figura 3 – Schema planimetrico degli interventi con inclusioni rigide

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 11 di 108

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1 Indagini disponibili

L'ubicazione delle indagini disponibili relative all'opera esaminata è illustrata nella Figura 4, estratta dalla Planimetria geotecnica con ubicazione indagini e profilo geotecnico (Doc. Rif. [3]). Per ulteriori dettagli si rimanda alle relazioni di sintesi delle indagini (Doc. Rif. [7] - [13]).

Le indagini disponibili lungo il tratto d'interesse sono riportate in Tabella 1. Si evidenzia che, per il tratto dei rilevati in affiancamento, si sono eseguite, nel corso del PE, diverse indagini integrative rispetto al PD, tutte tenute in conto (considerata anche una certa uniformità di tipologia di terreni, nella caratterizzazione geotecnica dei materiali. Pertanto, le indagini riportate in tabella sono quelle solo di stretta pertinenza della WBS, ma la base dei dati utilizzata è in realtà molto più ampia.

Nel seguente paragrafo si riporta la caratterizzazione geotecnica, ottenuta basandosi sui risultati delle indagini di Tabella 1 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 disponibili tra pk 28+175,00 e pk 28+450,00

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
28+240	CPTU-PE-37/5	2021
28+420	PT-PE-13	2021

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI460001A	Foglio 12 di 108

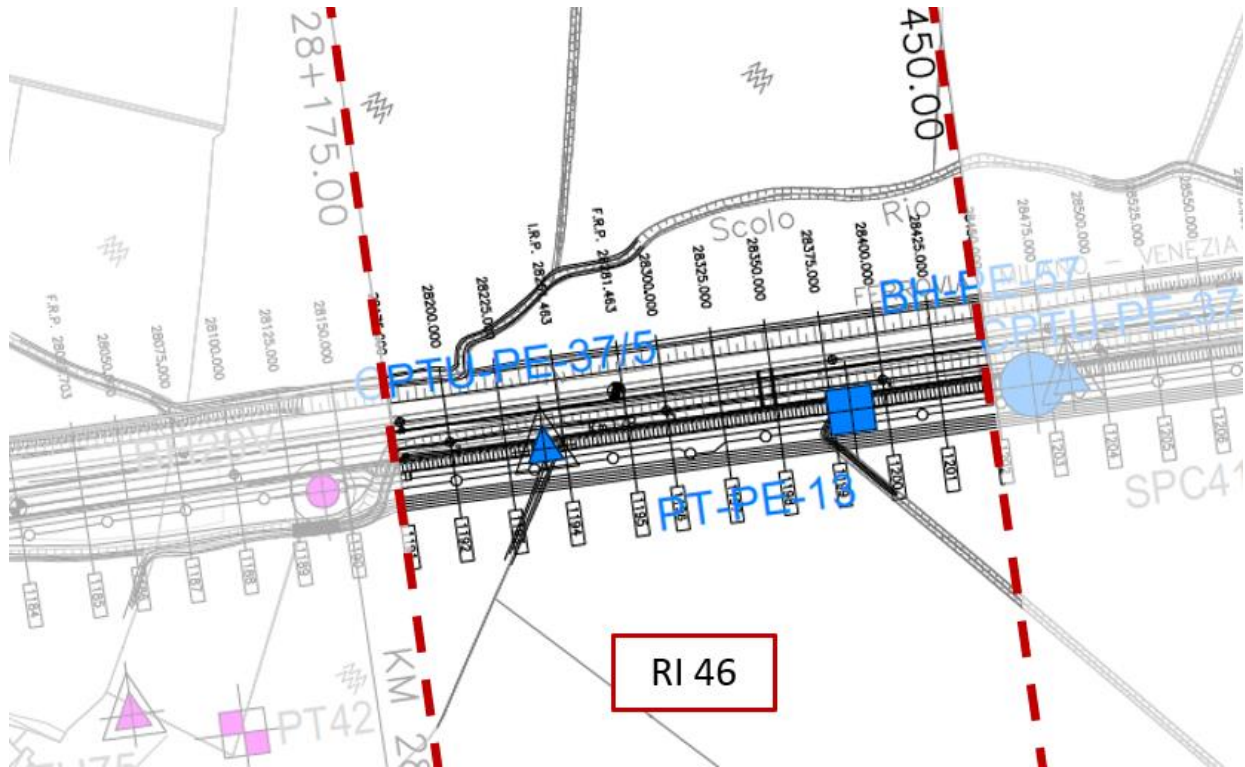



Figura 4 - Planimetria Rilevato RI46, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

4.2 Inquadramento stratigrafico

L'area in esame è caratterizzata dall'alternanza di limi argillosi-sabbiosi (Unità 3b/3a) alternati a lenti di sabbie (Unità 4). Al di sotto di tali alternanze, le indagini disponibili nell'area indicano la presenza di una unità limi argillosi (Unità 2) a circa 30 m da p.c. Per il tratto in questione, le indagini non hanno evidenziato, almeno fino a circa 35 m da p.c., la presenza dello strato di ghiaia, presenza invece costante su tutto il resto dell'area. Di tale assenza si è tenuto cautelativamente conto su tutto lo sviluppo dell'opera.

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

Nella Figura 5 si riporta il profilo geotecnico specifico per il rilevato RI46 estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 7 di 11 (Doc. Rif. [3]).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 13 di 108

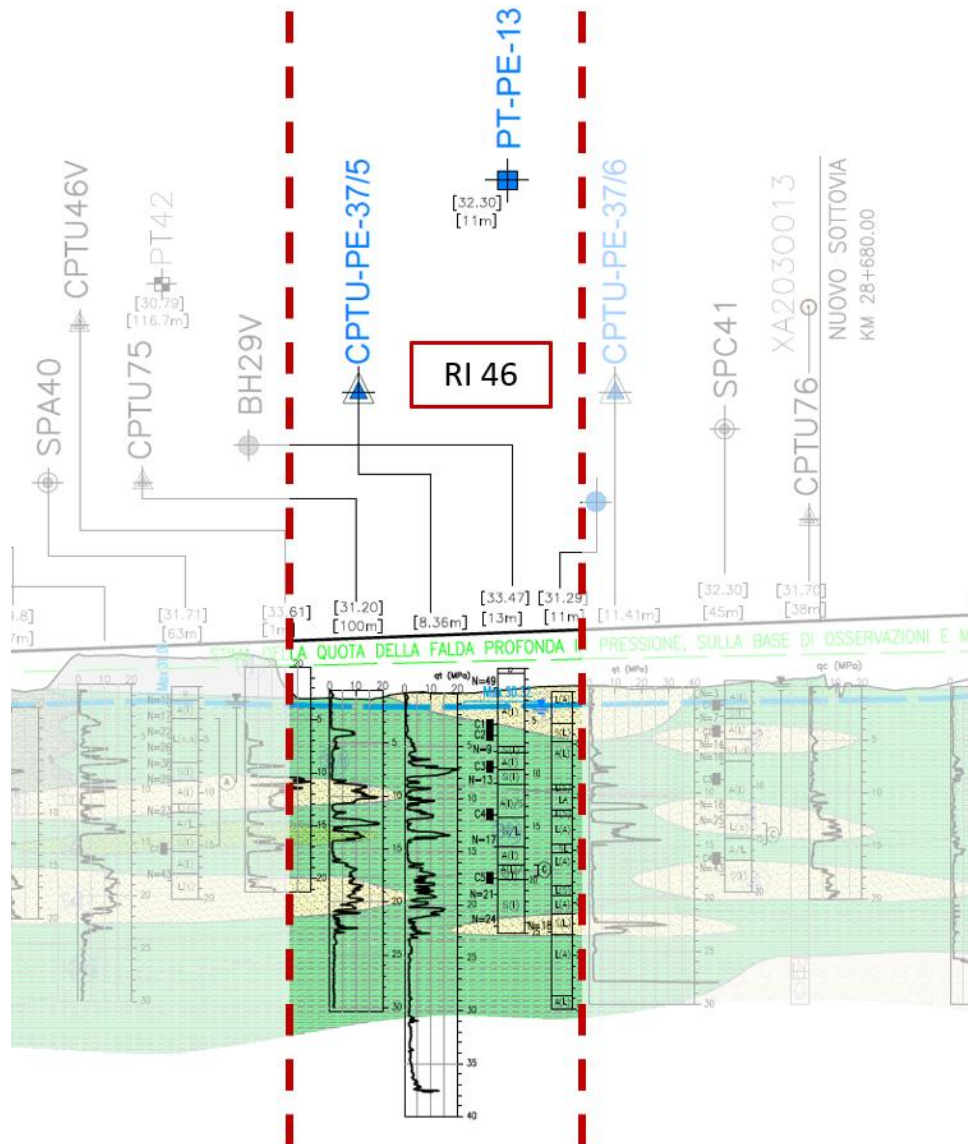


Figura 5 - Profilo Geotecnico Rilevato RI46, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

4.3 Livello di falda

Per il livello di falda si è fatto riferimento ai valori di soggiacenza misurati nei piezometri lungo l'area in cui si inserisce l'opera in esame e riportati nella Relazione Idrogeologica (Doc. Ref. [6]). Quest'ultimi indicano una sostanziale stabilità nelle escursioni stagionali.

Ai fini progettuali si assume cautelativamente una falda di progetto coincidente con il piano campagna.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 14 di 108

4.4 Condizioni geotecniche del sito

Come definito dalla sezione stratigrafica, e come risulta evidente dall'involuppo delle prove penetrometriche CPTU (Figura 6) il tratto in oggetto è caratterizzato da una copertura superficiale di prevalenti limi argillosi-sabbiosi (Unità 3b/3a), fittamente intercalati da livelli sabbiosi, di spessore da decimetrico a metrico (Unità 4), più presenti nella prima parte della WBS (CPTU-PE-37/5) e meno presenti verso la CPT-PE-37/6 (che è ubicata nella WBS successiva). A circa 30 m di profondità si assiste ad un incremento della consistenza dei terreni (Unità 2).

Per la caratterizzazione dell'unità 3b e dell'unità 2 si è fatto riferimento principalmente all'interpretazione della prova CPTU37/5, riportata in Figura 10.

Nei primi metri di profondità si ritrova una coesione non drenata che può essere cautelativamente considerato pari a $c_u = 45$ kPa circa, mentre tra 6 e 16 m da p.c. si può assumere un valore di $c_u = 70$ kPa.

Per l'unità 2, rilevata a circa 30 m da p.c., si desume invece un valore crescente $c_u = 80-100$ kPa.

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



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

Le intercalazioni di sabbia limosa (Unità 4) sono caratterizzate da valori di N_{SPT} 20 colpi/30cm. La densità relativa delle sabbie risulta generalmente attorno a 40-50%, i depositi risultano mediamente addensati.

Il profilo di Vs derivante dalle interpretazioni discusse nella Relazione Sismica (Doc. Rif. [4]), basata sui risultati delle prove disponibili, indica che nei materiali a grana fina più superficiali le velocità di propagazione di onde sismiche di taglio oscillano tra 130 e 220 m/s, mentre per l'unità 2 i valori stimati arrivano fino a 400m/s.

Sulla base dei valori di Vs, ed osservando anche le interpretazioni delle prove CPT, si sono stimati i valori del modulo di taglio alle piccole deformazioni (G_0). Per i limi argillosi e le sabbie più superficiali si può considerare un valore compreso tra 30 MPa e 110 MPa; per i materiali più profondi (unità 2) G_0 raggiunge valori di 300 MPa.

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 15 di 108

Le seguenti figure riportano i risultati delle principali prove di sito e dei parametri geotecnici dei terreni, interpretati alla luce di quanto riferito in [2] e [4]:

- Resistenza alla punta q_c nell'area di stretta pertinenza della WBS in questione. (v. Figura 6);
- Distribuzione delle granulometrie da analisi di laboratorio (v. Figura 7);
- Limiti di Atterberg e contenuto d'acqua dei campioni indisturbati (v. Figura 8);
- Peso di volume dei campioni indisturbati (v. Figura 9);
- Resistenza al taglio non drenata nei depositi di unità 3b (v. Figura 10);
- Valori N_{SPT} da prove SPT (v. Figura 11);
- Densità relativa stimata da prove SPT (v. Figura 12);
- Angolo di resistenza al taglio stimato da prove SPT (v. Figura 13);
- Velocità delle onde di taglio stimata da prove in sito (v. Figura 14);
- Modulo di taglio alle piccole deformazioni valutati a partire dai valori stimati di V_s (v. Figura 15).

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

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

AV/AC VERONA VICENZA

pk 28+175 - pk 28+450

qt (MPa)

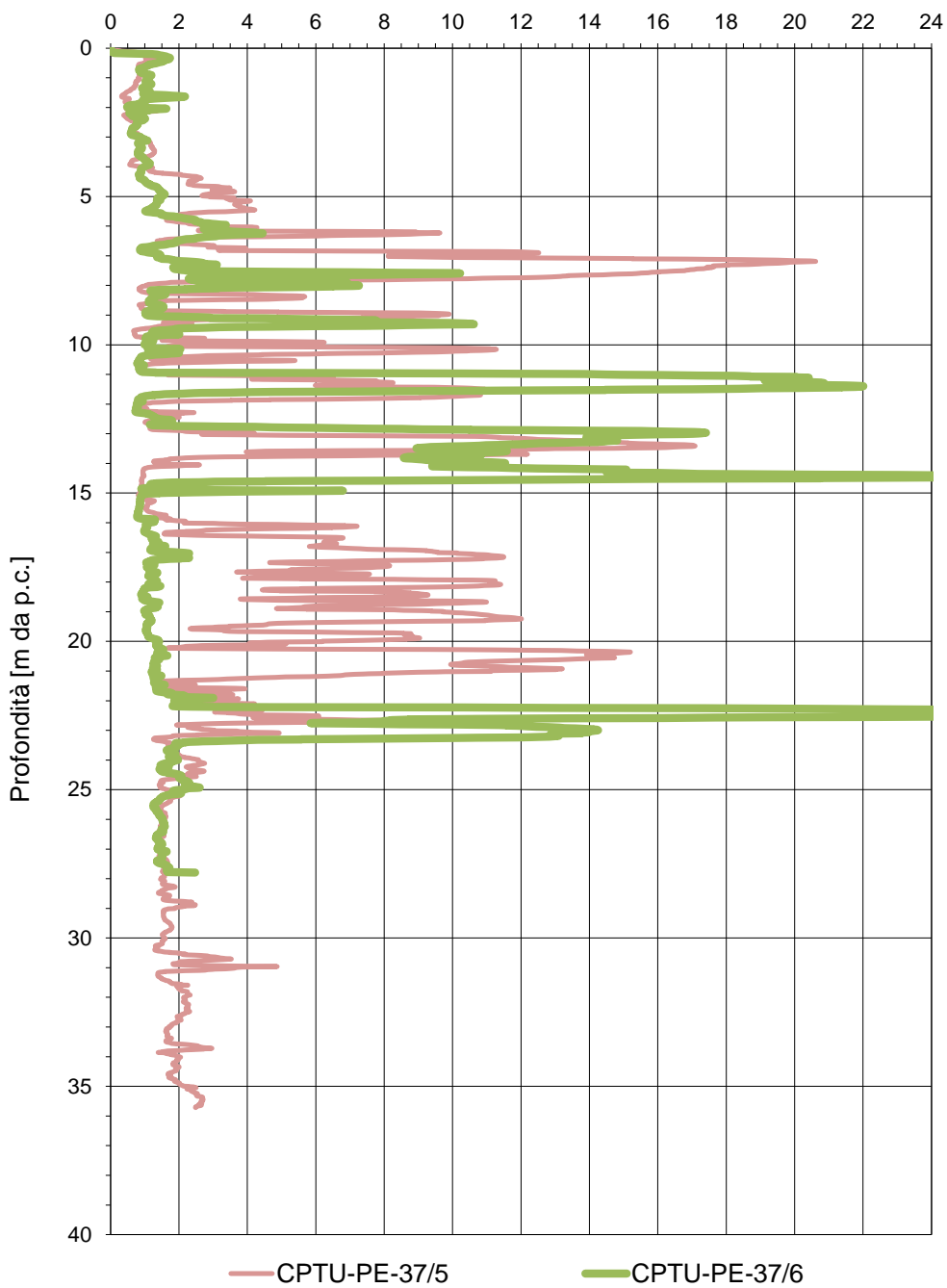


Figura 6 – Resistenza alla punta q_t da prove CPTU disponibili da nell'area di interesse



Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI4600001A

Foglio
17 di 108

AV/AC VERONA VICENZA

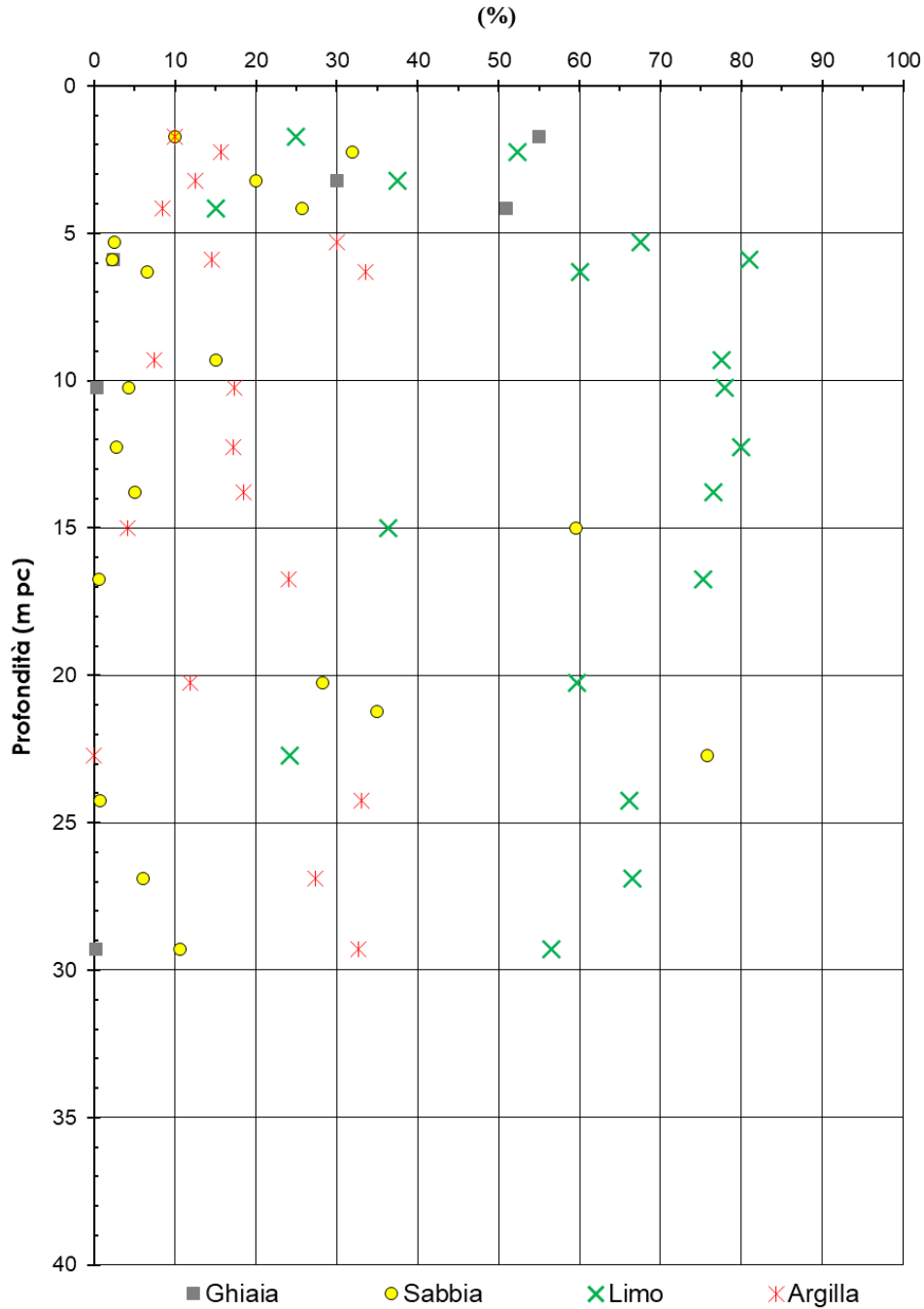


Figura 7 – Sintesi analisi granulometriche dei terreni nell'area di interesse

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 18 di 108

AV/AC VERONA VICENZA

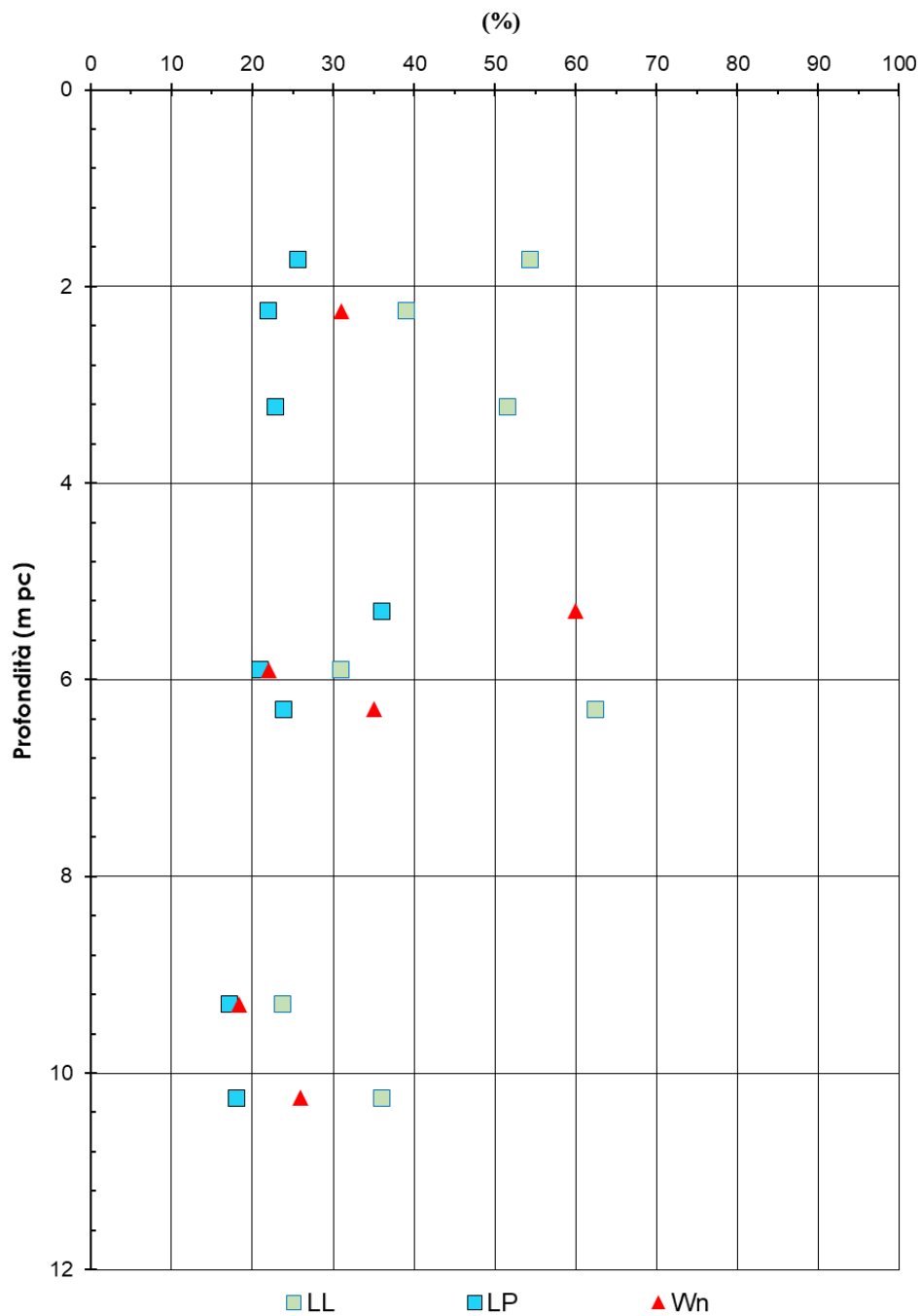


Figura 8 – Limiti di Atterberg e contenuto d'acqua naturale dei campioni a grana fine nell'area di interesse

