

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 AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00  
GENERALE  
Relazione Geotecnica**

|                            |  |                  |       |            |
|----------------------------|--|------------------|-------|------------|
| GENERAL CONTRACTOR         |  | DIRETTORE LAVORI |       | SCALA<br>- |
| IL PROGETTISTA INTEGRATORE | Consorzio<br>Iricav Due<br>ing. Paolo Carmona<br>Data: Febbraio 2022 |                  | 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 | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | B | - | - | - | D | - | - | - |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

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

Progettazione:

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

|                 |                      |                             |
|-----------------|----------------------|-----------------------------|
| CIG. 8377957CD1 | CUP: J41E91000000009 | File: IN1712EI2RBRI6200001B |
|                 |                      | Cod. origine:               |





Progetto cofinanziato  
dalla Unione Europea

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

|  |   |             |                             |                   |
|--|---|-------------|-----------------------------|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                   |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>2 di 71 |

## 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 .....   | 5  |
| 3     | INQUADRAMENTO DELL'OPERA .....                                   | 7  |
| 3.1   | Geometria del rilevato.....                                      | 7  |
| 4     | CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....                               | 8  |
| 4.1   | Indagini disponibili.....  | 8  |
| 4.2   | Inquadramento stratigrafico .....                                | 9  |
| 4.3   | Livello di falda .....   | 10 |
| 4.4   | Condizioni geotecniche del sito .....                            | 11 |
| 4.5   | Sintesi del modello geotecnico di riferimento .....              | 19 |
| 4.5.1 | Materiale da rilevato.....                                       | 19 |
| 5     | CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE..... | 20 |
| 5.1   | Sollecitazione sismica di progetto.....                          | 20 |
| 5.1.1 | Vita Nominale.....   | 20 |
| 5.1.2 | Classe d'uso .....   | 20 |
| 5.1.3 | Periodo di riferimento per l'azione sismica .....                | 21 |
| 5.1.4 | Categorie di Sottosuolo .....                                    | 21 |
| 5.1.5 | Condizioni topografiche .....                                    | 21 |
| 5.1.6 | Accelerazione sismica di riferimento .....                       | 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 |
| 5.3   | Risultati delle verifiche a liquefazione.....                    | 29 |
| 6     | VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO .....                           | 31 |
| 6.1   | Criteri di verifica agli Stati Limite.....                       | 31 |
| 6.1.1 | Stati limite ultimi (SLU).....                                   | 31 |
| 6.1.2 | Stati limite di esercizio (SLE) .....                            | 33 |
| 6.1.3 | Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche .....           | 33 |
| 6.2   | Azioni di progetto .....   | 33 |
| 6.2.1 | Azioni permanenti .....  | 34 |

|  |   |             |                             |                   |
|--|---|-------------|-----------------------------|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                   |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>3 di 71 |

|  |  |    |
|--|--|----|
| 6.2.2  | Azioni variabili .....                     | 34 |
| 6.2.3  | Azione sismica .....                       | 34 |
| 6.3  | Verifiche e risultati SLU .....            | 35 |
| 6.3.1  | Premessa .....                             | 35 |
| 6.3.2  | Verifiche SLU in condizione statiche ..... | 35 |
| 6.3.3  | Verifiche SLU in condizioni sismiche ..... | 36 |
| 6.4  | Verifica e risultati SLE .....             | 38 |
| 7  | CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....        | 42 |
| Allegati .....   |  | 43 |
| ALLEGATO 1 – PROFILO STRATIGRAFICO .....                   |  | 44 |
| ALLEGATO 2 – SONDAGGI .....                                |  | 46 |
| ALLEGATO 3 – TABULATI DI SLIDE - ANALISI SLU STATICO ..... |  | 50 |
| ALLEGATO 4 – TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICO ..... |  | 59 |
| ALLEGATO 5 – TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE .....     |  | 68 |

|  |   |             |                             |                   |
|--|---|-------------|-----------------------------|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                   |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>4 di 71 |

## 1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI62, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende tra il km 32+130,00 ed il km 32+525,00.

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 verificare la stabilità dei rilevati ed il rispetto dei requisiti prestazionali previsti per le opere in oggetto.

Il documento è così organizzato:

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

|   |  |             |                             |                   |
|---|--|-------------|-----------------------------|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                   |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica  | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>5 di 71 |

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni di Progetto Esecutivo
- [2] IN1710EI2RBGE0000003A Relazione Geotecnica (da 21+990 a 33+500)
- [3] IN1710EI2LZGE0000019A Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico 8 di 11
- [4] IN1710EI2RHGE0000006A Relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base 2/2
- [5] IN1710EI2P5GE0000008A Planimetrie con classificazione sismica del territorio 8 di 11
- [6] IN1710EI2RHGE0000004A Relazione idrogeologica 2/2
- [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

|   |  |             |                             |                   |
|---|--|-------------|-----------------------------|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                   |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica  | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>6 di 71 |

- [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] 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.
- [30] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982), “Ground motions and soil liquefaction during earthquakes”, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA.
- [31] 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.
- [32] 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.
- [33] Rocscience (2017), Slide ver 7.0, 2017
- [34] Rocscience (2009), Settle 3D ver 2.0, 2009



|   |  |             |                             |                   |
|---|--|-------------|-----------------------------|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                   |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica  | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>8 di 71 |

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 4.1 Indagini disponibili

L'ubicazione planimetrica delle indagini disponibili relative all'opera esaminata è illustrata nella Figura 2 - Planimetria Rilevato RI62, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [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. Nei paragrafi che seguono si riporta la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica, ottenuta basandosi sui risultati delle indagini relative all'area di interesse e sulla caratterizzazione generale dell'area in cui si inserisce il rilevato, presentata nella Relazione Geotecnica (Doc. Rif. [2]).

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

*Tabella 1 - Indagini da pk 32+130 a pk 32+525*

| Progressiva<br>pk | ID indagini<br>- | Campagna<br>anno |
|-------------------|------------------|------------------|
| 32+236            | BH-DH-PE-65      | 2020-2021        |
| 32+366            | MASW-PE-16       | 2020-2021        |



|  |   |             |                             |                   |
|--|---|-------------|-----------------------------|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                   |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>9 di 71 |

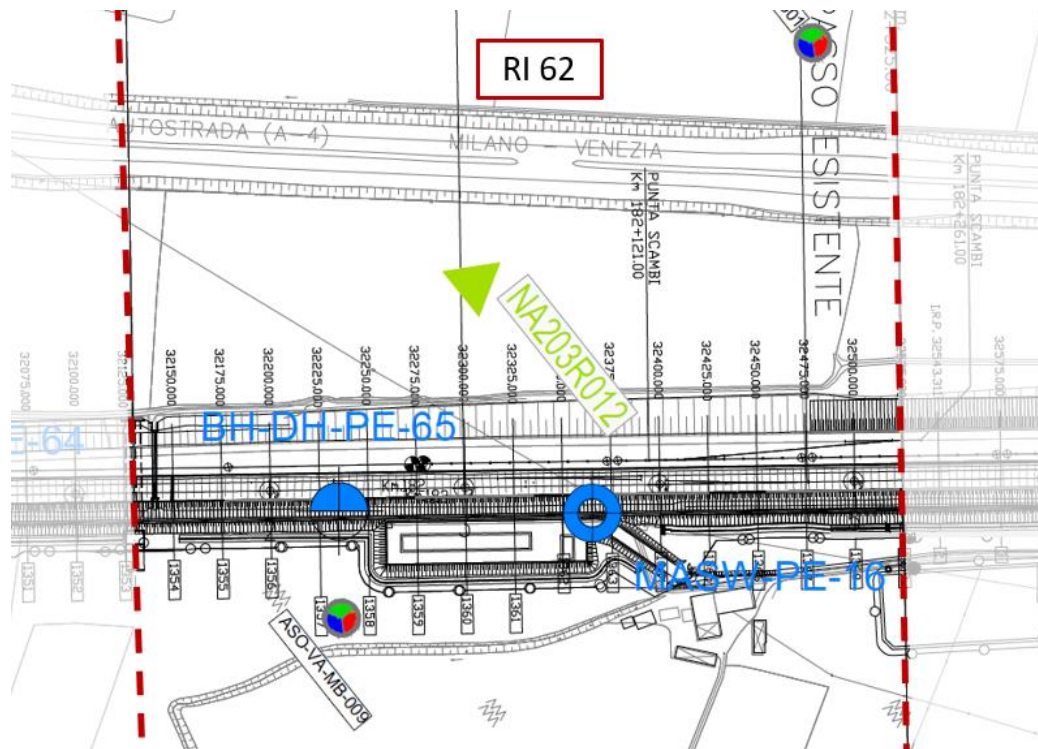


Figura 2 - Planimetria Rilevato RI62, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

## 4.2 Inquadramento stratigrafico



La tratta relativa al rilevato in esame si estende dalla progressiva pk 32+130,00 alla pk 32+525,00.

Dal punto di vista geotecnico, la zona è generalmente interessata dalla presenza di ghiaie ben addensate (Unità 6) da pc ad una profondità di circa 9-10 m, sovrastanti uno strato di limi argillosi (Unità 3) spesso circa 2.5 m. Sotto questo strato di limi argillosi si ritrovano le ghiaie fino a 45 m pc. Si segnala anche la presenza di una lente di limi argillosi (Unità 2) spessa 2-3 m a profondità di 35 m in corrispondenza del BH-PE-65 .

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 3 si riporta il profilo geotecnico specifico per il rilevato RI62, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 8 di 11 (Doc. Rif. [3]),.

|  |  |             |                             |                    |
|--|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>10 di 71 |

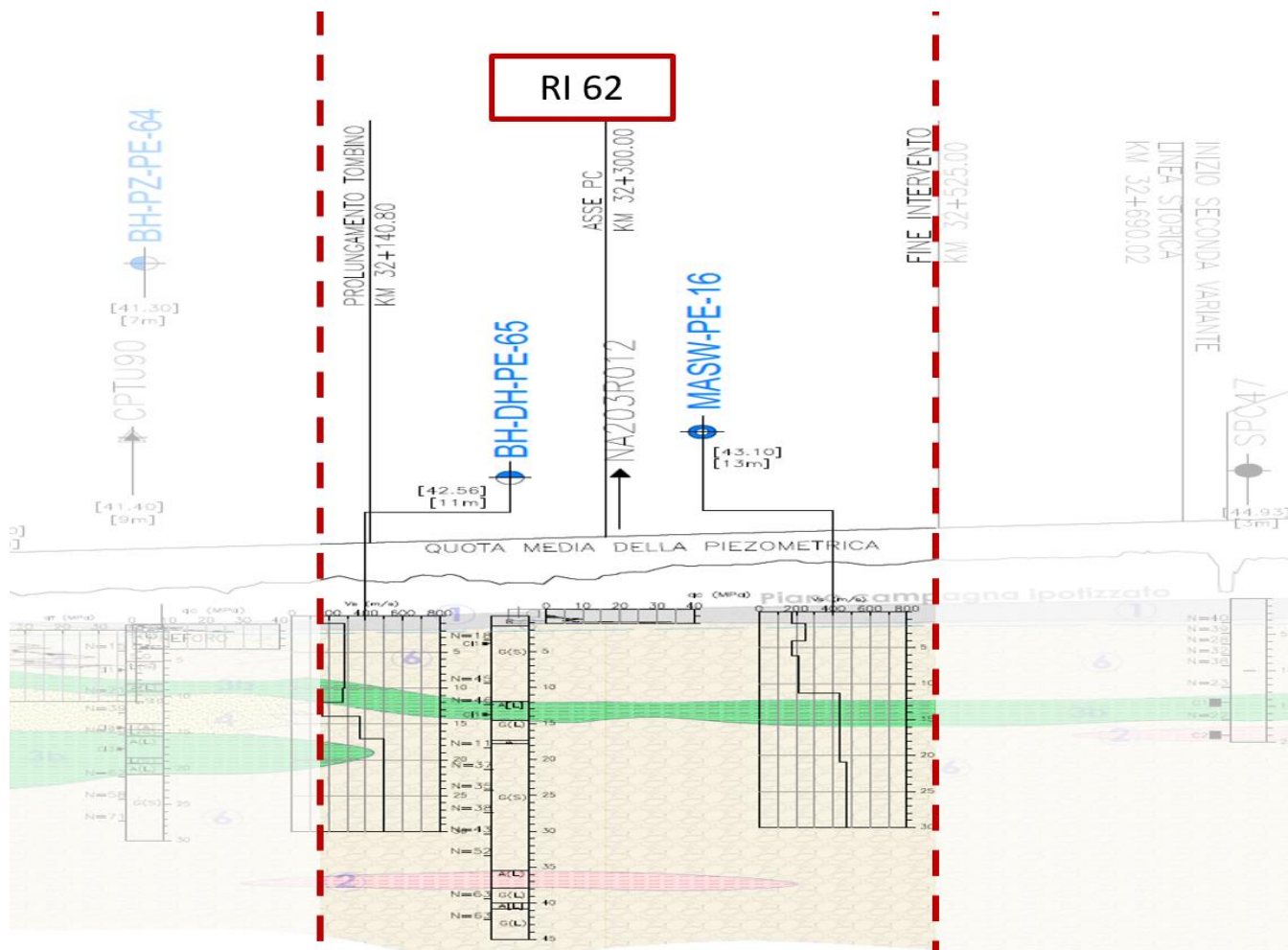




Figura 3 - Profilo Geotecnico Rilevato RI62, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

### 4.3 Livello di falda

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

Ai fini progettuali si assume:

- falda di progetto a medio termine: -1 m da piano campagna;
- falda di progetto a lungo termine: -1 m da piano campagna.

|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica                                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>11 di 71 |

#### 4.4 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 è costituita da un sottile strato, spesso circa 1.5 m, di terreno di riporto (Unità 1). Tale materiale risulta ghiaioso/sabbioso al disotto dei primi 50 cm. Pertanto, alla luce dei dati disponibili, si ritiene che, una volta effettuato lo scotico, il materiale possa essere adeguatamente compattato, raggiungendo i requisiti prestazionali per i terreni di imposta dei rilevati.

Procedendo con la profondità si incontra uno strato di ghiaie e ghiaie sabbiose ben addensate (Unità 6), che si estende fino a 12 m ca. da pc. All'interno del deposito incoerente le percentuali di materiale a grana fine sono generalmente inferiori a 10% e si registrano valori di  $N_{SPT}$  mediamente pari a 40 colpi/30cm, con valori anche superiori a 50 colpi/30cm in profondità. La densità relativa delle ghiaie risulta generalmente variabile fra il 40 e il 70% e quindi il deposito risulta da mediamente addensato ad addensato.

Più in profondità, si incontra uno strato di argilla limosa (unità 3) spesso 2 m, come evidenziato anche da bassi valori di  $N_{SPT}$ . I valori di pocket penetrometer test sono compresi fra 75 e 125 kPa. Le prove triassiali forniscono una  $c_u$  di 50 kPa.

Il profilo di  $V_s$  derivante dalle interpretazioni discusse nella Relazione Sismica (Doc. Rif. [4]), basata sui risultati delle prove DH, MASW e infine SPT, conferma la presenza di materiali incoerenti da mediamente a molto addensati. Fino a 10 m pc, per le ghiaie si stimano valori di  $V_s$  crescenti e compresi tra 150 m/s e 240 m/s. A profondità maggiori, le velocità sono da considerarsi pressoché costanti – variano tra 300 m/s e 420 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 350 MPa.

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

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

- 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);

|  |  |             |                             |                    |
|--|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br> <b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>12 di 71 |

- 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 Vs (v. Figura 9).

Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI6200001B

Foglio

13 di 71

## AV/AC VERONA VICENZA

RI 62 da pk 32+130 a pk 32+525

Contributi granulometrici (%)

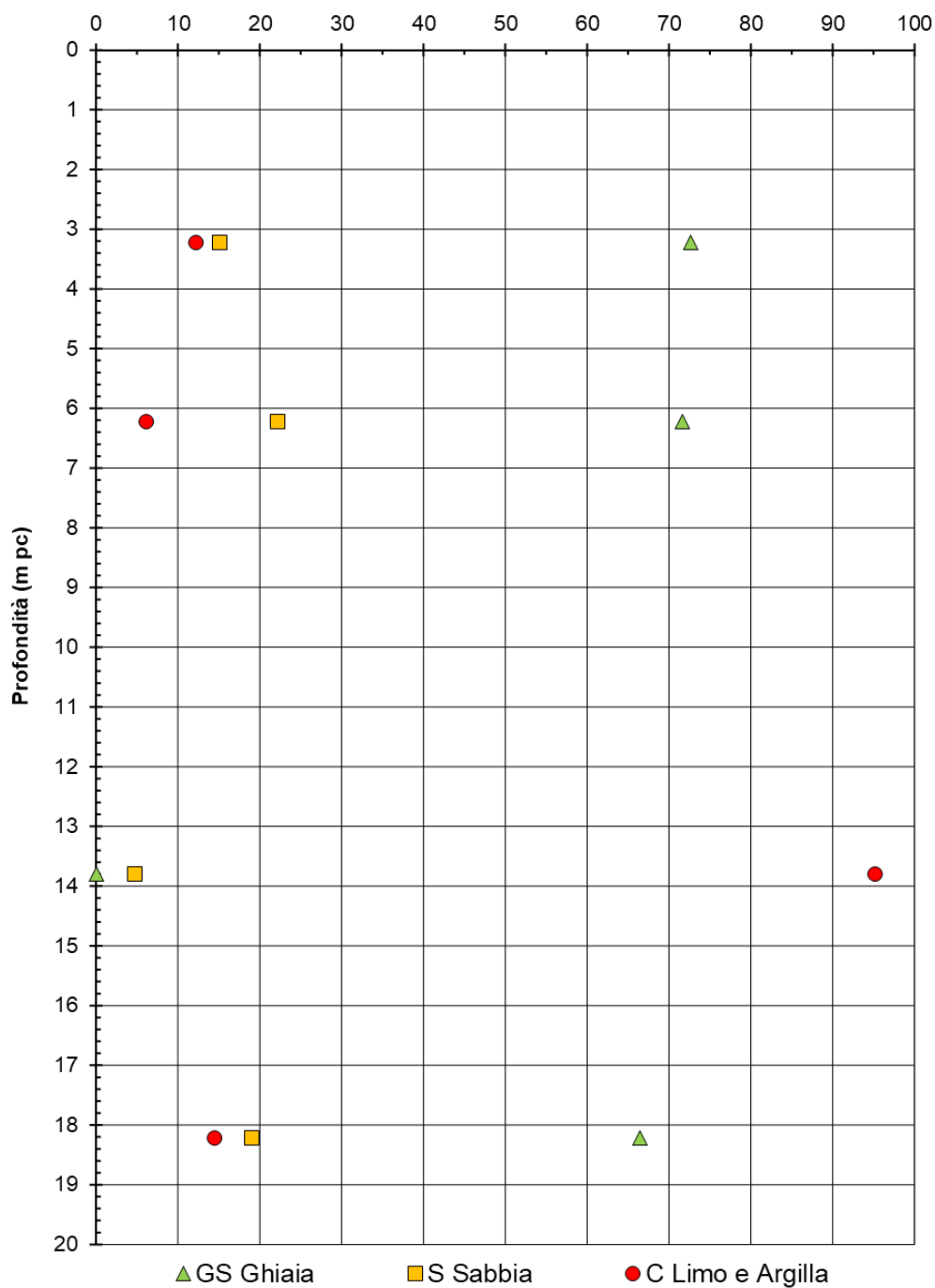


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche tra pk 32+130 a pk 32+525

**AV/AC VERONA VICENZA**

RI 62 da pk pk 32+130 a pk 32+525

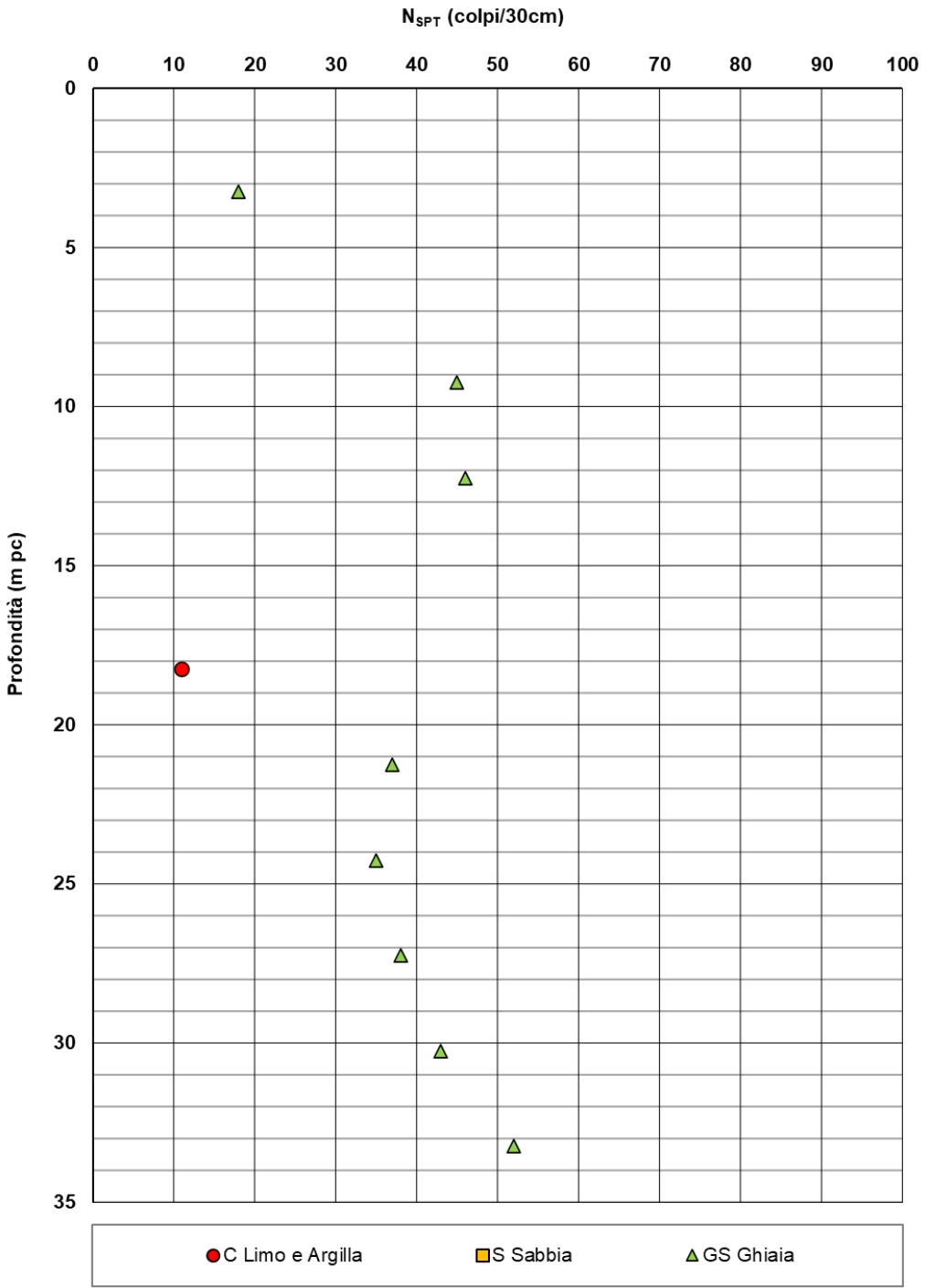


Figura 5 – Esito delle prove SPT tra pk 32+130 a pk 32+525

**AV/AC VERONA VICENZA**

**RI 62 da pk pk 32+130 a pk 32+525**

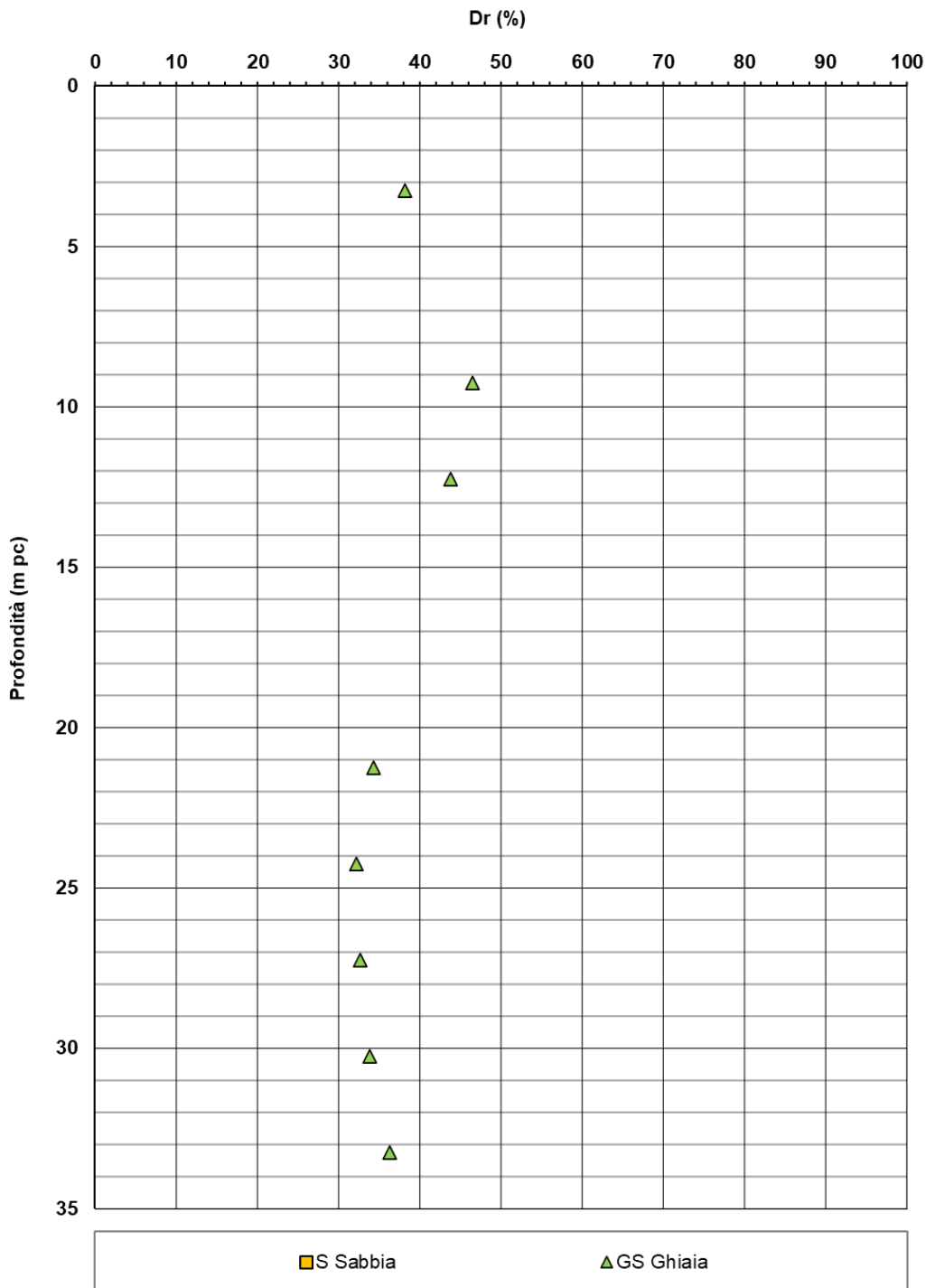


Figura 6 – Densità relativa da prove SPT tra pk 32+130 a pk 32+525

**AV/AC VERONA VICENZA**

RI 62 da pk pk 32+130 a pk 32+525

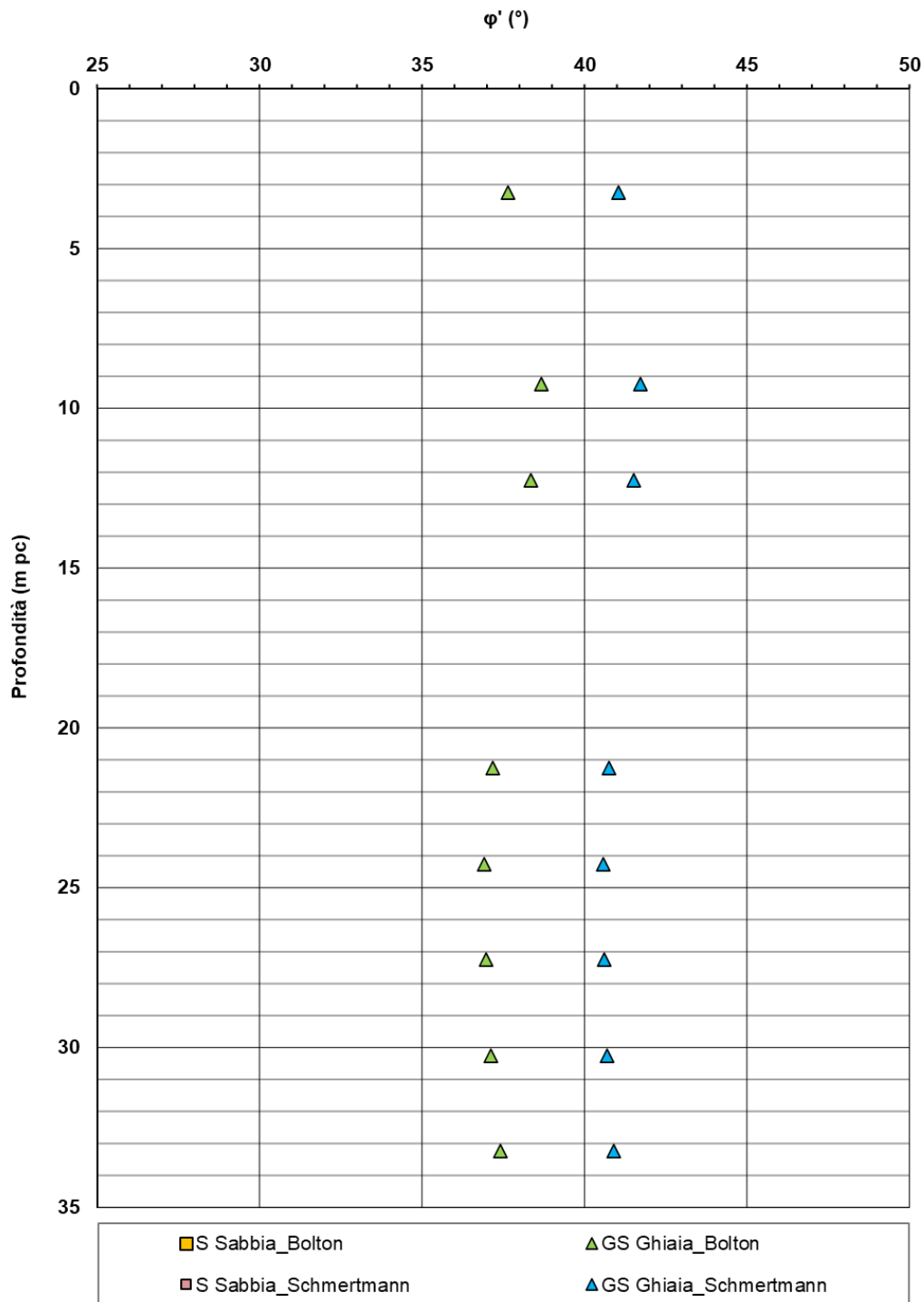



Figura 7 – Angoli di attrito da prove SPT tra pk 32+130 a pk 32+525



|  |  |             |                             |                    |
|--|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>17 di 71 |

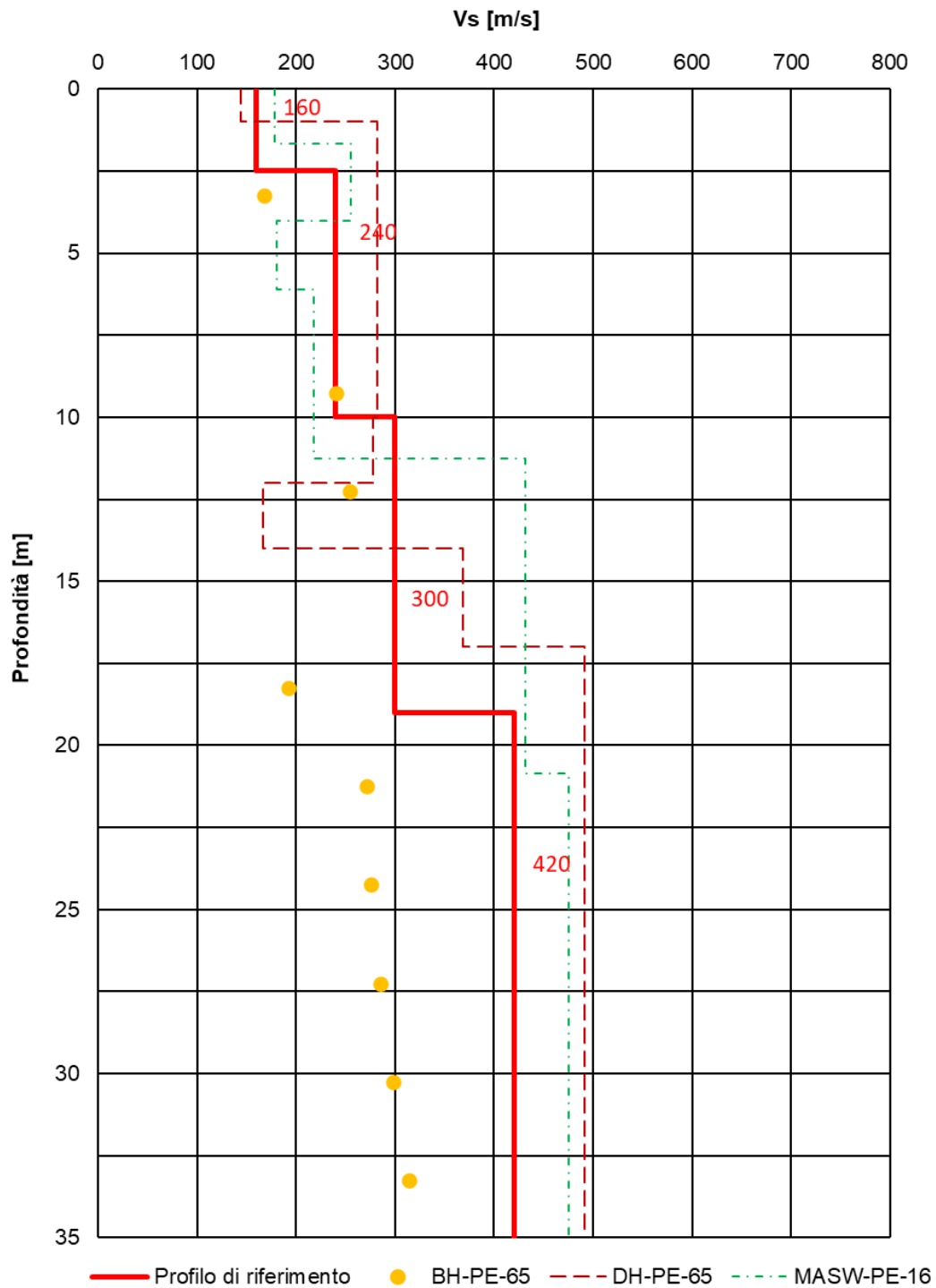


Figura 8 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW tra pk 32+130 e 32+525

