

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 dal Km 14+200,00 al km 14+640,00  
GENERALE  
Relazione Geotecnica**

|                            |  |                  |  |            |
|----------------------------|--|------------------|--|------------|
| GENERAL CONTRACTOR         |  | DIRETTORE LAVORI |  | SCALA<br>- |
| IL PROGETTISTA INTEGRATORE | Consorzio<br>Iricav Due<br>Ing. Paolo Carmona<br>Data: Febbraio 2022 |                  |  |            |

|          |       |      |      |           |                  |        |      |               |
|----------|-------|------|------|-----------|------------------|--------|------|---------------|
| COMMESSA | LOTTO | FASE | ENTE | TIPO DOC. | OPERA/DISCIPLINA | PROGR. | REV. | FOGLIO        |
| IN17     | 12    | E    | I2   | RB        | RI2300           | 001    | B    | - - - D - - - |

|  |                            |                       |
|--|----------------------------|-----------------------|
|  | VISTO CONSORZIO IRICAV DUE |                       |
|  | Firma<br>Luca RANDOLFI     | Data<br>Febbraio 2022 |

Progettazione:

| Rev. | Descrizione | Redatto                        | Data          | Verificato                      | Data          | Approvato                     | Data          | IL PROGETTISTA |
|------|-------------|--------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|----------------|
| A    | EMISSIONE   | M. Conti<br><i>Maria Conti</i> | Ottobre 2021  | V. Pastore<br><i>V. Pastore</i> | Ottobre 2021  | P. Ascari<br><i>P. Ascari</i> | Ottobre 2021  |                |
| B    | REVISIONE   | M. Conti<br><i>Maria Conti</i> | Febbraio 2022 | V. Pastore<br><i>V. Pastore</i> | Febbraio 2022 | P. Ascari<br><i>P. Ascari</i> | Febbraio 2022 |                |

|                 |                     |                                  |
|-----------------|---------------------|----------------------------------|
| CIG. 8377957CD1 | CUP: J41E9100000009 | File: IN1712EI2RBRI2300001B.DOCX |
|                 |                     | Cod. origine:                    |



Progetto cofinanziato  
dalla Unione Europea

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

|   |   |             |                             |                   |
|---|---|-------------|-----------------------------|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                   |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>2 di 82 |

## 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 .....                                   | 7  |
| 3.1   | Geometria del rilevato.....                                      | 7  |
| 4     | CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....                               | 9  |
| 4.1   | Indagini disponibili.....  | 9  |
| 4.2   | Inquadramento stratigrafico .....                                | 9  |
| 4.3   | Livello di falda .....   | 11 |
| 4.4   | Condizioni geotecniche del sito .....                            | 11 |
| 4.5   | Sintesi del modello geotecnico di riferimento .....              | 19 |
| 4.5.1 | Materiale da rilevato.....                                       | 19 |
| 5     | CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE..... | 20 |
| 5.1   | Sollecitazione sismica di progetto.....                          | 20 |
| 5.1.1 | Vita Nominale.....   | 20 |
| 5.1.2 | Classe d'uso .....   | 20 |
| 5.1.3 | Periodo di riferimento per l'azione sismica .....                | 21 |
| 5.1.4 | Categorie di Sottosuolo.....                                     | 21 |
| 5.1.5 | Condizioni topografiche .....                                    | 21 |
| 5.1.6 | Accelerazione sismica di riferimento .....                       | 21 |
| 5.2   | Suscettibilità alla liquefazione.....                            | 22 |
| 5.2.1 | CRR da correlazione su prove CPT .....                           | 24 |
| 5.2.2 | CRR da correlazione su prove SPT.....                            | 26 |
| 5.2.3 | Soil improvement .....   | 35 |
| 6     | VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO .....                           | 36 |
| 6.1   | Criteri di verifica agli Stati Limite.....                       | 36 |
| 6.1.1 | Stati limite ultimi (SLU).....                                   | 36 |
| 6.1.2 | Stati limite di esercizio (SLE).....                             | 38 |
| 6.1.3 | Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche.....            | 38 |
| 6.2   | Azioni di progetto .....   | 38 |
| 6.2.1 | Azioni permanenti .....  | 38 |
| 6.2.2 | Azioni variabili .....   | 39 |
| 6.2.3 | Azione sismica .....   | 39 |
| 6.3   | Verifiche e risultati SLU .....                                  | 40 |



|   |          |       |                 |         |
|---|----------|-------|-----------------|---------|
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica | Progetto | Lotto | Codifica        | Foglio  |
|   | IN17     | 12    | EI2RBRI2300001B | 3 di 82 |

|  |  |    |
|--|--|----|
| 6.3.1  | Premessa .....                             | 40 |
| 6.3.2  | Verifiche SLU in condizione statiche ..... | 40 |
| 6.3.3  | Verifiche SLU in condizioni sismiche ..... | 41 |
| 6.4  | Verifica e risultati SLE .....             | 43 |
| 6.4.1  | Metodologia di calcolo .....               | 43 |
| 6.4.2  | Schematizzazione e risultati .....         | 45 |
| 7  | CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....        | 49 |
| Allegati .....   |  | 50 |
| ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO .....                   |  | 51 |
| ALLEGATO 2 - SONDAGGI.....                                 |  | 53 |
| ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICA ..... |  | 62 |
| ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICA.....  |  | 70 |
| ALLEGATO 5 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE .....     |  | 78 |
| ALLEGATO 6 – VERSIONE SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI ..... |  | 82 |

|  |  |             |                             |                   |
|--|--|-------------|-----------------------------|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>ITALFERR<br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                   |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                                      | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>4 di 82 |

## 1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI23, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende dal km 14+200,00 al km 14+640,00.

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.

Le verifiche discusse sono state eseguite ai sensi della Normativa vigente (v. capitolo seguente) e gli interventi proposti sono volti a garantire la stabilità dei rilevati ed il rispetto dei requisiti prestazionali previsti per le opere in oggetto.

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<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                   |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                                      | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>5 di 82 |

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni di Progetto Esecutivo
- [2] IN1710EI2RBGE0000002C Relazione Geotecnica (da 10+050 a 21+990)
- [3] IN1710EI2LZGE0000014B Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico 4 di 11
- [4] IN1710EI2RHGE0000005B Relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base 1/2
- [5] IN1710EI2P5GE0000001B Planimetrie con classificazione sismica del territorio 1 di 11
- [6] IN1710EI2RHGE0000003C Relazione idrogeologica 1/2
- [7] IN1710EI2RHGE0000007C-8C Relazione di sintesi dei sondaggi e delle prove eseguite
- [8] IN1710EI2PRGE0000001B-2B, Risultati Indagini in sito di Progetto – SOCOTEC
- [9] IN1710EI2PRGE0000003B-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
- [23] RFI TCAR ST AR 01 001 D Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h

|   |  |             |                             |                   |
|---|--|-------------|-----------------------------|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |             |                             |                   |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                           | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>6 di 82 |

[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] 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.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] Rocscience (2017), Slide ver 7.0, 2017
- [30] Rocscience (2009), Settle 3D ver 2.0, 2009
- [31] 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.
- [32] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982), "Ground motions and soil liquefaction during earthquakes", Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] Priebe H.J., "Vibroreplacement to prevent earthquake induced liquefaction". Ground Engineering, September 1998.
- [36] Idriss I.M. and Boulanger R.W. (2008), "Soil liquefaction during earthquakes".

|  |  |             |                             |                   |
|--|--|-------------|-----------------------------|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>ITALFERR<br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                   |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                                      | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>7 di 82 |

### 3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

Il rilevato ferroviario in esame si estende tra il km 14+200,00 e il km 14+640,00 per una lunghezza totale di 400 m. Per la tratta in esame non si evidenziano altre interferenze con opere principali adiacenti e/o attraversate.

#### 3.1 Geometria del rilevato

Il rilevato, presenta una sezione regolare per tutto il tracciato, con scarpate di pendenza 2/3 (V:H). Alla pk 14+640, sezione n. 362, si riscontra l'altezza massima del rilevato pari a 2.7 m. La sezione citata, denominata Sezione A (Figura 1), è quella ritenuta più severa per le verifiche del rilevato in esame.



|  |  |             |                             |                   |
|--|--|-------------|-----------------------------|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>ITALFERR<br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                   |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                                      | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>9 di 82 |

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 4.1 Indagini disponibili

L'ubicazione delle indagini disponibili relative all'opera esaminata è illustrata nella Figura 3, estratta dalla Planimetria geotecnica con ubicazione indagini e profilo geotecnico (Doc. Rif. [3]). Per ulteriori dettagli si rimanda alle relazioni di sintesi delle indagini (Doc. Rif. [2]-[13]). Il risultato delle indagini è riportato in ALLEGATO 2.

Si segnala che le indagini qui considerate non sono solo quelle di stretta pertinenza del rilevato, ma anche quelle eseguite nelle aree circostanti, e più in generale, in questa tratta del tracciato, che evidenzia una suzione stratigrafica molto omogenea. Si ritiene quindi che il dettaglio dell'indagine sia adeguato allo scopo progettuale.

Le indagini disponibili lungo il tratto d'interesse per il rilevato in oggetto sono elencate in Tabella 1. Nel seguente paragrafo si riporta la caratterizzazione geotecnica, ottenuta basandosi sui risultati delle indagini relative all'area di interesse 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 tra pk 14+200 e pk 14+620*

| Progressiva<br>pk | ID indagini<br>- | Campagna<br>anno |
|-------------------|------------------|------------------|
| 14+143            | CPTU-PE-09       | 2020-2021        |
| 14+350            | CPTU32bis        | 2014/2015        |
| 14+350            | P6               | 2015             |
| 14+641            | BH-PZ-PE-31      | 2020-2021        |
| 14+691            | BH-PE-32         | 2020-2021        |
| 14+691            | BH-PE-32Bis      | 2020-2021        |
| 14+705            | CPTU-PE-10       | 2020-2021        |

### 4.2 Inquadramento stratigrafico

Dal punto di vista stratigrafico, l'area del rilevato è interessata dalla presenza di una coltre superficiale di spessore di 5 m circa di depositi limoso argillosi (Unità 3b). Sotto di essi si trova uno strato di ghiaie ben addensate (Unità 6) fino a una profondità di 11 m ed infine si incontra il substrato sabbioso (Unità 4) che si estende in profondità fino a quota di fine sondaggi.



|   |  |                     |                                     |                            |
|---|--|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |                     |                                     |                            |
| <p>Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br/>Relazione Geotecnica</p>                       | <p>Progetto<br/>IN17</p>   | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI2300001B</p> | <p>Foglio<br/>11 di 82</p> |

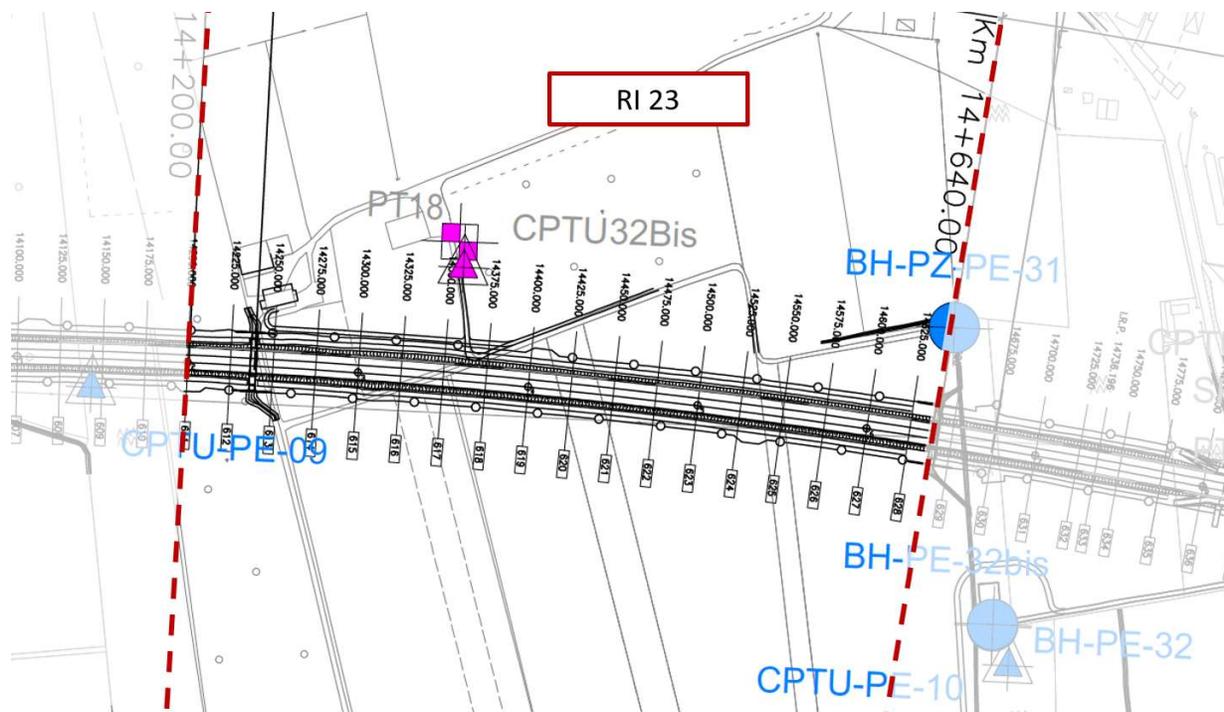


Figura 3 - Planimetria Rilevato RI23, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

### 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 perciò una falda di progetto coincidente a piano campagna.

### 4.4 Condizioni geotecniche del sito

Come definito dalla sezione stratigrafica, il tratto in cui si sviluppa la WBS è caratterizzato da due porzioni distinte:

- Un primo tratto, nel quale prevalgono ragionevolmente le condizioni stratigrafiche e geotecniche desunte per la WBS precedente (RI22), con alternanze di terreni limoso argillosi teneri e limi sabbiosi sciolti (Unità 3a/b)
- Un secondo tratto (a partire circa dall'altezza della CPTU 32bis, e fino alla fine della WBS), è caratterizzato da depositi di materiali argillosi (Unità 3b) fino a 5m di profondità.

Per le condizioni geotecniche della prima parte, si rimanda pertanto alla relazione relativa alla WBS RI22. Per quanto riguarda invece la seconda parte del tracciato, analizzando i risultati delle prove CPTU riportate in Figura 5, tali materiali sono caratterizzati da una resistenza al taglio non drenata  $c_u \approx 80-50$  kPa rispettivamente nei primi 3 metri

|  |  |             |                             |                    |
|--|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>ITALFERR<br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                                      | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>12 di 82 |

di profondità e nei successivi 2 m.

Procedendo con la profondità si incontra uno strato di ghiaie e ghiaie sabbiose ben addensate (Unità 6), che si estende fino a 11 m pc. All'interno del deposito incoerente si registrano valori di  $N_{SPT}$  mediamente pari a 40 colpi/30cm. La densità relativa delle ghiaie risulta del 45% e quindi il deposito risulta mediamente addensato.

Sotto le ghiaie si individua un deposito di sabbia limosa mediamente addensata (Unità 4), a partire dalla profondità di 11 m pc fino alla quota di fine sondaggi. In questo deposito le percentuali di materiale fino sono inferiori al 10%, i valori medi di  $N_{SPT}$  sono pari a 40 colpi/30cm con valori compresi tra 30 e 60 colpi/30cm. La densità relativa delle sabbie risulta generalmente attorno a 60-70%.

Il profilo di  $V_s$  derivante dalle interpretazioni discusse nella Relazione Sismica (Doc. Rif. [4]), basata sui risultati delle prove DH, MASW e infine CPT, conferma la presenza di materiali incoerenti da mediamente a molto addensati. Fino a 15 m pc, per le ghiaie superficiali si stimano valori di  $V_s$  pari a 320-350 m/s. A profondità maggiori, nelle sabbie, le velocità sono pari a 370 m/s. Sulla base dei valori di  $V_s$  si sono stimati i valori del modulo di taglio alle piccole deformazioni ( $G_0$ ). Per le ghiaie si considera un valore di 250 MPa, mentre per le sabbie profonde si ottengono valori pari a 300 MPa.

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

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

- Valori  $N_{SPT}$  da prove SPT (v. Figura 4);
- Resistenza al taglio non drenata da CPTU per unità 3b (v. Figura 5);
- Densità relativa stimata da prove SPT (v. Figura 6);
- Angolo di attrito stimato da prove SPT (v. Figura 7);
- Velocità delle onde di taglio stimata da prove in sito (v. Figura 8);
- Modulo di taglio alle piccole deformazioni valutati a partire dai valori stimati di  $V_s$  (v. Figura 9).



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

13 di 82

**AV/AC VERONA VICENZA**

**RI23 da pk 14+200,00 a pk 14+620,00**

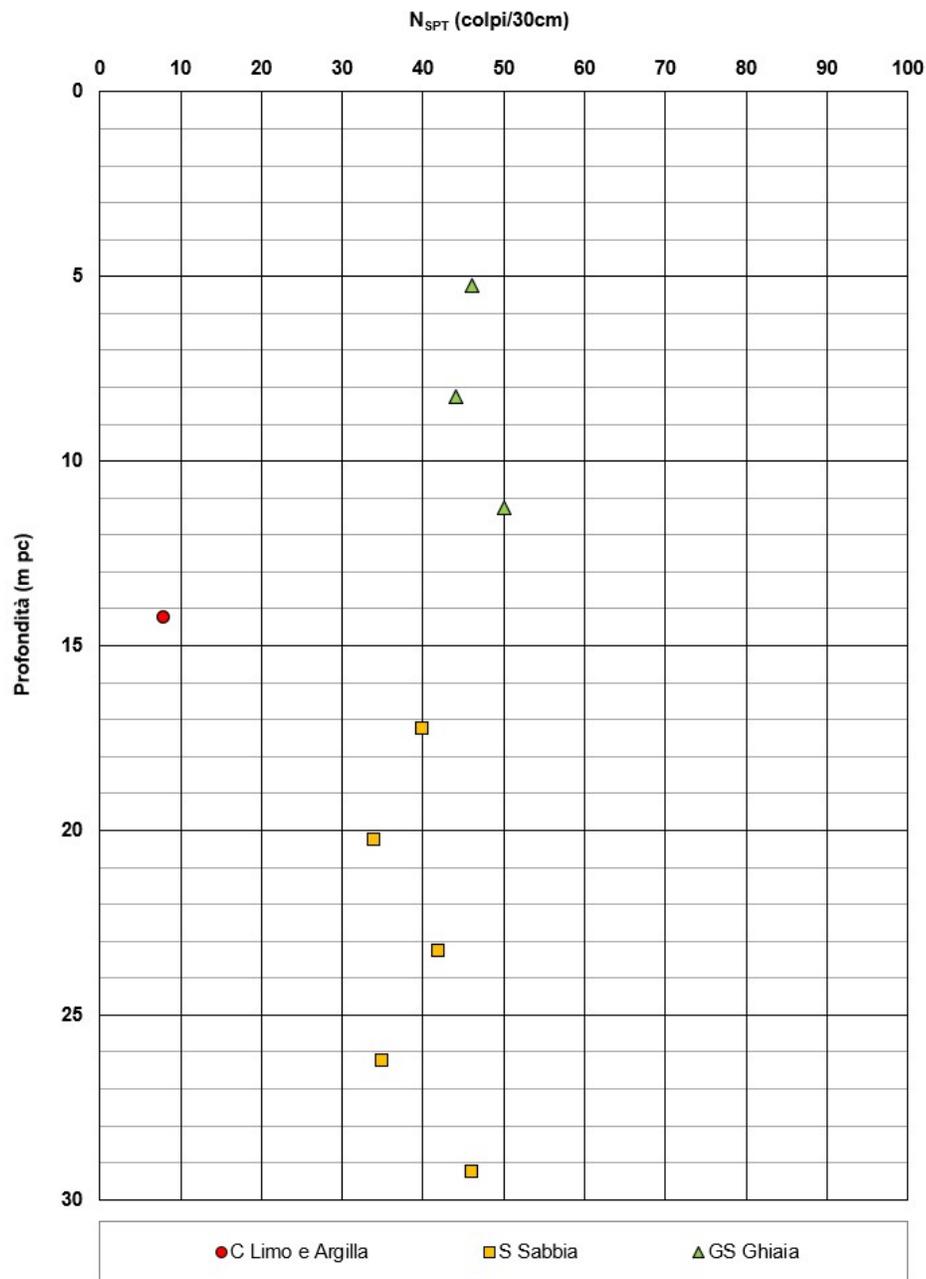


Figura 4 – Esito delle prove SPT tra pk 14+200 e pk 14+620



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

14 di 82

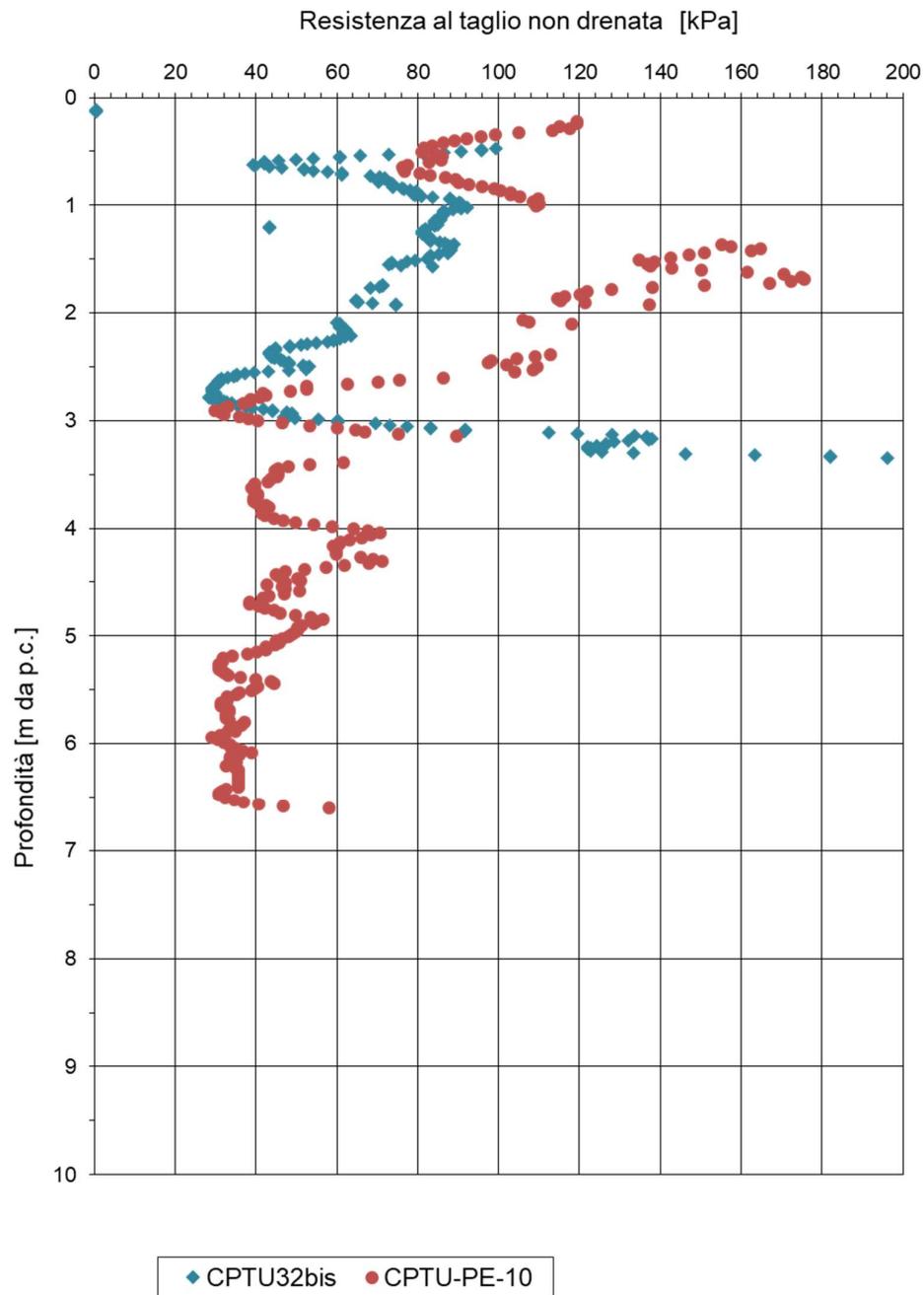


Figura 5 – Resistenza al taglio non drenata da prove CPTU tra pk 14+200 e pk 14+620



