

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 L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10**

**GENERALE**

**Relazione Geotecnica**

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

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

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

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

Progettazione:

| Rev. | Descrizione                        | Redatto       | Data        | Verificato | Data        | Approvato | Data        | IL PROGETTISTA                     |
|------|------------------------------------|---------------|-------------|------------|-------------|-----------|-------------|------------------------------------|
| A    | EMISSIONE                          | M. Conti      | Marzo 2021  | V. Pastore | Marzo 2021  | P. Ascari | Marzo 2021  | <br>P. Ascari<br>Data: Aprile 2021 |
| B    | RECEPIMENTO ISTRUTTORIA VALIDATORE | N. Valimberti | Aprile 2021 | V. Pastore | Aprile 2021 | P. Ascari | Aprile 2021 |                                    |

CIG. 8377957CD1



CUP: J41E91000000009

File: IN1712EI2RBRI09B0001B.DOCX

Cod. origine:



Progetto cofinanziato  
dalla Unione Europea

|   |  |                     |                                     |                           |
|---|--|---------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |                     |                                     |                           |
| <p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br/>Relazione Geotecnica</p>                | <p>Progetto<br/>IN17</p>   | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI09B0001B</p> | <p>Foglio<br/>2 di 70</p> |

## INDICE

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | INTRODUZIONE .....  | 4  |
| 2     | DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....                                    | 5  |
| 2.1   | Documentazione di progetto .....                                  | 5  |
| 2.2   | Normativa e standard di riferimento .....                         | 5  |
| 2.3   | Bibliografia .....  | 6  |
| 3     | INQUADRAMENTO DELL'OPERA .....                                    | 7  |
| 3.1   | Geometria del rilevato .....                                      | 7  |
| 4     | CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....                                | 8  |
| 4.1   | Inquadramento geotecnico .....                                    | 8  |
| 4.1.1 | Indagini disponibili .....  | 9  |
| 4.1.2 | Livello di falda .....  | 10 |
| 4.2   | Condizioni geotecniche del sito .....                             | 11 |
| 4.3   | Sintesi del modello geotecnico di riferimento .....               | 19 |
| 4.3.1 | 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 .....                        | 22 |
| 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 |
| 6     | VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO .....                            | 32 |
| 6.1   | Criteri di verifica agli Stati Limite .....                       | 32 |
| 6.1.1 | Stati limite ultimi (SLU) .....                                   | 32 |
| 6.1.2 | Stati limite di esercizio (SLE) .....                             | 34 |
| 6.1.3 | Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche .....            | 34 |
| 6.2   | Azioni di progetto .....  | 34 |
| 6.2.1 | Azioni permanenti .....   | 35 |
| 6.2.2 | Azioni variabili .....  | 35 |
| 6.2.3 | Azione sismica .....  | 35 |

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12



Codifica

EI2RBRI09B0001B

Foglio

3 di 70

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 6.3   | Verifiche e risultati SLU .....                            | 36 |
| 6.3.1 | Premessa .....   | 36 |
| 6.3.2 | Verifiche SLU in condizione statiche .....                 | 36 |
| 6.3.3 | Verifiche SLU in condizioni sismiche .....                 | 37 |
| 6.4   | Verifica e risultati SLE .....                             | 39 |
| 7     | CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....                        | 44 |
|       | Allegati .....   | 45 |
|       | ALLEGATO 1 - STRATIGRAFIE .....                            | 46 |
|       | ALLEGATO 2 - SONDAGGI .....                                | 48 |
|       | ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU STATICO ..... | 53 |
|       | ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICO ..... | 60 |
|       | ALLEGATO 5 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE .....     | 67 |

|   |  |                     |                                     |                           |
|---|--|---------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |                     |                                     |                           |
| <p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br/>Relazione Geotecnica</p>                | <p>Progetto<br/>IN17</p>   | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI09B0001B</p> | <p>Foglio<br/>4 di 70</p> |

## 1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato esistente RI09B, facente parte della la linea storica Verona-Padova, che risulta collocato in affiancamento al rilevato RI09A della nuova AV/AC. Tale rilevato si estende tra il km 2+538,00 ed il km 3+160,00.



Per questo rilevato sono previsti interventi minori di costruzione barriere antirumore e deviazione dei binari, che non vanno a modificare in modo sostanziale la geometria del rilevato esistente.

La relazione descrive in dettaglio il modello geotecnico definito per il rilevato 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> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |             |                             |                   |
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI09B0001B | Foglio<br>5 di 70 |



## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni di Progetto Esecutivo
- [2] IN1710EI2RBGE0000001A Relazione Geotecnica (da 0+000 a 10+050)
- [3] IN1710EI2LZGE0000012A Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico 1 di 11
- [4] IN1710EI2RHGE0000005A Relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base 1/2
- [5] IN1710EI2P5GE0000001A Planimetrie con classificazione sismica del territorio 1 di 11
- [6] IN1710EI2RHGE0000003A Relazione idrogeologica 1/2
- [7] IN1710EI2RHGE0000007A-8A Relazione di sintesi dei sondaggi e delle prove eseguite
- [8] IN1710EI2PRGE0000001A-2A, Risultati Indagini in sito di Progetto – SOCOTEC
- [9] IN1710EI2PRGE0000003A-4A, Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI
- [10] IN1710EI2PRGE0000005A-8A, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [11] IN1710EI2PRGE0000009A-12A, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING - GEOLAVORI
- [12] IN1710EI2IGGE0000001A-2A, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [13] IN1710EI2IGGE0000003A-4A, 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

|   |  |                     |                                     |                           |
|---|--|---------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |                     |                                     |                           |
| <p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br/>Relazione Geotecnica</p>                | <p>Progetto<br/>IN17</p>   | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI09B0001B</p> | <p>Foglio<br/>6 di 70</p> |

[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

[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.



|   |  |                     |                                     |                           |
|---|--|---------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |                     |                                     |                           |
| <p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br/>Relazione Geotecnica</p>                | <p>Progetto<br/>IN17</p>   | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI09B0001B</p> | <p>Foglio<br/>8 di 70</p> |

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 4.1 Inquadramento geotecnico

La tratta relativa al rilevato in esame si estende dalla progressiva pk 2+538,00 alla pk 3+160,00.

Dal punto di vista geotecnico la zona è interessata dalla presenza di ghiaie ben addensate (Unità 6) da pc ad una profondità di circa 17 m, sovrastanti il substrato sabbioso (Unità 4) che si estende in profondità a partire da 17 m pc.. Sulla base dei dati disponibili, si presuppone la locale presenza di un modesto spessore di strato di riporto, solitamente costituiti da materiali a gran grossa (sabbie e ghiaie) .

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

Nella Figura 2 si riporta il profilo geotecnico specifico per il rilevato RI09B, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 1 di 11 (Doc. Rif. [3]), vedi ALLEGATO 1 - .

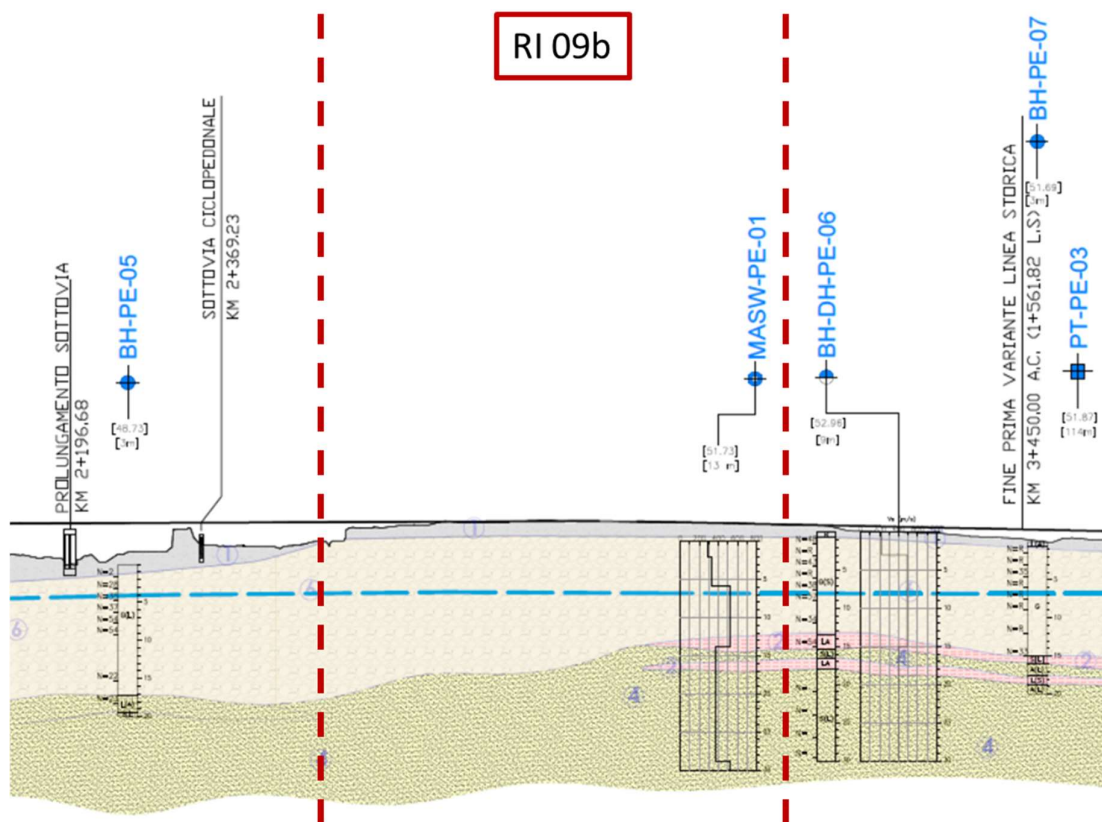




Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato RI09B, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

|   |  |             |                             |                   |
|---|--|-------------|-----------------------------|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |             |                             |                   |
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI09B0001B | Foglio<br>9 di 70 |

#### 4.1.1 Indagini disponibili

L'ubicazione delle indagini disponibili relative all'opera esaminata è illustrata nella Figura 3, estratta dalla Planimetria geotecnica con ubicazione indagini e profilo geotecnico (Doc. Rif. [3]). Per ulteriori dettagli si rimanda alle relazioni di sintesi delle indagini (Doc. Rif. [7] - [13]).

Il risultato delle indagini è riportato in ALLEGATO 2 - .

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 alla zona 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 da pk 2+250 a pk 3+250*

| <b>Progressiva<br/>pk</b> | <b>ID indagini<br/>-</b> | <b>Campagna<br/>anno</b> |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 2+272                     | BH-PE-05                 | 2020-2021                |
| 3+098                     | MASW-PE-01               | 2020-2021                |
| 3+191                     | BH-PE-06                 | 2020-2021                |
| 3+191                     | DH-PE-06                 | 2020-2021                |

Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09B0001B

Foglio

10 di 70

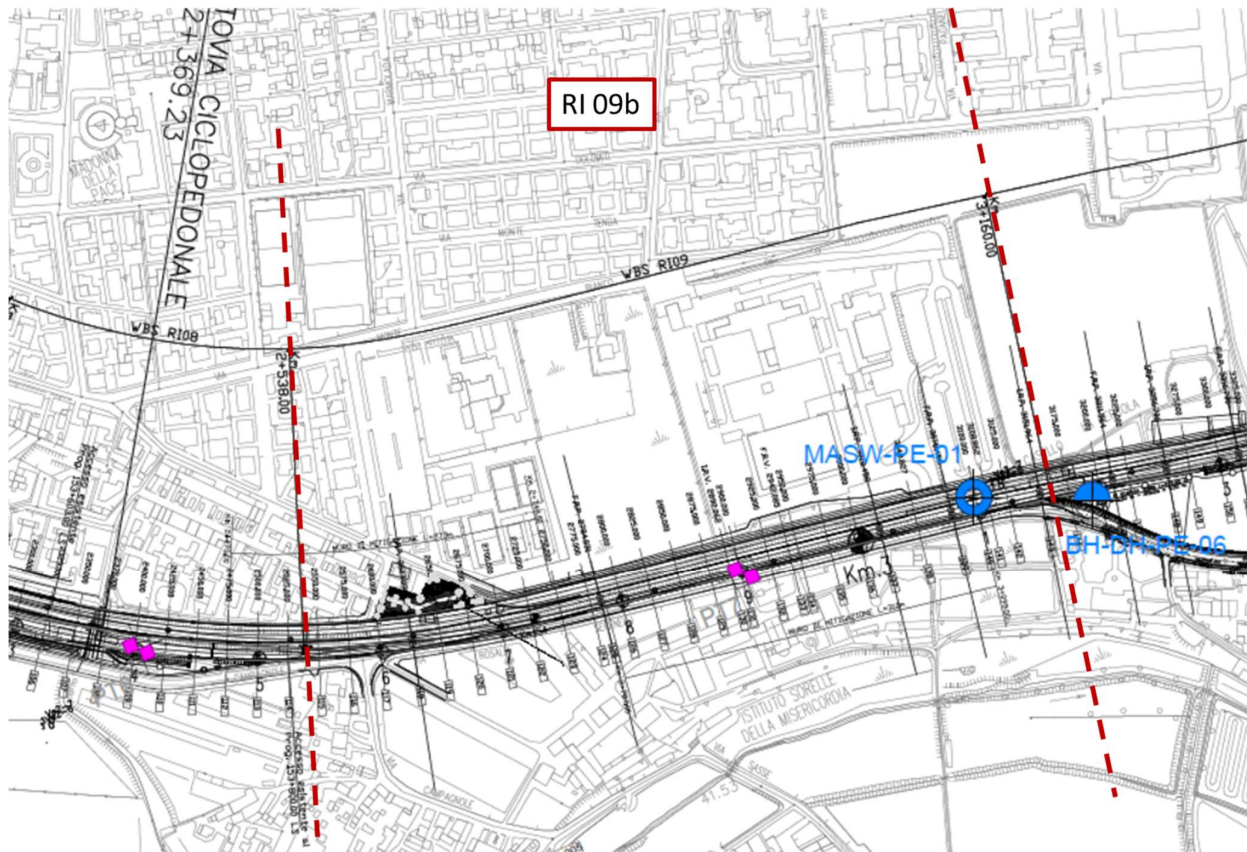


Figura 3 - Planimetria Rilevato RI09B, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])



#### 4.1.2 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]). Questi ultimi indicano una sostanziale stabilità nelle escursioni stagionali.

Ai fini progettuali si assume:

- falda di progetto a medio termine: -4m da piano campagna;
- falda di progetto a lungo termine: coincidente con piano campagna. Questo livello corrisponde all'evento di massima piena del fiume Adige.



|   |  |                     |                                     |                            |
|---|--|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |                     |                                     |                            |
| <p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br/>Relazione Geotecnica</p>                | <p>Progetto<br/>IN17</p>   | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI09B0001B</p> | <p>Foglio<br/>11 di 70</p> |

## 4.2 Condizioni geotecniche del sito

La Figura 5 mostra i risultati delle prove SPT eseguite nel tratto interessato dal rilevato in esame.

La porzione più superficiale, localmente, potrà essere costituita sottile strato di terreno di riporto (Unità 1), che sarà molto probabilmente rimosso nell'ambito delle attività di scotico. In ogni caso, le informazioni indicano che, in tale area, i riporti, quando presenti, sono usualmente costituiti da materiali a grana grossa (sabbie e ghiaie), pertanto adatti, una volta costipati in superficie, a servire da idoneo strato di appoggio del rilevato.



Procedendo con la profondità si incontra uno strato di ghiaie e ghiaie sabbiose da mediamente addensate ad addensate (Unità 6), che si estende fino a circa 17 m pc. All'interno del deposito incoerente le percentuali di materiale a grana fine sono generalmente inferiori al 15%. I valori medi di  $N_{SPT}$  si attestano intorno a circa 50 colpi/30cm, con valori anche superiori a 60 colpi/30cm. La densità relativa delle ghiaie risulta generalmente variabile fra il 40 e il 60% e quindi il deposito risulta da mediamente addensato ad addensato.

Più in profondità si individua la presenza di depositi di sabbia limosa addensati (Unità 4), a partire dalla profondità di 17 m pc fino alla quota di fine sondaggi (30 m pc). In questo deposito le percentuali di materiale fine arrivano al 25%. Lo strato è caratterizzato da valori medi di  $N_{SPT}$  dell'ordine di 60 colpi/30cm, con valori compresi tra 50 e 75 colpi/30cm. La densità relativa delle sabbie risulta generalmente attorno a 70% con valori anche superiori a 80%.

