

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 31+390,00 a pk 31+633,00  
GENERALE  
Relazione Geotecnica**

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

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

I	N	1	7	1	2	E	I	2	R	B	R	I	5	9	0	0	0	0	1	A	-	-	-	P	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma Luca RANDOLFI	Data 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	 Data: Dicembre 2021

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2RBRI5900001A_03.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RBRI5900001A	Foglio 2 di 128

## 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.....	10
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	12
4.1	Indagini disponibili.....	12
4.2	Inquadramento stratigrafico .....	13
4.3	Livello di falda .....	15
4.4	Condizioni geotecniche del sito .....	16
4.5	Sintesi del modello geotecnico di riferimento .....	27
4.6	Materiale da rilevato.....	28
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	29
5.1	Sollecitazione sismica di progetto.....	29
5.1.1	Vita Nominale.....	29
5.1.2	Classe d'uso .....	29
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica .....	30
5.1.4	Categorie di Sottosuolo.....	30
5.1.5	Condizioni topografiche .....	30
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento .....	30
5.2	Suscettibilità alla liquefazione.....	31
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT .....	32
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT.....	34
5.3	Commento ai risultati .....	37
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO FERROVIARIO .....	42
6.1	Premessa.....	42
6.2	Criteri di verifica agli Stati Limite.....	42
6.2.1	Stati limite ultimi (SLU).....	43
6.2.2	Stati limite di esercizio (SLE) .....	45
6.2.3	Verifiche in condizioni sismiche .....	45
6.3	Azioni di progetto .....	46

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 3 di 128

6.3.1	Azioni permanenti .....	46
6.3.2	Azioni variabili .....	46
6.3.3	Azione sismica .....	46
6.4	Verifiche e risultati SLU .....	47
6.4.1	Premessa .....	47
6.4.2	Verifiche SLU in condizione statiche .....	47
6.4.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche .....	49
6.5	Verifica e risultati SLE .....	50
6.5.1	Premessa e descrizione concettuale della soluzione .....	50
6.5.2	Metodologia di calcolo .....	50
7	RESISTENZA DEI PALI SOGGETTI A CARICHI ASSIALI .....	62
7.1	Analisi agli stati limite .....	62
7.2	Metodologia di calcolo .....	64
7.2.1	Portata laterale .....	64
7.2.2	Portata di base .....	65
7.3	Stratigrafia di calcolo .....	67
7.4	Risultati .....	68
8	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....	73
	Allegati .....	74
	ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO .....	75
	ALLEGATO 2 – INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	77
	ALLEGATO 3 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA .....	82
	ALLEGATO 4 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICA .....	92
	ALLEGATO 5 – TABULATI DI PLAXIS .....	102
	ALLEGATO 6 - VERSIONI DEI SOFTWARE UTILIZZATI .....	128

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 4 di 128

## 1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI59, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende tra il km 31+390,00 e il km 31+633,00, per una lunghezza complessiva di 243 m.

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).

Si sottolinea che i calcoli che riguardano le verifiche di Stato limite Ultimo e di Stato limite di Esercizio (cap 6) riguardano il tratto in cui il nuovo rilevato è sostenuto dal muro, ovvero da inizio WBS alla 31+602 (per un totale quindi di 212 m). Per il tratto finale rimanente, di soli 31 m di lunghezza, successivo alla pk 31+602, ove invece non c'è il muro, si veda la relazione geotecnica della WBS RI60 (IN1723EI2RBRI6000001A)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 5 di 128

## 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 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RBRI5900001A	Foglio 6 di 128

[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  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 7 di 128

[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.

<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 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5900001A</p>	<p>Foglio 8 di 128</p>

### 3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

#### 3.1 Premessa

Il rilevato ferroviario in esame si estende tra il km 31+390,00 e il km 31+633,00, per una lunghezza totale di 243 m. Il rilevato risulta in affiancamento alla linea storica per tutta la sua estensione. Per la tratta in esame non si evidenziano altre interferenze con opere principali adiacenti e/o attraversate.

#### 3.2 Geometria del rilevato

Come detto, il rilevato risulta sempre in affiancamento alla linea storica sul suo lato nord.

Sono individuabili due "sezioni tipo":

- la prima, compresa tra le progressive pk = 31+390 e pk = 31+602,61 in cui sul lato Sud è presente un muro di sostegno con fondazioni profonde costituite da 2 file di pali  $\Phi 1200$  ad interasse di 3.6 m (Figura 1).
- la seconda compresa tra le progressive pk = 31+602,61 e pk = 36+633 in cui il rilevato AV è realizzato senza l'ausilio di muri di sostegno (Figura 2);

Nella presente relazione ci si limiterà a descrivere, commentare e verificare la tipologia di intervento descritta al primo punto, rimandando la trattazione degli interventi del tratto finale alla relazione riguardante la WBS RI60, che ha la stessa sezione tipologica e di fatto le stesse dimensioni geometriche degli interventi.

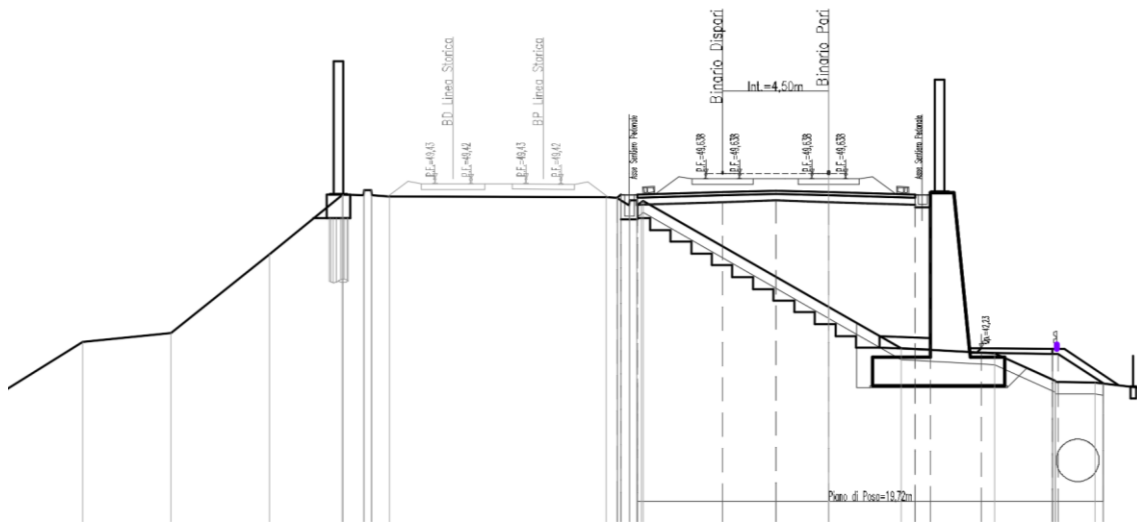


Figura 1 – Sezione di riferimento (pk 31+575,00 n. RI59-9) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])





GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 10 di 128

### 3.3 Descrizione degli interventi

Per la porzione terminale di rilevato (tra le progressive pk = 31+602,61 e pk = 31+633), si farà riferimento, per le soluzioni e per le verifiche del caso, alla relazione della WBS di RI60, alla quale si rimanda interamente.

Nel tratto dove è presente il muro di sostegno, per limitare i cedimenti sia sulla linea di nuova costruzione che quelli indotti sulla Linea Storica dalle attività di ampliamento del rilevato, 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 25 m, e comunque tali da garantire un'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 inevitabile incremento dei cedimenti indotti.

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

Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00  
 Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5900001A

11 di 128

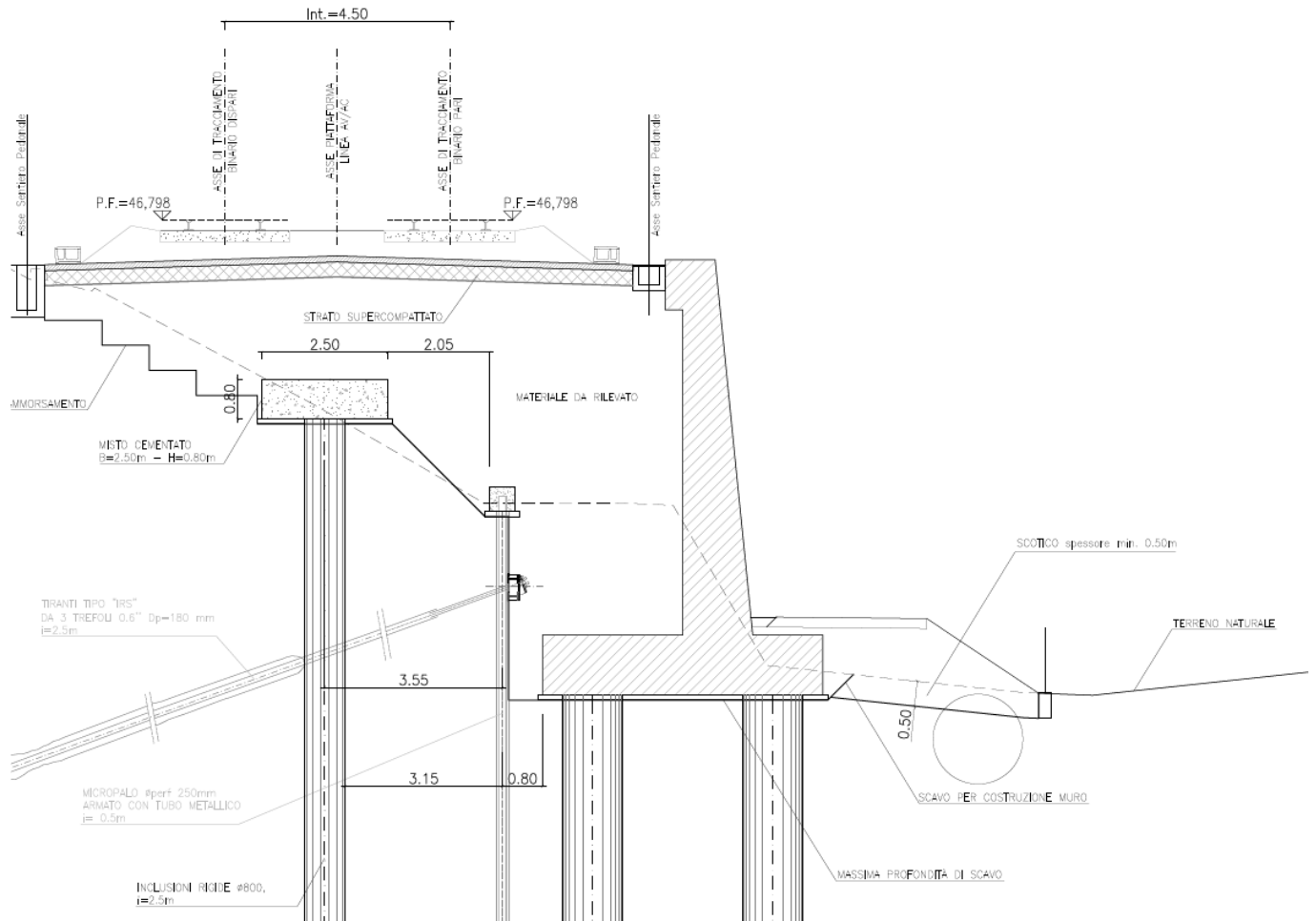


Figura 3 – Schema in sezione degli interventi

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 12 di 128

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 4.1 Indagini disponibili

L'ubicazione delle indagini disponibili relative all'opera esaminata è illustrata nella Figura 4, estratta dalla Planimetria geotecnica con ubicazione indagini e profilo geotecnico (Doc. Rif. [3]). Per ulteriori dettagli si rimanda alle relazioni di sintesi delle indagini (Doc.Rif. [7]-[13]). Le indagini disponibili lungo il tratto d'interesse sono riportate in Tabella 1. 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 31+390,00 e pk31+633*

<b>Progressiva pk</b>	<b>ID indagini -</b>	<b>Campagna anno</b>
31+410	CPTU87bis	2014/2015
31+417	CPTU-PE-37/11	2021
31+506	PT49	
31+525	CPTU88bis	2014/2015

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RBRI5900001A	Foglio 13 di 128

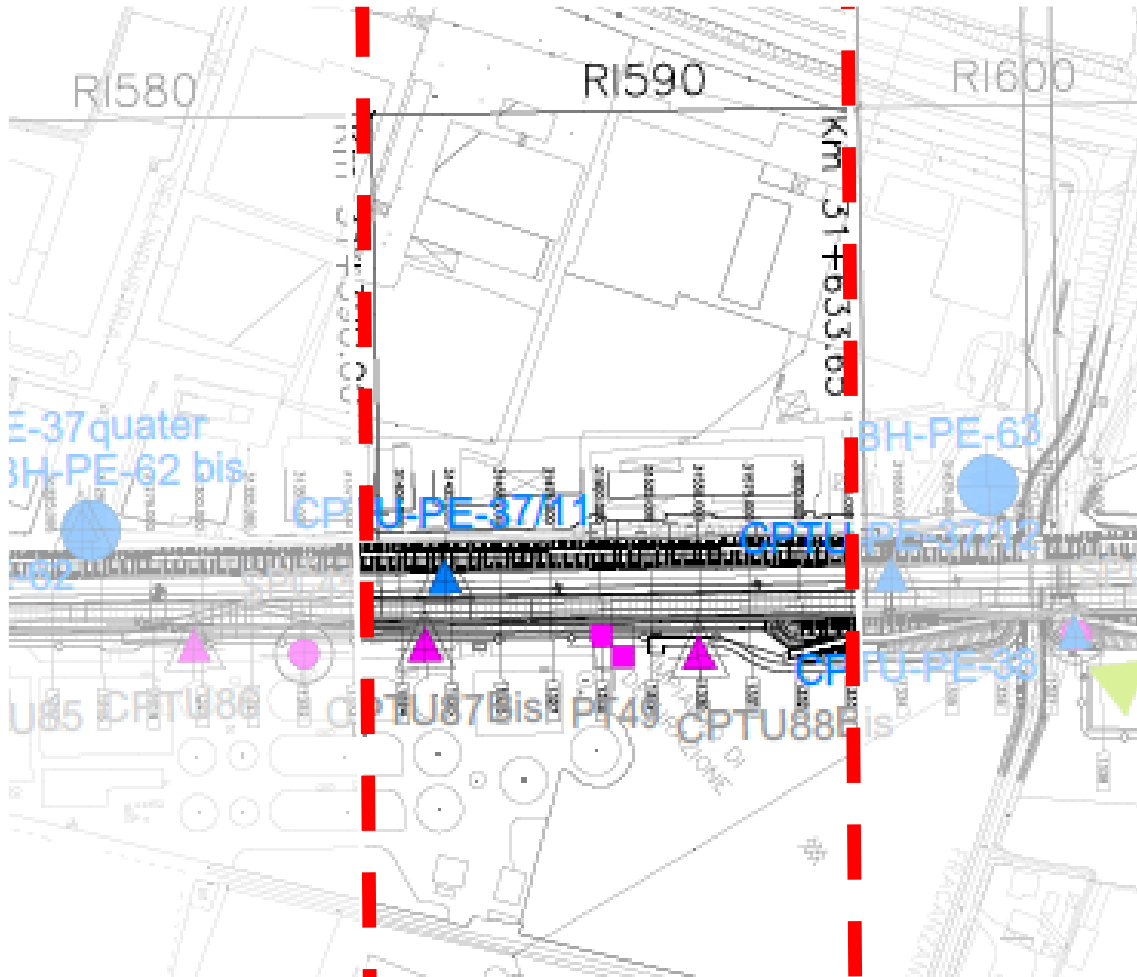


Figura 4 - Planimetria Rilevato RI59, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

## 4.2 Inquadramento stratigrafico

L'area in esame è caratterizzata dall'alternanza di strati di limi argillosi (Unità 3b) da sovraconsolidati a debolmente sovraconsolidati, ad intercalazioni di sabbie (Unità 4) aventi spessori metrici. In particolare, in questo tratto appaiono strati superficiali di sabbie e sabbie ghiaiose, di spessore di 3-4 m.

Alla base di tale unità, a profondità variabili fra i 18 e i 21 m da p.c. (con possibili locali approfondimenti), è presente un banco di ghiaia (Unità 6), al di sotto della quale possono trovarsi argille compatte e sovraconsolidate dell'Unità 2. La stratigrafia di calcolo è mostrata 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 5 si riporta il profilo geotecnico specifico per il rilevato RI59 estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 7 di 11 (Doc. Rif. [3]).

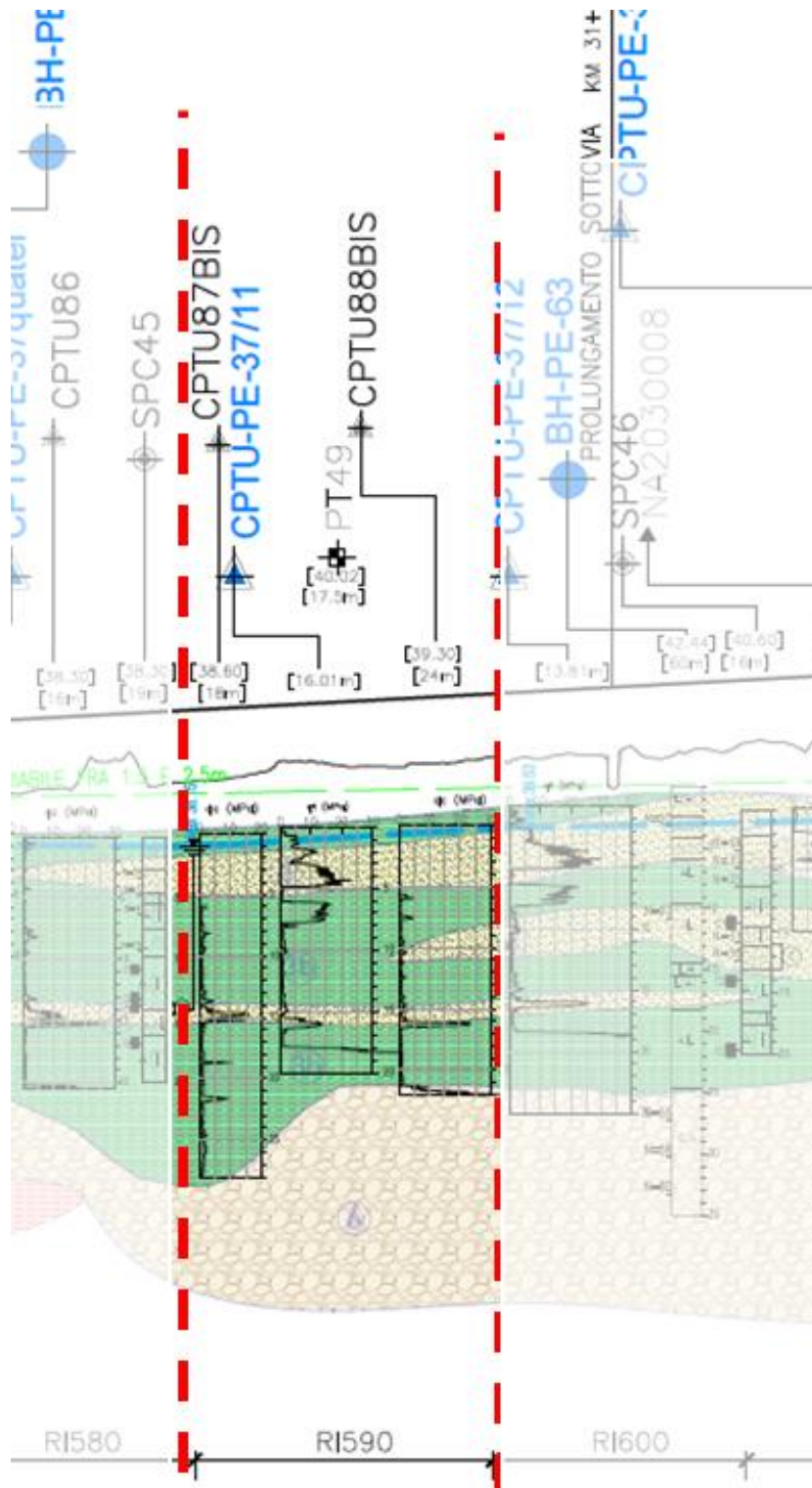


Figura 5 - Profilo Geotecnico Rilevato RI59, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RBRI5900001A	Foglio 15 di 128

### 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 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  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 16 di 128

#### 4.4 Condizioni geotecniche del sito

La Figura 6 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 19-20 m di profondità sia le CPTU che mostrano valori di rifiuto, sia i sondaggi più profondi effettuati nelle aree limitrofe mostrano la presenza di ghiaie (Unità 6) e di limi argillosi compatti (Unità 2).

Per la definizione della resistenza al taglio non drenata dell'unità 3b si è fatto riferimento all'interpretazione delle prove penetrometriche indicate in Tabella 1, oltre che delle prove di laboratorio e delle prove pocket penetrometer. I risultati sono riportati, in Figura 10. L'interpretazione delle prove penetrometriche conduce a stimare valori di  $c_u$  compatibili con quelli deducibili dalle prove di laboratorio. Si possono sintetizzare i risultati assegnando nei primi 2 metri di profondità un valore caratteristico della resistenza in condizioni non drenate non inferiore a 60 kPa. Per i terreni più profondi, posti a circa 5 m di profondità il valore caratteristico della resistenza non drenata è pari a  $c_u = 50$  kPa. Per i terreni dell'unità 3b ancora più profondi è invece individuabile un valore caratteristico più elevato e pari a  $c_u = 55$  kPa.

Per l'unità 2, rilevata a circa 19 m da p.c., si desume invece un valore di  $c_u$  sempre superiore a 200 kPa.

Le prove SPT effettuate lungo le verticali ubicate nei pressi delle WBS mostrano che le intercalazioni di sabbia limose e ghiaiose (Unità 4) possono essere caratterizzate con un numero di colpi variabile tra 20 e 30, che può essere a sua volta associato a densità relative maggiori del 50%. Nello strato superficiale di sabbie ghiaiose (da 2 a circa 5-6 m da p.c.) i valori di  $q_c$  sono molto elevati (fino a 15-20 MPa) ,e talora a rifiuto, indicando la presenza di materiali granulari molto addensati.

Pertanto, l'angolo di resistenza al taglio di questi depositi può essere stimato  $\geq 38^\circ$ .

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 la teoria dell'elasticità a partire dal valore del modulo  $G_0$ , ed utilizzando valori di  $\nu = 0.25-0.30$ . Il valore del modulo di Young operativo ( $E_{op}$ ) per il calcolo di cedimenti di fondazioni superficiali e rilevati è stato calcolato ipotizzando valori del decadimento del modulo dell'ordine di 1/5 di quello iniziale per gli strati superficiali e dell'ordine di 1/3 di quello iniziale per gli strati più



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 17 di 128

in profondità, dove le deformazioni attese sono minori.

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

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

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

- i valori di tensione di preconsolidazione  $\sigma'_p$  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.

