

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+640,00 a pk 30+940,00

GENERALE

Relazione Geotecnica

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

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	6	0	0	0	0	1	A	-	-	-	P	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Luca RANDOLFI 	Dicembre 2021



Progettazione:

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

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2RBRI5600001A_03
		Cod. origine:





Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea


GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 2 di 138

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.....	8
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	15
4.5	Sintesi del modello geotecnico di riferimento	27
4.5.1	Materiale da rilevato.....	27
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	28
5.1	Sollecitazione sismica di progetto.....	28
5.1.1	Vita Nominale.....	28
5.1.2	Classe d'uso	28
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	29
5.1.4	Categorie di Sottosuolo.....	29
5.1.5	Condizioni topografiche	29
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento	29
5.2	Suscettibilità alla liquefazione.....	30
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT	31
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT.....	33
5.3	Commento ai risultati	36
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO FERROVIARIO	38
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite.....	38
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU).....	38
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE)	40
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche	40
6.2	Azioni di progetto	41

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 3 di 138

6.2.1	Azioni permanenti	41
6.2.2	Azioni variabili	41
6.2.3	Azione sismica	41
6.3	Verifiche e risultati SLU	42
6.3.1	Premessa	42
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche	42
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche	44
6.4	Verifica e risultati SLE	45
6.4.1	Premessa e descrizione concettuale della soluzione	45
6.4.2	Metodologia di calcolo	45
6.4.3	Schematizzazione e risultati	47
7	RESISTENZA DEI PALI SOGGETTI A CARICHI ASSIALI	55
7.1	Analisi agli stati limite	55
7.2	Metodologia di calcolo	57
7.2.1	Portata laterale	57
7.2.2	Portata di base	58
7.3	Stratigrafia di calcolo	60
7.4	Risultati	60
8	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	69
	Allegati	70
	ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO	71
	ALLEGATO 2 – INDAGINI GEOGNOSTICHE	73
	ALLEGATO 3 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA	92
	ALLEGATO 4 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICA	102
	ALLEGATO 5 – TABULATI DI PLAXIS	112
	ALLEGATO 6 - VERSIONI DEI SOFTWARE UTILIZZATI	138

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 4 di 138

1 INTRODUZIONE



Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI56, 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+640,00 e il km 30+940,00.

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+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 5 di 138



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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 6 di 138

[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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 7 di 138

[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+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 8 di 138

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

3.1 Premessa

Il rilevato ferroviario in esame si estende tra il km 30+640,00 e il km 30+940,00, per una lunghezza totale di 300 m. Il rilevato viene realizzato per tutta la sua estensione 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 12 m ed un'altezza massima di circa 7.5 m. Per limitare l'area d'ingombro, il rilevato sarà provvisto di un muro di sostegno, con fondazioni profonde (2 file di pali $\Phi 1200$ ad interasse di 3.6 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.

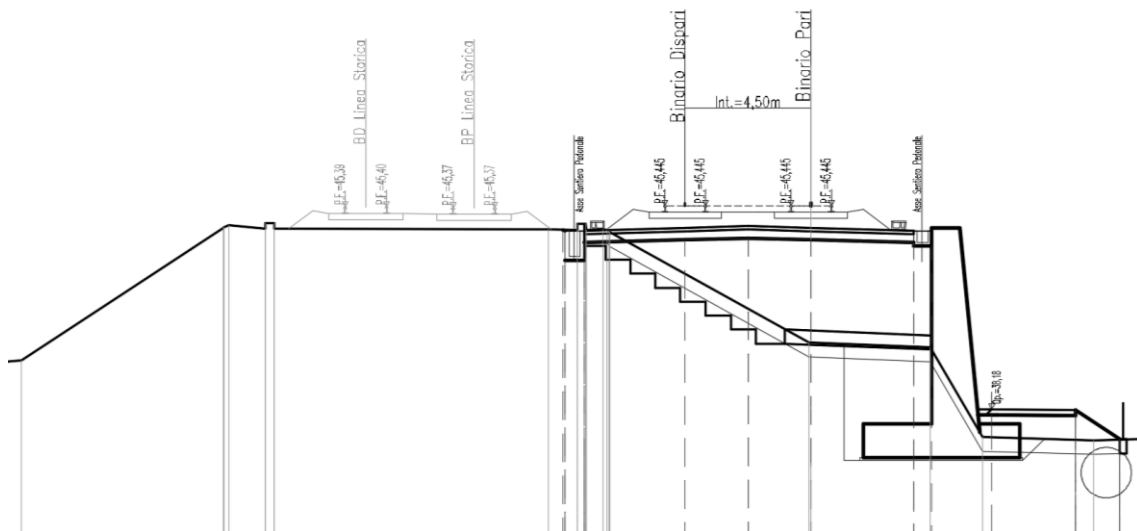




Figura 1 – Sezione di riferimento (pk 30+775,00 n. RI56-7) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

3.3 Descrizione degli interventi

Per limitare i cedimenti, ed in particolare quelli indotti sulla Linea Storica dalle attività di ampliamento del rilevato, 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 32 m, e comunque tali da garantire un

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5600001A</p>	<p>Foglio 9 di 138</p>

immorsamento di almeno 2m nello strato ghiaioso. Tale immorsamento è ritenuto necessario per garantire un'efficace riduzione dei cedimenti sulla Linea Storica. Un mancato – o uno scarso – immorsamento delle inclusioni rigide avrebbe come conseguenza una loro rigidità inferiore a quella attesa, con inevitabili incrementi dei cedimenti indotti.

Le colonne saranno sormontate da uno strato di misto cementato, di larghezza a 2.5m, avente funzione di strato ripartitore dei sovraccarichi.

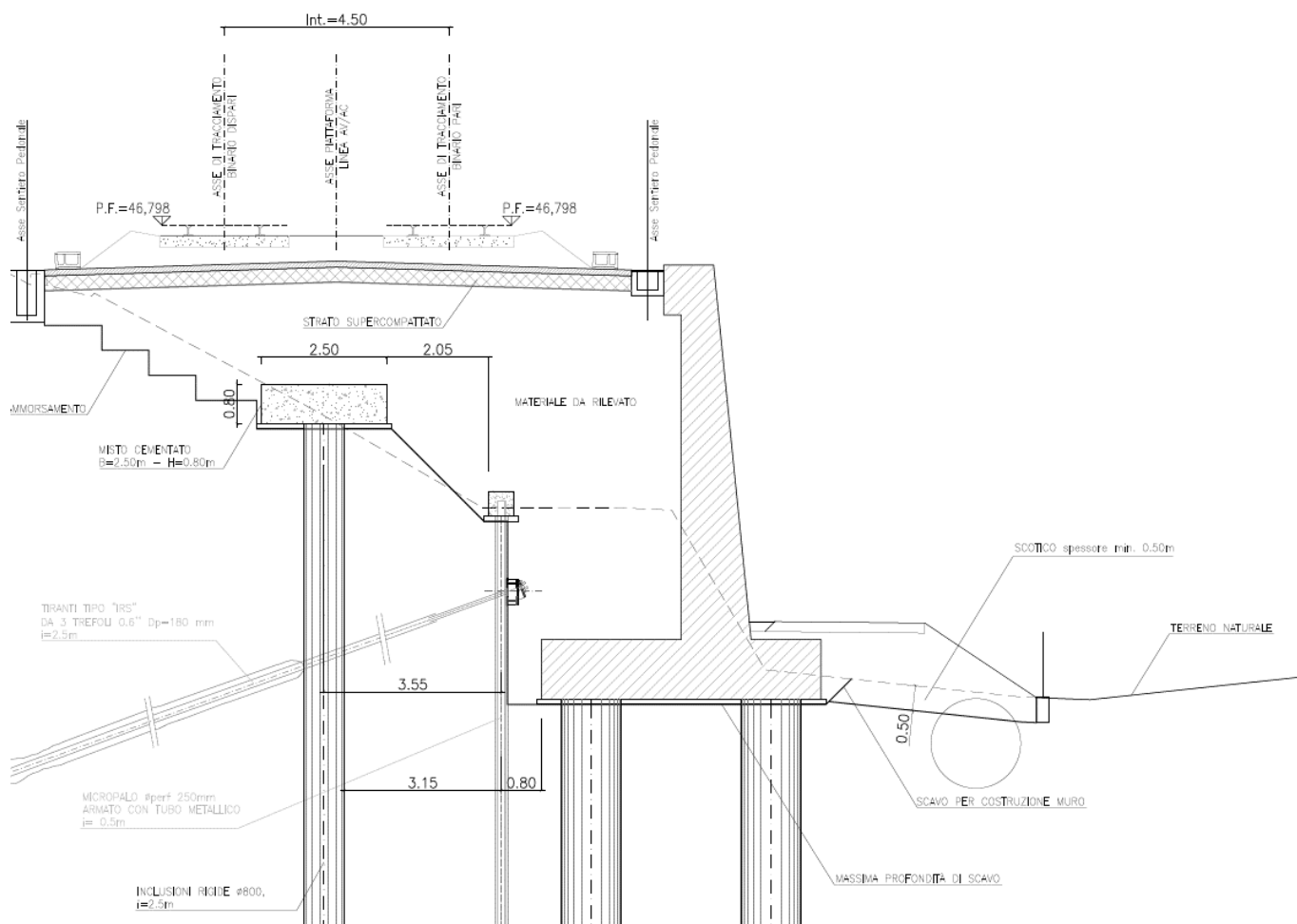


Figura 2 – Schema in sezione degli interventi

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 10 di 138

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. Si precisa che quelle riportate in tabella sono le indagini di stretta pertinenza del rilevato, ma che la caratterizzazione geotecnica della WBS in questione è stata svolta sulla base dei numerosi dati di indagine eseguite durante le campagne sia di PD che di PE anche nelle aree circostanti, in virtù della omogeneità delle caratteristiche dei materiali. 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+640,00 e pk30+940

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
30+645	PT47	
30+693	PT-PE-14	
30+696	MASW-PE-15	2020-2021
30+697	BH-PE-61	2020-2021



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI560001A	Foglio 11 di 138



Figura 3 - Planimetria Rilevato RI56, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

4.2 Inquadramento stratigrafico

L'area in esame è caratterizzata dalla presenza di uno strato superiore di limi argillosi (Unità 3b) da sovraconsolidati a debolmente sovraconsolidati, avente spessore di circa 22 m, interrotto parzialmente da una lente di sabbia di spessore 2.0m (Unità 4) ubicata a circa 6 m di profondità dal piano campagna attuale. Al di sotto dello strato di limi argillosi si evidenzia la presenza di uno strato di ghiaie (Unità 6), mediamente addensate, che si estendono almeno fino a circa 30 m da p.c., inframmezzate, almeno in parte, da una lente di depositi argillosi di 2.0 m di spessore

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 12 di 138

presente tra -25 m e -27 m dal piano campagna. Questi depositi argillosi consistenti (Unità 2), si ritrovano con maggiore continuità al di sotto dello strato di ghiaie, come mostrato nella Tabella 2.

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

Nella Figura 4 si riporta il profilo geotecnico specifico per il rilevato R156 estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 7 di 11 (Doc. Rif. [3]).

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI560001A	Foglio 13 di 138

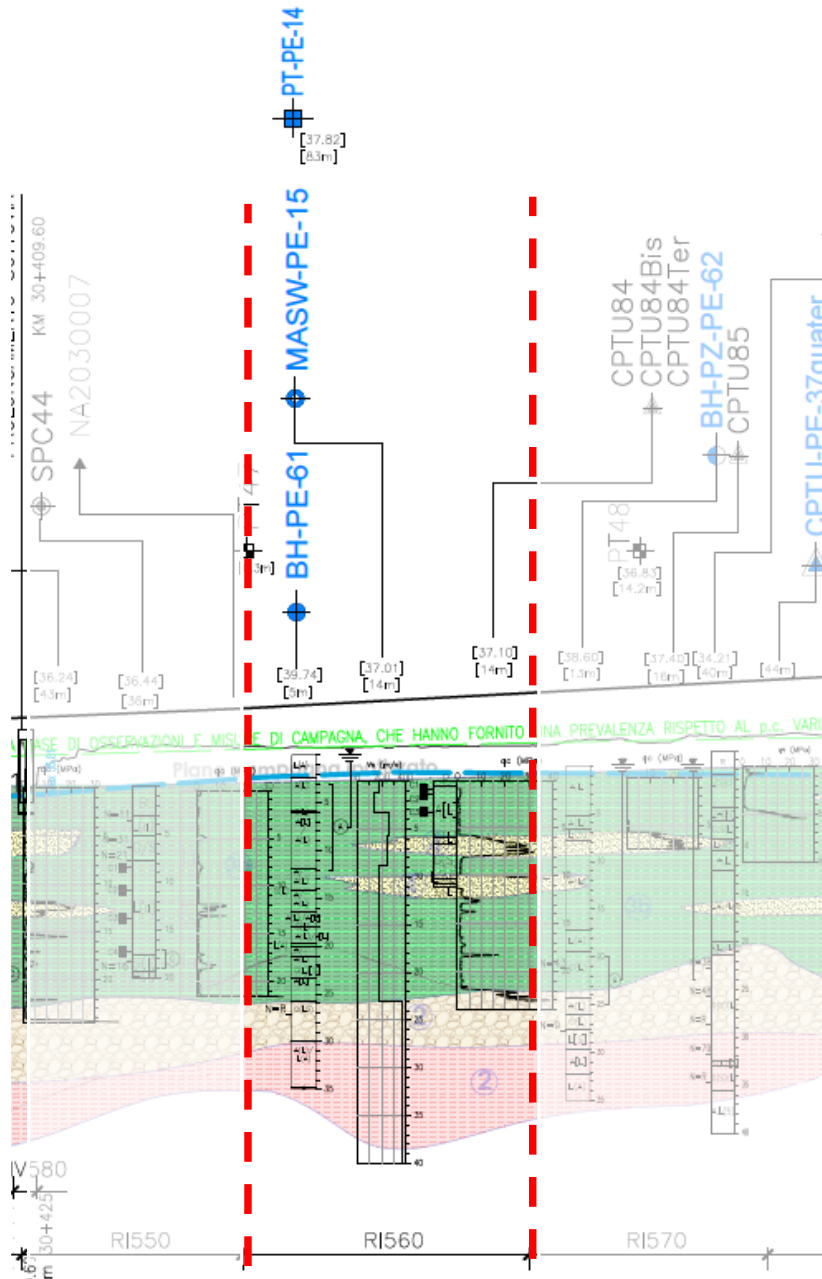


Figura 4 - Profilo Geotecnico Rilevato RI56, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

4.3 Livello di falda



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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 14 di 138

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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 15 di 138

4.4 Condizioni geotecniche del sito

La Figura 5 mostra i risultati delle CPT condotte nell'area.

Come definito dalla sezione stratigrafica, il tratto in oggetto è caratterizzato da una copertura superficiale prevalentemente composta da limi sabbiosi – argillosi (Unità3b) intercalati da depositi sabbiosi (unità 4). A circa 21-23 di profondità il sondaggio ubicato nell'area (BH-PE-61) e le CPTU condotte nelle aree limitrofe, che vanno rifiuto, mostrano la presenza di ghiaie (Unità 6), seguite (sulla base del sondaggio) da un banco di limi argillosi compatti (Unità 2).

Per la definizione della resistenza al taglio non drenata dell'unità 3b e dell'unità 2 si è fatto riferimento all'interpretazione delle prove penetrometriche NA2030O007 e CPTU 84/84 bis/84ter, realizzate nei pressi dell'opera, 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 leggermente inferiori rispetto a quelli deducibili dalle prove di laboratorio, comunque più affidabili nella stima. Si possono sintetizzare i risultati assegnando nei primi 2 metri di profondità un valore caratteristico della resistenza in condizioni non drenate non inferiore a 70 kPa. Al crescere della profondità il valore caratteristico della resistenza non drenata è pari a $c_u = 45$ kPa. Per i terreni dell'unità 3b ancora più profondi è invece individuabile un valore caratteristico più elevato e compreso nell'intervallo $c_u = 50\div70$ kPa, crescente con la profondità.

Per l'unità 2, rilevata a circa 25 m da p.c., si può assumere invece un valore di $c_u \geq 150$ kPa.



Le prove SPT effettuate lungo le verticali ubicate nei pressi delle WBS mostrano che le intercalazioni di sabbia limosa (Unità 4) possono essere caratterizzate con un numero di colpi variabile tra 20 e 40, che può essere a sua volta associato a densità relative di circa il 40÷50%. Pertanto, l'angolo di resistenza al taglio di questi depositi è non minore di 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 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]:

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 16 di 138

- 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 in condizioni non drenate nei depositi di unità 3b (v. Figura 9);
- Valori N_{SPT} da prove SPT (v. Figura 10);
- Densità relativa stimata da prove SPT (v. Figura 11);
- Angolo di resistenza al taglio stimato da prove SPT (v. Figura 12);
- Velocità delle onde di taglio stimata da prove in sito (v. Figura 13);
- Modulo di taglio alle piccole deformazioni valutati a partire dai valori stimati di V_s (v. Figura 14).

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

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

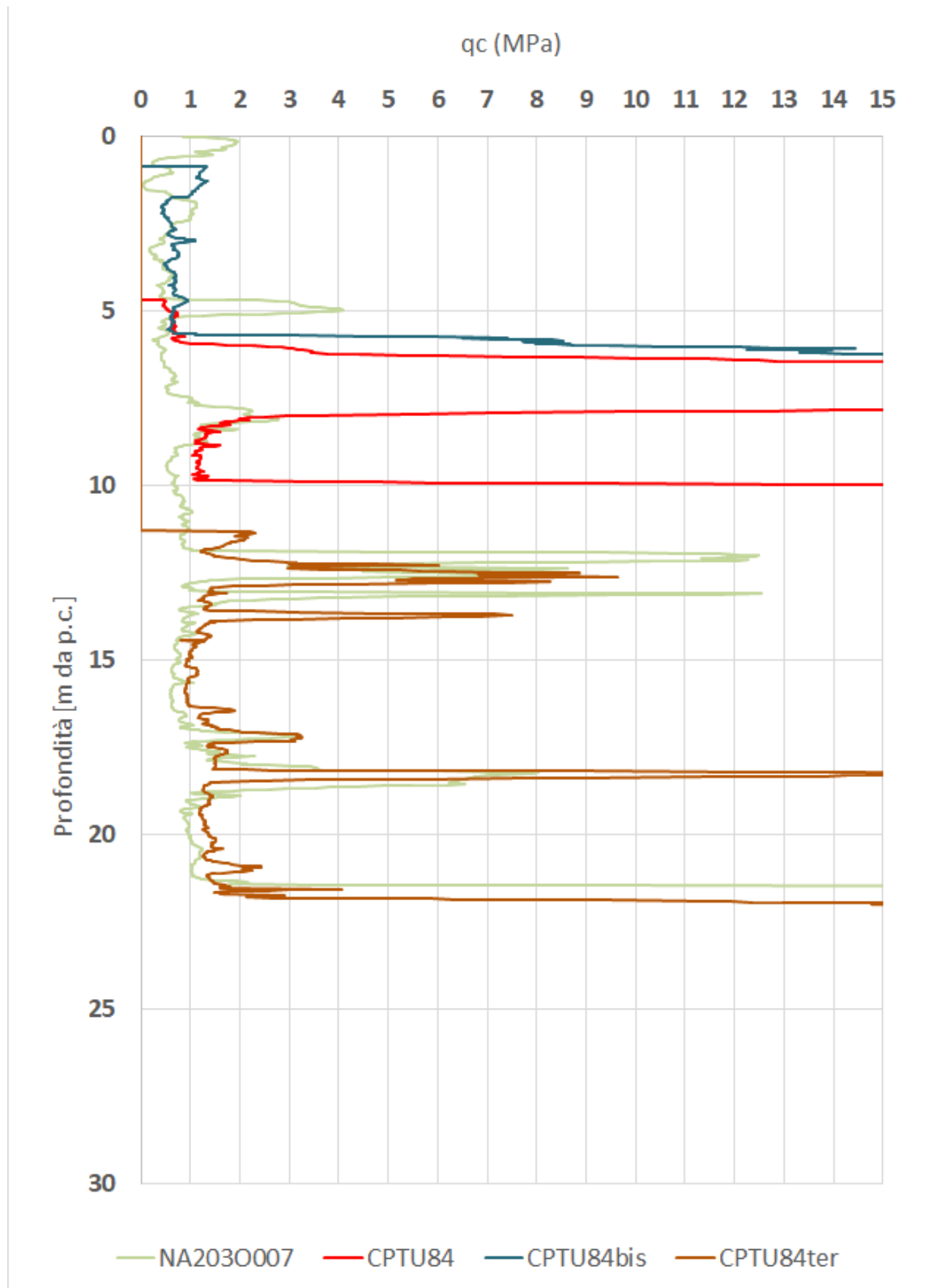




Figura 5 – Prove CPTU nell'area dell'RI56

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI560001A	Foglio 18 di 138

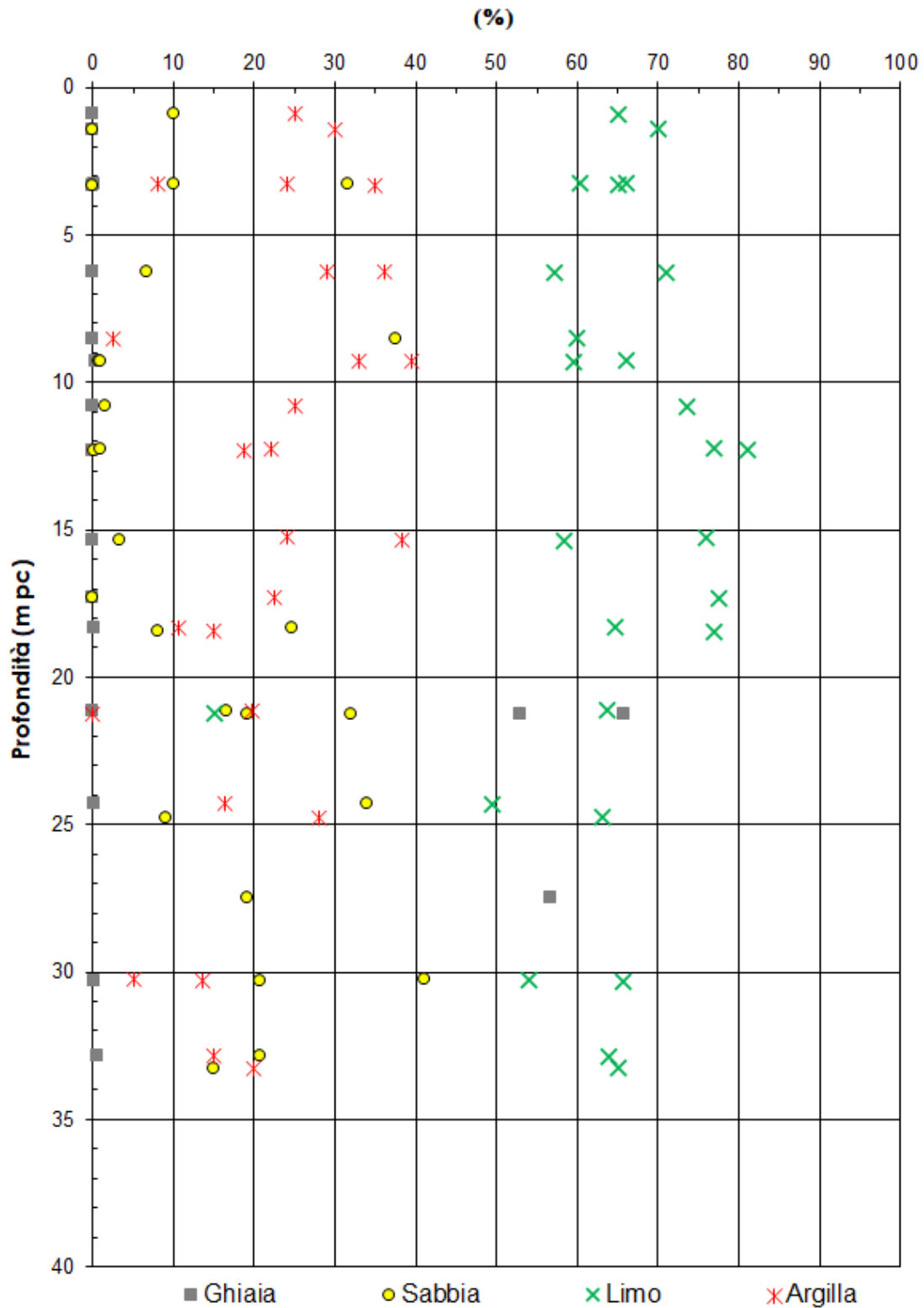




Figura 6 – Granulometrie dei materiali nell’area di interesse.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI560001A	Foglio 19 di 138

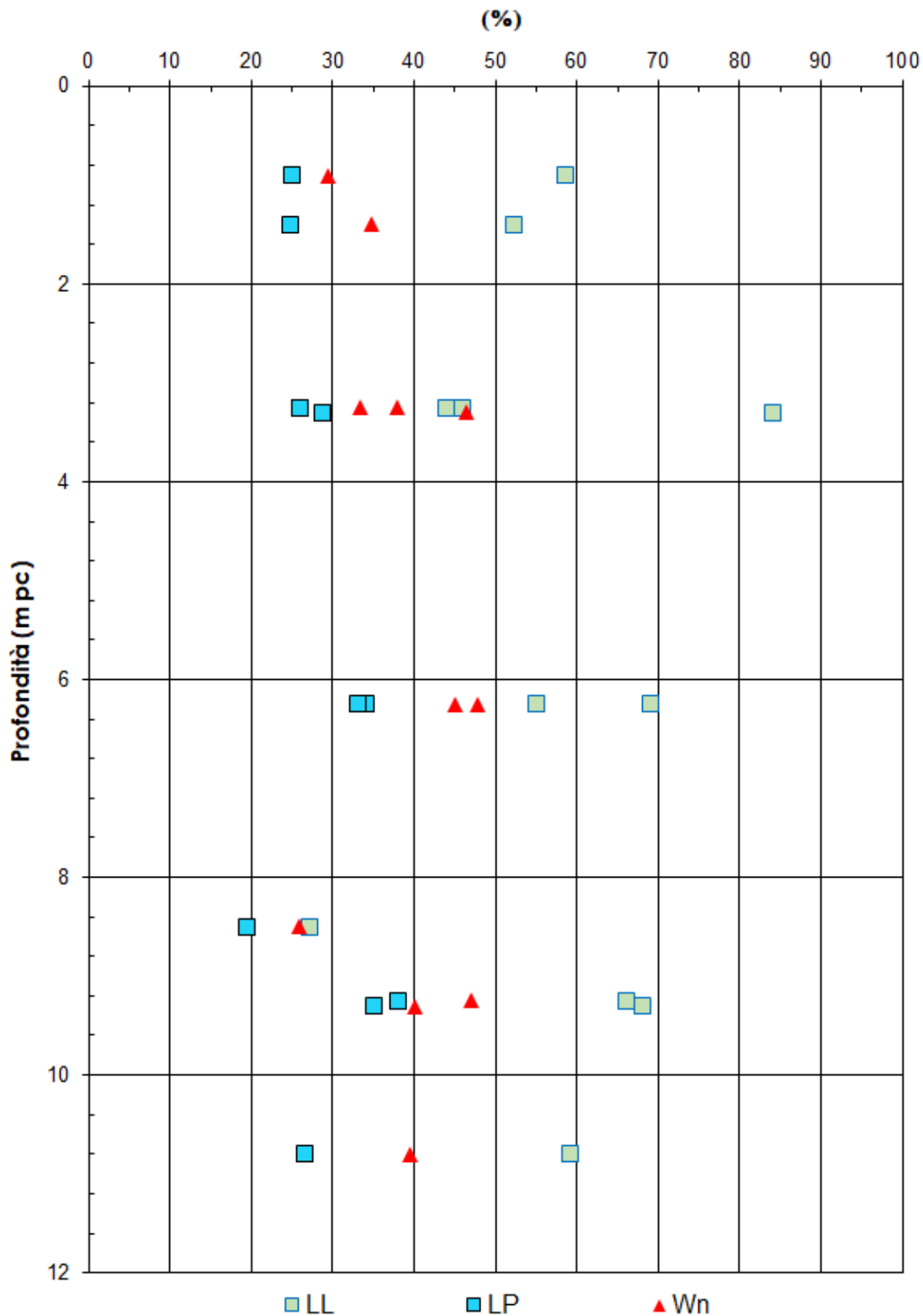




Figura 7 – Limiti di Atterberg e contenuto d'acqua naturale dei campioni a grana fine nell'area di interesse.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI560001A	Foglio 20 di 138

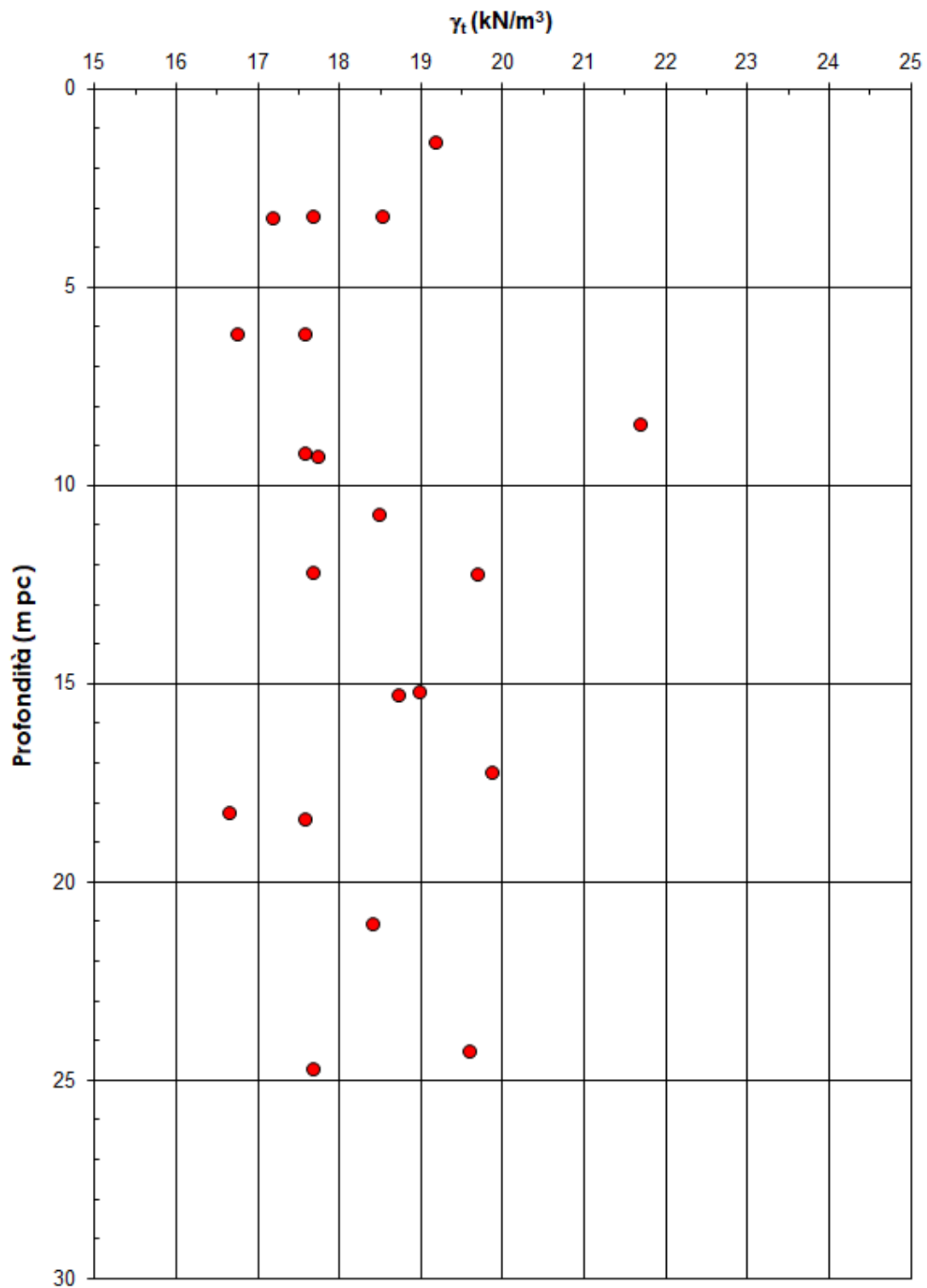




Figura 8 –Peso di volume dei campioni di terreno a grana fine nell'area di interesse.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI560001A	Foglio 21 di 138