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2300001B

Foglio  
15 di 82

**AV/AC VERONA VICENZA**

**RI23 da pk 14+200,00 a pk 14+620,00**

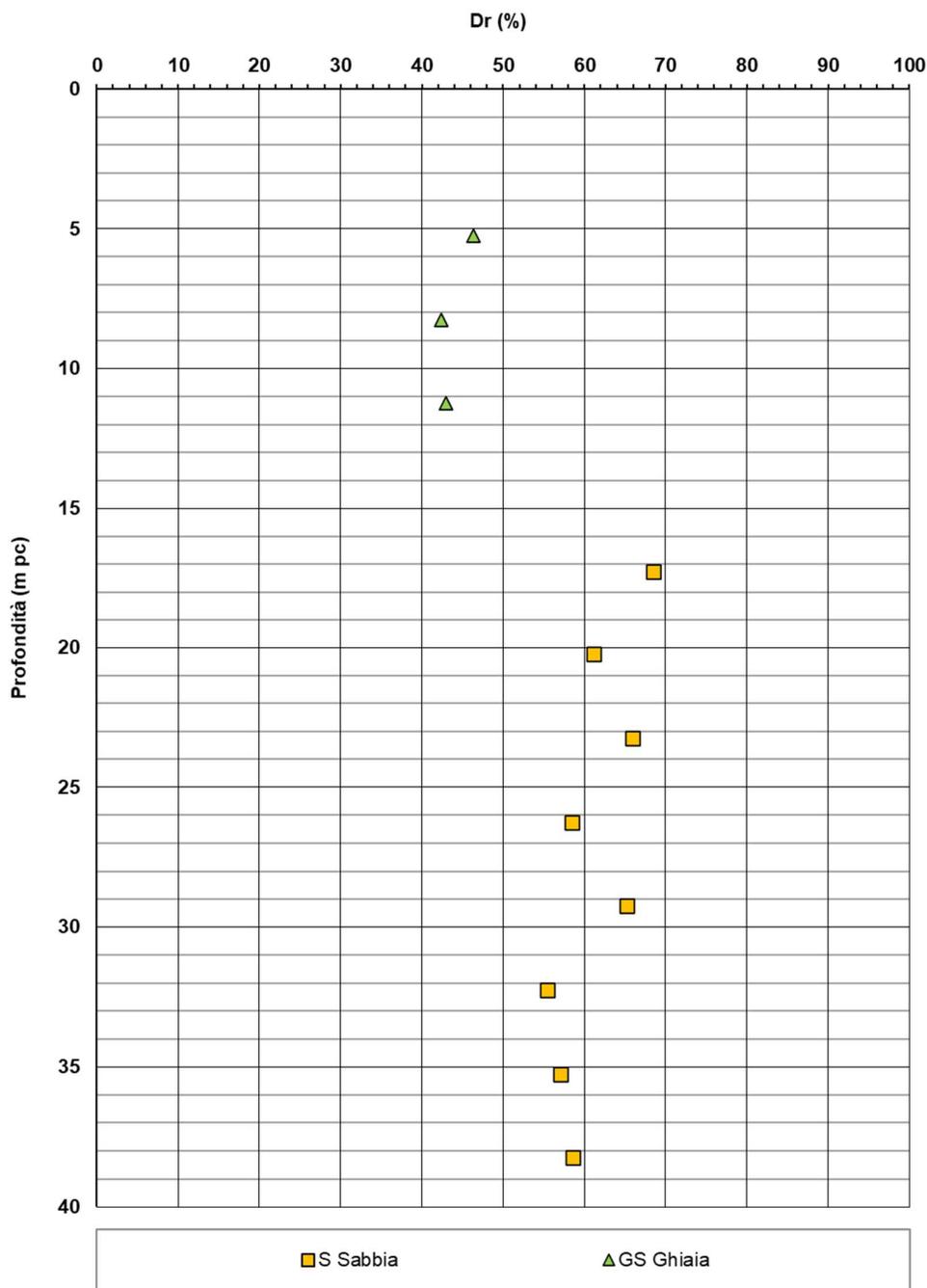


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT tra pk 14+200 e pk 14+620



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2300001B

Foglio  
16 di 82

**AV/AC VERONA VICENZA**

**RI23 da pk 14+200,00 a pk 14+620,00**

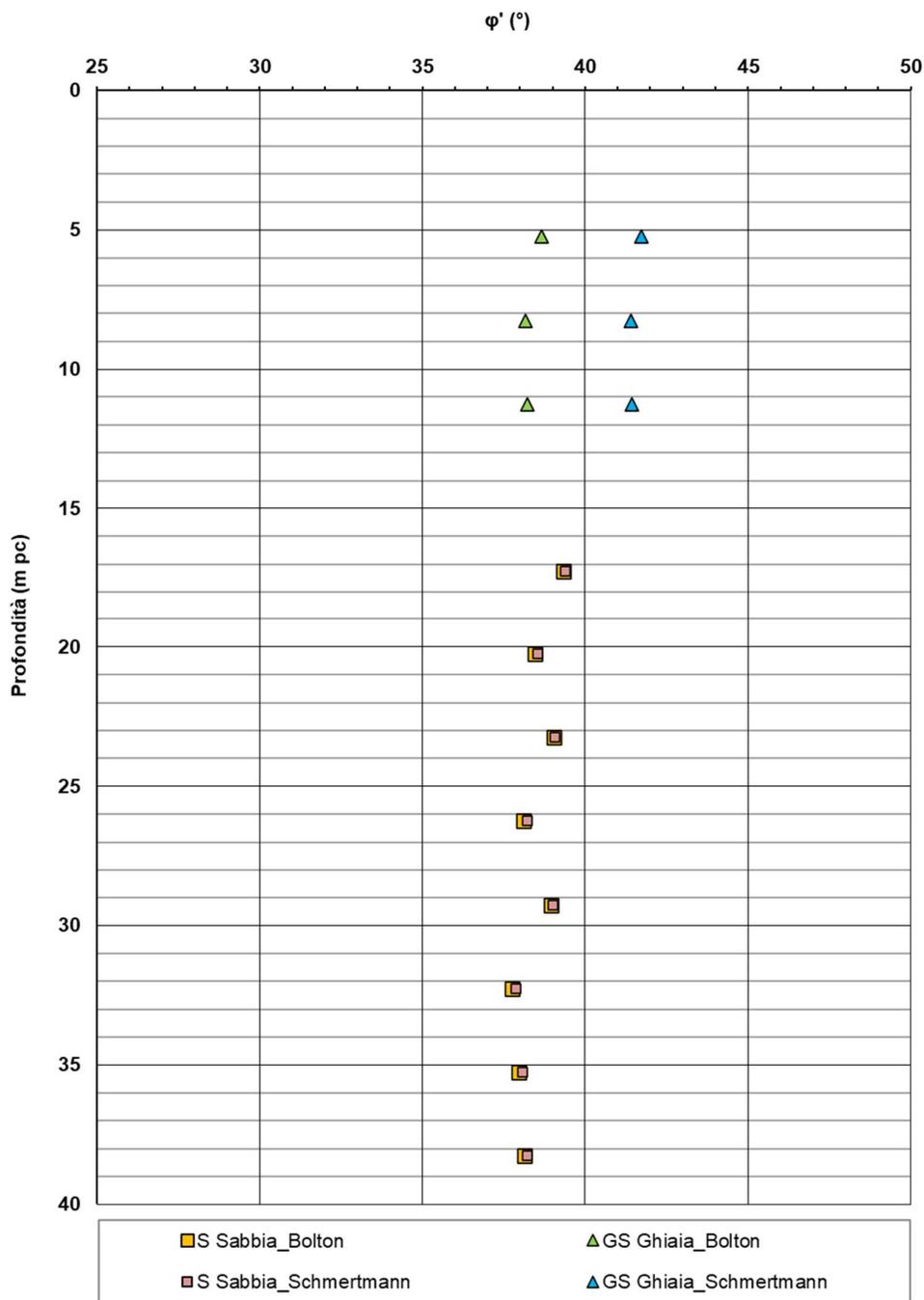


Figura 7 – Angoli di attrito da prove SPT tra pk 14+200 e pk 14+620



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2300001B

Foglio  
17 di 82

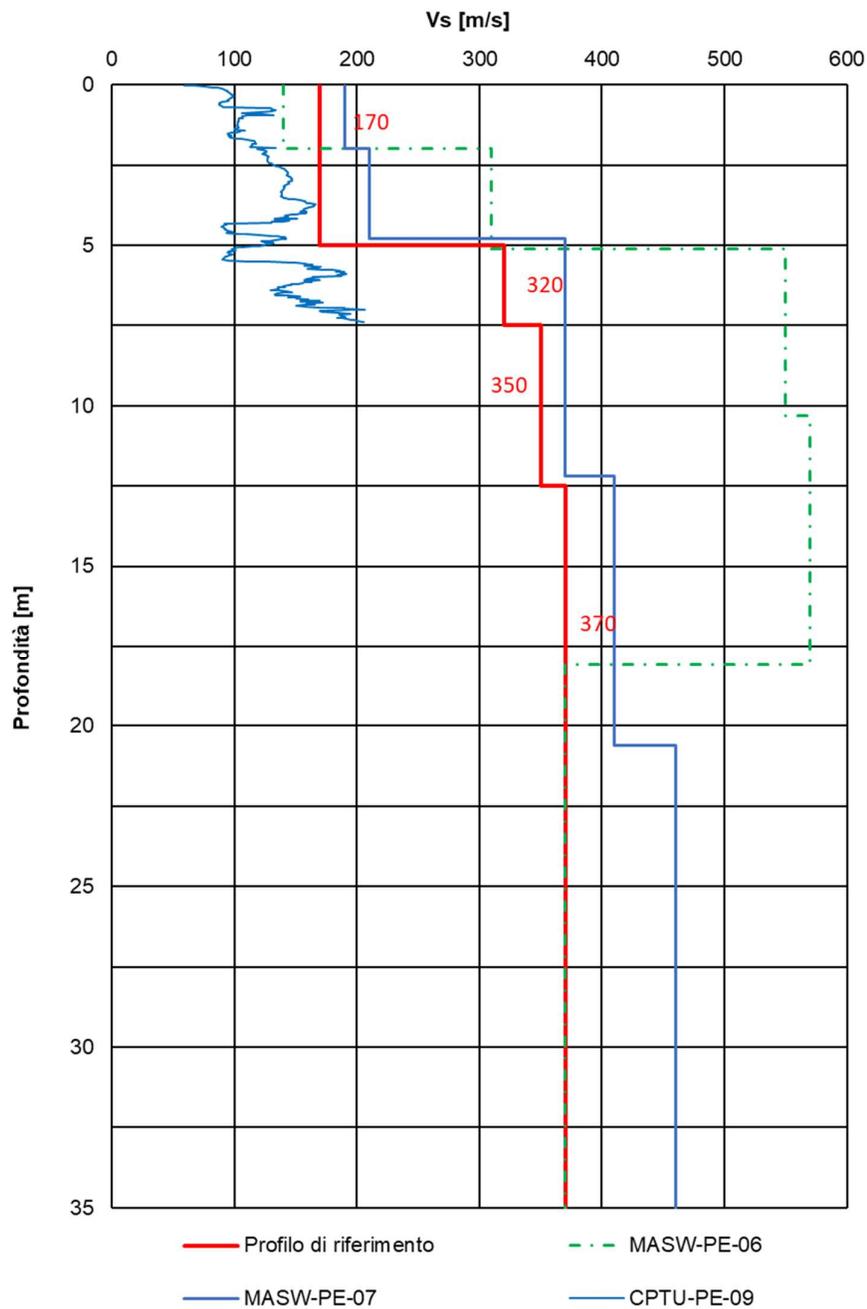


Figura 8 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT, CPTU e prove geofisiche tipo MASW tra pk 14+200 e pk 14+620



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

18 di 82

## AV/AC VERONA VICENZA

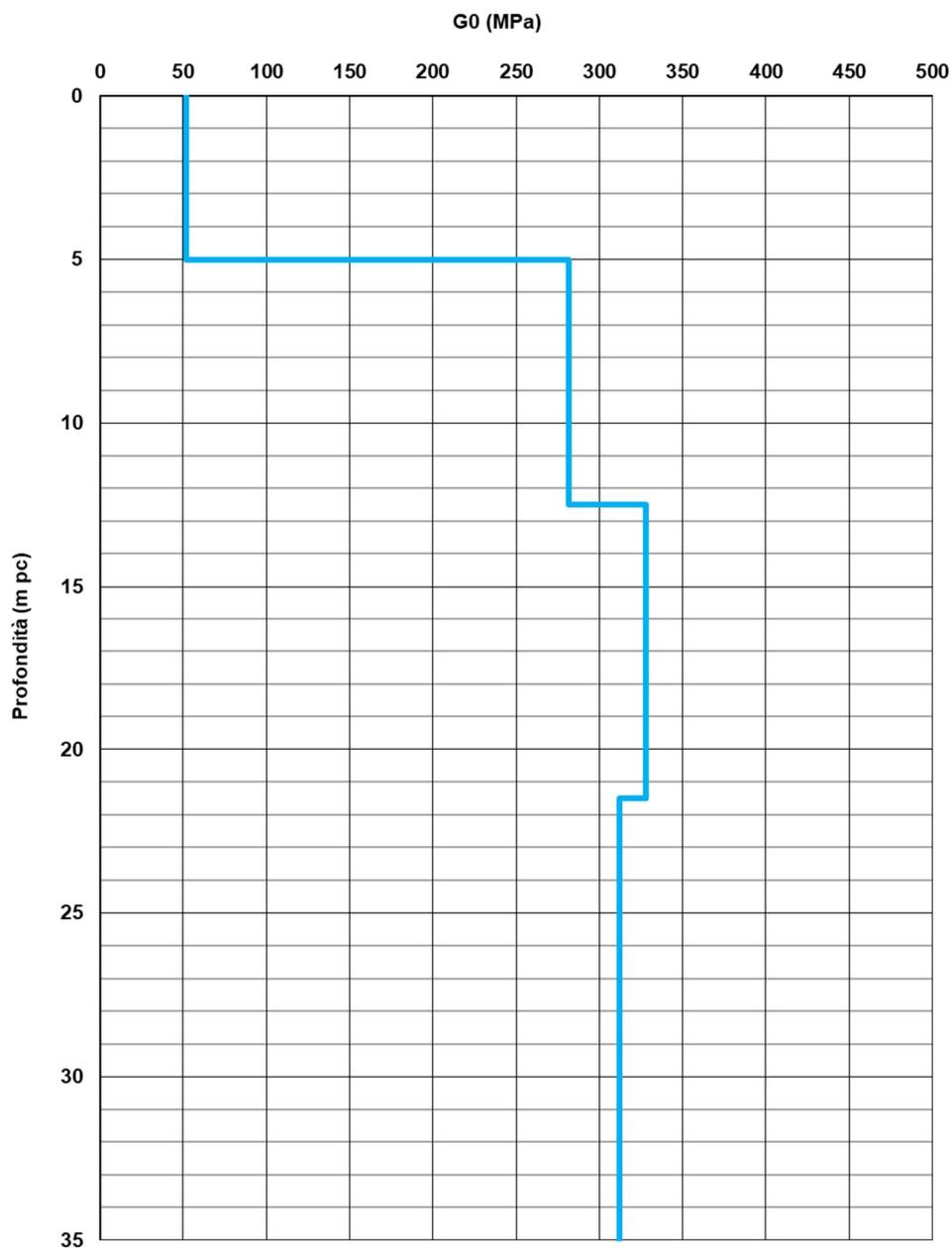


Figura 9 – Modulo di taglio  $G_0$  tra pk 14+200 e pk 14+620

|   |   |             |                             |                    |
|---|---|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>19 di 82 |

## 4.5 Sintesi del modello geotecnico di riferimento

Sulla base di quanto esposto al punto precedente, il modello geotecnico considerato per le verifiche del rilevato in questione è riportato in Tabella 2.

*Tabella 2 – Modello geotecnico di riferimento per il tratto dalla 14+300 fino alla fine delle WBS*

|    | <b>da</b><br>m pc* | <b>a</b><br>m pc* | <b>γ</b><br>kN/m <sup>3</sup> | <b>φ<sub>k</sub></b><br>° | <b>c<sub>k</sub>'</b><br>kPa | <b>c<sub>u,k</sub></b><br>kPa | <b>G<sub>0</sub></b><br>MPa | <b>E'<sub>op</sub></b><br>MPa |
|----|--------------------|-------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 3b | 1                  | 3                 | 18                            | -                         | -                            | 80                            | -                           | 12                            |
| 3b | 3                  | 5                 | 18                            | -                         | -                            | 50                            | -                           | 8                             |
| 6  | 5                  | 11                | 19                            | 39                        | 0                            | -                             | 160                         | 60                            |
| 4  | 11                 | -                 | 19                            | 38                        | 0                            | -                             | 230                         | 80                            |

\* quota piano campagna = 24.1 m s.l.m.

\*\*i valori tra parentesi ( ) si riferiscono alle caratteristiche del terreno trattato con colonne in ghiaia

Per la prima parte, si fa invece riferimento al modello del rilevato RI 22, che si riporta in Tabella 3.

*Tabella 3 – Modello geotecnico di riferimento per il tratto dalla 14+200 alla 14+300*

|    | <b>da</b><br>m pc* | <b>a</b><br>m pc* | <b>γ</b><br>kN/m <sup>3</sup> | <b>φ<sub>k</sub></b><br>° | <b>c<sub>k</sub>'</b><br>kPa | <b>c<sub>u,k</sub></b><br>kPa | <b>RR</b> | <b>CR</b> | <b>σ'p</b> | <b>G<sub>0</sub></b><br>MPa | <b>E'<sub>op</sub></b><br>MPa |
|----|--------------------|-------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------|-----------|------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 3a | 0.5                | 4                 | 18                            | 34(36)**                  | -                            | -                             | -         | -         | -          | -                           | 5(12)**                       |
| 3b | 4                  | 5.5               | 18                            | -                         | -                            | 40                            | 0.02      | 0.18      | 180        | -                           | -                             |
| 3a | 5.5                | 6.5               | 18                            | 34                        | -                            | -                             | -         | -         | -          | -                           | 5                             |
| 6  | 6.5                | 15                | 19                            | 39                        | 0                            | -                             | -         | -         | -          | 160                         | 60                            |
| 4  | 15                 | -                 | 19                            | 38                        | 0                            | -                             | -         | -         | -          | 230                         | 80                            |

\* quota piano campagna = 24.1 m s.l.m.