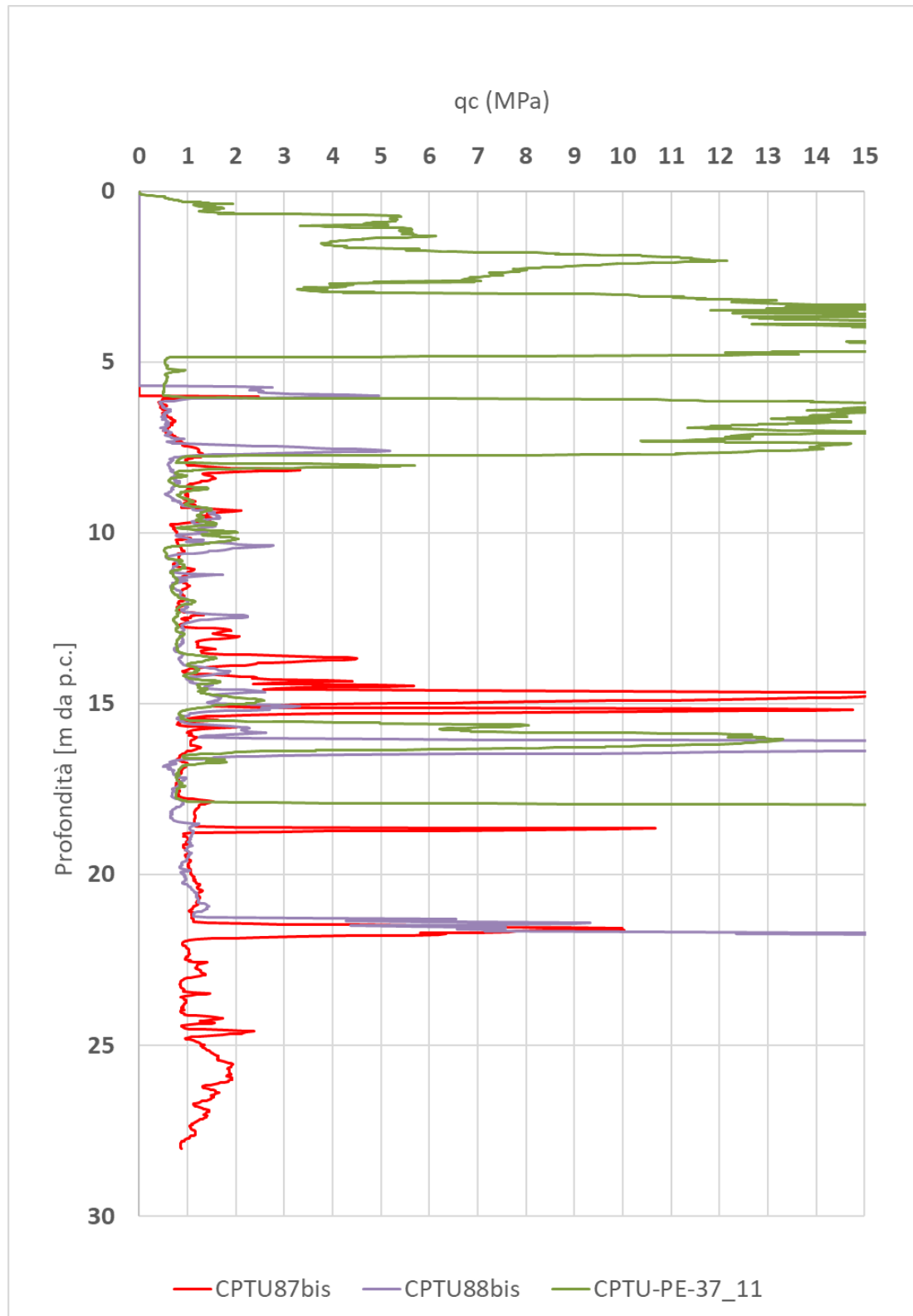


Figura 6 – Prove CPTU nell'area dell'RI59



Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
E12RBRI5900001A

Foglio  
19 di 128

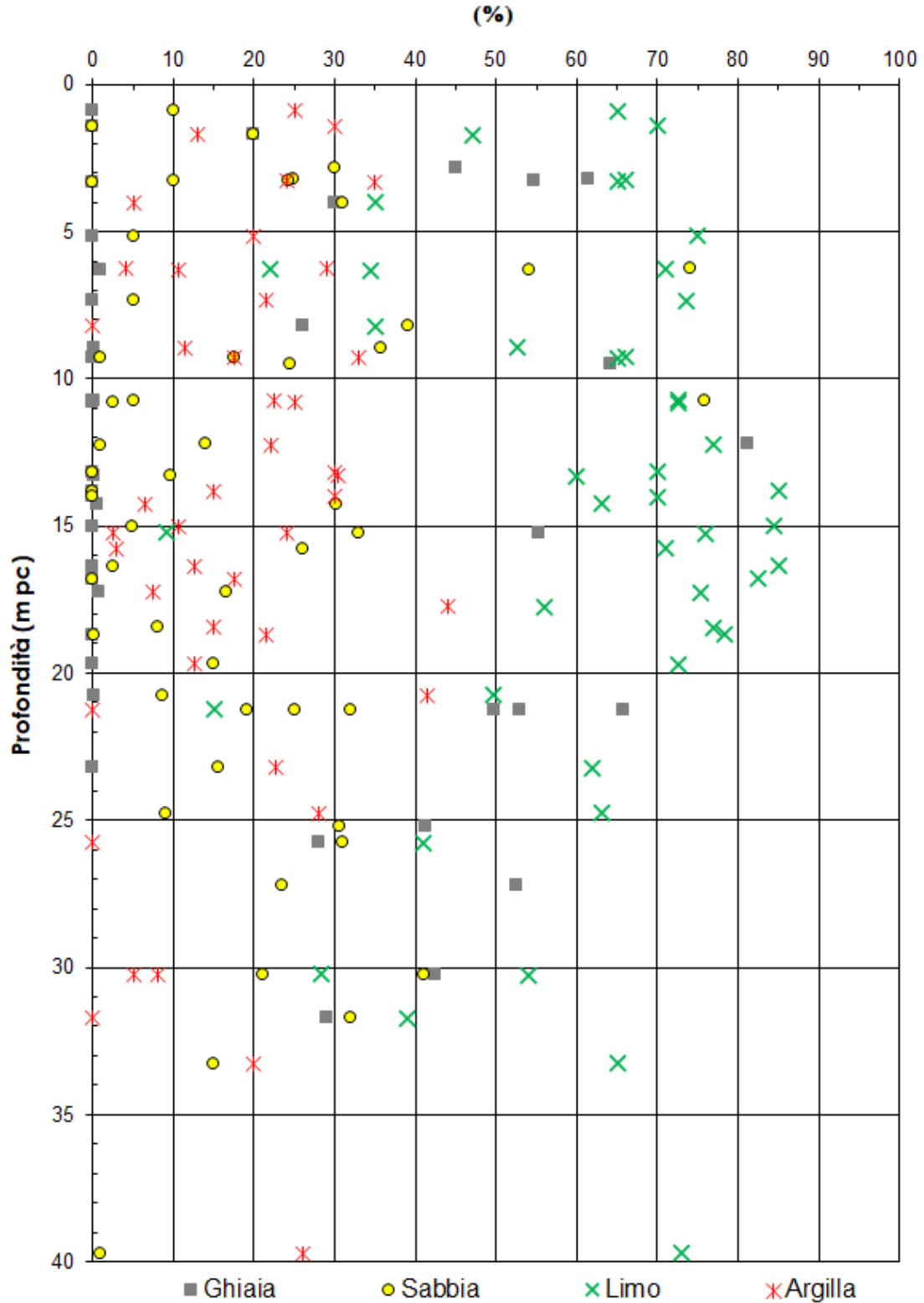


Figura 7 – Granulometrie dei materiali nell’area di interesse

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 20 di 128

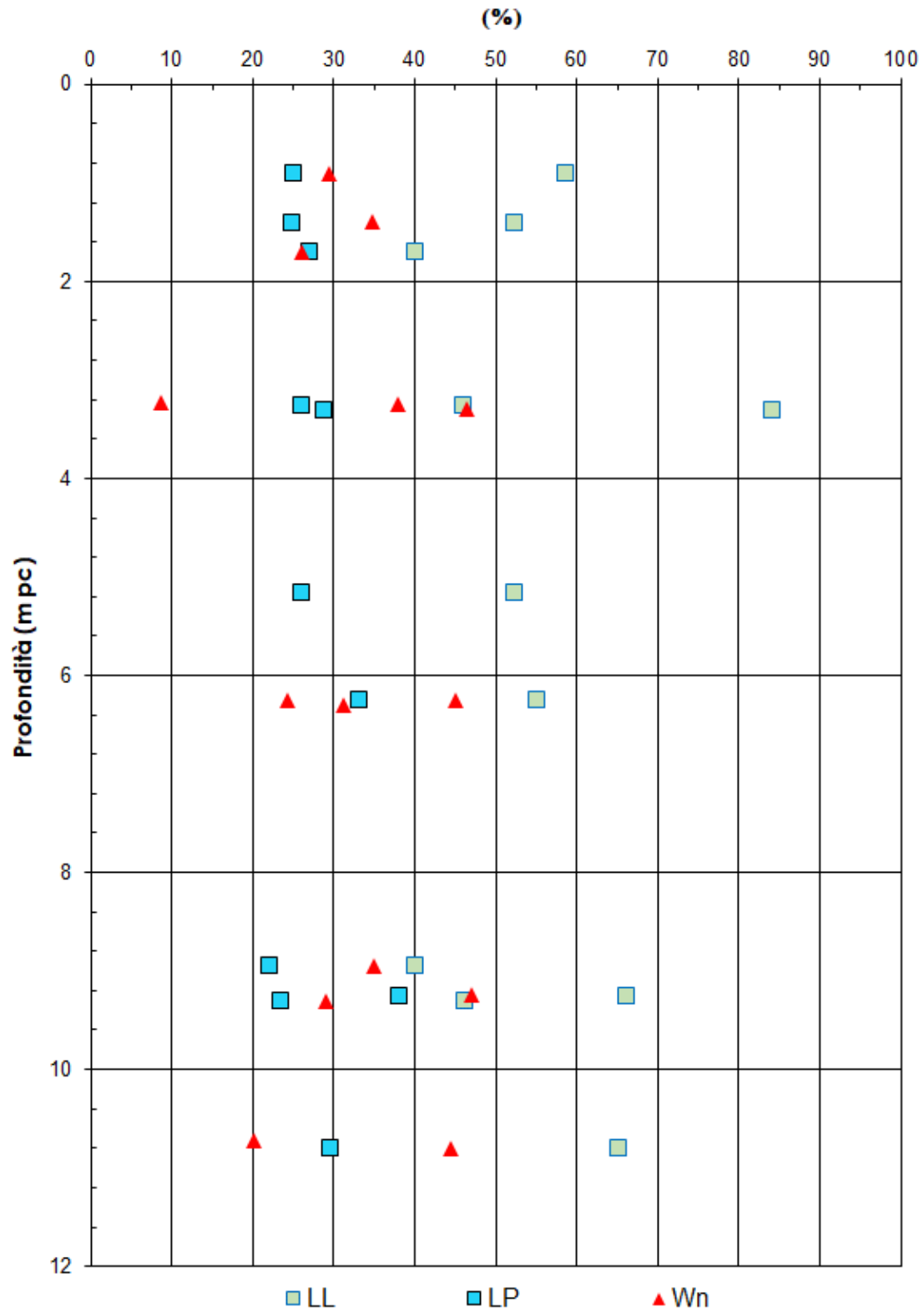
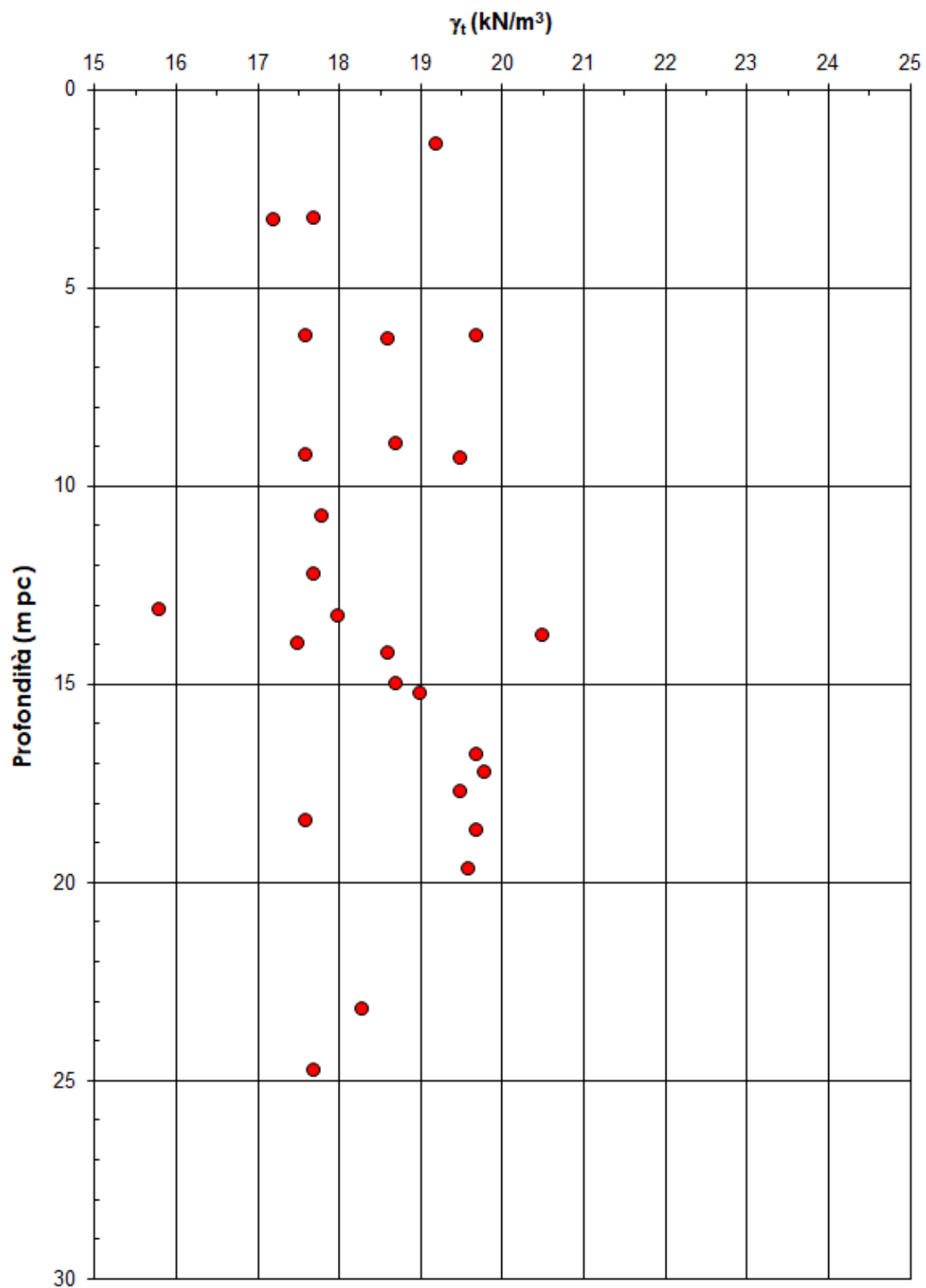


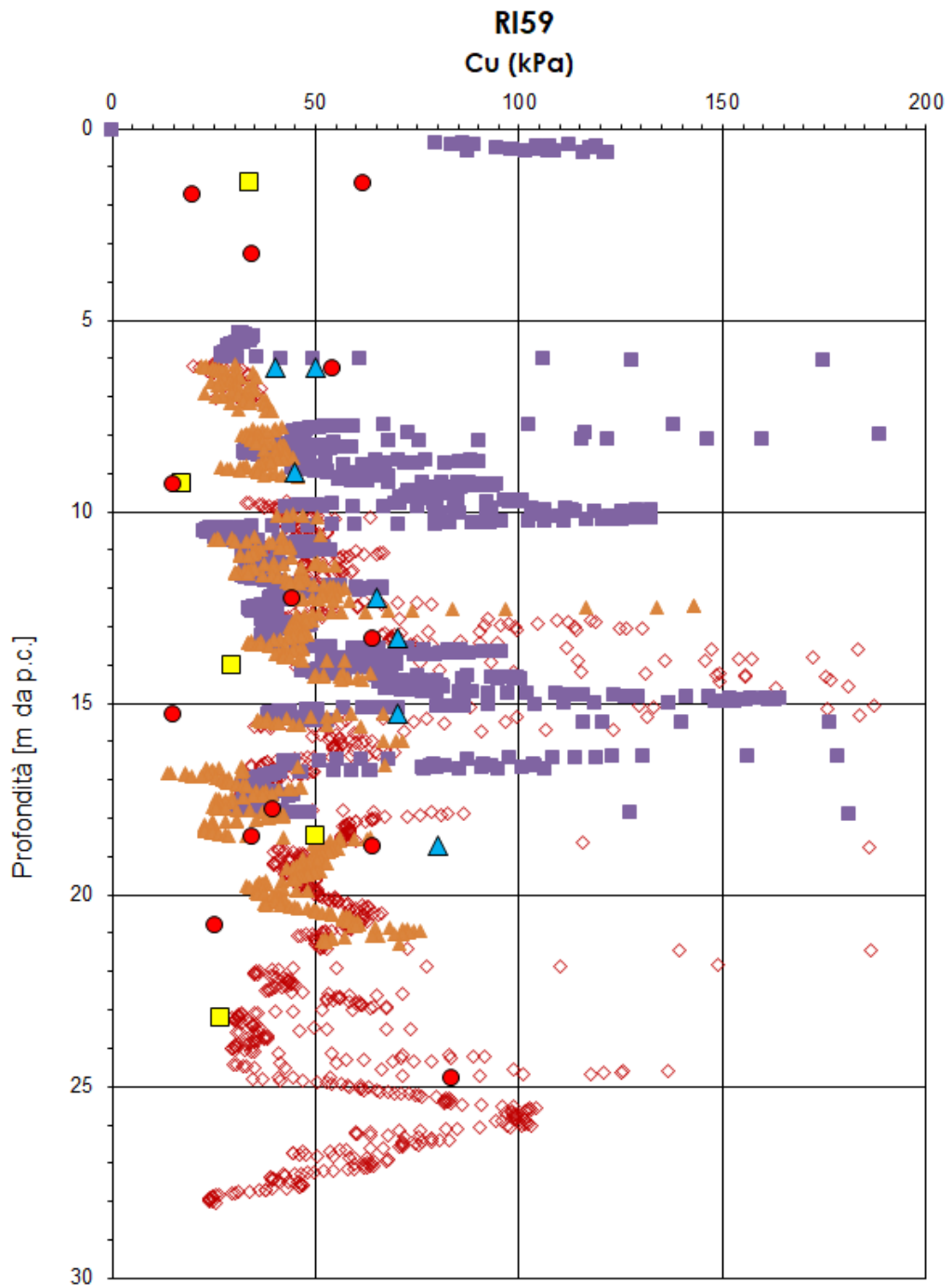
Figura 8 – Limiti di Atterberg e contenuto d'acqua naturale dei campioni a grana fine nell'area di interesse.

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 21 di 128



GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 22 di 128

## AV/AC VERONA VICENZA



◇ CPTU87bis    ■ CPTU-PE-37\_11    ▲ CPTU88bis    ■ TX-UU    ▲ TX-CIU    ● POCKET

Figura 10 – Resistenza in condizioni non drenate da prove CPTU disponibili nell'intorno della WBS

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 23 di 128

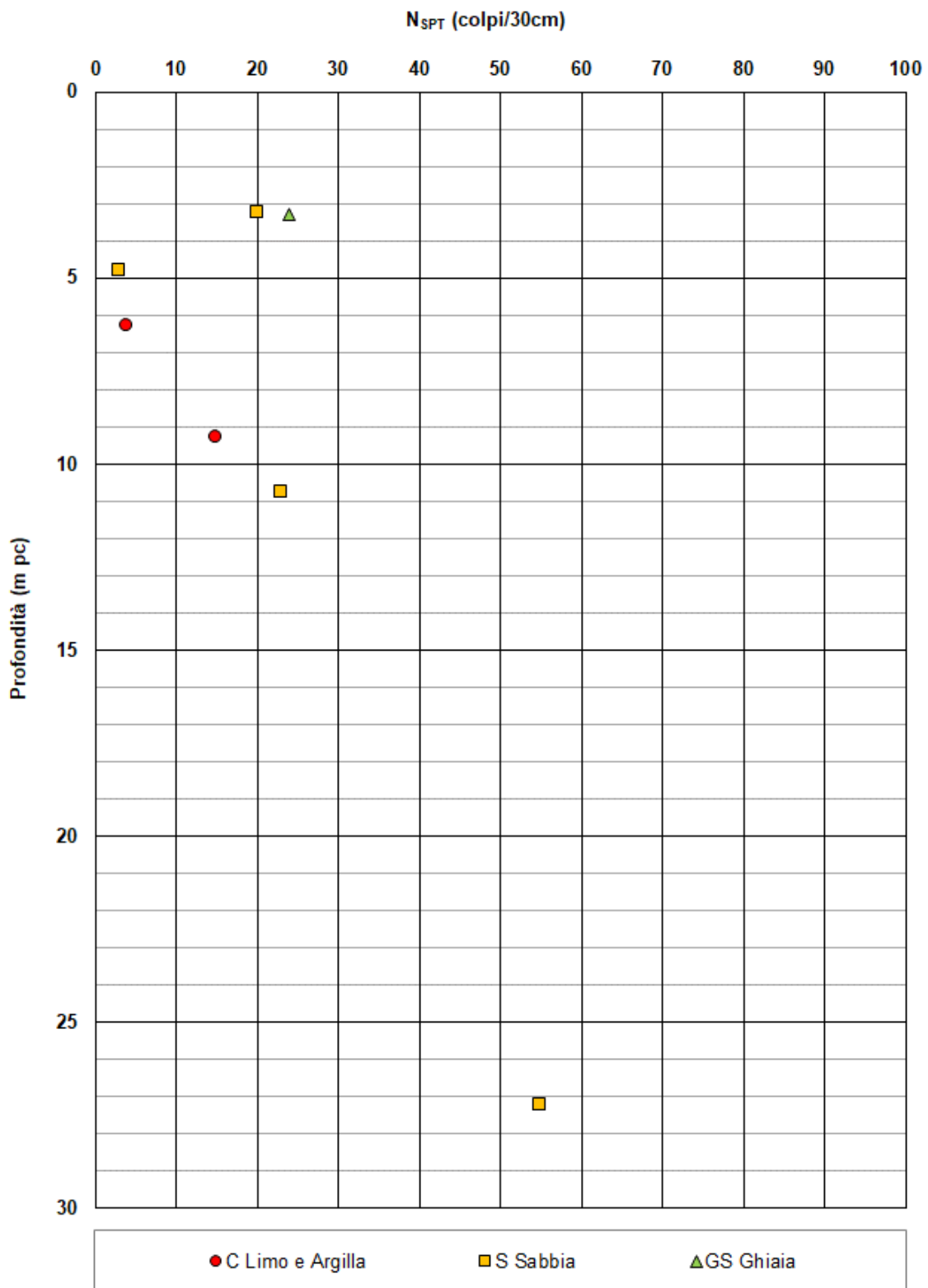


Figura 11 – Esito delle prove SPT da pk 31+390 a pk 31+633

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 24 di 128

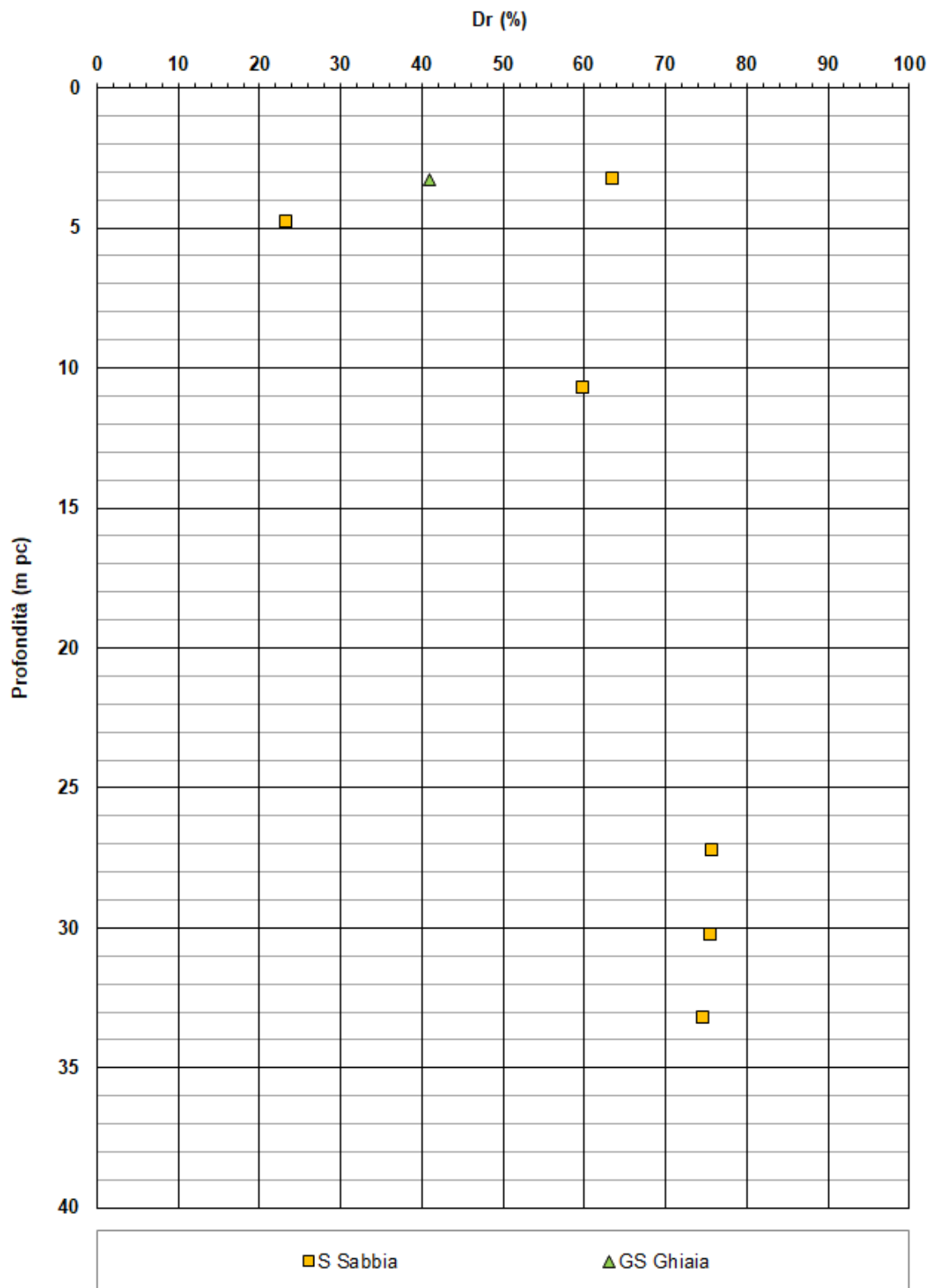


Figura 12 – Densità relativa da prove SPT da pk da pk 31+390 a pk 31+633



**AV/AC VERONA VICENZA**

00+000

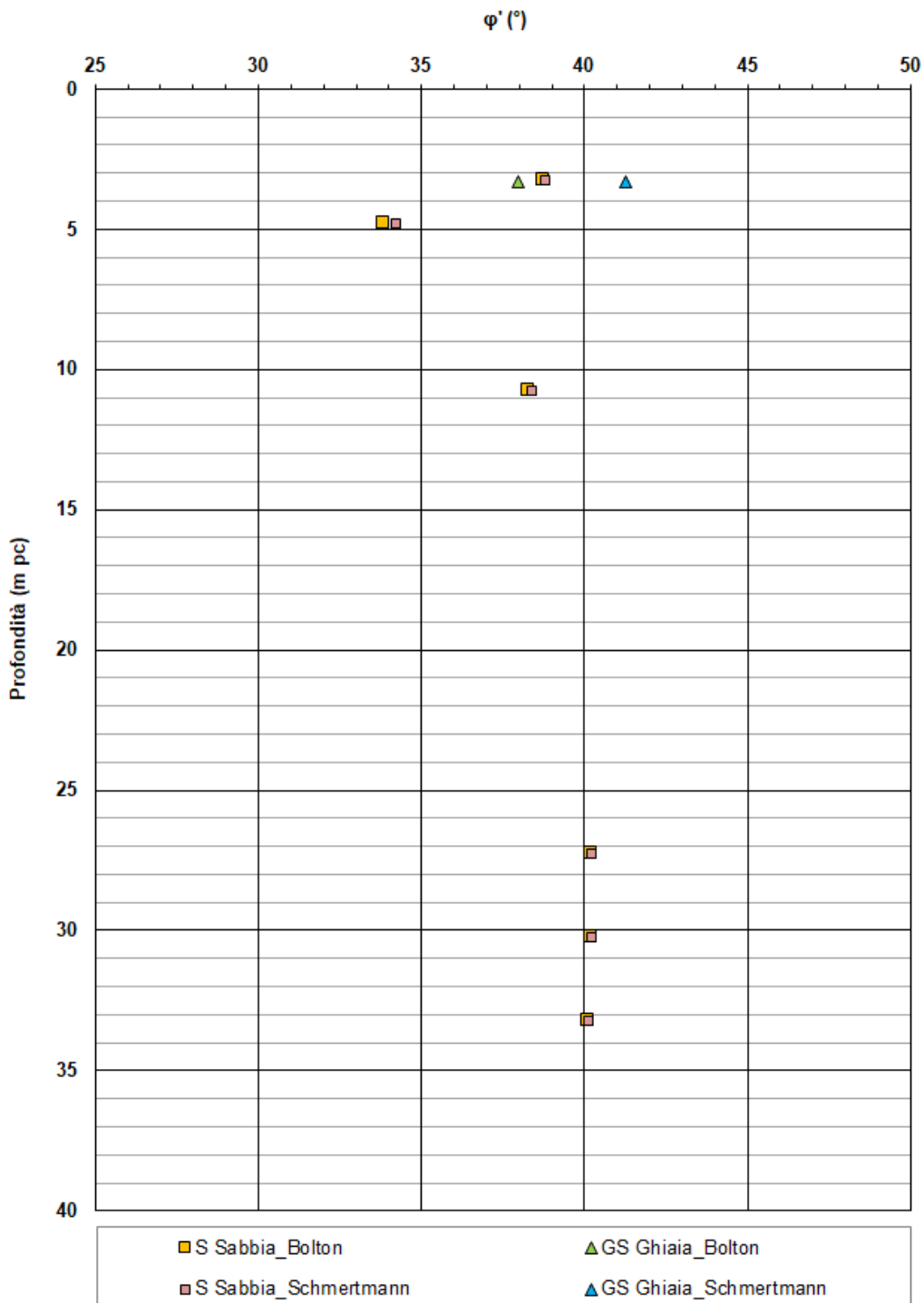


Figura 13 – Angoli di resistenza al taglio da prove SPT da pk 31+390 a pk 31+633

Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI5900001A

Foglio

26 di 128

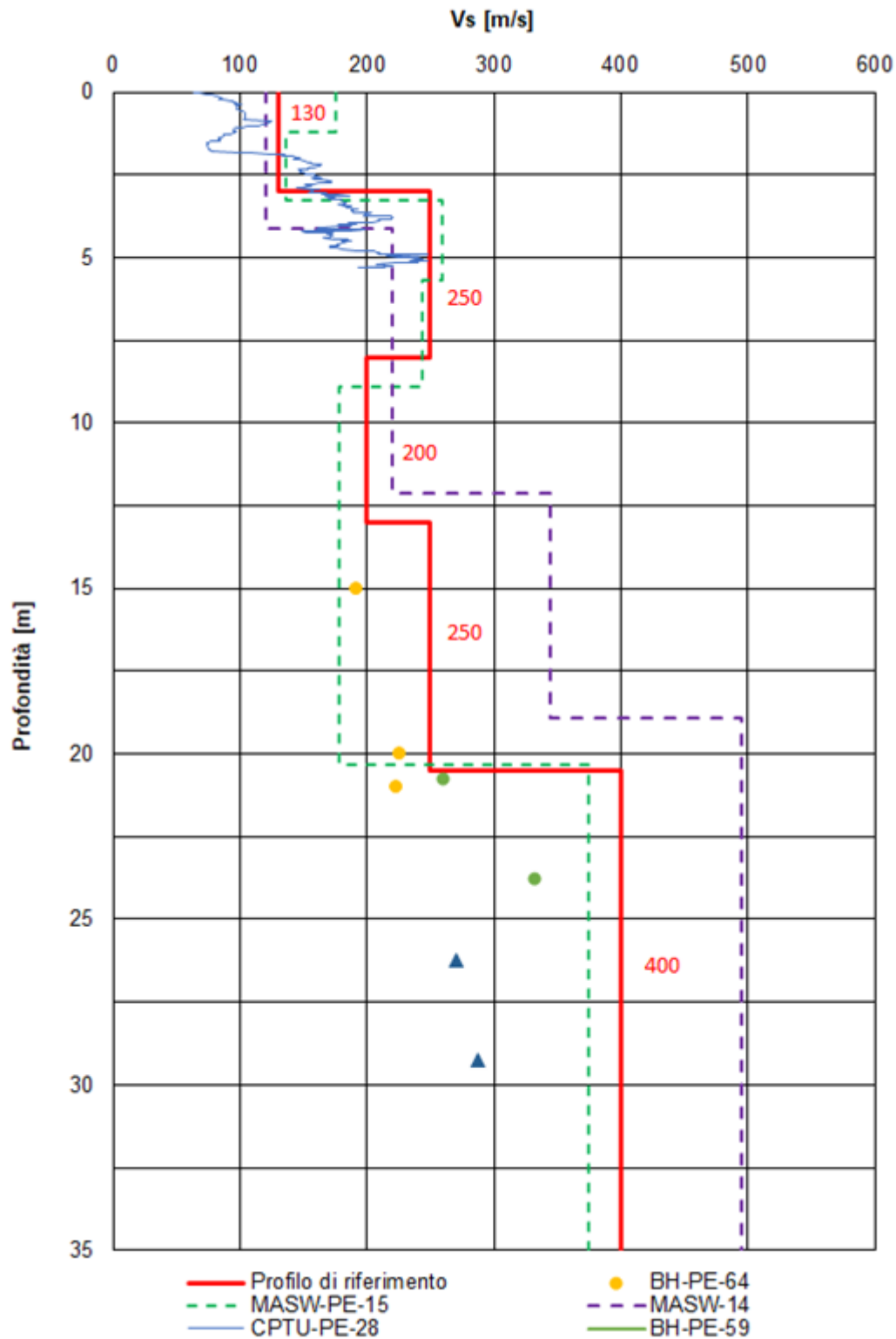


Figura 14 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW nell'intorno di interesse