AV/AC VERONA VICENZA

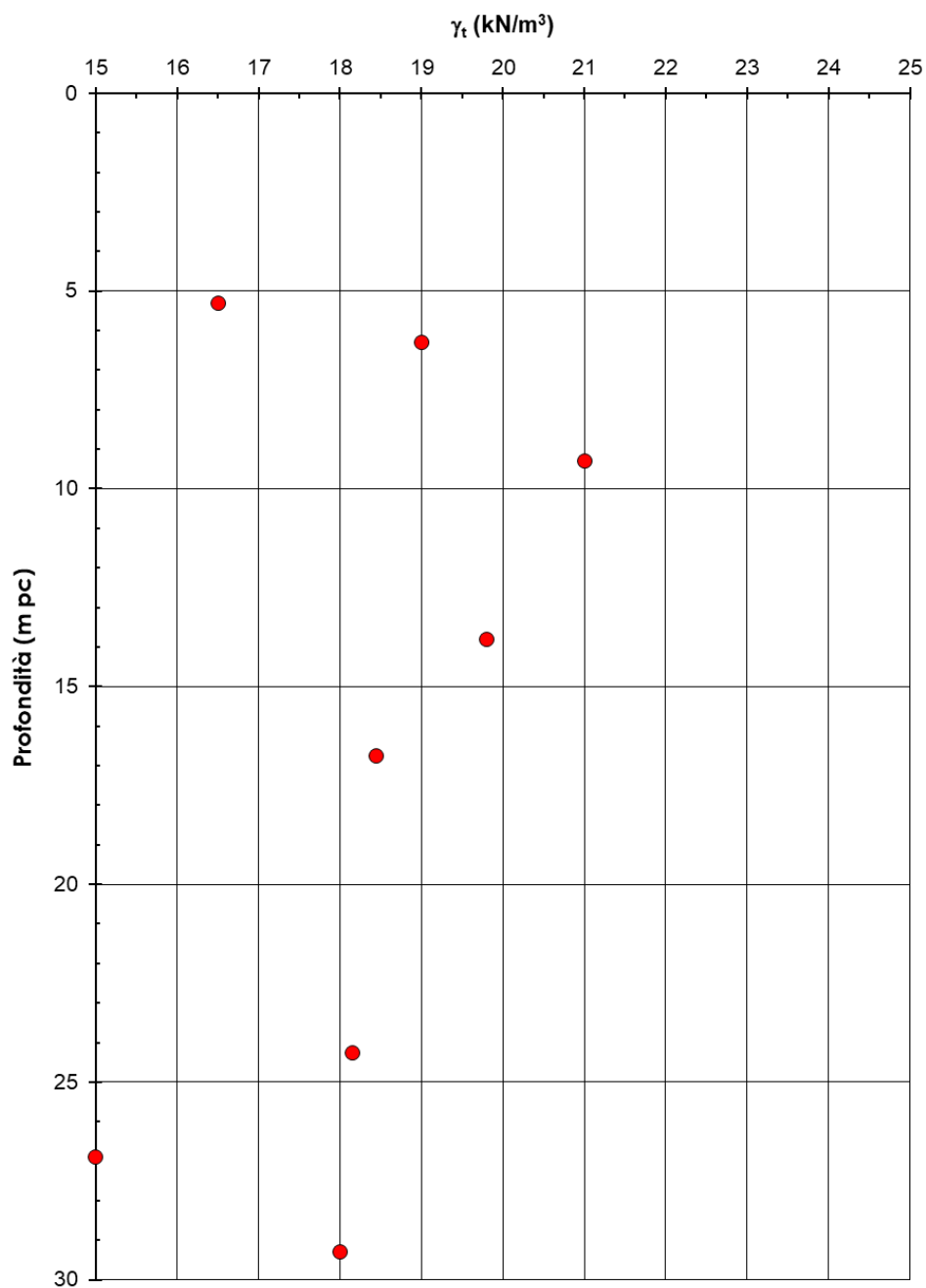


Figura 9 – Peso di volume dei campioni a grana fine da pk 28+175,00 a pk 28+450,00

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 20 di 108</p>

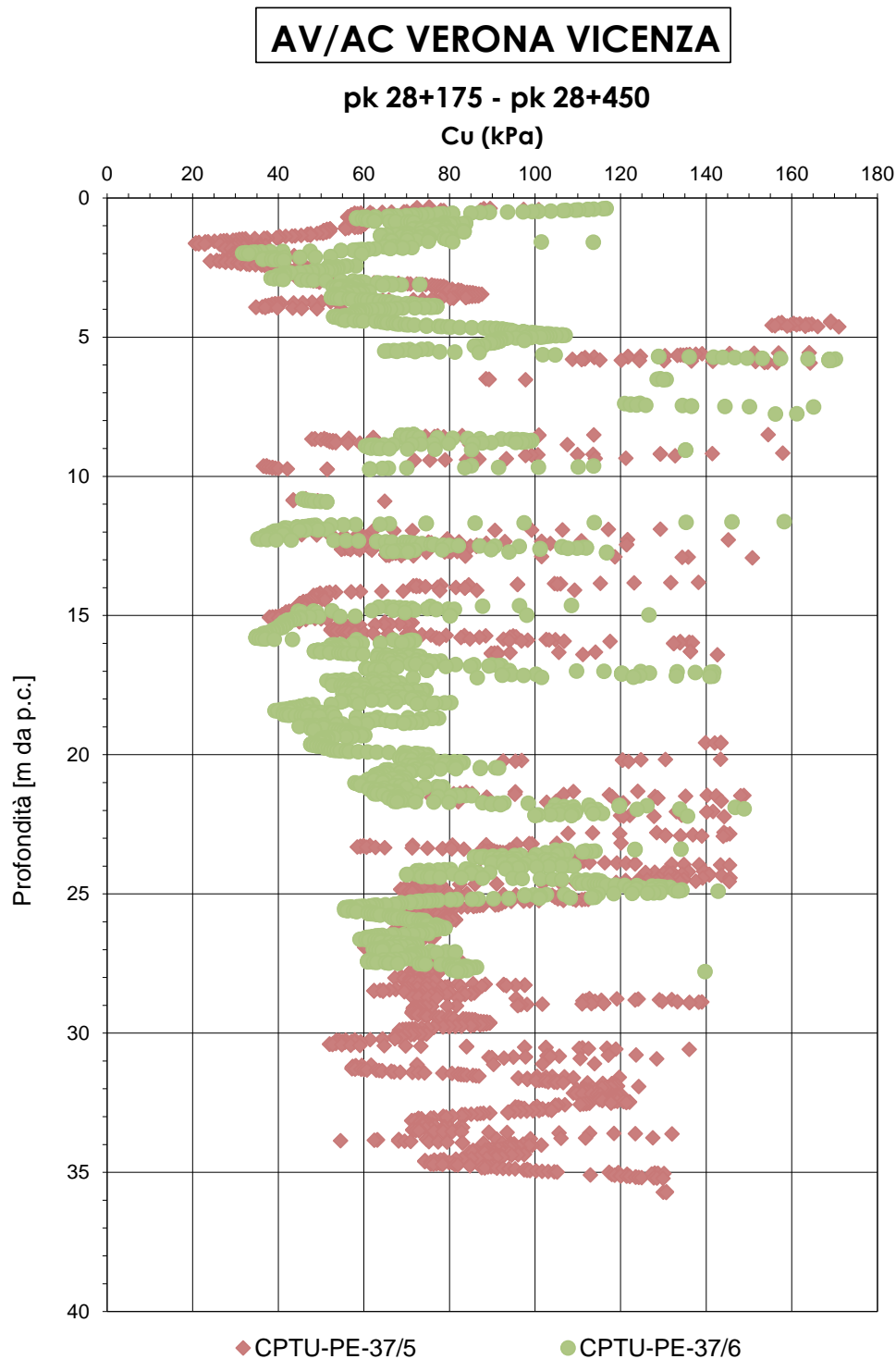


Figura 10 – Resistenza al taglio non drenata da prove CPTU disponibili nell'area

AV/AC VERONA VICENZA

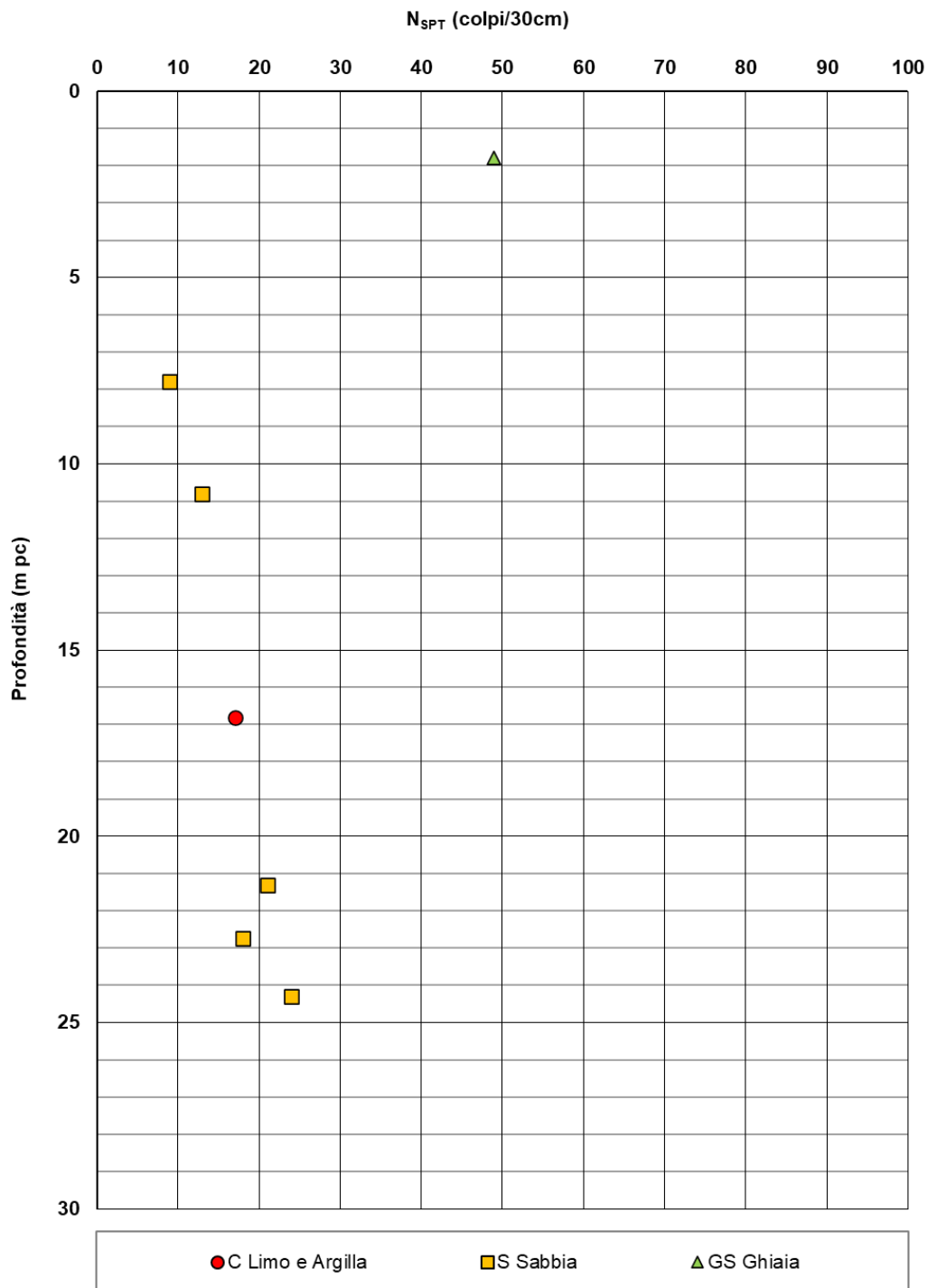


Figura 11 – Esito delle prove SPT da pk 28+175,00 a pk 28+450,00

AV/AC VERONA VICENZA

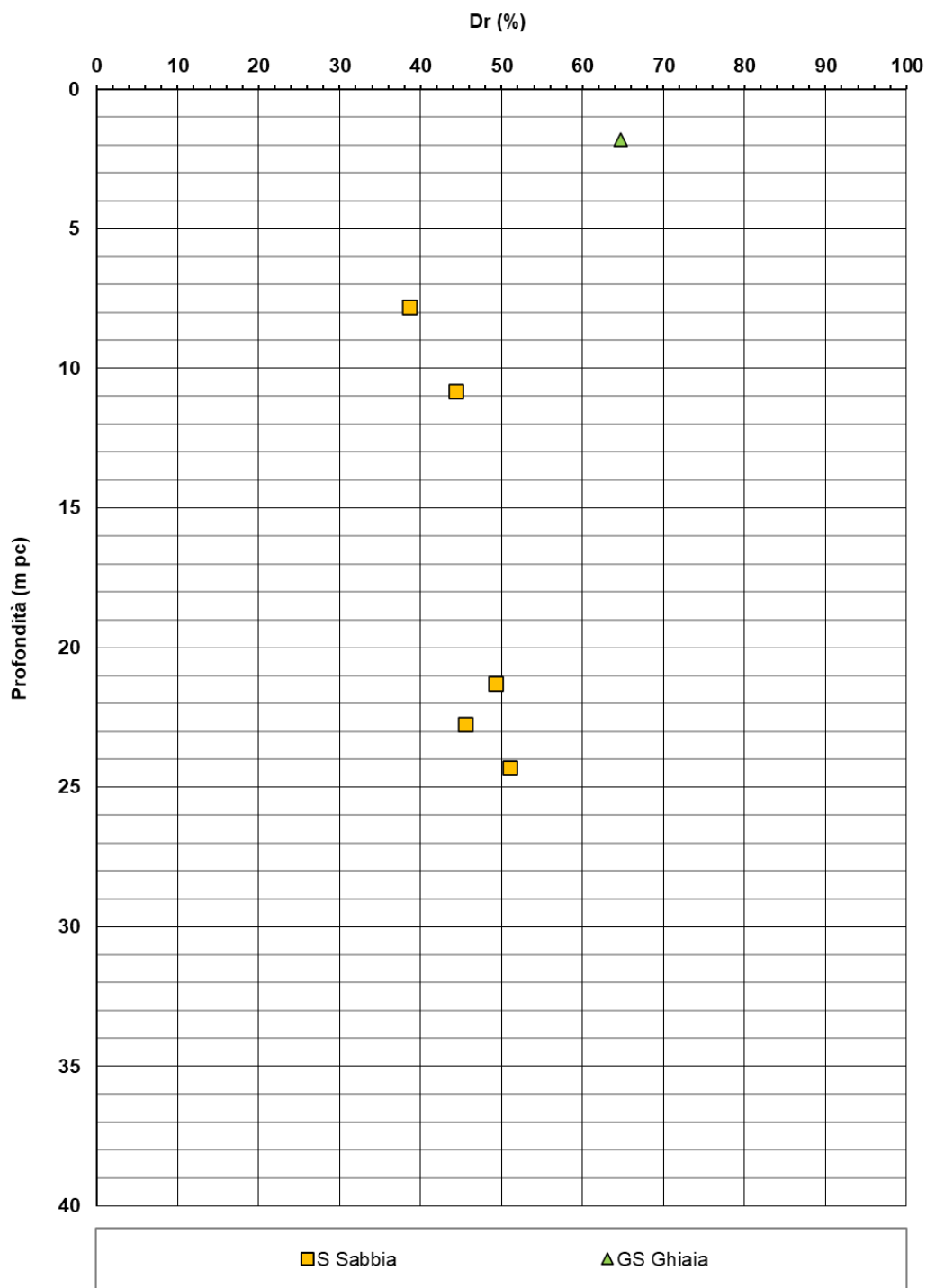


Figura 12 – Densità relativa da prove SPT da pk 28+175,00 a pk 28+450,00

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 23 di 108

AV/AC VERONA VICENZA

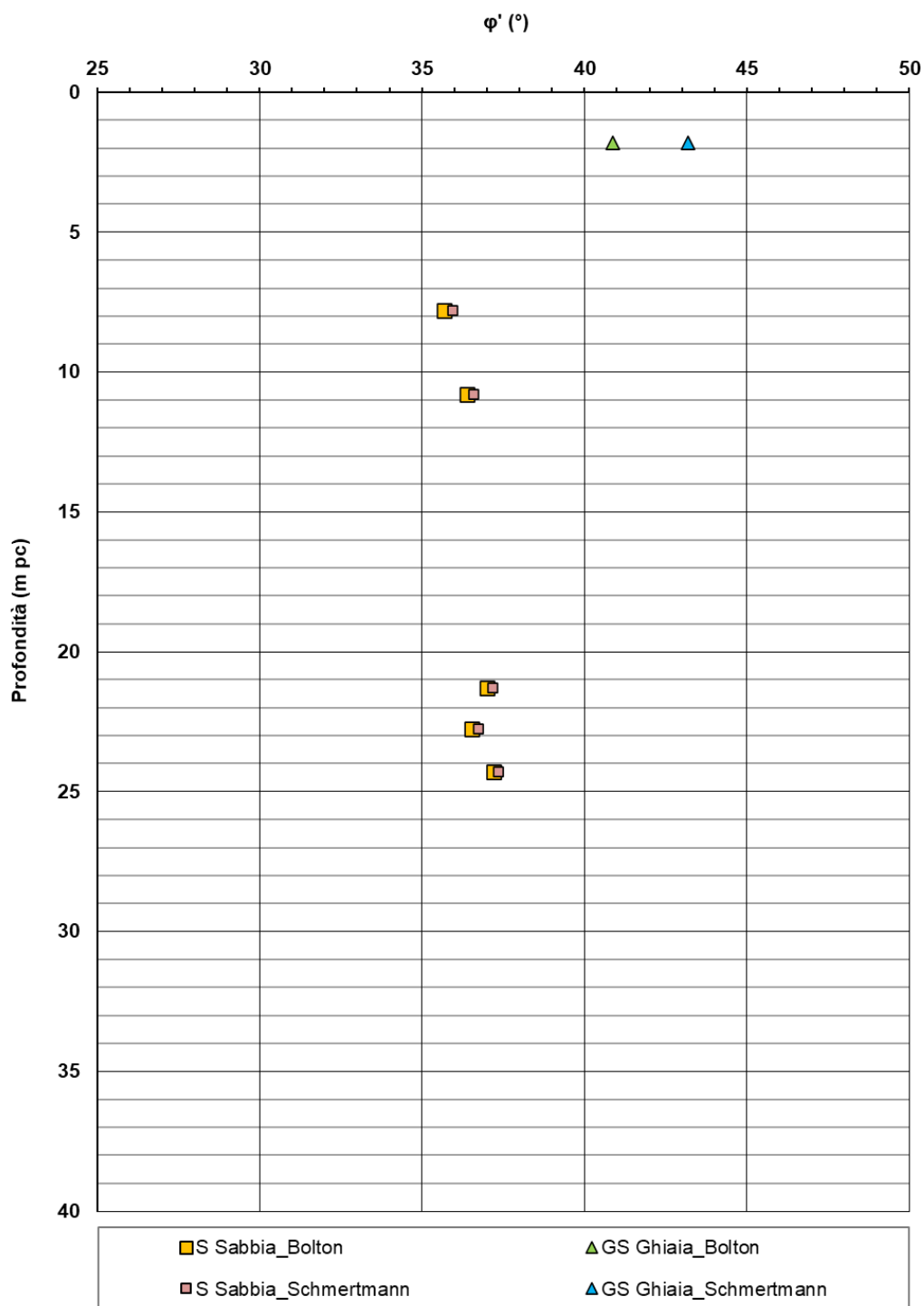



Figura 13 – Angoli di attrito da prove SPT da pk 28+175,00 a pk 28+450,00

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 24 di 108</p>

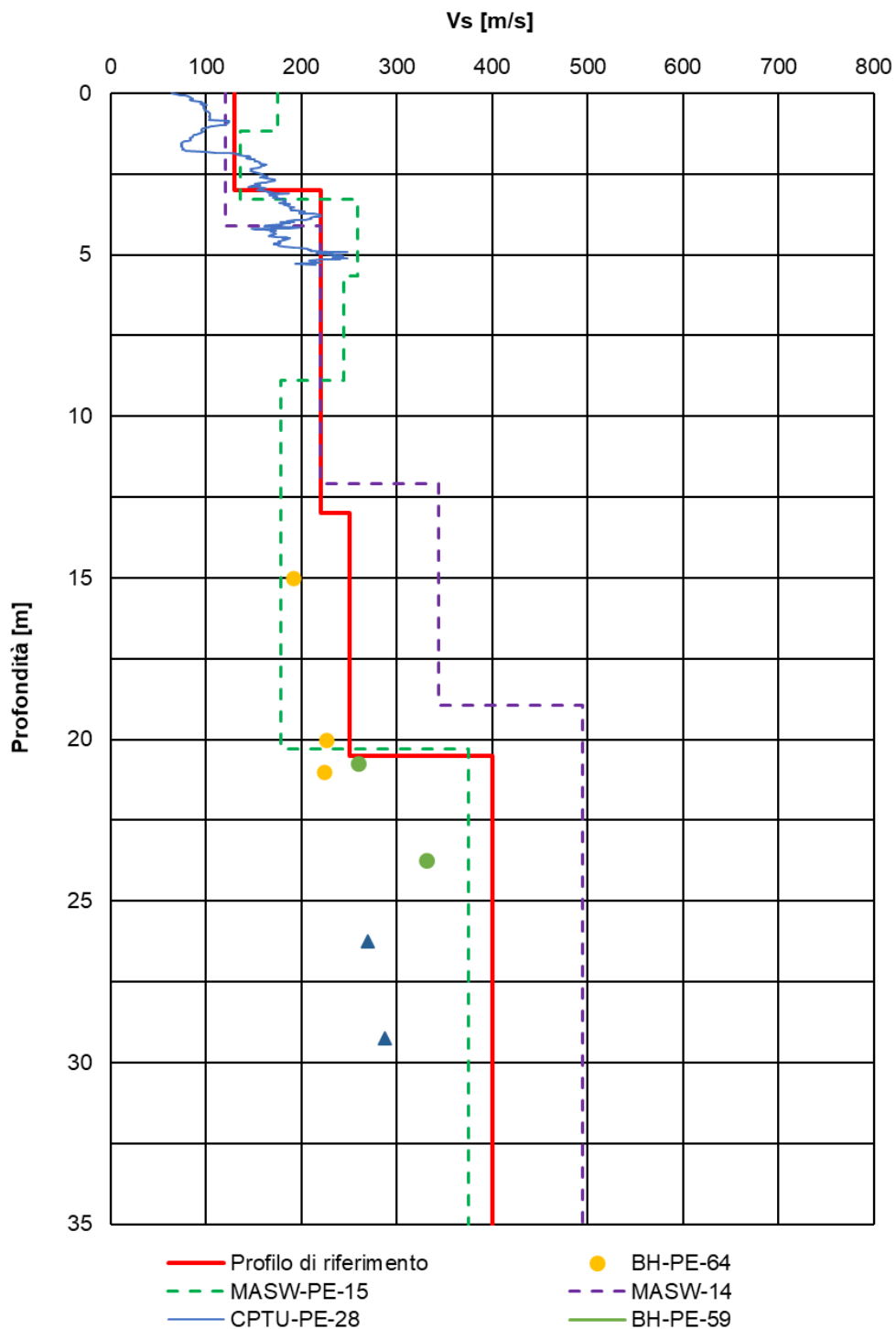


Figura 14 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW da pk 28+175,00 a pk 28+450,00