\*\*i valori tra parentesi ( ) si riferiscono alle caratteristiche del terreno trattato con colonne in ghiaia

Per la falda si fa riferimento a quanto riportato in 4.3.

### 4.5.1 Materiale da rilevato

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

*Tabella 4 - Caratteristiche materiale da rilevato*

|                       | <b>γ</b><br>kN/m <sup>3</sup> | <b>φ</b><br>° | <b>c'</b><br>kPa |
|-----------------------|-------------------------------|---------------|------------------|
| Materiale da rilevato | 20                            | 38            | 0                |

|  |  |             |                             |                    |
|--|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                                      | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>20 di 82 |

## 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 5 – 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<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>ITALFERR<br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                                      | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>21 di 82 |

Tabella 6 – 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  $i > 30^\circ$ .*

### 5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

Di seguito si riportano i valori dei parametri spettrali dipendenti dal sito dell'opera in oggetto:

|  |  |             |                             |                    |
|--|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>ITALFERR<br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                                      | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>22 di 82 |

|   |       |
|---|-------|
| $a_g$ (g) (SLV)   | 0.218 |
| Coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_s$                  | 1.382 |
| Coefficiente di amplificazione topografica $S_t$                    | 1.0   |
| Accelerazione massima attesa al suolo                               |       |
| $a_{max}$ (g) ( $a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$ ) | 0.301 |

## 5.2 Suscettibilità alla liquefazione

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

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

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

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

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

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

|   |   |             |                             |                    |
|---|---|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>23 di 82 |

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

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

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  $M=7.5$ .

Nel presente studio, in accordo sia alle prescrizioni dell'Eurocodice 8, sia a quanto suggerito da Youd et al., 2001 e

|  |  |             |                             |                    |
|--|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>ITALFERR<br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                                      | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>24 di 82 |

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 10: 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 10, la resistenza alla punta  $q_c$  è normalizzata rispetto al valore di pressione atmosferica ( $p_a = 100$  kPa) e corretta ( $q_{c1N}$ ) mediante la seguente relazione:

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

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:

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

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

Tanto maggiore è il valore di  $I_c$ , tanto maggiore sarà il contenuto presunto di fini. Nell'analisi condotta il valore  $I_c = 2.6$  è stato considerato lo spartiacque tra terreni con contenuto di fine inferiore a 35% e comportamento assimilabile

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

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

$$q_{c1N_{es}} = q_{c1N} \cdot k_c$$

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

$$\text{per } l_c \leq 1.64 \quad K_c = 1.0$$

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

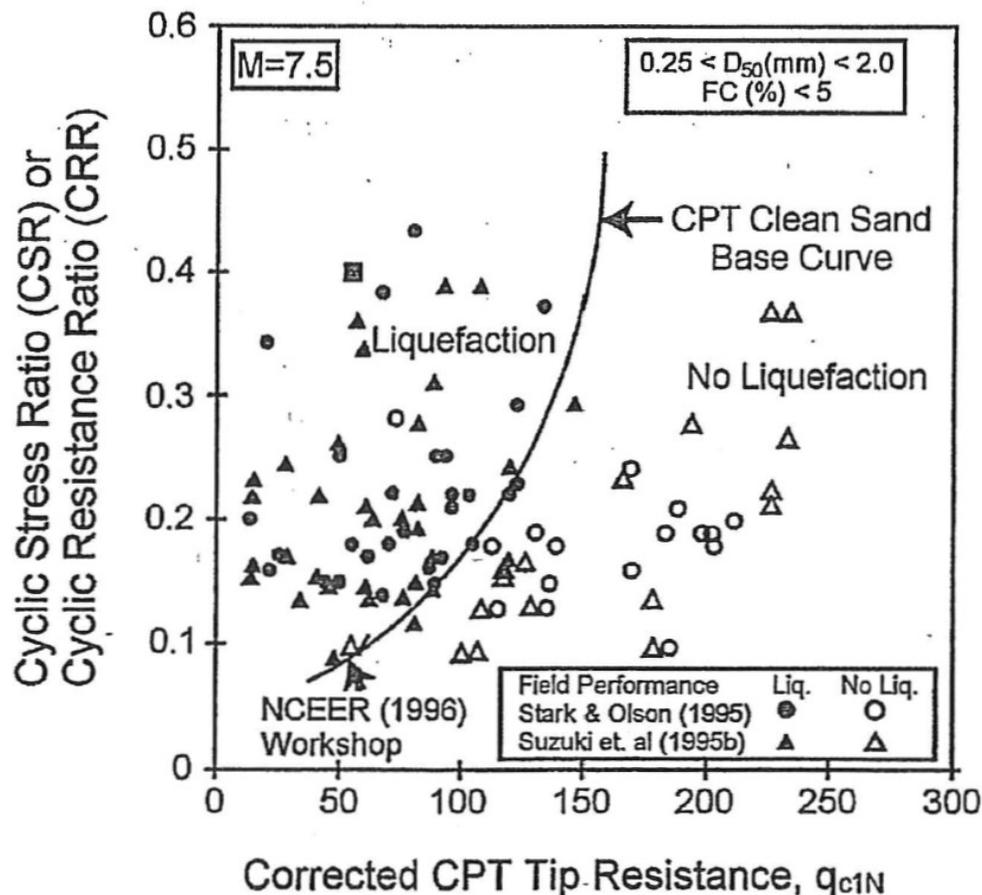


Figura 10: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta  $q_{c1N}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                           | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>26 di 82 |

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

In Figura 11, 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):

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

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

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

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

in cui  $ER_m$  è il fattore di rendimento (espresso in %) del trasferimento dell'energia del maglio all'attrezzo 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 11, 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.

|  |  |             |                             |                    |
|--|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>ITALFERR<br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                                      | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>27 di 82 |

Si può osservare dalla

Figura 11 come curve diverse siano state sviluppate per terreni aventi diverso contenuto di fini, a partire dalla curva di riferimento corrispondente alla sabbia pulita (FC < 5%).

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

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

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

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

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

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:

$$\sigma'_{v0} = \text{tensione verticale efficace}$$

$$p_a = \text{pressione atmosferica di riferimento}$$

$f$  = 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. Nel caso quest’ultime non erano disponibili, facendo riferimento alla stratigrafia locale, si è ipotizzato un valore di contenuto di fini pari al 5% per i materiali sabbioso/ghiaiosi, mentre per i terreni limosi/argillosi è stato ipotizzato un contenuto di fini pari al 30-40%.

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

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

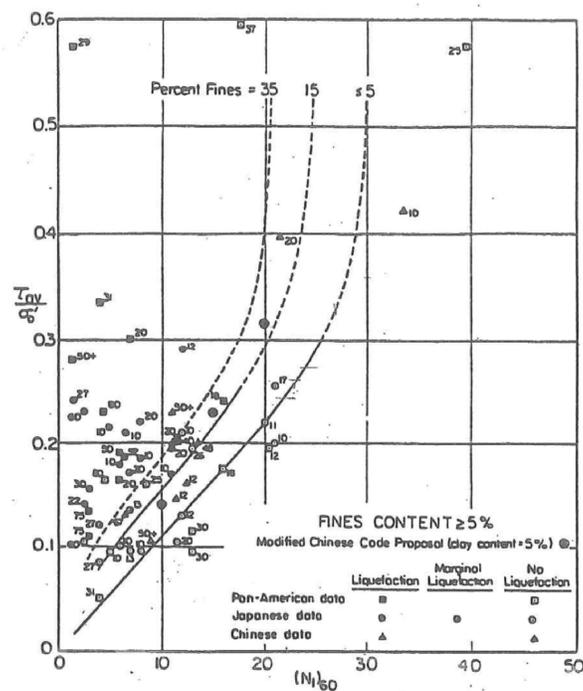


Figura 11: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e  $N_{1(60)}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

I risultati delle analisi (cfr. da Figura 12 a Figura 16) indicano rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI23. In particolare:

- dai risultati di CPTU-PE-09, che è riferibile alla prima parte della WBS in esame (RI23), in continuità con RI22, si evidenzia la presenza di materiale potenzialmente liquefacibile

|   |  |                     |                                     |                            |
|---|--|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |                     |                                     |                            |
| <p>Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br/>Relazione Geotecnica</p>                       | <p>Progetto<br/>IN17</p>   | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI2300001B</p> | <p>Foglio<br/>29 di 82</p> |

- dai risultati di CPTU32 si evidenzia la presenza di 2 m di materiale potenzialmente liquefacibile, con  $FL < 1.0$ , in sommità. Anche la CPTU-PE-10, posta più a Ovest, indica simili problematiche.
- Non si evidenziano problemi di liquefazione dai risultati SPT su BH-PE-31.

Per quanto riguarda i rischi evidenziati dalla CPTU32bis e dalla CPTU-PE-10, si sono esaminati i sondaggi vicini a quest'ultima (cfr BH-PE-31 e BH-PE-32 in ALLEGATO 2) e, dalla quale emerge quanto segue:

- I dati delle due CPTU, in termini di previsione di potenziale di liquefazione, risultano molto simili, con valori di  $I_c$  praticamente coincidenti con il valore "spartiacque" di 2.6, fa terreni clay-like e sand-like
- In tali circostanze, i risultati del metodo rimangono in un terreno ai limiti della applicabilità.
- Tuttavia, i sondaggi eseguiti in prossimità della CPTU-PE10 (BH-PE-32bis e BH-PE-32) indicano chiaramente che si tratta di terreni argillosi, e che quindi non suscettibili di liquefazione.

Si può pertanto concludere che nella seconda parte della WBS, i terreni delle coperture superficiali sono costituiti da materiali appartenenti all'Unità 3b, e pertanto non suscettibili di liquefazione.



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

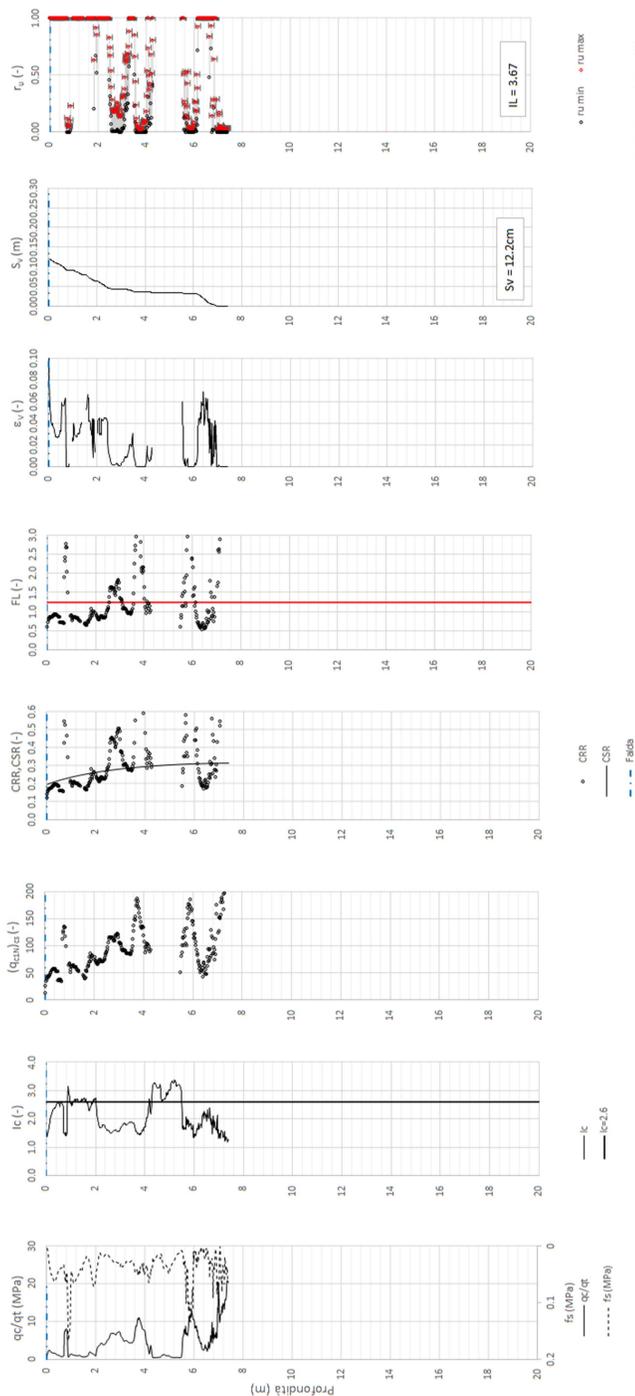
Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2300001B

Foglio  
30 di 82

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-09 Pr. 14+143  
 $\sigma_{v,max} = 0.30 \text{ Mg}$   $M_{calc} = 6$   $MSF = 2$  Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
 Altezza rilevato = 2m



Foglio verificato e approvato n. 002

Figura 12 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-09



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI230001B

Foglio  
31 di 82

Tratta AC/AV Verona - Padova - Sub Tratta - Verona - Vicenza - Prova CPTU32BIS Pr. 14+350

Amax\_calc / g = 0.301 M\_calc = 6 Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001 MSF = 2

Riempimento h = 2 m Sovraccarico = 0 MPa

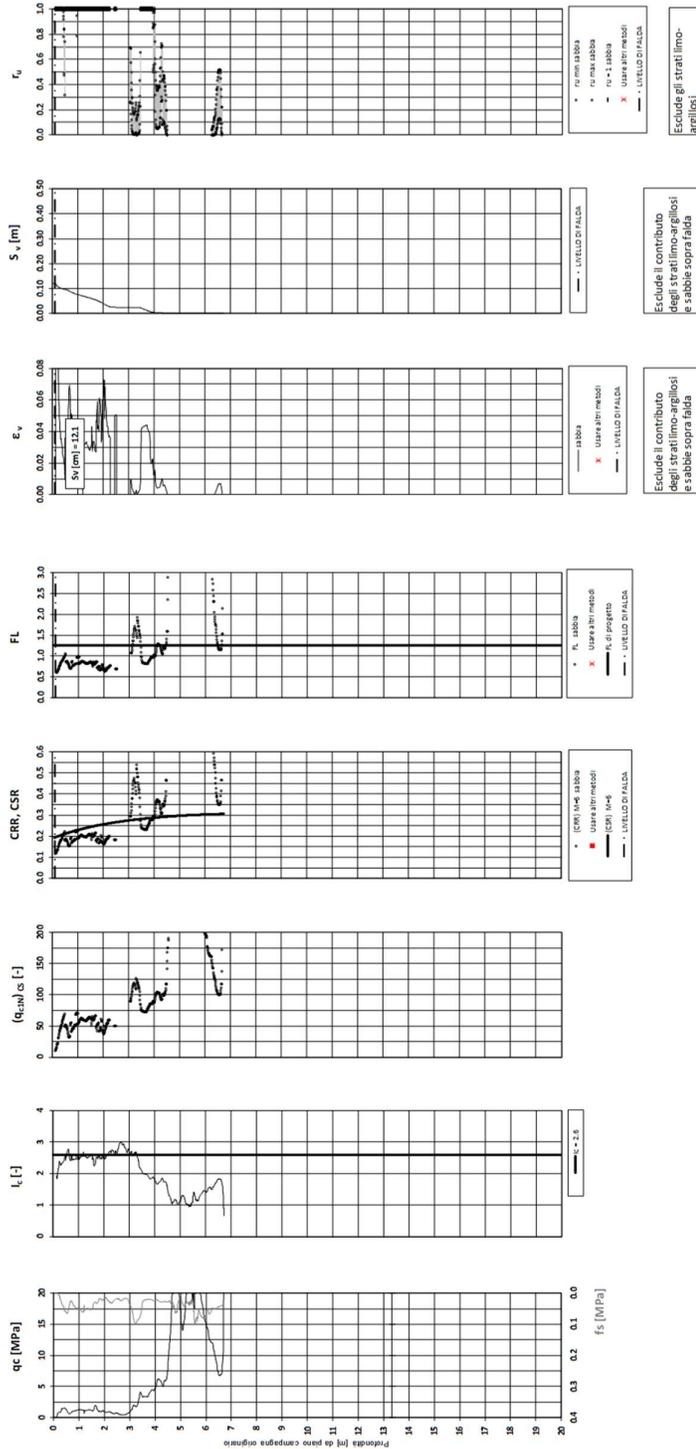


Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU32bis



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

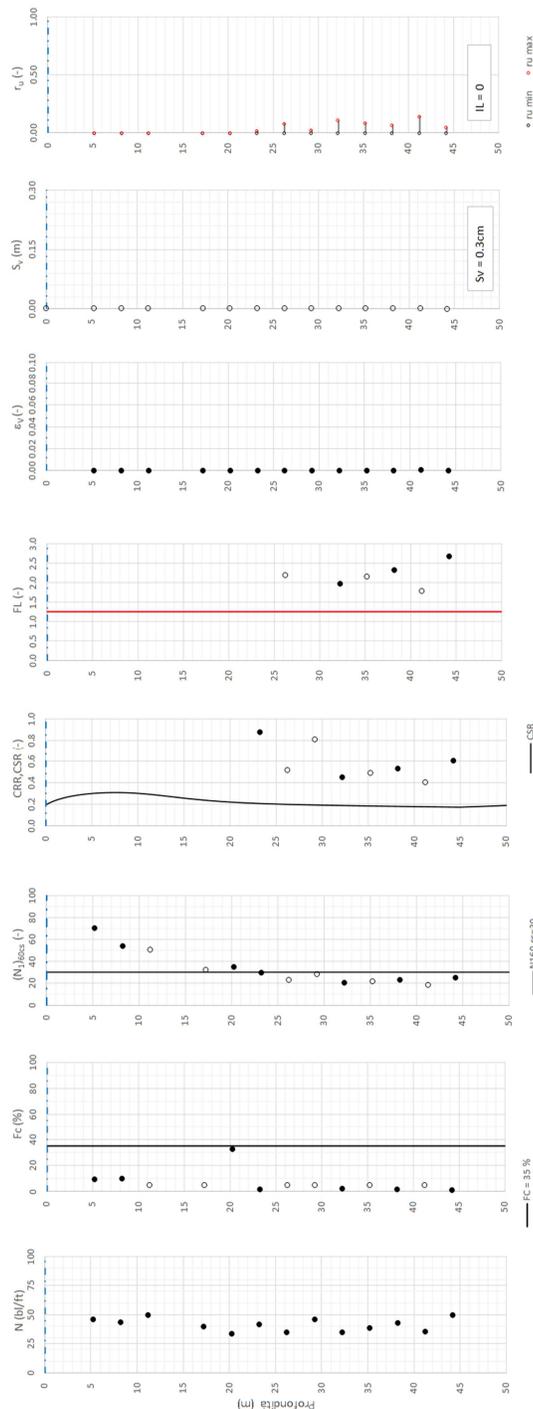
Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI230001B

Foglio  
32 di 82

**Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-31 Pr. 14+673**  
a<sub>r,max</sub> = 0.301g M<sub>calc</sub> = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 2m



● Dati misurati in sito o calcolati sulla base di misure dirette  
○ Dati basati sulla stima di valori tipici per lo strato

Figura 14 – Verifica Liquefazione da risultati BH-PE-31



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

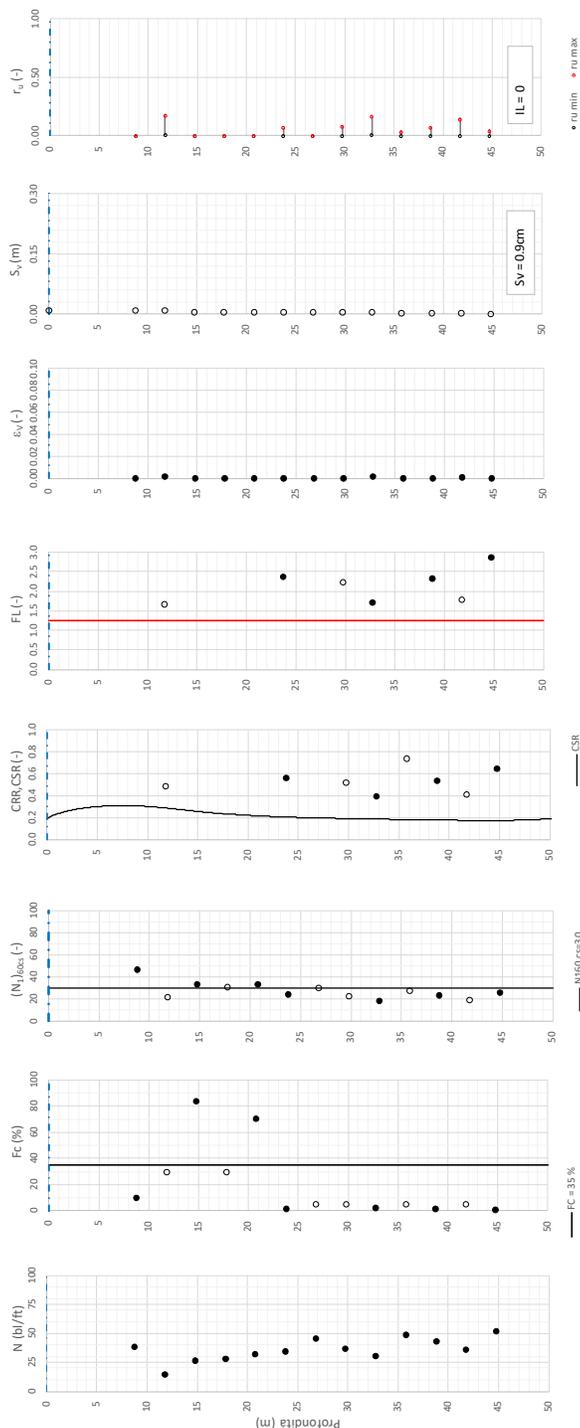
Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2300001B