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 27 di 128

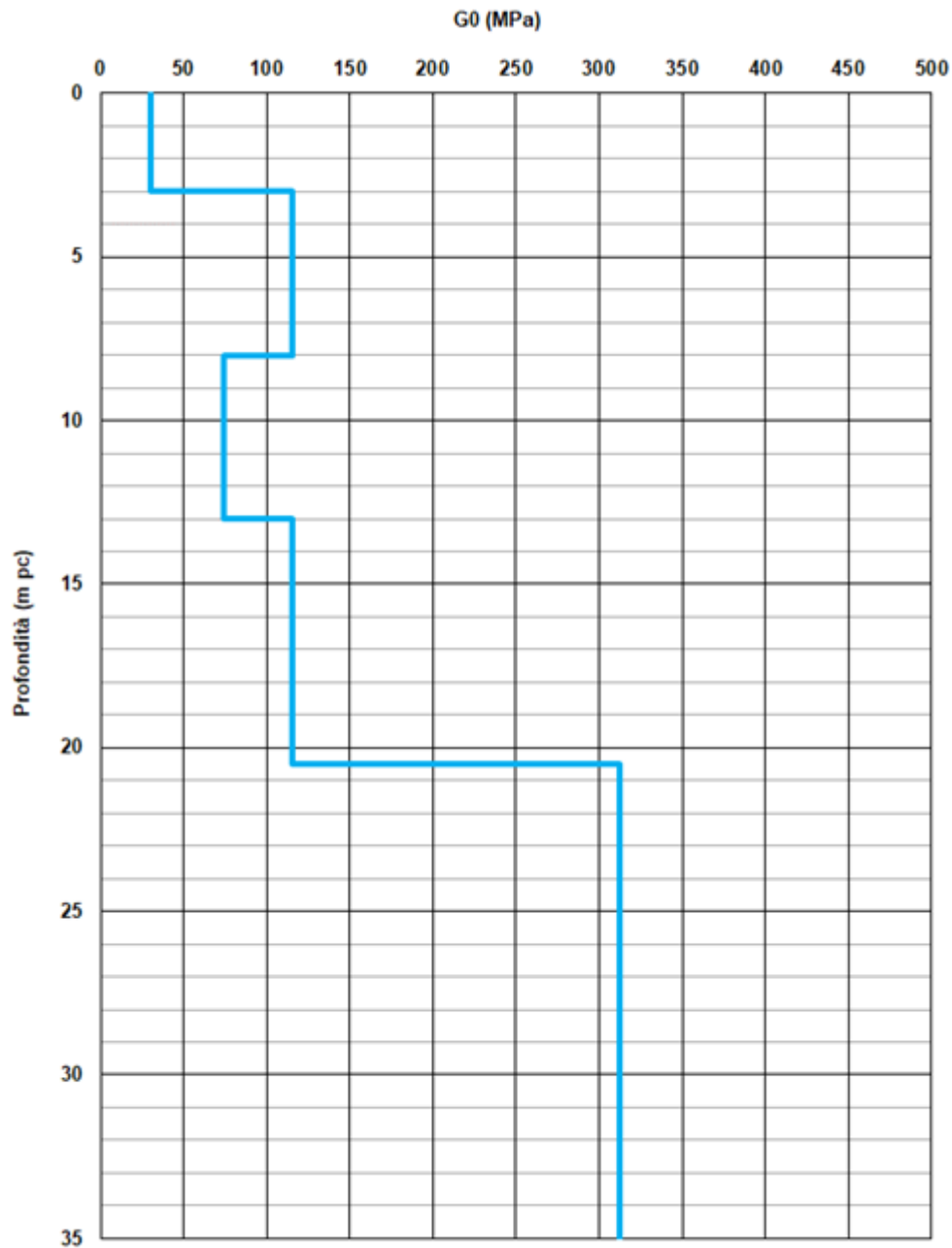


Figura 15 – Modulo di taglio G0 di riferimento

#### 4.5 Sintesi del modello geotecnico di riferimento

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 28 di 128

Tabella 2 – Modello geotecnico di riferimento

Unità	da m pc*	a m pc*	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\varphi_k$ °	$c_k'$ kPa	$c_{u,k}$ kPa	RR -	CR -	$\sigma'_p$ kPa	$E'_{op}$ MPa
3b	0	2	18.5		0	60	0.015	0.16	260	
4	2	5	19	38	0					50
3b	5	6	18.5		0	50	0.015	0.16	220	
4	6	7.5	19	38	0					40
3b	7.5	15.5	18.5		0	55	0.015	0.16	250	
4	15.5	16.5	19	38	0					60
3b	16.5	19	18.5			55	0.015	0.16	260	
2- 6	>19	INF	19			>200				150

\* quota piano campagna = 40.8 m s.l.m.

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

#### 4.6 Materiale da rilevato

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

Tabella 3 - Caratteristiche materiale da rilevato

	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\varphi$ °	$c'$ kPa
Materiale da rilevato	20	38	0

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 29 di 128

## 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 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 30 di 128

### 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 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 31 di 128

## 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,

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 32 di 128

la tensione di taglio ciclico indotta dallo scuotimento sismico (sforzo di taglio ciclico normalizzato CSR) viene approssimata da un valore efficace dell'accelerazione pari al 65% della accelerazione di picco  $a_{max}$  come segue:

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

dove:

$a_{max}$  accelerazione di picco al sito

$g$  accelerazione di gravità

$\tau_c$  valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

$\sigma_{vo}$  tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni totali

$\sigma'_{vo}$  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



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 33 di 128

potenziale di liquefazione, considerando i dati di prove in sito disponibili allo stato attuale delle conoscenze.

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

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

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

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

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

dove  $\sigma'_{vo}$  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  $n = 0.75$ .

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 34 di 128

Il valore della resistenza penetrometrica normalizzata  $q_{c1N}$  è stato riportato ad un valore equivalente per le sabbie pulite attraverso la seguente relazione:

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

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

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

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

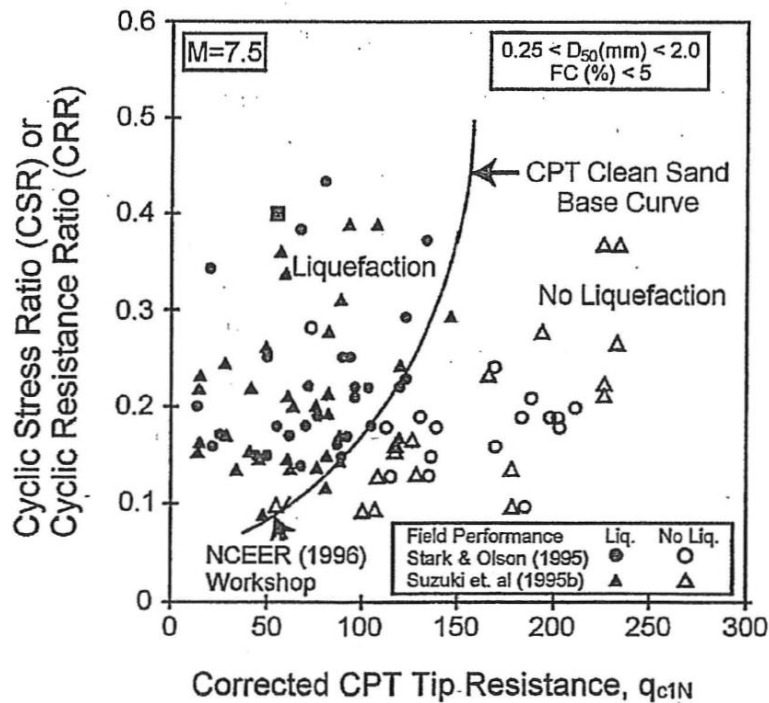


Figura 16 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta  $q_{c1N}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

### 5.2.2 CRR da correlazione su prove SPT

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

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

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

dove:

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 35 di 128

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 36 di 128

di  $N_{1(60)}$  ai valori corrispondenti per sabbia pulita  $N_{1(60)cs}$ :

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

In cui:

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

$\sigma'_{v0}$  = 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 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RBRI5900001A	Foglio 37 di 128

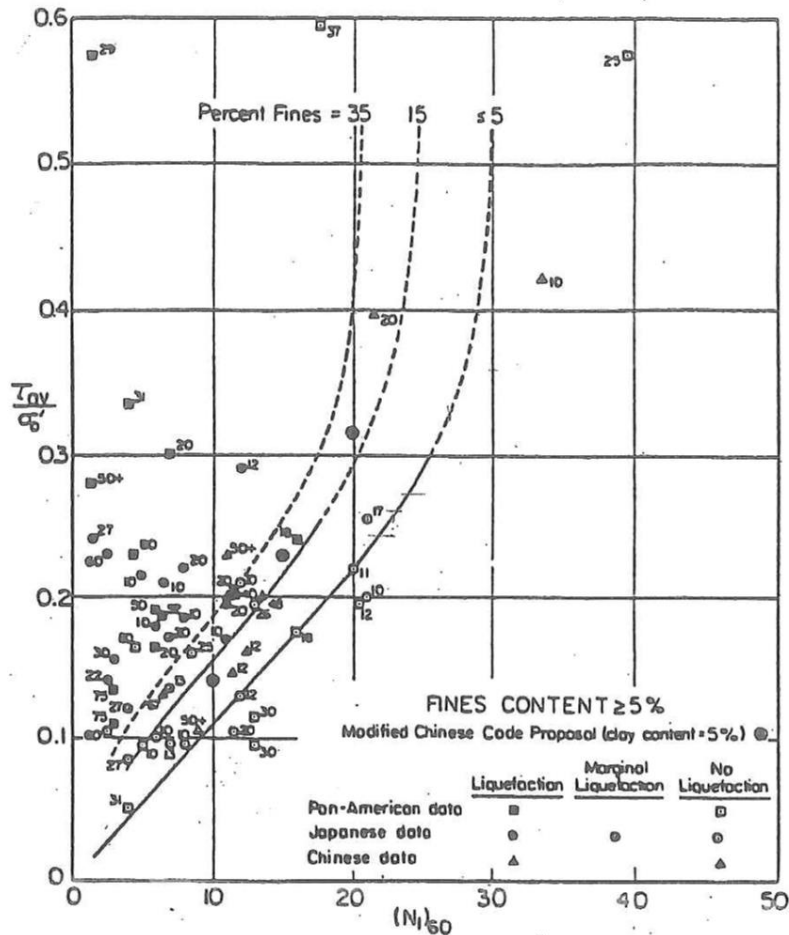


Figura 17 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e  $N_{1(60)}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

### 5.3 Commento ai risultati

I risultati dell'analisi, riportati da Figura 18 a Figura 21, mostrano una sostanziale assenza di potenziali problematiche legate allo sviluppo di sovrappressioni interstiziali nel terreno di fondazione, ad eccezione di alcuni sottili e occasionali livelli, di rilevanza trascurabile.

Più in generale, la presenza di terreni non liquefacibili trova conferma nelle evidenze delle colonne stratigrafiche e dei risultati delle prove di laboratorio, oltre che dall'esame delle cassette, che evidenziano la prevalenza di strati materiali fini coesivi.

Il sito è quindi da considerarsi stabile nei confronti di potenziali fenomeni di liquefazione.

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



Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI5900001A

Foglio  
38 di 128

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU87bis Pr. 31+410  
a<sub>max</sub> = 0.255g M<sub>calc</sub> = 6.3 MSF = 1.85 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 5m

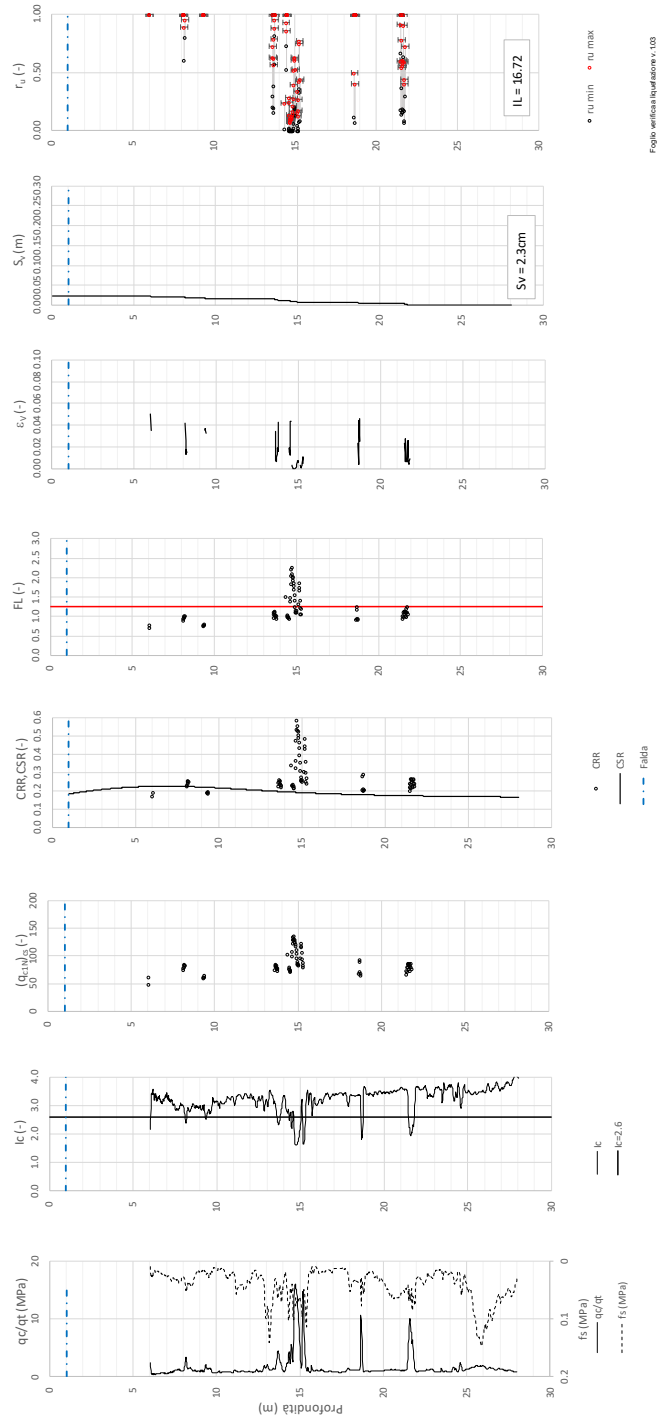


Figura 18 – Verifica Liquefazione da risultati CPTUPE—87 bis



Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI590001A

Foglio  
39 di 128

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-37/11 Pr. 314+417  
a<sub>max</sub> = 0.255g M<sub>calc</sub> = 6.3 MSF = 1.85 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 5m

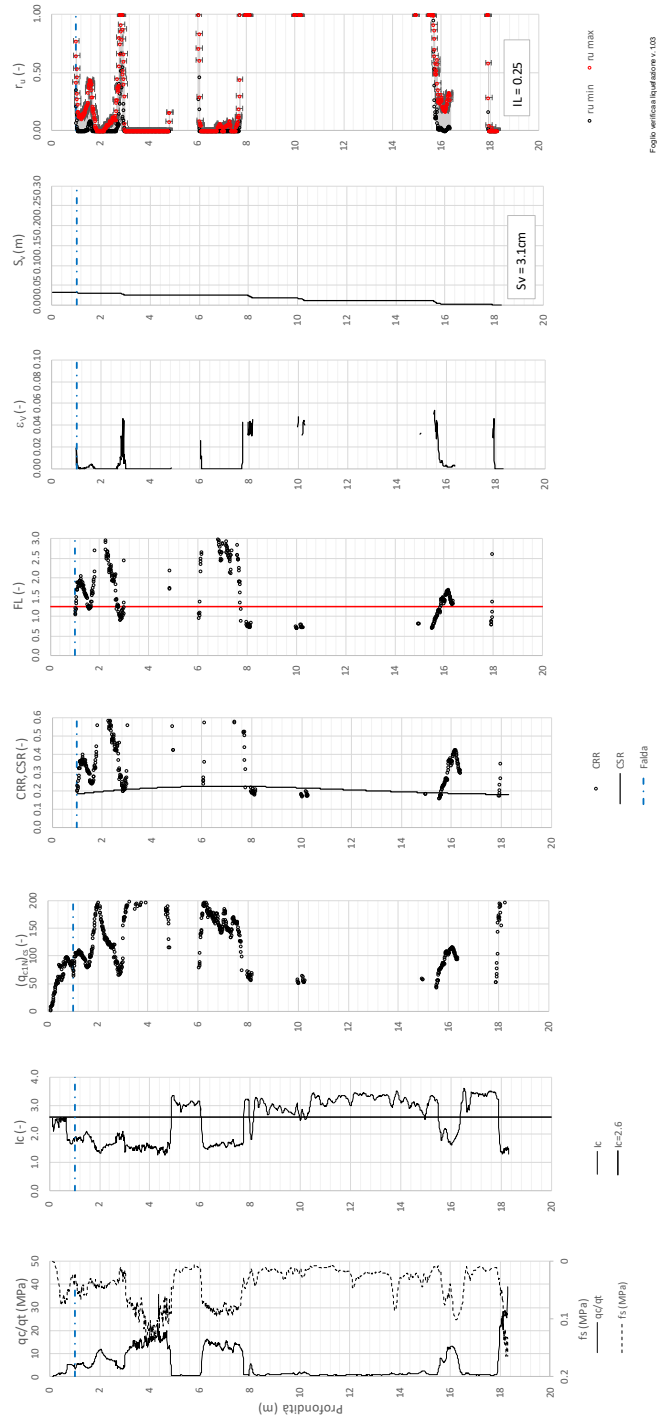


Figura 19 – Verifica Liquefazione da risultati CPTUPE—37/11



Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI590001A

Foglio

40 di 128

T tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU88bis Pr. 31+525  
a\_max = 0.25g, M\_cdt = 6.3, MSF = 1.85, Metodo NCFER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 5m

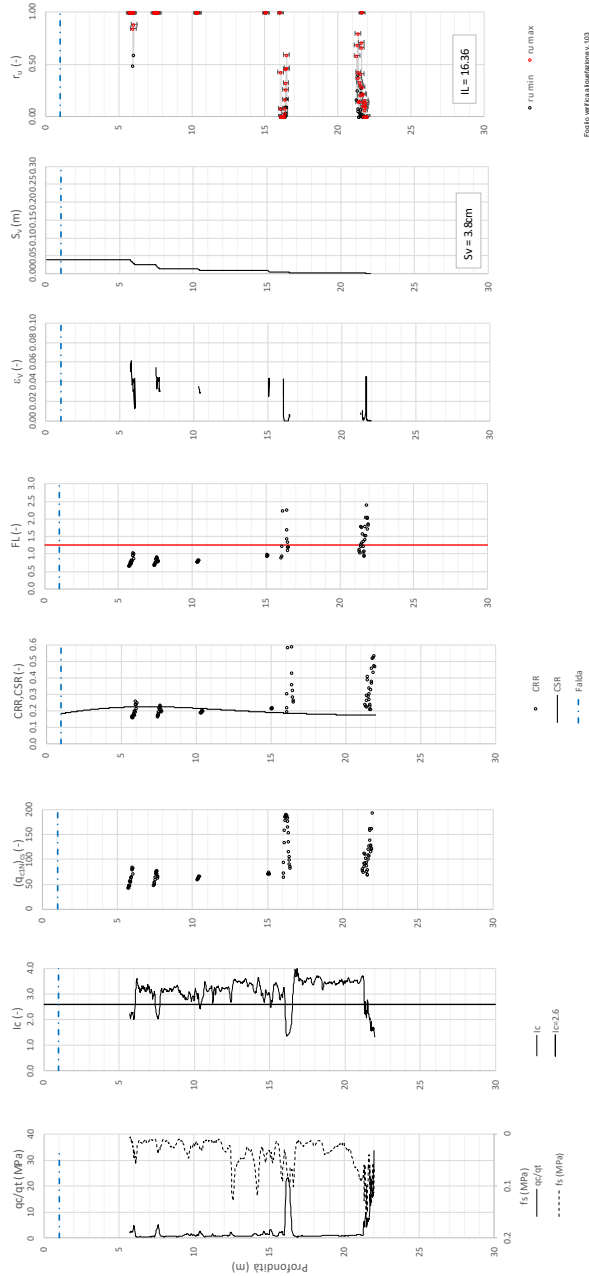


Figura 20 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU 88bis





Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI5900001A

Foglio  
41 di 128

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub. Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-37/12 Pr. 31-642  
 $a_{max} = 0.25g$ ,  $M_{crit} = 6.3$ ,  $MSF = 1.85$ , Metodo NCFER 1996 - 1998 - 2001  
 Altezza rilevato = 5m

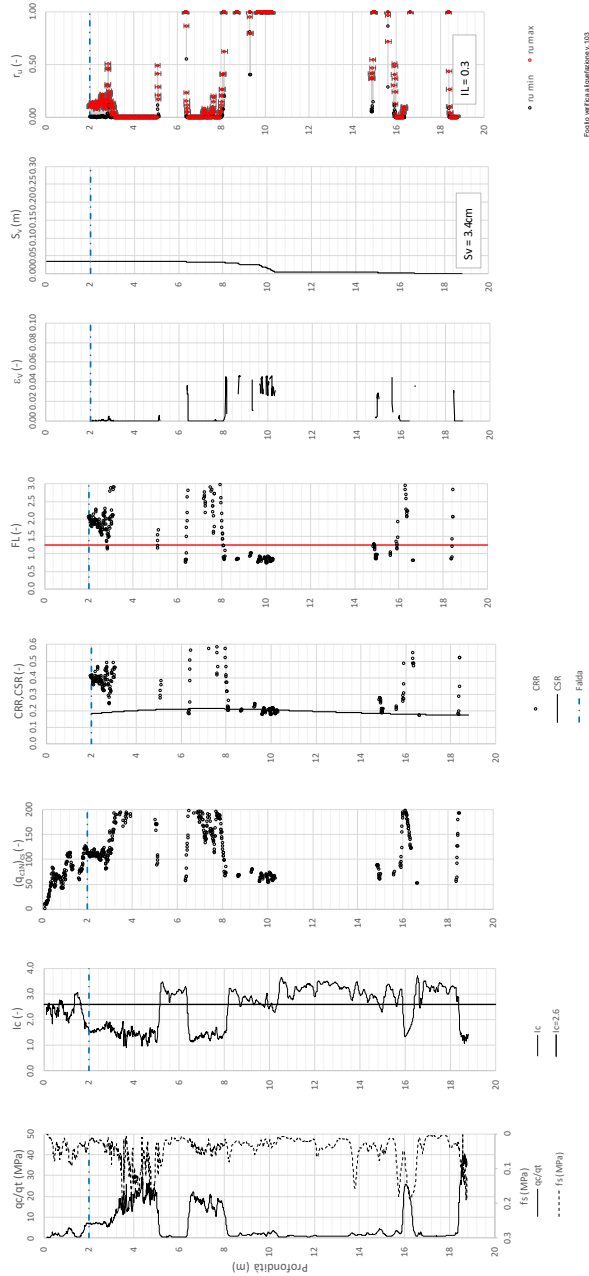


Figura 21 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU -PE 37/12

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 42 di 128

## 6 VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO FERROVIARIO

### 6.1 Premessa

Quanto qui di seguito esposto riguarda la parte di rilevato che va dalla dall'inizio della WBS fino alla pk 31+602. Per quanto concerne l'ultimo tratto di rilevato, si rimanda interamente alla relazione delle WBS attigua (RI60), per il dettaglio delle verifiche di Normativa.

### 6.2 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.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 43 di 128

### 6.2.1 Stati limite ultimi (SLU)

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

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

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

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

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

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 $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

dove:

$\gamma_{G1}$  coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;

$\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

$\gamma_Q$  coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;

$\gamma_{Qi}$  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 $\gamma_M$	(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	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 44 di 128

*Tabella 8 – Coefficienti parziali per verifiche di stabilità globale*

Coefficiente	<b>R2</b>
$\gamma_R$	1.1

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 45 di 128

### 6.2.2 Stati limite di esercizio (SLE)

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

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

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

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

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

### 6.2.3 Verifiche in condizioni sismiche

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 46 di 128

### 6.3 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.

#### 6.3.1 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/m<sup>3</sup>

Peso elementi in cls                            25 kN/m<sup>3</sup>

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.

#### 6.3.2 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 m<sup>2</sup> in totale).

#### 6.3.3 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

$\beta_s$                     coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa (v. Tabella 10)

$a_{\max}$                 accelerazione orizzontale massima attesa al sito (v. capitolo 5.1.6)

$g$                      accelerazione di gravità.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 47 di 128

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

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	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.

## 6.4 Verifiche e risultati SLU

### 6.4.1 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 2, secondo il metodo di Bishop modificato. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici caratteristici definiti in Tabella 2.

