

COMMITTENTE:



ALTA  
SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE  
OBIETTIVO N. 443/01  
LINEA AV/AC TORINO – VENEZIA      Tratta VERONA – PADOVA  
Lotto funzionale Verona – Bivio Vicenza  
PROGETTO ESECUTIVO  
RILEVATI  
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
GENERALE  
Relazione Geotecnica**

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

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO
IN17	12	E	I2	RB	RI8600	001	A	- - - D - - -

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma Luca RANDOLFI	Data Febbraio 2022

Progettazione:



Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	M. Conti <i>Maria Conti</i>	Febbraio 2022	V. Pastore <i>V. Pastore</i>	Febbraio 2022	P. Ascari <i>Paolo Ascari</i>	Febbraio 2022	P. Ascari 
								Data: Febbraio 2022

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712E12RBRI8600001A_02.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato  
dalla Unione Europea

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



GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI860001A	Foglio 2 di 109

## INDICE

1	INTRODUZIONE .....	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	5
2.1	Documentazione di progetto.....	5
2.2	Normativa e standard di riferimento.....	5
2.3	Bibliografia .....	6
3	INQUADRAMENTO DELL'OPERA .....	7
3.1	Premessa.....	7
3.2	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 .....	21
5.2	Suscettibilità alla liquefazione.....	22
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT .....	24
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT.....	26
5.2.3	Commento ai risultati .....	29
5.2.4	Soil improvement .....	35
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO .....	40
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite.....	40
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU).....	40
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE).....	42
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche.....	42
6.2	Azioni di progetto .....	42
6.2.1	Azioni permanenti .....	43



6.2.2	Azioni variabili .....	43
6.2.3	Azione sismica .....	43
6.3	Verifiche e risultati SLU .....	44
6.3.1	Premessa .....	44
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche .....	45
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche .....	46
6.3.4	Verifiche SLU in condizioni post sismiche .....	47
6.4	Verifica e risultati SLE .....	48
6.4.1	Metodologia di calcolo .....	48
6.4.2	Schematizzazione e risultati .....	50
7	RESISTENZA DEI PALI SOGGETTI A CARICHI ASSIALI .....	54
7.1	Analisi agli stati limite .....	54
7.2	Metodologia di calcolo .....	56
7.2.1	Portata laterale .....	56
7.2.2	Portata di base .....	57
7.3	Stratigrafia di calcolo .....	59
7.4	Risultati .....	59
8	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI .....	68
Allegati .....		69
ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO .....		70
ALLEGATO 2 - INDAGINI .....		72
ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE- ANALISI SLU STATICA .....		81
ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICA .....		89
ALLEGATO 5 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU POST SISMA .....		97
ALLEGATO 6 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE .....		105
ALLEGATO 7 – VERSIONE SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI .....		109

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 4 di 109

## 1 INTRODUZIONE



Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI86, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende dal km 44+225,00 al km 44+250,00.

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

Il documento è così organizzato:

- documenti e normativa di riferimento (capitolo 2);
- inquadramento dell'opera e caratteristiche geometriche del rilevato (capitolo 3);
- definizione del modello geotecnico di riferimento (capitolo 4);
- valutazione della suscettibilità alla liquefazione e descrizione degli eventuali interventi di mitigazione (capitolo 5);
- verifiche geotecniche dei rilevati (capitolo 6);
- Resistenza dei pali soggetti a carichi assiali (capitolo 7).
- Conclusioni e raccomandazioni (capitolo 8).



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 5 di 109



## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni di Progetto Esecutivo
- [2] IN1710EI2RBGE0000004C Relazione Geotecnica (da 33+500 a 44+250)
- [3] IN1710EI2LZGE0000016B Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico 11 di 11
- [4] IN1710EI2RHGE0000006B Relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base 2/2
- [5] IN1710EI2P5GE0000011B Planimetrie con classificazione sismica del territorio 11 di 11
- [6] IN1710EI2RHGE0000004C Relazione idrogeologica 1/2
- [7] IN1710EI2RHGE0000007A-8A Relazione di sintesi dei sondaggi e delle prove eseguite
- [8] IN1710EI2PRGE0000001B-2B, Risultati Indagini in sito di Progetto – SOCOTEC
- [9] IN1710EI2PRGE0000003B-4B, Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI
- [10] IN1710EI2PRGE0000005B-6B-7C-8B, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [11] IN1710EI2PRGE0000009B-12B, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI
- [12] IN1710EI2IGGE0000001B-2B, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [13] IN1710EI2IGGE0000003B-4B, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI

### 2.2 Normativa e standard di riferimento



- [14] Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30
- [15] Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle “Nuove norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008
- [16] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [17] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- [18] RFI DTC SI PS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle opere civili, Parte II – Sezione 2, Ponti e strutture
- [19] RFI DTC SI CS MA IFS 001 B Manuale di progettazione delle opere civili, Parte II – Sezione 3, Corpo stradale
- [20] RFI DTC INC PO SP IFS 001 A Specifica per la progettazione e l'esecuzione dei ponti ferroviari e di altre opere minori sotto binario
- [21] RFI DTC INC CS SP IFS 001 A Specifica per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie
- [22] RFI DTC SICS SP IFS 001 B Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi” – RFI
- [23] RFI TCAR ST AR 01 001 D Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI860001A	Foglio 6 di 109

[24] Specifiche Tecniche di interoperabilità 2015 (REGOLAMENTO (UE) N. 1299/2014 DELLA COMMISSIONE del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea)

### 2.3 Bibliografia

- [25] Hynes, M.E., and Olsen, R.S. (1999), "Influence of confining stress on liquefaction resistance", Proc., Int. Workshop on Phys. And Mech. Of Soil Liquefaction, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 145-152.
- [26] Idriss, I.M. and Boulanger, R.W. (2004), "Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes". In: Proceedings, 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake engineering, and 3d International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. D. Doolin et al., eds., Stallion press, Vol. 1, pp. 32-56.
- [27] Liao, S.C.C. and Whitman, R.V. (1986), "Overburden Correction Factors for SPT in sand", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, No. 3, 373-377.
- [28] Robertson P.K. and Wride C.E. (1998). "Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test". Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, 35(3), pp. 442-459.
- [29] Rocscience (2017), Slide ver 7.0, 2017
- [30] Rocscience (2009), Settle 3D ver 2.0, 2009
- [31] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1971), "Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential", Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 97(9), pp.1249-1273.
- [32] Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1982), "Ground motions and soil liquefaction during earthquakes", Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA.
- [33] Seed, R.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F., Chung, L.M. (1985), "The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 111(12), pp.1425-1445.
- [34] Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, L.W.D., Harder, L.F. Jr., Hynes, M.H., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F. III, Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B. and Stokoe, K.H. II (2001), "Liquefaction Resistance of Soil: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol. 127, n° 10, pp.817-833.
- [35] Priebe H.J., "Vibroreplacement to prevent earthquake induced liquefaction". Ground Engineering, September 1998.
- [36] Idriss I.M. and Boulanger R.W. (2008), "Soil liquefaction during earthquakes".

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 7 di 109

### 3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

#### 3.1 Premessa

Il rilevato ferroviario in esame si estende dal km 44+225,00 al km 44+250,00 per una lunghezza totale di 350 m e risulta in affiancamento alla Linea Storica. Per la tratta in esame non si evidenziano altre interferenze con opere principali adiacenti e/o attraversate.

#### 3.2 Geometria del rilevato

Il rilevato presenta una sezione regolare per tutto il tracciato. Il rilevato è affiancato sul lato nord dalla linea storica, mentre dal lato sud è contenuto da un muro di sostegno con pali di fondazione (D=600/800 mm).

Alla pk 44+225, si riscontra l'altezza massima del rilevato pari a 4.1 m. La sezione citata, denominata Sezione A (Figura 1) è quella ritenuta più significativa per le verifiche SLU e SLE del rilevato in esame .

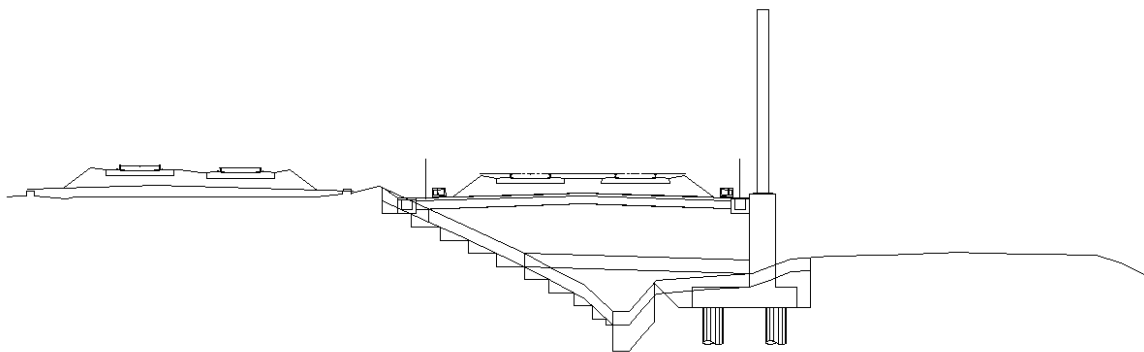




Figura 1 – Sezione di riferimento A (pk 44+225) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 8 di 109

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 4.1 Indagini disponibili

L'ubicazione delle indagini disponibili relative all'opera esaminata è illustrata nella Figura 3, estratta dalla Planimetria geotecnica con ubicazione indagini e profilo geotecnico (Doc. Rif. [3]). Per ulteriori dettagli si rimanda alle relazioni di sintesi delle indagini (Doc. Rif. [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. Per la caratterizzazione geotecnica si è considerata, tenuta in conto l'omogeneità stratigrafica dell'area, una serie di indagini non solo di stretta competenza del rilevato, ma anche quelle effettuate nelle WBS adiacenti, al fine di pervenire ad un quadro di riferimento di maggiore dettaglio e attendibilità.

Nel seguente paragrafo si riporta la caratterizzazione geotecnica, ottenuta basandosi sui risultati delle indagini relative all'area di interesse e sulla caratterizzazione generale dell'area in cui si inserisce il rilevato, presentata nella Relazione Geotecnica (Doc. Rif. [2]).

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

*Tabella 1 - Indagini tra pk 44+225 e pk 44+250*

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
43+816	CPTU-PE-54	2020-2021
43+990	S 11	2002
44+119	BH-DH-PE-93	2020-2021
44+129	CPTU-PE-55	2020-2021
44+150	CPTU102	2015
44+153	MASW-PE-26	2020-2021

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI860001A	Foglio 9 di 109

## 4.2 Inquadramento stratigrafico

Dal punto di vista stratigrafico, l'area del rilevato è interessata dalla presenza di una coltre superficiale con spessore totale pari a 6-8 m, costituita localmente da terreni di riporto, con spessore variabile di 2-3 m, seguiti da terreni limoso/argillosi, generalmente debolmente sabbiosi, (Unità 2). I terreni di riporto, sulla base della descrizione dei sondaggi, sono generalmente costituiti da limi argillosi e sabbiosi, talora con clasti, e localmente con frammenti di laterizi. La descrizione risulta compatibile con la presenza di materiali scavati in posto e quindi riportati.

In termini di quote assolute, la base di questo primo strato si trova ubicata circa alla +28 m s.l.m..

Al di sotto di questa copertura si riscontra uno strato di ghiaie ben addensate (Unità 6) fino a quota di fine sondaggi. Per una trattazione di dettaglio delle unità sopra citate si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale del tratto in esame (Doc. Rif. [2]). Nella Figura 2 si riporta il profilo geotecnico specifico per il rilevato RI86, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 11 di 11 (Doc. Rif. [3]).

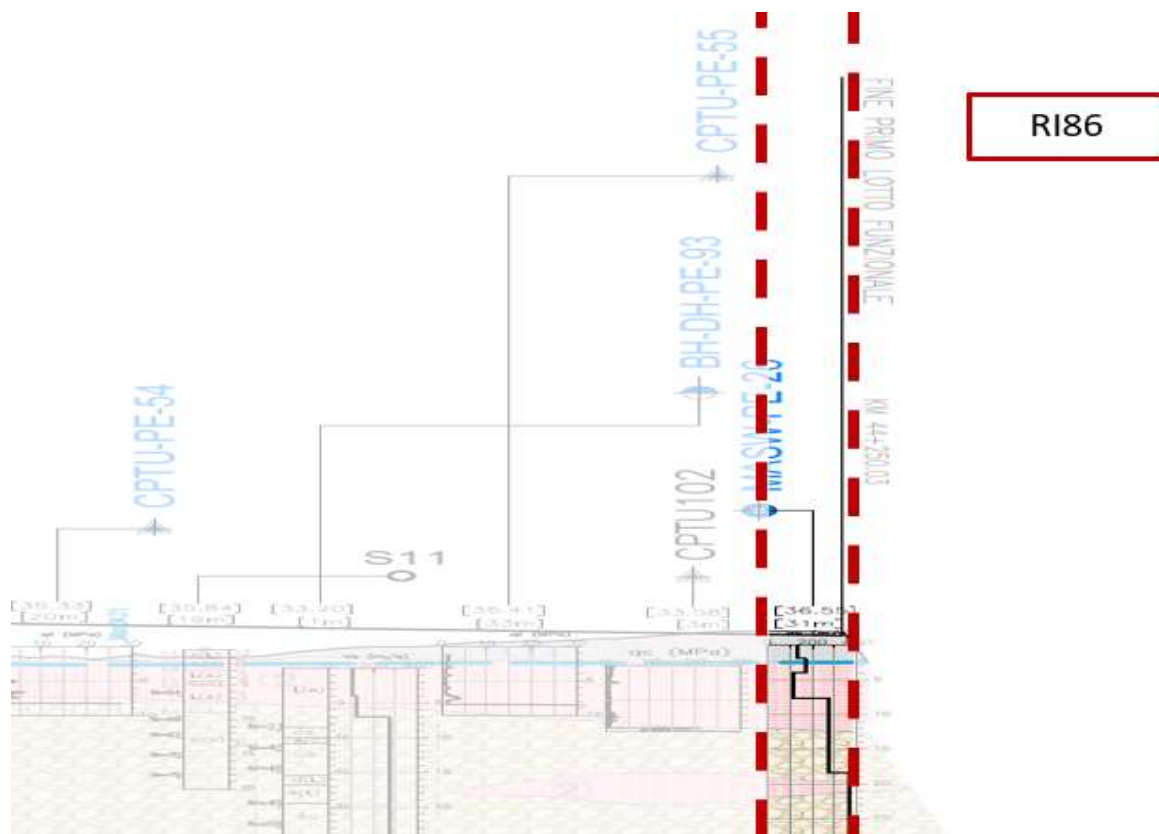


Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato RI86, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])





Figura 3 - Planimetria Rilevato RI86, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

### 4.3 Livello di falda

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

Ai fini progettuali si assume perciò una falda di progetto a piano campagna.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 11 di 109

#### 4.4 Condizioni geotecniche del sito

Come definito dalla sezione stratigrafica, il tratto in oggetto è caratterizzato da una copertura superficiale di limi argillosi/argille limose (Unità 2) per uno spessore da p.c. variabile da 6 a 7 m. La base dello strato è ad una quota assoluta pari a circa alla +26 m s.l.m.

In questa tratta le prove CPTU102, CPTU-PE-54 e CPTU-PE-55 e il sondaggio BH-PE-92, indicano nei primi metri di profondità alternanze di materiali argillosi e materiali potenzialmente liquefacibili fino a quota variabili fra la +29 e la +31 m sl.m. Dall'interpretazione delle prove CPTU (v. Figura 5) tale deposito può essere caratterizzato con una resistenza al taglio non drenata pari a  $c_u=50$  kPa.

Le prove CPTU presentano un profilo di  $q_c$  tipico di alternanze argillose ad altre più sabbiose..

Relativamente ai dati sperimentali relativi alla granulometria dei depositi superficiali, la Figura 4 riporta i dati granulometrici dei materiali, così come ottenuti dalle determinazioni granulometriche di laboratorio delle indagini effettuate nella zona. Come si può notare, i dati disponibili indicano che i materiali si pongono sul confine fra materiali liquefacibili e non liquefacibili, così come definiti dalle NTC 2008.

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

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 20 m pc, per le ghiaie superficiali si stimano valori di  $V_s$  pari a 270 m/s. A profondità maggiori, le velocità sono pari a 320 m/s. Sulla base dei valori di  $V_s$  si sono stimati i valori del modulo di taglio alle piccole deformazioni ( $G_0$ ), per le ghiaie si considera un valore di 140 MPa

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

Ai fini della caratterizzazione geotecnica degli strati sotto la coltre superficiale, 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);
- Resistenza al taglio non drenata dell'unità 2 (v. Figura 5);
- Valori  $N_{SPT}$  da prove SPT (v. Figura 6);
- Densità relativa stimata da prove SPT (v. Figura 7);
- Angolo di attrito stimato da prove SPT (v. Figura 8);
- Velocità delle onde di taglio stimata da prove in sito (v. Figura 9);
- Modulo di taglio alle piccole deformazioni valutati a partire dai valori stimati di  $V_s$  (v. Figura 10).