**AV/AC VERONA VICENZA**

pk 32+130 - pk 32+525

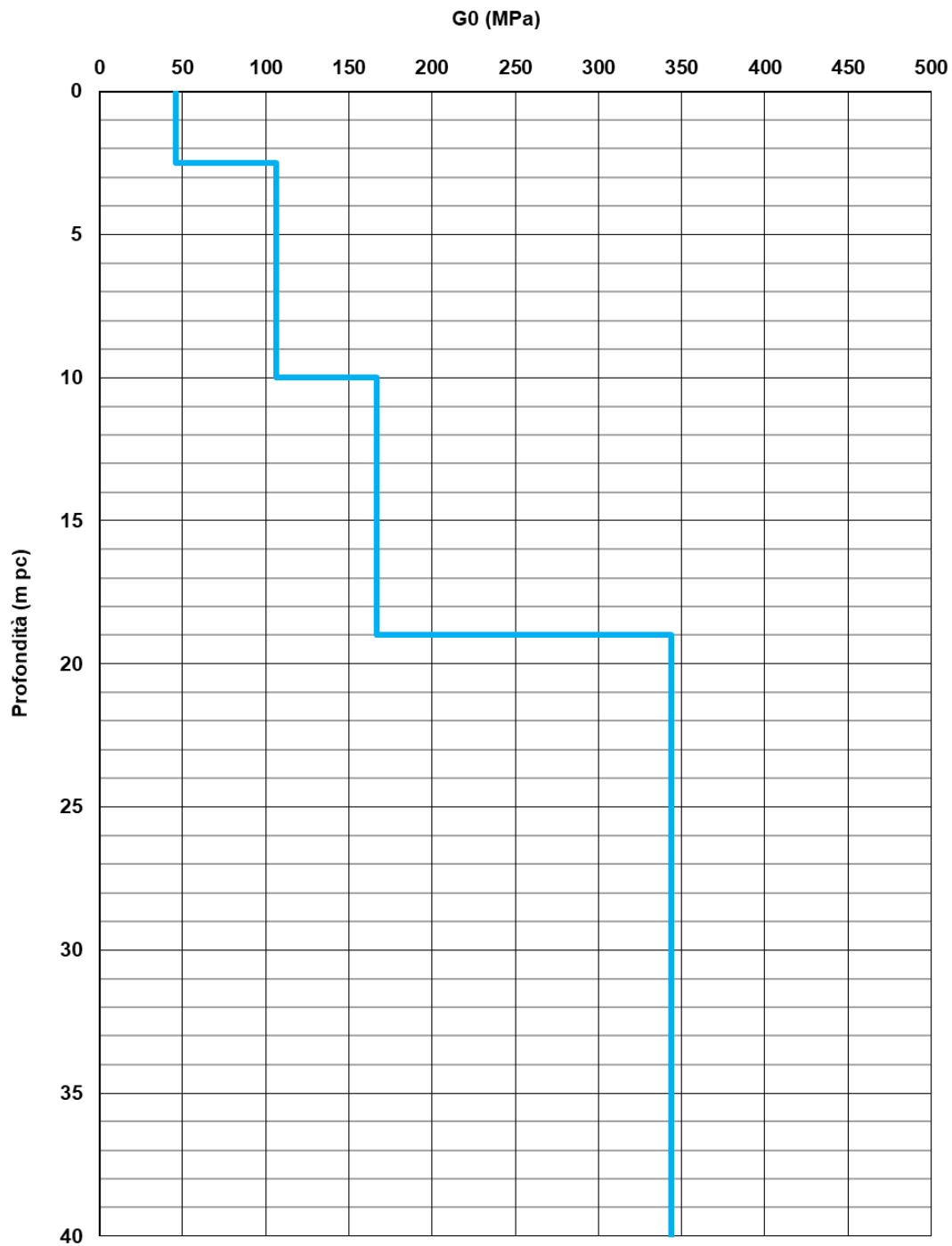


Figura 9 – Modulo di taglio G<sub>0</sub> tra pk 32+130 e 32+525

|  |   |             |                             |                    |
|--|---|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>19 di 71 |

## 4.5 Sintesi del modello geotecnico di riferimento

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

Tabella 2 – Modello geotecnico di riferimento

| Unità | da<br>m pc* | a<br>m pc* | $\gamma$<br>kN/m <sup>3</sup> | $\varphi_k$<br>° | $c_{u,k}$<br>kPa | RR   | CR   | OCR | $G_0$<br>MPa | $E'_{op}$<br>MPa |
|-------|-------------|------------|-------------------------------|------------------|------------------|------|------|-----|--------------|------------------|
| 1     | 0           | 2          | 19                            | 37               | -                | -    | -    | -   |              | 20               |
| 6     | 2           | 12.5       | 19                            | 39               | -                | -    | -    | -   | 120-180**    | 80               |
| 3b    | 12.5        | 15         | 18.5                          | 28               | 50               | 0.02 | 0.16 | 1.8 | -            | -                |
| 6     | 15          | 35.5       | 19                            | 38               | -                | -    | -    | -   | 170-350**    | 200              |
| 2     | 35.5        | 38.3       | 19                            | 28               | 120-150          | -    | -    | -   | -            | 30               |
| 6     | 38.3        | -          | 19                            | 38               | -                | -    | -    | -   | 350          | 200              |

\* quota piano campagna = 42,80 m s.l.m.

\*\* valori crescenti con la profondità

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

### 4.5.1 Materiale da rilevato

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

Tabella 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><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica  | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>20 di 71 |

## 5 CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

### 5.1 Sollecitazione sismica di progetto

#### 5.1.1 Vita Nominale

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

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

Tabella 4 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

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

#### 5.1.2 Classe d'uso

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

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

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



|  |   |             |                             |                    |
|--|---|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>21 di 71 |

Tabella 5 – Valori del coefficiente di uso  $C_u$

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

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

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

### 5.1.4 Categorie di Sottosuolo



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

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

### 5.1.5 Condizioni topografiche

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

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

|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica                                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>22 di 71 |

### 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)   | 0.214 |
| Coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_s$                  | 1.388 |
| Coefficiente di amplificazione topografica $S_t$                    | 1.0   |
| Accelerazione massima attesa al suolo                               |       |
| $a_{max}$ (g) ( $a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$ ) | 0.297 |

## 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. [4]).

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 6.5.

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

|  |   |             |                             |                    |
|--|---|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica                                     | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>23 di 71 |

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

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

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

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

dove:

$a_{max}$                     accelerazione di picco al sito

$g$                             accelerazione di gravità

$\tau_c$                         valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

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

$\sigma'_{vo}$                     tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni efficaci

$r_d$                         coefficiente di riduzione dello sforzo di taglio ciclico in funzione della profondità da piano campagna, calcolato come segue in accordo a Blake (Blake, 1996, riportato da Youd et al., 2001):

$$r_d = \frac{1 - 0.4113 \cdot z^{0.5} + 0.04052 \cdot z + 0.001753 \cdot z^{1.5}}{1 - 0.4177 \cdot z^{0.5} + 0.05729 \cdot z - 0.006205 \cdot z^{1.5} + 0.00121 \cdot z^2}$$

CSR può essere messo in relazione al numero di cicli significativi dell'azione sismica, funzione della magnitudo M. Per  $M \neq 7.5$  è necessario introdurre un fattore di scala della magnitudo MSF così definito:

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

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

|  |   |             |                             |                    |
|--|---|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica                                     | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>24 di 71 |

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  $M = 6.5 - MSF = 1.7$ .

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

### 5.2.1 CRR da correlazione su prove CPT

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

Il procedimento utilizzato per la stima di CRR a partire dai risultati di prove CPT si basa sulla relazione riportata in Figura 10: la curva in figura si riferisce alla resistenza penetrometrica normalizzata  $q_{c1N}$  per le sabbie pulite che può essere espressa come segue (Robertson & Wride, 1998, come riportato da Youd et al., 2001):

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

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



|   |   |             |                             |                    |
|---|---|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica  | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>25 di 71 |

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:

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

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

$$\text{for } I_c \leq 1.64 \quad K_c = 1.0$$

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

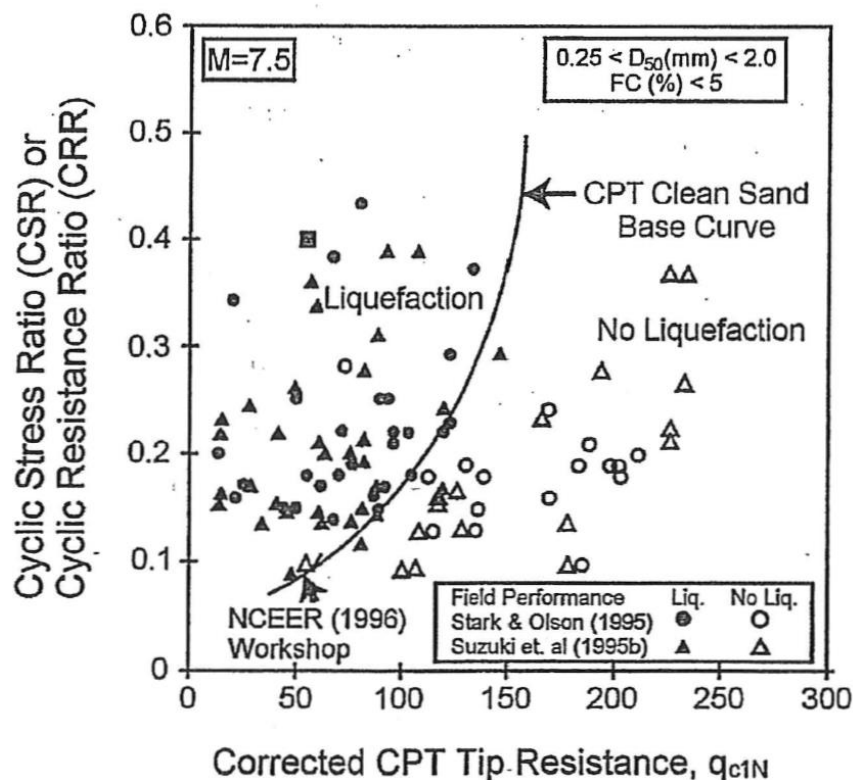


Figura 10 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta  $q_{c1N}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

|   |   |             |                             |                    |
|---|---|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica  | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>26 di 71 |

### 5.2.2 CRR da correlazione su prove SPT

Il procedimento utilizzato per la stima di CRR a partire dai risultati di prove SPT si basa sulla relazione riportata in Figura 11 originariamente proposta da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), e successivamente confermata da Youd et al. (2001).

In Figura 11, i risultati delle prove SPT sono espressi in termini di numero di colpi corretti  $N_{1(60)}$ , ossia i valori sono normalizzati per una pressione verticale efficace pari a 100 kPa e corretti per un valore standard di energia trasmessa (60% del valore nominale) come segue:

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

dove:

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

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

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

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

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

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

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

Sempre in Figura 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 sismici 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.

|  |   |             |                             |                    |
|--|---|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica                                     | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>27 di 71 |

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 liquefacenti, a causa della loro elevata densità.

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

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

In cui:

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

|   |   |                     |                                     |                            |
|---|---|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p> | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR<br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> |                     |                                     |                            |
| <p>Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br/>Relazione Geotecnica</p>                                    | <p>Progetto<br/>IN17</p>  | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI6200001B</p> | <p>Foglio<br/>28 di 71</p> |

$p_a$  = 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):

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

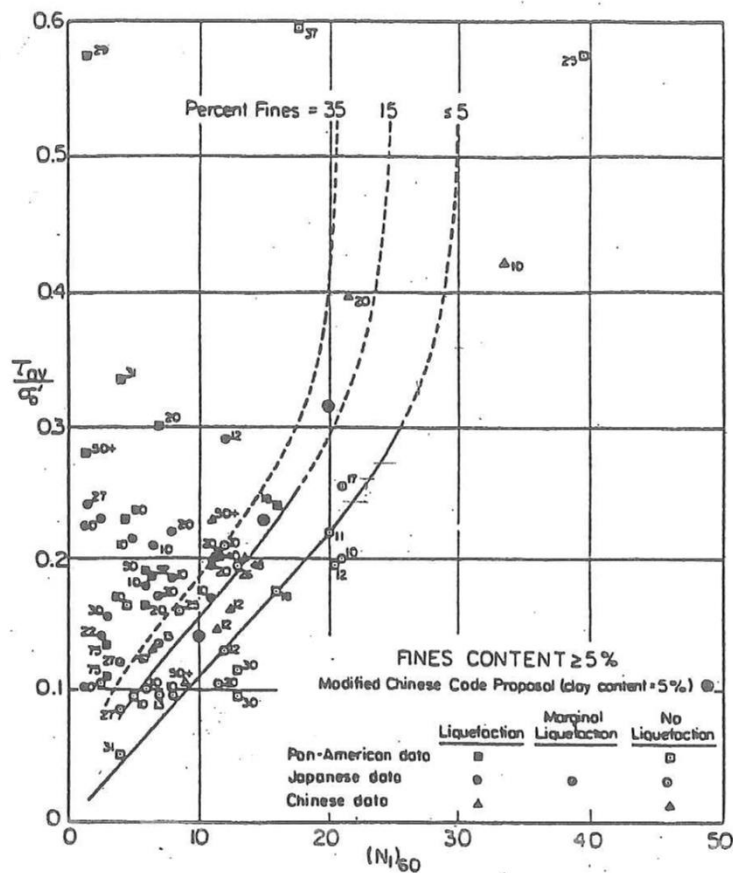


Figura 11 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e  $N1(60)$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

|  |  |             |                             |                    |
|--|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br> | ALTA SORVEGLIANZA<br> |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica                         | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>29 di 71 |

### 5.3 Risultati delle verifiche a liquefazione

I risultati (cfr. Figura 12 ) indicano come non si evidenzino rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI62, in linea con gli stati di addensamento e le granulometrie descritte in precedenza.



Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00  
Relazione Geotecnica

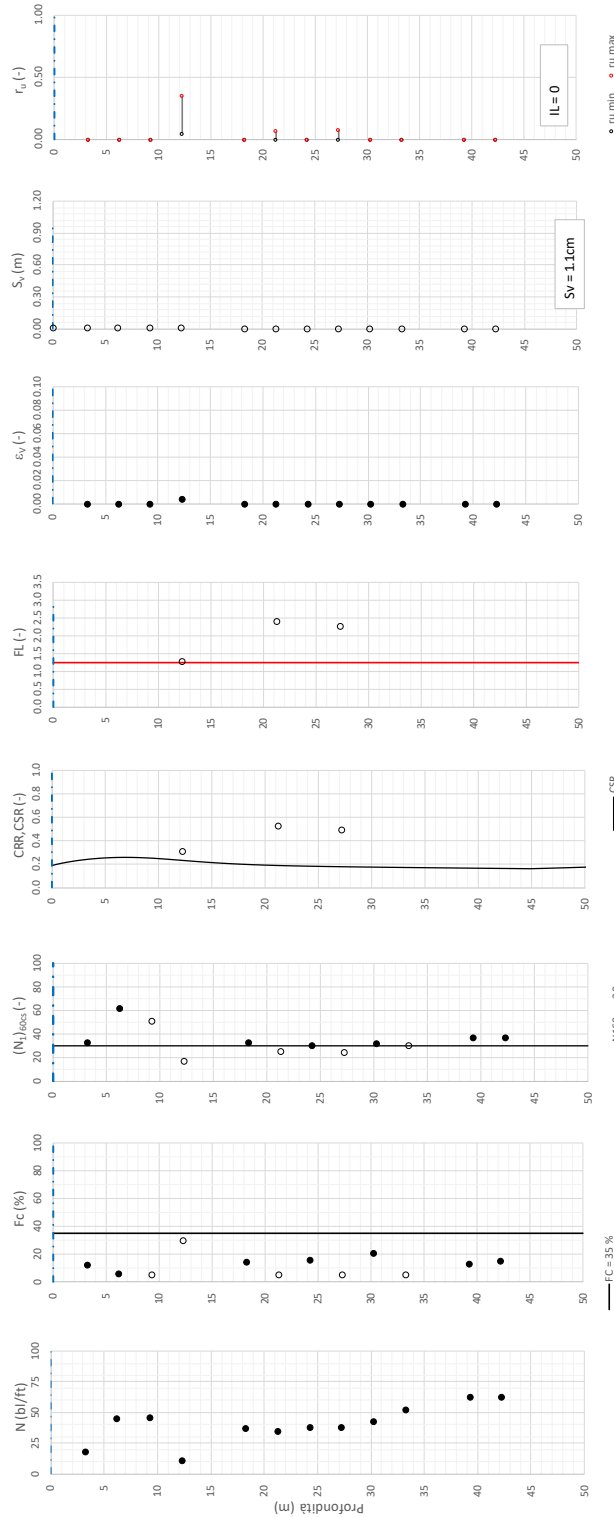
Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI6200001B



Foglio  
30 di 71

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova BH-PE-65 Pr. 32+350  
a\_max = 0.297g M\_calc = 6.5 MSF = 1.7 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 4m



Foglio verifica a liquidazione Neg. n. 102

Figura 12 – Verifica Liquefazione da risultati SPT BH-PE-65

|  |   |             |                             |                    |
|--|---|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>31 di 71 |

## 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

|  |  |             |                             |                    |
|--|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>32 di 71 |

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<br>APPLICARE IL<br>COEFFICIENTE PARZIALE | COEFFICIENTE<br>PARZIALE<br>$\gamma_M$ | (M1) | (M2) |
|---|---|--|------|------|
| <i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i> | $\tan \phi'_k$  | $\gamma_{\phi'}$                       | 1,0  | 1,25 |
| <i>Coesione efficace</i>                            | $c'_k$  | $\gamma_c$                             | 1,0  | 1,25 |
| <i>Resistenza non drenata</i>                       | $c_{uk}$  | $\gamma_{cu}$                          | 1,0  | 1,4  |
| <i>Peso dell'unità di volume</i>                    | $\gamma$  | $\gamma_\gamma$                        | 1,0  | 1,0  |

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

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



|  |   |             |                             |                    |
|--|---|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>33 di 71 |

### 6.1.2 Stati limite di esercizio (SLE)

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

In particolare, successivamente al completamento del ballast, e per la durata della vita utile dell'opera (100 anni) i cedimenti residui devono essere inferiori a 5 cm.