Foglio  
33 di 82

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-32 Pr. 14-700  
a<sub>s,max</sub> = 0,30kg M<sub>calc</sub> = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 2m



Foglio verifica liquefazione Nspv. 102

Figura 15 – Verifica Liquefazione da risultati BH-PE-32



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2300001B

Foglio  
34 di 82

T tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova CPTU-PE-10 Pr. 14-705  
a<sub>max</sub> = 0.301g M<sub>calc</sub> = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 2m

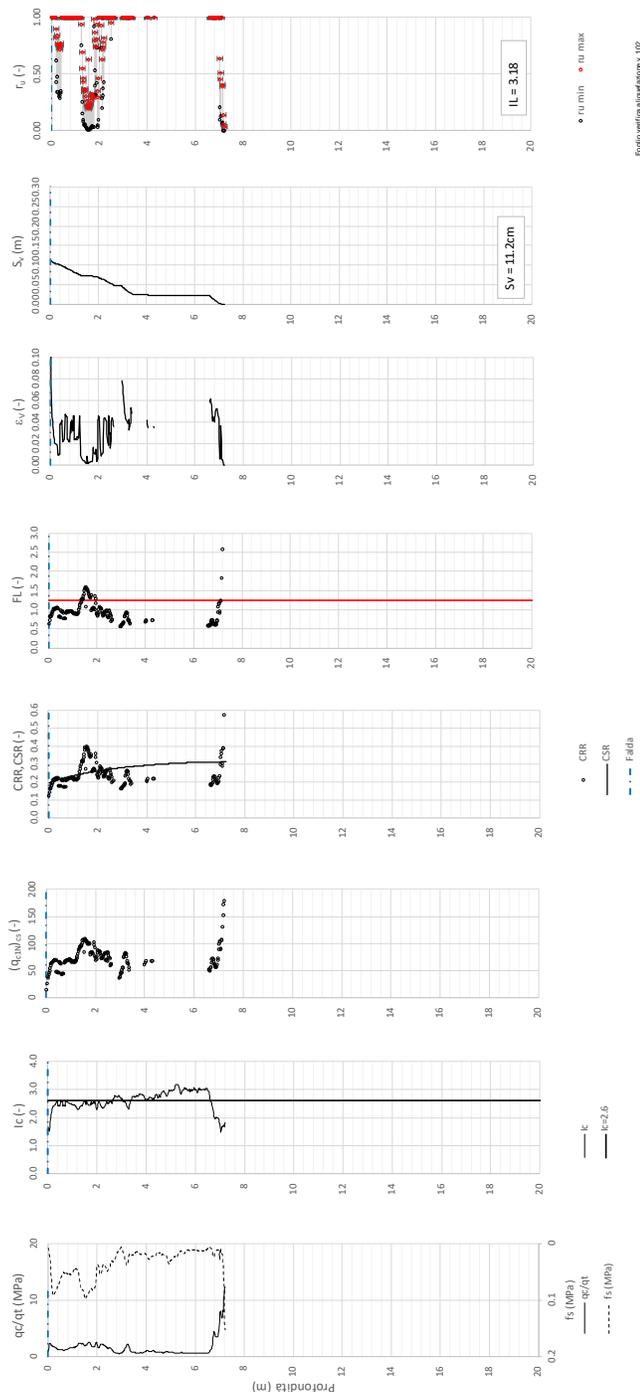


Figura 16 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-10

|  |  |             |                             |                    |
|--|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>ITALFERR<br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                                      | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>35 di 82 |

### 5.2.3 Soil improvement

Come illustrato al punto precedente, la CPTU-PE-09 alla pk 14+143 evidenzia la presenza di materiali liquefacibili. Considerando la vicinanza di questa prova con l'inizio della WBS, in continuità con gli interventi per Ri22, si prescrive dalla pk 14+200 alla 14+300 l'esecuzione di un trattamento di miglioramento delle caratteristiche dei terreni.

Tale trattamento prevede l'installazione di colonne in ghiaia con diametro  $D=800$  mm, lunghezza  $L=4$  m, interasse  $i=2.0$  m, a maglia quadrata.

Per la descrizione delle fasi realizzative e per la geometria del trattamento, si faccia riferimento agli elaborati di progetto.

Dalla pk 14+300 alla pk 14+640, si prescrive quanto segue:

- realizzazione di uno scotico + bonifico per uno spessore complessivo di 1.0 m così da rimuovere, al disotto del rilevato e per uno spessore allargato di 2 m all'esterno del piede del rilevato, eventuali materiali sciolti passibili di liquefazione;
- compattazione del fondo scavo per mezzo di rulli vibranti con peso statico equivalente di almeno 15 t, raggiungendo i livelli di compattazione come da capitolato. Il grado di addensamento raggiunto, da verificare a fondo scavo con prove di carico su piastra ( $M_d > 20$  MPa), aumenterà la densità relativa dei materiali in misura tale da renderlo non più suscettibile a liquefazione.
- relazione del rinterro in accordo alle specifiche.

|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                           | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>36 di 82 |

## 6 VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO

### 6.1 Criteri di verifica agli Stati Limite

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

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

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

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

dove:

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

$R_d$  valore di progetto della resistenza.

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

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

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

dove:

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

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

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

In base a quanto indicato dalle NTC 2008 le verifiche di sicurezza che devono essere condotte per opere costituite da materiali sciolti sono le 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<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>37 di 82 |

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 7 – Coefficienti parziali sulle azioni*

| CARICHI                                   | EFFETTO     | Coefficiente Parziale<br>$\gamma_F$ (o $\gamma_E$ ) | EQU | (A1)<br>STR | (A2)<br>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 8 – Coefficienti parziali sui terreni (Tab. 6.2.II, Doc. Rif. [14])*

| PARAMETRO   | GRANDEZZA ALLA QUALE<br>APPLICARE IL<br>COEFFICIENTE PARZIALE | COEFFICIENTE<br>PARZIALE<br>$\gamma_M$ | (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 9 – Coefficienti parziali per verifiche di stabilità globale*

| Coefficiente | R2  |
|--------------|-----|
| $\gamma_R$   | 1.1 |

Si segnala che le verifiche in condizioni SLU e SLE sono condotte con analisi statiche o pseudostatiche e, in accordo al MDP ITALFERR, il coefficiente di incremento dinamico delle azioni derivanti dal passaggio del treno è assunto pari all'unità.

|  |  |             |                             |                    |
|--|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                                      | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>38 di 82 |

### 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 ballast, e per la durata della vita utile dell'opera (100 anni) i cedimenti residui devono essere inferiori a 5 cm.

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

Tabella 10 – Valori limite dei difetti in direzione trasversale (in mm)

|  | V ≤ 160 km/h   | 160 < V ≤ 300 km/h  |
|--|--|---|
| 1° livello di qualità  | $\Delta H \leq 10$<br>SCARTXL ≤ 6                            | $\Delta H \leq 10$<br>SCARTXL ≤ 4                           |
| 2° livello di qualità  | $10 < \Delta H \leq 15$<br>$6 < \text{SCARTXL} \leq 10$      | $10 < \Delta H \leq 15$<br>$4 < \text{SCARTXL} \leq 8$      |
| 3° livello di qualità esecuzione a breve termine anche in relazione ai limiti di sghembo (2)   | $15 < \Delta H \leq 20$ (1)<br>$10 < \text{SCARTXL} \leq 14$ | $15 < \Delta H \leq 20$ (1)<br>$8 < \text{SCARTXL} \leq 12$ |
| (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 l.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<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>ITALFERR<br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                                      | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>39 di 82 |

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 11)

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

$g$                     accelerazione di gravità.

Tabella 11 - 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<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>ITALFERR<br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                                      | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>40 di 82 |

## 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. [29]). 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 8 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 già citata sezione di riferimento A riportata in Figura 1. La verifica è stata condotta facendo ricorso al metodo di Bishop modificato. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici caratteristici definiti in Tabella 2.

### 6.3.2 Verifiche SLU in condizione statiche

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

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

In Figura 17 sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2. Il valore minimo di FS è pari a:

$$F_{S_{MIN}} (DA1C2) = 1.319 > R2 = 1.1$$

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

### 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:

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

$$K_V = \pm 0.042 \quad (\text{verificando la più cautelativa tra negativo e positivo})$$

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

$$FS_{\text{MIN}} = 1.154 > R_2 = 1.1$$

**la verifica di stabilità globale post liquefazione risulta soddisfatta.**

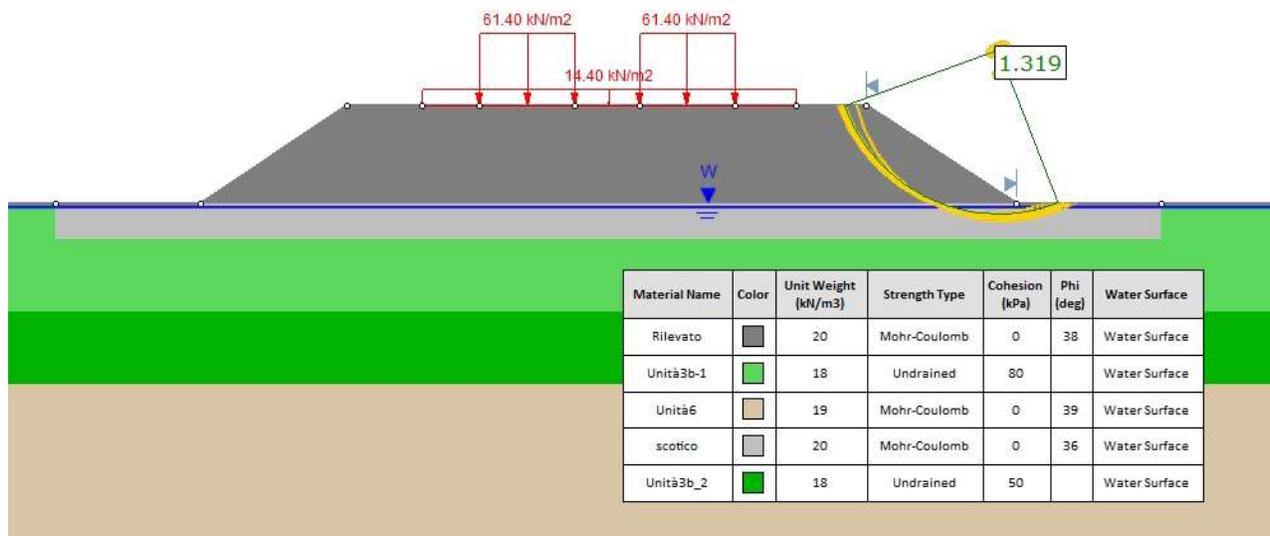


Figura 17 - Rilevato RI23 - Analisi SLU in campo statico DA1C2



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI230001B

Foglio  
42 di 82

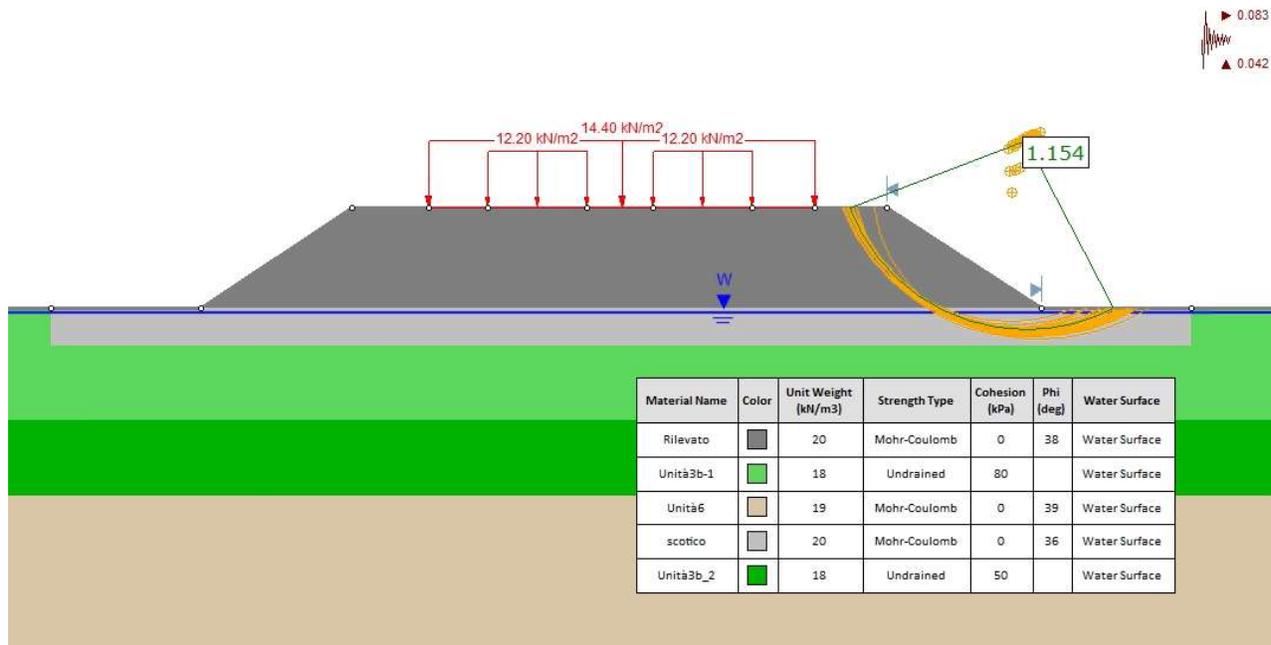


Figura 18 - Rilevato RI23 - Analisi SLU in campo sismico

|  |  |             |                             |                    |
|--|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                                      | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>43 di 82 |

## 6.4 Verifica e risultati SLE

### 6.4.1 Metodologia di calcolo

La determinazione del campo di spostamenti è stata svolta mediante l'utilizzo del codice di calcolo SETTLE 3D (Doc. Rif. [30]) che permette di valutare l'andamento dei cedimenti nel tempo sotto diverse ipotesi di carico. Il programma discretizza l'area analizzata in un numero finito di aree di carico e valuta gli incrementi di tensione indotti da ogni singola area di carico componendo poi gli effetti. A partire dagli incrementi tensionali vengono poi calcolati i cedimenti.

La valutazione dell'incremento dello stato tensionale indotto nel terreno dai carichi applicati viene condotta all'interno del codice di calcolo con riferimento a soluzioni basate sulle seguenti ipotesi semplificative:

- il terreno è schematizzato come un semispazio elastico lineare, omogeneo ed isotropo (modello di Boussinesq);
- l'area di carico è posta sulla superficie del semispazio ed è ipotizzata avere rigidità nulla.

Per una generica condizione di carico viene quindi eseguita una discretizzazione in un numero finito di aree di carico sulle quali è applicata una pressione uniforme o variabile linearmente.

Per ogni direttrice di calcolo del cedimento vengono valutati gli incrementi di tensione indotti da ogni singola area di carico componendo poi gli effetti.

Il calcolo dell'incremento delle tensioni normali indotte da un'area di carico nastriforme, soggetta a un carico uniformemente distribuito (parte centrale del rilevato), viene eseguita sulla base delle formule di Jumikis (1971).

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi} \left[ \tan^{-1}\left(\frac{x+B}{z}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{x-B}{z}\right) - \frac{z \cdot (x-B)}{(x-B)^2 + z^2} + \frac{z \cdot (x+B)}{(x+B)^2 + z^2} \right]$$

$$\Delta\sigma_x = \frac{q}{\pi} \left[ \tan^{-1}\left(\frac{x+B}{z}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{x-B}{z}\right) + \frac{z \cdot (x-B)}{(x-B)^2 + z^2} - \frac{z \cdot (x+B)}{(x+B)^2 + z^2} \right]$$

$$\Delta\sigma_y = \nu \cdot (\Delta\sigma_z + \Delta\sigma_x)$$

dove:

$\Delta\sigma_z$ ,  $\Delta\sigma_x$ ,  $\Delta\sigma_y$  = incremento delle tensioni normali verticali e orizzontali

$q$  = carico applicato

$\nu$  = coefficiente di Poisson

$B$  = semi-larghezza dell'area di carico in direzione  $x$

$x$ ,  $y$ ,  $z$  = coordinate geometriche di riferimento come indicato nella figura seguente.

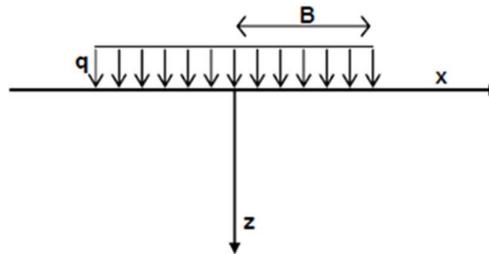


Figura 19 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

Nel caso di un'area di carico nastroforme soggetta a un carico linearmente crescente (bordo del rilevato), le formule di Jumikis da applicare sono le seguenti:

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi \cdot A} \cdot \left[ (x - A) \cdot \left( \tan^{-1}\left(\frac{x - A}{z}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{x}{z}\right) \right) + \frac{A \cdot z \cdot x}{x^2 + z^2} \right]$$

$$\Delta\sigma_x = \frac{q}{\pi \cdot A} \cdot \left[ (x - A) \cdot \left( \tan^{-1}\left(\frac{x - A}{z}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{x}{z}\right) \right) + z \cdot \ln\left(\frac{x^2 + z^2}{(x - A)^2 + z^2}\right) - \frac{A \cdot z \cdot x}{x^2 + z^2} \right]$$

$$\Delta\sigma_y = \nu \cdot (\Delta\sigma_z + \Delta\sigma_x)$$

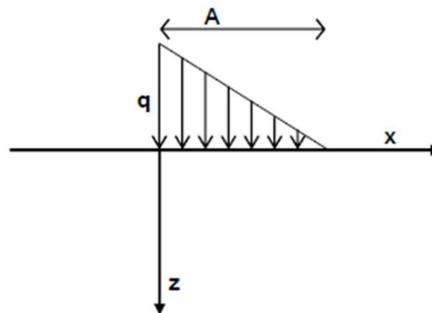


Figura 20 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

Il calcolo della deformazione verticale per ogni singolo sublayer viene valutato sulla base dell'incremento di sforzo verticale, utilizzando la seguente espressione:

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta\sigma_z}{E}$$

Il cedimento verticale totale viene quindi calcolato come sommatoria dei cedimenti dei diversi strati.

Il calcolo dei cedimenti indotti dalla realizzazione del rilevato ferroviario è stato svolto modellando la successione stratigrafica in sito tenendo conto delle diverse caratteristiche di deformabilità degli strati, in accordo alla stratigrafia

|  |  |             |                             |                    |
|--|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>ITALFERR<br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                                      | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>45 di 82 |

di progetto riportata in Tabella 2. Si sono assunti i valori caratteristici sia sulle azioni che sui materiali.

Si osserva come, in accordo con la stratigrafia e i parametri di progetto riportati nel Capitolo 4, i moduli elastici risultano di fatto indipendenti dallo stato tensionale ed il valore della quota della falda non ha alcuna influenza sull'esito del calcolo. Pertanto, nel calcolo la falda è stata rappresentata ad una quota convenzionale praticamente coincidente con il p.c.

Nell'ambito delle verifiche agli Stati Limite d'Esercizio, dev'essere verificata la seguente disequaglianza:

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

dove

$E_d$  è il valore di progetto dell'effetto dell'azione, e  $C_d$  è il valore limite prescritto dell'effetto delle azioni.

Sulla base di quanto riportato sopra, le verifiche geotecniche sono pertanto volte ad identificare un campo di spostamenti/cedimenti.

#### 6.4.2 Schematizzazione e risultati

La verifica è stata condotta con riferimento alla già citata sezione di riferimento A riportata in Figura 1. Il modello di calcolo implementato per il rilevato tipologico con altezza pari a 2.70 m è riportato in Figura 21. La larghezza del rilevato è pari a 21 m, con pendenza delle scarpate è 2V:3H. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici definiti in Tabella 2.

Per quanto concerne il la deformabilità dello strato trattato con colonne di ghiaia, si può valutare un modulo equivalente come media pesata fra l'area delle colonne e quella del terreno naturale.

Assumendo per le colonne un valore del modulo  $E'=60$  MPa, ed un'area di competenza di ciascuna colonna  $D=800$  mm pari a  $4.0$  m<sup>2</sup> (maglia 2.0x2.0 m), si ottiene un modulo equivalente pari a:

$$E'_{eq} = (5 \cdot 3.5 + 60 \cdot 0.5) / 4 \approx 12 \text{ MPa.}$$

Il carico dato dal completamento della linea ferroviaria, assunto pari a 14.4 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza dell'impronta del rilevato ferroviario.