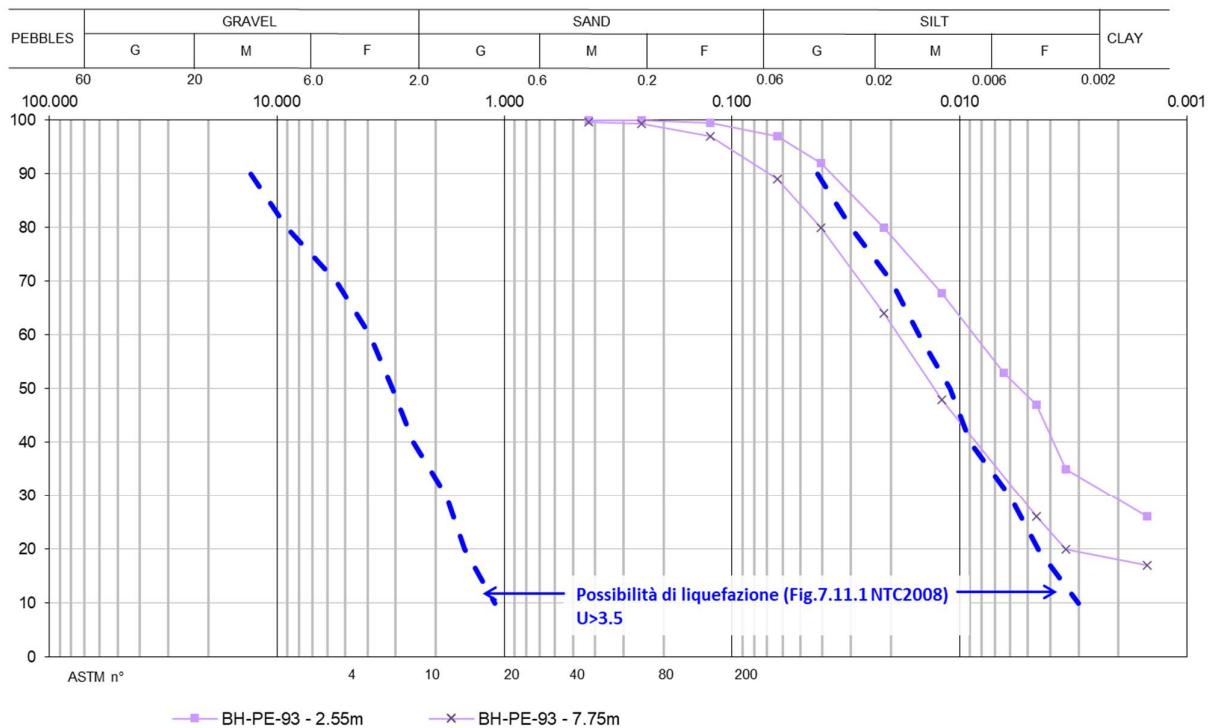


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche dei terreni superficiali e suscettibili alla liquefazione tra pk 44+225 e pk 44+250





Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI8600001A

Foglio  
13 di 109

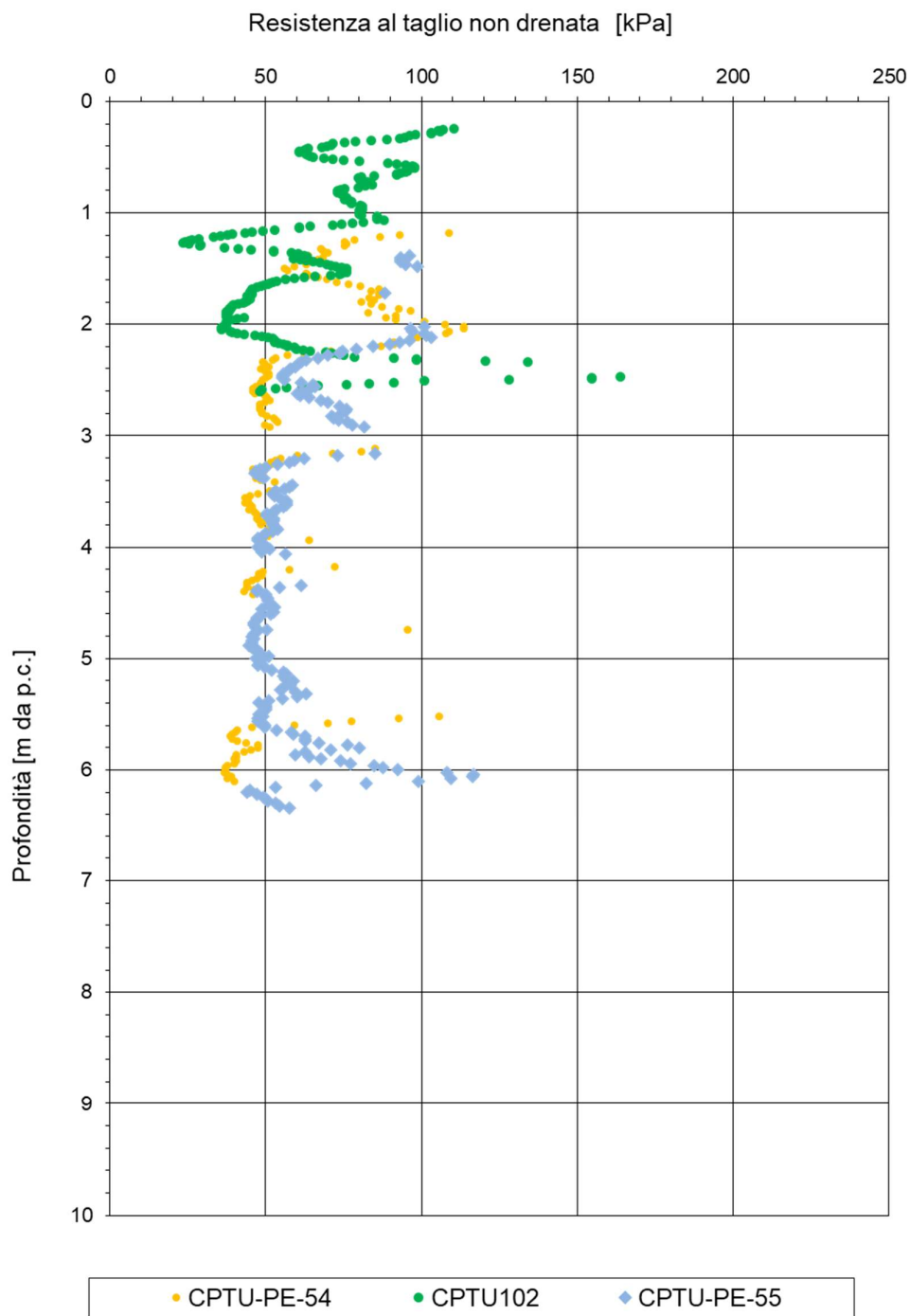


Figura 5 – Resistenza al taglio non drenata da prove CPTU tra pk 44+225 e pk 44+250



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI8600001A

Foglio  
14 di 109

**AV/AC VERONA VICENZA**

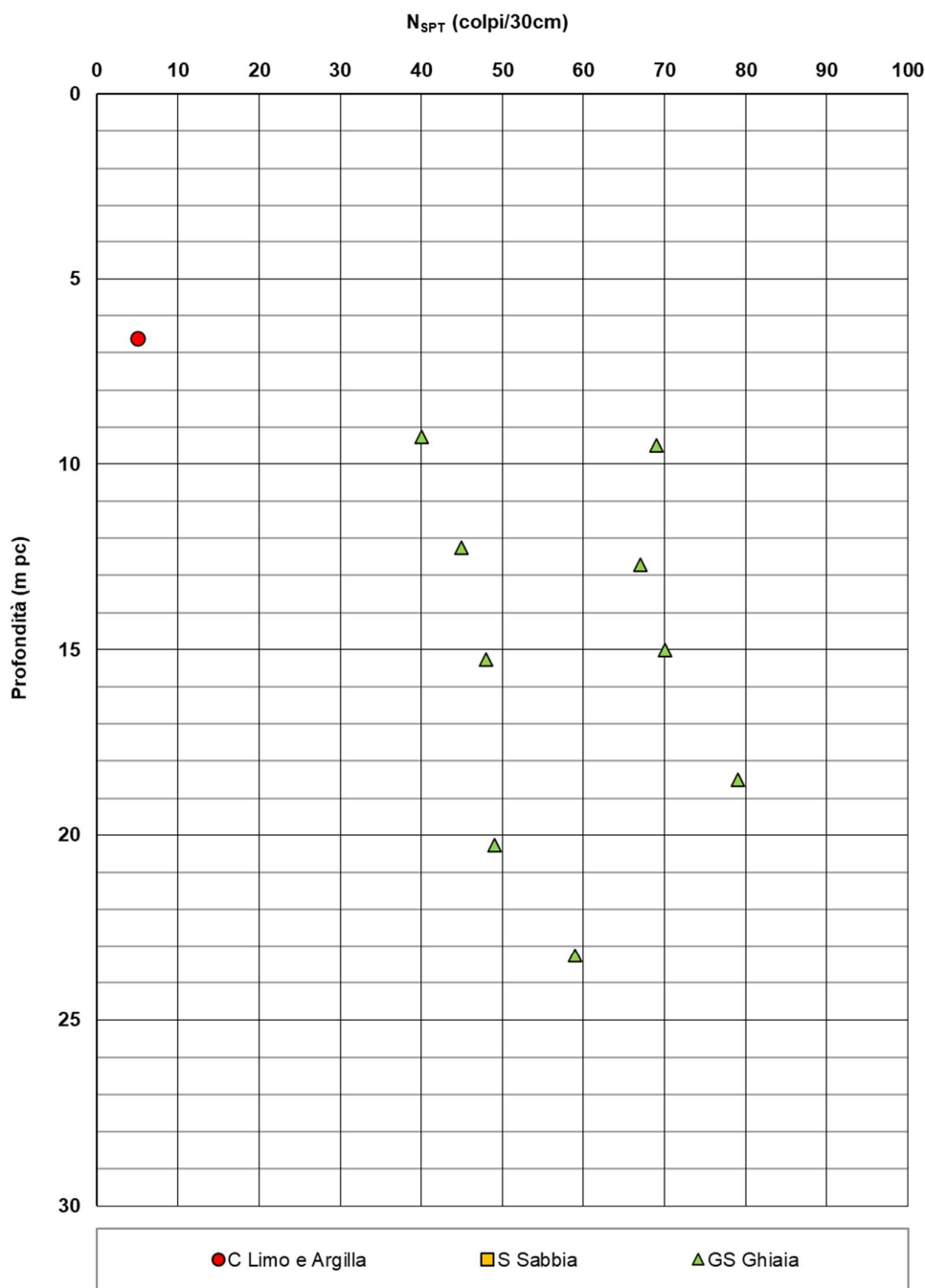


Figura 6 – Esito delle prove SPT tra pk 44+225 e pk 44+250



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI8600001A

Foglio  
15 di 109

**AV/AC VERONA VICENZA**

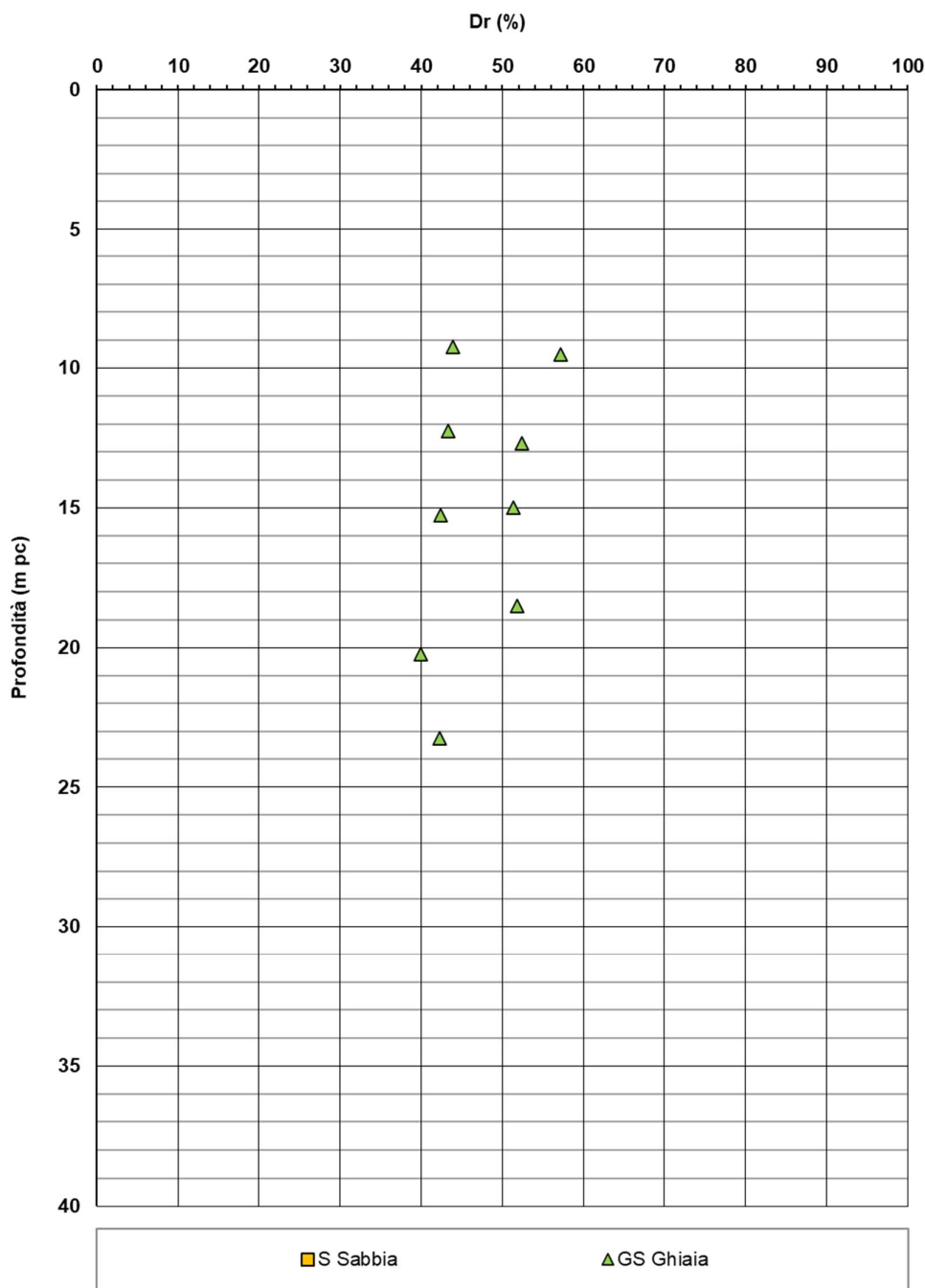


Figura 7 – Densità relativa da prove SPT tra pk 44+225 e pk 44+250



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI8600001A

Foglio  
16 di 109

**AV/AC VERONA VICENZA**

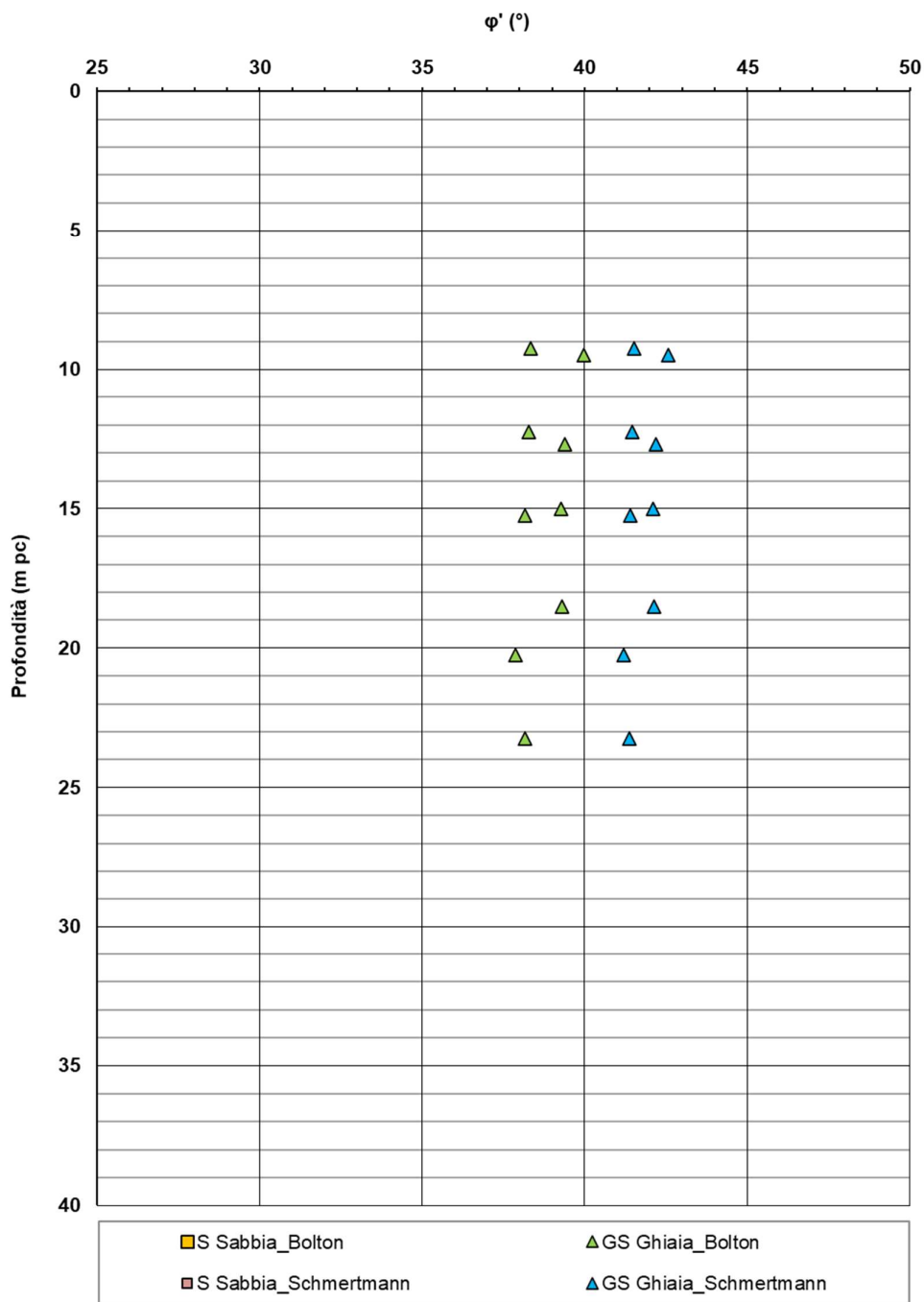


Figura 8 – Angoli di attrito da prove SPT tra pk 44+225 e pk 44+250



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI8600001A

Foglio  
17 di 109

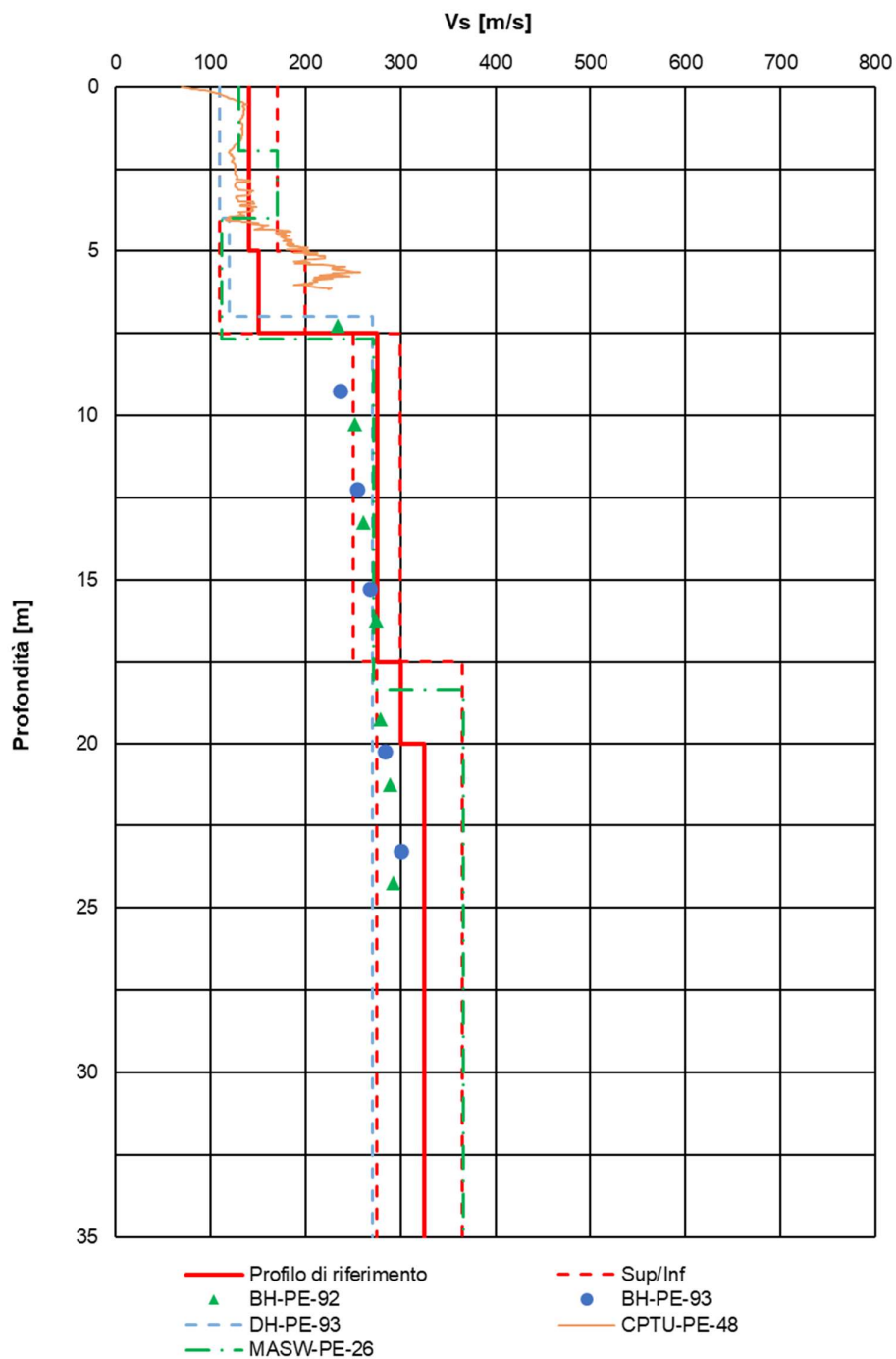


Figura 9 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW tra pk 44+225 e pk 44+250



