

COMMITTENTE:



ALTA  
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



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

**LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA Tratta VERONA – PADOVA**

**Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza**

**PROGETTO ESECUTIVO**

**RILEVATI**

**Rilevato ferroviario da pk 28+680,00 a pk 28+925,00**

**GENERALE**

**Relazione Geotecnica**

GENERAL CONTRACTOR				DIRETTORE LAVORI				SCALA -
IL PROGETTISTA INTEGRATORE		Consorzio						
 Ing. Giovanni MALAVENDA iscritto all'ordine degli ingegneri di Venezia n. 4289 Data: Dicembre 2021		Iricav Due ing. Paolo Carmona  Data: Dicembre 2021		Data:				

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

I	N	1	7	1	2	E	I	2	R	B	R	I	4	8	0	0	0	0	1	A	-	-	-	D	-	-	-
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma 	Data Dicembre 2021

Progettazione:



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

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712E12RBRI4800001A_03.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato  
dalla Unione Europea

TUTTI I DIRITTI DEL PRESENTE DOCUMENTO SONO RISERVATI: LA RIPRODUZIONE ANCHE PARZIALE E' VIETATA

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 2 di 116</p>

## INDICE

1	INTRODUZIONE .....	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
2.1	Documentazione di progetto .....	5
2.2	Normativa e standard di riferimento .....	5
2.3	Bibliografia .....	6
3	INQUADRAMENTO DELL'OPERA .....	8
3.1	Premessa .....	8
3.2	Geometria del rilevato .....	8
3.3	Descrizione degli interventi .....	9
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	11
4.1	Indagini disponibili .....	11
4.2	Inquadramento stratigrafico .....	12
4.3	Livello di falda .....	12
4.4	Condizioni geotecniche del sito .....	13
4.5	Sintesi del modello geotecnico di riferimento .....	25
4.6	Materiale da rilevato .....	26
4.7	Misto cementato .....	26
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE .....	27
5.1	Sollecitazione sismica di progetto .....	27
5.1.1	Vita Nominale .....	27
5.1.2	Classe d'uso .....	27
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica .....	28
5.1.4	Categorie di Sottosuolo .....	28
5.1.5	Condizioni topografiche .....	28
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento .....	29
5.2	Suscettibilità alla liquefazione .....	29
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT .....	31
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT .....	32
5.2.3	Commento ai risultati .....	36
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO FERROVIARIO .....	41
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite .....	41
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU) .....	41
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE) .....	43
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche .....	43
6.2	Azioni di progetto .....	43



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12



Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

3 di 116

6.2.1	Azioni permanenti .....	43
6.2.2	Azioni variabili .....	44
6.2.3	Azione sismica .....	44
6.3	Verifiche e risultati SLU .....	45
6.3.1	Premessa .....	45
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche .....	45
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche .....	46
6.4	Verifica e risultati SLE .....	48
6.4.1	Premessa e descrizione concettuale della soluzione .....	48
6.4.2	Metodologia di calcolo .....	49
6.4.3	Schematizzazione e risultati .....	51
7	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....	57
ALLEGATI .....		58
ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO .....		59
ALLEGATO 2 – INDAGINI GEOGNOSTICHE .....		61
ALLEGATO 3 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA .....		68
ALLEGATO 4 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICA .....		76
ALLEGATO 5 – TABULATI DI PLAXIS .....		84

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 4 di 116

## 1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI48, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende tra il km 28+680,00 e il km 28+925,00.



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

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

Il documento è così organizzato:

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



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 5 di 116



## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni di Progetto Esecutivo
- [2] IN1710EI2RBGE0000003C Relazione Geotecnica (da 21+990 a 33+500)
- [3] IN1710EI2LZGE0000018B Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico 7 di 11
- [4] IN1710EI2RHGE0000006B Relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base 2/2
- [5] IN1710EI2P5GE0000007B 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 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 6 di 116

[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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 7 di 116</p>

- [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>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI480001A</p>	<p>Foglio 8 di 116</p>

### 3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

#### 3.1 Premessa

Il rilevato ferroviario in esame si estende dalla pk 28+680,00 alla pk 28+925,00 per una lunghezza totale di 245 m. Il rilevato viene realizzato in un'area interessata dalla preesistenza del rilevato ferroviario della linea storica. In particolare, per tutta la sua estensione, il rilevato risulta in affiancamento alla linea storica. Il rilevato inizia in corrispondenza di un prolungamento di un sottovia esistenti, per la tratta in esame non si evidenziano altre interferenze con opere principali adiacenti e/o attraversate.

#### 3.2 Geometria del rilevato

Come detto, il rilevato risulta sempre in affiancamento alla linea storica. Il rilevato, lungo 245 m, ha una sezione pressoché uniforme per tutto il tracciato, ed è realizzato in affiancamento sul suo lato nord.

Per limitare i cedimenti del nuovo rilevato e quelli indotti sul rilevato della Linea Storica, in accordo a quanto fatto nel PD, è stato necessario prevedere l'installazione di inclusioni rigide (vedi par. 3.3). Nel paragrafo 6.1.1 vengono presentate le verifiche di stabilità per la sezione, mentre il calcolo dei cedimenti viene presentato nel paragrafo 6.1.2. Per entrambe le verifiche si fa riferimento alla sezione di massima altezza del rilevato lungo la tratta (vedi Figura 1).

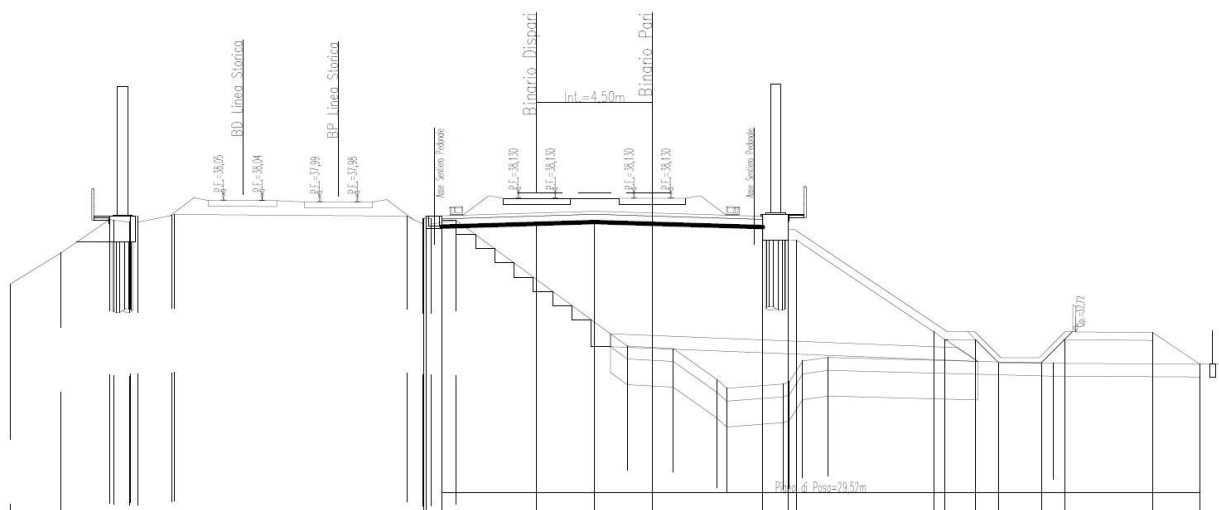


Figura 1 – Sezione di riferimento (pk 28+725,00 n. RI48-4) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

### 3.3 Descrizione degli interventi

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

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

- La fila A viene realizzata a ridosso del rilevato esistente e ha un ruolo fondamentale nella mitigazione dei cedimenti. Per tale motivo queste inclusioni sono sormontate da cappellotti in calcestruzzo (larghi 2.5m x 2.5m e spessi 0.6 m). La lunghezza delle inclusioni è tale da inserirsi per almeno 2m nello strato ghiaioso in profondità. Per la geometria di dettaglio si faccia riferimento agli elaborati grafici di progetto.
- Le file B e C vengono invece realizzate a partire dal piano campagna, e sono sormontate da uno strato di misto cementato dello spessore di 80 cm, avente la funzione di strato ripartitore del carico. Le lunghezze di queste inclusioni sono tali da non intaccare lo strato di ghiaie profondo posto a circa 26 m di profondità, e sede di un acquifero in pressione, evitando fenomeni di venute d'acqua in superficie durante l'esecuzione delle inclusioni stesse. Nel caso di RI48, le inclusioni B sono lunghe 19m, quelle dell'allineamento C invece sono lunghe 17m.
- In relazione alle problematiche esecutive dei pali in questione, si rimanda a quanto riportato al punto 7 .
- La disposizione degli interventi è a quinconce , con una spaziatura su maglia quadrata a interasse 4.5 m.

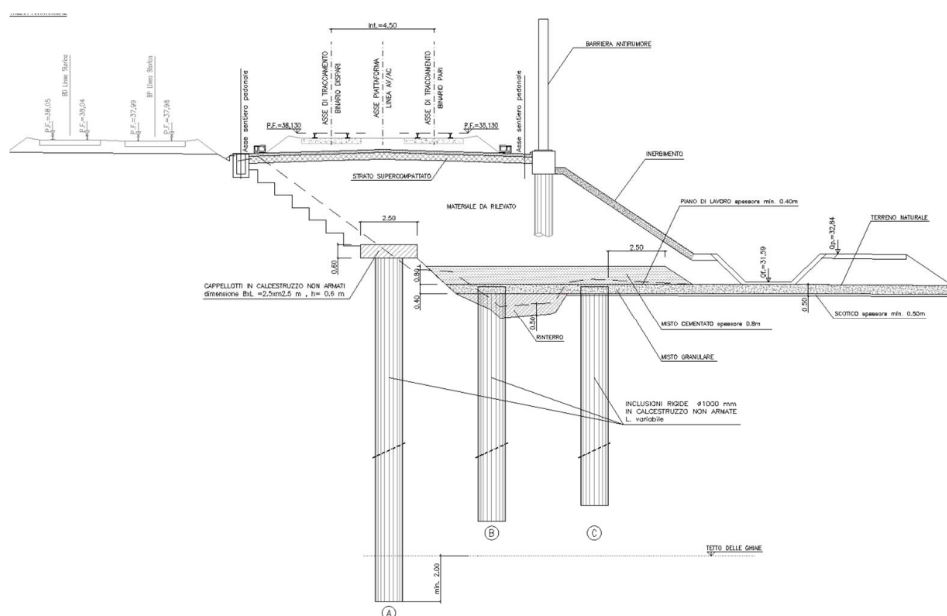


Figura 2 – Schema in sezione degli interventi con inclusioni rigide



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI4800001A

Foglio  
10 di 116

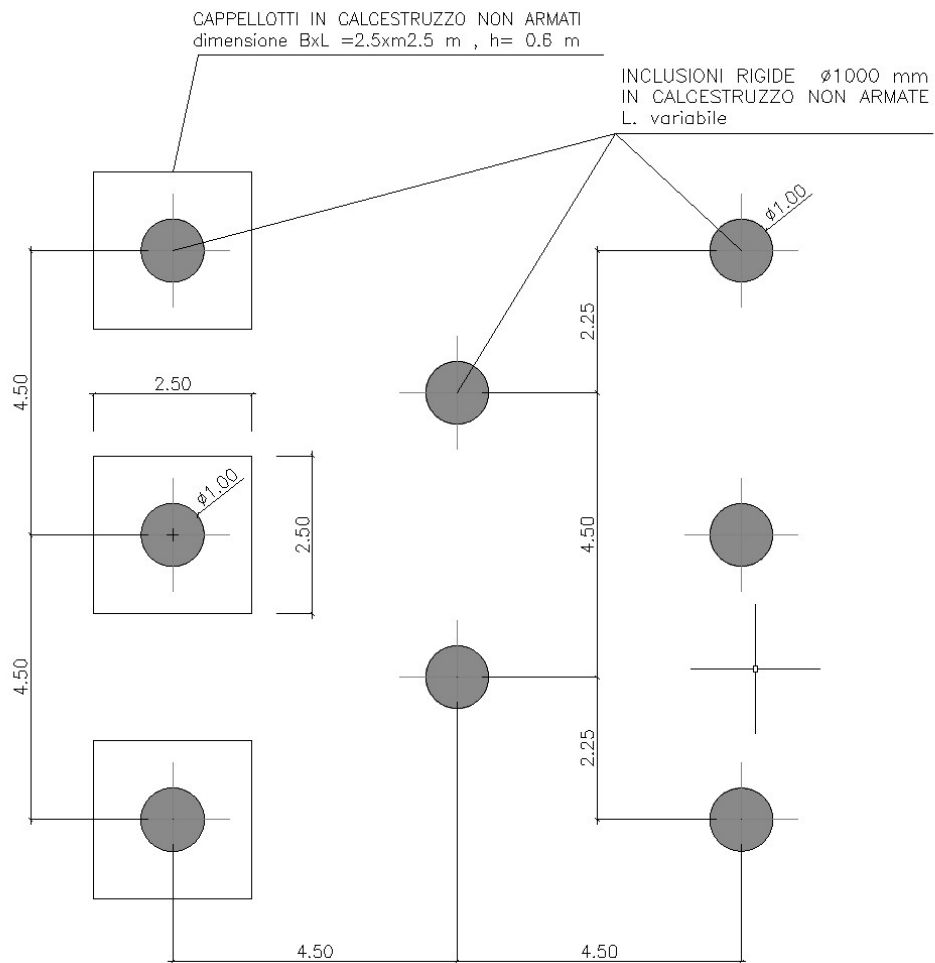




Figura 3 – Schema planimetrico degli interventi con inclusioni rigide

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 11 di 116

## 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. Per la caratterizzazione geotecnica, tenendo conto di una marcata omogeneità stratigrafica e di proprietà geotecniche dei terreni dell'area, si sono inoltre considerate anche altre indagini realizzate nelle WBS adiacenti. Nel seguente paragrafo si riporta la caratterizzazione geotecnica, ottenuta basandosi sui risultati delle indagini di Tabella 1 e sulla caratterizzazione generale dell'area in cui si inserisce il rilevato, presentata nella Relazione Geotecnica (Doc. Rif. [2]).

Per una trattazione completa dei criteri utilizzati per la valutazione dei parametri geotecnici a partire dai dati di prove in sito e di laboratorio, si rimanda al capitolo 5 della Relazione Geotecnica Generale (Doc. Rif. [2]).

Tabella 1 - Indagini disponibili tra pk 28+680,00 e pk 28+925,00

Progressiva pk	ID indagini	Campagna anno
28+670	CPTU76	2014/2015
28+670	XA2030013	2002
28+900	CPTU-PE-37bis	2020-2021
28+900	BH-PE-58bis	2020
28+920	BH30V	2015

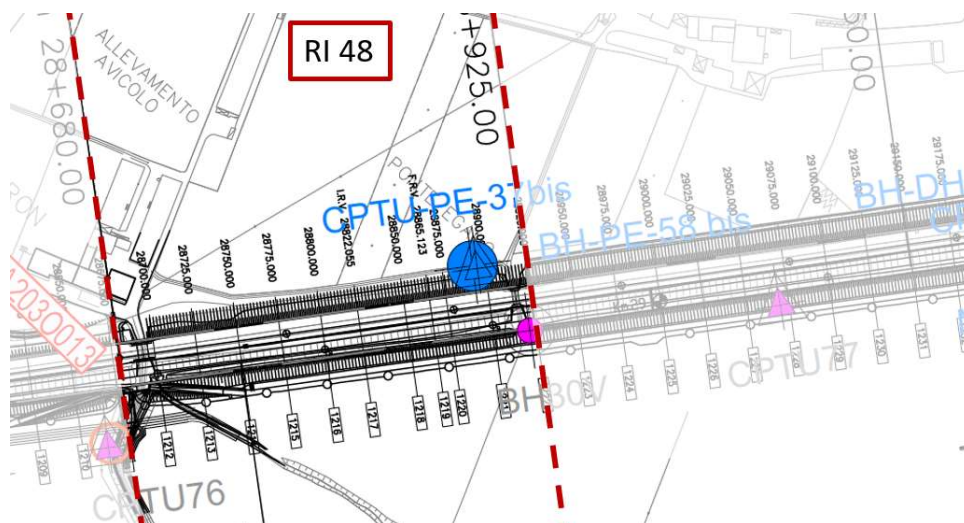




Figura 4 - Planimetria Rilevato RI48, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 12 di 116</p>

## 4.2 Inquadramento stratigrafico

L'area in esame è caratterizzata dalla presenza di uno strato superficiale di limi argillosi (Unità 3b) da sovraconsolidati a debolmente sovra consolidati, avente spessore di circa 26 m.

Al di sotto di tale strato, tutte le indagini disponibili nell'area indicano la presenza di una unità di ghiaie (Unità 6) mediamente addensate che si estendono almeno fino a circa 30 m da p.c.

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 RI48 estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 7 di 11 (Doc. Rif. [3]).

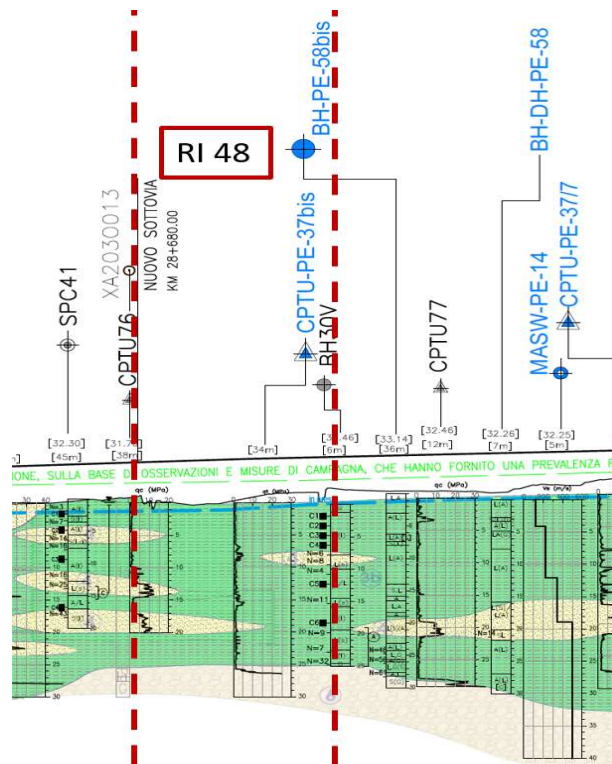




Figura 5 - Profilo Geotecnico Rilevato RI48, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

## 4.3 Livello di falda

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

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



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 13 di 116

#### 4.4 Condizioni geotecniche del sito

Come precedentemente accennato, il tratto in oggetto è caratterizzato da una copertura superficiale di limi argillosi (Unità 3b) da sovraconsolidati a debolmente sovra consolidati, avente spessore di circa 26 m. Tale copertura si presenta fittamente intercalata da livelletti sabbiosi, di spessore da decimetrico a metrico.

Al di sotto di tale strato, tutte le indagini disponibili nell'area indicano la presenza di una unità di ghiaie (Unità 6) mediamente addensate che si estendono almeno fino a circa 30 m da p.c.

Per la caratterizzazione dell'unità 3b si è fatto principalmente riferimento all'interpretazione delle prove riportate in Figura 10. Nei primi metri di profondità si ritrova una resistenza al taglio non drenata  $c_u=55$  kPa circa (valutata cautelativamente), mentre per i materiali da 15 m di profondità si può assumere un valore di  $c_u =70$  kPa.

Per quanto concerne i valori di pressione di preconsolidazione e dei coefficienti di compressione edometrici RR e CR, nel campo  $\varepsilon_v\text{-log}\sigma'_v$ , 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.

I depositi di ghiaia profondi (Unità 6) sono caratterizzate da valori medi di  $N_{SPT}=50$  colpi/30cm. La densità relativa di questi depositi risulta generalmente attorno al 40%, risultano quindi mediamente addensati.

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 14 di 116

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

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



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

15 di 116

## AV/AC VERONA VICENZA

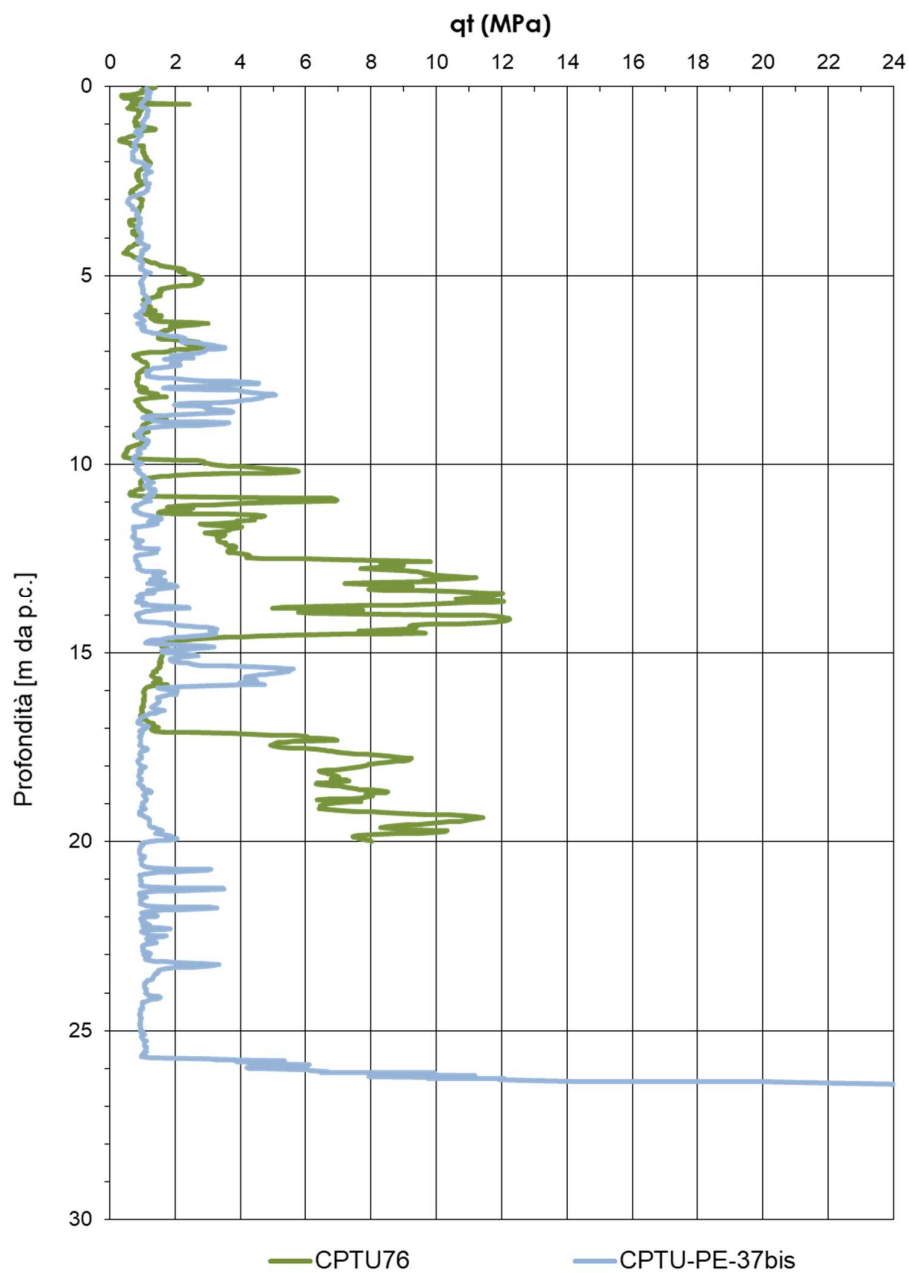


Figura 6 – Resistenza alla punta  $q_t$  da prove CPTU disponibili da pk 28+680,00 a pk 28+925,00



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI4800001A

Foglio  
16 di 116

**AV/AC VERONA VICENZA**

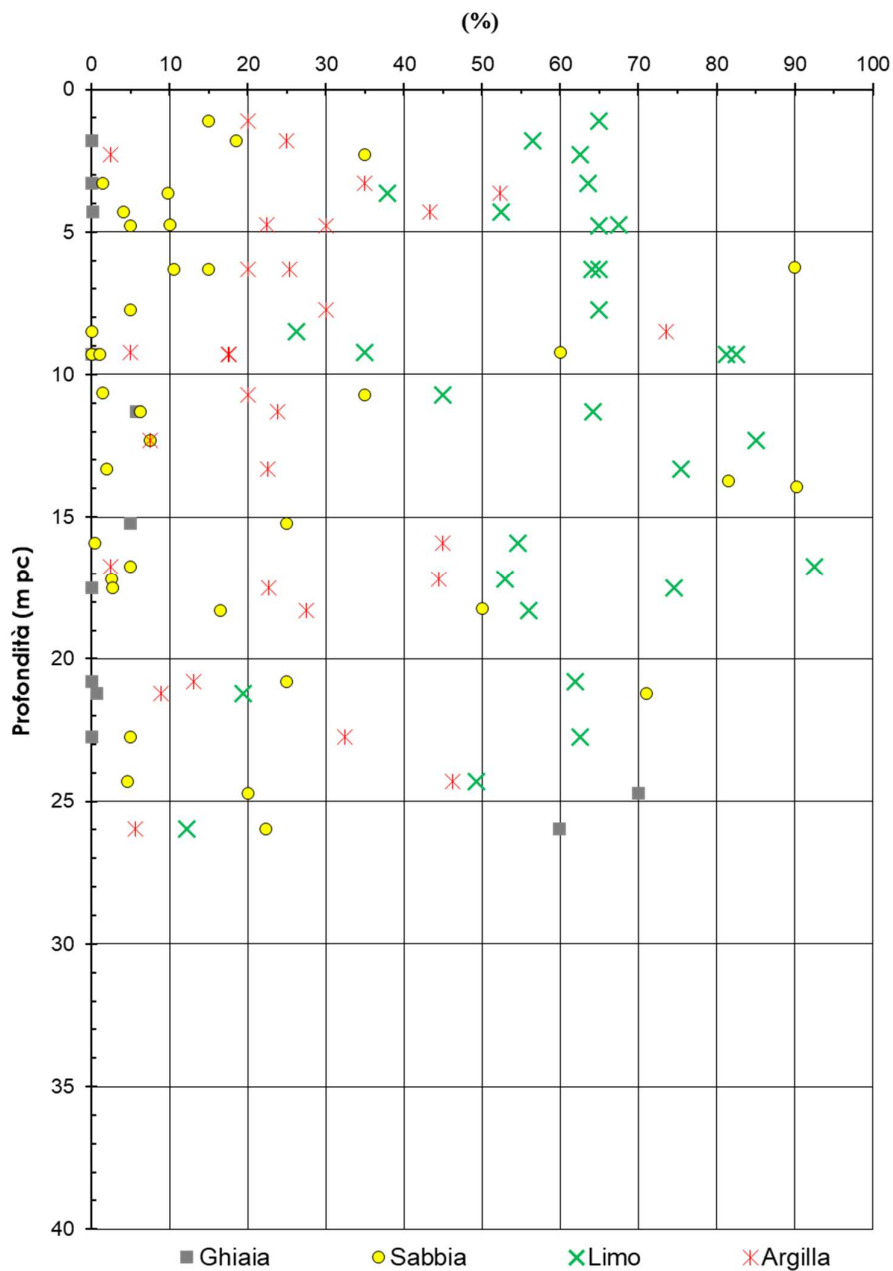


Figura 7 – Sintesi analisi granulometriche dei terreni da pk 28+680,00 a pk 28+925,00