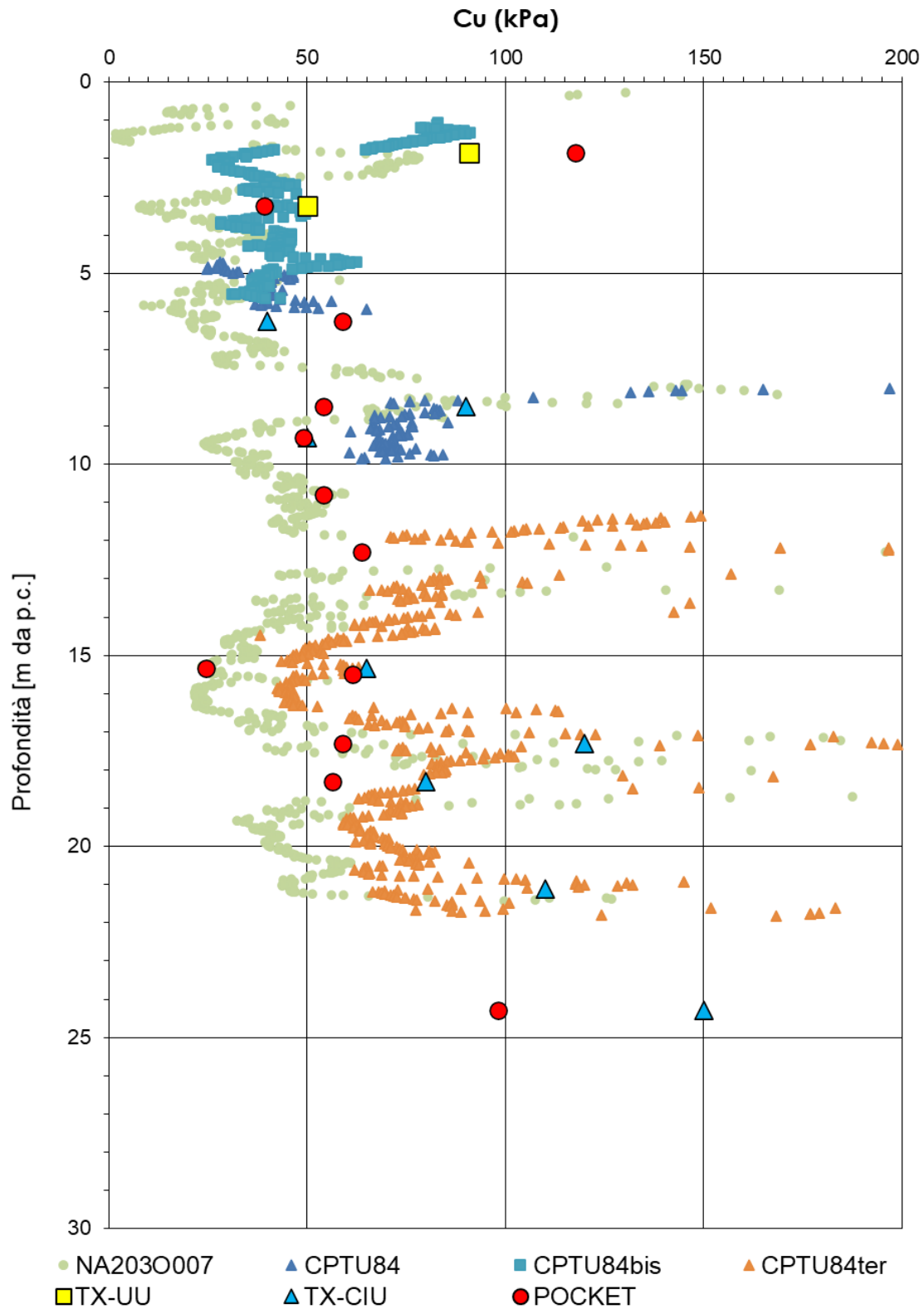


Figura 9 – Resistenza in condizioni non drenate da prove CPTU disponibili nell'intorno della WBS

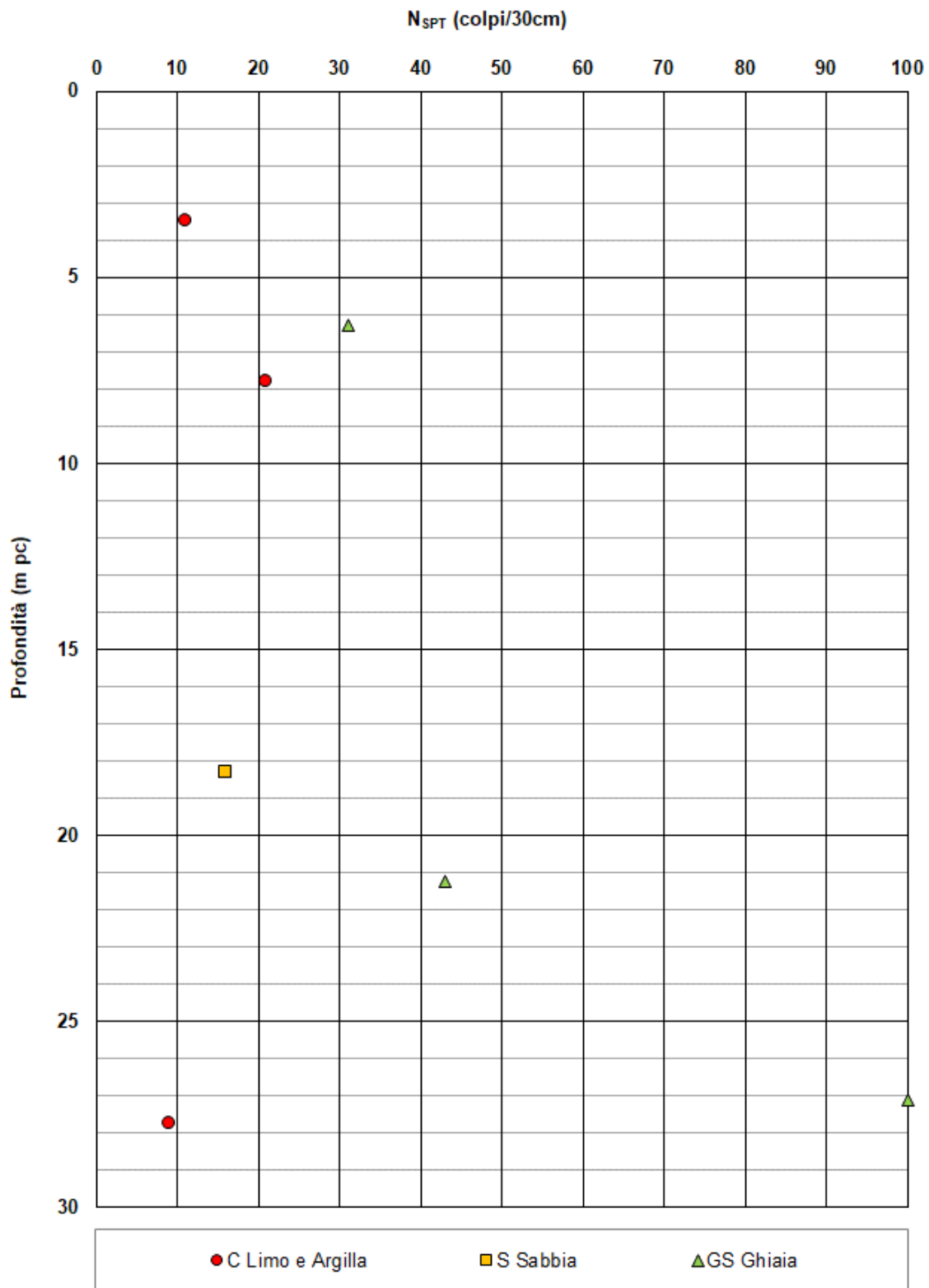


Figura 10 – Esito delle prove SPT da pk 30+640,00 a pk 30+940,00

Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI5600001A

Foglio
23 di 138

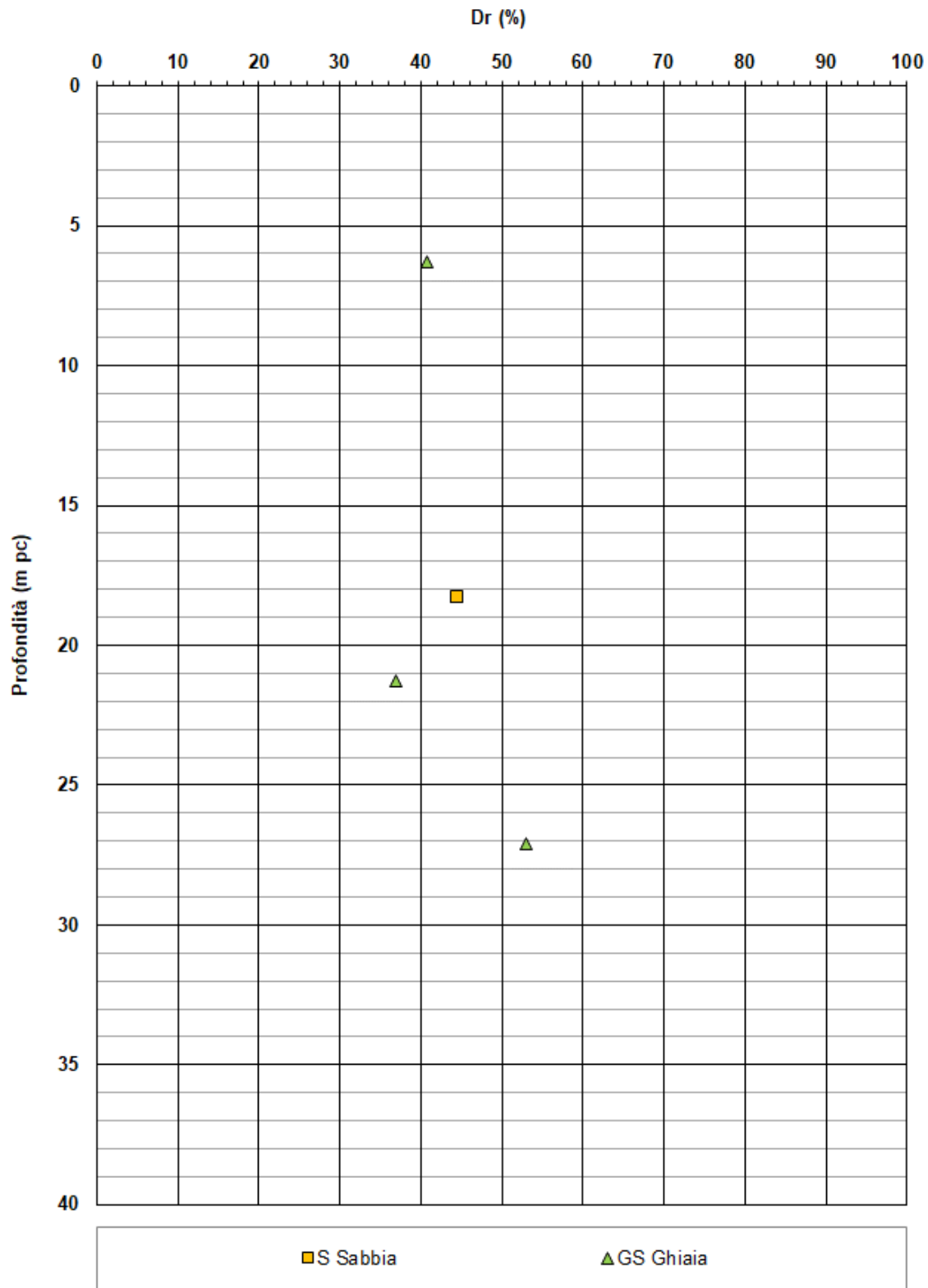




Figura 11 – Densità relativa da prove SPT da pk 30+640,00 a pk 30+940,00

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 24 di 138

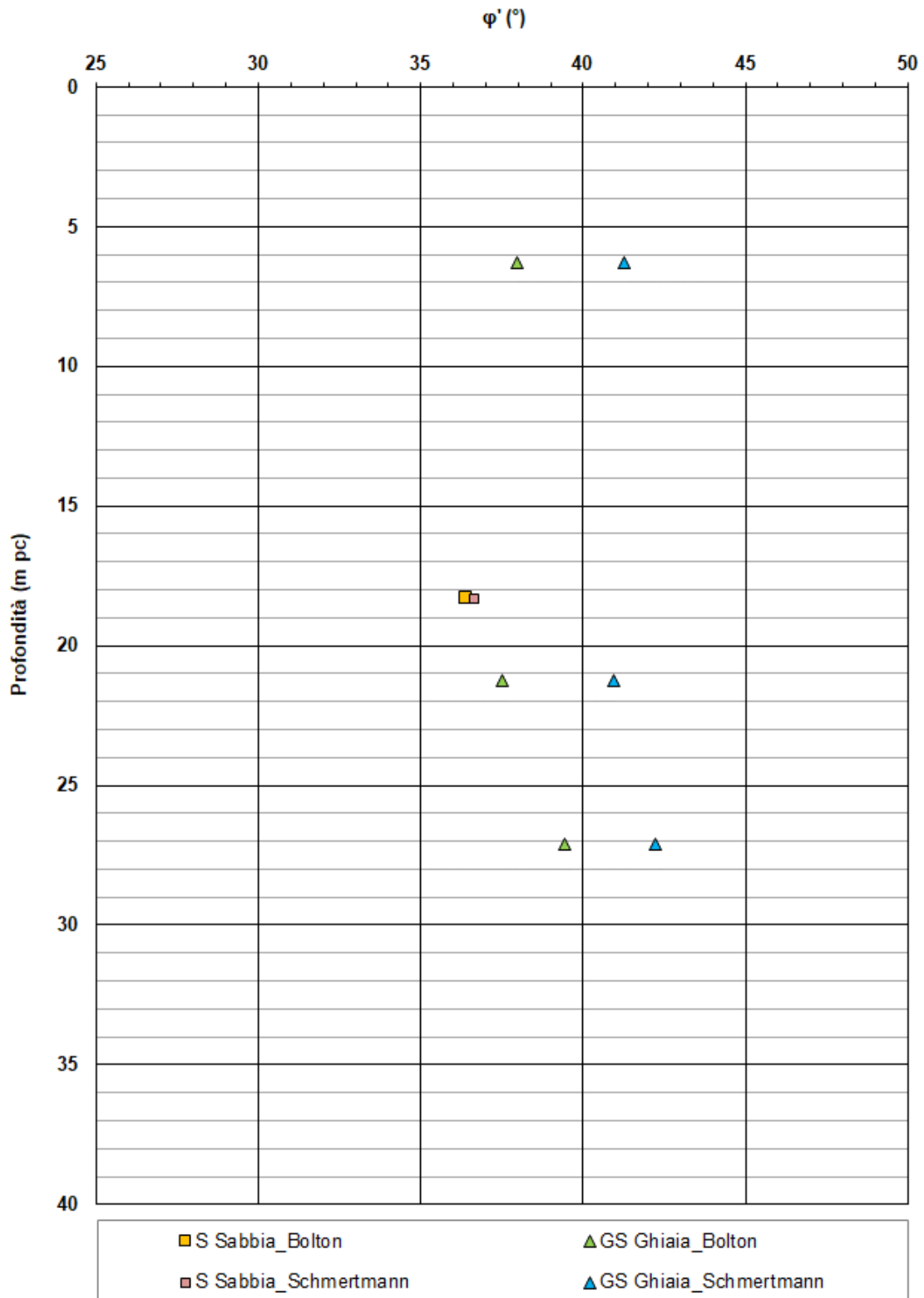




Figura 12 – Angoli di resistenza al taglio da prove SPT da pk 30+640,00 a pk 30+940,00

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 25 di 138

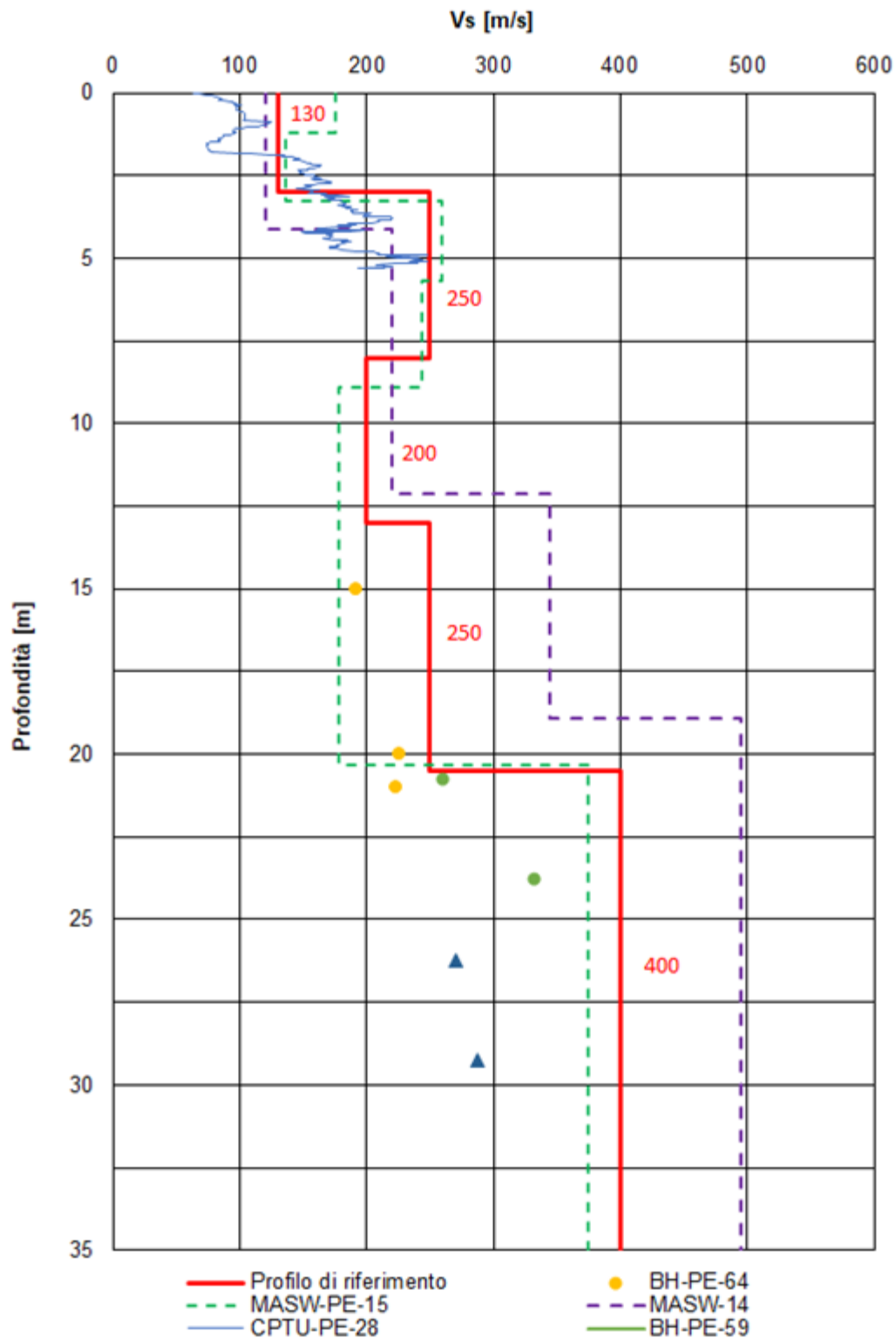


Figura 13 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW nell'intorno di interesse

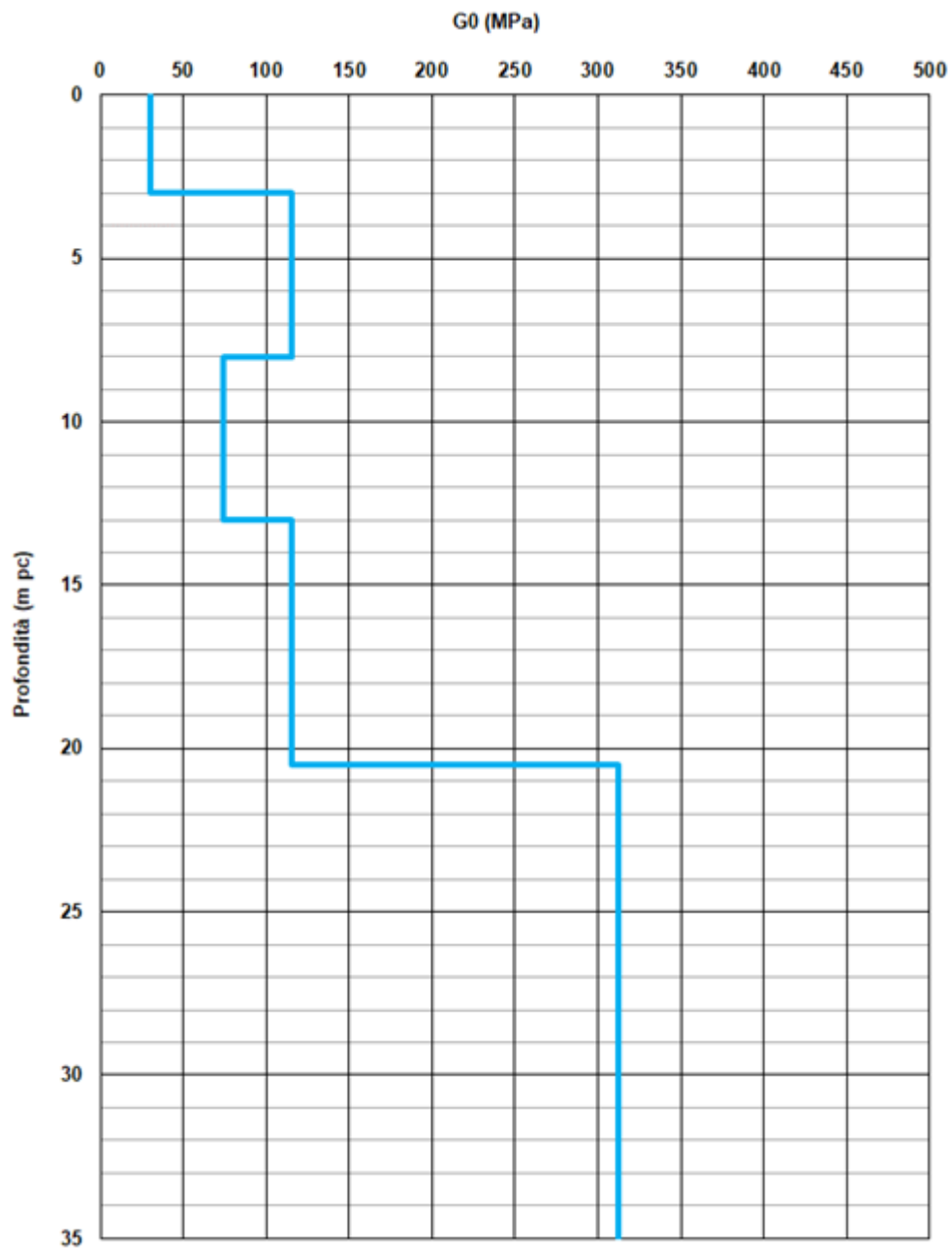




Figura 14 – Modulo di taglio G_0 da pk 29+975,00 a pk 30+175,00

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 27 di 138

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.

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 -	σ'_p kPa	E'_{op} MPa
3b	0	2	18.5	-	0	70	0.015	0.16	240	
3b	2	6	18.5	-	0	45	0.015	0.16	180	
4	6	8	18.5	36	0					35
3b	8	22	18.5	-	0	50-70	0.015	0.16	210	
6	22	25	19	39	0			-		100
2	25	27	19	-	0	150	0.015	0.16		30
6	27	30	19	39						120
2- 6	>30	INF	18.5			>200				150

* quota piano campagna = 37.6 s.l.m.



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

4.5.1 Materiale da rilevato

Le caratteristiche dei rilevati ferroviari sono desunte dal MdP (Doc. rif. [19]) e sono di seguito riassunte:

Tabella 3 - Caratteristiche materiale da rilevato

	γ kN/m ³	φ °	c' kPa
Materiale da rilevato	20	38	0

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 28 di 138

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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 29 di 138

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+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 30 di 138

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, alla base delle mappe di pericolosità sismica del territorio italiano allegato 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 espresse 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 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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 31 di 138

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 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.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 32 di 138

Il procedimento utilizzato per la stima di CRR a partire dai risultati di prove CPT si basa sulla relazione riportata in Figura 15: 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 15, 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 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:

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 33 di 138

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

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

per $l_c \leq 1.64$ $K_c = 1.0$

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

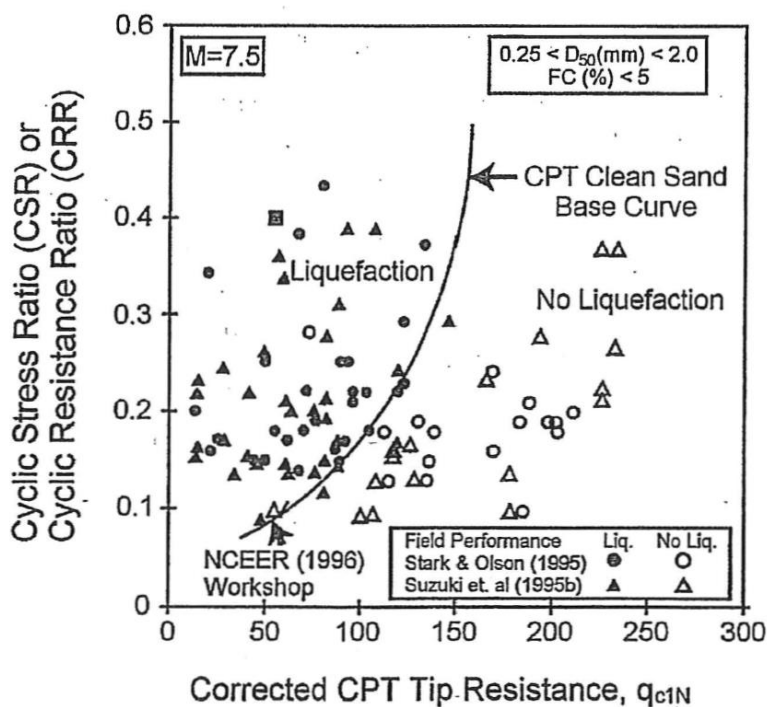


Figura 15 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

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

In Figura 16, i risultati delle prove SPT sono espressi in termini di numero di colpi corretti $N_{1(60)}$, ossia i valori sono normalizzati per una pressione verticale efficace pari a 100 kPa e corretti per un valore standard di energia trasmessa (60% del valore nominale) come segue:

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

dove:

C_N = coefficiente correttivo che tiene conto dell'influenza della pressione verticale efficace. In letteratura sono presenti diversi metodi per la valutazione del coefficiente correttivo C_N . Qui è stata applicata la seguente relazione proposta da Liao e Whitman (1986):

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 34 di 138

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

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 16, 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 16 come curve diverse siano state sviluppate per terreni aventi diverso contenuto di fini, a partire dalla curva di riferimento corrispondente alla sabbia pulita ($FC < 5\%$).



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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 35 di 138

In cui:

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

σ'_{v0} = tensione verticale efficace

p_a = pressione atmosferica di riferimento

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

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



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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 36 di 138

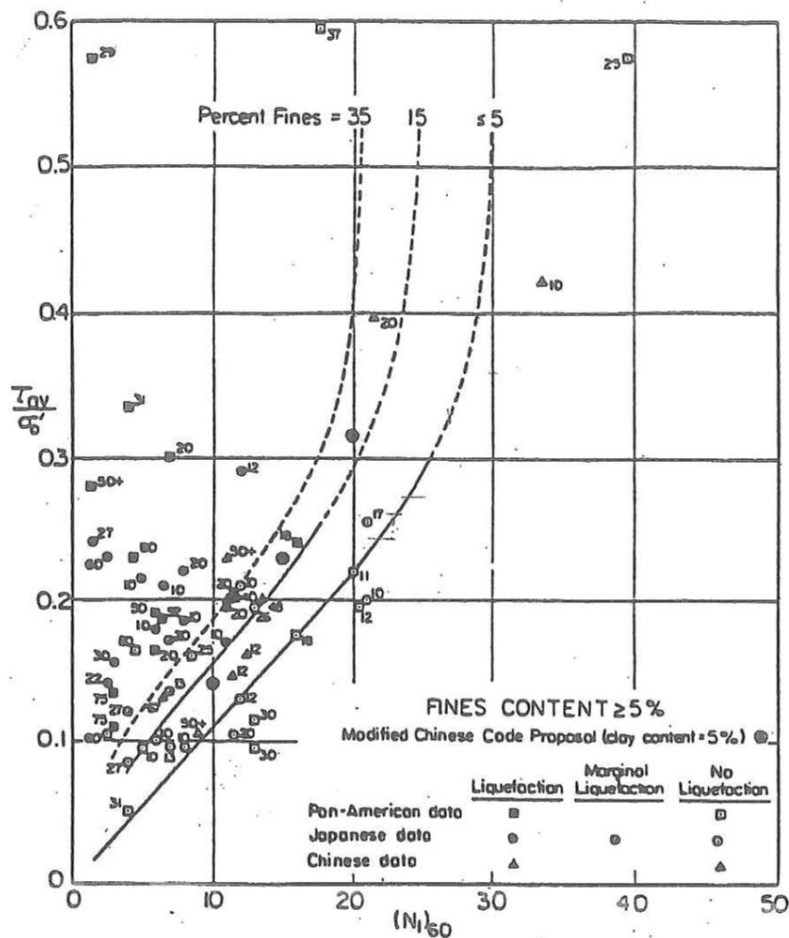


Figura 16 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

5.3 Commento ai risultati

I risultati delle analisi svolte per questo rilevato sono riportati in Figura 17. Si fa inoltre riferimento alle considerazioni formulate per i rilevati RI 55 ed RI 57 e più in generale ai rilevati della tratta in esame, compresa fra RI 45 e RI 61, caratterizzata da stratigrafie e proprietà dei materiali del tutto simili fra loro.

Sono quindi da ritenersi valide anche per il rilevato RI 56 le conclusioni formulate per RI 55 e RI 57 (cfr. IN1712EIRBRI5500001A e IN1712EIRBRI5700001A), che vedono una situazione di stabilità del sito nei confronti di potenziali fenomeni di liquefazione.

Anche per questo rilevato così come per gli altri sopra richiamati si rileva che i primi due metri di terreno verranno asportati durante le operazioni di scavo per la posa in opera del muro e, di fatto, non saranno interessati da alcun fenomeno di questo tipo. Si ritiene inoltre che la presenza delle inclusioni rigide e dei pali di fondazione del muro,



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI5600001A

Foglio
37 di 138

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

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova BH-PE-61 Pr. 30+700
a_{max} = 0.25g, N_{calc} = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 3m

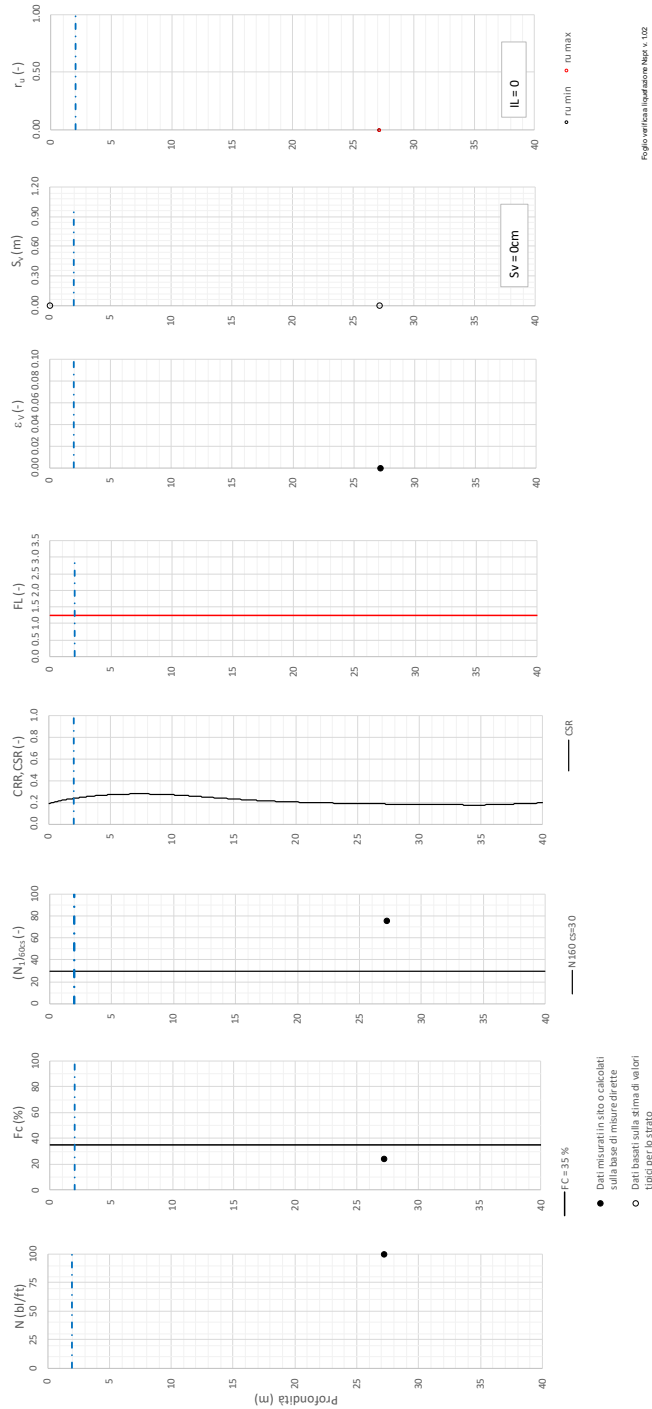




Figura 17 – Verifica Liquefazione da risultati BH-PE-61

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 38 di 138

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 i 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+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 39 di 138

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

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)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	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+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 40 di 138

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. Lo stesso criterio è stato adottato per il rilevato della LS, nel senso che il cedimento indotto da tutte le fasi di costruzione e di esercizio della nuova linea non deve causare cedimenti sulla LS maggiori di 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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 41 di 138

precedenza e ponendo i coefficienti parziali sulle azioni tutti pari ad uno. Il coefficiente di combinazione ψ per il carico variabile da traffico è stato posto pari a 0.2 (Doc. rif. [19]).

6.2 Azioni di progetto

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

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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 42 di 138

	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.



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 superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria. La resistenza al taglio caratteristica delle inclusioni rigide è stata posta pari a $\tau = 0.21x_{f_{ctk}}$, considerandole quindi non armate, e applicando alla resistenza caratteristica del calcestruzzo un fattore di riduzione di 1.5.

Per quanto riguarda invece i pali è stata utilizzata quella riportata nella relazione di calcolo strutturale dei pali, alla quale si rimanda.