### 6.4.2 Verifiche SLU in condizione statiche

Il carico da traffico ferroviario (q) assunto pari a 61.4 kPa (cfr. par. 6.3.2) 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.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RBRI5900001A	Foglio 48 di 128

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

- Per le inclusioni (D = 800 mm, interasse 2 m)  
Td = 127 kN
- Per i pali di fondazione dei muri (D = 1200 mm, interasse 3.6 m)  
Td = 1280 kN

In Figura 22, sono riportate le superfici di rottura critiche. Il valore minimo di FS è pari a:

$$FS_{\text{MIN}} (\text{DA1C2}) = 1.43 > R2 = 1.1$$

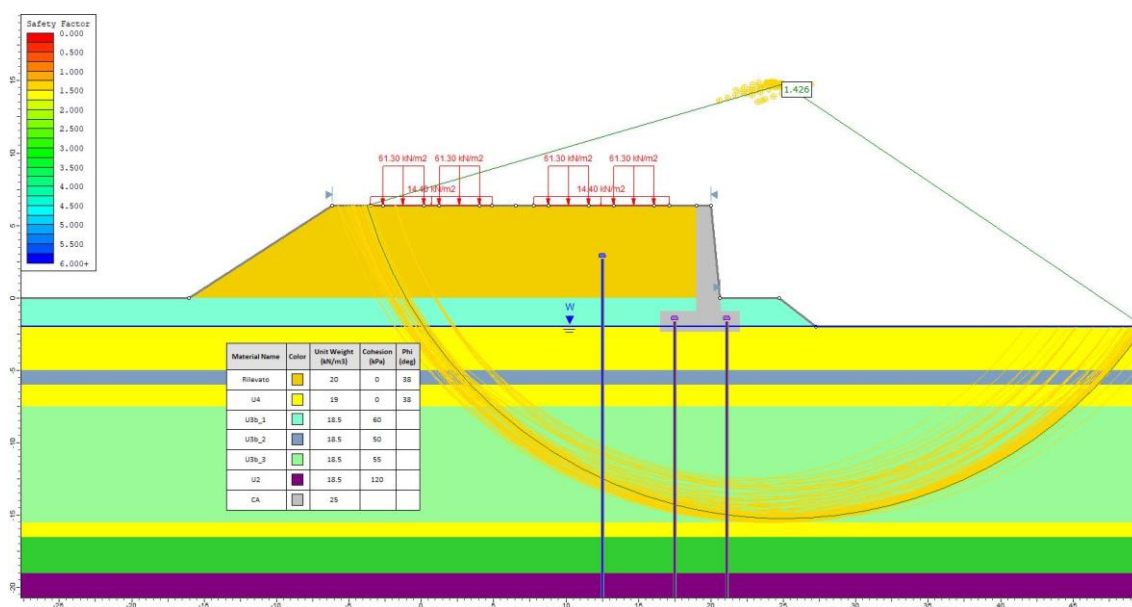


Figura 22 – Rilevato RI59 - Analisi SLU in campo statico DA1C2

**la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.**



GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 49 di 128

### 6.4.3 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 con il 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 23 sono riportate le superfici di rottura critiche. Il fattore di sicurezza FS è pari a:

$$FS_{MIN} = 1.23 > R2 = 1.1$$

**la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.**

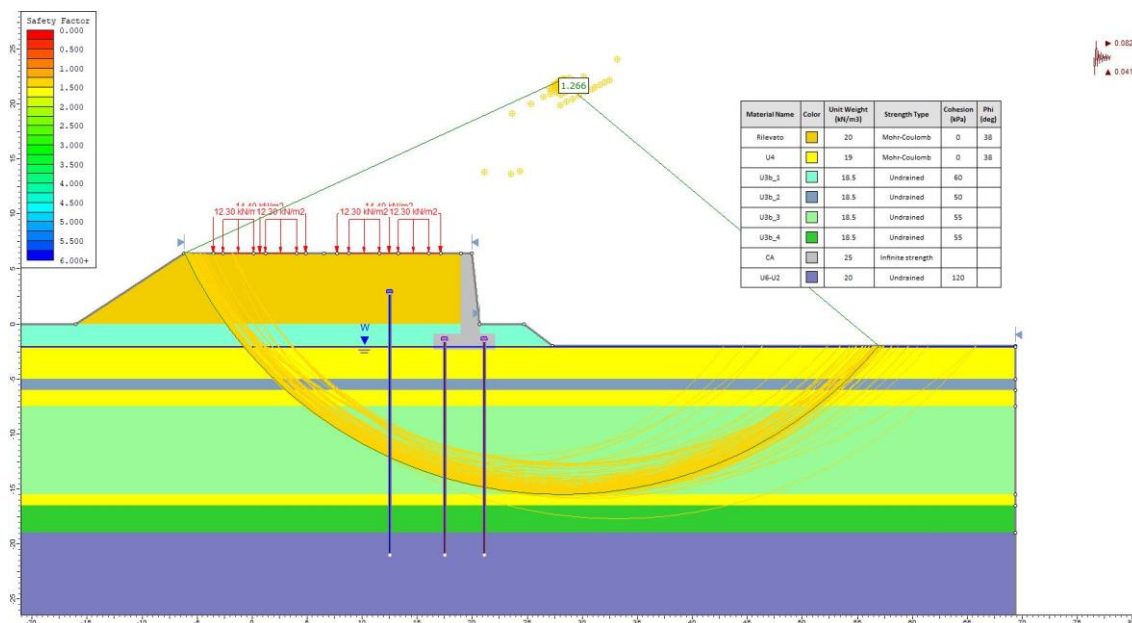


Figura 23 – Rilevato RI59 - Analisi SLU in campo sismico

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 50 di 128

## 6.5 Verifica e risultati SLE

### 6.5.1 Premessa e descrizione concettuale della soluzione

La quota parte di carico dovuto alla realizzazione del nuovo rilevato e non gravante sulla fondazione del muro di sostegno e la diffusa presenza di terreni a grana fine, mediamente compressibili, entro l'intero volume significativo per i cedimenti dell'opera, causerebbero lo sviluppo di abbassamenti e rotazioni non accettabili, né per il costruendo rilevato della linea AV, né per la Linea Storica, come già discusso nell'ambito del PD.

Pertanto, al fine di contenere i cedimenti, in particolare quelli sulla LS, lungo la scarpata del rilevato esistente ed a tergo del muro di sostegno si prevede la realizzazione di una fila di inclusioni rigide in calcestruzzo gettato in opera, aventi diametro 800 mm, interasse di 2.5 m e lunghezza tale da immorsarsi per 2 m nello strato ghiaioso.

### 6.5.2 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 impiegare materiali aventi rigidità dipendenti dal livello tensionale, differenti in condizioni di compressione vergine e di scarico e ricarico e funzione della pressione di pre-consolidazione stimata. Si forniscono di seguito alcuni richiami teorici del modello costitutivo.

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

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

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

dove:

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RBRI5900001A	Foglio 51 di 128

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

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

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

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

dove:

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

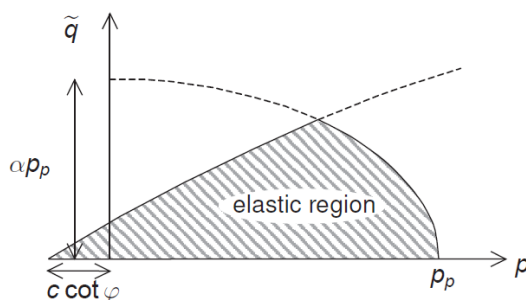


Figura 24 – Superficie di snervamento del modello Hardening Soil nel piano  $q$ - $p'$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI590001A	Foglio 52 di 128

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 1000mm, interasse pari a 3.0 m e la loro lunghezza consentirà un sufficiente approfondimento negli strati caratterizzati da resistenze alla punta maggiori (si rimanda alla relazione di calcolo dedicata per maggiori informazioni). Le inclusioni rigide avranno diametro di 800mm e interasse 2.5 m. In entrambi i casi, gli elementi sono dotati di componenti d'interfaccia integrate, che definiscono l'interazione tra terreno e struttura sulla base delle tensioni massime sviluppabili lungo il fusto ed alla base delle inclusioni, definite secondo la metodologia discussa nel capitolo 7.

Per l'analisi delle deformazioni durante le fasi di scavo e realizzazione del muro di sostegno, si faccia riferimento alla relazione di calcolo delle paratie provvisionali di RI59.

Il modello di calcolo è riportato in Figura 25. La geometria è quella anticipata al punto 3, per una descrizione dettagliata si faccia riferimento alle tavole di progetto.

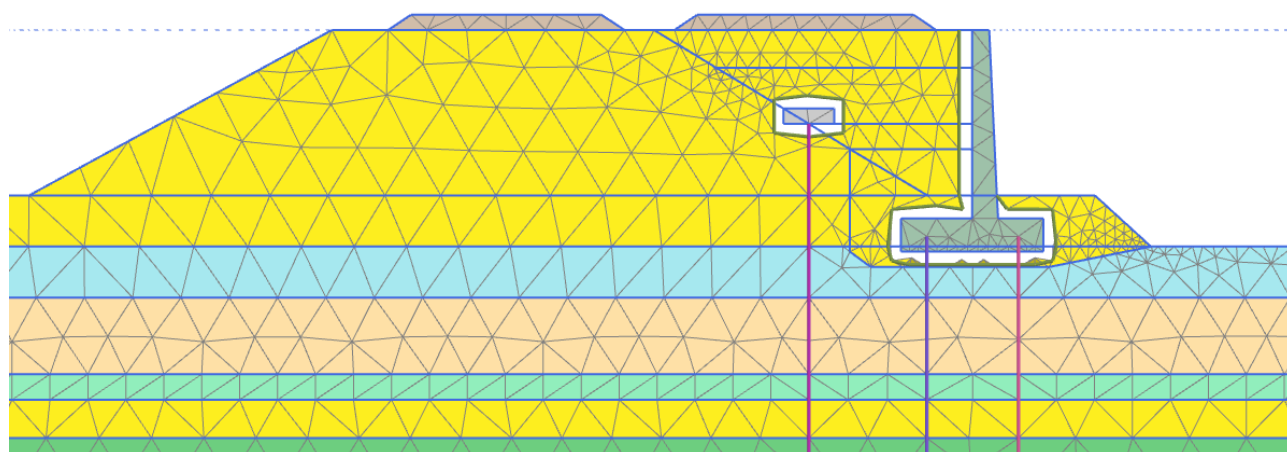


Figura 25 – RI59: modello agli elementi finiti

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 53 di 128

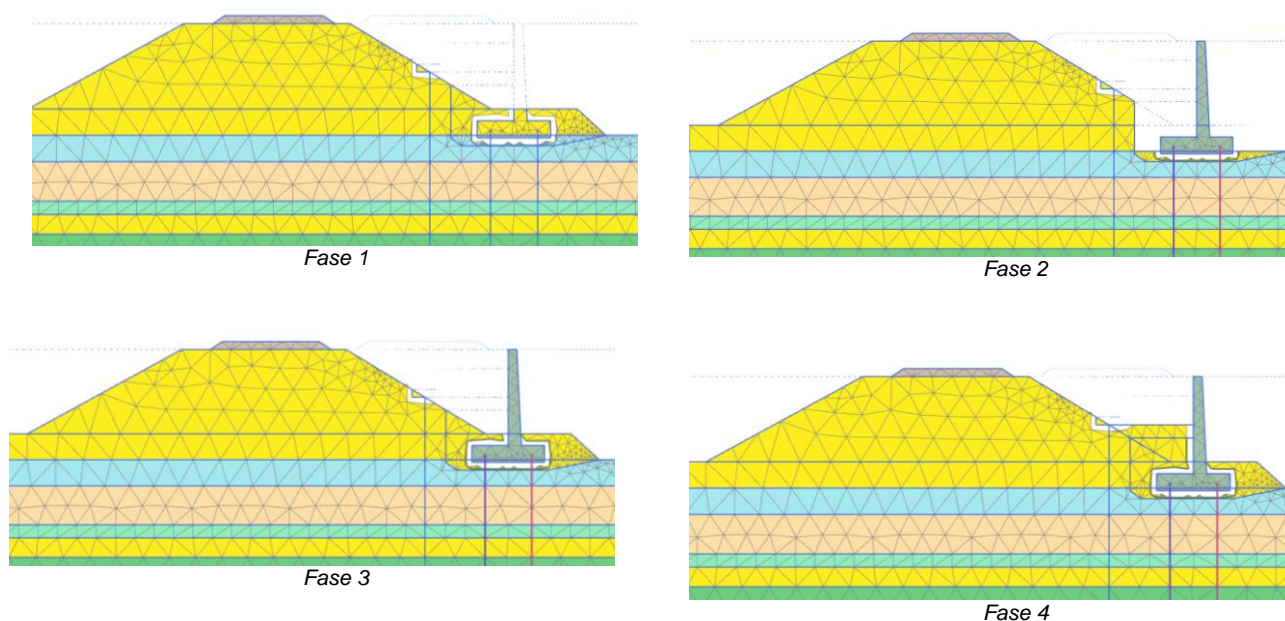
L'analisi numerica è stata condotta con riferimento alla sequenza costruttiva prevista per i rilevati ferroviari in presenza di consolidamenti. Le fasi sono illustrate in Figura 26, per tutti i dettagli si rimanda all' ALLEGATO 5.

Più in particolare:

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

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

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



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

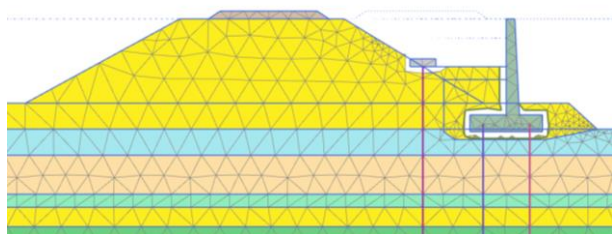
Foglio

IN17

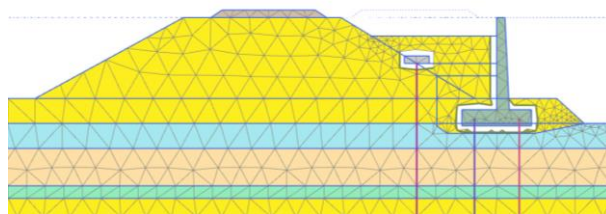
12

EI2RBRI5900001A

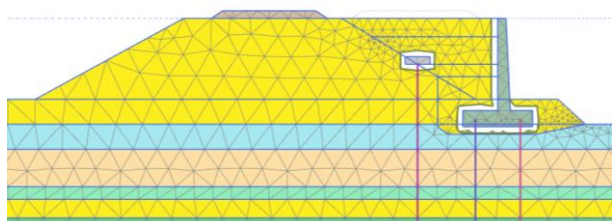
54 di 128



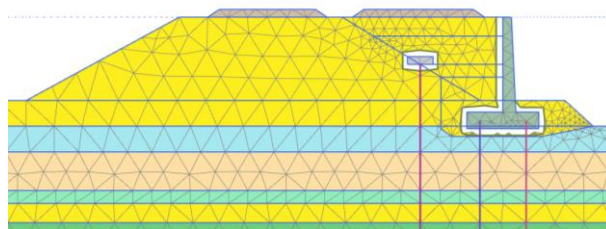
Fase 5



Fase 6



Fase 7 e Fase 8



Fase 9 e Fase 10

Figura 26 – RI59: fasi della modellazione a elementi finiti

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 55 di 128

I risultati dell'analisi sono riportati in Figura 27, Figura 28, Figura 29, Figura 30, Figura 31 e Figura 32. In particolare:

- I cedimenti totali del rilevato in progetto, determinati a partire dall'inizio della costruzione dello stesso risultano compresi tra poco più di 3.0 cm e poco più di 6 cm.
- In corrispondenza dei binari della Linea AV, i cedimenti residui calcolati a far data dal completamento del ballast, 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 poco meno di 1 cm. Ciò viene evidenziato sia in Figura 28 e Figura 29, e anche in Figura 32.
- I cedimenti della Linea Storica, mostrati in Figura 30 e Figura 31 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 1.5 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.**

<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 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI5900001A</p>	<p>Foglio 56 di 128</p>

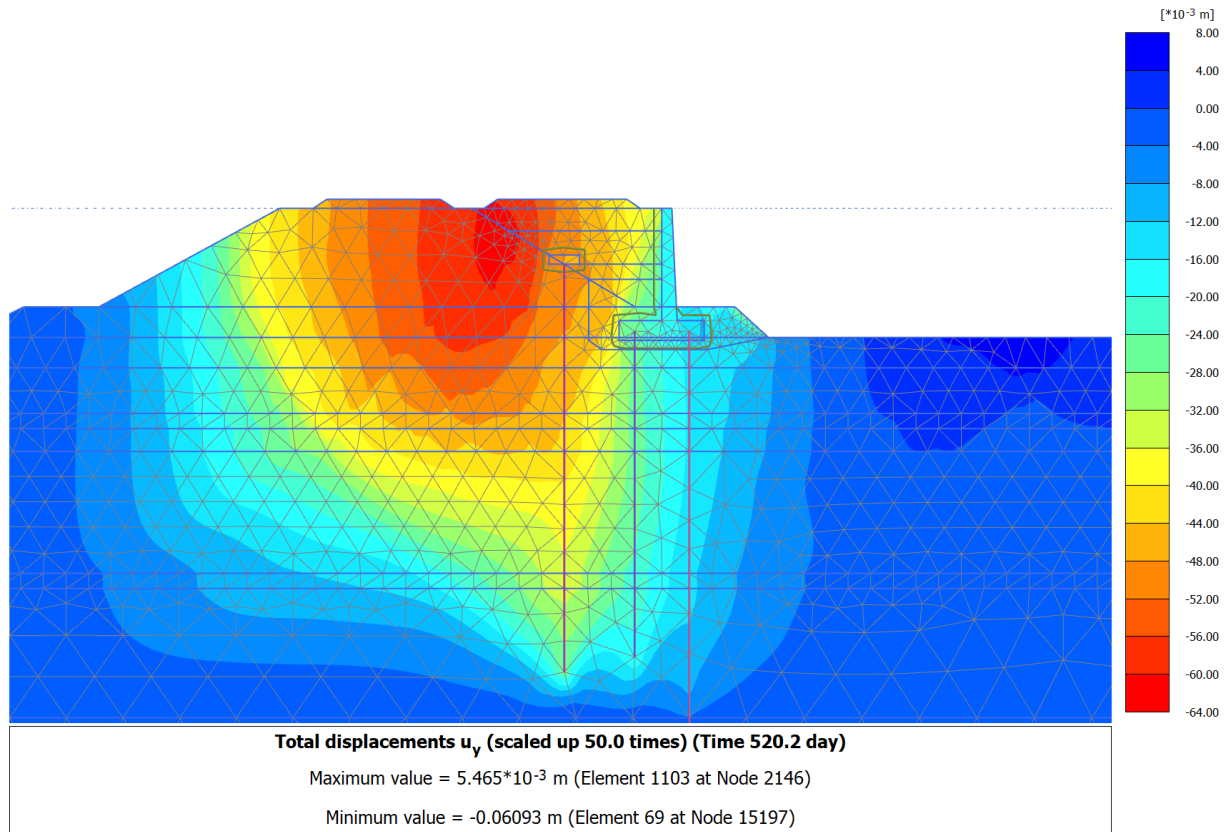
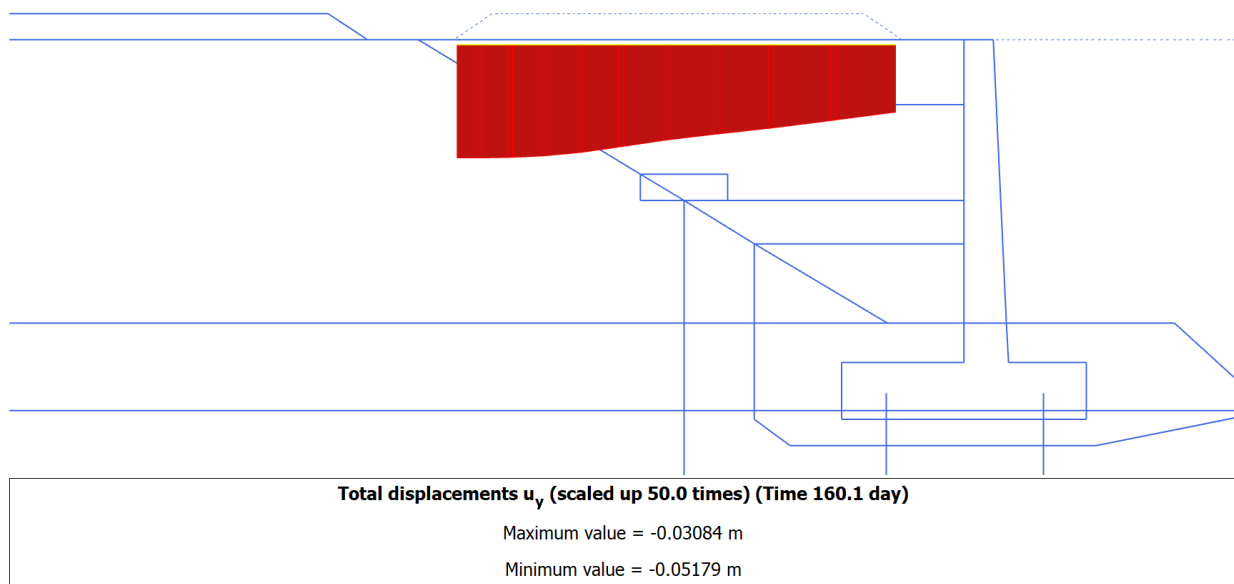


Figura 27 – RI 59: Cedimenti totali al termine della costruzione del rilevato ferroviario AV



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 57 di 128



*Figura 28 – RI 59: Cedimenti totali prima della posa del ballast*

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 58 di 128

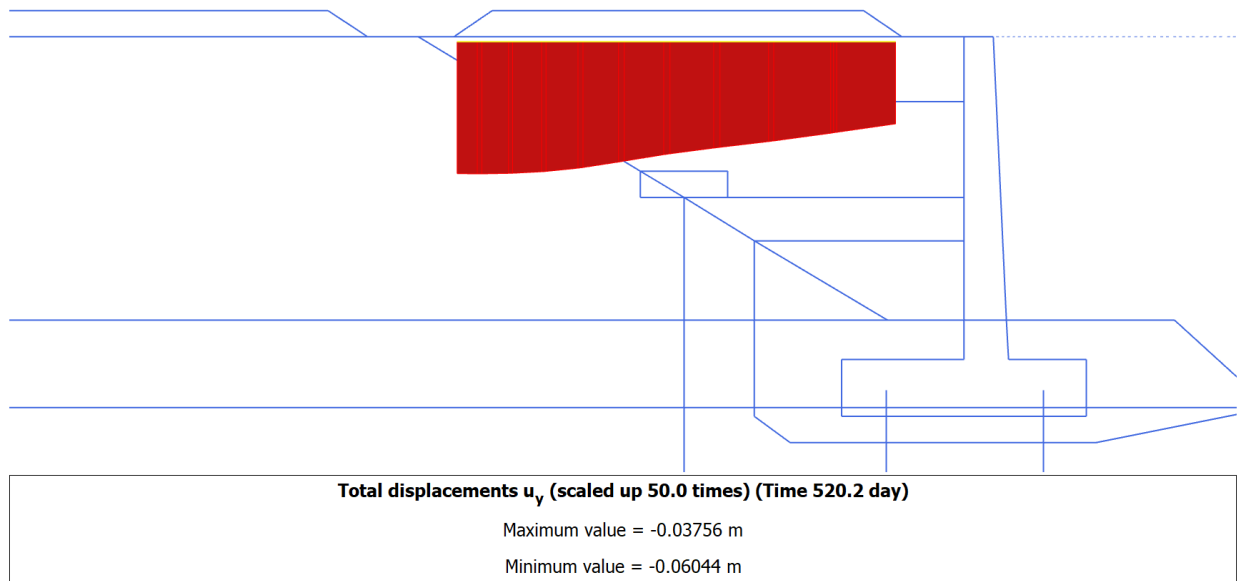
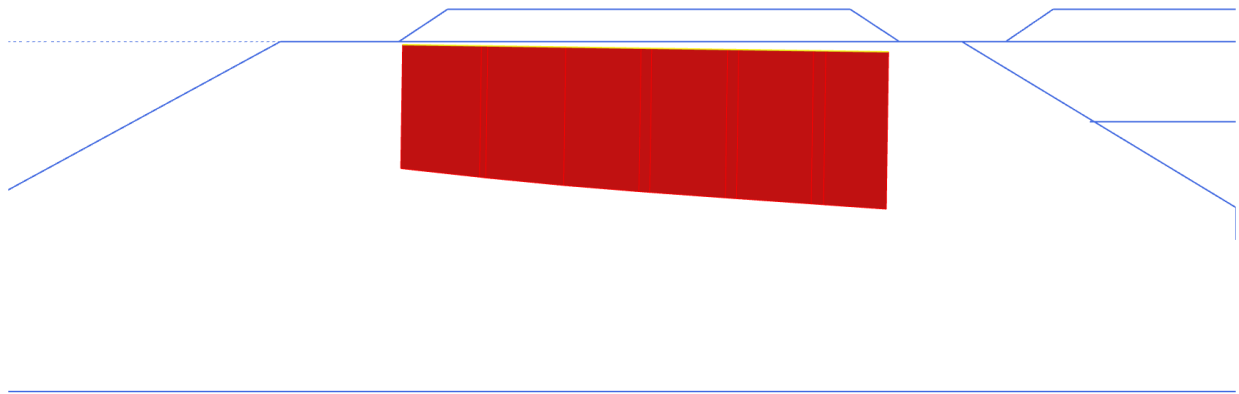


Figura 29 – RI 59: Cedimenti totali di lungo termine: al termine della consolidazione

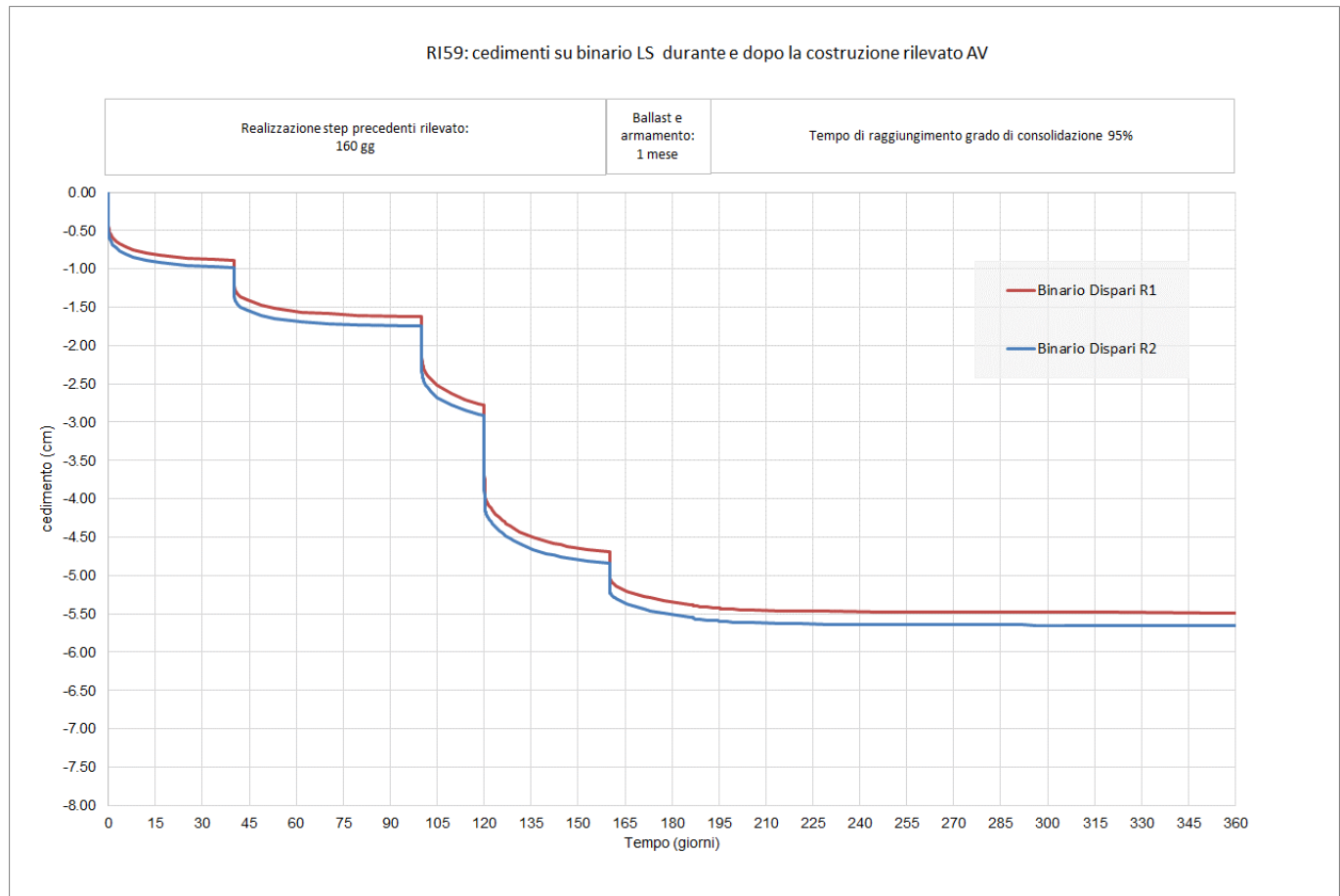
GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 59 di 128



<p style="text-align: center;"><b>Total displacements <math>u_y</math> (scaled up 50.0 times) (Time 520.2 day)</b></p> <p style="text-align: center;">Maximum value = -0.04591 m</p> <p style="text-align: center;">Minimum value = -0.05829 m</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

*Figura 30 – RI 59: Cedimenti totali sui binari della linea storica di lungo termine*

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 60 di 128



*Figura 31 – RI 59: Sviluppo nel tempo dei cedimenti totali sul Binario Dispari della Linea Storica  
cedimento differenziale tra le rotaie  $\Delta u_y = 1.5 \text{ mm}$*

