

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 30+175,00 a pk 30+409,00

GENERALE

Relazione Geotecnica

GENERAL CONTRACTOR				DIRETTORE LAVORI				SCALA	
IL PROGETTISTA INTEGRATORE		Consorzio		Data:				-	
 MALAVENDA ing. Paolo Carmona		Iricav Due ing. Paolo Carmona							
Data: Dicembre 2021		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	5	4	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	G. Pepe 	Dicembre 2021	V. Pastore 	Dicembre 2021	P. Ascari 	Dicembre 2021	P. Ascari Data: Dicembre 2021

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2RBR15400001A_03.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 2 di 120

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	10
4.1	Indagini disponibili.....	10
4.2	Inquadramento stratigrafico	11
4.3	Livello di falda	13
4.4	Condizioni geotecniche del sito	14
4.5	Sintesi del modello geotecnico di riferimento	22
4.6	Materiale da rilevato.....	23
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	24
5.1	Sollecitazione sismica di progetto.....	24
5.1.1	Vita Nominale.....	24
5.1.2	Classe d'uso	24
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	25
5.1.4	Categorie di Sottosuolo.....	25
5.1.5	Condizioni topografiche	25
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento	25
5.2	Suscettibilità alla liquefazione.....	26
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT	27
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT.....	29
5.3	Commento ai risultati	32
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO FERROVIARIO	35
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite.....	35
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU).....	35
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE)	37
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche	37
6.2	Azioni di progetto	38

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 3 di 120

6.2.1	Azioni permanenti	38
6.2.2	Azioni variabili	38
6.2.3	Azione sismica	38
6.3	Verifiche e risultati SLU	39
6.3.1	Premessa	39
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche	40
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche	41
6.4	Verifica e risultati SLE	42
6.4.1	Premessa e descrizione concettuale della soluzione	42
6.4.2	Metodologia di calcolo	42
6.4.3	Schematizzazione e risultati	44
7	RESISTENZA DEI PALI SOGGETTI A CARICHI ASSIALI	53
7.1	Analisi agli stati limite	53
7.2	Metodologia di calcolo	55
7.2.1	Portata laterale	55
7.2.2	Portata di base	56
7.3	Stratigrafia di calcolo	58
7.4	Risultati	58
8	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	63
Allegati		64
ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO		65
ALLEGATO 2 – indagini geognostiche		67
ALLEGATO 3 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA		73
ALLEGATO 4 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICA		83
ALLEGATO 5 – TABULATI DI PLAXIS		94

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 4 di 120

1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI54, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende tra il km 30+175,00 e il km 30+409,00.

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);
- curve di resistenza dei pali (capitolo 7);
- conclusioni e raccomandazioni (capitolo 8).

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 5 di 120

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni trasversali 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
- [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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 6 di 120

[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.
- [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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 7 di 120

- [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 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 8 di 120

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

3.1 Premessa

Il rilevato ferroviario in esame si estende tra il km 30+175,00 e il km 30+409,00, per una lunghezza totale di circa 230 m. In particolare, per tutta la sua estensione, il rilevato risulta in affiancamento alla linea storica. Per la tratta in esame non si evidenziano altre interferenze con opere principali adiacenti e/o attraversate.

3.2 Geometria del rilevato

Il nuovo rilevato sarà costruito in affiancamento a quello della linea storica ed avrà un'ampiezza massima di poco superiore a 11 m ed un'altezza massima di circa 6.7m. Per limitare l'area d'ingombro, il rilevato sarà provvisto di un muro di sostegno, con fondazioni profonde (2 file di pali $\Phi 1000$ ad interasse di 3.0 m). La costruzione del muro in condizioni di esercizio della linea storica sarà resa possibile dalla realizzazione di un'opera di sostegno provvisoria, costituita da una paratia di micropali tirantata posizionata lungo la scarpata del rilevato esistente.

La geometria del rilevato è illustrata nella figura che segue.

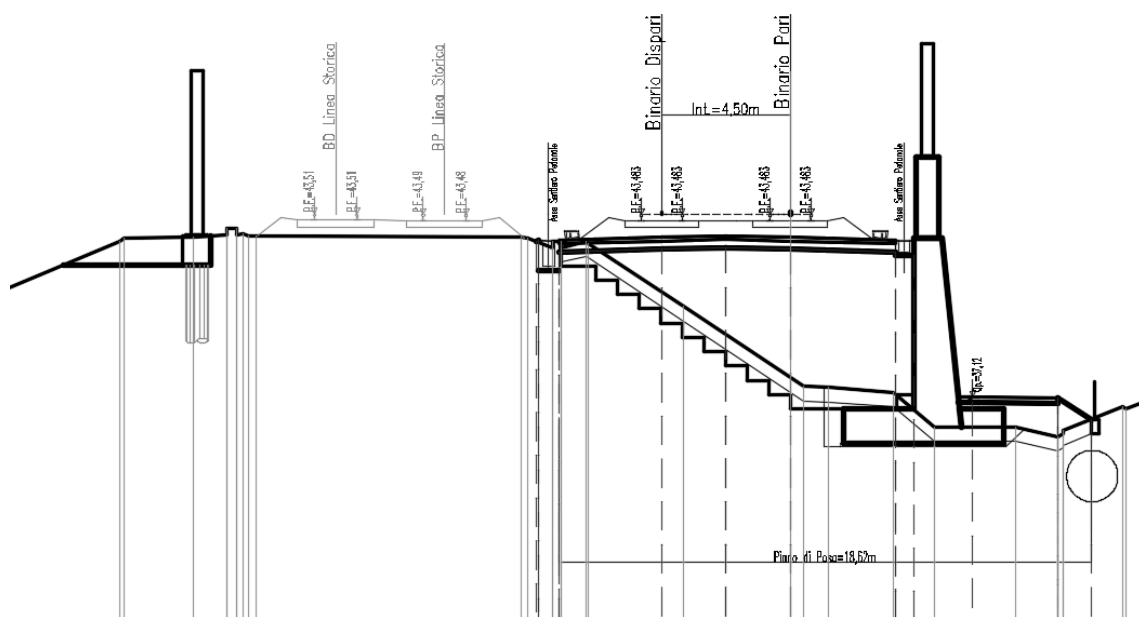


Figura 1 – Sezione di riferimento (pk 30+300,00) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5400001A</p>	<p>Foglio 9 di 120</p>

3.3 Descrizione degli interventi

Per limitare i cedimenti, lungo tutta la tratta è necessario prevedere una fila di inclusioni rigide $\Phi 800$ ad interasse pari a 2.5 m, a tergo del muro e dell'opera provvisoria. Le inclusioni saranno costituite da elementi colonnari in calcestruzzo posizionati lungo la scarpata del rilevato esistente ed aventi lunghezza pari a circa 27 m, o comunque tale da garantire un immersionamento di almeno 2 m nello strato ghiaioso.

Tale immersionamento è ritenuto necessario per garantire un'efficace riduzione dei cedimenti sulla Linea Storica,. Un mancato – o uno scarso – immersionamento delle inclusioni rigide avrebbe come conseguenza una loro rigidità inferiore a quella attesa, con inevitabile incremento dei cedimenti indotti.

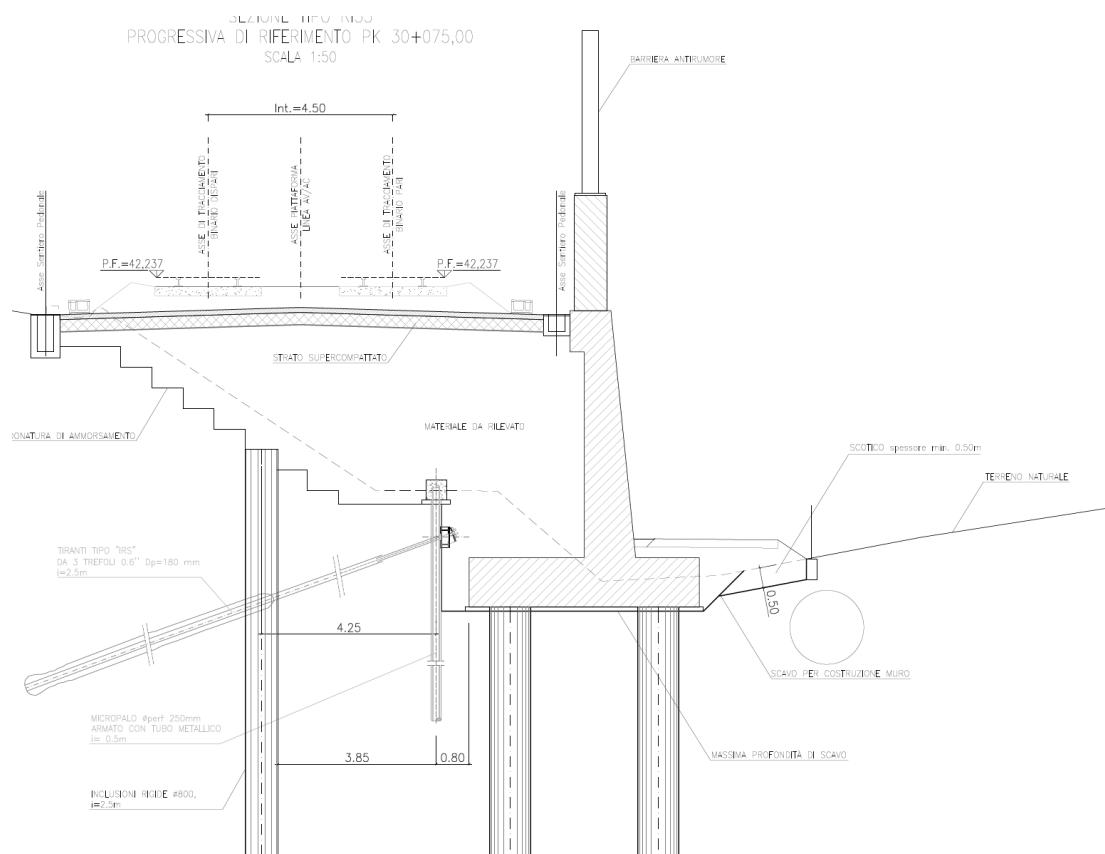


Figura 2 – Schema in sezione degli interventi

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 10 di 120

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1 Indagini disponibili

L'ubicazione delle indagini disponibili relative all'opera esaminata è illustrata nella Figura 3, 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. Nel seguente paragrafo si riporta la caratterizzazione geotecnica, ottenuta basandosi sui risultati delle indagini 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 30+175,00 e pk30+409

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
30+125	CPTU81-81BIS	2014/2015
30+225	CPTU82	2014/2015
30+175	SPC43	2014/2015

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 11 di 120

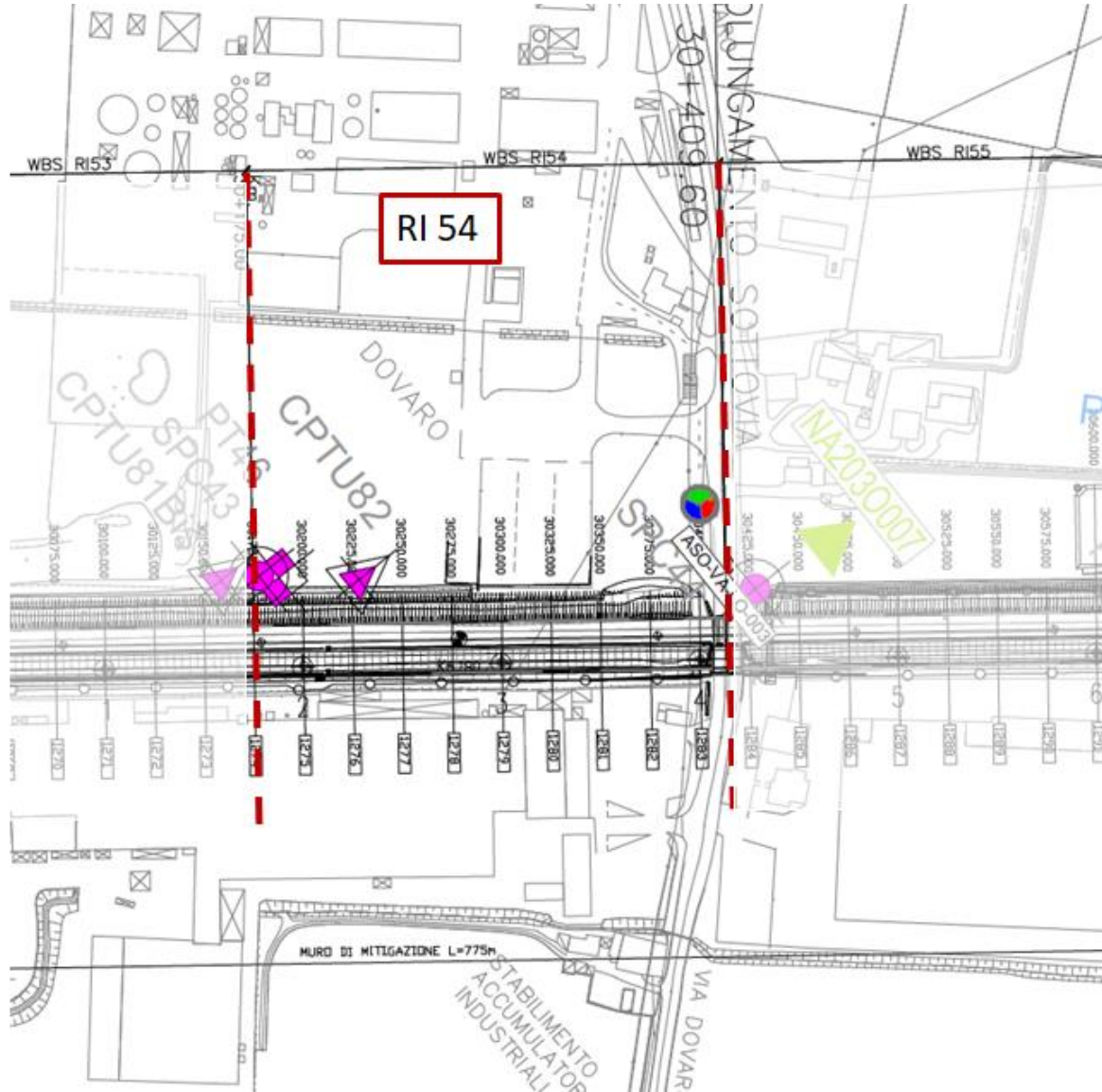


Figura 3 - Planimetria Rilevato RI54, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

4.2 Inquadramento stratigrafico

L'area in esame è caratterizzata dalla presenza di uno strato superficiale di limi argillosi (Unità 3b) da sovraconsolidati a debolmente sovraconsolidati, avente spessore di circa 23 m, interrotte solo da una lente di sabbia di spessore 1.0m (Unità 4) ubicata a circa 12 m di profondità dal piano campagna attuale. Al di sotto dello strato di limi argillosi, tutte le indagini disponibili nell'area indicano la presenza di una unità di ghiaie (Unità 6) mediamente addensate che si estendono almeno fino a circa 28 m da p.c. Al di sotto delle ghiaie sono generalmente presenti depositi argillosi consistenti (Unità 2), come mostrato nella Tabella 2.

Per una trattazione di dettaglio delle unità sopra citate si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale del tratto in

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 12 di 120

esame (Doc. Rif. [2]).

Nella Figura 4 si riporta il profilo geotecnico specifico per il rilevato RI50 estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 7 di 11 (Doc. Rif. [3]).

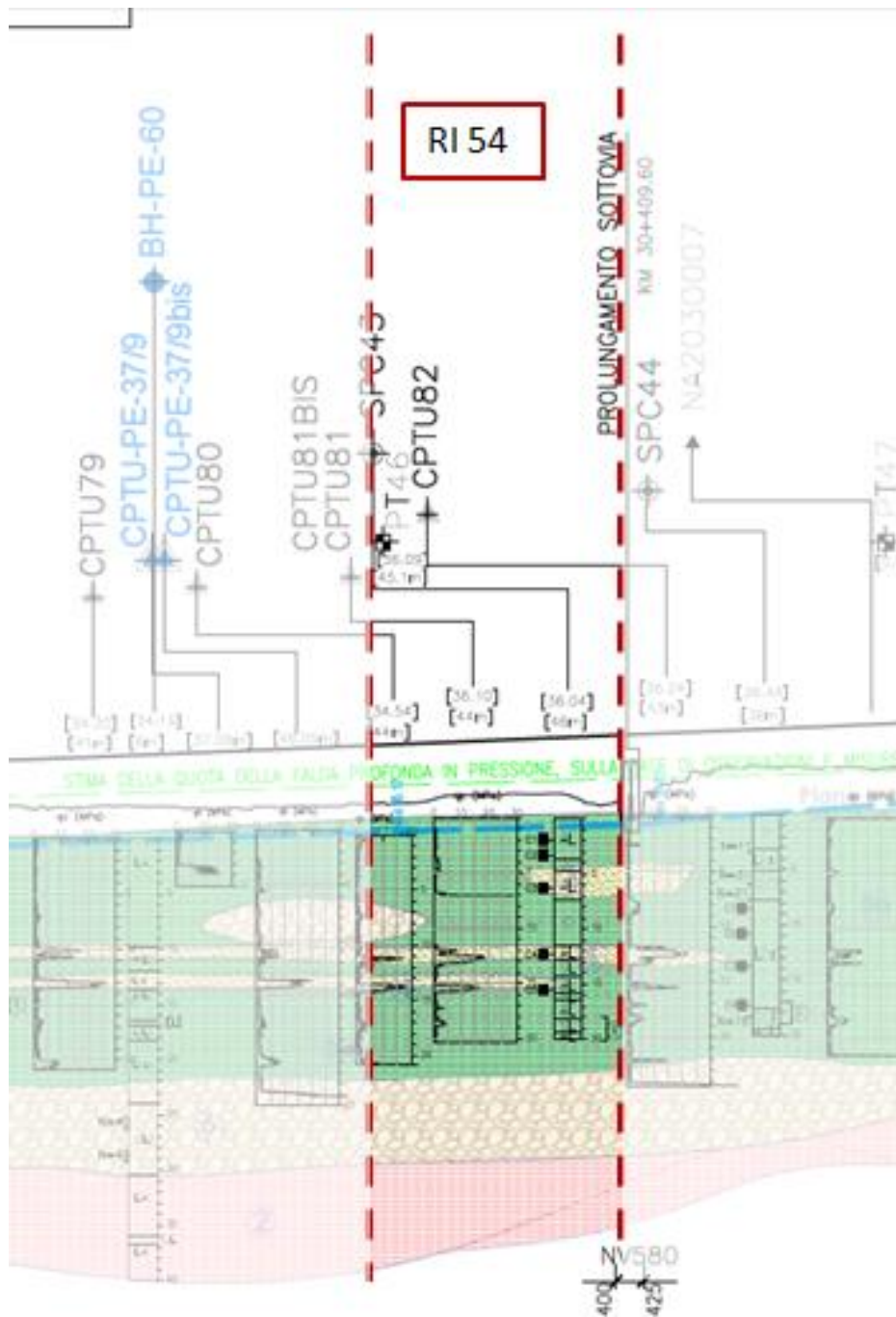


Figura 4 - Profilo Geotecnico Rilevato RI54, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 13 di 120

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. Rif. [6]). Quest'ultimi indicano una sostanziale stabilità nelle escursioni stagionali.

Ai fini progettuali si assume una falda di progetto coincidente con p.c.

Sulla base delle osservazioni di campagna, nelle ghiaie di base è presente una falda che può presentare una prevalenza dell'ordine di 1.5÷2.5 m rispetto al p.c. Di tale eventualità si dovrà tenere conto nella realizzazione dei pali e delle inclusioni rigide che richiedono un immorsamento in tale strato.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 14 di 120

4.4 Condizioni geotecniche del sito

La Figura 5 riporta i risultati due prove CPT condotte nell'area in esame.

Come definito dalla sezione stratigrafica, il tratto in oggetto è caratterizzato da una coltre superficiale spessa circa 23 m costituita in prevalenza da limi sabbiosi-argillosi (Unità 3b) intercalati da depositi più francamente sabbiosi (unità 4). A circa 23 m di profondità sia i sondaggi, sia le CPTu che raggiungono valori di rifiuto mostrano la presenza di ghiaie (Unità 6); al di sotto di queste i sondaggi più profondi hanno evidenziato la presenza di un banco di limi argillosi compatti (Unità 2).

Per la definizione della resistenza al taglio non drenata dell'unità 3b si è fatto riferimento all'interpretazione delle prove penetrometriche indicate nella Tabella 1, oltre che delle prove di laboratorio e delle prove pocket penetrometer. I risultati sono riportati in Figura 9. L'interpretazione delle prove penetrometriche conduce a stimare valori di c_u compatibili con quelli deducibili dalle prove di laboratorio, comunque più affidabili nella stima. Si possono sintetizzare i risultati assegnando nei primi 3 metri di profondità una resistenza al taglio non drenata non inferiore a 70 kPa. Al crescere della profondità il valore caratteristico della resistenza al taglio non drenata è compreso nell'intervallo $c_u = 40\div 55$ kPa. Per i terreni dell'unità 3b ancora più profondi è invece individuabile un valore caratteristico più elevato e compreso nell'intervallo $c_u = 55\div 70$ kPa, crescente con la profondità. I picchi di resistenza nel banco di sabbie sono determinati da locali intercalazioni sabbiose: questi picchi si riflettono nel grafico di Figura 9 come picchi di resistenza non drenata, ma proprio per le ragioni appena esposte non sono stati considerati nella caratterizzazione del materiale.

Per l'unità 2, rilevata a circa 28 m da p.c., si assume invece un valore di c_u sempre superiore a 120 kPa.

Per quanto concerne i livelli di Unità 4, sulla base dei valori di resistenza alla punta q_c , con picchi dell'ordine dei 10/15 MPa, si possono stimare valori di densità relative dell'ordine del 50-60%, ai quali sono associabili valori dell'angolo di resistenza al taglio dell'ordine dei 38°.

Il profilo di V_s 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 V_s , 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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 15 di 120

in profondità, dove le deformazioni attese sono minori.

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 qc nell'area di stretta pertinenza della WBS in questione. (Figura 5)
- granulometrie su campioni indisturbati e rimaneggiati nell'area di interesse (Figura 6)
- Limiti di Atterberg e contenuto d'acqua dei campioni indisturbati (Figura 7)
- Peso di volume dei campioni indisturbati. (Figura 8)
- Resistenza al taglio non drenata nei depositi di unità 3b (v. Figura 9);
- Velocità delle onde di taglio stimata da prove in sito (v. Figura 10);
- Modulo di taglio alle piccole deformazioni valutati a partire dai valori stimati di Vs (v. Figura 11).

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.

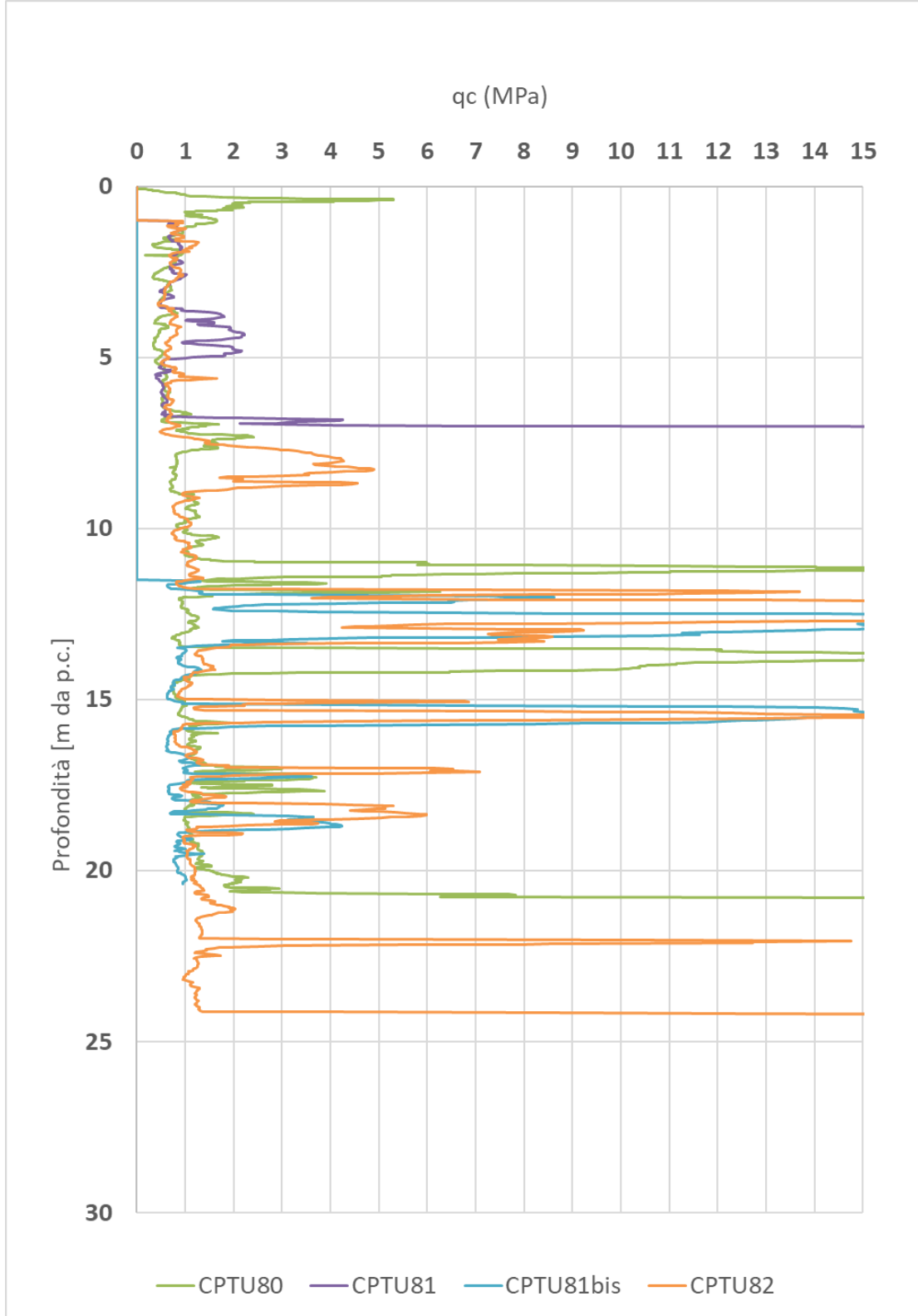


Figura 5 – Prove CPTU nell'area dell'RI54

<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 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5400001A</p>	<p>Foglio 17 di 120</p>

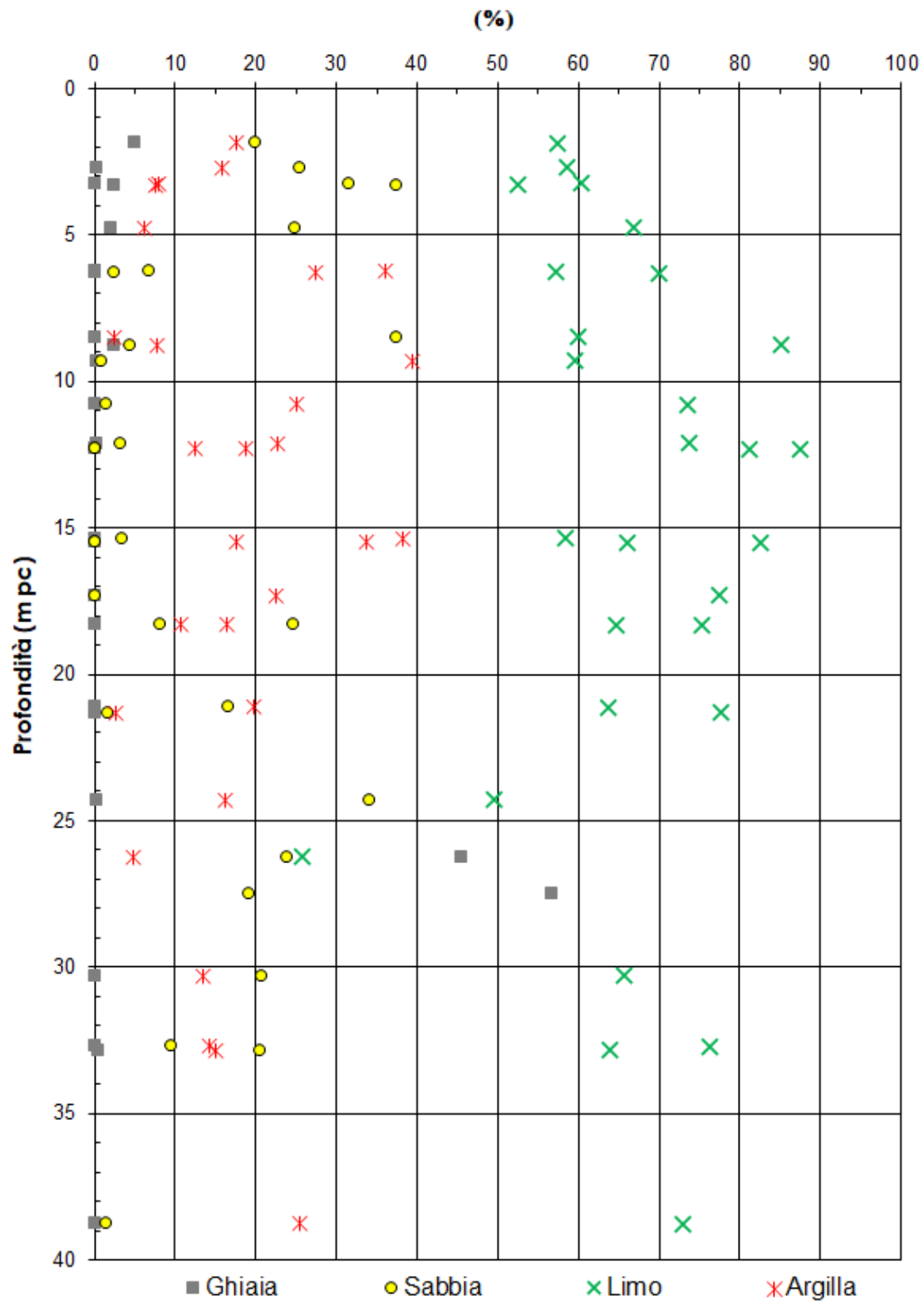


Figura 6 – Granulometrie dei materiali nell’area di interesse.

GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA		
				
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A
				Foglio 18 di 120

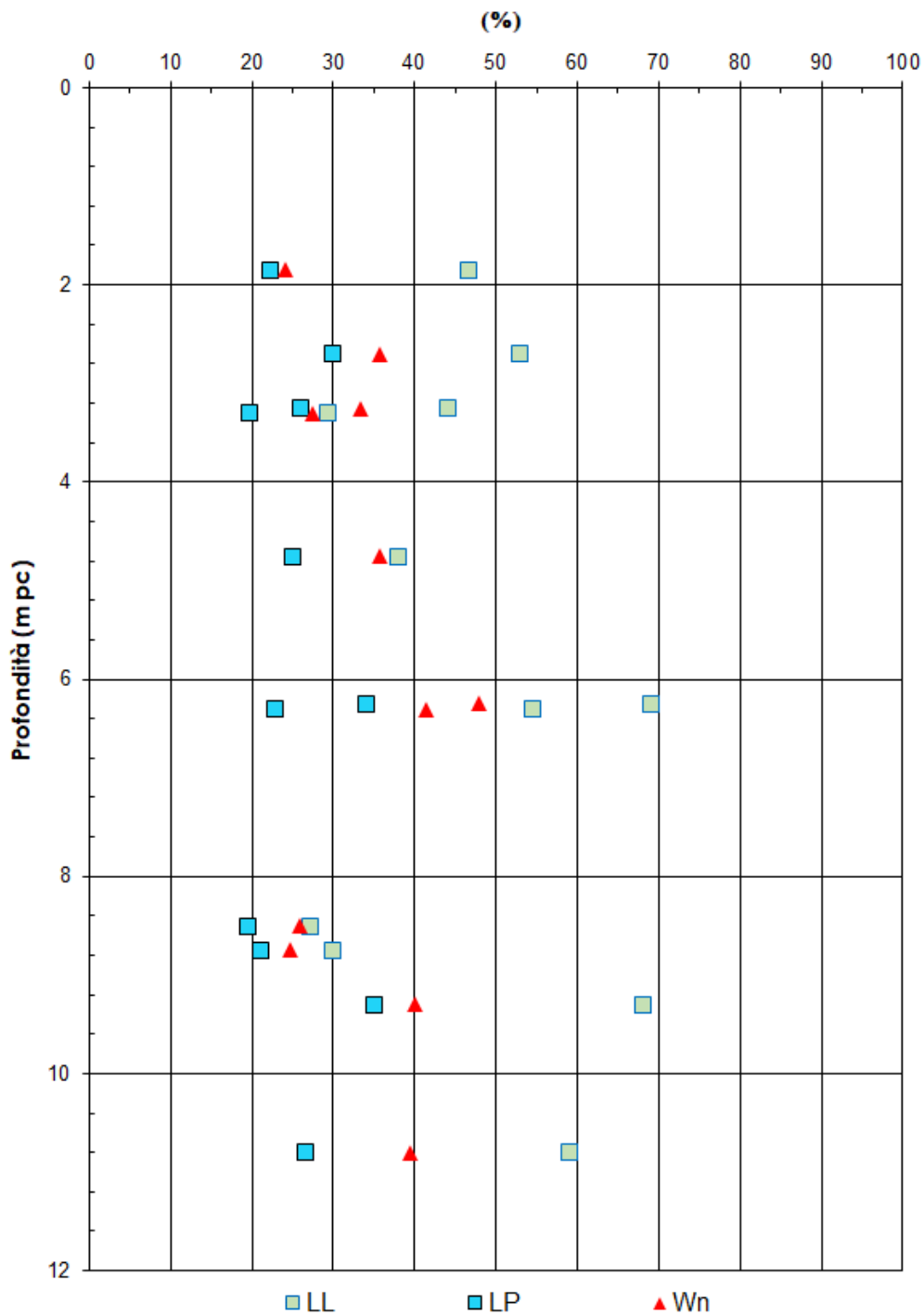


Figura 7 – Limiti di Atterberg e contenuto d'acqua naturale dei campioni a grana fine nell'area di interesse.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 19 di 120

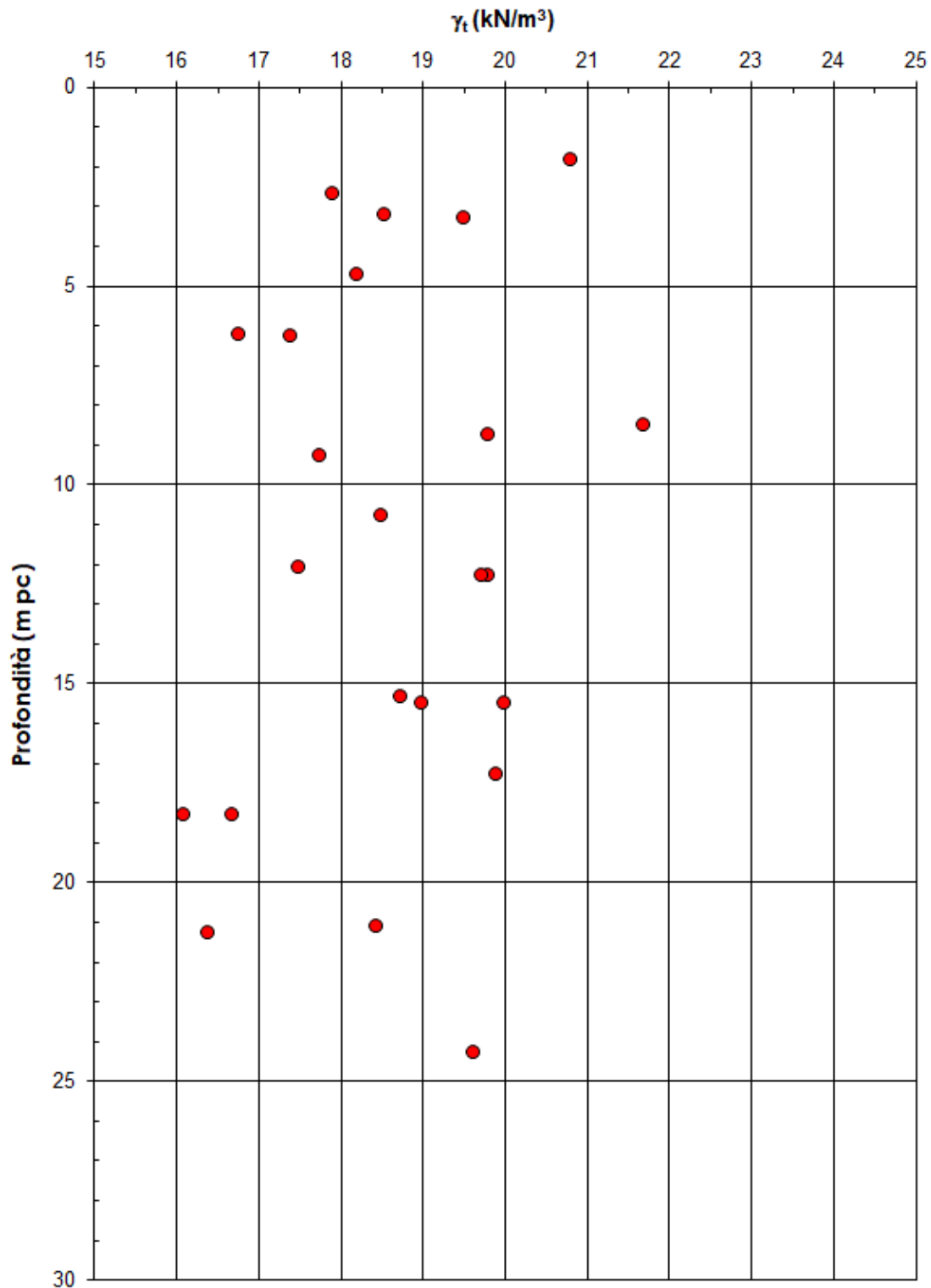


Figura 8 – Peso di volume dei campioni a grana fine nell'area di interesse.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 20 di 120

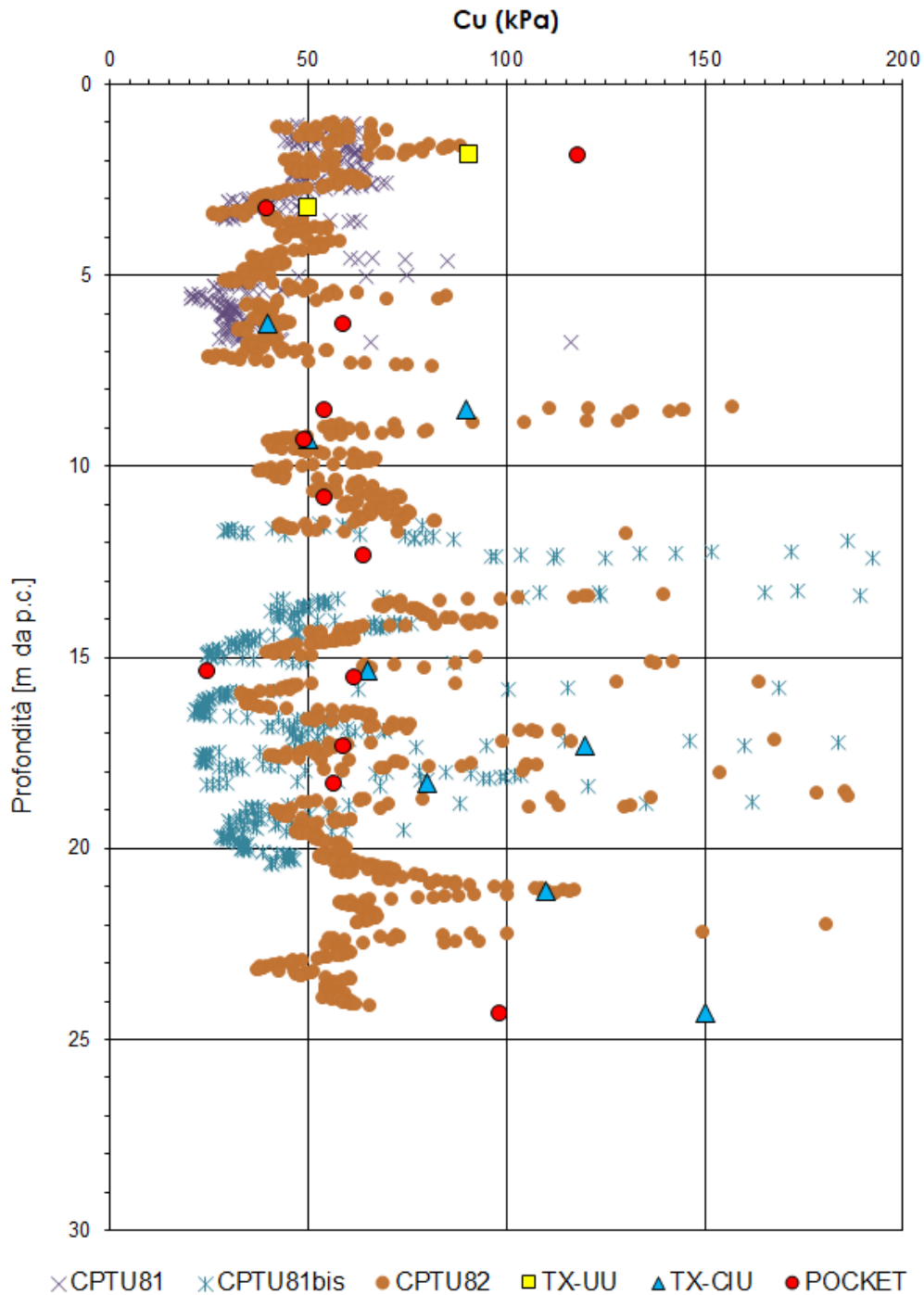


Figura 9 – Resistenza al taglio non drenata da prove CPTU disponibili da pk 30+175,00 a pk 30+409,00

GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA		
				
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A
				Foglio 21 di 120

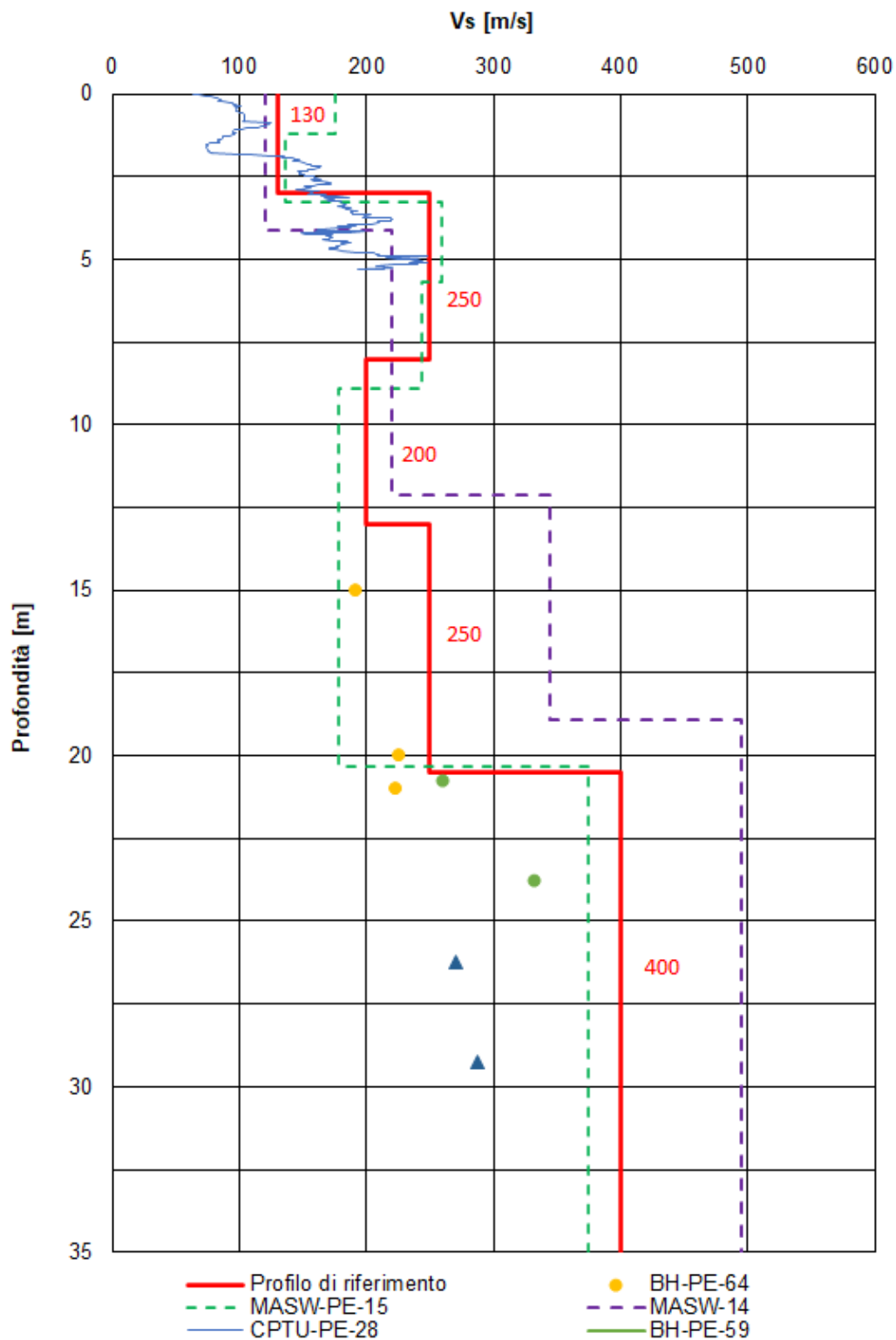


Figura 10 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW nell'intorno di interesse

GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA		
				
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A
				Foglio 22 di 120

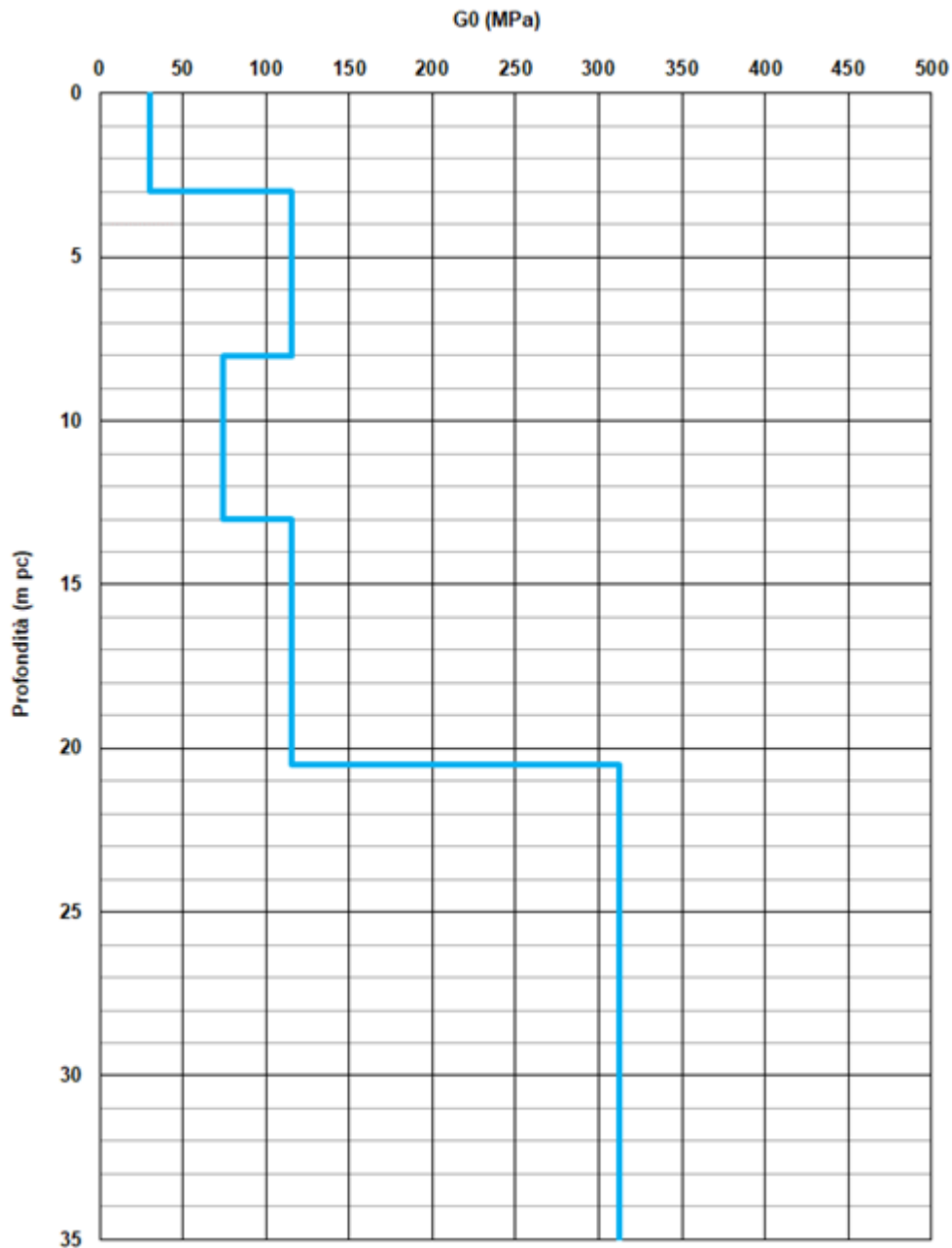


Figura 11 – Modulo di taglio G0 da pk 29+975,00 a pk 30+175,00

4.5 Sintesi del modello geotecnico di riferimento

Sulla base di quanto riportato nella relazione geotecnica generale della tratta (Doc. Rif.[2]), il modello geotecnico considerato per le verifiche del rilevato in questione è riportato in Tabella 2.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 23 di 120

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
3b	0	3	18.5	-	0	70	0.015	0.16	1	240	-
3b	3	12	18.5	-	0	40-55	0.015	0.16	1	200	-
4	12	13	18.5	36	0		-	-	-	-	35
3b	13	23	18.5	-	0	55-70	0.015	0.16	1	220-250	-
6	23	28	19	39	0		-	-	-	-	100
2 - 6	>28	INF	19	-	0	>120	0.015	0.16	1		150

* quota piano campagna = 37.0 s.l.m.

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 24 di 120

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 25 di 120

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 alla 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 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 $i > 30^\circ$.*

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 26 di 120

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 espone 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 (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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 27 di 120

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 $M=7.5$.

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 28 di 120

basata sui risultati di prove CPT è piuttosto ben consolidata e diffusa e viene qui utilizzata ai fini di una analisi del potenziale di liquefazione, considerando i dati di prove in sito disponibili allo stato attuale delle conoscenze.

Il procedimento utilizzato per la stima di CRR a partire dai risultati di prove CPT si basa sulla relazione riportata in Figura 12: la curva in figura si riferisce alla resistenza penetrometrica normalizzata q_{c1N} per le sabbie pulite che può essere espressa come segue (Robertson & Wride, 1998, come riportato da Youd et al., 2001):

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

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

In Figura 12, la resistenza alla punta q_c è normalizzata rispetto al valore di pressione atmosferica ($p_a = 100$ kPa) e corretta (q_{c1N}) mediante la seguente relazione:

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

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

GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA		
				
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A
				Foglio 29 di 120

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 $I_c \leq 1.64$ $K_c = 1.0$

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

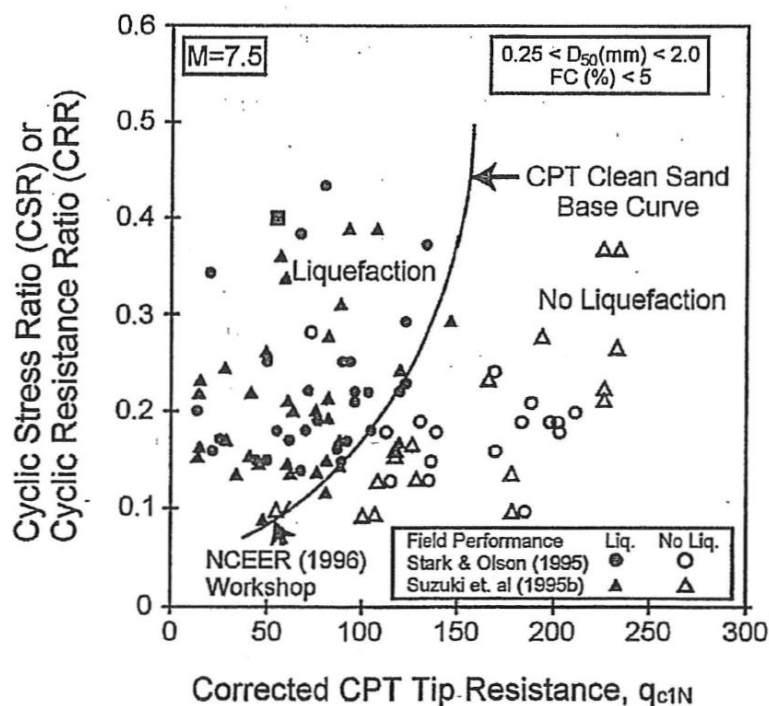


Figura 12 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

5.2.2 CRR da correlazione su prove SPT

Il procedimento utilizzato per la stima di CRR a partire dai risultati di prove SPT si basa sulla relazione riportata in Figura 13, originariamente proposta da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), e successivamente confermata da Youd et al. (2001).

In Figura 13, i risultati delle prove SPT sono espressi in termini di numero di colpi corretti $N_{1(60)}$, ossia i valori sono normalizzati per una pressione verticale efficace pari a 100 kPa e corretti per un valore standard di energia trasmessa (60% del valore nominale) come segue:

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 30 di 120

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):

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

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

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

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

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

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

Sempre in Figura 13, viene riportato il valore di CSR calcolato ed i corrispondenti valori di $N_{1(60)}$ da siti in cui sono stati osservati o meno gli effetti della liquefazione per eventi simili avvenuti in passato, con Magnitudo pari $M = 7.5$. Le corrispondenti curve CRR sono state determinate all'interno del grafico in modo da separare chiaramente i dati corrispondenti all'avvenuta liquefazione da quelli per i quali non è stato osservato il fenomeno in esame.

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

Si può osservare dalla Figura 13 come curve diverse siano state sviluppate per terreni aventi diverso contenuto di fini, a partire dalla curva di riferimento corrispondente alla sabbia pulita ($FC < 5\%$).