Si evidenzia comunque come il volume di terreno interessato dai modestissimi incrementi di carico attesi (dell'ordine dei 30-40 kPa) si esaurisca all'interno dello strato di ghiaia, e che pertanto la caratterizzazione degli strati presenti in profondità non sia di interesse ai fini della definizione del modello geotecnico di progetto.

Il profilo di  $V_s$  derivante dalle interpretazioni discusse nella Relazione Sismica (Doc. Rif. [4]), basata sui risultati delle prove DH, MASW e SPT, conferma la presenza di materiali incoerenti da mediamente a molto addensati. Fino a 15 m pc, per le ghiaie superficiali si stimano valori di  $V_s$  crescenti e compresi tra 250 m/s e 400 m/s. A profondità maggiori, nelle sabbie, le velocità sono da considerarsi pressoché costanti – variano tra 350 m/s e 450 m/s fino a 35 m pc. 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 ottengono valori crescenti compresi tra 120 MPa e 250 MPa, mentre per le sabbie profonde si ottengono valori pari a 250 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 assumendo 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.

|   |  |                     |                                     |                            |
|---|--|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |                     |                                     |                            |
| <p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br/>Relazione Geotecnica</p>                | <p>Progetto<br/>IN17</p>   | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI09B0001B</p> | <p>Foglio<br/>12 di 70</p> |

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].

- Distribuzione delle granulometrie da analisi di laboratorio (v. Figura 4);
- Valori  $N_{SPT}$  da prove SPT (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).



**AV/AC VERONA VICENZA**

**RI09B da pk 2+538,00 a pk 3+160,00**

Contributi granulometrici (%)

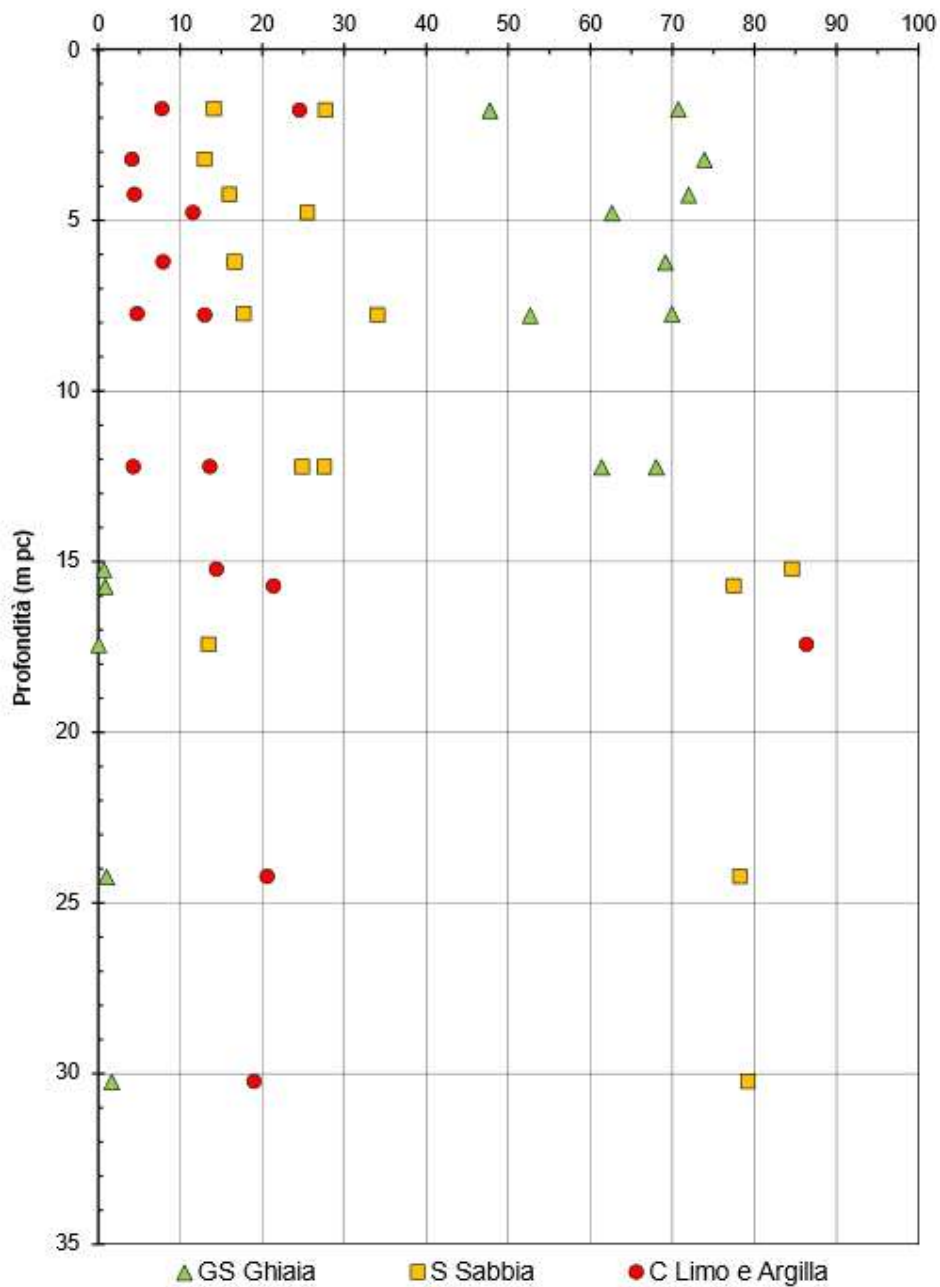


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche tra pk 2+538,00 a pk 3+160,00

**AV/AC VERONA VICENZA**

**RI09B da pk 2+538,00 a pk 3+160,00**

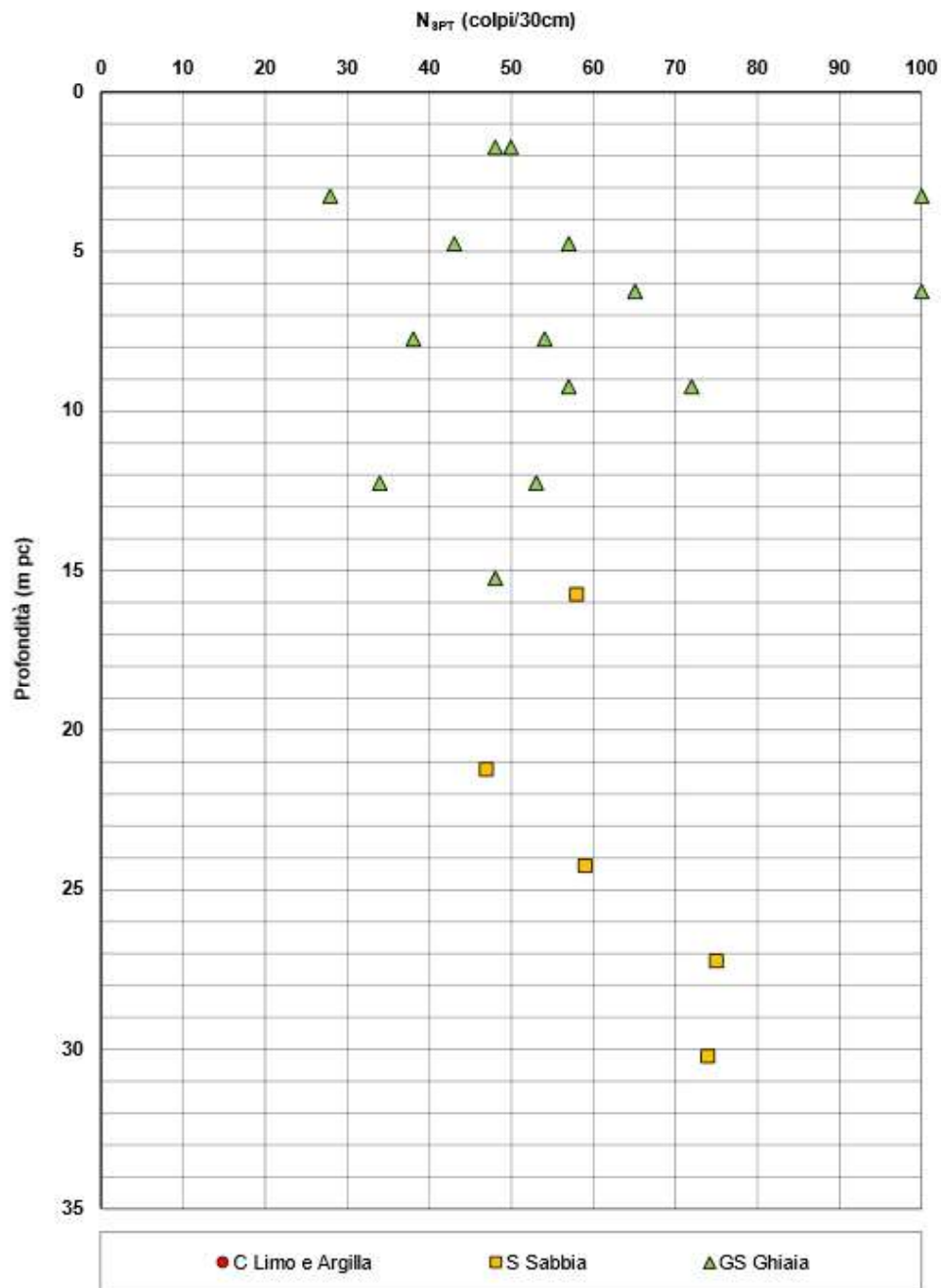


Figura 5 – Esito delle prove SPT tra pk 2+538,00 a pk 3+160,00

**AV/AC VERONA VICENZA**

**RI09B da pk 2+538,00 a pk 3+160,00**

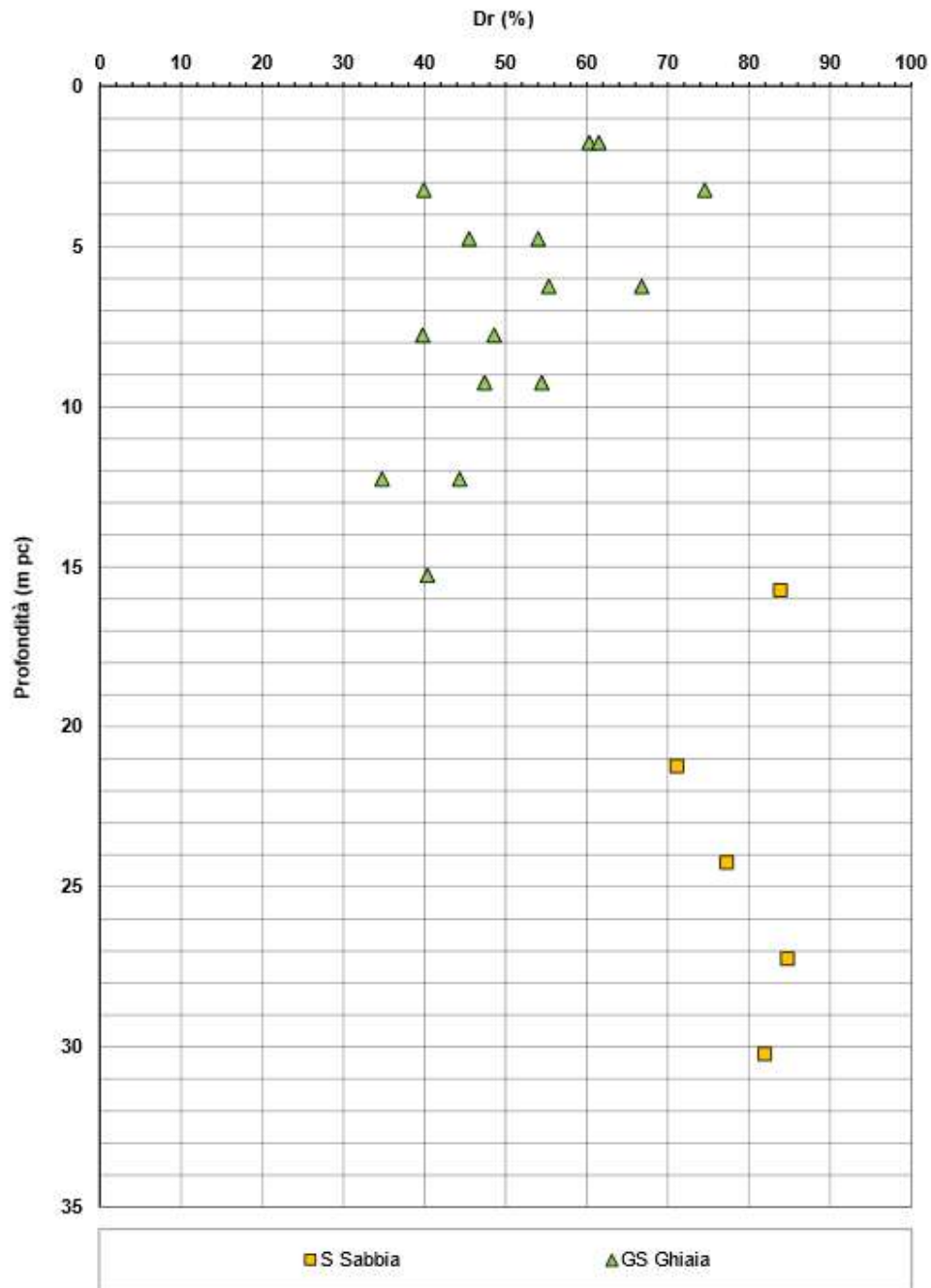


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT tra pk 2+538,00 a pk 3+160,00