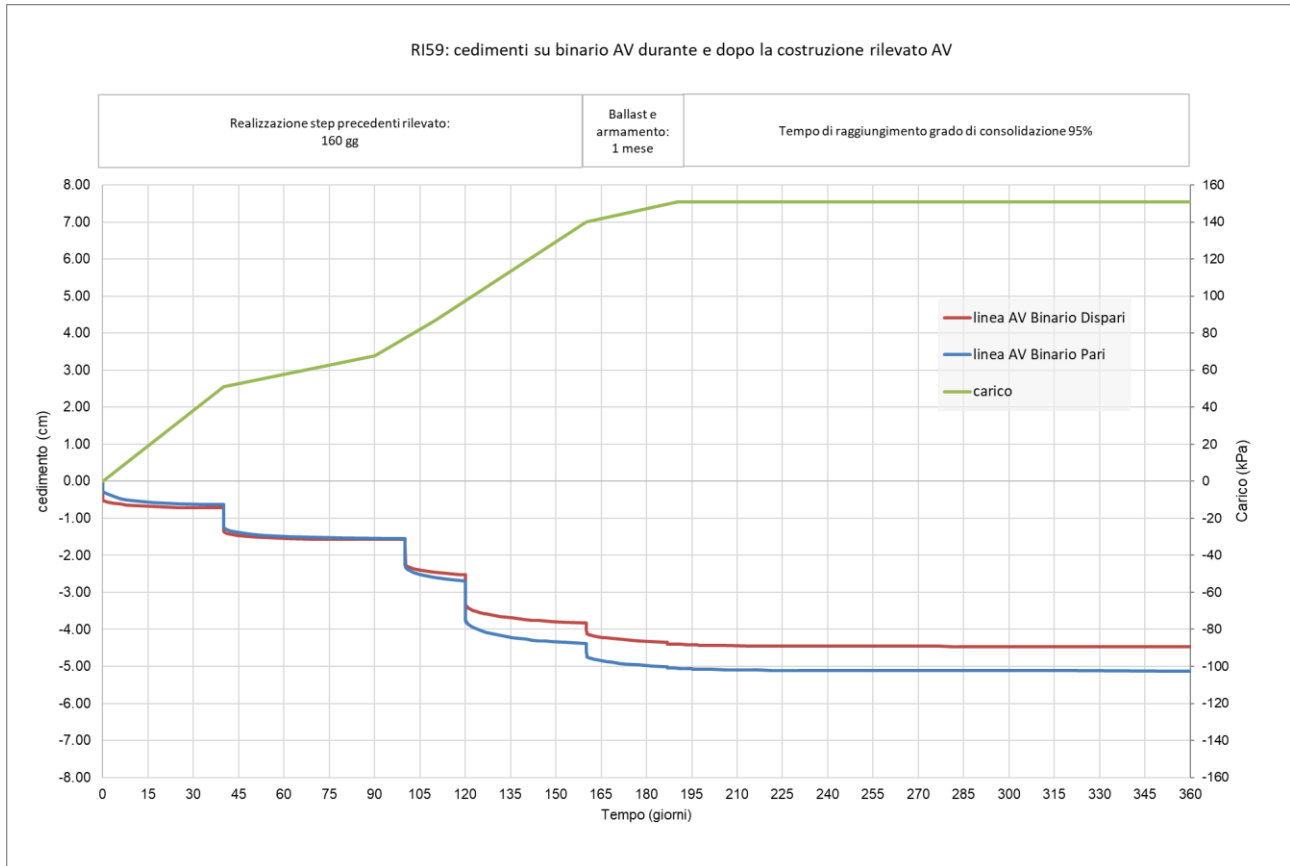



Figura 32 – RI 59: Sviluppo nel tempo dei cedimenti totali alla base del rilevato di progetto (linee rossa e blu) in funzione del carico alla base del rilevato (linea verde)

Cedimento a partire dalla realizzazione del ballast:  $\Delta u_y = 7 \text{ mm}$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 62 di 128

## 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;

$\gamma_R$  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  $\gamma_R$  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  $\xi_3$  e  $\xi_4$  (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  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RBRI5900001A	Foglio 63 di 128

I valori di  $\xi_3$  e  $\xi_4$  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 <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_G$	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 <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	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 <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 <sup>(5)</sup>	0,20 <sup>(5)</sup>
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(6)</sup>	1,00 <sup>(7)</sup>	1,00	1,00	1,00

Tabella 12 – Tab. 6.4.II, NTC 2008

Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  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	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale <sup>(*)</sup>	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

<sup>(\*)</sup> 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  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali d'indagine

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	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 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 64 di 128

## 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,
- $\tau_i$  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 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 65 di 128

### 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.

$\alpha$  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:

$\sigma'_{v0}$  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  $\beta$  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:

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

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

$\sigma'_{v0}$  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  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 66 di 128

### 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 33).

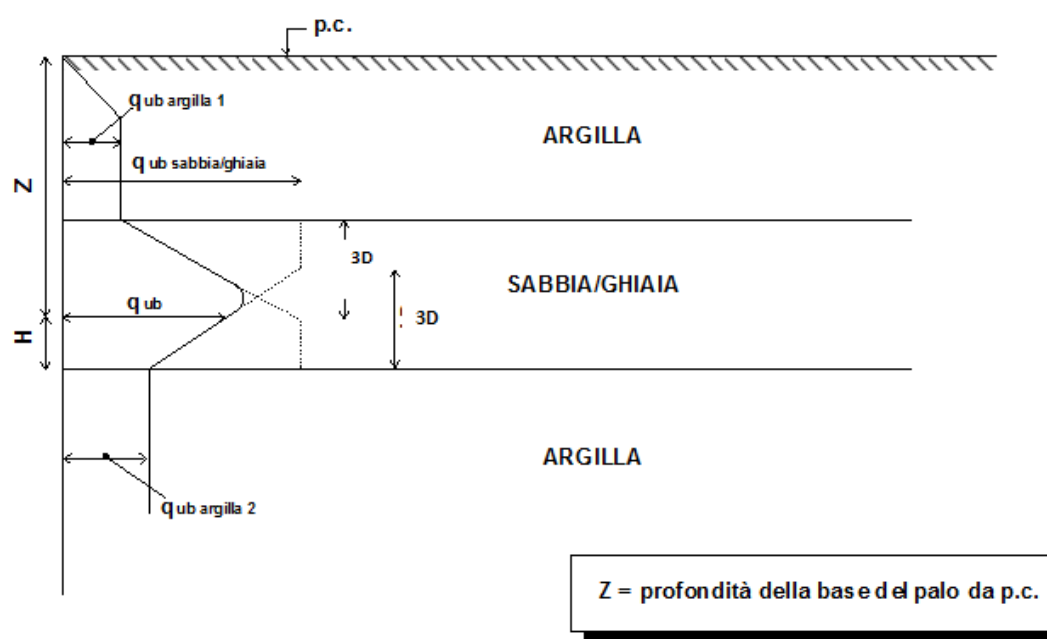


Figura 33 - Criterio di valutazione della pressione ultima di base ( $q_{ub}$ ) in terreni stratificati

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 67 di 128

### 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 31+390,00 a pk 31+663,00*

Unità	da m pc*	a m pc*	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\varphi_k$ °	$c'_k$ kPa	$c_{u,k}$ kPa	$E'_{op}$ MPa	$Q_{b,cr}$ (kPa)	$E_h$ (kPa)	$k_h$ (kN/m <sup>3</sup> )
Argilla (3b)	0	2	18.5	-	-	60	-	-	24000	-
Sabbia (4)	2	5	19	38	-	-	50	1500	$k_h \cdot z$	15000
Argilla (3b)	5	6	18.5	-	-	50	-	-	20000	-
Sabbia (4)	6	7.5	19	38	-	-	40	1500	$k_h \cdot z$	15000
Argilla (3b)	7.5	15.5	18.5	-	-	55	-	-	22000	-
Sabbia (4)	15.5	16.5	19	38	-	-	60	2000	$k_h \cdot z$	15000
Argilla (3b)	16.5	19	18.5	-	-	55	-	-	22000	-
Argille (2)	19	inf	19	-	-	200	150	1800	48000	-

\* quota piano campagna = 40.8 m s.l.m.

quota imposta muro = quota testa pali = 39.2 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/m<sup>3</sup>, per terreni addensati (ghiaie dell'unità 6).

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 68 di 128

## 7.4 Risultati

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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI5900001A

Foglio

69 di 128

Lpalo m	CARICO LIMITE ULTIMO			CURVE SLU				
	$Q_{b,lim}$ kN	$Q_{b,cr}$ kN	$Q_{t(0,3m)}$ kN	$Q_{t,c,d}$ kN	$Q_{t,r,d}$ kN	$Q_{b,d}$ kN	$Q_{t,c,d}$ kN	$Q_{t,r,d}$ kN
0.00	0	611	611	0	0	338	338	0
0.50	56	611	663	36	33	338	370	36
1.00	103	847	943	67	61	468	526	68
1.50	152	1083	1224	99	91	599	684	101
2.00	208	1318	1513	135	124	729	845	138
2.50	272	1049	1803	177	162	580	733	179
3.00	342	779	1100	222	204	431	626	224
3.50	411	509	896	267	245	281	516	269
4.00	469	509	951	304	280	281	549	307
4.50	530	509	1009	344	316	281	583	347
5.00	613	759	1338	398	366	420	771	400
5.50	709	1010	1682	460	423	558	968	460
6.00	799	560	1318	518	477	310	773	518
6.50	867	560	1383	563	518	310	813	562
7.00	924	560	1436	600	552	310	844	600
7.50	981	560	1490	637	586	310	877	637
8.00	1038	560	1544	674	620	310	910	674
8.50	1095	560	1597	711	654	310	942	712
9.00	1152	560	1651	748	688	310	975	749
9.50	1209	560	1705	785	722	310	1008	786
10.00	1266	560	1758	822	756	310	1039	824
10.50	1323	560	1812	859	790	310	1072	861
11.00	1380	560	1865	896	824	310	1104	899
11.50	1437	560	1919	933	858	310	1137	936
12.00	1494	560	1973	970	892	310	1170	973
12.50	1551	560	2026	1006	926	310	1201	1011
13.00	1608	560	2080	1043	960	310	1234	1048
13.50	1665	560	2134	1080	994	310	1266	1086
14.00	1742	560	2207	1130	1040	310	1312	1135
14.50	1858	803	2563	1206	1109	444	1517	1207
15.00	1976	560	2434	1282	1180	310	1454	1282
15.50	2057	560	2512	1335	1228	310	1503	1333
16.00	2122	560	2573	1377	1267	310	1539	1376
16.50	2189	560	2636	1421	1307	310	1579	1419
17.00	2257	560	2702	1465	1347	310	1619	1462
17.50	2348	560	2789	1524	1402	310	1673	1521
18.00	2483	698	3059	1611	1482	386	1832	1604
18.50	2638	836	3349	1712	1575	462	2004	1701
19.00	2794	974	3639	1813	1668	538	2177	1797
19.50	2949	1112	3929	1914	1761	615	2350	1893
20.00	3105	1251	4220	2015	1854	692	2523	1990
20.50	3260	1389	4510	2116	1946	768	2696	2085
21.00	3416	1527	4800	2217	2039	844	2868	2182
21.50	3571	1527	4952	2317	2132	844	2964	2278
22.00	3727	1527	5104	2419	2225	844	3062	2374
22.50	3882	1527	5257	2519	2318	844	3157	2471
23.00	4038	1527	5409	2620	2411	844	3254	2567
23.50	4202	1527	5569	2727	2509	844	3356	2668
24.00	4382	1600	5819	2844	2616	884	3508	2779
24.50	4570	1672	6076	2966	2728	924	3666	2894
25.00	4759	1745	6334	3088	2841	965	3823	3011
25.50	4947	1818	6592	3210	2953	1005	3982	3126
26.00	5136	1890	6850	3333	3066	1045	4140	3242
26.50	5324	1963	7108	3455	3179	1085	4297	3359
27.00	5513	2036	7365	3578	3291	1125	4456	3474
27.50	5701	2036	7551	3700	3404	1125	4573	3591
28.00	5890	2036	7736	3822	3516	1125	4691	3706
28.50	6078	2036	7921	3944	3629	1125	4809	3822
29.00	6267	2036	8106	4067	3741	1125	4926	3938
29.50	6455	2036	8291	4189	3854	1125	5044	4054
30.00	6644	2036	8476	4311	3967	1125	5162	4171
30.50	6832	2036	8661	4433	4079	1125	5280	4286
31.00	7021	2036	8846	4556	4192	1125	5398	4402
31.50	7209	2036	9031	4678	4304	1125	5515	4518
32.00	7398	2036	9216	4801	4417	1125	5633	4634
32.50	7586	2036	9402	4923	4529	1125	5750	4750
33.00	7775	2036	9587	5045	4642	1125	5869	4866
33.50	7963	2036	9772	5167	4754	1125	5986	4981
34.00	8152	2036	9957	5290	4867	1125	6104	5098
34.50	8340	2036	10142	5412	4979	1125	6222	5213
35.00	8529	2036	10327	5535	5092	1125	6339	5330
35.50	8717	2036	10512	5657	5204	1125	6457	5445
36.00	8906	2036	10697	5779	5317	1125	6575	5561
36.50	9094	2036	10882	5901	5429	1125	6692	5677
37.00	9283	2036	11067	6024	5542	1125	6811	5793
37.50	9471	2036	11253	6146	5654	1125	6929	5908
38.00	9660	2036	11438	6269	5767	1125	7046	6025
38.50	9848	2036	11623	6391	5879	1125	7164	6140
39.00	10037	2036	11808	6513	5992	1125	7281	6257
39.50	10225	2036	11993	6635	6104	1125	7399	6372
40.00	10414	2036	12178	6758	6217	1125	7518	6488
40.50	10602	2036	12363	6880	6330	1125	7634	6605
41.00	10791	2036	12548	7003	6442	1125	7753	6720
41.50	10979	2036	12733	7125	6555	1125	7869	6837
42.00	11168	2036	12919	7247	6667	1125	7988	6952
42.50	11356	2036	13104	7369	6780	1125	8106	7068
43.00	11545	2036	13289	7492	6893	1125	8223	7185
43.50	11733	2036	13474	7614	7005	1125	8341	7300

Figura 34 – Riassunto curve di capacità portante SLU per pali D=1000 mm

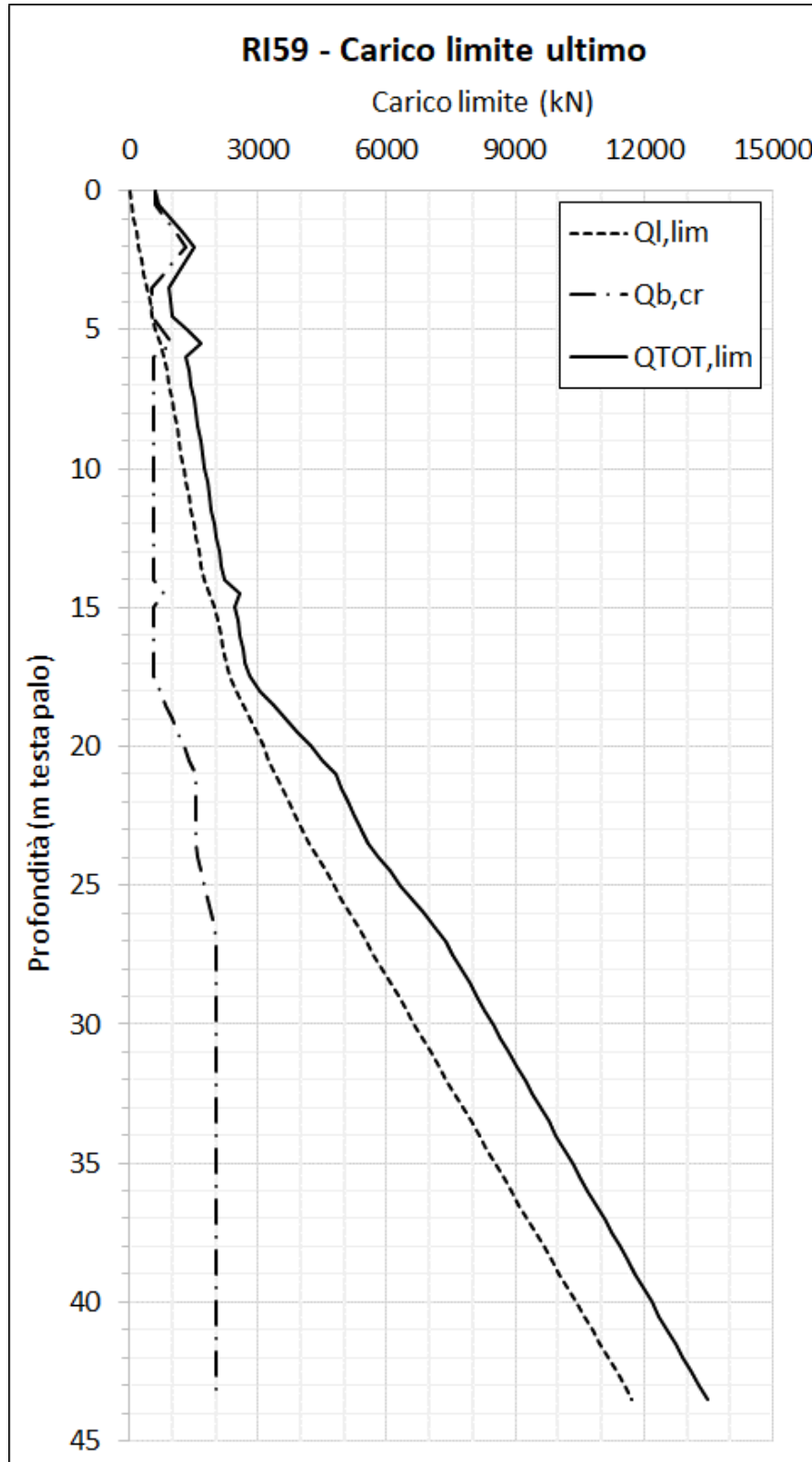


Figura 35 – Curve di Carico Limite Ultimo per pali  $D=1000$  mm

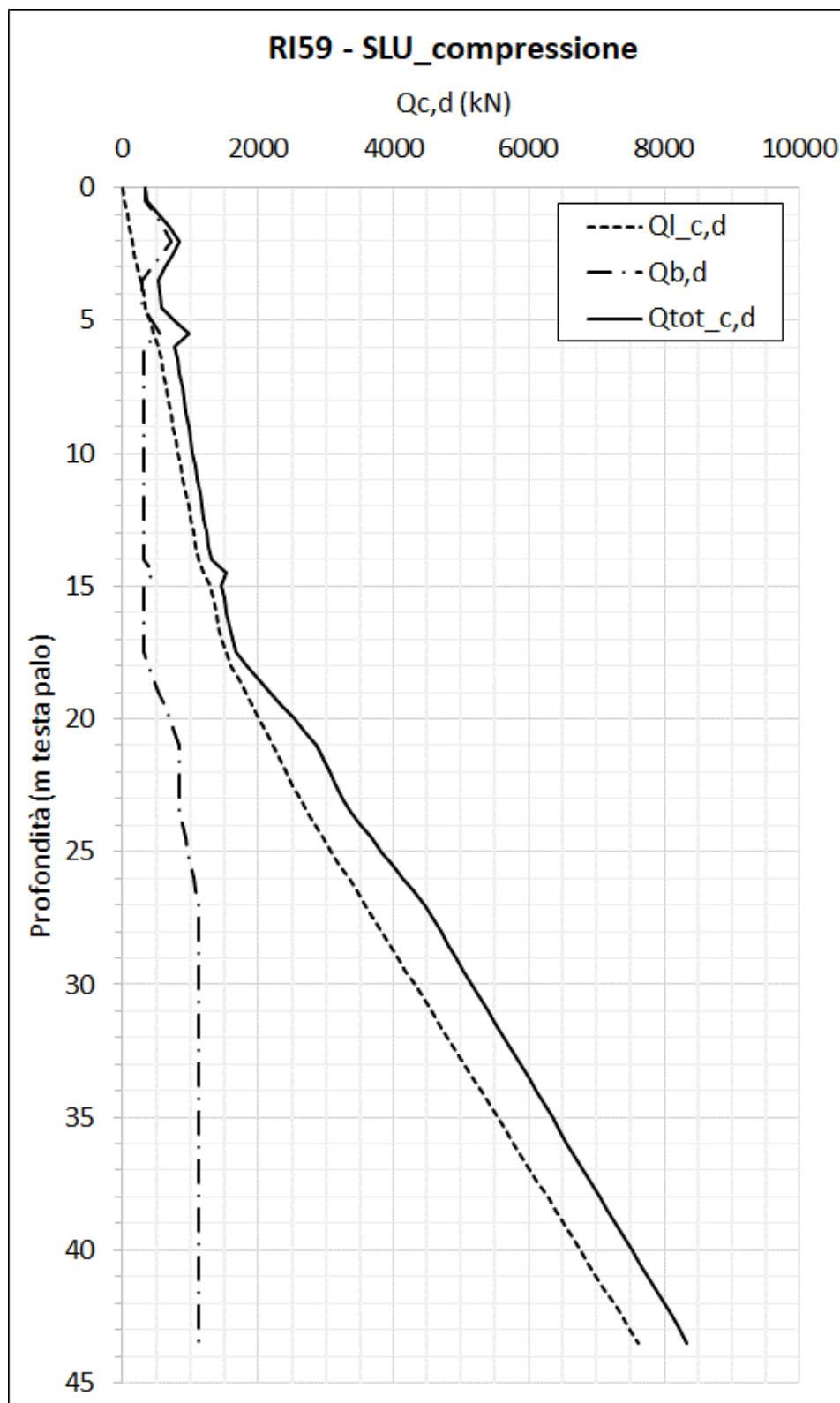


Figura 36 – Curve di capacità portante SLU, compressione per pali  $D=1000$  mm

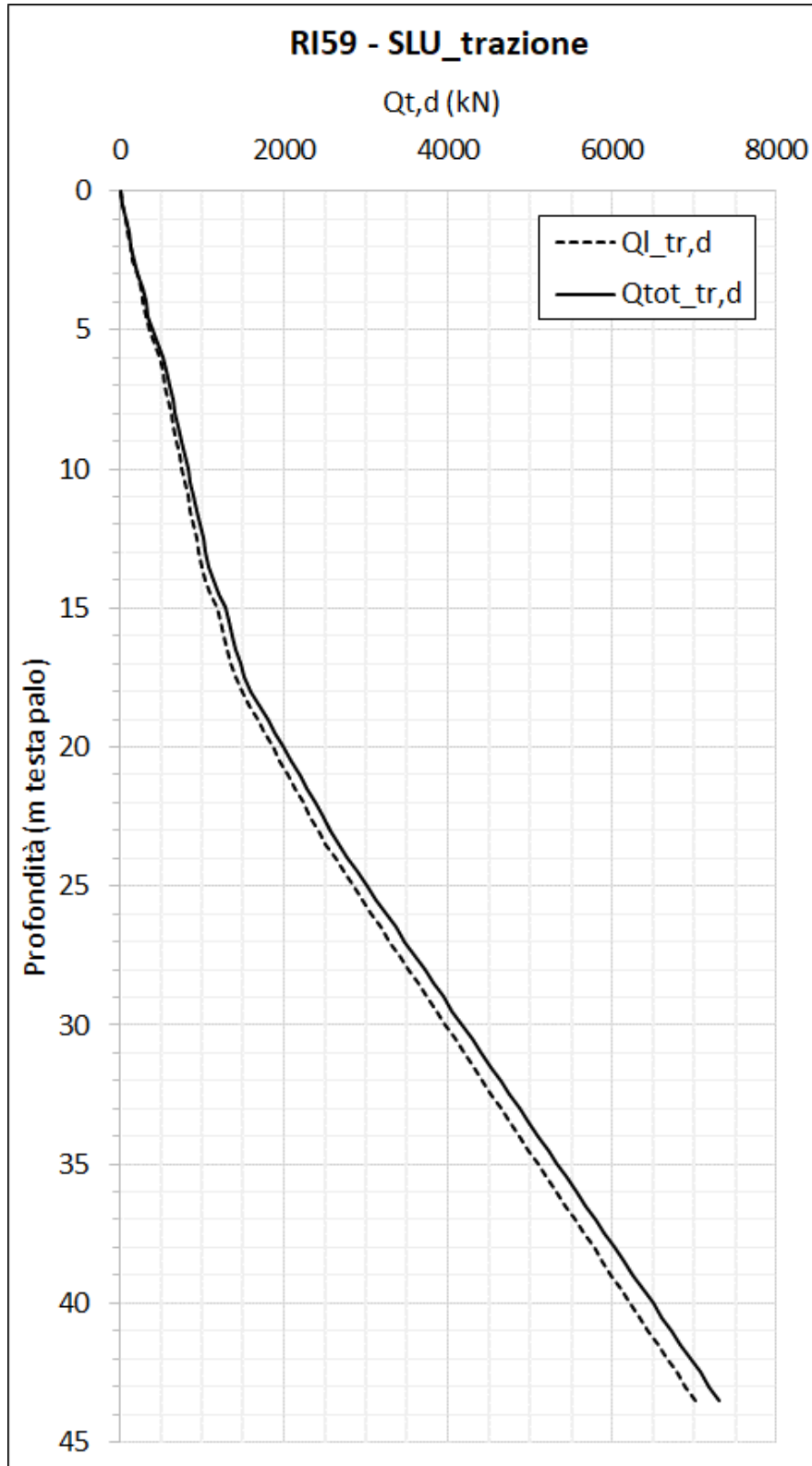


Figura 37 – Curve di capacità portante SLU, trazione per pali D=1000 mm



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 73 di 128

## 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 [1]).

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:

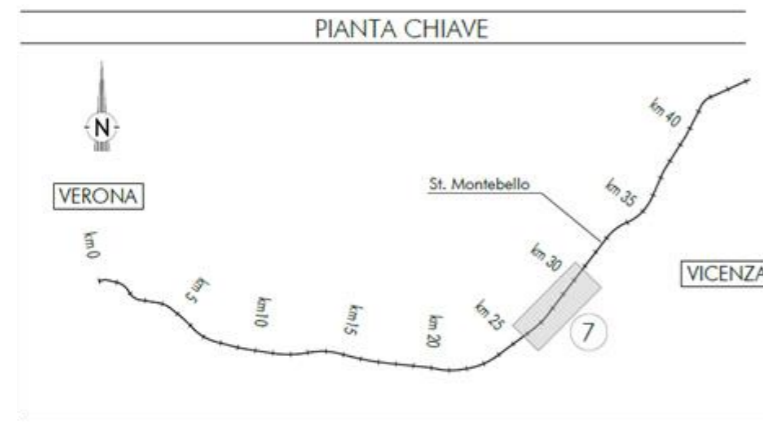
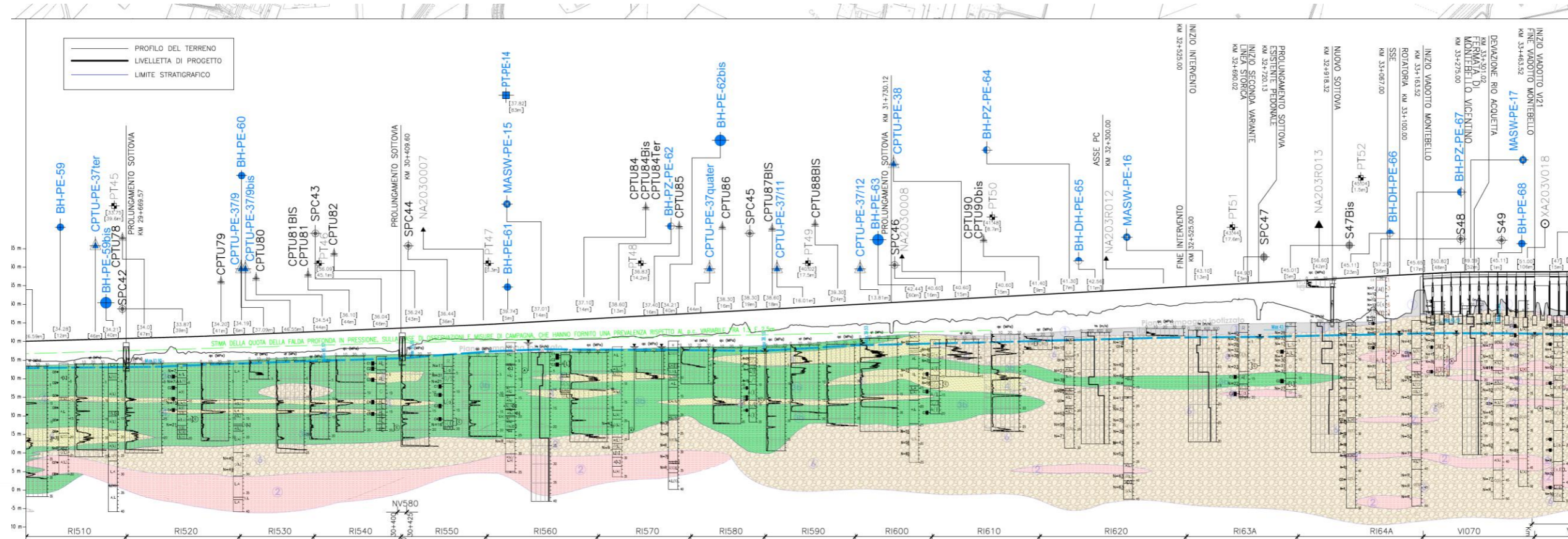
1. Si raccomanda di eseguire prove tecnologiche preliminari di realizzazione dei pali e/o delle inclusioni rigide nell'area di interesse, volte a valutare la effettiva problematica di prevalenza della falda nello strato inferiore di ghiaie e sabbie, nel quale entrambi debbono essere immorsati.
2. Si raccomanda altresì di additivare opportunamente i fanghi di perforazione in modo da pervenire a pesi dell'ordine di 1.1 t/m<sup>3</sup>. 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><b>IRICAV2</b></p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica E12RBRI5900001A</p>	<p>Foglio 74 di 128</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 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica E12RBRI5900001A</p>	<p>Foglio 75 di 128</p>

**ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO**



- LEGENDA**
- Campagna indagini integrative PE**
- BH-PE- $\bullet$  Sondaggio a carotaggio continuo
  - BH-DH-PE- $\bullet$  Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande
  - MASW-PE- $\bullet$  Indagini MSW
  - CPTU-PE- $\blacktriangle$  Prova penetrometrica statica con piezometro
- Campagna indagini 2018 per CDS**
- SP Sondaggio geognostico
- Campagna indagini 2015**
- PI+P15, P200 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)
  - SPC Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - CPTU Prova penetrometrica statica con piezometro (possibilità di avanzamento con trivellazione)
  - CPTU Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"
  - DH Foro a distribuzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
  - PT Pezzetto esplorativo a 1.5 m da p.c. con prove di carico su piastra
  - Profondità delle indagini
- Indagini orientali**
- PE-PE- $\bullet$  Pezzetto esplorativo
  - BH-DH-PE- $\bullet$  Sondaggio con esecuzione di prova down hole
  - CH-PE- $\bullet$  Sondaggio con esecuzione di prova cross hole
- NOTE**
- Nota per PE in blu le indagini disponibili e con coordinate certe, in rosso indagini ancora non disponibili o con coordinate non note

- Campagna indagini pregresse**
- SA333020 Sondaggio geognostico (campagna 1998)
  - SA333020 Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
  - CPTU30001 CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
  - SA333020 Pozzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (VI) per gentile concessione Centro Idrico Novoledo s.r.l.)
- Asse di progetto**
- 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 sovracconsolidati | 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                                                            |   |                                                                                                          |
- confine di Provincia** (green line)  
**Confine Comunale** (dotted line)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p><b>IRICAV2</b></p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica E12RBRI5900001A</p>	<p>Foglio 77 di 128</p>

## ALLEGATO 2– INDAGINI GEOGNOSTICHE



Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
E12RBRI5900001A

Foglio  
78 di 128

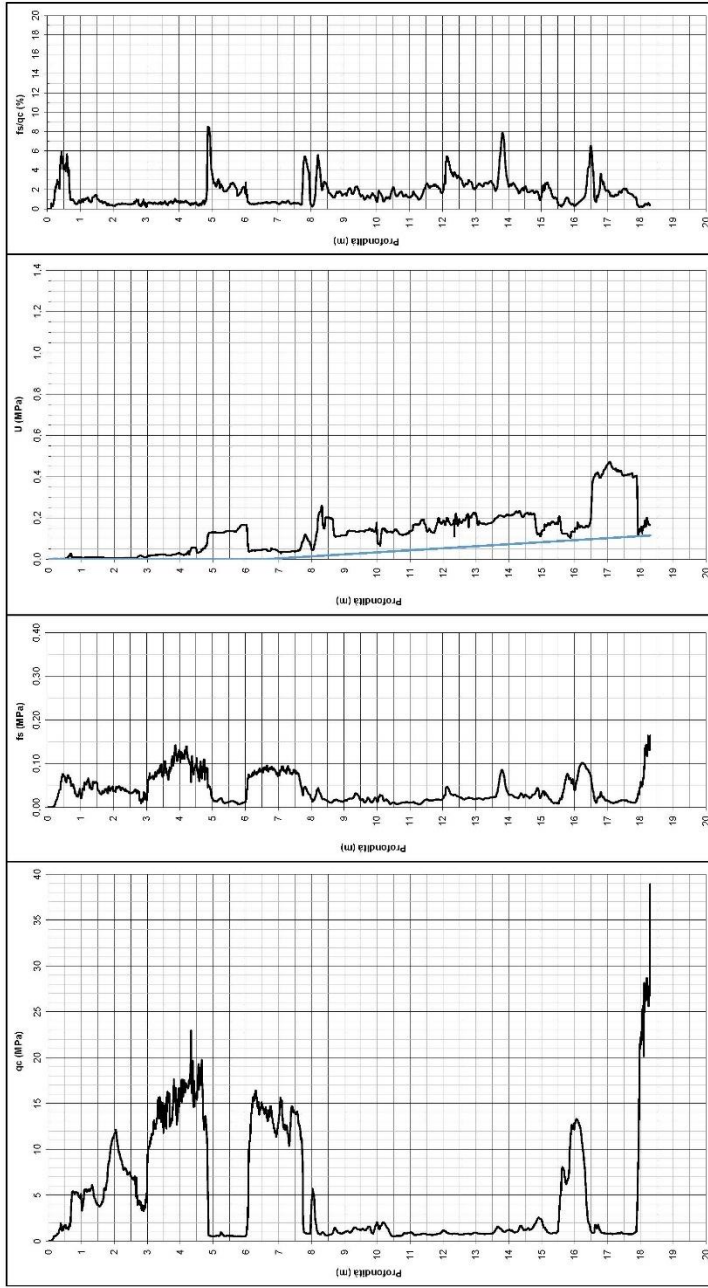
PROVA PENETROMETRICA STATICA CPTU



Pagina 1 di 1

Punta Mjk497 Quota inizio indagine m.s.l.m. Preforo m da p.c.  
Profondità prova 18,30 m da p.c. Livello acqua 6,55 m da p.c.  
Coordinate WGS84 X 45°24.1207' N Y 11°19.5710' E

COMMITTENTE Consorzio Iricav Due  
CANTIERE Linea AV/AC Verona - Padova 1 lotto Funzionale Verona - Bivio Vicenza  
PROVA CPTU-RE37/11 DATA 28/05/2021 RESPONSABILE Dott. Geol. Paolo Greggio





Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

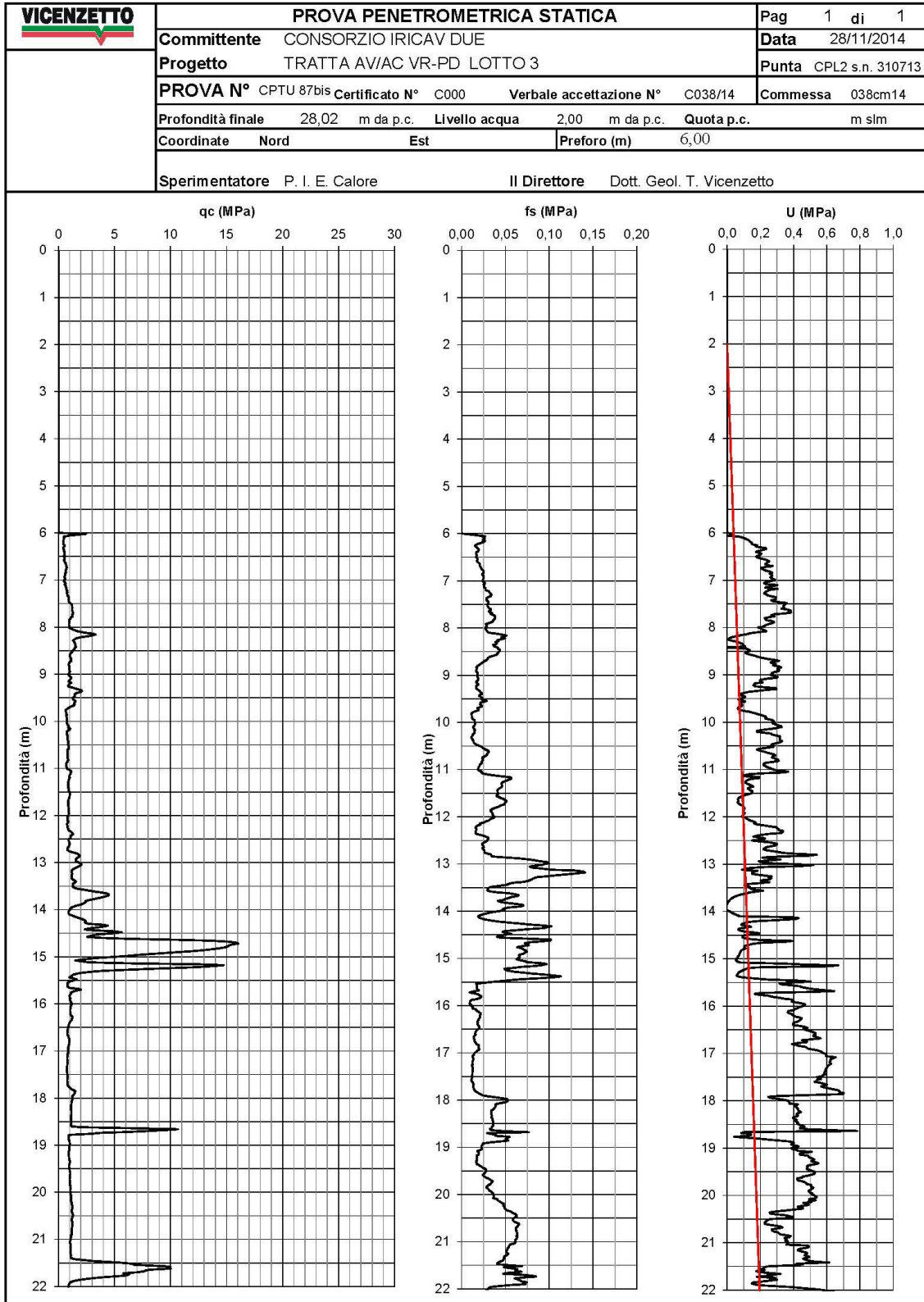
12

Codifica

EI2RBRI590001A

Foglio

79 di 128





Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

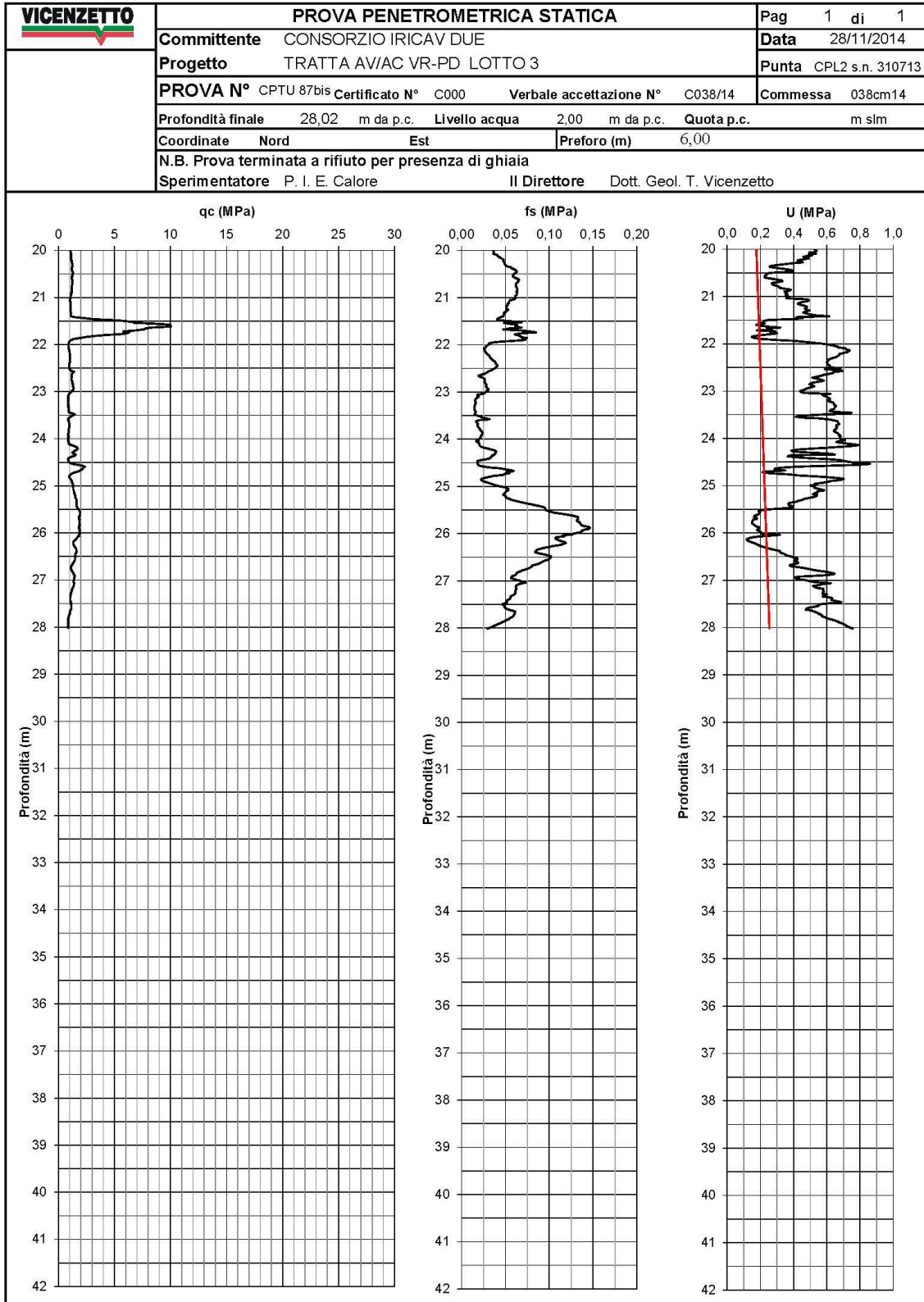
12

Codifica

E12RBRI590001A

Foglio

80 di 128







Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

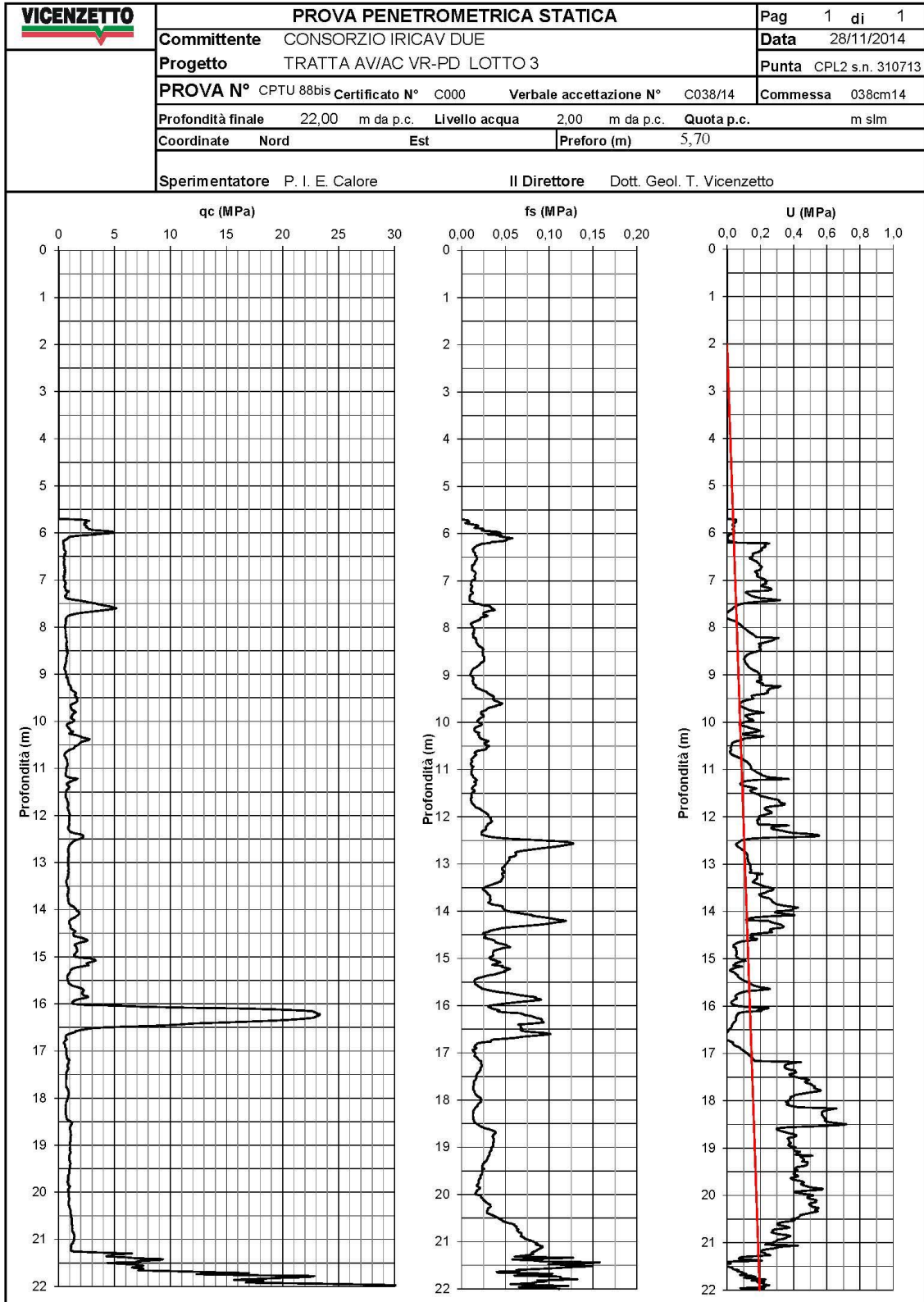
12

Codifica

E12RBRI590001A

Foglio

81 di 128



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p><b>IRICAV2</b></p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica E12RBRI5900001A</p>	<p>Foglio 82 di 128</p>

**ALLEGATO 3 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA**

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RBRI590001A	Foglio 83 di 128

**Slide Analysis Information**  
**SLIDE - An Interactive Slope Stability Program**

**Project Summary**

File Name: RI59\_01\_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\_A2+M2+R2

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

**Analysis Options**

Slices Type: Vertical

**Analysis Methods Used**

Bishop simplified

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI590001A	Foglio 84 di 128

### Groundwater Analysis

Groundwater Method: Water Surfaces  
Pore Fluid Unit Weight [kN/m<sup>3</sup>]: 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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI590001A</p>	<p>Foglio 85 di 128</p>

- Distributed Load 1**  
Distribution: Constant  
Magnitude [kPa]: 14.4  
Orientation: Normal to boundary  
Load Action: Permanent
- Distributed Load 2**  
Distribution: Constant  
Magnitude [kPa]: 14.4  
Orientation: Normal to boundary  
Load Action: Permanent
- Distributed Load 3**  
Distribution: Constant  
Magnitude [kPa]: 61.3  
Orientation: Normal to boundary  
Load Action: Variable
- Distributed Load 4**  
Distribution: Constant  
Magnitude [kPa]: 61.3  
Orientation: Normal to boundary  
Load Action: Variable
- Distributed Load 5**  
Distribution: Constant  
Magnitude [kPa]: 61.3  
Orientation: Normal to boundary  
Load Action: Variable
- Distributed Load 6**  
Distribution: Constant  
Magnitude [kPa]: 61.3  
Orientation: Normal to boundary  
Load Action: Variable

**Material Properties**

Property	Rilevato	U4	U3b_1	U3b_2	U3b_3	U3b_4	U2	CA
Color								
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained	Undrained	Undrained	Undrained	Undrained	Infinite strength
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	20	19	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5	25
Cohesion [kPa]	0	0						
Friction Angle [deg]	38	38						
Cohesion Type			60	50	55	55	120	
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	0	0	0	0	0	0

**Support Properties**


**Inclusioni**

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

**Pali**

Support Type: Micro-Pile  
Force Application: Passive  
Out-of-Plane Spacing: 3 m  
Pile Shear Strength: 1280 kN  
Force Direction: Perpendicular to Pile

GENERAL CONTRACTOR



IRICAV2

Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00  
Relazione Geotecnica

ALTA SORVEGLIANZA



ITALFERR  
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	E12RBRI5900001A	86 di 128

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

FS	1.437270
Center:	26.911, 15.790
Radius:	33.283
Left Slip Surface Endpoint:	-5.016, 6.388
Right Slip Surface Endpoint:	55.040, -2.000
Resisting Moment:	140777 kN-m
Driving Moment:	97947.9 kN-m
Passive Support Moment:	29123.2 kN-m
Total Slice Area:	824.15 m2
Surface Horizontal Width:	60.056 m
Surface Average Height:	13.723 m

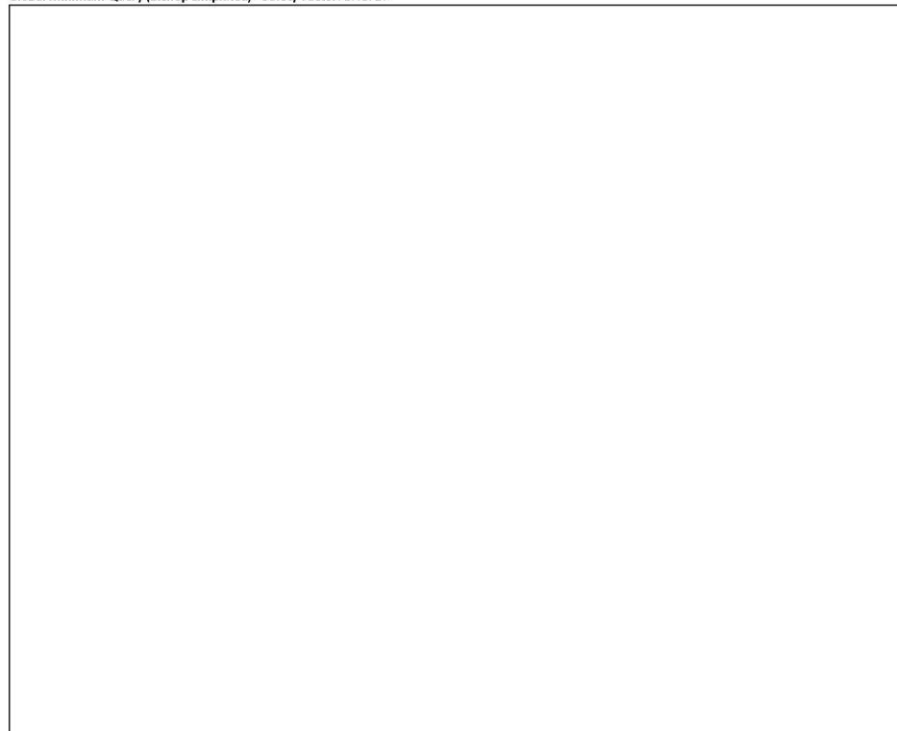
**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

Number of Valid Surfaces: 1114  
Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.43727





Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI590001A

87 di 128

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	1.26594	44.8782	-70.3483	Rilevato	0	32.0066	6.95136	9.99098	15.9849	0	15.9849	35.4509	35.4509
2	1.26594	123.459	-64.5682	Rilevato	0	32.0066	27.0197	38.8346	62.1324	0	62.1324	118.954	118.954
3	1.26594	184.763	-59.8594	Rilevato	0	32.0066	59.685	85.7835	137.247	0	137.247	240.041	240.041
4	1.36932	255.039	-55.602	U3b_1	42.8571	0	29.8184	42.8571	236.791	0	236.791	280.343	280.343
5	1.60178	358.401	-51.3092	U4	0	32.0066	66.3858	95.4143	182.086	29.43	152.656	264.976	235.546
6	0.941085	237.515	-47.8949	U3b_2	35.7143	0	24.8487	35.7143	318.979	0	318.979	346.475	346.475
7	0.941085	254.925	-45.5303	U3b_2	35.7143	0	24.8487	35.7143	339.662	0	339.662	364.975	364.975
8	1.6392	481.928	-42.461	U4	0	32.0066	80.0852	115.104	250.376	66.2175	184.158	323.66	257.443
9	1.16955	370.852	-39.2481	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	294.76	0	294.76	317.091	317.091
10	1.16955	390.618	-36.6925	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	313.623	0	313.623	333.991	333.991
11	1.16955	408.651	-34.2195	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	343.821	0	343.821	362.411	362.411
12	1.16955	425.106	-31.8172	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	440.61	0	440.61	457.569	457.569
13	1.16955	440.108	-29.4759	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	454.946	0	454.946	470.396	470.396
14	1.16955	453.758	-27.1877	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	419.563	0	419.563	433.603	433.603
15	1.16955	466.143	-24.9456	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	412.574	0	412.574	425.288	425.288
16	1.16955	477.332	-22.7436	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	490.766	0	490.766	502.224	502.224
17	1.16955	487.386	-20.5767	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	500.559	0	500.559	510.821	510.821
18	1.16955	500.014	-18.4401	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	451.897	0	451.897	461.011	461.011
19	1.16955	513.397	-16.3298	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	432.8	0	432.8	440.808	440.808
20	1.16955	532.31	-14.2421	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	448.205	0	448.205	455.143	455.143
21	1.16955	540.363	-12.1735	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	456.13	0	456.13	462.027	462.027
22	1.16955	386	-10.121	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	325.163	0	325.163	330.042	330.042
23	1.16955	379.517	-8.08149	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	320.618	0	320.618	324.499	324.499
24	1.16955	379.909	-6.05228	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	321.936	0	321.936	324.834	324.834
25	1.16955	380.731	-4.03068	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	323.611	0	323.611	325.537	325.537
26	1.16955	364.876	-2.01409	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	311.019	0	311.019	311.981	311.981
27	1.16955	344.138	0	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	294.249	0	294.249	294.249	294.249
28	1.16955	336.696	2.01409	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	288.847	0	288.847	287.886	287.886
29	1.16955	335.36	4.03068	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	288.67	0	288.67	286.743	286.743
30	1.16955	333.127	6.05228	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	287.731	0	287.731	284.833	284.833
31	1.16955	329.989	8.08149	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	286.031	0	286.031	282.15	282.15
32	1.16955	325.934	10.121	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	283.562	0	283.562	278.683	278.683
33	1.16955	320.946	12.1735	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	280.315	0	280.315	274.418	274.418
34	1.16955	315.005	14.2421	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	276.277	0	276.277	269.339	269.339
35	1.16955	308.086	16.3298	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	271.432	0	271.432	263.423	263.423
36	1.16955	300.16	18.4401	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	265.76	0	265.76	256.646	256.646
37	1.16955	291.192	20.5767	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	259.239	0	259.239	248.978	248.978
38	1.16955	281.138	22.7436	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	251.84	0	251.84	240.382	240.382
39	1.16955	269.949	24.9456	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	243.528	0	243.528	230.814	230.814
40	1.16955	257.564	27.1877	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	234.265	0	234.265	220.225	220.225
41	1.16955	243.914	29.4759	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	224.003	0	224.003	208.553	208.553
42	1.16955	228.912	31.8172	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	212.685	0	212.685	195.726	195.726
43	1.16955	212.457	34.2195	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	200.246	0	200.246	181.657	181.657
44	1.16955	194.424	36.6925	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	186.606	0	186.606	166.238	166.238
45	1.16955	174.658	39.2481	U3b_3	39.2857	0	27.3336	39.2857	171.669	0	171.669	149.338	149.338
46	1.6392	206.949	42.461	U4	0	32.0066	43.3614	62.322	165.928	66.2175	99.7107	126.249	60.0316
47	0.941085	97.0563	45.5303	U3b_2	35.7143	0	24.8487	35.7143	128.445	0	128.445	103.132	103.132
48	0.941085	79.6462	47.8949	U3b_2	35.7143	0	24.8487	35.7143	112.128	0	112.128	84.6319	84.6319
49	1.60178	89.6995	51.3092	U4	0	32.0066	25.282	36.3371	87.5665	29.43	58.1365	55.9991	26.5691
50	1.36932	25.3325	55.602	U3b_1	42.8571	0	29.8184	42.8571	62.0509	0	62.0509	18.4989	18.4989

## Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.43727





Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

E12RBRI590001A

88 di 128

SLIDEINTERPRET 7.036



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	-5.0163	6.3876	0	0	0
2	-3.75036	2.84255	47.8672	0	0
3	-2.48442	0.180299	179.075	0	0
4	-1.21848	-2	402.76	0	0
5	0.150845	-4	835.511	0	0
6	1.75262	-6	1093.35	0	0
7	2.69371	-7.04133	1402.13	0	0
8	3.63479	-8	1704.37	0	0
9	5.27399	-9.5	1948.66	0	0
10	6.44354	-10.4555	2198.33	0	0
11	7.61309	-11.327	2439.69	0	0
12	8.78264	-12.1224	2681.2	0	0
13	9.95218	-12.8481	2968.96	0	0
14	11.1217	-13.5091	3237.74	0	0
15	12.2913	-14.1099	3457.82	0	0
16	13.4608	-14.6539	3614.96	0	0
17	14.6304	-15.1441	3823.6	0	0
18	15.7999	-15.5832	4011.41	0	0
19	16.9695	-15.9732	4155.67	0	0
20	18.139	-16.3158	3975.14	0	0
21	19.3086	-16.6127	4076.23	0	0
22	20.4781	-16.865	4159.34	0	0
23	21.6477	-17.0738	3898.4	0	0
24	22.8172	-17.2398	3919.68	0	0
25	23.9868	-17.3638	3927.63	0	0
26	25.1563	-17.4462	3922.33	0	0
27	26.3259	-17.4874	3903.16	0	0
28	27.4954	-17.4874	3871.19	0	0
29	28.665	-17.4462	3827.34	0	0
30	29.8345	-17.3638	3771.59	0	0
31	31.004	-17.2398	3703.94	0	0
32	32.1736	-17.0738	3624.47	0	0
33	33.3431	-16.865	3533.31	0	0
34	34.5127	-16.6127	3430.61	0	0
35	35.6822	-16.3158	3316.63	0	0
36	36.8518	-15.9732	3191.66	0	0
37	38.0213	-15.5832	3056.05	0	0
38	39.1909	-15.1441	2910.26	0	0
39	40.3604	-14.6539	2754.83	0	0
40	41.53	-14.1099	2590.37	0	0
41	42.6995	-13.5091	2417.67	0	0
42	43.8691	-12.8481	2237.63	0	0
43	45.0386	-12.1224	2051.33	0	0
44	46.2082	-11.327	1860.09	0	0
45	47.3777	-10.4555	1665.49	0	0
46	48.5473	-9.5	1469.49	0	0
47	50.1865	-8	1149.52	0	0
48	51.1276	-7.04133	1003	0	0
49	52.0686	-6	862.858	0	0
50	53.6704	-4	647.23	0	0
51	55.0397	-2	0	0	0

### List of Coordinates

#### Water Table

X	Y
-48.8293	-2
69.348	-2

#### Distributed Load







Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI590001A

Foglio

89 di 128



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 31 +390,00 a pk 31 +633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI590001A

Foglio

90 di 128



X	Y
-48.8293	-2
-48.8293	-4
-48.8293	-6
-48.8293	-8
-48.8293	-9.5
-48.8293	-17.5
-48.8293	-18.5
-48.8293	-21
-48.8293	-30
-48.8293	-45.587
69.348	-45.587
69.348	-30
69.348	-21
69.348	-18.5
69.348	-17.5
69.348	-9.5
69.348	-8
69.348	-6
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
16.5	-2
22	-2
27.2673	-2

**Material Boundary**

X	Y
-48.8293	-8
69.348	-8

**Material Boundary**

X	Y
-48.8293	-17.5
69.348	-17.5

**Material Boundary**

X	Y



Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5900001A

91 di 128

X	Y
-48.8293	-18.5
69.348	-18.5

**Material Boundary**

X	Y
-48.8293	-21
69.348	-21

**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
16.5	-0.91359
16.5	-2
16.5	-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	-6
69.348	-6

**Material Boundary**

X	Y
6.49404	6.3876
17.23	0

**Material Boundary**

X	Y
-48.8293	-9.5
69.348	-9.5

**Material Boundary**

X	Y
-48.8293	-4
69.348	-4

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p><b>IRICAV2</b></p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica E12RBRI5900001A</p>	<p>Foglio 92 di 128</p>

**ALLEGATO 4 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICA**

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RBRI590001A	Foglio 93 di 128

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: RIS9\_01\_sism.slim  
Slide Modeler Version: 7.038  
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Date Created: 01/09/2021, 15:16:31

#### General Settings

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

#### Design Standard

Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)  
Name: Stabilità Globale\_SISMA+M2+R2

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

#### Analysis Options

Slices Type: Vertical

**Analysis Methods Used**  
Bishop simplified

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 94 di 128

### 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 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI590001A	Foglio 95 di 128

**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	U4	U3b_1	U3b_2	U3b_3	U3b_4	CA	U6-U2
Color								
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained	Undrained	Undrained	Undrained	Infinite strength	Undrained
Unit Weight [kN/m3]	20	19	18.5	18.5	18.5	18.5	25	20
Cohesion [kPa]	0	0						
Friction Angle [deg]	38	38						
Cohesion Type			60	50	55	55		120
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	0	0	0	0	0	0

**Support Properties**

**Inclusioni**

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

**Pali**

Support Type: Micro-Pile  
Force Application: Passive  
Out-of-Plane Spacing: 3 m  
Pile Shear Strength: 1280 kN  
Force Direction: Perpendicular to Pile

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RBRI5900001A	Foglio 96 di 128

**Global Minimums**

Method: bishop simplified

<b>FS</b>	<b>1.283430</b>
Center:	25.804, 15.798
Radius:	33.309
Left Slip Surface Endpoint:	-6.148, 6.388
Right Slip Surface Endpoint:	53.958, -2.000
Resisting Moment:	138509 kN-m
Driving Moment:	107921 kN-m
Passive Support Moment:	29379.4 kN-m
Total Slice Area:	834.954 m <sup>2</sup>
Surface Horizontal Width:	60.1065 m
Surface Average Height:	13.8913 m

**Valid / Invalid Surfaces**

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1162  
Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.28343





GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	E12RBRI590001A	97 di 128

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of 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	1.26563	44.8605	-70.35	Rilevato	0	32.0066	7.00674	8.99266	14.3876	0	14.3876	34.0106	34.0106
2	1.26563	123.417	-64.575	Rilevato	0	32.0066	22.506	28.8849	46.2139	0	46.2139	93.5581	93.5581
3	1.26563	184.713	-59.8697	Rilevato	0	32.0066	41.2837	52.9847	84.7717	0	84.7717	155.903	155.903
4	1.36862	254.907	-55.6159	U3b_1	42.8571	0	33.3926	42.8571	156.535	0	156.535	205.333	205.333
5	1.25112	275.06	-51.7911	U4	0	32.0066	62.9082	80.7383	156.591	27.4159	129.176	236.508	209.092
6	1.25112	310.717	-48.4292	U4	0	32.0066	67.0922	86.1081	179.898	42.1309	137.767	255.543	213.412
7	0.979151	265.352	-45.6036	U3b_2	35.7143	0	27.8272	35.7143	258.133	0	258.133	286.552	286.552
8	1.63757	482.268	-42.4894	U4	0	32.0066	81.5206	104.626	233.612	66.2175	167.395	308.284	242.067
9	1.15739	367.485	-39.2927	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	288.553	0	288.553	313.6	313.6
10	1.15739	386.882	-36.7637	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	297.631	0	297.631	320.5	320.5
11	1.15739	404.597	-34.3158	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	314.277	0	314.277	335.17	335.17
12	1.15739	420.778	-31.9374	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	342.239	0	342.239	361.32	361.32
13	1.15739	435.546	-29.6192	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	369.951	0	369.951	387.353	387.353
14	1.15739	449.001	-27.3532	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	382.809	0	382.809	398.644	398.644
15	1.15739	461.224	-25.1328	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	387.413	0	387.413	401.773	401.773
16	1.15739	472.284	-22.9521	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	393.891	0	393.891	406.854	406.854
17	1.15739	482.24	-20.8061	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	414.54	0	414.54	426.171	426.171
18	1.15739	491.14	-18.6902	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	423.186	0	423.186	433.541	433.541
19	1.15739	501.892	-16.6005	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	424.949	0	424.949	434.074	434.074
20	1.15739	514.954	-14.5333	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	421.751	0	421.751	429.687	429.687
21	1.15739	528.301	-12.4853	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	430.84	0	430.84	437.618	437.618
22	1.15739	553.739	-10.4534	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	453.04	0	453.04	458.687	458.687
23	1.15739	394.941	-8.43475	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	322.609	0	322.609	327.148	327.148
24	1.15739	381.113	-6.42659	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	312.245	0	312.245	315.693	315.693
25	1.15739	378.77	-4.42634	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	311.38	0	311.38	313.749	313.749
26	1.15739	379.816	-2.43149	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	313.315	0	313.315	314.615	314.615
27	1.66841	520.724	0	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	299.217	0	299.217	299.217	299.217
28	1.15739	337.087	2.43149	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	280.517	0	280.517	279.217	279.217
29	1.15739	332.474	4.42634	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	277.764	0	277.764	275.395	275.395
30	1.15739	330.119	6.42659	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	276.89	0	276.89	273.442	273.442
31	1.15739	326.886	8.43475	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	275.301	0	275.301	270.762	270.762
32	1.15739	322.763	10.4534	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	272.993	0	272.993	267.346	267.346
33	1.15739	317.733	12.4853	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	269.955	0	269.955	263.177	263.177
34	1.15739	311.777	14.5333	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	266.178	0	266.178	258.243	258.243
35	1.15739	304.871	16.6005	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	261.645	0	261.645	252.52	252.52
36	1.15739	296.985	18.6902	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	256.341	0	256.341	245.986	245.986
37	1.15739	288.085	20.8061	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	250.243	0	250.243	238.612	238.612
38	1.15739	278.129	22.9521	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	243.326	0	243.326	230.363	230.363
39	1.15739	267.069	25.1328	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	235.56	0	235.56	221.2	221.2
40	1.15739	254.846	27.3532	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	226.908	0	226.908	211.073	211.073
41	1.15739	241.392	29.6192	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	217.328	0	217.328	199.926	199.926
42	1.15739	226.624	31.9374	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	206.771	0	206.771	187.69	187.69
43	1.15739	210.442	34.3158	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	195.177	0	195.177	174.284	174.284
44	1.15739	192.728	36.7637	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	182.477	0	182.477	159.608	159.608
45	1.15739	173.331	39.2927	U3b_3	39.2857	0	30.6099	39.2857	168.585	0	168.585	143.538	143.538
46	1.63757	207.562	42.4894	U4	0	32.0066	48.559	62.3221	165.928	66.2175	99.7109	121.449	55.2313
47	0.979151	101.097	45.6036	U3b_2	35.7143	0	27.8272	35.7143	127.363	0	127.363	98.9434	98.9434
48	1.25112	100.839	48.4292	U4	0	32.0066	37.8823	48.6193	119.918	42.1309	77.7873	77.2065	35.0756
49	1.25112	65.1822	51.7911	U4	0	32.0066	28.7053	36.8412	86.3591	27.4159	58.9432	49.8299	22.477
50	1.36862	25.3194	55.6159	U3b_1	42.8571	0	33.3926	42.8571	66.4606	0	66.4606	17.663	17.663

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.28343

--



Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI590001A

98 di 128

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	-6.14804	6.3876	0	0	0
2	-4.88241	2.84308	45.8479	0	0
3	-3.61678	0.180668	150.64	0	0
4	-2.35115	-2	298.585	0	0
5	-0.982538	-4	587.077	0	0
6	0.268581	-5.58938	780.092	0	0
7	1.5197	-7	975.709	0	0
8	2.49885	-8	1228.55	0	0
9	4.13642	-9.5	1485.51	0	0
10	5.29381	-10.4471	1753.77	0	0
11	6.4512	-11.3118	2007.71	0	0
12	7.60859	-12.1017	2254.03	0	0
13	8.76598	-12.8232	2500.32	0	0
14	9.92337	-13.4812	2744.35	0	0
15	11.0808	-14.0799	2975.27	0	0
16	12.2381	-14.6229	3188.34	0	0
17	13.3955	-15.1131	3345.46	0	0
18	14.5529	-15.5528	3532.23	0	0
19	15.7103	-15.9444	3703.11	0	0
20	16.8677	-16.2894	3855.82	0	0
21	18.0251	-16.5895	3657.08	0	0
22	19.1825	-16.8457	3775.76	0	0
23	20.3399	-17.0593	3882.86	0	0
24	21.4973	-17.2309	3603.03	0	0
25	22.6547	-17.3613	3639.84	0	0
26	23.812	-17.4509	3663.65	0	0
27	24.9694	-17.5	3675.05	0	0
28	26.6378	-17.5	3667.07	0	0
29	27.7952	-17.4509	3645.75	0	0
30	28.9526	-17.3613	3612.95	0	0
31	30.11	-17.2309	3568.75	0	0
32	31.2674	-17.0593	3513.13	0	0
33	32.4248	-16.8457	3446.12	0	0
34	33.5822	-16.5895	3367.8	0	0
35	34.7396	-16.2894	3278.32	0	0
36	35.897	-15.9444	3177.85	0	0
37	37.0543	-15.5528	3066.64	0	0
38	38.2117	-15.1131	2945	0	0
39	39.3691	-14.6229	2813.34	0	0
40	40.5265	-14.0799	2672.12	0	0
41	41.6839	-13.4812	2521.94	0	0
42	42.8413	-12.8232	2363.5	0	0
43	43.9987	-12.1017	2197.67	0	0
44	45.1561	-11.3118	2025.49	0	0
45	46.3135	-10.4471	1848.25	0	0
46	47.4709	-9.5	1667.53	0	0
47	49.1084	-8	1356.38	0	0
48	50.0876	-7	1210.16	0	0
49	51.3387	-5.58938	1002.01	0	0
50	52.5898	-4	834.275	0	0
51	53.9584	-2	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-48.8293	-2
69.348	-2

Distributed Load





Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5900001A

99 di 128

SLIDEINTERPRET 7.038



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 31+390,00 a pk 31+633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI5900001A

100 di 128

SLIDENTERRET 7.038



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

X	Y
-48.8293	-2
-48.8293	-4
-48.8293	-7
-48.8293	-8
-48.8293	-9.5
-48.8293	-17.5
-48.8293	-18.5
-48.8293	-21
-48.8293	-45.587
69.348	-45.587
69.348	-21
69.348	-18.5
69.348	-17.5
69.348	-9.5
69.348	-8
69.348	-7
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
16.5	-2
22.1	-2
27.2673	-2

Material Boundary

X	Y
-48.8293	-8
69.348	-8

Material Boundary

X	Y
-48.8293	-9.5
69.348	-9.5

Material Boundary

X	Y
-48.8293	-17.5
69.348	-17.5



Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

E12RBRI5900001A

Foglio

101 di 128

SLIDENTERRET 7.038



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

## Material Boundary

X	Y
-48.8293	-18.5
69.348	-18.5

## Material Boundary

X	Y
-48.8293	-21
69.348	-21

## 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
16.5	-0.91359
16.5	-2
16.5	-2.36359
22.1	-2.36359
22.1	-2
22.1	-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	-7
69.348	-7

## Material Boundary

X	Y
6.49404	6.3876
17.23	0

## Material Boundary

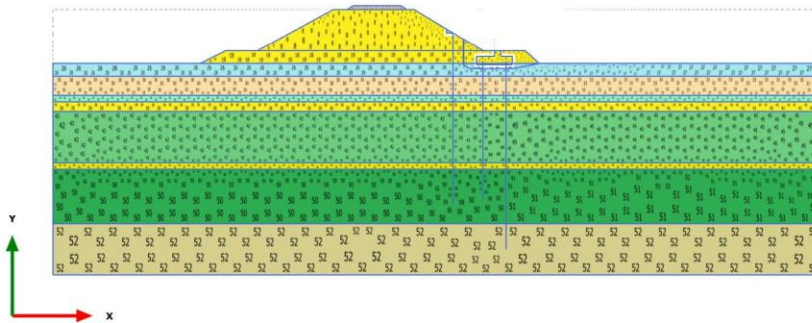
X	Y
-48.8293	-4
69.348	-4

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p><b>IRICAV2</b></p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica E12RBRI5900001A</p>	<p>Foglio 102 di 128</p>

**ALLEGATO 5 – TABULATI DI PLAXIS**

RI58\_NT\_01

**1.1.1.1 Calculation results, Initial phase [InitialPhase] (0/13),  
Connectivity plot**

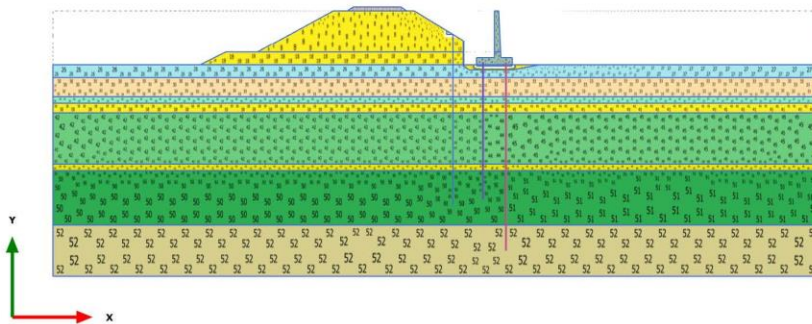


**Connectivity plot**

<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 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica E12RBRI590001A</p>	<p>Foglio 104 di 128</p>

RI58\_NT\_01

**1.1.1.2 Calculation results, Muro [Phase\_6] (6/19), Connectivity plot**



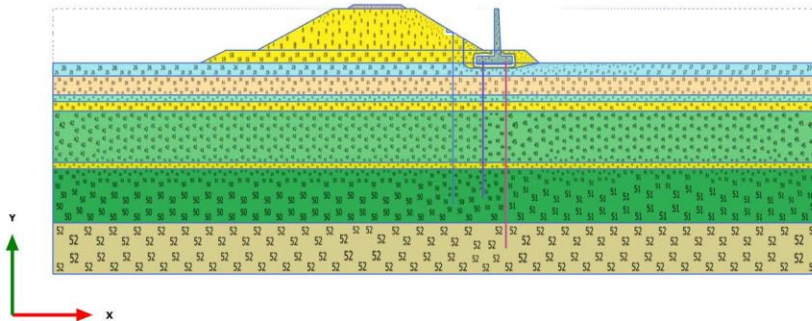
**Connectivity plot**



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica E12RBRI590001A</p>	<p>Foglio 105 di 128</p>

RI58\_NT\_01

**1.1.1.3 Calculation results, CONS RILEVATO 1 [Phase\_2] (2/40),  
Connectivity plot**

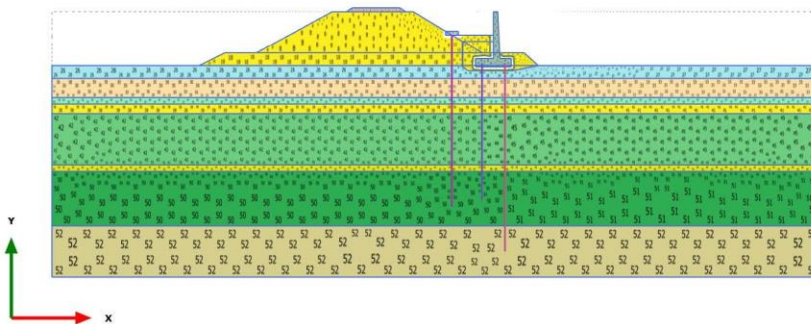


**Connectivity plot**

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica E12RBRI590001A</p>	<p>Foglio 106 di 128</p>

RI58\_NT\_01

**1.1.1.4 Calculation results, inclusioni [Phase\_4] (4/47), Connectivity plot**

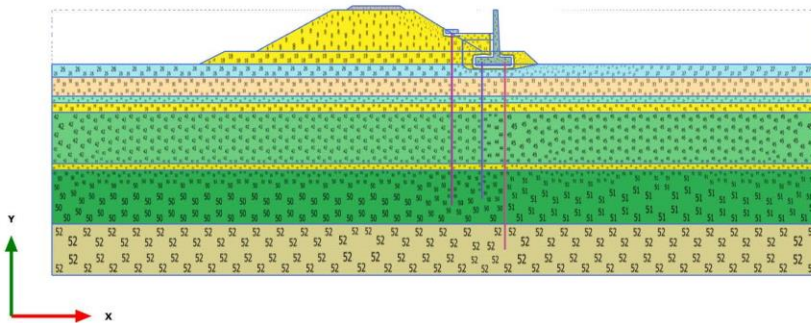


**Connectivity plot**

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica E12RBRI590001A</p>	<p>Foglio 107 di 128</p>

RI58\_NT\_01

**1.1.1.5 Calculation results, cons rilevato 2 [Phase\_5] (5/59),  
Connectivity plot**

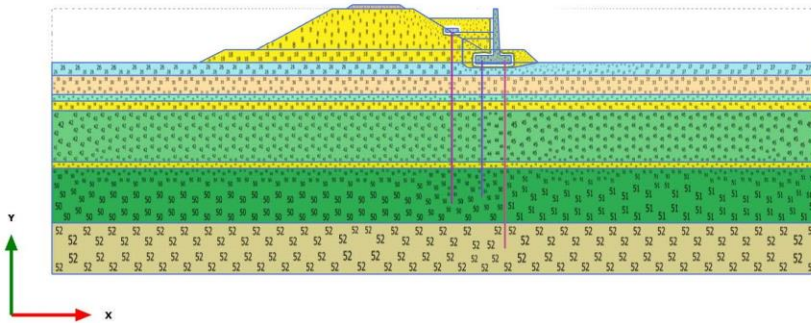


**Connectivity plot**

<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 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica E12RBRI590001A</p>	<p>Foglio 108 di 128</p>

RI58\_NT\_01

**1.1.1.6 Calculation results, Cons ril 3 [Phase\_10] (11/78),  
Connectivity plot**

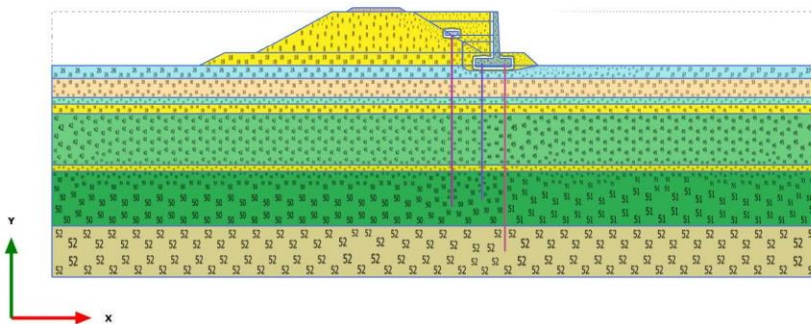


**Connectivity plot**

<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 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica E12RBRI590001A</p>	<p>Foglio 109 di 128</p>

RI58\_NT\_01

**1.1.1.7 Calculation results, Cons. ril 4 [Phase\_9] (9/151), Connectivity plot**

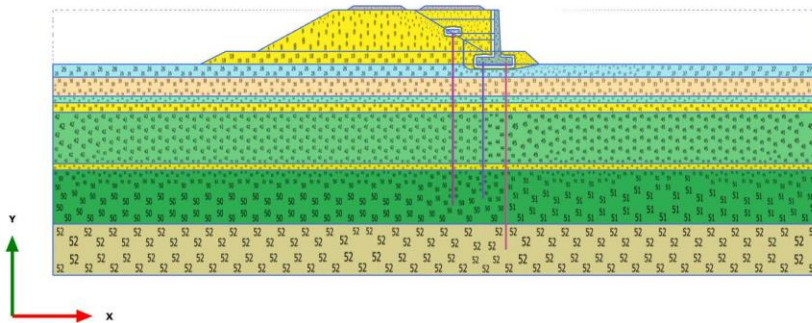


**Connectivity plot**

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RBRI590001A	Foglio 110 di 128

RI58\_NT\_01

**1.1.1.8 Calculation results, cons finale [Phase\_13] (13/304),  
Connectivity plot**



**Connectivity plot**



Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI590001A

Foglio

111 di 128

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					
$\gamma_{\text{sat}}$	kN/m <sup>3</sup>	18.00	25.00	20.00	20.00
$\gamma_{\text{sat}}$	kN/m <sup>3</sup>	18.00	25.00	20.00	20.00
Dilatancy cut-off		No	No	No	No
$e_{\text{int}}$		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
$e_{\text{min}}$		0.000	0.000	0.000	0.000
$e_{\text{max}}$		999.0	999.0	999.0	999.0
E	kN/m <sup>2</sup>	100.0E3	33.00E6	3.000E6	60.00E3
$\nu$ (nu)		0.3000	0.2000	0.2000	0.2300
G	kN/m <sup>2</sup>	38.46E3	13.75E6	1.250E6	24.39E3
$E_{\text{ood}}$	kN/m <sup>2</sup>	134.6E3	36.67E6	3.333E6	69.56E3
Set to default values		Yes	Yes	Yes	Yes
$E_{\text{rc}}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0.000	0.000	0.000	0.000
$\gamma_{\text{ref}}$	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
$\nu_u$		0.4950	0.4950	0.4950	0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m <sup>2</sup>	3.750E6	1.352E9	122.9E6	2.394E6
Stiffness		Standard	Standard	Standard	Standard
Strength		Rigid	Rigid	Manual	Manual
$R_{\text{inter}}$		1.000	1.000	0.6670	0.6670
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes
$\delta_{\text{inter}}$		0.000	0.000	0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m <sup>3</sup> /day/m	0.000	0.000	0.000	0.000
R	m <sup>2</sup> K/kW	0.000	0.000	0.000	0.000
$K_o$ determination		Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
$K_{0,z} = K_{0,z}$		Yes	Yes	Yes	Yes
$K_{0,z}$		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 $\mu\text{m}$	%	19.00	10.00	10.00	10.00
2 $\mu\text{m}$ - 50 $\mu\text{m}$	%	41.00	13.00	13.00	13.00



Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

E12RBRI5900001A

Foglio

112 di 128

RI58\_NT\_01

Identification		Ballast	CA	MistoCementato	RILEVAT ELA
50 $\mu$ 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
$e_{int}$		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
$\lambda_s$	kW/m/K	0.000	0.000	0.000	0.000
$\rho_s$	t/m <sup>3</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000
Solid thermal expansion		Volumetric	Volumetric	Volumetric	Volumetric
$\alpha_s$	1/K	0.000	0.000	0.000	0.000
$D_v$	m <sup>2</sup> /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 31 +390,00 a pk 31 +633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI590001A

113 di 128

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						
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	20.00	19.00	18.50	19.00	19.00
$\gamma_{sk}$	kN/m <sup>3</sup>	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	0.5000
$e_{min}$		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$e_{lim}$		999.0	999.0	999.0	999.0	999.0
E	kN/m <sup>2</sup>	60.00E3	100.0E3	35.00E3	120.0E3	30.00E3
$\nu$ (nu)		0.3000	0.3000	0.3000	0.3000	0.2500
G	kN/m <sup>2</sup>	23.08E3	38.46E3	13.46E3	46.15E3	12.00E3
$E_{sw}$	kN/m <sup>2</sup>	80.77E3	134.6E3	47.12E3	161.5E3	36.00E3
$c_{\psi}$	kN/m <sup>2</sup>	1.000	0.000	0.000	0.000	120.0
$\phi$ (phi)	°	38.00	38.00	36.00	39.00	0.000
$\psi$ (psi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Set to default values		No	Yes	Yes	Yes	Yes
$E_{sc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\gamma_{sc}$	m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$c_{sc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\gamma_{sc}$	m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tension cut-off		No	Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m <sup>2</sup>	10.00E5	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
$\nu_{sc}$		0.4950	0.4950	0.4950	0.4950	0.4950
$K_{sw} / n$	kN/m <sup>2</sup>	2.250E5	3.750E5	1.313E5	4.500E5	1.176E5
$C_{sw}$	m <sup>2</sup> /day	0.000	0.000	0.000	0.000	0.3110
Stiffness		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Strength		Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
$R_{sw}$		0.6670	0.6670	0.6670	0.6670	0.6670
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$\delta_{sw}$		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, $dk$	m <sup>2</sup> /day/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
R	m <sup>2</sup> K/kW	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$K_{\sigma}$ determination		Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
$K_{\sigma_v} = K_{\sigma_h}$		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$K_{\sigma_v}$		0.3843	0.3843	0.4122	0.3707	10.00E9
$K_{\sigma_h}$		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 31+390,00 a pk 31+633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