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 31 di 120

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:

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

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

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

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

$$\beta = [0.99 + (FC1.5/1000)] \text{ per } 5\% < FC < 35\%$$

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

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

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

dove:

σ'_{v0} = tensione verticale efficace

p_a = pressione atmosferica di riferimento

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

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

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

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

Quando possibile, il contenuto di fini è stato determinato sulla base dei risultati delle rispettive granulometrie ottenute da laboratorio per ogni prova SPT. 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):

GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA		
				
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A
				Foglio 32 di 120

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

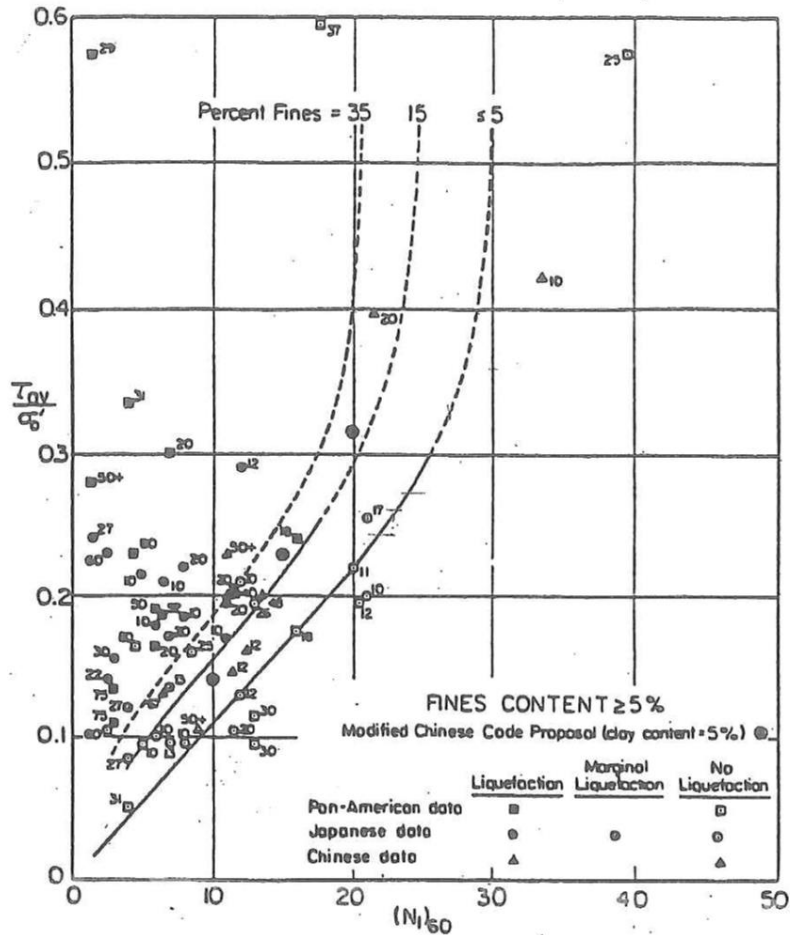


Figura 13 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

5.3 Commento ai risultati

I risultati dell'analisi, riportati in Figura 14 e Figura 15, mostrano l'apparente possibilità di fenomeni di mobilità ciclica nei primi 7-8 m circa di profondità, ove la prova CPTU esaminata indica valori di r_u prossimi all'unità..

Va osservato come il coefficiente I_c in questo strato sia collocato poco al di sopra del limite tra terreni granulari e coesivi (2.6), indicando una situazione nella quale una valutazione rigidamente basata sul criterio generale di interpretazione descritto in precedenza potrebbe risultare fuorviante.

Nel complesso, anche sulla base della caratterizzazione stratigrafica e dei risultati delle prove di laboratorio, nonché dall'esame delle cassette, che vedono la prevalenza di materiali fini coesivi, si ritiene che il terreno in questo intervallo

Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI5400001A	33 di 120

di profondità (0.0 – 8.0 m circa) non sia di fatto suscettibile a fenomeni di liquefazione.

Si può quindi concludere che, ai fini della stabilità del rilevato, il tratto interessato dall'opera possa esser considerato come sostanzialmente stabile rispetto al fenomeno della liquefazione.

Si ritiene infine che la presenza delle inclusioni rigide e dei pali di fondazione del muro, che modificano sostanzialmente la distribuzione degli sforzi di taglio nel terreno durante l'evento sismico assorbendone una buona parte, costituisca una ulteriore garanzia nei confronti della stabilità del sedime e della efficienza dell'opera

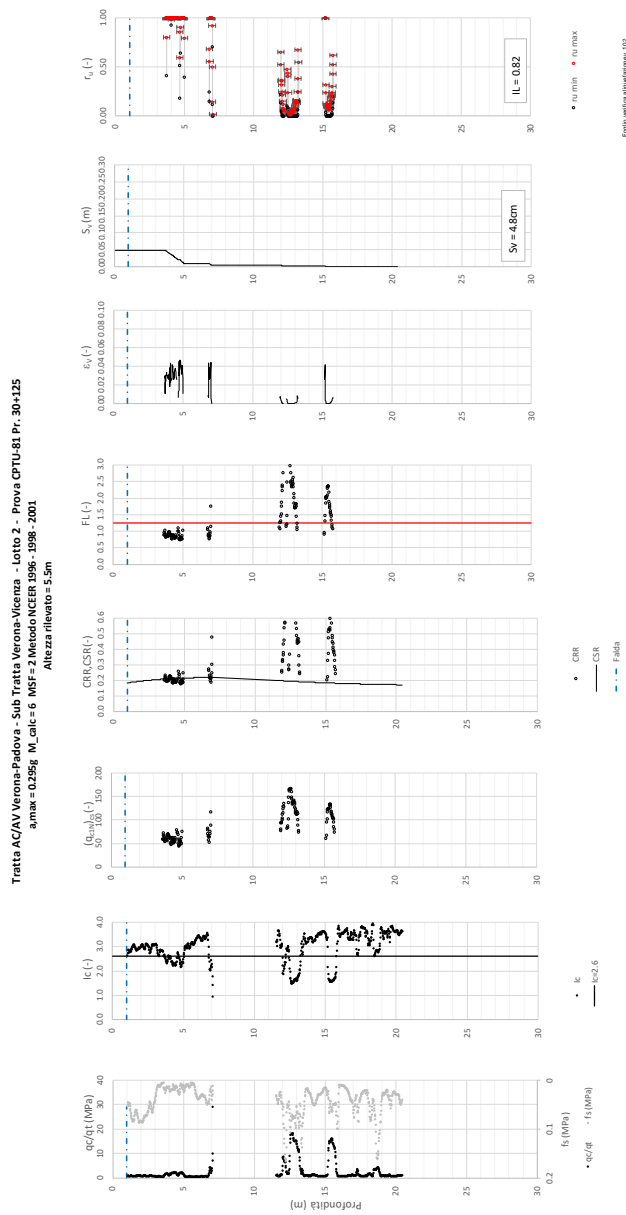


Figura 14 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-81



Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI5400001A	34 di 120

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-82 Pr. 30+225
 $a_{max} = 0.295g$, $M_{calc} = 6$, $MSF = 2$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
 Altezza rilevato = 5,5m

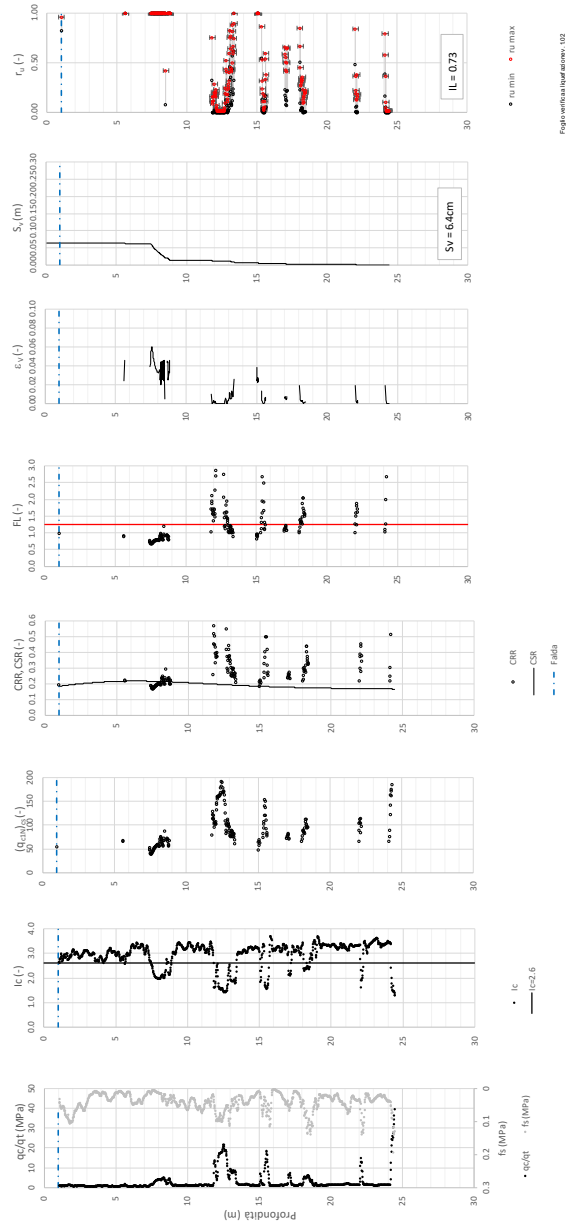


Figura 15 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-82

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 35 di 120

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, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche (Par. 6.2.3.1 del Doc. Rif. [14]).

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

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

dove:

E_d valore di progetto dell'effetto dell'azione;

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

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

Le verifiche vengono condotte con analisi statiche o pseudostatiche e, in accordo al MdP (Doc. rif. [19]), il coefficiente di incremento dinamico delle azioni derivanti dal passaggio del treno è assunto pari all'unità.

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 36 di 120

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

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 $R = R \left[\gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_m}; a_d \right]$.

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	γ_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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 37 di 120

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

6.1.2 Stati limite di esercizio (SLE)

Deve essere verificato, mediante analisi effettuate impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali (Par. 6.5.3.2 del Doc. Rif. [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 sghembo (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 LS.

6.1.3 Verifiche in condizioni 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]).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 38 di 120

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.

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])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 39 di 120

	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.

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.

La resistenza al taglio caratteristica delle inclusioni rigide e dei pali è stata posta pari a $\tau = 0.21 \cdot x_{f_{otk}}$, considerandole quindi non armate, e applicando alla resistenza caratteristica del calcestruzzo un fattore di riduzione di 1.5.

Le resistenze al taglio dei pali di progetto implementate nell'analisi valgono pertanto

- Per le inclusioni
Td = 127 kN
- Per i pali di fondazione dei muri
Td = 198 kN

Si segnala che nella schematizzazione di calcolo è stata minimizzata la resistenza al taglio dei pali di fondazione del muro, limitandola a quella offerta unicamente dal calcestruzzo, trascurando il contributo delle armature correnti e

GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA		
				
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A
				Foglio 40 di 120

della spirale. Pertanto, le verifiche sono da considerare come del tutto cautelative.

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 non interessano la sede ferroviaria.

In Figura 16, sono riportate le superfici di rottura critiche. Il valore minimo di FS è pari a:

$$FS_{\text{MIN}} (DA1C2) = 1.18 > R2 = 1.1$$

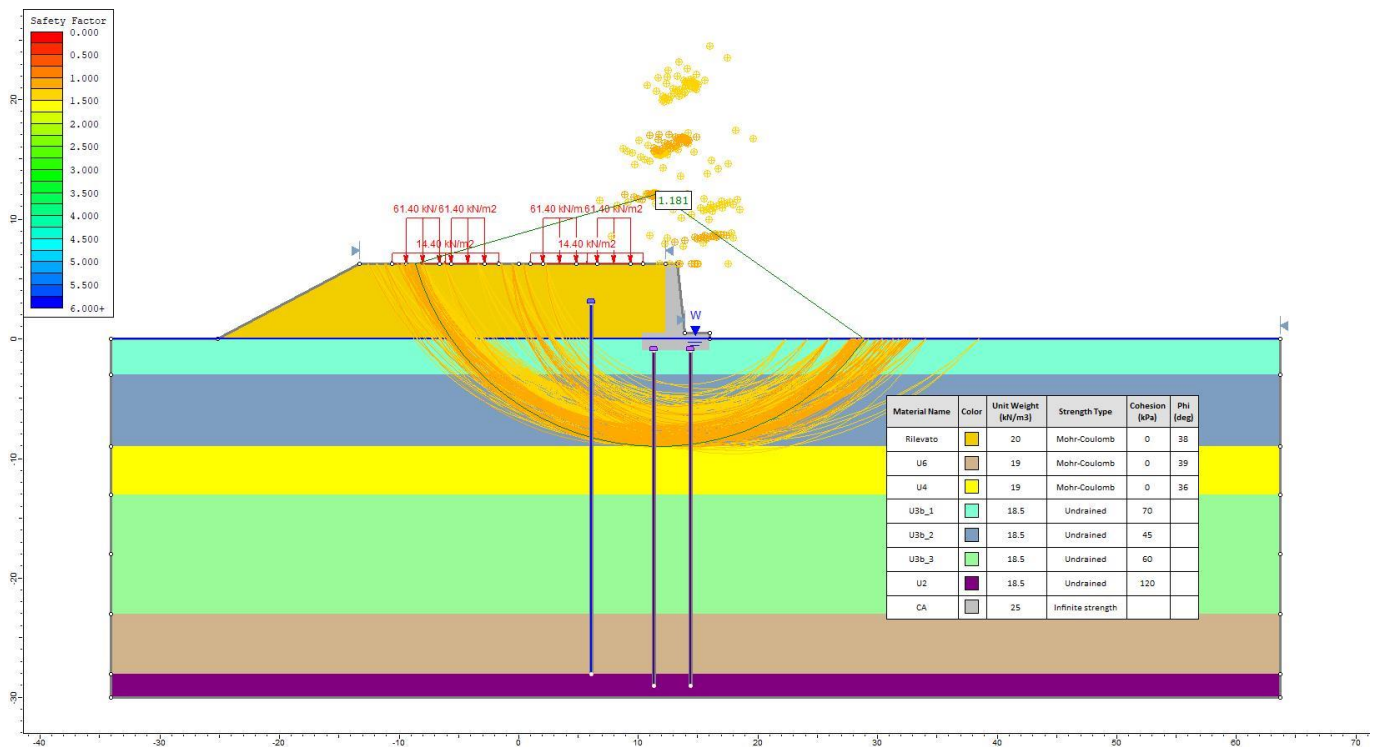


Figura 16 – Rilevato Ri54 - Analisi SLU in campo statico DA1C2

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA			
					
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 41 di 120

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:

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

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

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

$$FS_{MIN} = 1.15 > R_2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.

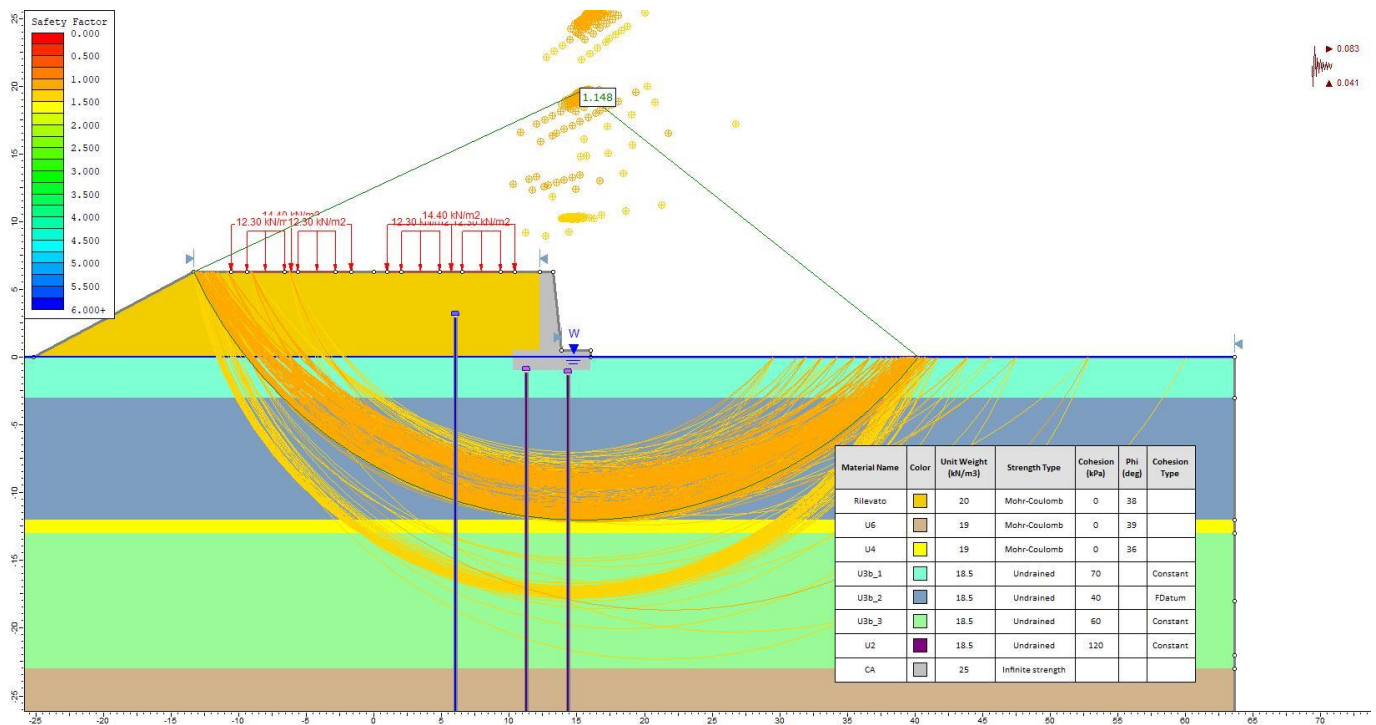


Figura 17 – Rilevato Ri54 - Analisi SLU in campo sismico

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 42 di 120

6.4 Verifica e risultati SLE

6.4.1 Premessa e descrizione concettuale della soluzione

La presenza di terreni a grana fine fino ad elevate profondità, aventi caratteristiche di compressibilità medie, causerebbe lo sviluppo di cedimenti non accettabili con particolare riferimento a quelli indotti sulla LS.

Pertanto, al fine di contenere tali cedimenti, si prevede l'installazione di inclusioni rigide in calcestruzzo gettato in opera, aventi diametro 800 mm, disposte lungo un unico allineamento ad intervalli di 2.5 m, secondo lo schema riportato nelle tavole allegate.

Per queste inclusioni, si è considerato necessario un immersione nella ghiaia, al fine di contenere i cedimenti assoluti e differenziali nei limiti prescritti. La realizzazione di inclusioni rigide immerse in ghiaia e, più in generale, di tutti gli elementi colonnari, inclusi i pali di fondazione dei muri, richiederà particolare cautela, data la presenza di una falda in pressione all'interno delle ghiaie stesse.

Considerata la preminente funzione delle colonne a sopportare carichi verticali (riduzione dei cedimenti), e sulla base delle verifiche SLU, non si ritiene necessario procedere ad una armatura delle inclusioni rigide.

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 ricarica 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:

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

GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA			
					
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica		Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
		IN17	12	EI2RBRI5400001A	43 di 120

$$E_{ur}^{ref} \approx \frac{2p^{ref}}{\kappa^*}$$

$$\kappa^* = \frac{\kappa}{(1 + e_0)}$$

scarico-ricarico,

dove:

- λ indice di compressione in fase di primo carico;
- k 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:

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

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

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_1^p 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.

GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA		
				
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A
				Foglio 44 di 120

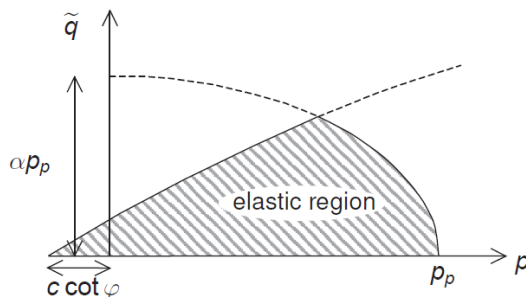


Figura 18 – Superficie di snervamento del modello Hardening Soil nel piano $q-p'$

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) 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.

Le inclusioni rigide ed i pali di fondazione del muro sono stati modellati per mezzo di elementi strutturali di tipo *embedded beam*, a comportamento elastico-lineare e con rigidezza pari a quella del calcestruzzo; sono stati considerati *wished-in-place*. I pali di fondazione avranno un diametro di 1000mm, interasse pari a 3.0 m e la loro lunghezza consentirà un sufficiente approfondimento negli strati caratterizzati da resistenze alla punta maggiori (si rimanda alla relazione di calcolo dedicata per maggiori informazioni). Le inclusioni rigide avranno diametro di 800mm e interasse 2.5 m. In entrambi i casi, gli elementi sono dotati di componenti d'interfaccia integrate, che definiscono l'interazione tra terreno e struttura sulla base delle tensioni massime sviluppabili lungo il fusto ed alla base delle inclusioni, definite secondo la metodologia discussa nel capitolo 7.

Per l'analisi delle deformazioni durante le fasi di scavo e realizzazione del muro di sostegno, si faccia riferimento alla relazione di calcolo delle paratie provvisionali di RI54.

6.4.3 Schematizzazione e risultati

Il modello di calcolo è riportato in Figura 19. La geometria è quella anticipata al punto 3.3, per una descrizione dettagliata si faccia riferimento alle tavole di progetto.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 45 di 120

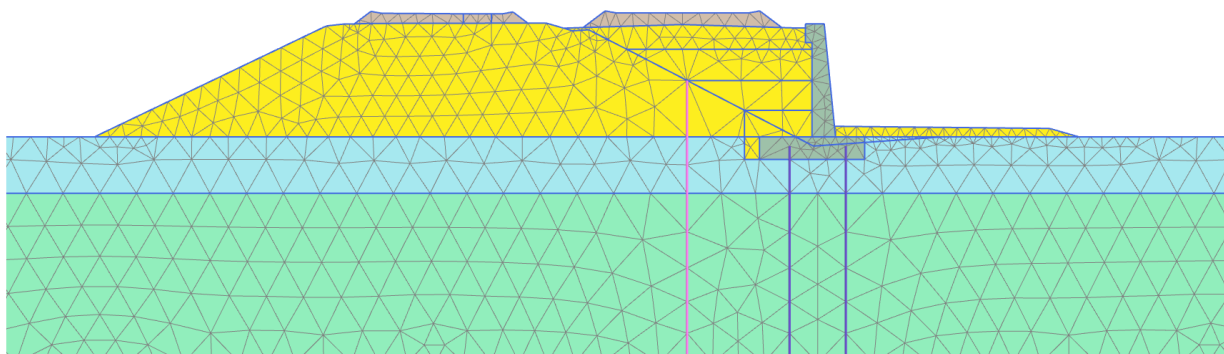


Figura 19 – Ri54: modello agli elementi finiti

L'analisi numerica è stata condotta con riferimento alla sequenza costruttiva prevista per i rilevati ferroviari in presenza di consolidamenti. Le fasi sono illustrate in Figura 20, per tutti i dettagli si rimanda all' ALLEGATO 5.

Più in particolare:

- Fase 1: inizializzazione degli sforzi;
- Fase 2: posa in opera dei pali di fondazione e del muro di sostegno;
- Fase 3: primo step di posa del rilevato AV – durata pari a 40 gg;
- Fase 4: secondo step di posa del rilevato AV – durata pari a 20 gg;
- Fase 5: realizzazione inclusioni rigide – durata pari a 30 gg;
- Fase 6: terzo step di posa del rilevato AV – durata pari a 20 gg;
- Fase 7: quarto step di posa del rilevato AV – durata pari a 40 gg;
- Fase 8: installazione impianti (nessun carico applicato, solo consolidazione) – 60 gg;
- Fase 9: posa in opera del ballast e dell'armamento ferroviario – carico applicato istantaneamente.
- Fase 10: consolidazione

In sintesi, le fasi di posa del materiale da rilevato richiederanno complessivamente 5 mesi

Rispetto al programma lavori, per esigenze di calcolo, i tempi di costruzione del rilevato sono leggermente più compressi. Ciò è da intendersi a favore di sicurezza per quanto riguarda la stima dei cedimenti sul rilevato della linea nuova, in quanto si dà maggior tempo ai cedimenti di svilupparsi nel tempo di esercizio della linea.

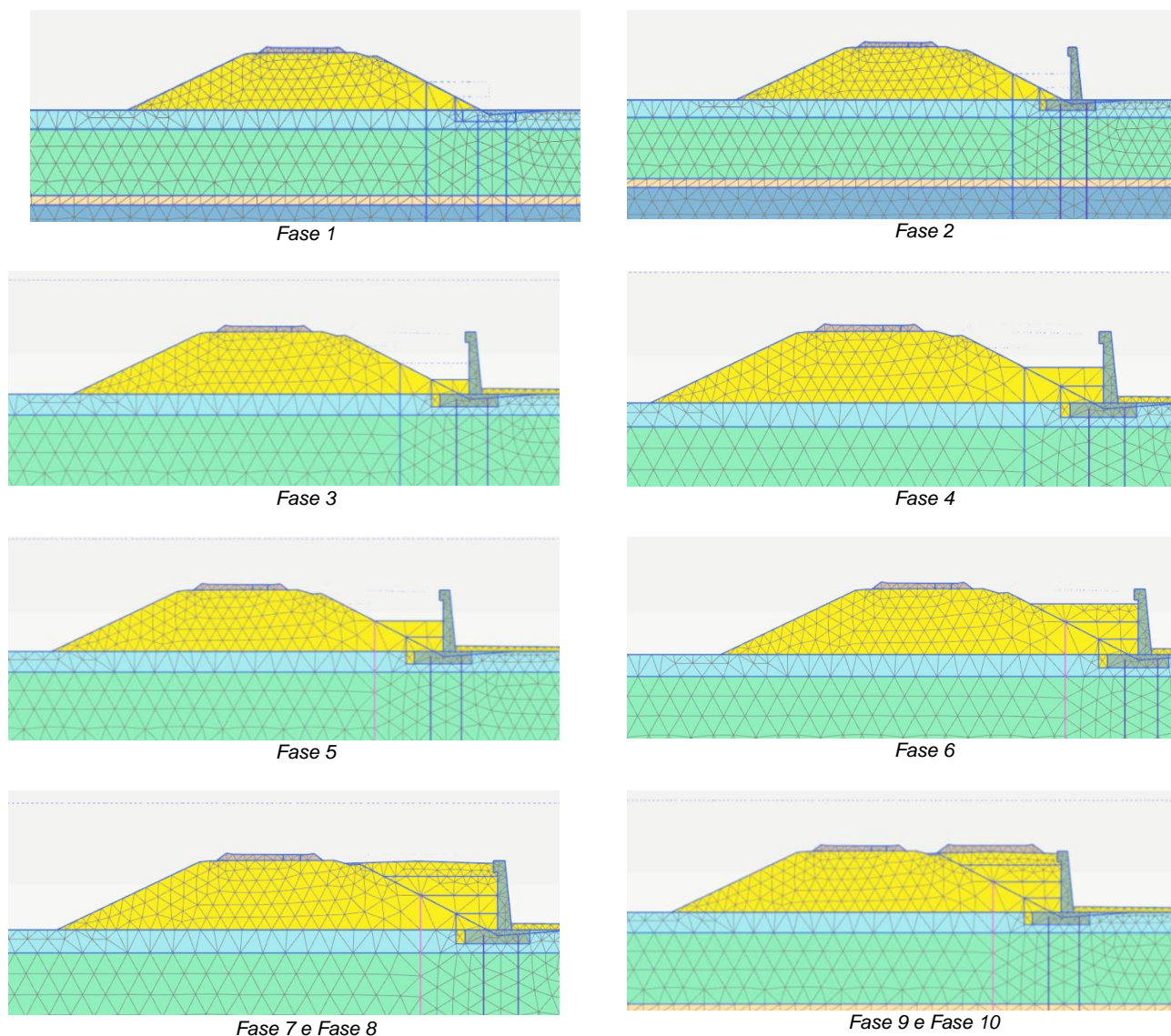


Figura 20 – Ri54: fasi della modellazione a elementi finiti

I risultati dell'analisi sono riportati in Figura 21, Figura 22, Figura 23, Figura 24, Figura 25, Figura 26. In particolare:

- I cedimenti totali del rilevato in progetto, determinati a partire dall'inizio della costruzione dello stesso risultano compresi tra poco più di 3 cm e poco più di 6 cm.
- In corrispondenza dei binari della Linea AV, i cedimenti residui calcolati a far data dal completamento del ballast, che sono di fatto i cedimenti che i binari subiranno effettivamente nel corso della loro vita utile, sono largamente inferiori al limite di 5.0 cm e pari a circa 0.5 cm. Ciò viene evidenziato in Figura 22 e Figura 23, e anche in Figura 26.
- I cedimenti della Linea Storica, mostrati in Figura 24 e Figura 25, sono di poco inferiori a 5 cm; il differenziale calcolato sulle rotaie di uno stesso binario (quello maggiormente interessato dalle attività in programma) è di circa 3÷4 mm.

GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA		
				
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A
				Foglio 47 di 120

I cedimenti risultano essere praticamente contemporanei ai carichi applicati e i processi di consolidazione si esauriscono in tempi molto rapidi.

I valori di cedimento assoluto in fase di esercizio della linea AV in progetto, e di cedimento differenziale tra rotaie della linea storica sono compatibili con i limiti di tolleranza.