AV/AC VERONA VICENZA

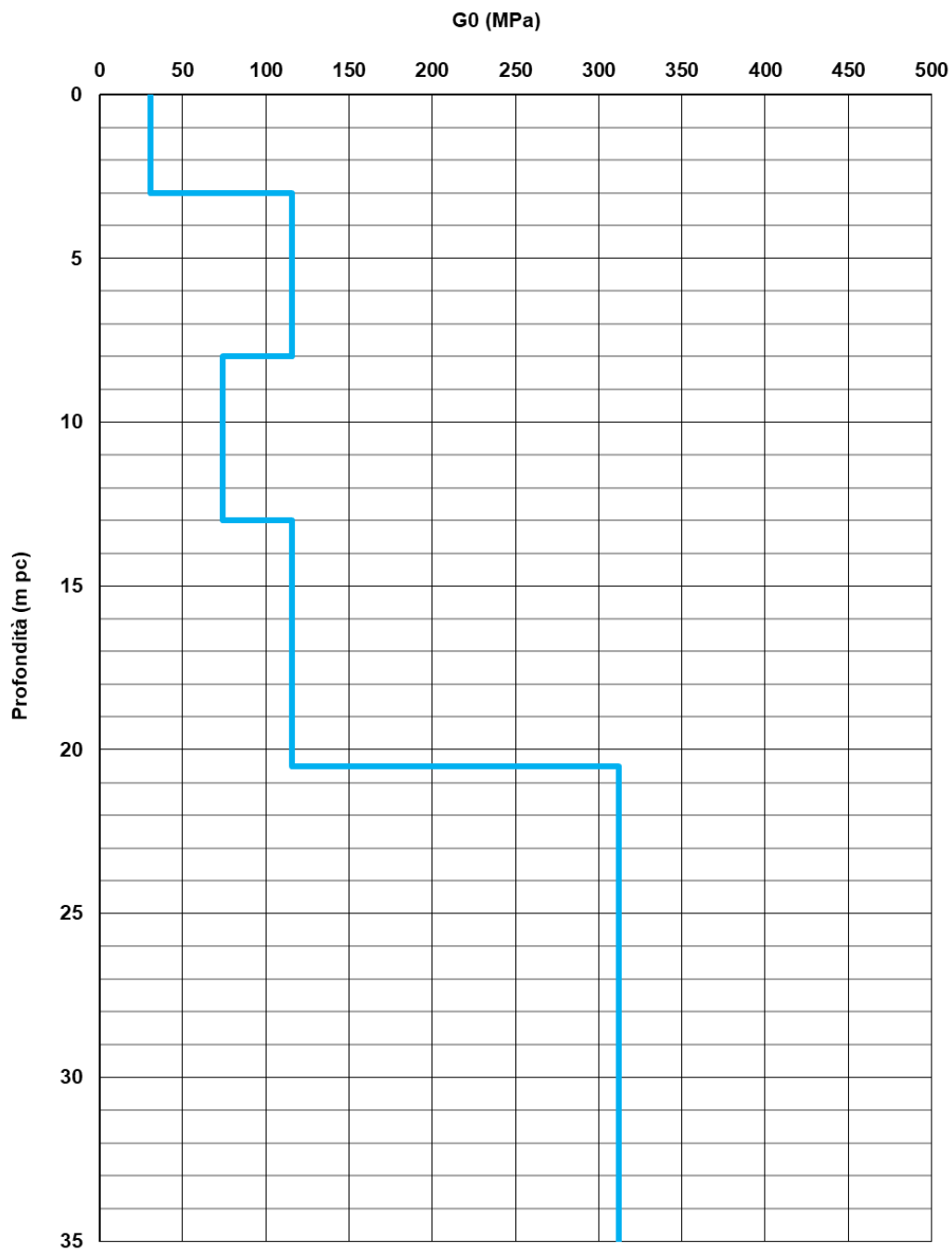


Figura 15 – Modulo di taglio G_0 da pk 28+175,00 a pk 28+450,00

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 26 di 108

4.5 Sintesi del modello geotecnico di riferimento



Sulla base di quanto riportato nella relazione geotecnica generale della tratta (Doc.Ref.[2]), 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	RR -	CR -	e_0 -	σ'_p kPa	E'_{op} MPa
3a/b	0	4	18.5	-	-	45	0.015	0.2	1	180	-
4	4	6	19	36	-	-	-	-	1	-	15
3 a/b	6	8	18.5	-	-	70	0.015	0.16	1	280	-
4	8	14	19	36	-	-	-	-	1	-	30
3 a/b	14	16	18.5	-	-	70	0.015	0.16	1	280	-
4	16	21	19	36	-	-	-	-	1	-	50
4	21	23	19	36	-	-	-	-	1	-	25
3a/b	23	30	18.5	-	-	80	0.012	0.16	1	350	-
2	30	35	19	-	-	100	0.010	0.16	1	500	-

* quota piano campagna = 31.0 m s.l.m.

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 27 di 108

4.6 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

4.7 Misto cementato

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 28 di 108

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.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 29 di 108

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 (Doc. rif. [4]) e nelle Planimetrie con classificazione sismica dei terreni (Doc. rif. [5]), i terreni di progetto possono essere caratterizzati come appartenenti a terreni di Categoria C:

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

5.1.5 Condizioni topografiche

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 30 di 108

5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

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

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

5.2 Suscettibilità alla liquefazione

Lo studio della suscettibilità alla liquefazione dei terreni identificati nell'area di realizzazione del rilevato è stato eseguito nel rispetto della normativa vigente (Doc. rif. [14]). Le analisi di liquefazione sono descritte in dettaglio nelle Relazioni sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base (Doc. rif. [4]), alla quale si rimanda per maggiori dettagli.



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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 31 di 108

(CRR) così definiti:

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

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

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

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

dove:

a_{max} accelerazione di picco al sito

g accelerazione di gravità

τ_c valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

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

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


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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 32 di 108

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 $M = 6.0 - MSF = 2$.

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

5.2.1 CRR da correlazione su prove CPT

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

Il procedimento utilizzato per la stima di CRR a partire dai risultati di prove CPT si basa sulla relazione riportata in Figura 16: la curva in figura si riferisce alla resistenza penetrometrica normalizzata q_{c1N} per le sabbie pulite che può essere espressa come segue (Robertson & Wride, 1998, come riportato da Youd et al., 2001):

$$\text{per } (q_{c1N})_{cs} < 50 \quad CRR_{7.5} = 0.833 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0.05$$

$$\text{per } 50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160 \quad CRR_{7.5} = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08$$

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

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

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

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

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

dove:

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

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

Tanto maggiore è il valore di I_c , tanto maggiore sarà il contenuto presunto di fini. Nell'analisi condotta il valore $I_c =$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 33 di 108

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 l_c sono determinati al termine di una procedura iterativa, ipotizzando in prima istanza $n = 1$. Se l_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 l_c è ancora inferiore a 2.6, i nuovi valori di n e l_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):

per $l_c \leq 1.64$

$$K_c = 1.0$$

per $l_c > 1.64$

$$K_c = - 0.403(l_c)^4 + 5.581(l_c)^3 - 21.63(l_c)^2 + 33.75(l_c) - 17.88$$

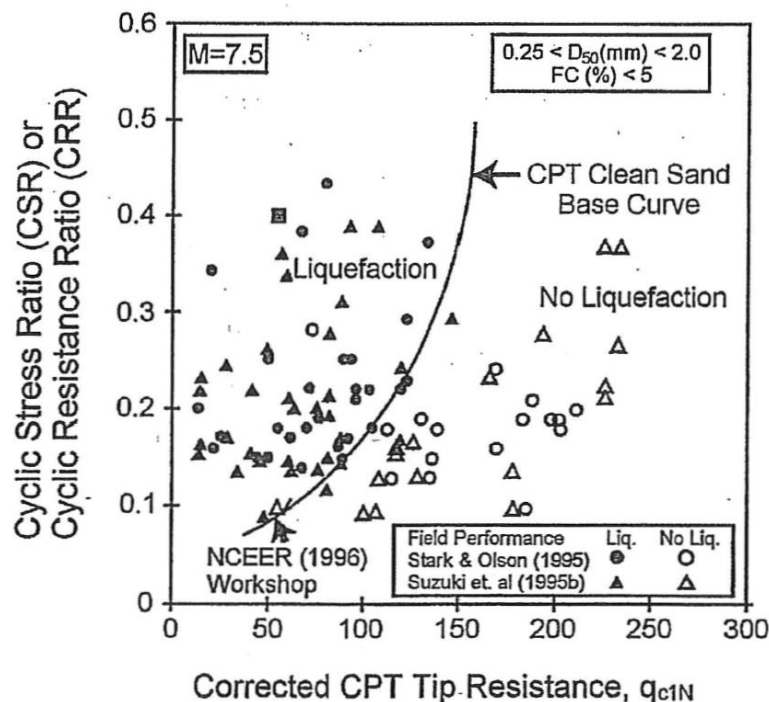




Figura 16 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

5.2.2 CRR da correlazione su prove SPT

Il procedimento utilizzato per la stima di CRR a partire dai risultati di prove SPT si basa sulla relazione riportata in Figura 17, originariamente proposta da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), e successivamente confermata da Youd et al. (2001).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 34 di 108

In Figura 17, i risultati delle prove SPT sono espressi in termini di numero di colpi corretti $N_{1(60)}$, ossia i valori sono normalizzati per una pressione verticale efficace pari a 100 kPa e corretti per un valore standard di energia trasmessa (60% del valore nominale) come segue:

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

dove:

C_N = coefficiente correttivo che tiene conto dell'influenza della pressione verticale efficace. In letteratura sono presenti diversi metodi per la valutazione del coefficiente correttivo C_N . Qui è stata applicata la seguente relazione 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 campionario, relativo alla macchina utilizzata per fare la prova; considerando che la configurazione di prova normalmente adoperata in Italia ha un rendimento energetico del 60 %, tale coefficiente è stato posto pari ad 1.



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

Sempre in Figura 17, viene riportato il valore di CSR calcolato ed i corrispondenti valori di $N_{1(60)}$ da siti in cui sono stati osservati o meno gli effetti della liquefazione per eventi simili avvenuti in passato, con Magnitudo pari $M = 7.5$. Le corrispondenti curve CRR sono state determinate all'interno del grafico in modo da separare chiaramente i dati corrispondenti all'avvenuta liquefazione da quelli per i quali non è stato osservato il fenomeno in esame.

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

Si può osservare dalla Figura 17 come curve diverse siano state sviluppate per terreni aventi diverso contenuto di fini, a partire dalla curva di riferimento corrispondente alla sabbia pulita ($FC < 5\%$).

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 35 di 108

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

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

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

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

In cui:

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

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

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 36 di 108

da laboratorio per ogni prova SPT. Nei casi in cui quest'ultime non erano disponibili, facendo riferimento alla stratigrafia locale, si è ipotizzato un valore di contenuto di fini pari al 5% per i materiali sabbioso/ghiaiosi, mentre per i terreni limosi/argillosi è stato ipotizzato un contenuto di fini pari al 30-40%.

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

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

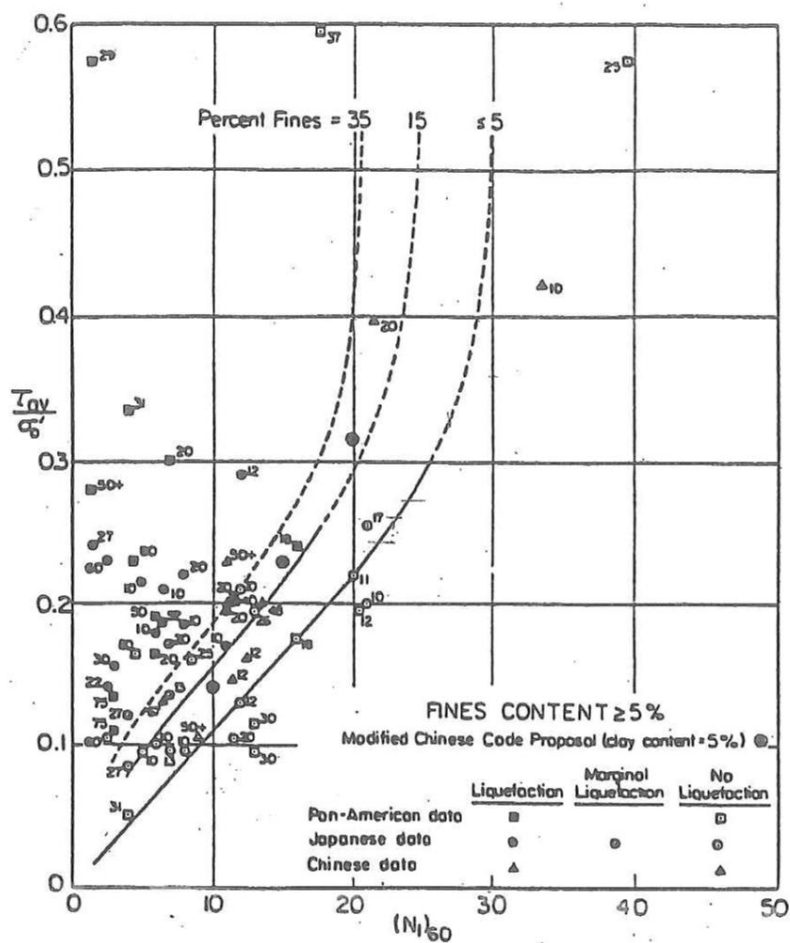


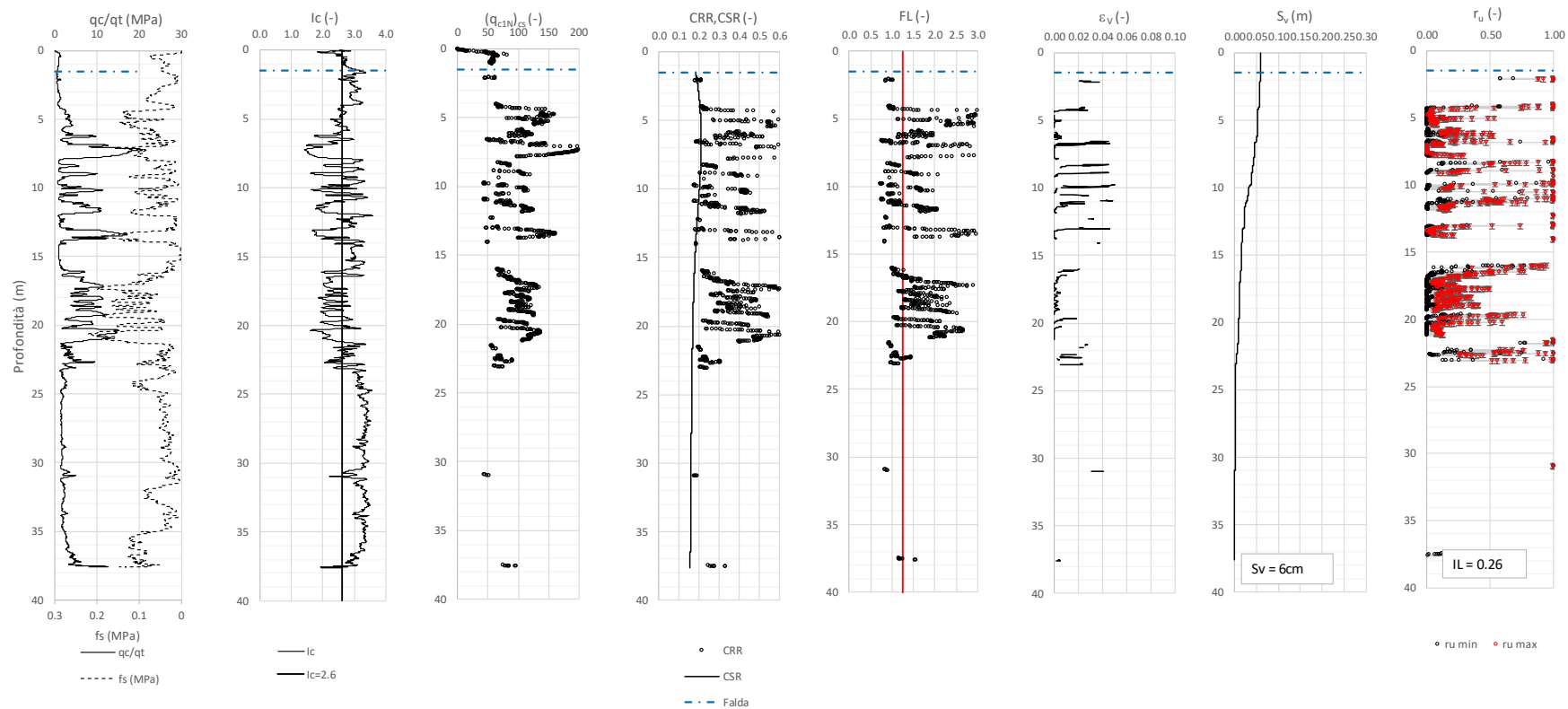


Figura 17 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ - sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

I risultati delle analisi di liquefazione delle indagini disponibili sono riportati nella Figura 18.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI460001A</p>	<p>Foglio 37 di 108</p>

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-37/5 Pr. 28+240
 $a_{max} = 0.295g$ $M_{calc} = 6$ $MSF = 2$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
 Altezza rilevato = 5.5m



Foglio verifica a liquefazione v. 103

Figura 18 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-37/5

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 38 di 108


5.2.3 Commento ai risultati

Sulla base di quanto emerge dal grafico di Figura 18, si rileva la presenza di sottili lenti di materiale in apparenza potenzialmente suscettibile a fenomeni di mobilità ciclica, distribuite in maniera sporadica da 4 m a 20 m circa di profondità.

Tenendo conto del fatto che, nell'analisi di liquefazione viene di fatto trascurato il notevole contributo di resistenza alle sollecitazioni cicliche offerto dalle inclusioni rigide, si può affermare che, l'entità dei fenomeni valutabili utilizzando i metodi convenzionali (quali quelli utilizzati nel caso in esame) risulta certamente sovrastimata.

Più in generale, nell'intero tratto dei rilevati in affiancamento la formazione dell'unità 3b, in genere dominante, risulta fittamente intervallata da spessori più o meno esigui di materiali sabbioso. Tale struttura del deposito, individuabile sia dall'esame delle prove CPTU che dall'esame delle cassette, è particolarmente marcato in questo tratto, con presenza di lenti di maggiore spessore. Tuttavia, tali lenti si presentano in genere discontinue, e non tali comunque da poter creare superfici di rottura e/o condizioni riconducibili ad una situazione di SLU per le fondazioni dell'opera.

Pertanto, si ritiene di poter escludere problematiche di stabilità dell'opera innescate da fenomeni di sovrappressioni interstiziali predetti dall'interpretazione delle verticali indagate.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 39 di 108

6 VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO FERROVIARIO

6.1 Criteri di verifica agli Stati Limite

Per le opere in esame, la normativa vigente richiede l'esecuzione delle seguenti verifiche di sicurezza e delle prestazioni attese (par. 6.2.3. del Doc. Rif. [14]):

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

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

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

dove:

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

R_d valore di progetto della resistenza.

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

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

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

dove:

E_d valore di progetto dell'effetto dell'azione;

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

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

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

6.1.1 Stati limite ultimi (SLU)

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

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

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

essendo R resistenza globale del sistema (vedasi Par. C.6.8.6.2 del Doc. Rif. [15]), calcolata sulla base delle azioni

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 40 di 108

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

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 41 di 108

6.1.2 Stati limite di esercizio (SLE)

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

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

Nel caso di rilevato da realizzarsi in affiancamento ad un rilevato esistente, come nel caso in esame, e mantenendo quest'ultimo in esercizio durante i lavori, si richiede una stima del cedimento delle due rotaie in una stessa sezione verticale del rilevato, valutandone il decorso nel tempo. Inoltre, con riferimento alla tabella che segue, è necessario verificare che gli spostamenti indotti sui binari in esercizio durante la costruzione siano inferiori a 15 mm, ovvero inferiori ai valori limite dei difetti riferiti al secondo livello di qualità (Doc. rif. [19] e [23]). Laddove si superino i limiti riferiti al primo livello di qualità (10 mm, Doc. rif. [23]), è richiesto il monitoraggio del binario durante la costruzione.

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

	V ≤ 160 km/h	160 < V ≤ 300 km/h
1° livello di qualità	$\Delta H \leq 10$ $SCARTXL \leq 6$	$\Delta H \leq 10$ $SCARTXL \leq 4$
2° livello di qualità	$10 < \Delta H \leq 15$ $6 < SCARTXL \leq 10$	$10 < \Delta H \leq 15$ $4 < SCARTXL \leq 8$
3° livello di qualità esecuzione a breve termine anche in relazione ai limiti di sgembo (2)	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) $10 < SCARTXL \leq 14$	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) $8 < SCARTXL \leq 12$
(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.		



La soluzione individuata è inoltre mirata a contenere nella misura maggiore possibile il cedimento assoluto del rilevato della Linea Storica.

6.1.3 Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche

La stabilità globale in condizioni sismiche e post-sismiche di opere in materiali sciolti, quali rilevati, è stata verificata secondo l'Approccio 1 – Combinazione 2 (A2 + M2 + R2), tenendo conto dei coefficienti parziali richiamati in precedenza e ponendo i coefficienti parziali sulle azioni tutti pari ad uno. Il coefficiente di combinazione ψ per il carico variabile da traffico è stato posto pari a 0.2 (Doc. rif. [19]).

6.2 Azioni di progetto

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 42 di 108

6.2.1 Azioni permanenti

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

Peso massicciata e armamento 18 kN/m³

Peso elementi in cls 25 kN/m³

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

6.2.2 Azioni variabili

Le azioni variabili sono rappresentate dai carichi da traffico ferroviario, qui determinati sulla base dello schema di carico più gravoso tra quelli previsti dalle NTC 2008, dalle Norme Europee e, conseguentemente, dal Manuale di Progettazione di RFI. In particolare, tale carico tiene conto della diffusione a partire dalla traversa e fino al piano di posa del ballast, secondo le prescrizioni di NTC e MdP. Nello specifico, è stato considerato il caso peggiore tra i tre modelli di carico previsti, ossia LM71, SW/0 ed SW/2. Per ogni binario, tale azione risulta essere pari a 61.4 kPa (LM71), da applicarsi su una superficie definita dalla larghezza della traversa e dalla larghezza di diffusione del carico nel ballast (2.8 m² in totale).

6.2.3 Azione sismica

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

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

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

dove

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

Le verifiche vengono condotte con analisi statiche o pseudo-statiche e, in accordo al MDP ITALFERR, il coefficiente di incremento dinamico delle azioni derivanti dal passaggio del treno è assunto pari all'unità.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 43 di 108

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 7.0 (Doc. Rif. [25]). Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento rispettivamente ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico e ai coefficienti parziali (M2) per le analisi sismiche. Tali coefficienti sono contenuti nella Tabella 7 della presente relazione.

Come da NTC 2008 (Doc. Rif. [14]), la verifica SLU di stabilità globale è soddisfatta se la relazione:

$$FS \geq R2 = 1.1.$$

è verificata sia in condizioni statiche che sismiche.

La verifica è stata condotta con riferimento alla sezione A riportata in Figura 1, secondo il metodo di Bishop modificato. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici caratteristici definiti in Tabella 2.

Si segnala che nella schematizzazione di calcolo è stata trascurata la resistenza al taglio offerta dalle inclusioni rigide. Pertanto, le verifiche sono da considerare come del tutto cautelative.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 44 di 108

6.3.2 Verifiche SLU in condizione statiche

Il carico da traffico ferroviario (q) assunto pari a 61.4 kPa (cfr. par. 6.2.2) è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è di tipo variabile/sfavorevole e, pertanto, il coefficiente parziale sulle azioni A2 è pari a 1.3.

Per quanto riguarda la falda, è stato preso un livello coincidente con il piano campagna, come riportato nel paragrafo 4.3. Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle di spessore ridotto e che interessano la sede ferroviaria.