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
 Relazione Geotecnica

Progetto  
 IN17

Lotto  
 12

Codifica  
 EI2RBRI8600001A

Foglio  
 18 di 109

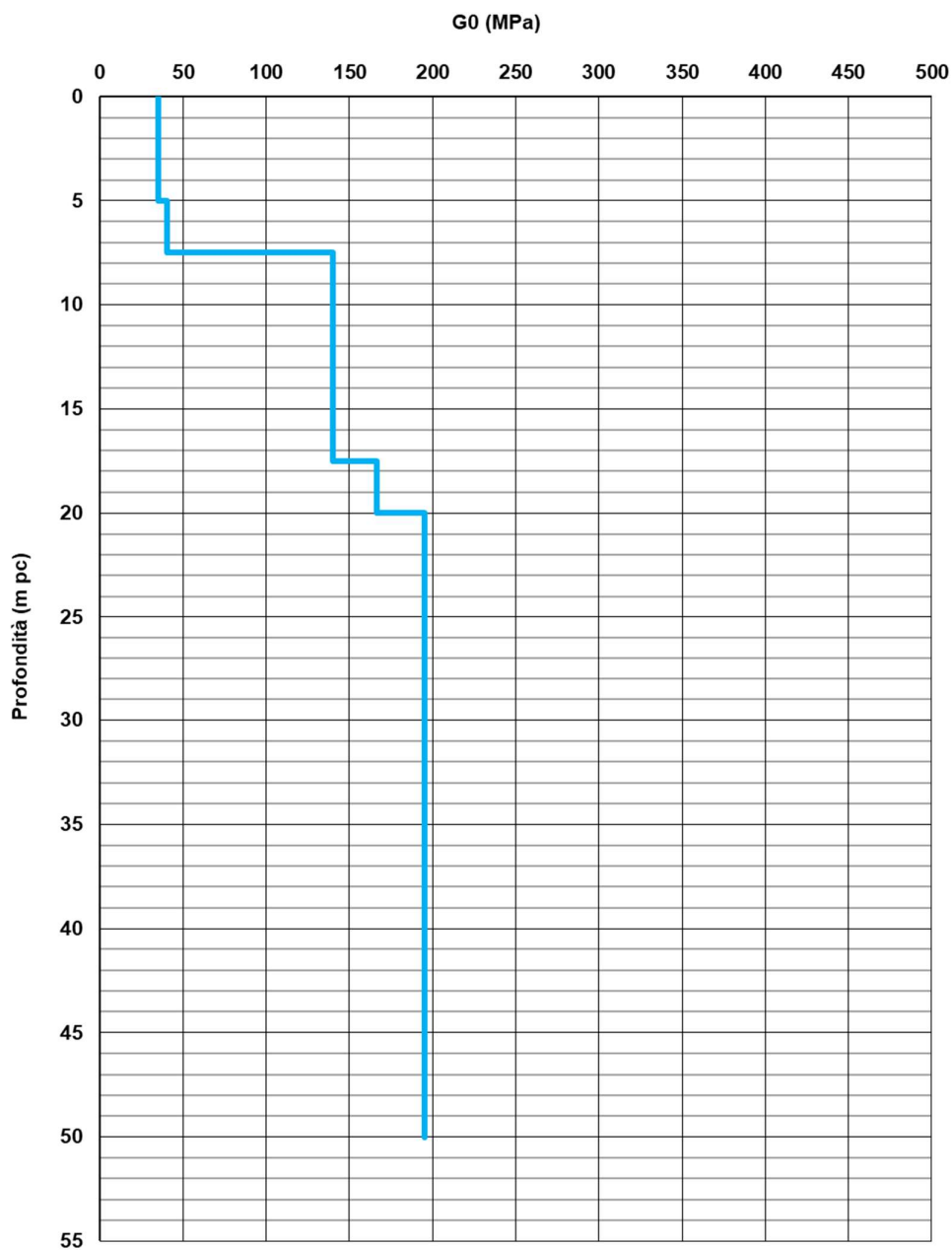




Figura 10 – Modulo di taglio  $G_0$  tra pk 44+225 e pk 44+250

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI860001A	Foglio 19 di 109

## 4.5 Sintesi del modello geotecnico di riferimento

Sulla base di quanto esposto al punto precedente, il modello e i parametri geotecnici considerati per le verifiche del rilevato in questione sono riassunti in Tabella 2.

*Tabella 2 – Modello geotecnico di riferimento da pk 43+875 a pk 44+225*

Unità	da m pc*	a m pc*	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\varphi_k$ °	$c'_k$ kPa	$c_{u,k}$ kPa	$G_0$ MPa	$E'_{op}$ MPa
2(**)	0	7	18	28(36)**	-	-	-	5(11)**
6	7	-	19	39	-	-	140	80

\* quota piano campagna = 33.6 m s.l.m.

quota imposta muro = 32.6 m s.l.m.

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

\*\*\* la base dell'unità 2 è posta ad una quota indicativamente pari alla +26 m s.l.m., i terreni liquefacibili hanno base posta a quote variabili fra la +29 e la +31 m s.l.m. .

In relazione a quanto riportato nelle tabelle, si precisa quanto segue:

- Come si vedrà in seguito, in alcuni tratti le coperture superficiali necessitano di interventi di miglioramento delle caratteristiche meccaniche, in relazione all'esito delle verifiche di liquefazione.
- I valori dei parametri indicati fra parentesi sono quelli del terreno migliorato con le colonne di ghiaia. In particolare:
  - Il valore dell'angolo di resistenza al taglio del terreno sciolto, una volta trattato con colonne di ghiaia avente angolo di resistenza al taglio  $\phi' = 40^\circ$  è stato stimato pari a  $36^\circ$  .
  - I moduli  $E'$  del terreno naturale sono stati impiegati per ricavare le caratteristiche del terreno migliorato con colonne di ghiaia, secondo quanto riportato al punto 6.4.
  - Per il dimensionamento dei pali, in via cautelativa, si è fatto riferimento al contributo alla capacità portante di un terreno coesivo.



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*

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 20 di 109

## 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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI860001A	Foglio 21 di 109

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  $i > 30^\circ$ .*

### 5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 22 di 109

$a_g$ (g) (SLV)	0.221
Coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_s$	1.378
Coefficiente di amplificazione topografica $S_t$	1.0
Accelerazione massima attesa al suolo	
$a_{max}$ (g) ( $a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$ )	0.305

## 5.2 Suscettibilità alla liquefazione

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



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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 23 di 109

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

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

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

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

dove:

$a_{max}$                     accelerazione di picco al sito

$g$                             accelerazione di gravità

$\tau_c$                         valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

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

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

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



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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 24 di 109

Idriss e Boulanger (2004) si è assunto per  $M = 6.0 - MSF = 2$ .

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

### 5.2.1 CRR da correlazione su prove CPT

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

Il procedimento utilizzato per la stima di CRR a partire dai risultati di prove CPT si basa sulla relazione riportata in Figura 11: 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 11, 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 esame e l'esponente "n" varia da 0.5 per i materiali a grana grossa a 1 per i materiali a grana fine.

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



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

dove:

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI860001A	Foglio 25 di 109

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

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

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

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

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

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

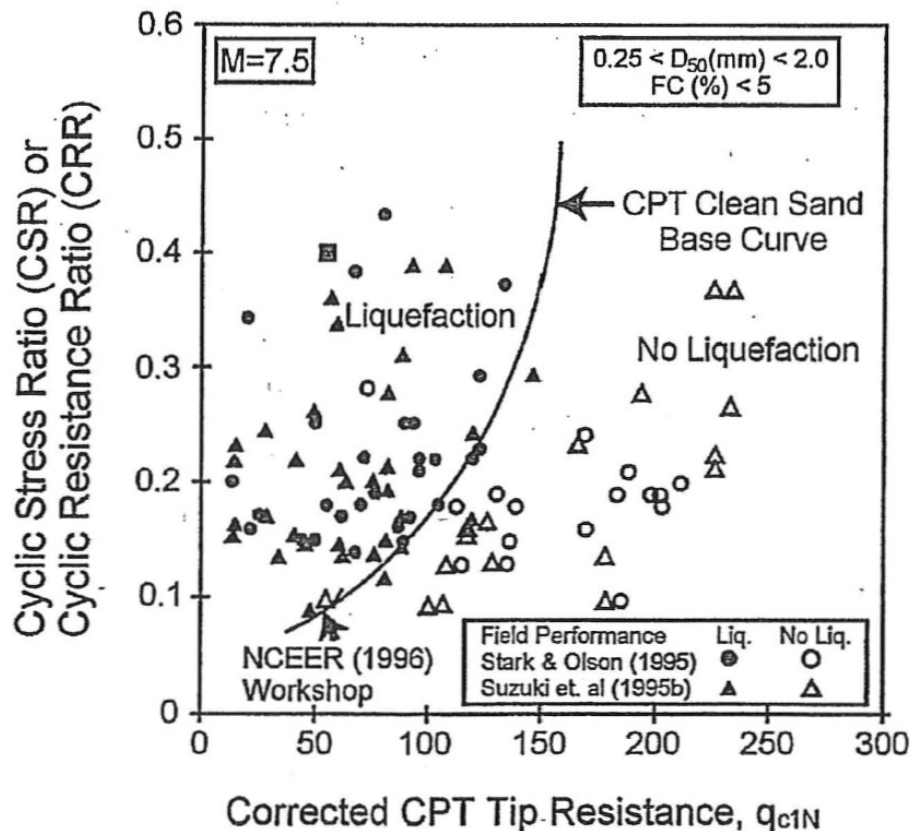




Figura 11 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta  $q_{c1N}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI860001A	Foglio 26 di 109

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

In Figura 12, i risultati delle prove SPT sono espressi in termini di numero di colpi corretti  $N_{1(60)}$ , ossia i valori sono normalizzati per una pressione verticale efficace pari a 100 kPa e corretti per un valore standard di energia trasmessa (60% del valore nominale) come segue:

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

dove:

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

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

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

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



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

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

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

Sempre in Figura 12, viene riportato il valore di CSR calcolato ed i corrispondenti valori di  $N_{1(60)}$  da siti in cui sono stati osservati o meno gli effetti della liquefazione per eventi simili avvenuti in passato, con Magnitudo pari  $M = 7.5$ . Le corrispondenti curve CRR sono state determinate all'interno del grafico in modo da separare chiaramente i dati corrispondenti all'avvenuta liquefazione da quelli per i quali non è stato osservato il fenomeno in esame.

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 27 di 109

Si può osservare dalla Figura 12 come curve diverse siano state sviluppate per terreni aventi diverso contenuto di fini, a partire dalla curva di riferimento corrispondente alla sabbia pulita (FC < 5%).

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

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

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

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

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

In cui:

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

$p_a$  = pressione atmosferica di riferimento

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

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

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

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

Quando possibile, il contenuto di fini è stato determinato sulla base dei risultati delle rispettive granulometrie ottenute da laboratorio per ogni prova SPT. Nel caso quest'ultime non erano disponibili, facendo riferimento alla stratigrafia locale, si è ipotizzato un valore di contenuto di fini pari al 5% per i materiali sabbioso/ghiaiosi, mentre per i terreni limosi/argillosi è stato ipotizzato un contenuto di fini pari al 30-40%.

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

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

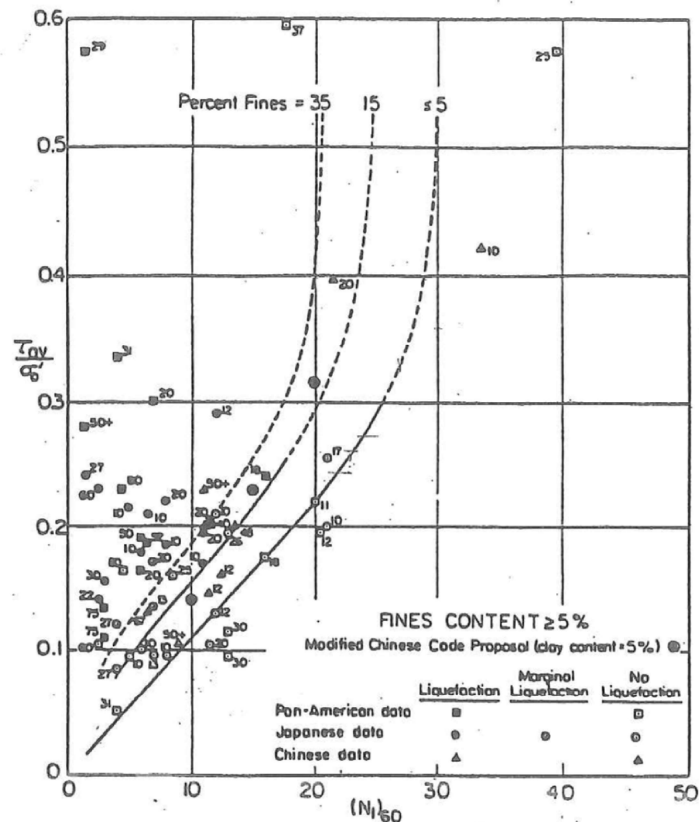




Figura 12 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e  $N_{1(60)}$  – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).



GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 29 di 109

### 5.2.3 Commento ai risultati

I risultati dell'interpretazione delle prove CPTU in termini di potenziale di liquefazione indicano rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI86.

In particolare:

- dall'analisi sulle CPTU-PE-54, CPTU-PE-55 e CPTU102 si individuano livelli di spessore metrico, distribuiti a diverse quote sulla verticale indagata, di materiale potenzialmente liquefacibile, con  $FL < 1.0$
- Non si hanno dati SPT nei primi 7-8 m di profondità dai sondaggi S11 e BH-PE-93. Dalle analisi delle stratigrafie si evidenzia comunque la presenza di limi e strati di sabbia a profondità compatibili con quanto indicato dalle CPTU.

La base de terreni liquefacibili è posta a quota variabili fra la +29 e la +31 m s.l.m.

Si segnala inoltre che, anche in assenza di acclarati fenomeni di instabilità, con formazioni di importanti superfici di scorrimento, le deformazioni accumulate durante il carico ciclico di progetto, sia nelle sabbie che nelle argille, possono risultare tali da pregiudicare le funzionalità dell'opera, inducendo spostamenti e cedimenti non rimediabili attraverso ordinari interventi di manutenzione/riparazione, ma che invece potrebbero richiedere il rifacimento del rilevato ed interventi sui terreni di fondazione, con conseguente interruzione della funzionalità della linea per periodi non trascurabili.

Si prescrivono pertanto interventi di miglioramento dei terreni, che verranno illustrati nel paragrafo successivo.