Ulteriori considerazioni sui cedimenti e sui criteri di accettabilità sono riportati nelle conclusioni.

La verifica SLE è quindi da considerarsi soddisfatta.

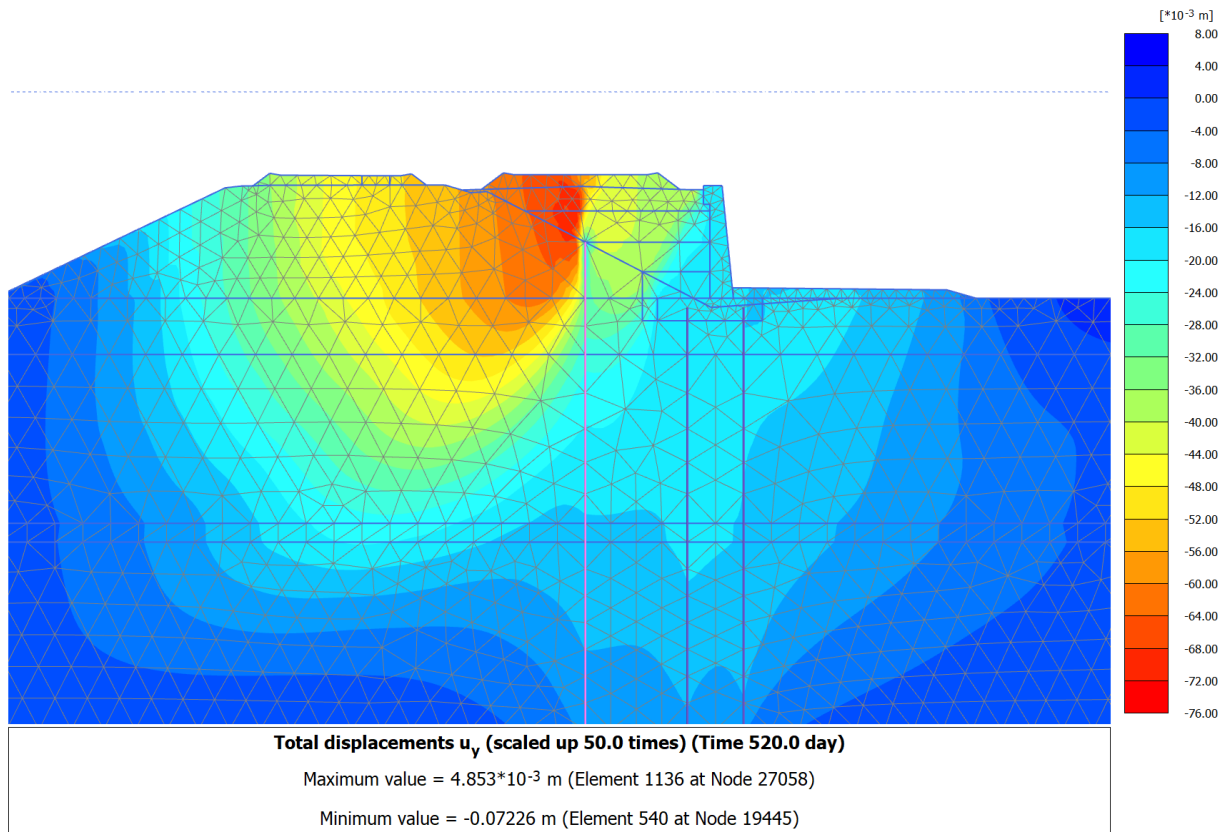


Figura 21 – RI54: Cedimenti totali al termine della costruzione del rilevato ferroviario AV

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 48 di 120

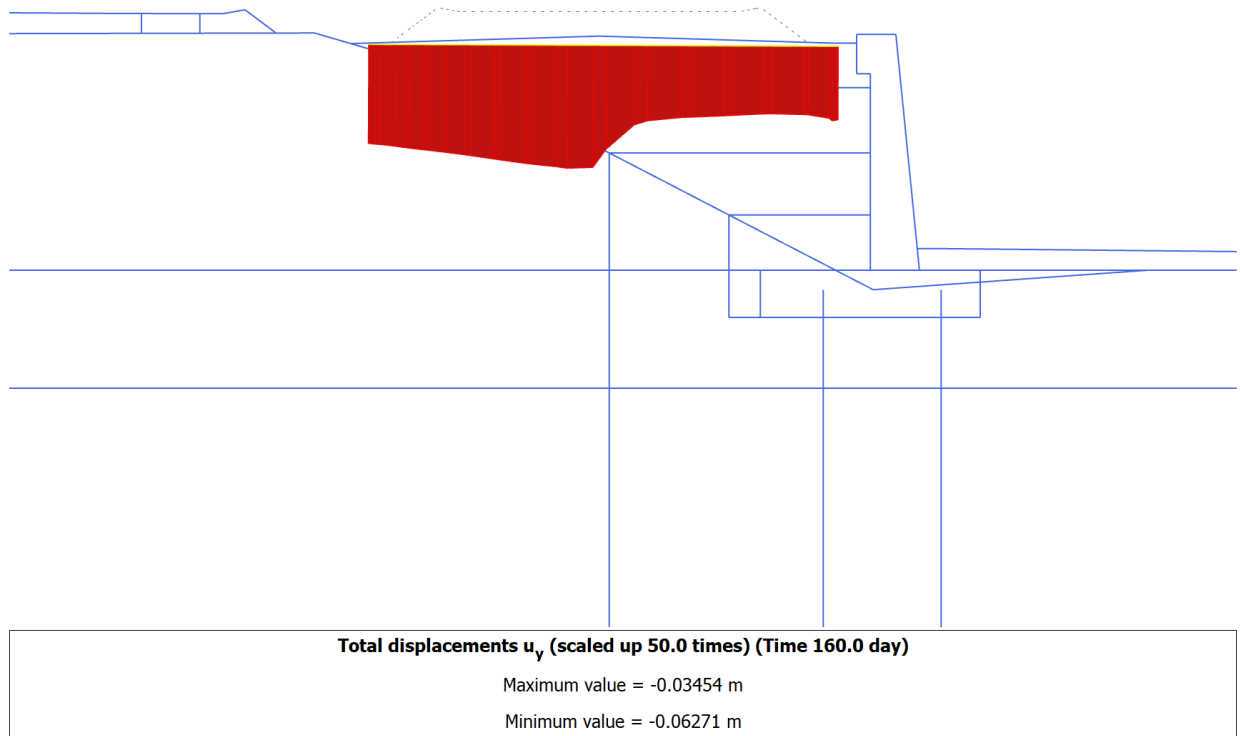


Figura 22 – RI54: Cedimenti totali prima della posa del ballast

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 49 di 120

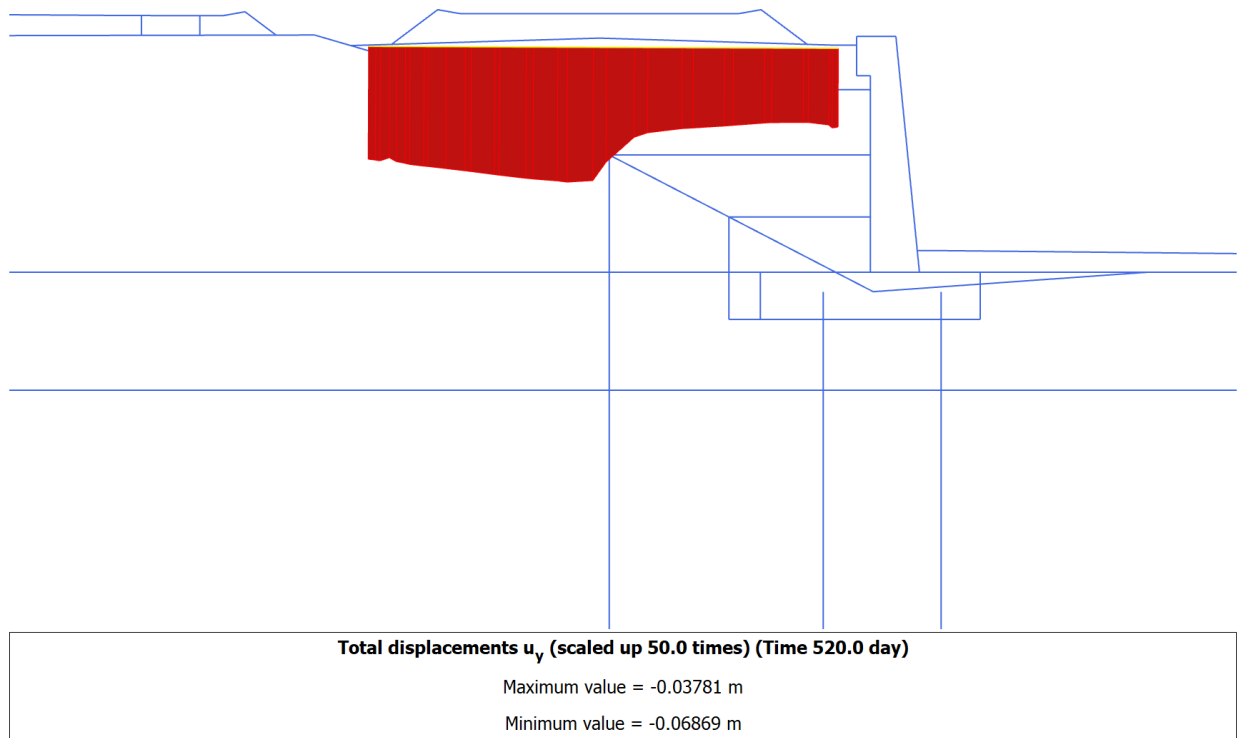
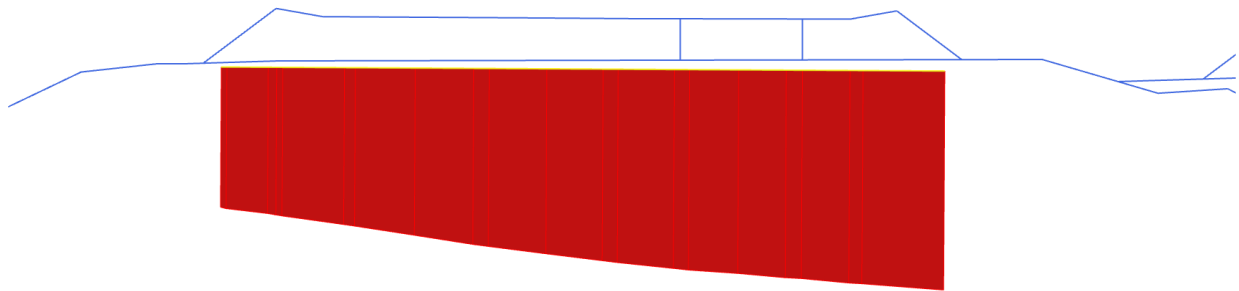


Figura 23 – RI54: Cedimenti totali di lungo termine: al termine della consolidazione

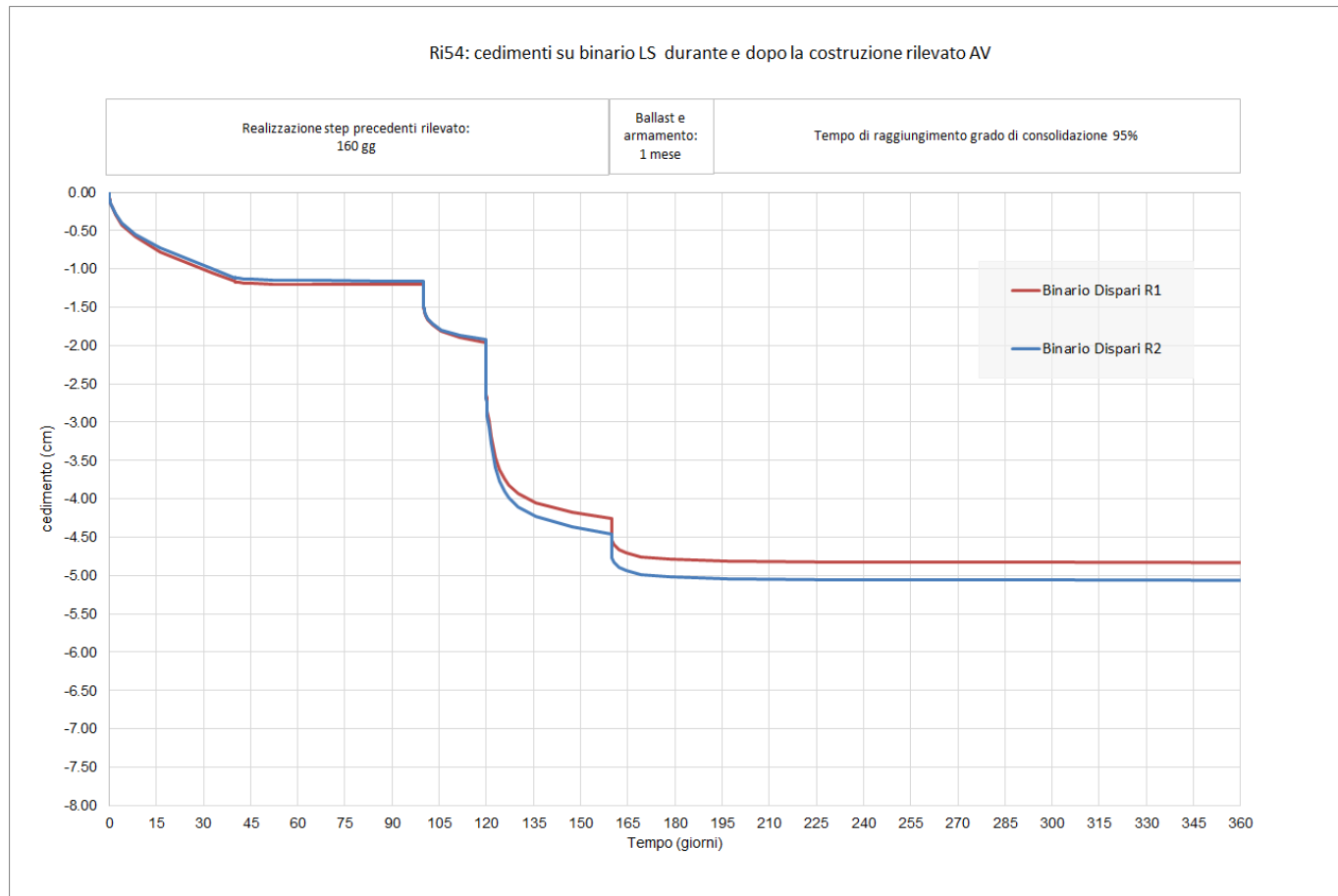
GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 50 di 120



<p>Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time 520.0 day)</p> <p>Maximum value = -0.03412 m</p> <p>Minimum value = -0.05330 m</p>
--

Figura 24 – RI54: Cedimenti totali sui binari della linea storica di lungo termine

GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA		
				
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A
				Foglio 51 di 120



*Figura 25 – Ri54: Sviluppo nel tempo dei cedimenti totali sul Binario Dispari della Linea Storica
cedimento differenziale tra le rotaie $\Delta u_y = 2.5 \text{ mm}$*

GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA			
 IRICAV2		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 52 di 120

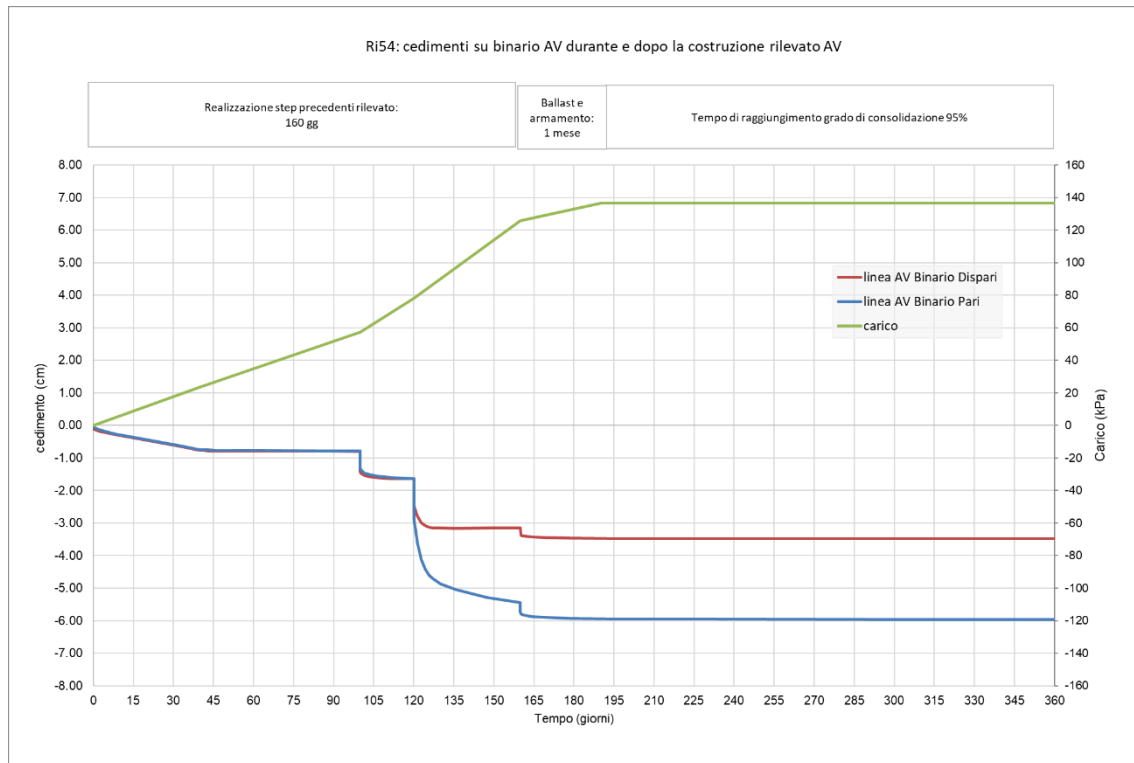


Figura 26 – RI54: Sviluppo nel tempo dei cedimenti totali alla base del rilevato di progetto (linee rossa e blu) in funzione del carico alla base del rilevato (linea verde)
Cedimento a partire dalla realizzazione del ballast: $\Delta u_y = 6 \text{ mm}$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 53 di 120

7 RESISTENZA DEI PALI SOGGETTI A CARICHI ASSIALI

7.1 Analisi agli stati limite

Le verifiche di capacità portante dei pali sono svolte secondo la metodologia degli stati limite ultimi, in accordo alla normativa vigente (DM 2008). La verifica della capacità portante dei pali è soddisfatta se:

$$F_{cd} < R_{cd}$$

essendo:

$$R_{cd} = R_k / \gamma_R$$

dove:

F_{cd} carico assiale di compressione di progetto;

R_{cd} capacità portante di progetto nei confronti dei carichi assiali;

R_k valore caratteristico della capacità portante limite del palo;

γ_R coefficiente di sicurezza sulle resistenze

In particolare, le verifiche di capacità portante dei pali agli stati limite ultimi (SLU) sono condotte con riferimento ad almeno uno dei due approcci:

Approccio 1:

Combinazione 1: A1 + M1 + R1

Combinazione 2: A2 + M1 + R2

Approccio 2:

Combinazione 1: A1 + M1 + R3,

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati in Tab. 5.2.V (ponti ferroviari), e Tab. 6.4.II delle NTC 2008 (Doc.Rif. **[14]**) e riportati nelle seguenti Tabella 11 e Tabella 12.

Il peso del palo, in accordo con quanto riportato al paragrafo 6.4.3 delle NTC2008, deve essere incluso tra le azioni permanenti di cui alla Tabella 11.

La resistenza di progetto a compressione $R_{c,d}$ è calcolata applicando al valore caratteristico della resistenza $R_{c,k}$ i coefficienti parziali γ_R riportati in tabella seguente, relativi alla condizione di pali trivellati.

Il valore caratteristico della resistenza $R_{c,k}$ a compressione ed a trazione $R_{t,k}$ è ottenuto applicando i fattori di correlazione ξ_3 e ξ_4 (Tabella 13) alle resistenze di calcolo $R_{c,cal}$; tali fattori sono funzione del numero di verticali d'indagine rappresentative:

$$R_{c,k} = \min \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \min \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}.$$

GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA			
 IRICAV2		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 54 di 120

I valori di ξ_3 e ξ_4 da utilizzare nelle analisi sono funzione dal numero di sondaggi che sono stati considerati per valutare la resistenza del palo per ogni area omogenea o struttura/opera.

Tabella 11 – Tab. 5.2.V, NTC 2008

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

Tabella 12 – Tab. 6.4.II, NTC 2008

Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali γ_k da applicare alle resistenze caratteristiche.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
	γ_R	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale ^(*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{st}	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Tabella 13 – Tab. 6.4.IV NTC 2008 - Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali d'indagine

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_4	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

In conclusione, sulla base di quanto prescritto dalle NTC al paragrafo 7.11.5.3, in condizioni sismiche le curve di capacità portante sono da calcolarsi con riferimento all'Approccio 2. Risultano, quindi, pressoché coincidenti con quelle calcolate agli SLU, utilizzando il medesimo approccio: le differenze si riducono ad un diverso fattore parziale applicato ad una frazione del peso del palo. Pertanto, nel caso in esame la stima è eseguita cautelativamente assumendo la combinazione A1+M1+R3, sia per le combinazioni statiche che per quelle sismiche. Per le verifiche in condizioni sismiche i coefficienti delle azioni A1 sono assunti unitari, come da §7.11.5.3-NTC2008.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 55 di 120

7.2 Metodologia di calcolo

La portata di progetto di un palo trivellato (eseguito con completa asportazione del terreno) “ $Q_{tot,c,d}$ ” in compressione è espressa dalla seguente relazione:

$$Q_{tot,c,d} = Q_{ll} / F_{SL,C} + Q_{bl} / F_{SB} - W'_{p-s} = Q_{l,c,d} + Q_{b,d} - W_{p-s,d}$$

dove:

- Q_{ll} valore di calcolo della portata laterale,
- Q_{bl} valore di calcolo della portata di base,
- $Q_{l,c,d}$ valore di progetto della portata laterale,
- $F_{SL,C}$ fattore di sicurezza per la portata laterale in compressione ($= \xi \cdot \gamma_s$),
- F_{SB} fattore di sicurezza per la portata di base ($= \xi \cdot \gamma_b$),
- $Q_{b,d}$ valore di progetto della portata di base,
- W_{p-s} valore di progetto del peso del palo, al netto del peso del terreno asportato.

Diversamente, la portata di progetto a trazione “ $Q_{tot,tr,d}$ ” è espressa dalla seguente relazione:

$$Q_{tot,tr,d} = Q_{LL,Tr} / F_{SL} + W'_P = Q_{l,tr,d} + W'_p$$

dove:

- Q_{LL} valore di calcolo della portata laterale,
- W'_P peso efficace del palo, alleggerito se sotto falda,
- $F_{SL,Tr}$ fattore di sicurezza per la portata laterale in trazione ($= \gamma_{st} \cdot \xi$).

7.2.1 Portata laterale

La portata laterale limite è valutata con la seguente relazione:

$$Q_{ll} = \pi \cdot D \cdot \sum_i (\tau_i \cdot h_i)$$

dove:

- D diametro palo,
- τ_i tensione di adesione laterale limite nello strato i-esimo,
- h_i altezza dello strato i-esimo.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 56 di 120

7.2.1.1 Depositi coesivi

Per i terreni coesivi la tensione di adesione laterale limite è valutata con la seguente espressione:

$$\tau_{lim} \text{ (kPa)} = \alpha \cdot c_u \leq \tau_{us,max}$$

dove:

c_u resistenza al taglio non drenata.

α coefficiente empirico, determinato in accordo a quanto indicato nel manuale FHWA 2010:

$$\alpha = 0.55 \quad \text{per } (c_u/p_a) \leq 1.5;$$

$$\alpha = 0.55 - 0.1 \cdot (c_u/p_a - 1.5) \quad \text{per } 1.5 \leq (c_u/p_a) \leq 2.5$$

Inoltre, per la resistenza laterale si impongono anche le seguenti condizioni:

$$\tau_{lim} \text{ (kPa)} \geq 0.23 \cdot \sigma'_{v0}$$

$$\tau_{us,max} = 100 \text{ kPa (resistenza laterale massima in terreno coesivo),}$$

dove:

σ'_{v0} tensione verticale efficace alla quota di riferimento.

7.2.1.2 Depositi incoerenti

Per i terreni incoerenti la tensione di aderenza laterale limite è valutata mediante metodo β con la seguente espressione (Reese & O'Neill, 1999, recepito nel manuale FHWA del 2010):

$$\tau_{lim} \text{ (kPa)} = \beta \cdot \sigma'_{v0} \leq \tau_{us,max}$$

dove:

$$\beta = 1.5 - 0.245 \cdot z^{0.50} \quad (0.25 \leq \beta \leq 1.20) \text{ per sabbie;}$$

$$\beta = 2.0 - 0.147 \cdot z^{0.75} \quad (0.25 \leq \beta \leq 1.80) \text{ per sabbie ghiaiose;}$$

σ'_{v0} tensione verticale efficace alla quota di riferimento.

$$\tau_{us,max} = 150 \text{ kPa (resistenza laterale massima in terreno incoerente)}$$

7.2.2 Portata di base

Per la valutazione della portata di base limite si utilizzano le seguenti relazioni:

$$Q_{bl} = A_p \cdot q_{bl}$$

dove:

A_p area della base del palo,

q_{bl} portata limite specifica di base.

7.2.2.1 Depositi coesivi

La portata di base limite nei terreni coesivi è valutata con la seguente relazione:

$$q_{b,ult} \text{ (kPa)} = 9 \cdot c_{u,k}$$

dove:

$c_{u,k}$ valore caratteristico della resistenza a taglio non drenata.

GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA		
				
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A
				Foglio 57 di 120

7.2.2.2 Depositi incoerenti

Il valore della portata di base allo stato critico (q_{bcf}) è stato valutato, considerando un rapporto fra il cedimento della base del palo ed il diametro del palo pari al 10%.

Generalmente sono disponibili dati di prove SPT, da cui si possono utilizzare le indicazioni di Reese e O'Neill, 1988, Fioravante et al., 1995:

$$q_{bcf, 0.1} = 75 N_{SPT} < 4000 \text{ kPa.}$$

Quando sono disponibili dati penetrometrici, si può considerare la seguente espressione (Salgado 2006, Ghionna et al., 1994):

$$q_{bcf, 0.1} \cong 0.10 \div 0.16 q_c,$$

dove l'estremo inferiore può essere assunto per sabbie molto addensate e l'estremo superiore per sabbie mediamente addensate.

7.2.2.3 Terreni stratificati

Nel caso di terreni stratificati, costituiti da alternanze di strati di limi e argille e di sabbie e ghiaie, i criteri di valutazione delle portate laterali limite sono analoghi a quelli descritti precedentemente. Tuttavia, in accordo a quanto discusso in Meyerhof (1976), la portata di base negli strati sabbioso-ghiaiosi si riduce rispetto a quella caratteristica dello strato supposto omogeneo (v. figura seguente). Pertanto, nel caso di terreno stratificato, la mobilitazione dell'intera resistenza di base disponibile è subordinata alla condizione che il palo penetri nello strato portante per almeno 3 diametri. Viceversa, con l'avvicinarsi della base del palo ad uno strato inferiore di minore resistenza, la portata si riduce linearmente fino all'interfaccia tra gli strati, laddove eguaglia il valore di rottura dell'unità più debole (vedasi Figura 27).