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI560001A	Foglio 43 di 138

- Per le inclusioni (interasse 2.0 m)

$$T_d = 127 \text{ kN}$$

Per i pali di fondazione dei muri (interasse 3.6 m, D= 1200 mm)

$$T_d = 1280 \text{ kN}$$

In Figura 18, sono riportate le superfici di rottura critiche. Il valore minimo di FS è pari a:

$$F_{S\text{MIN}} (\text{DA1C2}) = 1.41 > R_2 = 1.1$$

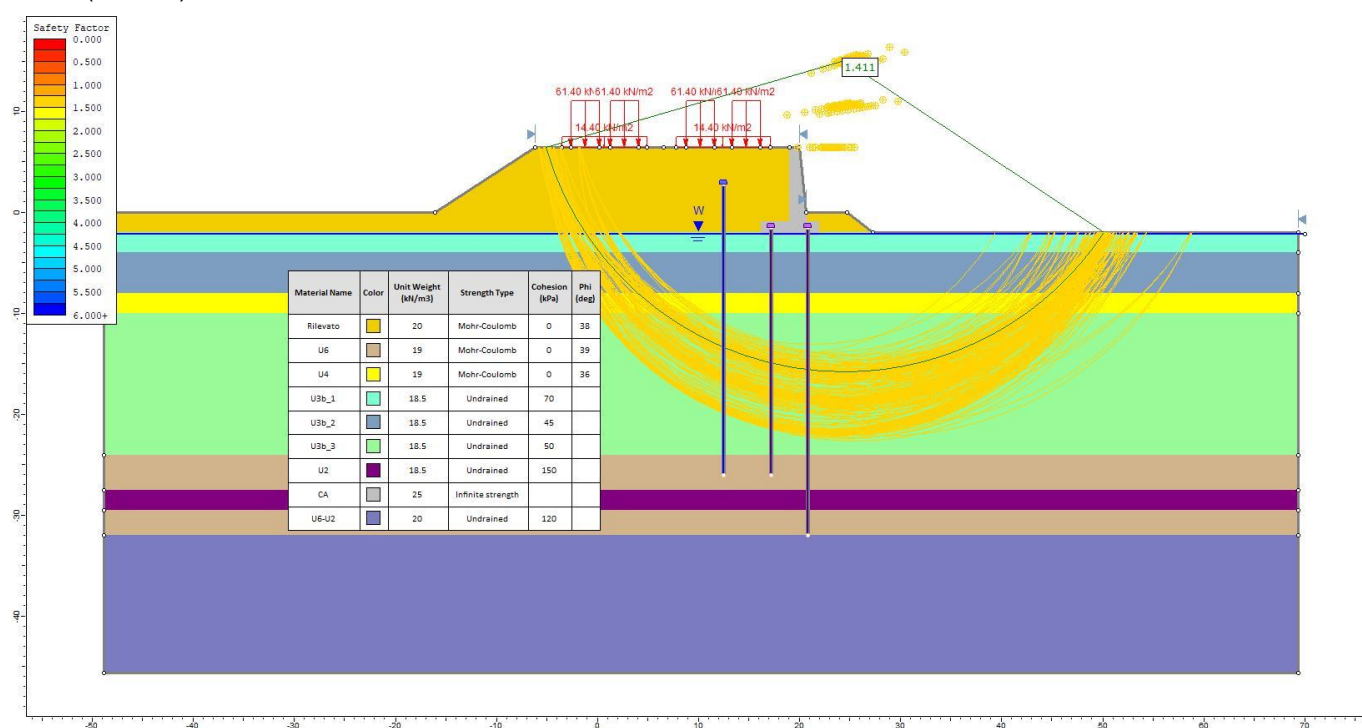




Figura 18 – Rilevato RI56 - Analisi SLU in campo statico DA1C2

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 44 di 138

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

$$F_{S\text{MIN}} = 1.19 > R_2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.

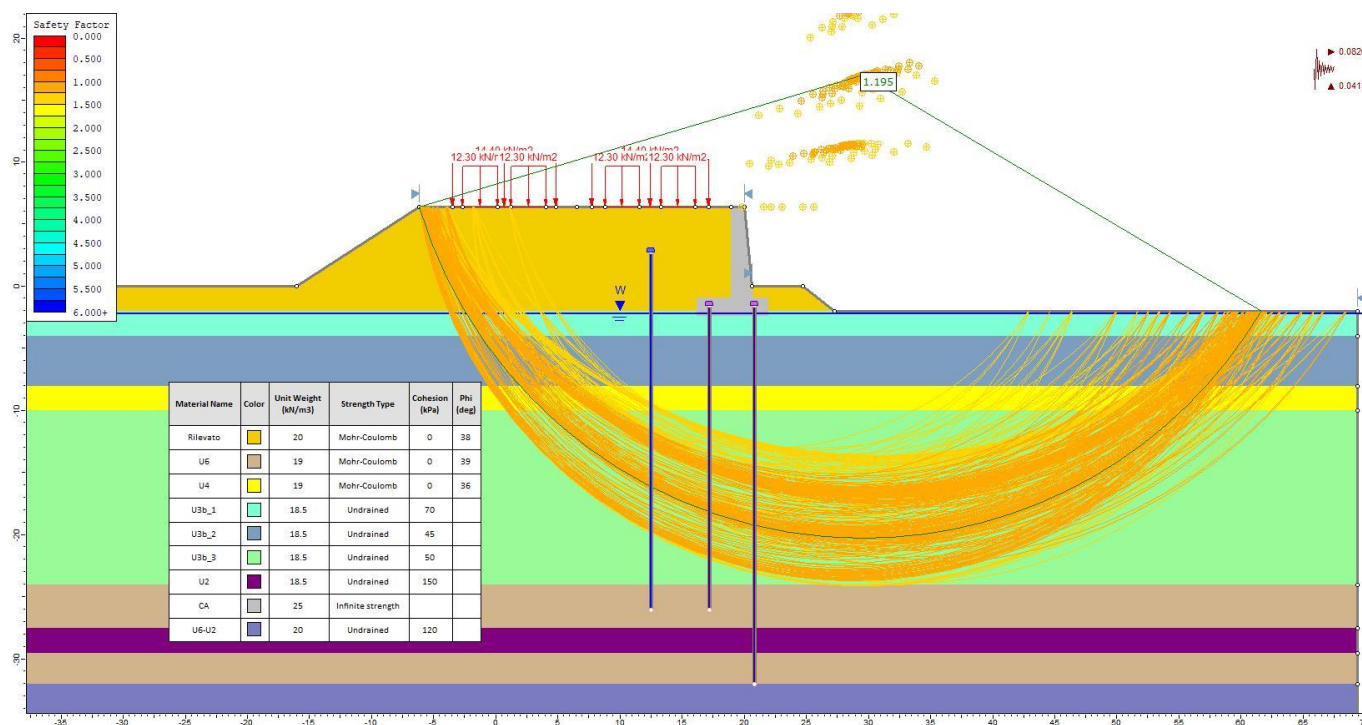




Figura 19 – Rilevato RI56 - Analisi SLU in campo sismico

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 45 di 138

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 sul rilevato della LS:

Al fine di contenere i cedimenti soprattutto per il rilevato su cui corre la Linea Storica, si prevede l'installazione di inclusioni rigide in calcestruzzo gettato in opera, aventi diametro 800 mm, disposte secondo lo schema riportato nelle tavole allegate.

Per l'allineamento di queste inclusioni verso la LS, si è considerato necessario un immorsamento nella ghiaia, al fine di contenere i cedimenti assoluti e differenziali nei limiti prescritti. La realizzazione di inclusioni rigide 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), 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 maggiori informazioni circa i parametri deformativi e di resistenza impiegati si faccia riferimento al punto 4.5.

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 rappresentare 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:

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 46 di 138

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

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

dove:

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



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

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

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

dove:

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 47 di 138

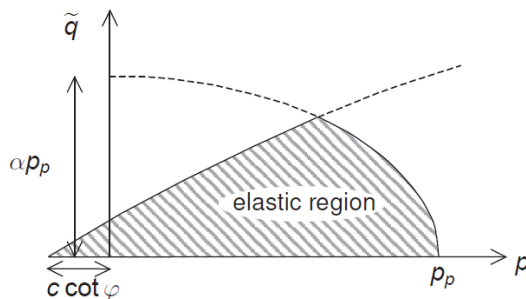


Figura 20 – Superficie di snervamento del modello Hardening Soil nel piano $q-p'$

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 rigidità pari a quella del calcestruzzo; sono stati considerati *wished-in-place*. I pali di fondazione avranno un diametro di 1200mm, interasse pari a 3.6 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 provvisorie di RI56.

6.4.3 Schematizzazione e risultati

Il modello di calcolo è riportato in Figura 21. 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+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 48 di 138

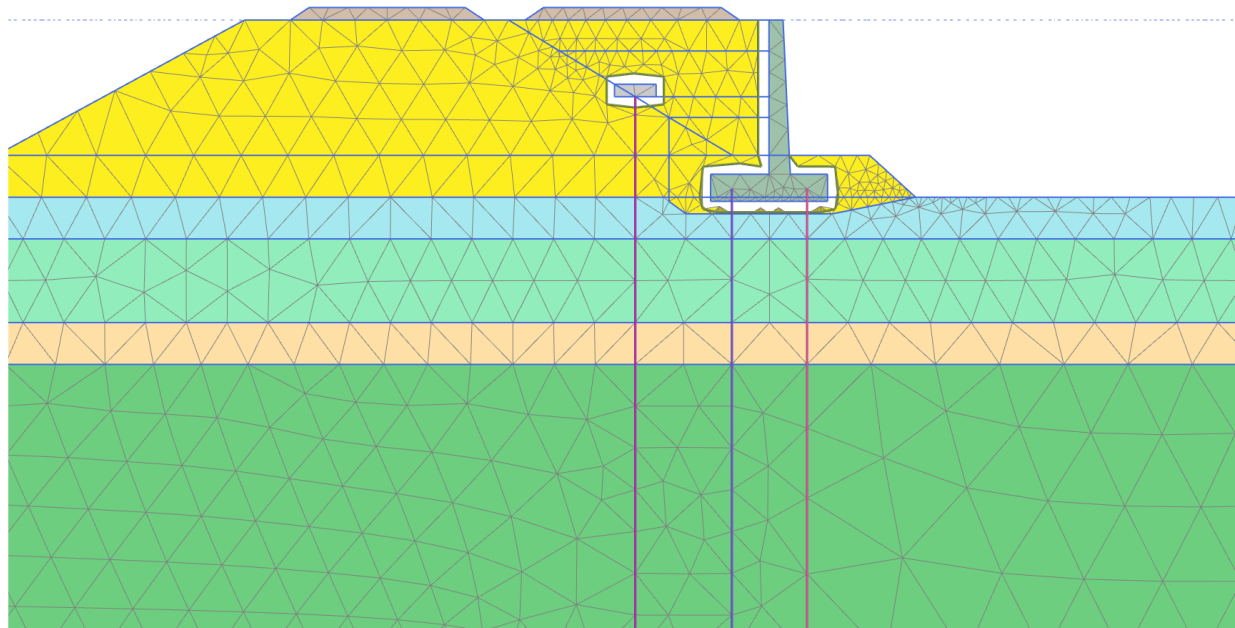


Figura 21 – RI56: modello agli elementi finiti



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 22, 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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI560001A	Foglio 49 di 138

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.

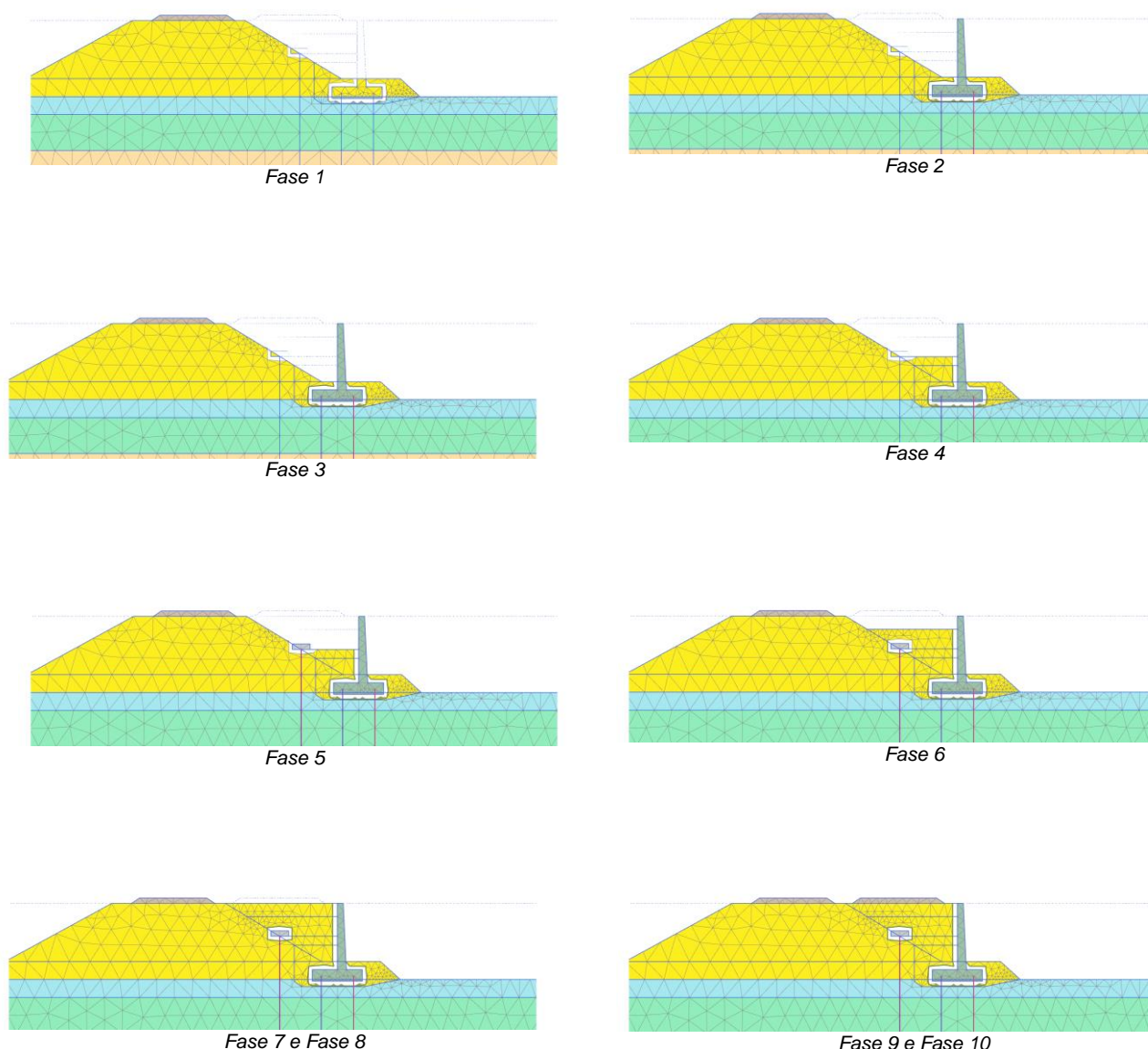


Figura 22 – RI56: fasi della modellazione a elementi finiti

I risultati dell'analisi sono riportati in Figura 23, Figura 24, Figura 25, Figura 26, Figura 27 e Figura 28. In particolare:

- I cedimenti totali del rilevato in progetto, determinati a partire dall'inizio della costruzione dello stesso, risultano compresi tra poco più di 3.5 cm e poco più di 6 cm.
- In corrispondenza dei binari della Linea AV, i cedimenti residui calcolati a far data dal completamento del

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 50 di 138

ballast, e 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 sia in Figura 24 e Figura 25, sia in Figura 28.

- I cedimenti della Linea Storica, mostrati in Figura 26 e Figura 27 sono di poco superiori a 5 cm; il differenziale calcolato sulle rotaie di uno stesso binario (quello maggiormente interessato dalle attività in programma) è di circa 3.0 mm.

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.

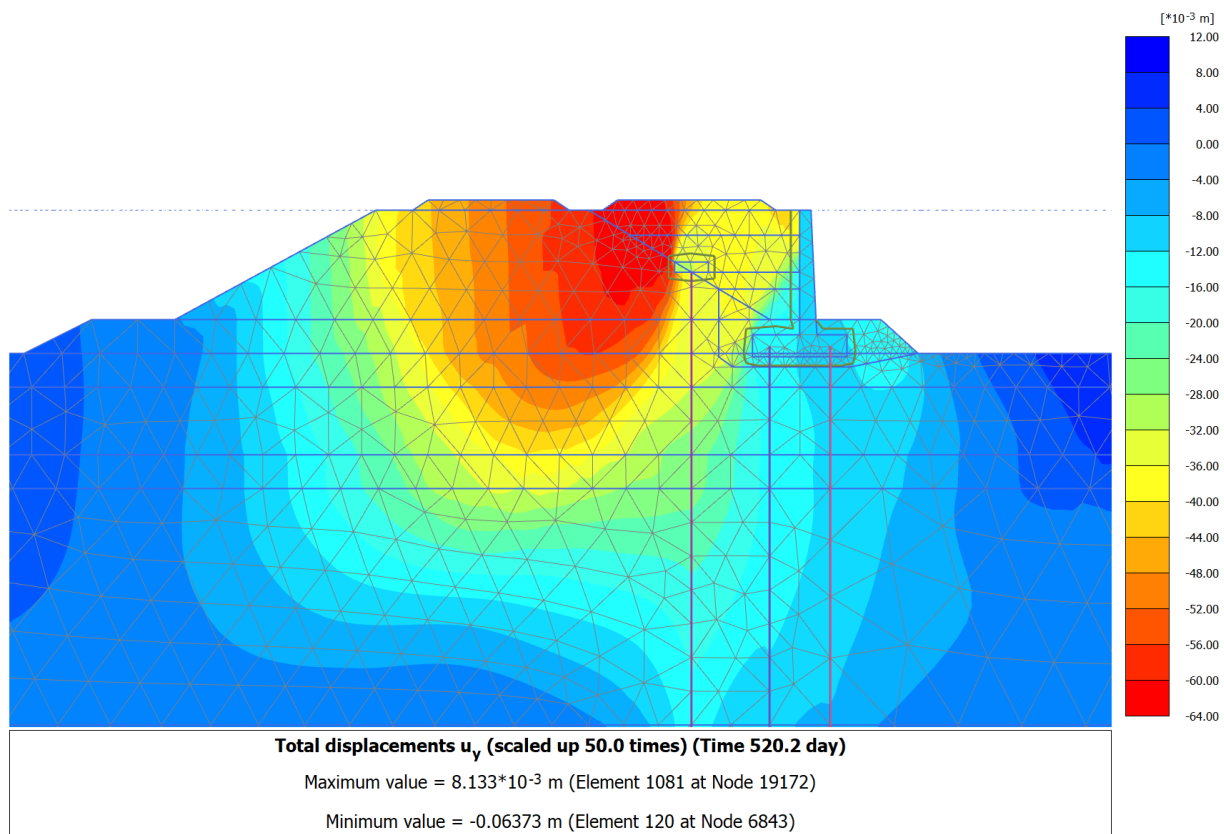


Figura 23 – RI56: Cedimenti totali al termine della costruzione del rilevato ferroviario AV

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 51 di 138

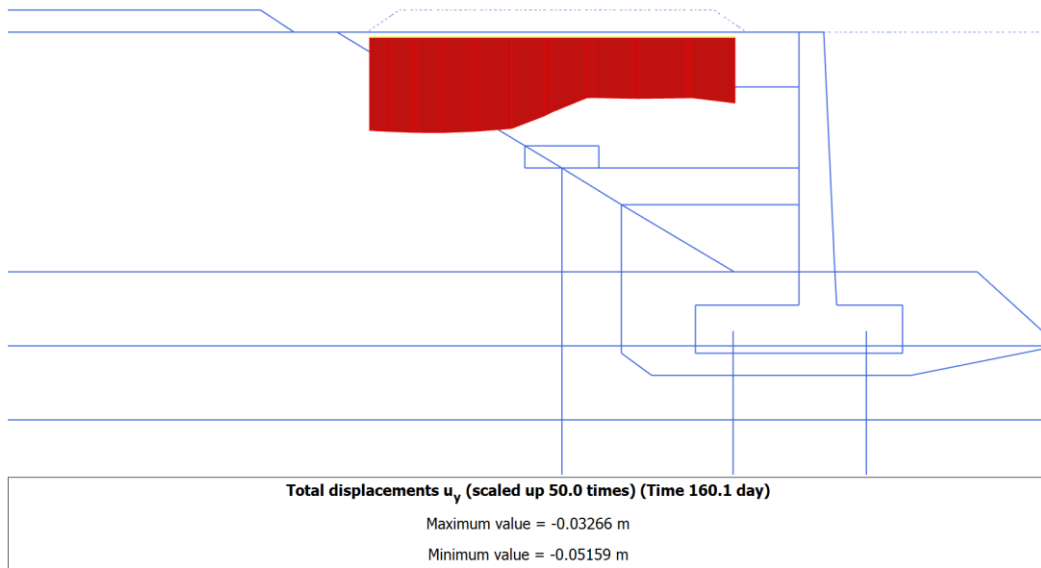


Figura 24 – RI56: Cedimenti totali prima della posa del ballast

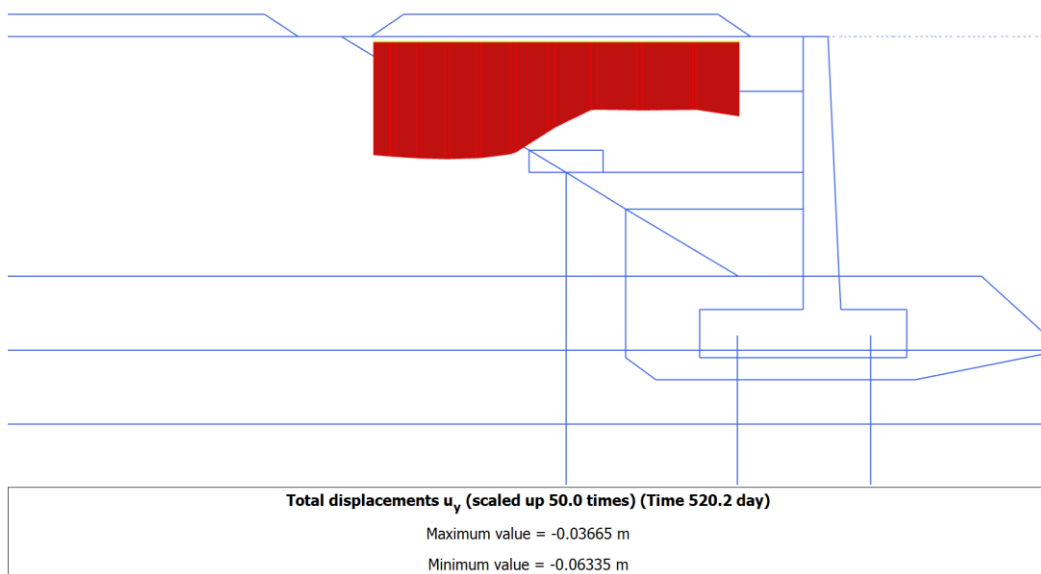
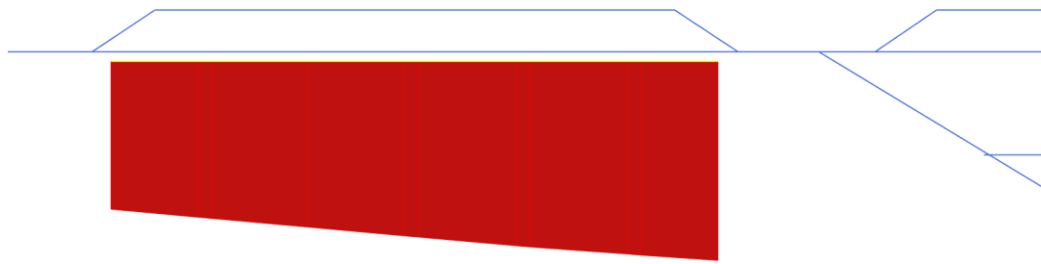


Figura 25 – RI56: Cedimenti totali di lungo termine: al termine della consolidazione

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 52 di 138



Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time 520.2 day)
Maximum value = -0.04248 m
Minimum value = -0.05717 m

Figura 26 – RI56: Cedimenti totali sui binari della linea storica di lungo termine

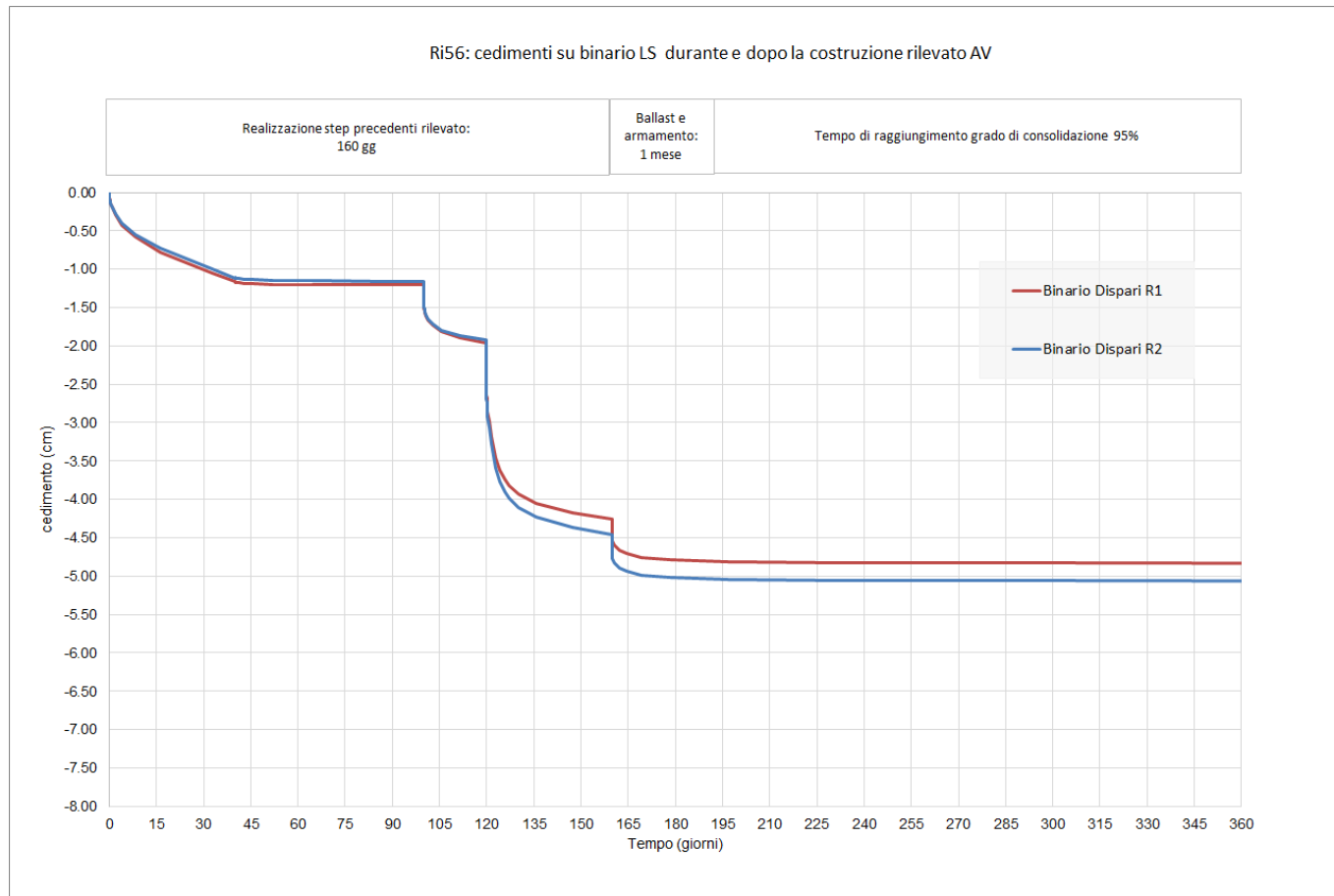




Figura 27 – Ri56: Sviluppo nel tempo dei cedimenti totali sul Binario Dispari della Linea Storica
cedimento differenziale tra le rotaie $\Delta u_y = 3.0 \text{ mm}$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 54 di 138

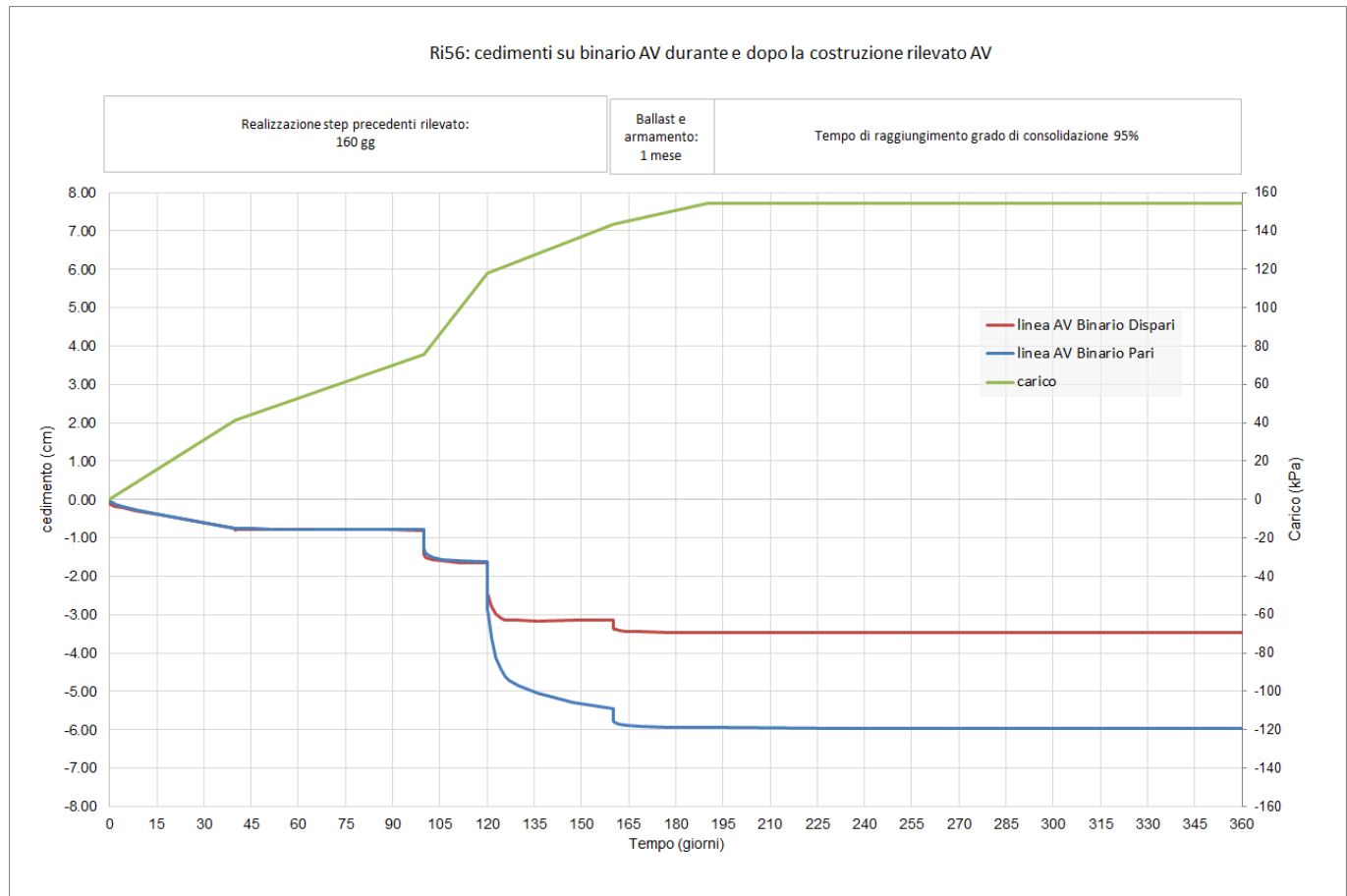




Figura 28 – RI56: Sviluppo nel tempo dei cedimenti totali alla base del rilevato di progetto (linee rossa e blu) in funzione del carico alla base del rilevato (linea verde)
 Cedimento a partire dalla realizzazione del ballast: $\Delta u_y = 5 \text{ mm}$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 55 di 138

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_{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  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 56 di 138

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_G	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_R da applicare alle resistenze caratteristiche.



Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(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+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 57 di 138

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+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 58 di 138

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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 59 di 138

7.2.2.2 Depositi incoerenti

Il valore della portata di base allo stato critico (q_{bcr}) 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:

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

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

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

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 29).

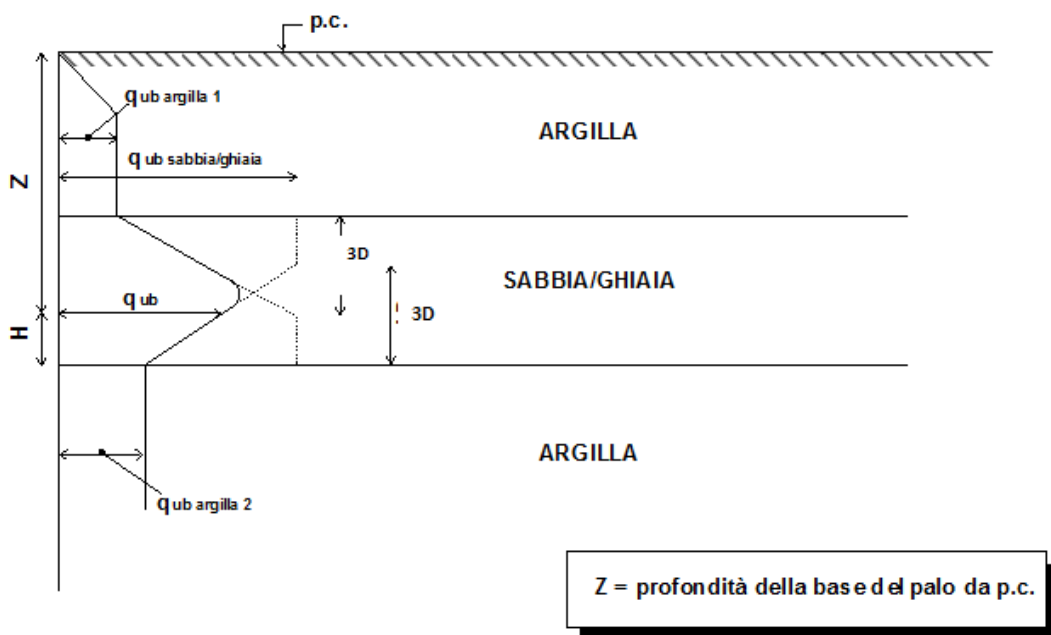




Figura 29 - Criterio di valutazione della pressione ultima di base (q_{ub}) in terreni stratificati

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 60 di 138

7.3 Stratigrafia di calcolo

La stratigrafia di calcolo è quella Tabella 2, che qui sotto si riporta per comodità di consultazione, integrata con parametri per il calcolo della capacità portante dei pali e per la determinazione del comportamento del palo singolo sotto carico orizzontale.