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI860001A

Foglio  
30 di 109

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-54 Pr. 43+816  
a<sub>max</sub> = 0.30% M<sub>calc</sub> = 6.5 MSF = 1.7 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 5m

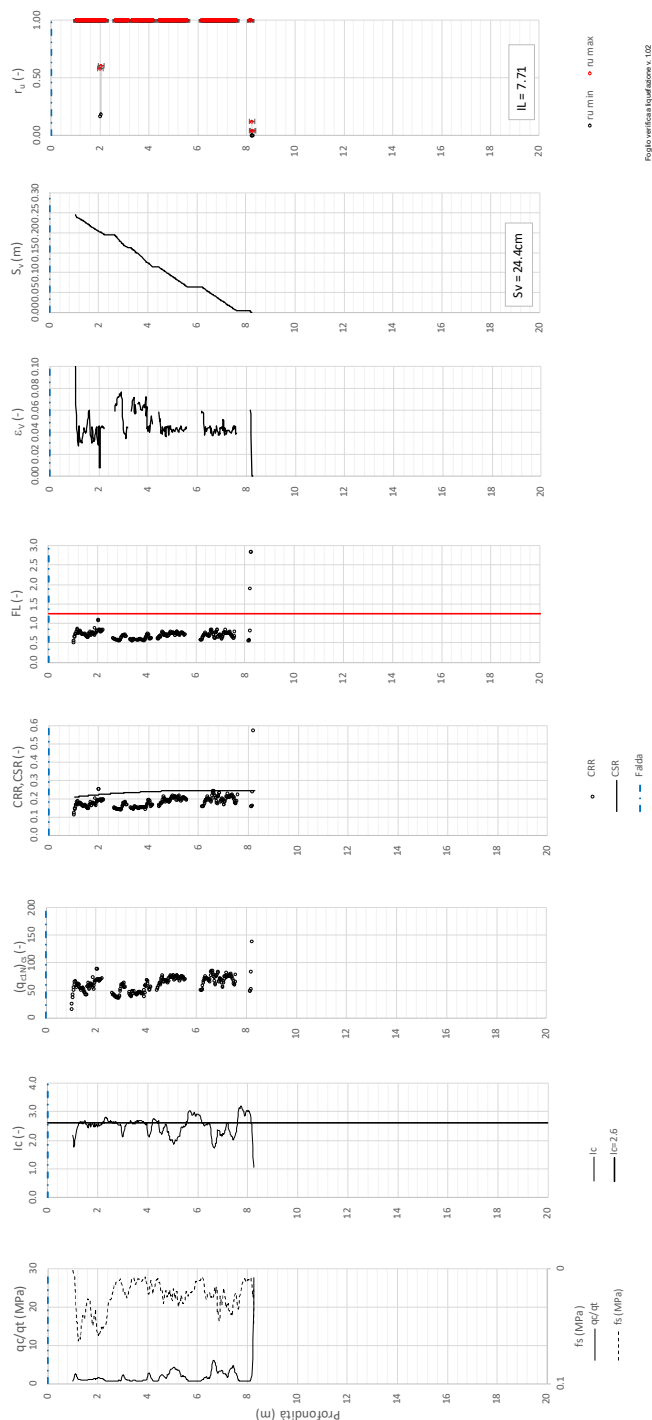


Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-54



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI860001A

Foglio  
31 di 109

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-55 Pr. 44+129  
a<sub>v,max</sub> = 0.30% M<sub>calc</sub> = 6.5 MSF = 1.7 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 5m

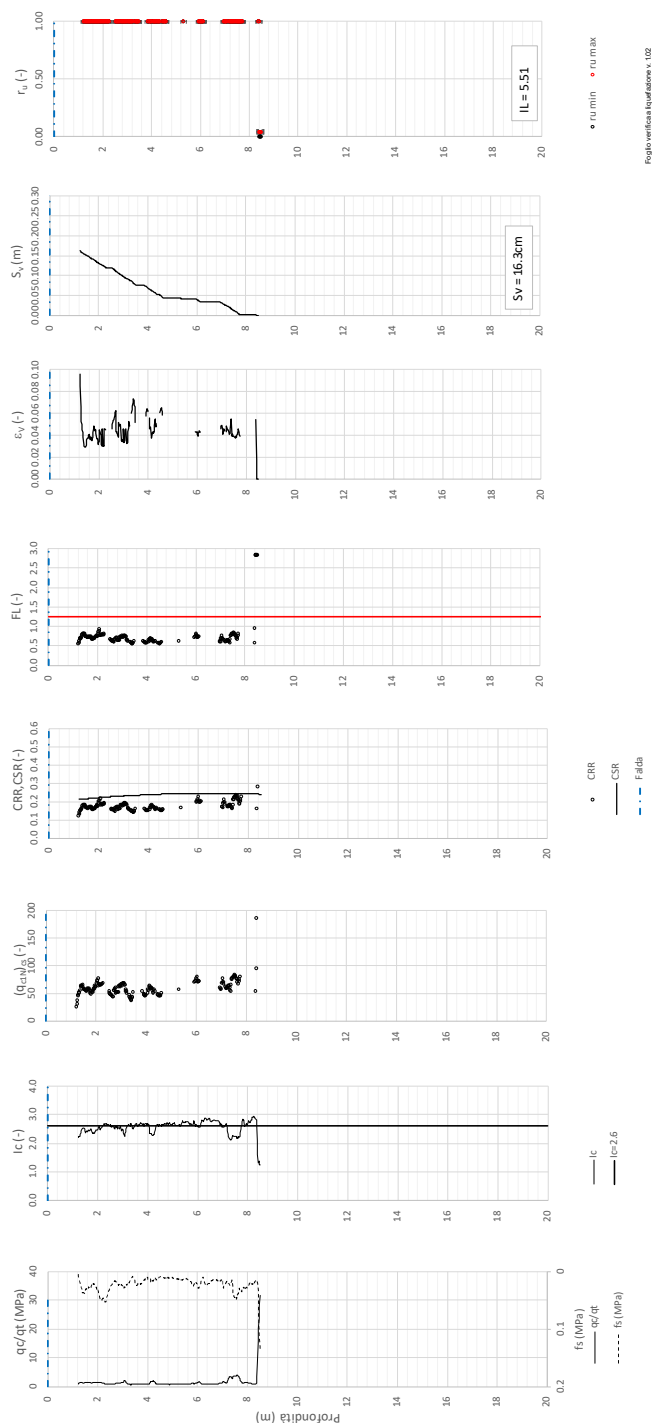


Figura 14 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-55



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI860001A

Foglio  
32 di 109

Tratta AC/AV Verona - Padova - Sub Tratta - Verona - Vicenza - Prova CPTU102 Pr. 44+150  
A<sub>max</sub>\_calc/g = 0.305 M<sub>calc</sub> = 6.5 Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001 MSF = 1.7  
Sovraccarico = 0 kPa

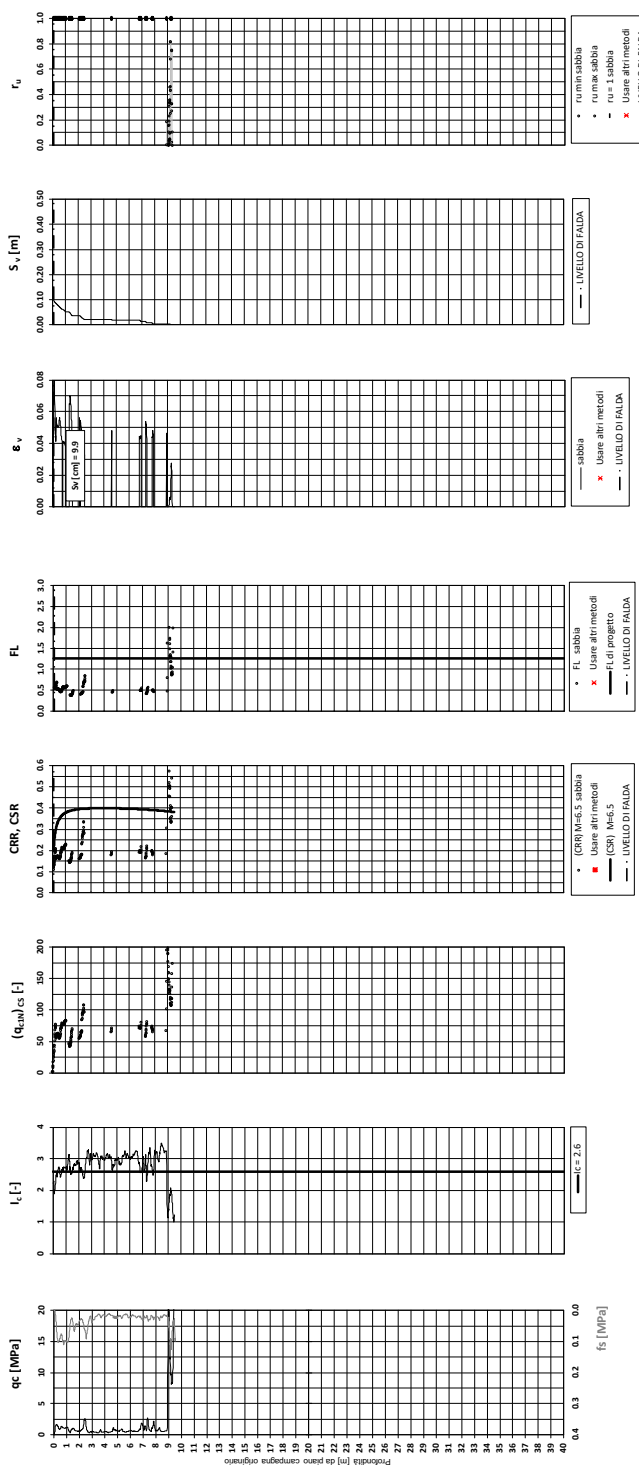


Figura 15 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU102



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI860001A

Foglio  
33 di 109

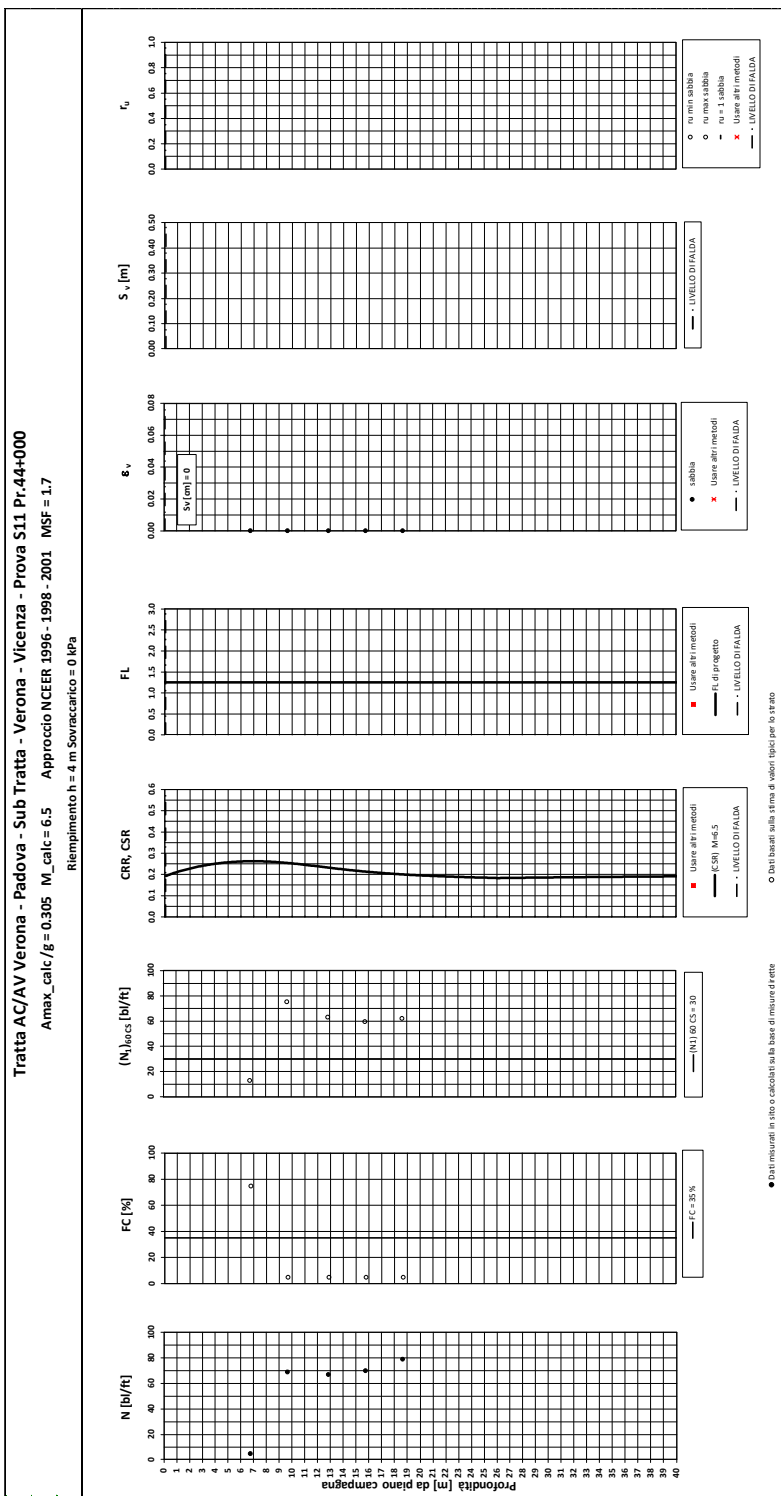


Figura 16 – Verifica Liquefazione da risultati SPT sondaggio S11



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI860001A

Foglio  
34 di 109

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova BH-PE-93 Pr. 44+119  
a<sub>max</sub> = 0.305g M<sub>l,calc</sub> = 6.5 MSF = 1.7 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 2m

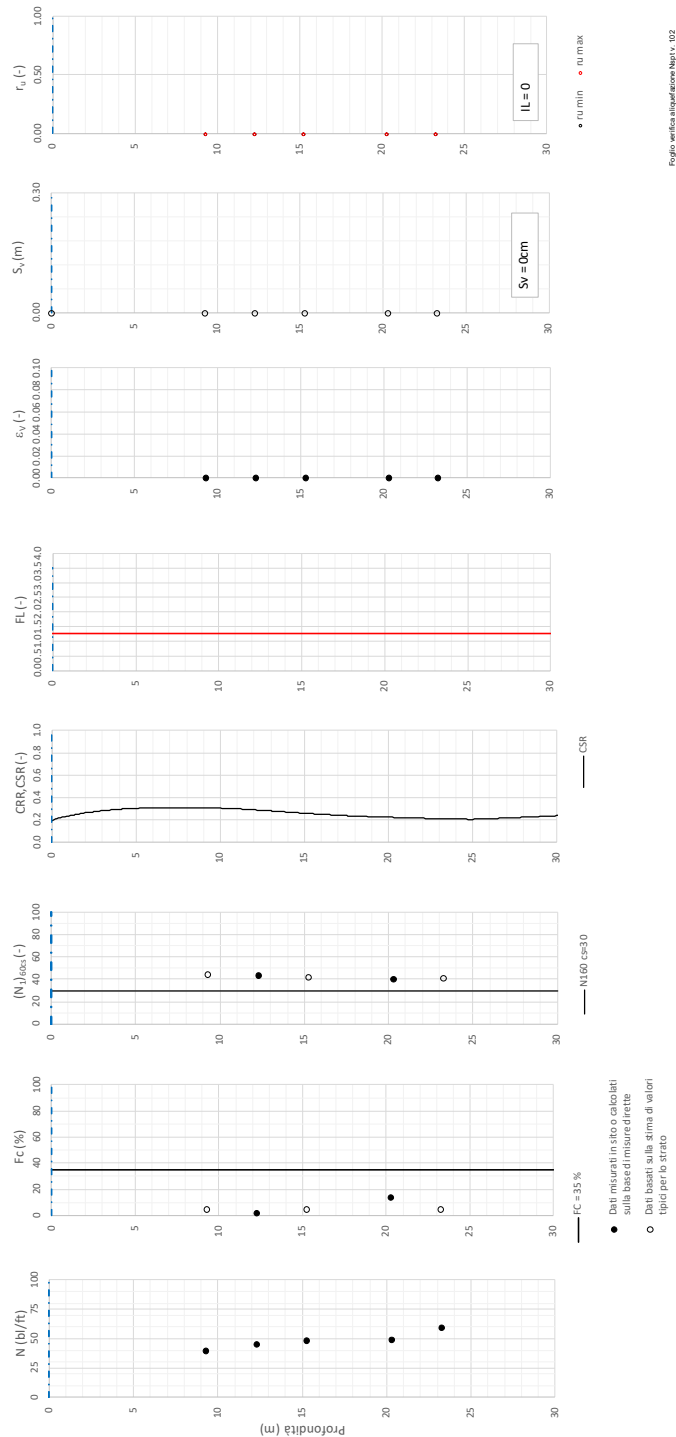




Figura 17 – Verifica Liquefazione da risultati STP sondaggio BH-PE-93

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI860001A	Foglio 35 di 109

#### 5.2.4 Soil improvement

Come mostrato al punto precedente, nella tratta in esame si evidenzia la presenza di materiale a rischio di liquefazione.

Pertanto, dalla pk 43+875 alla pk 44+225 si prescrive l'esecuzione di un trattamento di miglioramento delle caratteristiche dei terreni, mediante l'installazione di colonne in ghiaia con diametro  $D=800$  mm, a maglia rettangolare  $2\text{m} \times 2.4\text{m}$  (2 m in senso trasversale e 2.4 m in senso longitudinale all'asse delle linea).

La lunghezza delle colonne varia a seconda della loro posizione in sezione, e in funzione della quota del piano di lavoro che si dovrà formare per consentire le diverse lavorazioni (colonne di ghiaia, pali del muro, e posa in opera del tombino al piede del muro). Il criterio per il posizionamento delle colonne è il seguente:

- le colonne debbono interessare la quasi totalità dello spessore dello strato, creando una piattaforma di stabile di appoggio del rilevato.
- Debbono essere realizzate anche nella zona dei pali, ed esternamente ad essi, in modo tale che, in caso di sisma, la reazione orizzontale del terreno venga assicurata
- Il miglioramento deve anche interessare il volume di terra sottostante il tombino che verrà posto al piede del rilevato, in modo tale da assicurarne il suo mantenimento in quota e funzionalità.

In realtà, la vicinanza del tombino al muro fa sì che gli obiettivi di cui ai punti b) e c) siano sostanzialmente coincidenti, e non richiedano un ampliamento degli interventi. Per maggiori dettagli, si rimanda alle tavole esecutive.

Per il dimensionamento delle colonne, si è proceduto come segue:

- Si è dimensionata la spaziatura degli interventi sulla base delle indicazioni di Priebe (Doc.Rif.[35]). Il metodo proposto da Priebe consiste nel valutare, in funzione della "densità" del trattamento (i.e., la spaziatura fra le colonne), la diminuzione di azione ciclica sul terreno dovuta alla presenza delle colonne stesse. Nel grafico di Figura 18  $A_c$  è l'area della colonna, mentre  $A$  è l'area di pertinenza della colonna stessa. A titolo di esempio, spaziando colonne  $D=800$  mm su maglia quadrata  $2.0\text{m} \times 2.4$  m, si ottiene un "area ratio"  $A/A_c=4.8/0.5=9.6$ , che consente di ridurre l'azione ciclica sul terreno di un fattore ( $P_s/P$  nel grafico in ordinate) che può essere stimato pari a 0.65 per colonne realizzate con materiale avente angolo di resistenza al taglio dell'ordine dei  $40^\circ$ .
- Sulla base di tale riduzione, si è rivalutato l'effetto dell'azione ciclica ridotta sui terreni naturali. Nelle figure seguenti si riportano le verifiche di liquefazione eseguite con tale criterio. Come si può notare, per effetto della riduzione della PGA da 0.305 a 0.198 (appunto di un fattore 0.65), si assiste ad un notevole miglioramento del comportamento del materiale, con limitazione delle sovrappressioni interstiziali, e quindi riduzione di cedimenti elevati.
- Si segnala inoltre che il metodo di Priebe trascura l'effetto di addensamento dei materiali indotto dalla realizzazione delle colonne. Inoltre, il metodo non tiene in conto dell'effetto di drenaggio indotto dalla presenza di colonne di ghiaia, con che favorisce ulteriore diminuzione delle sovrappressioni.