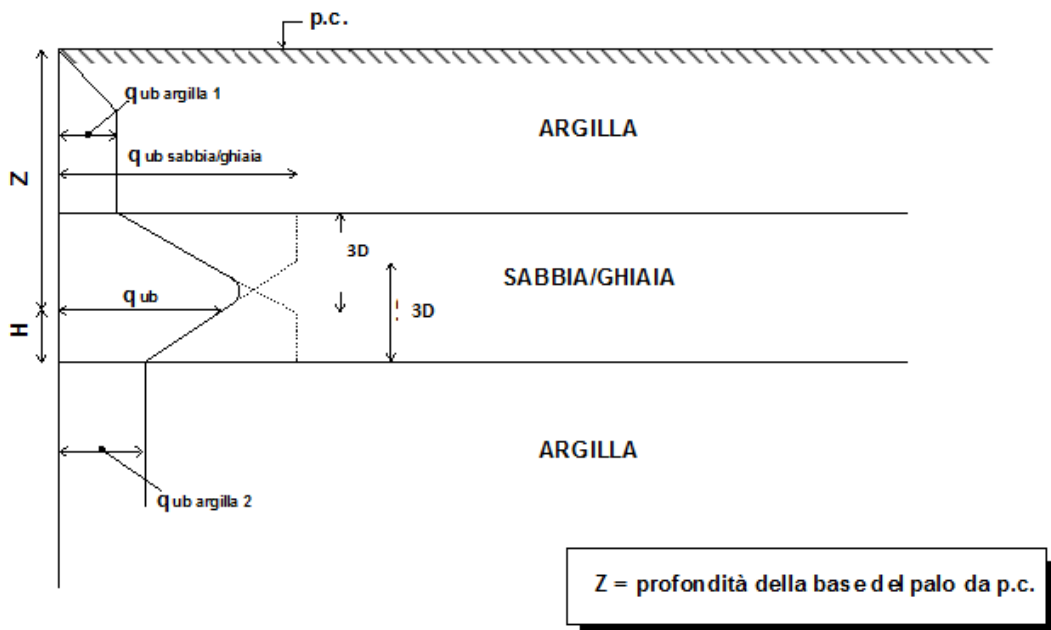


Figura 27 - Criterio di valutazione della pressione ultima di base (q_{ub}) in terreni stratificati

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 58 di 120

7.3 Stratigrafia di calcolo

Per la stratigrafia di calcolo si faccia riferimento al capitolo 4.5. Per quanto riguarda il comportamento del palo singolo sotto carico orizzontale, si assumeranno dei valori di rigidità dei vincoli elastici (molle) lungo il fusto pari a: $400 \cdot c_u$ nel caso di terreni coesivi e $15000 \cdot z$ (essendo z la profondità da pc) per i terreni incoerenti.

Modello geotecnico di riferimento da pk 30+175,00 a pk 30+409,00

Unità	da m pc*	a m pc*	γ kN/m ³	φ_k °	c'_k kPa	$c_{u,k}$ kPa	E'_{op} MPa	$Q_{b,cr}$ (kPa)	E_h (MPa)	k_h (kN/m ³)
Argilla (3b)	0	3	18.5	-	-	70	-	-	32	-
Argilla (3b)	3	12	18.5	-	-	40-55	-	-	16÷22	-
Sabbia (4)	12	13	19	36	-	-	35	1500	$k_h \cdot z$	15000
Argilla (3b)	13	23	18.5	-	-	55-70	-	-	22÷28	-
Ghiaie (6)	23	28	19	39	-	-	100	3500	$k_h \cdot z$	15000
Argille (2)	28	inf	19	-	-	120	150	-	48000	-

* quota piano campagna = 36 m s.l.m.

quota imposta muro = quota testa pali = 34.4 m s.l.m.

La quota testa pali si trova quindi a 1.6 metri al disotto del p.c.

Tenuto conto del numero di indagini presente nell'area (5, comprendendo per omogeneità anche quelle del rilevato RI 55), si è assunto un valore di $\xi_4=1.34$.

Inoltre, si tenga conto che, per quanto riguarda i pali, si è prescritto che la lunghezza finale sia confermata in cantiere sulla base dell'effettiva penetrazione del palo nelle ghiaie di base.

In tabella si forniscono anche i criteri per la valutazione del comportamento del singolo palo sotto carichi orizzontali.

In particolare:

E_h (modulo di reazione orizzontale) = $400 \cdot c_u$ per terreni coesivi (in kPa)

$E_h(z) = k_h \cdot z = 15000 z$, essendo z la profondità da p.c., e ponendo $k_h = 15000$ kN/m³, per terreni addensati (ghiaie dell'unità 6).

7.4 Risultati

Si riportano di seguito le curve di capacità portante del palo singolo, calcolate sulla base della metodologia di calcolo discussa nei capitoli precedenti, per pali $D=1000$ m. Coerentemente a quanto dichiarato nel Capitolo 6, per quanto riguarda le condizioni sismiche, si faccia riferimento alle curve agli SLU.

GENERAL CONTRACTOR		ALTA SORVEGLIANZA			
 IRICAV2		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica		Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
		IN17	12	EI2RBRI5400001A	59 di 120

R154 - Curve di capacità portante									
Pali trivellati Ø		1000							
Numero verticali indagate		5							
ξ_s		1.34							
lpalo m	CARICO LIMITE ULTIMO			CURVE SLU					
	$Q_{b,lim}$ kN	$Q_{b,cr}$ kN	$Q_{tot,lim}$ kN	$Q_{s,d}$ kN	$Q_{tr,d}$ kN	$Q_{b,d}$ kN	$Q_{tot,s,d}$ kN	$Q_{tot,tr,d}$ kN	
0.00	0	389	389	0	0	215	215	0	
0.50	60	353	412	39	36	195	231	38	
1.00	121	318	434	79	72	176	248	77	
1.50	175	283	451	114	104	156	261	111	
2.00	216	289	496	140	129	160	288	138	
2.50	252	295	535	164	150	163	310	162	
3.00	288	300	575	187	172	166	334	186	
3.50	325	306	615	211	194	169	358	210	
4.00	363	312	657	236	217	172	382	236	
4.50	402	318	699	261	240	176	408	261	
5.00	441	324	741	286	263	179	433	287	
5.50	481	330	785	312	287	182	459	313	
6.00	522	336	829	339	312	186	487	340	
6.50	563	342	874	365	336	189	513	367	
7.00	605	348	920	393	361	192	540	394	
7.50	648	353	966	421	387	195	568	422	
8.00	692	359	1013	449	413	198	596	451	
8.50	736	365	1061	478	439	202	625	479	
9.00	781	371	1109	507	466	205	655	508	
9.50	827	377	1159	537	494	208	684	539	
10.00	873	383	1209	567	521	212	715	568	
10.50	934	389	1274	606	558	215	755	607	
11.00	1025	520	1494	665	612	287	882	664	
11.50	1117	389	1452	725	667	215	867	721	
12.00	1180	394	1517	766	704	218	907	761	
12.50	1228	399	1569	797	733	221	938	792	
13.00	1278	405	1621	829	763	224	971	824	
13.50	1327	410	1674	861	792	227	1001	856	
14.00	1378	415	1727	894	823	229	1035	889	
14.50	1429	421	1781	927	853	233	1068	921	
15.00	1481	426	1836	961	884	235	1101	955	
15.50	1533	431	1891	995	915	238	1135	988	
16.00	1586	436	1947	1029	947	241	1169	1022	
16.50	1641	442	2005	1065	980	244	1204	1058	
17.00	1697	447	2064	1101	1013	247	1240	1093	
17.50	1755	452	2125	1139	1048	250	1278	1130	
18.00	1814	458	2187	1177	1083	253	1316	1168	
18.50	1875	463	2251	1217	1119	256	1355	1206	
19.00	1937	468	2316	1257	1156	259	1394	1246	
19.50	2001	474	2383	1299	1195	262	1436	1287	
20.00	2067	479	2451	1341	1234	265	1479	1328	
20.50	2134	484	2521	1385	1274	268	1521	1371	
21.00	2202	489	2593	1429	1315	270	1566	1414	
21.50	2290	495	2683	1486	1367	274	1623	1468	
22.00	2410	870	3177	1564	1439	481	1904	1543	
22.50	2544	1246	3684	1651	1519	689	2197	1625	
23.00	2672	1622	4185	1734	1595	897	2485	1703	
23.50	2794	1998	4681	1813	1668	1104	2768	1779	
24.00	2911	2123	4921	1889	1738	1174	2910	1851	
24.50	3022	2248	5155	1961	1804	1243	3048	1919	
25.00	3126	1898	4907	2029	1866	1049	2518	1984	
25.50	3224	1548	4652	2092	1925	856	2786	2045	
26.00	3318	1198	4393	2153	1981	662	2649	2104	
26.50	3414	848	4137	2215	2038	469	2515	2163	
27.00	3515	848	4236	2281	2099	469	2578	2226	
27.50	3619	848	4338	2348	2161	469	2642	2291	
28.00	3723	848	4439	2416	2223	469	2707	2355	
28.50	3826	848	4540	2483	2284	469	2771	2418	
29.00	3930	848	4641	2550	2346	469	2834	2483	
29.50	4034	848	4743	2618	2408	469	2899	2547	
30.00	4137	848	4844	2685	2470	469	2963	2611	
30.50	4241	848	4945	2752	2532	469	3026	2676	
31.00	4345	848	5047	2820	2594	469	3091	2740	
31.50	4448	848	5148	2886	2656	469	3155	2804	
32.00	4552	848	5250	2954	2718	469	3219	2869	
32.50	4657	848	5352	3022	2780	469	3284	2933	
33.00	4763	848	5456	3091	2844	469	3349	3000	
33.50	4871	848	5561	3161	2908	469	3416	3066	
34.00	4980	848	5668	3232	2973	469	3484	3133	
34.50	5091	848	5777	3304	3039	469	3552	3202	
35.00	5203	848	5887	3376	3106	469	3622	3271	
35.50	5317	848	5998	3450	3174	469	3694	3341	
36.00	5433	848	6111	3526	3244	469	3765	3414	
36.50	5550	848	6226	3602	3313	469	3838	3485	
37.00	5668	848	6342	3678	3384	469	3912	3558	
37.50	5789	848	6460	3757	3456	469	3986	3633	
38.00	5910	848	6579	3835	3528	469	4062	3707	
38.50	6033	848	6700	3915	3602	469	4139	3783	
39.00	6158	848	6822	3996	3676	469	4216	3860	
39.50	6284	848	6946	4078	3752	469	4296	3938	
40.00	6412	848	7072	4161	3828	469	4376	4016	
40.50	6541	848	7199	4245	3905	469	4456	4096	
41.00	6672	848	7327	4330	3983	469	4538	4176	
41.50	6804	848	7457	4415	4062	469	4619	4258	
42.00	6938	848	7589	4502	4142	469	4704	4340	

Figura 28 – Riassunto curve di capacità portante SLU/SLE per pali D=1000 mm

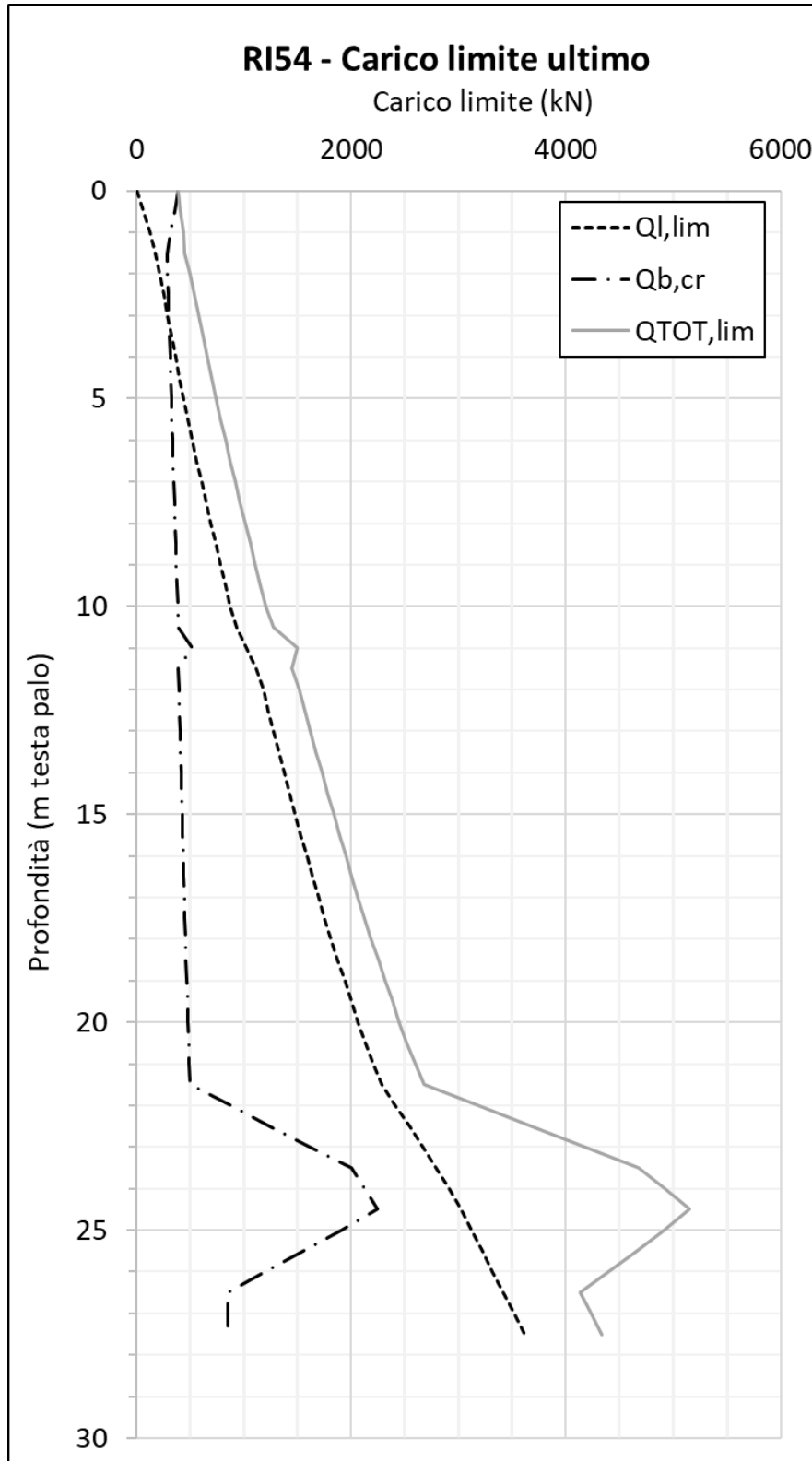


Figura 29 – Curve di Carico Limite Ultimo in compressione per pali D=1000 mm

Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI5400001A

Foglio

61 di 120

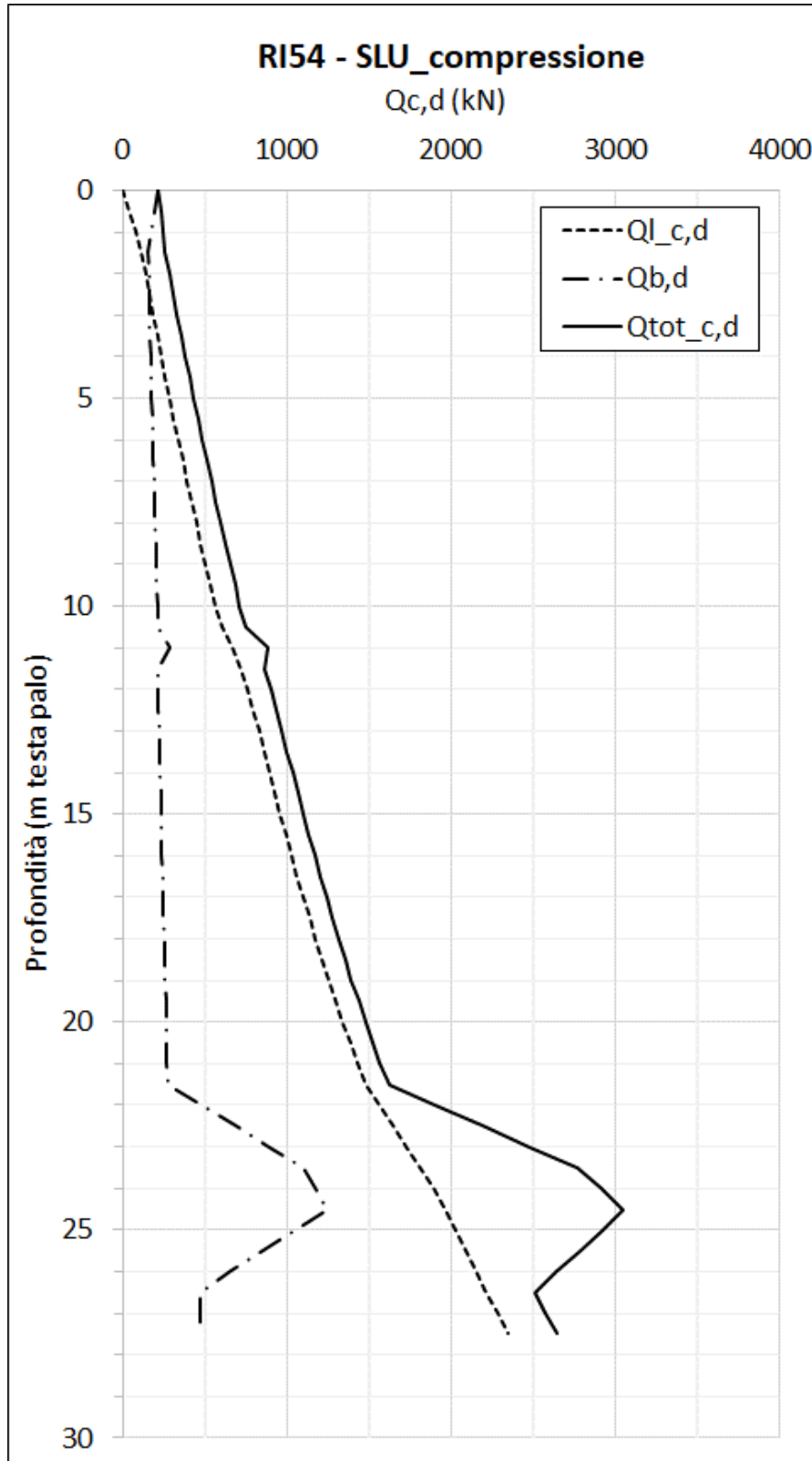


Figura 30 – Curve di capacità portante SLU, compressione per pali $D=1000$ mm

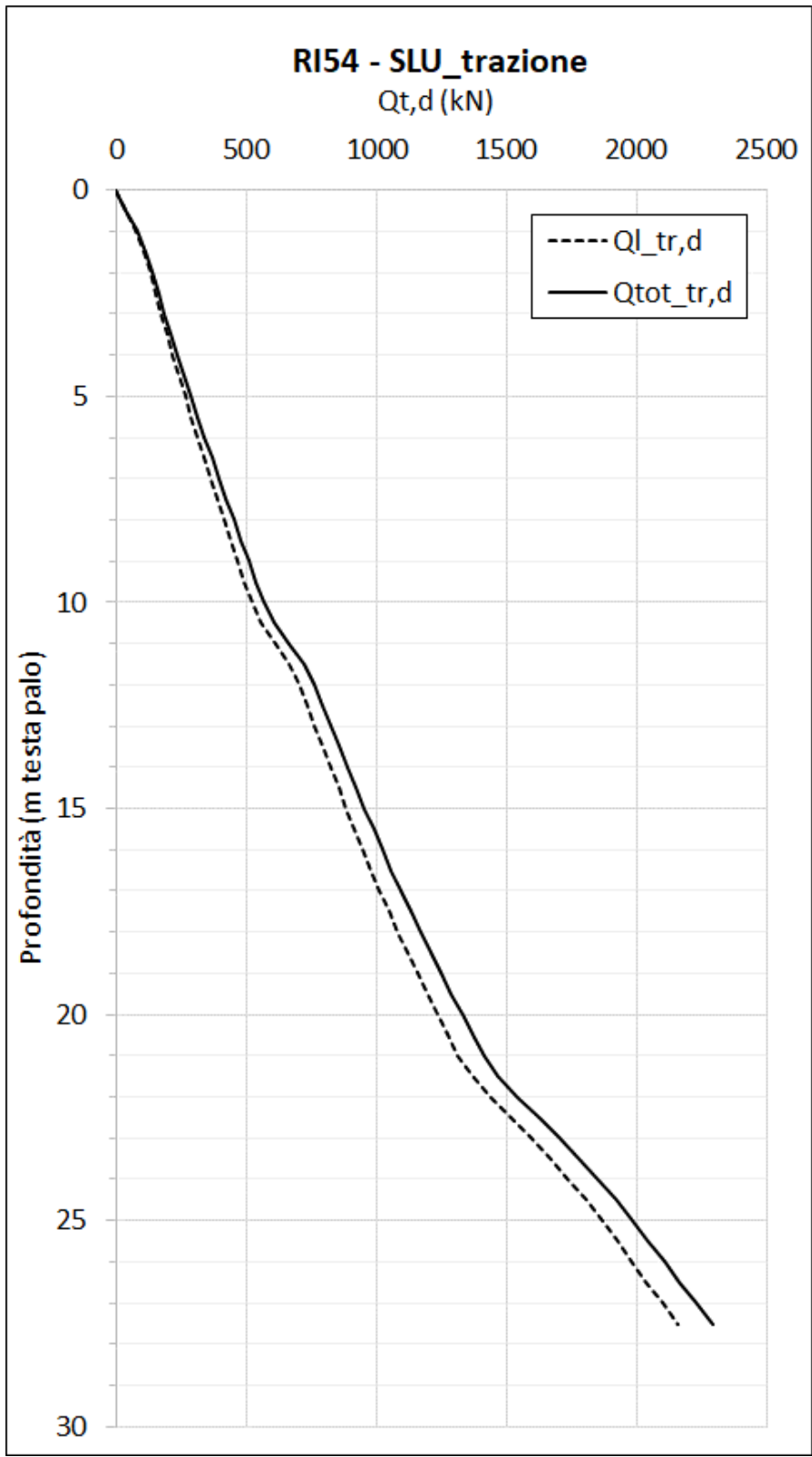


Figura 31 – Curve di capacità portante SLU, trazione per pali D=1000 mm

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 63 di 120

8 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

In conclusione, il rilevato oggetto di questa analisi risulta stabile e i cedimenti attesi sono accettabili secondo le norme tecniche di riferimento (v. capitolo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

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 della realizzazione dei pali e delle inclusioni rigide, si segnala quanto segue:

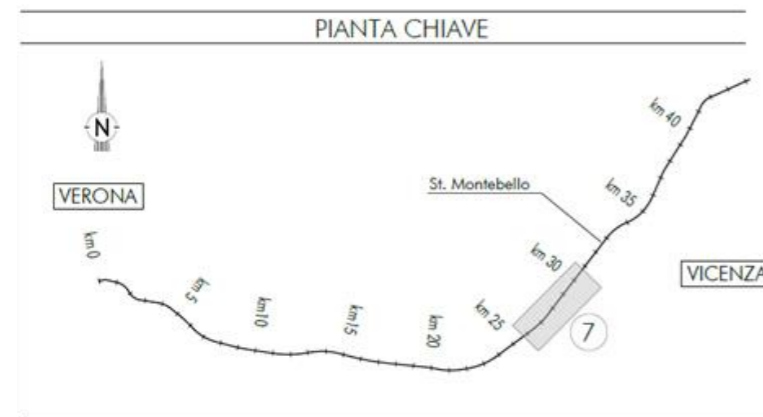
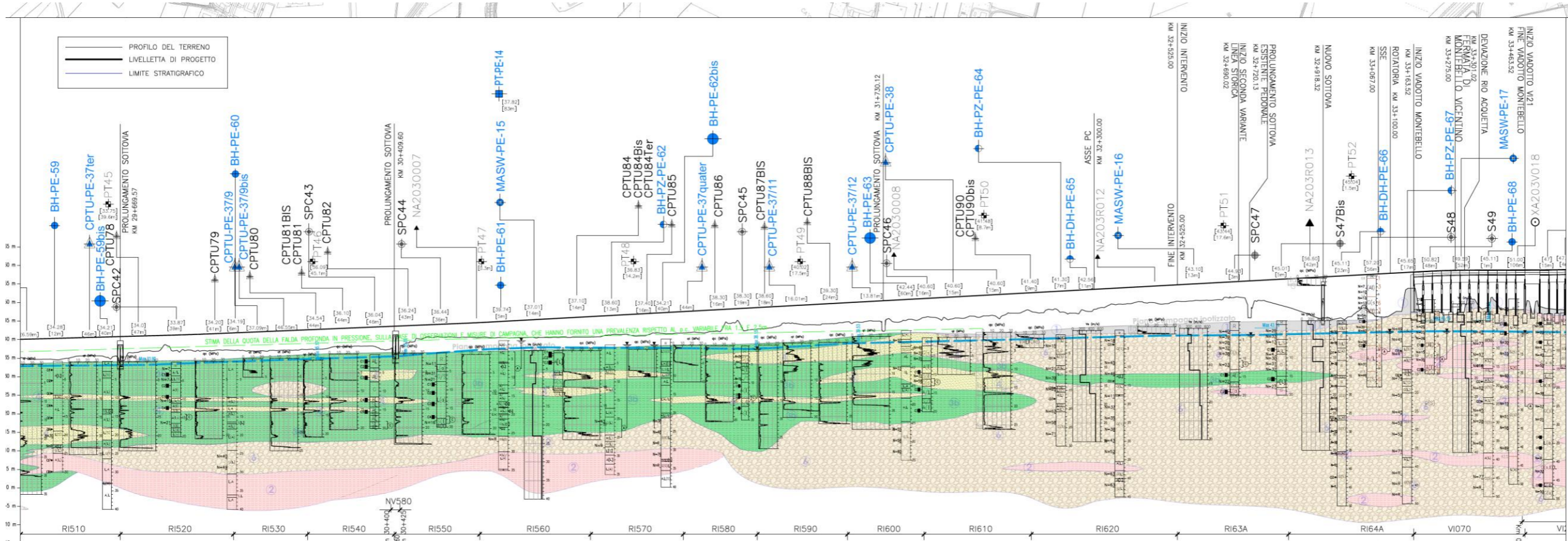
1. Si raccomanda di eseguire prove tecnologiche preliminari di realizzazione dei pali e/o delle inclusioni rigide nell'area di interesse, volte a valutare la effettiva problematica di prevalenza della falda nello strato inferiore di ghiaie e sabbie, nel quale entrambi debbono essere immorsati.
2. Si 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 a dire più prossime al p.c.), la presenza di fanghi pesanti può ovviare a tale inconveniente.
3. Sarà cura della Direzione Lavori verificare che le lunghezze dei consolidamenti prescritte, definite sulla base delle indagini disponibili, siano tali da garantire ovunque un immorsamento delle inclusioni rigide di almeno 2 m nelle ghiaie di base. Per quanto riguarda l'immorsamento dei pali all'interno dello strato di ghiaia, si rimanda agli specifici elaborati di dimensionamento dei pali.

<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 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5400001A</p>	<p>Foglio 64 di 120</p>

ALLEGATI

<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 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5400001A</p>	<p>Foglio 65 di 120</p>

ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



- LEGENDA**
- Campagna indagini integrative PE**
- BH-PE- \bullet Sondaggio a carotaggio continuo
 - BH-PZPE- \bullet Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande
 - MASW-PE- \bullet Indagini MSW
 - CPTU-PE- \blacktriangle Prova penetrometrica statica con piezometro
- Campagna indagini 2018 per CDS**
- SP Sondaggio geognostico
- Campagna indagini 2015**
- PI+P15,P00 Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - PI+15Bn Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro Casagrande (C)
- Campagna indagini 2014**
- SP Sondaggio a carotaggio continuo
 - SPC Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SPCA Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SOC Sondaggio a carotaggio continuo con 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 Foro a distribuzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
 - PT Pezzetto esplorativo a 1,5 m da p.c. con prove di carico su piastra
 - Profondità delle indagini
- Indagini orientative**
- PE-PE- \bullet Pezzetto esplorativo
 - BH-DH-PE- \bullet Sondaggio con esecuzione di prova down hole
 - CH-PE- \bullet Sondaggio con esecuzione di prova cross hole
- Indagini orientative**
- Nota per PE in blu le indagini disponibili e con coordinate certe, in rosso indagini ancora non disponibili o con coordinate non note

Campagna indagini pregresse

- SA333000 Sondaggio geognostico (campagna 1998)
- SA333000 Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
- SA333000 CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
- SA333000 Pozzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (VI) per gentile concessione Centro Idrico Novoledo s.r.l.)