I cedimenti sono stati calcolati al centro del nuovo rilevato, i valori calcolati sono riportati nella Figura 22.

|  |  |             |                             |                    |
|--|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>ITALFERR<br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica                                      | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>46 di 82 |

Il cedimento calcolato in corrispondenza del centro del nuovo rilevato è di circa 4.5 cm.

Considerando che:

- La maggior parte (3 cm) avviene per compressione degli strati argillosi in superficie (Figura 23), che verranno ricompresi nel ramo di ricarico, con valori di cv elevati ( $\geq 5 \cdot 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s);
- Gli strati di argilla hanno tempi di consolidazione rapidi;

Si conclude che tali cedimenti si esauriranno praticamente all'atto dell'applicazione dei carichi, e quindi non risultano essere necessarie dettagliate analisi di consolidazione. Inoltre, considerata la natura dei terreni i cedimenti secondari sono trascurabili.

I cedimenti di lungo termine, e più in particolare quelli a far data dal termine dell'applicazione del carico del ballast e fino alla fine di vita utile dell'opera (100 anni), sono pertanto da considerare trascurabili.

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

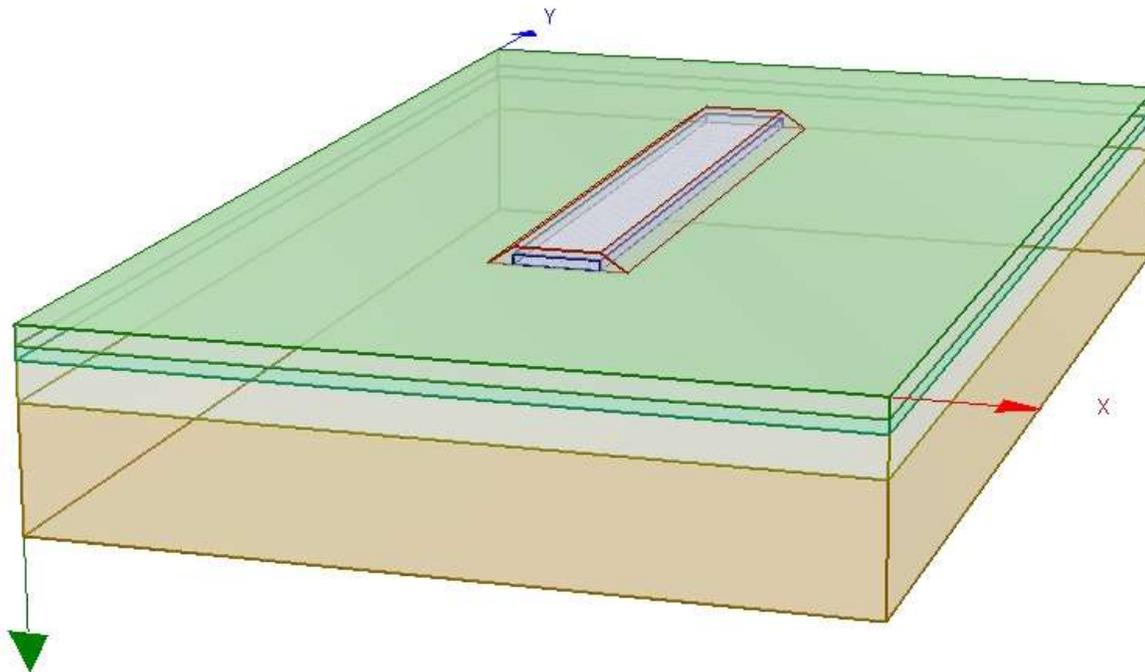


Figura 21 - Rilevato RI23 H=2.70 m - Analisi SLE – Modello di calcolo



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
 Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

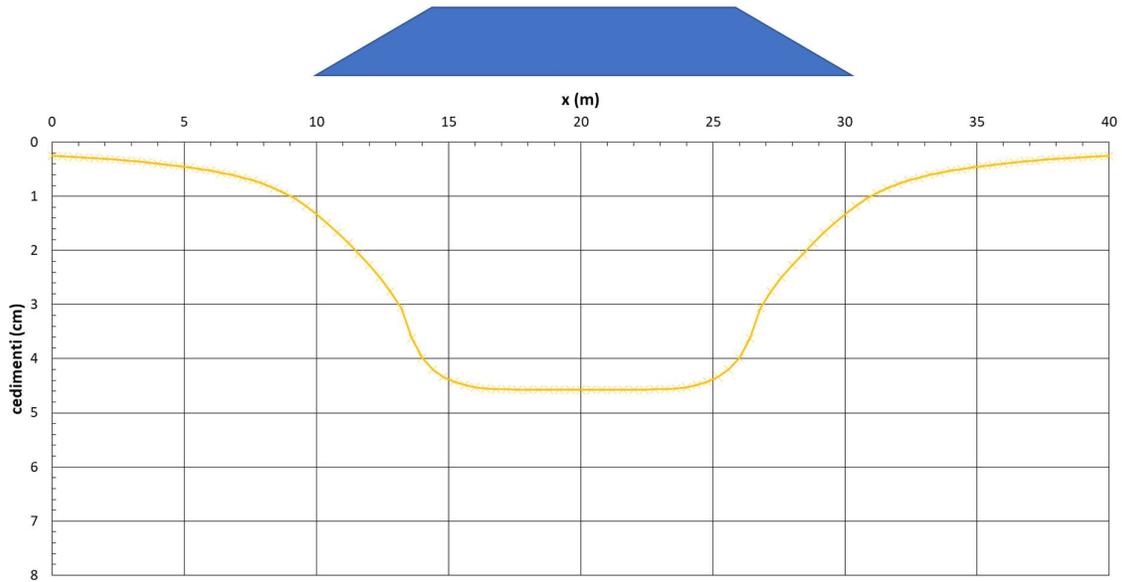
Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

47 di 82

**Ri23: Cedimento del rilevato ferroviario linea AV**



*Figura 22 - Analisi SLE – Risultato Cedimenti*



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

48 di 82

### Ri23: cedimento al centro del rilevato AV

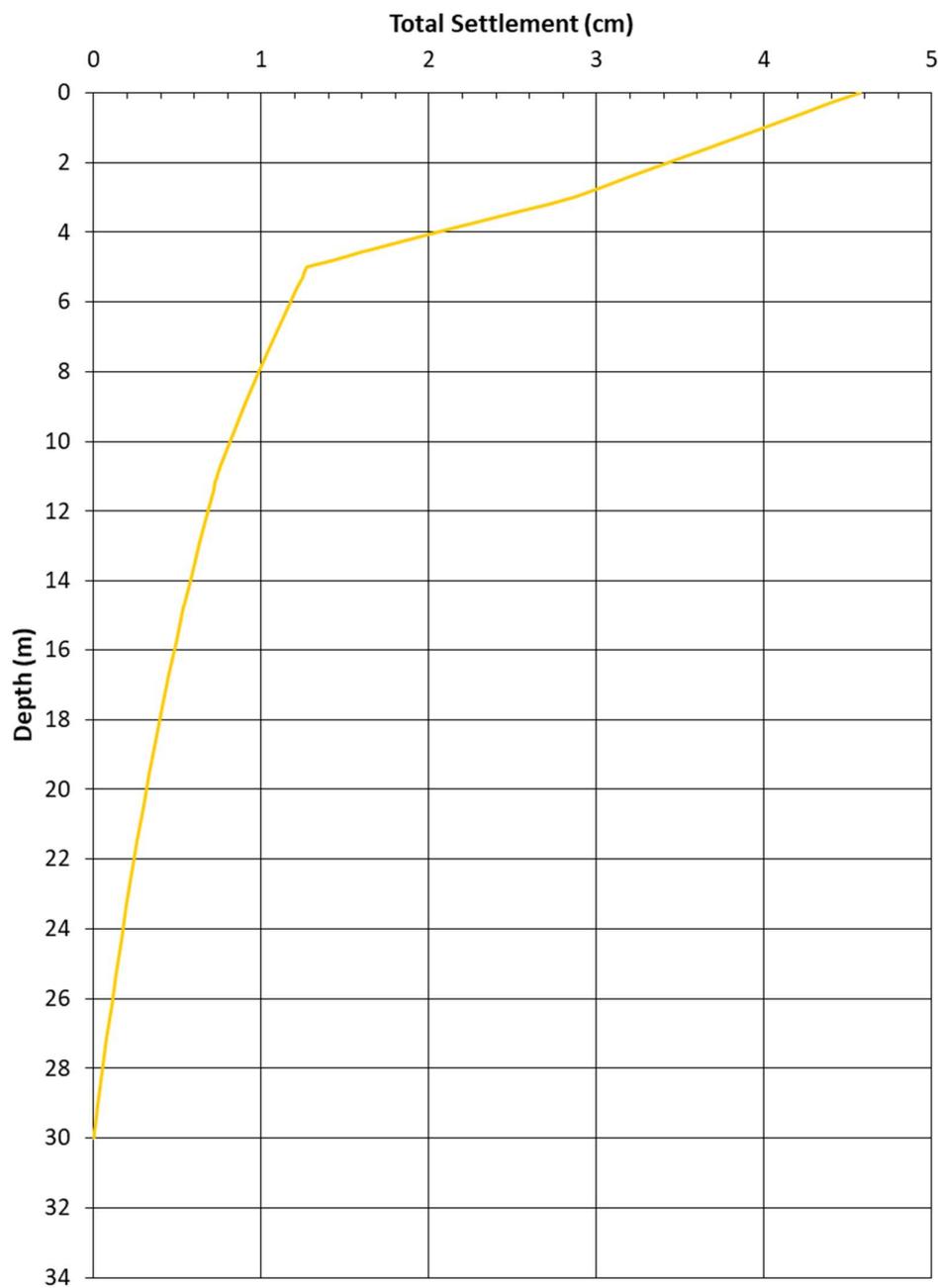


Figura 23 - Analisi SLE – Risultato cedimenti in profondità al centro del rilevato

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

49 di 82

## 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. Non si evidenziano criticità di tipo geotecnico e pertanto non è previsto un monitoraggio.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



|   |                  |             |                             |                    |
|---|------------------|-------------|-----------------------------|--------------------|
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica | Progetto<br>IN17 | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>50 di 82 |
|---|------------------|-------------|-----------------------------|--------------------|

## ALLEGATI

GENERAL CONTRACTOR

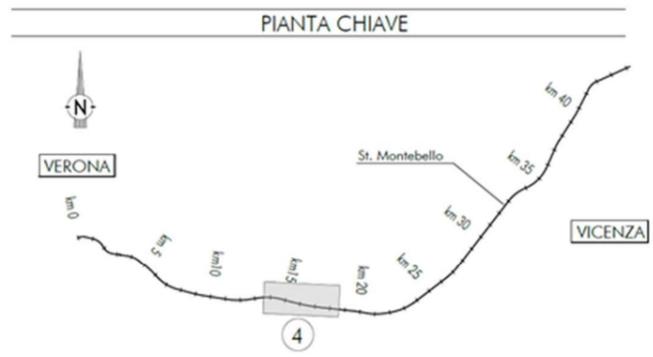
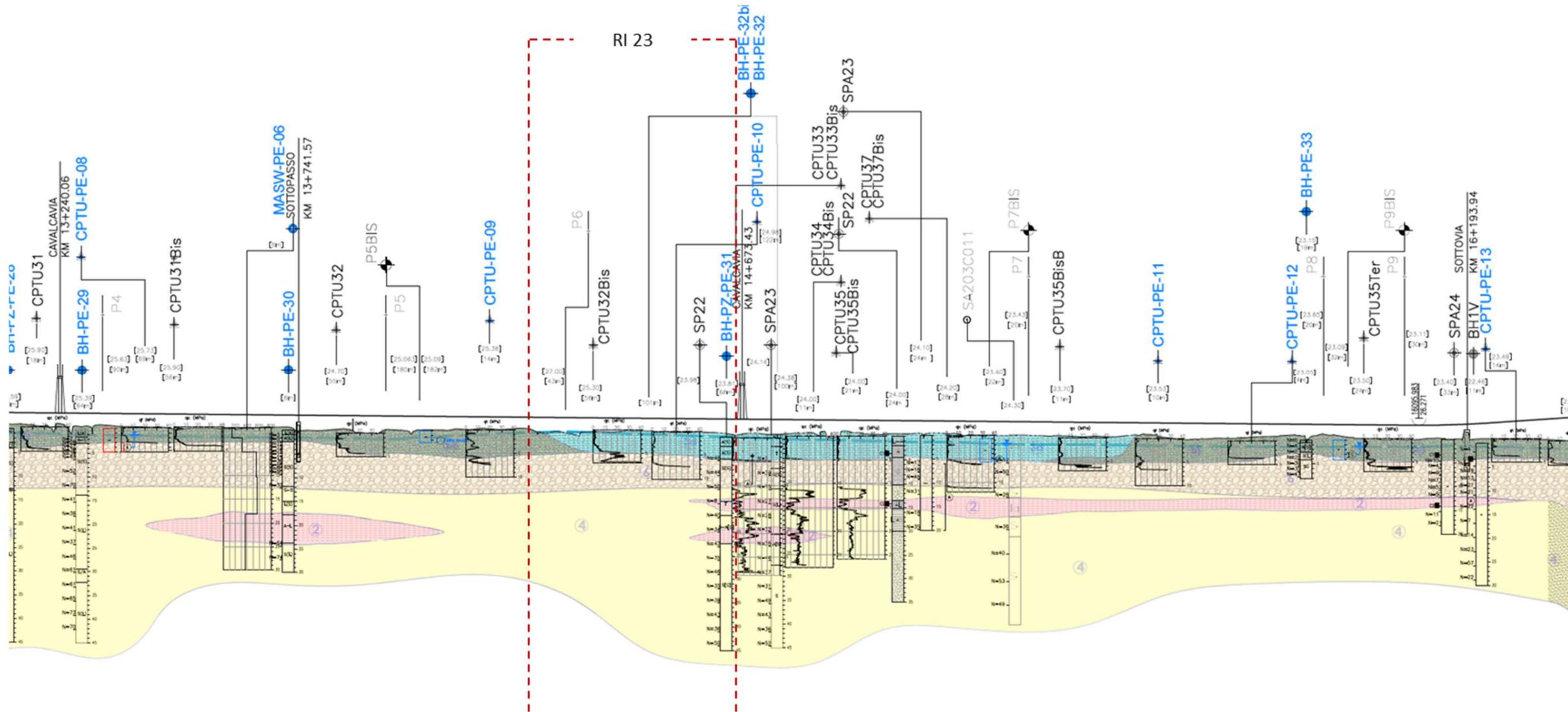


ALTA SORVEGLIANZA



|   |          |       |                 |          |
|---|----------|-------|-----------------|----------|
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica | Progetto | Lotto | Codifica        | Foglio   |
|   | IN17     | 12    | EI2RBRI2300001B | 51 di 82 |

## ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



- LEGENDA**
- Campagna indagini integrative PE**
- BH-PE-A Sondaggio a carotaggio continuo
  - BH-PE-B Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande
  - MASW-PE-A Indagini MBH
  - CPTU-PE-A Prova penetrometrica statica con piezometro
  - SP Sondaggio geognostico
  - P1-P15, P20 Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - P1-15Bis Fori a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)
  - Campagna indagini 2014**
  - SP Sondaggio a carotaggio continuo
  - SP-C Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - SDA Fori a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - CPTU Prova penetrometrica statica con piezometro (possibilita di avanzamento con trivellazione)
  - CPTU Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"
  - CH Fori a distruzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
  - PE Pazzetto esplorativo a 1,5 m da p.c. con prove di carico su piastra
  - Profondità delle indagini
- Campagna indagini integrate PE**
- PI-PE-A Pazzetto esplorativo
  - BH-PE-B Sondaggio con esecuzione di prove down hole
  - CH-PE-A Sondaggio con esecuzione di prove cross hole
  - Indagini antisismi
- Nota per PE: in tu le indagini disponibili e con coordinate orti, in caso indagini ancora non disponibili o con coordinate non note

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

|   |   |                     |                                   |          |
|---|---|---------------------|-----------------------------------|----------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio IricAV Due</p> | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR<br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> |                     |                                   |          |
| <p>R19<br/>Relazione Geotecnica</p>   | <p>Progetto<br/>IN17</p>  | <p>Lotto<br/>11</p> | <p>Codifica<br/>E12GERI190001</p> | <p>A</p> |

**ALLEGATO 2 - SONDAGGI**



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2300001B

Foglio  
54 di 82

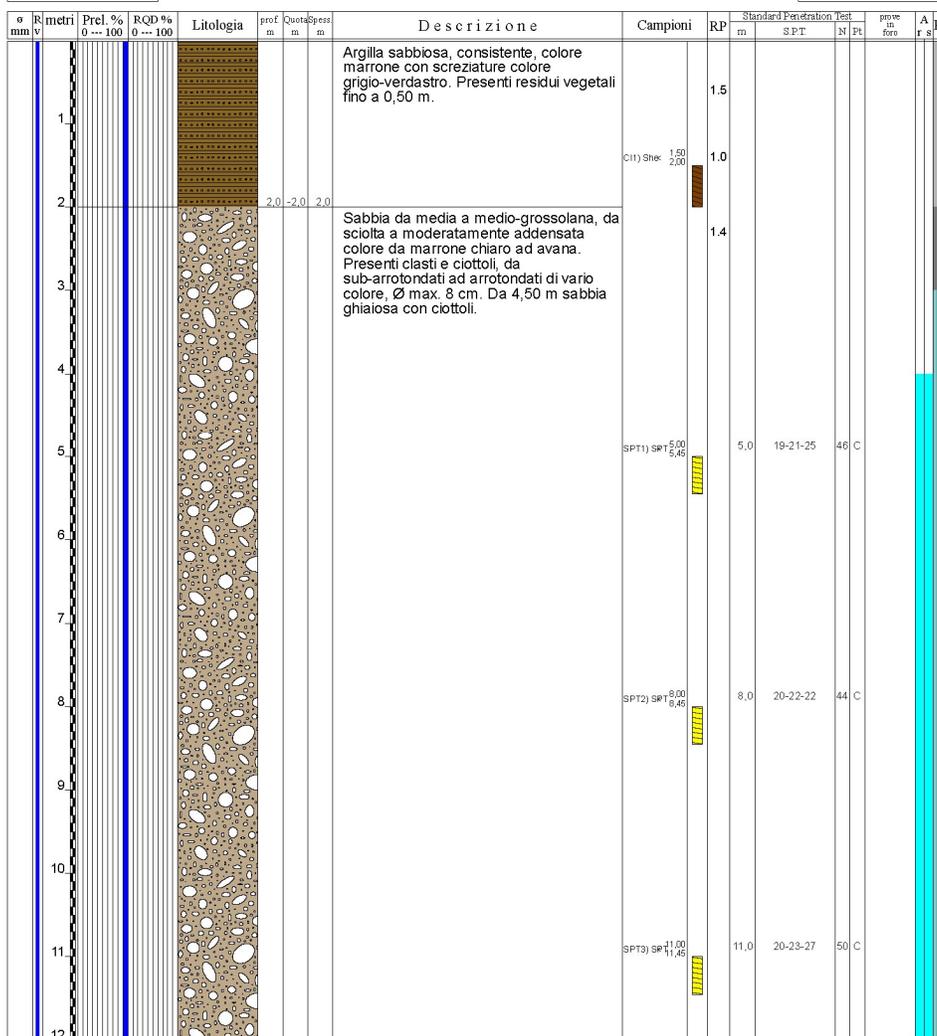
**GEOSERVING S.r.l.** Laboratorio Sperimentale  
per prove geotecniche terra, rocce e prove in situ  
Via Calleneroni, 3 - San Vittore del Lazio (FR)  
e-mail: info@geoserving.it

|  |   |
|--|---|
| Certificato n° del   | Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020 |
| Committente: IricAV Due  | Sondaggio: BH PE 31                     |
| Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza | Data: 16/11/2020 - 19/11/2020           |
| Coordinate:  | Quota:                                  |
| Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+650        |   |

SCALA 1:60

### STRATIGRAFIA - BH PE 31

Pagina 1/4



Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa  
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2300001B