E12RBRI5900001A

Foglio

114 di 128




RI58\_NT\_01

Identification		Rilevato	U6_1	U4_1	U6_2	U2_1
< 2 $\mu\text{m}$	%	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
2 $\mu\text{m}$ - 50 $\mu\text{m}$	%	13.00	13.00	13.00	13.00	13.00
50 $\mu\text{m}$ - 2 mm	%	77.00	77.00	77.00	77.00	77.00
Use defaults		None	None	None	None	None
$k_x$	m/day	86.40	86.40	0.8640	86.40	0.08640E-3
$k_y$	m/day	86.40	86.40	0.8640	86.40	0.08640E-3
$-\psi_{\text{used}}$	m	10.00E3	10.00E3	10.00E3	10.00E3	10.00E3
$e_{\text{sa}}$		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.9000
$S_r$	1/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$C_x$		1000E12	1000E12	1000E12	1000E12	1000E12
$c_x$	kJ/t/K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\lambda_x$	kW/m/K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\rho_s$	t/m <sup>3</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Solid thermal expansion		Volumetric	Volumetric	Volumetric	Volumetric	Volumetric
$\alpha_s$	1/K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$D_x$	m <sup>2</sup> /day	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$f_{\text{sv}}$		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Unfrozen water content		None	None	None	None	None

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RBRI590001A	Foglio 115 di 128

RI58\_NT\_01

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

Identification		U6_U2	U4_2	U4_3
Identification number		11	14	15
Drainage type		Drained	Drained	Drained
Colour				
Comments				
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	19.00	19.00	19.00
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	19.00	19.00	19.00
Dilatancy cut-off		No	No	No
$e_{int}$		0.5000	0.5000	0.5000
$e_{min}$		0.000	0.000	0.000
$e_{max}$		999.0	999.0	999.0
E	kN/m <sup>2</sup>	150.0E3	40.00E3	60.00E3
$\nu$ (nu)		0.3000	0.2300	0.2300
G	kN/m <sup>2</sup>	57.69E3	16.26E3	24.39E3
$E_{oed}$	kN/m <sup>2</sup>	201.9E3	46.37E3	69.56E3
$c_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	200.0	0.000	0.000
$\phi$ (phi)	°	0.000	38.00	38.00
$\psi$ (psi)	°	0.000	0.000	0.000
Set to default values		Yes	Yes	Yes
$E_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0.000	0.000	0.000
$y_{ref}$	m	0.000	0.000	0.000
$c_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0.000	0.000	0.000
$y_{ref}$	m	0.000	0.000	0.000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes
Tensile strength		kN/m <sup>2</sup>	0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0.9783	0.9848	0.9848
$\nu_u$		0.4950	0.4950	0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m <sup>2</sup>	5.625E6	1.596E6	2.394E6
Stiffness		Standard	Standard	Standard
Strength		Manual	Rigid	Rigid
$R_{inter}$		0.6670	1.000	1.000
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes



Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI590001A

Foglio

116 di 128

RI58\_NT\_01

Identification		U6_U2	U4_2	U4_3
$\delta_{inter}$		0.000	0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m <sup>3</sup> /day/m	0.000	0.000	0.000
R	m <sup>2</sup> K/kW	0.000	0.000	0.000
K <sub>o</sub> determination		Automatic	Automatic	Automatic
K <sub>o,x</sub> = K <sub>o,z</sub>		Yes	Yes	Yes
K <sub>o,x</sub>		0.5000	0.3843	0.3843
K <sub>o,z</sub>		0.5000	0.3843	0.3843
Data set		Standard	Standard	Standard
Type		Coarse	Coarse	Coarse
< 2 μm	%	10.00	10.00	10.00
2 μm - 50 μm	%	13.00	13.00	13.00
50 μm - 2 mm	%	77.00	77.00	77.00
Use defaults		None	None	None
k <sub>x</sub>	m/day	0.08640	0.8640	0.8640
k <sub>y</sub>	m/day	0.08640	0.8640	0.8640
-ψ <sub>unsat</sub>	m	10.00E3	10.00E3	10.00E3
e <sub>int</sub>		0.5000	0.5000	0.5000
S <sub>s</sub>	1/m	0.000	0.000	0.000
c <sub>k</sub>		1000E12	1000E12	1000E12
c <sub>s</sub>	kJ/t/K	0.000	0.000	0.000
λ <sub>s</sub>	kW/m/K	0.000	0.000	0.000
ρ <sub>s</sub>	t/m <sup>3</sup>	0.000	0.000	0.000
Solid thermal expansion		Volumetric	Volumetric	Volumetric
α <sub>s</sub>	1/K	0.000	0.000	0.000
D <sub>v</sub>	m <sup>2</sup> /day	0.000	0.000	0.000
f <sub>TV</sub>		0.000	0.000	0.000
Unfrozen water content		None	None	None



Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica





EI2RBRI590001A

Foglio

117 di 128

RI58\_NT\_01

### 1.1.2.1.3 Materials - Soil and interfaces - Hardening soil

Identification		U3b_1	U3b_2	U3b_3	U3b_4
Identification number		3	5	6	16
Drainage type		Undrained (B)	Undrained (B)	Undrained (B)	Undrained (B)
Colour					
Comments					
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	18.50	18.50	18.50	18.50
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	18.50	18.50	18.50	18.50
Dilatancy cut-off		No	No	No	No
$e_{rel}$		1.000	1.000	1.000	1.000
$e_{min}$		0.000	0.000	0.000	0.000
$e_{max}$		999.0	999.0	999.0	999.0
$E_{50}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	1797	1797	1797	1797
$E_{ced}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	1438	1438	1438	1438
$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	13.80E3	13.80E3	13.80E3	13.80E3
power (m)		1.000	1.000	1.000	1.000
Use alternatives		No	No	No	No
$C_c$		0.3200	0.3200	0.3200	0.3200
$C_s$		0.03000	0.03000	0.03000	0.03000
$e_{rel}$		1.000	1.000	1.000	1.000
$C_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	70.00	45.00	50.00	63.00
$\phi$ (phi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000
$\psi$ (psi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000
Set to default values		Yes	Yes	No	No
$V_{ur}$		0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
$p_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	100.0	100.0	100.0	100.0
$K_{0}^{nc}$		1.000	1.000	1.000	1.000
$c_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0.000	0.000	0.000	0.000
$y_{ref}$	m	0.000	0.000	-10.00	-10.00
$R_f$		0.9000	0.9000	0.9000	0.9000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m <sup>2</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0.9866	0.9866	0.9866	0.9866
$v_u$		0.4950	0.4950	0.4950	0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m <sup>2</sup>	565.4E3	565.4E3	565.4E3	565.4E3
Stiffness		Standard	Standard	Standard	Standard
Strength		Manual	Manual	Manual	Manual
$R_{inter}$		0.6670	0.6670	0.6670	0.6670



Rilevato ferroviario AV da pk 31 +390,00 a pk 31 +633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

E12RBRI590001A

Foglio

118 di 128

RI58\_NT\_01

Identification		U3b_1	U3b_2	U3b_3	U3b_4
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes
$\delta_{inter}$		0.000	0.000	0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m <sup>3</sup> /day/m	0.000	0.000	0.000	0.000
R	m <sup>2</sup> K/kW	0.000	0.000	0.000	0.000
K <sub>0</sub> determination		Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
OCR		1.000	1.000	1.000	1.000
POP	kN/m <sup>2</sup>	230.0	150.0	85.00	85.00
Data set		Standard	Standard	Standard	Standard
Type		Coarse	Coarse	Coarse	Coarse
< 2 $\mu$ m	%	10.00	10.00	10.00	10.00
2 $\mu$ m - 50 $\mu$ m	%	13.00	13.00	13.00	13.00
50 $\mu$ m - 2 mm	%	77.00	77.00	77.00	77.00
Use defaults		None	None	None	None
k <sub>x</sub>	m/day	0.8640E-3	0.8640E-3	0.8640E-3	0.8640E-3
k <sub>y</sub>	m/day	0.8640E-3	0.8640E-3	0.8640E-3	0.8640E-3
$-\psi_{unsat}$	m	10.00E3	10.00E3	10.00E3	10.00E3
e <sub>sat</sub>		1.000	1.000	1.000	1.000
S <sub>s</sub>	1/m	0.000	0.000	0.000	0.000
c <sub>s</sub>		1000E12	1000E12	1000E12	1000E12
c <sub>s</sub>	kJ/t/K	0.000	0.000	0.000	0.000
$\lambda_s$	kW/m/K	0.000	0.000	0.000	0.000
$\rho_s$	t/m <sup>3</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000
Solid thermal expansion		Volumetric	Volumetric	Volumetric	Volumetric
$\alpha_s$	1/K	0.000	0.000	0.000	0.000
D <sub>v</sub>	m <sup>2</sup> /day	0.000	0.000	0.000	0.000
f <sub>tv</sub>		0.000	0.000	0.000	0.000
Unfrozen water content		None	None	None	None



Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI590001A

Foglio

119 di 128

RI58\_NT\_01

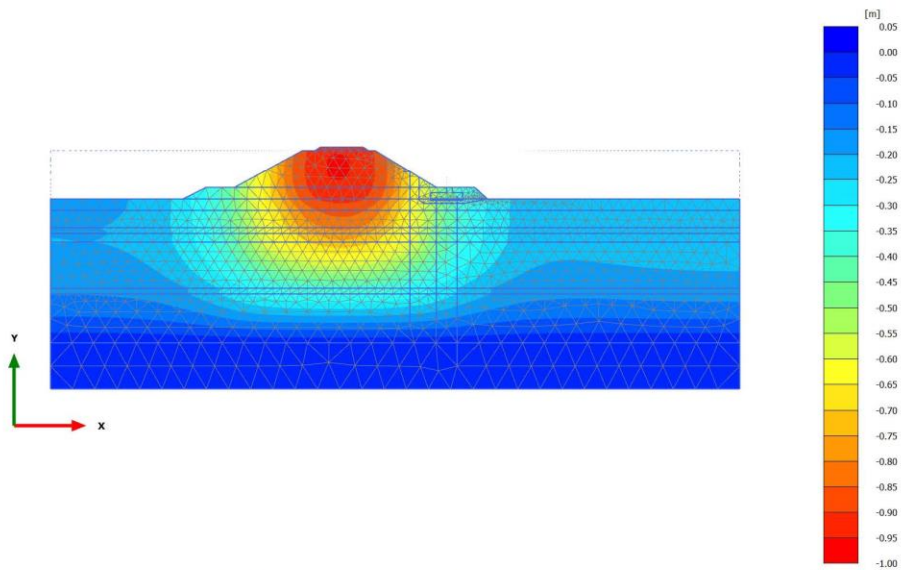
### 1.1.2.2 Materials - Embedded beam row -

Identification		PaliMuro monte	Inclusioni	Pali muro Valle
Identification number		1	2	3
Comments				
Colour				
Material type		Elastic	Elastic	Elastic
E	kN/m <sup>2</sup>	33.00E6	33.00E6	33.00E6
γ	kN/m <sup>3</sup>	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 <sup>2</sup>	1.131	0.5027	1.131
I <sub>x</sub>	m <sup>4</sup>	0.1018	0.02011	0.1018
I <sub>y</sub>	m <sup>4</sup>	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 <sub>ax</sub>	kN	1500	650.0	1500
Identification number		1	2	3
Comments				
Colour				
Material type		Elastic	Elastic	Elastic
E	kN/m <sup>2</sup>	33.00E6	33.00E6	33.00E6
γ	kN/m <sup>3</sup>	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 <sup>2</sup>	1.131	0.5027	1.131
I	m <sup>4</sup>	0.1018	0.02011	0.1018
L <sub>max</sub>	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 <sub>ax</sub>	kN	1500	650.0	1500
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 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RBRI5900001A	Foglio 120 di 128

RI58\_NT\_01

### 2.1.1.1.1 Calculation results, Initial phase [InitialPhase] (0/13), Total displacements $u_y$



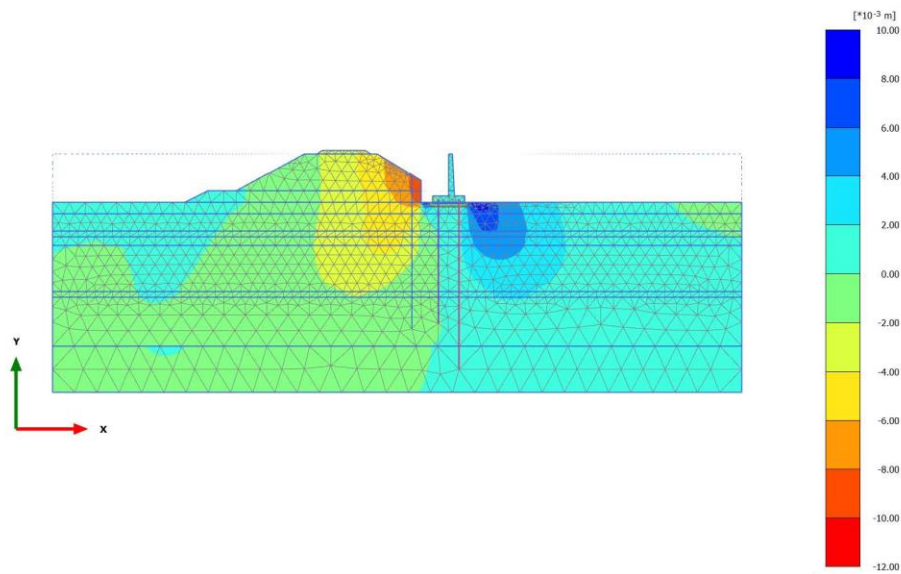
**Total displacements  $u_y$  (scaled up 5.00 times)**  
Maximum value = 0.000 m (Element 2856 at Node 20124)  
Minimum value = -0.9594 m (Element 197 at Node 18047)



<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 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica E12RBRI5900001A</p>	<p>Foglio 121 di 128</p>

RI58\_NT\_01

**2.1.1.1.2 Calculation results, Muro [Phase\_6] (6/19), Total displacements  $u_y$**

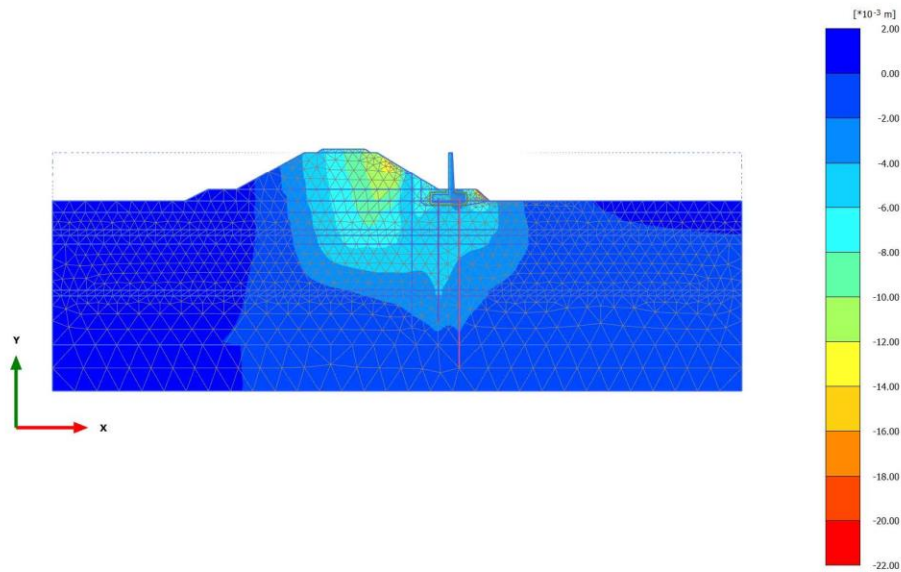


**Total displacements  $u_y$  (scaled up 200 times)**  
Maximum value =  $9.977 \cdot 10^{-3}$  m (Element 959 at Node 8354)  
Minimum value =  $-0.01016$  m (Element 838 at Node 14317)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 122 di 128

RI58\_NT\_01

**2.1.1.1.3 Calculation results, CONS RILEVATO 1 [Phase\_2] (2/40),  
Total displacements  $u_y$**

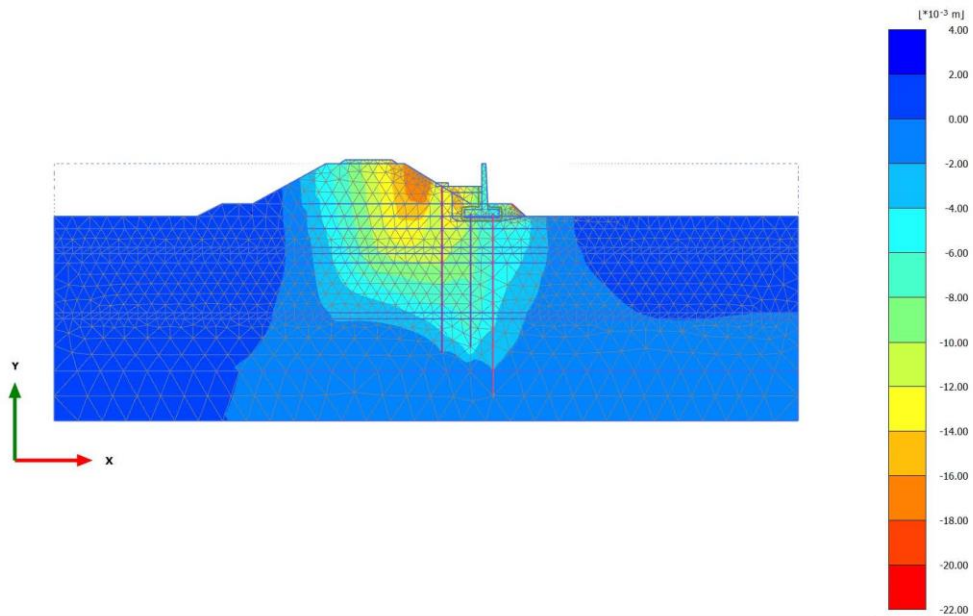


**Total displacements  $u_y$  (scaled up 200 times) (Time 40.00 day)**  
Maximum value =  $1.075 \cdot 10^{-3}$  m (Element 856 at Node 22761)  
Minimum value = -0.02044 m (Element 822 at Node 6169)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 123 di 128

RI58\_NT\_01

### 2.1.1.1.4 Calculation results, inclusioni [Phase\_4] (4/47), Total displacements $u_y$

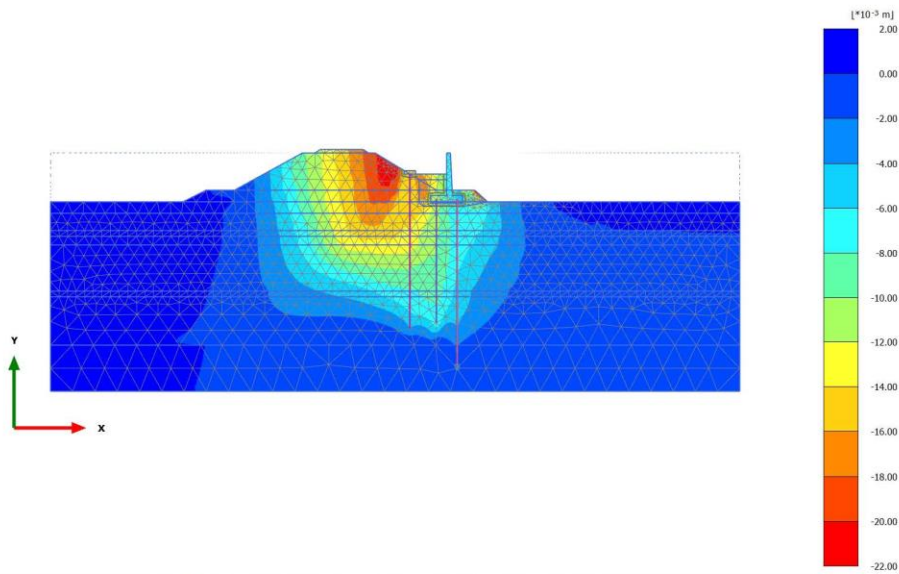


**Total displacements  $u_y$  (scaled up 200 times) (Time 40.10 day)**  
Maximum value =  $2.034 \cdot 10^{-3}$  m (Element 844 at Node 21577)  
Minimum value =  $-0.02031$  m (Element 822 at Node 6169)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI5900001A	Foglio 124 di 128

RI58\_NT\_01

### 2.1.1.1.5 Calculation results, cons rilevato 2 [Phase\_5] (5/59), Total displacements $u_y$

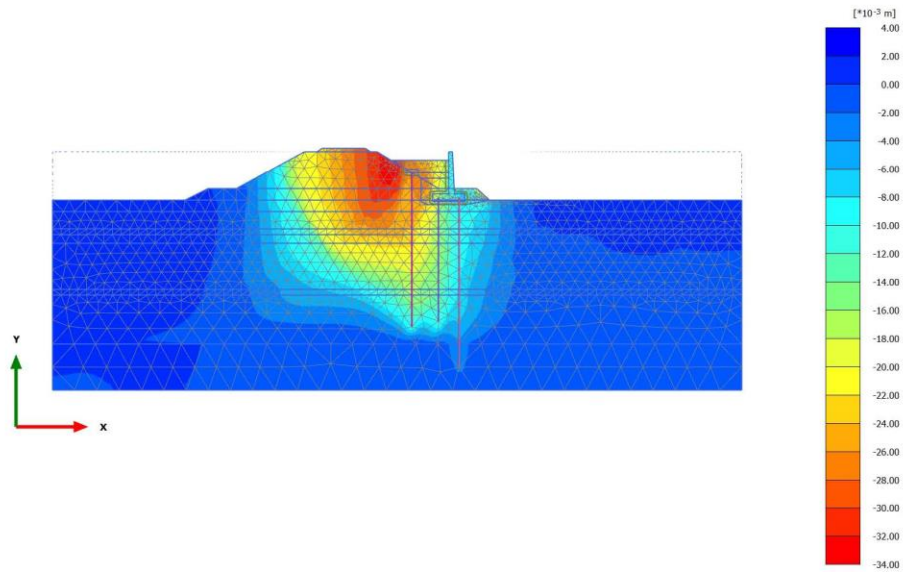


**Total displacements  $u_y$  (scaled up 200 times) (Time 100.1 day)**  
Maximum value =  $0.9463 \cdot 10^{-3}$  m (Element 1305 at Node 22603)  
Minimum value = -0.02149 m (Element 822 at Node 6169)

<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 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI590001A</p>	<p>Foglio 125 di 128</p>

RI58\_NT\_01

**2.1.1.1.6 Calculation results, Cons ril 3 [Phase\_10] (11/78), Total displacements  $u_y$**

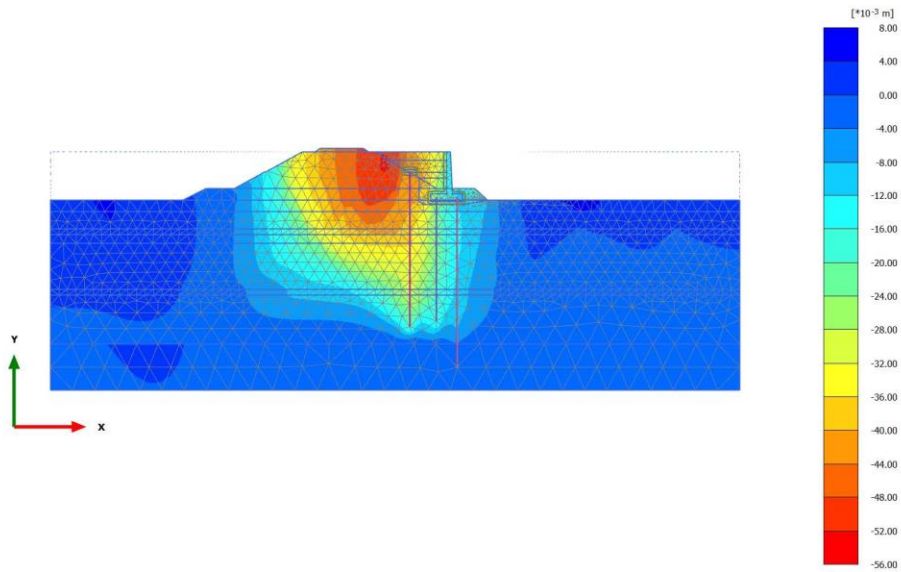


**Total displacements  $u_y$  (scaled up 100 times) (Time 120.1 day)**  
Maximum value =  $1.979 \cdot 10^{-3}$  m (Element 1103 at Node 2145)  
Minimum value =  $-0.03300$  m (Element 230 at Node 16128)

<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 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica E12RBRI5900001A</p>	<p>Foglio 126 di 128</p>

RI58\_NT\_01

**2.1.1.1.7 Calculation results, Cons. ril 4 [Phase\_9] (9/151), Total displacements  $u_y$**

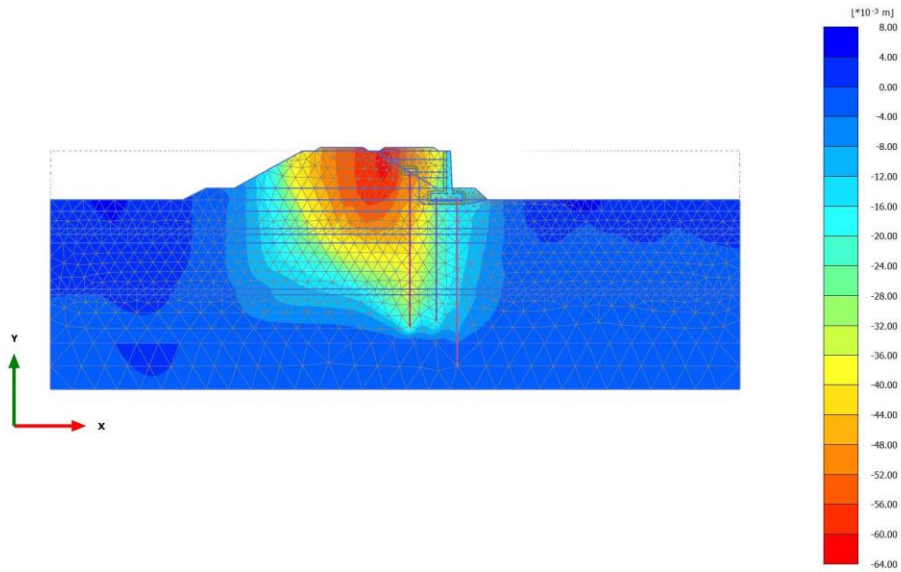


**Total displacements  $u_y$  (scaled up 50.0 times) (Time 160.1 day)**  
Maximum value =  $4.952 \cdot 10^{-3}$  m (Element 1103 at Node 2146)  
Minimum value =  $-0.05234$  m (Element 256 at Node 15202)

<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 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI590001A</p>	<p>Foglio 127 di 128</p>

RI58\_NT\_01

**2.1.1.1.8 Calculation results, cons finale [Phase\_13] (13/304), Total displacements  $u_y$**



**Total displacements  $u_y$  (scaled up 50.0 times) (Time 520.2 day)**  
Maximum value =  $5.465 \cdot 10^{-3}$  m (Element 1103 at Node 2146)  
Minimum value = -0.06093 m (Element 69 at Node 15197)

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 31+390,00 a pk 31+633,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica E12RBRI5900001A	Foglio 128 di 128

## ALLEGATO 6- VERSIONI DEI SOFTWARE UTILIZZATI

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