**AV/AC VERONA VICENZA**

**Ri09B da pk 2+538,00 a pk 3+160,00**

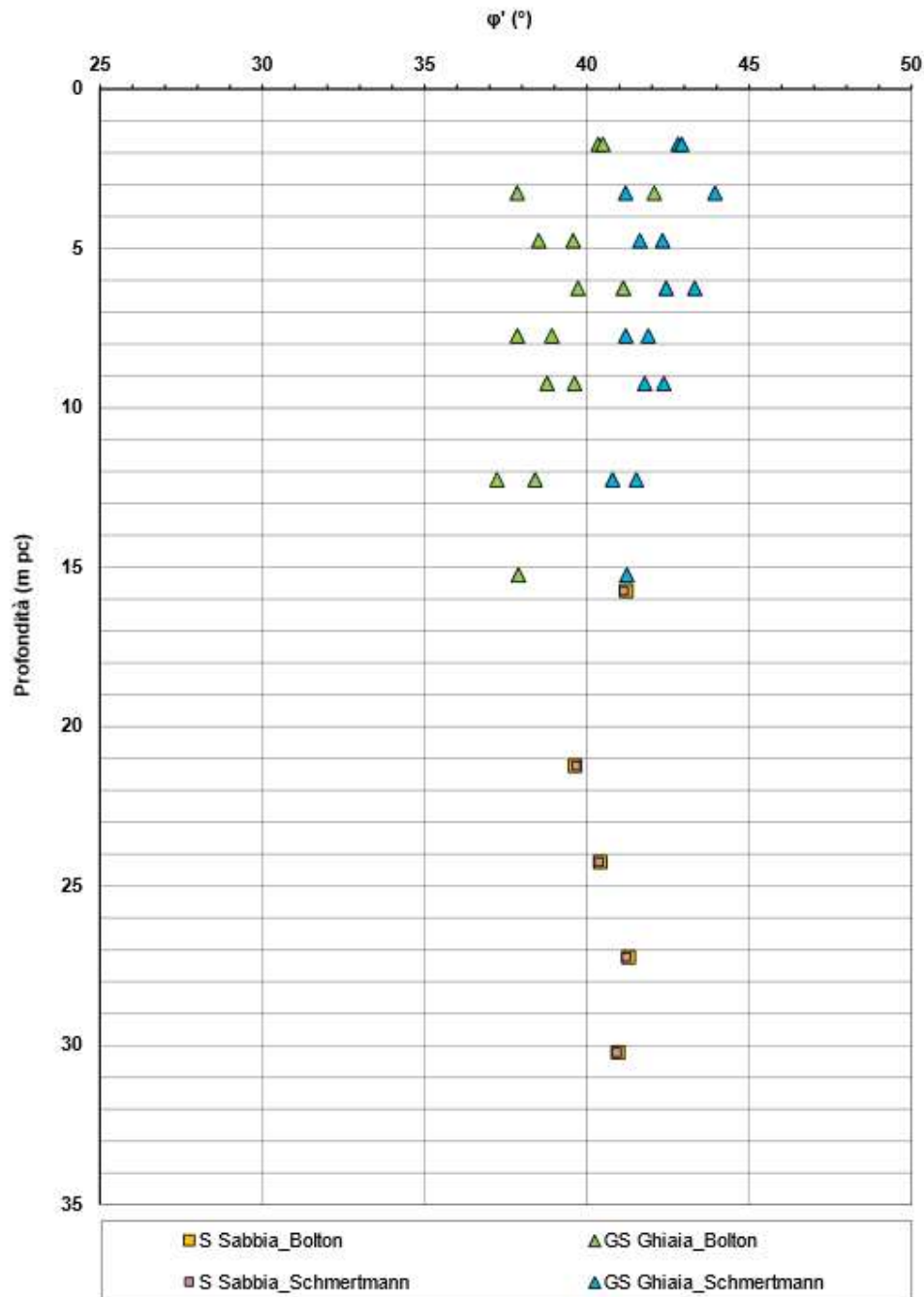


Figura 7 – Angoli di attrito da prove SPT tra pk 2+538,00 a pk 3+160,00

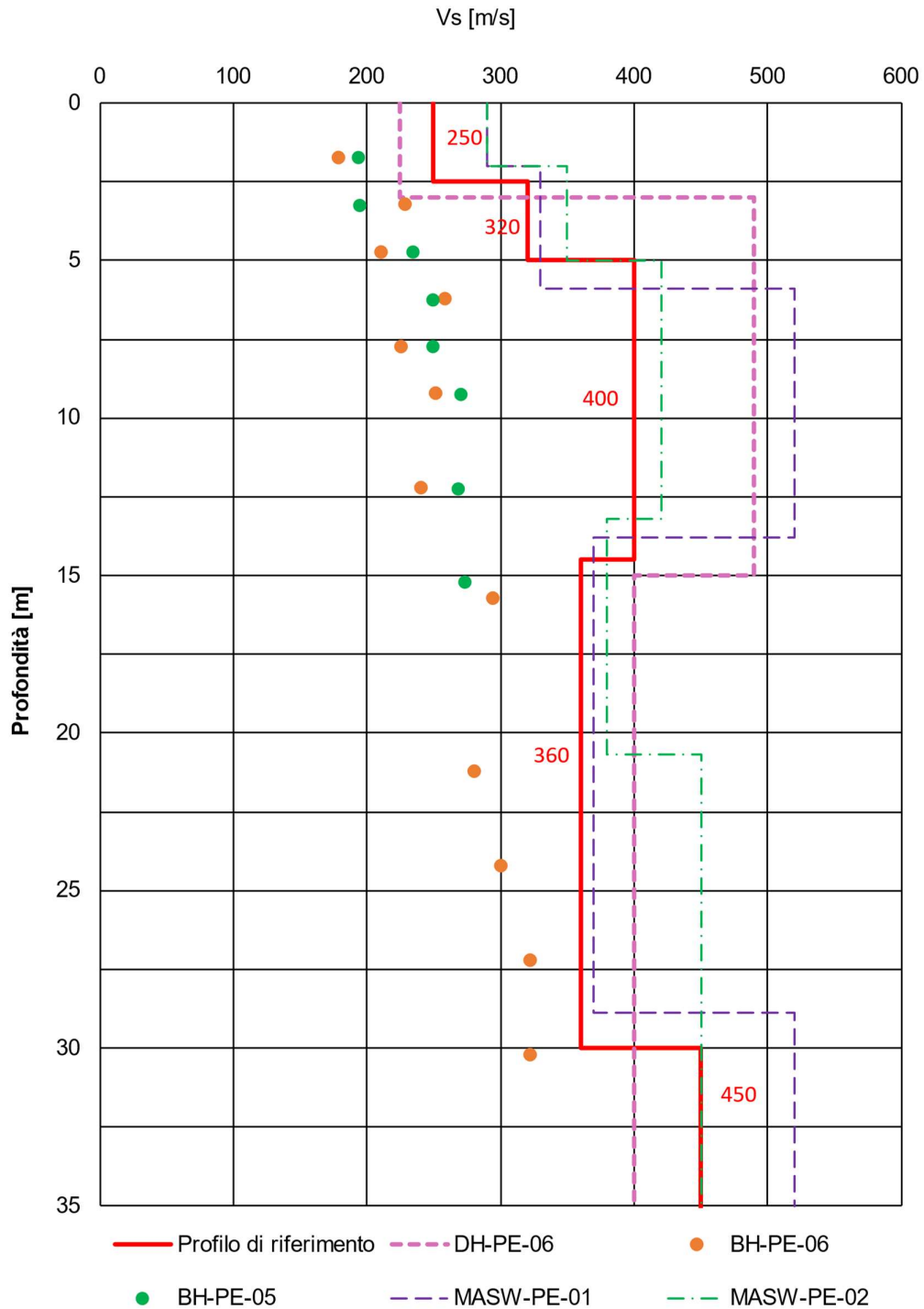


Figura 8 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW tra pk 2+538,00 a pk 3+160,00

**AV/AC VERONA VICENZA**

pk 2+538 - pk 3+160

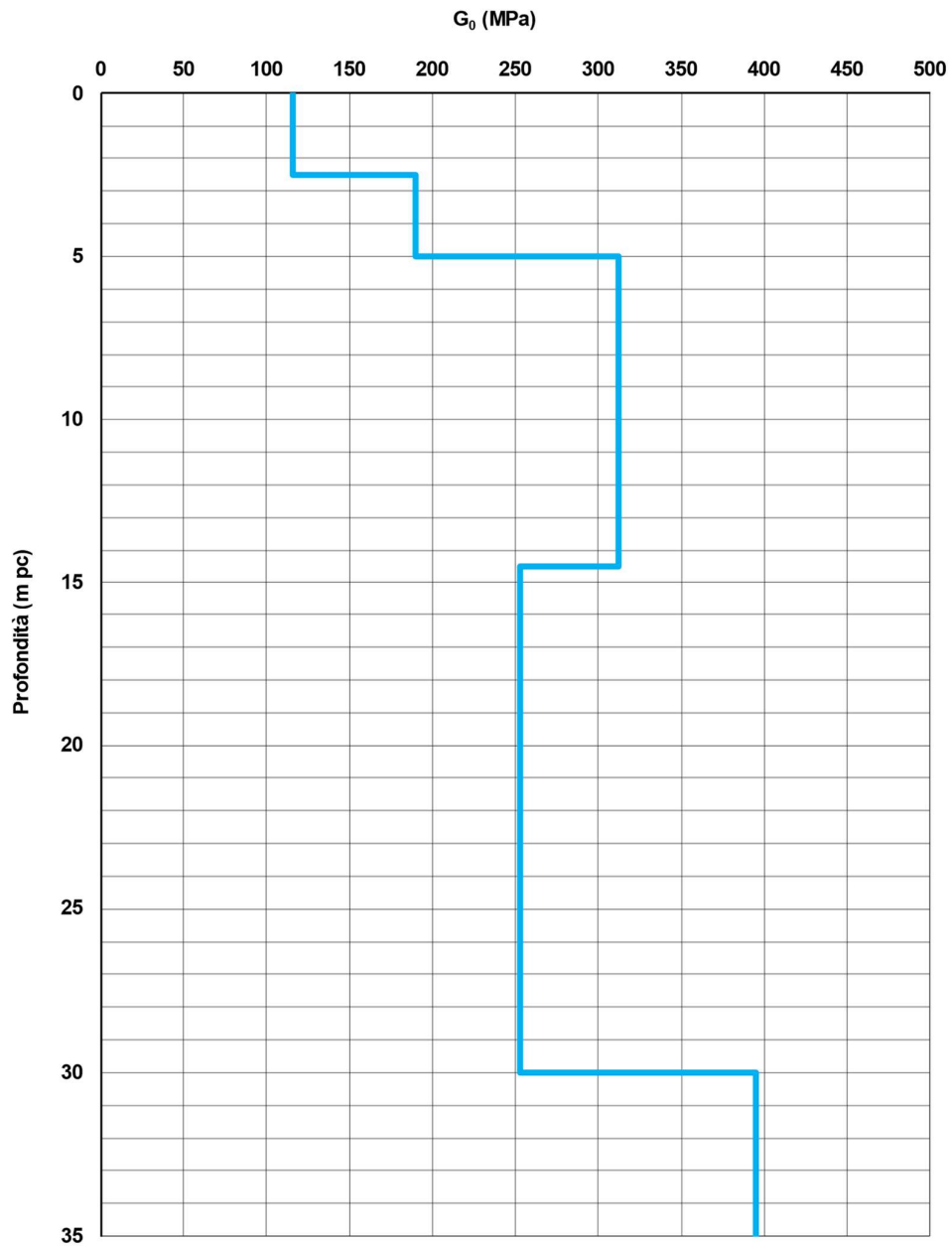




Figura 9 – Modulo di taglio  $G_0$  tra pk 2+538,00 a pk 3+160,00

|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI09B0001B | Foglio<br>19 di 70 |

### 4.3 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*

| Unità | da<br>m pc* | a<br>m pc* | $\gamma$<br>kN/m <sup>3</sup> | $\varphi_k$<br>° | $c_k'$<br>kPa | $c_{u,k}$<br>kPa | $G_0$<br>MPa | $E'_{op}$<br>MPa |
|-------|-------------|------------|-------------------------------|------------------|---------------|------------------|--------------|------------------|
| 6     | 0.5         | 17         | 19.5                          | 39               | 0             | -                | 120-250**    | 60-130**         |

\* quota piano campagna = 50,30 m s.l.m.

\*\* valori crescenti con la profondità



Per la falda si fa riferimento a quanto riportato in 4.1.2.

#### 4.3.1 Materiale da rilevato

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

*Tabella 3 - Caratteristiche materiale da rilevato*

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

|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI09B0001B | Foglio<br>20 di 70 |

## 5 CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

### 5.1 Sollecitazione sismica di progetto

#### 5.1.1 Vita Nominale

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

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

Tabella 4 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

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



#### 5.1.2 Classe d'uso

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

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

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



|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI09B0001B | Foglio<br>21 di 70 |

*Tabella 5 – Valori del coefficiente di uso  $C_u$*

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

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

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

### 5.1.4 Categorie di Sottosuolo



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

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

### 5.1.5 Condizioni topografiche

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

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

|   |  |                     |                                     |                            |
|---|--|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |                     |                                     |                            |
| <p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br/>Relazione Geotecnica</p>                | <p>Progetto<br/>IN17</p>   | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI09B0001B</p> | <p>Foglio<br/>22 di 70</p> |

### 5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

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

|  |       |
|--|-------|
| $a_g$ (g) (SLV)  | 0.233 |
| Coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_s$   | 1.360 |
| Coefficiente di amplificazione topografica $S_t$   | 1.0   |
| Accelerazione massima attesa al suolo<br>$a_{max}$ (g) ( $a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$ ) | 0.317 |

## 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 espresse in sede di Progetto Definitivo, è stato considerato ragionevole assumere per il tracciato di progetto un valore di magnitudo di riferimento da adottare nelle verifiche a liquefazione di cui ai paragrafi successivi pari a 6.0.

La valutazione di suscettibilità alla liquefazione è stata quindi condotta in accordo al "metodo semplificato" originariamente proposto da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), confrontando lo sforzo di taglio ciclico

|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI09B0001B | Foglio<br>23 di 70 |

normalizzato rispetto alla pressione verticale in sito (CSR) e la resistenza normalizzata del terreno al taglio ciclico (CRR) così definiti:

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

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

Lo sforzo di taglio indotto ad ogni profondità in un terreno a superficie piana durante l'evento sismico è dovuto essenzialmente alla propagazione delle onde di taglio polarizzate orizzontalmente. In accordo al metodo utilizzato, la tensione di taglio ciclico indotta dallo scuotimento sismico (sforzo di taglio ciclico normalizzato CSR) viene 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:

$$MSF = \frac{CSR_M}{(CSR)_{M=7.5}} = \left( \frac{N_{M=7.5}}{N_M} \right)^b$$

|   |  |                     |                                     |                            |
|---|--|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |                     |                                     |                            |
| <p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br/>Relazione Geotecnica</p>                | <p>Progetto<br/>IN17</p>   | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI09B0001B</p> | <p>Foglio<br/>24 di 70</p> |

dove  $CSR_M$  e  $N_M$  rappresentano i valori di CSR e numero di cicli equivalenti per il valore di magnitudo di progetto, mentre  $(CSR)_{M=7.5}$  e  $N_{M=7.5}$  sono riferiti all'evento con  $M=7.5$ .

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

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

### 5.2.1 CRR da correlazione su prove CPT

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

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 ( $p_a = 100 \text{ kPa}$ ) e corretta ( $q_{c1N}$ ) mediante la seguente relazione:

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



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

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

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

dove:

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

|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI09B0001B | Foglio<br>25 di 70 |

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

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

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

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

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

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

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

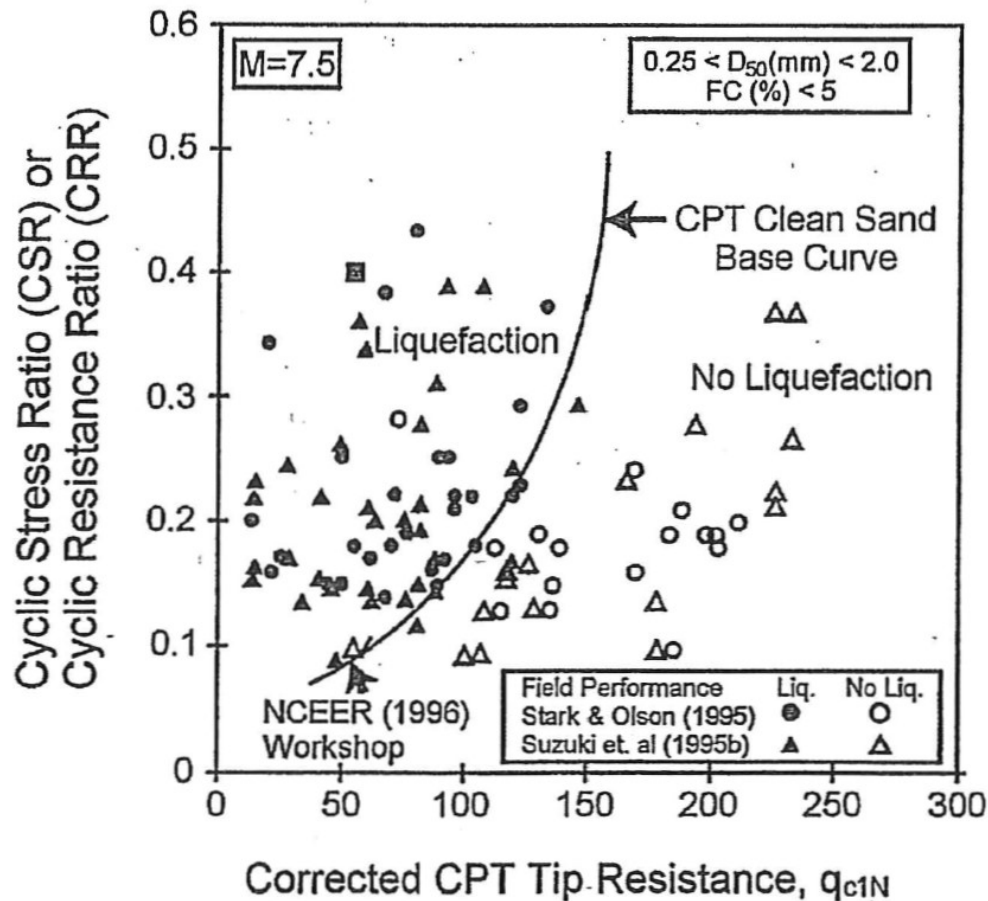


Figura 10: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta  $q_{c1N}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

### 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

|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI09B0001B | Foglio<br>27 di 70 |

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.

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

|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI09B0001B | Foglio<br>28 di 70 |

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

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

In cui:

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

$p_a$  = pressione atmosferica di riferimento

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

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

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

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

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

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



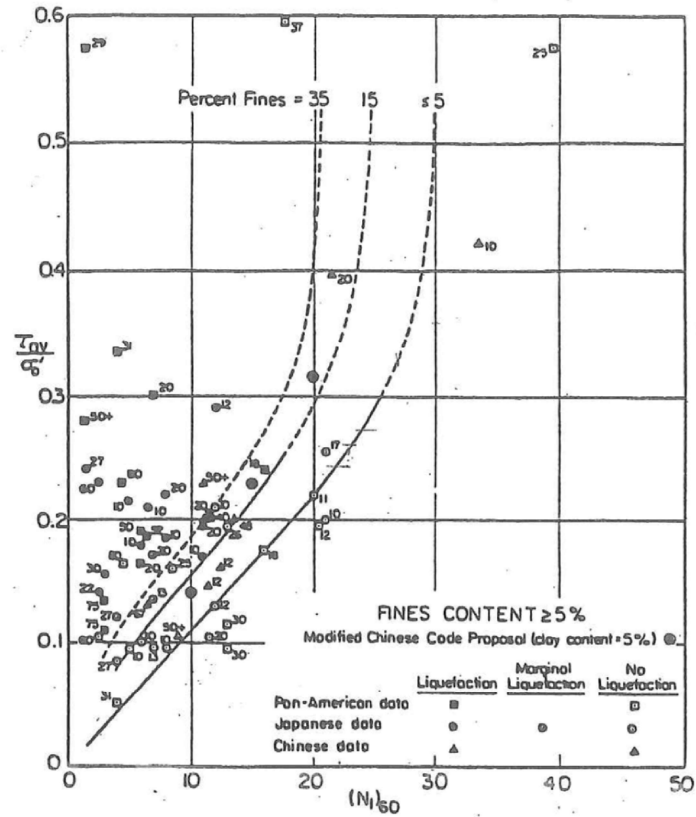


Figura 11: Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e  $N_{1(60)}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

I risultati (cfr. Figura 12 e Figura 13) indicano come non si evidenzino rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI09B, in linea con gli stati di addensamento e le granulometrie descritte in precedenza.

Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10  
Relazione Geotecnica

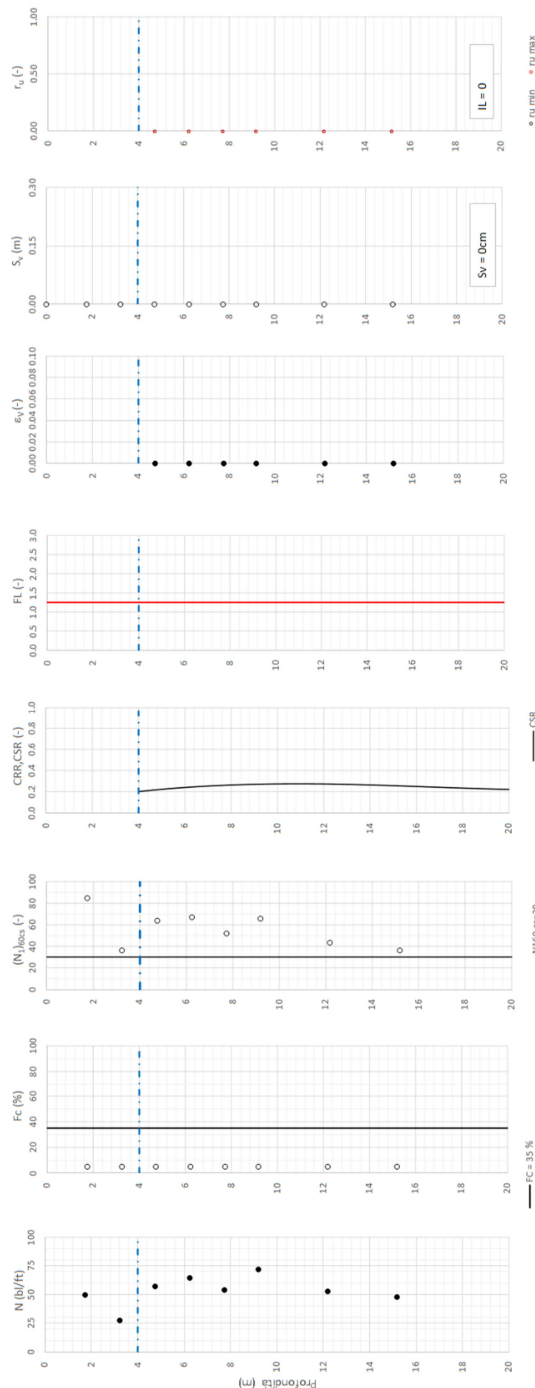
Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI09B0001B

Foglio  
30 di 70

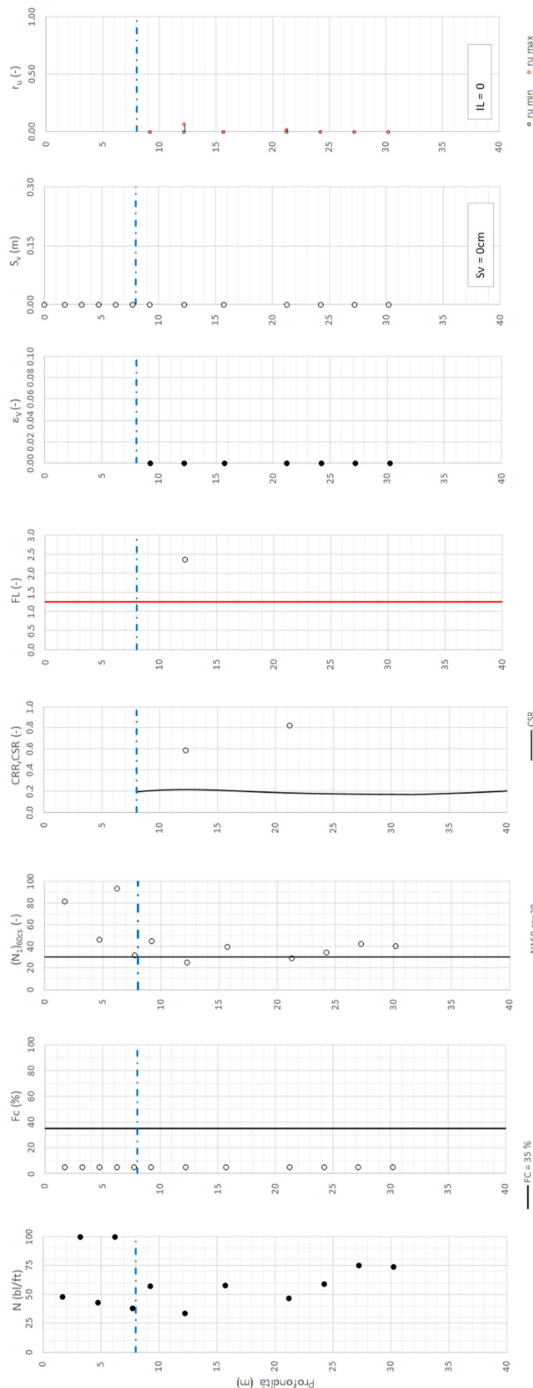
Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-05 Pr. 2+375  
a\_max = 0.317g, M\_calc = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 0m



Foglietto di Identificazione Fog. 102

Figura 12 – Verifica Liquefazione da risultati SPT BH-PE-05



Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 1 - Prova BH-PE-06 Pr. 3+009  
a\_max = 0.317g, M\_calc = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 0m



Foglio tecnico e illustrazione Foglio n. 102

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

Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati SPT BH-PE-06

|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI09B0001B | Foglio<br>32 di 70 |

## 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:

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

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

|  |   |             |                             |                    |
|--|---|-------------|-----------------------------|--------------------|
| <b>GENERAL CONTRACTOR</b><br> | <b>ALTA SORVEGLIANZA</b><br> |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica                           | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI09B0001B | Foglio<br>33 di 70 |

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

La stabilità globale dell'insieme manufatto-terreno deve essere studiata nelle condizioni corrispondenti alle diverse fasi costruttive ed al termine della costruzione.

Facendo riferimento a quanto richiesto dalle NTC (Doc. rif. [14]), per le verifiche agli stati limite ultimi si sono adottati i valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle che seguono.

**Tabella 6 – Coefficienti parziali sulle azioni**

| CARICHI                                   | EFFETTO     | Coefficiente Parziale<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 7 – Coefficienti parziali sui terreni (Tab. 6.2.II, Doc. Rif. [14])**

| PARAMETRO   | GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE | COEFFICIENTE 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 8 – Coefficienti parziali per verifiche di stabilità globale**

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

|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI09B0001B | Foglio<br>34 di 70 |

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

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



|  | V ≤ 160 km/h   | 160 < V ≤ 300 km/h  |
|--|--|---|
| 1° livello di qualità  | $\Delta H \leq 10$<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.

|   |  |                     |                                     |                            |
|---|--|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |                     |                                     |                            |
| <p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br/>Relazione Geotecnica</p>                | <p>Progetto<br/>IN17</p>   | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI09B0001B</p> | <p>Foglio<br/>35 di 70</p> |

### 6.2.1 Azioni permanenti

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

Peso massicciata e armamento            18 kN/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, valutati nel rispetto delle normative di riferimento e considerando il caso peggiore tra i tre modelli di carico previsti: LM71, SW/0 ed SW/2. Per ogni binario, tale azione risulta essere pari a 61.4 kPa (LM71) ed applicata su una superficie definita dalla larghezza della traversa e dalla larghezza di diffusione del carico nel ballast (2.8 m in totale).

### 6.2.3 Azione sismica

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

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

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

dove



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

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

$g$                     accelerazione di gravità.

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

|                         | Categoria di sottosuolo |            |
|-------------------------|-------------------------|------------|
|                         | A                       | B, C, D, E |
|                         | $\beta_s$               | $\beta_s$  |
| $0,2 < a_g(g) \leq 0,4$ | 0,30                    | 0,28       |
| $0,1 < a_g(g) \leq 0,2$ | 0,27                    | 0,24       |
| $a_g(g) \leq 0,1$       | 0,20                    | 0,20       |

|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI09B0001B | Foglio<br>36 di 70 |

## 6.3 Verifiche e risultati SLU

### 6.3.1 Premessa

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

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

$$FS \geq R2 = 1.1.$$

è verificata sia in condizioni statiche che sismiche.

La verifica è stata condotta con riferimento alla 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. Di seguito si riportano i parametri di progetto utilizzati:

- Rilevato:  $\phi_d = 32^\circ$  e  $c_d = 0$  kPa
- Ghiaie (unità 6):  $\phi_d = 33^\circ$  e  $c_d = 0$  kPa

### 6.3.2 Verifiche SLU in condizione statiche



Il carico da traffico ferroviario ( $q$ ), assunto pari a 61.4 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è di tipo variabile/sfavorevole, pertanto, in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2 riportato e pari a 1.3. La falda è stata considerata coincidente con il piano campagna, come riportato nel paragrafo 4.1.2. 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 14, sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2. Il valore minimo di  $F_s$  è pari a:

$$F_{S\text{MIN}} (\text{DA1C2}) = 1.583 > R2 = 1.1$$

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



|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI09B0001B | Foglio<br>37 di 70 |

### 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:

$$K_H = + 0.089 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.045 \quad (\text{verificando la più cautelativa tra negativo e positivo})$$

Il carico stradale ( $q$ ), assunto pari a 61.4 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è stato inserito nei calcoli col proprio valore caratteristico in accordo a quanto specificato dalle NTC 2008 (vedasi Par.7.11.1 del Doc. Rif. [14]) che indicano per le analisi in condizioni sismiche di adottare l'Approccio 1 Combinazione 2 ponendo i coefficienti parziali sulle azioni ( $A_2$ ) tutti pari ad uno. Per quanto riguarda la falda, è stata considerata la falda media nel periodo di osservazione disponibile, ed è quindi stato considerato un livello coincidente a -4 m p.c., come riportato nel paragrafo 4.1.2. 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 15 è riportata la superficie di rottura critica; il fattore di sicurezza FS relativo a tale meccanismo, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$F_{S_{MIN}} = 1.513$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$F_{S_{MIN}} \geq R_2 = 1.1$$

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

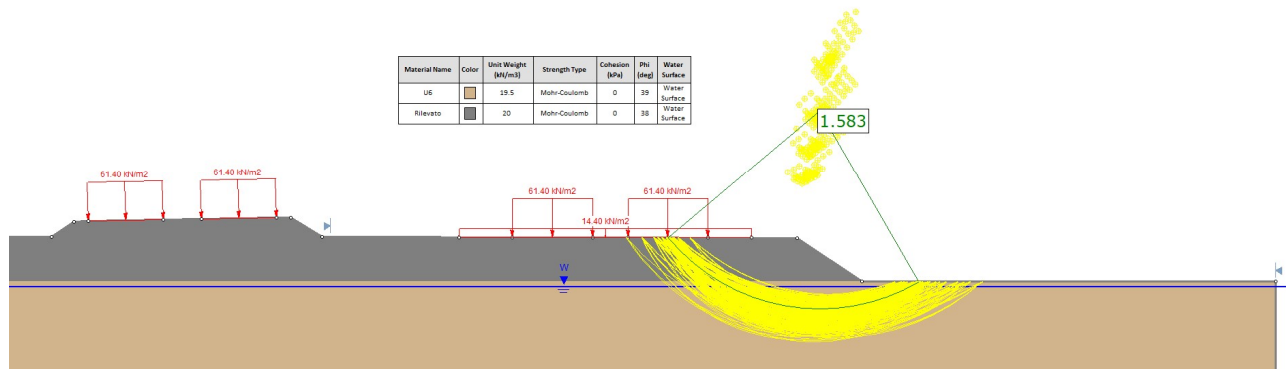


Figura 14 - Rilevato H=1.50 m (da pk 2+538 a pk 3+160)- Analisi SLU in campo statico DA1C2

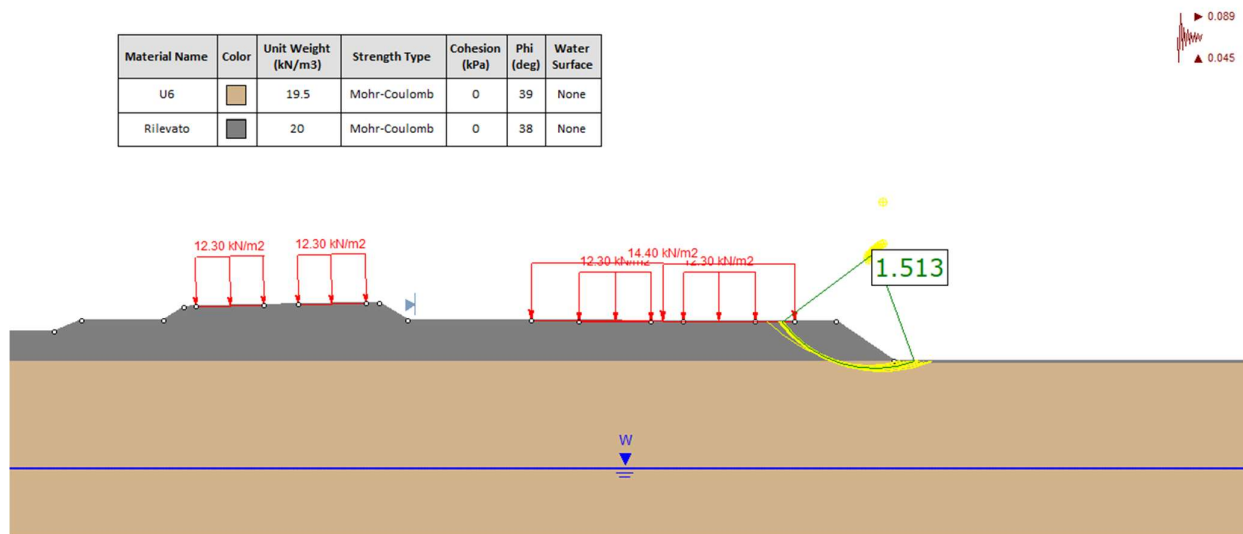




Figura 15 - Rilevato H=1.50 m (da pk 2+538 a pk 3+160) - Analisi SLU in campo sismico

|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI09B0001B | Foglio<br>39 di 70 |

## 6.4 Verifica e risultati SLE

La determinazione del campo di spostamenti è stata svolta mediante l'utilizzo del codice di calcolo SETTLE 3D (Doc. Rif. [30]) che calcola gli incrementi di tensione nei terreni utilizzando il classico modello di terreno come mezzo elastico, omogeneo ed isotropo, assumendo i valori caratteristici sia sulle azioni che sui materiali.

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

$B$  = semilarghezza dell'area di carico in direzione  $x$

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

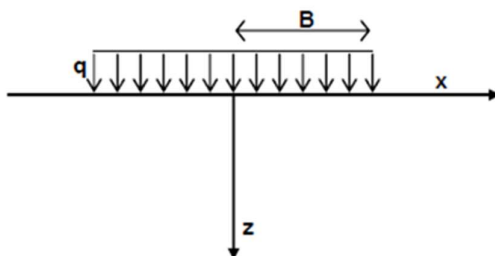


Figura 16 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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:

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

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

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

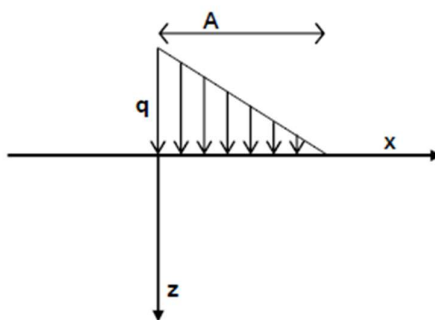




Figura 17 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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.

|   |  |                     |                                     |                            |
|---|--|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |                     |                                     |                            |
| <p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br/>Relazione Geotecnica</p>                | <p>Progetto<br/>IN17</p>   | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI09B0001B</p> | <p>Foglio<br/>41 di 70</p> |

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 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 diseuguaglianza:

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

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.