Foglio  
55 di 82

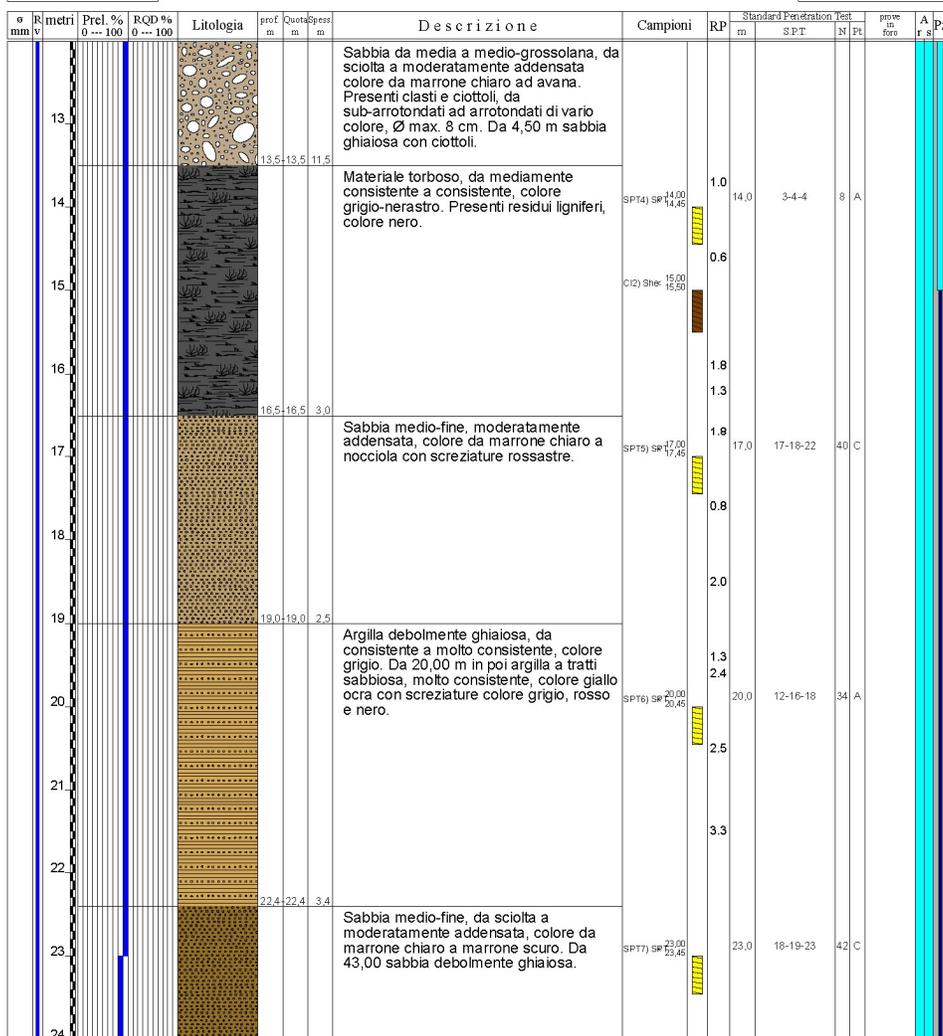
**GEOSERVING S.r.l.** Laboratorio Sperimentale  
per prove geotecniche terra, rocce e prove in situ  
Via Callimeroi, 3 - San Vittore del Lazio (FR)  
e-mail: info@geoserving.it

|  |   |
|--|---|
| Certificato n° del   | Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020 |
| Committente: IricAV Due  | Sondaggio: BH PE 31                     |
| Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza | Data: 16/11/2020 - 19/11/2020           |
| Coordinate:  | Quota:                                  |
| Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+650        |   |

SCALA 1:60

### STRATIGRAFIA - BH PE 31

Pagina 2/4



Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa  
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

|          |       |                 |          |
|----------|-------|-----------------|----------|
| Progetto | Lotto | Codifica        | Foglio   |
| IN17     | 12    | EI2RBRI2300001B | 56 di 82 |

**GEOSERVING S.r.l.** Laboratorio Sperimentale  
per prove geotecniche terra, rocce e prove in situ  
Via Callimero, 3 - San Vittore del Lazio (FR)  
e-mail: info@geoserving.it

|  |   |
|--|---|
| Certificato n° del   | Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020 |
| Committente: IricAV Due  | Sondaggio: BH PE 31                     |
| Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza | Data: 16/11/2020 - 19/11/2020           |
| Coordinate:  | Quota:                                  |
| Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+650        |   |

SCALA 1:60

### STRATIGRAFIA - BH PE 31

Pagina 3/4

| σ<br>mm | R<br>v | metri | Prel. %<br>0 --- 100 | RQD %<br>0 --- 100 | Litologia   | prof<br>m | Quota<br>m | Spes<br>m | Descrizione | Campioni                 | RP   | Standard Penetration Test<br>m | S.P.T. | Test<br>N | Pt | prove<br>in<br>foro | A<br>f | Pz |  |
|---------|--------|-------|----------------------|--------------------|---|-----------|------------|-----------|-------------|--------------------------|------|--------------------------------|--------|-----------|----|---------------------|--------|----|--|
|         |        | 25    |                      |                    | Sabbia medio-fine, da sciolta a moderatamente addensata, colore da marrone chiaro a marrone scuro. Da 43,00 sabbia debolmente ghiaiosa. |           |            |           |             |                          |      |                                |        |           |    |                     |        |    |  |
|         |        | 26    |                      |                    |   |           |            |           |             | SPT8) SP 26,00<br>25,46  | 26,0 | 15-16-19                       | 35     | C         |    |                     |        |    |  |
|         |        | 27    |                      |                    |   |           |            |           |             |                          |      |                                |        |           |    |                     |        |    |  |
|         |        | 28    |                      |                    |   |           |            |           |             |                          |      |                                |        |           |    |                     |        |    |  |
|         |        | 29    |                      |                    |   |           |            |           |             | SPT9) SP 29,00<br>29,46  | 29,0 | 22-23-23                       | 46     | C         |    |                     |        |    |  |
|         |        | 30    |                      |                    |   |           |            |           |             |                          |      |                                |        |           |    |                     |        |    |  |
|         |        | 31    |                      |                    |   |           |            |           |             |                          |      |                                |        |           |    |                     |        |    |  |
|         |        | 32    |                      |                    |   |           |            |           |             | SPT10) SP 32,00<br>32,46 | 32,0 | 15-17-18                       | 35     | C         |    |                     |        |    |  |
|         |        | 33    |                      |                    |   |           |            |           |             |                          |      |                                |        |           |    |                     |        |    |  |
|         |        | 34    |                      |                    |   |           |            |           |             |                          |      |                                |        |           |    |                     |        |    |  |
|         |        | 35    |                      |                    |   |           |            |           |             | SPT11) SP 35,00<br>35,46 | 35,0 | 19-19-20                       | 39     | C         |    |                     |        |    |  |
|         |        | 36    |                      |                    |   |           |            |           |             |                          |      |                                |        |           |    |                     |        |    |  |

Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa  
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI2300001B

57 di 82

Laboratorio Sperimentale  
per prove geotecniche terra, rocce e prove in situ  
Via Callimeroi, 3 - San Vittore del Lazio (FR)  
e-mail: info@geoserving.it

|  |   |
|--|---|
| Certificato n° del   | Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020 |
| Committente: IricAV Due  | Sondaggio: BH PE 31                     |
| Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza | Data: 16/11/2020 - 19/11/2020           |
| Coordinate:  | Quota:                                  |
| Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+650        |   |

SCALA 1:60

## STRATIGRAFIA - BH PE 31

Pagina 4/4

| σ<br>mm | R<br>v | Prof.<br>m | Quota<br>m | Spes.<br>m | Litologia   | Descrizione           | Campioni | RP<br>m  | Standard Penetration Test<br>S.P.T. | Test<br>N<br>Pt | prove<br>in<br>foro | A<br>f<br>s | Pz |  |
|---------|--------|------------|------------|------------|---|-----------------------|----------|----------|-------------------------------------|-----------------|---------------------|-------------|----|--|
|         |        | 37         |            |            | Sabbia medio-fine, da sciolta a moderatamente addensata, colore da marrone chiaro a marrone scuro. Da 43,00 sabbia debolmente ghiaiosa. |                       |          |          |                                     |                 |                     |             |    |  |
|         |        | 38         |            |            |   | SPT12) 38,00<br>38,45 | 38,0     | 17-19-24 | 43                                  | C               |                     |             |    |  |
|         |        | 39         |            |            |   |                       |          |          |                                     |                 |                     |             |    |  |
|         |        | 40         |            |            |   |                       |          |          |                                     |                 |                     |             |    |  |
|         |        | 41         |            |            |   | SPT13) 41,00<br>41,45 | 41,0     | 15-18-18 | 36                                  | C               |                     |             |    |  |
|         |        | 42         |            |            |   |                       |          |          |                                     |                 |                     |             |    |  |
|         |        | 43         |            |            |   |                       |          |          |                                     |                 |                     |             |    |  |
|         |        | 44         |            |            |   | SPT14) 44,00<br>44,45 | 44,0     | 20-23-27 | 50                                  | C               |                     |             |    |  |
| 101     |        | 45         |            |            |   |                       |          |          |                                     |                 |                     |             |    |  |

Utilizzato carotiere semplice.  
Prelevati n. 2 campioni indisturbati.  
Prelevati n. 14 campioni rimaneggiati S.P.T.  
Eseguiti n. 14 prove S.P.T.  
Installato tubo piezometrico a tubo aperto da 2" fino a 15,00 m da p.c.  
Installato chiusino in ferro.  
Approvvigionamento e trasporto di acqua necessaria per la perforazione.

Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa  
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI230001B

Foglio  
58 di 82

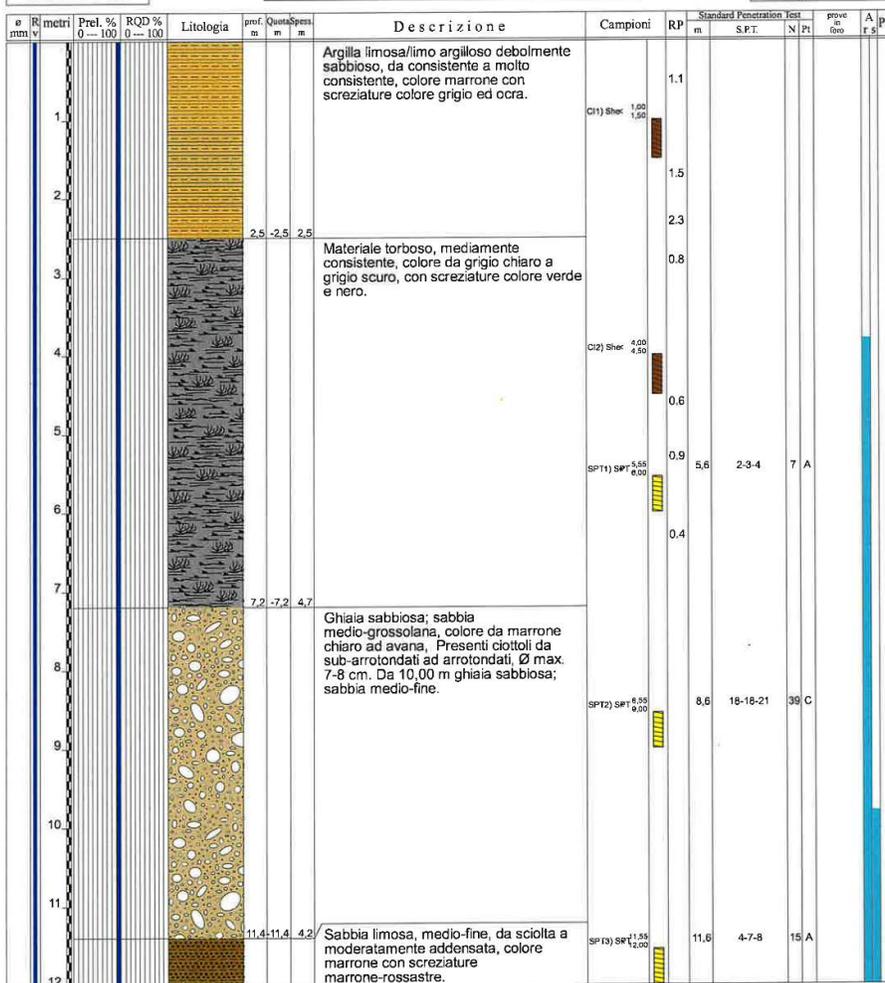
**GEOSERVING S.r.l.** Laboratorio Sperimentale  
per prove geotecniche terre, rocce e prove in situ  
Via Collemaroni, 3 - San Vittore del Lazio (FR)  
e-mail: info@geoserving.it

|  |   |
|--|---|
| Certificato n° del   | Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020 |
| Committente: IricAV Due  | Sondaggio: BH PE 32                     |
| Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza | Data: 19/11/2020 - 25/11/2020           |
| Coordinate:  | Quota:                                  |
| Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+700        |   |

SCALA 1 :60

**STRATIGRAFIA - BH PE 32**

Pagina 1/4



Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa  
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

|          |       |                |          |
|----------|-------|----------------|----------|
| Progetto | Lotto | Codifica       | Foglio   |
| IN17     | 12    | EI2RBRI230001B | 59 di 82 |

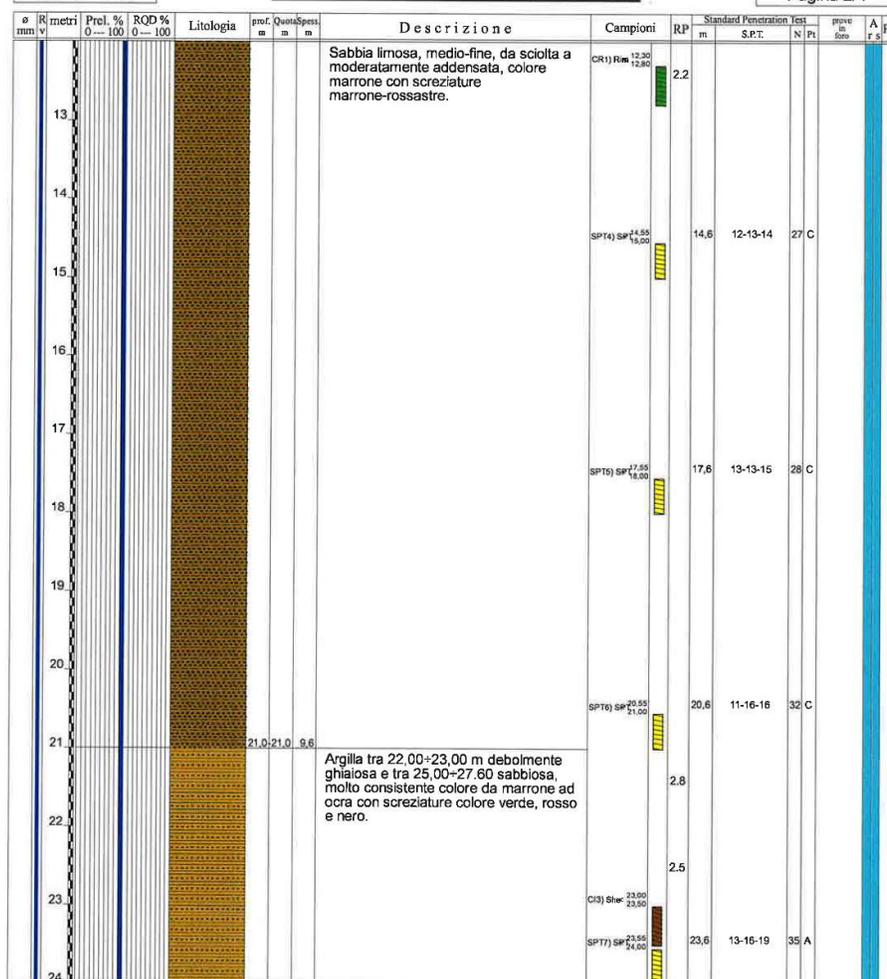
**GEOSERVING S.r.l.** Laboratorio Sperimentale  
per prove geotecniche terre, rocce e prove in situ  
Via Collemaroni, 3 - San Vittore del Lazio (FR)  
e-mail: info@geoserving.it

|  |   |
|--|---|
| Certificato n° del   | Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020 |
| Committente: IricAV Due  | Sondaggio: BH PE 32                     |
| Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza | Data: 19/11/2020 - 25/11/2020           |
| Coordinate:  | Quota:                                  |
| Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+700        |   |

SCALA 1:60

**STRATIGRAFIA - BH PE 32**

Pagina 2/4



Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa  
dott.geol. Giuseppe Pacitti





Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

E12RBRI2300001B

Foglio

61 di 82



Laboratorio Sperimentale  
per prove geotecniche terre, rocce e prove in situ  
Via Collemaroni, 3 - San Vito del Lazio (FR)  
e-mail: info@geoserving.it

|  |   |
|--|---|
| Certificato n° del   | Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020 |
| Committente: IricAV Due  | Sondaggio: BH PE 32                     |
| Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza | Data: 19/11/2020 - 25/11/2020           |
| Coordinate:  | Quota:                                  |
| Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: NENZI, prog. 14+700        |   |

SCALA 1:60

## STRATIGRAFIA - BH PE 32

Pagina 4/4

| Prof. m | Rimetri | Prel. % | RQD % | Litologia | prof. m | Quota m | Spess. m | Descrizione   | Campioni              | RP   | Standard Penetration Test |        |   | prove in foro | A f s | Pz |
|---------|---------|---------|-------|-----------|---------|---------|----------|---|-----------------------|------|---------------------------|--------|---|---------------|-------|----|
|         |         |         |       |           |         |         |          |   |                       |      | m                         | S.P.T. | N |               |       |    |
| 37      |         |         |       |           |         |         |          | Sabbia media, addensata, colore ocr. Tra 43,00+45,00 presenti inclusi litici sub-arrotondati. |                       |      |                           |        |   |               |       |    |
| 38      |         |         |       |           |         |         |          |   |                       |      |                           |        |   |               |       |    |
| 39      |         |         |       |           |         |         |          |   | SPT12) 38,55<br>36,00 | 38,6 | 17-19-24                  | 43     | C |               |       |    |
| 40      |         |         |       |           |         |         |          |   |                       |      |                           |        |   |               |       |    |
| 41      |         |         |       |           |         |         |          |   |                       |      |                           |        |   |               |       |    |
| 42      |         |         |       |           |         |         |          |   | SPT13) 41,55<br>42,00 | 41,6 | 18-18-18                  | 36     | C |               |       |    |
| 43      |         |         |       |           |         |         |          |   |                       |      |                           |        |   |               |       |    |
| 44      |         |         |       |           |         |         |          |   |                       |      |                           |        |   |               |       |    |
| 45      |         |         |       |           | 45,0    | 45,0    | 17,4     |   | SPT14) 44,55<br>45,00 | 44,6 | 23-24-28                  | 52     | C |               |       |    |

Utilizzato carotiere semplice.  
Prelevati n. 3 campioni indisturbati.  
Prelevato n. 1 campione rimaneggiato.  
Prelevati n. 14 campioni rimaneggiati S.P.T.  
Eseguite n. 14 prove S.P.T.  
Approvvigionamento e trasporto di acqua necessaria per la perforazione.

Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa  
dott.geol. Giuseppe Pacitti

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



|   |                  |             |                             |                    |
|---|------------------|-------------|-----------------------------|--------------------|
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica | Progetto<br>IN17 | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI2300001B | Foglio<br>62 di 82 |
|---|------------------|-------------|-----------------------------|--------------------|

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



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

63 di 82

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: RI23\_stat.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  $m\alpha < 0.2$ : 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 dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

64 di 82

SLIDEINTERPRET 7.030



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 2 of 7

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]: 1.5  
Minimum Area: Not Defined  
Minimum Weight: Not Defined

### Seismic

Advanced seismic analysis: No  
Staged pseudostatic analysis: No

### Loading

3 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

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

#### Distributed Load 2

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

#### Distributed Load 3

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

### Material Properties





Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

65 di 82

SLIDEINTERPRET 7.030



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 3 of 7

| Property             | Rilevato     | Unità3b-1   | Unità6       | Unità4       | scotico      | Unità3b_2   |
|----------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Color                |              |             |              |              |              |             |
| Strength Type        | Mohr-Coulomb | Undrained   | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb | Undrained   |
| Unit Weight [kN/m3]  | 20           | 18          | 19           | 19           | 20           | 18          |
| Cohesion [kPa]       | 0            |             | 0            | 0            | 0            |             |
| Friction Angle [deg] | 38           |             | 39           | 38           | 36           |             |
| Cohesion Type        |              | 80          |              |              |              | 50          |
| Water Surface        | Water Table  | Water Table | Water Table  | Water Table  | Water Table  | Water Table |
| Hu Value             | 1            | 0           | 1            | 1            | 1            | 0           |

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

| FS                           | 1.318570       |
|------------------------------|----------------|
| Center:                      | 42.029, 27.222 |
| Radius:                      | 4.531          |
| Left Slip Surface Endpoint:  | 37.762, 25.700 |
| Right Slip Surface Endpoint: | 43.672, 23.000 |
| Resisting Moment:            | 274.46 kN-m    |
| Driving Moment:              | 208.149 kN-m   |
| Total Slice Area:            | 5.39486 m2     |
| Surface Horizontal Width:    | 5.91009 m      |
| Surface Average Height:      | 0.912822 m     |

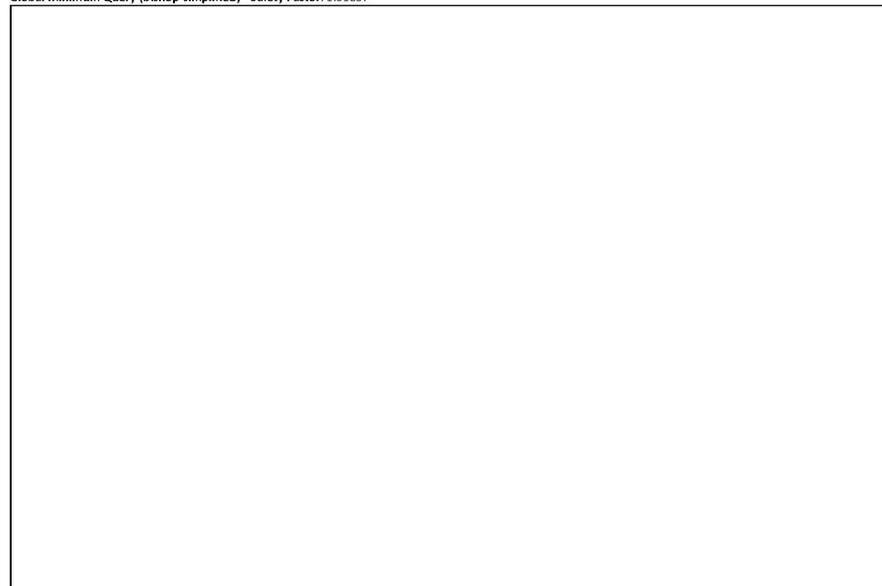
**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| Number of Valid Surfaces:   | 1115 |
| Number of Invalid Surfaces: | 0    |