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI480001A

Foglio  
17 di 116

**AV/AC VERONA VICENZA**

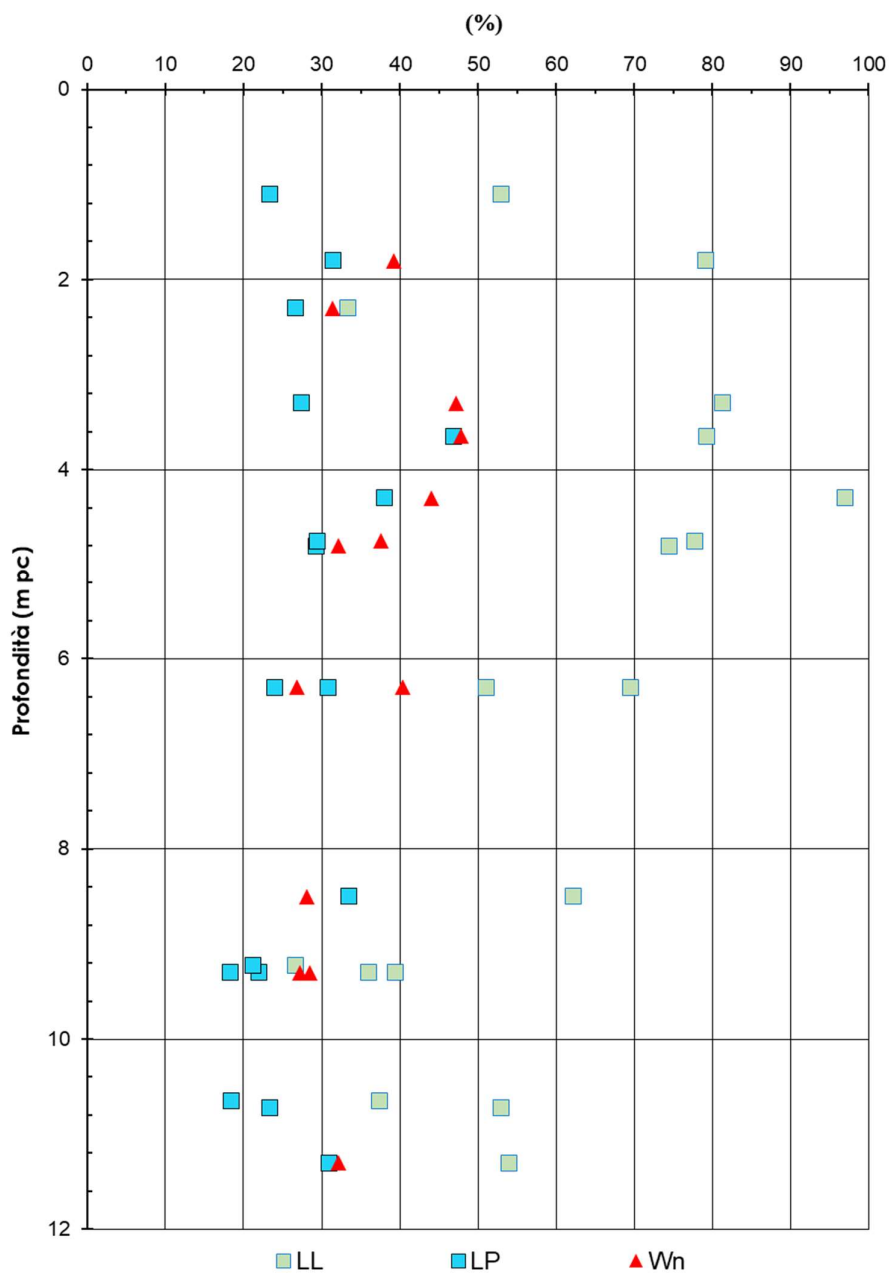


Figura 8 – Limiti di Atterberg e contenuto d'acqua naturale dei campioni a grana fine da pk 28+680,00 a pk 28+925,00



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI480001A

Foglio  
18 di 116

**AV/AC VERONA VICENZA**

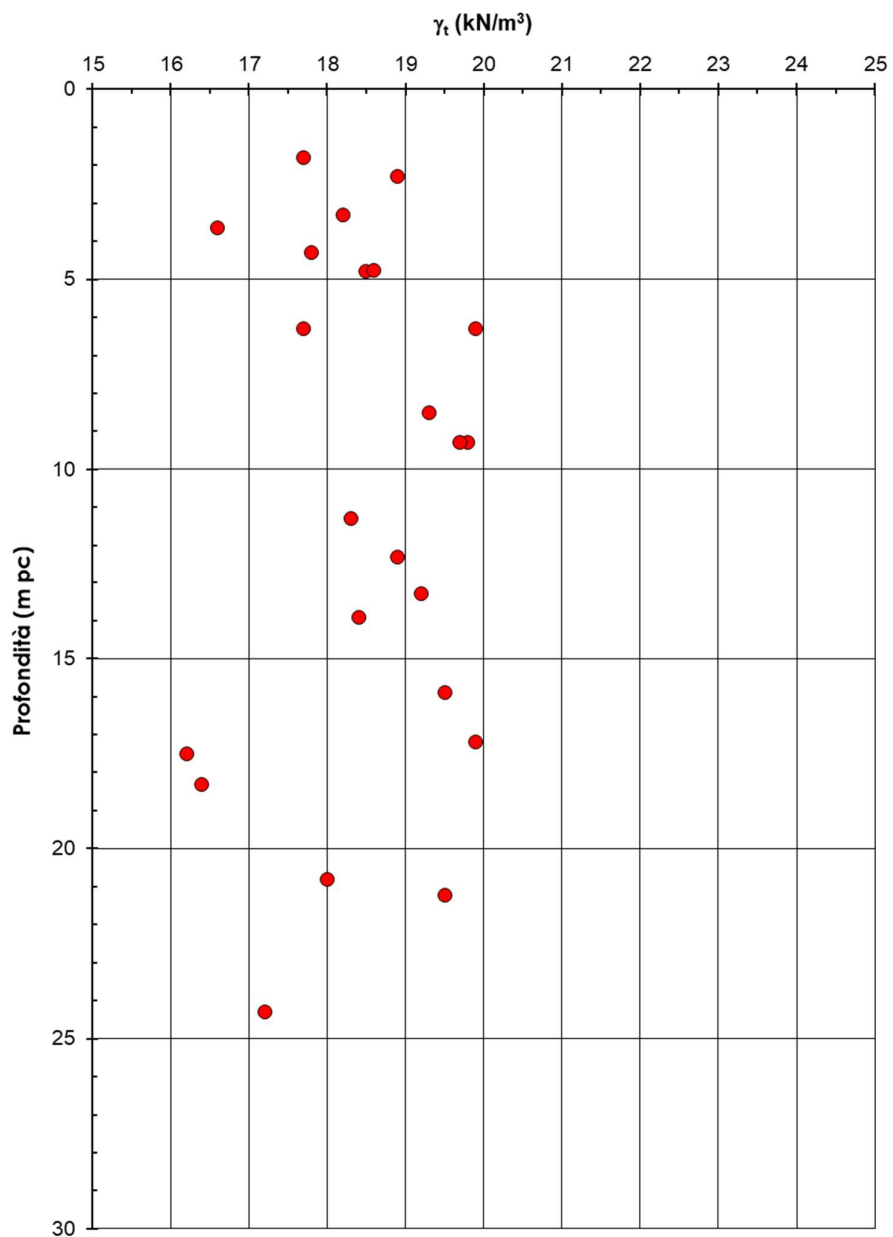


Figura 9 – Peso di volume dei campioni a grana fine da pk 28+680,00 a pk 28+925,00

## AV/AC VERONA VICENZA

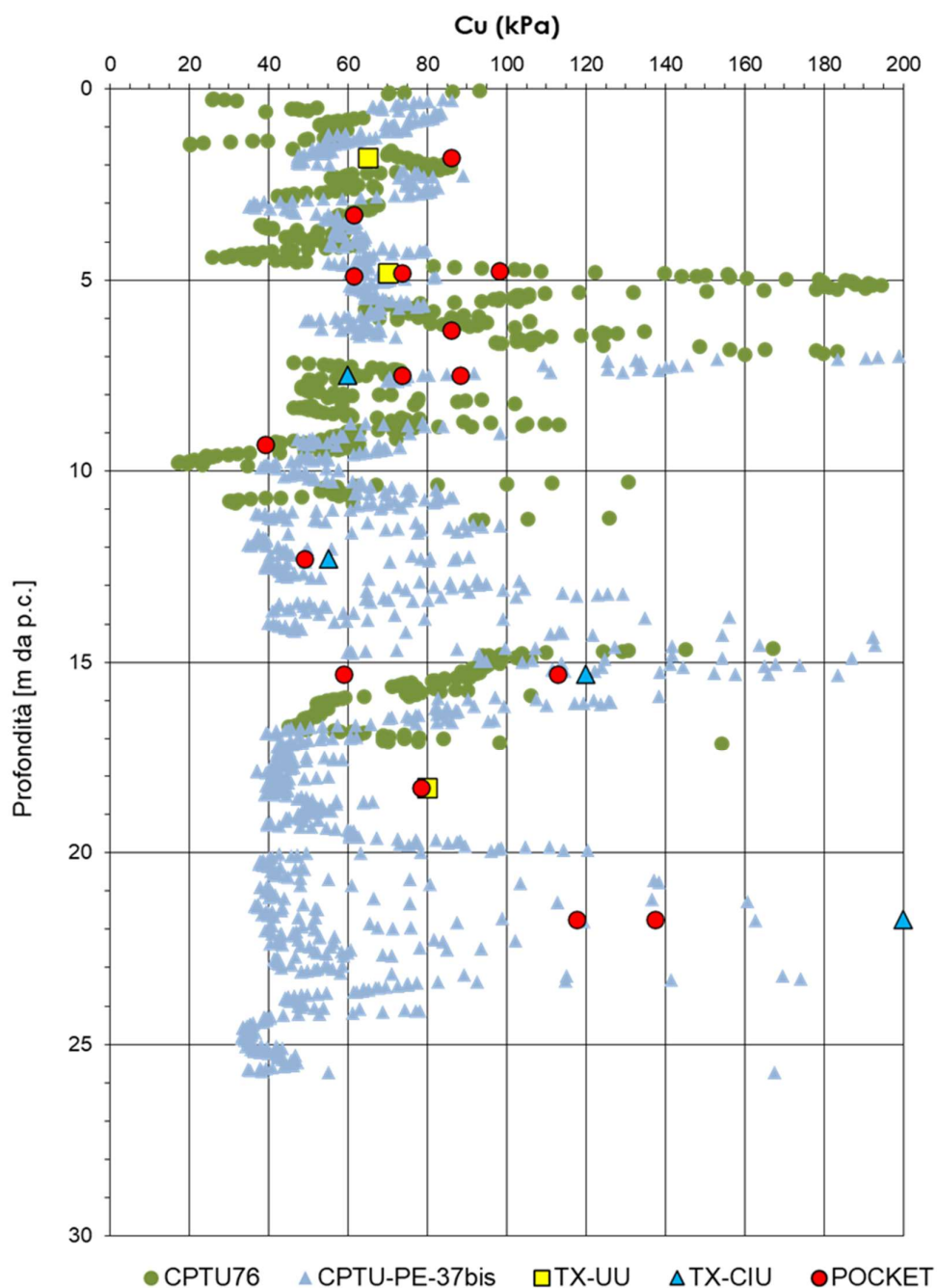


Figura 10 – Resistenza al taglio non drenata da prove in situ e di laboratorio da pk 28+680,00 a pk 28+925,00



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI4800001A

Foglio  
20 di 116

**AV/AC VERONA VICENZA**

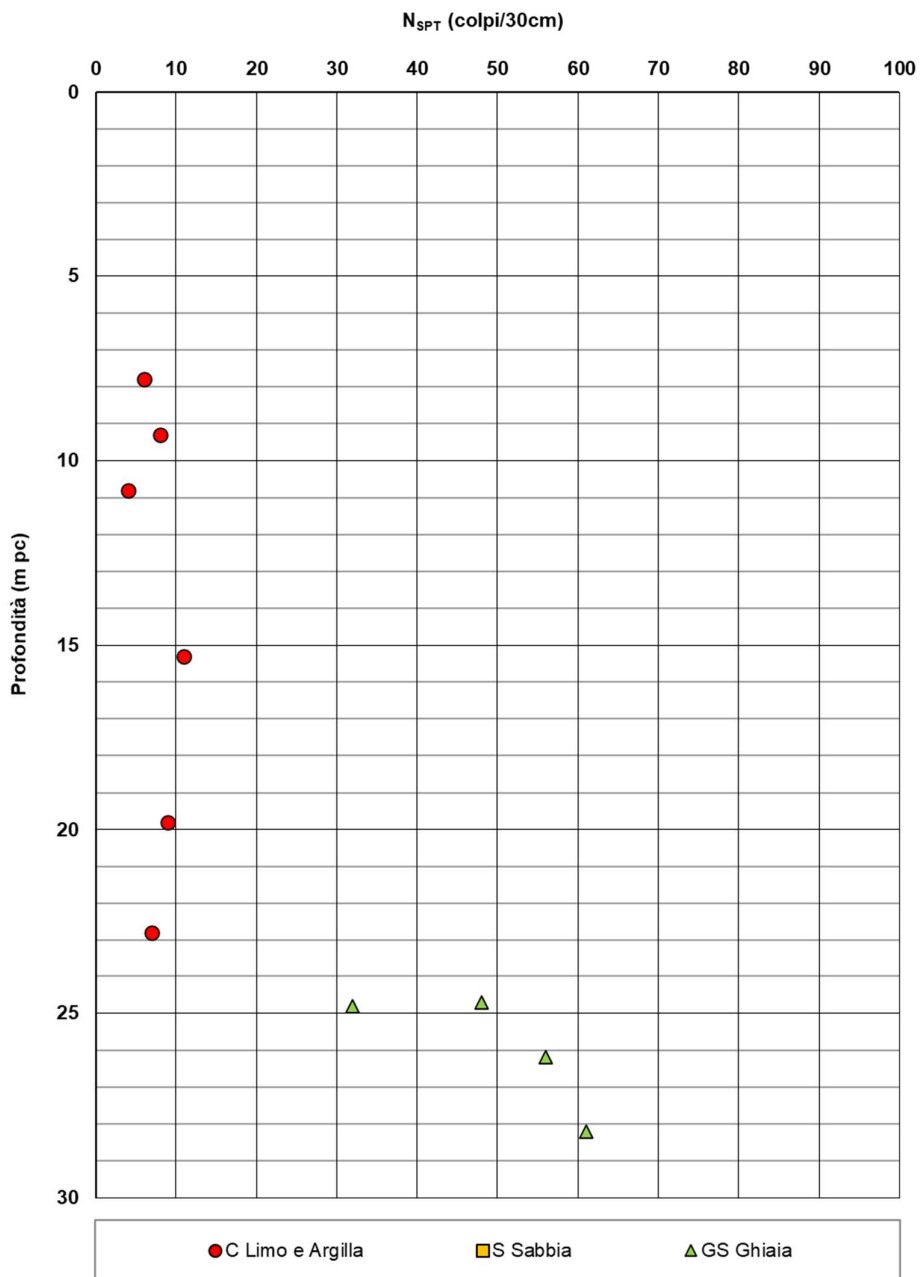


Figura 11 – Esito delle prove SPT da pk 28+680,00 a pk 28+925,00





Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

21 di 116

**AV/AC VERONA VICENZA**

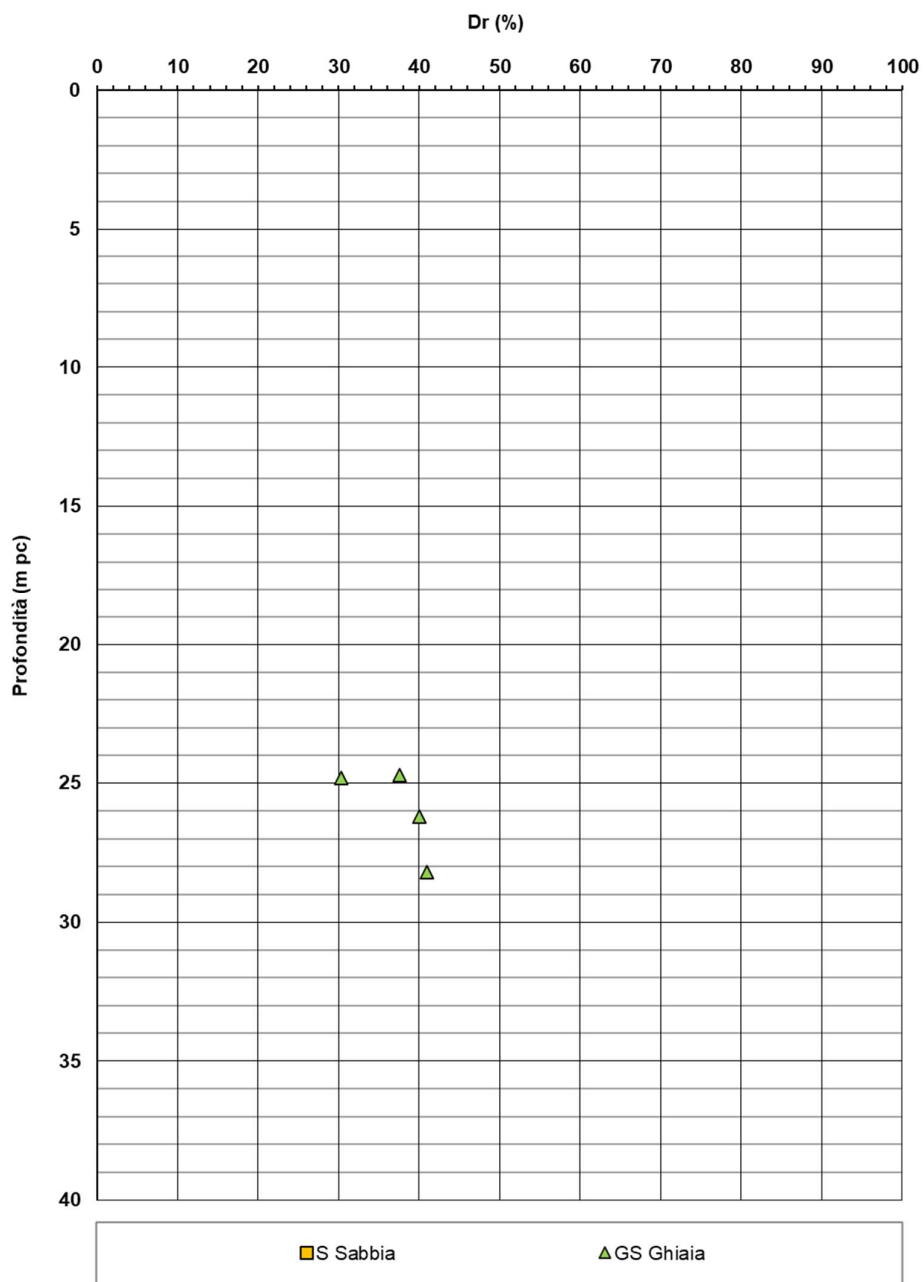


Figura 12 – Densità relativa da prove SPT da pk 28+680,00 a pk 28+925,00



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

22 di 116

**AV/AC VERONA VICENZA**

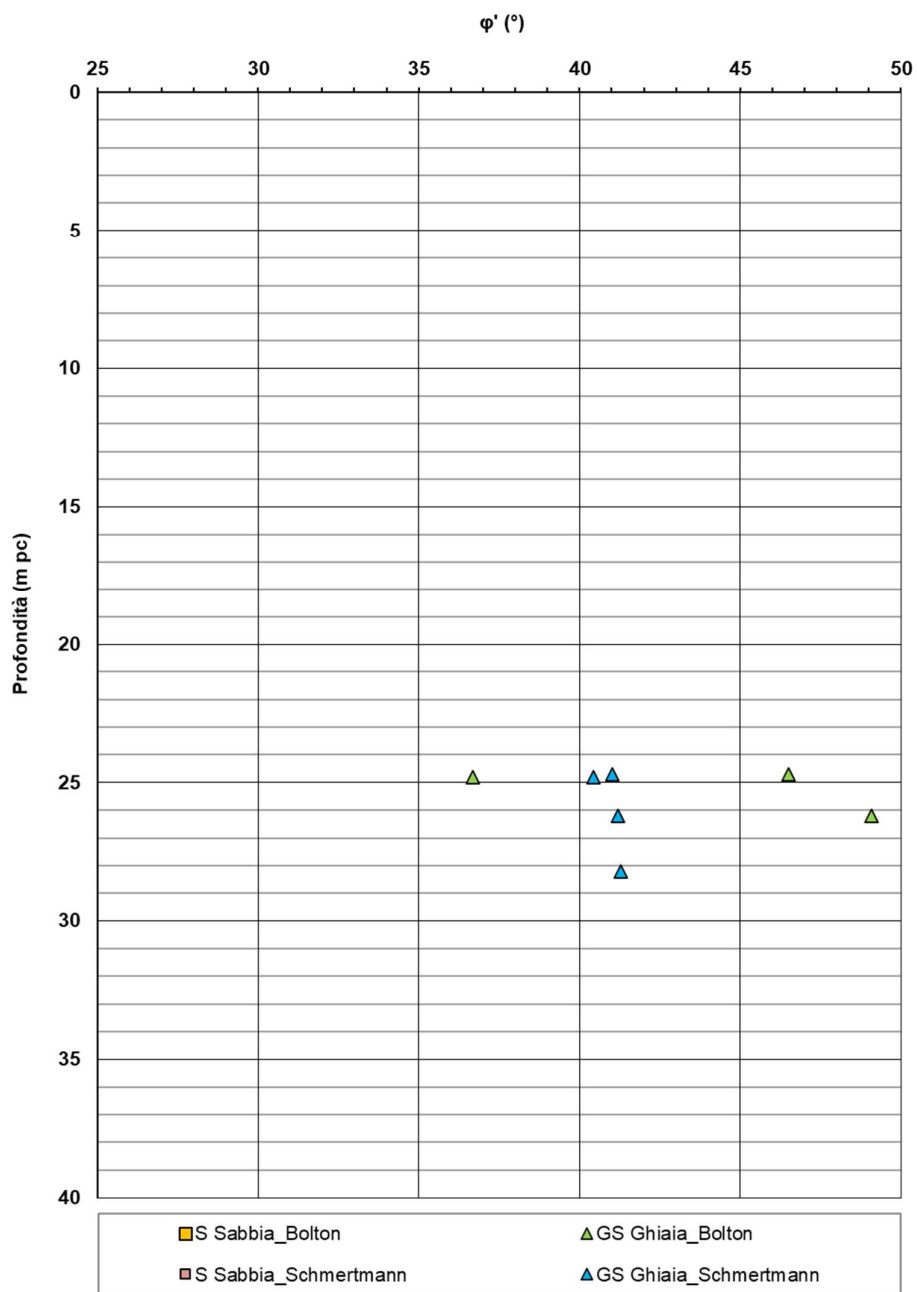


Figura 13 – Angoli di resistenza al taglio da prove SPT da pk 28+680,00 a pk 28+925,00



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI4800001A

Foglio  
23 di 116

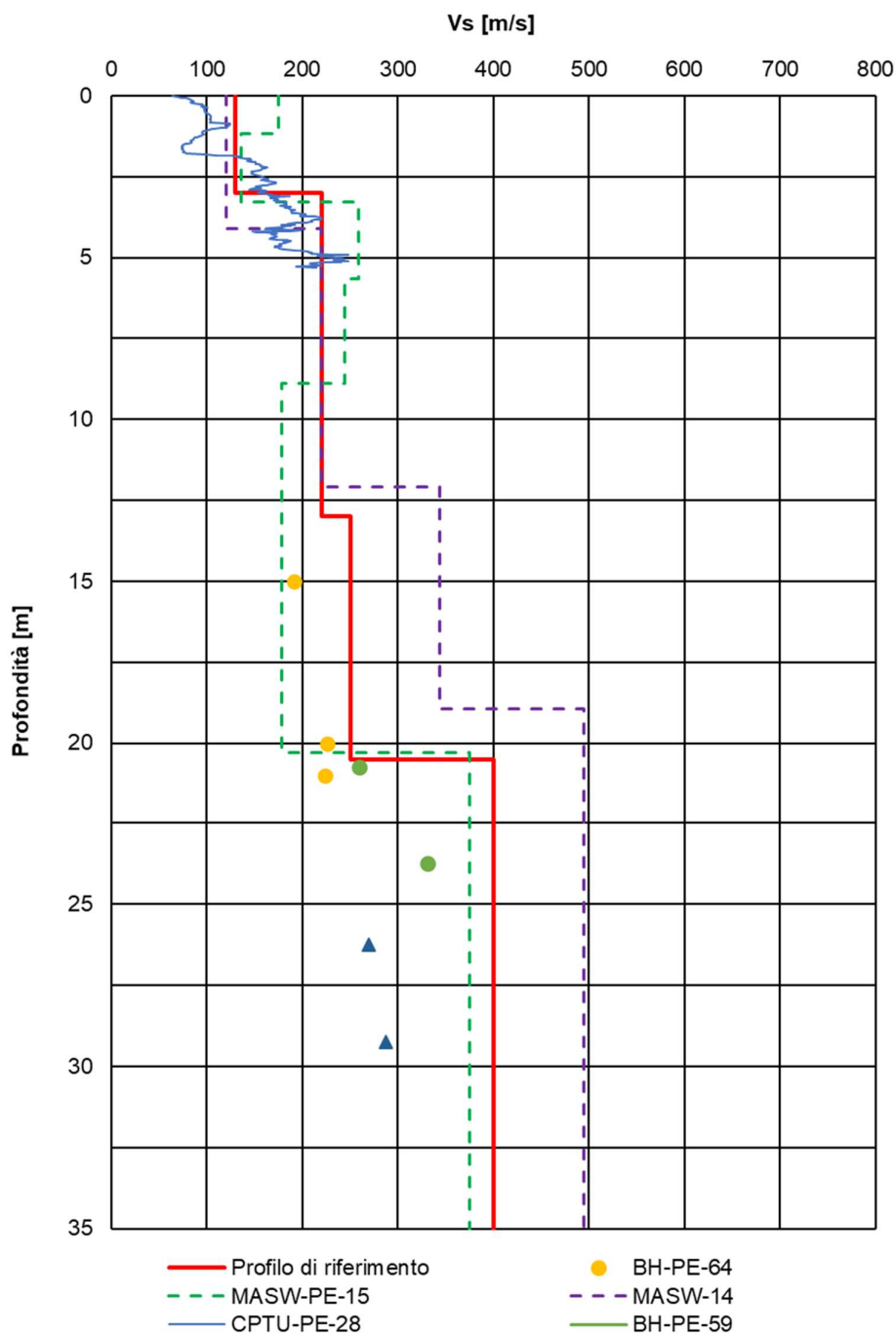


Figura 14 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW da pk 28+680,00 a pk 28+925,00