Modello geotecnico di riferimento da pk 30+640,00 a pk 30+940,00

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	2	18.5	-	-	70	-	-	28	-
Argilla (3b)	2	6	18.5	-	-	45	-	-	18	-
Sabbia (4)	6	8	19	36	-	-	35	1500	$k_h \cdot z$	15000
Argilla (3b)	8	22	18.5	-	-	55-70	-	-	22-28	-
Ghiaie (6)	22	25	19	39	-	-	100	3600	$k_h \cdot z$	15000
Argille (2)	25	27	19	-	-	120	150	-	48000	-
Ghiaie (6)	27	30	19	39	-	-	100	4000	$k_h \cdot z$	15000
Argille (2)	30	inf	19	-	-	200	150	-	48000	-

* quota piano campagna = 37.6 m s.l.m.

quota imposta muro = quota testa pali = 36.0 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, 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 effettiva 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



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 61 di 138

discussa nei capitoli precedenti, per pali D=1000 mm e D= 1200 mm. Coerentemente con quanto dichiarato nel Capitolo 6, per quanto riguarda le condizioni sismiche, si faccia riferimento alle curve agli SLU.

Pali trivellati Φ 1000
Numero verticali indagate 5
 ξ_s 1.34

lpalo m	CARICO LIMITE ULTIMO			CURVE SLU				
	$Q_{u,lim}$ kN	$Q_{u,cr}$ kN	$Q_{TOT,lim}$ kN	$Q_{u,d}$ kN	$Q_{u,d}$ kN	$Q_{u,d}$ kN	$Q_{u,d}$ kN	$Q_{u,d}$ kN
0.00	0	348	348	0	0	192	192	0
0.50	55	318	371	36	33	176	209	35
1.00	99	318	413	64	59	176	233	64
1.50	138	318	449	90	82	176	256	89
2.00	177	318	486	115	106	176	278	115
2.50	216	318	522	140	129	176	300	141
3.00	255	318	559	165	152	176	322	166
3.50	294	318	595	191	176	176	345	192
4.00	333	318	632	216	199	176	366	218
4.50	380	318	677	247	227	176	394	248
5.00	446	461	884	289	266	255	512	290
5.50	524	605	1103	340	313	334	639	339
6.00	606	479	1057	393	362	265	620	390
6.50	681	353	1004	442	407	195	595	438
7.00	735	358	1061	477	439	198	630	472
7.50	779	364	1108	506	465	201	659	500
8.00	824	369	1155	535	492	204	687	530
8.50	870	374	1203	565	519	207	717	559
9.00	916	379	1252	594	547	210	747	589
9.50	962	384	1301	624	574	212	776	619
10.00	1009	389	1351	655	602	215	806	649
10.50	1057	394	1402	686	631	218	838	680
11.00	1106	399	1453	718	660	221	868	712
11.50	1155	404	1504	750	690	223	900	744
12.00	1204	409	1557	781	719	226	930	776
12.50	1255	414	1610	814	749	229	964	808
13.00	1306	419	1663	848	780	232	997	841
13.50	1357	424	1718	881	810	234	1029	874
14.00	1409	429	1772	914	841	237	1062	907
14.50	1462	434	1828	949	873	240	1097	941
15.00	1515	439	1884	983	904	243	1130	975
15.50	1569	444	1941	1018	937	245	1165	1010
16.00	1624	449	1998	1054	970	248	1201	1045
16.50	1679	454	2056	1090	1002	251	1235	1080
17.00	1736	459	2115	1127	1036	254	1272	1116
17.50	1794	465	2176	1164	1071	257	1311	1153
18.00	1853	470	2238	1202	1106	260	1348	1191
18.50	1914	475	2302	1242	1143	263	1387	1230
19.00	1977	480	2367	1283	1180	265	1427	1270
19.50	2041	485	2434	1324	1219	268	1468	1311
20.00	2106	490	2502	1367	1257	271	1511	1351
20.50	2194	495	2592	1424	1310	274	1566	1407
21.00	2321	884	3106	1506	1386	489	1861	1485
21.50	2464	1208	3571	1599	1471	668	2130	1572
22.00	2603	1532	4031	1689	1554	847	2396	1658
22.50	2737	1856	4487	1776	1634	1026	2659	1740
23.00	2866	1590	4348	1860	1711	879	2593	1819
23.50	2989	1325	4204	1940	1784	732	2522	1895
24.00	3110	1060	4057	2018	1857	586	2452	1970
24.50	3236	1060	4181	2100	1932	586	2531	2047
25.00	3366	1060	4308	2184	2010	586	2611	2128
25.50	3495	1060	4435	2268	2087	586	2692	2207
26.00	3616	1060	4553	2347	2159	586	2766	2282
26.50	3719	1407	5001	2413	2220	778	3022	2345
27.00	3814	1754	5441	2475	2277	970	3273	2404
27.50	3911	2101	5883	2538	2335	1161	3524	2465
28.00	4010	1757	5636	2602	2394	971	3395	2526
28.50	4125	1414	5405	2677	2463	782	3278	2597
29.00	4268	1414	5545	2770	2548	782	3366	2685
29.50	4425	1414	5700	2872	2642	782	3466	2781
30.00	4583	1414	5855	2974	2736	782	3565	2877
30.50	4740	1414	6010	3076	2830	782	3663	2974
31.00	4897	1414	6164	3178	2924	782	3762	3070
31.50	5054	1414	6319	3280	3017	782	3862	3165
32.00	5211	1414	6474	3382	3111	782	3959	3262
32.50	5368	1414	6629	3483	3205	782	4059	3358
33.00	5525	1414	6783	3585	3299	782	4156	3455
33.50	5682	1414	6938	3687	3392	782	4256	3550

Figura 30 – Riassunto curve di capacità portante SLU per pali D=1000 mm

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI560001A	Foglio 62 di 138

		CARICO LIMITE ULTIMO			CURVE SLU				
Lpalo m	Q _{u,lim} kN	Q _{b,cr} kN	Q _{rot,lim} kN	Q _{u,c,d} kN	Q _{u,tr,d} kN	Q _{b,d} kN	Q _{tot,c,d} kN	Q _{tot,tr,d} kN	
0.00	0	494	494	0	0	273	273	0	
0.50	66	458	521	43	39	253	292	42	
1.00	119	458	570	77	71	253	321	78	
1.50	166	458	614	108	99	253	347	109	
2.00	213	458	657	138	127	253	373	141	
2.50	259	458	700	168	155	253	398	172	
3.00	306	458	744	199	183	253	425	203	
3.50	352	458	787	228	210	253	449	234	
4.00	399	458	830	259	238	253	476	265	
4.50	456	458	883	296	272	253	507	303	
5.00	535	635	1136	347	319	351	652	353	
5.50	629	812	1403	408	376	449	807	413	
6.00	727	660	1347	472	434	365	781	475	
6.50	817	509	1282	530	488	281	752	532	
7.00	882	516	1351	572	527	285	793	575	
7.50	935	523	1408	607	558	289	827	609	
8.00	989	531	1466	642	590	294	862	644	
8.50	1044	538	1524	677	623	297	897	681	
9.00	1099	545	1583	713	656	301	932	717	
9.50	1155	553	1643	750	690	306	969	754	
10.00	1211	560	1703	786	723	310	1004	791	
10.50	1269	567	1764	823	758	313	1041	829	
11.00	1327	574	1826	861	792	317	1077	867	
11.50	1386	582	1889	899	827	322	1116	905	
12.00	1445	589	1953	938	863	326	1154	944	
12.50	1506	596	2017	977	899	329	1192	984	
13.00	1567	603	2082	1017	936	333	1231	1024	
13.50	1629	611	2148	1057	973	338	1271	1065	
14.00	1691	618	2214	1097	1010	342	1311	1105	
14.50	1754	625	2281	1138	1047	345	1351	1145	
15.00	1818	633	2349	1180	1085	350	1392	1187	
15.50	1883	640	2418	1222	1124	354	1434	1229	
16.00	1949	647	2487	1265	1164	358	1475	1273	
16.50	2015	654	2558	1308	1203	362	1518	1315	
17.00	2083	662	2629	1352	1244	366	1562	1359	
17.50	2152	669	2702	1396	1285	370	1606	1404	
18.00	2224	676	2778	1443	1328	374	1652	1450	
18.50	2297	683	2855	1491	1371	378	1698	1497	
19.00	2372	691	2934	1539	1416	382	1747	1545	
19.50	2449	698	3015	1589	1462	386	1797	1594	
20.00	2528	705	3097	1640	1509	390	1847	1645	
20.50	2633	713	3206	1709	1572	394	1915	1711	
21.00	2785	1192	3835	1807	1663	659	2273	1806	
21.50	2957	1672	4484	1919	1765	924	2646	1911	
22.00	3124	2152	5127	2027	1865	1190	3016	2014	
22.50	3285	2632	5764	2132	1961	1455	3380	2114	
23.00	3439	2264	5547	2232	2053	1252	3273	2209	
23.50	3587	1895	5323	2328	2141	1048	3161	2300	
24.00	3732	1527	5096	2422	2228	844	3046	2391	
24.50	3883	1527	5244	2520	2318	844	3140	2484	
25.00	4039	1527	5396	2621	2411	844	3236	2581	
25.50	4194	1527	5548	2722	2504	844	3332	2677	
26.00	4339	1527	5689	2816	2590	844	3422	2766	
26.50	4462	1955	6237	2896	2664	1081	3733	2844	
27.00	4577	2383	6777	2970	2733	1317	4040	2916	
27.50	4694	2811	7318	3046	2802	1554	4348	2989	
28.00	4813	2424	7046	3123	2873	1340	4207	3063	
28.50	4950	2036	6793	3212	2955	1125	4077	3148	
29.00	5122	2036	6961	3324	3058	1125	4183	3255	
29.50	5311	2036	7146	3446	3171	1125	4302	3371	
30.00	5499	2036	7331	3568	3283	1125	4419	3487	
30.50	5688	2036	7516	3691	3396	1125	4537	3603	
31.00	5876	2036	7701	3813	3508	1125	4655	3718	
31.50	6065	2036	7887	3936	3621	1125	4772	3835	
32.00	6253	2036	8072	4058	3733	1125	4890	3950	
32.50	6442	2036	8257	4180	3846	1125	5008	4067	
33.00	6630	2036	8442	4302	3958	1125	5125	4182	
33.50	6819	2036	8627	4425	4071	1125	5244	4298	

Figura 31 – Riassunto curve di capacità portante SLU per pali D=1200 mm

Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI560001A

Foglio

63 di 138

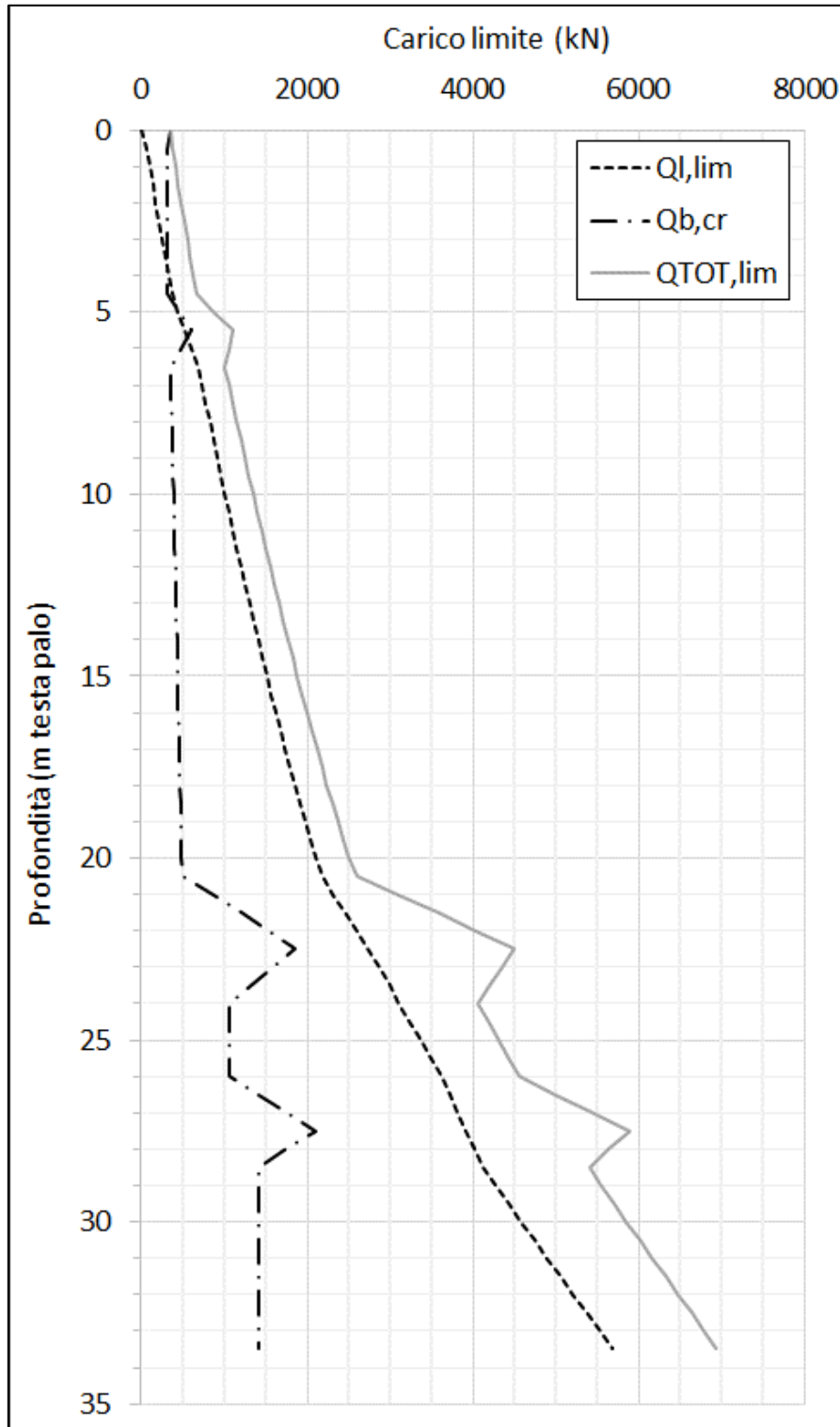


Figura 32 – Curve di Carico Limite Ultimo per pali D=1000 mm

Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI560001A

Foglio

64 di 138

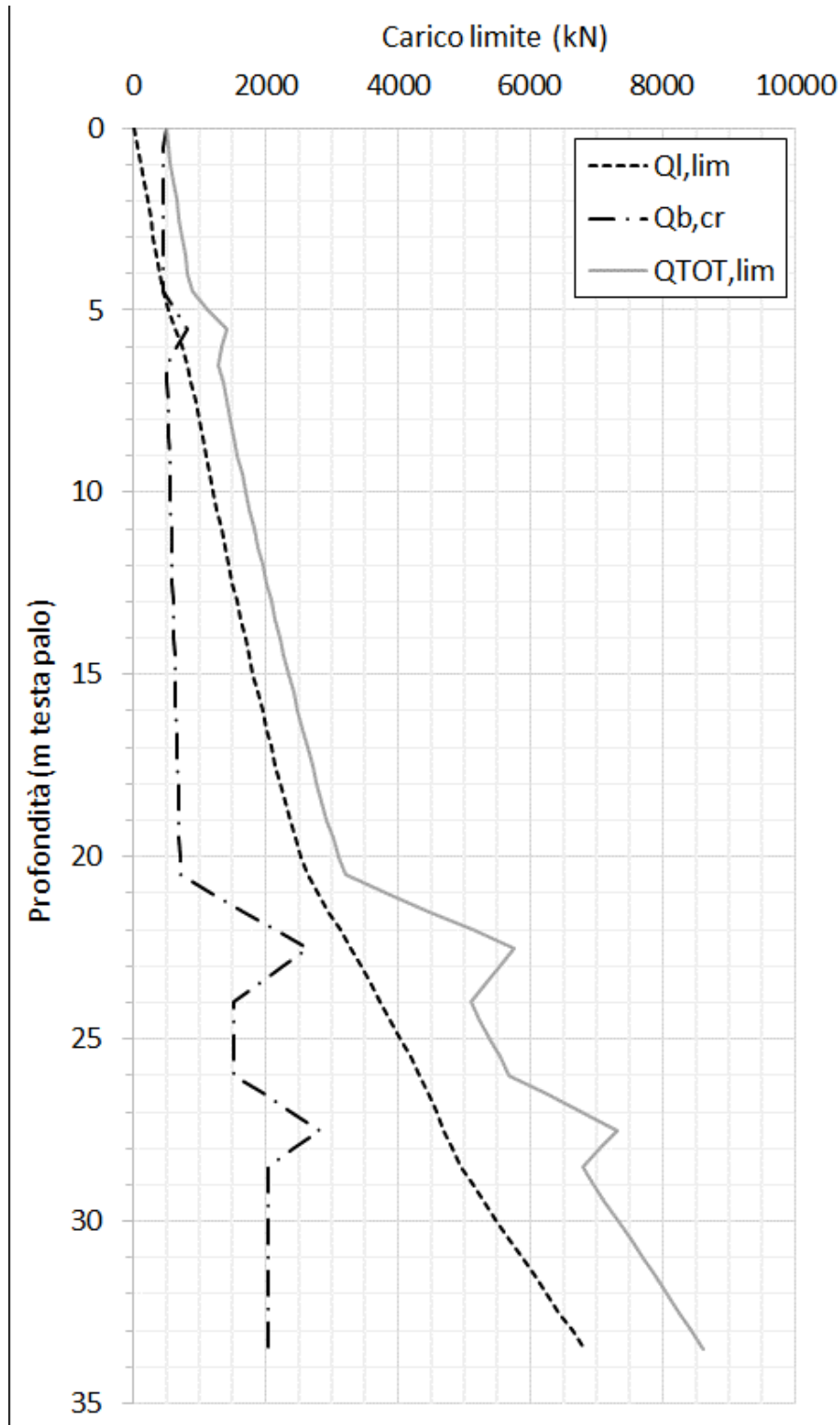


Figura 33 – Curve di Carico Limite Ultimo per pali $D=1200$ mm

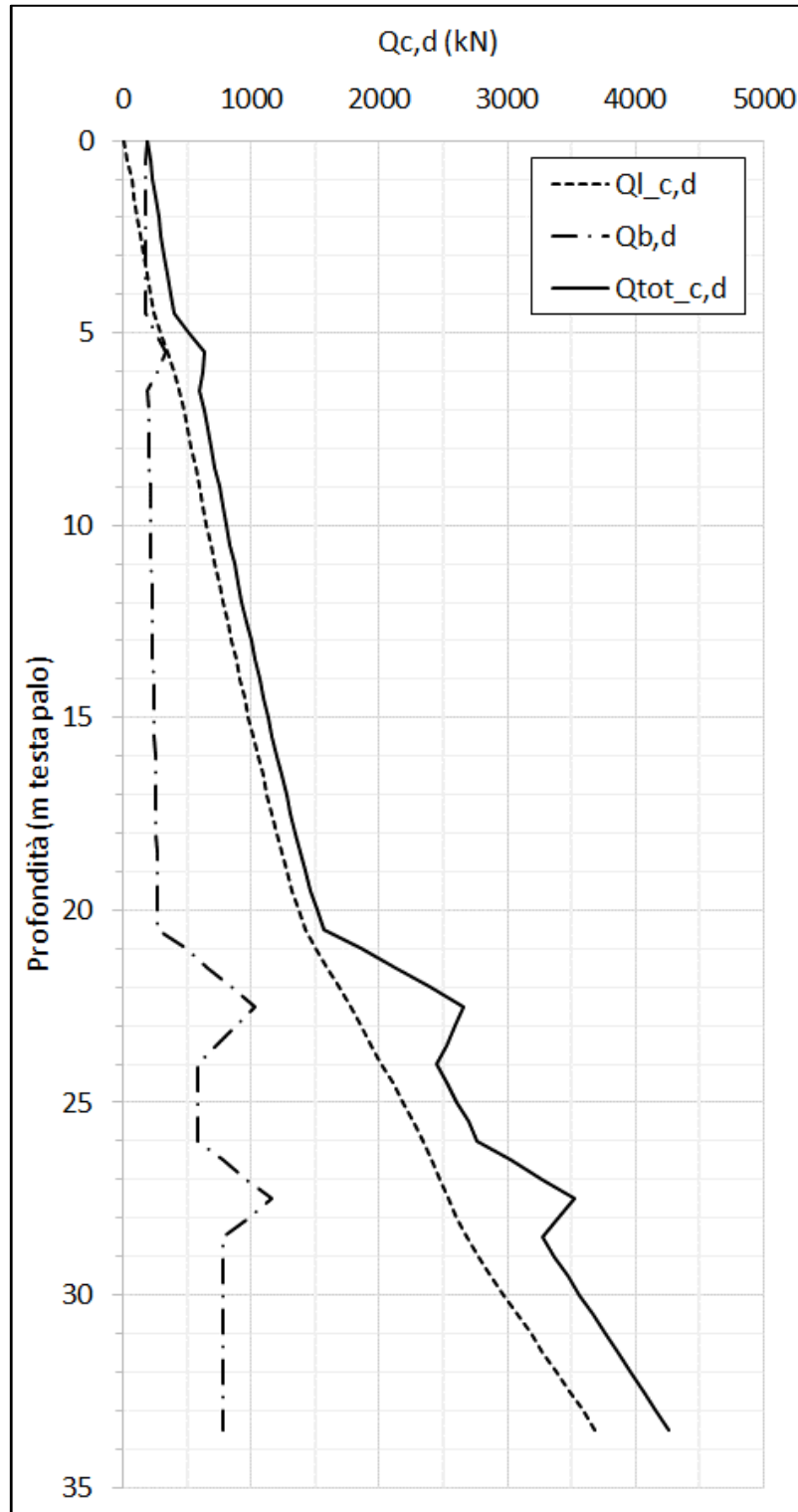


Figura 34 – Curve di capacità portante SLU, compressione per pali $D=1000$ mm

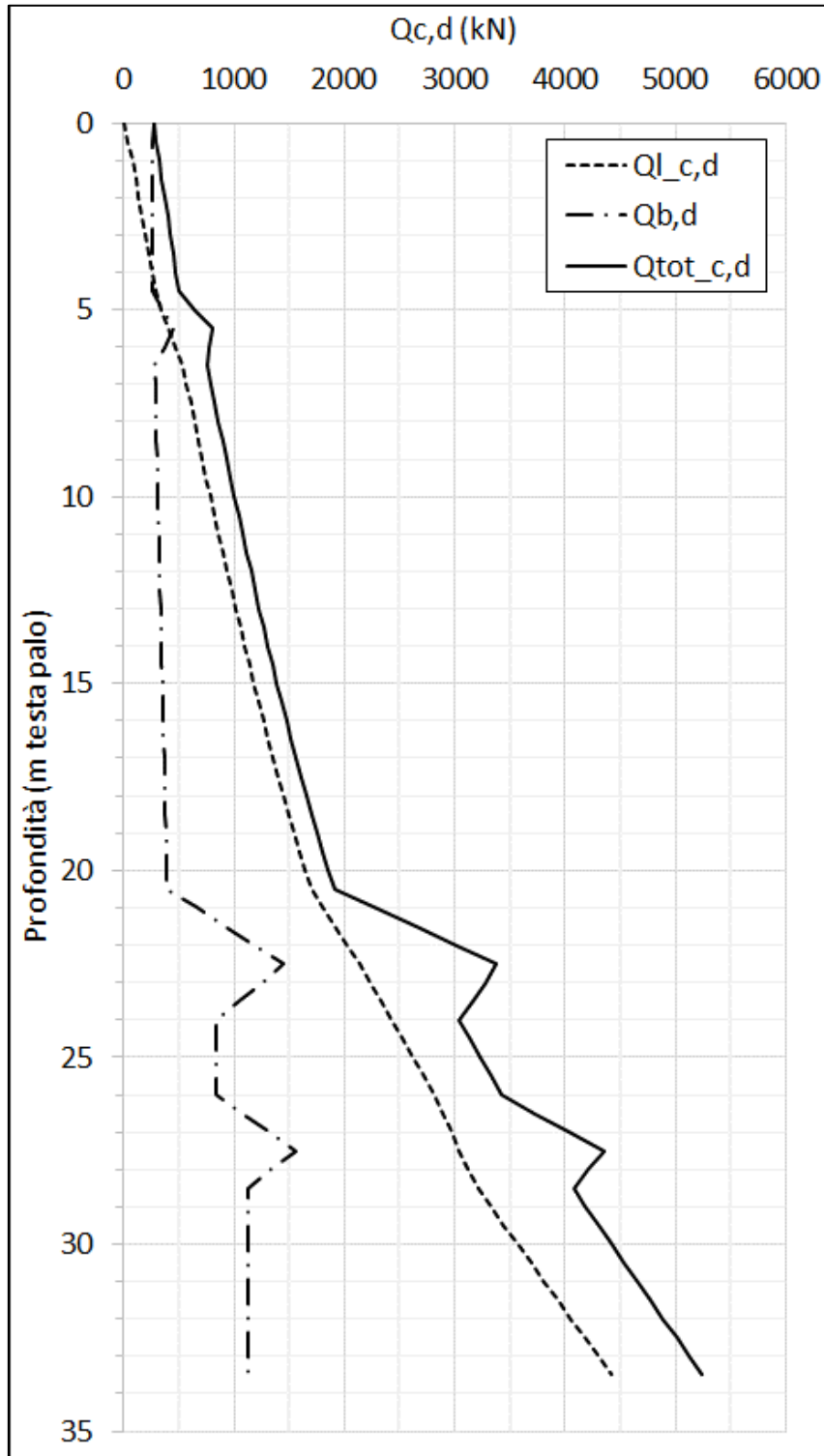


Figura 35 – Curve di capacità portante SLU, compressione per pali $D=1200$ mm

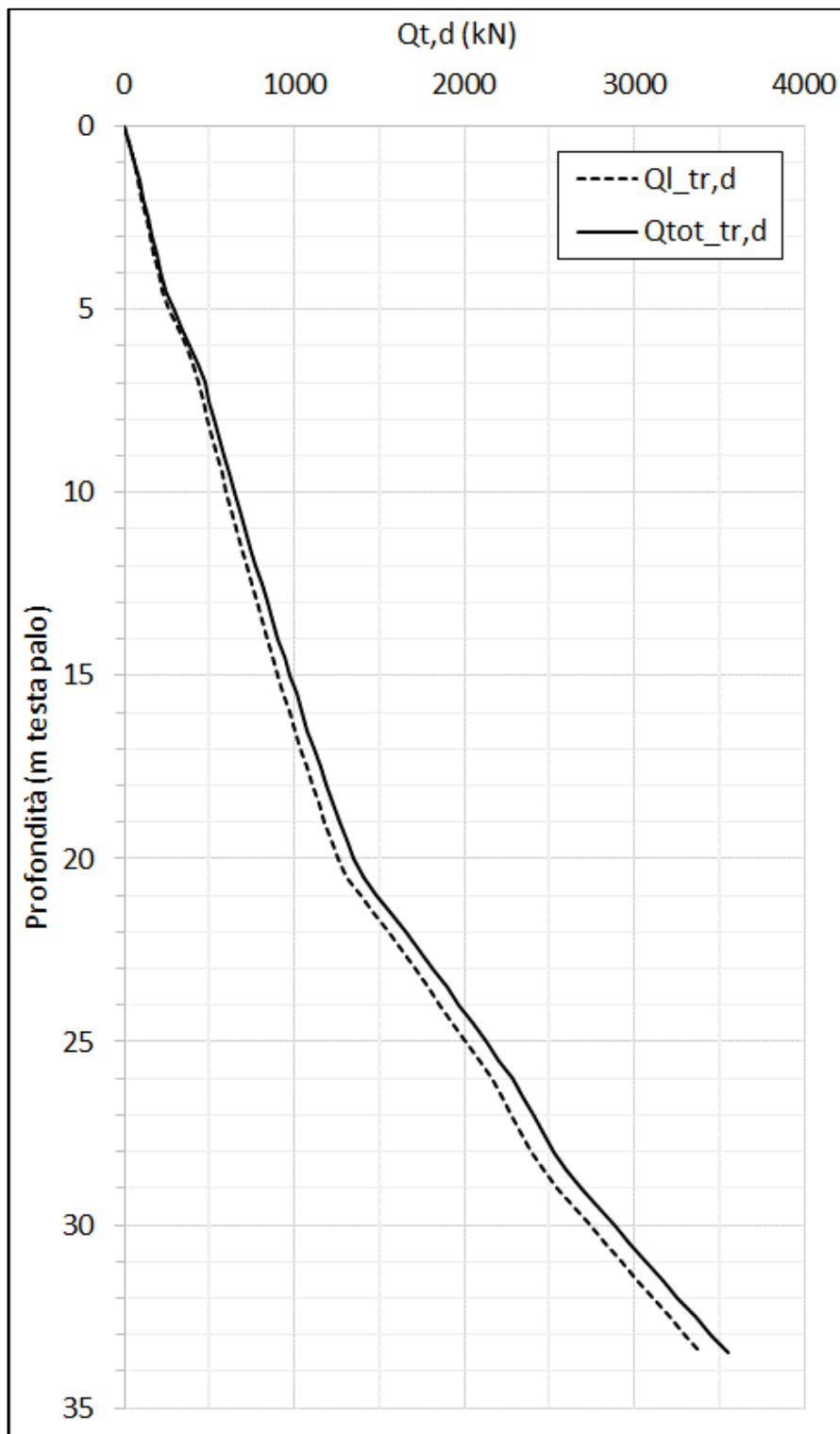


Figura 36 – Curve di capacità portante SLU, trazione per pali D=1000 mm

Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI560001A

Foglio

68 di 138

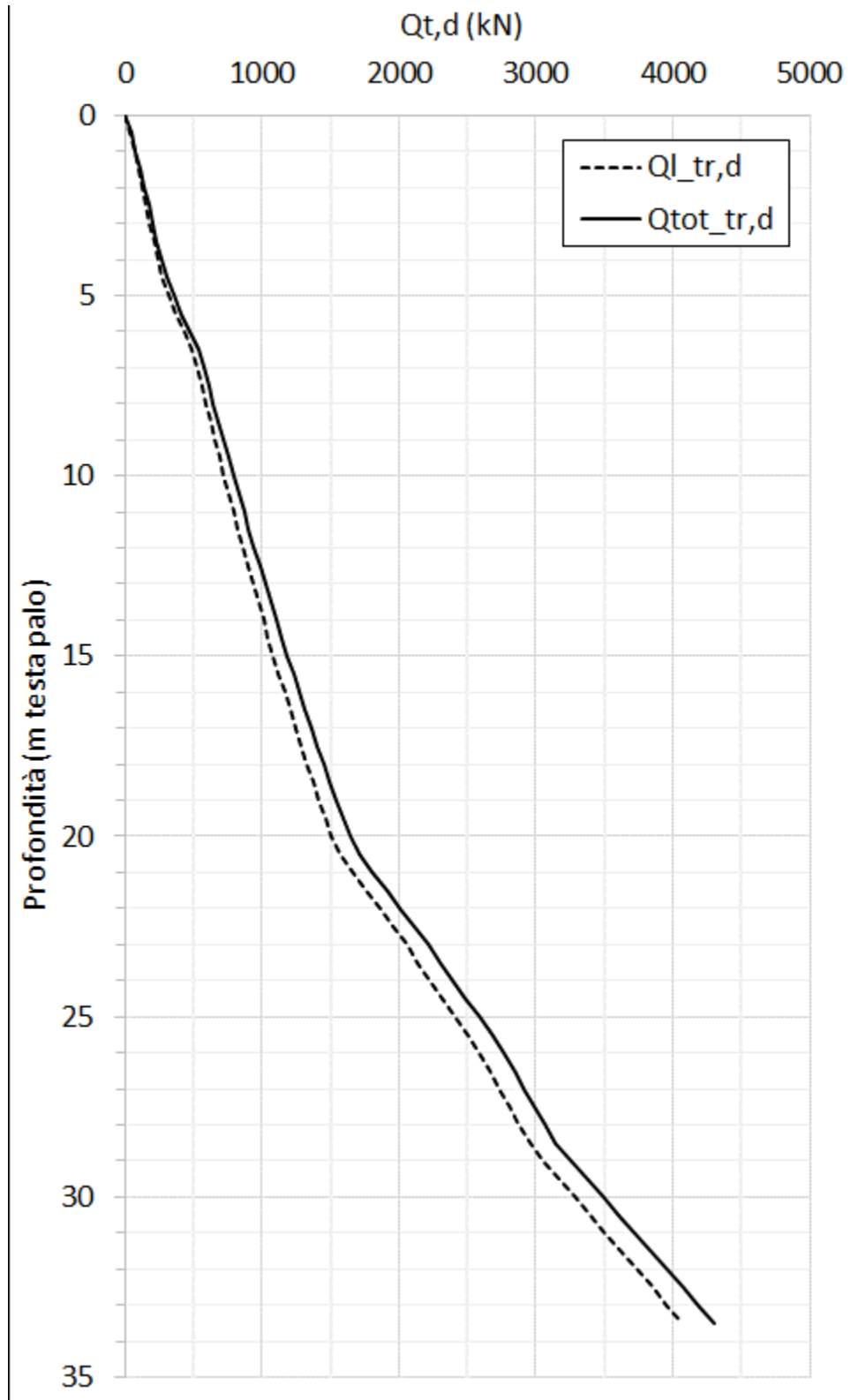




Figura 37 – Curve di capacità portante SLU, trazione per pali $D=1200$ mm

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 69 di 138

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 2.2).