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

Tabella 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>$SCARTXL \leq 6$                | $\Delta H \leq 10$<br>$SCARTXL \leq 4$               |
| 2° livello di qualità  | $10 < \Delta H \leq 15$<br>$6 < SCARTXL \leq 10$      | $10 < \Delta H \leq 15$<br>$4 < SCARTXL \leq 8$      |
| 3° livello di qualità esecuzione a breve termine anche in relazione ai limiti di sghembo (2)   | $15 < \Delta H \leq 20$ (1)<br>$10 < SCARTXL \leq 14$ | $15 < \Delta H \leq 20$ (1)<br>$8 < SCARTXL \leq 12$ |
| (1) il valore di $\Delta H$ può essere ammesso solo a seguito di una verifica di assenza di problemi di sagoma (gallerie, interasse, posizione linea di contatto ecc.) |   |  |
| (2) ATTENZIONE al rispetto delle condizioni di lavorabilità del binario previste dalla Norma sulla l.r.s.  |   |  |

### 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.

|  |   |             |                             |                    |
|--|---|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>34 di 71 |

### 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><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica                                     | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>35 di 71 |

## 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. [33]). 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.



### 6.3.2 Verifiche SLU in condizione statiche

Il carico da traffico ferroviario (q), assunto pari a 61.4 k Pa, è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è di tipo variabile/sfavorevole, il coefficiente parziale sulle azioni è pari a 1.3. Per quanto riguarda la falda, è stata considerata la condizione a lungo termine e quindi è stato preso un livello a -1 m da piano campagna, come riportato nel paragrafo 4.3. Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

In Figura 13 sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2. Il valore minimo di FS è pari a:

$$FS_{\text{MIN}} (DA1C2) = 1.237 > R2 = 1.1$$

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

|  |  |             |                             |                    |
|--|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>36 di 71 |

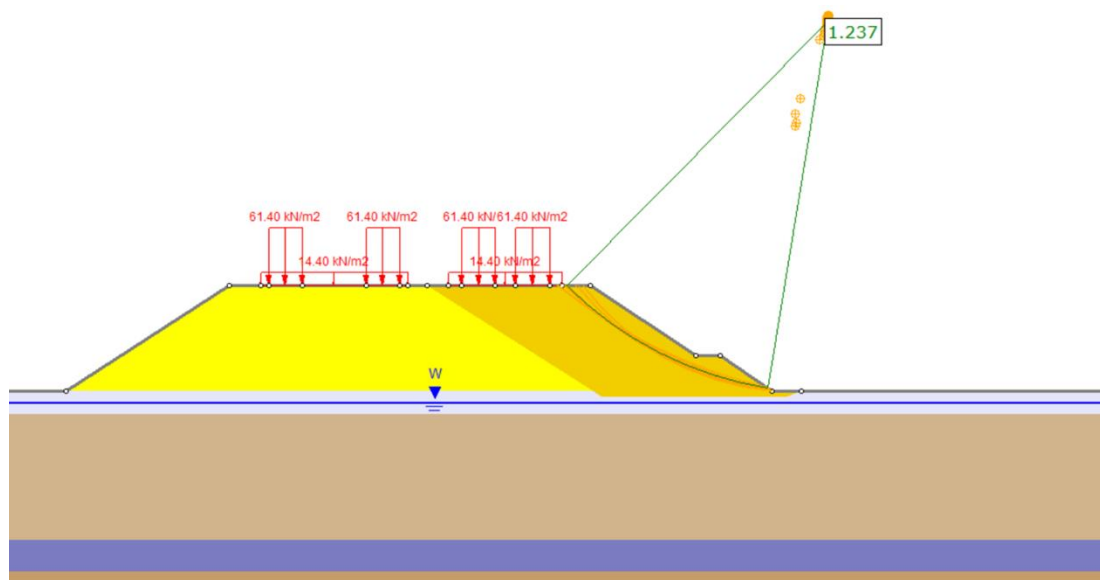


Figura 13 - Rilevato  $H=8.9$  m (da pk 32+130 a pk 32+525) - Analisi SLU in campo statico DA1C2

### 6.3.3 Verifiche SLU in condizioni sismiche

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

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

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

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 (A2) tutti pari ad uno. Per quanto riguarda la falda è stata considerata la condizione a medio termine e quindi è stato preso un livello coincidente a -4 m p.c., come riportato nel paragrafo 4.3. Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

In Figura 14 è riportata la superficie di rottura critica. Il fattore di sicurezza FS è pari a:

$$FS_{\text{MIN}} = 1.119 > R2 = 1.1$$

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

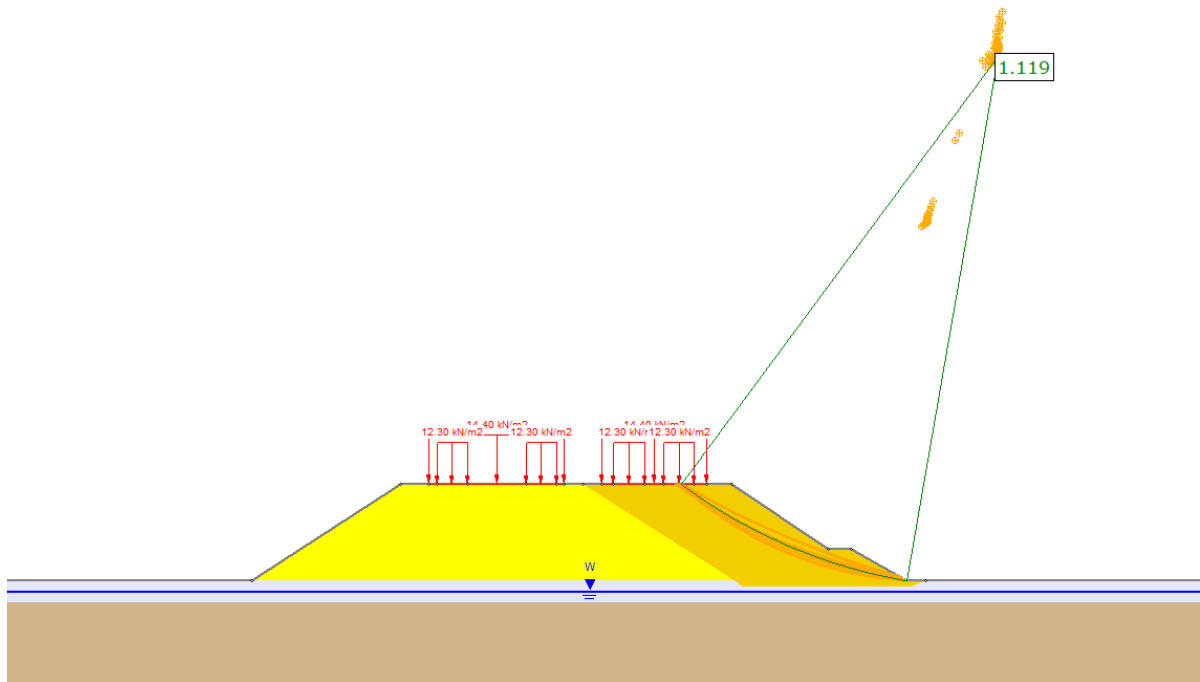




Figura 14 - Rilevato  $H=8.9$  m (da pk 32+130 a pk 32+525) - Analisi SLU in campo sismico

|  |   |             |                             |                    |
|--|---|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>38 di 71 |

## 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. [34]) 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.

Il calcolo dei cedimenti utilizza quindi le variazioni di tensione calcolate con questa ipotesi, e tenendo comunque conto delle diverse caratteristiche di deformabilità dei vari strati.

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

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

dove

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

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

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 8.90 m, valido tra le pk 32+130 e pk 32+525, è riportato in Figura 15. La larghezza del rilevato esistente è pari a 44 m, quella del rilevato in affiancamento di 15 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 15 a)
- Affiancamento rilevato nuova linea, vedi Figura 15 b)
- Completamento rilevato nuova linea (ballast), vedi Figura 15 c)

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 16, dove sono anche indicate le posizioni delle rotaie della linea storica e l'asse dei binari della linea AV. La Figura 17 riporta il profilo del cedimento con la profondità in corrispondenza del valore massimo del cedimento stesso, e pari a circa 6.5 cm.

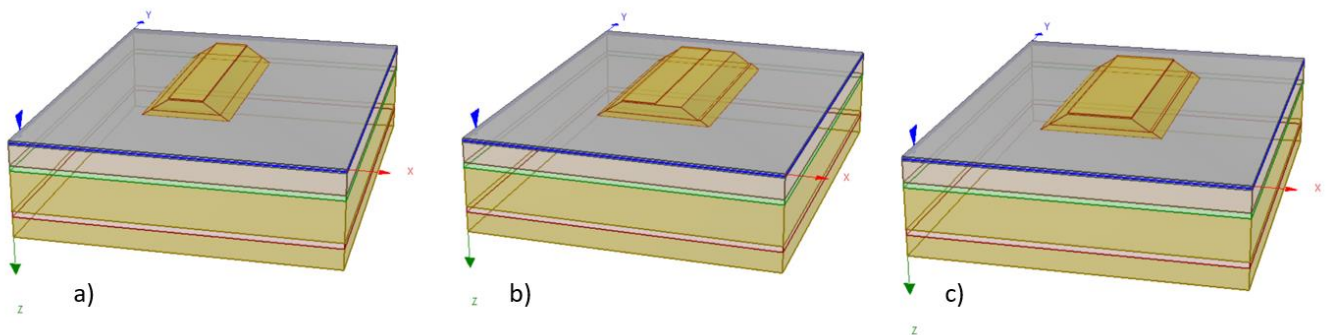
- Sulla base dell'analisi dei risultati si conclude quanto segue: Il cedimento max complessivo (a consolidazione avvenuta) è dell'ordine dei 6.5 cm, di cui 2.5 cm dovuti al cedimento dello strato argilloso. Tenendo conto che

|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica                                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>39 di 71 |

lo spessore dello strato di argilla è di circa 2,5m (2H) , è facile constatare che anche considerando valori del coefficienti consolidazione verticale da considerare prossimi ai minimi per questi materiali (dell'ordine di  $2 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ), si raggiungono percentuali di consolidazione dell'ordine del 90% in tempi dell'ordine dei 2-3 mesi dalla fine dell'applicazione dei carichi. I cedimenti in esercizio di tale strato, anche considerando un contributo di cedimento secondario, sono da considerarsi inferiori al centimetro.

- il restante contributo al cedimento è dovuto alla compressibilità di strati a grana grossa, e quindi da considerarsi immediato
- Se ne conclude quindi che il cedimento dalla fine della posa in opera del ballast, e per la durata utile dell'opera (100 anni) , sarà inferiore al limite di 5 cm.
- Il cedimento indotto sui binari della LS è dell'ordine di 1-2 mm, e quindi largamente inferiore i limiti definiti al punto 6.1.2.

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



*Figura 15 - Rilevato H=8.9 m (da pk 32+130 a pk 32+525) - Analisi SLE – Modello di calcolo*

**R162 : Cedimento dopo costruzione nuova linea AV**

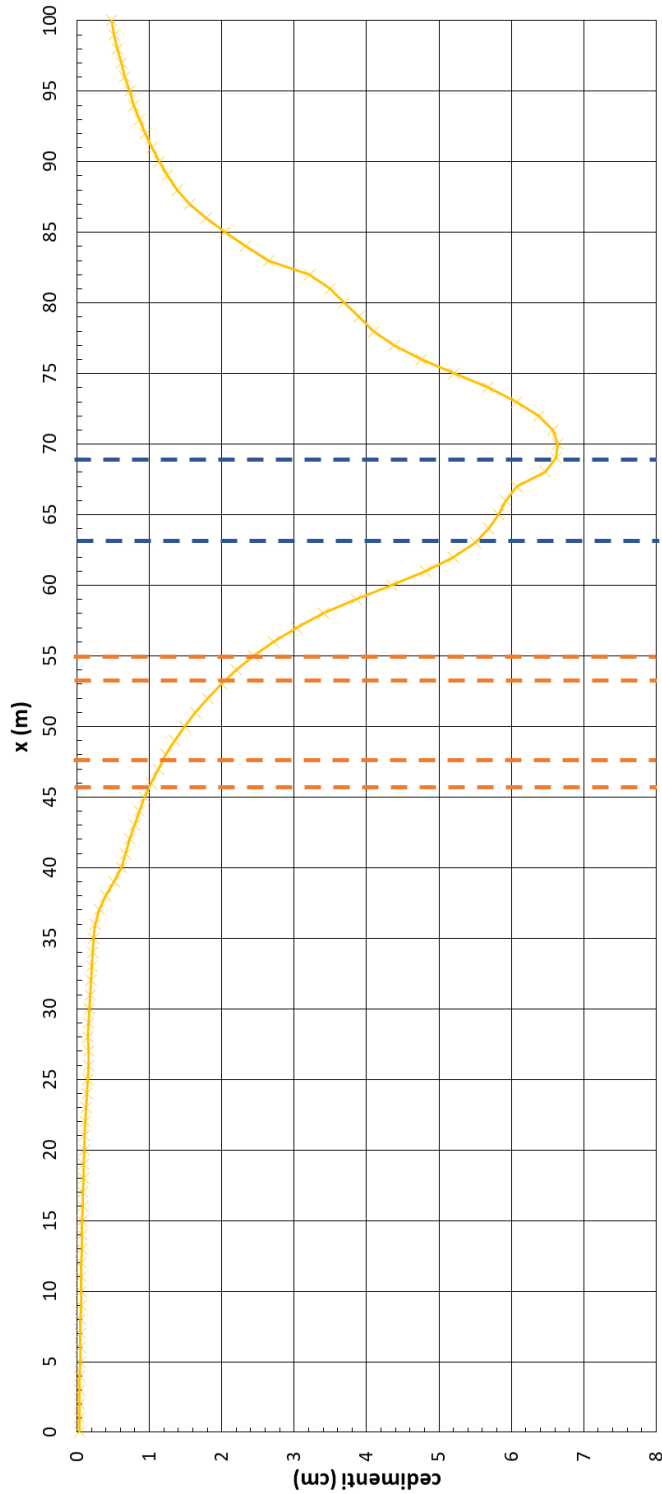


Figura 16 - Rilevato H=8.9 m (da pk 32+130 a pk 32+525) - Analisi SLE – Risultato Cedimenti



### Ri62 : Cedimento dopo costruzione nuova linea AV

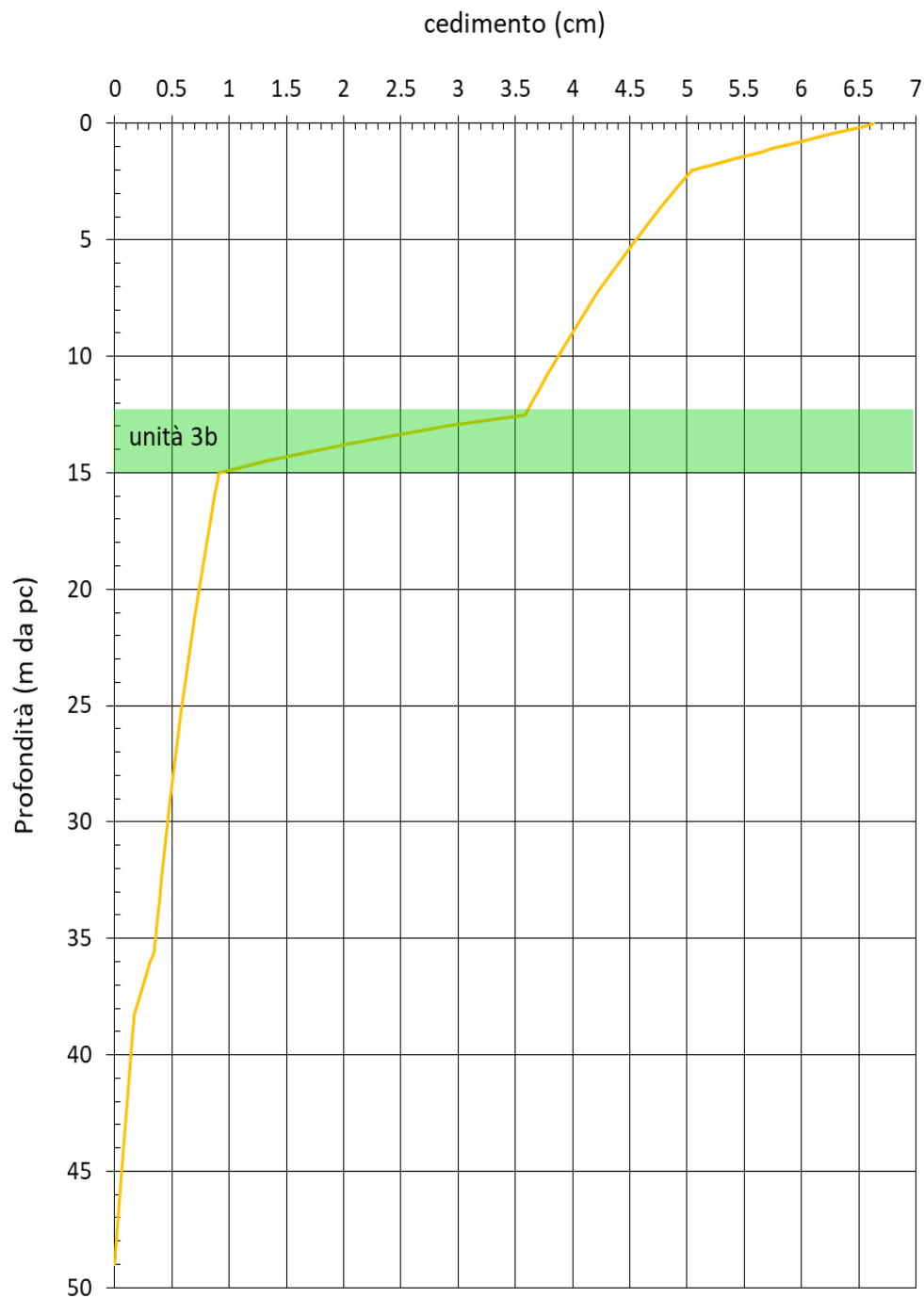


Figura 17 - Rilevato H=8.9 m (da pk 32+130 a pk 32+525) - Analisi SLE – Cedimento in funzione della profondità al centro del nuovo rilevato

|  |   |             |                             |                    |
|--|---|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>ITALFERR<br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica                                     | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>42 di 71 |



## 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.

Si segnala che nell'area del rilevato, alla 32+140, è prevista l'installazione di un doppio spingitubo (IN58) .