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

24 di 116

## AV/AC VERONA VICENZA

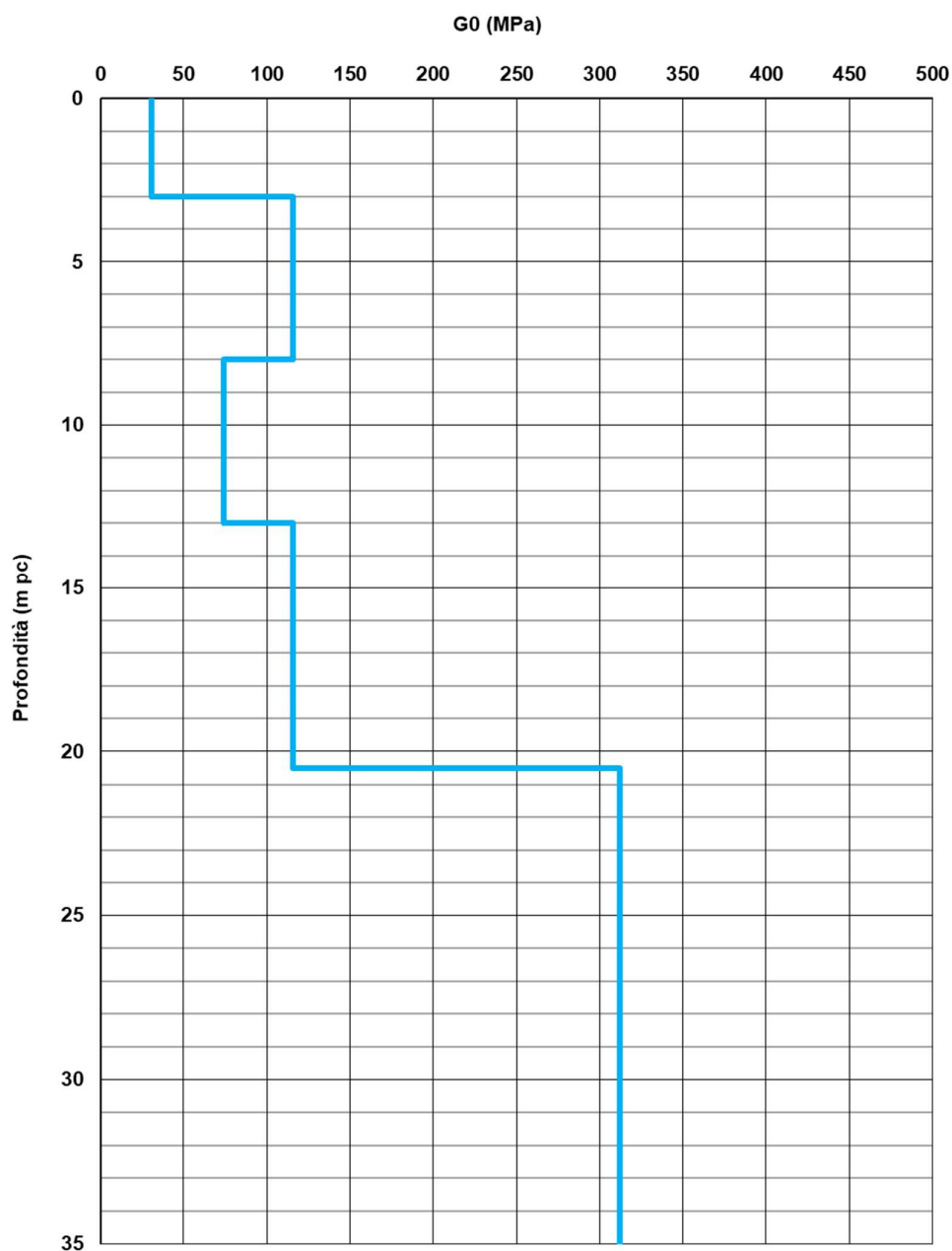




Figura 15 – Modulo di taglio  $G_0$  da pk 28+680,00 a pk 28+925,00

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 25 di 116

#### 4.5 Sintesi del modello geotecnico di riferimento



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

*Tabella 2 – Modello geotecnico di riferimento*

Unità	da m pc*	a m pc*	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\varphi_k$ °	$c_k'$ kPa	$c_{u,k}$ kPa	RR -	CR -	$e_0$	$\sigma'_p$ kPa	$E'_{op}$ MPa
3b	0	2	18.5	-	0	55	0.015	0.16	1	157	-
3b	2	4	18.5	-	0	55	0.015	0.16	1	164	-
3b	4	6	18.5	-	0	55	0.015	0.16	1	181	-
3b	6	8	18.5	-	0	55	0.015	0.16	1	168	-
3b	8	10	18.5	-	0	55	0.015	0.16	1	185	-
3b	10	12	18.5	-	0	55	0.015	0.16	1	172	-
3b	12	15	18.5	-	0	55	0.015	0.16	1	189	-
3b	15	17	18.5	-	0	70	0.015	0.16	1	215	-
3b	17	20	18.5	-	0	70	0.015	0.16	1	240	-
3b	20	23	18.5	-	0	70	0.015	0.16	1	266	-
3b	23	26	18.5	-	0	70	0.015	0.16	1	291	-
6	26	35	19	39	0	-	-	-	-	-	120

\* quota piano campagna = 32.5 m s.l.m.

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 26 di 116

#### 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>	$\phi$ °	$c'$ kPa
Materiale da rilevato	20	38	0

#### 4.7 Misto cementato

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI480001A	Foglio 27 di 116

## 5 CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

### 5.1 Sollecitazione sismica di progetto

#### 5.1.1 Vita Nominale

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

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

Tabella 4 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

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

#### 5.1.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, l'opera appartiene alla seguente classe d'uso III (Tabella §2.5.1.1.2.1 di RFI DTC SI PS MA IFS 001 B):

- I *Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.*
- II *Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*
- III *Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.*
- IV *Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.*

Il coefficiente d'uso è pari a 1.50, coerentemente a quanto indicato nella Tab. 2.4.II delle NTC.



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 28 di 116

Tabella 5 – Valori del coefficiente di uso  $C_u$

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

### 5.1.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

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

### 5.1.4 Categorie di Sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale. Per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel § 3.2.2 delle NTC2018. Come discusso nella Relazione sulla modellazione sismica (Doc. rif. [4]) e nelle Planimetrie con classificazione sismica dei terreni (Doc. rif. [5]), i terreni di progetto possono essere caratterizzati come appartenenti a terreni di Categoria C:



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

### 5.1.5 Condizioni topografiche

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

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



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 29 di 116

### 5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

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

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

## 5.2 Suscettibilità alla liquefazione

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



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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 30 di 116

(CRR) così definiti:

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

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

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

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

dove:

$a_{max}$             accelerazione di picco al sito

$g$                 accelerazione di gravità

$\tau_c$              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  $M=7.5$ .

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 31 di 116

Nel presente studio, in accordo sia alle prescrizioni dell'Eurocodice 8, sia a quanto suggerito da Youd et al., 2001 e Idriss e Boulanger (2004) si è assunto per  $M = 6.0 - MSF = 2$ .

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

### 5.2.1 CRR da correlazione su prove CPT

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

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

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

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

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

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

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

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



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

dove:

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 32 di 116

2.6 è stato considerato lo spartiacque tra terreni con contenuto di fine inferiore a 35% e comportamento assimilabile a quello delle sabbie e terreni con contenuto di fine superiore al 35% e comportamento più simile a quello delle argille. Nel primo caso l'esponente  $n$  nella formula con cui viene determinato il parametro  $Q$  è pari a 0.5, nel secondo è pari a 1. Come detto, i valori effettivi di  $n$  e  $I_c$  sono determinati al termine di una procedura iterativa, ipotizzando in prima istanza  $n = 1$ . Se  $I_c$  così calcolato è superiore a 2.6, il risultato è consolidato. In caso contrario, il calcolo viene ripetuto ipotizzando  $n = 0.5$ . Se in questo secondo calcolo  $I_c$  è ancora inferiore a 2.6, i nuovi valori di  $n$  e  $I_c$  sono confermati. In caso contrario si è in presenza di terreni intermedi e il calcolo finale viene svolto con  $n = 0.75$ .

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

$$q_{c1Nes} = q_{c1N} \cdot k_c$$

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

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

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

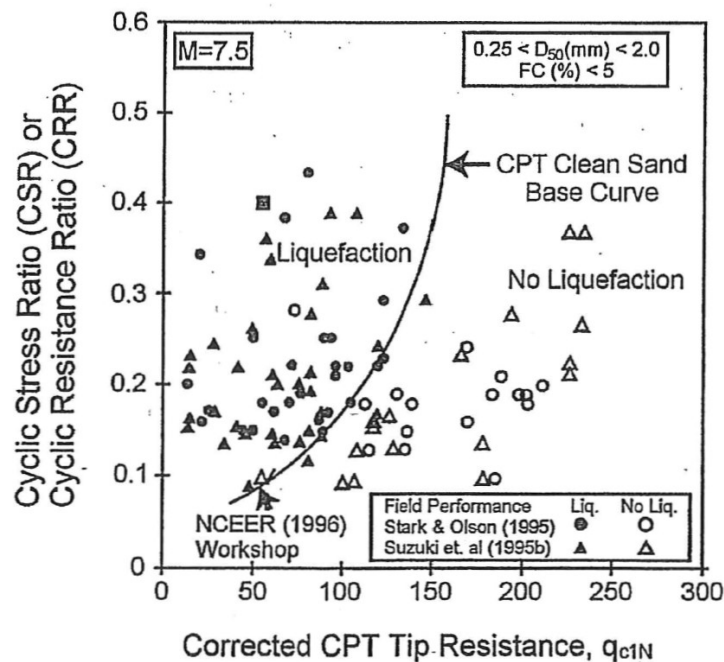




Figura 16 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta  $q_{c1N}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

### 5.2.2 CRR da correlazione su prove SPT

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 33 di 116

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

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

dove:

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

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

in cui  $P_a$  è la pressione atmosferica, pari a 100kPa, e  $\sigma'_{vo}$  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 campionario, relativo alla macchina utilizzata per fare la prova; considerando che la configurazione di prova normalmente adoperata in Italia ha un rendimento energetico del 60 %, tale coefficiente è stato posto pari ad 1.



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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 34 di 116

$$CRR_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

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

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

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

In cui:

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

$\sigma'_{v0}$  = 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/gliaiosi, mentre per i terreni limosi/argillosi è stato ipotizzato un contenuto di fini pari al 30-40%.

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

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

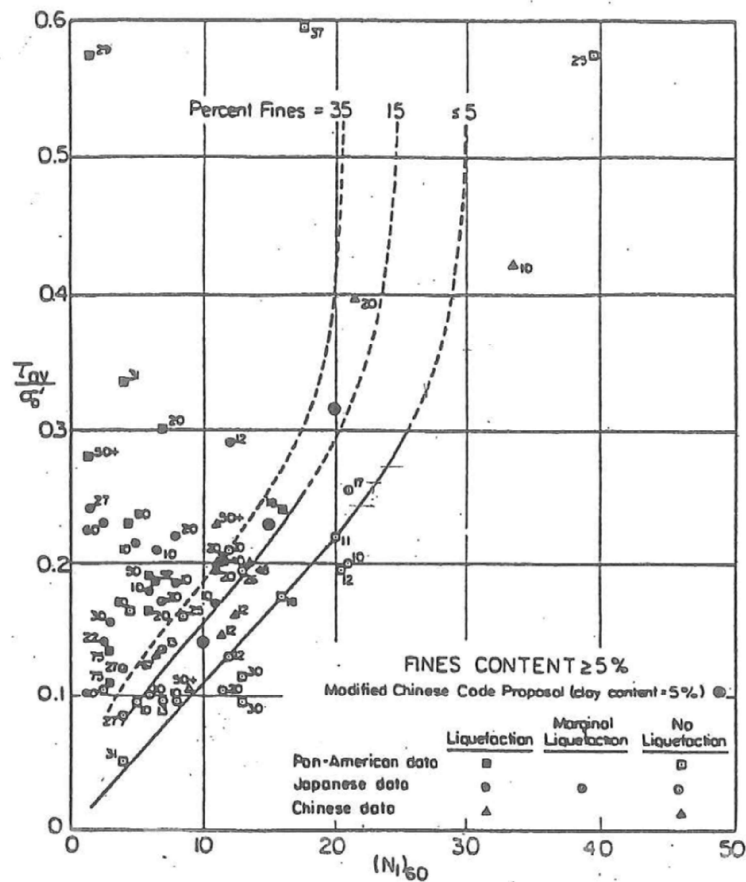




Figura 17 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e  $N_{1(60)}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 36 di 116

### 5.2.3 Commento ai risultati

I risultati delle analisi di liquefazione sono riportati nelle figure seguenti (da Figura 18 a Figura 21). Si rileva, nel solo caso della analisi condotta sulla prova CPTU 76, come vengano apparentemente mostrati dal calcolo dei livelli liquefacibili nei primi 8 m di profondità (meno evidenti nella prova CPTU-PE-37bis). In realtà, almeno in questo caso, la valutazione non è attendibile, in quanto i livelli che dalla elaborazione verrebbero identificati come liquefacibili (con valori calcolati di  $I_c$  che sono borderline, di poco inferiori a 2.6), sono in realtà costituiti in generale da limi argillosi con sottili passaggi più limoso-sabbiosi, come ampiamente dimostrato dalle granulometrie disponibili e dalla descrizione stratigrafica dei sondaggi. Quindi, di fatto, tali materiali non sono suscettibili a fenomeni di liquefazione (anche prescindendo dalla presenza delle inclusioni rigide, che comunque costituiscono una ulteriore garanzia nei confronti di questo fenomeno).

Pertanto, nel caso in esame, si può affermare che di fatto non si evidenziano rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato R148, in linea con le granulometrie descritte in precedenza.





Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
 Relazione Geotecnica

Progetto  
 IN17

Lotto  
 12

Codifica  
 EI2RBRI4800001A

Foglio  
 37 di 116

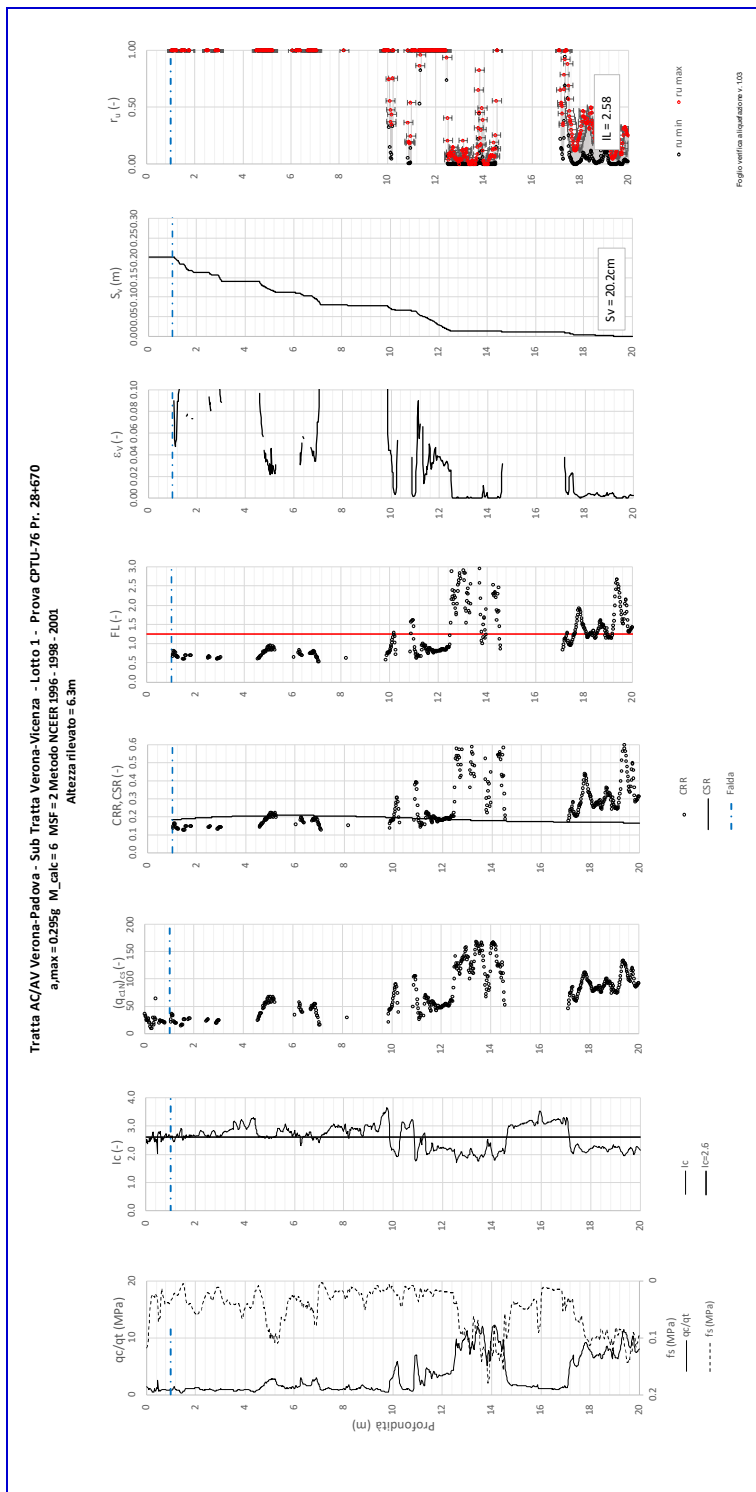


Figura 18 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU76



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI480001A

Foglio  
38 di 116

T tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova BH-PE-58bis Pr. 28+900  
a<sub>max</sub> = 0,295g M<sub>calc</sub> = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 5m

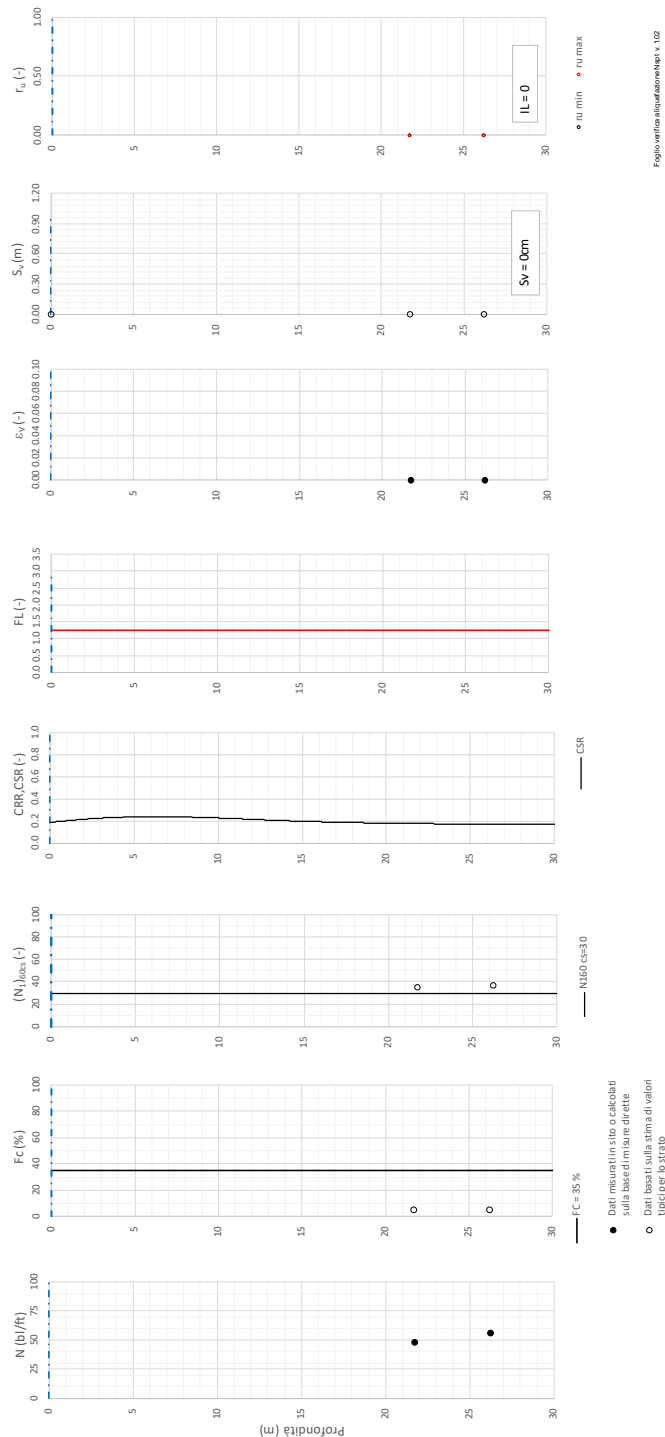


Figura 19 – Verifica Liquefazione da risultati SPT BH-PE-58bis



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
 Relazione Geotecnica

Progetto  
 IN17

Lotto  
 12

Codifica  
 EI2RBRI4800001A

Foglio  
 39 di 116

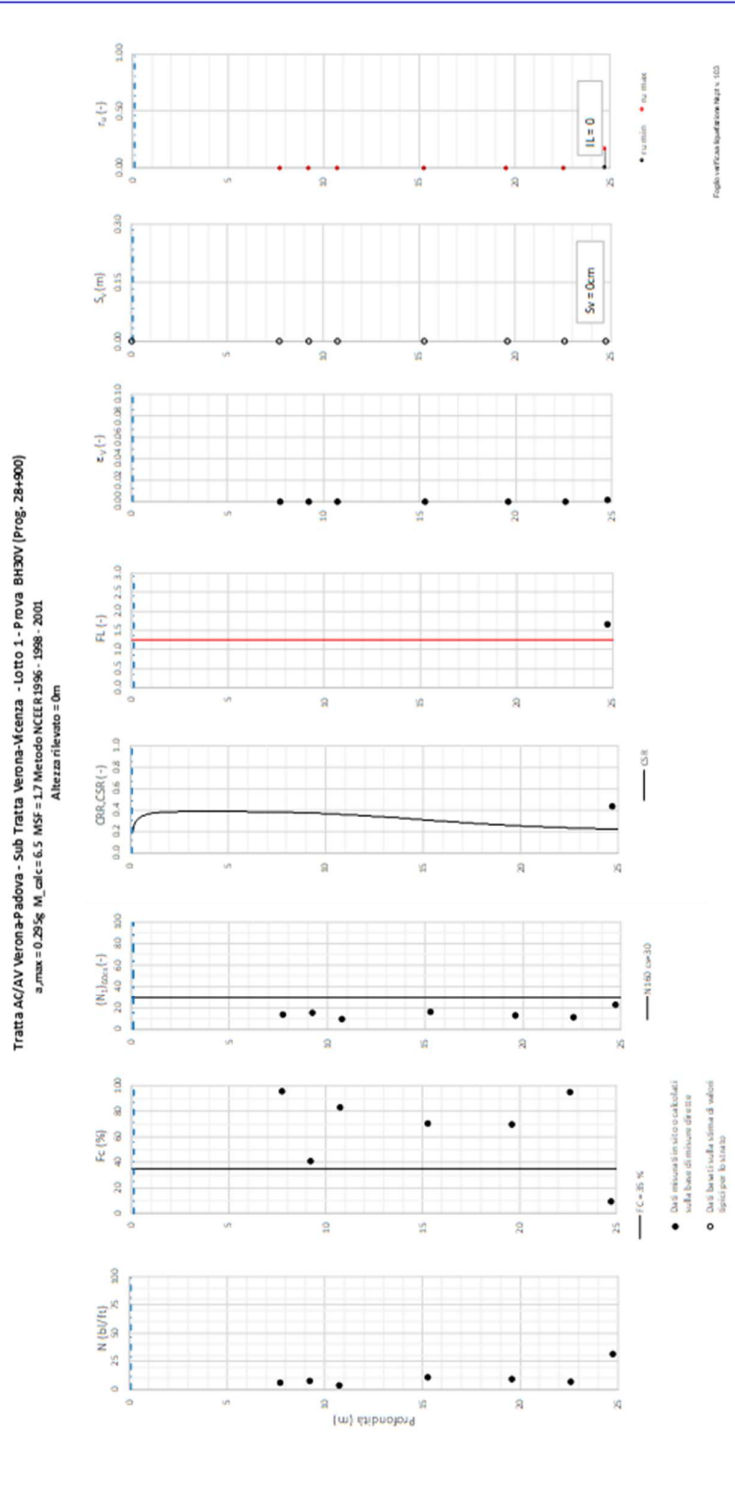


Figura 20 – Verifica Liquefazione da risultati SPT BH30V



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI480001A

Foglio  
40 di 116

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-37bis Pr. 28-900  
a<sub>max</sub> = 0.25g M<sub>calc</sub> = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 6m

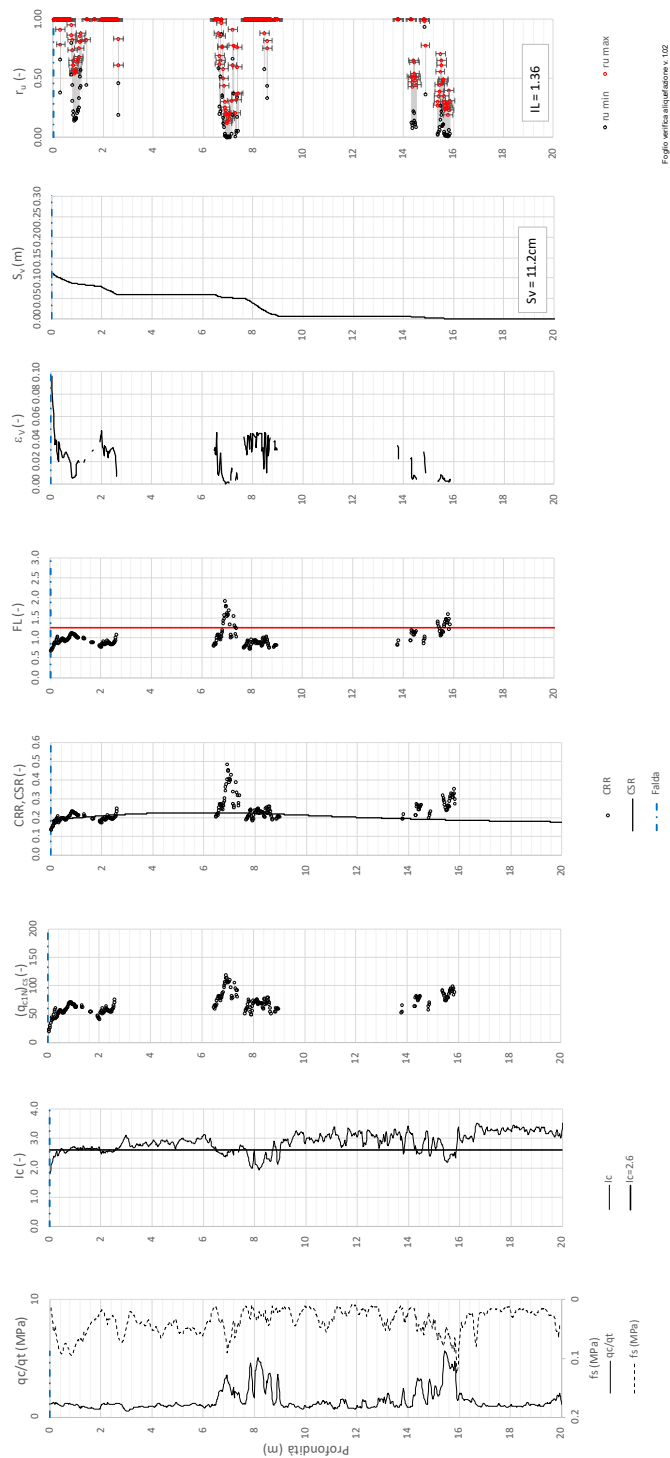




Figura 21 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-37bis

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 41 di 116

## 6 VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO FERROVIARIO

### 6.1 Criteri di verifica agli Stati Limite

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

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

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

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

dove:

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

$R_d$  valore di progetto della resistenza.