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 1.50 m, valido tra le pk 2+538 e pk 3+160, è riportato in Figura 18. La larghezza del rilevato esistente è pari a 25 m, quella del rilevato in affiancamento di 9 m con pendenza delle scarpate è 2V:3H. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici definiti in Tabella 2.

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.

La storia di carico riprodotta nell'analisi è la seguente:



- Rilevato esistente (linea storica), vedi Figura 18 a)
- Affiancamento e completamento rilevato nuova linea, vedi Figura 18 b)

I cedimenti sono stati calcolati al centro del nuovo rilevato, ed in corrispondenza dei due binari della linea storica adiacente, in modo da determinarne il cedimento differenziale dovuto alla costruzione del nuovo rilevato.

I valori calcolati sono riportati nella Figura 19, dove sono anche indicate le posizioni delle rotaie della linea storia e l'asse dei binari della linea AV.

Risulta quanto segue:

- Il cedimento calcolato in corrispondenza del centro del nuovo rilevato è inferiore a 7 mm e quindi

|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI09B0001B | Foglio<br>42 di 70 |

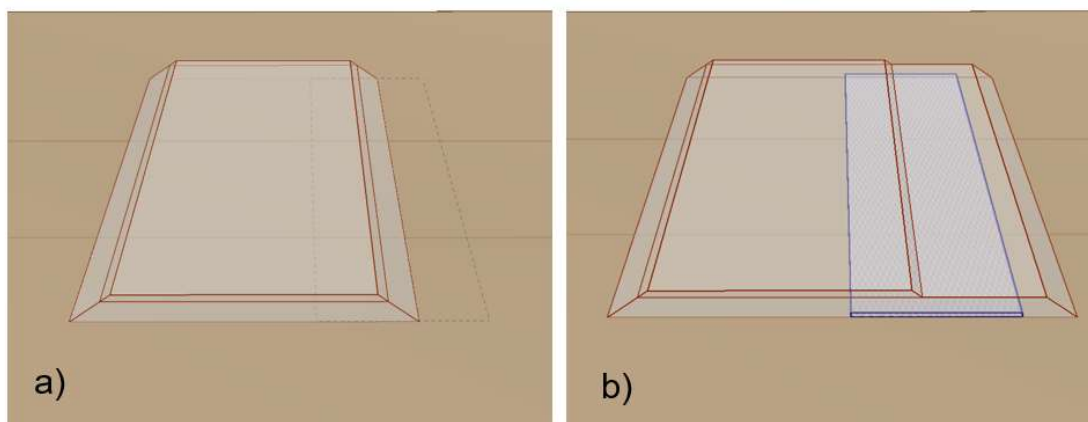
abbondantemente entro il limite definito.

- Il cedimento differenziale per ciascuna delle rotaie esistenti risulta inferiore a 1 mm e quindi inferiore al limite definito.

Considerata la natura granulare dei terreni, tale cedimenti si esauriranno all'atto della applicazione dei rispettivi carichi, e quindi non risultano essere necessarie 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, sono da considerare praticamente nulli.

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



*Figura 18 - Rilevato H=13.50 m (da pk 2+196 a pk 2+538) - Analisi SLE – Modello di calcolo*

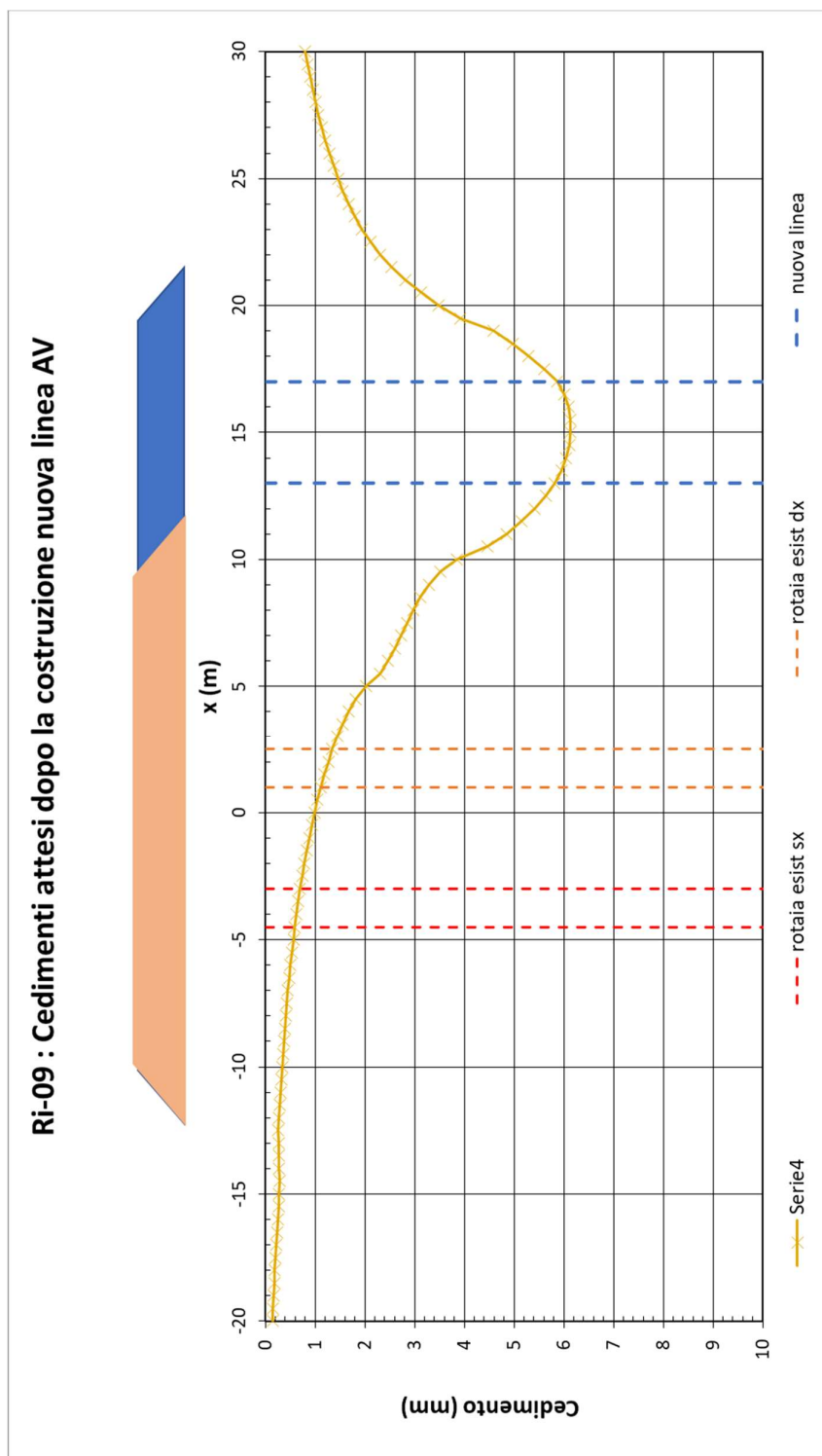


Figura 19 - Rilevato H=1.50 m (da pk 2+538 a pk 3+160) - Analisi SLE – Risultato Cedimenti

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



|  |          |       |                 |          |
|--|----------|-------|-----------------|----------|
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica | Progetto | Lotto | Codifica        | Foglio   |
|  | IN17     | 12    | EI2RBRI09B0001B | 44 di 70 |

## 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 L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica | Progetto | Lotto | Codifica        | Foglio   |
|  | IN17     | 12    | EI2RBRI09B0001B | 45 di 70 |

## ALLEGATI

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



|  |          |       |                 |          |
|--|----------|-------|-----------------|----------|
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica | Progetto | Lotto | Codifica        | Foglio   |
|  | IN17     | 12    | EI2RBRI09B0001B | 46 di 70 |

## ALLEGATO 1 - STRATIGRAFIE



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



|  |          |       |                |   |
|--|----------|-------|----------------|---|
| Rilevato ferroviario AV da pk 2+538,00 a pk 3+160,00<br>Relazione Geotecnica | Progetto | Lotto | Codifica       |   |
|  | IN17     | 11    | EI2RBRI0900001 | A |

## ALLEGATO 2 - SONDAGGI



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI09B0001B

Foglio  
49 di 70

| Geolavori  |                 | SCHEDE DI SONDAGGIO                   |                |  |          | COMM. cm107/18         |                         |                        |        |
|--|-----------------|---------------------------------------|----------------|--|----------|------------------------|-------------------------|------------------------|--------|
| Indagini geotecniche<br>prove geotecniche in sito  |                 | SECONDO RACCOMANDAZIONI A.G.I. (1977) |                |  |          | PAG. 1 DI 1            |                         |                        |        |
| Rev 0  | Data 31/12/2008 | CERTIFICATO                           | caso001cm10718 | DIRETTORE<br>Dott. Ing. Davide Splendore |          |                        |                         |                        |        |
| <b>COMMITTENTE</b> CONSORZIO IRI/AV DUE  |                 |                                       |                |  |          |                        |                         |                        |        |
| <b>CANTIERE</b> INTEGRAZIONE AV VR VI  |                 |                                       |                |  |          |                        |                         |                        |        |
| PERFORAZIONE N. 08-PE-05   |                 | DATA INIZIO 16/01/11                  |                | ULTIMAZIONE 16/03/11                     |          |                        |                         |                        |        |
| COORDINATE GB: Nord  |                 | Est                                   |                | Quote s.l.m.l.                           |          |                        |                         |                        |        |
| RESPONSABILE A. SACCON   |                 | OPERATORE A. FORTE                    |                | ATTREZZATURA CVH HK 1200                 |          |                        |                         |                        |        |
| Da m. 0,00   | A m.            | Profilo                               | Strat. in      | PAG. 1                                   | DI       |                        |                         |                        |        |
| DESCRIZIONE STRATIGRAFICA  |                 |                                       | PROFONDITA'    | SARCOLOGIA STRATIGRAFICA                 | CAMPIONE | PROFONDITA' IN m. p.c. | POCKET PROF. IN m. p.c. | PROFONDITA' IN m. p.c. | S.P.T. |
| TERRENO VEGETALE (0,0-0,2)   |                 |                                       |                |  |          |                        |                         |                        |        |
| GHIAIA MEDIA E FINE POLIGENICA SUBARROTONDATA E SUBARROTONDATA LIMOSA NOCCIOLA CON APPARATI RADICALI RARI                                |                 |                                       | 0,2            |  |          |                        |                         |                        |        |
| GHIAIA ETROMETRICA CON RARI CIOTOLI (Φ MAX 12 cm) POLIGENICA SUBARROTONDATA LIMOSA DEBOLMENTE SABBIOSA NOCCIOLA                          |                 |                                       | 0,9            |  |          |                        |                         |                        |        |
| LIMO SABBIOSO NOCCIOLA CON GHIAIA FINE SUBANGOLARE POLIGENICA  |                 |                                       | 2,0            |  |          |                        |                         |                        |        |
| GHIAIA ETROMETRICA POLIGENICA ARROTONDATA E SUBARROTONDATA CON CIOTOLI (Φ MAX 20 cm) LIMOSA DEBOLMENTE SABBIOSA GRIGIA E GRIGIO NOCCIOLA |                 |                                       |                |  | SPT1     | 1.55                   |                         | 26                     | 4.18   |
|  |                 |                                       |                |  | SPT2     | 2.00                   |                         | 30                     | 5.00   |
|  |                 |                                       |                |  | SPT3     | 3.45                   |                         | 41                     | 5.40   |
|  |                 |                                       |                |  | SPT4     | 4.55                   |                         | 45                     | 5.45   |
|  |                 |                                       |                |  | SPT5     | 6.55                   |                         | 12                     | 4.55   |
|  |                 |                                       |                |  | SPT6     | 5.00                   |                         | 24                     | 5.00   |
|  |                 |                                       |                |  | SPT7     | 6.20                   |                         | 14                     | 6.00   |
|  |                 |                                       |                |  | SPT8     | 6.40                   |                         | 19                     | 6.45   |
|  |                 |                                       |                |  | SPT9     | 7.55                   |                         | 24                     | 7.55   |
|  |                 |                                       |                |  | SPT10    | 8.00                   |                         | 26                     | 8.00   |
|  |                 |                                       |                |  | SPT11    | 9.20                   |                         | 20                     | 9.00   |
|  |                 |                                       |                |  | SPT12    | 9.45                   |                         | 39                     | 9.45   |
|  |                 |                                       |                |  | SPT13    | 12.45                  |                         | 31                     | 12.0   |
|  |                 |                                       |                |  | SPT14    | 15.00                  |                         | 29                     | 12.4   |
|  |                 |                                       |                |  | SPT15    | 15.45                  |                         | 22                     | 15.00  |
|  |                 |                                       |                |  | SPT16    | 15.45                  |                         | 20                     | 15.45  |
| LIMO ARGILLOSO E SABBIOSO DEBOLMENTE LIMOSO GRIGIO NOCCIOLA CON RARI CIOTOLI POLIGENICA ARROTONDATA                                      |                 |                                       | 12,3           |  |          |                        |                         |                        |        |
| LIMO SABBIOSO GRIGIO NOCCIOLA CON RARI CIOTOLI FINE E MEDIA POLIGENICA ARROTONDATA, FREQUENTE AL LETTO CON GHIAIA GRASSA                 |                 |                                       | 12,9           |  |          |                        | 2,3                     | 0,75                   |        |
| LIMO ARGILLOSO DEBOLMENTE SABBIOSO GRIGIO CON PUNTI NERI DI SOSTANZA ORGANICA VEGETALE   |                 |                                       | 19,7           |  |          |                        |                         |                        |        |
| SABBIA FINE CON UNO GRIGIA   |                 |                                       | 19,4           |  |          |                        | 2,4                     | 0,58                   |        |
| LIMO ARGILLOSO GRIGIO  |                 |                                       | 19,5           |  |          |                        |                         |                        |        |
| SABBIA MEDIA E FINE LIMOSA GRIGIA  |                 |                                       | 19,8           |  |          |                        | 1,4                     | 0,61                   |        |
| FINE SABBIOSO  |                 |                                       | 20,0           |  |          |                        |                         |                        |        |
| NOTA: PALDA A 9 m DA P.C.  |                 |                                       |                |  |          |                        |                         |                        |        |

GEOLAVORI S.r.l. - 35042 ESTE (PD) - VIA CALDO n. 7 - TEL. 0429601476 - FAX 0429356639



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI09B0001B

Foglio  
50 di 70



|  |                               |
|--|-------------------------------|
| Committente: IricAV Due  | Sondaggio: BH PE 06           |
| Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza | Data: 09/11/2020 - 11/11/2020 |
| Coordinate:  | Quota:                        |
| Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 66, prog. 3+200          |                               |

SCALA 1 :60

### STRATIGRAFIA - BH PE 06

Pagina 1/3

| n°<br>muri | R<br>metri | Prel. %<br>0 --- 100 | RQD %<br>0 --- 100 | Litologia | prof.<br>m | Quota<br>m | pes.<br>m | Descrizione   | Campioni | R.P.         | Standard Penetration Test |           | N   | Pl | L<br>m | L<br>m | A<br>r | P<br>s |
|------------|------------|----------------------|--------------------|-----------|------------|------------|-----------|---|----------|--------------|---------------------------|-----------|-----|----|--------|--------|--------|--------|
|            |            |                      |                    |           |            |            |           |   |          |              | m                         | S.P.T.    |     |    |        |        |        |        |
|            |            |                      |                    |           | 0.4        | 0.4        | 0.4       | Limo sabbioso, colore nocciola.   |          |              |                           |           |     |    |        |        |        |        |
|            |            |                      |                    |           | 0.6        | 0.6        | 0.2       | Ghiala limosa, colore marrone.  |          |              |                           |           |     |    |        |        |        |        |
|            |            |                      |                    |           |            |            |           | Ghiala sabbiosa, eterometrica, poligenica, sub-arrotolata, colore nocciola. Presenti frequenti ciottoli Ø max. > 10 cm. Da 11,00 m circa rari ciottoli Ø max. 8 cm. |          |              |                           |           |     |    |        |        |        |        |
|            | 1.0        |                      |                    |           |            |            |           |   | CR1) R m | 1.50<br>2.00 | 1.5                       | 15-21-27  | 46  | C  |        |        |        |        |
|            | 2.0        |                      |                    |           |            |            |           |   |          |              |                           |           |     |    |        |        |        |        |
|            | 3.0        |                      |                    |           |            |            |           |   | CR2) R m | 3.00<br>3.50 | 3.0                       | 19-50/4cm | Rif | C  |        |        |        |        |
|            | 4.0        |                      |                    |           |            |            |           |   |          |              |                           |           |     |    |        |        |        |        |
|            | 5.0        |                      |                    |           |            |            |           |   | CR3) R m | 4.50<br>5.00 | 4.5                       | 8-17-26   | 43  | C  |        |        |        |        |
|            | 6.0        |                      |                    |           |            |            |           |   |          |              |                           |           |     |    |        |        |        |        |
|            | 7.0        |                      |                    |           |            |            |           |   | CR4) R m | 6.00<br>6.50 | 6.0                       | 28-50/3cm | Rif | C  |        |        |        |        |
|            | 8.0        |                      |                    |           |            |            |           |   |          |              |                           |           |     |    |        |        |        |        |
|            | 9.0        |                      |                    |           |            |            |           |   | CR5) R m | 7.50<br>8.00 | 7.5                       | 12-17-21  | 38  | C  |        |        |        |        |
|            | 10.0       |                      |                    |           |            |            |           |   |          |              |                           |           |     |    |        |        |        |        |
|            | 11.0       |                      |                    |           |            |            |           |   | CR6) R m | 9.00<br>9.50 | 9.0                       | 13-24-33  | 57  | C  |        |        |        |        |
|            | 12.0       |                      |                    |           |            |            |           |   |          |              |                           |           |     |    |        |        |        |        |

Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gabriele Sproccati

Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI09B0001B

Foglio  
51 di 70



|  |                               |
|--|-------------------------------|
| Committente: IricAV Due  | Sondaggio: BH PE 06           |
| Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza | Data: 09/11/2020 - 11/11/2020 |
| Coordinate:  | Quota:                        |
| Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 66, prog. 3+200          |                               |

SCALA 1 : 60

### STRATIGRAFIA - BH PE 06

Pagina 2/3

| q<br>num | R<br>m | Prel. %<br>0 --- 100 | RQD %<br>0 --- 100 | Litologia   | prof.<br>m | Quota<br>m | pes.<br>m | Descrizione | Campioni                   | R.P.<br>m | Standard Penetration Test<br>S.P.T. | Perforazione<br>N | lit<br>Pl | lit<br>A | lit<br>Pz |
|----------|--------|----------------------|--------------------|---|------------|------------|-----------|-------------|----------------------------|-----------|-------------------------------------|-------------------|-----------|----------|-----------|
|          | 13,0   |                      |                    | Ghialla sabbiosa, eterometrica, poligenica, sub-arrotondata, colore nocciola. Presenti frequenti ciottoli Ø max. > 10 cm. Da 11,00 m circa rari ciottoli Ø max. 8 cm.                           | 13,0       | 13,7       | 13,1      |             | CR7) R m<br>12,00<br>12,00 |           |                                     |                   |           |          |           |
|          | 14,0   |                      |                    | Limo sabbioso, colore nocciola, passante a limo argilloso, colore nocciola.   | 14,0       | 14,0       | 0,3       |             |                            | 1,7       |                                     |                   |           |          |           |
|          | 15,0   |                      |                    | Limo argilloso, colore grigio, passante a 14,00 m ad argilla limosa, da consistente a molto consistente, colore grigio. Tra 14,40-14,50 m presentelivelli di sabbia limosa, medio-fine, grigia. | 15,0       | 15,0       | 1,6       |             | C11) Ost<br>15,00<br>15,00 | 2,5       |                                     |                   |           |          |           |
|          | 16,0   |                      |                    | Sabbia limosa, medio-fine, colore nocciola.   | 16,0       | 16,5       | 1,0       |             | SPT1) SP<br>15,50<br>15,95 | 15,5      | 9-20-34                             | 54                | A         |          |           |
|          | 17,0   |                      |                    | Argilla limosa, molto consistente, colore grigio. Presenti resti vegetali nerastri e livello di limo sabbioso argilloso, colore grigio.   | 17,0       | 17,5       | 1,2       |             | C12) Ost<br>17,20<br>17,70 | 2,7       |                                     |                   |           |          |           |
|          | 18,0   |                      |                    | Argilla limosa, consistente, colore da grigio a nocciola. Presenti resti vegetali nerastri e tra 18,30-18,40 m livello di sabbia limosa, fine, colore grigio.                                   | 18,0       | 18,0       | 1,3       |             |                            | 2,0       |                                     |                   |           |          |           |
|          | 19,0   |                      |                    | Sabbia da limosa, colore da nocciola ad oca, a limosa debolmente ghiaiosa, colore nocciola. Sabbia limosa, medio-fine, da addensata a molto addensata, con rari clasti ghiaiosi sparsi.         | 19,0       | 19,0       | 1,3       |             |                            | 1,5       |                                     |                   |           |          |           |
|          | 21,0   |                      |                    |   | 21,0       | 21,0       | 1,46      |             | SPT2) SP<br>21,00<br>21,46 | 21,0      | 8-18-29                             | 47                | A         |          |           |
|          | 24,0   |                      |                    |   | 24,0       | 24,0       |           |             |                            |           | 11-23-36                            | 69                | A         |          |           |

Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09B0001B

Foglio

52 di 70



|  |                               |
|--|-------------------------------|
| Committente: IricAV Due  | Sondaggio: BH PE 06           |
| Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza | Data: 09/11/2020 - 11/11/2020 |
| Coordinate:  | Quota:                        |
| Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: A 66, prog. 3+200          |                               |

SCALA 1 :60



### STRATIGRAFIA - BH PE 06

Pagina 3/3

| Profondità (m) | Profondità (m) | Prel. % (0-100) | RQD % (0-100) | Litologia  | prof. (m) | Quota (m) | Descrizione   | Campioni                | R.P. | Standard Penetration Test (S.P.T.) | lit. | lit. | lit. | A | Pz |
|----------------|----------------|-----------------|---------------|--|-----------|-----------|---|-------------------------|------|------------------------------------|------|------|------|---|----|
| 26,0           | 25,0           |                 |               | Sabbia da limosa, colore da nocciola ad ocre, a limosa debolmente ghialosa, colore nocciola.   | 25,0      | 25,0      | Sabbia limosa, medio-fine, da addensata a molto addensata, con rari clasti ghialosi sparsi. | SPT3) SP 24,00<br>24,46 |      |                                    |      |      |      |   |    |
| 26,0           | 26,0           |                 |               | Sabbia limosa, medio-fine, molto addensata, colore grigio. Tra 25,55+26,00 m livello di limo sabbioso debolmente argilloso, colore grigio. |           |           |   |                         |      |                                    |      |      |      |   |    |
| 27,0           | 27,0           |                 |               |  |           |           |   | SPT4) SP 27,00<br>27,46 | 27,0 | 12-29-46                           |      |      | 75   | A |    |
| 28,0           | 27,6           |                 |               | Sabbia limosa, medio-fine, molto addensata, colore nocciola. Presenti rari piccoli clasti ghialosi.  | 27,6      | 27,6      |   |                         |      |                                    |      |      |      |   |    |
| 29,0           |                |                 |               |  |           |           |   |                         |      |                                    |      |      |      |   |    |
| 30,0           | 30,0           |                 |               |  | 30,0      | 30,0      |   | SPT5) SP 30,00<br>30,46 | 30,0 | 19-31-43                           |      |      | 74   | A |    |
| 127            | 30,5           |                 |               |  | 30,5      | 30,5      |   |                         |      |                                    |      |      |      |   |    |

Utilizzato carotiere semplice.  
Prelevati n. 2 campioni indisturbati.  
Prelevati n. 7 campioni rimaneggiati.  
Prelevati n. 5 campioni rimaneggiati S.P.T.  
Eseguite n. 12 prove SPT.  
Installato tubo pcv per down-hole da 3".  
Installato chiusino carrabile in ghisa.  
Approvvigionamento e trasporto di acqua necessaria per la perforazione.



|   |  |                     |                                     |                            |
|---|--|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |                     |                                     |                            |
| <p>Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br/>Relazione Geotecnica</p>                | <p>Progetto<br/>IN17</p>   | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI09B0001B</p> | <p>Foglio<br/>53 di 70</p> |

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

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: RI09\_stat\_00  
Slide Modeler Version: 7.038  
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Date Created: 08/03/2021, 16:12:54

#### General Settings

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

#### Design Standard

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

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

#### Analysis Options

Slices Type: Vertical

##### Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

#### Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09B0001B

Foglio

55 di 70

SLIDEINTERPRET 7.030



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 2 of 6

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

5 Distributed Loads present



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09B0001B

Foglio

56 di 70

SLIDEINTERPRET 7.030



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 3 of 6

**Distributed Load 1**

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

**Distributed Load 2**

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

**Distributed Load 3**

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

**Distributed Load 4**

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

**Distributed Load 5**

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

**Material Properties**

| Property                         | UG           | Rilevato     |
|----------------------------------|--------------|--------------|
| Color                            |              |              |
| Strength Type                    | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb |
| Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ] | 19.5         | 20           |
| Cohesion [kPa]                   | 0            | 0            |
| Friction Angle [deg]             | 39           | 38           |
| Water Surface                    | Water Table  | Water Table  |
| Hu Value                         | 1            | 1            |

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

| FS                           | 1.582670               |
|------------------------------|------------------------|
| Center:                      | 33.973, 57.792         |
| Radius:                      | 6.943                  |
| Left Slip Surface Endpoint:  | 28.658, 53.326         |
| Right Slip Surface Endpoint: | 37.456, 51.787         |
| Resisting Moment:            | 1552.01 kN-m           |
| Driving Moment:              | 980.628 kN-m           |
| Total Slice Area:            | 11.8636 m <sup>2</sup> |
| Surface Horizontal Width:    | 8.79877 m              |
| Surface Average Height:      | 1.34832 m              |

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

Number of Valid Surfaces: 1504  
Number of Invalid Surfaces: 0



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI09B0001B

Foglio  
57 di 70

SLIDEVIEWPREP 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 6

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.58267

| 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            | 0.183205  | 0.382921    | -48.8137                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 26.2021            | 41.4693              | 66.348                   | 0                   | 66.348                        | 96.2929                    | 96.2929                         |
| 2            | 0.183205  | 1.11969     | -46.566                       | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 27.966             | 44.2609              | 70.8143                  | 0                   | 70.8143                       | 100.352                    | 100.352                         |
| 3            | 0.183205  | 1.80165     | -44.4081                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 29.6364            | 46.9047              | 75.0442                  | 0                   | 75.0442                       | 104.075                    | 104.075                         |
| 4            | 0.183205  | 2.4348      | -42.3272                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 31.2318            | 49.4297              | 79.0839                  | 0                   | 79.0839                       | 107.53                     | 107.53                          |
| 5            | 0.183205  | 3.02395     | -40.3132                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 32.7589            | 51.8466              | 82.9508                  | 0                   | 82.9508                       | 110.745                    | 110.745                         |
| 6            | 0.183205  | 3.57302     | -38.3576                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 34.2231            | 54.1638              | 86.658                   | 0                   | 86.658                        | 113.742                    | 113.742                         |
| 7            | 0.183205  | 4.08525     | -36.4536                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 35.6288            | 56.3887              | 90.2177                  | 0                   | 90.2177                       | 116.537                    | 116.537                         |
| 8            | 0.183205  | 4.56337     | -34.5953                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 26.6346            | 42.1538              | 67.4429                  | 0                   | 67.4429                       | 85.8137                    | 85.8137                         |
| 9            | 0.183205  | 5.00967     | -32.7777                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 13.1454            | 20.8048              | 33.2861                  | 0                   | 33.2861                       | 41.7505                    | 41.7505                         |
| 10           | 0.183205  | 5.42611     | -30.9966                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 14.0518            | 22.2394              | 35.5815                  | 0                   | 35.5815                       | 44.0236                    | 44.0236                         |
| 11           | 0.171825  | 5.4385      | -29.3016                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 15.3307            | 24.2635              | 37.4537                  | 0                   | 37.4537                       | 46.0575                    | 46.0575                         |
| 12           | 0.171825  | 5.74993     | -27.6878                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 16.1298            | 25.5282              | 39.4059                  | 0                   | 39.4059                       | 47.8699                    | 47.8699                         |
| 13           | 0.174428  | 6.13443     | -26.0857                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 16.7617            | 26.5282              | 41.3683                  | 0.418875            | 40.9494                       | 49.5746                    | 49.1557                         |
| 14           | 0.174428  | 6.41361     | -24.4933                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 17.2314            | 27.2716              | 43.3245                  | 1.22754             | 42.0969                       | 51.1749                    | 49.9473                         |
| 15           | 0.174428  | 6.67299     | -22.9209                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 17.6847            | 27.9891              | 45.1837                  | 1.9791              | 43.2046                       | 52.6616                    | 50.6825                         |
| 16           | 0.174428  | 6.91328     | -21.3665                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 18.1223            | 28.6816              | 46.9491                  | 2.67559             | 44.2735                       | 54.0389                    | 51.3633                         |
| 17           | 0.174428  | 7.13509     | -19.8285                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 14.9651            | 23.6848              | 39.8792                  | 3.31881             | 36.5604                       | 45.2754                    | 41.9566                         |
| 18           | 0.174428  | 7.33899     | -18.3052                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 13.7597            | 21.777               | 37.5258                  | 3.91036             | 33.6155                       | 42.0778                    | 38.1674                         |
| 19           | 0.174428  | 7.52546     | -16.7952                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 14.0972            | 22.3112              | 38.8917                  | 4.45163             | 34.44                         | 43.1466                    | 38.695                          |
| 20           | 0.174428  | 7.69493     | -15.2972                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 14.4204            | 22.8228              | 40.1737                  | 4.94388             | 35.2298                       | 44.1179                    | 39.1741                         |
| 21           | 0.174428  | 7.84778     | -13.8098                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 14.7297            | 23.3122              | 41.3734                  | 5.38819             | 35.9852                       | 44.994                     | 39.6058                         |
| 22           | 0.174428  | 7.98434     | -12.3318                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 15.0249            | 23.7794              | 42.492                   | 5.78554             | 36.7064                       | 45.7767                    | 39.9911                         |
| 23           | 0.174428  | 8.10491     | -10.8621                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 15.3063            | 24.2248              | 43.5306                  | 6.13675             | 37.3939                       | 46.4677                    | 40.3309                         |
| 24           | 0.174428  | 8.20974     | -9.39965                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 15.5739            | 24.6483              | 44.4903                  | 6.44255             | 38.0477                       | 47.0684                    | 40.6258                         |
| 25           | 0.174428  | 8.29904     | -7.94334                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 15.8278            | 25.0502              | 45.3716                  | 6.70356             | 38.668                        | 47.5801                    | 40.8765                         |
| 26           | 0.174428  | 8.32762     | -6.49218                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 15.9663            | 25.2694              | 45.9267                  | 6.92031             | 39.0064                       | 47.7437                    | 40.8233                         |
| 27           | 0.174428  | 8.03443     | -5.04519                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 15.3948            | 24.3649              | 44.7033                  | 7.0932              | 37.6101                       | 46.0624                    | 38.9692                         |
| 28           | 0.174428  | 7.66884     | -3.60142                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 14.6624            | 23.2057              | 43.0434                  | 7.22258             | 35.8208                       | 43.9663                    | 36.7437                         |
| 29           | 0.174428  | 7.28826     | -2.15994                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 13.8971            | 21.9946              | 41.26                    | 7.3087              | 33.9513                       | 41.7841                    | 34.4754                         |
| 30           | 0.174428  | 6.89274     | -0.719829                     | U6            | 0                   | 32.9362                       | 13.0984            | 20.7305              | 39.3517                  | 7.35172             | 32                            | 39.5163                    | 32.1646                         |
| 31           | 0.174428  | 6.4823      | 0.719829                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 12.2656            | 19.4124              | 37.3171                  | 7.35172             | 29.9654                       | 37.163                     | 29.8113                         |
| 32           | 0.174428  | 6.05694     | 2.15994                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 11.3978            | 18.039               | 35.1541                  | 7.3087              | 27.8454                       | 34.7242                    | 27.4155                         |
| 33           | 0.174428  | 5.61664     | 3.60142                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 10.4942            | 16.6088              | 32.8603                  | 7.22258             | 25.6378                       | 32.1998                    | 24.9773                         |
| 34           | 0.174428  | 5.16134     | 5.04519                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 9.55354            | 15.1201              | 30.4329                  | 7.0932              | 23.3397                       | 29.5895                    | 22.4963                         |
| 35           | 0.174428  | 4.69095     | 6.49218                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 8.57456            | 13.5707              | 27.8684                  | 6.92031             | 20.9481                       | 26.8926                    | 19.9723                         |
| 36           | 0.174428  | 4.20536     | 7.94334                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 7.5559             | 11.9585              | 25.163                   | 6.70356             | 18.4594                       | 24.1087                    | 17.4051                         |
| 37           | 0.174428  | 3.70442     | 9.39965                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 6.4958             | 10.2807              | 22.3121                  | 6.44255             | 15.8695                       | 21.2367                    | 14.7942                         |
| 38           | 0.174428  | 3.18795     | 10.8621                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 5.39238            | 8.53436              | 19.3106                  | 6.13675             | 13.1738                       | 18.2759                    | 12.1391                         |
| 39           | 0.174428  | 2.69977     | 12.3318                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 4.35692            | 6.89556              | 16.4297                  | 5.78554             | 10.6441                       | 15.4772                    | 9.69163                         |
| 40           | 0.174428  | 2.50288     | 13.8098                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 4.07791            | 6.45399              | 15.3507                  | 5.38819             | 9.96252                       | 14.3483                    | 8.96015                         |
| 41           | 0.174428  | 2.34882     | 15.2972                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 3.92769            | 6.21623              | 14.5394                  | 4.94388             | 9.5955                        | 13.4651                    | 8.52121                         |
| 42           | 0.174428  | 2.17815     | 16.7952                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 3.75252            | 5.939                | 13.6192                  | 4.45163             | 9.16756                       | 12.4866                    | 8.03495                         |
| 43           | 0.174428  | 1.99048     | 18.3052                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 3.55089            | 5.61988              | 12.5853                  | 3.91036             | 8.67495                       | 11.4106                    | 7.50025                         |
| 44           | 0.174428  | 1.78538     | 19.8285                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 3.32105            | 5.25612              | 11.4323                  | 3.31881             | 8.11347                       | 10.2348                    | 6.91596                         |
| 45           | 0.174428  | 1.56236     | 21.3665                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 3.06098            | 4.84452              | 10.1537                  | 2.67559             | 7.47808                       | 8.95615                    | 6.28056                         |
| 46           | 0.174428  | 1.32087     | 22.9209                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 2.76836            | 4.3814               | 8.74232                  | 1.9791              | 6.76322                       | 7.57173                    | 5.9263                          |
| 47           | 0.174428  | 1.06028     | 24.4933                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 2.44046            | 3.86244              | 7.18969                  | 1.22754             | 5.96215                       | 6.07785                    | 4.85031                         |
| 48           | 0.174428  | 0.779902    | 26.0857                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 2.07407            | 3.28257              | 5.48594                  | 0.418875            | 5.06706                       | 4.4705                     | 4.05163                         |
| 49           | 0.171825  | 0.474145    | 27.6878                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 1.43822            | 2.27623              | 3.51364                  | 0                   | 3.51364                       | 2.75895                    | 2.75895                         |
| 50           | 0.171825  | 0.161548    | 29.3016                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 0.49951            | 0.79056              | 1.22032                  | 0                   | 1.22032                       | 0.939992                   | 0.939992                        |