Al fine di consolidare il terreno a fronte del pozzo di spinta, e di assicurare così la corretta e sicura installazione del doppio spingitubo previsto in sua sostituzione, si prevede di realizzare un trattamento di irrigidimento del terreno di posa, installando 9 allineamenti longitudinali di inclusioni rigide D=1000 mm, delle quali 3 imbasati a quota inferiore in corrispondenza degli spingitubo e 4 lateralmente a rinfiancare gli spingitubo.

Si rimanda per i dettagli agli specifici elaborati di progetto di tracciamento dei consolidamenti dei terreni.

|  |  |                     |                                     |                            |
|--|--|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p><b>IRICAV2</b></p> | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  |                     |                                     |                            |
| <p>Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br/>Relazione Geotecnica</p>   | <p>Progetto<br/>IN17</p>   | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI6200001B</p> | <p>Foglio<br/>43 di 71</p> |

**ALLEGATI**

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



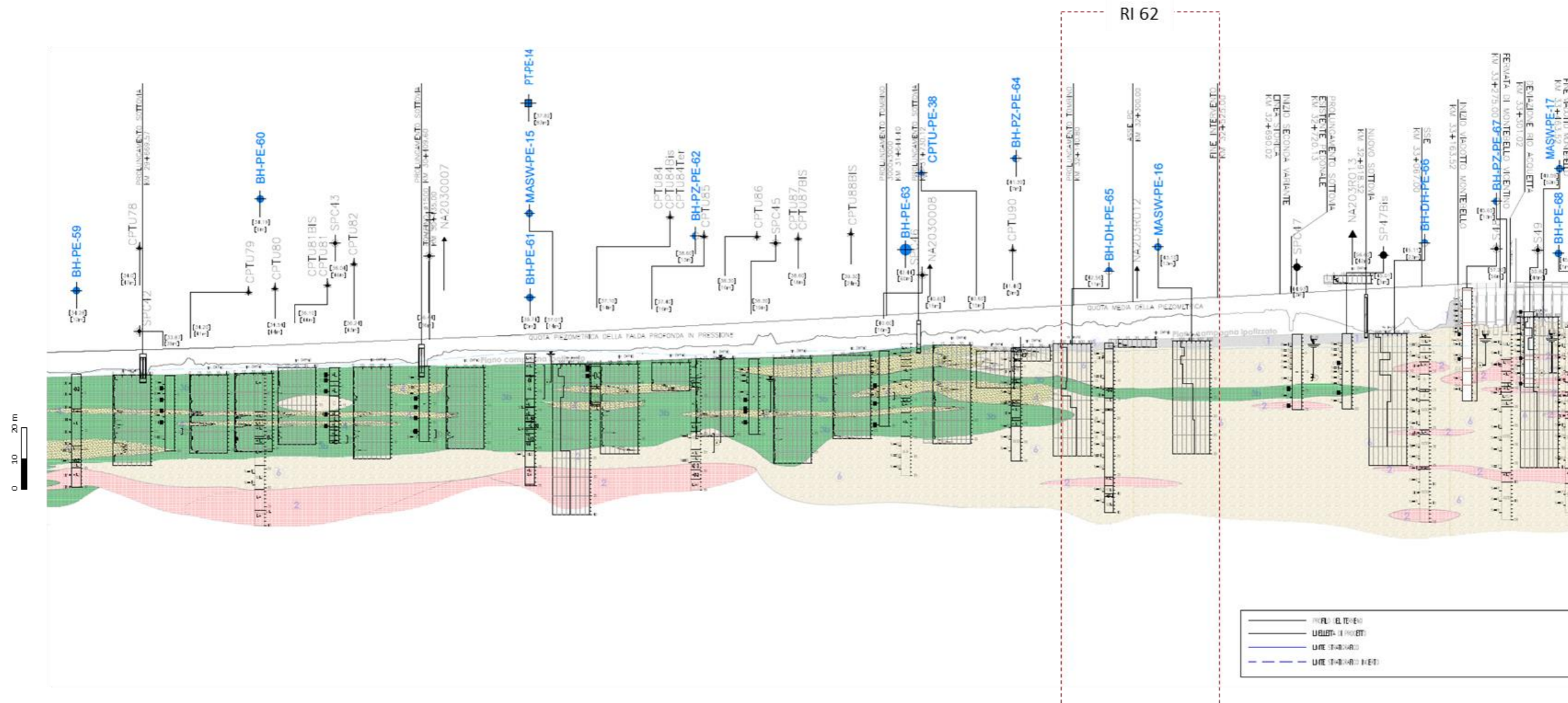
|  |                  |             |                             |                    |
|--|------------------|-------------|-----------------------------|--------------------|
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica | Progetto<br>IN17 | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>44 di 71 |
|--|------------------|-------------|-----------------------------|--------------------|

## ALLEGATO 1 – PROFILO STRATIGRAFICO

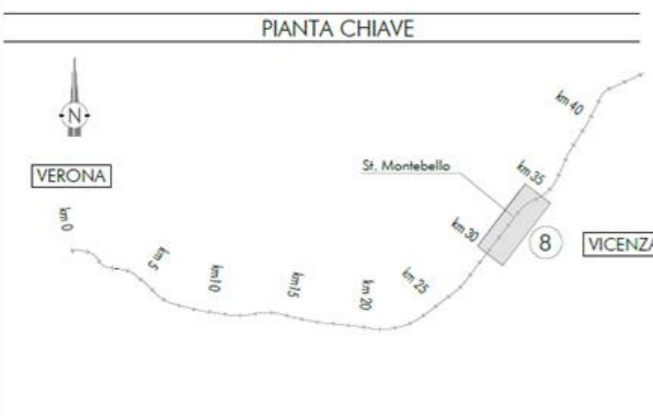


Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00  
Relazione Geotecnica

|          |       |                |          |
|----------|-------|----------------|----------|
| Progetto | Lotto | Codifica       | Foglio   |
| IN17     | 12    | EI2RBRI620001B | 45 di 71 |



|   |                          |
|---|--------------------------|
| — | PROFILI GEOTECNICI       |
| — | UBIQUITÀ DEI PROFILI     |
| — | LINEE STRUTTURALI        |
| — | LINEE STRUTTURALI IN ETI |



**LEGENDA**

**Campagna indagini integrative PE**

- BH-PE-A: Sondaggio a carotaggio continuo
- BH-PZ-PE-A: Sondaggio a carotaggio continuo con l'installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande
- MASW-PE-A: Indagini MSW
- CPTU-PE-A: Prova penetrometrica statica con piezometro

**Campagna indagini 2018 per CDS**

- SP: Sondaggio geognostico
- P1+P15, P20: Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
- P1+15Bn: Foro a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)

**Campagna indagini 2014**

- SP: Sondaggio a carotaggio continuo
- SPC, SPC, SPC: Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
- SOC, SDA: Foro a distruzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
- CPTU: Prova penetrometrica statica con piezometro (possibilità di avanzamento con trivellazione)
- CPTU: Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"
- CH: Foro a distruzione di nucleo per esecuzione prova CROSS-HOLE
- PE: Pozzetto esplorativo a 1,5 m da p.c. con prove di carico su piastra
- Profondità delle indagini

**PE-PE-A**: Pozzetto esplorativo

**BH-DH-PE-A**: Sondaggio con esecuzione di prova da un hole

**CH-PE-A**: Sondaggio con esecuzione di prova cross hole

**Indagini orientali**

Nota per PE in blu le indagini disponibili e con coordinate certe, in rosso indagini ancora non disponibili o con coordinate non note



**Campagna indagini pregresse**

- NAZ03R013: Sondaggio geognostico (campagna 1998)
- NAZ03R013: Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
- CPTU: numero di riferimento (campagna 2002)
- NAZ03R013: Pozzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (VI) per gentile concessione Centro Idrico Novoledo s.r.l.)

**Asse di progetto**

**Classi dei terreni**

- 1 Riporto
- 2 Limi argillosi e limi da compatte e molto compatte, generalmente sovraconsolidati
- 3a Area con prevalenza di sabbie limose/ con limo e limi sabbiosi/ con sabbia, a comportamento drenato, da sciolti a mediamente addensati
- 3b Area con prevalenza di limi argillosi e argille limose, da tenere a mediamente compatte, generalmente NC o debolmente CC
- 3c Area di alternanza, sia in verticale che planimetrica, di materiali 3a e 3b
- 4 Sabbie generalmente da debolmente limose a limose, da mediamente addensati a molto addensati
- 6 Ghiaie, ghiaie con sabbie, con presenza locale di ciottoli, anche di grandi dimensioni (fino a 80/100mm)

|   |   |                     |                                     |                            |
|---|---|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p> | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR<br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> |                     |                                     |                            |
| <p>Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br/>Relazione Geotecnica</p>                                    | <p>Progetto<br/>IN17</p>  | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI6200001B</p> | <p>Foglio<br/>46 di 71</p> |

## ALLEGATO 2 – SONDAGGI



Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI6200001B

Foglio  
47 di 71

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

FERRARA DEPARTMENT

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

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



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

CANTIERE: Montebello Vicentino

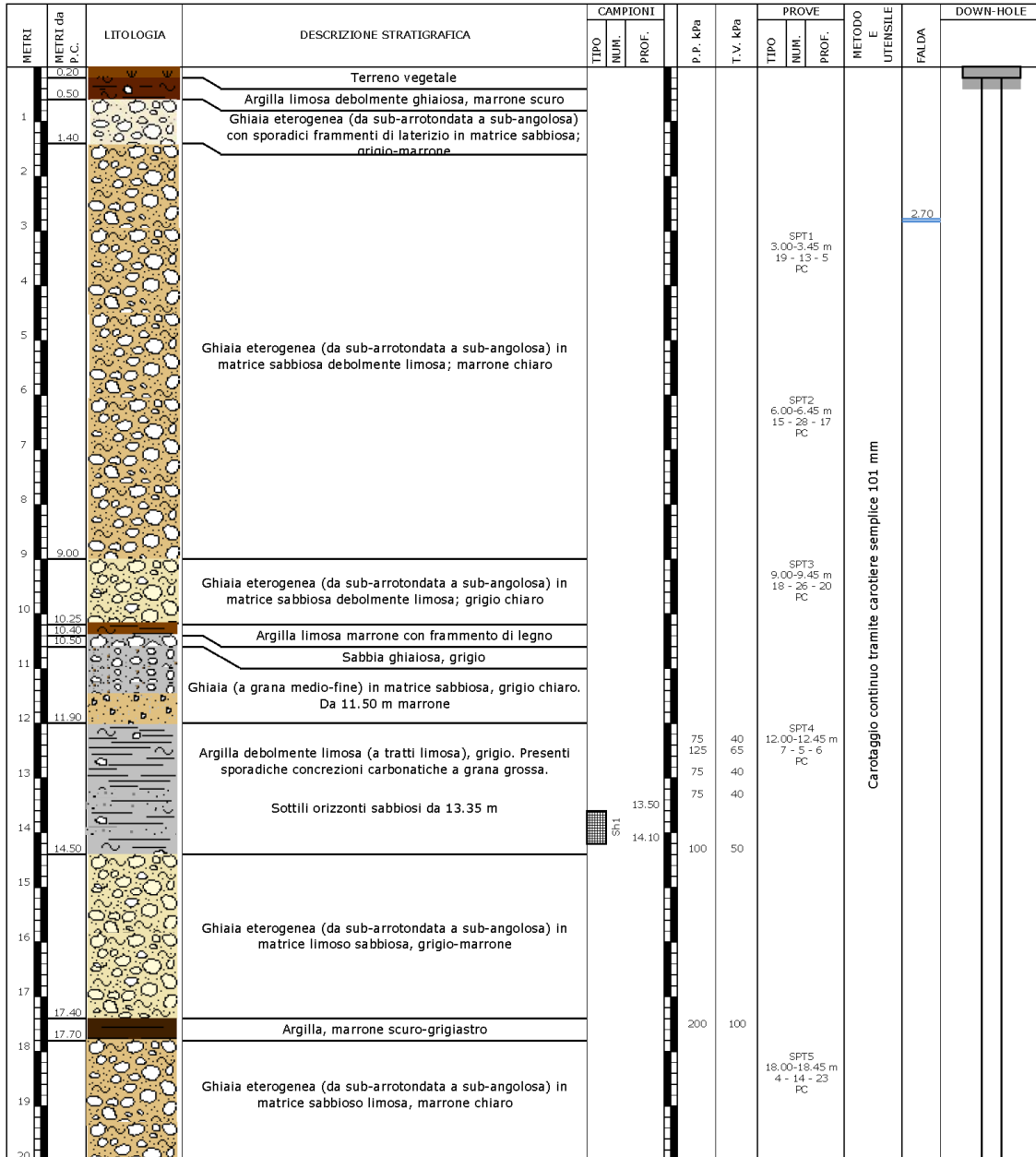
PERFORAZIONE: BH-PE-65  
ESECUZIONE: 26/11 - 1/12 /2020  
COMMESSA: 22036AV-20

RDP SITO N°: SF201088  
OPERATORE: BARONE - EL AZHARI  
RESPONSABILE: FOGLI

PROFONDITA': 45,00 m  
RIVESTIMENTO: 42,00 m  
QUOTA: -

Indisturbato  
 Rimaneggiato  
 Ambientale

SPT  
PA: punta aperta  
PC: punta chiusa



Il Direttore Tecnico SOA:  
ing. Massimo De Iasi

Il Responsabile Prove in Sito:  
dott. Massimo Romagnoli



Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI6200001B

48 di 71

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

FERRARA DEPARTMENT

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

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



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

CANTIERE: Montebello Vicentino

PERFORAZIONE: BH-PE-65

ESECUZIONE: 26/11 - 1/12 /2020

COMMESSA: 22036AV-20

RDP SITO N°: SF201088

OPERATORE: BARONE - EL AZHARI

RESPONSABILE: FOGLI

PROFONDITA': 45,00 m

RIVESTIMENTO: 42,00 m

QUOTA: -

Indisturbato  
 Rimaneggiato  
 Ambientale

SPT  
PA: punta aperta  
PC: punta chiusa

| METRI | METRI da P.C. | LITOLOGIA  | DESCRIZIONE STRATIGRAFICA  | CAMPIONI |      |       | PROVE    |               |               | METODO E UTENSILI | FALDA | DOWN-HOLE |       |
|-------|---------------|--|--|----------|------|-------|----------|---------------|---------------|-------------------|-------|-----------|-------|
|       |               |  |  | TIPO     | NUM. | PROF. | T.P. kPa | T.V. kPa      | TIPO          |                   |       | NUM.      | PROF. |
| 21    |               | Ghiaia eterogenea (da sub-arrotondata a sub-angolosa) in matrice sabbioso limosa, marrone chiaro                       |  |          |      |       |          |               | SPT6          |                   |       |           |       |
| 22    |               |  |  |          |      |       |          |               | 21,00-21,45 m |                   |       |           |       |
| 23    |               |  |  |          |      |       |          |               | 13 - 16 - 19  |                   |       |           |       |
| 24    |               |  |  |          |      |       |          |               | PC            |                   |       |           |       |
| 25    | 24,80         |  |  |          |      |       |          |               | SPT7          |                   |       |           |       |
| 26    |               |  |  |          |      |       |          |               | 24,00-24,45 m |                   |       |           |       |
| 27    |               |  |  |          |      |       |          |               | 10 - 20 - 18  |                   |       |           |       |
| 28    |               |  |  |          |      |       |          |               | PC            |                   |       |           |       |
| 29    |               |  |  |          |      |       |          |               | SPT8          |                   |       |           |       |
| 30    |               |  | Ghiaia eterogenea (da sub-arrotondata a sub-angolosa) in matrice limoso sabbiosa (a tratti limoso debolmente sabbiosa) |          |      |       |          |               |               | 27,00-27,45 m     |       |           |       |
| 31    |               |  |  |          |      |       |          |               | 12 - 18 - 20  |                   |       |           |       |
| 32    |               |  |  |          |      |       |          |               | PC            |                   |       |           |       |
| 33    |               |  |  |          |      |       |          |               | SPT9          |                   |       |           |       |
| 34    |               |  |  |          |      |       |          | 30,00-30,45 m |               |                   |       |           |       |
| 35    |               |  |  |          |      |       |          | 14 - 19 - 24  |               |                   |       |           |       |
| 36    |               |  |  |          |      |       |          | PC            |               |                   |       |           |       |
| 36    | 35,50         | Argilla limosa, marrone  |  |          |      |       | 200      | 100           |               |                   |       |           |       |
| 37    | 36,50         | Ghiaia in matrice limoso sabbiosa, marrone   |  |          |      |       | 250      | 125           |               |                   |       |           |       |
| 37    | 36,80         | Argilla (da debolmente limosa a limosa) marrone con bande grigiastre. Presenti abbondanti clasti di piccole dimensioni |  |          |      |       | 275      |               |               |                   |       |           |       |
| 38    | 37,80         |  |  |          |      |       | 300      | 300           |               |                   |       |           |       |
| 38    |               | Ghiaia eterogenea (da sub-arrotondata a sub-angolosa) in matrice sabbioso limosa, marrone                              |  |          |      |       |          |               | SPT10         |                   |       |           |       |
| 39    |               |  |  |          |      |       |          |               | 33,00-33,45 m |                   |       |           |       |
| 40    | 40,10         |  |  |          |      |       |          |               | 19 - 25 - 27  |                   |       |           |       |
|       |               |  |  |          |      |       |          |               | PC            |                   |       |           |       |
|       |               |  |  |          |      |       |          |               | SPT11         |                   |       |           |       |
|       |               |  |  |          |      |       |          |               | 39,00-39,45 m |                   |       |           |       |
|       |               |  |  |          |      |       |          |               | 25 - 29 - 34  |                   |       |           |       |
|       |               |  |  |          |      |       |          |               | PC            |                   |       |           |       |





Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI6200001B

49 di 71

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

## FERRARA DEPARTMENT

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

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



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

CANTIERE: Montebello Vicentino

PERFORAZIONE: BH-PE-65

ESECUZIONE: 26/11 - 1/12 /2020

COMMESSA: 22036AV-20

RDP SITO N°: SF201088

OPERATORE: BARONE - EL AZHARI

RESPONSABILE: FOGLI

PROFONDITA': 45,00 m

RIVESTIMENTO: 42,00 m

QUOTA: -

Indisturbato  
 Rimaneggiato  
 Ambientale

SPT  
PA: punta aperta  
PC: punta chiusa

| METRI | METRI da P.C. | LITOLOGIA | DESCRIZIONE STRATIGRAFICA  | CAMPIONI |      |       | PROVE    |          |  | METODO E UTENSIL                                      | FALDA |
|-------|---------------|-----------|--|----------|------|-------|----------|----------|--|---|-------|
|       |               |           |  | TIPO     | NUM. | PROF. | T.P. kPa | T.V. kPa | TIPO   |   |       |
| 40    | 65            |           | Argilla debolmente limosa, marrone   |          |      |       | 250      | 125      |  |   |       |
| 41    |               |           |  |          |      |       |          |          |  |   |       |
| 42    |               |           |  |          |      |       |          |          |  |   |       |
| 43    |               |           | Ghiaia eterogenea (da sub-arrotondata a sub-angolosa) in matrice sabbioso limosa, marrone chiaro |          |      |       |          |          | SPT12<br>42,00-42,45 m<br>28 - 27 - 36<br>PC | Carotaggio continuo tramite carotiere semplice 101 mm |       |
| 44    |               |           |  |          |      |       |          |          |  |   |       |
| 45    | 00            |           | FINE SONDAGGIO   |          |      |       |          |          |  |   |       |
| 46    |               |           |  |          |      |       |          |          |  |   |       |
| 47    |               |           |  |          |      |       |          |          |  |   |       |
| 48    |               |           |  |          |      |       |          |          |  |   |       |
| 49    |               |           |  |          |      |       |          |          |  |   |       |
| 50    |               |           |  |          |      |       |          |          |  |   |       |
| 51    |               |           |  |          |      |       |          |          |  |   |       |
| 52    |               |           |  |          |      |       |          |          |  |   |       |
| 53    |               |           |  |          |      |       |          |          |  |   |       |
| 54    |               |           |  |          |      |       |          |          |  |   |       |
| 55    |               |           |  |          |      |       |          |          |  |   |       |
| 56    |               |           |  |          |      |       |          |          |  |   |       |
| 57    |               |           |  |          |      |       |          |          |  |   |       |
| 58    |               |           |  |          |      |       |          |          |  |   |       |
| 59    |               |           |  |          |      |       |          |          |  |   |       |
| 60    |               |           |  |          |      |       |          |          |  |   |       |

Il Direttore Tecnico SOA:  
ing. Massimo De Iasi

SF201088\_BH-PE-65 - pag 3 di 7

Il Responsabile Prove in Sito:  
dott. Massimo Romagnoli

|   |   |                     |                                     |                            |
|---|---|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p> | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR<br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> |                     |                                     |                            |
| <p>Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br/>Relazione Geotecnica</p>                                    | <p>Progetto<br/>IN17</p>  | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI6200001B</p> | <p>Foglio<br/>50 di 71</p> |

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

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: RI62a\_01.slim  
 Slide Modeler Version: 7.038  
 Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
 Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

#### General Settings

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

#### Design Standard

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

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

#### Analysis Options

Slices Type: Vertical

| Analysis Methods Used |                   |
|-----------------------|-------------------|
|                       | Bishop simplified |

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

#### Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI6200001B

52 di 71

SLIDENETFRRET 7.000



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 2 of 8

Groundwater Method: Water Surfaces  
Pore Fluid Unit Weight [kN/m<sup>3</sup>]: 9.81  
Use negative pore pressure cutoff: Yes  
Maximum negative pore pressure [kPa]: 0  
Advanced Groundwater Method: None

### Random Numbers

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

### Surface Options



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

### Seismic

Advanced seismic analysis: No  
Staged pseudostatic analysis: No

### Loading

6 Distributed Loads present

|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| <b>GENERAL CONTRACTOR</b><br><br><b>IRICAV2</b> | <b>ALTA SORVEGLIANZA</b><br><br><b>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</b> |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica  | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>53 di 71 |

**Distributed Load 1**

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

**Distributed Load 2**

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

**Distributed Load 3**

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

**Distributed Load 6**

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

**Material Properties**

| Property             | Rilevato_nuovo  | Riporto (G)   | Ghiaia_sup  | Argilla limosa 3b   | Ghiaia_prof   | Argilla limosa 2  | Rilevato_esistente   |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|--|
| Color                |  |  |  |  |  |  |  |
| Strength Type        | Mohr-Coulomb  | Mohr-Coulomb  | Mohr-Coulomb  | Mohr-Coulomb  | Mohr-Coulomb  | Mohr-Coulomb  | Mohr-Coulomb   |
| Unit Weight [kN/m3]  | 20  | 19  | 19  | 18.5  | 19  | 19  | 20   |
| Cohesion [kPa]       | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  |
| Friction Angle [deg] | 38  | 37  | 39  | 29  | 38  | 28  | 35   |
| Water Surface        | Water Table   | Water Table   | Water Table   | Water Table   | Water Table   | Water Table   | Water Table  |
| Hu Value             | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  |

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

| FS                           | 1.236860       |
|------------------------------|----------------|
| Center:                      | 90.195, 74.467 |
| Radius:                      | 30.907         |
| Left Slip Surface Endpoint:  | 68.427, 52.526 |
| Right Slip Surface Endpoint: | 85.195, 43.967 |
| Resisting Moment:            | 8341.18 kN-m   |
| Driving Moment:              | 6743.85 kN-m   |
| Total Slice Area:            | 23.8947 m2     |
| Surface Horizontal Width:    | 16.7677 m      |
| Surface Average Height:      | 1.42504 m      |

**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI620001B

Foglio  
54 di 71

SLIDENTERRE7 7.000



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 8

Number of Valid Surfaces: 1748  
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.23686

| 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            | 0.335355  | 1.09896     | -44.3387                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 1.10925            | 1.37199              | 2.19509                  | 0                   | 2.19509                       | 3.27903                    | 3.27903                         |
| 2            | 0.335355  | 3.26426     | -43.4757                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 3.32745            | 4.11559              | 6.58465                  | 0                   | 6.58465                       | 9.7396                     | 9.7396                          |
| 3            | 0.335355  | 5.36564     | -42.6249                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 5.52191            | 6.82983              | 10.9272                  | 0                   | 10.9272                       | 16.0093                    | 16.0093                         |
| 4            | 0.335355  | 7.40572     | -41.7856                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 7.69215            | 9.51411              | 15.2219                  | 0                   | 15.2219                       | 22.096                     | 22.096                          |
| 5            | 0.335355  | 9.38689     | -40.9571                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 9.83782            | 12.168               | 19.4678                  | 0                   | 19.4678                       | 28.0068                    | 28.0068                         |
| 6            | 0.335355  | 11.2958     | -40.1389                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 11.942             | 14.7706              | 23.6318                  | 0                   | 23.6318                       | 33.7017                    | 33.7017                         |
| 7            | 0.335355  | 12.215      | -39.3304                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 13.0238            | 16.1086              | 25.7726                  | 0                   | 25.7726                       | 36.444                     | 36.444                          |
| 8            | 0.335355  | 12.5322     | -38.5312                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 13.4728            | 16.664               | 26.6611                  | 0                   | 26.6611                       | 37.3899                    | 37.3899                         |
| 9            | 0.335355  | 12.7985     | -37.7407                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 13.8704            | 17.1557              | 27.4479                  | 0                   | 27.4479                       | 38.1839                    | 38.1839                         |
| 10           | 0.335355  | 13.0153     | -36.9586                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 14.2168            | 17.5842              | 28.1335                  | 0                   | 28.1335                       | 38.8305                    | 38.8305                         |
| 11           | 0.335355  | 13.1843     | -36.1845                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 14.5126            | 17.95                | 28.7187                  | 0                   | 28.7187                       | 39.3343                    | 39.3343                         |
| 12           | 0.335355  | 13.3069     | -35.418                       | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 14.7581            | 18.2537              | 29.2045                  | 0                   | 29.2045                       | 39.6995                    | 39.6995                         |
| 13           | 0.335355  | 13.3844     | -34.6586                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 14.9538            | 18.4957              | 29.5917                  | 0                   | 29.5917                       | 39.9302                    | 39.9302                         |
| 14           | 0.335355  | 13.418      | -33.9062                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 15.0999            | 18.6765              | 29.8811                  | 0                   | 29.8811                       | 40.0302                    | 40.0302                         |
| 15           | 0.335355  | 13.4089     | -33.1603                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 15.197             | 18.7965              | 30.0731                  | 0                   | 30.0731                       | 40.0026                    | 40.0026                         |
| 16           | 0.335355  | 13.3581     | -32.4208                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 15.2451            | 18.856               | 30.1684                  | 0                   | 30.1684                       | 39.8509                    | 39.8509                         |
| 17           | 0.335355  | 13.2668     | -31.6872                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 15.2447            | 18.8555              | 30.1674                  | 0                   | 30.1674                       | 39.578                     | 39.578                          |
| 18           | 0.335355  | 13.1359     | -30.9594                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 15.196             | 18.7953              | 30.0711                  | 0                   | 30.0711                       | 39.1871                    | 39.1871                         |
| 19           | 0.335355  | 12.9663     | -30.2372                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 15.0992            | 18.6756              | 29.8795                  | 0                   | 29.8795                       | 38.6806                    | 38.6806                         |
| 20           | 0.335355  | 12.7588     | -29.5202                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 14.9546            | 18.4968              | 29.5936                  | 0                   | 29.5936                       | 38.0614                    | 38.0614                         |
| 21           | 0.335355  | 12.5142     | -28.8082                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 14.7624            | 18.259               | 29.2132                  | 0                   | 29.2132                       | 37.3316                    | 37.3316                         |
| 22           | 0.335355  | 12.2334     | -28.1011                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 14.5227            | 17.9625              | 28.7387                  | 0                   | 28.7387                       | 36.4934                    | 36.4934                         |
| 23           | 0.335355  | 11.917      | -27.3985                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 14.2356            | 17.6075              | 28.1707                  | 0                   | 28.1707                       | 35.5493                    | 35.5493                         |
| 24           | 0.335355  | 11.5658     | -26.7005                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 13.9014            | 17.1941              | 27.5092                  | 0                   | 27.5092                       | 34.5011                    | 34.5011                         |
| 25           | 0.335355  | 11.1803     | -26.0067                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 13.5201            | 16.7225              | 26.7547                  | 0                   | 26.7547                       | 33.3509                    | 33.3509                         |
| 26           | 0.335355  | 10.7611     | -25.3169                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 13.0918            | 16.1927              | 25.9071                  | 0                   | 25.9071                       | 32.1003                    | 32.1003                         |
| 27           | 0.335355  | 10.309      | -24.6311                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 12.6165            | 15.6048              | 24.9666                  | 0                   | 24.9666                       | 30.7512                    | 30.7512                         |
| 28           | 0.335355  | 9.82428     | -23.949                       | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 12.0943            | 14.959               | 23.9333                  | 0                   | 23.9333                       | 29.3052                    | 29.3052                         |
| 29           | 0.335355  | 9.30763     | -23.2705                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 11.5253            | 14.2552              | 22.8072                  | 0                   | 22.8072                       | 27.7638                    | 27.7638                         |
| 30           | 0.335355  | 8.75949     | -22.5955                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 10.9093            | 13.4933              | 21.5884                  | 0                   | 21.5884                       | 26.1285                    | 26.1285                         |
| 31           | 0.335355  | 8.18033     | -21.9237                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 10.2465            | 12.6735              | 20.2767                  | 0                   | 20.2767                       | 24.4007                    | 24.4007                         |
| 32           | 0.335355  | 7.57061     | -21.2551                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 9.53673            | 11.7956              | 18.8722                  | 0                   | 18.8722                       | 22.5818                    | 22.5818                         |
| 33           | 0.335355  | 7.61086     | -20.5895                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 9.64159            | 11.9253              | 19.0797                  | 0                   | 19.0797                       | 22.7017                    | 22.7017                         |
| 34           | 0.335355  | 8.43935     | -19.9268                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 10.7511            | 13.2976              | 21.2751                  | 0                   | 21.2751                       | 25.1727                    | 25.1727                         |
| 35           | 0.335355  | 9.24017     | -19.2669                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 11.8367            | 14.6404              | 23.4236                  | 0                   | 23.4236                       | 27.5611                    | 27.5611                         |
| 36           | 0.335355  | 10.012      | -18.6096                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 12.8964            | 15.951               | 25.5204                  | 0                   | 25.5204                       | 29.8629                    | 29.8629                         |
| 37           | 0.335355  | 10.7551     | -17.9548                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 13.9297            | 17.2291              | 27.5652                  | 0                   | 27.5652                       | 32.0792                    | 32.0792                         |
| 38           | 0.335355  | 11.4699     | -17.3025                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 14.9366            | 18.4745              | 29.5579                  | 0                   | 29.5579                       | 34.2108                    | 34.2108                         |
| 39           | 0.335355  | 11.5492     | -16.6525                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 15.1216            | 18.7033              | 29.9238                  | 0                   | 29.9238                       | 34.4469                    | 34.4469                         |
| 40           | 0.335355  | 10.693      | -16.0047                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 14.0764            | 17.4105              | 27.8556                  | 0                   | 27.8556                       | 31.8932                    | 31.8932                         |
| 41           | 0.335355  | 9.80067     | -15.3589                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 12.9712            | 16.0436              | 25.6685                  | 0                   | 25.6685                       | 29.2314                    | 29.2314                         |
| 42           | 0.335355  | 8.88109     | -14.7152                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 11.8172            | 14.6162              | 23.3849                  | 0                   | 23.3849                       | 26.4884                    | 26.4884                         |
| 43           | 0.335355  | 7.93454     | -14.0733                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 10.6141            | 13.1282              | 21.0042                  | 0                   | 21.0042                       | 23.6651                    | 23.6651                         |
| 44           | 0.335355  | 6.96124     | -13.4333                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 9.36177            | 11.5792              | 18.5259                  | 0                   | 18.5259                       | 20.762                     | 20.762                          |
| 45           | 0.335355  | 5.96142     | -12.7949                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 8.05981            | 9.96886              | 15.9494                  | 0                   | 15.9494                       | 17.7798                    | 17.7798                         |
| 46           | 0.335355  | 4.93527     | -12.1582                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 6.70786            | 8.29668              | 13.2741                  | 0                   | 13.2741                       | 14.7193                    | 14.7193                         |
| 47           | 0.335355  | 3.883       | -11.523                       | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 5.30558            | 6.56226              | 10.4991                  | 0                   | 10.4991                       | 11.5808                    | 11.5808                         |
| 48           | 0.335355  | 2.80479     | -10.8892                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 3.8526             | 4.76513              | 7.62387                  | 0                   | 7.62387                       | 8.36501                    | 8.36501                         |
| 49           | 0.335355  | 1.7008      | -10.2568                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 2.34852            | 2.90479              | 4.64746                  | 0                   | 4.64746                       | 5.07243                    | 5.07243                         |
| 50           | 0.335355  | 0.571188    | -9.62559                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 0.792878           | 0.980679             | 1.56902                  | 0                   | 1.56902                       | 1.70349                    | 1.70349                         |