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

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

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

dove:

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

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

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

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

#### 6.1.1 Stati limite ultimi (SLU)



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

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 42 di 116

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)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

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

Coefficiente	R2
$\gamma_R$	1.1

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 43 di 116

### 6.1.2 Stati limite di esercizio (SLE)

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

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

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

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

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

### 6.1.3 Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche



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

## 6.2 Azioni di progetto

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

### 6.2.1 Azioni permanenti

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 44 di 116

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.

### 6.2.2 Azioni variabili

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

### 6.2.3 Azione sismica

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

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

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

dove

$\beta_s$                     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.

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



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI480001A	Foglio 45 di 116

## 6.3 Verifiche e risultati SLU

### 6.3.1 Premessa

Le verifiche SLU della stabilità globale del rilevato (sia in condizioni statiche che sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo SLIDE 7.0 (Doc. Rif. [25]). Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento rispettivamente ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico e ai coefficienti parziali (M2) per le analisi sismiche. Tali coefficienti sono contenuti nella Tabella 7 della presente relazione.

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

$$FS \geq R2 = 1.1.$$

è verificata sia in condizioni statiche che sismiche.

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

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

### 6.3.2 Verifiche SLU in condizione statiche



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

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

In **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, sono riportate le superfici di rottura critiche. Il valore minimo di FS è pari a:

$$F_{S_{MIN}} (DA1C2) = 1.279 > R2 = 1.1$$

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 46 di 116

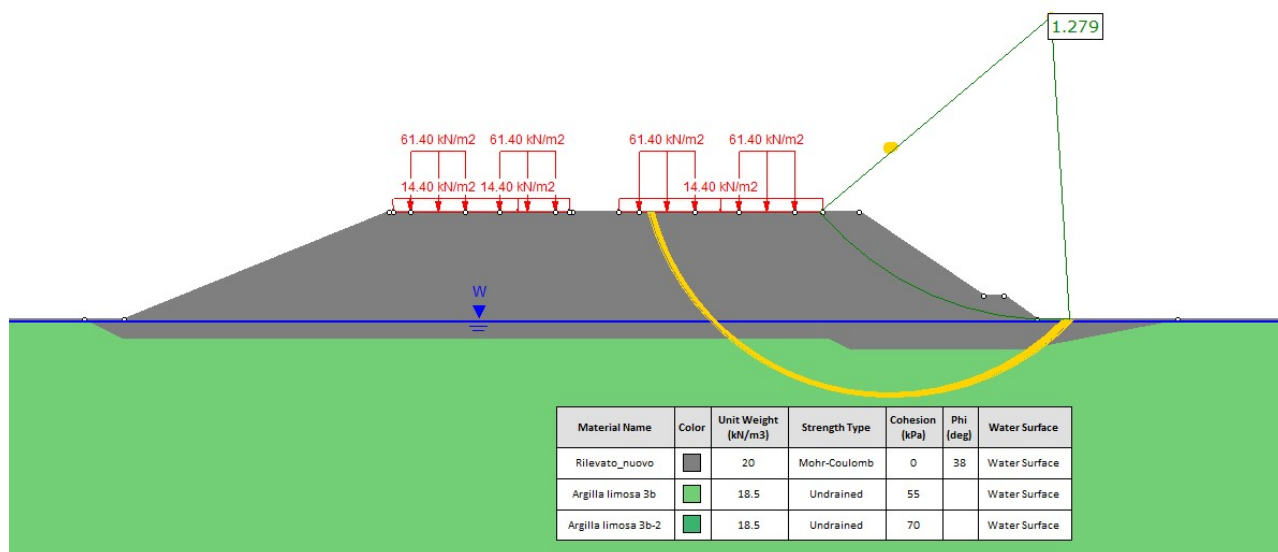


Figura 22 – Rilevato Ri48 - Analisi SLU in campo statico DA1C2

### 6.3.3 Verifiche SLU in condizioni sismiche

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

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

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

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

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

In Figura 23 sono riportate le superfici di rottura critiche. Il fattore di sicurezza FS è pari a:

$$FS_{MIN} = 1.128 > R2 = 1.1$$

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



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI4800001A

Foglio  
47 di 116

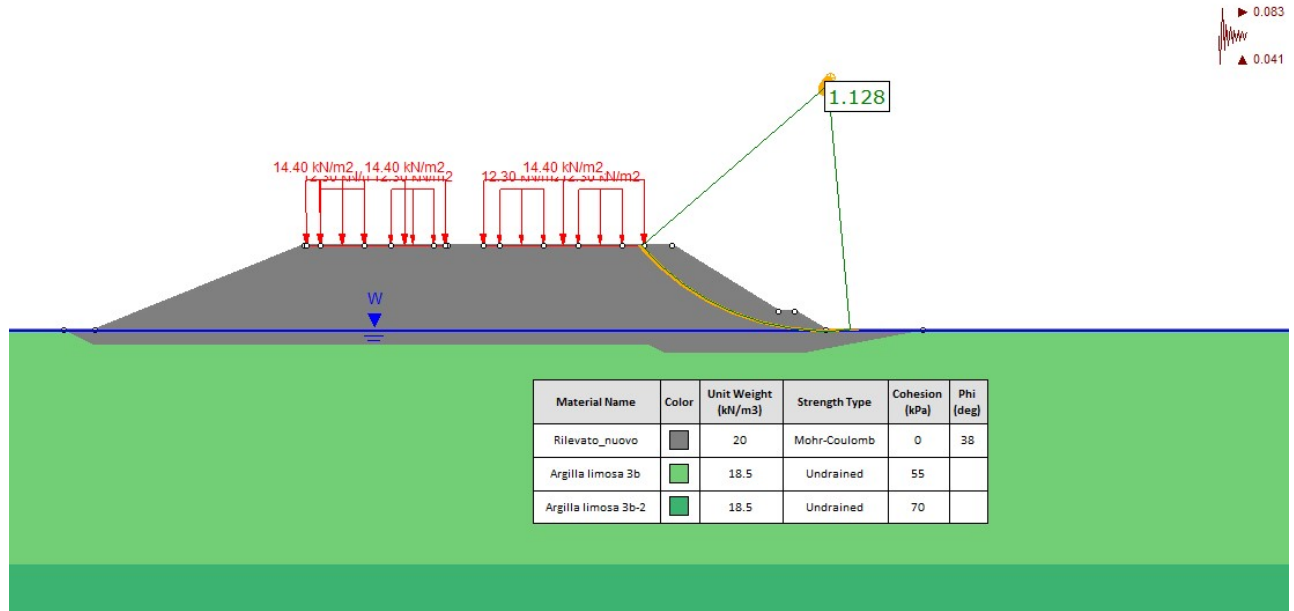




Figura 23 – Rilevato Ri48 - Analisi SLU in campo sismico

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 48 di 116

## 6.4 Verifica e risultati SLE

### 6.4.1 Premessa e descrizione concettuale della soluzione



Nonostante l'esito delle verifiche SLU, che indicano che non vi è necessità di trattamenti per soddisfare i criteri di sicurezza, tuttavia la presenza di terreni argillosi fino a circa 25 m da p.c., aventi caratteristiche di compressibilità medie, causerebbe lo sviluppo di cedimenti non accettabili, né per il costruendo rilevato della linea AV, né per i cedimenti indotti sulla LS. Calcoli qui non riportati indicano che i cedimenti attesi in assenza di trattamenti sono dell'ordine dei 30/35 cm sull'asse del rilevato della linea nuova, e che i cedimenti indotti sul rilevato della LS sono dell'ordine dei 10-15 cm, con cedimenti differenziali fra i binari non accettabili.

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

- a) La ripartizione del carico del rilevato sui due allineamenti delle inclusioni con la quota di testa più bassa (quelle poste verso l'esterno del nuovo rilevato) viene assicurata dalla presenza di uno strato di misto cementato dello spessore di 80 cm;
- b) La terza fila di allineamenti, disposta verso il rilevato della LS, ha principalmente la funzione di limitare i cedimenti indotti sulla linea esistente. Sulla base di studi effettuati, la sua efficacia a tale scopo è tanto maggiore quanto più l'allineamento è spostato verso il rilevato della LS.
- c) Si è considerato tuttavia che la posizione di queste inclusioni non potesse essere troppo a ridosso della LS stessa, in quanto l'esecuzione di una trivellazione del diametro 1000 mm può comunque indurre vibrazioni e spostamenti indesiderati nel terreno circostante. Si è quindi deciso di mantenere tale allineamento ad una distanza di 1.5 m dalla base del rilevato esistente, verso l'interno dello stesso.
- d) Per le inclusioni rigide posizionate lungo tale allineamento, si utilizzeranno cappellotti prefabbricati quadrati in calcestruzzo di lato 2.5 m
- e) Relativamente alla lunghezza delle inclusioni, si è tenuto conto della opportunità, laddove possibile, di evitare di immorsarsi nella formazione ghiaiosa di base, sede di una falda in pressione. Questo è stato possibile per le due file di interventi poste verso l'esterno della sezione, in quanto i cedimenti nell'area del nuovo rilevato sono comunque contenuti. Per l'allineamento di inclusioni verso la LS, si è invece considerato necessario immorsare i pali nella ghiaia, al fine di contenere i cedimenti assoluti e differenziali nei limiti prescritti.

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

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 49 di 116

#### 6.4.2 Metodologia di calcolo

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

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

Per i materiali a grana grossa (ghiaia e materiale da rilevato), situati in profondità e dotati di buone proprietà meccaniche e la cui risposta ai carichi previsti è descrivibile in condizioni drenate, si è fatto riferimento ad un modello costitutivo alla Mohr-Coulomb. Per maggiori informazioni circa i parametri deformativi e di resistenza impiegati si faccia riferimento al punto 4.5.

Per i depositi coesivi è stato impiegato il modello costitutivo denominato Hardening Soil (HS) Model, appartenente alla famiglia dei modelli di tipo Cam-Clay. Il modello HS ha consentito di riprodurre la risposta esibita dai campioni indisturbati nel corso delle prove di laboratorio prese in esame per la caratterizzazione (v. capitolo 4). Ciò ha permesso di impiegare materiali aventi rigidezze 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:

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

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

dove:

- $\lambda$     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.

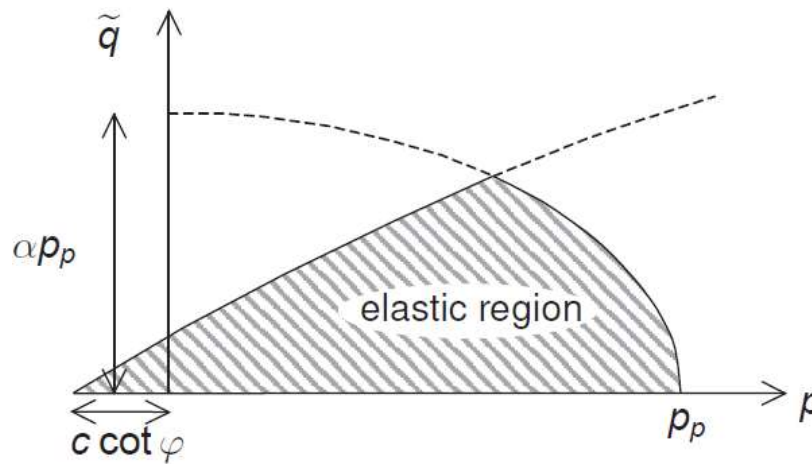




Figura 24 – Superficie di snervamento del modello Hardening Soil nel piano  $q$ - $p'$

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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI480001A</p>	<p>Foglio 51 di 116</p>

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, per i terreni della formazione 3b si è assunto un valore di permeabilità cautelativamente basso (considerata la presenza di intercalazioni sabbiose) e pari a  $10^{-8}$  m/s.

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

#### 6.4.3 Schematizzazione e risultati

Il modello di calcolo è riportato in Figura 25. La geometria è quella anticipata al punto 3.3, per una descrizione dettagliata si faccia riferimento alle tavole di progetto.

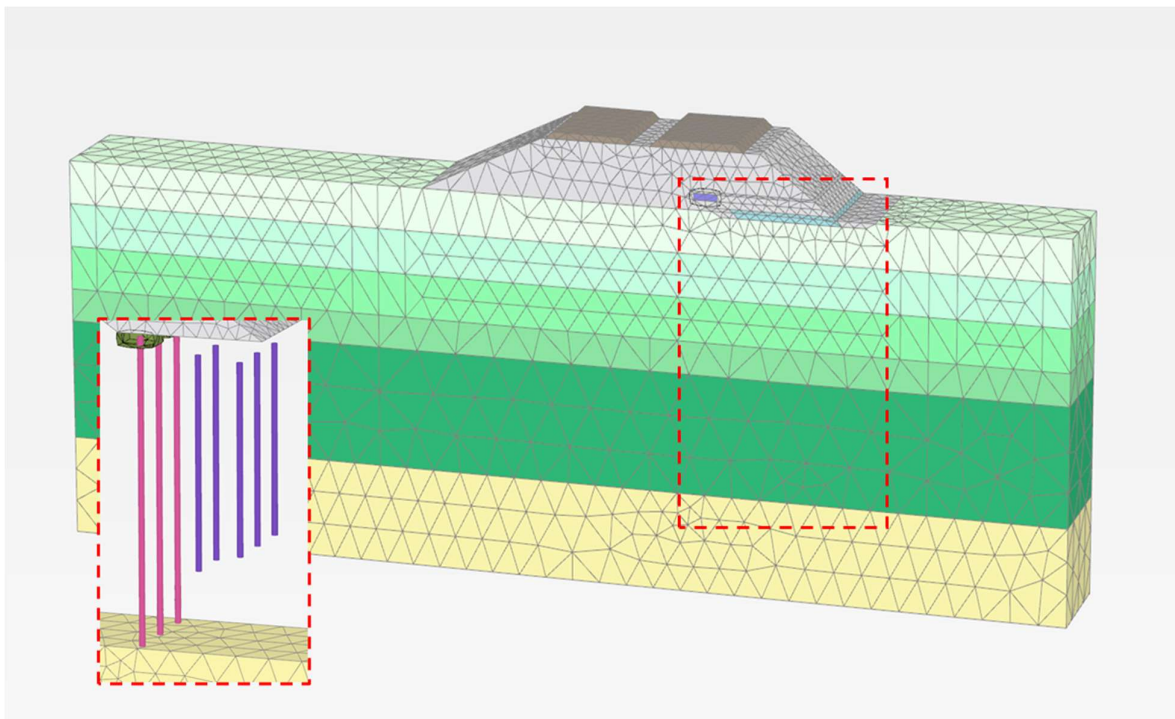




Figura 25 – Ri48: modello agli elementi finiti

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 52 di 116

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

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

Queste fasi sono illustrate in Figura 26, per tutti i dettagli si rimanda all' ALLEGATO 5.

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





Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

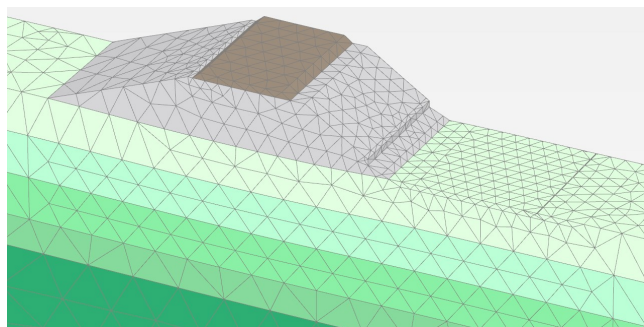
Foglio

IN17

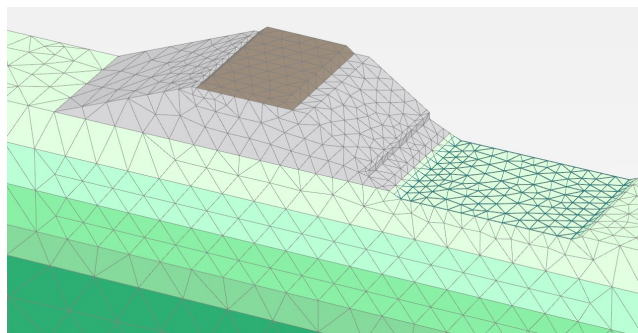
12

EI2RBRI4800001A

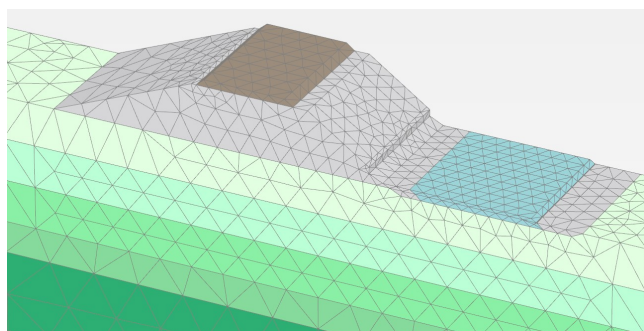
53 di 116



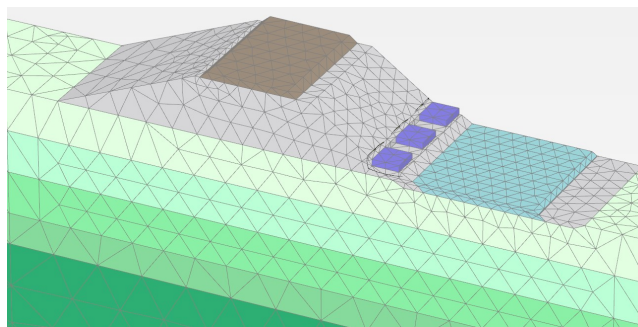
Fase 2



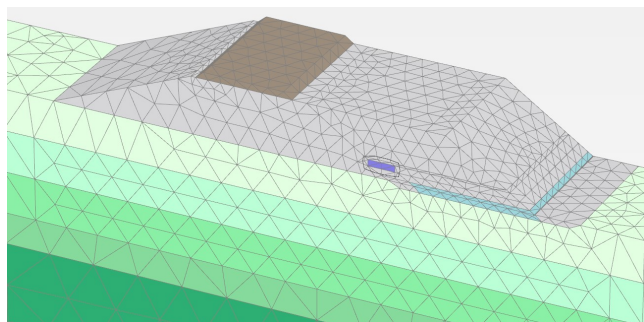
Fase 3



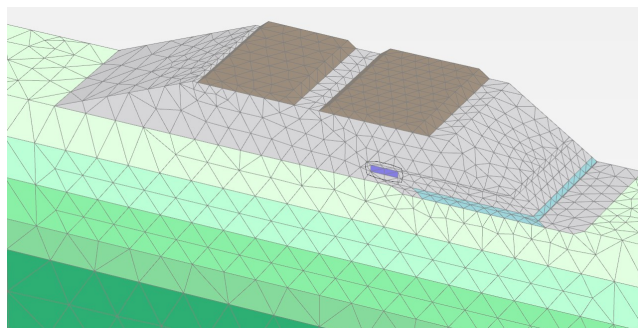
Fase 4



Fase 5





Fase 6 e Fase 7



Fase 8 e Fase 9

Figura 26 – Ri48: fasi della modellazione a elementi finiti

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 54 di 116

I risultati dell'analisi sono riportati in Figura 27 e Figura 28 (a e b).

Si evidenzia quanto segue:

- Sotto il rilevato AV, i cedimenti assoluti a fine consolidazione sono di circa 5.5 cm, come mostrato nella Figura 27.
- I cedimenti residui della linea AV, a far data dal completamento del piano di posa del ballast, sono inferiori a 5 cm. In particolare, come illustrato in Figura 28-a) il cedimento residuo è inferiore a 1cm
- In relazione ai binari della Linea Storica, la Figura 28-b) mostra, per il binario più vicino alla linea AV, un cedimento totale atteso di circa 5-6 cm ed un differenziale sulle rotaie di circa 6 mm.

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

Tenendo conto che:

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

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

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

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

**La verifica SLE è quindi da considerarsi soddisfatta.**



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI4800001A

Foglio  
55 di 116

**Ri48: Cedimenti durante e dopo costruzione linea AV (presi a base rilevato)**

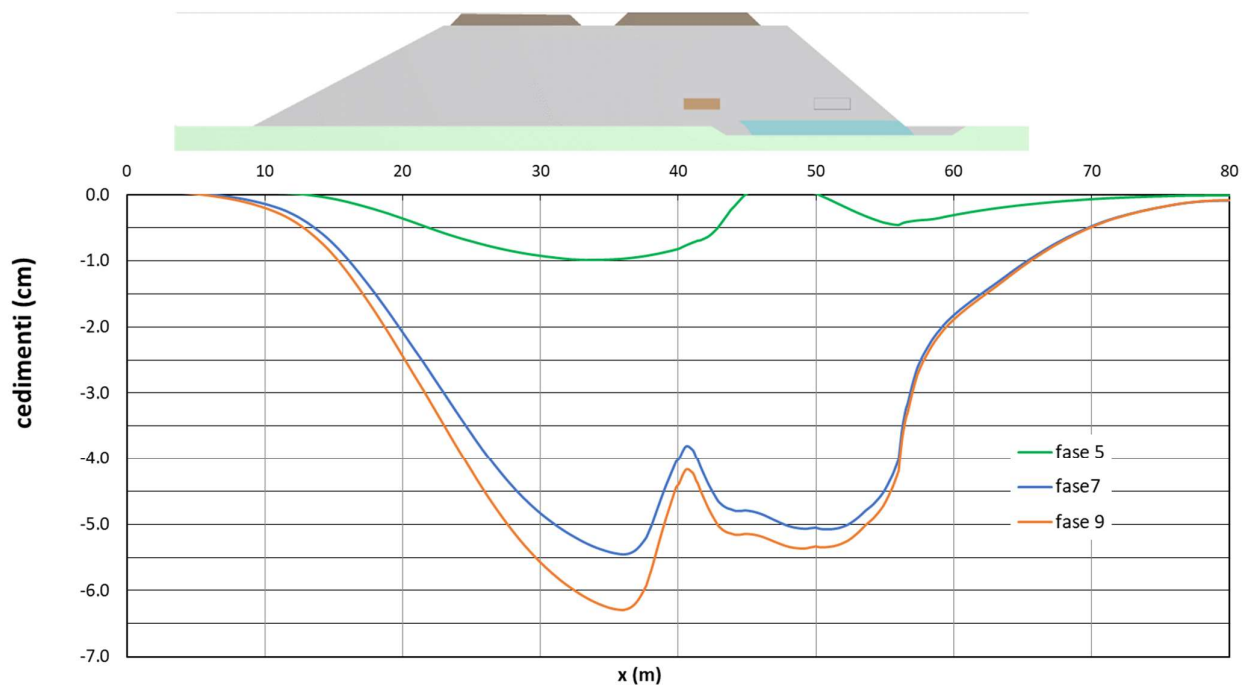


Figura 27 – Ri48: Cedimenti a p.c. durante e alla fine della costruzione del rilevato ferroviario AV



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

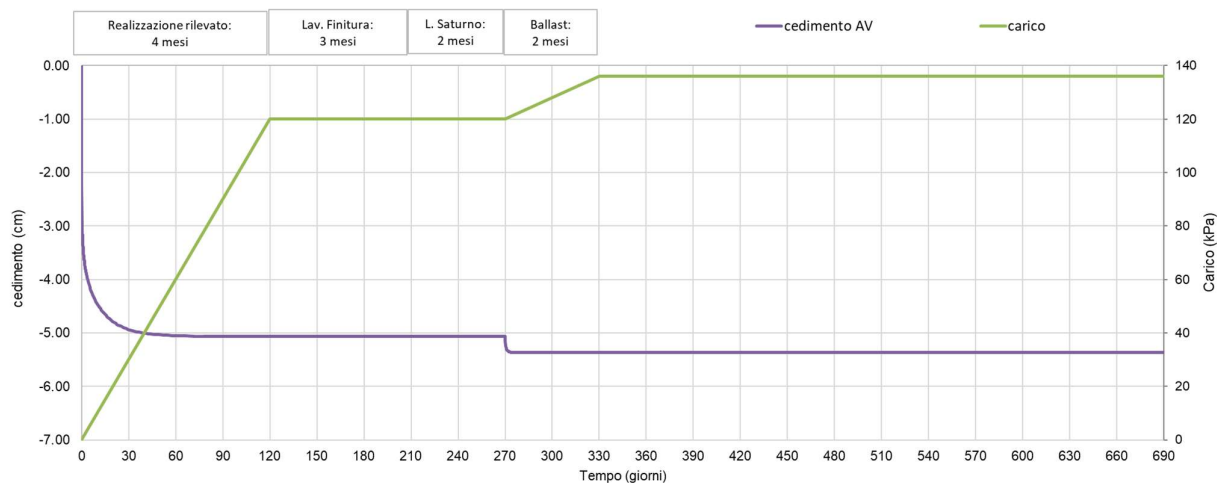
Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI4800001A

Foglio  
56 di 116

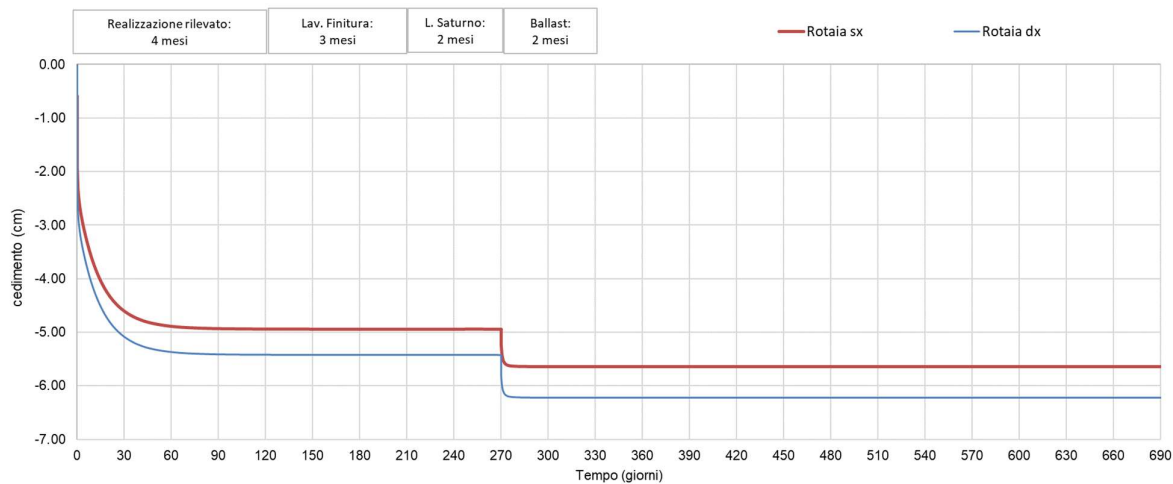
Ri48: cedimenti alla base del rilevato AV durante e dopo la costruzione rilevato AV



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



b)

Ri48: cedimenti su binario pari LS durante e dopo la costruzione rilevato AV



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

Figura 28 – Ri48: andamento dei cedimenti nel tempo dopo/durante la costruzione del rilevato AV.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI480001A	Foglio 57 di 116

## 7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

In conclusione, il rilevato oggetto di questa analisi risulta stabile e i cedimenti attesi sono limitati e non differiti nel tempo.