- Si conclude pertanto che tale trattamento è in grado di limitare sensibilmente i danni potenziali derivanti da una elevata mobilitazione della resistenza al taglio ciclica, con considerevole riduzione dei cedimenti e dei danni localizzati.

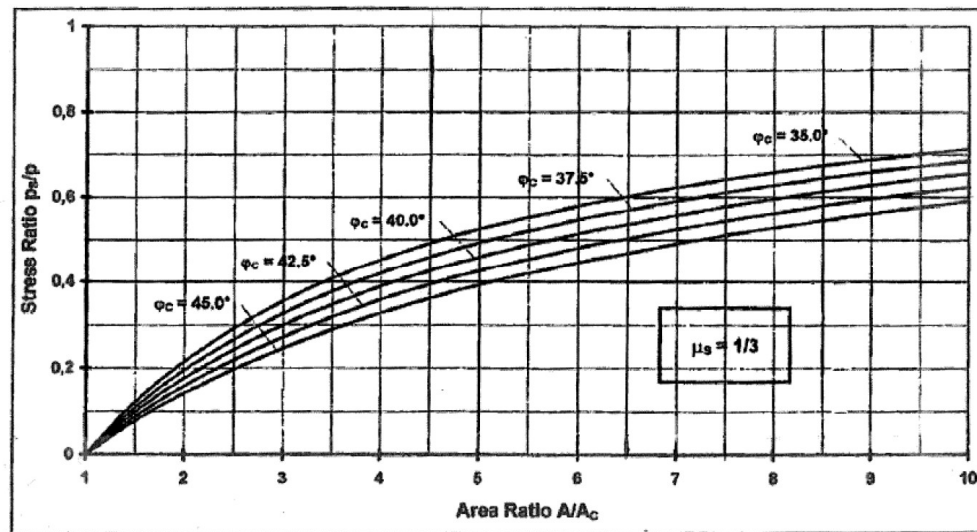


Figura 18 – Riduzione dello stress ratio sismico in funzione dell'area ratio delle colonne di ghiaia  
(Doc.Rif.[35])





Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI860001A

Foglio  
37 di 109

Treatta AC/AV Verona-Padova - Sub Treatta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-54 Pr. 43+816  
 $a_{p,max} = 0,19825g$   $M_{calc} = 6,5$   $MSF = 1,7$  Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
 Altezza rilevato = 5m

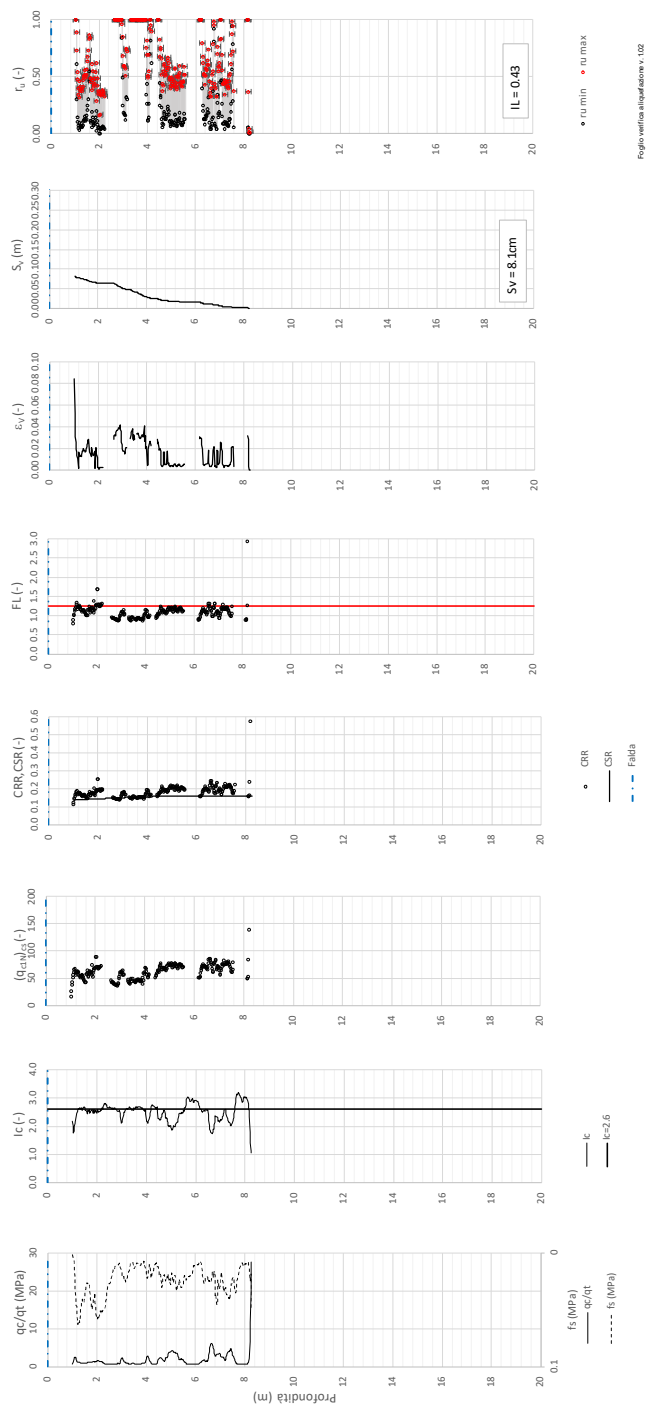


Figura 19 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-54 dopo soil improvement



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI860001A

Foglio  
38 di 109

T tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-55 Pr. 44+129  
a<sub>max</sub> = 0,19825g M<sub>calc</sub> = 6.5 MSF = 1,7 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001  
Altezza rilevato = 5m

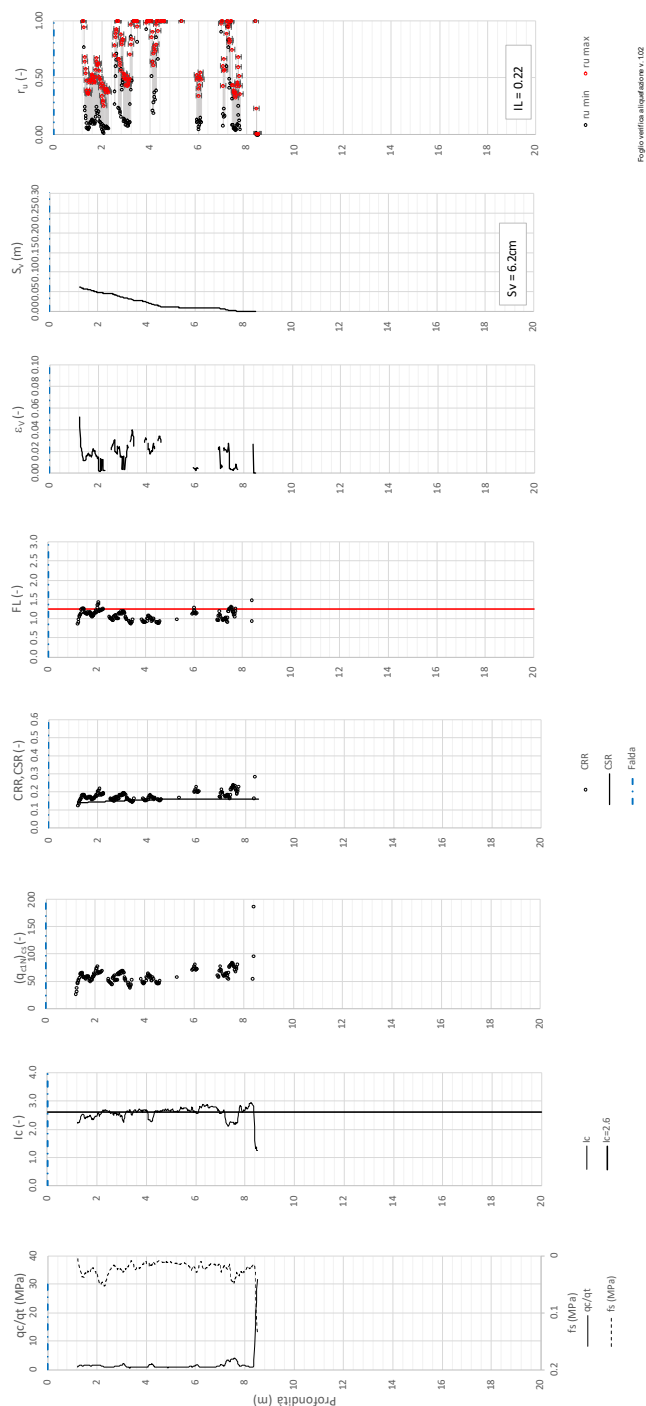




Figura 20 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-55 dopo soil improvement



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI860001A	Foglio 40 di 109

## 6 VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO

### 6.1 Criteri di verifica agli Stati Limite

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

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

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

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

dove

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

$R_d$  valore di progetto della resistenza.

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

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

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

dove:

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

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

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

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

#### 6.1.1 Stati limite ultimi (SLU)



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

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 41 di 109

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

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

*Tabella 6 – Coefficienti parziali sulle azioni*

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

dove:

- $\gamma_{G1}$  coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;
- $\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- $\gamma_Q$  coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
- $\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale delle azioni variabili.



*Tabella 7 – Coefficienti parziali sui terreni (Tab. 6.2.II, Doc. Rif. [14])*

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

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

Coefficiente	R2
$\gamma_R$	1.1

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI860001A	Foglio 42 di 109

### 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)



	<b>V ≤ 160 km/h</b>	<b>160 &lt; V ≤ 300 km/h</b>
1° livello di qualità	$\Delta H \leq 10$ SCARTXL ≤ 6	$\Delta H \leq 10$ SCARTXL ≤ 4
2° livello di qualità	$10 < \Delta H \leq 15$ $6 < \text{SCARTXL} \leq 10$	$10 < \Delta H \leq 15$ $4 < \text{SCARTXL} \leq 8$
3° livello di qualità esecuzione a breve termine anche in relazione ai limiti di sghembo (2)	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) $10 < \text{SCARTXL} \leq 14$	$15 < \Delta H \leq 20$ (1) $8 < \text{SCARTXL} \leq 12$
(1) il valore di $\Delta H$ può essere ammesso solo a seguito di una verifica di assenza di problemi di sagoma (gallerie, interasse, posizione linea di contatto ecc.)		
(2) ATTENZIONE al rispetto delle condizioni di lavorabilità del binario previste dalla Norma sulla I.r.s.		

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

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

## 6.2 Azioni di progetto

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 43 di 109

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

### 6.2.3 Azione sismica

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

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

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

dove



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

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

$g$                          accelerazione di gravità.

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

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

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 44 di 109

## 6.3 Verifiche e risultati SLU

### 6.3.1 Premessa

Le verifiche SLU della stabilità globale del rilevato (sia in condizioni statiche che sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo SLIDE 7.0 (Doc. Rif. [29]). Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento rispettivamente ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico e ai coefficienti parziali (M2) per le analisi sismiche. Tali coefficienti sono contenuti nella Tabella 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, secondo il metodo di Bishop modificato. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici caratteristici definiti al paragrafo 4.5.

Si segnala che nella schematizzazione di calcolo è stata considerata la profondità dello strato liquefacibile come se il p.c. fosse alla quota della strada. In realtà, facendo riferimento alle sezioni, si evince che lo spessore di strato liquefacibile posto al di sotto della quota di imposta del muro è molto inferiore., In aggiunta, si è trascurata la resistenza al taglio dei pali di fondazione del muro, e si è trattato il muro come se fosse su fondazione diretta. Pertanto, le verifiche sono da considerare come del tutto cautelative.



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI860001A	Foglio 45 di 109

### 6.3.2 Verifiche SLU in condizione statiche

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

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

In Figura 22 sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2. Il valore minimo di FS è pari a:

$$F_{S\text{MIN}} (DA1C2) = 1.752 > R2 = 1.1$$

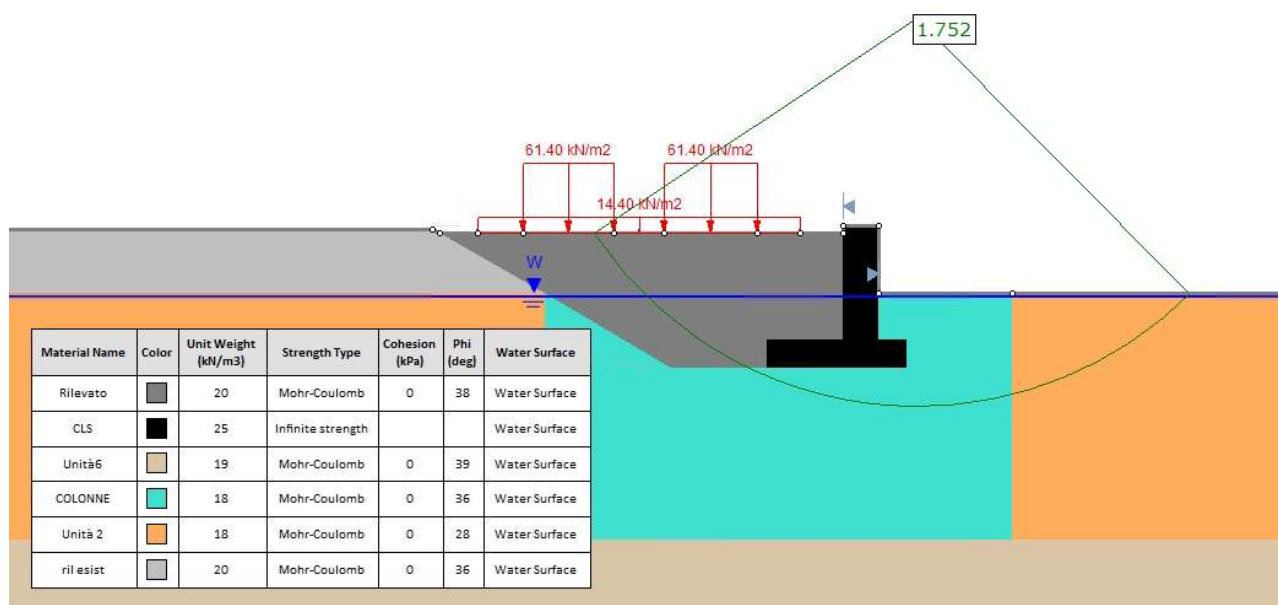




Figura 22 – Sezione A - Analisi SLU in campo statico DA1C2

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 46 di 109

### 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:

$$K_H = + 0.085 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.043 \quad (\text{verificando la pi\`u cautelativa tra negativo e positivo})$$

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

Per i parametri di resistenza al taglio degli strati interessati dall'intervento con colonne, si veda quanto riportato al punto 4.5.

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

$$FS_{MIN} = 1.539 > R2 = 1.1$$

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

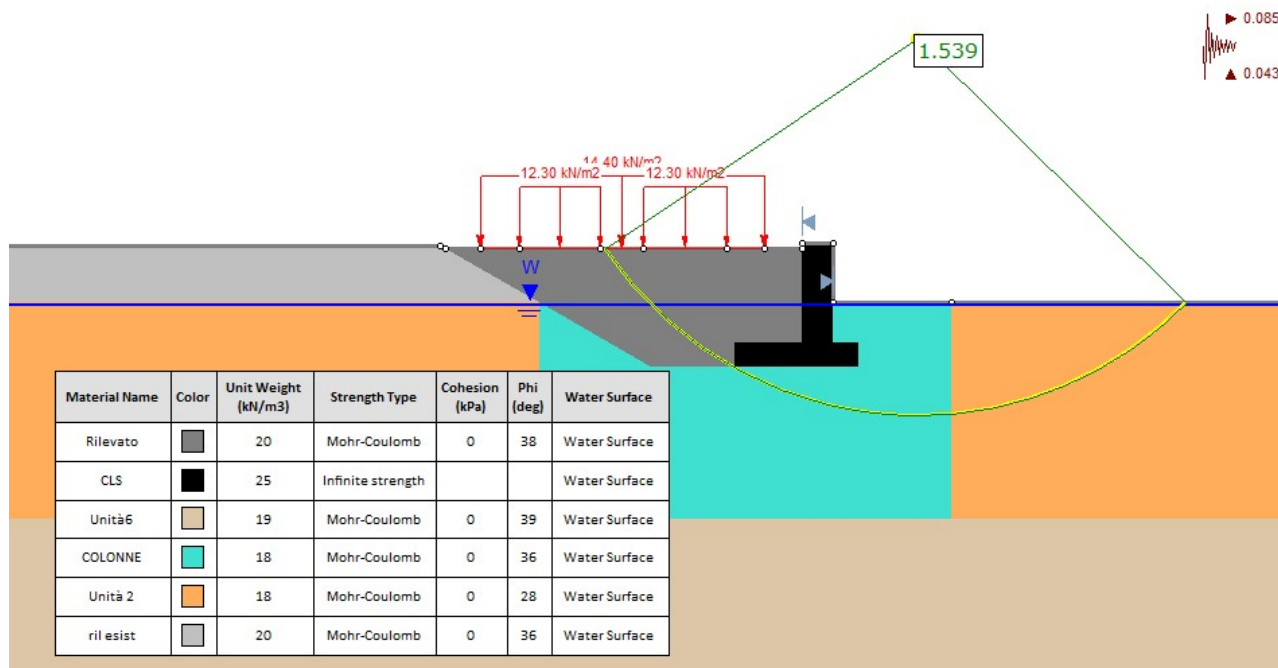




Figura 23 – Sezione A - Analisi SLU in campo sismico

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI860001A	Foglio 47 di 109

### 6.3.4 Verifiche SLU in condizioni post sismiche

Nel caso di analisi di stabilità su terreno liquefatto, si è considerata la liquefazione come l'evento terminale, prodotto dall'intero ciclo di carichi dovuto al sisma. Pertanto, a liquefazione avvenuta, il sisma non è più presente e la verifica viene intesa come post-sismica. In sostanza, nelle verifiche post sismiche non è stata applicata l'accelerazione, ma si esamina la stabilità del rilevato a seguito dell'effetto prodotto dall'intero carico ciclico.

La resistenza al taglio degli strati liquefatti è stata posta convenzionalmente pari a  $0.1 \sigma'_v$  (Rif.Doc. [36]), che è stata modellata nelle analisi con un terreno avente angolo di resistenza al taglio pari a  $5.7^\circ$  ( $\arctg. 0.1$ ).

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

Per i parametri di resistenza al taglio degli strati interessati dall'intervento con colonne, si veda quanto riportato al punto 4.5.