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.58267

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



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI09B0001B

58 di 70

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 6

| Slice Number | X coordinate [m] | Y coordinate - Bottom [m] | Interslice Normal Force [kN] | Interslice Shear Force [kN] | Interslice Force Angle [degrees] |
|--------------|------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 1            | 28.6576          | 53.326                    | 0                            | 0                           | 0                                |
| 2            | 28.8408          | 53.1166                   | 9.06075                      | 0                           | 0                                |
| 3            | 29.024           | 52.9231                   | 17.6098                      | 0                           | 0                                |
| 4            | 29.2072          | 52.7436                   | 25.6175                      | 0                           | 0                                |
| 5            | 29.3904          | 52.5768                   | 33.0621                      | 0                           | 0                                |
| 6            | 29.5736          | 52.4213                   | 39.9248                      | 0                           | 0                                |
| 7            | 29.7568          | 52.2763                   | 46.1898                      | 0                           | 0                                |
| 8            | 29.94            | 52.141                    | 51.8428                      | 0                           | 0                                |
| 9            | 30.1232          | 52.0146                   | 55.467                       | 0                           | 0                                |
| 10           | 30.3064          | 51.8967                   | 56.9819                      | 0                           | 0                                |
| 11           | 30.4896          | 51.7866                   | 58.3204                      | 0                           | 0                                |
| 12           | 30.6614          | 51.6902                   | 59.2949                      | 0                           | 0                                |
| 13           | 30.8333          | 51.6                      | 60.0734                      | 0                           | 0                                |
| 14           | 31.0077          | 51.5146                   | 60.6796                      | 0                           | 0                                |
| 15           | 31.1821          | 51.4351                   | 61.114                       | 0                           | 0                                |
| 16           | 31.3566          | 51.3614                   | 61.3591                      | 0                           | 0                                |
| 17           | 31.531           | 51.2931                   | 61.3992                      | 0                           | 0                                |
| 18           | 31.7054          | 51.2302                   | 61.2974                      | 0                           | 0                                |
| 19           | 31.8798          | 51.1725                   | 61.0644                      | 0                           | 0                                |
| 20           | 32.0543          | 51.1199                   | 60.6547                      | 0                           | 0                                |
| 21           | 32.2287          | 51.0722                   | 60.0578                      | 0                           | 0                                |
| 22           | 32.4031          | 51.0293                   | 59.2642                      | 0                           | 0                                |
| 23           | 32.5776          | 50.9912                   | 58.2656                      | 0                           | 0                                |
| 24           | 32.752           | 50.9577                   | 57.0546                      | 0                           | 0                                |
| 25           | 32.9264          | 50.9288                   | 55.6247                      | 0                           | 0                                |
| 26           | 33.1008          | 50.9045                   | 53.9701                      | 0                           | 0                                |
| 27           | 33.2753          | 50.8846                   | 52.0986                      | 0                           | 0                                |
| 28           | 33.4497          | 50.8692                   | 50.1036                      | 0                           | 0                                |
| 29           | 33.6241          | 50.8583                   | 48.0204                      | 0                           | 0                                |
| 30           | 33.7985          | 50.8517                   | 45.8695                      | 0                           | 0                                |
| 31           | 33.973           | 50.8495                   | 43.6726                      | 0                           | 0                                |
| 32           | 34.1474          | 50.8517                   | 41.4529                      | 0                           | 0                                |
| 33           | 34.3218          | 50.8583                   | 39.2349                      | 0                           | 0                                |
| 34           | 34.4963          | 50.8692                   | 37.0449                      | 0                           | 0                                |
| 35           | 34.6707          | 50.8846                   | 34.911                       | 0                           | 0                                |
| 36           | 34.8451          | 50.9045                   | 32.8633                      | 0                           | 0                                |
| 37           | 35.0195          | 50.9288                   | 30.9338                      | 0                           | 0                                |
| 38           | 35.194           | 50.9577                   | 29.1573                      | 0                           | 0                                |
| 39           | 35.3684          | 50.9912                   | 27.571                       | 0                           | 0                                |
| 40           | 35.5428          | 51.0293                   | 26.1851                      | 0                           | 0                                |
| 41           | 35.7173          | 51.0722                   | 24.8161                      | 0                           | 0                                |
| 42           | 35.8917          | 51.1199                   | 23.4378                      | 0                           | 0                                |
| 43           | 36.0661          | 51.1725                   | 22.0667                      | 0                           | 0                                |
| 44           | 36.2405          | 51.2302                   | 20.7216                      | 0                           | 0                                |
| 45           | 36.415           | 51.2931                   | 19.4236                      | 0                           | 0                                |
| 46           | 36.5894          | 51.3614                   | 18.1972                      | 0                           | 0                                |
| 47           | 36.7638          | 51.4351                   | 17.0699                      | 0                           | 0                                |
| 48           | 36.9383          | 51.5146                   | 16.0731                      | 0                           | 0                                |
| 49           | 37.1127          | 51.6                      | 15.2431                      | 0                           | 0                                |
| 50           | 37.2845          | 51.6902                   | 14.6794                      | 0                           | 0                                |
| 51           | 37.4563          | 51.7866                   | 0                            | 0                           | 0                                |

List Of Coordinates

Water Table

| X  | Y    |
|----|------|
| -2 | 51.6 |
| 52 | 51.6 |

Distributed Load

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 26.004  | 53.3311 |
| 23.1836 | 53.3366 |



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09B0001B

Foglio

59 di 70

SLIDEINTERPRET 7.030



**Distributed Load**

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 30.0467 | 53.3231 |
| 27.2361 | 53.3287 |

**Distributed Load**

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 10.9266 | 53.9461 |
| 8.28528 | 53.8983 |

**Distributed Load**

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 14.8872 | 54.0177 |
| 12.2502 | 53.97   |

**Distributed Load**

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 31.5839 | 53.3201 |
| 21.3138 | 53.3403 |

**External Boundary**

| X         | Y       |
|-----------|---------|
| 0         | 52.93   |
| 0         | 51.7866 |
| 4.95e-014 | 34.7866 |
| 50        | 34.7866 |
| 50        | 51.7866 |
| 35.462    | 51.7866 |
| 33.1931   | 53.317  |
| 16.5      | 53.35   |
| 15.3939   | 54.0269 |
| 14.8872   | 54.0177 |
| 12.2502   | 53.97   |
| 10.9266   | 53.9461 |
| 8.28528   | 53.8983 |
| 7.7799    | 53.8892 |
| 7         | 53.35   |
| 3.81415   | 53.3496 |
| 2.73054   | 52.93   |

**Material Boundary**

| X      | Y       |
|--------|---------|
| 0      | 51.7866 |
| 35.462 | 51.7866 |

**Material Boundary**

| X    | Y     |
|------|-------|
| 7    | 53.35 |
| 16.5 | 53.35 |

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



|  |                  |             |                             |                    |
|--|------------------|-------------|-----------------------------|--------------------|
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica | Progetto<br>IN17 | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI09B0001B | Foglio<br>60 di 70 |
|--|------------------|-------------|-----------------------------|--------------------|

#### **ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICO**



## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: R109\_sism\_01  
 Slide Modeler Version: 7.038  
 Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
 Date Created: 08/03/2021, 16:12:54

#### General Settings

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

#### Design Standard

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

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

#### Analysis Options

Slices Type: Vertical

##### Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

#### Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09B0001B

Foglio

62 di 70

SLIDEINTERPRET7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 2 of 6

Groundwater Method: Water Surfaces  
 Pore Fluid Unit Weight [kN/m<sup>3</sup>]: 9.81  
 Use negative pore pressure cut off: 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

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.089  
 Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.045

5 Distributed Loads present



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09B0001B

Foglio

63 di 70

SLIDEINTERPRET7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 3 of 6

**Distributed Load 1**

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

**Distributed Load 2**

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

**Distributed Load 3**

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

**Distributed Load 4**

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

**Distributed Load 5**

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

**Material Properties**

| Property                         | U6           | Rilevato     |
|----------------------------------|--------------|--------------|
| Color                            |              |              |
| Strength Type                    | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb |
| Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ] | 19.5         | 20           |
| Cohesion [kPa]                   | 0            | 0            |
| Friction Angle [deg]             | 39           | 38           |
| Water Surface                    | None         | None         |
| Ru Value                         | 0            | 0            |

**Global Minimums**

Method: bishop simplified

| FS                           | 1.512810               |
|------------------------------|------------------------|
| Center:                      | 34.710, 56.012         |
| Radius:                      | 4.501                  |
| Left Slip Surface Endpoint:  | 31.102, 53.321         |
| Right Slip Surface Endpoint: | 36.261, 51.787         |
| Resisting Moment:            | 242.682 kN-m           |
| Driving Moment:              | 160.418 kN-m           |
| Total Slice Area:            | 4.25431 m <sup>2</sup> |
| Surface Horizontal Width:    | 5.15837 m              |
| Surface Average Height:      | 0.824738 m             |

**Valid / Invalid Surfaces**

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1299  
Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI09B0001B