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

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

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

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

In relazione alla problematica della realizzazione delle inclusioni rigide, si segnala quanto segue:

1. Si raccomanda di eseguire prove tecnologiche preliminari di realizzazione delle inclusioni rigide nell'area di interesse, volte a valutare la effettiva problematica di prevalenza della falda nello strato inferiore di ghiaie e sabbie.
2. Si raccomanda altresì di additivare opportunamente i fanghi di perforazione in modo da pervenire a pesi dell'ordine di 1.1 t/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 immersione delle inclusioni rigide della fila A di almeno 2 m nelle ghiaie di base.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

58 di 116

**ALLEGATI**

GENERAL CONTRACTOR



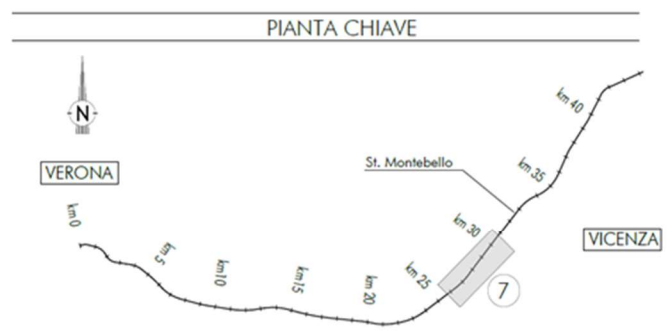
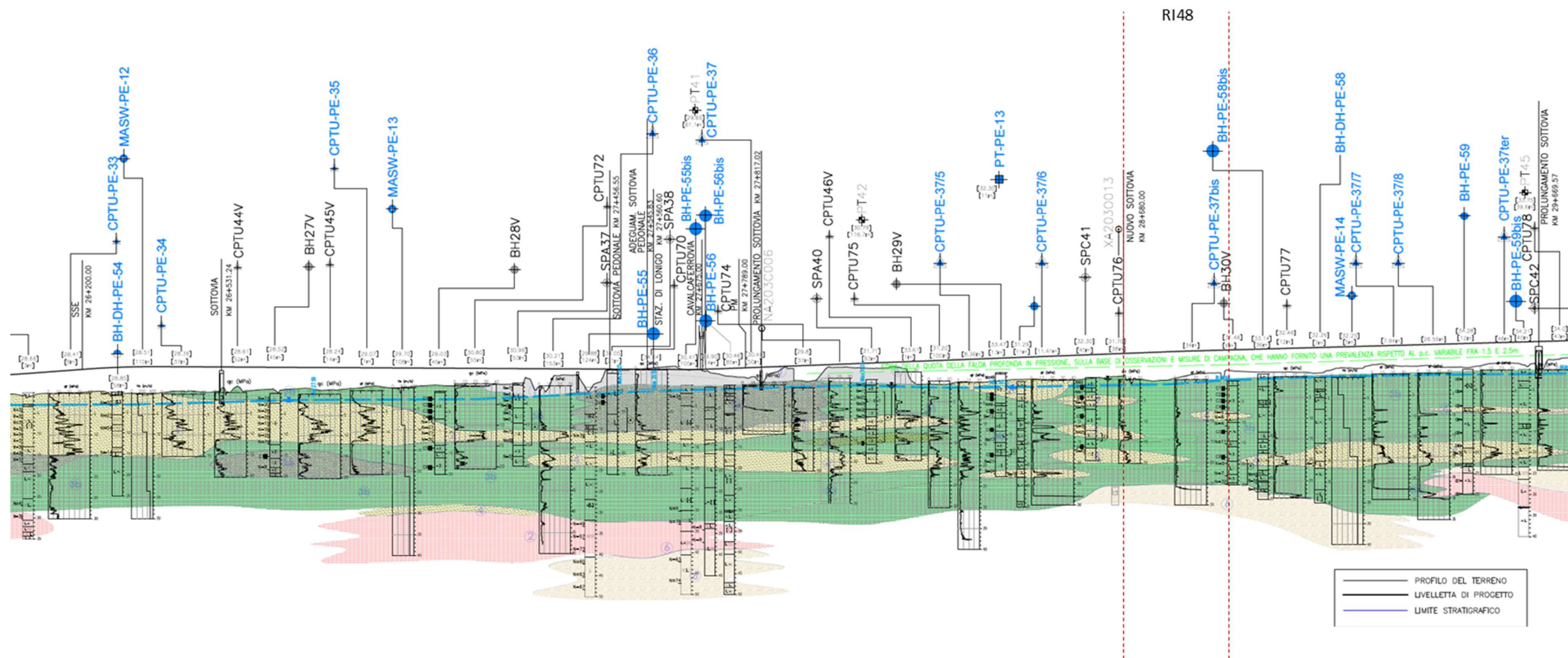
ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 59 di 116
--	------------------	-------------	-----------------------------	---------------------

## ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO





- ### LEGENDA
- Campagna indagini integrative PE**
- BH-PE-*n*: Sondaggio a carotaggio continuo
  - BH-DH-PE-*n*: Sondaggio con esecuzione di prova down hole
  - BH-PE-PE-*n*: Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande indagini MTG
  - MASW-PE-*n*: Indagini ambientali
  - CPTU-PE-*n*: Prova penetrometrica statica con piezometro
  - PT-PE-*n*: Pozzetto esplorativo
  - Profondità delle indagini
- Campagna indagini 2018 per CDS**
- Sondaggio geognostico
- Campagna indagini 2015**
- P1+P15, P20: Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - P1+15Bis: Foro a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)
- Campagna indagini 2014**
- SP: Sondaggio a carotaggio continuo
  - SPA, SPAA: Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - SD, SDA: Foro a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - CPTU: Prova penetrometrica statica con piezometro (possibilità di avanzamento con trivellazione)
  - CPTU: Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"
  - CH: Foro a distruzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
  - PI: Pozzetto esplorativo a 1.5 m da p.c. con prove di carico su piastra

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



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

61 di 116

## ALLEGATO 2- INDAGINI GEOGNOSTICHE



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

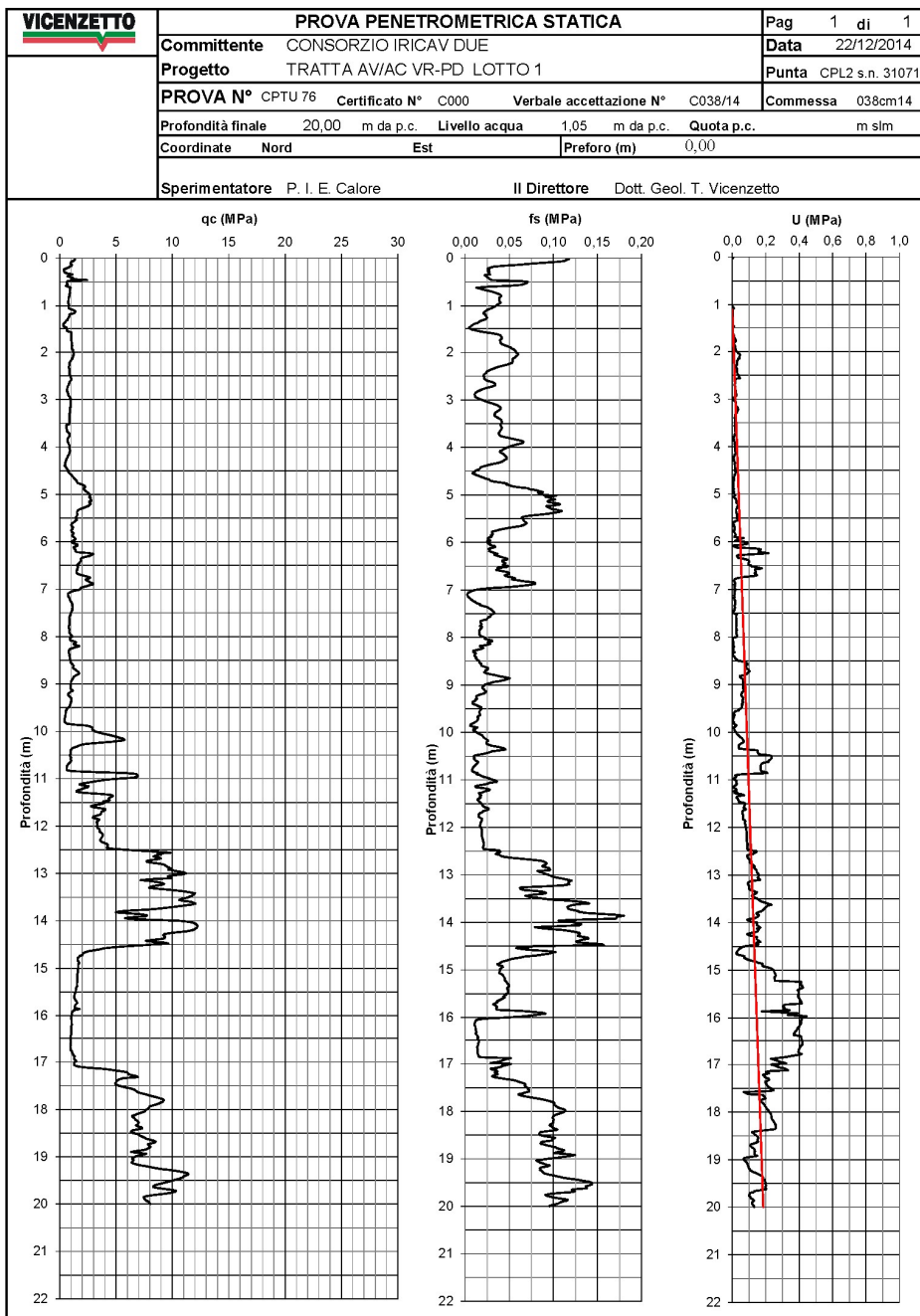
12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

62 di 116





Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI4800001A

Foglio  
63 di 116

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

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

SOCOTEC ITALIA Srl - P. Iva 01872430648  
Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)  
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099  
[www.socotec.it](http://www.socotec.it)



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

**CANTIERE: Lonigo (VI)**

PERFORAZIONE: BH-PE-58 bis

ESECUZIONE: 11-15/02/2021

COMMESSA: 22036AV-20

RDP SITO N°: SF210181

OPERATORE: BAGATIN

RESPONSABILE: FERRABOSCHI

PROFONDITA': 28,50 m

RIVESTIMENTO: 27,00 m

QUOTA s.l.m. : 33,144 m

Indisturbato  
 Rimaneggiato  
 Ambientale

SPT  
PA: punta aperta  
PC: punta chiusa

METRI	METRI da P.C.	LITOLOGIA	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	CAMPIONI			P.P. kPa		T.V. kPa		PROVE			METODO E UTENSILE	FALDA	
				TIPO	NUM.	PROF.	TIPO	NUM.	PROF.	TIPO	NUM.	PROF.				
	0.20		Terreno vegetale													
1			Limo con argilla, marrone				75	35								
2			Limo con argilla, marrone				75	35								
	2.40		Limo argilloso debolmente sabbioso, marrone Presenza di sporadica ghiaia (grana fine)				100	50								
3			Limo argilloso debolmente sabbioso, marrone Presenza di sporadica ghiaia (grana fine)				100	50								
	3.00		Argilla limosa, grigio-marrone				50	25								
4			Argilla limosa, grigio-marrone				50	25								
	5.00		Argilla limosa, grigio (Molto compatta)				100	50								
5			Argilla limosa, grigio (Molto compatta)				100	50								
	6.30		Presenza di concrezioni carbonatiche				175	85								
6			Presenza di concrezioni carbonatiche				200	100								
	6.60		Argilla limosa, grigio (Molto compatta)				200	100								
7			Argilla limosa, grigio (Molto compatta)				200	100								
	7.40		Limo argilloso debolmente sabbioso, grigio				50	25								
8			Limo argilloso debolmente sabbioso, grigio				50	25								
	8.00		Sabbia (a grana medio-fine) limosa, grigio				25	11								
9			Sabbia (a grana medio-fine) limosa, grigio				25	12								
			Limo argilloso, grigio				25	12								
			Limo argilloso, grigio				25	12								
10			Limo argilloso, grigio				25	12								

Il Direttore Tecnico SOA:  
ing. Massimo De Iasi

SF210181\_BH-PE-58bis - pag 1 di 6

Il Responsabile Prove in Sito:  
dott. Massimo Romagnoli



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI4800001A

Foglio  
64 di 116

FERRARA DEPARTMENT  
Via Annibale Zucchini, 69 – 44122 Ferrara (FE)  
Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119  
SOCOTEC ITALIA Srl – P. Iva 01872430648  
Headquarters: Via Banola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)  
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099  
www.socotec.it



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

CANTIERE: Lonigo (VI)

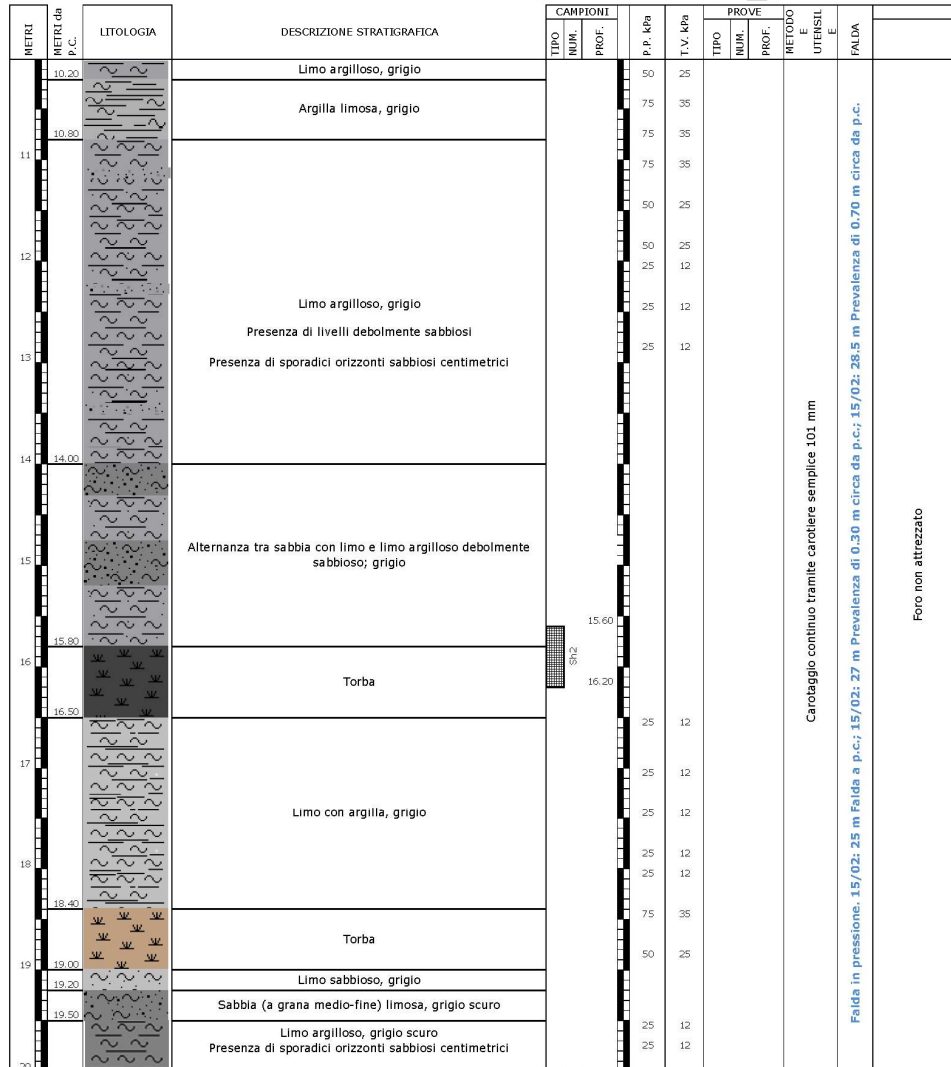
PERFORAZIONE: BH-PE-58 bis  
ESECUZIONE: 11-15/02/2021  
COMMESSA: 22036AV-20

RDP SITO N°: SF210181  
OPERATORE: BAGATIN  
RESPONSABILE: FERRABOSCHI

PROFONDITA': 28,50 m  
RIVESTIMENTO: 27,00 m  
QUOTA s.l.m. : 33,144 m

Indisturbato  
 Rimaneggiato  
 Ambientale

SPT  
PA: punta aperta  
PC: punta chiusa



Il Direttore Tecnico SOA:  
ing. Massimo De Iasi

SF210181\_BH-PE-58bis - pag 2 di 6

Il Responsabile Prove in Sito:  
dott. Massimo Romagnoli



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI4800001A

Foglio  
65 di 116

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

FERRARA DEPARTMENT  
Via Annibale Zucchini, 69 - 44122 Ferrara (FE)  
Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119  
SOCOTEC ITALIA Srl - P. Iva 01872430648  
Headquarters: Via Banola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)  
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099  
[www.socotec.it](http://www.socotec.it)



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

CANTIERE: Lonigo (VI)

PERFORAZIONE: BH-PE-58 bis

ESECUZIONE: 11-15/02/2021

COMMESSA: 22036AV-20

RDP SITO N°: SF210181

OPERATORE: BAGATIN

RESPONSABILE: FERRABOSCHI

PROFONDITA': 28,50 m

RIVESTIMENTO: 27,00 m

QUOTA s.l.m. : 33,144 m

Indisturbato  
Rimaneggiato  
Ambientale

SPT  
PA: punta aperta  
PC: punta chiusa

METRI	METRI da P.C.	LITOLOGIA	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	CAMPIONI		PROVE				FALDA	SPT	
				TIPO	INUM.	PROF.	TIPO	INUM.	PROF.			METODO E UTENSIL
21			Limo argilloso, grigio scuro Presenza di sporadici orizzonti sabbiosi centimetrici									
22	22.30		Sabbia (a grana medio-fine) limosa, grigio scuro Presenza di sporadica ghiaia (grana fine)									
23	23.10		Limo sabbioso, grigio									
	23.40		Argilla limosa, grigio									
	23.70		Torba									
	23.80		Sabbia (a grana medio-fine) limosa, grigio scuro Presenza di sporadica ghiaia (grana fine)									
24	24.00		Argilla limosa, grigio scuro									
	24.30		Argilla con limo, grigio									
	24.90		Limo con ghiaia eterogenea (da fine a grossolana) sabbioso; grigio									
25	25.30		Sabbia (a grana medio-fine) limosa, grigio									
	25.60		Sabbia con ghiaia eterogenea (da fine a grossolana) limosa, marrone									
26	26.00		Argilla limosa ghiaiosa (da fine a grossolana); grigio									
27	27.60		Limo con ghiaia eterogenea (da fine a grossolana) sabbioso, marrone									
28	28.20		Argilla con limo, grigio Presenza di sporadica ghiaia eterogenea (da fine a grossolana)									
	28.50		Sabbia (a grana medio-fine) ghiaiosa (grana medio-fine); grigio									
29			FINE SONDAGGIO									

Il Direttore Tecnico SOA:  
ing. Massimo De lasi

SF210181\_BH-PE-58bis - pag 3 di 6

Il Responsabile Prove in Sito:  
dott. Massimo Romagnoli





Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI4800001A

Foglio  
67 di 116

<input type="checkbox"/> CAMPIONE RIMANEGGIATO <input checked="" type="checkbox"/> CAMPIONE RIMANEGGIATO DA S.P.T. <input checked="" type="checkbox"/> CAMPIONE RIMANEGGIATO DA VANE TEST <input type="checkbox"/> SPEZIONE DI CAROTA <input checked="" type="checkbox"/> CAMPIONE INDISTURBATO PARETI SOTTILI <input checked="" type="checkbox"/> CAMPIONE INDISTURBATO A PISTONE <input checked="" type="checkbox"/> CAMPIONE INDISTURBATO ROTATIVO		RILIEVO ACQUA IN FORO DURANTE LA PERFORAZIONE PROF. FORO PROF. RIVES. (IN DA) (A2) (IN DA) (A2) DATA (M) (G) (A) DATA (M) (G) (A)		NOTE ATTREZZATURA PER SPT MAGLIO "NENZI" A SGANCIAMENTO AUTOMAT. PESO MAGLIO 63,5 Kg ALTEZZA CADUTA 76 cm DIAMETRO ASTE 50 mm PESO ASTE 7,2 kg/m PUNTA CONICA CHIUSA	
DISEGNO IN FORO <input type="checkbox"/> PERMEAB. LEFRANC <input type="checkbox"/> PERMEAB. LUGEON PRESSIOMETRO MENARD STRUMENTAZIONE PIEZOMETRO Ø 2" TUBO APERTO TUBO MEDIOPIESSUR. PISTON CHIAVINE		METODO DI PERFORAZIONE CAROT. CONTINUO A SECCO CAROT. SEMPLICE Ø 101 mm INVESTIMENTO DATA			
T.C.R. % S.C.R. % R.O.D. %		PROVE PROVA NUMERO TIPO > 10 cm 5-10 cm < 5 cm			
MANOMETRO CAROTABGIO		VANE TEST T.C.R. % S.C.R. % R.O.D. %			
100					

<b>GEOLAVORI</b> prove geotecniche in sito		<b>SCHEDA DI SONDAGGIO</b> COM. cm01715	
Rev 0   Data 31/12/2008 CERTIFICATO cenr030cm01715   PRETTORE SECONDO RACCOMANDAZIONI A.G.I. (1977) PAG. 2   Di 2		ULTIMAZIONE 05/03/2015 DATA INIZIO 04/03/2015 CANTIERE Linea AV/AC-VR-PD Variante di San Bonifacio PERFORAZIONE N. BH50V COORDINATE GB: Nord Est RESPONSABILE Ing. Splendore Est OPERATORE Sig. Bedon	
COMMITTENTE Iricav Due CANTIERE Linea AV/AC-VR-PD Variante di San Bonifacio PERFORAZIONE N. BH50V DATA INIZIO 04/03/2015 COORDINATE GB: Nord Est RESPONSABILE Ing. Splendore Est OPERATORE Sig. Bedon		ATTREZZATURA Mastelberg A88R Misure s.l.m.n. Misure s.l.m.n. Misure s.l.m.n.	
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA Lino grigio tracce sabbiose. Lino grigio talvolta ebbolmente argilloso. Argilla ebbolmente limosa torbosa marrone grigiastra. Argilla ebbolmente limosa grigiastra. Ghiaia angolosa Ømax=7 cm. con lino, nocciolo. FINE SONDAGGIO		CAMIONI NUMERO PROFONDA in da p.c. 20,50 21,00 22,50 22,95 24,50 24,95	
S.P.T. N H TORVALE (kg/cm²) PENETROMETER (kg/cm²) 2,6 2,2 2,8 1,2 1,1 11 13 19		STRATIGRAFICA 3 22,50 3 22,80 4 22,95 11 24,50 13 24,80 19 24,95	



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

68 di 116

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





Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

69 di 116

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: R148a\_01.slim  
Slide Modeler Version: 7.038  
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

#### General Settings

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

#### Design Standard

Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)  
Name: **Stabilità Globale\_A2+M2+R2**