**Slice Data**

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.31857





Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI2300001B

Foglio  
66 di 82

SLIDEINTERPRET 7.030



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            | 0.114107  | 0.328944    | -68.4052                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 0.622757           | 0.821149             | 1.31378                  | 0                   | 1.31378                       | 2.8871                     | 2.8871                          |
| 2            | 0.114107  | 0.933991    | -64.7526                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 1.93764            | 2.55491              | 4.08766                  | 0                   | 4.08766                       | 8.19651                    | 8.19651                         |
| 3            | 0.114107  | 1.45036     | -61.5462                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 3.21798            | 4.24313              | 6.78868                  | 0                   | 6.78868                       | 12.7269                    | 12.7269                         |
| 4            | 0.114107  | 1.90432     | -58.645                       | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 4.45481            | 5.87398              | 9.39792                  | 0                   | 9.39792                       | 16.709                     | 16.709                          |
| 5            | 0.114107  | 2.31081     | -55.9689                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 5.64674            | 7.44562              | 11.9125                  | 0                   | 11.9125                       | 20.2743                    | 20.2743                         |
| 6            | 0.114107  | 2.64519     | -53.4674                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 6.70821            | 8.84525              | 14.1518                  | 0                   | 14.1518                       | 23.2066                    | 23.2066                         |
| 7            | 0.114107  | 2.82339     | -51.1061                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 7.39537            | 9.75131              | 15.6014                  | 0                   | 15.6014                       | 24.7686                    | 24.7686                         |
| 8            | 0.114107  | 2.96342     | -48.8602                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 7.98805            | 10.5328              | 16.8517                  | 0                   | 16.8517                       | 25.9957                    | 25.9957                         |
| 9            | 0.114107  | 3.08027     | -46.7111                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 8.52029            | 11.2346              | 17.9745                  | 0                   | 17.9745                       | 27.0195                    | 27.0195                         |
| 10           | 0.114107  | 3.17668     | -44.6447                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 8.99626            | 11.8622              | 18.9786                  | 0                   | 18.9786                       | 27.864                     | 27.864                          |
| 11           | 0.114107  | 3.2548      | -42.6495                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 9.41945            | 12.4202              | 19.8714                  | 0                   | 19.8714                       | 28.548                     | 28.548                          |
| 12           | 0.114107  | 3.31638     | -40.7165                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 9.79273            | 12.9124              | 20.659                   | 0                   | 20.659                        | 29.087                     | 29.087                          |
| 13           | 0.114107  | 3.36285     | -38.8382                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 10.1188            | 13.3423              | 21.3467                  | 0                   | 21.3467                       | 29.4935                    | 29.4935                         |
| 14           | 0.114107  | 3.39542     | -37.0084                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 10.3995            | 13.7125              | 21.939                   | 0                   | 21.939                        | 29.778                     | 29.778                          |
| 15           | 0.114107  | 3.41507     | -35.2216                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 10.6369            | 14.0255              | 22.4398                  | 0                   | 22.4398                       | 29.9493                    | 29.9493                         |
| 16           | 0.114107  | 3.42267     | -33.4733                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 10.8325            | 14.2834              | 22.8524                  | 0                   | 22.8524                       | 30.015                     | 30.015                          |
| 17           | 0.114107  | 3.41895     | -31.7597                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 10.9876            | 14.4879              | 23.1795                  | 0                   | 23.1795                       | 29.9815                    | 29.9815                         |
| 18           | 0.114107  | 3.40455     | -30.0773                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 11.1033            | 14.6405              | 23.4237                  | 0                   | 23.4237                       | 29.8542                    | 29.8542                         |
| 19           | 0.114107  | 3.38001     | -28.4231                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 11.1807            | 14.7425              | 23.5869                  | 0                   | 23.5869                       | 29.6381                    | 29.6381                         |
| 20           | 0.114107  | 3.34582     | -26.7944                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 11.2205            | 14.795               | 23.6709                  | 0                   | 23.6709                       | 29.3374                    | 29.3374                         |
| 21           | 0.114107  | 3.3024      | -25.1887                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 11.2234            | 14.7989              | 23.6772                  | 0                   | 23.6772                       | 28.9558                    | 28.9558                         |
| 22           | 0.114107  | 3.25012     | -23.6039                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 11.1901            | 14.7549              | 23.6069                  | 0                   | 23.6069                       | 28.4966                    | 28.4966                         |
| 23           | 0.114107  | 3.18931     | -22.0381                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 11.1209            | 14.6637              | 23.4608                  | 0                   | 23.4608                       | 27.9626                    | 27.9626                         |
| 24           | 0.14237   | 3.88105     | -20.2999                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 10.3358            | 13.6285              | 23.4475                  | 0                   | 23.4475                       | 27.2708                    | 27.2708                         |
| 25           | 0.14237   | 3.75813     | -18.3913                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 10.1521            | 13.3863              | 23.0308                  | 0                   | 23.0308                       | 26.4062                    | 26.4062                         |
| 26           | 0.118094  | 3.01366     | -16.6631                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 9.8735             | 13.0189              | 22.5721                  | 0.173376            | 22.3987                       | 25.5273                    | 25.354                          |
| 27           | 0.118094  | 2.91053     | -15.1102                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 9.51311            | 12.5437              | 22.0844                  | 0.503156            | 21.5812                       | 24.653                     | 24.1499                         |
| 28           | 0.118094  | 2.79931     | -13.5685                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 9.12815            | 12.0361              | 21.5073                  | 0.799358            | 20.7079                       | 23.7103                    | 22.9109                         |
| 29           | 0.118094  | 2.68018     | -12.0368                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 8.71861            | 11.4961              | 20.8414                  | 1.06267             | 19.7788                       | 22.7005                    | 21.6378                         |
| 30           | 0.118094  | 2.55327     | -10.5138                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 8.28443            | 10.9236              | 20.0875                  | 1.29368             | 18.7938                       | 21.625                     | 20.3313                         |
| 31           | 0.118094  | 2.4187      | -8.99828                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 7.82545            | 10.3184              | 19.2455                  | 1.49291             | 17.7526                       | 20.4847                    | 18.9918                         |
| 32           | 0.118094  | 2.27659     | -7.48908                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 7.34147            | 9.68024              | 18.3154                  | 1.66078             | 16.6546                       | 19.2805                    | 17.6197                         |
| 33           | 0.118094  | 2.12702     | -5.98509                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 6.83219            | 9.00872              | 17.2969                  | 1.79766             | 15.4993                       | 18.0132                    | 16.2156                         |
| 34           | 0.118094  | 1.97005     | -4.48524                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 6.29721            | 8.30331              | 16.1895                  | 1.90383             | 14.2857                       | 16.6835                    | 14.7797                         |
| 35           | 0.118094  | 1.80574     | -2.98846                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 5.73604            | 7.56337              | 14.9921                  | 1.9795              | 13.0126                       | 15.2915                    | 13.312                          |
| 36           | 0.118094  | 1.63413     | -1.49372                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 5.1481             | 6.78813              | 13.7037                  | 2.02485             | 11.6789                       | 13.838                     | 11.8131                         |
| 37           | 0.118094  | 1.45523     | 0                             | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 4.53271            | 5.97669              | 12.3227                  | 2.03995             | 10.2827                       | 12.3227                    | 10.2827                         |
| 38           | 0.118094  | 1.26907     | 1.49372                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 3.88904            | 5.12797              | 10.8474                  | 2.02485             | 8.82252                       | 10.746                     | 8.72111                         |
| 39           | 0.118094  | 1.07562     | 2.98846                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 3.21618            | 4.24076              | 9.2756                   | 1.9795              | 7.2961                        | 9.1077                     | 7.1282                          |
| 40           | 0.118094  | 0.874869    | 4.48524                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 2.51306            | 3.31364              | 7.60486                  | 1.90383             | 5.70103                       | 7.40773                    | 5.5039                          |
| 41           | 0.118094  | 0.690716    | 5.98509                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 1.87209            | 2.46848              | 6.04462                  | 1.79766             | 4.24696                       | 5.84835                    | 4.05069                         |
| 42           | 0.118094  | 0.63604     | 7.48908                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 1.74277            | 2.29796              | 5.61437                  | 1.66078             | 3.95359                       | 5.38527                    | 3.72449                         |
| 43           | 0.118094  | 0.595622    | 8.99828                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 1.68229            | 2.21822              | 5.30931                  | 1.49291             | 3.8164                        | 5.04292                    | 3.55001                         |
| 44           | 0.118094  | 0.547656    | 10.5138                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 1.6049             | 2.11617              | 4.93451                  | 1.29368             | 3.64083                       | 4.63666                    | 3.34298                         |
| 45           | 0.118094  | 0.492037    | 12.0368                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 1.5097             | 1.99064              | 4.48752                  | 1.06267             | 3.42485                       | 4.16561                    | 3.10294                         |
| 46           | 0.118094  | 0.428642    | 13.5685                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 1.3957             | 1.84033              | 3.9656                   | 0.799358            | 3.16624                       | 3.62875                    | 2.82939                         |
| 47           | 0.118094  | 0.357328    | 15.1102                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 1.26176            | 1.66372              | 3.36556                  | 0.503156            | 2.8624                        | 3.02487                    | 2.52171                         |
| 48           | 0.118094  | 0.277929    | 16.6631                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 1.1066             | 1.45913              | 2.68378                  | 0.173376            | 2.5104                        | 2.35256                    | 2.17918                         |
| 49           | 0.14237   | 0.217348    | 18.3913                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 0.788149           | 1.03923              | 1.78797                  | 0                   | 1.78797                       | 1.52592                    | 1.52592                         |
| 50           | 0.14237   | 0.0749775   | 20.2999                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 0.277225           | 0.365541             | 0.628905                 | 0                   | 0.628905                      | 0.526357                   | 0.526357                        |

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.31857

|  |
|--|
|  |
|--|



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

67 di 82

SLIDEINTERPRET 7.039



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            | 37.7618          | 25.7                      | 0                            | 0                           | 0                                |
| 2            | 37.8759          | 25.4117                   | 0.307867                     | 0                           | 0                                |
| 3            | 37.99            | 25.1698                   | 1.07647                      | 0                           | 0                                |
| 4            | 38.1041          | 24.9592                   | 2.13974                      | 0                           | 0                                |
| 5            | 38.2182          | 24.7719                   | 3.39274                      | 0                           | 0                                |
| 6            | 38.3323          | 24.603                    | 4.76306                      | 0                           | 0                                |
| 7            | 38.4464          | 24.4489                   | 6.17941                      | 0                           | 0                                |
| 8            | 38.5605          | 24.3075                   | 7.54461                      | 0                           | 0                                |
| 9            | 38.6746          | 24.1769                   | 8.83679                      | 0                           | 0                                |
| 10           | 38.7887          | 24.0557                   | 10.0446                      | 0                           | 0                                |
| 11           | 38.9029          | 23.943                    | 11.1598                      | 0                           | 0                                |
| 12           | 39.017           | 23.8379                   | 12.1766                      | 0                           | 0                                |
| 13           | 39.1311          | 23.7397                   | 13.091                       | 0                           | 0                                |
| 14           | 39.2452          | 23.6478                   | 13.9007                      | 0                           | 0                                |
| 15           | 39.3593          | 23.5618                   | 14.6043                      | 0                           | 0                                |
| 16           | 39.4734          | 23.4813                   | 15.2016                      | 0                           | 0                                |
| 17           | 39.5875          | 23.4058                   | 15.6931                      | 0                           | 0                                |
| 18           | 39.7016          | 23.3352                   | 16.0802                      | 0                           | 0                                |
| 19           | 39.8157          | 23.2691                   | 16.3647                      | 0                           | 0                                |
| 20           | 39.9298          | 23.2073                   | 16.5491                      | 0                           | 0                                |
| 21           | 40.0439          | 23.1497                   | 16.6363                      | 0                           | 0                                |
| 22           | 40.158           | 23.0961                   | 16.6298                      | 0                           | 0                                |
| 23           | 40.2721          | 23.0462                   | 16.5335                      | 0                           | 0                                |
| 24           | 40.3862          | 23                        | 16.3517                      | 0                           | 0                                |
| 25           | 40.5286          | 22.9473                   | 16.1191                      | 0                           | 0                                |
| 26           | 40.671           | 22.9                      | 15.7679                      | 0                           | 0                                |
| 27           | 40.7891          | 22.8647                   | 15.403                       | 0                           | 0                                |
| 28           | 40.9072          | 22.8328                   | 14.9868                      | 0                           | 0                                |
| 29           | 41.0253          | 22.8043                   | 14.5248                      | 0                           | 0                                |
| 30           | 41.1434          | 22.7791                   | 14.0228                      | 0                           | 0                                |
| 31           | 41.2615          | 22.7572                   | 13.4874                      | 0                           | 0                                |
| 32           | 41.3795          | 22.7385                   | 12.9257                      | 0                           | 0                                |
| 33           | 41.4976          | 22.7229                   | 12.3455                      | 0                           | 0                                |
| 34           | 41.6157          | 22.7106                   | 11.755                       | 0                           | 0                                |
| 35           | 41.7338          | 22.7013                   | 11.1634                      | 0                           | 0                                |
| 36           | 41.8519          | 22.6951                   | 10.5803                      | 0                           | 0                                |
| 37           | 41.97            | 22.6921                   | 10.0162                      | 0                           | 0                                |
| 38           | 42.0881          | 22.6921                   | 9.48239                      | 0                           | 0                                |
| 39           | 42.2062          | 22.6951                   | 8.99097                      | 0                           | 0                                |
| 40           | 42.3243          | 22.7013                   | 8.55502                      | 0                           | 0                                |
| 41           | 42.4424          | 22.7106                   | 8.18862                      | 0                           | 0                                |
| 42           | 42.5605          | 22.7229                   | 7.8933                       | 0                           | 0                                |
| 43           | 42.6786          | 22.7385                   | 7.6009                       | 0                           | 0                                |
| 44           | 42.7967          | 22.7572                   | 7.30349                      | 0                           | 0                                |
| 45           | 42.9148          | 22.7791                   | 7.00634                      | 0                           | 0                                |
| 46           | 43.0329          | 22.8043                   | 6.71554                      | 0                           | 0                                |
| 47           | 43.1509          | 22.8328                   | 6.43815                      | 0                           | 0                                |
| 48           | 43.269           | 22.8647                   | 6.18224                      | 0                           | 0                                |
| 49           | 43.3871          | 22.9                      | 5.95705                      | 0                           | 0                                |
| 50           | 43.5295          | 22.9473                   | 5.76052                      | 0                           | 0                                |
| 51           | 43.6719          | 23                        | 0                            | 0                           | 0                                |

List Of Coordinates

Water Table

| X  | Y    |
|----|------|
| -1 | 22.9 |
| 69 | 22.9 |

Distributed Load

| X       | Y    |
|---------|------|
| 36.4402 | 25.7 |
| 26.1062 | 25.7 |

Distributed Load



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

68 di 82

SLIDEINTERPRET 7.030



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 6 of 7

| X       | Y    |
|---------|------|
| 30.3393 | 25.7 |
| 27.684  | 25.7 |

**Distributed Load**

| X       | Y    |
|---------|------|
| 34.7431 | 25.7 |
| 32.104  | 25.7 |

**External Boundary**

| X       | Y        |
|---------|----------|
| 67.5    | 3.6e-015 |
| 67.5    | 12       |
| 67.5    | 18       |
| 67.5    | 20       |
| 67.5    | 23       |
| 46.5    | 23       |
| 42.5    | 23       |
| 38.3742 | 25.7     |
| 24.0481 | 25.7     |
| 20      | 23       |
| 16      | 23       |
| 0       | 23       |
| 0       | 20       |
| 0       | 18       |
| 0       | 12       |
| 0       | 0        |

**Material Boundary**

| X    | Y  |
|------|----|
| 20   | 23 |
| 42.5 | 23 |

**Material Boundary**

| X    | Y  |
|------|----|
| 16   | 22 |
| 46.5 | 22 |

**Material Boundary**

| X    | Y  |
|------|----|
| 46.5 | 22 |
| 46.5 | 23 |

**Material Boundary**

| X  | Y  |
|----|----|
| 16 | 22 |
| 16 | 23 |

**Material Boundary**

| X    | Y  |
|------|----|
| 0    | 20 |
| 67.5 | 20 |

**Material Boundary**

| X    | Y  |
|------|----|
| 0    | 18 |
| 67.5 | 18 |

**Material Boundary**

| X | Y |
|---|---|
|   |   |

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

69 di 82

SLIDEINTERPRET 7.030



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

| X    | Y  |
|------|----|
| 0    | 12 |
| 67.5 | 12 |

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



|   |          |       |                 |          |
|---|----------|-------|-----------------|----------|
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica | Progetto | Lotto | Codifica        | Foglio   |
|   | IN17     | 12    | EI2RBRI2300001B | 70 di 82 |

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



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

71 di 82

### Slide Analysis Information

#### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

##### Project Summary

File Name: R123\_sisma.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 piezoes: Yes  
Initial trial value of FS: 1  
Steffensen Iteration: Yes

##### Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

72 di 82

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 2 of 7

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]: 1.8  
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): -0.042

3 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

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

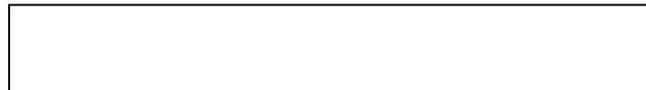
#### Distributed Load 2

Distribution: Constant  
Magnitude [kPa]: 12.2  
Orientation: Normal to boundary  
Load Action: Live

#### Distributed Load 3

Distribution: Constant  
Magnitude [kPa]: 12.2  
Orientation: Normal to boundary  
Load Action: Live

### Material Properties





Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

73 di 82

SLIDEINTERPRET 7.038

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 3 of 7



| Property             | Rilevato     | Unità3b-1   | Unità6       | Unità4       | scotico      | Unità3b_2   |
|----------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Color                |              |             |              |              |              |             |
| Strength Type        | Mohr-Coulomb | Undrained   | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb | Undrained   |
| Unit Weight [kN/m3]  | 20           | 18          | 19           | 19           | 20           | 18          |
| Cohesion [kPa]       | 0            |             | 0            | 0            | 0            |             |
| Friction Angle [deg] | 38           |             | 39           | 38           | 36           |             |
| Cohesion Type        |              | 80          |              |              |              | 50          |
| Water Surface        | Water Table  | Water Table | Water Table  | Water Table  | Water Table  | Water Table |
| Hu Value             |              | 1           | 0            | 1            | 1            | 0           |

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

| FS                           | 1.154190               |
|------------------------------|------------------------|
| Center:                      | 42.096, 27.483         |
| Radius:                      | 5.045                  |
| Left Slip Surface Endpoint:  | 37.376, 25.700         |
| Right Slip Surface Endpoint: | 44.410, 23.000         |
| Resisting Moment:            | 376.817 kN-m           |
| Driving Moment:              | 326.476 kN-m           |
| Total Slice Area:            | 7.57871 m <sup>2</sup> |
| Surface Horizontal Width:    | 7.03351 m              |
| Surface Average Height:      | 1.07752 m              |

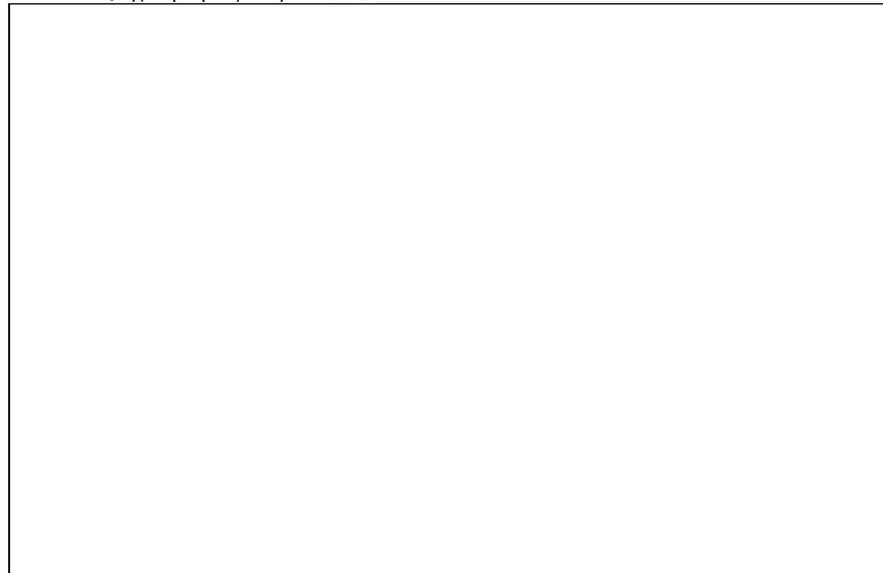
**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