In Figura 24 sono riportate le superfici di rottura critiche. Il fattore di sicurezza FS è pari a:

$$FS_{MIN} = 1.868 > R2 = 1.1$$

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

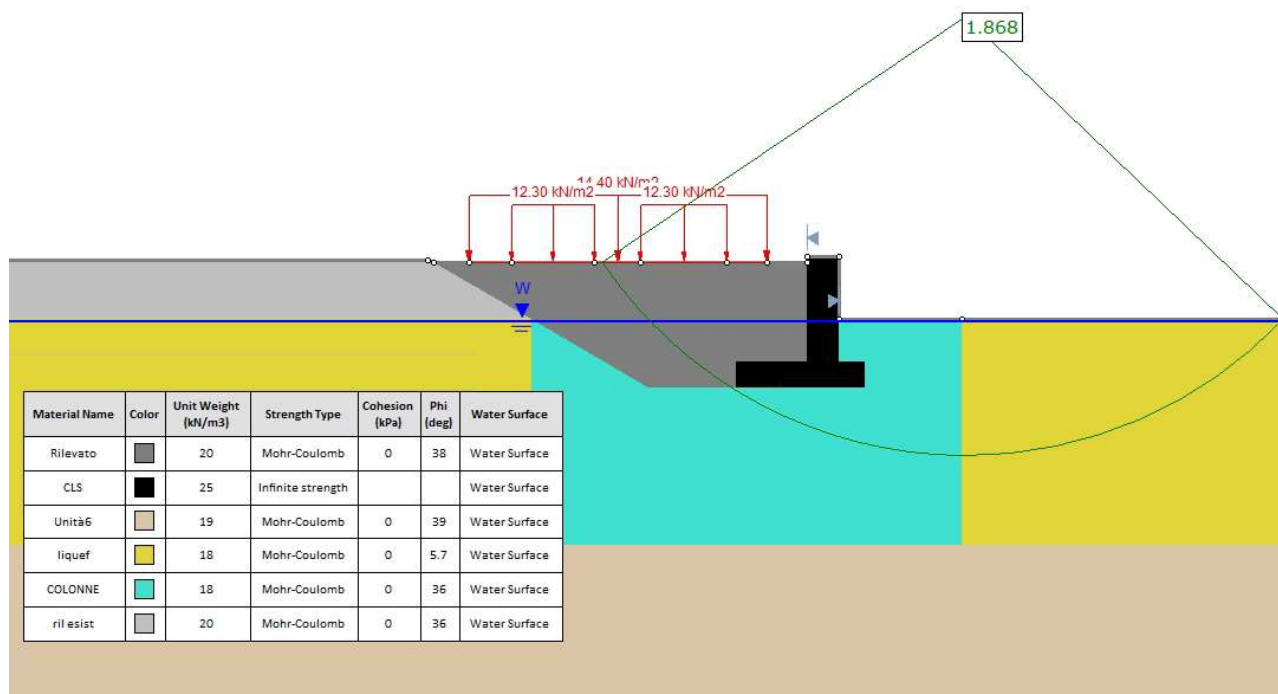




Figura 24 – Sezione A - Analisi SLU post sisma

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 48 di 109

## 6.4 Verifica e risultati SLE

### 6.4.1 Metodologia di calcolo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

$q$  = carico applicato

$\nu$  = coefficiente di Poisson

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

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

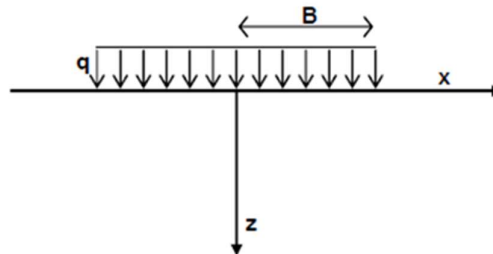


Figura 25 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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

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

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

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

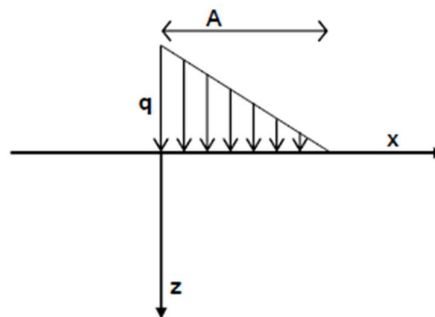




Figura 26 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 50 di 109

di progetto riportata al punto 4.5. Si sono assunti i valori caratteristici sia sulle azioni che sui materiali.

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

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

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

dove

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

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

#### 6.4.2 Schematizzazione e risultati

La verifica è stata condotta con riferimento alla già citata sezione di riferimento A riportata in Figura 1. Il modello di calcolo implementato per il rilevato tipologico con altezza pari a 4.1 m, è riportato in Figura 25. Il rilevato esistente è largo m e alto 4.6 m, il rilevato in affiancamento è alto 4.1 m e largo 14 m con scarpata verticale per simulare la presenza del muro. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici definiti in Tabella 2

Anche per quanto concerne la verifica SLE, si applica la medesima considerazione di cui al punto 6.3.1, per cui anche i risultati delle verifiche di cedimento debbono essere considerati come cautelativi.

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

Assumendo per le colonne un valore del modulo  $E' = 60$  MPa, ed un'area di competenza di ciascuna colonna  $D = 800$  mm pari a  $4.8 \text{ m}^2$  (maglia  $2.0 \text{ m} \times 2.4 \text{ m}$ ), si ottiene un modulo equivalente pari a:

$$E'_{eq} = (5 \cdot 4.3 + 60 \cdot 0.5) / 4.8 \approx 11 \text{ MPa.}$$

Il carico dato dal completamento della linea ferroviaria, assunto pari a  $14.4 \text{ kPa}$ , è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza dell'impronta della massicciata ferroviaria.

I cedimenti sono stati calcolati al centro del nuovo rilevato, i valori calcolati sono riportati nella Figura 28



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

- Rilevato esistente (linea storica), vedi Figura 25 a)
- Affiancamento e completamento rilevato nuova linea, vedi Figura 25 b)

Il cedimento calcolato in corrispondenza del centro del nuovo rilevato è di circa  $7 \text{ cm}$ .

Considerando che:

- La maggior parte del cedimento avviene per compressione degli strati superficiali (v. Figura 29), caratterizzati

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI8600001A</p>	<p>Foglio 51 di 109</p>

da valori di cv elevati ( $\geq 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ ), e spesso di natura sabbiosa,

- Considerando che le colonne agiscono in pratica come dreni verticali di diametro 80 cm

Se ne conclude che i cedimenti per consolidazione saranno praticamente contestuali all'applicazione del carico, e quindi non risultano essere necessarie dettagliate analisi di consolidazione.

Inoltre, considerata la natura dei terreni, i cedimenti secondari sono trascurabili.

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

I cedimenti indotti sul rilevato della linea storica sono dell'ordine dei 4-6 mm, e pertanto notevolmente inferiori a quelli ammissibili.

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

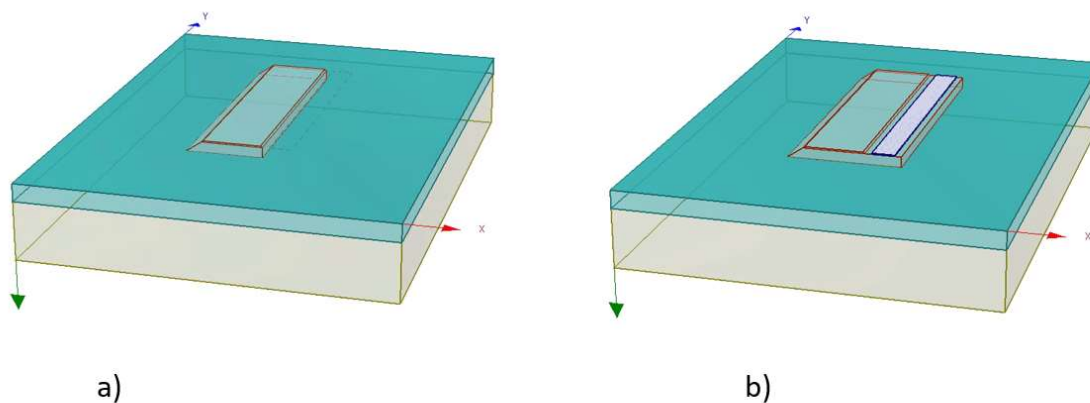


Figura 27 - Rilevato RI86 - Analisi SLE – Modello di calcolo



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

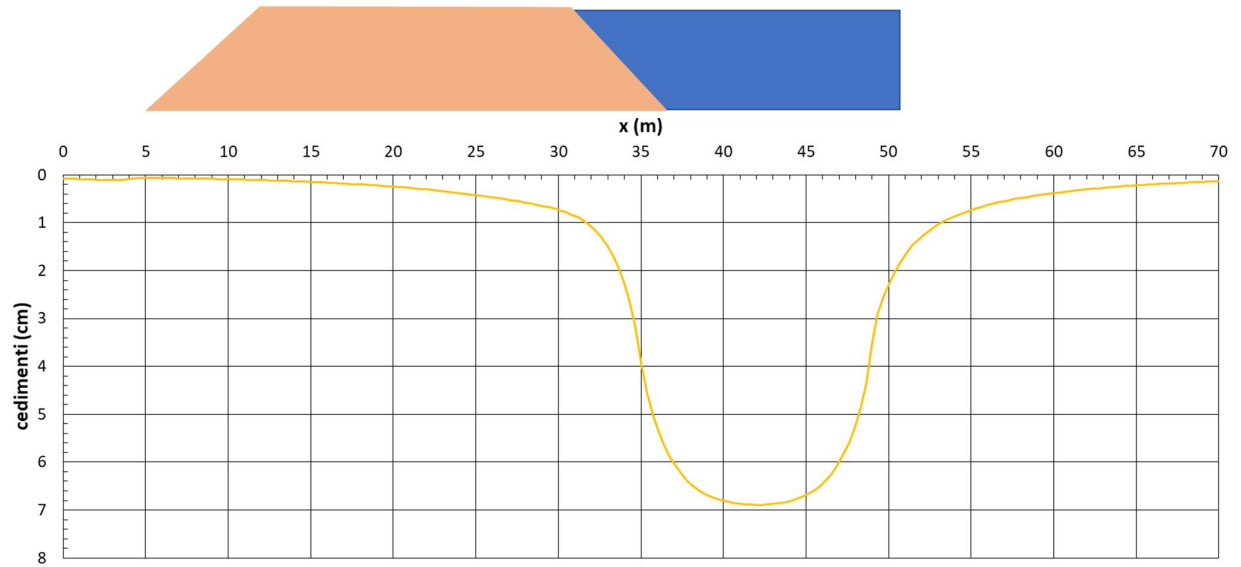
Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

52 di 109

**Ri86 : Cedimento del rilevato ferroviario linea AV**



*Figura 28 - Rilevato RI86 - Analisi SLE – Cedimenti*





Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

53 di 109

## Ri86: Cedimento al centro del rilevato ferroviario Av

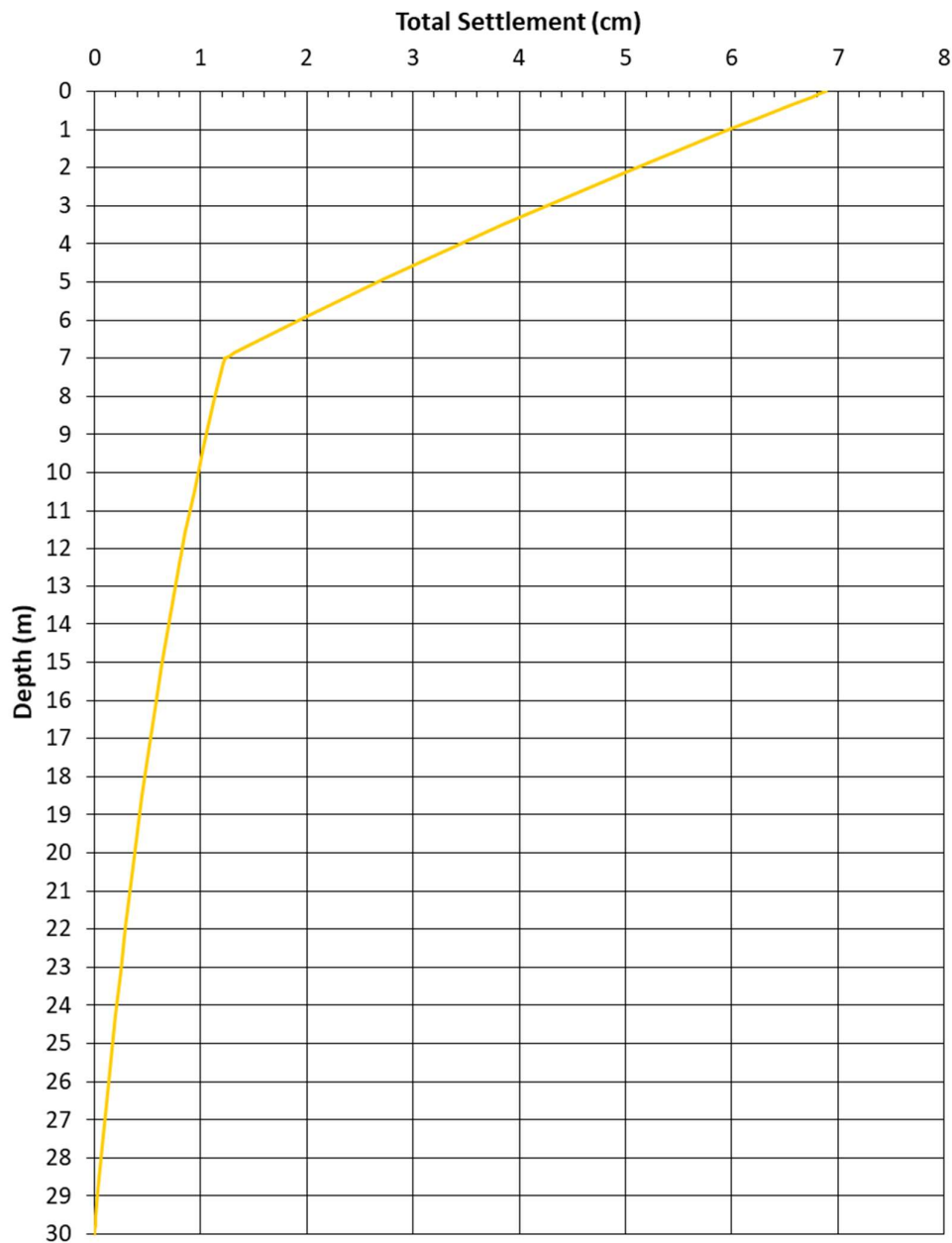




Figura 29 - Rilevato RI86 - Analisi SLE – Risultato cedimenti in profondità al centro del rilevato

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 54 di 109

## 7 RESISTENZA DEI PALI SOGGETTI A CARICHI ASSIALI

### 7.1 Analisi agli stati limite

Le verifiche di capacità portante dei pali sono svolte secondo la metodologia degli stati limite ultimi, in accordo alla normativa vigente (DM 2008). La verifica della capacità portante dei pali è soddisfatta se:

$$F_{cd} < R_{cd}$$

essendo:

$$R_{cd} = R_k / \gamma_R$$

dove:

- $F_{cd}$  carico assiale di compressione di progetto;
- $R_{cd}$  capacità portante di progetto nei confronti dei carichi assiali;
- $R_k$  valore caratteristico della capacità portante limite del palo;
- $\gamma_R$  coefficiente di sicurezza sulle resistenze

In particolare, le verifiche di capacità portante dei pali agli stati limite ultimi (SLU) sono condotte con riferimento ad almeno uno dei due approcci:

*Approccio 1:*

Combinazione 1: A1 + M1 + R1

Combinazione 2: A2 + M1 + R2

*Approccio 2:*

Combinazione 1: A1 + M1 + R3,

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati in Tab. 5.2.V (ponti ferroviari), e Tab. 6.4.II delle NTC 2008 (Doc.Rif. [14]) e riportati nelle seguenti Tabella 11 e Tabella 12.



Il peso del palo, in accordo con quanto riportato al paragrafo 6.4.3 delle NTC2008, deve essere incluso tra le azioni permanenti di cui alla Tabella 11.

La resistenza di progetto a compressione  $R_{c,d}$  è calcolata applicando al valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  i coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati in tabella seguente, relativi alla condizione di pali trivellati.

Il valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  a compressione ed a trazione  $R_{t,k}$  è ottenuto applicando i fattori di correlazione  $\xi_3$  e  $\xi_4$  (Tabella 13) alle resistenze di calcolo  $R_{cal}$ ; tali fattori sono funzione del numero di verticali d'indagine rappresentative:

$$R_{c,k} = \min \left\{ \frac{(R_{c;cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c;cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \min \left\{ \frac{(R_{t;cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{t;cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI860001A	Foglio 55 di 109

I valori di  $\xi_3$  e  $\xi_4$  da utilizzare nelle analisi sono funzione dal numero di sondaggi che sono stati considerati per valutare la resistenza del palo per ogni area omogenea o struttura/opera.

Tabella 11 – Tab. 5.2.V, NTC 2008

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00	1,00	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast <sup>(3)</sup>	favorevoli	$\gamma_B$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Carichi variabili da traffico <sup>(4)</sup>	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 <sup>(5)</sup>	0,20 <sup>(5)</sup>
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	$\gamma_P$	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 <sup>(6)</sup>	1,00 <sup>(7)</sup>	1,00	1,00	1,00

Tabella 12 – Tab. 6.4.II, NTC 2008

Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche.



Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale <sup>(*)</sup>	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(\*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

Tabella 13 – Tab. 6.4.IV NTC 2008 - Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali d'indagine

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

In conclusione, sulla base di quanto prescritto dalle NTC al paragrafo 7.11.5.3, in condizioni sismiche le curve di capacità portante sono da calcolarsi con riferimento all'Approccio 2. Risultano, quindi, pressoché coincidenti con quelle calcolate agli SLU, utilizzando il medesimo approccio: le differenze si riducono ad un diverso fattore parziale applicato ad una frazione del peso del palo. Pertanto, nel caso in esame la stima è eseguita cautelativamente assumendo la combinazione A1+M1+R3, sia per le combinazioni statiche che per quelle sismiche. Per le verifiche in condizioni sismiche i coefficienti delle azioni A1 sono assunti unitari, come da §7.11.5.3-NTC2008.

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 56 di 109

## 7.2 Metodologia di calcolo

La portata di progetto di un palo trivellato (eseguito con completa asportazione del terreno) “ $Q_{tot,c,d}$ ” in compressione è espressa dalla seguente relazione:

$$Q_{tot,c,d} = Q_{ll} / F_{SL,C} + Q_{bl} / F_{SB} - W'_{p-s} = Q_{l,c,d} + Q_{b,d} - W_{p-s,d}$$

dove:

- $Q_{ll}$       valore di calcolo della portata laterale,
- $Q_{bl}$       valore di calcolo della portata di base,
- $Q_{l,c,d}$     valore di progetto della portata laterale,
- $F_{SL,C}$     fattore di sicurezza per la portata laterale in compressione ( $= \xi \cdot \gamma_s$ ),
- $F_{SB}$       fattore di sicurezza per la portata di base ( $= \xi \cdot \gamma_b$ ),
- $Q_{b,d}$       valore di progetto della portata di base,
- $W_{p-s}$     valore di progetto del peso del palo, al netto del peso del terreno asportato.