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

#### Analysis Options

Slices Type: Vertical

##### Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

#### Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

70 di 116

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

### Random Numbers

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

### Surface Options

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

### Seismic

Advanced seismic analysis: No  
Staged pseudostatic analysis: No

### Loading

6 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

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

#### Distributed Load 2

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

#### Distributed Load 3

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

#### Distributed Load 4

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

#### Distributed Load 5

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

#### Distributed Load 6

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



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

71 di 116

**Material Properties**

Property	Rilevato_nuovo	Ghiaia	Argilla limosa 3b	Argilla limosa 3b-2
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained	Undrained
Unit Weight [kN/m3]	20	19	18.5	18.5
Cohesion [kPa]	0	0		
Friction Angle [deg]	38	39		
Cohesion Type			55	70
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	0	0

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

FS	1.279360
Center:	103.690, 47.663
Radius:	15.190
Left Slip Surface Endpoint:	92.059, 37.893
Right Slip Surface Endpoint:	104.593, 32.500
Resisting Moment:	2557.61 kN-m
Driving Moment:	1999.12 kN-m
Total Slice Area:	14.5969 m2
Surface Horizontal Width:	12.5335 m
Surface Average Height:	1.16463 m

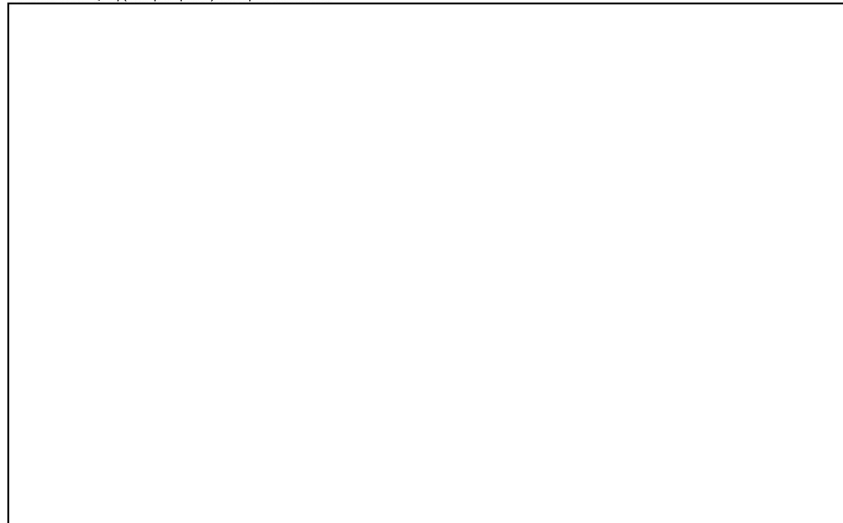
**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

Number of Valid Surfaces: 1552  
Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.27936





Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI4800001A

72 di 116

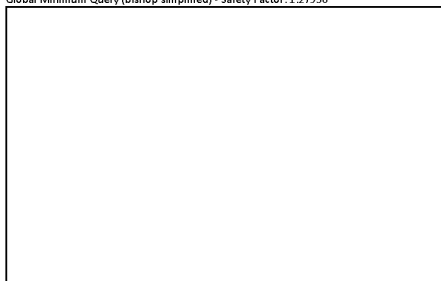


SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 7

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.25067	0.729094	-49.2443	Rilevato_nuovo	0	32.0066	3.46144	4.42843	7.08517	0	7.08517	11.1016	11.1016
2	0.25067	2.15156	-47.816	Rilevato_nuovo	0	32.0066	2.72678	3.48853	5.5814	0	5.5814	8.59031	8.59031
3	0.25067	3.50537	-46.4261	Rilevato_nuovo	0	32.0066	4.51756	5.77959	9.24693	0	9.24693	13.9952	13.9952
4	0.25067	4.79572	-45.0708	Rilevato_nuovo	0	32.0066	6.27883	8.03289	12.852	0	12.852	19.1464	19.1464
5	0.25067	6.02708	-43.747	Rilevato_nuovo	0	32.0066	8.00979	10.2474	16.3951	0	16.3951	24.062	24.062
6	0.25067	7.20334	-42.4518	Rilevato_nuovo	0	32.0066	9.70985	12.4224	19.8749	0	19.8749	28.7573	28.7573
7	0.25067	8.3279	-41.1829	Rilevato_nuovo	0	32.0066	11.3787	14.5574	23.2908	0	23.2908	33.246	33.246
8	0.25067	9.39238	-39.9381	Rilevato_nuovo	0	32.0066	13.0003	16.6321	26.6101	0	26.6101	37.4948	37.4948
9	0.25067	9.87609	-38.7156	Rilevato_nuovo	0	32.0066	13.8407	17.7072	28.3302	0	28.3302	39.4249	39.4249
10	0.25067	10.0235	-37.5137	Rilevato_nuovo	0	32.0066	14.2161	18.1875	29.0986	0	29.0986	40.0124	40.0124
11	0.25067	10.1292	-36.3308	Rilevato_nuovo	0	32.0066	14.5326	18.5924	29.7465	0	29.7465	40.4338	40.4338
12	0.25067	10.1953	-35.1656	Rilevato_nuovo	0	32.0066	14.7912	18.9233	30.276	0	30.276	40.6967	40.6967
13	0.25067	10.2234	-34.017	Rilevato_nuovo	0	32.0066	14.993	19.1814	30.6888	0	30.6888	40.8081	40.8081
14	0.25067	10.215	-32.8836	Rilevato_nuovo	0	32.0066	15.1384	19.3675	30.9866	0	30.9866	40.774	40.774
15	0.25067	10.1716	-31.7646	Rilevato_nuovo	0	32.0066	15.2285	19.4827	31.1709	0	31.1709	40.6	40.6
16	0.25067	10.0945	-30.659	Rilevato_nuovo	0	32.0066	15.2637	19.5278	31.2431	0	31.2431	40.2912	40.2912
17	0.25067	9.9847	-29.5658	Rilevato_nuovo	0	32.0066	15.2447	19.5035	31.2042	0	31.2042	39.8524	39.8524
18	0.25067	9.8434	-28.4844	Rilevato_nuovo	0	32.0066	15.172	19.4105	31.0553	0	31.0553	39.2877	39.2877
19	0.25067	9.67154	-27.414	Rilevato_nuovo	0	32.0066	15.046	19.2492	30.7974	0	30.7974	38.6011	38.6011
20	0.25067	9.47002	-26.3538	Rilevato_nuovo	0	32.0066	14.867	19.0203	30.4311	0	30.4311	37.7962	37.7962
21	0.25067	9.23966	-25.3033	Rilevato_nuovo	0	32.0066	14.6354	18.724	29.957	0	29.957	36.8762	36.8762
22	0.25067	8.98123	-24.2618	Rilevato_nuovo	0	32.0066	14.3515	18.3607	29.3757	0	29.3757	35.8441	35.8441
23	0.25067	8.69542	-23.2287	Rilevato_nuovo	0	32.0066	14.0153	17.9306	28.6876	0	28.6876	34.7029	34.7029
24	0.25067	8.38287	-22.2036	Rilevato_nuovo	0	32.0066	13.627	17.4338	27.8928	0	27.8928	33.4549	33.4549
25	0.25067	8.04418	-21.186	Rilevato_nuovo	0	32.0066	13.1867	16.8706	26.9917	0	26.9917	32.1028	32.1028
26	0.25067	7.6799	-20.1753	Rilevato_nuovo	0	32.0066	12.6945	16.2408	25.9841	0	25.9841	30.6485	30.6485
27	0.25067	7.29053	-19.1711	Rilevato_nuovo	0	32.0066	12.1501	15.5444	24.8699	0	24.8699	29.0941	29.0941
28	0.25067	6.87655	-18.173	Rilevato_nuovo	0	32.0066	11.5537	14.7813	23.649	0	23.649	27.4416	27.4416
29	0.25067	6.43838	-17.1806	Rilevato_nuovo	0	32.0066	10.9049	13.9513	22.321	0	22.321	25.6926	25.6926
30	0.25067	5.97642	-16.1934	Rilevato_nuovo	0	32.0066	10.2036	13.0541	20.8856	0	20.8856	23.8488	23.8488
31	0.25067	5.49104	-15.2112	Rilevato_nuovo	0	32.0066	9.44957	12.0894	19.3421	0	19.3421	21.9115	21.9115
32	0.25067	4.98257	-14.2335	Rilevato_nuovo	0	32.0066	8.64237	11.0567	17.69	0	17.69	19.8822	19.8822
33	0.25067	4.45571	-13.2601	Rilevato_nuovo	0	32.0066	7.78936	9.9654	15.9439	0	15.9439	17.7795	17.7795
34	0.25067	4.40265	-12.2905	Rilevato_nuovo	0	32.0066	7.75696	9.92394	15.8776	0	15.8776	17.5675	17.5675
35	0.25067	4.66539	-11.3245	Rilevato_nuovo	0	32.0066	8.28406	10.5983	16.9566	0	16.9566	18.6156	18.6156
36	0.25067	4.90611	-10.3618	Rilevato_nuovo	0	32.0066	8.77947	11.2321	17.9705	0	17.9705	19.5758	19.5758
37	0.25067	5.11697	-9.40195	Rilevato_nuovo	0	32.0066	9.22805	11.806	18.8887	0	18.8887	20.4167	20.4167
38	0.25067	4.75909	-8.4448	Rilevato_nuovo	0	32.0066	8.6494	11.0657	17.7044	0	17.7044	18.9885	18.9885
39	0.25067	4.04791	-7.49002	Rilevato_nuovo	0	32.0066	7.41414	9.48535	15.1759	0	15.1759	16.1506	16.1506
40	0.25067	3.31544	-6.53734	Rilevato_nuovo	0	32.0066	6.11986	7.82951	12.5266	0	12.5266	13.2279	13.2279
41	0.25067	2.56182	-5.5846	Rilevato_nuovo	0	32.0066	4.7657	6.09704	9.75482	0	9.75482	10.221	10.221
42	0.25067	1.78715	-4.63712	Rilevato_nuovo	0	32.0066	3.35064	4.28668	6.85835	0	6.85835	7.13013	7.13013
43	0.25067	0.991544	-3.68906	Rilevato_nuovo	0	32.0066	1.87361	2.39702	3.83506	0	3.83506	3.95586	3.95586
44	0.25067	0.230384	-2.74201	Rilevato_nuovo	0	32.0066	0.438769	0.561344	0.898109	0	0.898109	0.919123	0.919123
45	0.25067	0.0946026	-1.79571	Rilevato_nuovo	0	32.0066	0.181603	0.232335	0.371719	0	0.371719	0.377412	0.377412
46	0.25067	0.123624	-0.8499	Rilevato_nuovo	0	32.0066	0.239209	0.306035	0.489634	0	0.489634	0.493182	0.493182
47	0.25067	0.131896	0.0956796	Rilevato_nuovo	0	32.0066	0.25727	0.329141	0.5266	0	0.5266	0.52617	0.52617
48	0.25067	0.119426	1.04129	Rilevato_nuovo	0	32.0066	0.234837	0.300441	0.480684	0	0.480684	0.476416	0.476416
49	0.25067	0.086203	1.98717	Rilevato_nuovo	0	32.0066	0.170897	0.218639	0.349806	0	0.349806	0.343876	0.343876
50	0.25067	0.0322006	2.93361	Rilevato_nuovo	0	32.0066	0.0643655	0.0823467	0.131749	0	0.131749	0.12845	0.12845

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor:1.27936





Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

73 di 116



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	92.059	37.8928	0	0	0
2	92.3097	37.6019	1.19514	0	0
3	92.5604	37.3253	2.05708	0	0
4	92.8111	37.0618	3.36361	0	0
5	93.0617	36.8106	5.023	0	0
6	93.3124	36.5706	6.95373	0	0
7	93.5631	36.3413	9.08299	0	0
8	93.8137	36.122	11.3454	0	0
9	94.0644	35.9121	13.6791	0	0
10	94.3151	35.7112	15.9104	0	0
11	94.5657	35.5187	17.955	0	0
12	94.8164	35.3344	19.8043	0	0
13	95.0671	35.1578	21.4521	0	0
14	95.3178	34.9886	22.8948	0	0
15	95.5684	34.8265	24.1309	0	0
16	95.8191	34.6713	25.1605	0	0
17	96.0698	34.5227	25.9859	0	0
18	96.3204	34.3805	26.6108	0	0
19	96.5711	34.2445	27.0406	0	0
20	96.8218	34.1145	27.2819	0	0
21	97.0724	33.9903	27.343	0	0
22	97.3231	33.8718	27.2331	0	0
23	97.5738	33.7588	26.963	0	0
24	97.8245	33.6513	26.5445	0	0
25	98.0751	33.5489	25.9905	0	0
26	98.3258	33.4518	25.3152	0	0
27	98.5765	33.3597	24.5339	0	0
28	98.8271	33.2725	23.6628	0	0
29	99.0778	33.1902	22.7194	0	0
30	99.3285	33.1127	21.7223	0	0
31	99.5791	33.0399	20.6909	0	0
32	99.8298	32.9718	19.6461	0	0
33	100.08	32.9082	18.6096	0	0
34	100.331	32.8491	17.6035	0	0
35	100.582	32.7945	16.5308	0	0
36	100.832	32.7443	15.3103	0	0
37	101.083	32.6985	13.9384	0	0
38	101.334	32.657	12.4147	0	0
39	101.585	32.6198	10.9105	0	0
40	101.835	32.5868	9.55652	0	0
41	102.086	32.5581	8.38591	0	0
42	102.337	32.5336	7.43328	0	0
43	102.587	32.5132	6.73479	0	0
44	102.838	32.4971	6.32823	0	0
45	103.089	32.4851	6.22928	0	0
46	103.339	32.4772	6.18679	0	0
47	103.59	32.4735	6.12879	0	0
48	103.841	32.4739	6.06423	0	0
49	104.091	32.4785	6.00331	0	0
50	104.342	32.4872	5.95753	0	0
51	104.593	32.5	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	32.4
150	32.4

Distributed Load

X	Y
74.3	37.8928
71.5	37.8928

Distributed Load

X	Y
78.8	37.8928
76	37.8928



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

74 di 116

**Distributed Load**

X	Y
85.8	37.8928
83	37.8928

**Distributed Load**

X	Y
90.8	37.8928
88	37.8928

**Distributed Load**

X	Y
79.4752	37.8928
78.8	37.8928
76	37.8928
74.3	37.8928
71.5	37.8928
70.6518	37.8928

**Distributed Load**

X	Y
92.2015	37.8928
90.8	37.8928
88	37.8928
85.8	37.8928
83	37.8928
81.9563	37.8928

**External Boundary**

X	Y
150	-10
150	6.5
150	17.5
150	32.5
110.054	32.5
103	32.5
101.3	33.7
100.306	33.7
94.0231	37.8928
90.8	37.8928
88	37.8928
85.8	37.8928
83	37.8928
79.6395	37.8928
78.8	37.8928
76	37.8928
74.3	37.8928
71.5	37.8928
70.4541	37.8928
57.1255	32.5
55.1255	32.5
0	32.5
0	17.5
0	6.5
0	-10

**Material Boundary**

X	Y
55.1255	32.5
57.1255	31.5
92.5876	31.5

**Material Boundary**

X	Y

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

75 di 116

SLIDEINTERPRET 7.038



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

X	Y
79.6395	37.8928
92.5876	31.5
93.6148	30.9928

**Material Boundary**

X	Y
102.274	30.9928
110.054	32.5

**Material Boundary**

X	Y
93.6148	30.9928
102.274	30.9928

**Material Boundary**

X	Y
0	6.5
150	6.5

**Material Boundary**

X	Y
0	17.5
150	17.5

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 76 di 116
--	------------------	-------------	-----------------------------	---------------------

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





Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

77 di 116

### Slide Analysis Information

#### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

##### Project Summary

File Name: RI48a\_01\_sism.slim  
Slide Modeler Version: 7.038  
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

##### General Settings

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

##### Design Standard

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

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

##### Analysis Options

Slices Type: Vertical

##### Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

##### Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

78 di 116

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 [m]: 2  
Minimum Area: Not Defined  
Minimum Weight: Not Defined

#### Seismic

Advanced seismic analysis: No  
Staged pseudostatic analysis: No

#### Loading

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

6 Distributed Loads present



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

79 di 116

**Distributed Load 1**

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

**Distributed Load 2**

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

**Distributed Load 3**

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

**Distributed Load 4**

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

**Distributed Load 5**

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

**Distributed Load 6**

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

**Material Properties**

Property	Rilevato_nuovo	Ghiaia	Argilla limosa 3b	Argilla limosa 3b-2
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained	Undrained
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	20	19	18.5	18.5
Cohesion [kPa]	0	0		
Friction Angle [deg]	38	39		
Cohesion Type			55	70
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	0	0

**Global Minimums****Method: bishop simplified**

FS	1.128260
Center:	103.964, 48.155
Radius:	15.717
Left Slip Surface Endpoint:	92.059, 37.893
Right Slip Surface Endpoint:	105.364, 32.500
Resisting Moment:	2756.68 kN-m
Driving Moment:	2443.31 kN-m
Total Slice Area:	16.246 m <sup>2</sup>
Surface Horizontal Width:	13.3049 m
Surface Average Height:	1.22105 m

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

Number of Valid Surfaces: 1368  
Number of Invalid Surfaces: 0



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI4800001A

80 di 116



Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.12826

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.266099	0.800519	-48.5062	Rilevato_nuovo	0	32.0066	3.60945	4.0724	6.51555	0	6.51555	10.5962	10.5962
2	0.266099	2.36202	-47.0621	Rilevato_nuovo	0	32.0066	2.95649	3.33569	5.33685	0	5.33685	8.5142	8.5142
3	0.266099	3.84749	-45.6562	Rilevato_nuovo	0	32.0066	4.90353	5.53246	8.85155	0	8.85155	13.8687	13.8687
4	0.266099	5.2626	-44.2847	Rilevato_nuovo	0	32.0066	6.82241	7.69745	12.3154	0	12.3154	18.9695	18.9695
5	0.266099	6.61225	-42.9446	Rilevato_nuovo	0	32.0066	8.71187	9.82925	15.7261	0	15.7261	23.8343	23.8343
6	0.266099	7.90067	-41.6331	Rilevato_nuovo	0	32.0066	10.571	11.9268	19.0821	0	19.0821	28.4783	28.4783
7	0.266099	9.13158	-40.3477	Rilevato_nuovo	0	32.0066	12.3891	13.9894	27.3821	0	27.3821	37.915	37.915
8	0.266099	10.4404	-39.0864	Rilevato_nuovo	0	32.0066	13.9647	15.7558	25.2081	0	25.2081	36.5514	36.5514
9	0.266099	10.4533	-37.8473	Rilevato_nuovo	0	32.0066	14.5921	16.4637	26.3406	0	26.3406	37.6788	37.6788
10	0.266099	10.6538	-36.6287	Rilevato_nuovo	0	32.0066	15.0677	17.0003	27.1992	0	27.1992	38.4012	38.4012
11	0.266099	10.8078	-35.4291	Rilevato_nuovo	0	32.0066	15.4799	17.4654	27.9434	0	27.9434	38.9562	38.9562
12	0.266099	10.9175	-34.2471	Rilevato_nuovo	0	32.0066	15.8296	17.8599	28.5746	0	28.5746	39.3514	39.3514
13	0.266099	10.9847	-33.0815	Rilevato_nuovo	0	32.0066	16.1175	18.1847	29.0941	0	29.0941	39.5936	39.5936
14	0.266099	11.0111	-31.9311	Rilevato_nuovo	0	32.0066	16.3439	18.4402	29.503	0	29.503	39.6886	39.6886
15	0.266099	10.9983	-30.795	Rilevato_nuovo	0	32.0066	16.5098	18.6273	29.8023	0	29.8023	39.6422	39.6422
16	0.266099	10.9476	-29.6721	Rilevato_nuovo	0	32.0066	16.6153	18.7464	29.9928	0	29.9928	39.4593	39.4593
17	0.266099	10.8604	-28.5617	Rilevato_nuovo	0	32.0066	16.661	18.7979	30.0753	0	30.0753	39.1447	39.1447
18	0.266099	10.7377	-27.4628	Rilevato_nuovo	0	32.0066	16.647	18.7822	30.0502	0	30.0502	38.7024	38.7024
19	0.266099	10.5807	-26.3748	Rilevato_nuovo	0	32.0066	16.5739	18.6997	29.9181	0	29.9181	38.1364	38.1364
20	0.266099	10.3904	-25.297	Rilevato_nuovo	0	32.0066	16.4416	18.5504	29.6793	0	29.6793	37.4502	37.4502
21	0.266099	10.1676	-24.2287	Rilevato_nuovo	0	32.0066	16.2503	18.3346	29.334	0	29.334	36.647	36.647
22	0.266099	9.91312	-23.1692	Rilevato_nuovo	0	32.0066	16	18.0522	28.8823	0	28.8823	35.7297	35.7297
23	0.266099	9.62781	-22.1181	Rilevato_nuovo	0	32.0066	15.6909	17.7034	28.3241	0	28.3241	34.7013	34.7013
24	0.266099	9.31234	-21.0748	Rilevato_nuovo	0	32.0066	15.3226	17.2879	27.6593	0	27.6593	33.5641	33.5641
25	0.266099	8.96735	-20.0387	Rilevato_nuovo	0	32.0066	14.8951	16.8056	26.8877	0	26.8877	32.3205	32.3205
26	0.266099	8.59343	-19.0094	Rilevato_nuovo	0	32.0066	14.4083	16.2563	26.0089	0	26.0089	30.9727	30.9727
27	0.266099	8.19113	-17.9865	Rilevato_nuovo	0	32.0066	13.8617	15.6396	25.0223	0	25.0223	29.5226	29.5226
28	0.266099	7.76096	-16.9694	Rilevato_nuovo	0	32.0066	13.2551	14.9552	23.9273	0	23.9273	27.972	27.972
29	0.266099	7.30338	-15.9579	Rilevato_nuovo	0	32.0066	12.5881	14.2026	22.7232	0	22.7232	26.3227	26.3227
30	0.266099	6.81882	-14.9514	Rilevato_nuovo	0	32.0066	11.8601	13.3813	21.4091	0	21.4091	24.5762	24.5762
31	0.266099	6.30767	-13.9496	Rilevato_nuovo	0	32.0066	11.0706	12.4905	19.9839	0	19.9839	22.7338	22.7338
32	0.266099	5.77028	-12.9522	Rilevato_nuovo	0	32.0066	10.219	11.5297	18.4466	0	18.4466	20.7969	20.7969
33	0.266099	5.21702	-11.9587	Rilevato_nuovo	0	32.0066	9.3225	10.5182	16.8823	0	16.8823	18.8028	18.8028
34	0.266099	5.18862	-10.9689	Rilevato_nuovo	0	32.0066	9.35511	10.555	16.8872	0	16.8872	18.7004	18.7004
35	0.266099	5.45019	-9.98235	Rilevato_nuovo	0	32.0066	9.915	11.1867	17.8978	0	17.8978	19.643	19.643
36	0.266099	5.68665	-8.99881	Rilevato_nuovo	0	32.0066	10.4381	11.7769	18.8421	0	18.8421	20.4951	20.4951
37	0.266099	5.83248	-8.01793	Rilevato_nuovo	0	32.0066	10.802	12.1875	19.499	0	19.499	21.0206	21.0206
38	0.266099	5.3262	-7.03942	Rilevato_nuovo	0	32.0066	9.9532	11.2298	17.9668	0	17.9668	19.1959	19.1959
39	0.266099	4.63915	-6.06297	Rilevato_nuovo	0	32.0066	8.74755	9.86951	15.7905	0	15.7905	16.7196	16.7196
40	0.266099	3.9277	-5.08828	Rilevato_nuovo	0	32.0066	7.47317	8.43168	13.4901	0	13.4901	14.1555	14.1555
41	0.266099	3.19199	-4.11506	Rilevato_nuovo	0	32.0066	6.12864	6.9147	11.063	0	11.063	11.5039	11.5039
42	0.266099	2.43212	-3.14303	Rilevato_nuovo	0	32.0066	4.71242	5.31683	8.50654	0	8.50654	8.76531	8.76531
43	0.266099	1.64815	-2.17191	Rilevato_nuovo	0	32.0066	3.22284	3.6362	5.81764	0	5.81764	5.93987	5.93987
44	0.266099	0.840152	-1.20141	Rilevato_nuovo	0	32.0066	1.6581	1.87077	2.99309	0	2.99309	3.02786	3.02786
45	0.266099	0.335247	-0.231261	Rilevato_nuovo	0	32.0066	0.667825	0.75348	1.20551	0	1.20551	1.20821	1.20821
46	0.266099	0.322592	0.738825	Rilevato_nuovo	0	32.0066	0.648682	0.731882	1.17096	0	1.17096	1.16259	1.16259
47	0.266099	0.292332	1.70912	Rilevato_nuovo	0	32.0066	0.593442	0.669557	1.07124	0	1.07124	1.05353	1.05353
48	0.266099	0.23806	2.67991	Rilevato_nuovo	0	32.0066	0.48793	0.550512	0.88078	0	0.88078	0.857941	0.857941
49	0.266099	0.159729	3.65147	Rilevato_nuovo	0	32.0066	0.330578	0.372978	0.596737	0	0.596737	0.575641	0.575641
50	0.266099	0.0572708	4.62409	Rilevato_nuovo	0	32.0066	0.119701	0.135054	0.216076	0	0.216076	0.206394	0.206394