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:

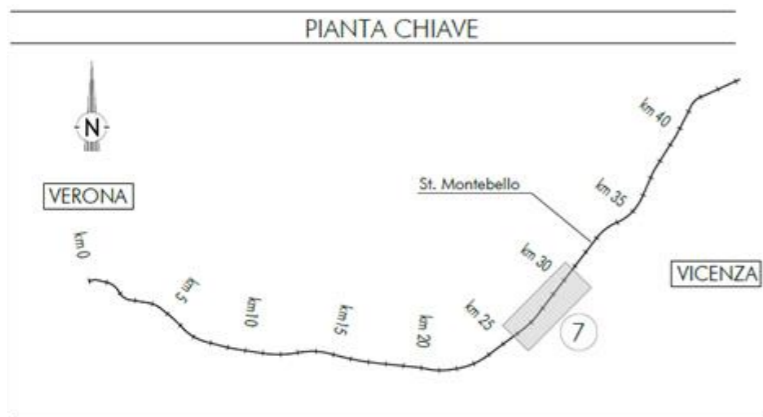
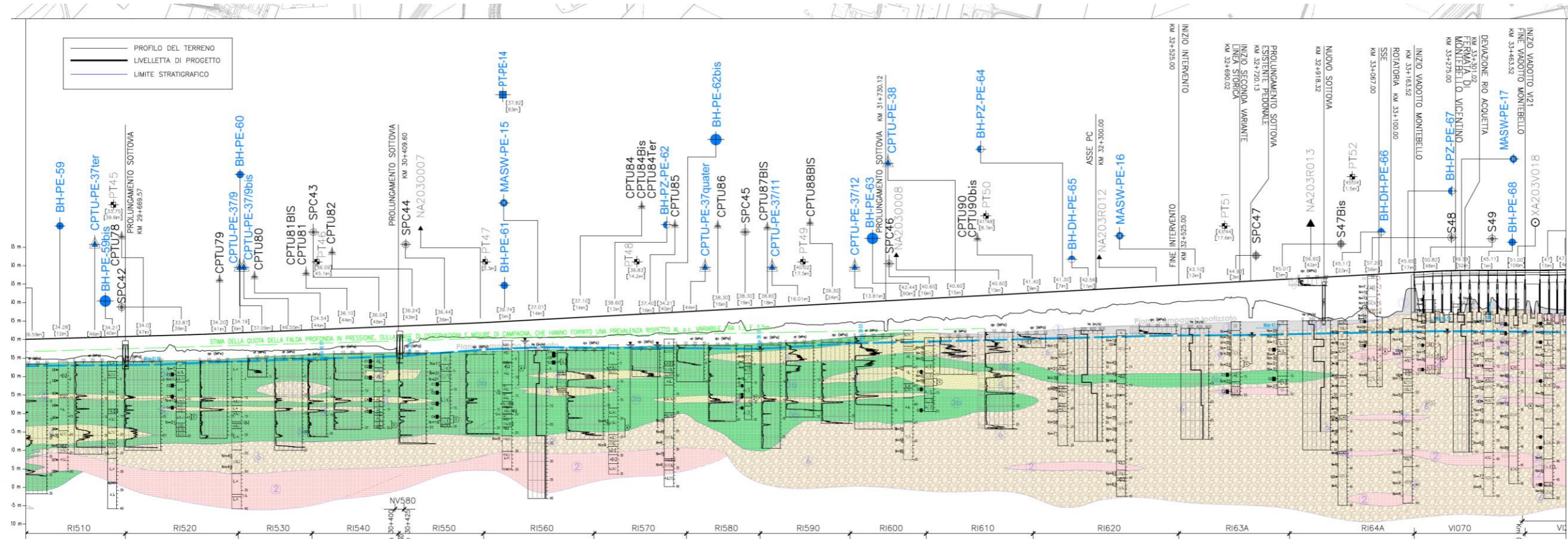
1. Si raccomanda di eseguire prove tecnologiche preliminari di realizzazione dei pali e/o delle inclusioni rigide nell'area di interesse, volte a valutare la effettiva problematica di prevalenza della falda nello strato inferiore di ghiaie e sabbie, nel quale entrambi debbono essere immorsati.
2. Si 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>Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI560001A</p>	<p>Foglio 70 di 138</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+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI560001A</p>	<p>Foglio 71 di 138</p>

ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



- LEGENDA**
- Campagna indagini integrative PE**
- BH-PE-... Sondaggio a carotaggio continuo
 - BH-DH-PE-... Sondaggio con esecuzione di prova down hole
 - BH-CR-PE-... Sondaggio con esecuzione di prova cross hole
 - MASW-PE-... Indagini MSW
 - CPTU-PE-... 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 Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)
- Campagna indagini 2014**
- SP Sondaggio a carotaggio continuo
 - SPC Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SDA Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - CPTU Prova penetrometrica statica con piezometro (possibilità di avanzamento con trivellazione)
 - CPTU Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"
 - CH 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

- Campagna indagini pregresse**
- 3a Sondaggio geognostico (campagna 1998)
 - 3b Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
 - 3c CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
 - 3d 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 | Ripporto | 3a | Area con prevalenza di sabbie limose/ con limo e limi sabbiosi/ con sabbia, a comportamento drenato, da sciolti a mediamente addensati | 4 | Sabbie generalmente da debolmente limose a limose, da mediamente addensati a molto addensati |
| 2 | Limi argillosi e limi da compatte a molto compatte, generalmente sovraconsolidati | 3b | Area con prevalenza di limi argillosi e argille limose, da tenere a mediamente compatte, generalmente NC o debolmente CC | 6 | Ghiaie, ghiaie con sabbie, con presenza locale di ciottoli, anche di grandi dimensioni (fino a 80/100mm) |
| | | 3c | Area di alternanza, sia in verticale che planimetrica, di materiali 3a e 3b | | |

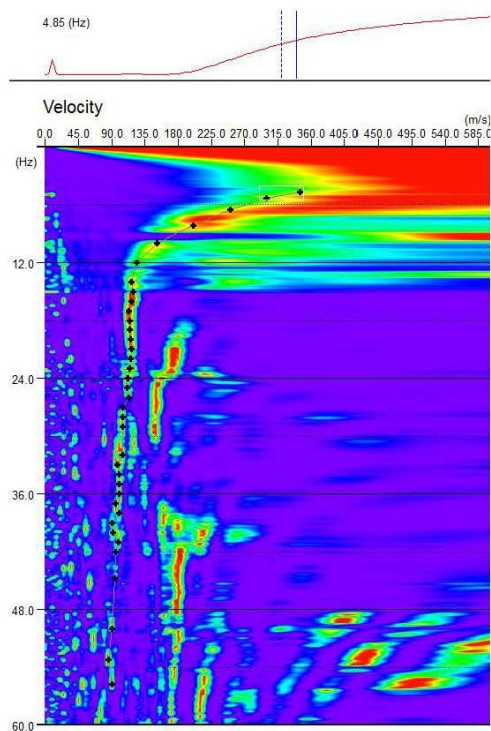
<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5600001A</p>	<p>Foglio 73 di 138</p>

ALLEGATO 2– INDAGINI GEOGNOSTICHE

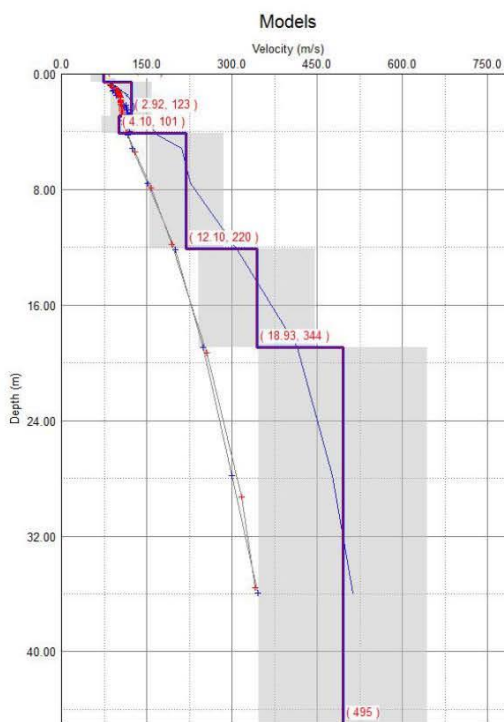


Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI5600001A	74 di 138

MASW 14

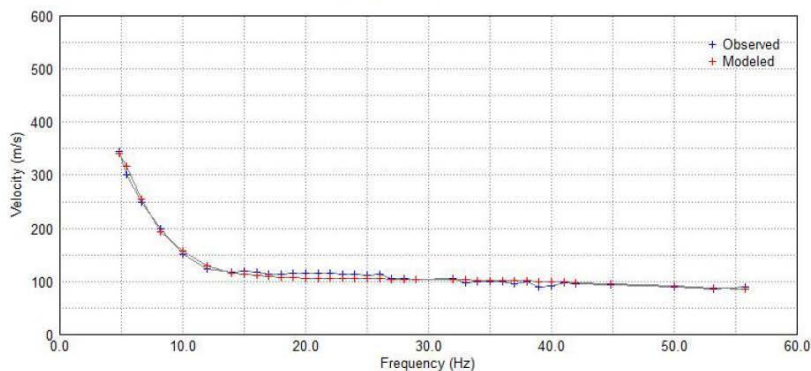


CURVA DI DISPERSIONE CUMULATIVA
METODO ATTIVO E PASSIVO



MODELLO RISULTANTE
DALL'INVERSIONE DEI DATI

Dispersion Curves



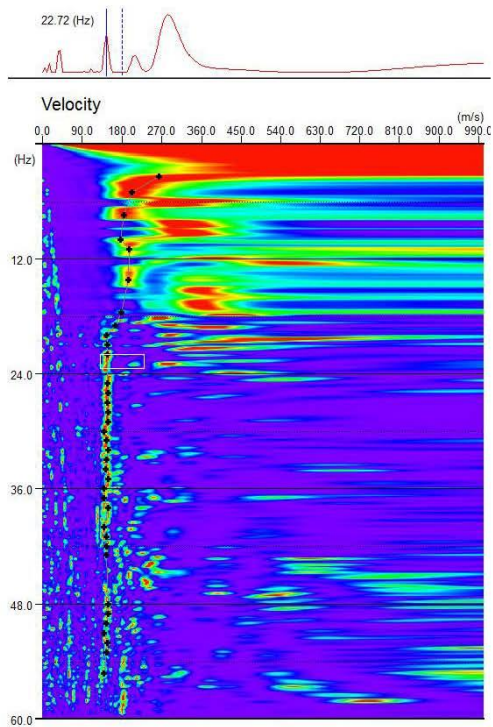
CURVA DI DISPERSIONE MISURATA (BLU) E CALCOLATA (ROSSO)

Vs30 = 256m/s



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI5600001A	75 di 138

MASW 15

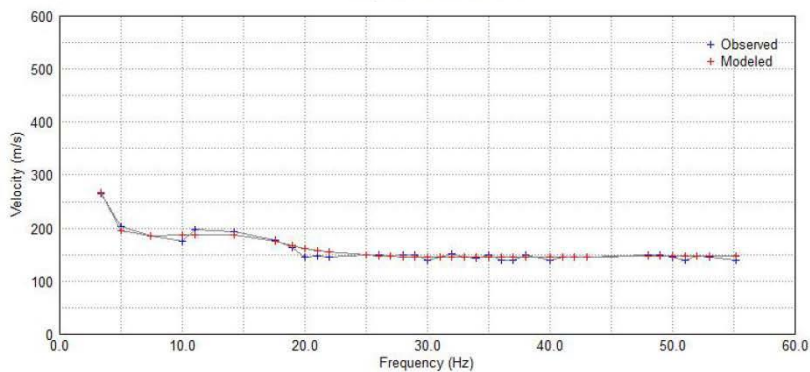


CURVA DI DISPERSIONE CUMULATIVA
METODO ATTIVO E PASSIVO



MODELLO RISULTANTE
DALL'INVERSIONE DEI DATI

Dispersion Curves



CURVA DI DISPERSIONE MISURATA (BLU) E CALCOLATA (ROSSO)

$V_{s30} = 223\text{m/s}$



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

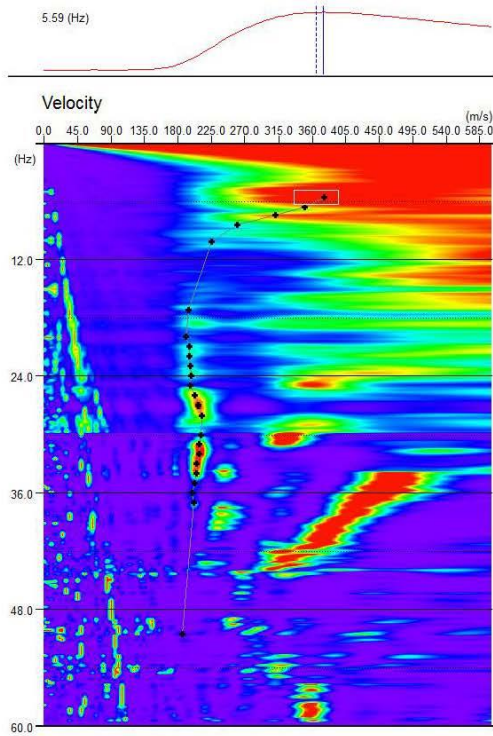
Progetto
IN17

Lotto
12

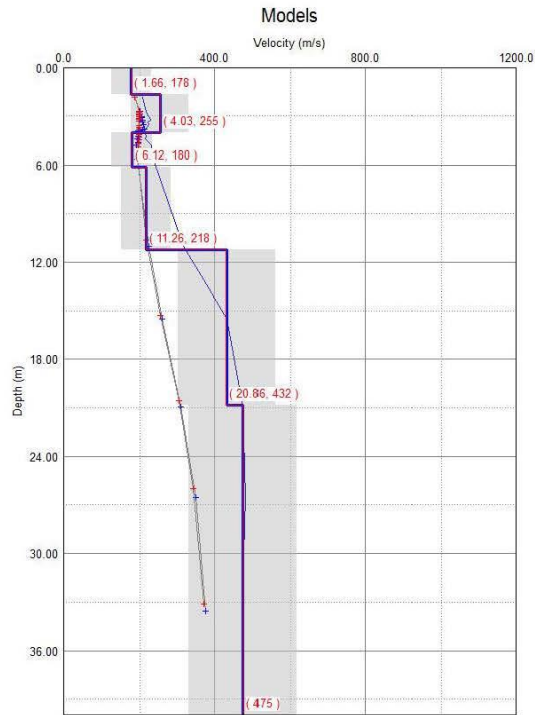
Codifica
EI2RBRI5600001A

Foglio
76 di 138

MASW 16

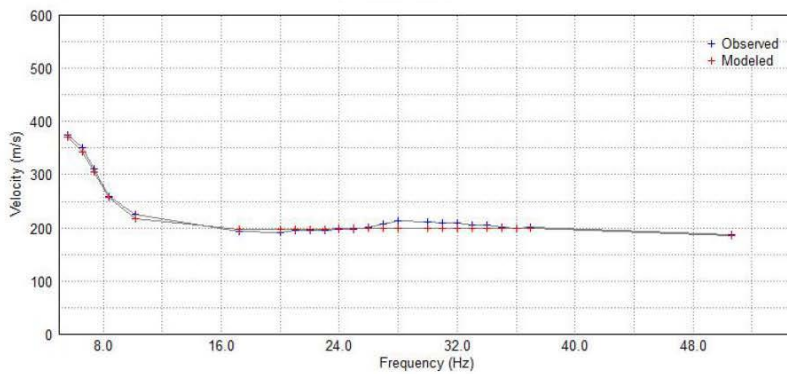


CURVA DI DISPERSIONE CUMULATIVA
METODO ATTIVO E PASSIVO



MODELLO RISULTANTE
DALL'INVERSIONE DEI DATI

Dispersion Curves



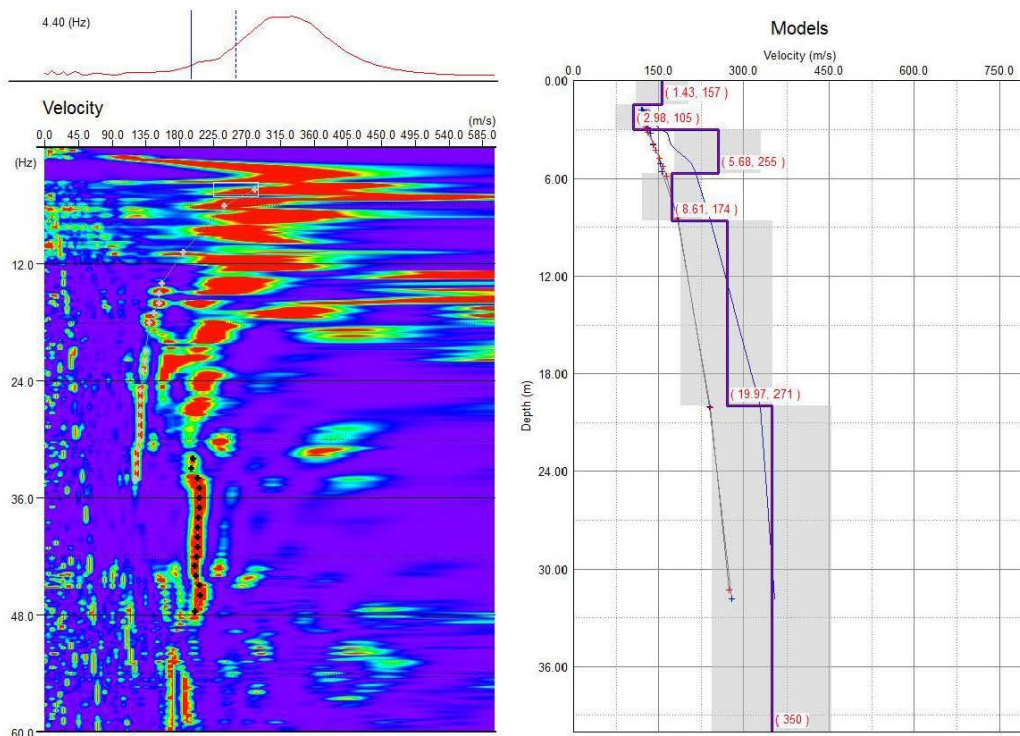
CURVA DI DISPERSIONE MISURATA (BLU) E CALCOLATA (ROSSO)

Vs30 = 314m/s



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI5600001A	77 di 138

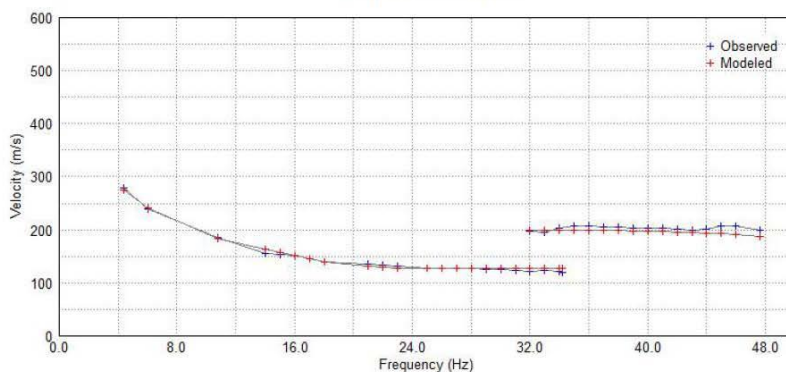
MASW 17



CURVA DI DISPERSIONE CUMULATIVA
METODO ATTIVO E PASSIVO

MODELLO RISULTANTE
DALL'INVERSIONE DEI DATI

Dispersion Curves



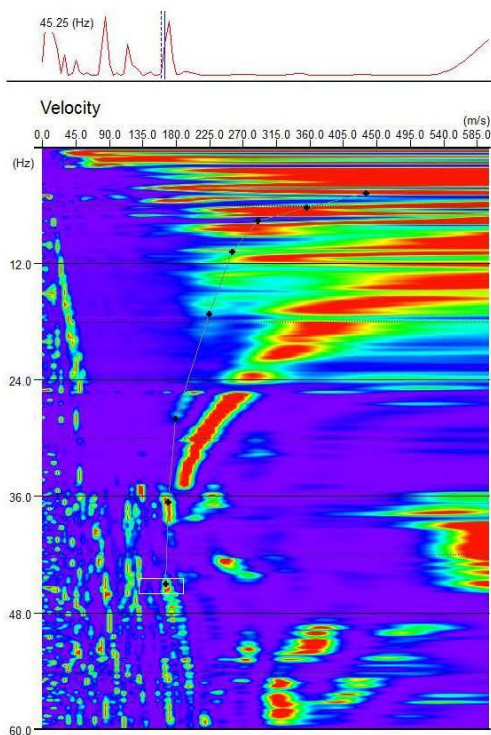
CURVA DI DISPERSIONE MISURATA (BLU) E CALCOLATA (ROSSO)

Vs30 = 246m/s

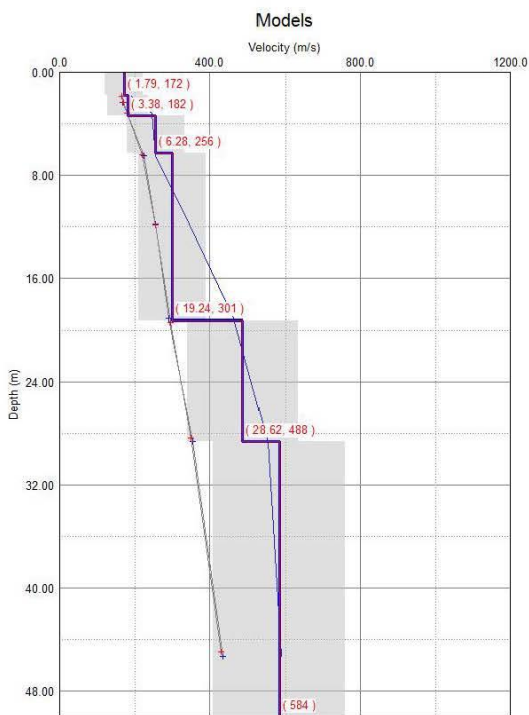


Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI5600001A	78 di 138

MASW 18

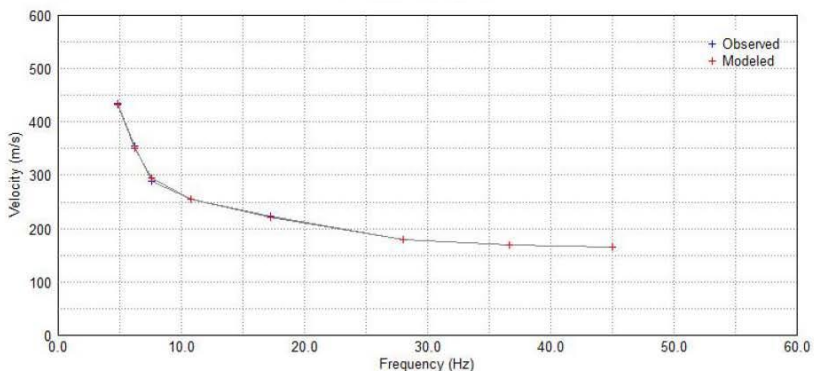


CURVA DI DISPERSIONE CUMULATIVA
METODO ATTIVO E PASSIVO



MODELLO RISULTANTE
DALL'INVERSIONE DEI DATI

Dispersion Curves



CURVA DI DISPERSIONE MISURATA (BLU) E CALCOLATA (ROSSO)

Vs30 = 315m/s



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

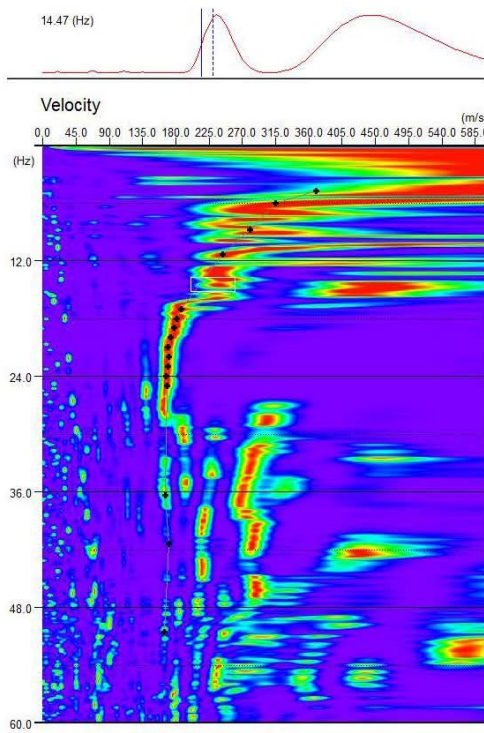
Progetto
IN17

Lotto
12

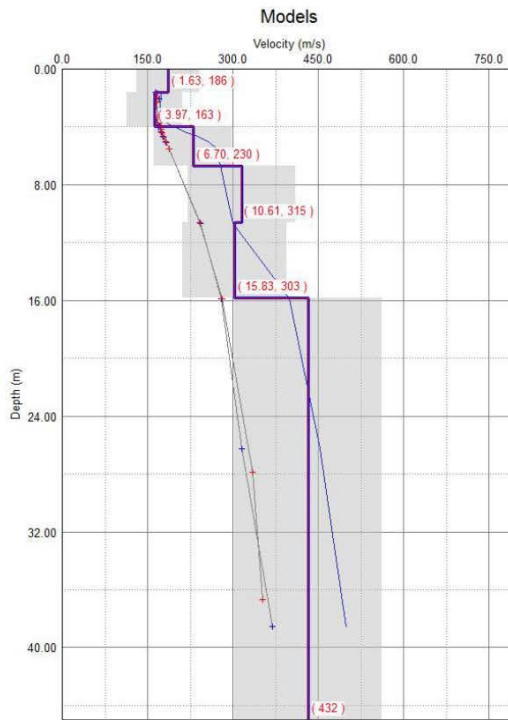
Codifica
EI2RBRI5600001A

Foglio
79 di 138

MASW 19

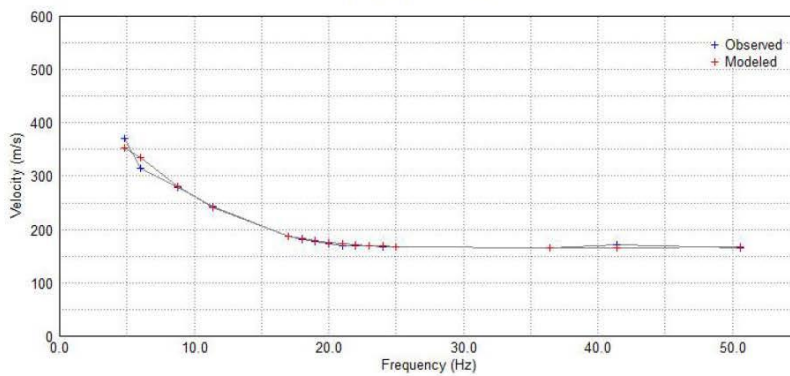


CURVA DI DISPERSIONE CUMULATIVA
METODO ATTIVO E PASSIVO



MODELLO RISULTANTE
DALL'INVERSIONE DEI DATI

Dispersion Curves



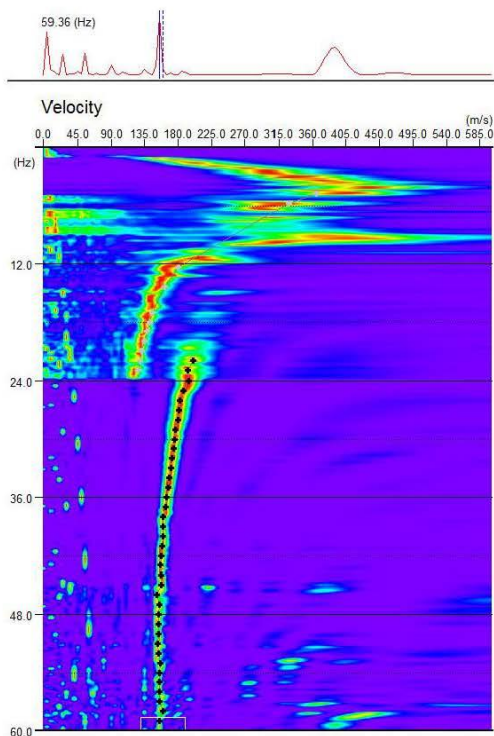
CURVA DI DISPERSIONE MISURATA (BLU) E CALCOLATA (ROSSO)

Vs30 = 307m/s



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI5600001A	80 di 138

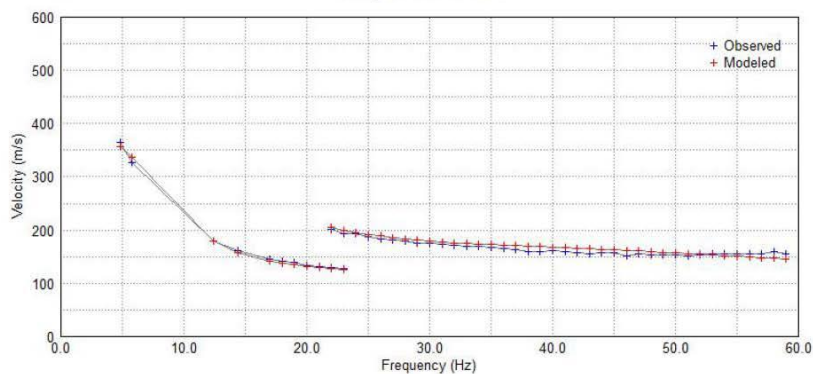
MASW 20



CURVA DI DISPERSIONE CUMULATIVA
METODO ATTIVO E PASSIVO

MODELLO RISULTANTE
DALL'INVERSIONE DEI DATI

Dispersion Curves



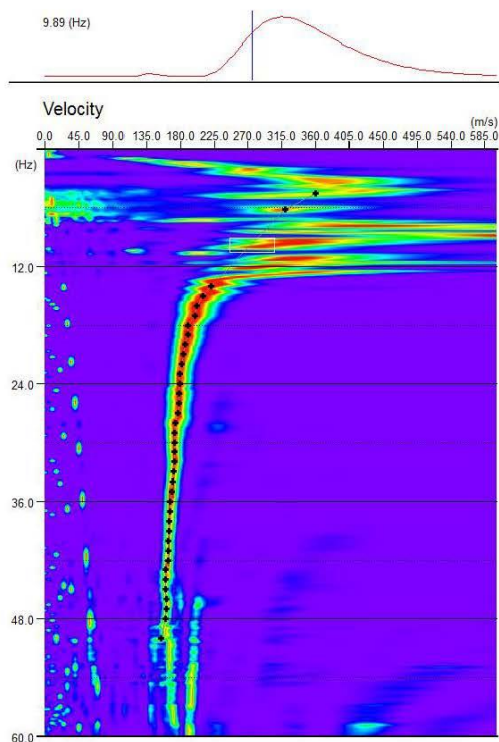
CURVA DI DISPERSIONE MISURATA (BLU) E CALCOLATA (ROSSO)

Vs30 = 295m/s

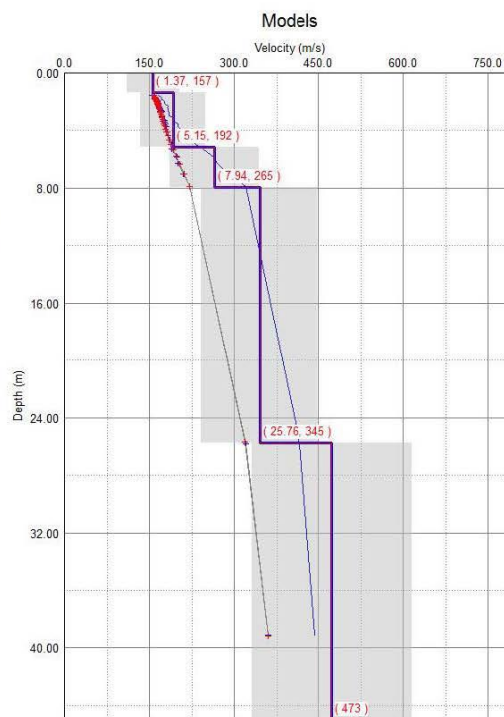


Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI5600001A	81 di 138

MASW 21

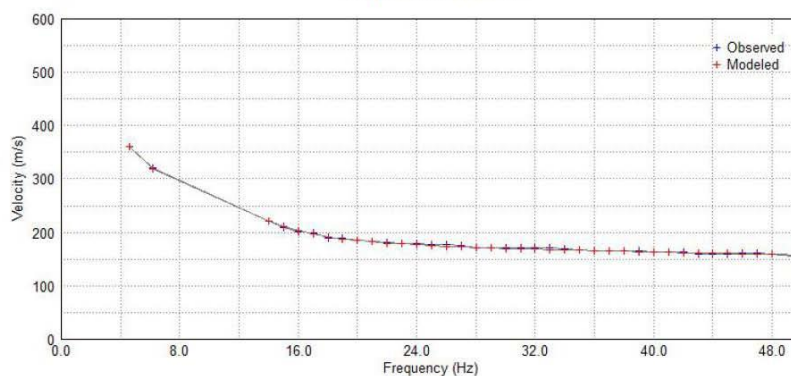


CURVA DI DISPERSIONE CUMULATIVA
METODO ATTIVO E PASSIVO



MODELLO RISULTANTE
DALL'INVERSIONE DEI DATI

Dispersion Curves



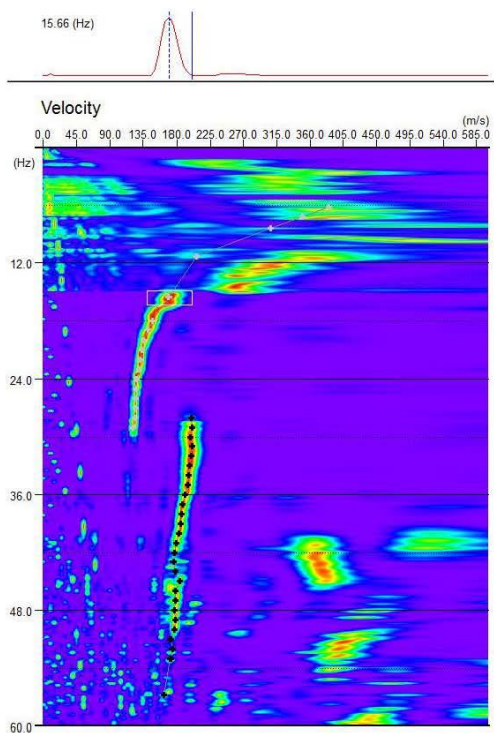
CURVA DI DISPERSIONE MISURATA (BLU) E CALCOLATA (ROSSO)