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

$$FS_{MIN} (DA1C2) = 1.205 > R2 = 1.1$$

La verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

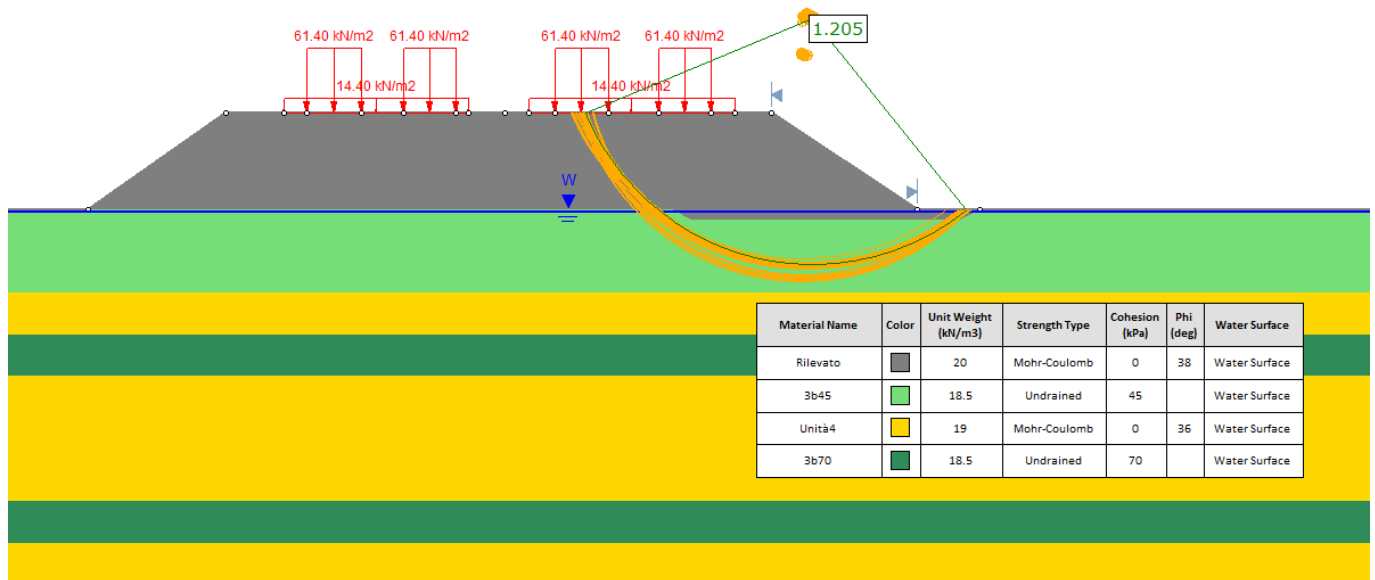


Figura 19 – Rilevato Ri46 - Analisi SLU in campo statico DA1C2

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 45 di 108

6.3.3 Verifiche SLU in condizioni sismiche

In accordo a quanto riportato precedentemente, la azione sismica è stata definita attraverso i seguenti coefficienti sismici:

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

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

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

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

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

$$FS_{MIN} = 1.295 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.

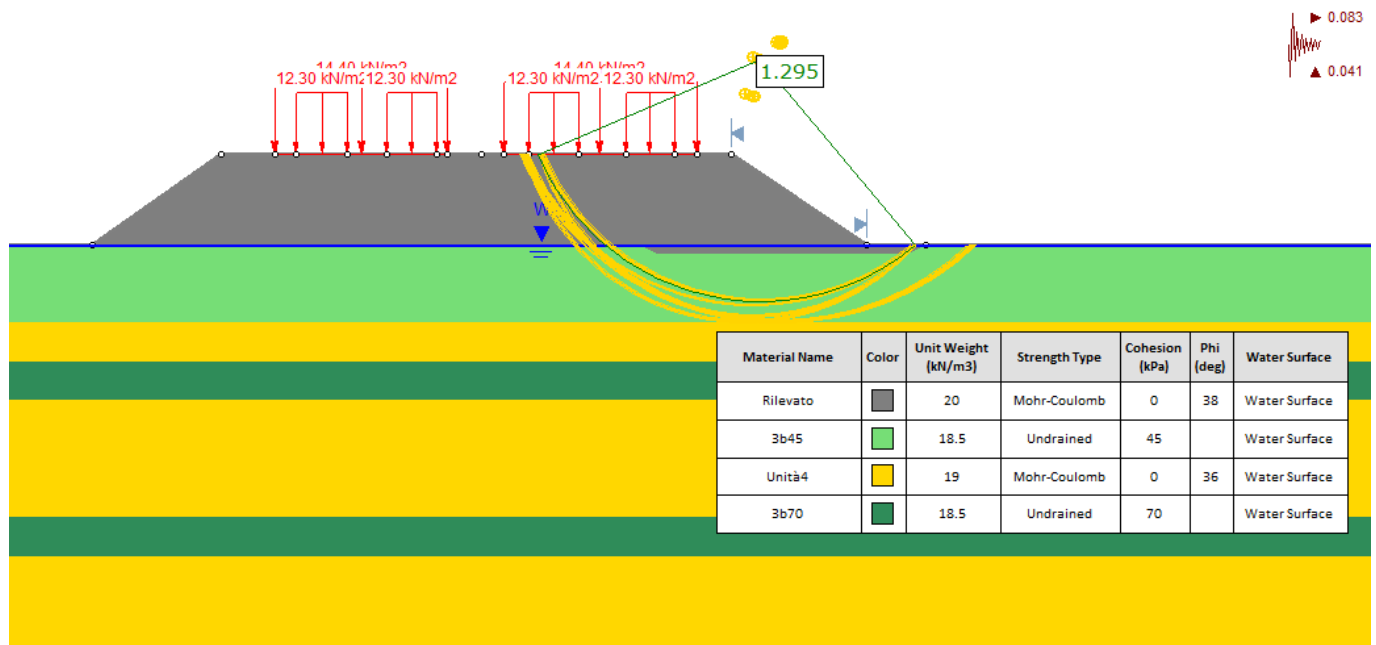




Figura 20 – Rilevato Ri46 - Analisi SLU in campo sismico

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 46 di 108

6.4 Verifica e risultati SLE

6.4.1 Premessa e descrizione concettuale della soluzione



Nonostante l'esito delle verifiche SLU, che indicano che non vi è necessità di trattamenti per soddisfare i criteri di sicurezza, tuttavia la presenza di terreni argillosi fino a 30 m da p.c., aventi caratteristiche di compressibilità medie, causerebbe lo sviluppo di cedimenti non accettabili, né per il costruendo rilevato della linea AV, né per i cedimenti indotti sulla LS. Calcoli qui non riportati indicano che i cedimenti attesi in assenza di trattamenti sono dell'ordine dei 30/35 cm sull'asse del rilevato della linea nuova, e che i cedimenti indotti sul rilevato della LS sono dell'ordine dei 10-15 cm, con cedimenti differenziali fra i binari non accettabili.

Pertanto, al fine di contenere i cedimenti entro i limiti di tolleranza previsti, si prevede l'installazione di inclusioni rigide in calcestruzzo gettato in opera, con diametro 1000 mm, disposte secondo lo schema riportato nelle tavole allegate. Relativamente alla disposizione planimetrica, alla lunghezza delle inclusioni e al dettaglio della soluzione, si segnala quanto segue:

- a) La ripartizione del carico del rilevato sui due allineamenti delle inclusioni con la quota di testa più bassa (quelle poste verso l'esterno del nuovo rilevato) viene assicurata dalla presenza di uno strato di misto cementato dello spessore di 80 cm.
- b) La terza fila di allineamenti, disposta verso il rilevato della LS, ha principalmente la funzione di limitare i cedimenti indotti sulla linea esistente. Sulla base di studi effettuati, la sua efficacia a tale scopo è tanto maggiore quanto più l'allineamento è spostato verso il rilevato della LS.
- c) Si è considerato tuttavia che la posizione di queste inclusioni non potesse essere troppo a ridosso della LS stessa, in quanto l'esecuzione di una trivellazione del diametro 1000 mm può comunque indurre vibrazioni e spostamenti indesiderati nel terreno circostante. Si è quindi deciso di mantenere tale allineamento ad una distanza di 1.5 m dalla base del rilevato esistente, verso l'interno dello stesso.
- d) Per le inclusioni rigide posizionate lungo tale allineamento, si utilizzeranno cappellotti prefabbricati quadrati in calcestruzzo di lato 2.5 m

La geometria è quella anticipata al punto 3.3, per una descrizione dettagliata riguardo i materiali e le lunghezze delle inclusioni si faccia riferimento alle tavole di progetto.

Considerata la preminente funzione delle colonne a sopportare carichi verticali (riduzione dei cedimenti), e il soddisfacimento delle verifiche SLU anche in assenza di trattamenti, non si ritiene necessario prevedere una armatura delle inclusioni rigide.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 47 di 108

6.4.2 Metodologia di calcolo

Considerata la complessità della soluzione adottata, la determinazione del campo di spostamenti e delle azioni agenti sugli elementi costituenti l'opera è stata svolta mediante analisi agli elementi finiti utilizzando il codice di calcolo Plaxis (Doc. Rif. [26]). Il software ha permesso di valutare lo stato tensionale e deformativo del terreno durante ed in seguito alla costruzione del rilevato e di eseguire una modellazione di dettaglio delle inclusioni rigide e dell'interazione tra esse ed il terreno circostante.

Le unità geotecniche descritte nel capitolo 4, sono state rappresentate per mezzo di cluster il cui comportamento è definito dai seguenti modelli costitutivi, scelti sulla base della natura dei terreni esaminati e delle informazioni a disposizione.

Per i materiali a grana grossa (ghiaia e materiale da rilevato), situati in profondità e dotati di buone proprietà meccaniche e la cui risposta ai carichi previsti è descrivibile in condizioni drenate, si è fatto riferimento ad un modello costitutivo alla Mohr-Coulomb

Per i depositi coesivi è stato impiegato il modello costitutivo denominato Hardening Soil (HS) Model, appartenente alla famiglia dei modelli di tipo Cam-Clay. Il modello HS ha consentito di riprodurre la risposta esibita dai campioni indisturbati nel corso delle prove di laboratorio prese in esame per la caratterizzazione (v. capitolo 4). Ciò ha permesso di impiegare materiali aventi rigidità dipendenti dal livello tensionale, differenti in condizioni di compressione vergine e di scarico e ricarico e funzione della pressione di pre-consolidazione stimata. Si forniscono di seguito alcuni richiami teorici del modello costitutivo.

Il modello HS prevede una relazione tra gli indici di compressione o ricompressione ed il modulo edometrico:

$$E_{oed}^{ref} = \frac{p^{ref}}{\lambda^*} \quad \lambda^* = \frac{\lambda}{(1 + e_0)} \quad \text{compressione vergine,}$$

$$E_{ur}^{ref} \approx \frac{2p^{ref}}{\kappa^*} \quad \kappa^* = \frac{\kappa}{(1 + e_0)} \quad \text{scarico-ricarico,}$$

dove:

- λ indice di compressione in fase di primo carico;
- κ indice di rigonfiamento in fase di scarico-ricarico;
- e_0 indice dei vuoti iniziale;
- p^{ref} pressione di riferimento.

Il dominio di elasticità è individuato da due funzioni f e f_c : la prima, relativa alle deformazioni irreversibili generate dall'applicazione di uno sforzo deviatorico e la seconda, che riguarda le deformazioni plastiche dovute all'applicazione di carichi isotropi e edometrici:

$$f = \bar{f} - \gamma^p \quad \bar{f} = \frac{2}{E_i} \frac{q}{1 - q/q_a} - \frac{2q}{E_{ur}} \quad \gamma^p = -(2\varepsilon_1^p - \varepsilon_v^p) \approx -2\varepsilon_1^p$$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 48 di 108

$$f^c = \frac{\tilde{q}^2}{\alpha^2} + p'^2 - p_p^2 \quad \varepsilon_V^{pc} = \frac{\beta}{1-m} \left(\frac{p_p}{p^{ref}} \right)^{1-m}$$

dove:

- E_i rigidezza iniziale, pari a $E_i = \frac{2E_{50}}{2-R_f}$, con E_{50} rigidezza relativa al 50% dello sforzo deviatorico ultimo;
- E_{ur} rigidezza di scarico-ricarico;
- q sforzo deviatorico;
- q_a 90% dello sforzo deviatorico ultimo;
- \tilde{q} sforzo deviatorico misurato con una procedura speciali (si faccia riferimento al Manuale di Plaxis);
- p' sforzo medio;
- p_p sforzo di pre-consolidazione isotropa;
- p_{ref} sforzo di riferimento;
- ε_V^p deformazioni volumetriche plastiche;
- ε_{p1} deformazioni deviatoriche plastiche;
- m costante che esprime la dipendenza della rigidezza dallo stato tensionale;
- α, β parametri di forma, rispettivamente funzione di K_0^{nc} e modulo edometrico.

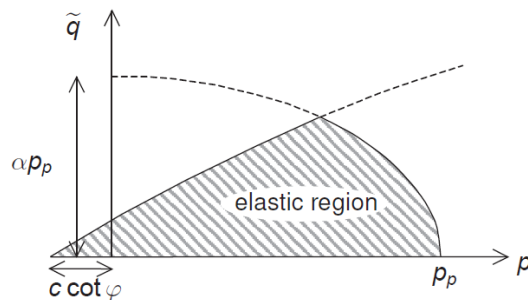


Figura 21 – Superficie di snervamento del modello Hardening Soil nel piano $q-p'$

La definizione del modello costitutivo richiede quindi la determinazione dei seguenti parametri geotecnici, per i quali si rimanda alla Tabella 2: e_0 , CR, RR, c_u . Per maggiori dettagli si rimanda al Manuale di Plaxis.

Le analisi sono state condotte per mezzo di fasi di consolidazione per tenere conto dell'effettiva risposta del terreno nel corso della costruzione e con riferimento alle fasi descritte nel capitolo che segue. Considerata la natura dei terreni rinvenuti, a favore di sicurezza per i depositi coesivi più profondi (unità 2) si è assunto un valore di permeabilità relativamente basso e pari a 10^{-8} m/s, mentre per i terreni più superficiali (unità 3b/a) si è assunto un valore di permeabilità poco superiore ma comunque basso (considerata la presenza di intercalazioni sabbiose) e pari a 10^{-7} m/s.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 49 di 108

Le inclusioni rigide sono state modellate per mezzo di elementi strutturali a comportamento elastico-lineare e di tipo *embedded beam*: considerati *wished-in-place*, del diametro di 1000 mm ed aventi rigidità pari a quella del calcestruzzo. Tali elementi sono dotati di componenti d'interfaccia integrate, che definiscono l'interazione tra terreno e struttura sulla base della resistenza dei materiali che li circonda. Le inclusioni sono state inserite nel modello con una disposizione a quinconce, le file più alte sono sormontate da un cappellotto in cemento e le file più basse collegate in testa con uno strato di misto cementato (v. par 3.3). Quest'ultimo è stato rappresentato con dei cluster il cui comportamento è stato descritto con un modello costitutivo elastico lineare (come fatto per il ballast) e modulo di rigidità conservativamente posto pari a 2 GPa (v. capitolo 4.7). Anche i cappellotti sono stati rappresentati per mezzo di cluster di dimensioni 2.5x2.5x0.6 m a comportamento elastico lineare e con le proprietà meccaniche del calcestruzzo.

6.4.3 Schematizzazione e risultati

Il modello di calcolo è riportato in Figura 22. La geometria è quella anticipata al punto 3.3, per una descrizione dettagliata si faccia riferimento alle tavole di progetto.

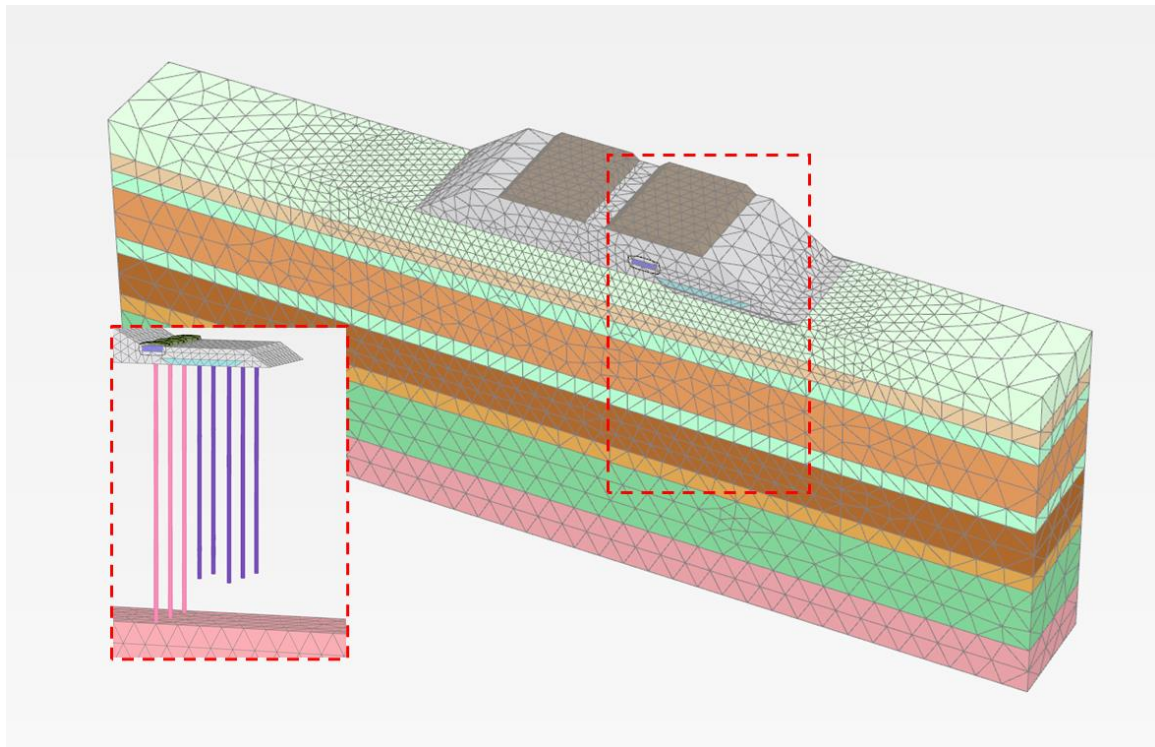


Figura 22 – Ri46: modello agli elementi finiti

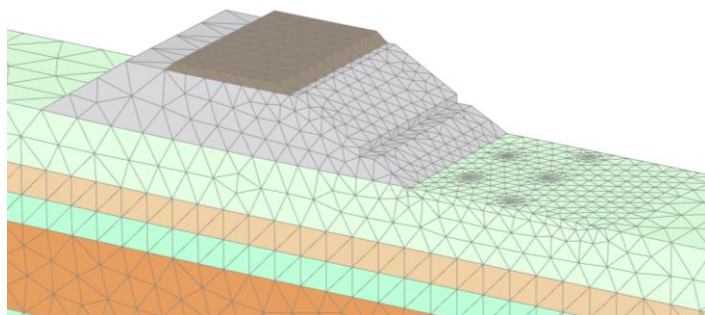
GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 50 di 108

L'analisi numerica è stata condotta con riferimento alla sequenza costruttiva prevista per i rilevati ferroviari in presenza di consolidamenti:

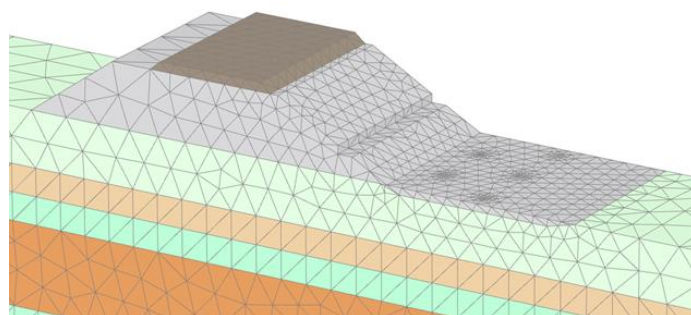
- Fase 1: inizializzazione degli forzi;
- Fase 2: posa e costruzione del rilevato linea storica: ricostruita la storia tensionale del sito;
- Fase 3: scotico e preparazione piano di lavoro;
- Fase 4: posa e costruzione dei pali, file B e C e del misto cementato;
- Fase 5: posa e costruzione della fila di pali A con i cappellotti di cemento. La realizzazione dei pali di questo allineamento potrebbe richiedere la costruzione di un rilevato provvisorio alto 1 m al di sopra del p.c. esistente e largo circa 4 m. Nell'analisi di cedimento tale eventualità è stata tenuta cautelativamente in conto.
- Fase 6: completamento del rilevato;
- Fase 7: lavorazioni e realizzazione impianti (nessun carico applicato, solo consolidazione);
- Fase 8: posa in opera del ballast e dell'armamento ferroviario;
- Fase 9: consolidazione finale.

Queste fasi sono illustrate in Figura 23, per tutti i dettagli si rimanda all' ALLEGATO 5.

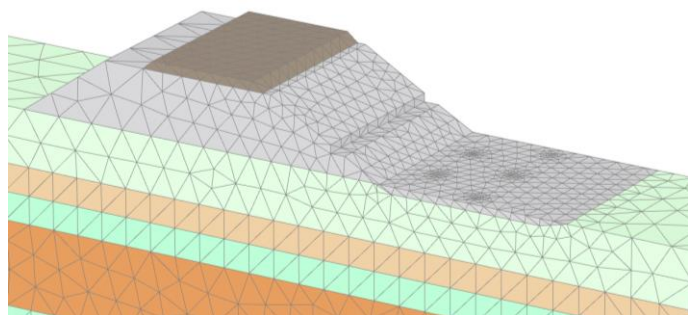
L'analisi è stata condotta considerando anche lo sviluppo dei cedimenti durante le varie fasi di lavorazione, e svolgendo l'analisi in modo accoppiato, così da considerare l'effetto della consolidazione nel tempo.



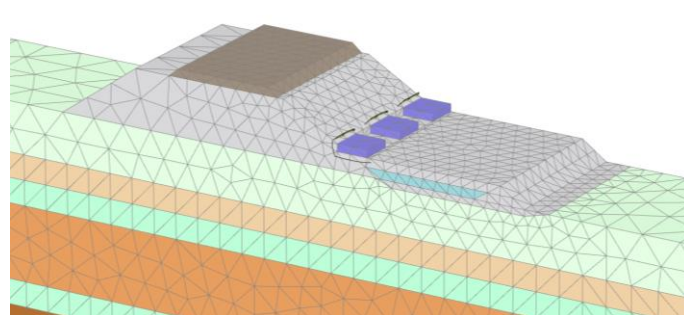
Fase 2



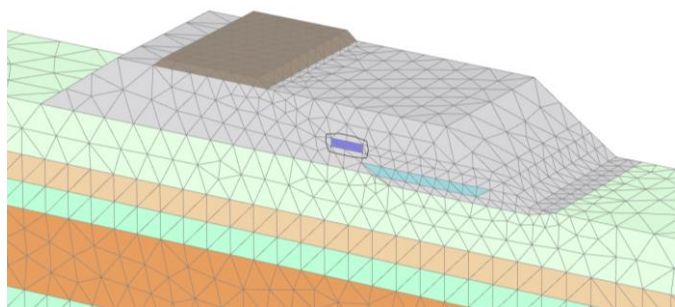
Fase 3



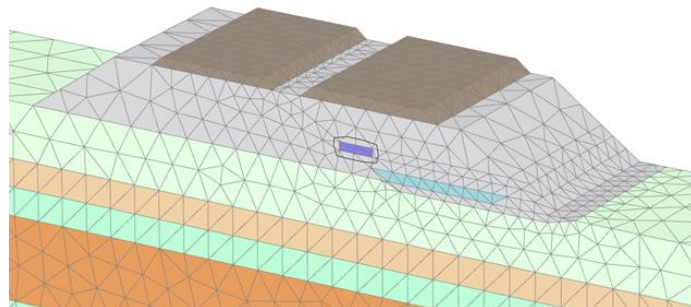
Fase 4



Fase 5



Fase 6 e Fase 7



Fase 8 e Fase 9

Figura 23 – Ri46: fasi della modellazione a elementi finiti

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 52 di 108

I risultati dell'analisi sono riportati in Figura 24 e Figura 25 (a e b).

Si evidenzia quanto segue:

- Sotto il rilevato AV, i cedimenti assoluti, a fine consolidazione, risultano compresi tra 6 e 8.5 cm, come mostrato nella Figura 24.
- I cedimenti residui della linea AV, a far data dal completamento del piano di posa del ballast, sono inferiori a 5 cm. In particolare, come illustrato in Figura 25-a) il cedimento residuo è inferiore a 1cm
- In relazione ai binari della Linea Storica, la Figura 25-b) mostra, per il binario più vicino alla linea AV, un cedimento totale atteso di circa 5 cm ed un differenziale sulle rotaie di circa 3 mm.

Si segnala che nei cedimenti calcolati per la linea LS è compreso un valore di circa 1 cm, al disotto del rilevato della LS (fase 5), per effetto della realizzazione del rilevato provvisorio necessario per la realizzazione dei pali da immorsare in ghiaia. Tale effetto è sicuramente sovrastimato, in quanto, in presenza di incrementi di tensione così modesti, sono operativi dei moduli prossimi a quelli tangenti iniziali del terreno, molto più elevati di quelli qui considerati ai fini del calcolo dei cedimenti.