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.12826

--



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

81 di 116



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	92.059	37.8928	0	0	0
2	92.3251	37.5919	1.06658	0	0
3	92.5912	37.306	2.00254	0	0
4	92.8573	37.0337	3.4277	0	0
5	93.1234	36.7742	5.24629	0	0
6	93.3895	36.5265	7.37283	0	0
7	93.6556	36.29	9.73058	0	0
8	93.9217	36.0639	12.2503	0	0
9	94.1878	35.8478	14.8266	0	0
10	94.4539	35.641	17.2595	0	0
11	94.72	35.4432	19.5171	0	0
12	94.9861	35.2539	21.5871	0	0
13	95.2522	35.0727	23.4598	0	0
14	95.5183	34.8994	25.1283	0	0
15	95.7844	34.7335	26.5879	0	0
16	96.0505	34.5749	27.8364	0	0
17	96.3166	34.4233	28.8732	0	0
18	96.5827	34.2785	29.6999	0	0
19	96.8488	34.1402	30.3197	0	0
20	97.1149	34.0082	30.7375	0	0
21	97.381	33.8825	30.9598	0	0
22	97.6471	33.7627	30.9945	0	0
23	97.9132	33.6488	30.8511	0	0
24	98.1793	33.5407	30.5403	0	0
25	98.4454	33.4381	30.0743	0	0
26	98.7115	33.3411	29.4667	0	0
27	98.9776	33.2494	28.7323	0	0
28	99.2437	33.163	27.8872	0	0
29	99.5098	33.0818	26.9489	0	0
30	99.7759	33.0057	25.9362	0	0
31	100.042	32.9347	24.8691	0	0
32	100.308	32.8686	23.7692	0	0
33	100.574	32.8074	22.6592	0	0
34	100.84	32.751	21.5613	0	0
35	101.106	32.6994	20.3748	0	0
36	101.372	32.6526	19.0285	0	0
37	101.639	32.6105	17.5184	0	0
38	101.905	32.573	15.8605	0	0
39	102.171	32.5401	14.2458	0	0
40	102.437	32.5119	12.7506	0	0
41	102.703	32.4882	11.4087	0	0
42	102.969	32.469	10.2554	0	0
43	103.235	32.4544	9.32829	0	0
44	103.501	32.4443	8.66665	0	0
45	103.767	32.4387	8.3121	0	0
46	104.033	32.4377	8.16361	0	0
47	104.3	32.4411	8.01384	0	0
48	104.566	32.449	7.87177	0	0
49	104.832	32.4615	7.75079	0	0
50	105.098	32.4785	7.66599	0	0
51	105.364	32.5	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	32.4
150	32.4

Distributed Load

X	Y
74.3	37.8928
71.5	37.8928

Distributed Load

X	Y



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

82 di 116

X	Y
78.8	37.8928
76	37.8928

Distributed Load

X	Y
85.8	37.8928
83	37.8928

Distributed Load

X	Y
90.8	37.8928
88	37.8928

Distributed Load

X	Y
79.4752	37.8928
78.8	37.8928
76	37.8928
74.3	37.8928
71.5	37.8928
70.6518	37.8928

Distributed Load

X	Y
92.2015	37.8928
90.8	37.8928
88	37.8928
85.8	37.8928
83	37.8928
81.9563	37.8928

External Boundary

X	Y
150	-10
150	6.5
150	17.5
150	32.5
110.054	32.5
103.8	32.5
101.8	33.7
100.8	33.7002
94.0231	37.8928
90.8	37.8928
88	37.8928
85.8	37.8928
83	37.8928
79.6395	37.8928
78.8	37.8928
76	37.8928
74.3	37.8928
71.5	37.8928
70.4541	37.8928
57.1255	32.5
55.1255	32.5
0	32.5
0	17.5
0	6.5
0	-10

Material Boundary

X	Y
55.1255	32.5
57.1255	31.5
92.5876	31.5

Material Boundary

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI4800001A

Foglio

83 di 116



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

X	Y
79.6395	37.8928
92.5876	31.5
93.6148	30.9928

Material Boundary

X	Y
102.274	30.9928
110.054	32.5

Material Boundary

X	Y
93.6148	30.9928
102.274	30.9928

Material Boundary

X	Y
0	6.5
150	6.5

Material Boundary

X	Y
0	17.5
150	17.5

GENERAL CONTRACTOR





ALTA SORVEGLIANZA





Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 84 di 116
--	------------------	-------------	-----------------------------	---------------------

## ALLEGATO 5 – TABULATI DI PLAXIS

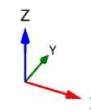
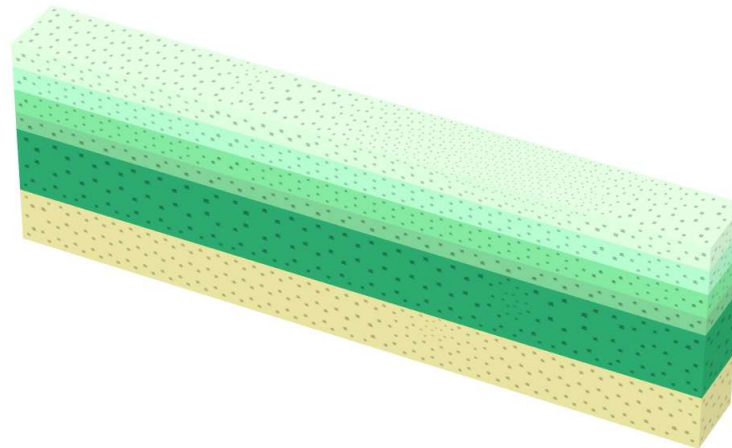


<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p><b>IRICAV2</b></p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 85 di 116</p>



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 86 di 116</p>

Ri48\_intervent pali

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

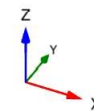
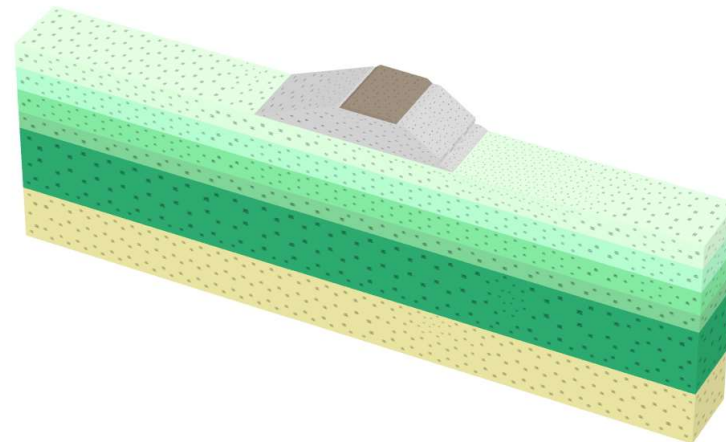


**Connectivity plot**



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 87 di 116</p>

Ri48\_intervent pali

### 1.1.1.2 Calculation results, LS [Phase\_1] (1/16), Connectivity plot

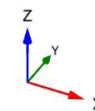
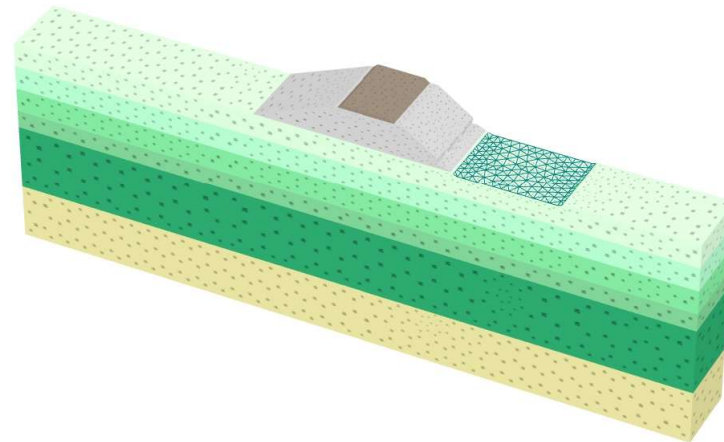


**Connectivity plot**



<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 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 88 di 116</p>

Ri48\_intervent pali

### 1.1.1.3 Calculation results, scotico [Phase\_5] (5/20), Connectivity plot

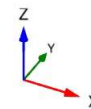
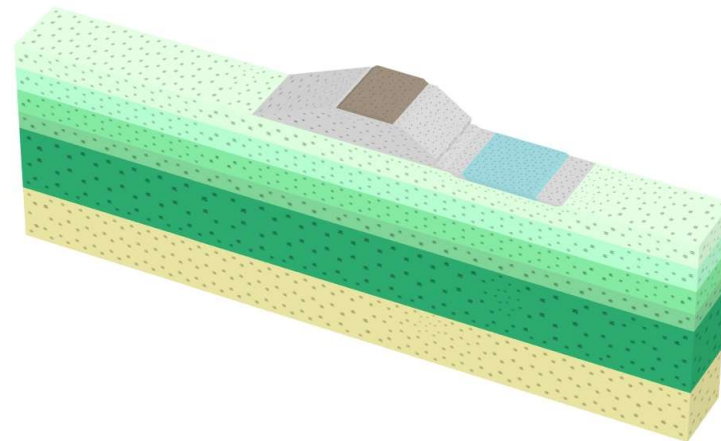


**Connectivity plot**



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 89 di 116</p>

Ri48\_intervent pali

### 1.1.1.4 Calculation results, pali B C + mixcem [Phase\_2] (2/24), Connectivity plot

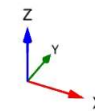
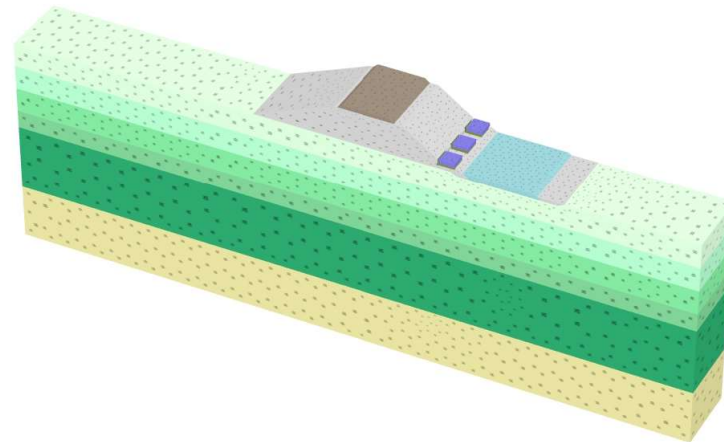


Connectivity plot



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 90 di 116</p>

Ri48\_intervent pali

### 1.1.1.5 Calculation results, pali A [Phase\_3] (3/27), Connectivity plot

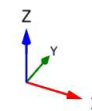
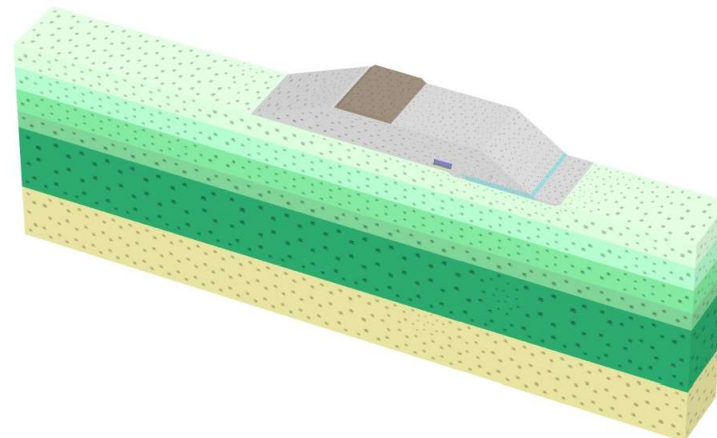


Connectivity plot



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 91 di 116</p>

Ri48\_intervent pali

### 1.1.1.6 Calculation results, Completamento rilevato [Phase\_4] (4/46), Connectivity plot

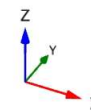
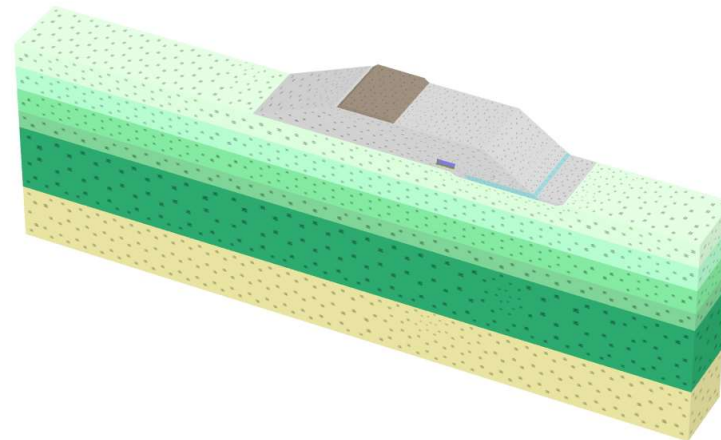


Connectivity plot

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI480001A</p>	<p>Foglio 92 di 116</p>



Ri48\_intervent pali

### 1.1.1.7 Calculation results, cons. rilevato [Phase\_7] (7/151), Connectivity plot



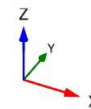
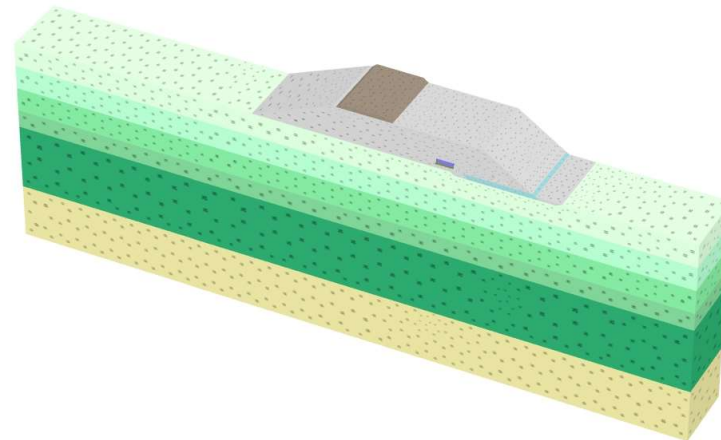
Connectivity plot





<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 93 di 116</p>

Ri48\_intervent pali

### 1.1.1.8 Calculation results, finitura+saturno [Phase\_8] (8/158), Connectivity plot

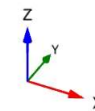
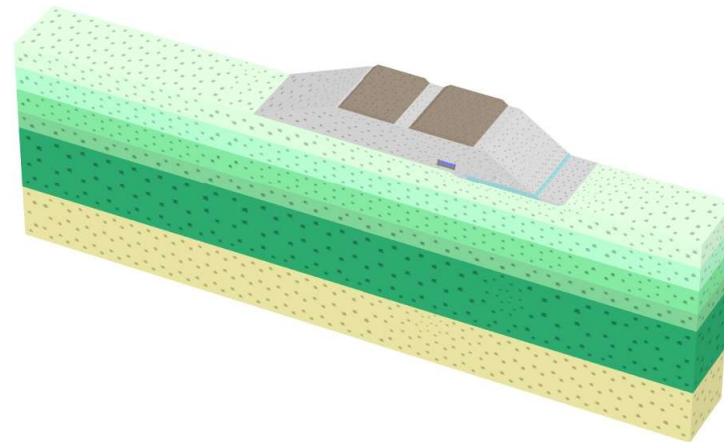


**Connectivity plot**



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 94 di 116</p>

Ri48\_intervent pali

### 1.1.1.9 Calculation results, Ballast [Phase\_6] (6/164), Connectivity plot

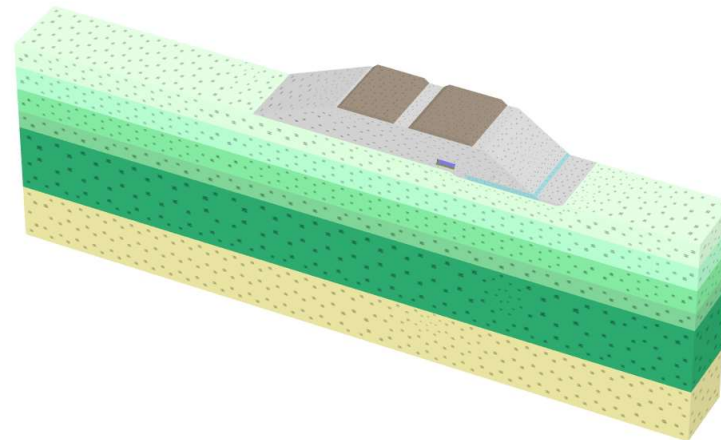


Connectivity plot



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 95 di 116</p>

Ri48\_intervent pali

### 1.1.1.10 Calculation results, Cons. ballast [Phase\_9] (9/192), Connectivity plot

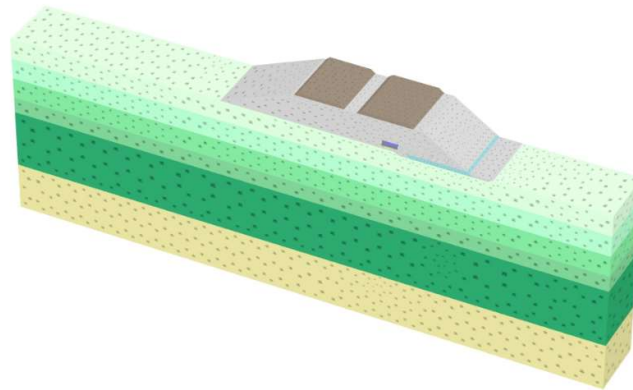


Connectivity plot



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 96 di 116</p>

Ri48\_intervent pali

### 1.1.1.11 Calculation results, cons finale [Phase\_10] (10/201), Connectivity plot








**Connectivity plot**

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 97 di 116

Ri48\_intervent pali



### 1.1.2.1.1 Materials - Soil and interfaces - Linear elastic

Identification		Ballast	CLS	MistoCementato
Identification number		1	9	10
Drainage type		Drained	Non-porous	Drained
Colour				
Comments				
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	18.00	25.00	20.00
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	18.00	25.00	20.00
Dilatancy cut-off		No	No	No
$e_{init}$		0.5000	0.5000	0.5000
$e_{min}$		0.000	0.000	0.000
$e_{max}$		999.0	999.0	999.0
Rayleigh $\alpha$		0.000	0.000	0.000
Rayleigh $\beta$		0.000	0.000	0.000
E	kN/m <sup>2</sup>	100.0E3	33.00E6	2.000E6
$\nu$ (nu)		0.3000	0.2000	0.2000
G	kN/m <sup>2</sup>	38.46E3	13.75E6	833.3E3
$E_{oed}$		134.6E3	36.67E6	2.222E6
$V_s$		144.8	2323	639.3
$V_p$		270.9	3793	1044
Set to default values		Yes	Yes	Yes
$E_{inc}$		0.000	0.000	0.000
$Z_{ref}$		0.000	0.000	0.000

GENERAL CONTRACTOR  <b>IFICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 98 di 116



Ri48\_intervent pali



Identification		Ballast	CLS	MistoCementato
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0.9783	0.9866	0.9866
$v_u$		0.4950	0.4950	0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m <sup>2</sup>	3.750E6	1.352E9	81.94E6
Strength		Rigid	Rigid	Rigid
$R_{inter}$		1.000	1.000	1.000
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes
$\delta_{inter}$		0.000	0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity $_1, dk$	m <sup>3</sup> /day/m	0.000	0.000	0.000
Drainage conductivity $_2, dk$	m <sup>3</sup> /day/m	0.000	0.000	0.000
$K_0$ determination		Manual	Automatic	Automatic
$K_{0,x} = K_{0,y}$		Yes	Yes	Yes
$K_{0,x}$		0.5000	1.000	1.000
$K_{0,y}$		0.5000	1.000	1.000
$k_x$	m/day	864.0	0.000	0.8640E-3
$k_y$	m/day	864.0	0.000	0.8640E-3
$k_z$	m/day	864.0	0.000	0.8640E-3
$e_{init}$		0.5000	0.5000	0.5000
$S_s$	1/m	0.000	0.000	0.000
$c_k$		1000E12	1000E12	1000E12

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 99 di 116

Ri48\_intervent pali

### 1.1.2.1.2 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb



Identification		rilevato	Unità6
Identification number		2	8
Drainage type		Drained	Drained
Colour			
Comments			
$Y_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	20.00	19.00
$Y_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	20.00	19.00
Dilatancy cut-off		No	No
$e_{init}$		0.5000	0.5000
$e_{min}$		0.000	0.000
$e_{max}$		999.0	999.0
Rayleigh $\alpha$		0.000	0.000
Rayleigh $\beta$		0.000	0.000
E	kN/m <sup>2</sup>	60.00E3	120.0E3
$\nu$ (nu)		0.3000	0.3000
G	kN/m <sup>2</sup>	23.08E3	46.15E3
$E_{oed}$	kN/m <sup>2</sup>	80.77E3	161.5E3
$c_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	0.000	0.000
$\phi$ (phi)	°	38.00	39.00
$\psi$ (psi)	°	0.000	0.000
$V_s$	m/s	106.4	154.4
$V_p$	m/s	199.0	288.8

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 100 di 116

Ri48\_intervent pali



Identification		rilevato	Unità6
Set to default values		Yes	No
$E_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0.000	0.000
$Z_{ref}$	m	0.000	0.000
$C_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0.000	0.000
$Z_{ref}$	m	0.000	0.000
Tension cut-off		Yes	No
Tensile strength	kN/m <sup>2</sup>	0.000	10.00E6
Undrained behaviour		Standard	Standard
Skempton-B		0.9783	0.9783
$v_u$		0.4950	0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m <sup>2</sup>	2.250E6	4.500E6
Strength		Manual	Rigid
$R_{inter}$		0.6700	1.000
Consider gap closure		Yes	Yes
$\delta_{inter}$		0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity $_1, dk$	m <sup>3</sup> /day/m	0.000	0.000
Drainage conductivity $_2, dk$	m <sup>3</sup> /day/m	0.000	0.000
$K_o$ determination		Automatic	Automatic
$K_{0,x} = K_{0,y}$		Yes	Yes
$K_{0,x}$		0.3843	0.3707
$K_{0,y}$		0.3843	0.3707
$k_x$	m/day	86.40	8.640
$k_y$	m/day	86.40	8.640



GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 101 di 116

Ri48\_intervent pali



Identification		rilevato	Unità6
$k_z$	m/day	86.40	8.640
$e_{init}$		0.5000	0.5000
$S_s$	1/m	0.000	0.000
$C_k$		1000E12	1000E12

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 102 di 116

Ri48\_intervent pali



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

Identification		Unità3b_1	Unità3b_2	Unità3B_3	Unità3B_4	Unità3B_5
Identification number		3	4	5	6	7
Drainage type		Undrained (B)	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	18.50
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	18.50	18.50	18.50	18.50	18.50
Dilatancy cut-off		No	No	No	No	No
$e_{init}$		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
$e_{min}$		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$e_{max}$		999.0	999.0	999.0	999.0	999.0
Rayleigh $\alpha$		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Rayleigh $\beta$		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$E_{s0}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	1797	1797	1797	1797	1797
$E_{oed}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	1438	1438	1438	1438	1438
$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	13.80E3	13.80E3	13.80E3	13.80E3	13.80E3
power (m)		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Use alternatives		No	No	No	No	No
$C_c$		0.3200	0.3200	0.3200	0.3200	0.3200
$C_s$		0.03000	0.03000	0.03000	0.03000	0.03000
$e_{init}$		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
$C_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	55.00	55.00	55.00	55.00	70.00

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 103 di 116



Ri48\_intervent pali

Identification		Unità3b_1	Unità3b_2	Unità3B_3	Unità3B_4	Unità3B_5
$\phi$ (phi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\psi$ (psi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Set to default values		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$v_{ur}$		0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
$p_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
$K_o^{nc}$		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
$c_{inc}$	kN/m <sup>2</sup> /m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$Z_{ref}$	m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$R_f$		0.9000	0.9000	0.9000	0.9000	0.9000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m <sup>2</sup>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0.9866	0.9866	0.9866	0.9866	0.9866
$v_u$		0.4950	0.4950	0.4950	0.4950	0.4950
$K_{w,ref} / n$	kN/m <sup>2</sup>	565.4E3	565.4E3	565.4E3	565.4E3	565.4E3
Strength		Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
$R_{inter}$		0.8000	0.8000	0.8000	0.8000	0.8000
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
$\delta_{inter}$		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity $_{1, dk}$	m <sup>3</sup> /day/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Drainage conductivity $_{2, dk}$	m <sup>3</sup> /day/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$K_o$ determination		Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
$K_{0,x} = K_{0,y}$		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 104 di 116


Ri48\_intervent pali



Identification		Unità3b_1	Unità3b_2	Unità3B_3	Unità3B_4	Unità3B_5
$K_{0,x}$		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
$K_{0,y}$		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
OCR		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
POP	kN/m <sup>2</sup>	140.0	130.0	100.0	70.00	70.00
$k_x$	m/day	0.8640E-3	0.8640E-3	8.640E-3	8.640E-3	8.640E-3
$k_y$	m/day	0.8640E-3	8.640E-3	8.640E-3	8.640E-3	8.640E-3
$k_z$	m/day	0.8640E-3	8.640E-3	8.640E-3	8.640E-3	8.640E-3
$e_{init}$		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
$S_s$	1/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$C_k$		1000E12	1000E12	1000E12	1000E12	1000E12

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI4800001A	Foglio 105 di 116

Ri48\_intervent pali

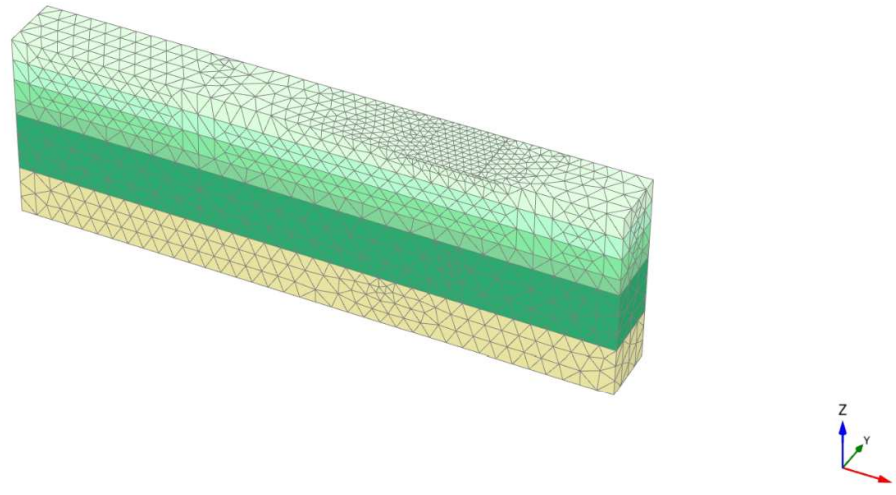
### 1.1.2.2 Materials - Embedded beams -

<b>Identification</b>		<b>PaliA</b>	<b>PaliBeC</b>
Identification number		1	2
Comments			
Colour			
Material type		Elastic	Elastic
E	kN/m <sup>2</sup>	33.00E6	33.00E6
Y	kN/m <sup>3</sup>	5.500	5.500
Beam type		Predefined	Predefined
Predefined beam type		Massive circular beam	Massive circular beam
Diameter	m	1.000	1.000
A	m <sup>2</sup>	0.7854	0.7854
I <sub>2</sub>	m <sup>4</sup>	0.04909	0.04909
I <sub>3</sub>	m <sup>4</sup>	0.04909	0.04909
Rayleigh α		0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000
Axial skin resistance		Multi-linear	Multi-linear
Multi-linear axial resistance		Axial skin resistance table	Axial skin resistance table
F <sub>max</sub>	kN	4200	500.0
Identification number		1	2