Vs30 = 302m/s

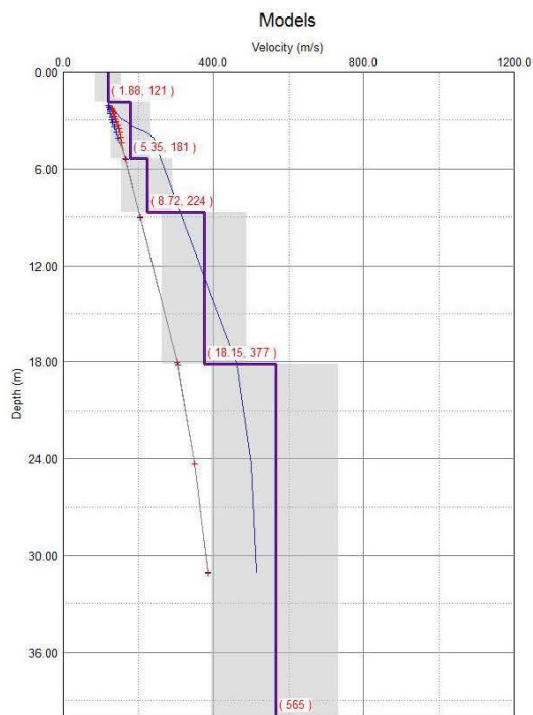


Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI5600001A	82 di 138

MASW 22

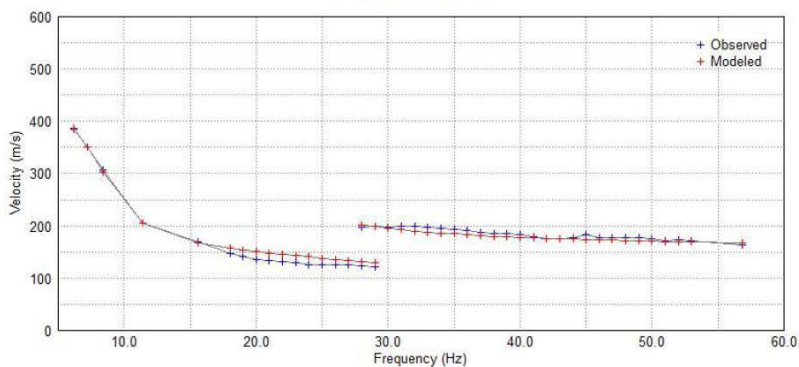


CURVA DI DISPERSIONE CUMULATIVA
METODO ATTIVO E PASSIVO



MODELLO RISULTANTE
DALL'INVERSIONE DEI DATI

Dispersion Curves



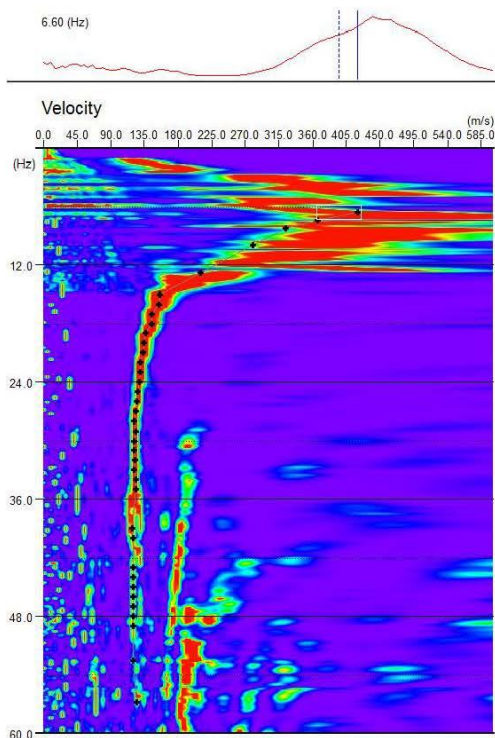
CURVA DI DISPERSIONE MISURATA (BLU) E CALCOLATA (ROSSO)

Vs30 = 313m/s

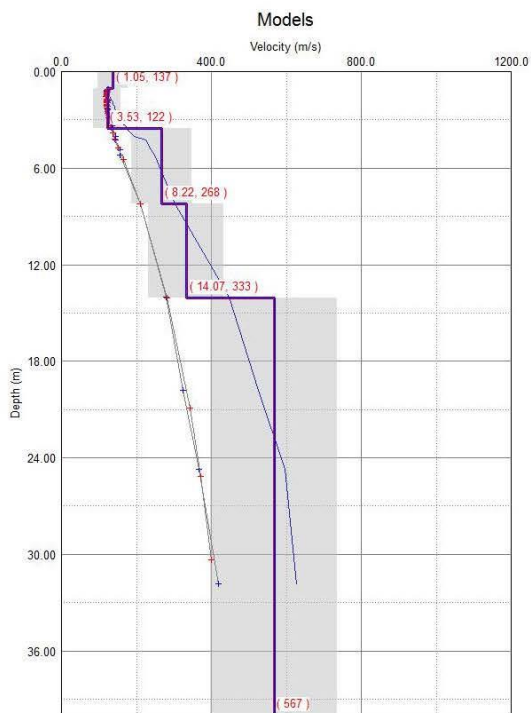


Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI5600001A	83 di 138

MASW 23

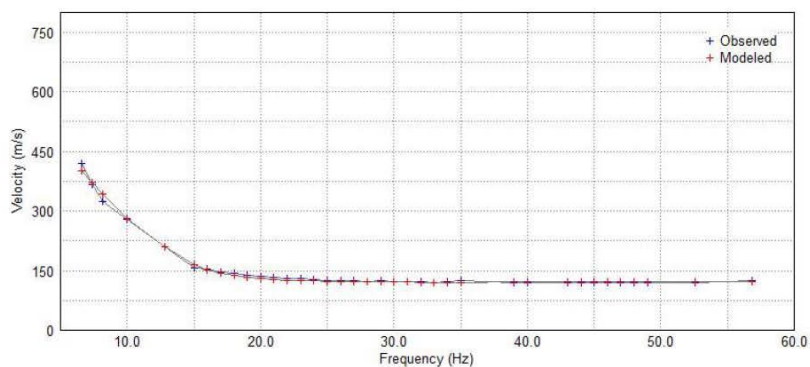


CURVA DI DISPERSIONE CUMULATIVA
METODO ATTIVO E PASSIVO



MODELLO RISULTANTE
DALL'INVERSIONE DEI DATI

Dispersion Curves



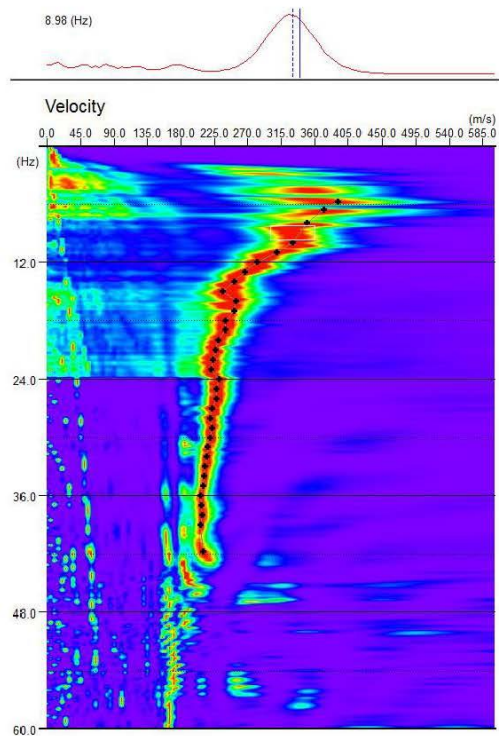
CURVA DI DISPERSIONE MISURATA (BLU) E CALCOLATA (ROSSO)

Vs30 = 329m/s

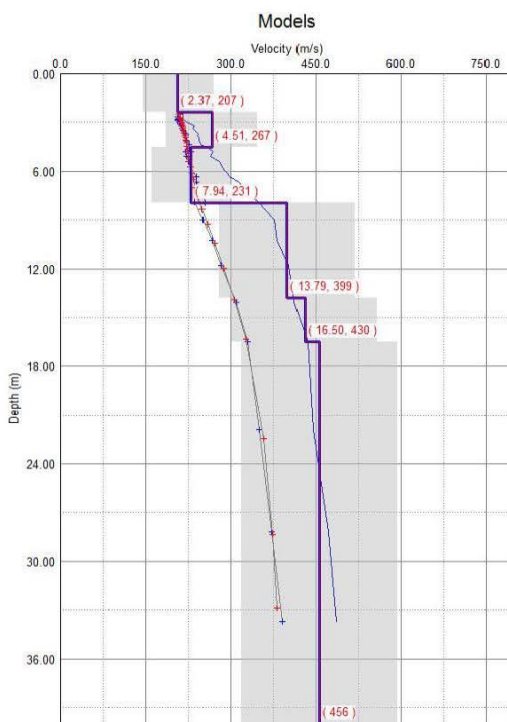


Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI5600001A	84 di 138

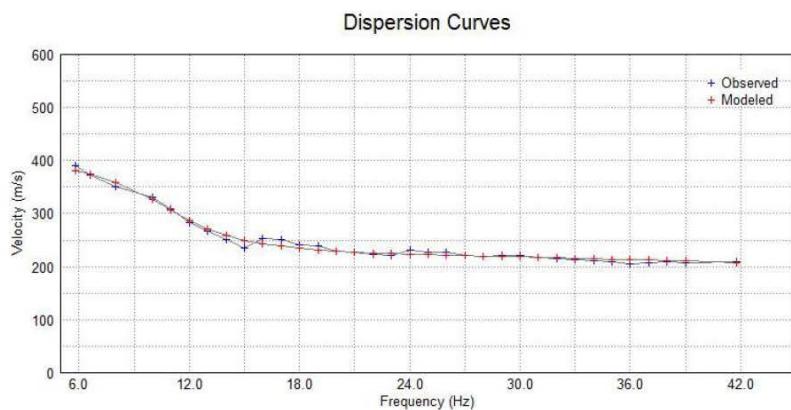
MASW 24



CURVA DI DISPERSIONE CUMULATIVA
METODO ATTIVO E PASSIVO



MODELLO RISULTANTE
DALL'INVERSIONE DEI DATI



CURVA DI DISPERSIONE MISURATA (BLU) E CALCOLATA (ROSSO)

Vs30 = 353m/s



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

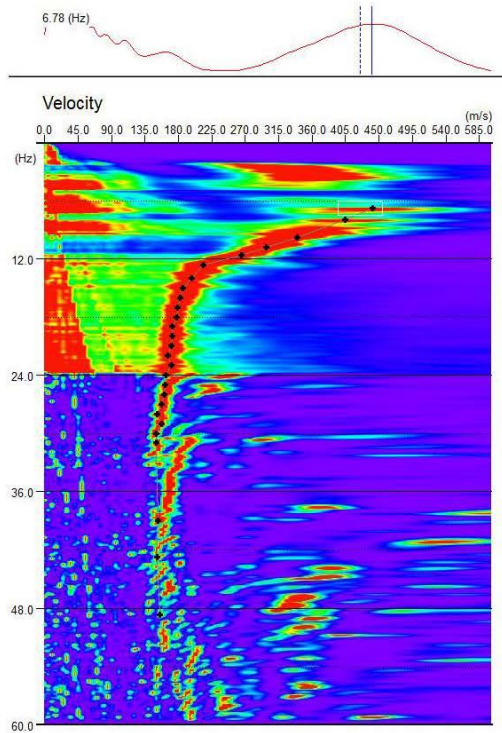
Progetto
IN17

Lotto
12

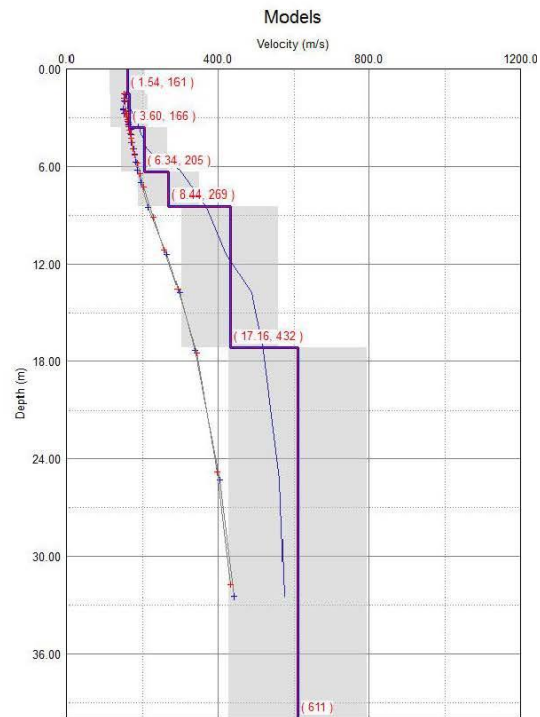
Codifica
EI2RBRI5600001A

Foglio
85 di 138

MASW 25

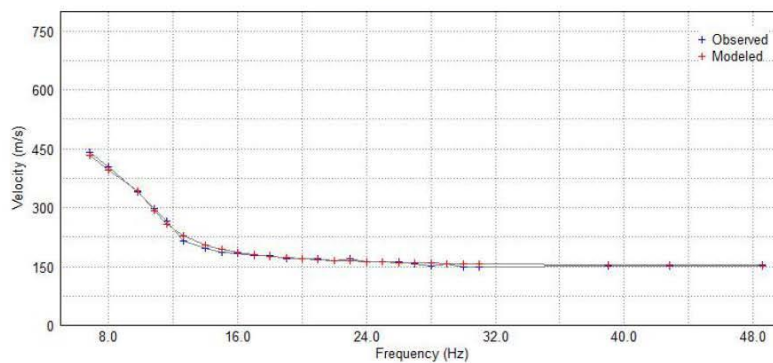


CURVA DI DISPERSIONE CUMULATIVA
METODO ATTIVO E PASSIVO



MODELLO RISULTANTE
DALL'INVERSIONE DEI DATI

Dispersion Curves



CURVA DI DISPERSIONE MISURATA (BLU) E CALCOLATA (ROSSO)

Vs30 = 356m/s



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

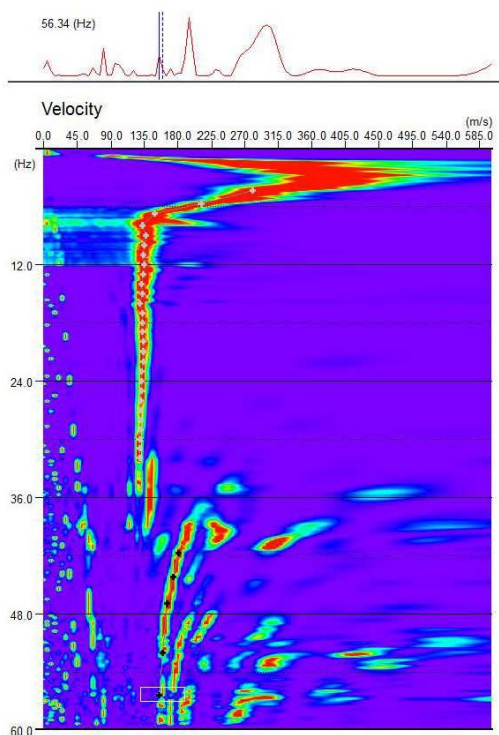
IN17

12

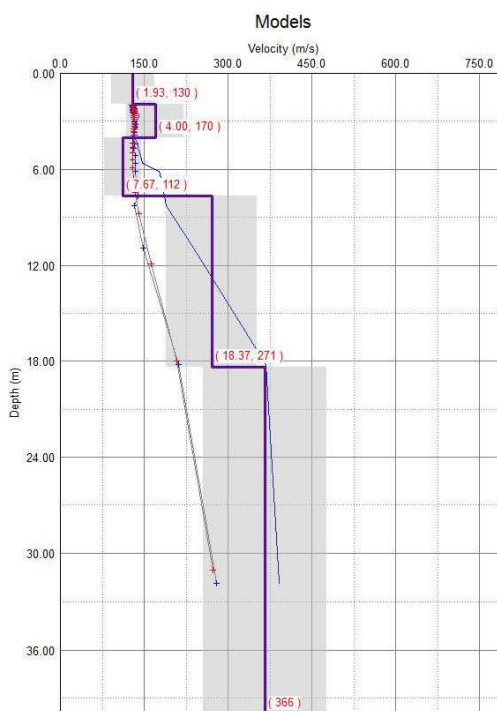
EI2RBRI5600001A

86 di 138

MASW 26

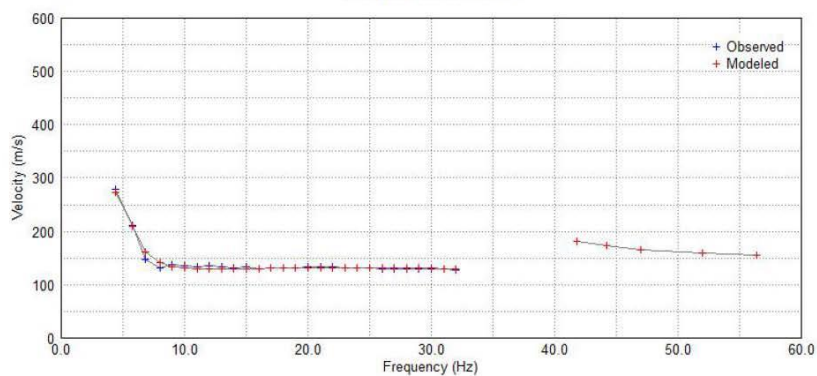


CURVA DI DISPERSIONE CUMULATIVA
METODO ATTIVO E PASSIVO



MODELLO RISULTANTE
DALL'INVERSIONE DEI DATI

Dispersion Curves



CURVA DI DISPERSIONE MISURATA (BLU) E CALCOLATA (ROSSO)

$V_{s30} = 229\text{m/s}$



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5600001A

87 di 138

Azienda con Sistemi di Gestione certificati da Certiquality - Qualità Ambiente Sicurezza - UNI EN ISO 9001:2008 - UNI EN ISO 14001:2004 - BS OHSAS 18001:2007

FERRARA DEPARTMENT

Via Annibale Zucchini, 69 - 44122 Ferrara (FE)
Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119

SOCOTEC ITALIA Srl - P. Iva 01872430648

Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)

Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

www.socotec.it



COMMITTENTE: CONSORZIO IRICAV DUE - Via Francesco Tovaglieri 413-00155 Roma (RM)

CANTIERE: Lonigo (VI)

PERFORAZIONE: BH-PE-61

ESECUZIONE: 11-12/01/2021

COMMESSA: 22036AV-20

RDP SITO N°: SF210009

OPERATORE: BARONE-EL AZHARI

RESPONSABILE: FOGLI

PROFONDITA': 35,00 m

RIVESTIMENTO: 35,00 m

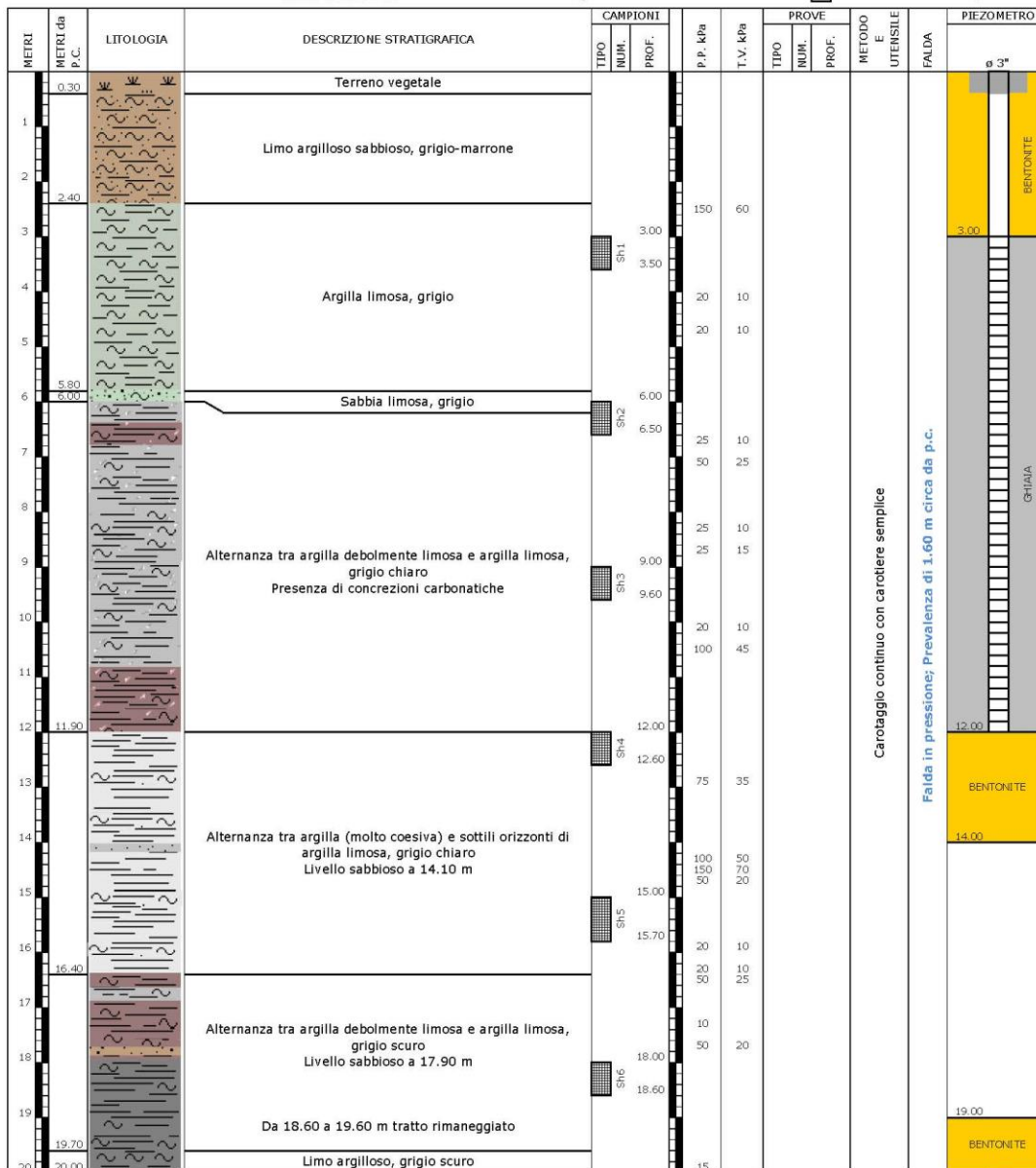
QUOTA: -



SPT

PA: punta aperta

PC: punta chiusa



Il Direttore Tecnico SOA:
ing. Massimo De Iasi

SF210009_BH-PE-61 - pag 1 di 5

Il Responsabile Prove in Sito:
dott. Massimo Romagnoli



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5600001A

88 di 138

Azienda con Sistemi di Gestione certificati da Certiquality - Qualità Ambiente Sicurezza - UNI EN ISO 9001-2008 - UNI EN ISO 14001-2004 - BS OHSAS 18001-2007

FERRARA DEPARTMENT

Via Annibale Zucchini, 69 - 44122 Ferrara (FE)

Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119

SOCOTEC ITALIA Srl - P. Iva 01872430648

Headquarters: Via Baniola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)

Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

www.socotec.it

COMMITTENTE: CONSORZIO IRICAV DUE - Via Francesco Tovaglieri 413-00155 Roma (RM)

CANTIERE: Lonigo (VI)

PERFORAZIONE: BH-PE-61

RDP SITO N°: SF210009

PROFONDITA': 35,00 m

 Indisturbato

SPT

ESECUZIONE: 11-12/01/2021

OPERATORE: BARONE-EL AZHARI

RIVESTIMENTO: 35,00 m

 Rimaneggiato

PA: punta aperta

COMMESSA: 22036AV-20

RESPONSABILE: FOGLI

QUOTA: -

 Ambientale

PC: punta chiusa

METRI	METRI da P.C.	LITOLOGIA	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	CAMPIONI			P. P. kPa	T. V. kPa	PROVE			METODO E UTENSILI	FALDA	PIEZOMETRO
				TIPO	NUM.	PROF.			TIPO	NUM.	PROF.			
21	21.15		Argilla, grigio scuro Presenza di livelli di argilla debolmente limosa e livelli sabbiosi (grana medio-grossa) a 20.05 m e 20.35 m	SH7	21.00	21.25	50	20						BENTONITE 21.00
22			Ghiaia eterogenea (da fine a grossolana) da sub-angolosa a sub-arrotondata in matrice limoso debolmente sabbiosa; grigio											
23	23.30						70	30						
24			Argilla debolmente limosa, grigio scuro / marrone	SH8	24.00	24.60	50	25						
25							75	40						
26	25.80		Ghiaia eterogenea (da fine a grossolana) da sub-angolosa a sub-arrotondata in abbondante matrice limoso argillosa sabbiosa; marrone				200	95						
27	26.90													
28			Ghiaia eterogenea (da fine a grossolana) da sub-angolosa a sub-arrotondata in matrice limoso sabbiosa; marrone											
29			Livello con matrice prevalentemente sabbiosa a 27.80 m											
30	29.95			SH9	30.00	30.60	125	60						
31							100	50						
32			Alternanza tra argilla limosa e limo argilloso, marrone Presenza di spradici clasti e fini orizzonti sabbiosi				175	80						
33				SH10	32.50	33.20	175	80						
34	34.70													
35	35.00		Argilla, grigio											
FINE SONDAGGIO														
36			nota: approvvigionamento idrico											
37														
38														
39														
40														

Il Direttore Tecnico SOA:
ing. Massimo De lasi

SF210009_BH-PE-61 - pag 2 di 5

Il Responsabile Prove in Sito:
dott. Massimo Romagnoli



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI5600001A

Foglio

89 di 138

Azienda con Sistemi di Gestione certificati da Certiquality - Qualità Ambiente Sicurezza - UNI EN ISO 9001:2008 - UNI EN ISO 14001:2004 - BS OHSAS 18001:2007

FERRARA DEPARTMENT

Via Annibale Zucchini, 69 - 44122 Ferrara (FE)

Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119

SOCOTEC ITALIA Srl - P. Iva 01872430648

Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)

Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

www.socotec.it**COMMITTENTE: CONSORZIO IRICAV DUE - Via Francesco Tovaglieri 413-00155 Roma (RM)****CANTIERE: Lonigo (VI)**

PERFORAZIONE: BH-PE-61

ESECUZIONE: 11-12/01/2021

COMMESSA: 22036AV-20

RDP SITO N°: SF210009

OPERATORE: BARONE-EL AZHARI

RESPONSABILE: FOGLI

PROFONDITA': 35,00 m

RIVESTIMENTO: 35,00 m

QUOTA: -



SPT

PA: punta aperta

PC: punta chiusa

UBICAZIONE

LOCALITA': Lonigo (VI)

PERFORAZIONE: BH-PE-61

UBICAZIONE: Lat.: 45.435554° N

Long. 11.369812° E



Ubicazione sondaggio



Cassetta 1: 0.00 - 5.00 m da p.c.



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI5600001A

Foglio

90 di 138

Azienda con Sistemi di Gestione certificati da Certiquality - Qualità Ambiente Sicurezza - UNI EN ISO 9001:2008 - UNI EN ISO 14001:2004 - BS OHSAS 18001:2007

FERRARA DEPARTMENT

Via Annibale Zucchini, 69 - 44122 Ferrara (FE)

Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119

SOCOTEC ITALIA Srl - P. Iva 01872430648

Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)

Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

www.socotec.it**SOCOTEC****COMMITTENTE: CONSORZIO IRICAV DUE - Via Francesco Tovaglieri 413-00155 Roma (RM)****CANTIERE: Lonigo (VI)**

PERFORAZIONE: BH-PE-61

ESECUZIONE: 11-12/01/2021

COMMESSA: 22036AV-20

RDP SITO N°: SF210009

OPERATORE: BARONE-EL AZHARI

RESPONSABILE: FOGLI

PROFONDITA': 35,00 m

RIVESTIMENTO: 35,00 m

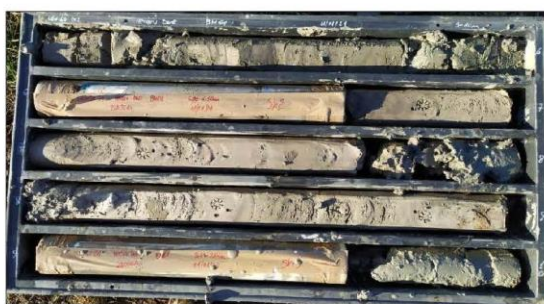
QUOTA: -



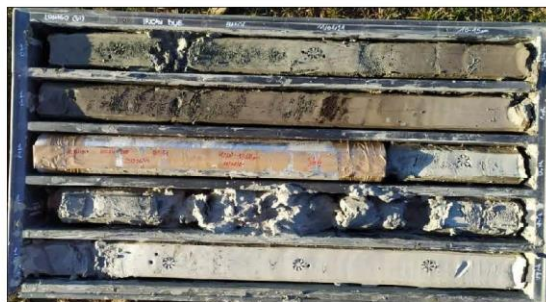
SPT

PA: punta aperta

PC: punta chiusa



Cassetta 2: 5.00 - 10.00 m da p.c.



Cassetta 3: 10.00 - 15.00 m da p.c.



Cassetta 4: 15.00 - 20.00 m da p.c.

Il Direttore Tecnico SOA:
ing. Massimo De Iasi

SF210009_BH-PE-61 - pag 4 di 5

Il Responsabile Prove in Sito:
dott. Massimo Romagnoli

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5600001A

91 di 138

Azienda con Sistemi di Gestione certificati da Certquality - Qualità Ambiente Sicurezza - UNI EN ISO 9001:2008 - UNI EN ISO 14001:2004 - BS OHSAS 18001:2007

FERRARA DEPARTMENT

Via Annibale Zucchini, 69 - 44122 Ferrara (FE)
Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119

SOCOTEC ITALIA Srl - P. Iva 01872430648

Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)

Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

www.socotec.it



COMMITTENTE: CONSORZIO IRICAV DUE - Via Francesco Tovaglieri 413-00155 Roma (RM)

CANTIERE: Lonigo (VI)

PERFORAZIONE: BH-PE-61

ESECUZIONE: 11-12/01/2021

COMMESSA: 22036AV-20

RDP SITO N°: SF210009

OPERATORE: BARONE-EL AZHARI

RESPONSABILE: FOGLI

PROFONDITA': 35,00 m

RIVESTIMENTO: 35,00 m

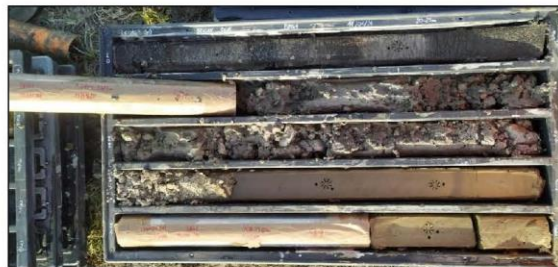
QUOTA: -



SPT

PA: punta aperta

PC: punta chiusa



Cassetta 5: 20.00 - 25.00 m da p.c.



Cassetta 6: 25.00 - 30.00 m da p.c.





Cassetta 7: 30.00 - 35.00 m da p.c.