Tenendo conto che:

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

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

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

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

La verifica SLE è quindi da considerarsi soddisfatta.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 53 di 108</p>

Ri46: Cedimenti dopo costruzione linea AV (presi a base rilevato)

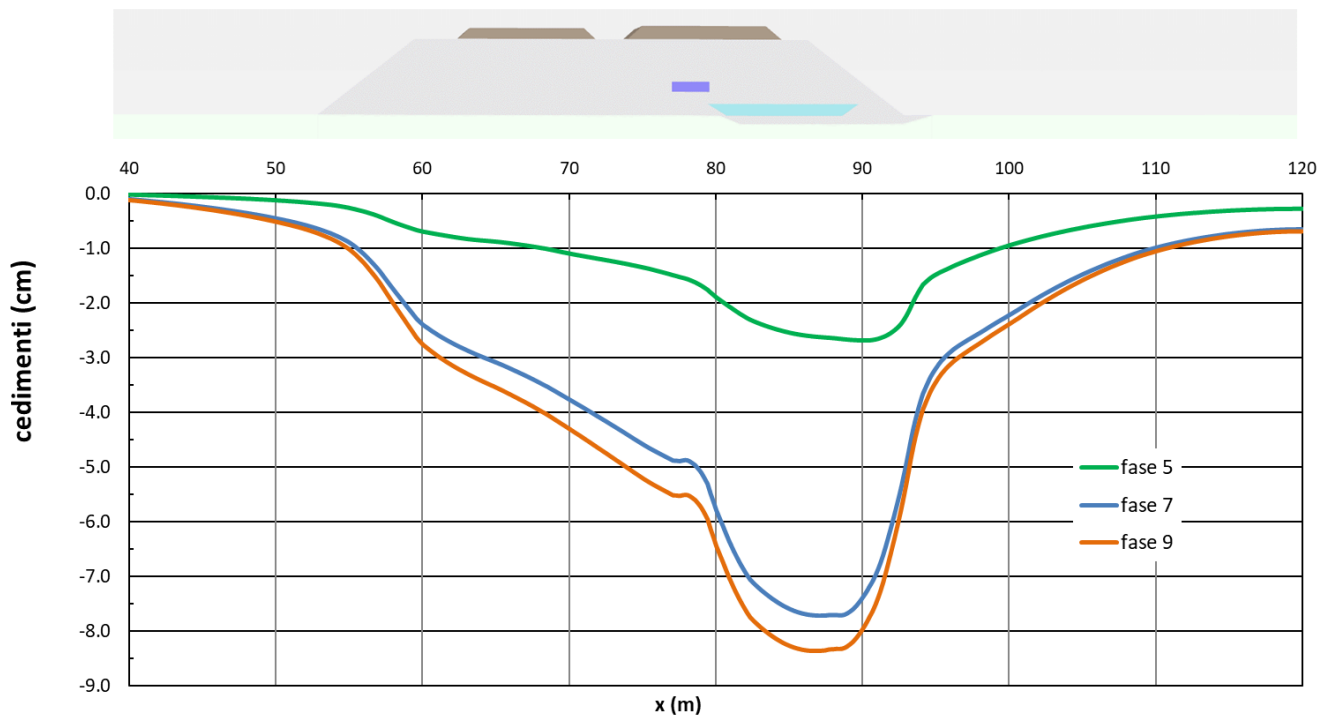

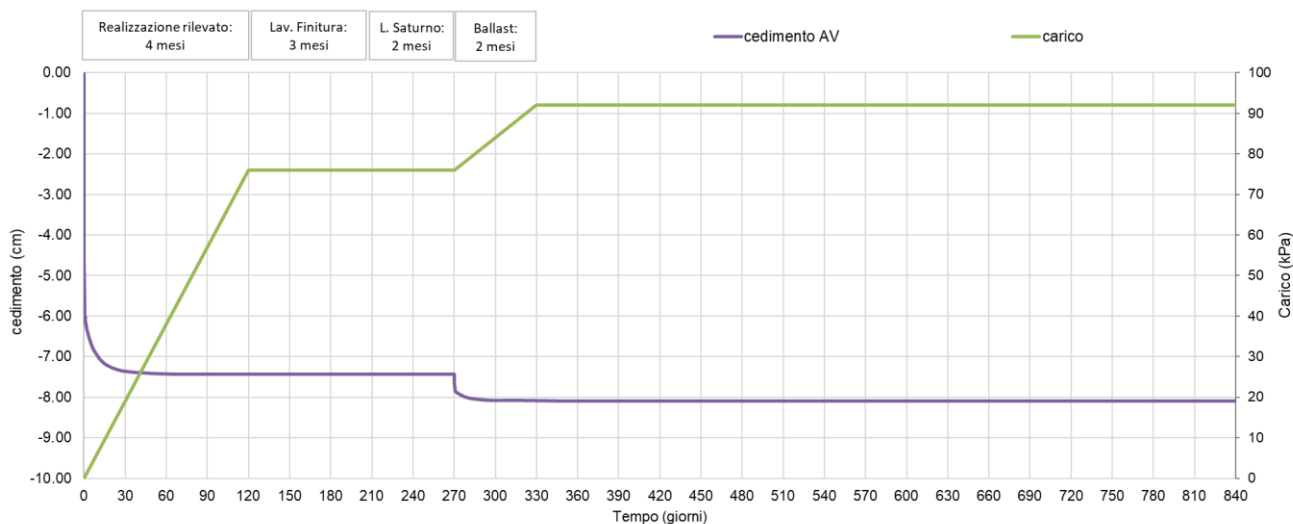


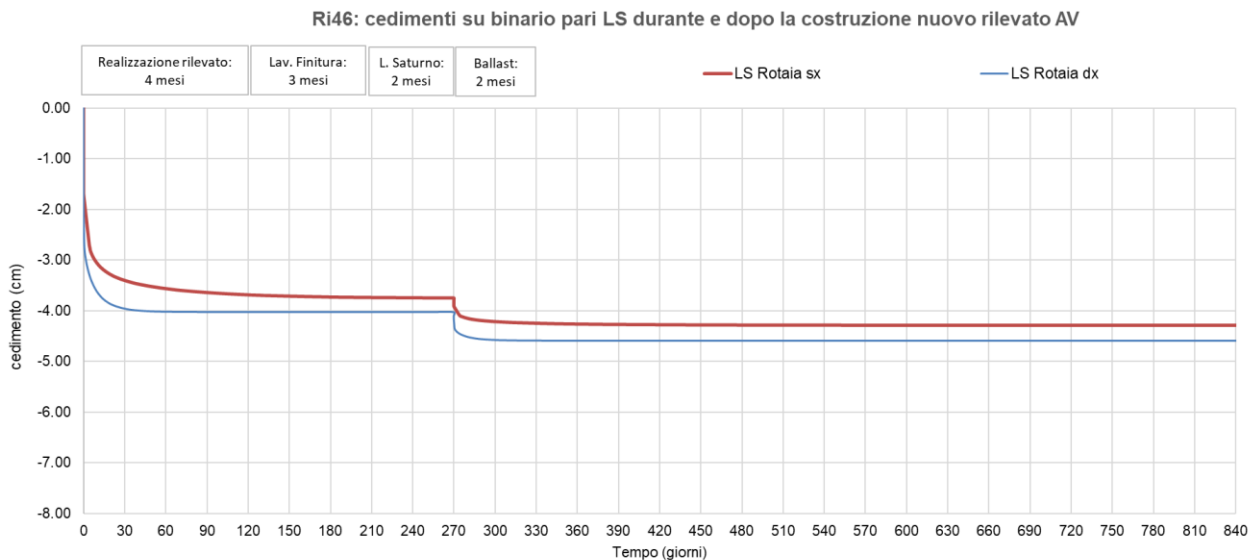
Figura 24 – Ri46: Cedimenti a p.c. durante e alla fine della costruzione del rilevato ferroviario AV

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 54 di 108</p>

Ri46: cedimenti presi alla base del rilevato AV durante e dopo la costruzione





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



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

Figura 25 – Ri46: andamento dei cedimenti nel tempo dopo/durante la costruzione del rilevato AV.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 55 di 108

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.

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



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

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

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

In relazione alla problematica dei pali , si segnala quanto segue:

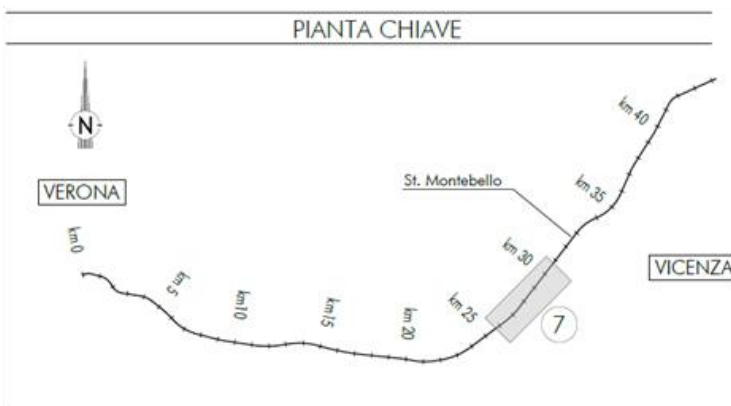
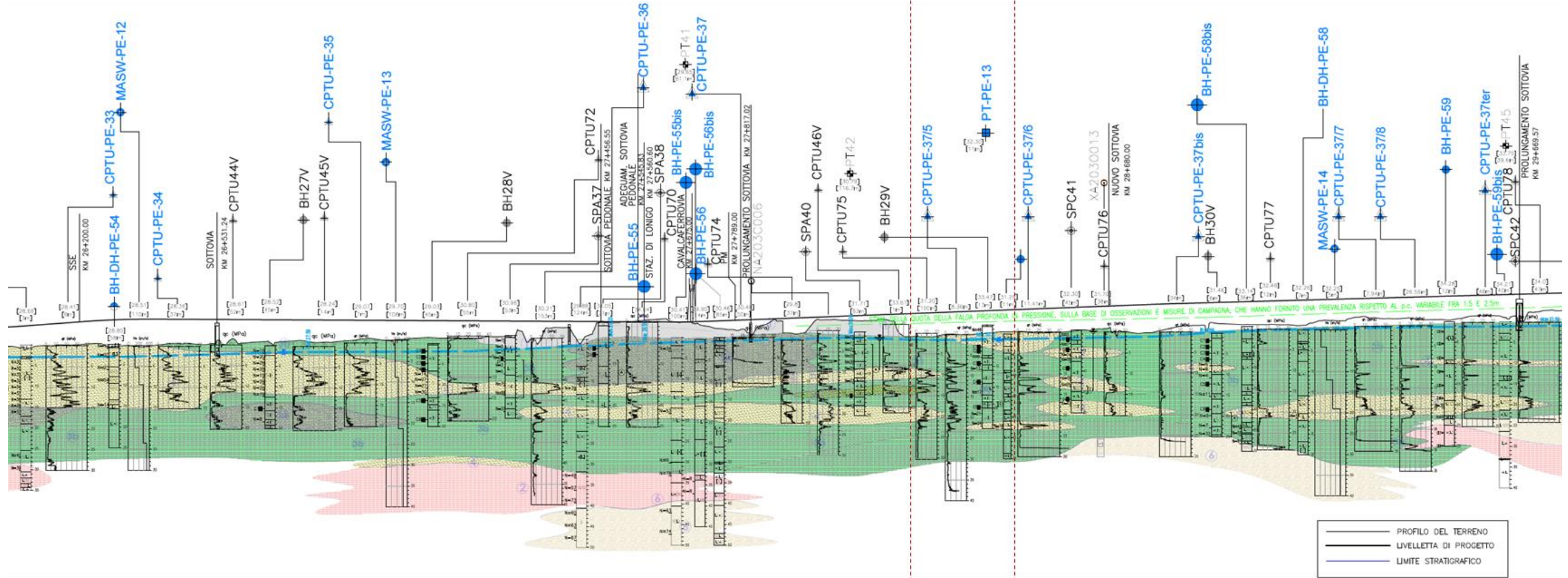
1. Nel tratto in questione, non si sono rivenute le ghiaie di fondo. Tuttavia, considerata l'estrema variabilità locale che può avere questo tetto, si raccomanda comunque di eseguire la fila di pali più lunga considerando le medesime modalità da applicare indicate per tutti i rilevati seguenti, e di eseguire prove tecnologiche preliminari di realizzazioni delle inclusioni rigide nell'area di interesse, volte a valutare la effettiva problematica di prevalenza della falda nello strato inferiore di ghiaie e sabbie.
2. Si raccomanda altresì di additivare opportunamente i fanghi di perforazione in modo da pervenire a pesi dell'ordine di 1.1 t/m³. Anche in caso di prevalenze maggiori, o di rinvenimento di livelli sabbioso-ghiaiosi in pressione a quote più elevate di quanto previsto (vale dire più prossime al p.c.), la presenza di fanghi pesanti può avviare a tale inconveniente.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 56 di 108</p>

ALLEGATI


<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 57 di 108</p>

ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



- LEGENDA**
- Campagna indagini integrative PE**
- BH-PE-A Sondaggio a carotaggio continuo
 - BH-PZ-PE-A Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande
 - MASW-PE-A Indagine MASW
 - CPTU-PE-A Prova penetrometrica statica con piezometro
- Campagna indagini 2018 per CDS**
- Sondaggio geognostico
- Campagna indagini 2015**
- P1-P15, P20 Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - P1-15Bis Fori a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)
- Campagna indagini 2014**
- SP Sondaggio a carotaggio continuo
 - SPC Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SDA Fori a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - CPTU Prova penetrometrica statica con piezometro (possibilità di avanzamento con trivellazione)
 - CPTU Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"
 - CH Fori a distribuzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
 - PT Pozzetto esplorativo a 1.5 m da p.c. con prove di carico su piastra
 - Profondità delle indagini
- PT-PE-A** Pozzetto esplorativo
- BH-DH-PE-A** Sondaggio con esecuzione di prova down hole
- CH-PE-A** Sondaggio con esecuzione di prova cross hole
- Indagini orientali**
- Nota per PE in blu le indagini dispartite e con coordinate certe, in rosso indagini ancora non dispartite o con coordinate non certe

- Campagna indagini pregresse**
- 1998 Sondaggio geognostico (campagna 1998)
 - 2002 Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
 - CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
 - Pozzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (V) per gentile concessione Centro Idrico Navoledo s.r.l.)
- Classi dei terreni**
- Asse di progetto
- confine di Provincia
- Confine Comunale
- 1 Riporto
 - 2 Limi argillosi e limi da compatte a molto compatte, generalmente sovraconsolidati
 - 3a Area con prevalenza di sabbie limose/ con limo e limi sabbiosi/ con sabbia, a comportamento drenato, da sciolti a mediamente addensati
 - 3b Area con prevalenza di limi argillosi e argille limose, da tenere a mediamente compatte, generalmente NC o debolmente CC
 - 3c Area di alternanza, sia in verticale che planimetrica, di materiali 3a e 3b
 - 4 Sabbie generalmente da debolmente limose a limose, da mediamente addensati a molto addensati
 - 6 Ghiaie, ghiaie con sabbie, con presenza locale di ciottoli, anche di grandi dimensioni (fino a 80/100mm)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RBRI4600001A	Foglio 59 di 108

ALLEGATO 2 - SONDAGGI



Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI4600001A

60 di 108

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPTU



COMMITTENTE Consorzio Iricav Due

CANTIERE Linea AV/AC Verona - Padova 1 lotto Funzionale Verona - Bivio Vicenza

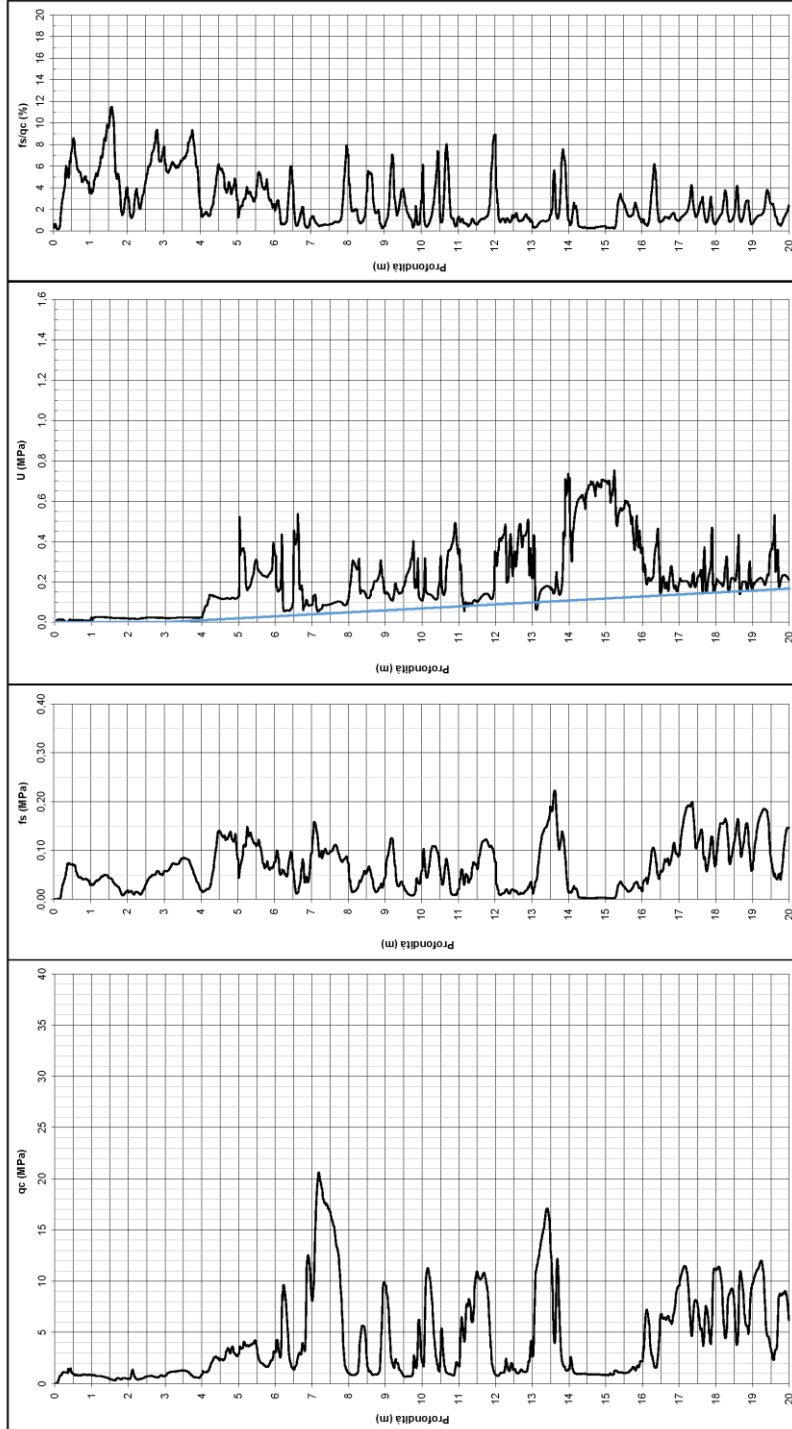
PROVA CPTU-PE375 DATA 27/05/2021 RESPONSABILE Dott. Geol. Paolo Greggio

Punta Mq497 Quota inizio indagine 0,00 m s.l.m. Preforo m da p.c.

Profondità prova 37,68 m da p.c. Livello acqua 3,05 m da p.c.

Coordinate WGS84 X 45°25,0629' N Y 11°21,0371' E

Pagina 1 di 2





Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4600001A

Foglio

61 di 108

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPTU



COMMITTENTE Consorzio Iricav Due

CANTIERE Linea AV/AC Verona - Padova 1 lotto Funzionale Verona - Bivio Vicenza

PROVA CPTU-PE-37/DATA 27/05/2021 RESPONSABILE Dott. Geol. Paolo Greggio

Punta Mk497

Quota inizio indagine 0,00 m s.l.m.

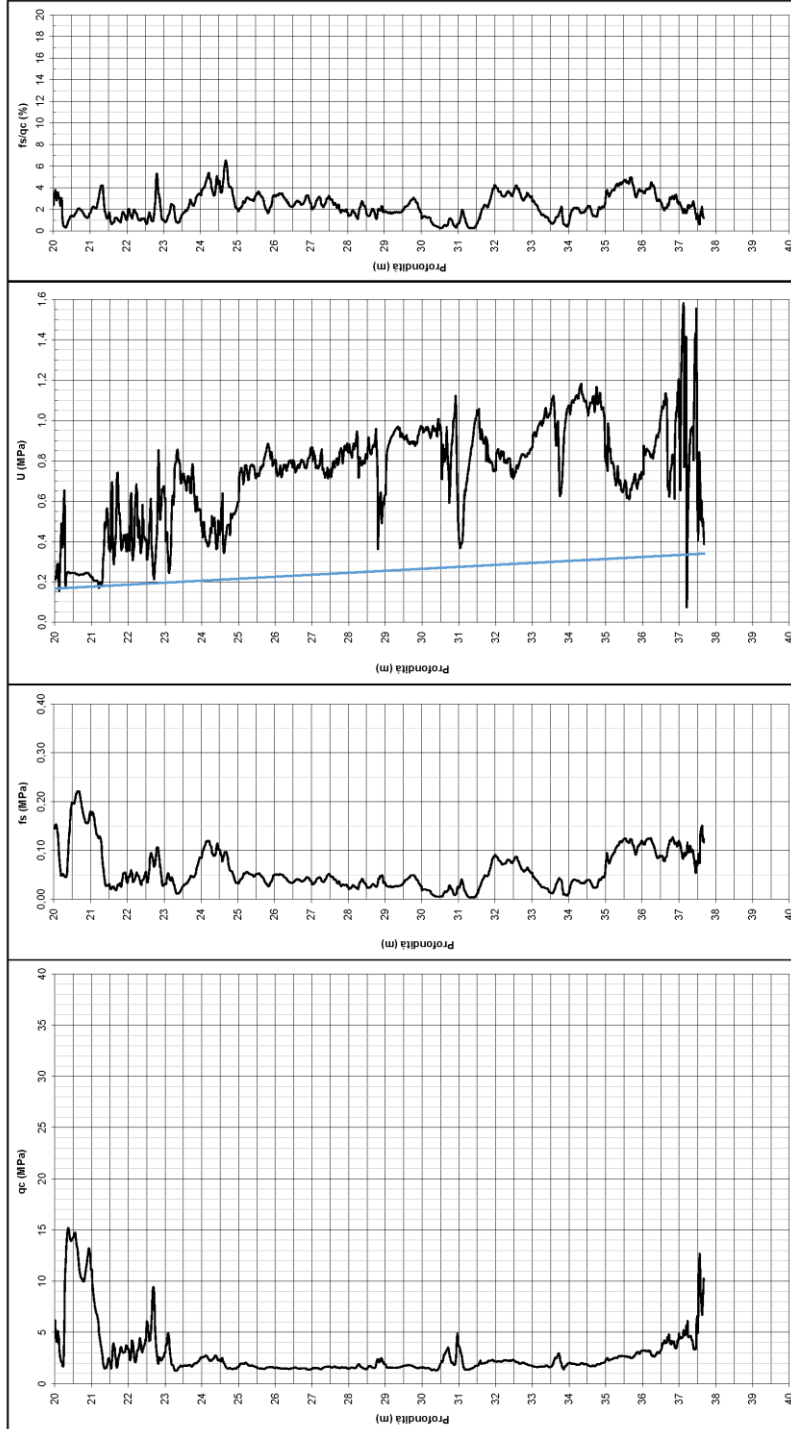
Profondità prova 37,68 m da p.c.

Coordinate WGS84 X 45°25,0629' N Y 11°21,0371' E

Profondo m da p.c. 3,05

Preforo m da p.c.