Foglio  
64 di 70



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 6

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.51281

| 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            | 0.102874  | 0.136298    | -52.2147                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 4.22573            | 6.39272              | 10.2279                  | 0                   | 10.2279                       | 15.6785                    | 15.6785                         |
| 2            | 0.102874  | 0.399068    | -50.1245                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 5.01018            | 7.57945              | 12.1266                  | 0                   | 12.1266                       | 18.1239                    | 18.1239                         |
| 3            | 0.102874  | 0.643373    | -48.1222                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 5.76768            | 8.72541              | 13.96                    | 0                   | 13.96                         | 20.3932                    | 20.3932                         |
| 4            | 0.102874  | 0.871336    | -46.1953                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 6.5003             | 9.83372              | 15.7332                  | 0                   | 15.7332                       | 22.5106                    | 22.5106                         |
| 5            | 0.102874  | 1.08466     | -44.3339                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 5.85789            | 8.86187              | 14.1783                  | 0                   | 14.1783                       | 19.9016                    | 19.9016                         |
| 6            | 0.102874  | 1.28471     | -42.5298                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 3.57638            | 5.41038              | 8.65625                  | 0                   | 8.65625                       | 11.9368                    | 11.9368                         |
| 7            | 0.102874  | 1.47264     | -40.7766                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 4.16785            | 6.30516              | 10.0878                  | 0                   | 10.0878                       | 13.6824                    | 13.6824                         |
| 8            | 0.102874  | 1.64941     | -39.0684                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 4.74118            | 7.1725               | 11.4754                  | 0                   | 11.4754                       | 15.3242                    | 15.3242                         |
| 9            | 0.102874  | 1.81581     | -37.4008                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 5.29664            | 8.01281              | 12.8199                  | 0                   | 12.8199                       | 16.8696                    | 16.8696                         |
| 10           | 0.102874  | 1.97255     | -35.7695                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 5.83455            | 8.82656              | 14.1219                  | 0                   | 14.1219                       | 18.3251                    | 18.3251                         |
| 11           | 0.102874  | 2.12022     | -34.171                       | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 6.3552             | 9.61421              | 15.3821                  | 0                   | 15.3821                       | 19.6964                    | 19.6964                         |
| 12           | 0.102874  | 2.25933     | -32.6023                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 6.85889            | 10.3762              | 16.6011                  | 0                   | 16.6011                       | 20.9879                    | 20.9879                         |
| 13           | 0.102874  | 2.39034     | -31.0606                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 7.34587            | 11.1129              | 17.7798                  | 0                   | 17.7798                       | 22.2042                    | 22.2042                         |
| 14           | 0.102874  | 2.51365     | -29.5435                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 7.81645            | 11.8248              | 18.9188                  | 0                   | 18.9188                       | 23.3489                    | 23.3489                         |
| 15           | 0.102874  | 2.6296      | -28.0489                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 8.27083            | 12.5122              | 20.0185                  | 0                   | 20.0185                       | 24.4252                    | 24.4252                         |
| 16           | 0.102874  | 2.7385      | -26.5748                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 8.70922            | 13.1754              | 21.0796                  | 0                   | 21.0796                       | 25.4361                    | 25.4361                         |
| 17           | 0.102874  | 2.84064     | -25.1195                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 9.13181            | 13.8147              | 22.1026                  | 0                   | 22.1026                       | 26.384                     | 26.384                          |
| 18           | 0.102874  | 2.93625     | -23.6813                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 9.53887            | 14.4305              | 23.0877                  | 0                   | 23.0877                       | 27.2713                    | 27.2713                         |
| 19           | 0.102874  | 3.02556     | -22.2587                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 9.93046            | 15.0229              | 24.0356                  | 0                   | 24.0356                       | 28.1                       | 28.1                            |
| 20           | 0.102874  | 3.10877     | -20.8505                      | Rilevato      | 0                   | 32.0066                       | 10.3068            | 15.5922              | 24.9464                  | 0                   | 24.9464                       | 28.872                     | 28.872                          |
| 21           | 0.103363  | 3.16751     | -19.4521                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 10.8905            | 16.4752              | 25.4316                  | 0                   | 25.4316                       | 29.2779                    | 29.2779                         |
| 22           | 0.103363  | 3.10165     | -18.0623                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 10.7721            | 16.2962              | 25.1552                  | 0                   | 25.1552                       | 28.6682                    | 28.6682                         |
| 23           | 0.103363  | 3.02271     | -16.6835                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 10.603             | 16.0403              | 24.7601                  | 0                   | 24.7601                       | 27.9378                    | 27.9378                         |
| 24           | 0.103363  | 2.93833     | -15.3145                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 10.4088            | 15.7466              | 24.3068                  | 0                   | 24.3068                       | 27.1572                    | 27.1572                         |
| 25           | 0.103363  | 2.84861     | -13.9544                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 10.1898            | 15.4152              | 23.7952                  | 0                   | 23.7952                       | 26.3272                    | 26.3272                         |
| 26           | 0.103363  | 2.75366     | -12.6024                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 9.94573            | 15.046               | 23.2253                  | 0                   | 23.2253                       | 25.4489                    | 25.4489                         |
| 27           | 0.103363  | 2.65355     | -11.2574                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 9.67663            | 14.6389              | 22.5969                  | 0                   | 22.5969                       | 24.523                     | 24.523                          |
| 28           | 0.103363  | 2.54837     | -9.91865                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 9.38234            | 14.1937              | 21.9097                  | 0                   | 21.9097                       | 23.5503                    | 23.5503                         |
| 29           | 0.103363  | 2.43819     | -8.58538                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 9.06267            | 13.7101              | 21.1632                  | 0                   | 21.1632                       | 22.5315                    | 22.5315                         |
| 30           | 0.103363  | 2.32305     | -7.25678                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 8.71735            | 13.1977              | 20.3567                  | 0                   | 20.3567                       | 21.4668                    | 21.4668                         |
| 31           | 0.103363  | 2.20301     | -5.9321                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 8.34606            | 12.626               | 19.4897                  | 0                   | 19.4897                       | 20.357                     | 20.357                          |
| 32           | 0.103363  | 2.0781      | -4.61059                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 7.94845            | 12.0245              | 18.5612                  | 0                   | 18.5612                       | 19.2022                    | 19.2022                         |
| 33           | 0.103363  | 1.94837     | -3.29153                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 7.52401            | 11.3824              | 17.5702                  | 0                   | 17.5702                       | 18.0029                    | 18.0029                         |
| 34           | 0.103363  | 1.81382     | -1.97422                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 7.07234            | 10.6991              | 16.5153                  | 0                   | 16.5153                       | 16.7591                    | 16.7591                         |
| 35           | 0.103363  | 1.67448     | 0.657959                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 6.59276            | 9.9736               | 15.3955                  | 0                   | 15.3955                       | 15.4712                    | 15.4712                         |
| 36           | 0.103363  | 1.53035     | 0.657959                      | U6            | 0                   | 32.9362                       | 6.08466            | 9.20494              | 14.2089                  | 0                   | 14.2089                       | 14.1391                    | 14.1391                         |
| 37           | 0.103363  | 1.38143     | 1.97422                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 5.54727            | 8.39197              | 12.9541                  | 0                   | 12.9541                       | 12.7628                    | 12.7628                         |
| 38           | 0.103363  | 1.22772     | 3.29153                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 4.97975            | 7.53341              | 11.6287                  | 0                   | 11.6287                       | 11.3423                    | 11.3423                         |
| 39           | 0.103363  | 1.0692      | 4.61059                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 4.38113            | 6.62781              | 10.2309                  | 0                   | 10.2309                       | 9.87756                    | 9.87756                         |
| 40           | 0.103363  | 0.905951    | 5.9321                        | U6            | 0                   | 32.9362                       | 3.75035            | 5.67356              | 8.75782                  | 0                   | 8.75782                       | 8.36814                    | 8.36814                         |
| 41           | 0.103363  | 0.737634    | 7.25678                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 3.0862             | 4.66884              | 7.20692                  | 0                   | 7.20692                       | 6.81393                    | 6.81393                         |
| 42           | 0.103363  | 0.564514    | 8.58538                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 2.38736            | 3.61162              | 5.57497                  | 0                   | 5.57497                       | 5.21453                    | 5.21453                         |
| 43           | 0.103363  | 0.424447    | 9.91865                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 1.81478            | 2.74542              | 4.23789                  | 0                   | 4.23789                       | 3.92055                    | 3.92055                         |
| 44           | 0.103363  | 0.380094    | 11.2574                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 1.64348            | 2.48628              | 3.83787                  | 0                   | 3.83787                       | 3.51074                    | 3.51074                         |
| 45           | 0.103363  | 0.336071    | 12.6024                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 1.46995            | 2.22375              | 3.43263                  | 0                   | 3.43263                       | 3.10399                    | 3.10399                         |
| 46           | 0.103363  | 0.286898    | 13.9544                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 1.2698             | 1.92096              | 2.96524                  | 0                   | 2.96524                       | 2.64971                    | 2.64971                         |
| 47           | 0.103363  | 0.232488    | 15.3145                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 1.04159            | 1.57573              | 2.43233                  | 0                   | 2.43233                       | 2.1471                     | 2.1471                          |
| 48           | 0.103363  | 0.172743    | 16.6835                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 0.78372            | 1.18562              | 1.83015                  | 0                   | 1.83015                       | 1.59527                    | 1.59527                         |
| 49           | 0.103363  | 0.107552    | 18.0623                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 0.494346           | 0.747851             | 1.15439                  | 0                   | 1.15439                       | 0.993177                   | 0.993177                        |
| 50           | 0.103363  | 0.03679     | 19.4521                       | U6            | 0                   | 32.9362                       | 0.1714             | 0.259295             | 0.400253                 | 0                   | 0.400253                      | 0.339719                   | 0.339719                        |

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.51281

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



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09B0001B

Foglio

65 di 70



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 6

| Slice Number | X coordinate [m] | Y coordinate - Bottom [m] | Interslice Normal Force [kN] | Interslice Shear Force [kN] | Interslice Force Angle [degrees] |
|--------------|------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 1            | 31.1023          | 53.3211                   | 0                            | 0                           | 0                                |
| 2            | 31.2051          | 53.1884                   | 0.933087                     | 0                           | 0                                |
| 3            | 31.308           | 53.0653                   | 1.94524                      | 0                           | 0                                |
| 4            | 31.4109          | 52.9505                   | 3.00999                      | 0                           | 0                                |
| 5            | 31.5138          | 52.8433                   | 4.10559                      | 0                           | 0                                |
| 6            | 31.6166          | 52.7428                   | 5.02451                      | 0                           | 0                                |
| 7            | 31.7195          | 52.6484                   | 5.58896                      | 0                           | 0                                |
| 8            | 31.8224          | 52.5597                   | 6.18768                      | 0                           | 0                                |
| 9            | 31.9253          | 52.4762                   | 6.8066                       | 0                           | 0                                |
| 10           | 32.0281          | 52.3975                   | 7.43343                      | 0                           | 0                                |
| 11           | 32.131           | 52.3234                   | 8.05728                      | 0                           | 0                                |
| 12           | 32.2339          | 52.2536                   | 8.66853                      | 0                           | 0                                |
| 13           | 32.3367          | 52.1878                   | 9.25857                      | 0                           | 0                                |
| 14           | 32.4396          | 52.1258                   | 9.81969                      | 0                           | 0                                |
| 15           | 32.5425          | 52.0675                   | 10.345                       | 0                           | 0                                |
| 16           | 32.6454          | 52.0127                   | 10.8281                      | 0                           | 0                                |
| 17           | 32.7482          | 51.9612                   | 11.2635                      | 0                           | 0                                |
| 18           | 32.8511          | 51.913                    | 11.646                       | 0                           | 0                                |
| 19           | 32.954           | 51.8679                   | 11.9708                      | 0                           | 0                                |
| 20           | 33.0569          | 51.8258                   | 12.2338                      | 0                           | 0                                |
| 21           | 33.1597          | 51.7866                   | 12.4311                      | 0                           | 0                                |
| 22           | 33.2631          | 51.7501                   | 12.5193                      | 0                           | 0                                |
| 23           | 33.3665          | 51.7164                   | 12.5334                      | 0                           | 0                                |
| 24           | 33.4698          | 51.6854                   | 12.477                       | 0                           | 0                                |
| 25           | 33.5732          | 51.6571                   | 12.3541                      | 0                           | 0                                |
| 26           | 33.6766          | 51.6314                   | 12.1689                      | 0                           | 0                                |
| 27           | 33.7799          | 51.6083                   | 11.926                       | 0                           | 0                                |
| 28           | 33.8833          | 51.5877                   | 11.6301                      | 0                           | 0                                |
| 29           | 33.9866          | 51.5697                   | 11.2862                      | 0                           | 0                                |
| 30           | 34.09            | 51.554                    | 10.8997                      | 0                           | 0                                |
| 31           | 34.1934          | 51.5409                   | 10.4763                      | 0                           | 0                                |
| 32           | 34.2967          | 51.5301                   | 10.0217                      | 0                           | 0                                |
| 33           | 34.4001          | 51.5218                   | 9.54247                      | 0                           | 0                                |
| 34           | 34.5035          | 51.5159                   | 9.04511                      | 0                           | 0                                |
| 35           | 34.6068          | 51.5123                   | 8.53671                      | 0                           | 0                                |
| 36           | 34.7102          | 51.5111                   | 8.02475                      | 0                           | 0                                |
| 37           | 34.8135          | 51.5123                   | 7.51718                      | 0                           | 0                                |
| 38           | 34.9169          | 51.5159                   | 7.02243                      | 0                           | 0                                |
| 39           | 35.0203          | 51.5218                   | 6.54949                      | 0                           | 0                                |
| 40           | 35.1236          | 51.5301                   | 6.10798                      | 0                           | 0                                |
| 41           | 35.227           | 51.5409                   | 5.70814                      | 0                           | 0                                |
| 42           | 35.3304          | 51.554                    | 5.36095                      | 0                           | 0                                |
| 43           | 35.4337          | 51.5697                   | 5.07822                      | 0                           | 0                                |
| 44           | 35.5371          | 51.5877                   | 4.85242                      | 0                           | 0                                |
| 45           | 35.6405          | 51.6083                   | 4.63796                      | 0                           | 0                                |
| 46           | 35.7438          | 51.6314                   | 4.4371                       | 0                           | 0                                |
| 47           | 35.8472          | 51.6571                   | 4.25564                      | 0                           | 0                                |
| 48           | 35.9505          | 51.6854                   | 4.10017                      | 0                           | 0                                |
| 49           | 36.0539          | 51.7164                   | 3.9781                       | 0                           | 0                                |
| 50           | 36.1573          | 51.7501                   | 3.89783                      | 0                           | 0                                |
| 51           | 36.2606          | 51.7866                   | 0                            | 0                           | 0                                |

List Of Coordinates

Water Table

| X  | Y    |
|----|------|
| -2 | 47.6 |
| 52 | 47.6 |

Distributed Load

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 26.004  | 53.3311 |
| 23.1836 | 53.3366 |



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI09B0001B

Foglio

66 di 70



**Distributed Load**

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 30.0467 | 53.3231 |
| 27.2361 | 53.3287 |

**Distributed Load**

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 10.9266 | 53.9461 |
| 8.28528 | 53.8983 |

**Distributed Load**

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 14.8872 | 54.0177 |
| 12.2502 | 53.97   |

**Distributed Load**

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 31.5839 | 53.3201 |
| 21.3138 | 53.3403 |

**External Boundary**

| X         | Y       |
|-----------|---------|
| 0         | 52.93   |
| 0         | 51.7866 |
| 4.95e-014 | 34.7866 |
| 50        | 34.7866 |
| 50        | 51.7866 |
| 35.462    | 51.7866 |
| 33.1931   | 53.317  |
| 16.5      | 53.35   |
| 15.3939   | 54.0269 |
| 14.8872   | 54.0177 |
| 12.2502   | 53.97   |
| 10.9266   | 53.9461 |
| 8.28528   | 53.8983 |
| 7.7799    | 53.8892 |
| 7         | 53.35   |
| 3.81415   | 53.3496 |
| 2.73054   | 52.93   |

**Material Boundary**

| X      | Y       |
|--------|---------|
| 0      | 51.7866 |
| 35.462 | 51.7866 |

**Material Boundary**

| X    | Y     |
|------|-------|
| 7    | 53.35 |
| 16.5 | 53.35 |

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



|  |          |       |                 |          |
|--|----------|-------|-----------------|----------|
| Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10<br>Relazione Geotecnica | Progetto | Lotto | Codifica        | Foglio   |
|  | IN17     | 12    | EI2RBRI09B0001B | 67 di 70 |

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

## Settle3D Analysis Information

### Ri09\_settl\_analysis

#### Project Settings

Document Name: Ri09\_00  
Project Title: Ri09\_settl\_analysis  
Date Created: 09/03/2021, 16:16:58  
Stress Computation Method: Boussinesq  
Groundwater method: Water Table  
Water Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>  
Depth to water table: 0.2 [m]

#### Stage Settings

| Stage # | Name    |
|---------|---------|
| 1       | Stage 1 |
| 2       | Stage 2 |

#### Results

Time taken to compute: 2.65483 seconds

##### Stage: Stage 1

| Data Type                          | Minimum | Maximum     |
|------------------------------------|---------|-------------|
| Total Settlement [cm]              | 0       | 0.782165    |
| Consolidation Settlement [cm]      | 0       | 0           |
| Immediate Settlement [cm]          | 0       | 0.782165    |
| Loading Stress [kPa]               | 0       | 44.14       |
| Effective Stress [kPa]             | -0      | 262.788     |
| Total Stress [kPa]                 | 0       | 555.126     |
| Total Strain                       | -0      | 0.000734591 |
| Pore Water Pressure [kPa]          | 0       | 292.338     |
| Degree of Consolidation [%]        | 0       | 0           |
| Pre-consolidation Stress [kPa]     | 0.195   | 262.687     |
| Over-consolidation Ratio           | 1       | 1           |
| Void Ratio                         | 0       | 0           |
| Hydroconsolidation Settlement [cm] | 0       | 0           |

##### Stage: Stage 2

| Data Type                     | Minimum      | Maximum  |
|-------------------------------|--------------|----------|
| Total Settlement [cm]         | 0            | 0.992015 |
| Consolidation Settlement [cm] | 0            | 0        |
| Immediate Settlement [cm]     | 0            | 0.992015 |
| Loading Stress [kPa]          | 7.52265e-007 | 48.7     |



|                                    |              |             |
|------------------------------------|--------------|-------------|
| Effective Stress [kPa]             | 7.52265e-007 | 268.712     |
| Total Stress [kPa]                 | 7.52265e-007 | 561.05      |
| Total Strain                       | 3.96478e-008 | 0.000810954 |
| Pore Water Pressure [kPa]          | 0            | 292.338     |
| Degree of Consolidation [%]        | 0            | 0           |
| Pre-consolidation Stress [kPa]     | 0.197381     | 268.613     |
| Over-consolidation Ratio           | 1            | 1.05492     |
| Void Ratio                         | 0            | 0           |
| Hydroconsolidation Settlement [cm] | 0            | 0           |

## Loads

### 1. Rectangular Load

Length: 12.4 m  
 Width: 100 m  
 Rotation angle: 0 degrees  
 Load Type: Flexible  
 Area of Load: 1240 m<sup>2</sup>  
 Load: 11.6 kPa  
 Depth: 0 m  
 Installation Stage: Stage 2

#### Coordinates

| X [m]   | Y [m] |
|---------|-------|
| 5.13762 | -50   |
| 17.5376 | -50   |
| 17.5376 | 50    |
| 5.13762 | 50    |

## Embankments

### 1. Embankment

Center Line: (0, -50) to (0, 50)  
 Number of Layers: 2  
 Near End Angle: 90 degrees  
 Far End Angle: 90 degrees  
 Base Width: 25

| 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               | 1.5        | 18                               | 34                | 0                     |
| 2     | Stage 1 | 0                    | 34               | 0.5        | 18                               | 34                | 0                     |

## Soil Layers

| Layer # | Type        | Thickness [m] | Depth [m] |
|---------|-------------|---------------|-----------|
| 1       | Ghiaia (U6) | 17            | 0         |



Rilevato ferroviario L.S. dal km 153+803,51 al km 154+423,10  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

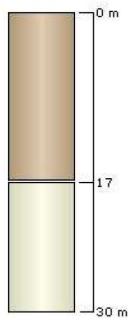
Codifica

EI2RBRI09B0001B

Foglio

70 di 70

|   |             |    |    |
|---|-------------|----|----|
| 2 | Sabbia (U4) | 13 | 17 |
|---|-------------|----|----|



**Soil Properties**

| Property                                   | Ghiaia (U6) | Sabbia (U4) |
|--|-------------|-------------|
| Color                                      |             |             |
| Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]           | 19.5        | 18          |
| Saturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ] | 18          | 18          |
| Immediate Settlement                       | Enabled     | Enabled     |
| Es [kPa]                                   | 60000       | 130000      |
| Es bottom [kPa]                            | 130000      |             |
| Esur [kPa]                                 | 60000       | 130000      |
| Esur bottom [kPa]                          | 130000      |             |

**Query Lines**

| Line # | Start Location | End Location | Horizontal Divisions | Vertical Divisions |
|--------|----------------|--------------|----------------------|--------------------|
| 1      | -20, 0         | 30, 0        | 100                  | Auto: 43           |