Classi dei terreni

- 1 Riperto
- 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)

<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 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5400001A</p>	<p>Foglio 67 di 120</p>

ALLEGATO 2 – INDAGINI GEOGNOSTICHE



Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

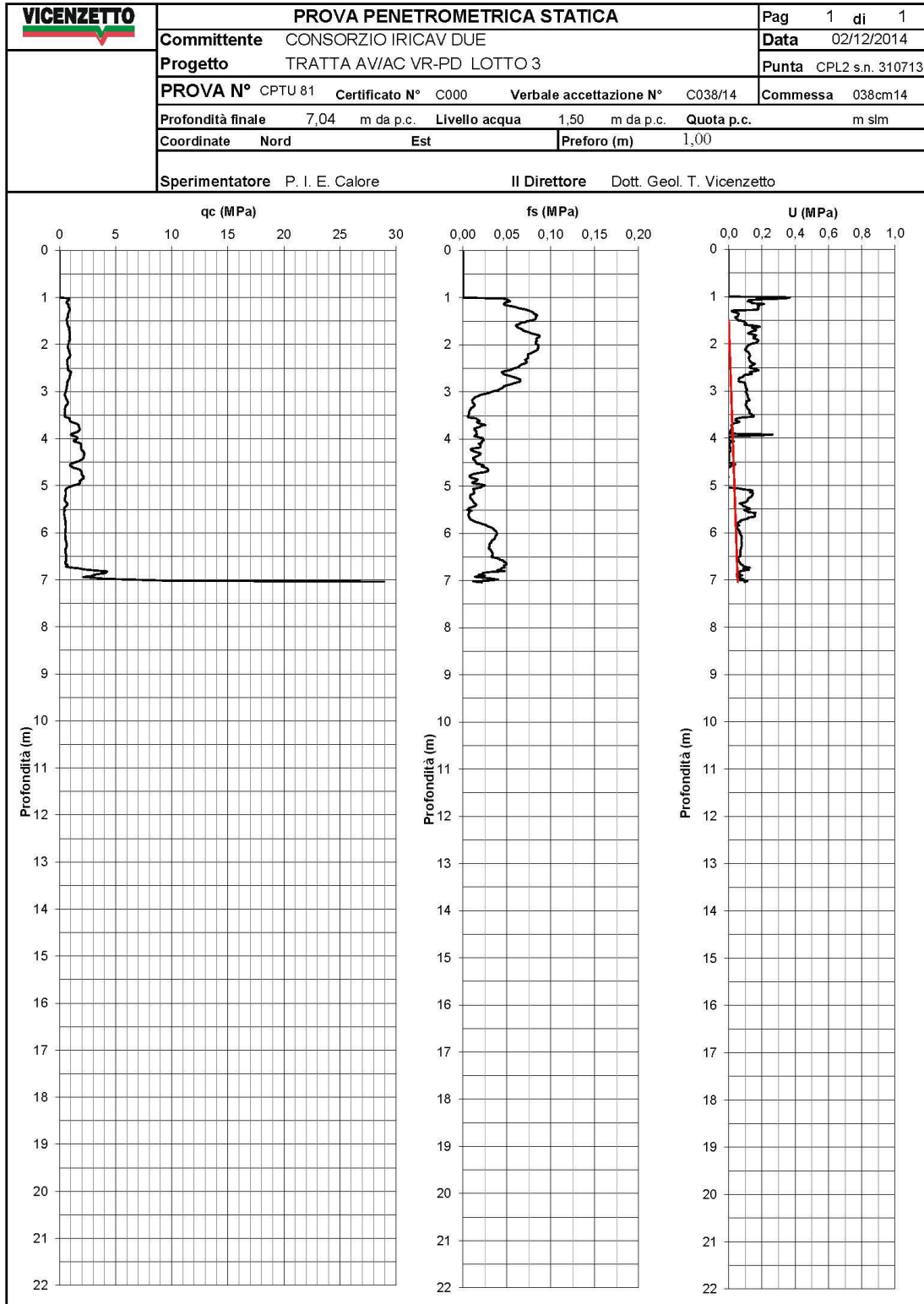
12

Codifica

EI2RBRI5400001A

Foglio

68 di 120





Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

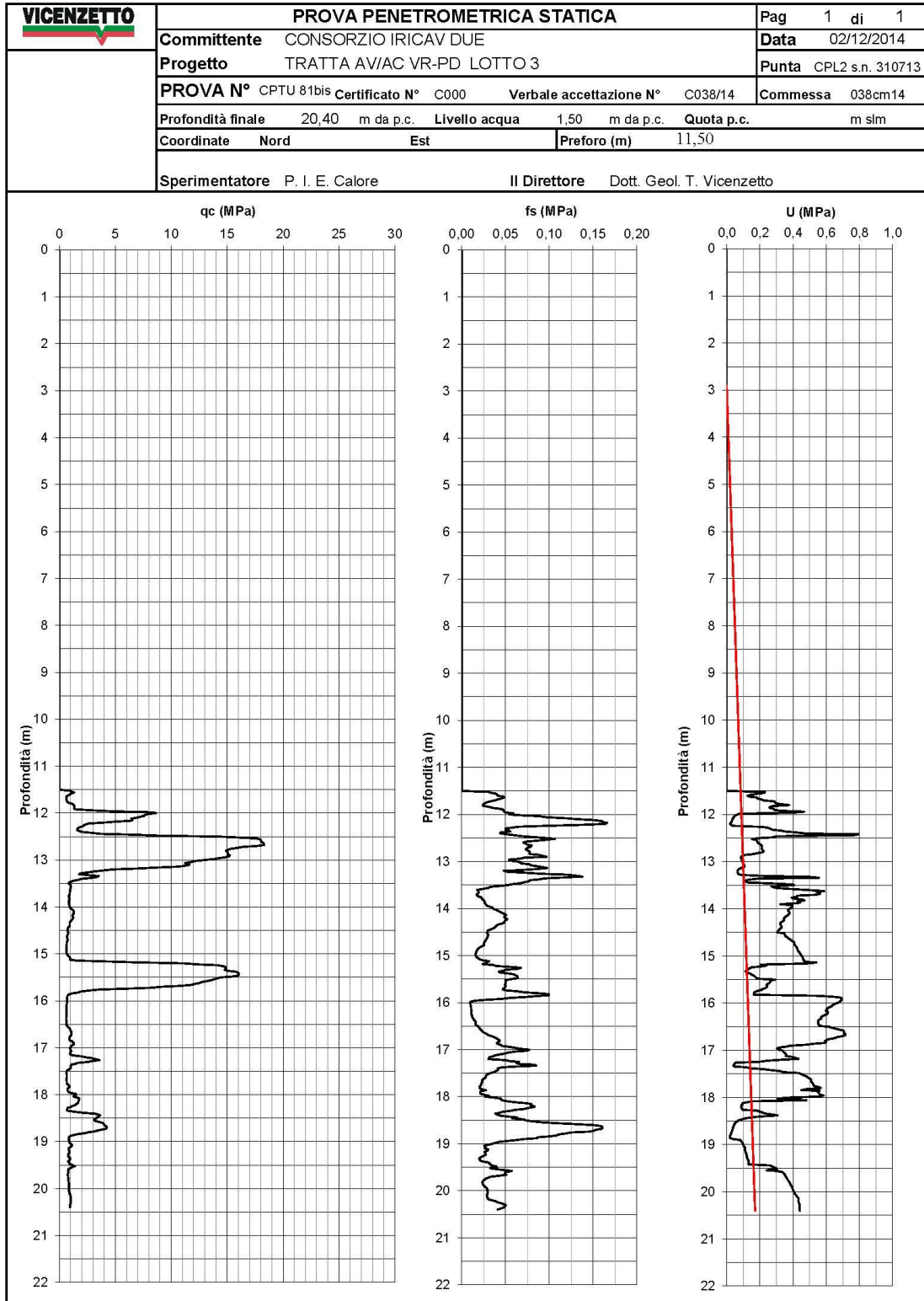
12

Codifica

EI2RBRI5400001A

Foglio

69 di 120





Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

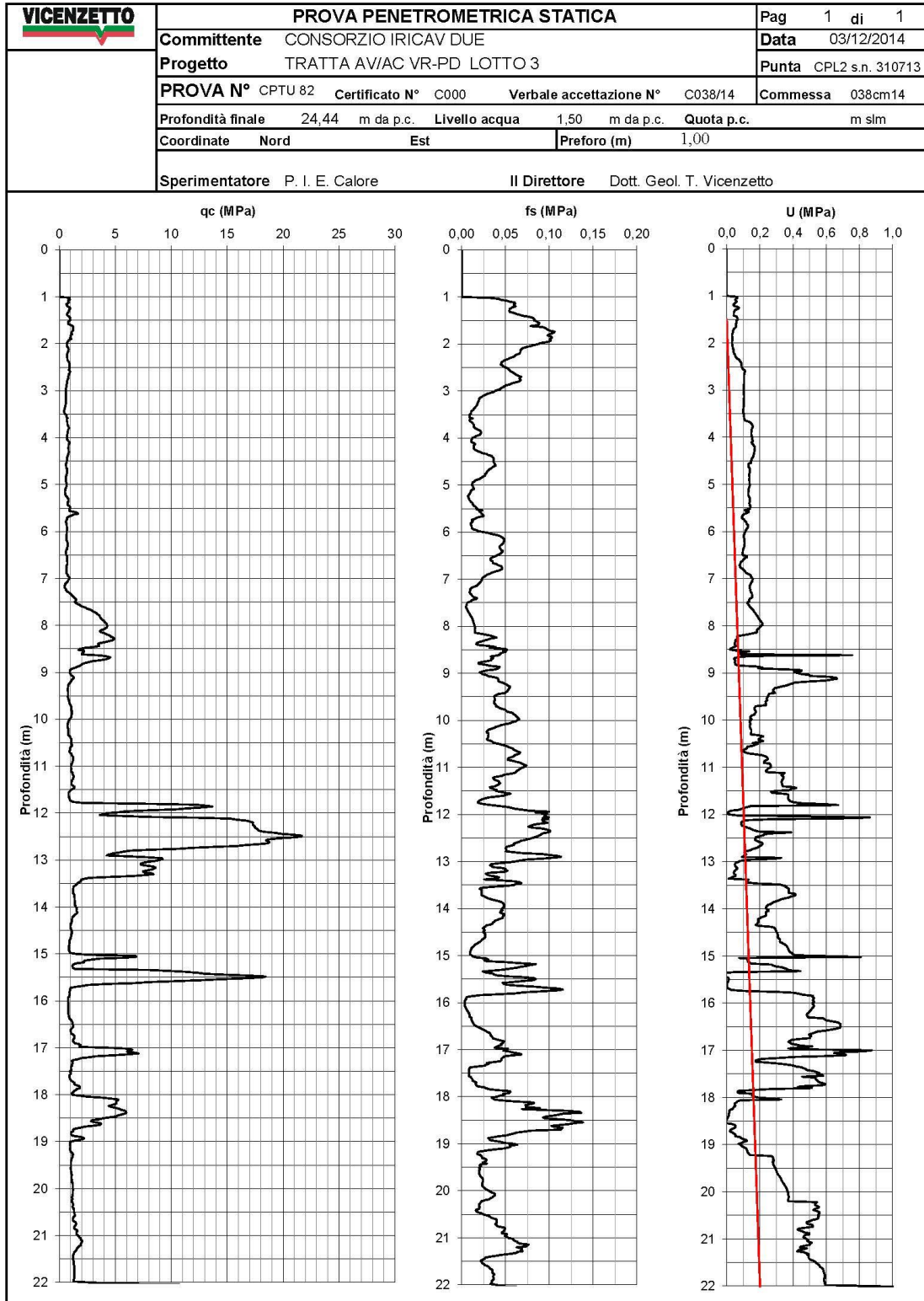
12

Codifica

EI2RBRI5400001A

Foglio

70 di 120





Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

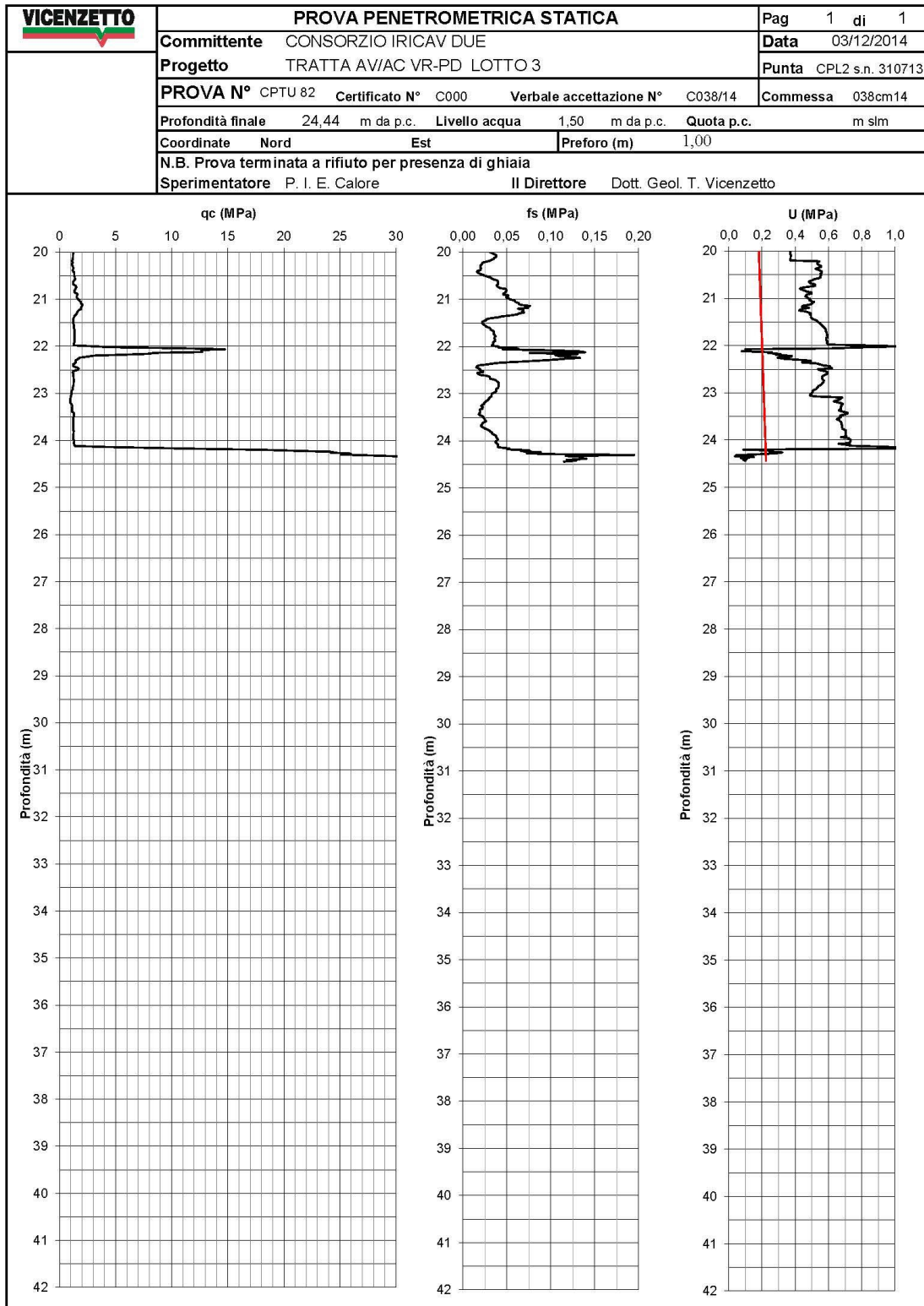
12

Codifica

EI2RBRI5400001A

Foglio

71 di 120





Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5400001A

72 di 120

RILIEVO ACQUA IN FORO DURANTE LA PERFORAZIONE		NOTE	
PROF. (m da P.C.)	PROF. (m da P.C.)	ATTREZZATURA PER SPT	
DATA	DATA	PESO MAGLIO	
ORA	ORA	ALTEZZA CADUTA	
ORA	ORA	ASTE Ø	
ORA	ORA	PESO ASTE	
ORA	ORA	PUNTA CHIUSA	
<input type="checkbox"/> CAMPIONE RIMANEGGIATO <input checked="" type="checkbox"/> CAMPIONE RIMANEGGIATO DA S.P.T. <input checked="" type="checkbox"/> CAMPIONE RIMANEGGIATO DA VANE TEST <input type="checkbox"/> SPEZZIONE DI CAROTA <input checked="" type="checkbox"/> CAMPIONE INDISTURBATO PARETI SOTTILI <input checked="" type="checkbox"/> CAMPIONE INDISTURBATO A PISTONE <input checked="" type="checkbox"/> CAMPIONE INDISTURBATO ROTATIVO		ATTREZZATURA PER SPT PESO MAGLIO 63,5 kg ALTEZZA CADUTA 76 cm ASTE Ø 50 mm PESO ASTE 7,2 kg/m PUNTA CHIUSA <input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/> CAMERONE RIMANEGGIATO <input checked="" type="checkbox"/> CAMERONE RIMANEGGIATO DA S.P.T. <input checked="" type="checkbox"/> CAMERONE RIMANEGGIATO DA VANE TEST <input type="checkbox"/> SPEZZIONE DI CAROTA <input checked="" type="checkbox"/> CAMERONE INDISTURBATO PARETI SOTTILI <input checked="" type="checkbox"/> CAMERONE INDISTURBATO A PISTONE <input checked="" type="checkbox"/> CAMERONE INDISTURBATO ROTATIVO		PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC T.C.R. % S.C.R. % I.C.R. % S.C.R. % I.C.R. % S.C.R. % I.C.R. %	MATERIALE RIPORTO IN POSA IN OPERA DI CHIUSINO METALLICO LUCCHETTABILE
STRUMENTAZIONE PIEZOMETRO CASAGRANDE		CAROTIERE SEMPLICE Ø 101 mm CAROTAGGIO CONTINUO A SECCO	
PROVA DI PERMEABILITA' LEFRANC T.C.R. % S.C.R. % I.C.R. % S.C.R. % I.C.R. % S.C.R. % I.C.R. %		CAROTIERE SEMPLICE Ø 101 mm CAROTAGGIO CONTINUO A SECCO	DATA 28/11/2014 DATA 27/11/2014 DATA 20.00

VICENZETTO		SCHEDA DI SONDAGGIO		COMMESSA 088cm14	
Rev.0	DATA	SPERIMENTATORE	DIRETTORE	PAG. 1	DI 1
		Doc. Gen. P. Pasqualeto		Doc. Gen. T. Vianello	
COMMITTENTE Consorzio Iricav Due PROGETTO Tratta AV/AC Verone-Padova - 3° lotto costruttivo PERFORAZIONE N. SP543 COORDINATE Nord RESPONSABILE Dott. Pasqualeto Paolo OPERATORE Sig. Molit.					
DATA INIZIO 28/11/2014 DATA FINE 28/11/2014 QUOTA P.C. = ATTREZZATURA Geims 2					
PROFONDITA' (m da p.c.)	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	PROFONDITA' (m da p.c.)	NUMERO	PROFONDITA' (m da p.c.)	TONNARE (Kg/cm ²)
0,40	Ripariti: sabbia ghiaiosa nocciola.	1,80	A	1,0	0,5
2,10	Aggilia limosa nocciola.	2,10	B	12,00	12,60
3,80	Aggilia c.s. con resti vegetali renestrati.	3,00	C	1,5	0,6
4,70	Sabbia medio fine limosa nocciola, debolmente ghiaiosa da -4,50 m a -4,70 m da p.c.	3,80	D	1,5	0,6
7,40	Aggilia limosa nocciola.	6,00	E	1,4	0,6
11,50	Ghiaia eterometrica, poligenica, da sub-arrotondata a sub-angolare sabbiosa debolmente limosa nocciola. Da -3,00 m a -9,50 m da p.c. sabbia medio fine deb. ghiaiosa nocciola.	6,80		1,2	0,5
11,50	Aggilia limosa grigio nocciola.	12,00			
12,70	Sabbia medio fine limosa grigio nocciola.	15,20			
14,25	Aggilia limosa grigio.	15,80			
15,80	Sabbia medio fine limosa grigio.	16,45			
16,45	Aggilia limosa grigia localmente organica, grigio scuro.	18,15			
18,15	Altezza di sabbia medio fine limosa e limo sabbioso grigio scuro.	19,40			
19,40	Aggilia limosa grigio scuro.	20,00			
20,00	FINE SONDAGGIO				

<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 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5400001A</p>	<p>Foglio 73 di 120</p>

ALLEGATO 3 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA



Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI5400001A

Foglio

74 di 120

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 2 of 9

Groundwater Analysis

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: Not Defined
Minimum Area: Not Defined
Minimum Weight: Not Defined

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

6 Distributed Loads present



Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI5400001A

Foglio

75 di 120

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 3 of 9

Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

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]: 14.4
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Permanent

Material Properties

Property	Rilevato	U6	U4	U3b_1	U3b_2	U3b_3	U2	CA
Color								
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained	Undrained	Undrained	Undrained	Infinite strength
Unit Weight [kN/m ³]	20	19	19	18.5	18.5	18.5	18.5	25
Cohesion [kPa]	0	0	0					
Friction Angle [deg]	38	39	36					
Cohesion Type				70	45	60	120	
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	0	0	0	0	0

Support Properties**Inclusioni**

Support Type: Micro-Pile
Force Application: Passive
Out-of-Plane Spacing: 2.5 m
Pile Shear Strength: 127 kN
Force Direction: Perpendicular to Pile

Pali

Support Type: Micro-Pile
Force Application: Passive
Out-of-Plane Spacing: 3 m
Pile Shear Strength: 198 kN
Force Direction: Perpendicular to Pile



Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI5400001A

Foglio

76 di 120

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 9

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.181340
Center:	11.621, 12.146
Radius:	21.109
Left Slip Surface Endpoint:	-8.661, 6.293
Right Slip Surface Endpoint:	28.886, 0.000
Resisting Moment:	40300.9 kN-m
Driving Moment:	34114.6 kN-m
Passive Support Moment:	3808.6 kN-m
Total Slice Area:	349.658 m ²
Surface Horizontal Width:	37.5465 m
Surface Average Height:	9.31267 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1474
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.18134





Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI5400001A	77 di 120

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 9

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	0.754121	16.3223	-70.7907	Rilevato	0	32.0066	24.3415	28.7556	46.0069	0	46.0069	115.87	115.87
2	0.754121	44.9719	-65.2347	Rilevato	0	32.0066	37.9184	44.7945	71.668	0	71.668	153.862	153.862
3	0.754121	67.433	-60.6991	Rilevato	0	32.0066	44.1286	52.1309	83.4059	0	83.4059	162.039	162.039
4	0.754121	86.2378	-56.7409	Rilevato	0	32.0066	37.7067	44.5444	71.2677	0	71.2677	128.76	128.76
5	0.853674	116.368	-52.9512	U3b_1	50	0	42.3248	50	173.111	0	173.111	229.179	229.179
6	0.853674	133.122	-49.2527	U3b_1	50	0	42.3248	50	201.039	0	201.039	250.164	250.164
7	0.853674	147.881	-45.815	U3b_1	50	0	42.3248	50	223.907	0	223.907	267.453	267.453
8	0.735199	137.96	-42.7927	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	204.387	0	204.387	229.576	229.576
9	0.735199	146.803	-40.1278	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	190.09	0	190.09	213.024	213.024
10	0.735199	154.863	-37.5639	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	189.716	0	189.716	210.642	210.642
11	0.735199	162.22	-35.0857	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	201.536	0	201.536	220.649	220.649
12	0.735199	168.939	-32.6808	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	212.334	0	212.334	229.789	229.789
13	0.735199	175.073	-30.3391	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	228.934	0	228.934	244.859	244.859
14	0.735199	180.664	-28.0522	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	248.19	0	248.19	262.689	262.689
15	0.735199	185.746	-25.8132	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	333.708	0	333.708	346.869	346.869
16	0.735199	190.351	-23.6157	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	341.235	0	341.235	353.131	353.131
17	0.735199	194.502	-21.4546	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	348.084	0	348.084	358.777	358.777
18	0.735199	198.22	-19.3251	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	336.454	0	336.454	345.996	345.996
19	0.735199	201.523	-17.223	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	280.073	0	280.073	288.508	288.508
20	0.735199	204.426	-15.1446	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	285.092	0	285.092	292.456	292.456
21	0.735199	206.942	-13.0865	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	362.284	0	362.284	368.609	368.609
22	0.735199	209.08	-11.0454	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	373.295	0	373.295	378.606	378.606
23	0.735199	210.849	-9.01846	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	376.695	0	376.695	381.013	381.013
24	0.735199	212.257	-7.00284	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	371.388	0	371.388	374.73	374.73
25	0.735199	213.308	-4.99591	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	302.159	0	302.159	304.537	304.537
26	0.735199	219.096	-2.99511	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	301.374	0	301.374	302.798	302.798
27	0.735199	220.743	0.997965	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	299.775	0	299.775	300.249	300.249
28	0.735199	224.116	0.997965	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	305.312	0	305.312	304.838	304.838
29	0.735199	241.719	2.99511	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	330.204	0	330.204	328.781	328.781
30	0.735199	200.876	4.99591	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	275.606	0	275.606	273.227	273.227
31	0.735199	133.366	7.00284	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	184.743	0	184.743	181.401	181.401
32	0.735199	131.936	9.01846	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	183.774	0	183.774	179.456	179.456
33	0.735199	129.385	11.0454	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	181.298	0	181.298	175.987	175.987
34	0.735199	114.414	13.0865	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	161.947	0	161.947	155.622	155.622
35	0.735199	111.899	15.1446	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	159.565	0	159.565	152.201	152.201
36	0.735199	108.995	17.223	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	156.687	0	156.687	148.252	148.252
37	0.735199	105.692	19.3251	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	153.301	0	153.301	143.759	143.759
38	0.735199	101.974	21.4546	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	149.394	0	149.394	138.702	138.702
39	0.735199	97.8231	23.6157	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	144.952	0	144.952	133.056	133.056
40	0.735199	93.2187	25.8132	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	139.954	0	139.954	126.793	126.793
41	0.735199	88.136	28.0522	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	134.378	0	134.378	119.879	119.879
42	0.735199	82.5455	30.3391	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	128.199	0	128.199	112.275	112.275
43	0.735199	76.4118	32.6808	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	121.387	0	121.387	103.932	103.932
44	0.735199	69.6924	35.0857	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	113.905	0	113.905	94.792	94.792
45	0.735199	62.335	37.5639	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	105.711	0	105.711	84.7847	84.7847
46	0.735199	54.2753	40.1278	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	96.7565	0	96.7565	73.8219	73.8219
47	0.735199	45.4322	42.7927	U3b_2	32.1429	0	27.2088	32.1429	86.9829	0	86.9829	61.7937	61.7937
48	0.853674	40.4433	45.815	U3b_1	50	0	42.3248	50	90.9185	0	90.9185	47.3722	47.3722
49	0.853674	25.6837	49.2527	U3b_1	50	0	42.3248	50	79.2071	0	79.2071	30.0821	30.0821
50	0.853674	8.9298	52.9512	U3b_1	50	0	42.3248	50	66.5234	0	66.5234	10.4559	10.4559