Pagina 2 di 2



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 62 di 108</p>

ALLEGATO 3- TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 63 di 108</p>

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RI46_stat
Slide Modeler Version: 7.029
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Left to Right
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Design Standard

Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
Name: Stabilità Globale_A2+M2+R2

Type	Partial Factor
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1.3
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1.25
Coefficient of shearing resistance	1.25
Undrained strength	1.4
Weight density	1
Shear strength (other models)	1
Earth resistance	1
Tensile and plate strength	1
Shear strength	1
Compressive strength	1
Bond strength	1
Seismic Coefficient	1

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used
Bishop simplified

Number of slices: 50
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 75
Check $\alpha < 0.2$: Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4600001A

Foglio

64 di 108



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

Random Numbers

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

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Auto Refine Search
Divisions along slope: 10
Circles per division: 10
Number of iterations: 10
Divisions to use in next iteration: 50%
Composite Surfaces: Disabled
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth [m]: 2
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

6 Distributed Loads present

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 65 di 108



Distributed Load 1
Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 14.4
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Permanent

Distributed Load 2
Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 14.4
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Permanent

Distributed Load 3
Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 61.4
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Variable

Distributed Load 4
Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 61.4
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Variable

Distributed Load 5
Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 61.4
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Variable

Distributed Load 6
Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 61.4
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Variable

Material Properties

Property	Rilevato	3b45	Unità2	Unità4	3b70	3b80
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Undrained	Undrained	Mohr-Coulomb	Undrained	Undrained
Unit Weight [kN/m3]	20	18.5	19	19	18.5	18.5
Cohesion [kPa]	0			0		
Friction Angle [deg]	38			36		
Cohesion Type		45	100		70	80
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	0	0	1	0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.205250
Center:	59.777, 9.219
Radius:	11.815
Left Slip Surface Endpoint:	48.878, 4.657
Right Slip Surface Endpoint:	67.166, 0.000
Resisting Moment:	8186.86 kN-m
Driving Moment:	6792.69 kN-m
Total Slice Area:	77.2015 m2
Surface Horizontal Width:	18.2886 m
Surface Average Height:	4.22129 m

Valid / Invalid Surfaces



Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI460001A

66 di 108



Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1679
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.20525

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.38991	3.2669	-65.0444	Rilevato	0	32.0066	25.1678	30.3335	48.5313	0	48.5313	102.613	102.613
2	0.38991	9.26088	-60.8612	Rilevato	0	32.0066	31.699	38.2052	61.1256	0	61.1256	117.987	117.987
3	0.38991	14.3447	-57.175	Rilevato	0	32.0066	32.9659	39.7321	63.5684	0	63.5684	114.672	114.672
4	0.38991	18.7809	-53.8287	Rilevato	0	32.0066	18.9845	22.8811	36.6081	0	36.6081	62.5744	62.5744
5	0.38991	22.7199	-50.7328	Rilevato	0	32.0066	23.0612	27.7945	44.4691	0	44.4691	72.6773	72.6773
6	0.38991	26.258	-47.8306	Rilevato	0	32.0066	26.96	32.4935	51.9872	0	51.9872	81.7518	81.7518
7	0.38991	29.4612	-45.0831	Rilevato	0	32.0066	30.6928	36.9925	59.1852	0	59.1852	89.9672	89.9672
8	0.38991	32.3771	-42.4625	Rilevato	0	32.0066	34.2705	41.3045	66.0842	0	66.0842	97.446	97.446
9	0.38991	35.0417	-39.9476	Rilevato	0	32.0066	37.7052	45.4442	72.7075	0	72.7075	104.287	104.287
10	0.126516	11.9004	-38.3233	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	167.208	0	167.208	188.288	188.288
11	0.36794	35.8869	-36.8178	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	171.796	0	171.796	191.76	191.76
12	0.36794	37.6967	-34.6192	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	178.267	0	178.267	196.678	196.678
13	0.36794	39.4512	-32.4775	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	184.471	0	184.471	201.446	201.446
14	0.36794	41.0988	-30.3857	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	190.286	0	190.286	205.924	205.924
15	0.36794	42.5674	-28.3378	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	195.532	0	195.532	209.915	209.915
16	0.36794	43.8624	-26.3287	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	200.237	0	200.237	213.434	213.434
17	0.36794	45.0489	-24.354	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	166.3	0	166.3	178.371	178.371
18	0.36794	46.1322	-22.4096	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	128.785	0	128.785	139.782	139.782
19	0.36794	47.1166	-20.4921	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	132.491	0	132.491	142.458	142.458
20	0.36794	48.006	-18.5984	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	129.772	0	129.772	138.746	138.746
21	0.36794	48.8037	-16.7255	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	124.628	0	124.628	132.642	132.642
22	0.36794	49.5125	-14.8708	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	127.487	0	127.487	134.569	134.569
23	0.36794	50.1348	-13.032	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	130.087	0	130.087	136.26	136.26
24	0.36794	50.6728	-11.2067	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	132.438	0	132.438	137.722	137.722
25	0.36794	50.7493	-9.39293	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	133.518	0	133.518	137.929	137.929
26	0.36794	49.43	-7.5886	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	130.791	0	130.791	134.344	134.344
27	0.36794	47.9187	-5.79181	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	127.531	0	127.531	130.236	130.236
28	0.36794	46.3282	-4.00073	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	124.048	0	124.048	125.913	125.913
29	0.36794	44.659	-2.21356	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	120.345	0	120.345	121.376	121.376
30	0.36794	42.9116	0.428547	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	116.427	0	116.427	116.627	116.627
31	0.36794	41.0862	1.35605	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	112.297	0	112.297	111.665	111.665
32	0.36794	39.1826	3.14197	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	107.955	0	107.955	106.491	106.491
33	0.36794	37.2007	4.93095	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	103.406	0	103.406	101.105	101.105
34	0.36794	35.1399	6.72477	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	98.648	0	98.648	95.5035	95.5035
35	0.36794	32.9993	8.52524	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	93.6834	0	93.6834	89.6857	89.6857
36	0.36794	30.7781	10.3342	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	88.5117	0	88.5117	83.6486	83.6486
37	0.36794	28.4749	12.1537	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	83.132	0	83.132	77.3885	77.3885
38	0.36794	26.0882	13.9858	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	77.5438	0	77.5438	70.9015	70.9015
39	0.36794	23.616	15.8325	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	71.7453	0	71.7453	64.1823	64.1823
40	0.36794	21.0562	17.6964	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	65.7343	0	65.7343	57.225	57.225
41	0.36794	18.4061	19.5798	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	59.5079	0	59.5079	50.022	50.022
42	0.36794	15.6626	21.4855	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	53.0629	0	53.0629	42.5655	42.5655
43	0.36794	12.8222	23.4165	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	46.3953	0	46.3953	34.8454	34.8454
44	0.36794	10.2786	25.3762	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	40.582	0	40.582	27.9321	27.9321
45	0.36794	8.93446	27.3683	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	38.0839	0	38.0839	24.2787	24.2787
46	0.36794	7.5807	29.3969	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	35.6244	0	35.6244	20.599	20.599
47	0.36794	6.10878	31.4669	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	32.9199	0	32.9199	16.5982	16.5982
48	0.36794	4.51089	33.5839	3b45	32.1429	0	26.6691	32.1429	29.9631	0	29.9631	12.255	12.255
49	0.544663	3.26798	36.2935	Rilevato	0	32.0066	3.3816	4.07567	8.48277	1.962	6.52077	5.99932	4.03732
50	0.126516	0.126516	38.3233	Rilevato	0	32.0066	0.878648	1.05899	1.69431	0	1.69431	0.999812	0.999812

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.20525

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 67 di 108



SLIDEINTERPRET 7.029

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 7

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	48.8778	4.65685	0	0	0
2	49.2677	3.81899	30.8519	0	0
3	49.6576	3.11958	61.2476	0	0
4	50.0475	2.51513	86.8208	0	0
5	50.4374	1.98183	98.9438	0	0
6	50.8274	1.5049	111.163	0	0
7	51.2173	1.07443	123.033	0	0
8	51.6072	0.683382	134.213	0	0
9	51.9971	0.326566	144.434	0	0
10	52.387	-5.32907e-015	153.48	0	0
11	52.5135	-0.1	166.828	0	0
12	52.8815	-0.375432	204.336	0	0
13	53.2494	-0.629439	239.807	0	0
14	53.6173	-0.86364	273.201	0	0
15	53.9853	-1.07939	304.444	0	0
16	54.3532	-1.27781	333.433	0	0
17	54.7212	-1.45989	360.082	0	0
18	55.0891	-1.62644	377.969	0	0
19	55.457	-1.77816	387.699	0	0
20	55.825	-1.91567	396.108	0	0
21	56.1929	-2.03949	402.365	0	0
22	56.5609	-2.15005	406.335	0	0
23	56.9288	-2.24775	408.981	0	0
24	57.2967	-2.33292	410.249	0	0
25	57.6647	-2.40582	410.094	0	0
26	58.0326	-2.46668	408.411	0	0
27	58.4006	-2.5157	405.012	0	0
28	58.7685	-2.55302	399.961	0	0
29	59.1364	-2.57875	393.344	0	0
30	59.5044	-2.59298	385.245	0	0
31	59.8723	-2.59573	375.756	0	0
32	60.2403	-2.58702	364.968	0	0
33	60.6082	-2.56682	352.977	0	0
34	60.9761	-2.53508	339.885	0	0
35	61.3441	-2.49169	325.795	0	0
36	61.712	-2.43654	310.818	0	0
37	62.08	-2.36945	295.07	0	0
38	62.4479	-2.2902	278.672	0	0
39	62.8158	-2.19856	261.756	0	0
40	63.1838	-2.09422	244.46	0	0
41	63.5517	-1.97682	226.933	0	0
42	63.9197	-1.84595	209.335	0	0
43	64.2876	-1.70112	191.84	0	0
44	64.6555	-1.54178	174.637	0	0
45	65.0235	-1.36725	157.745	0	0
46	65.3914	-1.17679	140.682	0	0
47	65.7594	-0.969492	123.487	0	0
48	66.1273	-0.74431	106.264	0	0
49	66.4952	-0.5	89.1336	0	0
50	67.0399	-0.1	83.8992	0	0
51	67.1664	0	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	-0.1
97.16	-0.1

Distributed Load

X	Y
43.2498	4.65685
34.3802	4.65685



Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI4600001A

68 di 108

**Distributed Load**

X	Y
56.0363	4.65685
46.1312	4.65685

Distributed Load

X	Y
38.1104	4.65685
35.4785	4.65685

Distributed Load

X	Y
42.6566	4.65685
40.131	4.65685

Distributed Load

X	Y
49.9677	4.65685
47.3889	4.65685

Distributed Load

X	Y
54.9126	4.65685
52.387	4.65685

External Boundary

X	Y
64.7792	0
57.7942	4.65685
44.9798	4.65685
31.6072	4.65685
25	0
0	0
0	-4
0	-6
0	-8
0	-14
0	-16
0	-23
0	-30
0	-32
95	-32
95	-30
95	-23
95	-16
95	-14
95	-8
95	-6
95	-4
95	0
67.7792	0

Material Boundary

X	Y
44.9798	4.65685
53.1145	0
53.9879	-0.5
66.7792	-0.5
67.7792	0



Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI4600001A

69 di 108

**Material Boundary**

X	Y
25	0
53.1145	0
64.7792	0

Material Boundary

X	Y
0	-4
95	-4

Material Boundary

X	Y
0	-6
95	-6

Material Boundary

X	Y
0	-14
95	-14

Material Boundary

X	Y
0	-16
95	-16

Material Boundary


X	Y
0	-23
95	-23

Material Boundary

X	Y
0	-30
95	-30

Material Boundary

X	Y
0	-8
95	-8

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 70 di 108</p>

ALLEGATO 4 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICA

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 71 di 108</p>



Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RI46_sism
Slide Modeler Version: 7.029
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

General Settings

Units of Measurement: Metric Units
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Failure Direction: Left to Right
Data Output: Standard
Maximum Material Properties: 20
Maximum Support Properties: 20

Design Standard

Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
Name: Stabilità Globale_SISMA+M2+R2

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified

Number of slices: 50
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 75
Check $\alpha < 0.2$: Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezos: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI4600001A

72 di 108



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

Random Numbers

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

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Auto Refine Search
Divisions along slope: 10
Circles per division: 10
Number of iterations: 10
Divisions to use in next iteration: 50%
Composite Surfaces: Disabled
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth [m]: 2
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined



Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

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

6 Distributed Loads present

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 73 di 108</p>



Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Distributed Load 4

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

Distributed Load 5

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

Distributed Load 6

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

Material Properties

Property	Rilevato	3b45	Unità2	Unità4	3b70	3b80
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Undrained	Undrained	Mohr-Coulomb	Undrained	Undrained
Unit Weight [kN/m3]	20	18.5	19	19	18.5	18.5
Cohesion [kPa]	0			0		
Friction Angle [deg]	38			36		
Cohesion Type		45	100		70	80
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	0	0	1	0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.295350
Center:	59.322, 9.478
Radius:	12.370
Left Slip Surface Endpoint:	47.930, 4.657
Right Slip Surface Endpoint:	67.271, 0.000
Resisting Moment:	8533.88 kN-m
Driving Moment:	6588.07 kN-m
Total Slice Area:	86.9247 m2
Surface Horizontal Width:	19.3414 m
Surface Average Height:	4.49424 m

Valid / Invalid Surfaces



Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI4600001A

74 di 108



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 7

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1767
Number of Invalid Surfaces: 0


Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.29535

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.382545	3.13359	-64.9671	Rilevato	0	32.0066	8.20188	10.6243	16.998	0	16.998	34.5606	34.5606
2	0.382545	8.91189	-61.0428	Rilevato	0	32.0066	12.6421	16.376	26.2004	0	26.2004	49.0477	49.0477
3	0.382545	13.8591	-57.5609	Rilevato	0	32.0066	16.8551	21.8332	34.9315	0	34.9315	61.4508	61.4508
4	0.382545	18.2047	-54.3875	Rilevato	0	32.0066	20.8573	27.0175	43.226	0	43.226	72.3457	72.3457
5	0.382545	22.0839	-51.4444	Rilevato	0	32.0066	24.6672	31.9526	51.1219	0	51.1219	82.071	82.071
6	0.382545	25.5846	-48.6809	Rilevato	0	32.0066	25.7212	33.3179	53.3062	0	53.3062	82.5643	82.5643
7	0.382545	28.768	-46.0621	Rilevato	0	32.0066	27.8199	36.0365	57.6557	0	57.6557	86.5266	86.5266
8	0.382545	31.6784	-43.5626	Rilevato	0	32.0066	31.0311	40.1962	64.311	0	64.311	93.823	93.823
9	0.382545	34.3496	-41.1631	Rilevato	0	32.0066	34.1119	44.1868	70.6956	0	70.6956	100.519	100.519
10	0.12078	11.3608	-39.6231	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	84.0668	0	84.0668	104.612	104.612
11	0.398427	38.9962	-38.0875	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	88.8202	0	88.8202	108.268	108.268
12	0.398427	41.2052	-35.7777	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	95.7029	0	95.7029	113.585	113.585
13	0.398427	43.2365	-33.5333	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	111.351	0	111.351	127.796	127.796
14	0.398427	45.1041	-31.3459	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	120.154	0	120.154	135.268	135.268
15	0.398427	46.8786	-29.2083	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	125.666	0	125.666	139.539	139.539
16	0.398427	48.5874	-27.1144	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	130.946	0	130.946	143.652	143.652
17	0.398427	50.1248	-25.0591	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	135.75	0	135.75	147.352	147.352
18	0.398427	51.4405	-23.0378	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	139.966	0	139.966	150.518	150.518
19	0.398427	52.6299	-21.0464	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	138.68	0	138.68	148.228	148.228
20	0.398427	53.7029	-19.0813	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	135.08	0	135.08	143.664	143.664
21	0.398427	54.6636	-17.1393	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	138.323	0	138.323	145.976	145.976
22	0.398427	55.5159	-15.2174	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	132.658	0	132.658	139.408	139.408
23	0.398427	56.2628	-13.3129	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	129.553	0	129.553	135.424	135.424
24	0.398427	56.907	-11.4233	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	131.961	0	131.961	136.974	136.974
25	0.398427	57.4506	-9.54618	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	134.11	0	134.11	138.283	138.283
26	0.398427	57.8588	-7.6794	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	135.919	0	135.919	139.265	139.265
27	0.398427	56.7904	-5.82079	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	134.164	0	134.164	136.693	136.693
28	0.398427	54.9253	-3.96831	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	130.482	0	130.482	132.204	132.204
29	0.398427	52.9648	-2.11999	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	126.566	0	126.566	127.485	127.485
30	0.398427	50.9095	-0.273873	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	122.419	0	122.419	122.537	122.537
31	0.398427	48.7595	1.57196	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	118.043	0	118.043	117.362	117.362
32	0.398427	46.5148	3.41943	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	113.442	0	113.442	111.959	111.959
33	0.398427	44.1749	5.27047	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	108.616	0	108.616	106.327	106.327
34	0.398427	41.7392	7.12704	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	103.567	0	103.567	100.464	100.464
35	0.398427	39.2065	8.99118	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	98.2938	0	98.2938	94.3675	94.3675
36	0.398427	36.5757	10.865	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	92.7977	0	92.7977	88.035	88.035
37	0.398427	33.8448	12.7506	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	87.077	0	87.077	81.4618	81.4618
38	0.398427	31.012	14.6505	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	81.1298	0	81.1298	74.6429	74.6429
39	0.398427	28.0746	16.5669	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	74.9542	0	74.9542	67.5724	67.5724
40	0.398427	25.0297	18.5027	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	68.5473	0	68.5473	60.2434	60.2434
41	0.398427	21.8738	20.4606	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	61.905	0	61.905	52.6468	52.6468
42	0.398427	18.6027	22.4438	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	55.0228	0	55.0228	44.773	44.773
43	0.398427	15.2117	24.4559	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	47.8959	0	47.8959	36.6106	36.6106
44	0.398427	12.1492	26.5006	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	41.6114	0	41.6114	29.2392	29.2392
45	0.398427	10.4912	28.5825	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	38.7673	0	38.7673	25.248	25.248
46	0.398427	8.81907	30.7066	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	35.9602	0	35.9602	21.2228	21.2228
47	0.398427	6.99782	32.8785	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	32.8786	0	32.8786	16.8389	16.8389
48	0.398427	5.01647	35.1052	3b45	32.1429	0	24.8141	32.1429	29.5123	0	29.5123	12.0693	12.0693
49	0.516672	3.10003	37.7465	Rilevato	0	32.0066	2.92028	3.78279	8.01419	1.962	6.05219	5.75334	3.79134
50	0.12078	0.12078	39.6231	Rilevato	0	32.0066	0.770433	0.997981	1.59669	0	1.59669	0.958814	0.958814

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.29535

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 75 di 108



SLIDEINTERPNET 7.029

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 7

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	47.93	4.65685	0	0	0
2	48.3125	3.83771	11.0472	0	0
3	48.6951	3.14636	25.0657	0	0
4	49.0776	2.54447	40.7949	0	0
5	49.4602	2.01039	57.4157	0	0
6	49.8427	1.53042	74.3519	0	0
7	50.2252	1.09527	89.8349	0	0
8	50.6078	0.698274	104.473	0	0
9	50.9903	0.334457	118.632	0	0
10	51.3729	1.24345e-014	132.082	0	0
11	51.4937	-0.1	138.435	0	0
12	51.8921	-0.412267	159.524	0	0
13	52.2905	-0.699386	180.538	0	0
14	52.6889	-0.963433	203.645	0	0
15	53.0874	-1.20612	226.665	0	0
16	53.4858	-1.42887	248.664	0	0
17	53.8842	-1.63288	269.528	0	0
18	54.2827	-1.81917	289.093	0	0
19	54.6811	-1.9886	307.194	0	0
20	55.0795	-2.14191	322.94	0	0
21	55.4779	-2.27973	336.13	0	0
22	55.8764	-2.40261	347.779	0	0
23	56.2748	-2.51099	356.881	0	0
24	56.6732	-2.60526	363.881	0	0
25	57.0716	-2.68577	369.344	0	0
26	57.4701	-2.75277	373.215	0	0
27	57.8685	-2.8065	375.435	0	0
28	58.2669	-2.84711	375.714	0	0
29	58.6654	-2.87475	373.996	0	0
30	59.0638	-2.8895	370.375	0	0
31	59.4622	-2.89141	364.95	0	0
32	59.8606	-2.88047	357.823	0	0
33	60.2591	-2.85667	349.099	0	0
34	60.6575	-2.81991	338.89	0	0
35	61.0559	-2.77009	327.311	0	0
36	61.4543	-2.70705	314.485	0	0
37	61.8528	-2.63058	300.54	0	0
38	62.2512	-2.54042	285.615	0	0
39	62.6496	-2.43626	269.855	0	0
40	63.048	-2.31774	253.417	0	0
41	63.4465	-2.18441	236.471	0	0
42	63.8449	-2.03575	219.201	0	0
43	64.2433	-1.87118	201.806	0	0
44	64.6418	-1.68997	184.506	0	0
45	65.0402	-1.49132	167.364	0	0
46	65.4386	-1.27425	149.936	0	0
47	65.837	-1.03762	132.275	0	0
48	66.2355	-0.780074	114.504	0	0
49	66.6339	-0.5	96.7711	0	0
50	67.1506	-0.1	92.3144	0	0
51	67.2713	0	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	-0.1
97.16	-0.1

Distributed Load

X	Y
43.2498	4.65685
34.3802	4.65685



Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI4600001A

76 di 108

**Distributed Load**

X	Y
56.0363	4.65685
46.1312	4.65685

Distributed Load

X	Y
38.1104	4.65685
35.4785	4.65685

Distributed Load

X	Y
42.6566	4.65685
40.131	4.65685

Distributed Load

X	Y
49.9677	4.65685
47.3889	4.65685

Distributed Load

X	Y
54.9126	4.65685
52.387	4.65685

External Boundary

X	Y
64.7792	0
57.7942	4.65685
44.9798	4.65685
31.6072	4.65685
25	0
0	0
0	-4
0	-6
0	-8
0	-14
0	-16
0	-23
0	-30
0	-32
95	-32
95	-30
95	-23
95	-16
95	-14
95	-8
95	-6
95	-4
95	0
67.7792	0

Material Boundary

X	Y
44.9798	4.65685
53.1145	0
53.9879	-0.5
66.7792	-0.5
67.7792	0



Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4600001A

Foglio

77 di 108

**Material Boundary**

X	Y
25	0
53.1145	0
64.7792	0

Material Boundary

X	Y
0	-4
95	-4

Material Boundary

X	Y
0	-6
95	-6

Material Boundary

X	Y
0	-14
95	-14

Material Boundary

X	Y
0	-16
95	-16

Material Boundary


X	Y
0	-23
95	-23

Material Boundary


X	Y
0	-30
95	-30

Material Boundary

X	Y
0	-8
95	-8

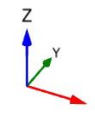
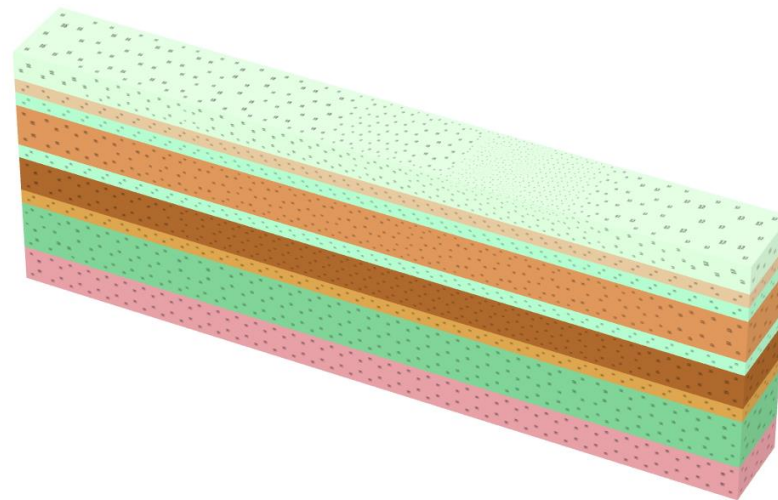
<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 78 di 108</p>