Il Direttore Tecnico SOA:
ing. Massimo De Iasi

SF210009_BH-PE-61 - pag 5 di 5

Il Responsabile Prove in Sito:
dott. Massimo Romagnoli

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5600001A</p>	<p>Foglio 92 di 138</p>

ALLEGATO 3 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 93 di 138

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: R156-02_stat.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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 94 di 138

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 95 di 138

Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Distributed Load 4

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









Distributed Load 5


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

Distributed Load 6

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

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		150	
Cohesion Type				Function Of Depth				
Cohesion (Top) [kPa]						50		
Cohesion Change [kPa/m]						1.43		
Cutoff [kPa]						70		
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

Property	U6-U2
Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight [kN/m ³]	20
Cohesion Type	120
Water Surface	Water Table
Hu Value	0

Support Properties

Inclusioni

GENERAL CONTRACTOR



IRICAV2

Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

ALTA SORVEGLIANZA



ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI5600001A	96 di 138



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: 3.6 m
Pile Shear Strength: 1280 kN
Force Direction: Perpendicular to Pile

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.411030
Center:	24.472, 15.013
Radius:	30.784
Left Slip Surface Endpoint:	-5.079, 6.388
Right Slip Surface Endpoint:	50.127, -2.000
Resisting Moment:	114649 kN-m
Driving Moment:	81251.6 kN-m
Passive Support Moment:	22939.8 kN-m
Total Slice Area:	706.872 m2
Surface Horizontal Width:	55.2059 m
Surface Average Height:	12.8043 m

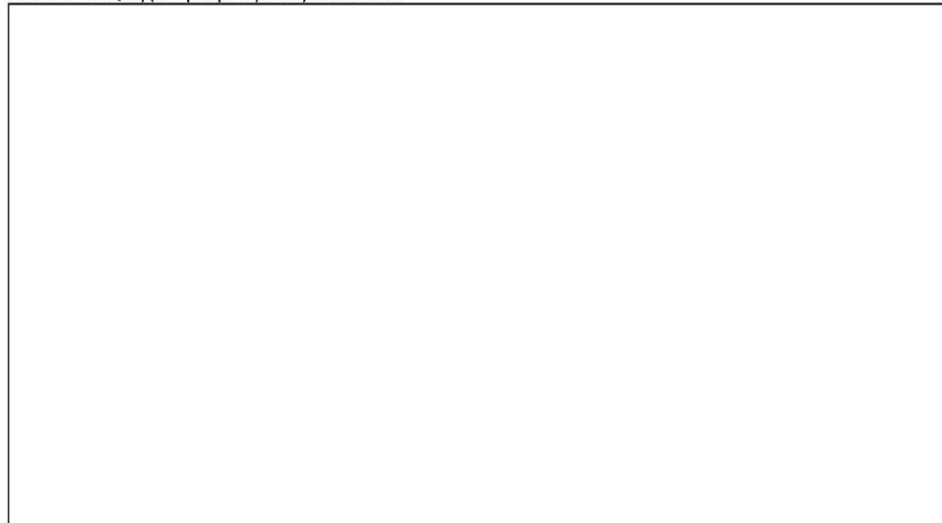
Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1261
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.41103





Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5600001A

97 di 138

SLIDENTERRET 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	0.973849	27.4652	-70.9501	Rilevato	0	32.0066	5.47236	7.72166	12.3541	0	12.3541	28.2021	28.2021
2	0.973849	76.1796	-65.9481	Rilevato	0	32.0066	18.5996	26.2446	41.9894	0	41.9894	83.6631	83.6631
3	0.973849	115.12	-61.8054	Rilevato	0	32.0066	39.5739	55.8399	89.34	0	89.34	163.162	163.162
4	0.973849	148.088	-58.1683	Rilevato	0	32.0066	58.9034	83.1144	132.977	0	132.977	227.861	227.861
5	0.133758	22.6856	-56.2258	U3b_1	50	0	35.4351	50	192.416	0	192.416	245.4	245.4
6	1.31119	246.637	-53.929	U3b_1	50	0	35.4351	50	210.414	0	210.414	259.059	259.059
7	1.25482	274.307	-50.0377	U3b_2	32.1429	0	22.7797	32.1429	220.28	0	220.28	247.464	247.464
8	1.25482	307.048	-46.5219	U3b_2	32.1429	0	22.7797	32.1429	296.471	0	296.471	320.494	320.494
9	1.25482	336.095	-43.2218	U3b_2	32.1429	0	22.7797	32.1429	321.981	0	321.981	343.389	343.389
10	1.25103	361.245	-40.097	U4	0	30.1666	72.3131	102.036	237.615	62.0647	175.551	298.502	236.437
11	1.25103	385.015	-37.1147	U4	0	30.1666	74.0757	104.523	251.704	71.8747	179.829	307.756	235.882
12	1.12149	363.196	-34.3898	U3b_3	36.1063	0	25.5886	36.1063	306.337	0	306.337	323.851	323.851
13	1.12149	378.399	-31.8956	U3b_3	36.8548	0	26.1191	36.8548	334.379	0	334.379	350.633	350.633
14	1.12149	392.213	-29.4673	U3b_3	37.5349	0	26.6011	37.5349	410.019	0	410.019	425.049	425.049
15	1.12149	404.739	-27.0961	U3b_3	38.1515	0	27.0381	38.1515	422.861	0	422.861	436.695	436.695
16	1.12149	416.061	-24.7741	U3b_3	38.7089	0	27.4331	38.7089	403.701	0	403.701	416.362	416.362
17	1.12149	426.248	-22.4949	U3b_3	39.2104	0	27.7885	39.2104	382.966	0	382.966	394.473	394.473
18	1.12149	435.358	-20.2527	U3b_3	39.659	0	28.1064	39.659	452.38	0	452.38	462.751	462.751
19	1.12149	443.441	-18.0424	U3b_3	40.0569	0	28.3884	40.0569	461.956	0	461.956	471.204	471.204
20	1.12149	453.823	-15.8597	U3b_3	40.4061	0	28.6359	40.4061	442.668	0	442.668	450.803	450.803
21	1.12149	465.419	-13.7003	U3b_3	40.7085	0	28.8502	40.7085	414.35	0	414.35	421.383	421.383
22	1.12149	470.635	-11.5607	U3b_3	40.9653	0	29.0322	40.9653	413.714	0	413.714	419.652	419.652
23	1.12149	511.68	-9.43728	U3b_3	41.1776	0	29.1827	41.1776	451.4	0	451.4	456.251	456.251
24	1.12149	391.489	-7.3269	U3b_3	41.3465	0	29.3024	41.3465	345.313	0	345.313	349.08	349.08
25	1.12149	335.88	-5.22649	U3b_3	41.4725	0	29.3917	41.4725	296.806	0	296.806	299.495	299.495
26	1.12149	330.625	-3.1331	U3b_3	41.5563	0	29.451	41.5563	293.197	0	293.197	294.809	294.809
27	1.12149	331.474	-1.0439	U3b_3	41.5981	0	29.4807	41.5981	295.029	0	295.029	295.566	295.566
28	1.12149	325.635	1.0439	U3b_3	41.5981	0	29.4807	41.5981	290.898	0	290.898	290.36	290.36
29	1.12149	305.471	3.1331	U3b_3	41.5563	0	29.451	41.5563	273.992	0	273.992	272.379	272.379
30	1.12149	286.472	5.22649	U3b_3	41.4725	0	29.3917	41.4725	258.128	0	258.128	255.44	255.44
31	1.12149	281.504	7.3269	U3b_3	41.3465	0	29.3024	41.3465	254.777	0	254.777	251.01	251.01
32	1.12149	278.075	9.43728	U3b_3	41.1776	0	29.1827	41.1776	252.803	0	252.803	247.952	247.952
33	1.12149	273.761	11.5607	U3b_3	40.9653	0	29.0322	40.9653	250.044	0	250.044	244.105	244.105
34	1.12149	268.545	13.7003	U3b_3	40.7085	0	28.8502	40.7085	246.487	0	246.487	239.454	239.454
35	1.12149	262.404	15.8597	U3b_3	40.4061	0	28.6359	40.4061	242.114	0	242.114	233.979	233.979
36	1.12149	255.309	18.0424	U3b_3	40.0569	0	28.3884	40.0569	236.9	0	236.9	227.653	227.653
37	1.12149	247.227	20.2527	U3b_3	39.659	0	28.1064	39.659	230.816	0	230.816	220.446	220.446
38	1.12149	238.116	22.4949	U3b_3	39.2104	0	27.7885	39.2104	223.829	0	223.829	212.322	212.322
39	1.12149	227.929	24.7741	U3b_3	38.7089	0	27.4331	38.7089	215.899	0	215.899	203.239	203.239
40	1.12149	216.607	27.0961	U3b_3	38.1515	0	27.0381	38.1515	206.977	0	206.977	193.143	193.143
41	1.12149	204.082	29.4673	U3b_3	37.5349	0	26.6011	37.5349	197.005	0	197.005	181.975	181.975
42	1.12149	190.268	31.8956	U3b_3	36.8548	0	26.1191	36.8548	185.912	0	185.912	169.657	169.657
43	1.12149	175.065	34.3898	U3b_3	36.1063	0	25.5886	36.1063	173.615	0	173.615	156.101	156.101
44	1.25103	175.152	37.1147	U4	0	30.1666	40.7753	57.5352	170.863	71.8747	98.9881	140.008	68.1335
45	1.25103	151.383	40.097	U4	0	30.1666	37.1728	52.452	152.307	62.0647	90.2425	121.008	58.9434
46	1.25482	125.597	43.2218	U3b_2	32.1429	0	22.7797	32.1429	121.501	0	121.501	100.093	100.093
47	1.25482	96.5496	46.5219	U3b_2	32.1429	0	22.7797	32.1429	100.967	0	100.967	76.9442	76.9442
48	1.25482	63.809	50.0377	U3b_2	32.1429	0	22.7797	32.1429	78.0362	0	78.0362	50.8521	50.8521
49	1.31119	26.6827	53.929	U3b_1	50	0	35.4351	50	68.9973	0	68.9973	20.3519	20.3519
50	0.133758	0.247452	56.2258	U3b_1	50	0	35.4351	50	54.8361	0	54.8361	1.85223	1.85223

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.41103





Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5600001A

98 di 138

SLIDENTERRET 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	-5.07852	6.3876	0	0	0
2	-4.10467	3.56732	29.5125	0	0
3	-3.13082	1.38534	103.019	0	0
4	-2.15697	-0.431284	226.775	0	0
5	-1.18313	-2	378.013	0	0
6	-1.04937	-2.2	411.756	0	0
7	0.26182	-4	744.037	0	0
8	1.51664	-5.49743	1045.31	0	0
9	2.77145	-6.82075	1409.04	0	0
10	4.02627	-8	1760.16	0	0
11	5.2773	-9.05335	1919.98	0	0
12	6.52833	-10	2065.58	0	0
13	7.64981	-10.7676	2272.03	0	0
14	8.7713	-11.4655	2476.11	0	0
15	9.89279	-12.0992	2706.09	0	0
16	11.0143	-12.673	2918.4	0	0
17	12.1358	-13.1906	3096.59	0	0
18	13.2572	-13.655	3207.27	0	0
19	14.3787	-14.0688	3362.95	0	0
20	15.5002	-14.4341	3499.87	0	0
21	16.6217	-14.7527	3608.79	0	0
22	17.7432	-15.0261	3437.73	0	0
23	18.8647	-15.2555	3500.08	0	0
24	19.9862	-15.4419	3551.5	0	0
25	21.1077	-15.5861	3316.44	0	0
26	22.2291	-15.6887	3313.93	0	0
27	23.3506	-15.7501	3298.9	0	0
28	24.4721	-15.7706	3271.86	0	0
29	25.5936	-15.7501	3232.85	0	0
30	26.7151	-15.6887	3183	0	0
31	27.8366	-15.5861	3123.56	0	0
32	28.9581	-15.4419	3053.96	0	0
33	30.0796	-15.2555	2974.1	0	0
34	31.201	-15.0261	2884.18	0	0
35	32.3225	-14.7527	2784.44	0	0
36	33.444	-14.4341	2675.18	0	0
37	34.5655	-14.0688	2556.8	0	0
38	35.687	-13.655	2429.77	0	0
39	36.8085	-13.1906	2294.65	0	0
40	37.93	-12.673	2152.14	0	0
41	39.0515	-12.0992	2003.05	0	0
42	40.1729	-11.4655	1848.38	0	0
43	41.2944	-10.7676	1689.33	0	0
44	42.4159	-10	1527.36	0	0
45	43.6669	-9.05335	1314.6	0	0
46	44.918	-8	1107.66	0	0
47	46.1728	-6.82075	935.799	0	0
48	47.4276	-5.49743	773.602	0	0
49	48.6824	-4	628.162	0	0
50	49.9936	-2.2	457.503	0	0
51	50.1274	-2	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-50	-2.2
70	-2.2

Distributed Load





Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI5600001A

Foglio

99 di 138

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 7 of 9

X	Y
4.87292	6.3876
4.02108	6.3876
1.22108	6.3876
0.158435	6.3876
-2.64156	6.3876
-3.4987	6.3876

Distributed Load

X	Y
17.1187	6.3876
16.08	6.3876
13.28	6.3876
11.58	6.3876
8.78	6.3876
7.7413	6.3876

Distributed Load

X	Y
0.158435	6.3876
-2.64156	6.3876

Distributed Load

X	Y
4.02108	6.3876
1.22108	6.3876

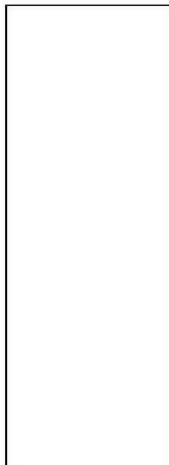
Distributed Load

X	Y
11.58	6.3876
8.78	6.3876

Distributed Load

X	Y
16.08	6.3876
13.28	6.3876

External Boundary





Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI5600001A

Foglio
100 di 138

SLIDENTERRET 7.038



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

X	Y
-48.8293	-2
-48.8293	-4
-48.8293	-8
-48.8293	-10
-48.8293	-24
-48.8293	-27.5
-48.8293	-29.5
-48.8293	-32
-48.8293	-45.587
69.348	-45.587
69.348	-32
69.348	-29.5
69.348	-27.5
69.348	-24
69.348	-10
69.348	-8
69.348	-4
69.348	-2
27.2673	-2
24.7336	0
20.6388	-1.10075e-009
19.9998	6.3876
18.98	6.3876
17.1187	6.3876
16.08	6.3876
13.28	6.3876
11.58	6.3876
8.78	6.3876
7.7413	6.3876
6.49404	6.3876
4.87292	6.3876
4.02108	6.3876
1.22108	6.3876
0.158435	6.3876
-2.64156	6.3876
-3.4987	6.3876
-6.15309	6.3876
-16.0486	0
-48.8293	4.97e-014

Material Boundary

X	Y
-48.8293	-2
16.2	-2
22	-2
27.2673	-2

Material Boundary

X	Y
-48.8293	-8
69.348	-8

Material Boundary

X	Y
-48.8293	-24
69.348	-24

Material Boundary

X	Y
-48.8293	-27.5
69.348	-27.5



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI5600001A

Foglio

101 di 138

SLIDEINTERRET 7.038



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

Material Boundary

X	Y
-48.8293	-29.5
69.348	-29.5

Material Boundary

X	Y
-48.8293	-32
69.348	-32

Material Boundary

X	Y
-16.0486	0
17.23	0
18.98	5.68e-014
18.98	6.3876

Material Boundary

X	Y
18.98	5.68e-014
18.98	-0.91359
16.2	-0.91359
16.2	-2
16.2	-2.36359
22	-2.36359
22	-2
22	-0.91359
20.7301	-0.91359
19.9998	6.3876

Material Boundary

X	Y
20.6388	-1.10075e-009
20.7301	-0.91359

Material Boundary



X	Y
-48.8293	-4
69.348	-4

Material Boundary



X	Y
6.49404	6.3876
17.23	0

Material Boundary

X	Y
-48.8293	-10
69.348	-10

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5600001A</p>	<p>Foglio 102 di 138</p>

ALLEGATO 4- TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICA

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 103 di 138

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: R156-02_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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 104 di 138

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): 0.0826
Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.0413

6 Distributed Loads present

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 105 di 138

Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Distributed Load 4

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









Distributed Load 5


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

Distributed Load 6

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

Material Properties


Property	Rilevato	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/m3]	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		150	
Cohesion Type				Function Of Depth				
Cohesion (Top) [kPa]						50		
Cohesion Change [kPa/m]						1.43		
Cutoff [kPa]						70		
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

Property	U6-U2
Color	
Strength Type	Undrained
Unit Weight [kN/m3]	20
Cohesion Type	120
Water Surface	Water Table
Hu Value	0

Support Properties

Inclusioni

GENERAL CONTRACTOR



IRICAV2

Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

ALTA SORVEGLIANZA



ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI5600001A	106 di 138



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: 3.6 m
Pile Shear Strength: 1279 kN
Force Direction: Perpendicular to Pile

Global Minimums

Method: bishop simplified

	FS	1.195110
Center:	29.582, 17.031	
Radius:	37.279	
Left Slip Surface Endpoint:	-6.146, 6.388	
Right Slip Surface Endpoint:	61.638, -2.000	
Resisting Moment:	163753 kN-m	
Driving Moment:	137019 kN-m	
Passive Support Moment:	27043.4 kN-m	
Total Slice Area:	1047.24 m2	
Surface Horizontal Width:	67.7834 m	
Surface Average Height:	15.4498 m	

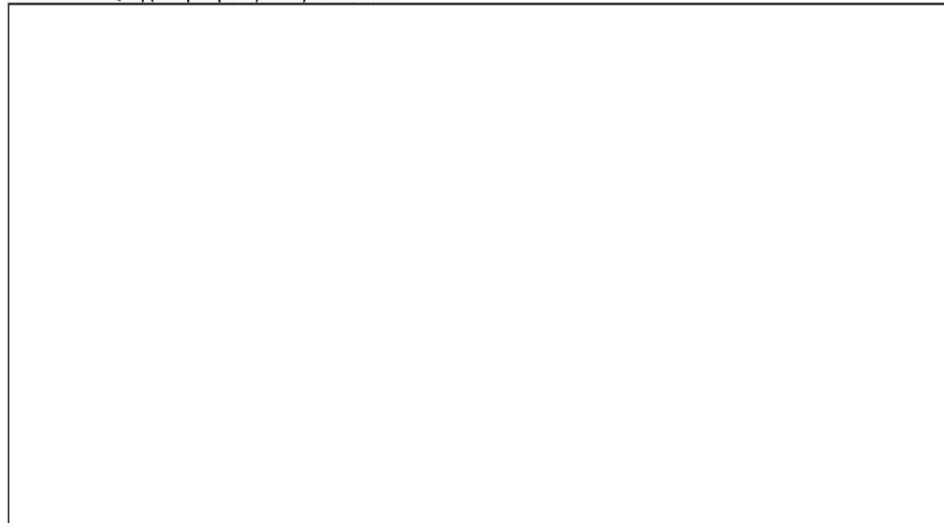
Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1072
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.19511





Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5600001A

107 di 138

SLIDENTERRET 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	1.22399	42.4968	-70.5806	Rilevato	0	32.0066	7.01632	8.38527	13.4158	0	13.4158	33.3182	33.3182
2	1.22399	117.842	-65.4831	Rilevato	0	32.0066	22.5062	26.8974	43.0337	0	43.0337	92.3806	92.3806
3	1.22399	178.009	-61.2593	Rilevato	0	32.0066	41.0376	49.0444	78.4674	0	78.4674	153.298	153.298
4	0.119585	20.2818	-59.1237	U3b_1	50	0	41.8372	50	119.441	0	119.441	189.412	189.412
5	1.15555	217.361	-57.3007	U3b_1	50	0	41.8372	50	141.97	0	141.97	207.139	207.139
6	1.5773	354.184	-53.6131	U3b_2	32.1429	0	26.8953	32.1429	203.82	0	203.82	240.317	240.317
7	1.5773	412.544	-49.6953	U3b_2	32.1429	0	26.8953	32.1429	239.224	0	239.224	270.933	270.933
8	1.95362	581.694	-45.6721	U4	0	30.1666	79.7363	95.2936	230.658	66.708	163.95	312.288	245.58
9	1.3877	455.642	-42.0861	U3b_3	36.3543	0	30.4192	36.3543	298.337	0	298.337	325.809	325.809
10	1.3877	486.294	-39.2714	U3b_3	37.5739	0	31.4397	37.5739	310.295	0	310.295	336.002	336.002
11	1.3877	514.071	-36.5659	U3b_3	38.6791	0	32.3645	38.6791	334.624	0	334.624	358.63	358.63
12	1.3877	539.277	-33.9524	U3b_3	39.6819	0	33.2036	39.6819	370.677	0	370.677	393.033	393.033
13	1.3877	562.151	-31.417	U3b_3	40.592	0	33.9651	40.592	394.354	0	394.354	415.1	415.1
14	1.3877	582.884	-28.9485	U3b_3	41.4169	0	34.6553	41.4169	404.437	0	404.437	423.606	423.606
15	1.3877	601.632	-26.5377	U3b_3	42.1629	0	35.2795	42.1629	415.498	0	415.498	433.117	433.117
16	1.3877	618.525	-24.1767	U3b_3	42.835	0	35.8419	42.835	437.949	0	437.949	454.039	454.039
17	1.3877	635.219	-21.8586	U3b_3	43.4374	0	36.3459	43.4374	448.161	0	448.161	462.741	462.741
18	1.3877	657.965	-19.5776	U3b_3	43.9738	0	36.7948	43.9738	448.963	0	448.963	462.049	462.049
19	1.3877	676.957	-17.3285	U3b_3	44.447	0	37.1907	44.447	456.096	0	456.096	467.7	467.7
20	1.3877	691.365	-15.1067	U3b_3	44.8594	0	37.5358	44.8594	467.518	0	467.518	477.651	477.651
21	1.3877	513.126	-12.908	U3b_3	45.2131	0	37.8317	45.2131	345.841	0	345.841	354.511	354.511
22	1.3877	508.865	-10.7284	U3b_3	45.5098	0	38.08	45.5098	344.35	0	344.35	351.565	351.565
23	1.3877	514.531	-8.56453	U3b_3	45.7508	0	38.2817	45.7508	349.712	0	349.712	355.477	355.477
24	1.3877	504.198	-6.41287	U3b_3	45.9372	0	38.4376	45.9372	344.016	0	344.016	348.336	348.336
25	1.3877	477.559	-4.27027	U3b_3	46.0698	0	38.5486	46.0698	327.052	0	327.052	329.93	329.93
26	1.3877	469.034	-2.13365	U3b_3	46.1491	0	38.6149	46.1491	322.599	0	322.599	324.038	324.038
27	1.3877	469.698	0	U3b_3	46.1755	0	38.637	46.1755	324.494	0	324.494	324.494	324.494
28	1.3877	469.034	2.13365	U3b_3	46.1491	0	38.6149	46.1491	325.472	0	325.472	324.033	324.033
29	1.3877	467.04	4.27027	U3b_3	46.0698	0	38.5486	46.0698	325.532	0	325.532	322.654	322.654
30	1.3877	463.708	6.41287	U3b_3	45.9372	0	38.4376	45.9372	324.669	0	324.669	320.349	320.349
31	1.3877	459.023	8.56453	U3b_3	45.7508	0	38.2817	45.7508	322.876	0	322.876	317.11	317.11
32	1.3877	452.966	10.7284	U3b_3	45.5098	0	38.08	45.5098	320.138	0	320.138	312.923	312.923
33	1.3877	445.509	12.908	U3b_3	45.2131	0	37.8317	45.2131	316.439	0	316.439	307.769	307.769
34	1.3877	436.618	15.1067	U3b_3	44.8594	0	37.5358	44.8594	311.757	0	311.757	301.625	301.625
35	1.3877	426.252	17.3285	U3b_3	44.447	0	37.1907	44.447	306.065	0	306.065	294.461	294.461
36	1.3877	414.359	19.5776	U3b_3	43.9738	0	36.7948	43.9738	299.327	0	299.327	286.241	286.241
37	1.3877	400.878	21.8586	U3b_3	43.4374	0	36.3459	43.4374	291.507	0	291.507	276.926	276.926
38	1.3877	385.736	24.1767	U3b_3	42.835	0	35.8419	42.835	282.553	0	282.553	266.462	266.462
39	1.3877	368.844	26.5377	U3b_3	42.1629	0	35.2795	42.1629	272.408	0	272.408	254.789	254.789
40	1.3877	350.095	28.9485	U3b_3	41.4169	0	34.6553	41.4169	261.004	0	261.004	241.835	241.835
41	1.3877	329.362	31.417	U3b_3	40.592	0	33.9651	40.592	248.254	0	248.254	227.508	227.508
42	1.3877	306.489	33.9524	U3b_3	39.6819	0	33.2036	39.6819	234.059	0	234.059	211.703	211.703
43	1.3877	281.283	36.5659	U3b_3	38.6791	0	32.3645	38.6791	218.293	0	218.293	194.287	194.287
44	1.3877	253.506	39.2714	U3b_3	37.5739	0	31.4397	37.5739	200.801	0	200.801	175.094	175.094
45	1.3877	222.854	42.0861	U3b_3	36.3543	0	30.4192	36.3543	181.388	0	181.388	153.915	153.915
46	1.95362	253.97	45.6721	U4	0	30.1666	56.0137	66.9425	181.881	66.708	115.173	124.537	57.8295
47	1.5773	147.949	49.6953	U3b_2	32.1429	0	26.8953	32.1429	121.582	0	121.582	89.8733	89.8733
48	1.5773	89.5889	53.6131	U3b_2	32.1429	0	26.8953	32.1429	90.891	0	90.891	54.3935	54.3935
49	1.15555	23.5154	57.3007	U3b_1	50	0	41.8372	50	84.573	0	84.573	19.4031	19.4031
50	0.119585	0.221232	59.1237	U3b_1	50	0	41.8372	50	71.6301	0	71.6301	1.65955	1.65955

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.19511

--



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5600001A

108 di 138

SLIDENTERRET 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	-6.14552	6.3876	0	0	0
2	-4.92153	2.91563	41.5157	0	0
3	-3.69753	0.231909	139.238	0	0
4	-2.47354	-2	278.926	0	0
5	-2.35395	-2.2	299.494	0	0
6	-1.1984	-4	524.728	0	0
7	0.378895	-6.14042	947.891	0	0
8	1.95619	-8	1384.47	0	0
9	3.90981	-10	1738.32	0	0
10	5.29751	-11.2533	2107.7	0	0
11	6.6852	-12.3879	2456.39	0	0
12	8.0729	-13.4172	2798.45	0	0
13	9.46059	-14.3516	3143.33	0	0
14	10.8483	-15.1992	3476.97	0	0
15	12.236	-15.9668	3787.54	0	0
16	13.6237	-16.6598	4033.8	0	0
17	15.0114	-17.2828	4308.06	0	0
18	16.3991	-17.8395	4559.66	0	0
19	17.7868	-18.333	4487.33	0	0
20	19.1745	-18.766	4689.2	0	0
21	20.5622	-19.1406	4869.44	0	0
22	21.9499	-19.4586	4672.12	0	0
23	23.3375	-19.7215	4751.94	0	0
24	24.7252	-19.9305	4814.49	0	0
25	26.1129	-20.0865	4856.54	0	0
26	27.5006	-20.1901	4876.46	0	0
27	28.8883	-20.2418	4878.39	0	0
28	30.276	-20.2418	4863.65	0	0
29	31.6637	-20.1901	4832.07	0	0
30	33.0514	-20.0865	4783.51	0	0
31	34.4391	-19.9305	4717.92	0	0
32	35.8268	-19.7215	4635.32	0	0
33	37.2145	-19.4586	4535.81	0	0
34	38.6022	-19.1406	4419.56	0	0
35	39.9899	-18.766	4286.83	0	0
36	41.3776	-18.333	4138	0	0
37	42.7653	-17.8395	3973.52	0	0
38	44.153	-17.2828	3794	0	0
39	45.5407	-16.6598	3600.18	0	0
40	46.9284	-15.9668	3392.99	0	0
41	48.3161	-15.1992	3173.55	0	0
42	49.7038	-14.3516	2943.28	0	0
43	51.0915	-13.4172	2703.9	0	0
44	52.4792	-12.3879	2457.6	0	0
45	53.8669	-11.2533	2207.14	0	0
46	55.2545	-10	1956.08	0	0
47	57.2082	-8	1504.05	0	0
48	58.7855	-6.14042	1247.82	0	0
49	60.3628	-4	1018.33	0	0
50	61.5183	-2.2	819.77	0	0
51	61.6379	-2	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-50	-2.2
70	-2.2

Distributed Load





Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5600001A

109 di 138

SLIDEINTERRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 7 of 9

X	Y
4.87292	6.3876
4.02108	6.3876
1.22108	6.3876
0.158435	6.3876
-2.64156	6.3876
-3.4987	6.3876

Distributed Load

X	Y
17.1187	6.3876
16.08	6.3876
13.28	6.3876
11.58	6.3876
8.78	6.3876
7.7413	6.3876

Distributed Load

X	Y
0.158435	6.3876
-2.64156	6.3876

Distributed Load

X	Y
4.02108	6.3876
1.22108	6.3876

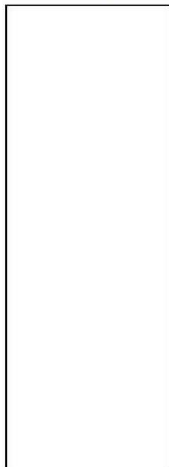
Distributed Load

X	Y
11.58	6.3876
8.78	6.3876

Distributed Load

X	Y
16.08	6.3876
13.28	6.3876

External Boundary





Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5600001A

110 di 138

SLIDENTERRET 7.038



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

X	Y
-48.8293	-2
-48.8293	-4
-48.8293	-8
-48.8293	-10
-48.8293	-24
-48.8293	-27.5
-48.8293	-29.5
-48.8293	-32
-48.8293	-45.587
69.348	-45.587
69.348	-32
69.348	-29.5
69.348	-27.5
69.348	-24
69.348	-10
69.348	-8
69.348	-4
69.348	-2
27.2673	-2
24.7336	0
20.6388	-1.10075e-009
19.9998	6.3876
18.98	6.3876
17.1187	6.3876
16.08	6.3876
13.28	6.3876
11.58	6.3876
8.78	6.3876
7.7413	6.3876
6.49404	6.3876
4.87292	6.3876
4.02108	6.3876
1.22108	6.3876
0.158435	6.3876
-2.64156	6.3876
-3.4987	6.3876
-6.15309	6.3876
-16.0486	0
-48.8293	4.97e-014

Material Boundary

X	Y
-48.8293	-2
16.2	-2
22	-2
27.2673	-2

Material Boundary

X	Y
-48.8293	-8
69.348	-8

Material Boundary

X	Y
-48.8293	-24
69.348	-24

Material Boundary

X	Y
-48.8293	-27.5
69.348	-27.5



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI5600001A

Foglio

111 di 138

SLIDEINTERRET 7.038



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

Material Boundary

X	Y
-48.8293	-29.5
69.348	-29.5

Material Boundary

X	Y
-48.8293	-32
69.348	-32

Material Boundary

X	Y
-16.0486	0
17.23	0
18.98	5.68e-014
18.98	6.3876

Material Boundary

X	Y
18.98	5.68e-014
18.98	-0.91359
16.2	-0.91359
16.2	-2
16.2	-2.36359
22	-2.36359
22	-2
22	-0.91359
20.7301	-0.91359
19.9998	6.3876

Material Boundary

X	Y
20.6388	-1.10075e-009
20.7301	-0.91359

Material Boundary



X	Y
-48.8293	-4
69.348	-4

Material Boundary

X	Y
6.49404	6.3876
17.23	0

Material Boundary

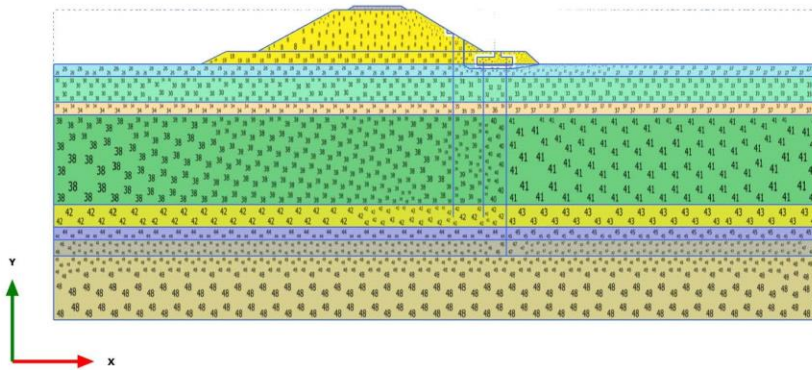
X	Y
-48.8293	-10
69.348	-10

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5600001A</p>	<p>Foglio 112 di 138</p>

ALLEGATO 5 – TABULATI DI PLAXIS

RI58_NT_01

1.1.1.1 Calculation results, Initial phase [InitialPhase] (0/16), Connectivity plot



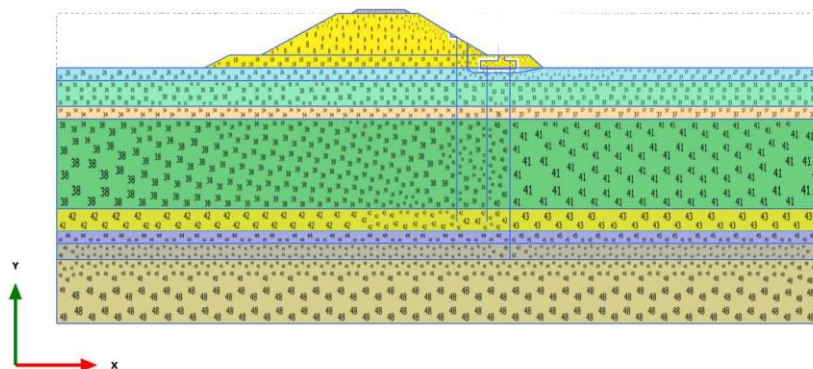
Connectivity plot



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI5600001A	114 di 138

RI58_NT_01

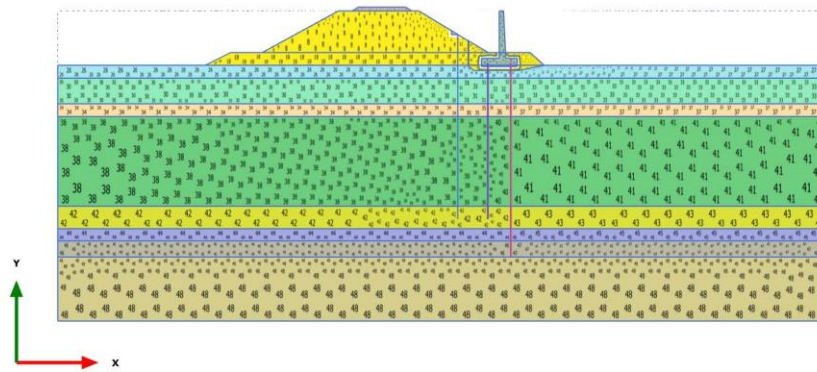
1.1.1.2 Calculation results, Nil [Phase_7] (7/18), Connectivity plot