Diversamente, la portata di progetto a trazione “ $Q_{tot,tr,d}$ ” è espressa dalla seguente relazione:

$$Q_{tot,tr,d} = Q_{LL,Tr} / F_{SL} + W'_P = Q_{l,tr,d} + W'_p$$

dove:

- $Q_{LL}$       valore di calcolo della portata laterale,
- $W'_P$       peso efficace del palo, alleggerito se sotto falda,
- $F_{SL,Tr}$     fattore di sicurezza per la portata laterale in trazione ( $= \gamma_{st} \cdot \xi$ ).



### 7.2.1 Portata laterale

La portata laterale limite è valutata con la seguente relazione:

$$Q_{ll} = \pi \cdot D \cdot \sum_i (\tau_i \cdot h_i)$$

dove:

- $D$           diametro palo,
- $\tau_i$         tensione di adesione laterale limite nello strato i-esimo,
- $h_i$         altezza dello strato i-esimo.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 57 di 109

### 7.2.1.1 Depositi coesivi

Per i terreni coesivi la tensione di adesione laterale limite è valutata con la seguente espressione:

$$\tau_{lim} \text{ (kPa)} = \alpha \cdot c_u \leq \tau_{us,max}$$

dove:

$c_u$  resistenza al taglio non drenata.

$\alpha$  coefficiente empirico, determinato in accordo a quanto indicato nel manuale FHWA 2010:

$$\alpha = 0.55 \quad \text{per } (c_u/p_a) \leq 1.5;$$

$$\alpha = 0.55 - 0.1 \cdot (c_u/p_a - 1.5) \quad \text{per } 1.5 \leq (c_u/p_a) \leq 2.5$$

Inoltre, per la resistenza laterale si impongono anche le seguenti condizioni:

$$\tau_{lim} \text{ (kPa)} \geq 0.23 \cdot \sigma'_{v0}$$

$$\tau_{us,max} = 100 \text{ kPa (resistenza laterale massima in terreno coesivo),}$$

dove:

$\sigma'_{v0}$  tensione verticale efficace alla quota di riferimento.

### 7.2.1.2 Depositi incoerenti

Per i terreni incoerenti la tensione di aderenza laterale limite è valutata mediante metodo  $\beta$  con la seguente espressione (Reese & O'Neill, 1999, recepito nel manuale FHWA del 2010):

$$\tau_{lim} \text{ (kPa)} = \beta \cdot \sigma'_{v0} \leq \tau_{us,max}$$

dove:

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

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

$\sigma'_{v0}$  tensione verticale efficace alla quota di riferimento.

$$\tau_{us,max} = 150 \text{ kPa (resistenza laterale massima in terreno incoerente)}$$

### 7.2.2 Portata di base

Per la valutazione della portata di base limite si utilizzano le seguenti relazioni:

$$Q_{bl} = A_p \cdot q_{bl}$$

dove:

$A_p$  area della base del palo,

$q_{bl}$  portata limite specifica di base.



#### 7.2.2.1 Depositi coesivi

La portata di base limite nei terreni coesivi è valutata con la seguente relazione:

$$q_{b,ult} \text{ (kPa)} = 9 \cdot c_{u,k}$$

dove:

$c_{u,k}$  valore caratteristico della resistenza a taglio non drenata.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 58 di 109

### 7.2.2.2 Depositi incoerenti

Il valore della portata di base allo stato critico ( $q_{bcr}$ ) è stato valutato, considerando un rapporto fra il cedimento della base del palo ed il diametro del palo pari al 10%.

Generalmente sono disponibili dati di prove SPT, da cui si possono utilizzare le indicazioni di Reese e O'Neill, 1988, Fioravante et al., 1995:

$$q_{bcr, 0.1} = 75 N_{SPT} < 4000 \text{ kPa.}$$

Quando sono disponibili dati penetrometrici, si può considerare la seguente espressione (Salgado 2006, Ghionna et al., 1994):

$$q_{bcr, 0.1} \cong 0.10 \div 0.16 q_c,$$

dove l'estremo inferiore può essere assunto per sabbie molto addensate e l'estremo superiore per sabbie mediamente addensate.

### 7.2.2.3 Terreni stratificati

Nel caso di terreni stratificati, costituiti da alternanze di strati di limi e argille e di sabbie e ghiaie, i criteri di valutazione delle portate laterali limite sono analoghi a quelli descritti precedentemente. Tuttavia, in accordo a quanto discusso in Meyerhof (1976), la portata di base negli strati sabbioso-ghiaiosi si riduce rispetto a quella caratteristica dello strato supposto omogeneo (v. figura seguente). Pertanto, nel caso di terreno stratificato, la mobilitazione dell'intera resistenza di base disponibile è subordinata alla condizione che il palo penetri nello strato portante per almeno 3 diametri. Viceversa, con l'avvicinarsi della base del palo ad uno strato inferiore di minore resistenza, la portata si riduce linearmente fino all'interfaccia tra gli strati, laddove eguaglia il valore di rottura dell'unità più debole (vedasi Figura 30).

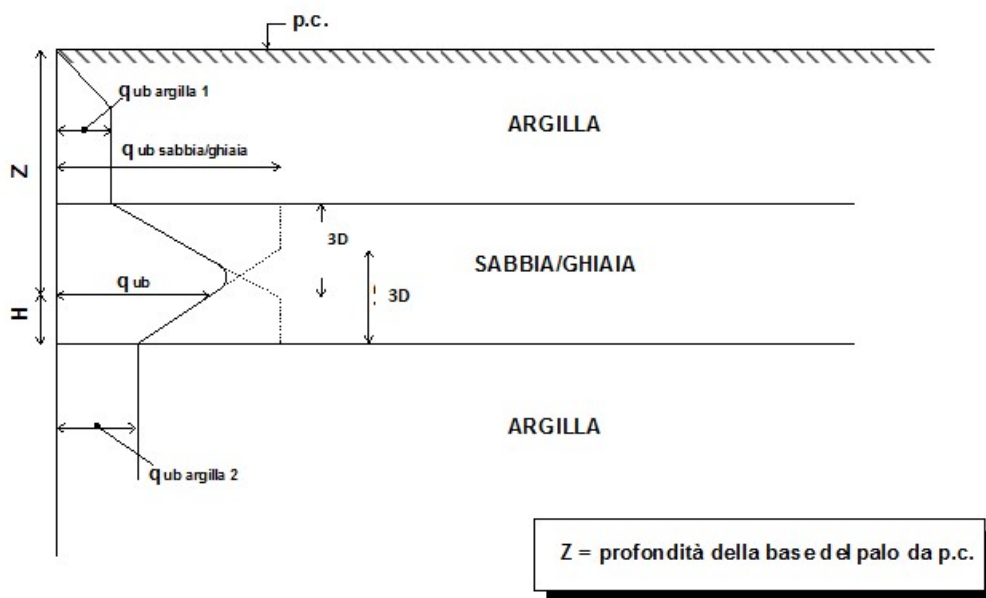




Figura 30 - Criterio di valutazione della pressione ultima di base ( $q_{ub}$ ) in terreni stratificati

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 59 di 109

### 7.3 Stratigrafia di calcolo

La stratigrafia di calcolo è quella di Tabella 2, che qui sotto si riporta per comodità di consultazione, integrata con parametri per il calcolo della capacità portante dei pali e per la determinazione del comportamento del palo singolo sotto carico orizzontale.

*Modello geotecnico di riferimento da pk 43+875 a pk 44+225*

Unità	da m pc*	a m pc*	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\varphi_k$ °	$c'_k$ kPa	$c_{u,k}$ kPa	$G_0$ MPa	$E'_{op}$ MPa	$Q_{b,cr}$ (kPa)	$E_h$ (kPa)	$k_h$ (kN/m <sup>3</sup> )
2	0	7	18	28(36)**	-	50	-	5(11)**		20000	
6	7	-	19	39	-	-	140	80	3500	$k_h \cdot z$	15000

\* quota piano campagna = 33.6 m s.l.m.

quota imposta muro = quota testa pali = 32.6 m s.l.m.

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

La quota testa pali si trova quindi un metro al disotto del p.c.

Tenuto conto del numero di indagini presente nell'area, e delle cautele insite nel calcolo, si è assunto un valore di  $\xi_4=1.48$ .

Come già accennato, il calcolo della capacità portante dei pali viene effettuato assumendo, cautelativamente, la presenza di terreno coesivo, avente portanza e rigidità leggermente inferiore a quella di un terreno migliorato con colonne.

In ogni caso, poiché è il terreno fianco dei pali viene trattato con colonne che evitano la liquefazione del terreno, anche in caso di evento sismico la capacità portante sarebbe quella di un livello incoerente, quindi maggiore di quella qui valutata.

In tabella si forniscono anche i criteri per la valutazione del comportamento del singolo palo sotto carichi orizzontali. In particolare:

$E_h$  (modulo di reazione orizzontale) =  $400 \cdot c_u$  per terreni coesivi (in kPa)

$E_h(z) = k_h \cdot z = 15000 z$ , essendo  $z$  la profondità da p.c., e ponendo  $k_h = 15000$  kN/m<sup>3</sup>, per terreni addensati (ghiaie dell'unità 6).

### 7.4 Risultati

Si riportano di seguito le curve di capacità portante del palo singolo, calcolate sulla base della metodologia di calcolo discussa nei capitoli precedenti, sia per pali  $D=600$  mm che per pali  $D=800$  mm. Coerentemente a quanto dichiarato nel Capitolo 6, per quanto riguarda le condizioni sismiche, si faccia riferimento alle curve agli SLU.



lpalo m	CARICO LIMITE ULTIMO			CURVE SLU				
	Q <sub>u,lim</sub> kN	Q <sub>u,cr</sub> kN	Q <sub>TOT,lim</sub> kN	Q <sub>u,c,d</sub> kN	Q <sub>u,tr,d</sub> kN	Q <sub>u,d</sub> kN	Q <sub>tot,c,d</sub> kN	Q <sub>tot,tr,d</sub> kN
0.00	0	127	127	0	0	64	64	0
0.50	26	127	152	15	14	64	77	15
1.00	52	127	177	31	28	64	91	30
1.50	78	127	202	46	42	64	105	45
2.00	104	127	228	61	56	64	121	59
2.50	130	127	253	76	70	64	135	74
3.00	156	127	278	92	84	64	148	89
3.50	181	127	303	106	98	64	162	104
4.00	207	127	328	122	112	64	176	119
4.50	233	127	353	137	126	64	190	134
5.00	259	127	378	152	140	64	205	148
5.50	285	127	403	167	154	64	219	163
6.00	323	127	440	190	175	64	240	185
6.50	385	343	717	226	208	172	383	219
7.00	463	558	1010	272	250	279	535	262
7.50	544	774	1306	320	294	387	689	307
8.00	629	990	1605	370	340	495	846	354
8.50	717	990	1692	421	388	495	898	402
9.00	807	990	1781	474	436	495	949	451
9.50	900	990	1874	529	486	495	1003	502
10.00	995	990	1968	585	538	495	1057	555
10.50	1093	990	2065	642	591	495	1113	609
11.00	1192	990	2163	700	644	495	1170	663
11.50	1293	990	2263	760	699	495	1228	719
12.00	1395	990	2365	820	754	495	1288	774
12.50	1499	990	2467	881	810	495	1348	831
13.00	1604	990	2571	942	867	495	1408	889
13.50	1709	990	2676	1004	924	495	1469	947
14.00	1815	990	2781	1066	981	495	1529	1005
14.50	1921	990	2886	1129	1038	495	1590	1063
15.00	2027	990	2992	1191	1096	495	1653	1121
15.50	2134	990	3097	1254	1154	495	1714	1180
16.00	2240	990	3202	1316	1211	495	1775	1238
16.50	2345	990	3307	1378	1268	495	1835	1296
17.00	2450	990	3411	1439	1324	495	1896	1353
17.50	2554	990	3514	1501	1381	495	1956	1411
18.00	2657	990	3616	1561	1436	495	2015	1467
18.50	2759	990	3717	1621	1491	495	2075	1522
19.00	2859	990	3816	1680	1545	495	2132	1577
19.50	2958	990	3914	1738	1599	495	2189	1632
20.00	3054	990	4010	1794	1651	495	2244	1685
20.50	3149	990	4104	1850	1702	495	2298	1737
21.00	3241	990	4195	1904	1752	495	2351	1788
21.50	3331	990	4284	1957	1801	495	2404	1837
22.00	3419	990	4371	2009	1848	495	2454	1885
22.50	3503	990	4455	2058	1894	495	2502	1932
23.00	3585	990	4535	2106	1938	495	2549	1977
23.50	3663	990	4613	2152	1980	495	2594	2020
24.00	3738	990	4687	2196	2021	495	2636	2062
24.50	3809	990	4757	2238	2059	495	2677	2101
25.00	3877	990	4824	2278	2096	495	2717	2138
25.50	3941	990	4887	2316	2130	495	2753	2173
26.00	4000	990	4946	2350	2162	495	2786	2206
26.50	4058	990	5002	2384	2194	495	2819	2239
27.00	4115	990	5059	2418	2224	495	2851	2270
27.50	4173	990	5116	2452	2256	495	2884	2303
28.00	4232	990	5174	2486	2288	495	2917	2336
28.50	4293	990	5234	2522	2321	495	2953	2369
29.00	4354	990	5295	2558	2354	495	2988	2403
29.50	4417	990	5356	2595	2388	495	3023	2438
30.00	4480	990	5419	2632	2422	495	3059	2473