ALLEGATO 5 – TABULATI DI PLAXIS



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 79 di 108

Ri46

1.1.1.1 Calculation results, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Connectivity plot

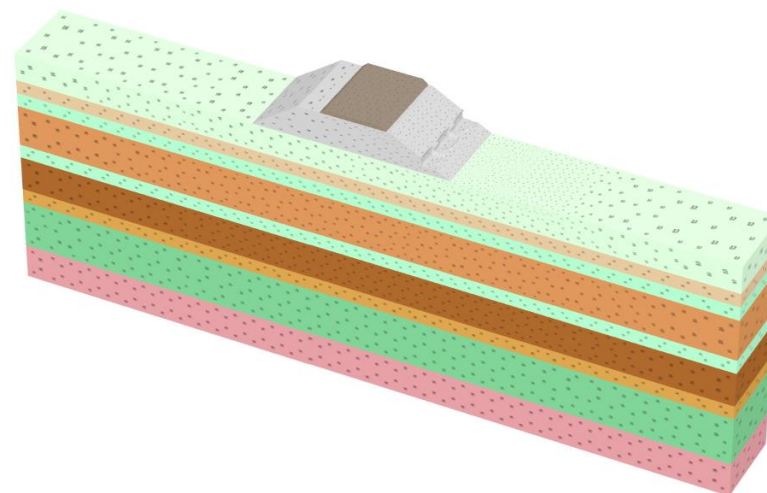


Connectivity plot



GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA		
				
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica		Progetto	Lotto	Codifica
		IN17	12	EI2RBRI4600001A
				Foglio
				80 di 108

Ri46

1.1.1.2 Calculation results, LS [Phase_1] (1/8), Connectivity plot

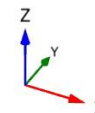
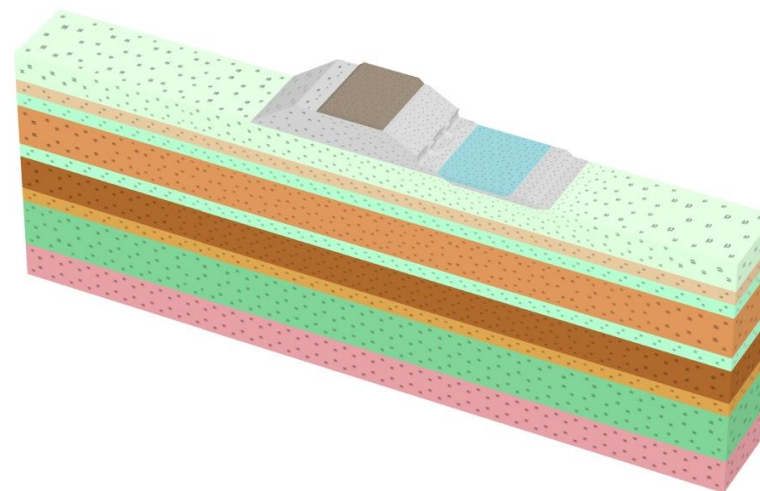


Connectivity plot



GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA		
				
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica		Progetto	Lotto	Codifica
		IN17	12	EI2RBRI4600001A
				Foglio
				81 di 108

Ri46

1.1.1.3 Calculation results, pali B C + mixcem [Phase_2] (2/13), Connectivity plot

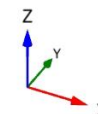
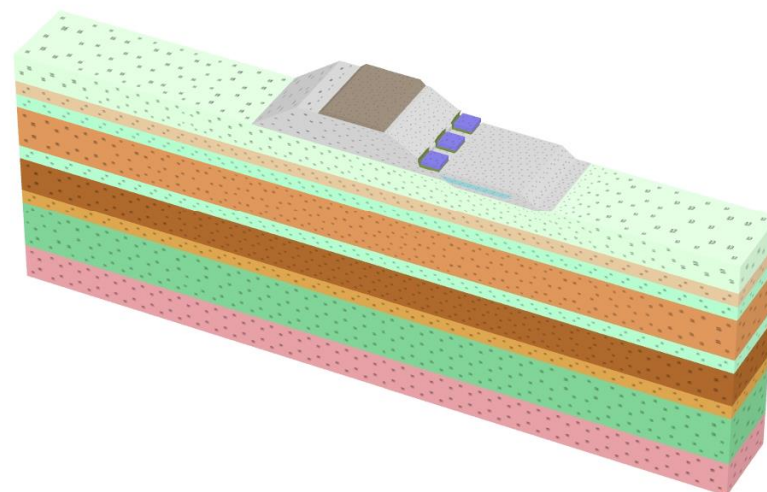


Connectivity plot



GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA		
				
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica		Progetto	Lotto	Codifica
		IN17	12	EI2RBRI4600001A
				Foglio
				82 di 108

Ri46

1.1.1.4 Calculation results, pali A [Phase_3] (3/19), Connectivity plot

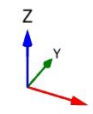
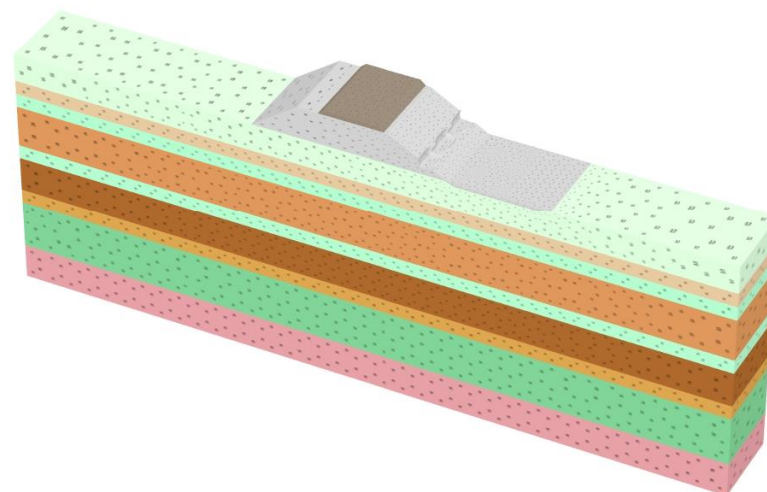


Connectivity plot



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 83 di 108</p>

Ri46

1.1.1.5 Calculation results, scotico [Phase_5] (5/22), Connectivity plot

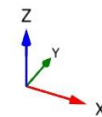
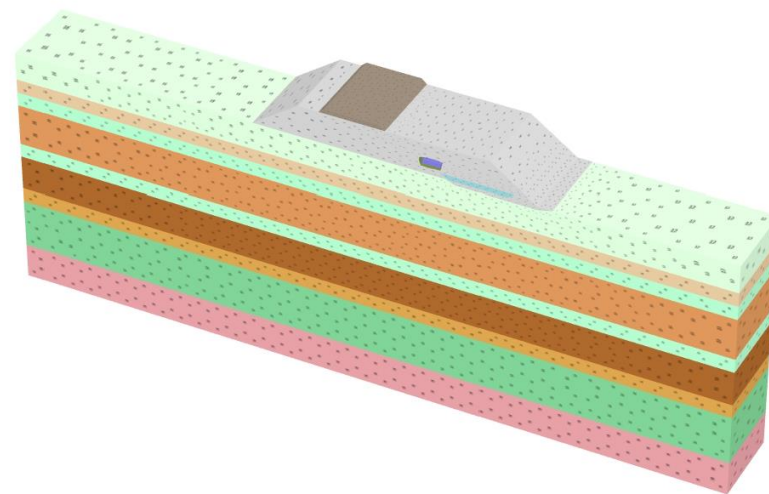


Connectivity plot



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 84 di 108</p>

Ri46

1.1.1.6 Calculation results, fin+saturno [Phase_8] (8/29), Connectivity plot

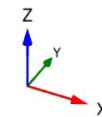
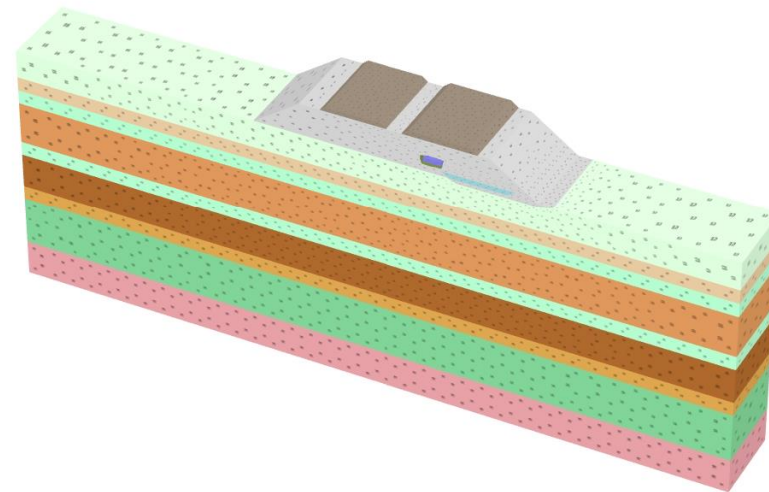


Connectivity plot



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 85 di 108</p>

Ri46

1.1.1.7 Calculation results, Ballast [Phase_6] (6/32), Connectivity plot

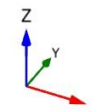
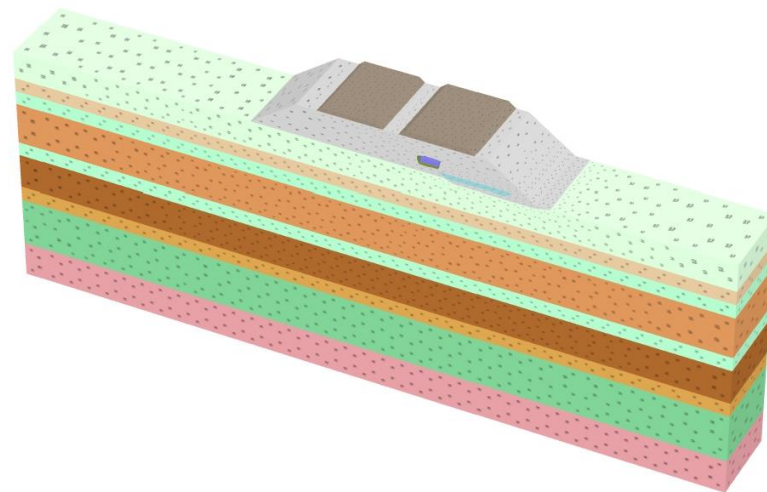


Connectivity plot



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 86 di 108</p>

Ri46

1.1.1.8 Calculation results, cons finale [Phase_9] (9/60), Connectivity plot

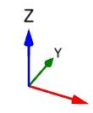
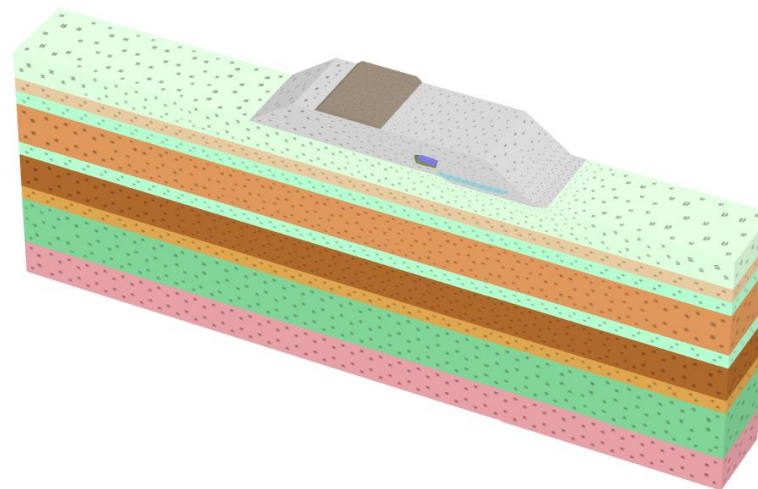


Connectivity plot



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 87 di 108</p>

Ri46

1.1.1.9 Calculation results, Completamento rilevato [Phase_4] (4/113), Connectivity plot

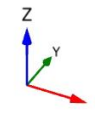
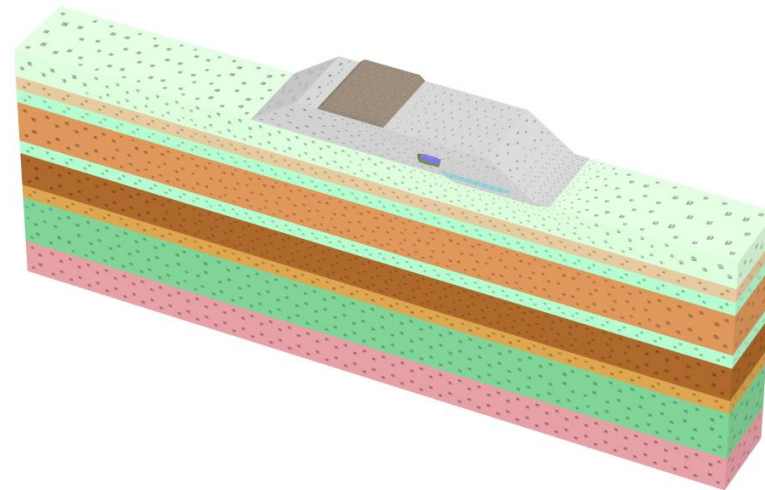


Connectivity plot



GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA		
				
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica		Progetto	Lotto	Codifica
		IN17	12	EI2RBRI4600001A
				Foglio
				88 di 108

Ri46

1.1.1.10 Calculation results, cons rilevato [Phase_7] (7/179), Connectivity plot








Connectivity plot

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 89 di 108

RI46



1.1.2.1.1 Materials - Soil and interfaces - Linear elastic

Identification		Ballast	CLS	MistoCem
Identification number		1	2	3
Drainage type		Drained	Non-porous	Drained
Colour				
Comments				
γ_{unsat}	kN/m ³	18.00	25.00	20.00
γ_{sat}	kN/m ³	18.00	25.00	20.00
Dilatancy cut-off		No	No	No
e_{init}		0.5000	0.5000	0.5000
e_{min}		0.000	0.000	0.000
e_{max}		999.0	999.0	999.0
Rayleigh α		0.000	0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000	0.000
E	kN/m ²	100.0E3	33.00E6	2.000E6
ν (nu)		0.3000	0.2000	0.2000
G	kN/m ²	38.46E3	13.75E6	833.3E3
E_{oed}	kN/m ²	134.6E3	36.67E6	2.222E6
V_s	m/s	144.8	2323	639.3
V_p	m/s	270.9	3793	1044
Set to default values		Yes	Yes	Yes
E_{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000	0.000
z_{ref}	m	0.000	0.000	0.000

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI460001A	Foglio 90 di 108

RI46



Identification		Ballast	CLS	MistoCem
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0.9783	0.9866	0.9866
v_u		0.4950	0.4950	0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m ² / n	3.750E6	1.352E9	81.94E6
Strength		Rigid	Rigid	Rigid
R_{inter}		1.000	1.000	1.000
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes
δ_{inter}		0.000	0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity $_{1, dk}$	m ³ /day/m	0.000	0.000	0.000
Drainage conductivity $_{2, dk}$	m ³ /day/m	0.000	0.000	0.000
K_0 determination		Manual	Automatic	Automatic
$K_{0,x} = K_{0,y}$		Yes	Yes	Yes
$K_{0,x}$		0.5000	1.000	1.000
$K_{0,y}$		0.5000	1.000	1.000
k_x	m/day	864.0	0.000	0.8640E-3
k_y	m/day	864.0	0.000	0.8640E-3
k_z	m/day	864.0	0.000	0.8640E-3
e_{init}		0.5000	0.5000	0.5000
S_s	1/m	0.000	0.000	0.000
c_k		1000E12	1000E12	1000E12

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 91 di 108

Ri46



1.1.2.1.2 Materials - Soil and interfaces - Hardening soil

Identification		3ab_1	3ab_2	3ab_3	3ab_4	Unità2
Identification number		4	5	6	7	11
Drainage type		Undrained (B)	Undrained (B)	Undrained (B)	Undrained (B)	Undrained (B)
Colour		■	■	■	■	■
Comments						
γ_{unsat}	kN/m ³	18.50	18.50	18.50	18.50	19.00
γ_{sat}	kN/m ³	18.50	18.50	18.50	18.50	19.00
Dilatancy cut-off		No	No	No	No	No
e_{init}		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
e_{min}		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
e_{max}		999.0	999.0	999.0	999.0	999.0
Rayleigh α		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
E_{50}^{ref}	kN/m ²	1797	1797	1797	1797	1797
E_{oed}^{ref}	kN/m ²	1438	1438	1438	1438	1438
E_{ur}^{ref}	kN/m ²	13.80E3	13.80E3	13.80E3	17.25E3	20.70E3
power (m)		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Use alternatives		No	No	No	No	No
C_c		0.3200	0.3200	0.3200	0.3200	0.3200
C_s		0.03000	0.03000	0.03000	0.02400	0.02000
e_{init}		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
c_{ref}	kN/m ²	45.00	70.00	70.00	80.00	100.0

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI460001A	Foglio 92 di 108



RI46

Identification		3ab_1	3ab_2	3ab_3	3ab_4	Unità2
ϕ (phi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ψ (psi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Set to default values		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
v_{ur}		0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
p_{ref}	kN/m ²	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
K_0^{inc}		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
c_{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Z_{ref}	m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
R_f		0.9000	0.9000	0.9000	0.9000	0.9000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0.9866	0.9866	0.9866	0.9866	0.9866
v_u		0.4950	0.4950	0.4950	0.4950	0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m ²	565.4E3	565.4E3	565.4E3	706.8E3	848.1E3
Strength		Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
R_{inter}		0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
δ_{inter}		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity $_{1, dk}$	m ³ /day/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Drainage conductivity $_{2, dk}$	m ³ /day/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K_0 determination		Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
$K_{0,x} = K_{0,y}$		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 93 di 108






Ri46



Identification		3ab_1	3ab_2	3ab_3	3ab_4	Unità2
$K_{0,x}$		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
$K_{0,y}$		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
OCR		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
POP	kN/m ²	163.0	221.0	153.0	125.0	210.0
k_x	m/day	8.640E-3	8.640E-3	0.8640E-3	0.8640E-3	0.8640E-3
k_y	m/day	8.640E-3	8.640E-3	0.8640E-3	0.8640E-3	0.8640E-3
k_z	m/day	8.640E-3	8.640E-3	0.8640E-3	0.8640E-3	0.8640E-3
e_{init}		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
S_s	1/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
c_k		1000E12	1000E12	1000E12	1000E12	1000E12

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI460001A	Foglio 94 di 108

RI46



1.1.2.1.3 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb

Identification		Unità4_1	Unità4_2	Unità4_3	Unità4_4	rilevato
Identification number		8	9	10	12	13
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
Colour						
Comments						
γ_{unsat}	kN/m ³	19.00	19.00	19.00	19.00	20.00
γ_{sat}	kN/m ³	19.00	19.00	19.00	19.00	20.00
Dilatancy cut-off		No	No	No	No	No
e_{init}		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
e_{min}		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
e_{max}		999.0	999.0	999.0	999.0	999.0
Rayleigh α		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
E	kN/m ²	15.00E3	30.00E3	50.00E3	25.00E3	60.00E3
ν (nu)		0.3000	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000
G	kN/m ²	5769	11.54E3	19.23E3	9615	23.08E3
E_{oed}	kN/m ²	20.19E3	40.38E3	67.31E3	33.65E3	80.77E3
c_{ref}	kN/m ²	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ϕ (phi)	°	36.00	36.00	36.00	36.00	38.00
ψ (psi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
V_s	m/s	54.58	77.18	99.65	70.46	106.4
V_p	m/s	102.1	144.4	186.4	131.8	199.0

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI460001A	Foglio 95 di 108



RI46

Identification		Unità4_1	Unità4_2	Unità4_3	Unità4_4	rilevato
Set to default values		No	No	No	No	Yes
E_{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Z_{ref}	m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
c_{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Z_{ref}	m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tension cut-off		No	No	No	No	Yes
Tensile strength	kN/m ²	10.00E6	10.00E6	10.00E6	10.00E6	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0.9783	0.9783	0.9783	0.9783	0.9783
v_u		0.4950	0.4950	0.4950	0.4950	0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m ²	562.5E3	1.125E6	1.875E6	937.5E3	2.250E6
Strength		Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	Manual
R_{inter}		1.000	1.000	1.000	1.000	0.6700
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
δ_{inter}		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity $_{1, dk}$	m ³ /day/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Drainage conductivity $_{2, dk}$	m ³ /day/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K_0 determination		Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
$K_{0,x} = K_{0,y}$		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$K_{0,x}$		0.4122	0.4122	0.4122	0.4122	0.3843
$K_{0,y}$		0.4122	0.4122	0.4122	0.4122	0.3843
k_x	m/day	0.8640	0.8640	0.8640	0.8640	8640
k_y	m/day	0.8640	0.8640	0.8640	0.8640	8640

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 96 di 108



Ri46



Identification		Unità4_1	Unità4_2	Unità4_3	Unità4_4	rilevato
k_z	m/day	0.8640	0.8640	0.8640	0.8640	8640
e_{init}		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
S_s	1/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
c_k		1000E12	1000E12	1000E12	1000E12	1000E12

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 97 di 108

RI46

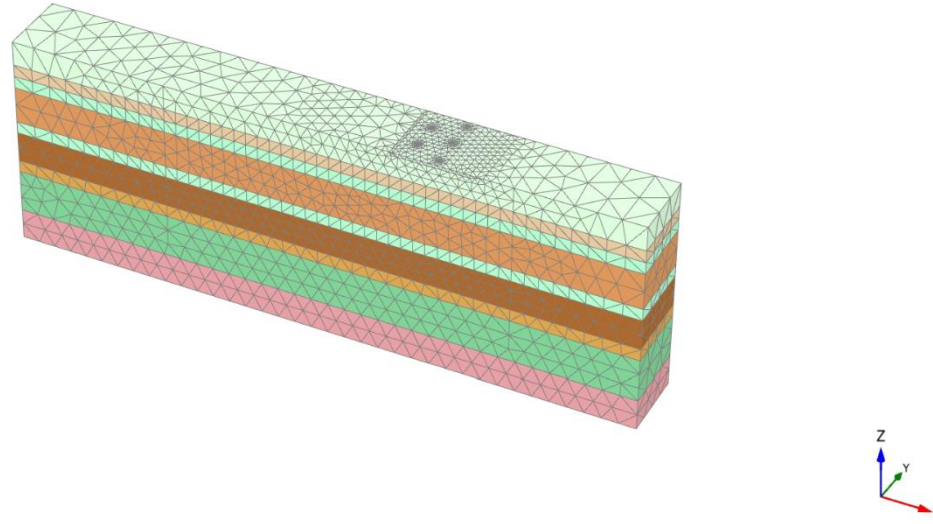
1.1.2.2 Materials - Embedded beams -

Identification		PaliA	PaliBeC
Identification number		1	2
Comments			
Colour			
Material type		Elastic	Elastic
E	kN/m ²	33.00E6	33.00E6
γ	kN/m ³	5.500	5.500
Beam type		Predefined	Predefined
Predefined beam type		Massive circular beam	Massive circular beam
Diameter	m	1.000	1.000
A	m ²	0.7854	0.7854
I ₂	m ⁴	0.04909	0.04909
I ₃	m ⁴	0.04909	0.04909
Rayleigh α		0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000
Axial skin resistance		Multi-linear	Multi-linear
Multi-linear axial resistance		Axial skin resistance table	Axial skin resistance table
F _{max}	kN	750.0	500.0
Identification number		1	2



GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA		
				
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica		Progetto	Lotto	Codifica
		IN17	12	EI2RBRI4600001A
				Foglio
				98 di 108