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.18134

--



Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI5400001A	78 di 120



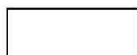
Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	-8.66053	6.29269	0	0	0
2	-7.90641	4.12827	81.2228	0	0
3	-7.15229	2.49361	169.783	0	0
4	-6.39817	1.14983	248.586	0	0
5	-5.64405	0	302.099	0	0
6	-4.79037	-1.13086	461.735	0	0
7	-3.9367	-2.12169	624.802	0	0
8	-3.08303	-3	785.333	0	0
9	-2.34783	-3.68063	904.442	0	0
10	-1.61263	-4.30033	1002.24	0	0
11	-0.877429	-4.86577	1089.51	0	0
12	-0.14223	-5.38221	1173.59	0	0
13	0.592969	-5.85385	1253.73	0	0
14	1.32817	-6.28414	1332.24	0	0
15	2.06337	-6.67591	1409.47	0	0
16	2.79857	-7.03153	1508.14	0	0
17	3.53377	-7.35297	1597.82	0	0
18	4.26897	-7.6419	1678.39	0	0
19	5.00416	-7.89972	1745.13	0	0
20	5.73936	-8.12763	1788.96	0	0
21	6.47456	-8.32661	1782.69	0	0
22	7.20976	-8.49752	1824.6	0	0
23	7.94496	-8.64103	1858.17	0	0
24	8.68016	-8.75772	1882.12	0	0
25	9.41536	-8.84802	1895.66	0	0
26	10.1506	-8.91229	1895.08	0	0
27	10.8858	-8.95076	1886.67	0	0
28	11.621	-8.96357	1814.64	0	0
29	12.3562	-8.95076	1790.73	0	0
30	13.0914	-8.91229	1758.02	0	0
31	13.8266	-8.84802	1720.31	0	0
32	14.5618	-8.75772	1627.75	0	0
33	15.297	-8.64103	1586.3	0	0
34	16.0322	-8.49752	1540.28	0	0
35	16.7674	-8.32661	1492.6	0	0
36	17.5026	-8.12763	1440.85	0	0
37	18.2378	-7.89972	1385.14	0	0
38	18.973	-7.6419	1325.61	0	0
39	19.7081	-7.35297	1262.44	0	0
40	20.4433	-7.03153	1195.85	0	0
41	21.1785	-6.67591	1126.08	0	0
42	21.9137	-6.28414	1053.43	0	0
43	22.6489	-5.85385	978.263	0	0
44	23.3841	-5.38221	901.01	0	0
45	24.1193	-4.86577	822.184	0	0
46	24.8545	-4.30033	742.408	0	0
47	25.5897	-3.68063	662.445	0	0
48	26.3249	-3	583.24	0	0
49	27.1786	-2.12169	467.257	0	0
50	28.0323	-1.13086	352.647	0	0
51	28.886	0	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-34.104	0
63.654	0

Distributed Load





Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5400001A

79 di 120

SLIDEINTERPRET 7.038



X	Y
-1.66654	6.29269
-2.82951	6.29269
-5.62951	6.29269
-6.6023	6.29269
-9.4023	6.29269
-10.5811	6.29269

Distributed Load

X	Y
-6.6023	6.29269
-9.4023	6.29269

Distributed Load

X	Y
-2.82951	6.29269
-5.62951	6.29269

Distributed Load

X	Y
4.83985	6.29269
2.03985	6.29269

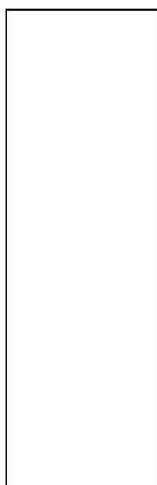
Distributed Load

X	Y
9.33985	6.29269
6.53985	6.29269

Distributed Load

X	Y
10.395	6.29269
9.33985	6.29269
6.53985	6.29269
4.83985	6.29269
2.03985	6.29269
0.984685	6.29269

External Boundary





Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5400001A

80 di 120

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 8 of 9

X	Y
-34.104	-9
-34.104	-13
-34.104	-18
-34.104	-23
-34.104	-28
-34.104	-30
63.654	-30
63.654	-28
63.654	-23
63.654	-18
63.654	-13
63.654	-9
63.654	-3
63.654	0
15.99	0
15.99	0.491492
13.84	0.491492
13.2599	6.29269
12.2399	6.29269
10.395	6.29269
9.33985	6.29269
6.53985	6.29269
4.83985	6.29269
2.03985	6.29269
0.984685	6.29269
-0.0296932	6.29269
-1.66654	6.29269
-2.82951	6.29269
-5.62951	6.29269
-6.6023	6.29269
-9.4023	6.29269
-10.5811	6.29269
-13.338	6.29269
-25.1693	0
-34.104	0
-34.104	-3

Material Boundary

X	Y
12.2399	6.29269
12.2399	0.491492
10.8095	0.491492
10.3	0.491492
10.3	1.11022e-016
10.3	-0.958508
15.99	-0.958508
15.99	0

Material Boundary

X	Y
-25.1693	0
10.3	1.11022e-016

Material Boundary

X	Y
-34.104	-3
63.654	-3

Material Boundary

X	Y
-34.104	-9
63.654	-9

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI5400001A

Foglio
81 di 120

Material Boundary

X	Y
-34.104	-13
63.654	-13

Material Boundary

X	Y
-34.104	-23
63.654	-23

Material Boundary

X	Y
-34.104	-28
63.654	-28

Material Boundary

X	Y
-0.0296932	6.29269
10.8095	0.491492

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5400001A</p>	<p>Foglio 82 di 120</p>

<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 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5400001A</p>	<p>Foglio 83 di 120</p>

ALLEGATO 4 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICA

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5400001A</p>	<p>Foglio 84 di 120</p>

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 85 di 120

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: R154_01_sism.slim
Slide Modeler Version: 7.038
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 01/09/2021, 15:16:31

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



Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI5400001A

Foglio

86 di 120

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 2 of 9

Groundwater Analysis

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: Not Defined
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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 87 di 120

Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

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]: 14.4
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Dead

Material Properties

Property	Rilevato	U6	U4	U3b_1	U3b_2	U3b_3	U2	CA	
Color									
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained	Undrained	Undrained	Undrained	Infinite strength	
Unit Weight [kN/m ³]	20	19	19	18.5	18.5	18.5	18.5	25	
Cohesion [kPa]	0	0	0						
Friction Angle [deg]	38	39	36						
Cohesion Type				70		60	120		
Cohesion Type					Function Of Depth Below a Datum				
Cohesion (Top) [kPa]					40				
Cohesion Change [kPa/m]					1.7				
Datum [m]					-3				
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	
Hu Value	1	1	1	0	0	0	0	0	

Support Properties

Inclusioni

Support Type: Micro-Pile
Force Application: Active
Out-of-Plane Spacing: 2 m
Pile Shear Strength: 127 kN
Force Direction: Perpendicular to Pile



Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI5400001A

Foglio

88 di 120

Pali

Support Type: Micro-Pile
Force Application: Active
Out-of-Plane Spacing: 3 m
Pile Shear Strength: 197 kN
Force Direction: Parallel to Surface

Global Minimums**Method: bishop simplified**

FS	1.147710
Center:	15.399, 19.680
Radius:	31.688
Left Slip Surface Endpoint:	-13.323, 6.293
Right Slip Surface Endpoint:	40.235, 0.000
Resisting Moment:	73658.5 kN-m
Driving Moment:	64178.8 kN-m
Active Support Moment:	-6082.61 kN-m
Total Slice Area:	574.535 m ²
Surface Horizontal Width:	53.5586 m
Surface Average Height:	10.7272 m

Valid / Invalid Surfaces**Method: bishop simplified**

Number of Valid Surfaces: 1490
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.14771



Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI5400001A	89 di 120

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 9

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	0.97126	18.5711	-63.0711	Rilevato	0	32.0066	4.80845	5.51871	8.82953	0	8.82953	18.2957	18.2957
2	0.97126	53.0974	-59.4064	Rilevato	0	32.0066	14.8312	17.0219	27.2338	0	27.2338	52.3184	52.3184
3	0.97126	83.0942	-56.1061	Rilevato	0	32.0066	25.3936	29.1445	46.6291	0	46.6291	84.4274	84.4274
4	0.97126	109.686	-53.0698	Rilevato	0	32.0066	38.6775	44.3906	71.0215	0	71.0215	122.479	122.479
5	0.901874	122.577	-50.3309	U3b_1	50	0	43.565	50	103.793	0	103.793	156.325	156.325
6	0.901874	139.958	-47.8387	U3b_1	50	0	43.565	50	127.204	0	127.204	175.314	175.314
7	0.901874	155.912	-45.4613	U3b_1	50	0	43.565	50	148.024	0	148.024	192.296	192.296
8	1.12556	215.017	-42.9094	U3b_2	29.2067	0	25.4478	29.2067	175.511	0	175.511	199.166	199.166
9	1.12556	235.809	-40.1878	U3b_2	30.4192	0	26.5043	30.4192	205.129	0	205.129	227.517	227.517
10	1.12556	254.723	-37.5718	U3b_2	31.5221	0	27.4652	31.5221	222.509	0	222.509	243.638	243.638
11	1.12556	271.957	-35.0448	U3b_2	32.5272	0	28.341	32.5272	231.902	0	231.902	251.779	251.779
12	1.12556	287.669	-32.594	U3b_2	33.4434	0	29.1392	33.4434	233.601	0	233.601	252.232	252.232
13	1.12556	301.984	-30.2086	U3b_2	34.2782	0	29.8666	34.2782	239.833	0	239.833	257.222	257.222
14	1.12556	315.006	-27.8798	U3b_2	35.0376	0	30.5283	35.0376	254.241	0	254.241	270.392	270.392
15	1.12556	326.82	-25.6001	U3b_2	35.7265	0	31.1285	35.7265	280.416	0	280.416	295.331	295.331
16	1.12556	337.497	-23.3632	U3b_2	36.3491	0	31.671	36.3491	300.516	0	300.516	314.197	314.197
17	1.12556	347.096	-21.1635	U3b_2	36.9089	0	32.1587	36.9089	309.93	0	309.93	322.38	322.38
18	1.12556	355.667	-18.9961	U3b_2	37.4087	0	32.5942	37.4087	309.629	0	309.629	320.85	320.85
19	1.12556	363.252	-16.8565	U3b_2	37.851	0	32.9796	37.851	316.424	0	316.424	326.416	326.416
20	1.12556	369.886	-14.741	U3b_2	38.2379	0	33.3167	38.2379	333.048	0	333.048	341.814	341.814
21	1.12556	375.598	-12.6458	U3b_2	38.571	0	33.6069	38.571	339.145	0	339.145	346.686	346.686
22	1.12556	380.414	-10.5677	U3b_2	38.8518	0	33.8516	38.8518	335.617	0	335.617	341.932	341.932
23	1.12556	392.835	-8.50362	U3b_2	39.0815	0	34.0517	39.0815	332.715	0	332.715	337.806	337.806
24	1.12556	401.91	-6.4506	U3b_2	39.2609	0	34.208	39.2609	331.998	0	331.998	335.866	335.866
25	1.12556	423.128	-4.40587	U3b_2	39.3909	0	34.3213	39.3909	357.86	0	357.86	360.504	360.504
26	1.12556	282.436	-2.36676	U3b_2	39.4718	0	34.3918	39.4718	236.805	0	236.805	238.227	238.227
27	1.49124	355.812	0	U3b_2	39.5	0	34.4164	39.5	228.818	0	228.818	228.818	228.818
28	1.06928	236.952	2.3158	U3b_2	39.4737	0	34.3934	39.4737	213.912	0	213.912	212.521	212.521
29	1.06928	235.738	4.25271	U3b_2	39.3992	0	34.3285	39.3992	213.99	0	213.99	211.437	211.437
30	1.06928	233.803	6.19451	U3b_2	39.2805	0	34.2251	39.2805	213.421	0	213.421	209.707	209.707
31	1.06928	231.142	8.14349	U3b_2	39.1171	0	34.0827	39.1171	212.202	0	212.202	207.325	207.325
32	1.06928	227.745	10.102	U3b_2	38.9086	0	33.9011	38.9086	210.323	0	210.323	204.283	204.283
33	1.06928	223.598	12.0726	U3b_2	38.654	0	33.6792	38.654	207.772	0	207.772	200.569	200.569
34	1.06928	218.688	14.0577	U3b_2	38.3526	0	33.4166	38.3526	204.538	0	204.538	196.17	196.17
35	1.06928	212.995	16.0603	U3b_2	38.0032	0	33.1122	38.0032	200.602	0	200.602	191.07	191.07
36	1.06928	206.497	18.0833	U3b_2	37.6043	0	32.7646	37.6043	195.946	0	195.946	185.247	185.247
37	1.06928	199.167	20.1298	U3b_2	37.1543	0	32.3726	37.1543	190.544	0	190.544	178.678	178.678
38	1.06928	190.974	22.2036	U3b_2	36.6514	0	31.9344	36.6514	184.37	0	184.37	171.335	171.335
39	1.06928	181.88	24.3086	U3b_2	36.0932	0	31.448	36.0932	177.388	0	177.388	163.183	163.183
40	1.06928	171.841	26.4491	U3b_2	35.477	0	30.9111	35.477	169.563	0	169.563	154.185	154.185
41	1.06928	160.807	28.6303	U3b_2	34.7996	0	30.3209	34.7996	160.846	0	160.846	144.294	144.294
42	1.06928	148.714	30.8579	U3b_2	34.0573	0	29.6741	34.0573	151.184	0	151.184	133.454	133.454
43	1.06928	135.491	33.1385	U3b_2	33.2456	0	28.9669	33.2456	140.51	0	140.51	121.599	121.599
44	1.06928	121.048	35.4803	U3b_2	32.359	0	28.1944	32.359	128.747	0	128.747	108.651	108.651
45	1.06928	105.278	37.8925	U3b_2	31.391	0	27.351	31.391	115.799	0	115.799	94.5128	94.5128
46	1.06928	88.0506	40.3868	U3b_2	30.3335	0	26.4296	30.3335	101.55	0	101.55	79.0675	79.0675
47	1.06928	69.1994	42.9774	U3b_2	29.1763	0	25.4213	29.1763	85.8527	0	85.8527	62.1657	62.1657
48	0.901874	42.4081	45.4613	U3b_1	50	0	43.565	50	89.5587	0	89.5587	45.2864	45.2864
49	0.901874	26.4535	47.8387	U3b_1	50	0	43.565	50	76.4486	0	76.4486	28.3379	28.3379
50	0.901874	9.07233	50.3309	U3b_1	50	0	43.565	50	62.4065	0	62.4065	9.87469	9.87469

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.14771

--



Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5400001A

90 di 120

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 6 of 9

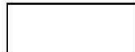
Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	-13.3232	6.29269	0	0	0
2	-12.3519	4.38062	13.7336	0	0
3	-11.3806	2.73789	48.4111	0	0
4	-10.4094	1.29218	97.9497	0	0
5	-9.43811	-7.10543e-015	161.097	0	0
6	-8.53624	-1.0875	244.686	0	0
7	-7.63436	-2.08348	343.534	0	0
8	-6.73249	-3	452.68	0	0
9	-5.60693	-4.04627	625.392	0	0
10	-4.48138	-4.99703	810.032	0	0
11	-3.35582	-5.86294	992.799	0	0
12	-2.23027	-6.65238	1166.41	0	0
13	-1.10471	-7.37203	1325.45	0	0
14	0.0208422	-8.02735	1473.92	0	0
15	1.1464	-8.62279	1616.94	0	0
16	2.27195	-9.16207	1760.1	0	0
17	3.39751	-9.64828	1898.43	0	0
18	4.52306	-10.084	2025.94	0	0
19	5.64862	-10.4715	2138.59	0	0
20	6.77417	-10.8125	2175.87	0	0
21	7.89973	-11.1087	2267.53	0	0
22	9.02529	-11.3612	2346.37	0	0
23	10.1508	-11.5712	2410.15	0	0
24	11.2764	-11.7395	2460.25	0	0
25	12.402	-11.8668	2431.94	0	0
26	13.5275	-11.9535	2459.29	0	0
27	14.6531	-12	2389.26	0	0
28	16.1443	-12	2367.25	0	0
29	17.2136	-11.9568	2340.73	0	0
30	18.2829	-11.8772	2306.42	0	0
31	19.3521	-11.7612	2264.3	0	0
32	20.4214	-11.6082	2214.41	0	0
33	21.4907	-11.4177	2156.84	0	0
34	22.56	-11.189	2091.72	0	0
35	23.6292	-10.9212	2019.22	0	0
36	24.6985	-10.6134	1939.58	0	0
37	25.7678	-10.2643	1853.12	0	0
38	26.8371	-9.87232	1760.21	0	0
39	27.9064	-9.43588	1661.3	0	0
40	28.9756	-8.95289	1556.94	0	0
41	30.0449	-8.42095	1447.81	0	0
42	31.1142	-7.83723	1334.71	0	0
43	32.1835	-7.19835	1218.6	0	0
44	33.2527	-6.50027	1100.65	0	0
45	34.322	-5.73812	982.292	0	0
46	35.3913	-4.90593	865.291	0	0
47	36.4606	-3.99633	751.846	0	0
48	37.5299	-3	644.752	0	0
49	38.4317	-2.08348	526.73	0	0
50	39.3336	-1.0875	413.324	0	0
51	40.2355	0	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-34.104	0
63.654	0

Distributed Load





Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5400001A

91 di 120

SLIDEINTERPRET 7.038



X	Y
-1.66654	6.29269
-2.82951	6.29269
-5.62951	6.29269
-6.6023	6.29269
-9.4023	6.29269
-10.5811	6.29269

Distributed Load

X	Y
-6.6023	6.29269
-9.4023	6.29269

Distributed Load

X	Y
-2.82951	6.29269
-5.62951	6.29269

Distributed Load

X	Y
4.83985	6.29269
2.03985	6.29269

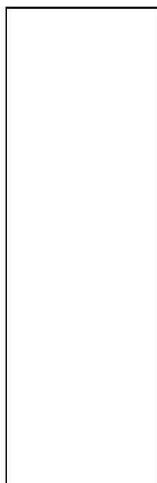
Distributed Load

X	Y
9.33985	6.29269
6.53985	6.29269

Distributed Load

X	Y
10.395	6.29269
9.33985	6.29269
6.53985	6.29269
4.83985	6.29269
2.03985	6.29269
0.984685	6.29269

External Boundary





Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5400001A

92 di 120

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 8 of 9

X	Y
-34.104	-12
-34.104	-13
-34.104	-18
-34.104	-22
-34.104	-23
-34.104	-28
-34.104	-30
63.654	-30
63.654	-28
63.654	-23
63.654	-22
63.654	-18
63.654	-13
63.654	-12
63.654	-3
63.654	0
15.99	0
15.99	0.491492
13.84	0.491492
13.2599	6.29269
12.2399	6.29269
10.395	6.29269
9.33985	6.29269
6.53985	6.29269
4.83985	6.29269
2.03985	6.29269
0.984685	6.29269
-0.0296932	6.29269
-1.66654	6.29269
-2.82951	6.29269
-5.62951	6.29269
-6.6023	6.29269
-9.4023	6.29269
-10.5811	6.29269
-13.338	6.29269
-25.1693	0
-34.104	0
-34.104	-3

Material Boundary

X	Y
12.2399	6.29269
12.2399	0.491492
10.8095	0.491492
10.3	0.491492
10.3	1.11022e-016
10.3	-0.958508
15.99	-0.958508
15.99	0

Material Boundary

X	Y
-25.1693	0
10.3	1.11022e-016

Material Boundary

X	Y
-34.104	-3
63.654	-3

Material Boundary

--	--

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI5400001A

Foglio
93 di 120

X	Y
-34.104	-12
63.654	-12

Material Boundary

X	Y
-34.104	-13
63.654	-13

Material Boundary

X	Y
-34.104	-23
63.654	-23

Material Boundary

X	Y
-34.104	-28
63.654	-28

Material Boundary

X	Y
-0.0296932	6.29269
10.8095	0.491492

<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 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5400001A</p>	<p>Foglio 94 di 120</p>

ALLEGATO 5 – TABULATI DI PLAXIS

<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 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5400001A</p>	<p>Foglio 95 di 120</p>

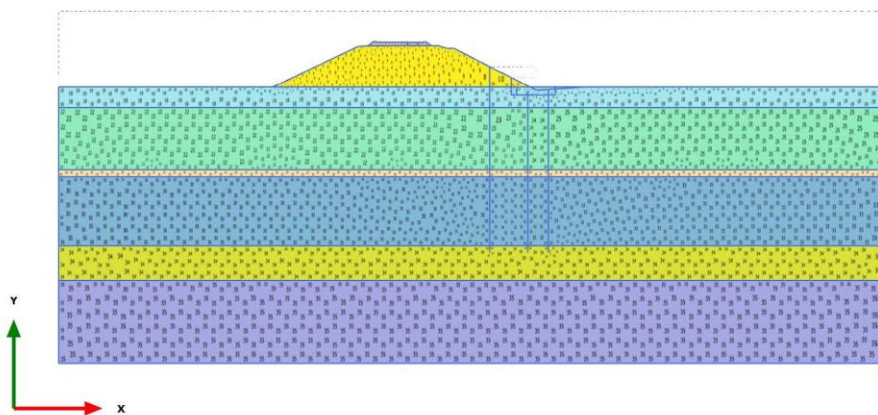
RI51_NT_01

PLAXIS Report

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5400001A</p>	<p>Foglio 96 di 120</p>

RI51_NT_01

**1.1.1.1 Calculation results, Initial phase [InitialPhase] (0/10),
Connectivity plot**

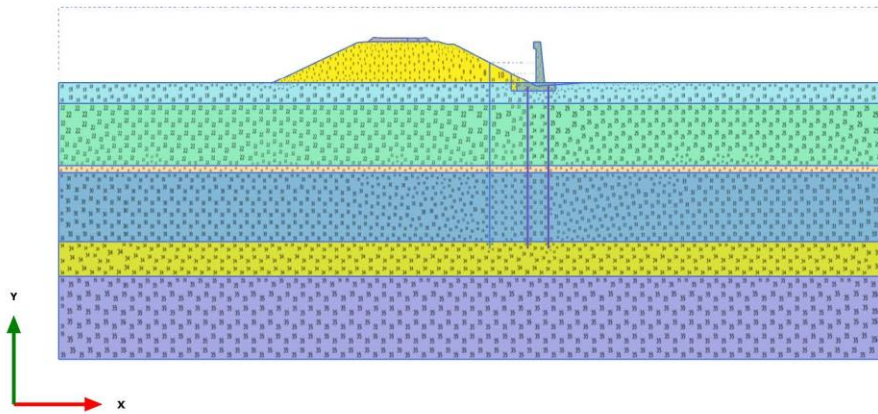


Connectivity plot

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5400001A</p>	<p>Foglio 97 di 120</p>

RI51_NT_01

1.1.1.2 Calculation results, Muro [Phase_6] (6/13), Connectivity plot

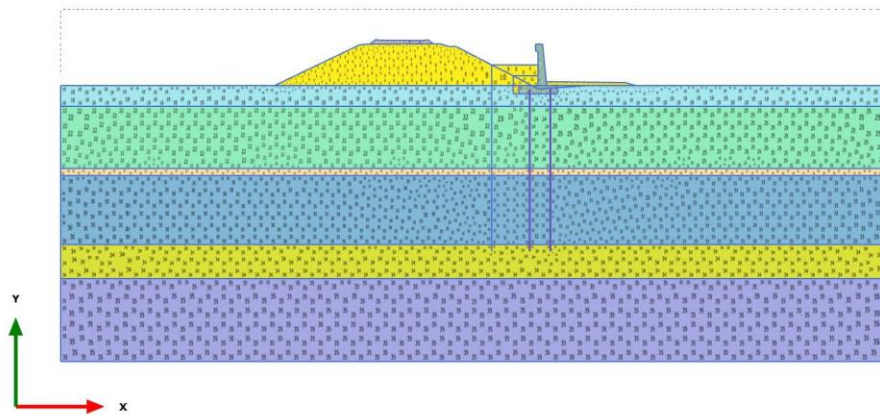


Connectivity plot

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5400001A</p>	<p>Foglio 98 di 120</p>

RI51_NT_01

**1.1.1.3 Calculation results, cons rilevato 1 [Phase_1] (1/29),
Connectivity plot**

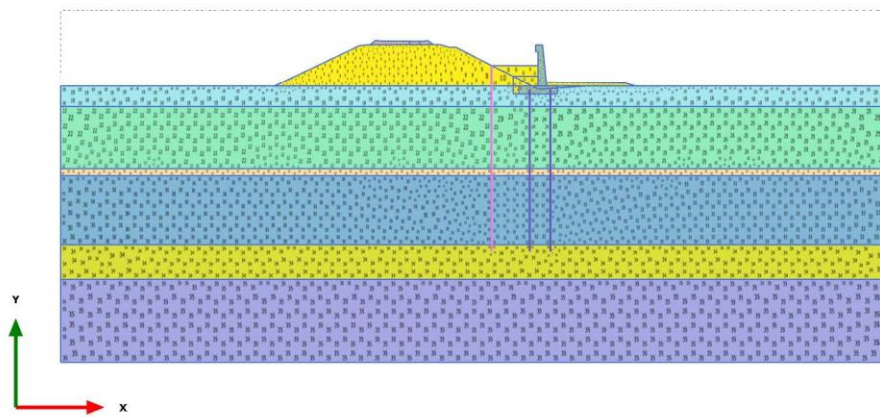


Connectivity plot

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 99 di 120

RI51_NT_01

1.1.1.4 Calculation results, inclusioni [Phase_4] (5/47), Connectivity plot

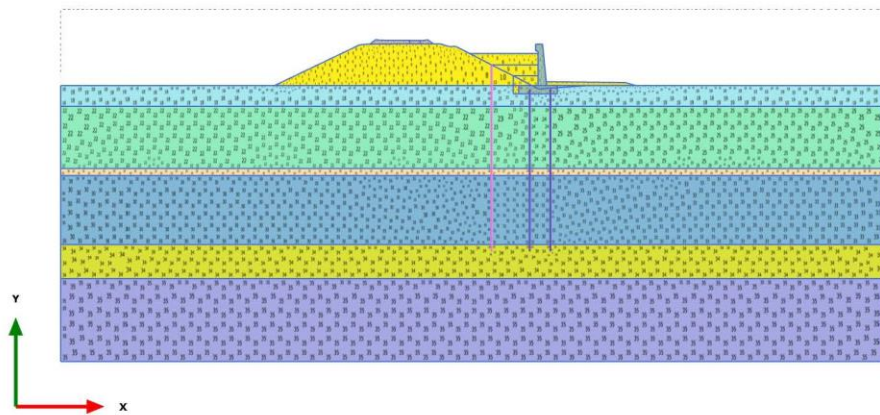


Connectivity plot

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5400001A</p>	<p>Foglio 100 di 120</p>