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.23686



Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI6200001B

55 di 71

SLIDENTERRET 7.000



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 8

| Slice Number | X coordinate [m] | Y coordinate - Bottom [m] | Interslice Normal Force [kN] | Interslice Shear Force [kN] | Interslice Force Angle [degrees] |
|--------------|------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 1            | 68.4268          | 52.5257                   | 0                            | 0                           | 0                                |
| 2            | 68.7621          | 52.198                    | 0.348031                     | 0                           | 0                                |
| 3            | 69.0975          | 51.88                     | 1.32795                      | 0                           | 0                                |
| 4            | 69.4328          | 51.5714                   | 2.85221                      | 0                           | 0                                |
| 5            | 69.7682          | 51.2717                   | 4.83925                      | 0                           | 0                                |
| 6            | 70.1035          | 50.9806                   | 7.2129                       | 0                           | 0                                |
| 7            | 70.4389          | 50.6978                   | 9.89824                      | 0                           | 0                                |
| 8            | 70.7742          | 50.4231                   | 12.6206                      | 0                           | 0                                |
| 9            | 71.1096          | 50.156                    | 15.2307                      | 0                           | 0                                |
| 10           | 71.445           | 49.8964                   | 17.7126                      | 0                           | 0                                |
| 11           | 71.7803          | 49.6441                   | 20.0526                      | 0                           | 0                                |
| 12           | 72.1157          | 49.3988                   | 22.2396                      | 0                           | 0                                |
| 13           | 72.451           | 49.1603                   | 24.2644                      | 0                           | 0                                |
| 14           | 72.7864          | 48.9285                   | 26.1198                      | 0                           | 0                                |
| 15           | 73.1217          | 48.7031                   | 27.8006                      | 0                           | 0                                |
| 16           | 73.4571          | 48.484                    | 29.3032                      | 0                           | 0                                |
| 17           | 73.7924          | 48.271                    | 30.6259                      | 0                           | 0                                |
| 18           | 74.1278          | 48.0639                   | 31.7681                      | 0                           | 0                                |
| 19           | 74.4631          | 47.8628                   | 32.7312                      | 0                           | 0                                |
| 20           | 74.7985          | 47.6673                   | 33.5177                      | 0                           | 0                                |
| 21           | 75.1339          | 47.4774                   | 34.1314                      | 0                           | 0                                |
| 22           | 75.4692          | 47.293                    | 34.5776                      | 0                           | 0                                |
| 23           | 75.8046          | 47.1139                   | 34.8626                      | 0                           | 0                                |
| 24           | 76.1399          | 46.9401                   | 34.9941                      | 0                           | 0                                |
| 25           | 76.4753          | 46.7714                   | 34.9809                      | 0                           | 0                                |
| 26           | 76.8106          | 46.6078                   | 34.8326                      | 0                           | 0                                |
| 27           | 77.146           | 46.4492                   | 34.5604                      | 0                           | 0                                |
| 28           | 77.4813          | 46.2954                   | 34.176                       | 0                           | 0                                |
| 29           | 77.8167          | 46.1465                   | 33.6926                      | 0                           | 0                                |
| 30           | 78.1521          | 46.0022                   | 33.124                       | 0                           | 0                                |
| 31           | 78.4874          | 45.8627                   | 32.4853                      | 0                           | 0                                |
| 32           | 78.8228          | 45.7277                   | 31.7922                      | 0                           | 0                                |
| 33           | 79.1581          | 45.5972                   | 31.0618                      | 0                           | 0                                |
| 34           | 79.4935          | 45.4713                   | 30.2381                      | 0                           | 0                                |
| 35           | 79.8288          | 45.3497                   | 29.2259                      | 0                           | 0                                |
| 36           | 80.1642          | 45.2325                   | 28.0095                      | 0                           | 0                                |
| 37           | 80.4995          | 45.1195                   | 26.5745                      | 0                           | 0                                |
| 38           | 80.8349          | 45.0109                   | 24.9073                      | 0                           | 0                                |
| 39           | 81.1702          | 44.9064                   | 22.9954                      | 0                           | 0                                |
| 40           | 81.5056          | 44.8061                   | 20.9353                      | 0                           | 0                                |
| 41           | 81.841           | 44.7099                   | 18.9029                      | 0                           | 0                                |
| 42           | 82.1763          | 44.6178                   | 16.9255                      | 0                           | 0                                |
| 43           | 82.5117          | 44.5297                   | 15.0295                      | 0                           | 0                                |
| 44           | 82.847           | 44.4457                   | 13.2424                      | 0                           | 0                                |
| 45           | 83.1824          | 44.3656                   | 11.5926                      | 0                           | 0                                |
| 46           | 83.5177          | 44.2894                   | 10.1094                      | 0                           | 0                                |
| 47           | 83.8531          | 44.2171                   | 8.8231                       | 0                           | 0                                |
| 48           | 84.1884          | 44.1488                   | 7.76497                      | 0                           | 0                                |
| 49           | 84.5238          | 44.0843                   | 6.96722                      | 0                           | 0                                |
| 50           | 84.8591          | 44.0236                   | 6.46311                      | 0                           | 0                                |
| 51           | 85.1945          | 43.9667                   | 0                            | 0                           | 0                                |

List Of Coordinates

Water Table

| X   | Y       |
|-----|---------|
| 0   | 42.7293 |
| 115 | 42.7696 |

Distributed Load





Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI6200001B

Foglio

56 di 71

SLIDENETFRRET 7.000



| X       | Y       |
|---------|---------|
| 55.1946 | 52.5257 |
| 54.4958 | 52.5257 |
| 51.6958 | 52.5257 |
| 46.3887 | 52.5257 |
| 43.5887 | 52.5257 |
| 42.9033 | 52.5257 |

**Distributed Load**

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 68.0633 | 52.5257 |
| 66.9769 | 52.5257 |
| 64.1769 | 52.5257 |
| 62.462  | 52.5257 |
| 59.662  | 52.5257 |
| 58.5643 | 52.5257 |

**Distributed Load**

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 46.3887 | 52.5257 |
| 43.5887 | 52.5257 |

**Distributed Load**

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 54.4958 | 52.5257 |
| 51.6958 | 52.5257 |

**Distributed Load**

| X      | Y       |
|--------|---------|
| 62.462 | 52.5257 |
| 59.662 | 52.5257 |

**Distributed Load**

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 66.9769 | 52.5257 |
| 64.1769 | 52.5257 |

**External Boundary**





| X       | Y       |
|---------|---------|
| 51.6958 | 52.5257 |
| 46.3887 | 52.5257 |
| 43.5887 | 52.5257 |
| 42.9033 | 52.5257 |
| 40.3272 | 52.5257 |
| 26.7362 | 43.7293 |
| 0       | 43.7293 |
| 0       | 42.7293 |
| 0       | 41.81   |
| 0       | 31.31   |
| 0       | 28.71   |
| 0       | 8.21    |
| 0       | 5.41    |
| 0       | 0       |
| 115     | 0       |
| 115     | 5.41    |
| 115     | 8.21    |
| 115     | 28.71   |
| 115     | 31.31   |
| 115     | 41.81   |
| 115     | 42.7696 |
| 115     | 43.7293 |
| 88      | 43.7293 |
| 85.5449 | 43.7293 |
| 81.2062 | 46.6687 |
| 79.1741 | 46.6687 |
| 70.3905 | 52.5257 |
| 68.0633 | 52.5257 |
| 66.9769 | 52.5257 |
| 64.1769 | 52.5257 |
| 62.462  | 52.5257 |
| 59.662  | 52.5257 |
| 58.5643 | 52.5257 |
| 56.8199 | 52.5257 |
| 55.1946 | 52.5257 |
| 54.4958 | 52.5257 |

Material Boundary

| X   | Y     |
|-----|-------|
| 0   | 41.81 |
| 115 | 41.81 |

Material Boundary

| X   | Y     |
|-----|-------|
| 0   | 31.31 |
| 115 | 31.31 |

Material Boundary

| X   | Y     |
|-----|-------|
| 0   | 28.71 |
| 115 | 28.71 |

Material Boundary

| X   | Y    |
|-----|------|
| 0   | 5.41 |
| 115 | 5.41 |

Material Boundary

| X   | Y    |
|-----|------|
| 0   | 8.21 |
| 115 | 8.21 |

Material Boundary

| X   | Y |
|-----|---|
| 0   | 0 |
| 115 | 0 |

GENERAL CONTRACTOR



IRICAV2

ALTA SORVEGLIANZA



ITALFERR  
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI6200001B

Foglio  
58 di 71

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 26.7362 | 43.7293 |
| 70.68   | 43.7293 |
| 85.5449 | 43.7293 |

**Material Boundary**

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 56.8199 | 52.5257 |
| 70.68   | 43.7293 |

**Material Boundary**

| X     | Y       |
|-------|---------|
| 70.68 | 43.7293 |
| 71.4  | 43.2    |
| 86.6  | 43.2    |
| 88    | 43.7293 |

|  |  |                     |                                     |                            |
|--|--|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p> | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR<br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> |                     |                                     |                            |
| <p>Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br/>Relazione Geotecnica</p>                                     | <p>Progetto<br/>IN17</p>   | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI6200001B</p> | <p>Foglio<br/>59 di 71</p> |

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



Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI6200001B

Foglio

60 di 71

SLIDENTERRET 7.030



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 1 of 8

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: RI62a\_01\_sisma.slim  
Slide Modeler Version: 7.038  
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

#### General Settings

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

#### Design Standard

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

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

#### Analysis Options

Slices Type: Vertical

##### Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

#### Groundwater Analysis



SLIDENETFRRET 7.000

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

**Random Numbers**

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

**Surface Options**

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

**Seismic**

Advanced seismic analysis: No  
 Staged pseudostatic analysis: No

**Loading**

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.083  
 Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.042

6 Distributed Loads present



Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI6200001B

62 di 71

SLIDENTERRET 7.000



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 3 of 8

**Distributed Load 1**

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

**Distributed Load 2**

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

**Distributed Load 3**

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

**Distributed Load 4**

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

**Distributed Load 5**

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

**Distributed Load 6**

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

**Material Properties**

| Property             | Rilevato_nuovo | Riporto (G)  | Ghiaia_sup   | Argilla limosa 3b | Ghiaia_prof  | Argilla limosa 2 | Rilevato_esistente |
|----------------------|----------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|------------------|--------------------|
| Color                |                |              |              |                   |              |                  |                    |
| Strength Type        | Mohr-Coulomb   | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb | Undrained         | Mohr-Coulomb | Undrained        | Mohr-Coulomb       |
| Unit Weight [kN/m3]  | 20             | 19           | 19           | 18.5              | 19           | 19               | 20                 |
| Cohesion [kPa]       | 0              | 0            | 0            |                   | 0            |                  | 0                  |
| Friction Angle [deg] | 38             | 37           | 39           |                   | 38           |                  | 35                 |
| Cohesion Type        |                |              |              | 50                |              | 130              |                    |
| Water Surface        | Water Table    | Water Table  | Water Table  | Water Table       | Water Table  | Water Table      | Water Table        |
| Hu Value             | 1              | 1            | 1            | 0                 | 1            | 0                | 1                  |

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

| FS                           | 1.119370       |
|------------------------------|----------------|
| Center:                      | 94.569, 91.344 |
| Radius:                      | 48.325         |
| Left Slip Surface Endpoint:  | 65.787, 52.526 |
| Right Slip Surface Endpoint: | 86.315, 43.729 |
| Resisting Moment:            | 18988.2 kN-m   |
| Driving Moment:              | 16963.3 kN-m   |
| Total Slice Area:            | 34.7491 m2     |
| Surface Horizontal Width:    | 20.5284 m      |
| Surface Average Height:      | 1.69274 m      |

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



Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00  
Relazione Geotecnica

| Progetto | Lotto | Codifica        | Foglio   |
|----------|-------|-----------------|----------|
| IN17     | 12    | EI2RBRI6200001B | 63 di 71 |



Number of Valid Surfaces: 1647  
Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.11937

| 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            | 0.410567  | 1.23612     | -36.2533                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 11.7218            | 13.121               | 20.9925                  | 0                   | 20.9925                       | 29.5883                    | 29.5883                         |
| 2            | 0.410567  | 3.68136     | -35.6519                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 14.0717            | 15.7514              | 25.2011                  | 0                   | 25.2011                       | 35.2947                    | 35.2947                         |
| 3            | 0.410567  | 6.07321     | -35.0551                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 15.9014            | 17.7995              | 28.4778                  | 0                   | 28.4778                       | 39.6349                    | 39.6349                         |
| 4            | 0.410567  | 8.41283     | -34.4625                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 13.739             | 15.379               | 24.6053                  | 0                   | 24.6053                       | 34.0346                    | 34.0346                         |
| 5            | 0.410567  | 10.7013     | -33.8742                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 15.9916            | 17.9005              | 28.6395                  | 0                   | 28.6395                       | 39.3749                    | 39.3749                         |
| 6            | 0.410567  | 12.9398     | -33.2898                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 15.5451            | 17.4007              | 27.8399                  | 0                   | 27.8399                       | 38.0472                    | 38.0472                         |
| 7            | 0.410567  | 15.1292     | -32.7094                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 14.5106            | 16.2427              | 25.9872                  | 0                   | 25.9872                       | 35.3062                    | 35.3062                         |
| 8            | 0.410567  | 17.2705     | -32.1327                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 16.6611            | 18.6499              | 29.8384                  | 0                   | 29.8384                       | 40.3031                    | 40.3031                         |
| 9            | 0.410567  | 19.3646     | -31.5597                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 18.7889            | 21.0317              | 33.6492                  | 0                   | 33.6492                       | 45.19                      | 45.19                           |
| 10           | 0.410567  | 21.4125     | -30.9901                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 20.894             | 23.3881              | 37.4193                  | 0                   | 37.4193                       | 49.9688                    | 49.9688                         |
| 11           | 0.410567  | 23.4148     | -30.4239                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 22.9763            | 25.719               | 41.1485                  | 0                   | 41.1485                       | 54.6415                    | 54.6415                         |
| 12           | 0.410567  | 24.6772     | -29.861                       | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 24.3495            | 27.2561              | 43.6077                  | 0                   | 43.6077                       | 57.5873                    | 57.5873                         |
| 13           | 0.410567  | 24.3942     | -29.3013                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 24.2024            | 27.0914              | 43.3443                  | 0                   | 43.3443                       | 56.9267                    | 56.9267                         |
| 14           | 0.410567  | 24.0167     | -28.7446                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 23.9572            | 26.817               | 42.9053                  | 0                   | 42.9053                       | 56.0457                    | 56.0457                         |
| 15           | 0.410567  | 23.5968     | -28.1908                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 23.6648            | 26.4897              | 42.3815                  | 0                   | 42.3815                       | 55.0656                    | 55.0656                         |
| 16           | 0.410567  | 23.135      | -27.6399                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 23.3251            | 26.1094              | 41.773                   | 0                   | 41.773                        | 53.9878                    | 53.9878                         |
| 17           | 0.410567  | 22.632      | -27.0918                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 22.9381            | 25.6762              | 41.0801                  | 0                   | 41.0801                       | 52.8139                    | 52.8139                         |
| 18           | 0.410567  | 22.0884     | -26.5463                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 22.504             | 25.1903              | 40.3026                  | 0                   | 40.3026                       | 51.5454                    | 51.5454                         |
| 19           | 0.410567  | 21.5048     | -26.0034                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 22.0227            | 24.6515              | 39.4406                  | 0                   | 39.4406                       | 50.1834                    | 50.1834                         |
| 20           | 0.410567  | 20.8817     | -25.4631                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 21.4941            | 24.0599              | 38.4941                  | 0                   | 38.4941                       | 48.7293                    | 48.7293                         |
| 21           | 0.410567  | 20.2197     | -24.9251                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 20.9186            | 23.4156              | 37.4632                  | 0                   | 37.4632                       | 47.1844                    | 47.1844                         |
| 22           | 0.410567  | 19.5193     | -24.3895                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 20.2957            | 22.7184              | 36.3479                  | 0                   | 36.3479                       | 45.5499                    | 45.5499                         |
| 23           | 0.410567  | 18.781      | -23.8561                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 19.6258            | 21.9685              | 35.148                   | 0                   | 35.148                        | 43.827                     | 43.827                          |
| 24           | 0.410567  | 18.0053     | -23.3249                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 18.9085            | 21.1656              | 33.8634                  | 0                   | 33.8634                       | 42.0165                    | 42.0165                         |
| 25           | 0.410567  | 17.1925     | -22.7958                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 18.144             | 20.3099              | 32.4944                  | 0                   | 32.4944                       | 40.1199                    | 40.1199                         |
| 26           | 0.410567  | 16.3432     | -22.2688                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 17.3322            | 19.4011              | 31.0404                  | 0                   | 31.0404                       | 38.1378                    | 38.1378                         |
| 27           | 0.410567  | 15.4577     | -21.7438                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 16.4729            | 18.4393              | 29.5016                  | 0                   | 29.5016                       | 36.0715                    | 36.0715                         |
| 28           | 0.410567  | 14.5365     | -21.2206                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 15.5662            | 17.4243              | 27.8777                  | 0                   | 27.8777                       | 33.9218                    | 33.9218                         |
| 29           | 0.410567  | 13.58       | -20.6994                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 14.6118            | 16.356               | 26.1684                  | 0                   | 26.1684                       | 31.6896                    | 31.6896                         |
| 30           | 0.410567  | 12.5884     | -20.1799                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 13.6096            | 15.2342              | 24.3737                  | 0                   | 24.3737                       | 29.3756                    | 29.3756                         |
| 31           | 0.410567  | 11.5622     | -19.6621                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 12.5597            | 14.0589              | 22.4932                  | 0                   | 22.4932                       | 26.9809                    | 26.9809                         |
| 32           | 0.410567  | 10.5017     | -19.146                       | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 11.4616            | 12.8298              | 20.5268                  | 0                   | 20.5268                       | 24.5061                    | 24.5061                         |
| 33           | 0.410567  | 9.58062     | -18.6315                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 10.5056            | 11.7597              | 18.8147                  | 0                   | 18.8147                       | 22.3566                    | 22.3566                         |
| 34           | 0.410567  | 10.286      | -18.1185                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 11.3321            | 12.6848              | 20.2948                  | 0                   | 20.2948                       | 24.0027                    | 24.0027                         |
| 35           | 0.410567  | 11.3726     | -17.6071                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 12.5876            | 14.0902              | 22.5433                  | 0                   | 22.5433                       | 26.5381                    | 26.5381                         |
| 36           | 0.410567  | 12.426      | -17.0971                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 13.8176            | 15.467               | 24.7461                  | 0                   | 24.7461                       | 28.9962                    | 28.9962                         |
| 37           | 0.410567  | 13.4466     | -16.5885                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 15.0219            | 16.8151              | 26.9028                  | 0                   | 26.9028                       | 31.3778                    | 31.3778                         |
| 38           | 0.410567  | 14.2441     | -16.0812                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 15.9863            | 17.8946              | 28.6302                  | 0                   | 28.6302                       | 33.2387                    | 33.2387                         |
| 39           | 0.410567  | 13.5607     | -15.5752                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 15.2895            | 17.1146              | 27.382                   | 0                   | 27.382                        | 31.6437                    | 31.6437                         |
| 40           | 0.410567  | 12.5447     | -15.0705                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 14.209             | 15.9051              | 25.4469                  | 0                   | 25.4469                       | 29.2729                    | 29.2729                         |
| 41           | 0.410567  | 11.4969     | -14.567                       | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 13.0818            | 14.6434              | 23.4284                  | 0                   | 23.4284                       | 26.8279                    | 26.8279                         |
| 42           | 0.410567  | 10.4175     | -14.0646                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 11.9079            | 13.3293              | 21.3258                  | 0                   | 21.3258                       | 24.3091                    | 24.3091                         |
| 43           | 0.410567  | 9.30668     | -13.5633                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 10.6866            | 11.9623              | 19.1389                  | 0                   | 19.1389                       | 21.717                     | 21.717                          |
| 44           | 0.410567  | 8.16472     | -13.0631                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 9.41807            | 10.5423              | 16.867                   | 0                   | 16.867                        | 19.0522                    | 19.0522                         |
| 45           | 0.410567  | 6.99177     | -12.5638                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 8.10177            | 9.06888              | 14.5095                  | 0                   | 14.5095                       | 16.3151                    | 16.3151                         |
| 46           | 0.410567  | 5.78802     | -12.0656                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 6.73738            | 7.54162              | 12.066                   | 0                   | 12.066                        | 13.5062                    | 13.5062                         |
| 47           | 0.410567  | 4.55363     | -11.5683                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 5.32458            | 5.96018              | 9.53586                  | 0                   | 9.53586                       | 10.6258                    | 10.6258                         |
| 48           | 0.410567  | 3.28879     | -11.0718                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 3.86303            | 4.32416              | 6.91835                  | 0                   | 6.91835                       | 7.67427                    | 7.67427                         |
| 49           | 0.410567  | 1.99363     | -10.5762                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 2.35235            | 2.63315              | 4.21285                  | 0                   | 4.21285                       | 4.65207                    | 4.65207                         |
| 50           | 0.410567  | 0.669251    | -10.1118                      | Rilevato_nuovo | 0                   | 32.0066                       | 0.793026           | 0.887689             | 1.42024                  | 0                   | 1.42024                       | 1.56167                    | 1.56167                         |