Ri46

2.1.1.1.1 Calculation results, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Total displacements u_z

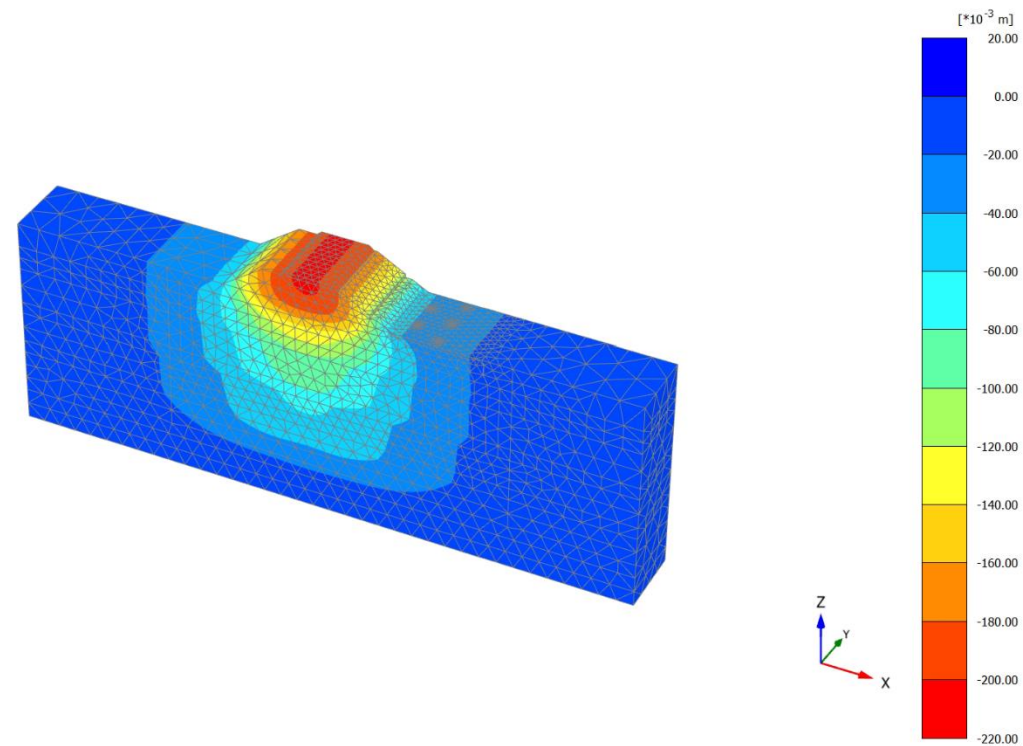


Total displacements u_z
Uniform value of 0.000 m

GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA		
				
Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica		Progetto	Lotto	Codifica
		IN17	12	EI2RBRI4600001A
				Foglio
				99 di 108

Ri46

2.1.1.1.2 Calculation results, LS [Phase_1] (1/8), Total displacements u_z



Total displacements u_z

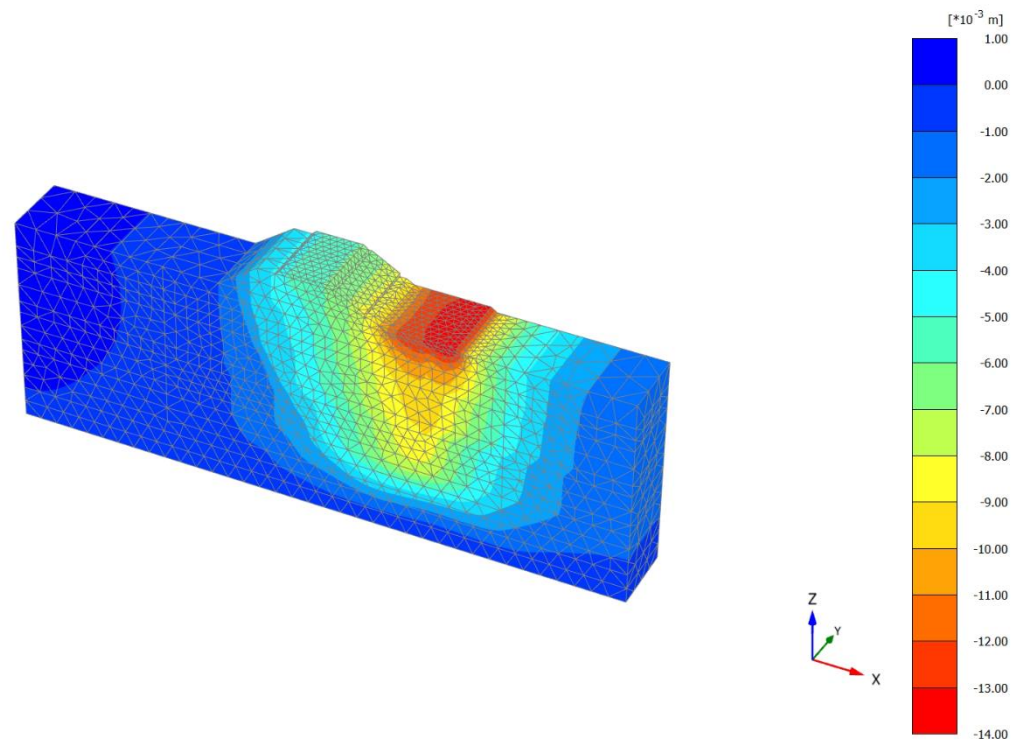
Maximum value = 0.000 m (Element 27260 at Node 43256)

Minimum value = -0.2037 m (Element 499 at Node 12971)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI460001A</p>	<p>Foglio 100 di 108</p>

Ri46


2.1.1.1.3 Calculation results, pali B C + mixcem [Phase_2] (2/13), Total displacements u_z



Total displacements u_z

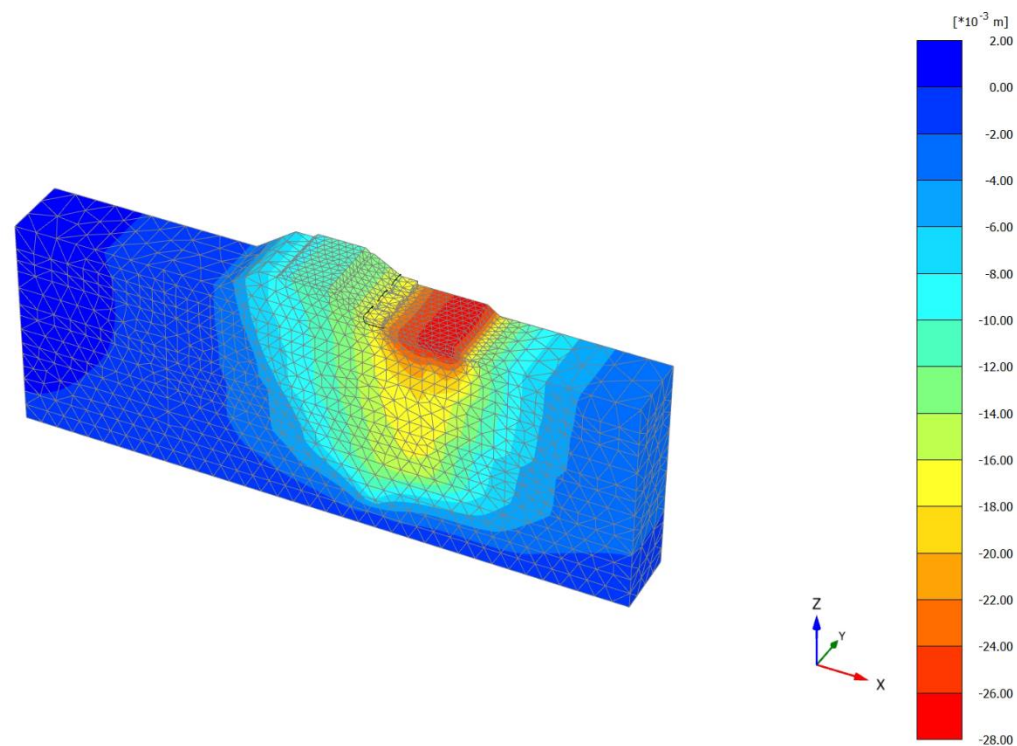
Maximum value = $0.1517 \cdot 10^{-3}$ m (Element 11939 at Node 31146)

Minimum value = -0.01379 m (Element 6016 at Node 4048)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 101 di 108</p>

Ri46

2.1.1.1.4 Calculation results, pali A [Phase_3] (3/19), Total displacements u_z



Total displacements u_z

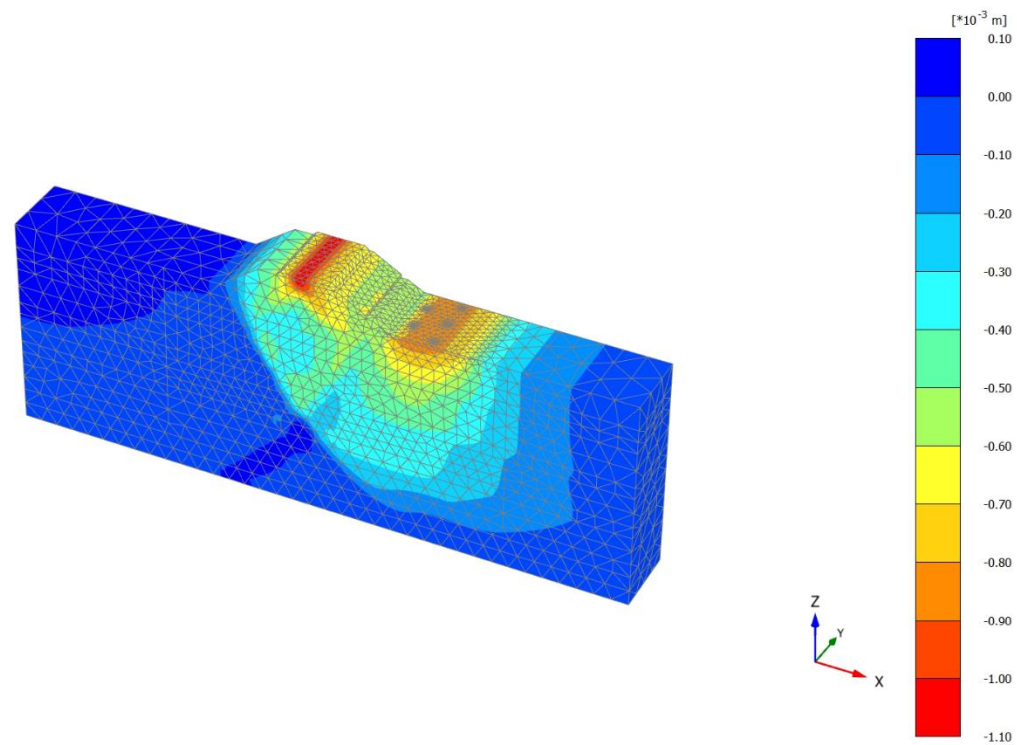
Maximum value = $0.2961 \cdot 10^{-3}$ m (Element 11939 at Node 31146)

Minimum value = -0.02714 m (Element 5983 at Node 3987)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI460001A</p>	<p>Foglio 102 di 108</p>

Ri46



2.1.1.1.5 Calculation results, scotico [Phase_5] (5/22), Total displacements u_z



Total displacements u_z

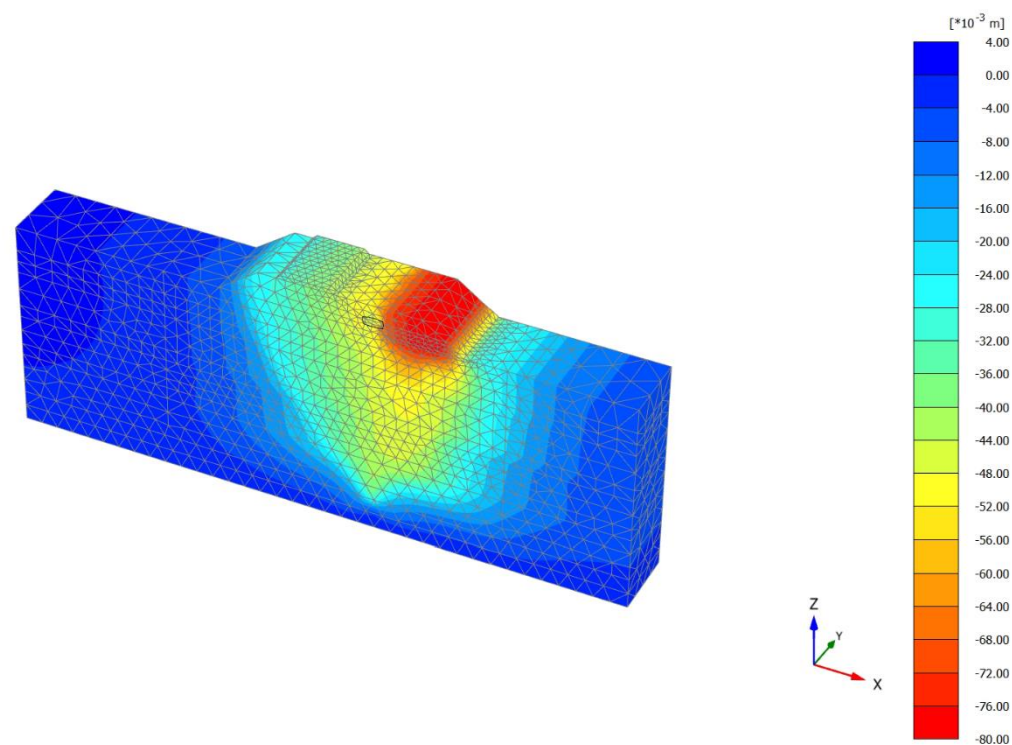
Maximum value = $0.09138 \cdot 10^{-3}$ m (Element 24367 at Node 36090)

Minimum value = $-1.084 \cdot 10^{-3}$ m (Element 298 at Node 15960)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 103 di 108</p>

Ri46

2.1.1.1.6 Calculation results, fin+saturno [Phase_8] (8/29), Total displacements u_z



Total displacements u_z (Time 270.0 day)

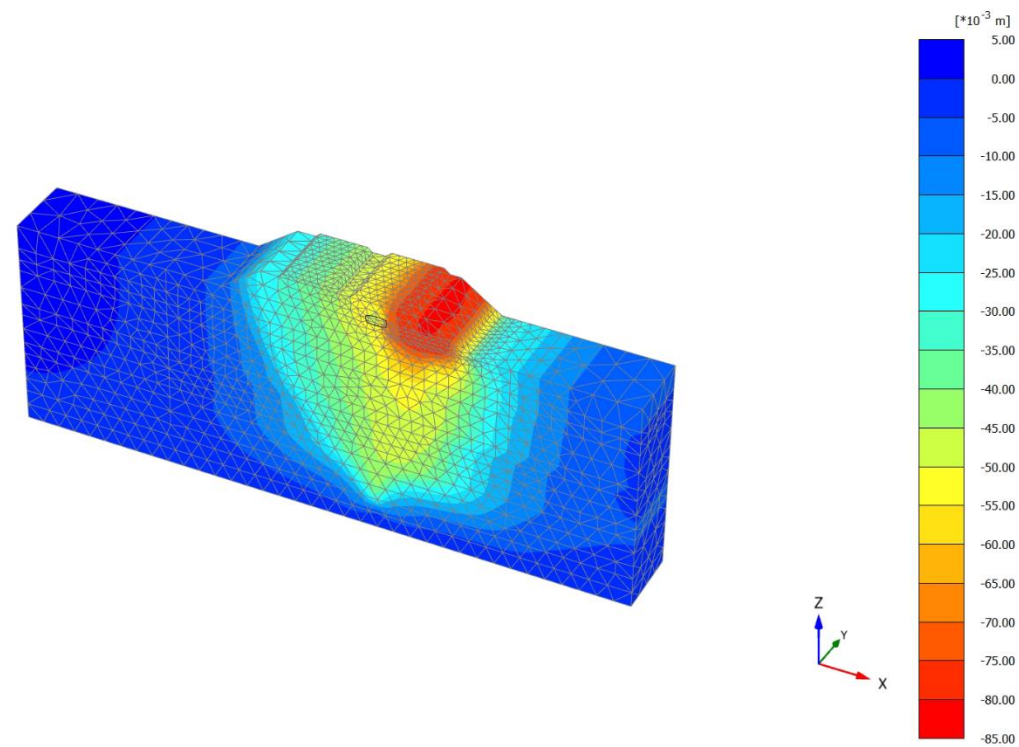
Maximum value = $0.8005 \cdot 10^{-3}$ m (Element 11920 at Node 31131)

Minimum value = -0.07898 m (Element 1229 at Node 51)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 104 di 108</p>

Ri46

2.1.1.1.7 Calculation results, Ballast [Phase_6] (6/32), Total displacements u_z

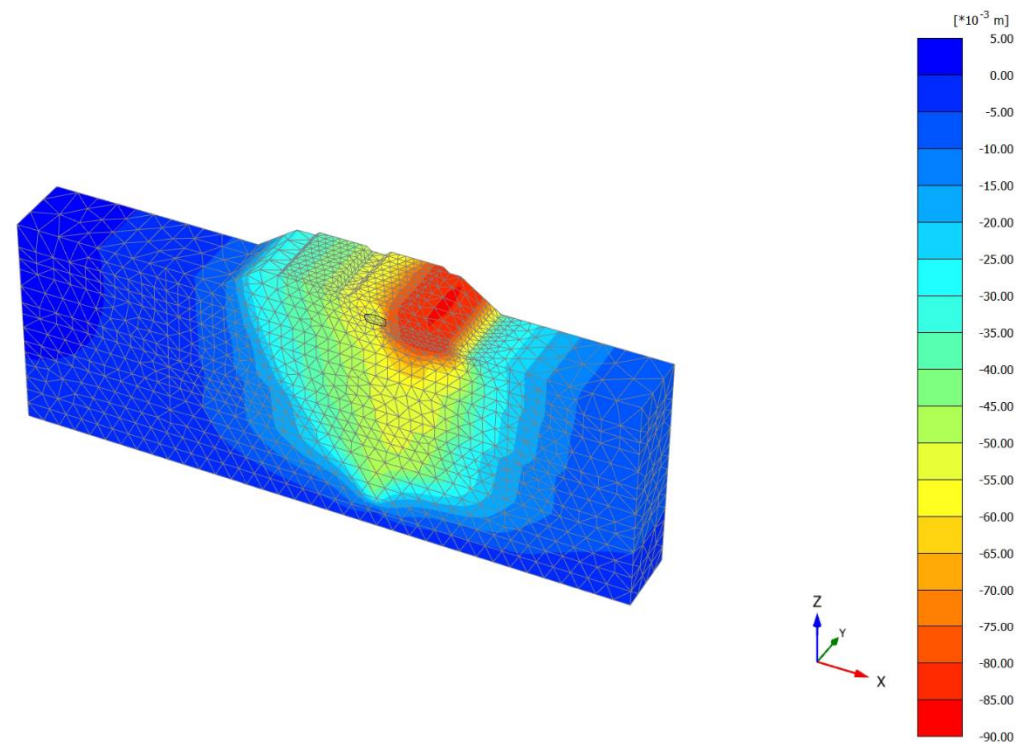


Total displacements u_z
Maximum value = $1.153 \cdot 10^{-3}$ m (Element 8185 at Node 31101)
Minimum value = -0.08098 m (Element 1229 at Node 51)



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 105 di 108</p>

Ri46

2.1.1.1.8 Calculation results, cons finale [Phase_9] (9/60), Total displacements u_z

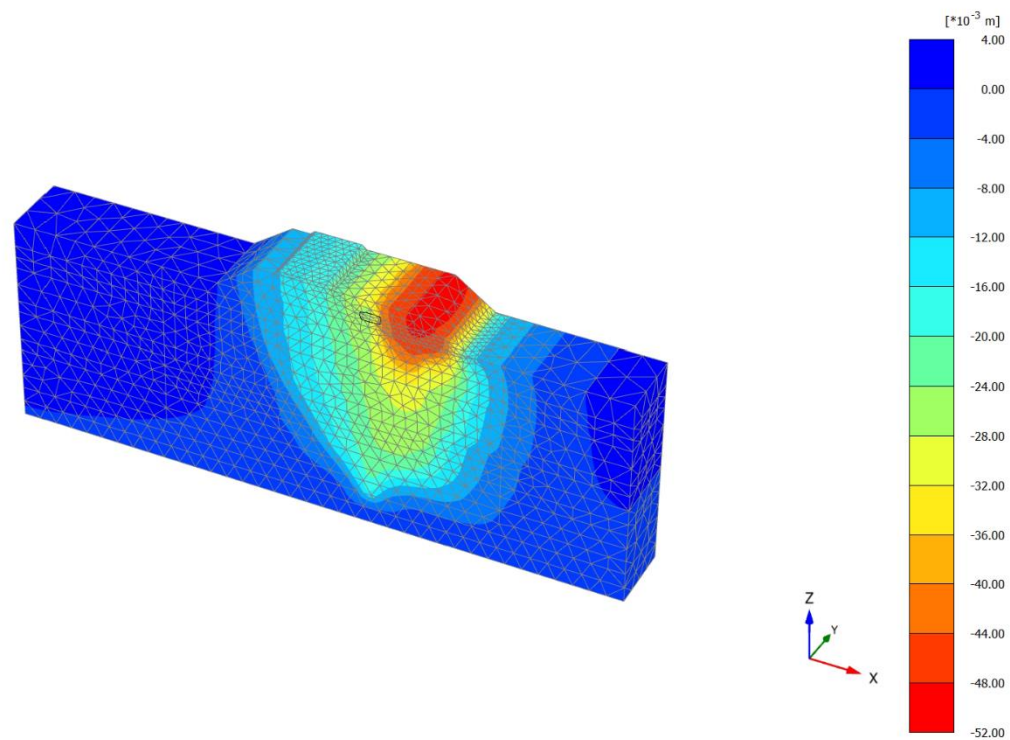


Total displacements u_z (Time 1270 day)
Maximum value = $0.8761 \cdot 10^{-3}$ m (Element 11920 at Node 31131)
Minimum value = -0.08537 m (Element 1229 at Node 51)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 106 di 108</p>

Ri46



2.1.1.1.9 Calculation results, Completamento rilevato [Phase_4] (4/113), Total displacements u_z



Total displacements u_z

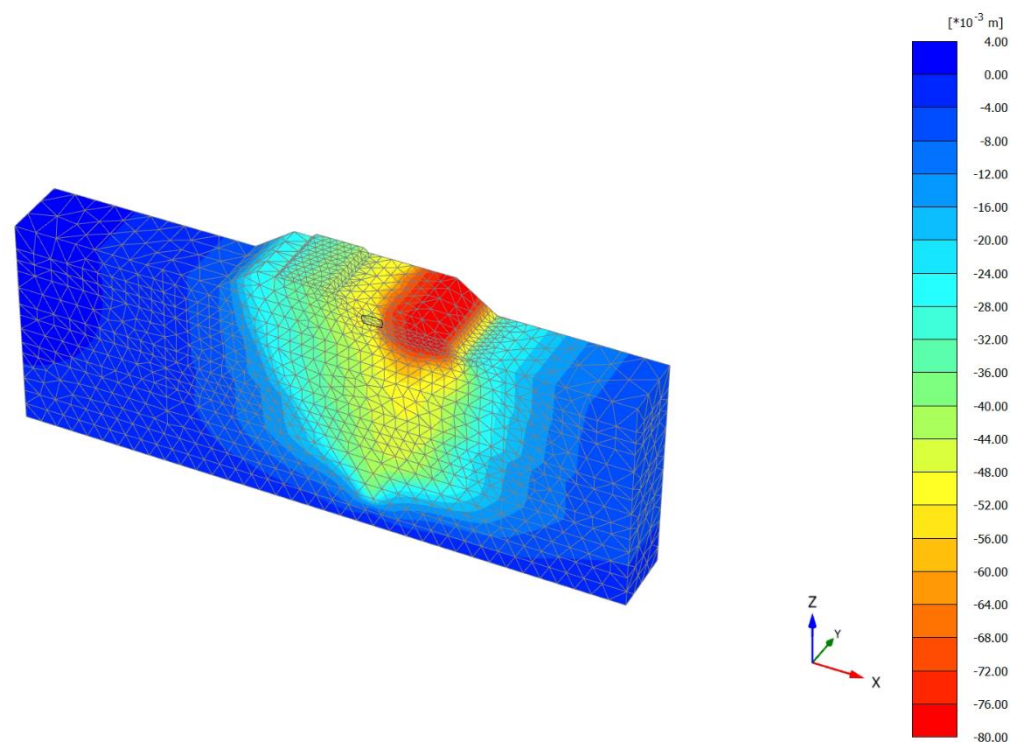
Maximum value = $2.387 \cdot 10^{-3}$ m (Element 8228 at Node 27468)

Minimum value = -0.04935 m (Element 1229 at Node 51)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+175,00 a pk 28+450,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4600001A</p>	<p>Foglio 107 di 108</p>

Ri46


2.1.1.1.10 Calculation results, cons rilevato [Phase_7] (7/ 179), Total displacements u_z



Total displacements u_z (Time 120.0 day)

Maximum value = $0.8016 \cdot 10^{-3}$ m (Element 11920 at Node 31131)

Minimum value = -0.07897 m (Element 1229 at Node 51)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4600001A	Foglio 108 di 108

ALLEGATO 6 – VERSIONI SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI

- 1) SLIDE ver 7.0
- 2) Plaxis 3D ver 2017 sr no- 2-2354296