Connectivity plot

RI58_NT_01

**1.1.1.3 Calculation results, CONS RILEVATO 1 [Phase_2] (2/41),
Connectivity plot**



Connectivity plot

Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica
--

Progetto
IN17

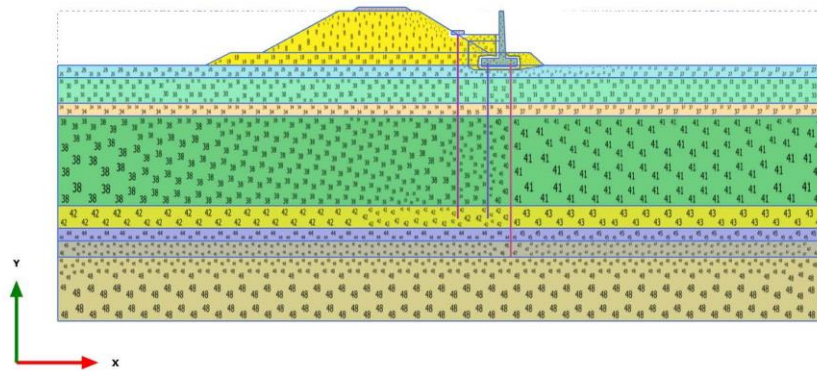
Lotto
12

Codifica
EI2RBRI5600001A



Foglio
116 di 138

RI58_NT_01

1.1.1.4 Calculation results, inclusioni [Phase_4] (4/47), Connectivity plot

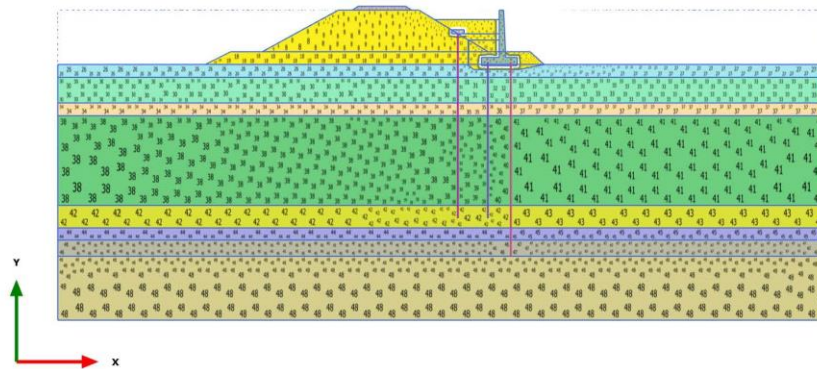


Connectivity plot

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5600001A</p>	<p>Foglio 117 di 138</p>

RI58_NT_01

**1.1.1.5 Calculation results, Cons ril 3 [Phase_10] (11/126),
Connectivity plot**



Connectivity plot

Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica
--

Progetto
IN17

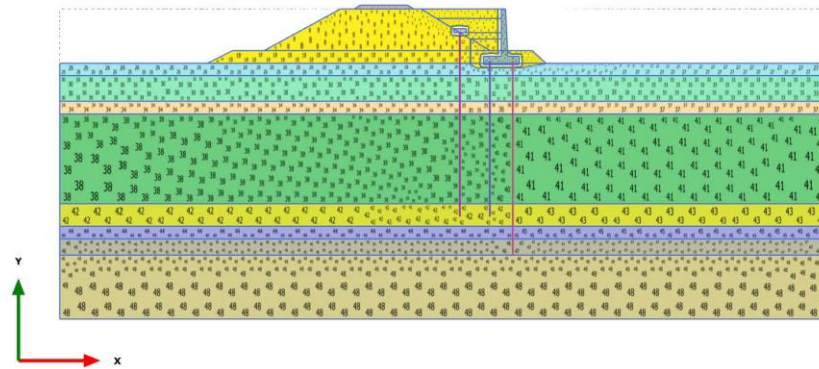
Lotto
12

Codifica
EI2RBRI5600001A



Foglio
118 di 138

RI58_NT_01

1.1.1.6 Calculation results, Cons. ril 4 [Phase_9] (9/736), Connectivity plot

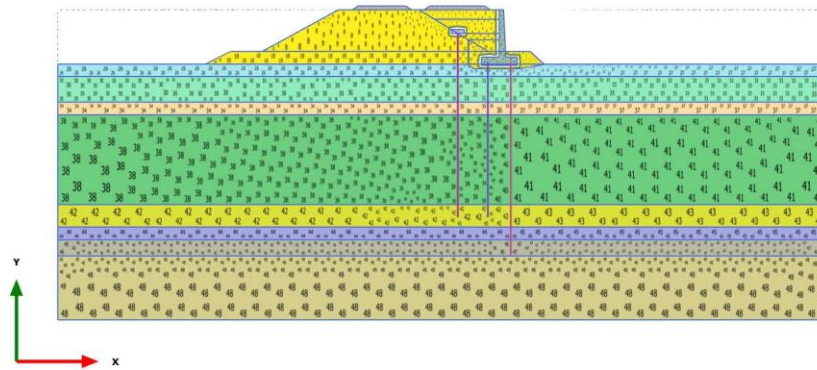


Connectivity plot

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 119 di 138

RI58_NT_01

**1.1.1.7 Calculation results, cons finale [Phase_13] (13/1094),
Connectivity plot**



Connectivity plot

Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

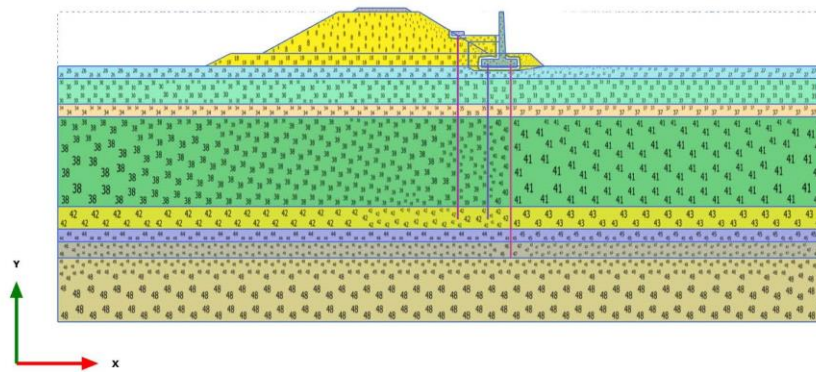
Lotto
12

Codifica
EI2RBRI5600001A

Foglio
120 di 138

RI58_NT_01

**1.1.1.8 Calculation results, cons rilevato 2 [Phase_5] (5/1202),
Connectivity plot**



Connectivity plot



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5600001A

121 di 138

RI58_NT_01

1.1.2.1.1 Materials - Soil and interfaces - Linear elastic

Identification		Ballast	CA	MistoCementato	RILEVAT ELA
Identification number		1	10	12	13
Drainage type		Drained	Non-porous	Non-porous	Drained
Colour					
Comments					
γ_{unsat}	kN/m ³	18.00	25.00	20.00	20.00
γ_{sat}	kN/m ³	18.00	25.00	20.00	20.00
Dilatancy cut-off		No	No	No	No
e_{vit}		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
e_{min}		0.000	0.000	0.000	0.000
e_{max}		999.0	999.0	999.0	999.0
E	kN/m ²	100.0E3	33.00E6	3.000E6	60.00E3
ν (nu)		0.3000	0.2000	0.2000	0.2300
G	kN/m ²	38.46E3	13.75E6	1.250E6	24.39E3
E_{oed}	kN/m ²	134.6E3	36.67E6	3.333E6	69.56E3
Set to default values		Yes	Yes	Yes	Yes
E_{rc}	kN/m ² /m	0.000	0.000	0.000	0.000
γ_{ref}	m	0.000	0.000	0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0.9783	0.9866	0.9866	0.9848
ν_u		0.4950	0.4950	0.4950	0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m ²	3.750E6	1.352E9	122.9E6	2.394E6
Stiffness		Standard	Standard	Standard	Standard
Strength		Rigid	Rigid	Manual	Manual
R_{inter}		1.000	1.000	0.6670	0.6670
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes
δ_{inter}		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
$K_{0,x} = K_{0,z}$		Yes	Yes	Yes	Yes
$K_{0,x}$		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
$K_{0,z}$		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
Data set		Standard	Standard	Standard	Standard
Type		Medium	Coarse	Coarse	Coarse
< 2 μ m	%	19.00	10.00	10.00	10.00
2 μ m - 50 μ m	%	41.00	13.00	13.00	13.00



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI5600001A

Foglio

122 di 138

RI58_NT_01

Identification		Ballast	CA	MistoCementato	RILEVAT ELA
50 μ m - 2 mm	%	40.00	77.00	77.00	77.00
Use defaults		None	None	None	None
k_x	m/day	864.0	0.000	0.000	86.40
k_y	m/day	864.0	0.000	0.000	86.40
$-\psi_{unsat}$	m	10.00E3	10.00E3	10.00E3	10.00E3
e_{vit}		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
S_s	1/m	0.000	0.000	0.000	0.000
c_k		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
α_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+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5600001A

123 di 138

RI58_NT_01

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

Identification		Rilevato	U6_1	U4_1	U6_2	U2_1
Identification number		2	4	7	8	9
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Undrained (B)
Colour						
Comments						
γ_{sat}	kN/m ³	20.00	19.00	18.50	19.00	19.00
γ_{sk}	kN/m ³	20.00	19.00	18.50	19.00	19.00
Dilatancy cut-off		No	No	No	No	No
e_{max}		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.9000
e_{min}		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
e_{sw}		999.0	999.0	999.0	999.0	999.0
E	kN/m ²	60.00E3	100.0E3	35.00E3	120.0E3	30.00E3
ν (nu)		0.3000	0.3000	0.3000	0.3000	0.2500
G	kN/m ²	23.08E3	38.46E3	13.46E3	46.19E3	12.00E3
E_{sw}	kN/m ²	80.77E3	134.6E3	47.12E3	161.3E3	36.00E3
c_{ψ}	kN/m ²	1.000	0.000	0.000	0.000	120.0
ϕ (phi)	°	38.00	38.00	36.00	39.00	0.000
ψ (psi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Set to default values		No	Yes	Yes	Yes	Yes
E_{sc}	kN/m ² /m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
γ_{ψ}	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_{ψ}	m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tension cut-off		No	Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	10.00E6	0.000	0.000	0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0.9783	0.9783	0.9783	0.9783	0.9833
ν_{sc}		0.4950	0.4950	0.4950	0.4950	0.4950
K_{ψ} / n	kN/m ²	2.250E6	3.750E6	1.313E6	4.500E6	1.176E6
C_{ψ}	m ² /day	0.000	0.000	0.000	0.000	0.3110
Stiffness		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Strength		Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
R_{sc}		0.6670	0.6670	0.6670	0.6670	0.6670
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
δ_{sc}		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cross 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_{ψ} determination		Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
$K_{sc} = K_{\psi}$		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
K_{sc}		0.3843	0.3843	0.4122	0.3707	10.00E9
K_{ψ}		0.3843	0.3843	0.4122	0.3707	10.00E9
Data set		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Type		Coarse	Coarse	Coarse	Coarse	Coarse



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI5600001A

Foglio

124 di 138

RI58_NT_01

Identification		Rilevato	U6_1	U4_1	U6_2	U2_1
< 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_v	m/day	86.40	86.40	0.8640	86.40	0.08640E-3
k_h	m/day	86.40	86.40	0.8640	86.40	0.08640E-3
$-\Psi_{\text{max}}$	m	10.00E3	10.00E3	10.00E3	10.00E3	10.00E3
e_{max}		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.9000
S_v	1/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
c_v		1000E12	1000E12	1000E12	1000E12	1000E12
c_p	kJ/t/K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
λ_p	kW/m/K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
ρ_p	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_w		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Unfrozen water content		None	None	None	None	None



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica


EI2RBRI5600001A

Foglio

125 di 138

RI58_NT_01

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

Identification		U6_U2
Identification number		11
Drainage type		Drained
Colour		
Comments		
γ_{unsat}	kN/m ³	19.00
γ_{sat}	kN/m ³	19.00
Dilatancy cut-off		No
e_{mit}		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	200.0
ϕ (phi)	°	0.000
ψ (psi)	°	0.000
Set to default values		Yes
E_{inc}	kN/m ² /m	0.000
γ_{ref}	m	0.000
c_{inc}	kN/m ² /m	0.000
γ_{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+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI5600001A

Foglio

126 di 138

RI58_NT_01

Identification		U6_U2
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 _{o,x} = K _{o,z}		Yes
K _{o,x}		0.5000
K _{o,z}		0.5000
Data set		Standard
Type		Coarse
< 2 μm	%	10.00
2 μm - 50 μm	%	13.00
50 μm - 2 mm	%	77.00
Use defaults		None
k _x	m/day	0.08640
k _y	m/day	0.08640
-ψ _{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+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica




EI2RBRI5600001A

Foglio

127 di 138

RI58_NT_01

1.1.2.1.3 Materials - Soil and interfaces - Hardening soil

Identification		U3b_1	U3b_2	U3b_3
Identification number		3	5	6
Drainage type		Undrained (B)	Undrained (B)	Undrained (B)
Colour				
Comments				
γ_{unsat}	kN/m ³	18.50	18.50	18.50
γ_{sat}	kN/m ³	18.50	18.50	18.50
Dilatancy cut-off		No	No	No
e_{init}		1.000	1.000	1.000
e_{min}		0.000	0.000	0.000
e_{max}		999.0	999.0	999.0
E_{s0}^{ref}	kN/m ²	1797	1797	1797
E_{oed}^{ref}	kN/m ²	1438	1438	1438
E_{ur}^{ref}	kN/m ²	13.80E3	13.80E3	13.80E3
power (m)		1.000	1.000	1.000
Use alternatives		No	No	No
C_c		0.3200	0.3200	0.3200
C_s		0.03000	0.03000	0.03000
e_{init}		1.000	1.000	1.000
C_{ref}	kN/m ²	70.00	45.00	50.00
ϕ (phi)	°	0.000	0.000	0.000
ψ (psi)	°	0.000	0.000	0.000
Set to default values		Yes	Yes	No
v_{ur}		0.2000	0.2000	0.2000
p_{ref}	kN/m ²	100.0	100.0	100.0
K_0^{nc}		1.000	1.000	1.000
C_{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000	1.500
y_{ref}	m	0.000	0.000	-10.00
R_f		0.9000	0.9000	0.9000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0.000	0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0.9866	0.9866	0.9866



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5600001A

128 di 138

RI58_NT_01

Identification		U3b_1	U3b_2	U3b_3
v_u		0.4950	0.4950	0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m ²	565.4E3	565.4E3	565.4E3
Stiffness		Standard	Standard	Standard
Strength		Manual	Manual	Manual
R_{inter}		0.6670	0.6670	0.6670
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes
δ_{inter}		0.000	0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /day/m	0.000	0.000	0.000
R	m ² K/kW	0.000	0.000	0.000
K_o determination		Automatic	Automatic	Automatic
OCR		1.000	1.000	1.000
POP	kN/m ²	230.0	150.0	85.00
Data set		Standard	Standard	Standard
Type		Coarse	Coarse	Coarse
< 2 μ m	%	10.00	10.00	10.00
2 μ m - 50 μ m	%	13.00	13.00	13.00
50 μ m - 2 mm	%	77.00	77.00	77.00
Use defaults		None	None	None
k_x	m/day	0.8640E-3	0.8640E-3	0.8640E-3
k_y	m/day	0.8640E-3	0.8640E-3	0.8640E-3
$-\psi_{lrsat}$	m	10.00E3	10.00E3	10.00E3
e_{int}		1.000	1.000	1.000
S_s	1/m	0.000	0.000	0.000
c_k		1000E12	1000E12	1000E12
c_s	kJ/t/K	0.000	0.000	0.000
λ_s	kW/m/K	0.000	0.000	0.000
ρ_s	t/m ³	0.000	0.000	0.000
Solid thermal expansion		Volumetric	Volumetric	Volumetric
a_s	1/K	0.000	0.000	0.000
D_v	m ² /day	0.000	0.000	0.000
f_{Tv}		0.000	0.000	0.000
Unfrozen water content		None	None	None



Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17







12



EI2RBRI5600001A

129 di 138

RI58_NT_01

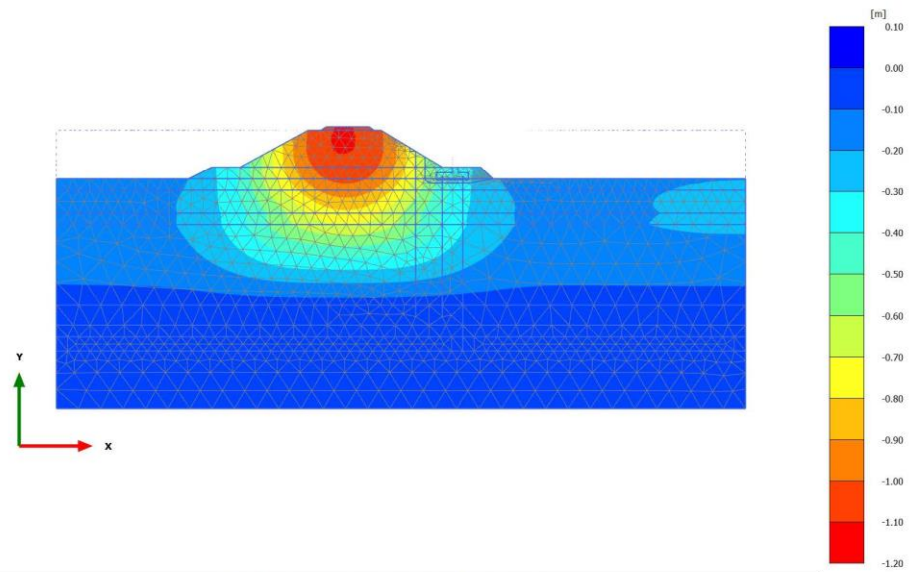
1.1.2.2 Materials - Embedded beam row -

Identification		PaliMuro monte	Inclusioni	Pali muro Valle
Identification number		1	2	3
Comments				
Colour				
Material type		Elastic	Elastic	Elastic
E	kN/m ²	33.00E6	33.00E6	33.00E6
γ	kN/m ³	6.000	5.000	6.000
Beam type		Predefined	Predefined	Predefined
Predefined beam type		Massive circular beam	Massive circular beam	Massive circular beam
Diameter	m	1.200	0.8000	1.200
A	m ²	1.131	0.5027	1.131
I _x	m ⁴	0.1018	0.02011	0.1018
I _y	m ⁴	0.1018	0.02011	0.1018
Rayleigh α		0.000	0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000	0.000
Axial skin resistance		Multi-linear	Multi-linear	Multi-linear
Multi-linear axial resistance		Axial skin resistance table	Axial skin resistance table	Axial skin resistance table
F _{ax}	kN	1500	650.0	2000
Identification number		1	2	3
Comments				
Colour				
Material type		Elastic	Elastic	Elastic
E	kN/m ²	33.00E6	33.00E6	33.00E6
γ	kN/m ³	6.000	5.000	6.000
Beam type		Predefined	Predefined	Predefined
Predefined beam type		Massive circular beam	Massive circular beam	Massive circular beam
Diameter	m	1.200	0.8000	1.200
A	m ²	1.131	0.5027	1.131
I	m ⁴	0.1018	0.02011	0.1018
L _{max}	m	3.600	2.500	3.600
Rayleigh α		0.000	0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000	0.000
Axial skin resistance		Multi-linear	Multi-linear	Multi-linear
Multi-linear axial resistance		Axial skin resistance table	Axial skin resistance table	Axial skin resistance table
Lateral resistance		Unlimited	Unlimited	Unlimited
F _{ax}	kN	1500	650.0	2000
Default values		Yes	Yes	Yes
Axial stiffness factor		1.097	1.064	1.097
Lateral stiffness factor		1.097	1.064	1.097
Base stiffness factor		10.97	10.64	10.97
Identification number		1	2	3



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 130 di 138

RI58_NT_01

2.1.1.1.1 Calculation results, Initial phase [InitialPhase] (0/16), Total displacements u_y

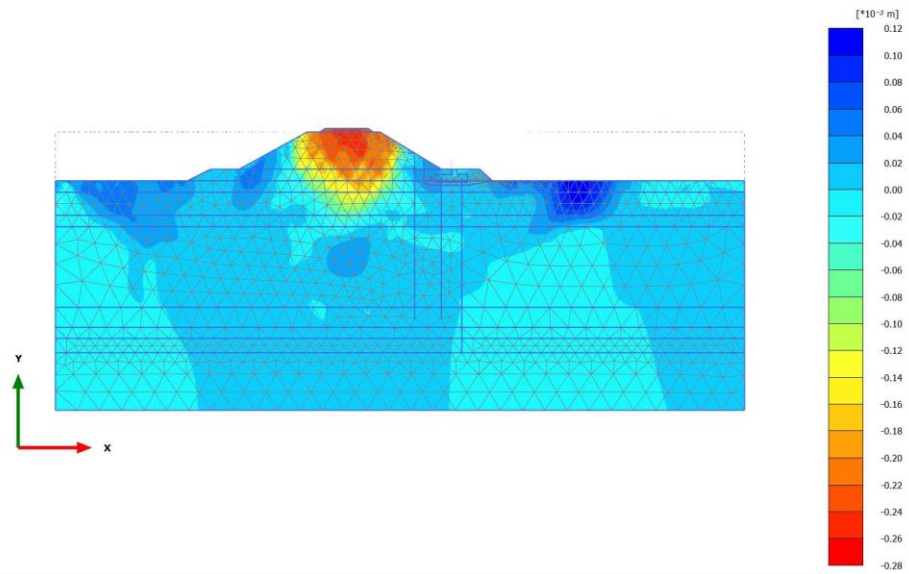


Total displacements u_y (scaled up 5.00 times)
Maximum value = 0.000 m (Element 2331 at Node 1451)
Minimum value = -1.114 m (Element 198 at Node 5846)



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 131 di 138

RI58_NT_01

2.1.1.1.2 Calculation results, Nil [Phase_7] (7/18), Total displacements u_y

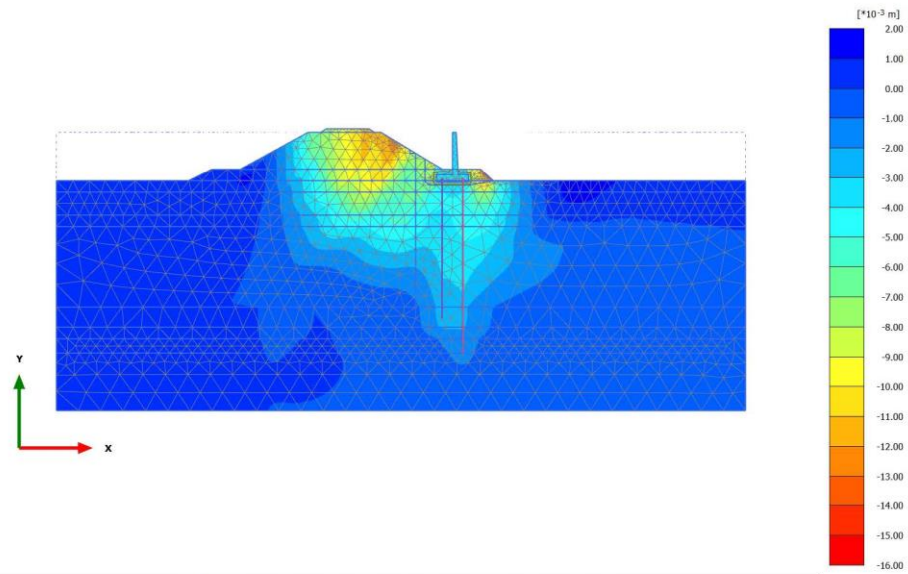


Total displacements u_y (scaled up $10.0 \cdot 10^3$ times)
Maximum value = $0.1111 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1061 at Node 19162)
Minimum value = $-0.2612 \cdot 10^{-3}$ m (Element 201 at Node 7157)



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 132 di 138

RI58_NT_01

2.1.1.1.3 Calculation results, CONS RILEVATO 1 [Phase_2] (2/41), Total displacements u_y

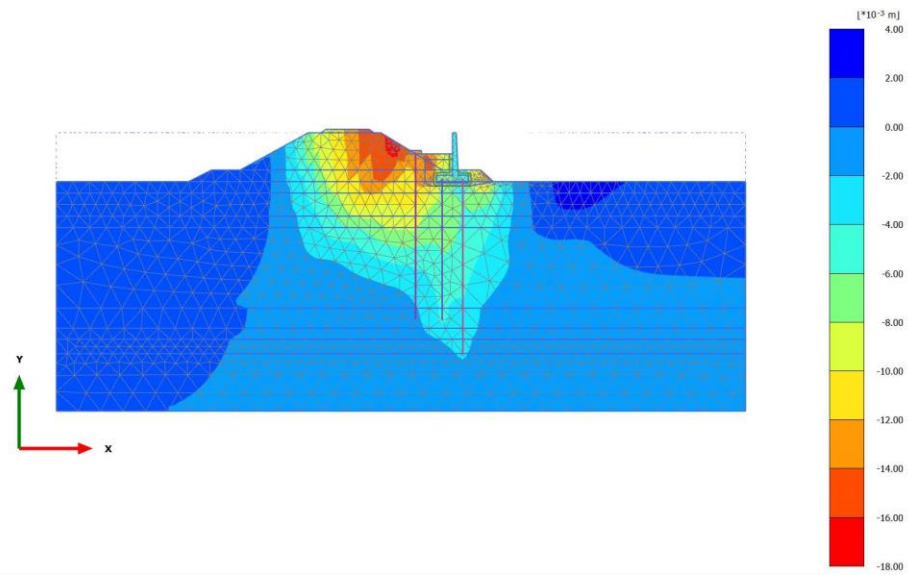


Total displacements u_y (scaled up 200 times) (Time 40.00 day)
Maximum value = $1.604 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1060 at Node 19667)
Minimum value = -0.01565 m (Element 801 at Node 11945)



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 133 di 138

RI58_NT_01

2.1.1.1.4 Calculation results, inclusioni [Phase_4] (4/47), Total displacements u_y

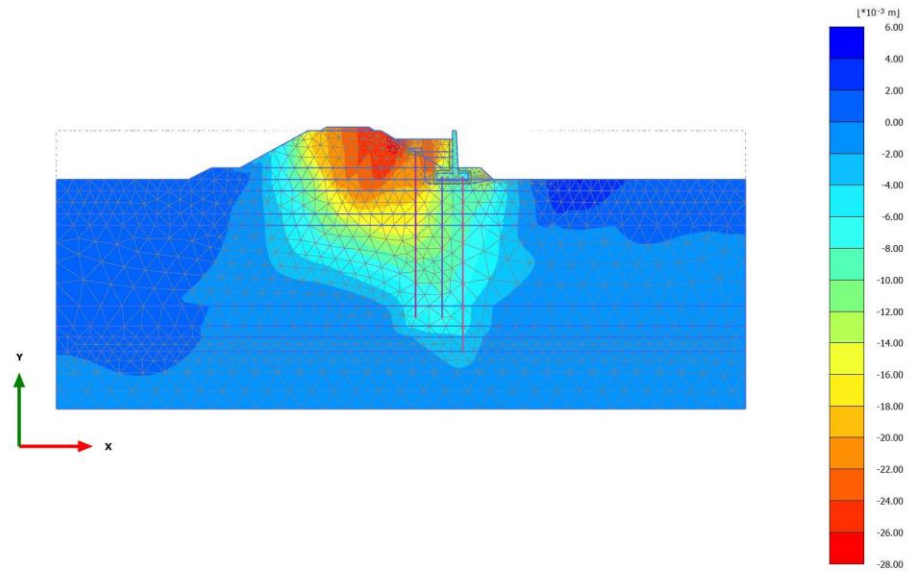


Total displacements u_y (scaled up 200 times) (Time 40.10 day)
Maximum value = $3.152 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1078 at Node 19580)
Minimum value = -0.01701 m (Element 236 at Node 8806)



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 134 di 138

RI58_NT_01

2.1.1.1.5 Calculation results, Cons ril 3 [Phase_10] (11/126), Total displacements u_y

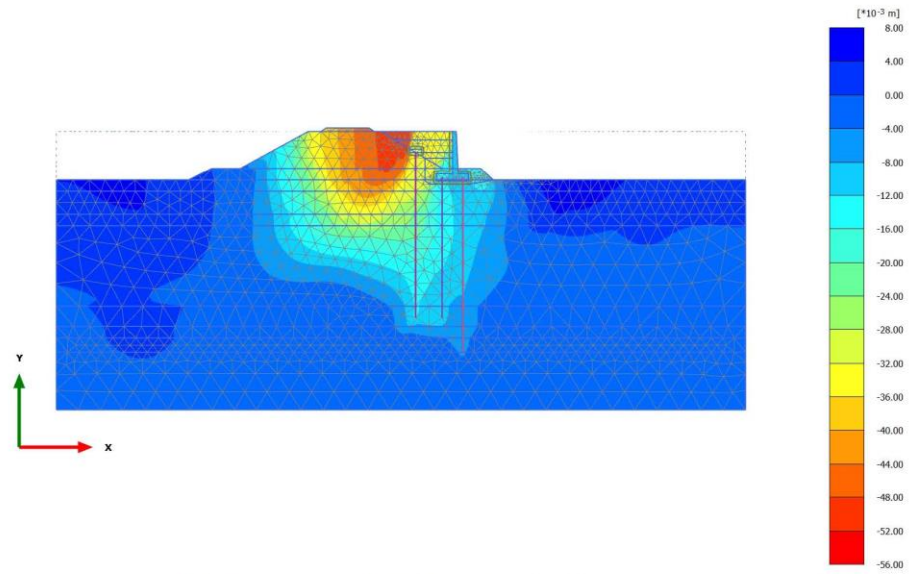


Total displacements u_y (scaled up 100 times) (Time 120.1 day)
Maximum value = $4.074 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1078 at Node 19581)
Minimum value = -0.02673 m (Element 236 at Node 8806)



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 135 di 138

RI58_NT_01

2.1.1.1.6 Calculation results, Cons. ril 4 [Phase_9] (9/736), Total displacements u_y

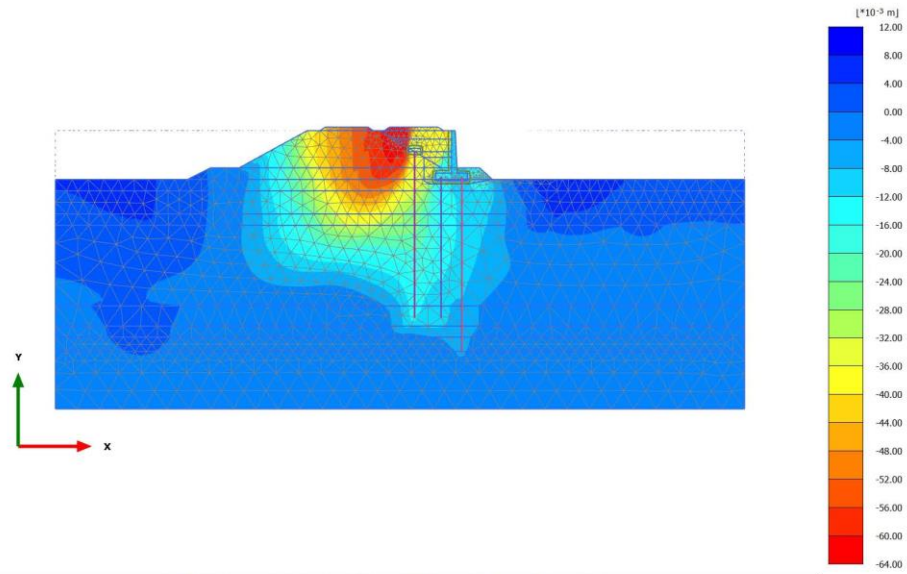


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time 160.1 day)
Maximum value = $7.335 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1061 at Node 19579)
Minimum value = -0.05222 m (Element 121 at Node 7441)



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 136 di 138

RI58_NT_01

2.1.1.1.7 Calculation results, cons finale [Phase_13] (13/1094), Total displacements u_y

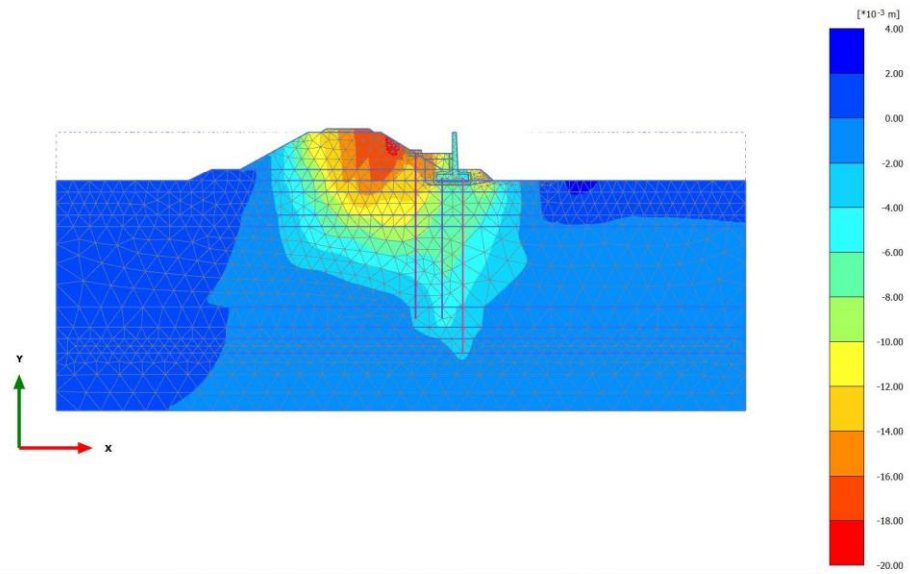


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time 520.2 day)
Maximum value = $8.133 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1081 at Node 19172)
Minimum value = -0.06373 m (Element 120 at Node 6843)



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 137 di 138

RI58_NT_01

**2.1.1.1.8 Calculation results, cons rilevato 2 [Phase_5] (5/1202),
Total displacements u_y**



Total displacements u_y (scaled up 200 times) (Time 100.1 day)
Maximum value = $2.397 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1078 at Node 19580)
Minimum value = -0.01875 m (Element 236 at Node 8806)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 30+640,00 a pk 30+940,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5600001A	Foglio 138 di 138

ALLEGATO 6- VERSIONI DEI SOFTWARE UTILIZZATI

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