**Interslice Data**

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.11937

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



Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI6200001B

64 di 71

SLIDENTERRET 7.000



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 8

| Slice Number | X coordinate [m] | Y coordinate - Bottom [m] | Interslice Normal Force [kN] | Interslice Shear Force [kN] | Interslice Force Angle [degrees] |
|--------------|------------------|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 1            | 65.7866          | 52.5257                   | 0                            | 0                           | 0                                |
| 2            | 66.1972          | 52.2246                   | 1.61265                      | 0                           | 0                                |
| 3            | 66.6078          | 51.9301                   | 3.56525                      | 0                           | 0                                |
| 4            | 67.0183          | 51.6421                   | 5.74744                      | 0                           | 0                                |
| 5            | 67.4289          | 51.3603                   | 7.74083                      | 0                           | 0                                |
| 6            | 67.8395          | 51.0847                   | 9.96013                      | 0                           | 0                                |
| 7            | 68.25            | 50.8151                   | 12.1601                      | 0                           | 0                                |
| 8            | 68.6606          | 50.5514                   | 14.3132                      | 0                           | 0                                |
| 9            | 69.0712          | 50.2935                   | 16.6039                      | 0                           | 0                                |
| 10           | 69.4817          | 50.0413                   | 18.9865                      | 0                           | 0                                |
| 11           | 69.8923          | 49.7947                   | 21.4168                      | 0                           | 0                                |
| 12           | 70.3029          | 49.5536                   | 23.8526                      | 0                           | 0                                |
| 13           | 70.7134          | 49.3179                   | 26.1874                      | 0                           | 0                                |
| 14           | 71.124           | 49.0875                   | 28.2671                      | 0                           | 0                                |
| 15           | 71.5346          | 48.8623                   | 30.091                       | 0                           | 0                                |
| 16           | 71.9451          | 48.6423                   | 31.6645                      | 0                           | 0                                |
| 17           | 72.3557          | 48.4273                   | 32.9941                      | 0                           | 0                                |
| 18           | 72.7663          | 48.2172                   | 34.0871                      | 0                           | 0                                |
| 19           | 73.1768          | 48.0121                   | 34.952                       | 0                           | 0                                |
| 20           | 73.5874          | 47.8118                   | 35.5984                      | 0                           | 0                                |
| 21           | 73.998           | 47.6163                   | 36.0367                      | 0                           | 0                                |
| 22           | 74.4085          | 47.4255                   | 36.2784                      | 0                           | 0                                |
| 23           | 74.8191          | 47.2394                   | 36.3358                      | 0                           | 0                                |
| 24           | 75.2297          | 47.0578                   | 36.2222                      | 0                           | 0                                |
| 25           | 75.6402          | 46.8808                   | 35.9519                      | 0                           | 0                                |
| 26           | 76.0508          | 46.7082                   | 35.5399                      | 0                           | 0                                |
| 27           | 76.4614          | 46.5401                   | 35.0024                      | 0                           | 0                                |
| 28           | 76.872           | 46.3764                   | 34.3561                      | 0                           | 0                                |
| 29           | 77.2825          | 46.2169                   | 33.6189                      | 0                           | 0                                |
| 30           | 77.6931          | 46.0618                   | 32.8093                      | 0                           | 0                                |
| 31           | 78.1037          | 45.9109                   | 31.947                       | 0                           | 0                                |
| 32           | 78.5142          | 45.7642                   | 31.0521                      | 0                           | 0                                |
| 33           | 78.9248          | 45.6217                   | 30.1461                      | 0                           | 0                                |
| 34           | 79.3354          | 45.4833                   | 29.2344                      | 0                           | 0                                |
| 35           | 79.7459          | 45.3489                   | 28.1641                      | 0                           | 0                                |
| 36           | 80.1565          | 45.2186                   | 26.8797                      | 0                           | 0                                |
| 37           | 80.5671          | 45.0923                   | 25.3657                      | 0                           | 0                                |
| 38           | 80.9776          | 44.97                     | 23.6075                      | 0                           | 0                                |
| 39           | 81.3882          | 44.8517                   | 21.6179                      | 0                           | 0                                |
| 40           | 81.7988          | 44.7372                   | 19.6027                      | 0                           | 0                                |
| 41           | 82.2093          | 44.6267                   | 17.6261                      | 0                           | 0                                |
| 42           | 82.6199          | 44.52                     | 15.7115                      | 0                           | 0                                |
| 43           | 83.0305          | 44.4171                   | 13.883                       | 0                           | 0                                |
| 44           | 83.441           | 44.3181                   | 12.1656                      | 0                           | 0                                |
| 45           | 83.8516          | 44.2228                   | 10.5851                      | 0                           | 0                                |
| 46           | 84.2622          | 44.1313                   | 9.16827                      | 0                           | 0                                |
| 47           | 84.6727          | 44.0436                   | 7.94273                      | 0                           | 0                                |
| 48           | 85.0833          | 43.9595                   | 6.937                        | 0                           | 0                                |
| 49           | 85.4939          | 43.8792                   | 6.18049                      | 0                           | 0                                |
| 50           | 85.9044          | 43.8025                   | 5.70357                      | 0                           | 0                                |
| 51           | 86.315           | 43.7293                   | 0                            | 0                           | 0                                |

List Of Coordinates

Water Table

| X   | Y       |
|-----|---------|
| 0   | 42.7293 |
| 115 | 42.7293 |

Distributed Load







Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI6200001B

65 di 71

SLIDENETFERRET 7.000



| X       | Y       |
|---------|---------|
| 55.1946 | 52.5257 |
| 54.4958 | 52.5257 |
| 51.6958 | 52.5257 |
| 46.3887 | 52.5257 |
| 43.5887 | 52.5257 |
| 42.9033 | 52.5257 |

**Distributed Load**

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 68.0633 | 52.5257 |
| 66.9769 | 52.5257 |
| 64.1769 | 52.5257 |
| 62.462  | 52.5257 |
| 59.662  | 52.5257 |
| 58.5643 | 52.5257 |

**Distributed Load**

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 46.3887 | 52.5257 |
| 43.5887 | 52.5257 |

**Distributed Load**

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 54.4958 | 52.5257 |
| 51.6958 | 52.5257 |

**Distributed Load**

| X      | Y       |
|--------|---------|
| 62.462 | 52.5257 |
| 59.662 | 52.5257 |

**Distributed Load**

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 66.9769 | 52.5257 |
| 64.1769 | 52.5257 |

**External Boundary**





Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI6200001B

66 di 71

SLIDENETFERRET 7.000



| X       | Y       |
|---------|---------|
| 51.6958 | 52.5257 |
| 46.3887 | 52.5257 |
| 43.5887 | 52.5257 |
| 42.9033 | 52.5257 |
| 40.3272 | 52.5257 |
| 26.7362 | 43.7293 |
| 0       | 43.7293 |
| 0       | 42.7293 |
| 0       | 41.81   |
| 0       | 31.31   |
| 0       | 28.71   |
| 0       | 8.21    |
| 0       | 5.41    |
| 0       | 0       |
| 115     | 0       |
| 115     | 5.41    |
| 115     | 8.21    |
| 115     | 28.71   |
| 115     | 31.31   |
| 115     | 41.81   |
| 115     | 42.7696 |
| 115     | 43.7293 |
| 88      | 43.7293 |
| 86.315  | 43.7293 |
| 81.2062 | 46.6687 |
| 79.1741 | 46.6687 |
| 70.3905 | 52.5257 |
| 68.0633 | 52.5257 |
| 66.9769 | 52.5257 |
| 64.1769 | 52.5257 |
| 62.462  | 52.5257 |
| 59.662  | 52.5257 |
| 58.5643 | 52.5257 |
| 56.8199 | 52.5257 |
| 55.1946 | 52.5257 |
| 54.4958 | 52.5257 |

**Material Boundary**

| X   | Y     |
|-----|-------|
| 0   | 41.81 |
| 115 | 41.81 |

**Material Boundary**

| X   | Y     |
|-----|-------|
| 0   | 31.31 |
| 115 | 31.31 |

**Material Boundary**

| X   | Y     |
|-----|-------|
| 0   | 28.71 |
| 115 | 28.71 |

**Material Boundary**

| X   | Y    |
|-----|------|
| 0   | 5.41 |
| 115 | 5.41 |

**Material Boundary**

| X   | Y    |
|-----|------|
| 0   | 8.21 |
| 115 | 8.21 |

**Material Boundary**

| X   | Y |
|-----|---|
| 0   | 0 |
| 115 | 0 |

SLIDENITERRRET 7.000



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

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 26.7362 | 43.7293 |
| 70.68   | 43.7293 |
| 86.315  | 43.7293 |

**Material Boundary**

| X       | Y       |
|---------|---------|
| 56.8199 | 52.5257 |
| 70.68   | 43.7293 |

**Material Boundary**

| X     | Y       |
|-------|---------|
| 70.68 | 43.7293 |
| 71.4  | 43.2    |

**Material Boundary**



| X    | Y    |
|------|------|
| 71.4 | 43.2 |
| 86.6 | 43.2 |

**Material Boundary**

| X    | Y       |
|------|---------|
| 86.6 | 43.2    |
| 88   | 43.7293 |

|   |   |                     |                                     |                            |
|---|---|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p> | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR<br/>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> |                     |                                     |                            |
| <p>Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br/>Relazione Geotecnica</p>                                    | <p>Progetto<br/>IN17</p>  | <p>Lotto<br/>12</p> | <p>Codifica<br/>EI2RBRI6200001B</p> | <p>Foglio<br/>68 di 71</p> |

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

|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica                                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>69 di 71 |

## Settle3D Analysis Information

### RI62

#### Project Settings

Document Name: RI62\_CFR Settle-Plaxis.s3z  
Project Title: RI62  
Date Created: 08/03/2021, 11:30:59  
Stress Computation Method: Boussinesq  
Groundwater method: Water Table  
Water Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>  
Depth to water table: 1 [m]

#### Stage Settings

| Stage # | Name    |
|---------|---------|
| 1       | Stage 1 |
| 2       | Stage 2 |
| 3       | Stage 3 |

#### Results



Time taken to compute: 9.02723 seconds

##### Stage: Stage 1

| Data Type                          | Minimum      | Maximum   |
|------------------------------------|--------------|-----------|
| Total Settlement [cm]              | 0            | 9.36179   |
| Consolidation Settlement [cm]      | 0            | 3.56317   |
| Immediate Settlement [cm]          | 0            | 5.79862   |
| Loading Stress [kPa]               | 0.0207731    | 188.963   |
| Effective Stress [kPa]             | 0.0207731    | 515.967   |
| Total Stress [kPa]                 | 0.0207731    | 986.847   |
| Total Strain                       | 8.43959e-007 | 0.0175302 |
| Pore Water Pressure [kPa]          | 0            | 470.88    |
| Degree of Consolidation [%]        | 0            | 100       |
| Pre-consolidation Stress [kPa]     | 0.971446     | 515.882   |
| Over-consolidation Ratio           | 1            | 1.77407   |
| Void Ratio                         | 0            | 0.949751  |
| Hydroconsolidation Settlement [cm] | 0            | 0         |

##### Stage: Stage 2

| Data Type                     | Minimum | Maximum |
|-------------------------------|---------|---------|
| Total Settlement [cm]         | 0       | 11.061  |
| Consolidation Settlement [cm] | 0       | 4.68348 |
| Immediate Settlement [cm]     | 0       | 6.37901 |

|   |  |             |                             |                    |
|---|--|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br>IRICAV2 | ALTA SORVEGLIANZA<br><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica                                    | Progetto<br>IN17   | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>70 di 71 |

|                                    |              |           |
|------------------------------------|--------------|-----------|
| Loading Stress [kPa]               | 0.0216486    | 189.005   |
| Effective Stress [kPa]             | 0.0216486    | 536.172   |
| Total Stress [kPa]                 | 0.0216486    | 1007.05   |
| Total Strain                       | 8.97035e-007 | 0.0218069 |
| Pore Water Pressure [kPa]          | 0            | 470.88    |
| Degree of Consolidation [%]        | 0            | 100       |
| Pre-consolidation Stress [kPa]     | 0.972367     | 536.091   |
| Over-consolidation Ratio           | 1            | 1.77212   |
| Void Ratio                         | 0            | 0.949732  |
| Hydroconsolidation Settlement [cm] | 0            | 0         |

### Stage: Stage 3

| Data Type                          | Minimum      | Maximum   |
|------------------------------------|--------------|-----------|
| Total Settlement [cm]              | 0            | 11.3506   |
| Consolidation Settlement [cm]      | 0            | 4.85845   |
| Immediate Settlement [cm]          | 0            | 6.49218   |
| Loading Stress [kPa]               | 0.02438      | 189.271   |
| Effective Stress [kPa]             | 0.02438      | 537.455   |
| Total Stress [kPa]                 | 0.02438      | 1008.33   |
| Total Strain                       | 9.59254e-007 | 0.0225346 |
| Pore Water Pressure [kPa]          | 0            | 470.88    |
| Degree of Consolidation [%]        | 0            | 100       |
| Pre-consolidation Stress [kPa]     | 0.975144     | 537.374   |
| Over-consolidation Ratio           | 1            | 1.77166   |
| Void Ratio                         | 0            | 0.949728  |
| Hydroconsolidation Settlement [cm] | 0            | 0         |

## Embankments



### 1. Embankment: "Rilevato"

Label: Rilevato  
Center Line: (0, -50) to (0, 50)  
Number of Layers: 3  
Near End Angle: 90 degrees  
Far End Angle: 90 degrees  
Base Width: 43.94

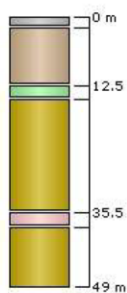
| Layer | Stage   | Left Bench Width (m) | Left Angle (deg) | Height (m) | Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> ) | Right Angle (deg) | Right Bench Width (m) |
|-------|---------|----------------------|------------------|------------|----------------------------------|-------------------|-----------------------|
| 1     | Stage 1 | 0                    | 33               | 2.94       | 20                               | 34                | 0                     |
| 2     | Stage 1 | 0                    | 33               | 5.86       | 20                               | 34                | 0                     |
| 3     | Stage 1 | 0                    | 90               | 0.6        | 18                               | 90                | 0                     |

## Soil Layers






| Layer # | Type | Thickness [m] | Depth [m] |
|---------|------|---------------|-----------|
|---------|------|---------------|-----------|

|  |   |             |                             |                    |
|--|---|-------------|-----------------------------|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR<br><br><b>IRICAV2</b> | ALTA SORVEGLIANZA<br><br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |             |                             |                    |
| Rilevato ferroviario AV da pk 32+130,00 a pk 32+525,00<br>Relazione Geotecnica   | Progetto<br>IN17  | Lotto<br>12 | Codifica<br>EI2RBRI6200001B | Foglio<br>71 di 71 |

|   |      |      |      |
|---|------|------|------|
| 1 | U1   | 2    | 0    |
| 2 | U6_1 | 10.5 | 2    |
| 3 | U3_b | 2.5  | 12.5 |
| 4 | U6_2 | 20.5 | 15   |
| 5 | U2   | 2.8  | 35.5 |
| 6 | U6_2 | 10.7 | 38.3 |



### Soil Properties

| Property                                   | U1  | U6_1  | U3_b  | U6_2  | U2  |
|--|---|---|---|---|---|
| Color                                      |  |  |  |  |  |
| Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]           | 19  | 19  | 18.5  | 19  | 19  |
| Saturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ] | 19  | 19  | 18.5  | 19  | 19  |
| Immediate Settlement                       | Enabled   | Enabled   | Disabled  | Enabled   | Enabled   |
| Es [kPa]                                   | 20000   | 80000   |   | 200000  | 60000   |
| Esur [kPa]                                 | 20000   | 80000   |   | 200000  | 60000   |
| Primary Consolidation                      | Disabled  | Disabled  | Enabled   | Disabled  | Disabled  |
| Material Type                              | Non-Linear  |   |   |   |   |
| Cc   | 0.31  |   |   |   |   |
| Cr   | 0.04  |   |   |   |   |
| e0   | 0.95  |   |   |   |   |
| OCR  | 1   | 1   | 1.8   | 1   | 1   |

### Query Points

| Point # | (X,Y) Location | Number of Divisions |
|---------|----------------|---------------------|
| 1       | 0, 0           | Auto: 79            |

### Query Lines

| Line # | Start Location | End Location | Horizontal Divisions | Vertical Divisions |
|--------|----------------|--------------|----------------------|--------------------|
| 1      | -50, 0         | 50, 0        | 100                  | Auto: 79           |