Number of Valid Surfaces: 1079  
Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.15419





Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI2300001B

74 di 82

SLIDEINTERPRET 7.030



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            | 0.141509  | 0.476933    | -67.2242                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 0.763875           | 0.881657             | 1.41059                  | 0                   | 1.41059                       | 3.22992                    | 3.22992                         |
| 2            | 0.141509  | 1.35299     | -63.3561                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 2.38623            | 2.75416              | 4.40646                  | 0                   | 4.40646                       | 9.16254                    | 9.16254                         |
| 3            | 0.141509  | 2.09837     | -59.9588                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 3.97395            | 4.58669              | 7.33836                  | 0                   | 7.33836                       | 14.21                      | 14.21                           |
| 4            | 0.141509  | 2.75161     | -56.8827                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 5.51348            | 6.3636               | 10.1813                  | 0                   | 10.1813                       | 18.6334                    | 18.6334                         |
| 5            | 0.141509  | 3.33464     | -54.0433                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 7.00151            | 8.08107              | 12.9291                  | 0                   | 12.9291                       | 22.5812                    | 22.5812                         |
| 6            | 0.141509  | 3.86143     | -51.3871                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 8.43834            | 9.73945              | 15.5824                  | 0                   | 15.5824                       | 26.1481                    | 26.1481                         |
| 7            | 0.141509  | 4.34152     | -48.8776                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 9.82568            | 11.3407              | 18.1442                  | 0                   | 18.1442                       | 29.3987                    | 29.3987                         |
| 8            | 0.141509  | 4.66409     | -46.4886                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 10.8906            | 12.5698              | 20.1108                  | 0                   | 20.1108                       | 31.5825                    | 31.5825                         |
| 9            | 0.141509  | 4.80803     | -44.2006                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 11.5487            | 13.3294              | 21.326                   | 0                   | 21.326                        | 32.5569                    | 32.5569                         |
| 10           | 0.141509  | 4.92097     | -41.9984                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 12.1302            | 14.0005              | 22.3998                  | 0                   | 22.3998                       | 33.3212                    | 33.3212                         |
| 11           | 0.141509  | 5.00643     | -39.8702                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 12.6403            | 14.5893              | 23.3418                  | 0                   | 23.3418                       | 33.8996                    | 33.8996                         |
| 12           | 0.141509  | 5.06696     | -37.8062                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 13.0828            | 15.1                 | 24.1589                  | 0                   | 24.1589                       | 34.3091                    | 34.3091                         |
| 13           | 0.141509  | 5.10465     | -35.7984                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 13.4605            | 15.536               | 24.8565                  | 0                   | 24.8565                       | 34.564                     | 34.564                          |
| 14           | 0.141509  | 5.12123     | -33.8403                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 13.7762            | 15.9004              | 25.4395                  | 0                   | 25.4395                       | 34.6759                    | 34.6759                         |
| 15           | 0.141509  | 5.11817     | -31.9261                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 14.0321            | 16.1957              | 25.9119                  | 0                   | 25.9119                       | 34.655                     | 34.655                          |
| 16           | 0.141509  | 5.0967      | -30.051                       | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 14.2297            | 16.4238              | 26.2769                  | 0                   | 26.2769                       | 34.5093                    | 34.5093                         |
| 17           | 0.141509  | 5.05789     | -28.2108                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 14.3707            | 16.5865              | 26.5372                  | 0                   | 26.5372                       | 34.2461                    | 34.2461                         |
| 18           | 0.204997  | 7.22288     | -26.0037                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 13.6477            | 15.752               | 27.1009                  | 0                   | 27.1009                       | 33.7584                    | 33.7584                         |
| 19           | 0.13606   | 4.70823     | -23.8636                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 13.5327            | 15.6193              | 27.1679                  | 0.295233            | 26.8726                       | 33.1545                    | 32.8592                         |
| 20           | 0.13606   | 4.62332     | -22.1845                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 13.2413            | 15.283               | 27.1567                  | 0.862606            | 26.2941                       | 32.5562                    | 31.6936                         |
| 21           | 0.13606   | 4.52582     | -20.5251                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 12.9165            | 14.9081              | 27.0336                  | 1.3846              | 25.649                        | 31.8694                    | 30.4848                         |
| 22           | 0.13606   | 4.41616     | -18.8836                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 12.5586            | 14.495               | 26.8011                  | 1.86273             | 24.9384                       | 31.0969                    | 29.2341                         |
| 23           | 0.13606   | 4.2947      | -17.258                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 12.1681            | 14.0443              | 26.4612                  | 2.29834             | 24.1629                       | 30.2414                    | 27.9431                         |
| 24           | 0.13606   | 4.16177     | -15.6467                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 11.745             | 13.556               | 26.0154                  | 2.69259             | 23.3229                       | 29.305                     | 26.6124                         |
| 25           | 0.13606   | 4.01764     | -14.048                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 11.2897            | 13.0305              | 25.4651                  | 3.0465              | 22.4186                       | 28.29                      | 25.2435                         |
| 26           | 0.13606   | 3.86258     | -12.4603                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 10.8019            | 12.4675              | 24.811                   | 3.36096             | 21.45                         | 27.1979                    | 23.8369                         |
| 27           | 0.13606   | 3.69678     | -10.8823                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 10.2817            | 11.867               | 24.0536                  | 3.63673             | 20.4169                       | 26.0303                    | 22.3935                         |
| 28           | 0.13606   | 3.52043     | -9.31267                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 9.72855            | 11.2286              | 23.1931                  | 3.87447             | 19.3186                       | 24.7884                    | 20.9139                         |
| 29           | 0.13606   | 3.33369     | -7.75004                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 9.14226            | 10.5519              | 22.2291                  | 4.07473             | 18.1543                       | 23.4733                    | 19.3986                         |
| 30           | 0.13606   | 3.13668     | -6.19319                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 8.52227            | 9.83632              | 21.1612                  | 4.23798             | 16.9232                       | 22.0859                    | 17.848                          |
| 31           | 0.13606   | 2.9295      | -4.64092                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 7.86791            | 9.08106              | 19.9883                  | 4.36458             | 15.6238                       | 20.627                     | 16.2624                         |
| 32           | 0.13606   | 2.71223     | -3.09207                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 7.17838            | 8.28521              | 18.7093                  | 4.4548              | 14.2545                       | 19.0971                    | 14.6423                         |
| 33           | 0.13606   | 2.48493     | -1.54547                      | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 6.45275            | 7.4477               | 17.3224                  | 4.50886             | 12.8136                       | 17.4965                    | 12.9877                         |
| 34           | 0.13606   | 2.24763     | 0                             | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 5.6899             | 6.56722              | 15.8256                  | 4.52687             | 11.2987                       | 15.8256                    | 11.2987                         |
| 35           | 0.13606   | 2.00035     | 1.54547                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 4.88851            | 5.64227              | 14.2163                  | 4.50886             | 9.7074                        | 14.0844                    | 9.57551                         |
| 36           | 0.13606   | 1.74306     | 3.09207                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 4.0471             | 4.67112              | 12.4913                  | 4.4548              | 8.03654                       | 12.2727                    | 7.81791                         |
| 37           | 0.13606   | 1.50966     | 4.64092                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 3.28934            | 3.79652              | 10.8964                  | 4.36458             | 6.53181                       | 10.6294                    | 6.26479                         |
| 38           | 0.13606   | 1.4477      | 6.19319                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 3.17222            | 3.66135              | 10.5373                  | 4.23798             | 6.2993                        | 10.193                     | 5.95507                         |
| 39           | 0.13606   | 1.40241     | 7.75004                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 3.13538            | 3.61883              | 10.3008                  | 4.07473             | 6.22609                       | 9.87411                    | 5.79938                         |
| 40           | 0.13606   | 1.34686     | 9.31267                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 3.07858            | 3.55327              | 9.98779                  | 3.87447             | 6.11332                       | 9.48296                    | 5.60849                         |
| 41           | 0.13606   | 1.28091     | 10.8823                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 3.00074            | 3.46342              | 9.59548                  | 3.63673             | 5.95875                       | 9.01859                    | 5.38186                         |
| 42           | 0.13606   | 1.20442     | 12.4603                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 2.90061            | 3.34785              | 9.12086                  | 3.36096             | 5.7599                        | 8.47992                    | 5.11896                         |
| 43           | 0.13606   | 1.11719     | 14.048                        | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 2.77678            | 3.20493              | 8.5605                   | 3.0465              | 5.514                         | 7.8657                     | 4.8192                          |
| 44           | 0.13606   | 1.01902     | 15.6467                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 2.62763            | 3.03278              | 7.91041                  | 2.69259             | 5.21782                       | 7.17446                    | 4.48187                         |
| 45           | 0.13606   | 0.909659    | 17.258                        | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 2.45126            | 2.82922              | 7.16598                  | 2.29834             | 4.86764                       | 6.40447                    | 4.10613                         |
| 46           | 0.13606   | 0.788825    | 18.8836                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 2.24549            | 2.59172              | 6.32173                  | 1.86273             | 4.459                         | 5.53565                    | 3.69092                         |
| 47           | 0.13606   | 0.656195    | 20.5251                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 2.00773            | 2.3173               | 5.37147                  | 1.3846              | 3.98687                       | 4.6198                     | 3.2352                          |
| 48           | 0.13606   | 0.511399    | 22.1845                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 1.73495            | 2.00246              | 4.30779                  | 0.862606            | 3.44519                       | 3.60032                    | 2.73772                         |
| 49           | 0.13606   | 0.354015    | 23.8636                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 1.4235             | 1.64299              | 3.12196                  | 0.295233            | 2.82672                       | 2.49223                    | 2.197                           |
| 50           | 0.204997  | 0.204997    | 26.0037                       | scotico       | 0                   | 30.1666                       | 0.639413           | 0.738004             | 1.26972                  | 0                   | 1.26972                       | 0.957803                   | 0.957803                        |

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.15419

|                               |
|-------------------------------|
| Interslice Data Table Content |
|-------------------------------|



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI2300001B

75 di 82

SLIDEINTERPRET 7.038



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            | 37.3762          | 25.7                      | 0                            | 0                           | 0                                |
| 2            | 37.5177          | 25.363                    | 0.406974                     | 0                           | 0                                |
| 3            | 37.6592          | 25.0809                   | 1.42464                      | 0                           | 0                                |
| 4            | 37.8007          | 24.8362                   | 2.83246                      | 0                           | 0                                |
| 5            | 37.9423          | 24.6193                   | 4.48976                      | 0                           | 0                                |
| 6            | 38.0838          | 24.4242                   | 6.29859                      | 0                           | 0                                |
| 7            | 38.2253          | 24.247                    | 8.18668                      | 0                           | 0                                |
| 8            | 38.3668          | 24.0849                   | 10.0984                      | 0                           | 0                                |
| 9            | 38.5083          | 23.9359                   | 11.9431                      | 0                           | 0                                |
| 10           | 38.6498          | 23.7983                   | 13.6437                      | 0                           | 0                                |
| 11           | 38.7913          | 23.6709                   | 15.1906                      | 0                           | 0                                |
| 12           | 38.9328          | 23.5527                   | 16.5774                      | 0                           | 0                                |
| 13           | 39.0743          | 23.4429                   | 17.8002                      | 0                           | 0                                |
| 14           | 39.2158          | 23.3408                   | 18.857                       | 0                           | 0                                |
| 15           | 39.3573          | 23.2459                   | 19.7474                      | 0                           | 0                                |
| 16           | 39.4988          | 23.1578                   | 20.4725                      | 0                           | 0                                |
| 17           | 39.6404          | 23.0759                   | 21.0343                      | 0                           | 0                                |
| 18           | 39.7819          | 23                        | 21.4363                      | 0                           | 0                                |
| 19           | 39.9269          | 22.9                      | 21.9499                      | 0                           | 0                                |
| 20           | 40.1229          | 22.8398                   | 22.1338                      | 0                           | 0                                |
| 21           | 40.259           | 22.7843                   | 22.2258                      | 0                           | 0                                |
| 22           | 40.395           | 22.7334                   | 22.2222                      | 0                           | 0                                |
| 23           | 40.5311          | 22.6868                   | 22.1284                      | 0                           | 0                                |
| 24           | 40.6672          | 22.6446                   | 21.9488                      | 0                           | 0                                |
| 25           | 40.8032          | 22.6065                   | 21.6885                      | 0                           | 0                                |
| 26           | 40.9393          | 22.5724                   | 21.3538                      | 0                           | 0                                |
| 27           | 41.0753          | 22.5424                   | 20.9516                      | 0                           | 0                                |
| 28           | 41.2114          | 22.5162                   | 20.4895                      | 0                           | 0                                |
| 29           | 41.3475          | 22.4939                   | 19.9764                      | 0                           | 0                                |
| 30           | 41.4835          | 22.4754                   | 19.4216                      | 0                           | 0                                |
| 31           | 41.6196          | 22.4606                   | 18.8355                      | 0                           | 0                                |
| 32           | 41.7556          | 22.4496                   | 18.2296                      | 0                           | 0                                |
| 33           | 41.8917          | 22.4422                   | 17.6161                      | 0                           | 0                                |
| 34           | 42.0278          | 22.4385                   | 17.0086                      | 0                           | 0                                |
| 35           | 42.1638          | 22.4385                   | 16.4214                      | 0                           | 0                                |
| 36           | 42.2999          | 22.4422                   | 15.8706                      | 0                           | 0                                |
| 37           | 42.4359          | 22.4496                   | 15.3731                      | 0                           | 0                                |
| 38           | 42.572           | 22.4606                   | 14.9308                      | 0                           | 0                                |
| 39           | 42.7081          | 22.4754                   | 14.464                       | 0                           | 0                                |
| 40           | 42.8441          | 22.4939                   | 13.9634                      | 0                           | 0                                |
| 41           | 42.9802          | 22.5162                   | 13.4337                      | 0                           | 0                                |
| 42           | 43.1162          | 22.5424                   | 12.881                       | 0                           | 0                                |
| 43           | 43.2523          | 22.5724                   | 12.3123                      | 0                           | 0                                |
| 44           | 43.3884          | 22.6065                   | 11.7361                      | 0                           | 0                                |
| 45           | 43.5244          | 22.6446                   | 11.1619                      | 0                           | 0                                |
| 46           | 43.6605          | 22.6868                   | 10.6012                      | 0                           | 0                                |
| 47           | 43.7965          | 22.7334                   | 10.0671                      | 0                           | 0                                |
| 48           | 43.9326          | 22.7843                   | 9.57496                      | 0                           | 0                                |
| 49           | 44.0687          | 22.8398                   | 9.14249                      | 0                           | 0                                |
| 50           | 44.2047          | 22.9                      | 8.7904                       | 0                           | 0                                |
| 51           | 44.4097          | 23                        | 0                            | 0                           | 0                                |

### List Of Coordinates

#### Water Table

| X  | Y    |
|----|------|
| -1 | 22.9 |
| 69 | 22.9 |

#### Distributed Load

| X       | Y    |
|---------|------|
| 36.4402 | 25.7 |
| 26.1062 | 25.7 |



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

76 di 82

SLIDEINTERPRET 7.038



**Distributed Load**

| X       | Y    |
|---------|------|
| 30.3393 | 25.7 |
| 27.684  | 25.7 |

**Distributed Load**

| X       | Y    |
|---------|------|
| 34.7431 | 25.7 |
| 32.104  | 25.7 |

**External Boundary**

| X       | Y        |
|---------|----------|
| 67.5    | 3.6e-015 |
| 67.5    | 12       |
| 67.5    | 18       |
| 67.5    | 20       |
| 67.5    | 23       |
| 46.5    | 23       |
| 42.5    | 23       |
| 38.3742 | 25.7     |
| 24.0481 | 25.7     |
| 20      | 23       |
| 16      | 23       |
| 0       | 23       |
| 0       | 20       |
| 0       | 18       |
| 0       | 12       |
| 0       | 0        |

**Material Boundary**

| X    | Y  |
|------|----|
| 20   | 23 |
| 42.5 | 23 |

**Material Boundary**

| X    | Y  |
|------|----|
| 16   | 22 |
| 46.5 | 22 |

**Material Boundary**

| X    | Y  |
|------|----|
| 46.5 | 22 |
| 46.5 | 23 |

**Material Boundary**

| X  | Y  |
|----|----|
| 16 | 22 |
| 16 | 23 |

**Material Boundary**

| X    | Y  |
|------|----|
| 0    | 20 |
| 67.5 | 20 |

**Material Boundary**

| X    | Y  |
|------|----|
| 0    | 18 |
| 67.5 | 18 |

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



|   |          |       |                 |          |
|---|----------|-------|-----------------|----------|
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica | Progetto | Lotto | Codifica        | Foglio   |
|   | IN17     | 12    | EI2RBRI2300001B | 77 di 82 |

SLIDEINTERPRET 7.0208



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

Material Boundary

| X    | Y  |
|------|----|
| 0    | 12 |
| 67.5 | 12 |

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



|   |          |       |                 |          |
|---|----------|-------|-----------------|----------|
| Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br>Relazione Geotecnica | Progetto | Lotto | Codifica        | Foglio   |
|   | IN17     | 12    | EI2RBRI2300001B | 78 di 82 |

**ALLEGATO 5- TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE**



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

79 di 82

## Settle3D Analysis Information

### Rilevato

#### Project Settings

Document Name: Ri23.s3z  
Project Title: Rilevato  
Date Created: 08/06/2021, 14:59:10  
Stress Computation Method: Boussinesq

#### Stage Settings

| Stage # | Name    |
|---------|---------|
| 1       | Stage 1 |

#### Results

Time taken to compute: 0.84293 seconds

#### Stage: Stage 1

| Data Type                         | Minimum | Maximum    |
|-----------------------------------|---------|------------|
| Total Settlement [m]              | 0       | 0.0457138  |
| Consolidation Settlement [m]      | 0       | 0          |
| Immediate Settlement [m]          | 0       | 0.0457138  |
| Loading Stress [kPa]              | 0       | 88.1062    |
| Total Stress [kPa]                | 0       | 585.913    |
| Total Strain                      | -0      | 0.00822661 |
| Degree of Consolidation [%]       | 0       | 0          |
| Pre-consolidation Stress [kPa]    | 57.7577 | 585.739    |
| Over-consolidation Ratio          | 1       | 49.9998    |
| Void Ratio                        | 0       | 0          |
| Hydroconsolidation Settlement [m] | 0       | 0          |

#### Loads

##### 1. Rectangular Load

Length: 13 m  
Width: 100 m  
Rotation angle: 0 degrees  
Load Type: Flexible  
Area of Load: 1300 m<sup>2</sup>  
Load: 11.6 kPa  
Depth: 0 m  
Installation Stage: Stage 1

##### Coordinates



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

80 di 82

| X [m]    | Y [m] |
|----------|-------|
| -6.49696 | -50   |
| 6.50304  | -50   |
| 6.50304  | 50    |
| -6.49696 | 50    |

## Embankments

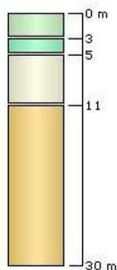
### 1. Embankment

Center Line: (0, -50) to (0, 50)  
Number of Layers: 1  
Near End Angle: 90 degrees  
Far End Angle: 90 degrees  
Base Width: 21

| Layer | Stage   | Left Bench Width (m) | Left Angle (deg) | Height (m) | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Right Angle (deg) | Right Bench Width (m) |
|-------|---------|----------------------|------------------|------------|----------------------------------|-------------------|-----------------------|
| 1     | Stage 1 | 0                    | 34               | 2.7        | 20                               | 34                | 0                     |

## Soil Layers

| Layer # | Type | Thickness [m] | Depth [m] |
|---------|------|---------------|-----------|
| 1       | 3b_1 | 3             | 0         |
| 2       | 3b_2 | 2             | 3         |
| 3       | u6   | 6             | 5         |
| 4       | u4   | 19            | 11        |



## Soil Properties

| Property                         | 3b_1    | u6      | u4      | 3b_2    |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Color                            |         |         |         |         |
| Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ] | 18      | 19      | 19      | 18      |
| Immediate Settlement             | Enabled | Enabled | Enabled | Enabled |
| Es [kPa]                         | 12000   | 60000   | 80000   | 8000    |
| Esur [kPa]                       | 12000   | 60000   | 80000   | 8000    |



Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI2300001B

Foglio

81 di 82

### Query Points

| Point # | (X,Y) Location          | Number of Divisions |
|---------|-------------------------|---------------------|
| 1       | 0.00303833, 4.9738e-014 | Auto: 53            |

### Query Lines

| Line # | Start Location | End Location | Horizontal Divisions | Vertical Divisions |
|--------|----------------|--------------|----------------------|--------------------|
| 1      | -20, 0         | 20, 0        | 100                  | Auto: 37           |

|  |   |                     |                                     |                            |
|--|---|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p> | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR<br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> |                     |                                     |                            |
| <p>Rilevato ferroviario dal km 14+200,00 al km 14+640,00<br/>Relazione Geotecnica</p>                                      | <p>Progetto<br/>IN17</p>  | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI2300001B</p> | <p>Foglio<br/>82 di 82</p> |

## ALLEGATO 6 – VERSIONE SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI

- 1) SLIDE ver 7.0
- 2) Settle 3D ver 2.003