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 106 di 116</p>

Ri48\_intervent pali

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

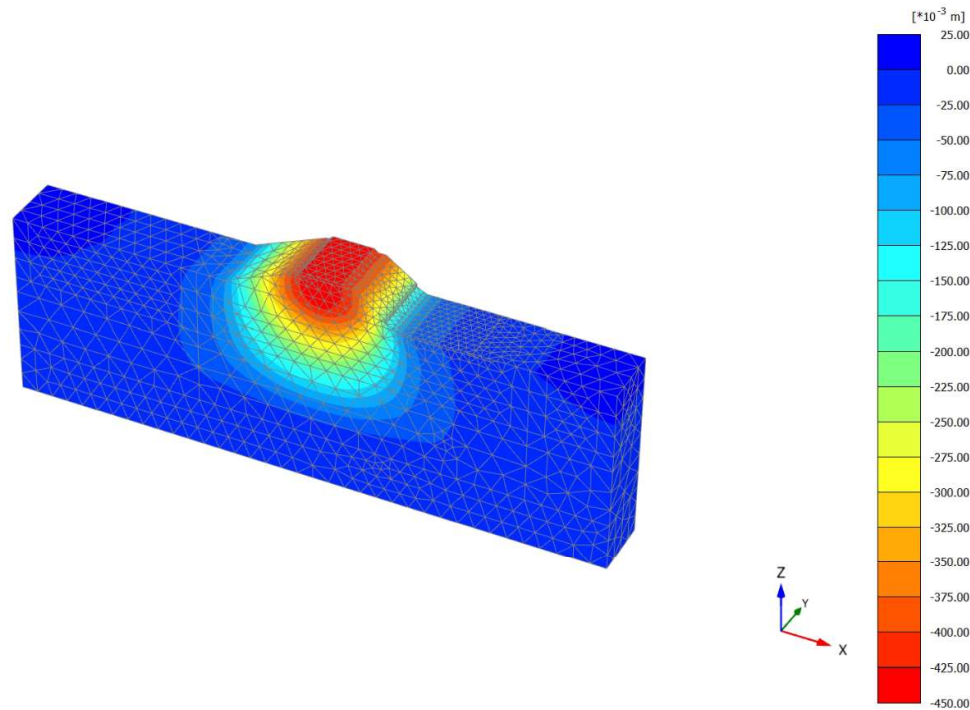


**Total displacements  $u_z$**   
Uniform value of 0.000 m



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 107 di 116</p>

Ri48\_intervent pali

### 2.1.1.1.2 Calculation results, LS [Phase\_1] (1/16), Total displacements $u_z$

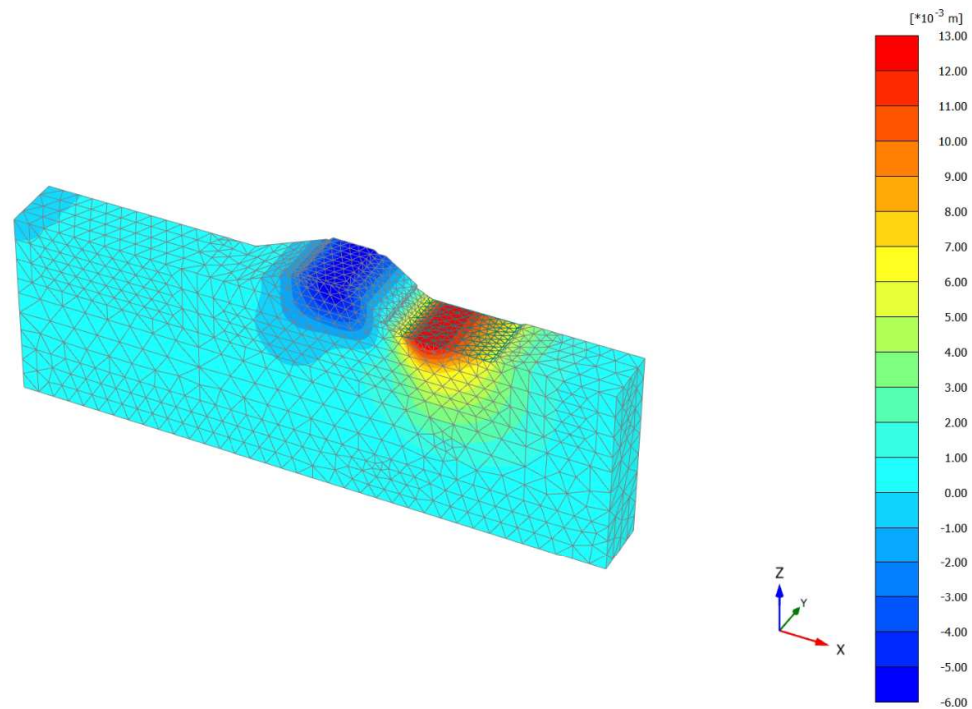


**Total displacements  $u_z$**   
Maximum value =  $3.177 \cdot 10^{-3}$  m (Element 8760 at Node 19167)  
Minimum value = -0.4430 m (Element 2708 at Node 12535)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 108 di 116</p>

Ri48\_intervent pali



### 2.1.1.1.3 Calculation results, scotico [Phase\_5] (5/20), Total displacements $u_z$



**Total displacements  $u_z$**

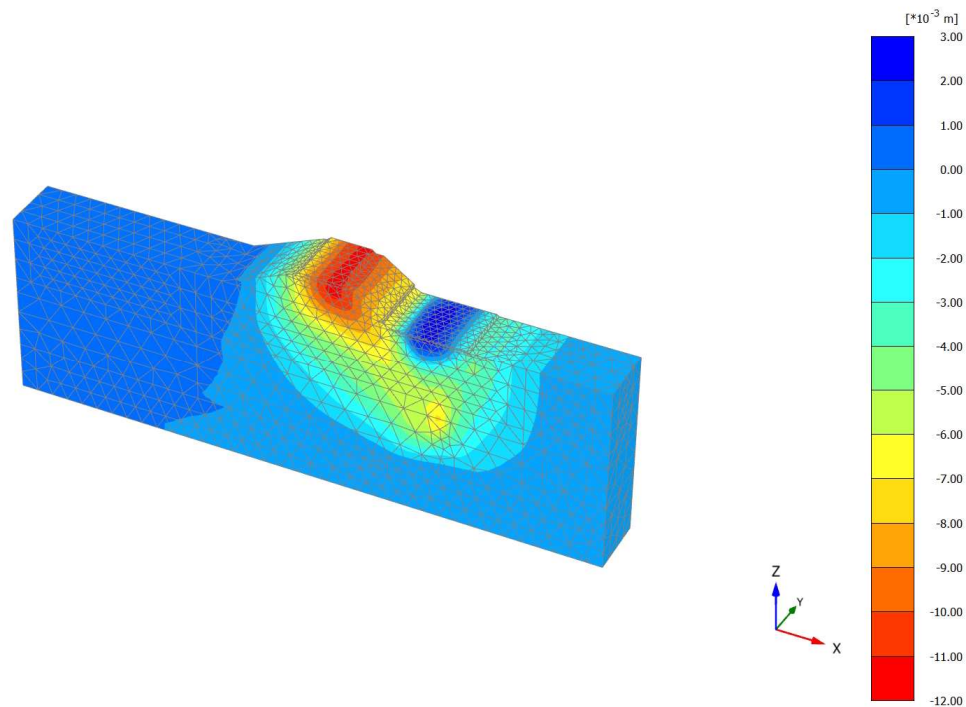
Maximum value = 0.01295 m (Element 8506 at Node 9470)  
Minimum value = -5.699\*10<sup>-3</sup> m (Element 3126 at Node 11954)





<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 109 di 116</p>

Ri48\_intervent pali

### 2.1.1.1.4 Calculation results, pali B C + mixcem [Phase\_2] (2/24), Total displacements $u_z$

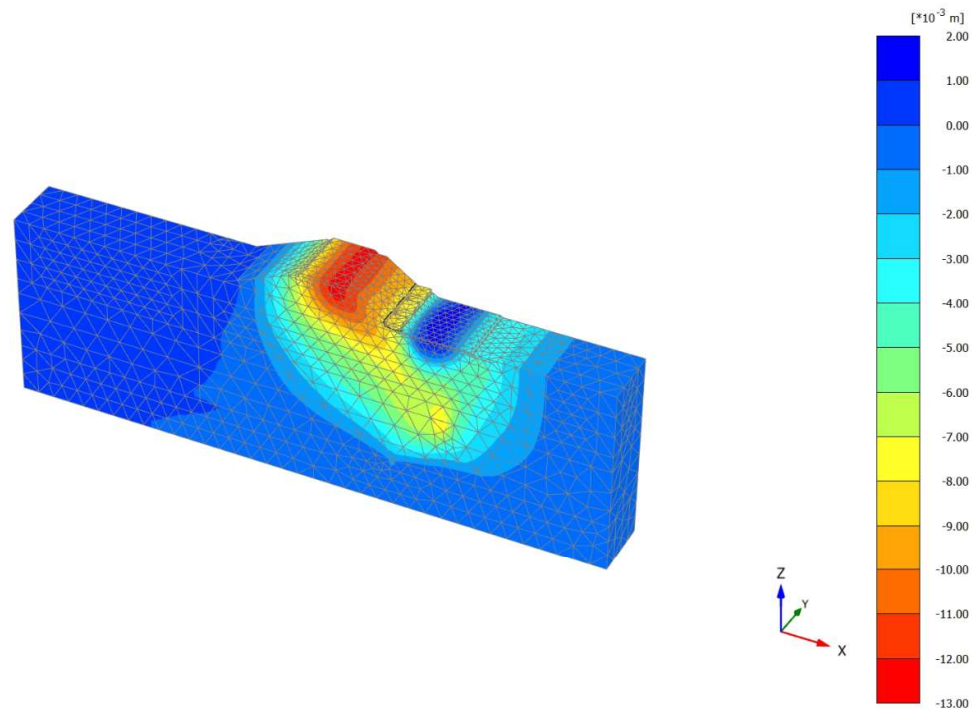


**Total displacements  $u_z$**   
Maximum value =  $2.534 \cdot 10^{-3}$  m (Element 7397 at Node 9479)  
Minimum value = -0.01136 m (Element 2571 at Node 10657)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 110 di 116</p>

Ri48\_intervent pali



### 2.1.1.1.5 Calculation results, pali A [Phase\_3] (3/27), Total displacements $u_z$



**Total displacements  $u_z$**

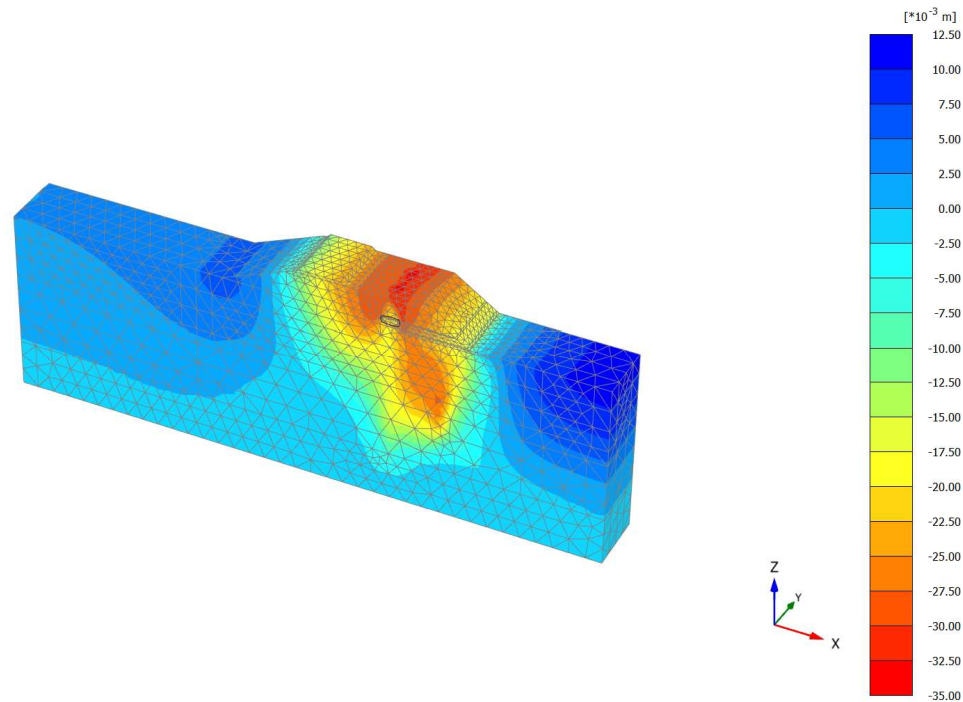
Maximum value =  $1.507 \cdot 10^{-3}$  m (Element 6687 at Node 6471)

Minimum value = -0.01242 m (Element 2571 at Node 10657)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 111 di 116</p>

Ri48\_intervent pali



### 2.1.1.1.6 Calculation results, Completamento rilevato [Phase\_4] (4/46), Total displacements $u_z$



**Total displacements  $u_z$**

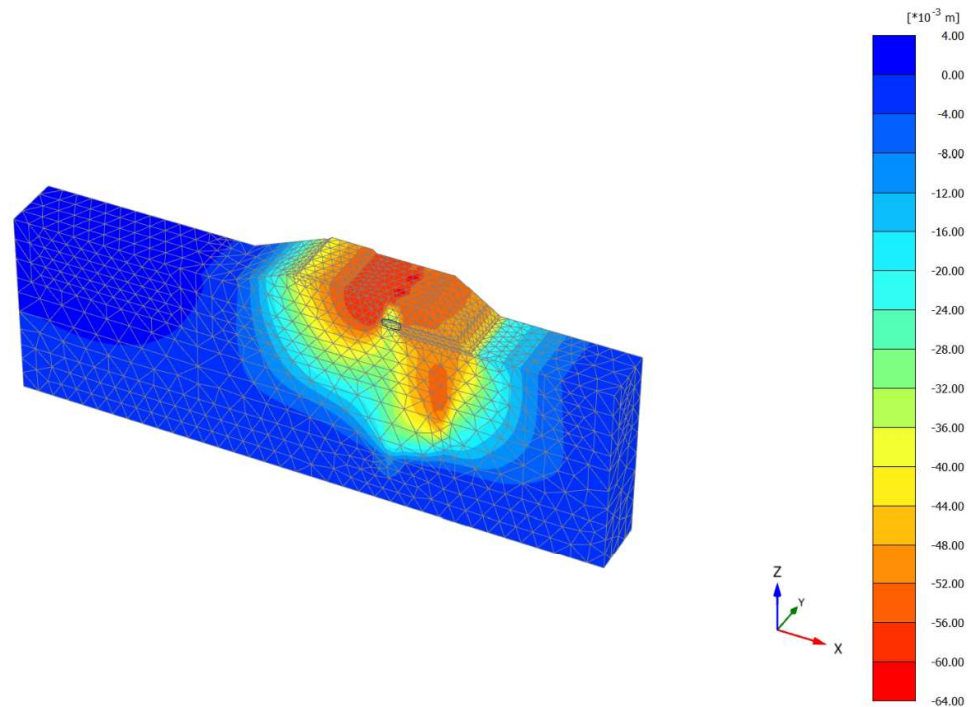
Maximum value = 0.01105 m (Element 8753 at Node 19163)

Minimum value = -0.03445 m (Element 1012 at Node 4471)



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 112 di 116</p>

Ri48\_intervent pali

### 2.1.1.1.7 Calculation results, cons. rilevato [Phase\_7] (7/151), Total displacements $u_z$

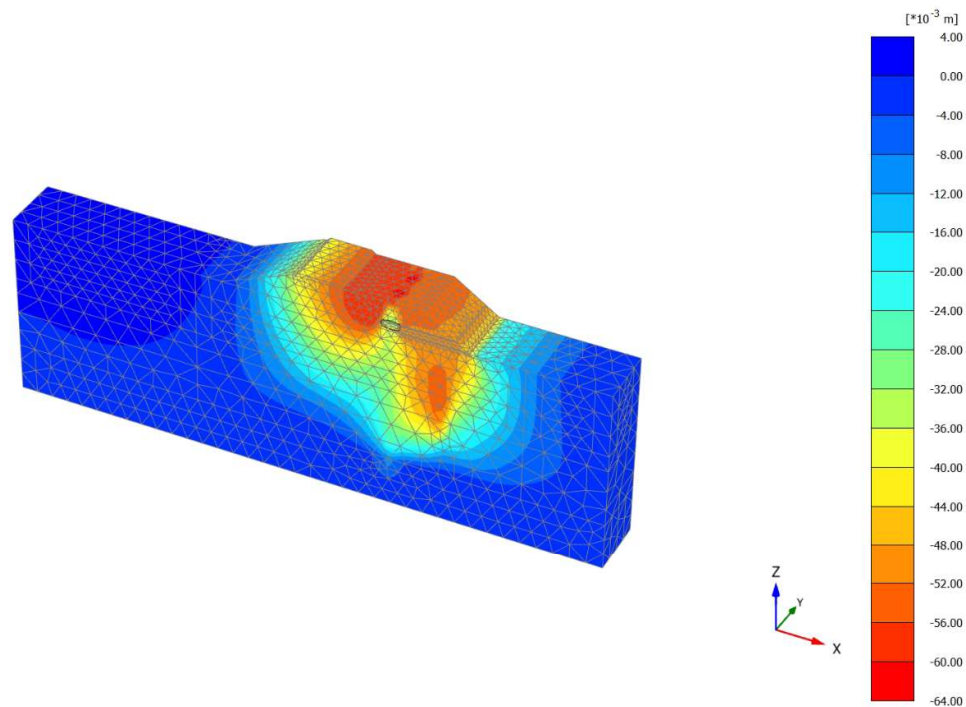


**Total displacements  $u_z$  (Time 120.0 day)**  
Maximum value =  $0.9603 \cdot 10^{-3}$  m (Element 7971 at Node 23055)  
Minimum value = -0.06313 m (Element 887 at Node 4672)



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 113 di 116</p>

Ri48\_intervent pali

### 2.1.1.1.8 Calculation results, finitura+saturno [Phase\_8] (8/158), Total displacements $u_z$

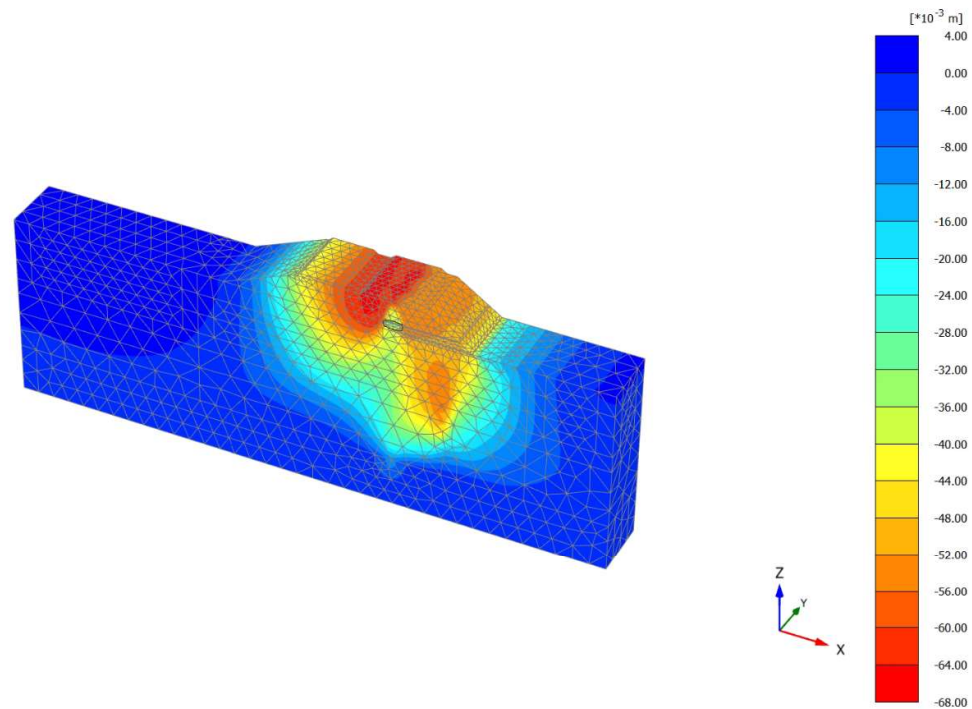


**Total displacements  $u_z$  (Time 270.0 day)**  
Maximum value =  $0.9550 \cdot 10^{-3}$  m (Element 7971 at Node 23055)  
Minimum value =  $-0.06315$  m (Element 887 at Node 4672)



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 114 di 116</p>

Ri48\_intervent pali

### 2.1.1.1.9 Calculation results, Ballast [Phase\_6] (6/164), Total displacements $u_z$

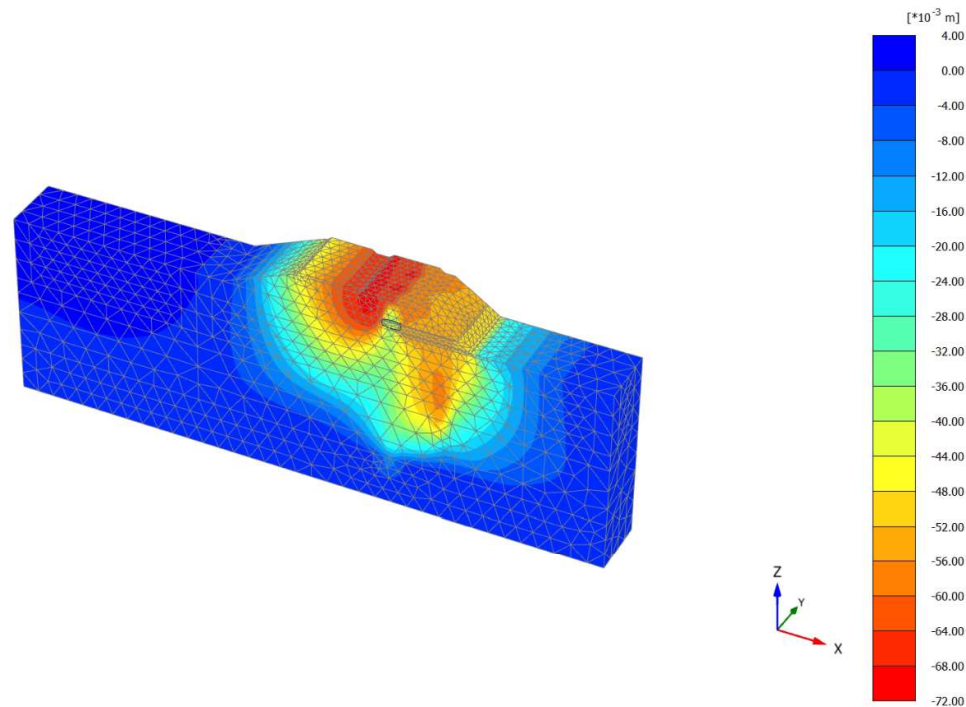


**Total displacements  $u_z$**   
Maximum value =  $1.755 \cdot 10^{-3}$  m (Element 8034 at Node 21919)  
Minimum value =  $-0.06774$  m (Element 95 at Node 6070)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 115 di 116</p>



Ri48\_intervent pali

### 2.1.1.1.10 Calculation results, Cons. ballast [Phase\_9] (9/192), Total displacements $u_z$



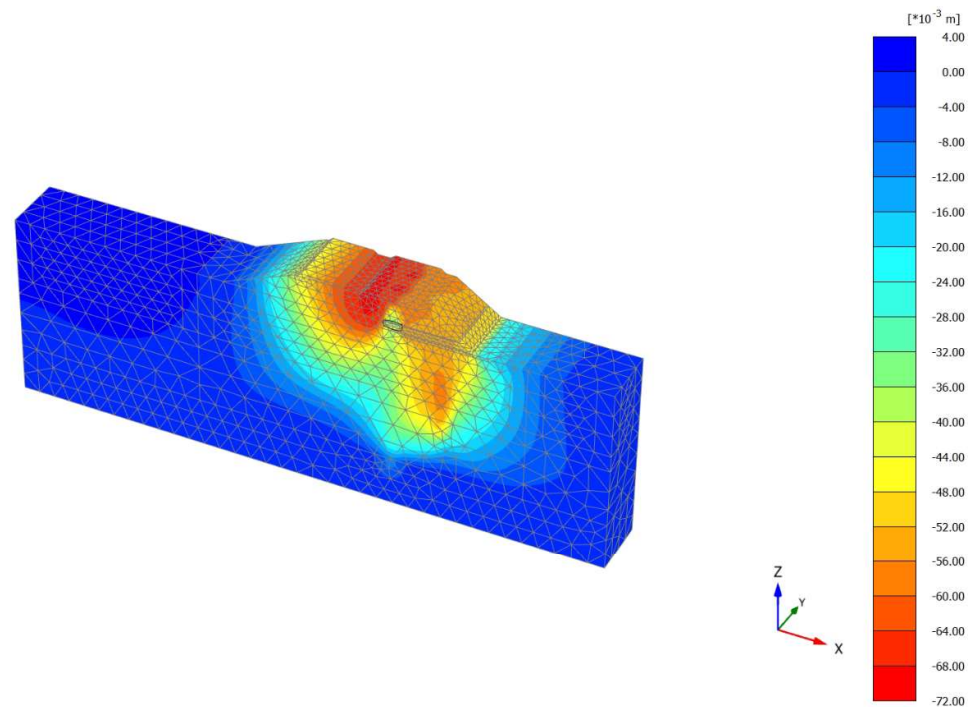
**Total displacements  $u_z$  (Time 330.0 day)**  
Maximum value =  $1.020 \cdot 10^{-3}$  m (Element 7971 at Node 23055)  
Minimum value =  $-0.07033$  m (Element 95 at Node 6070)



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario AV da pk 28+680,00 a pk 28+925,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI4800001A</p>	<p>Foglio 116 di 116</p>

Ri48\_intervent pali

### 2.1.1.1.11 Calculation results, cons finale [Phase\_10] (10/201), Total displacements $u_z$



**Total displacements  $u_z$  (Time 830.0 day)**  
Maximum value =  $1.020 \cdot 10^{-3}$  m (Element 7971 at Node 23055)  
Minimum value =  $-0.07033$  m (Element 95 at Node 6070)