RI51_NT_01

**1.1.1.5 Calculation results, cons rilevato 3 [Phase_8] (8/61),
Connectivity plot**

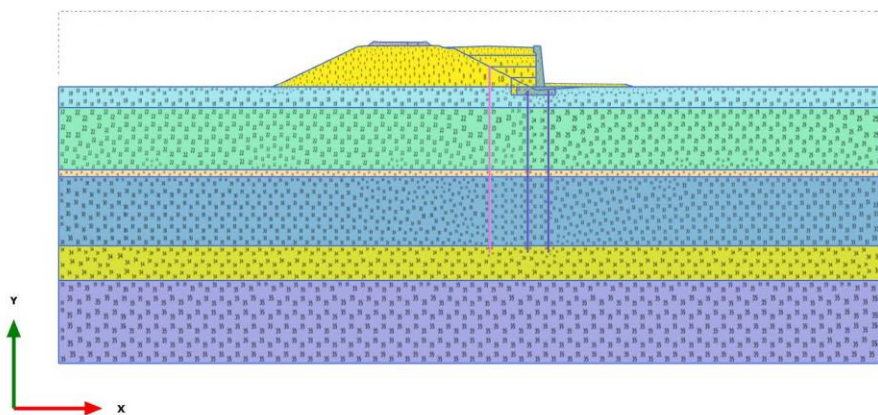


Connectivity plot

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 101 di 120

RI51_NT_01

**1.1.1.6 Calculation results, cons rilevato 4 [Phase_10] (10/82),
Connectivity plot**

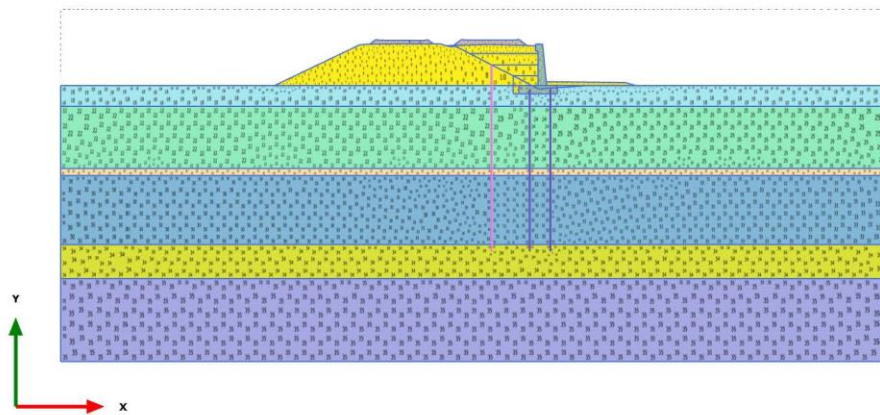


Connectivity plot

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 102 di 120

RI51_NT_01

**1.1.1.7 Calculation results, Phase_12 [Phase_12] (12/99),
Connectivity plot**





Connectivity plot

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 103 di 120

RI51_NT_01

1.1.2.1.1 Materials - Soil and interfaces - Linear elastic

Identification		Ballast	CA
Identification number		1	10
Drainage type		Drained	Non-porous
Colour			
Comments			
γ_{unsat}	kN/m ³	18.00	25.00
γ_{sat}	kN/m ³	18.00	25.00
Dilatancy cut-off		No	No
e_{int}		0.5000	0.5000
e_{min}		0.000	0.000
e_{max}		999.0	999.0
E	kN/m ²	100.0E3	33.00E6
ν (nu)		0.3000	0.2000
G	kN/m ²	38.46E3	13.75E6
E_{oed}		134.6E3	36.67E6
Set to default values		Yes	Yes
E_{inc}		0.000	0.000
y_{ref}		0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard
Skempton-B		0.9783	0.9866
ν_u		0.4950	0.4950
$K_{w,ref} / n$		3.750E6	1.352E9
Stiffness		Standard	Standard
Strength		Rigid	Rigid
R_{inter}		1.000	1.000
Consider gap closure		Yes	Yes
δ_{inter}		0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk		0.000	0.000
R		0.000	0.000
K _o determination		Automatic	Automatic
$K_{0,x} = K_{0,z}$		Yes	Yes
$K_{0,x}$		0.5000	0.5000



Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI5400001A

Foglio

104 di 120

RI51_NT_01

Identification		Ballast	CA
$K_{0,z}$		0.5000	0.5000
Data set		Standard	Standard
Type		Medium	Coarse
< 2 μm	%	19.00	10.00
2 μm - 50 μm	%	41.00	13.00
50 μm - 2 mm	%	40.00	77.00
Use defaults		None	None
k_x	m/day	86.40	0.000
k_y	m/day	86.40	0.000
$-\psi_{\text{unsat}}$	m	10.00E3	10.00E3
e_{int}		0.5000	0.5000
S_s	1/m	0.000	0.000
C_k		1000E12	1000E12
c_s	kJ/t/K	0.000	0.000
λ_s	kW/m/K	0.000	0.000
ρ_s	t/m ³	0.000	0.000
Solid thermal expansion		Volumetric	Volumetric
a_s	1/K	0.000	0.000
D_v	m ² /day	0.000	0.000
f_{TV}		0.000	0.000
Unfrozen water content		None	None



Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI5400001A

Foglio

105 di 120

RI51_NT_01

1.1.2.1.2.1 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb (1/2)

Identification		Rilevato	U6_1	U4_1	U2_1	U4_2
Identification number		2	4	8	9	11
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Undrained (B)	Drained
Colour						
Comments						
γ_{sat}	kN/m ³	20.00	19.00	19.00	19.00	19.00
γ_{se}	kN/m ³	20.00	19.00	19.00	19.00	19.00
Dilatancy cut-off		No	No	No	No	No
e_{-in}		0.5000	0.5000	0.5000	1.000	0.5000
e_{-ref}		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
e_{-max}		999.0	999.0	999.0	999.0	999.0
E	kN/m ²	60.00E3	100.0E3	35.00E3	150.0E3	60.00E3
ν (nu)		0.3000	0.3000	0.3000	0.2500	0.3000
G	kN/m ²	23.08E3	38.46E3	13.46E3	60.00E3	23.08E3
E_{-iso}	kN/m ²	80.77E3	134.6E3	47.12E3	180.0E3	80.77E3
c_{-ref}	kN/m ²	0.000	0.000	0.000	120.0	0.000
ϕ (phi)	°	38.00	39.00	36.00	0.000	36.00
ψ (psi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Set to default values		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
E_{-sc}	kN/m ² /m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
γ_{-sc}	m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
c_{-sc}	kN/m ² /m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
γ_{-sc}	m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
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		0.9783	0.9783	0.9783	0.9833	0.9783
ν_{-u}		0.4950	0.4950	0.4950	0.4950	0.4950
K_{-ref} / n	kN/m ²	2.250E6	3.750E6	1.313E6	5.880E6	2.250E6
C_{-ref}	m ² /day	0.000	0.000	0.000	15.55	0.000
Stiffness		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Strength		Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
R_{-ref}		0.6670	0.6670	0.6670	0.6670	0.6670
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
δ_{-ref}		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Gross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /day/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
R	m ² K/kW	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K_{-o} determination		Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
$K_{-sat} = K_{-oi}$		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
K_{-oi}		0.3843	0.3707	0.4122	0.5000	0.4122
K_{-oi}		0.3843	0.3707	0.4122	0.5000	0.4122
Data set		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Type		Coarse	Coarse	Coarse	Coarse	Coarse



Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5400001A

106 di 120


RI51_NT_01

Identification		Rilevato	U6_1	U4_1	U2_1	U4_2
< 2 μm	%	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
2 μm - 50 μm	%	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
50 μm - 2 mm	%	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00
Use defaults		None	None	None	None	None
k_x	m/day	864.0	86.40	0.8640	0.8640E-3	8.640
k_y	m/day	864.0	86.40	0.8640	0.8640E-3	8.640
$-\psi_{\text{use}}$	m	10.00E3	10.00E3	10.00E3	10.00E3	10.00E3
e_{∞}		0.5000	0.5000	0.5000	1.000	0.5000
S_v	1/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
c_v		1000E12	1000E12	1000E12	1000E12	1000E12
c_s	kJ/t/K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
λ_s	kW/m/K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ρ_s	t/m ³	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Solid thermal expansion		Volumetric	Volumetric	Volumetric	Volumetric	Volumetric
α_s	1/K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
D_v	m ² /day	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
f_{sv}		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Unfrozen water content		None	None	None	None	None

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 107 di 120

RI51_NT_01

1.1.2.1.2.2 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb (2/2)

Identification		U6_2
Identification number		12
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
γ_{unsat}	kN/m ³	19.00
γ_{sat}	kN/m ³	19.00
Dilatancy cut-off		No
e_{irt}		0.5000
e_{min}		0.000
e_{max}		999.0
E	kN/m ²	150.0E3
ν (nu)		0.3000
G	kN/m ²	57.69E3
E_{oed}	kN/m ²	201.9E3
c_{ref}	kN/m ²	0.000
ϕ (phi)	°	39.00
ψ (psi)	°	0.000
Set to default values		Yes
E_{inc}	kN/m ² /m	0.000
y_{ref}	m	0.000
c_{inc}	kN/m ² /m	0.000
y_{ref}	m	0.000
Tension cut-off		Yes
Tensile strength	kN/m ²	0.000
Undrained behaviour		Standard
Skempton-B		0.9783
ν_u		0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m ²	5.625E6
Stiffness		Standard
Strength		Manual
R_{inter}		0.6670
Consider gap closure		Yes



Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI5400001A

Foglio

108 di 120

RI51_NT_01

Identification		U6_2
δ_{inter}		0.000
Cross permeability		Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /day/m	0.000
R	m ² K/kW	0.000
K_o determination		Automatic
$K_{0,x} = K_{0,z}$		Yes
$K_{0,x}$		0.3707
$K_{0,z}$		0.3707
Data set		Standard
Type		Coarse
< 2 μ m	%	10.00
2 μ m - 50 μ m	%	13.00
50 μ m - 2 mm	%	77.00
Use defaults		None
k_x	m/day	86.40
k_y	m/day	86.40
$-\psi_{unsat}$	m	10.00E3
e_{int}		0.5000
S_s	1/m	0.000
c_k		1000E12
c_s	kJ/t/K	0.000
λ_s	kW/m/K	0.000
ρ_s	t/m ³	0.000
Solid thermal expansion		Volumetric
α_s	1/K	0.000
D_v	m ² /day	0.000
f_{Tv}		0.000
Unfrozen water content		None



Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5400001A

109 di 120

RI51_NT_01

1.1.2.1.3 Materials - Soil and interfaces - Hardening soil

Identification		U3b_1	U3b_2	U3b_3	U3b_4
Identification number		3	5	6	7
Drainage type		Undrained (B)	Undrained (B)	Undrained (B)	Undrained (B)
Colour					
Comments					
γ_{unsat}	kN/m ³	18.50	18.50	18.50	18.50
γ_{sat}	kN/m ³	18.50	18.50	18.50	18.50
Dilatancy cut-off		No	No	No	No
e_{rit}		1.000	1.000	1.000	1.000
e_{min}		0.000	0.000	0.000	0.000
e_{max}		999.0	999.0	999.0	999.0
E_{50}^{ref}	kN/m ²	1797	1797	1797	1797
E_{oed}^{ref}	kN/m ²	1438	1438	1438	1438
E_{ur}^{ref}	kN/m ²	13.80E3	13.80E3	13.80E3	13.80E3
power (m)		1.000	1.000	1.000	1.000
Use alternatives		No	No	No	No
C_c		0.3200	0.3200	0.3200	0.3200
C_s		0.03000	0.03000	0.03000	0.03000
e_{rit}		1.000	1.000	1.000	1.000
c_{ref}	kN/m ²	70.00	45.00	60.00	70.00
ϕ (phi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000
ψ (psi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000
Set to default values		No	Yes	Yes	Yes
v_{ur}		0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
p_{ref}	kN/m ²	100.0	100.0	100.0	100.0
K_0^{IC}		1.000	1.000	1.000	1.000
C_{vc}	kN/m ² /m	0.000	0.000	0.000	0.000
y_{ref}	m	0.000	0.000	0.000	0.000
R_f		0.9000	0.9000	0.9000	0.9000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	5.000	0.000	0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0.9866	0.9866	0.9866	0.9866
v_{u}		0.4950	0.4950	0.4950	0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m ²	565.4E3	565.4E3	565.4E3	565.4E3
Stiffness		Standard	Standard	Standard	Standard
Strength		Manual	Manual	Manual	Manual
R_{inter}		0.6670	0.6670	0.6670	0.6670



Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5400001A

110 di 120

RI51_NT_01

Identification		U3b_1	U3b_2	U3b_3	U3b_4
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes
δ_{water}		0.000	0.000	0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /day/m	0.000	0.000	0.000	0.000
R	m ² K/kW	0.000	0.000	0.000	0.000
K _o determination		Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
OCR		1.000	1.000	1.000	1.000
POP	kN/m ²	242.0	153.0	91.00	106.0
Data set		Standard	Standard	Standard	Standard
Type		Coarse	Coarse	Coarse	Coarse
< 2 μ m	%	10.00	10.00	10.00	10.00
2 μ m - 50 μ m	%	13.00	13.00	13.00	13.00
50 μ m - 2 mm	%	77.00	77.00	77.00	77.00
Use defaults		None	None	None	None
k _x	m/day	8.640E-3	8.640E-3	8.640E-3	8.640E-3
k _y	m/day	8.640E-3	8.640E-3	8.640E-3	8.640E-3
$-\psi_{unsat}$	m	10.00E3	10.00E3	10.00E3	10.00E3
e _{sat}		1.000	1.000	1.000	1.000
S _s	1/m	0.000	0.000	0.000	0.000
c _i		1000E12	1000E12	1000E12	1000E12
c _s	kJ/t/K	0.000	0.000	0.000	0.000
λ_s	kW/m/K	0.000	0.000	0.000	0.000
ρ_s	t/m ³	0.000	0.000	0.000	0.000
Solid thermal expansion		Volumetric	Volumetric	Volumetric	Volumetric
a _s	1/K	0.000	0.000	0.000	0.000
D _v	m ² /day	0.000	0.000	0.000	0.000
f _{Tv}		0.000	0.000	0.000	0.000
Unfrozen water content		None	None	None	None



Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica





EI2RBRI5400001A

Foglio

111 di 120

RI51_NT_01

1.1.2.2 Materials - Embedded beam row -

Identification		PaliMuro	Consolidamenti
Identification number		1	2
Comments			
Colour			
Material type		Elastic	Elastic
E	kN/m ²	33.00E6	33.00E6
γ	kN/m ³	6.500	5.000
Beam type		Predefined	Predefined
Predefined beam type		Massive circular beam	Massive circular beam
Diameter	m	1.000	0.8000
A	m ²	0.7854	0.5027
I ₂	m ⁴	0.04909	0.02011
I ₃	m ⁴	0.04909	0.02011
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	495.0	543.0
Identification number		1	2
Comments			
Colour			
Material type		Elastic	Elastic
E	kN/m ²	33.00E6	33.00E6
γ	kN/m ³	6.500	5.000
Beam type		Predefined	Predefined
Predefined beam type		Massive circular beam	Massive circular beam
Diameter	m	1.000	0.8000
A	m ²	0.7854	0.5027
I	m ⁴	0.04909	0.02011
L _{spacing}	m	3.000	2.500
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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 112 di 120

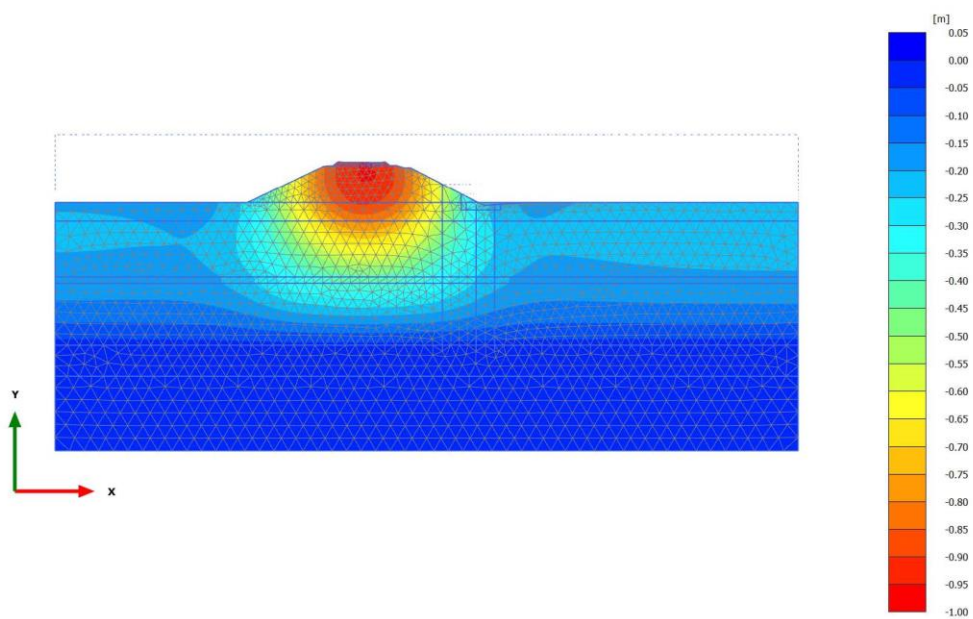
RI51_NT_01

Identification	PaliMuro	Consolidamenti
Lateral resistance	Unlimited	Unlimited
F _{max} kN	495.0	543.0
Default values	Yes	Yes
Axial stiffness factor	1.097	1.064
Lateral stiffness factor	1.097	1.064
Base stiffness factor	10.97	10.64
Identification number	1	2

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 113 di 120

RI51_NT_01

2.1.1.1.1 Calculation results, Initial phase [InitialPhase] (0/10), Total displacements u_y

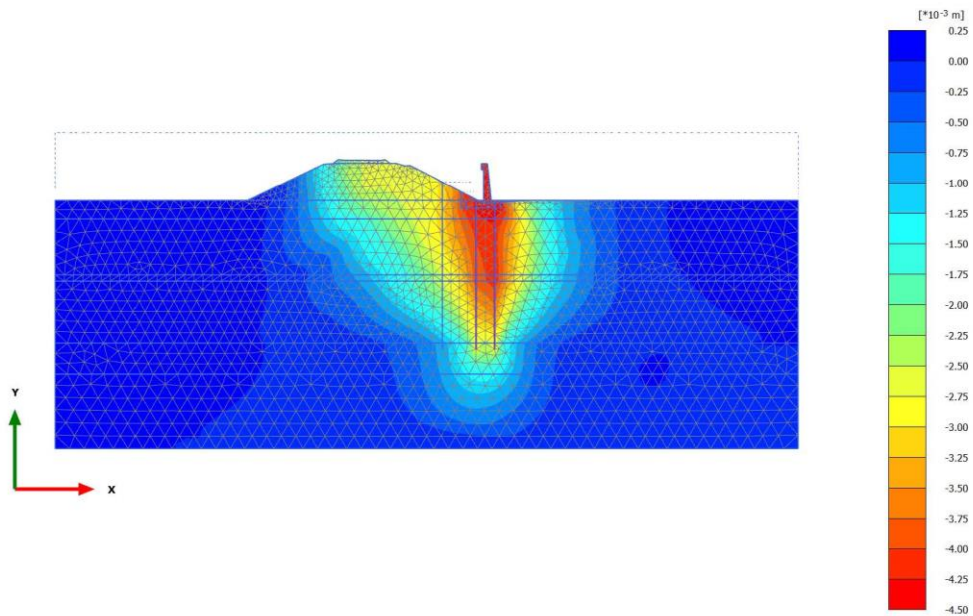


Total displacements u_y (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 3482 at Node 30899)
Minimum value = -0.9533 m (Element 826 at Node 21071)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 114 di 120

RI51_NT_01

2.1.1.1.2 Calculation results, Muro [Phase_6] (6/13), Total displacements u_y

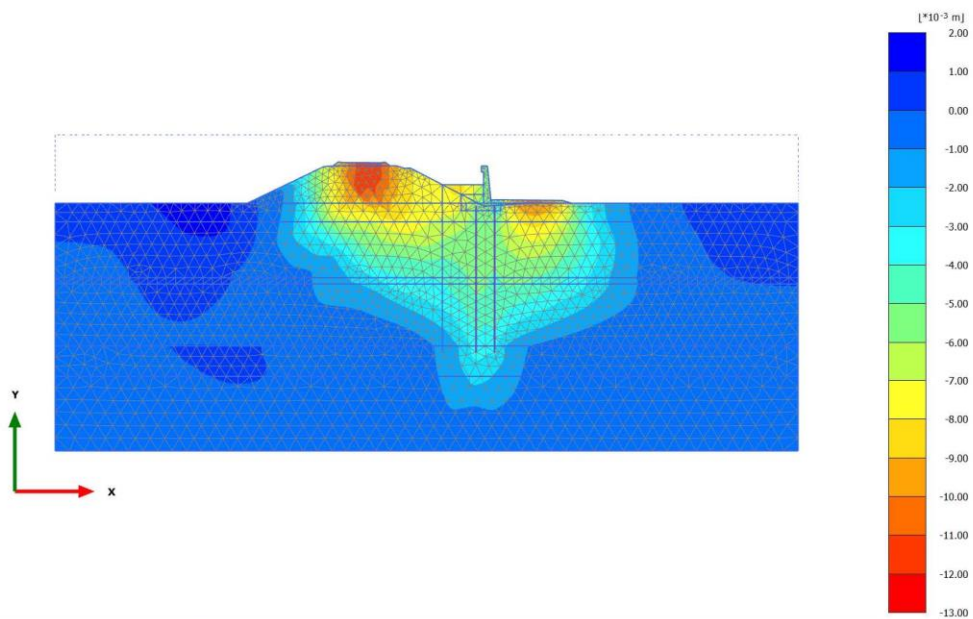


Total displacements u_y (scaled up 500 times)
Maximum value = 0.2224 $\times 10^{-3}$ m (Element 1073 at Node 26509)
Minimum value = -4.485 $\times 10^{-3}$ m (Element 1009 at Node 11734)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5400001A</p>	<p>Foglio 115 di 120</p>

RI51_NT_01

2.1.1.1.3 Calculation results, cons rilevato 1 [Phase_1] (1/29), Total displacements u_y

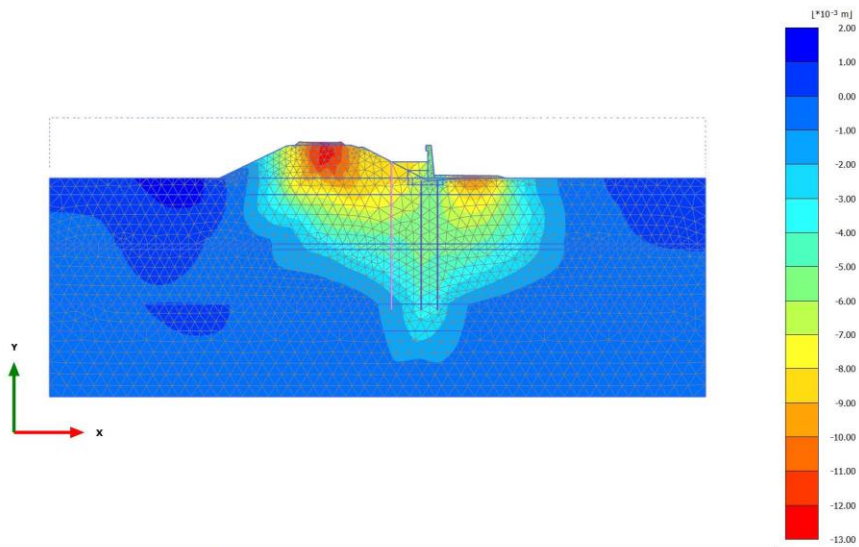


Total displacements u_y (scaled up 200 times) (Time 40.00 day)
Maximum value = $1.670 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1140 at Node 27037)
Minimum value = -0.01202 m (Element 728 at Node 20099)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 116 di 120

RI51_NT_01

2.1.1.1.4 Calculation results, inclusioni [Phase_4] (5/47), Total displacements u_y

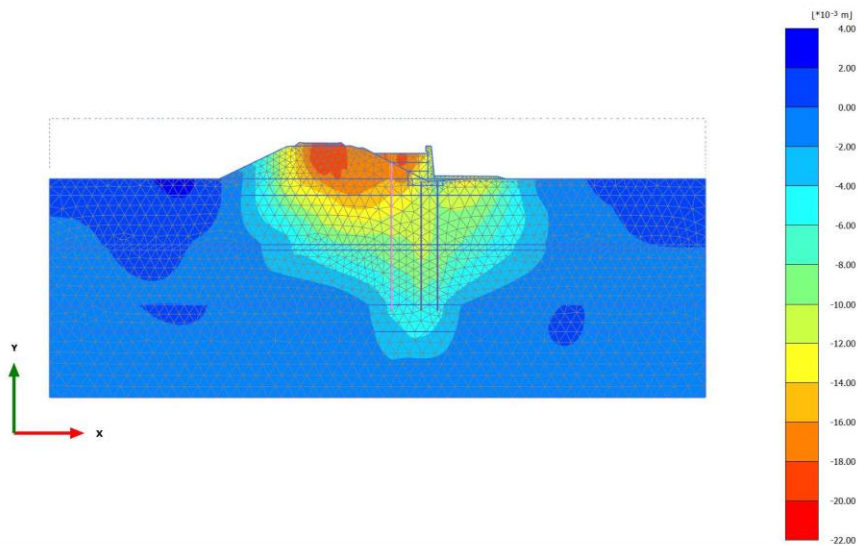


Total displacements u_y (scaled up 200 times)
Maximum value = $1.684 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1140 at Node 27037)
Minimum value = -0.01255 m (Element 728 at Node 20099)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 117 di 120

RI51_NT_01

2.1.1.1.5 Calculation results, cons rilevato 3 [Phase_8] (8/61), Total displacements u_y

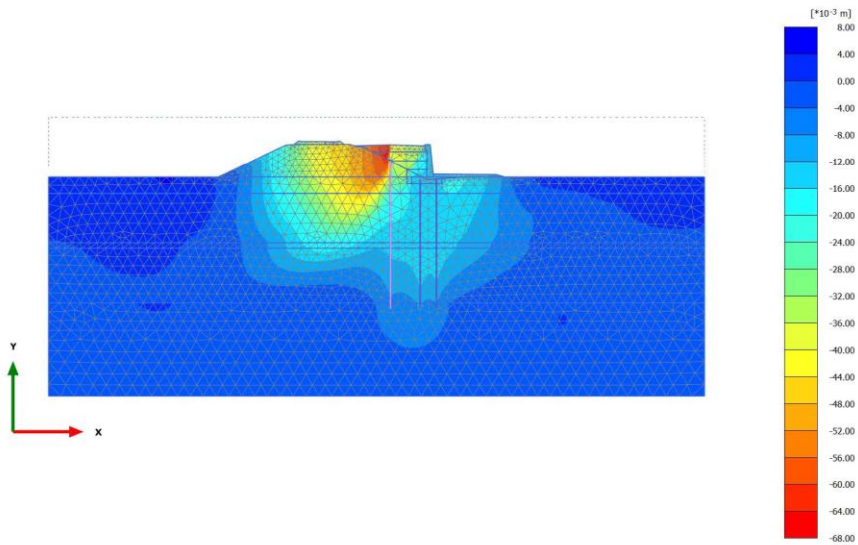


Total displacements u_y (scaled up 200 times) (Time 120.0 day)
Maximum value = $2.380 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1140 at Node 27036)
Minimum value = -0.02001 m (Element 782 at Node 20998)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5400001A</p>	<p>Foglio 118 di 120</p>

RI51_NT_01

**2.1.1.1.6 Calculation results, cons rilevato 4 [Phase_10] (10/82),
Total displacements u_y**

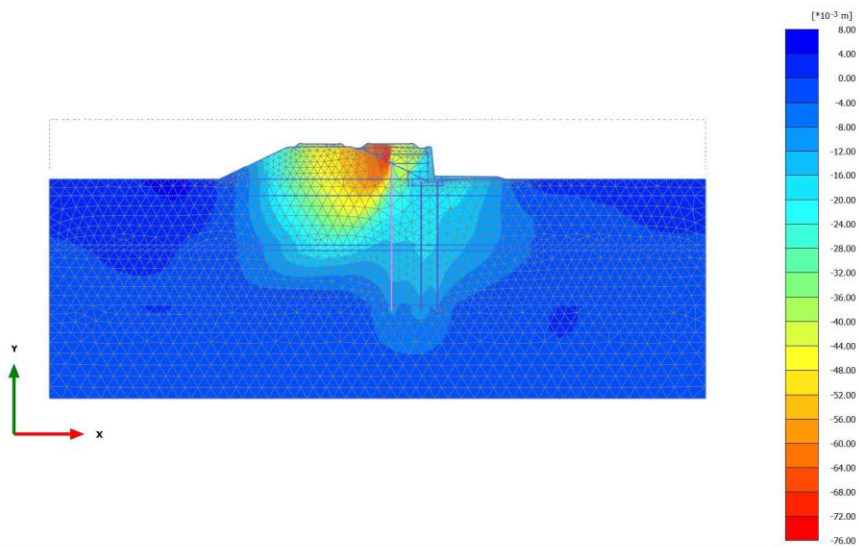


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time 160.0 day)
Maximum value = $4.133 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1150 at Node 27458)
Minimum value = -0.06686 m (Element 540 at Node 19445)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 119 di 120

RI51_NT_01

2.1.1.1.7 Calculation results, Phase_12 [Phase_12] (12/99), Total displacements u_y



Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time 520.0 day)
Maximum value = $4.853 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1136 at Node 27058)
Minimum value = -0.07226 m (Element 540 at Node 19445)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+175,00 a pk 30+409,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5400001A	Foglio 120 di 120

ALLEGATO 6- VERSIONI DEI SOFTWARE UTILIZZATI

- 1) SLIDE ver 7.0
- 2) PLAXIS 2D ver 2021