Figura 31 – Riassunto curve di capacità portante SLU/SLE per pali D=600 mm





Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

61 di 109

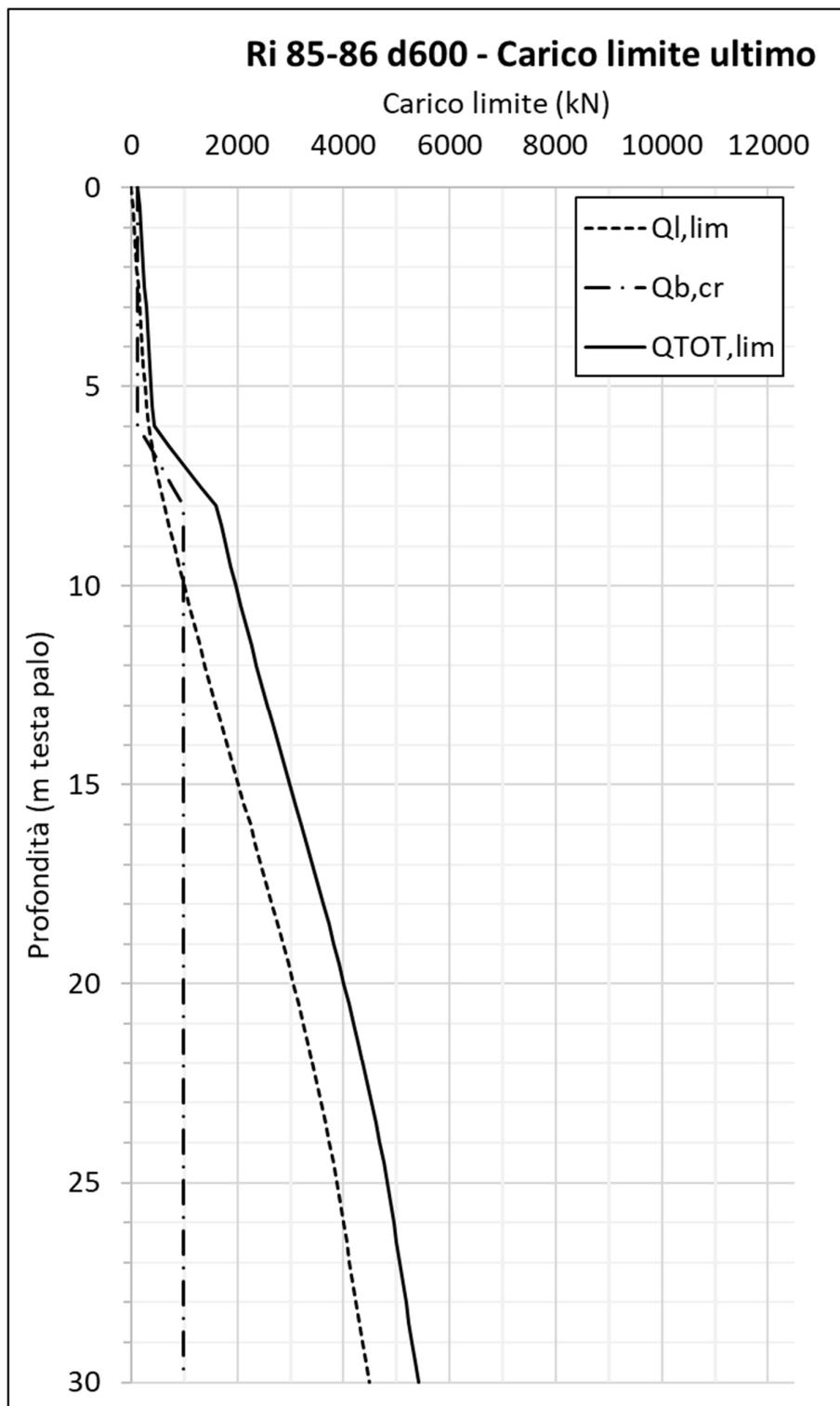


Figura 32 – Curve di carico limite ultimo per pali D=600 mm



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

62 di 109

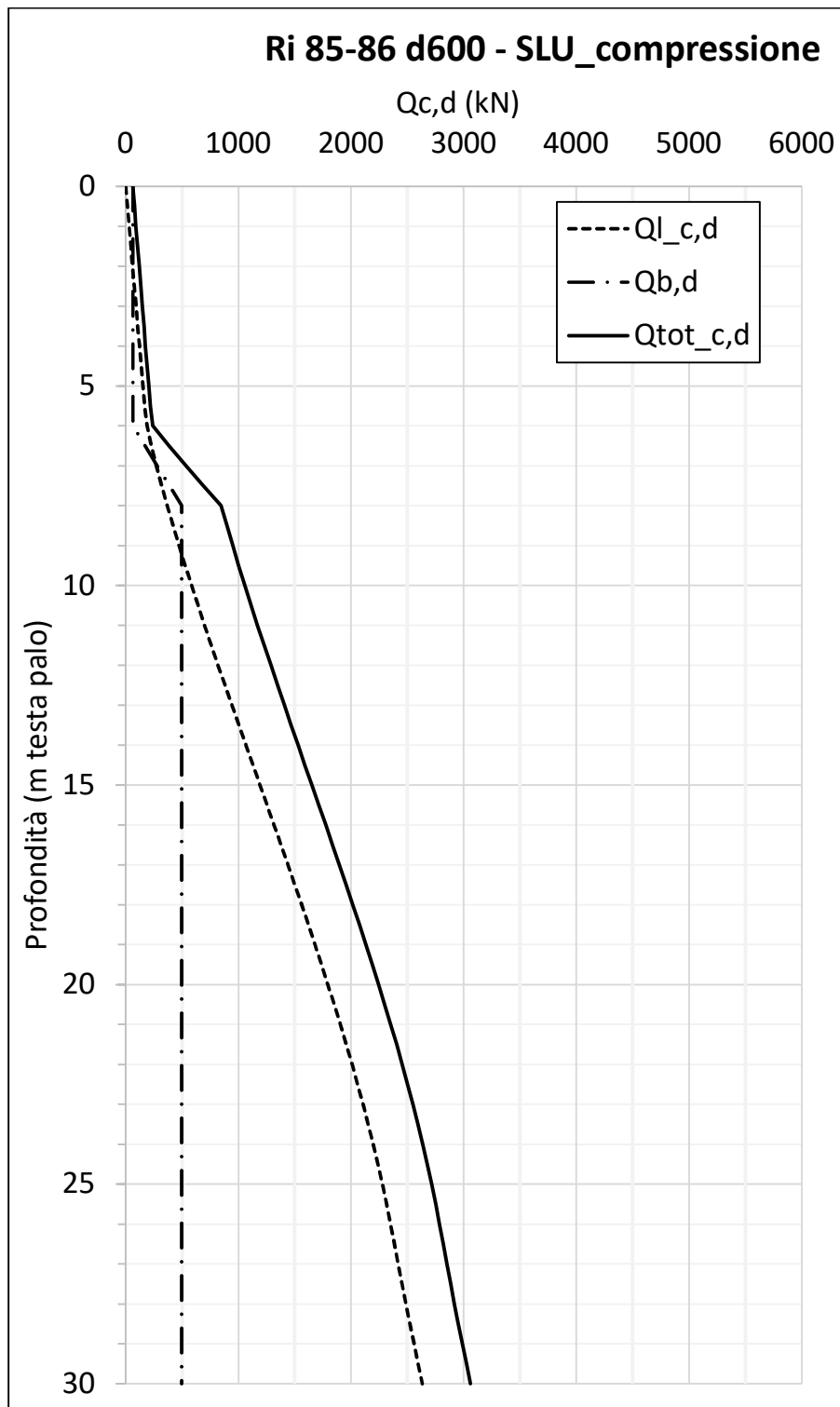


Figura 33 – Curve di capacità portante SLU, compressione per pali  $D=600$  mm



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

63 di 109

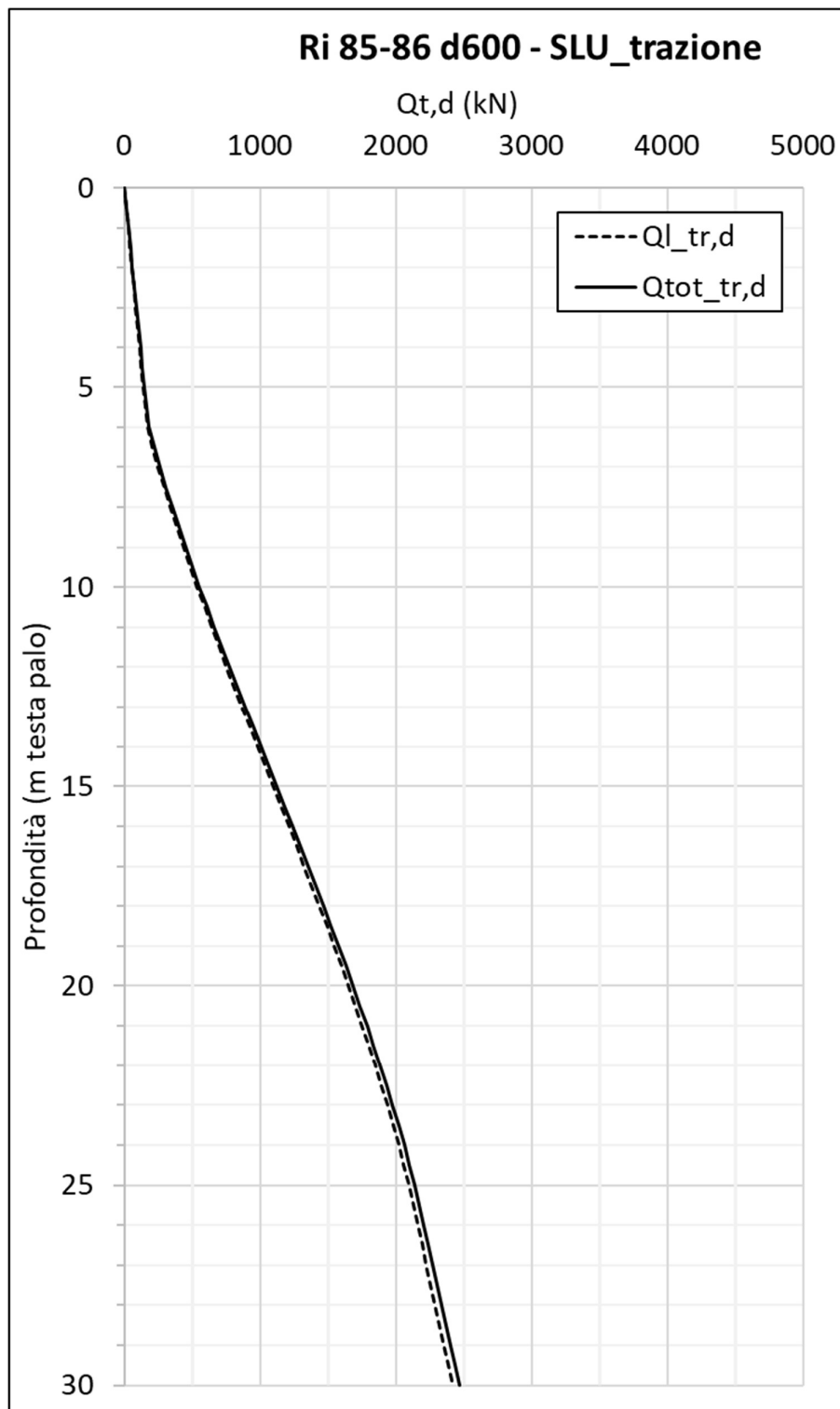


Figura 34 – Curve di capacità portante SLU, trazione per pali D=600 mm

lpalo m	CARICO LIMITE ULTIMO			CURVE SLU				
	Q <sub>u,lim</sub> kN	Q <sub>u,cr</sub> kN	Q <sub>TOT,lim</sub> kN	Q <sub>u,c,d</sub> kN	Q <sub>u,tr,d</sub> kN	Q <sub>b,d</sub> kN	Q <sub>tot,c,d</sub> kN	Q <sub>tot,tr,d</sub> kN
0.00	0	226	226	0	0	113	113	0
0.50	35	226	259	21	19	113	131	21
1.00	69	226	292	41	37	113	150	40
1.50	104	226	325	61	56	113	167	61
2.00	138	226	358	81	75	113	186	81
2.50	173	226	391	102	94	113	204	102
3.00	207	226	424	122	112	113	223	121
3.50	242	226	458	142	131	113	240	142
4.00	276	226	491	162	149	113	259	161
4.50	311	226	524	183	168	113	277	182
5.00	346	226	557	203	187	113	296	202
5.50	380	226	590	223	205	113	313	222
6.00	430	226	638	253	232	113	341	250
6.50	514	533	1027	302	278	267	542	298
7.00	617	839	1436	363	334	420	754	355
7.50	726	1146	1849	427	392	574	969	415
8.00	839	1453	2267	493	454	727	1188	478
8.50	956	1759	2689	562	517	880	1407	543
9.00	1076	1759	2808	632	582	880	1476	609
9.50	1200	1759	2931	705	649	880	1546	678
10.00	1327	1759	3056	780	717	880	1620	747
10.50	1457	1759	3185	856	788	880	1693	820
11.00	1590	1759	3316	934	859	880	1770	892
11.50	1724	1759	3449	1013	932	880	1846	967
12.00	1861	1759	3584	1093	1006	880	1925	1042
12.50	1999	1759	3720	1175	1081	880	2004	1119
13.00	2138	1759	3858	1256	1156	880	2084	1195
13.50	2278	1759	3997	1338	1231	880	2163	1272
14.00	2420	1759	4137	1422	1308	880	2246	1350
14.50	2561	1759	4277	1505	1384	880	2326	1428
15.00	2703	1759	4417	1588	1461	880	2408	1506
15.50	2845	1759	4557	1672	1538	880	2488	1585
16.00	2986	1759	4697	1754	1614	880	2570	1662
16.50	3127	1759	4837	1837	1690	880	2650	1740
17.00	3267	1759	4975	1920	1766	880	2731	1817
17.50	3406	1759	5112	2001	1841	880	2810	1894
18.00	3543	1759	5248	2082	1915	880	2889	1969
18.50	3678	1759	5382	2161	1988	880	2966	2044
19.00	3812	1759	5514	2240	2061	880	3043	2118
19.50	3943	1759	5644	2317	2131	880	3117	2190
20.00	4072	1759	5771	2392	2201	880	3192	2261
20.50	4198	1759	5896	2467	2269	880	3263	2331
21.00	4322	1759	6018	2539	2336	880	3335	2399
21.50	4442	1759	6136	2610	2401	880	3403	2466
22.00	4558	1759	6251	2678	2464	880	3469	2530
22.50	4671	1759	6362	2744	2525	880	3533	2593
23.00	4779	1759	6469	2808	2583	880	3595	2652
23.50	4884	1759	6572	2870	2640	880	3654	2711
24.00	4984	1759	6671	2928	2694	880	3712	2766
24.50	5079	1759	6765	2984	2745	880	3765	2819
25.00	5169	1759	6853	3037	2794	880	3816	2869
25.50	5254	1759	6937	3087	2840	880	3863	2917
26.00	5334	1759	7015	3134	2883	880	3909	2961
26.50	5410	1759	7089	3179	2924	880	3951	3004
27.00	5486	1759	7164	3223	2965	880	3994	3046
27.50	5564	1759	7240	3269	3008	880	4037	3091
28.00	5643	1759	7318	3316	3050	880	4082	3134
28.50	5724	1759	7397	3363	3094	880	4127	3180
29.00	5806	1759	7477	3411	3138	880	4174	3225
29.50	5889	1759	7559	3460	3183	880	4220	3272
30.00	5974	1759	7642	3510	3229	880	4269	3319

Figura 35 – Riassunto curve di capacità portante SLU/SLE per pali D=800 mm

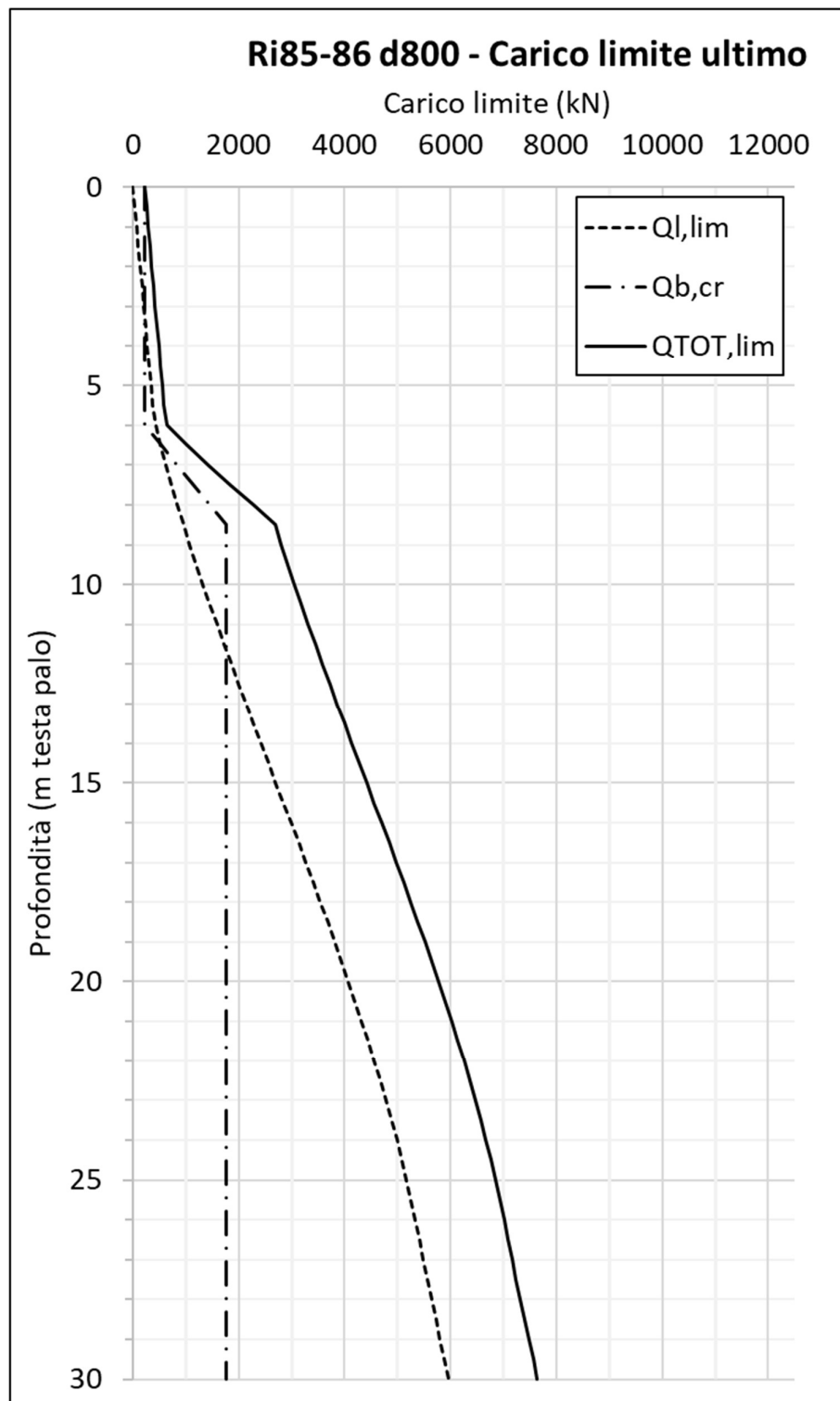


Figura 36 – Curve di carico limite ultimo per pali  $D=800$  mm



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

66 di 109

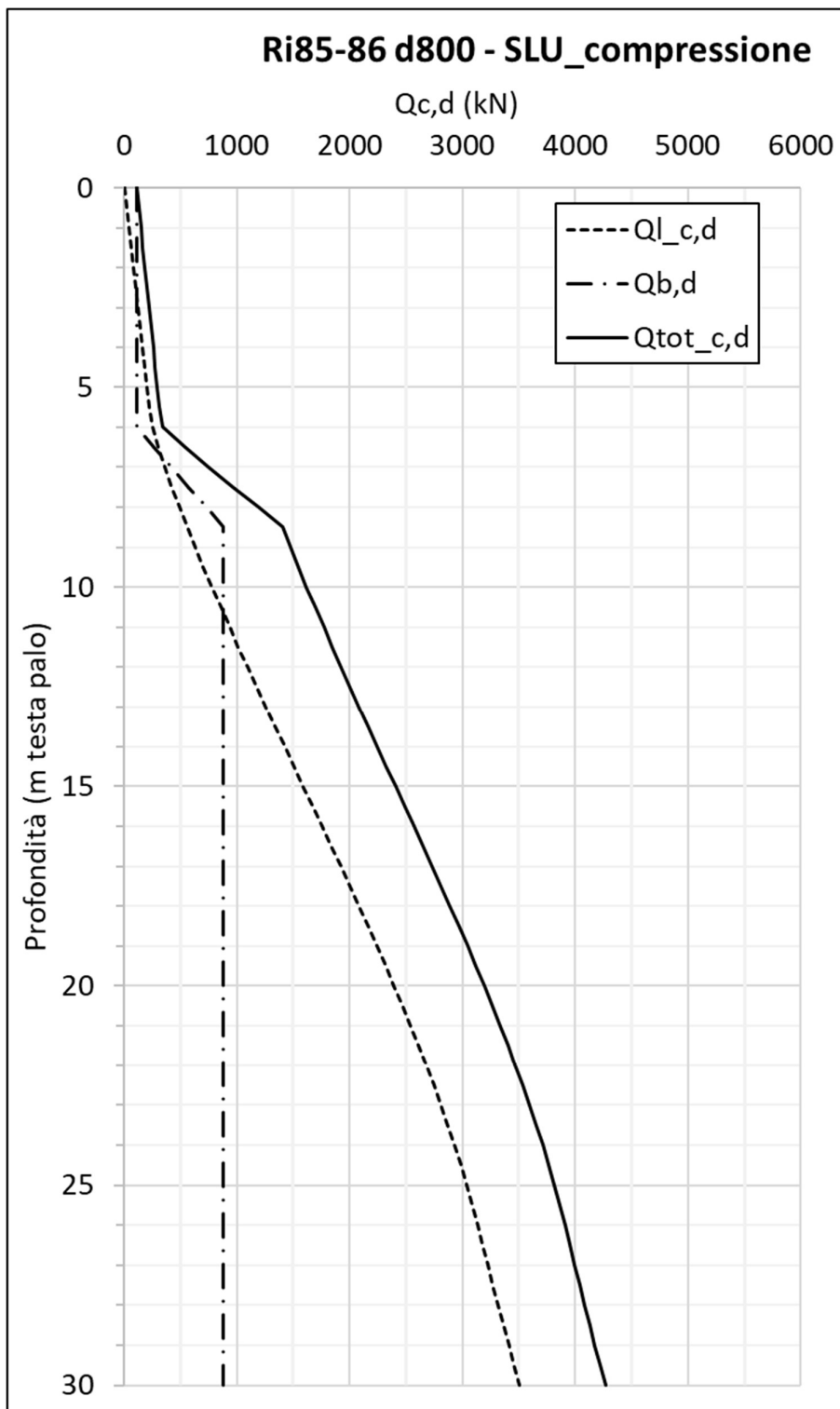


Figura 37 – Curve di capacità portante SLU, compressione per pali  $D=800$  mm



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
 Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

67 di 109

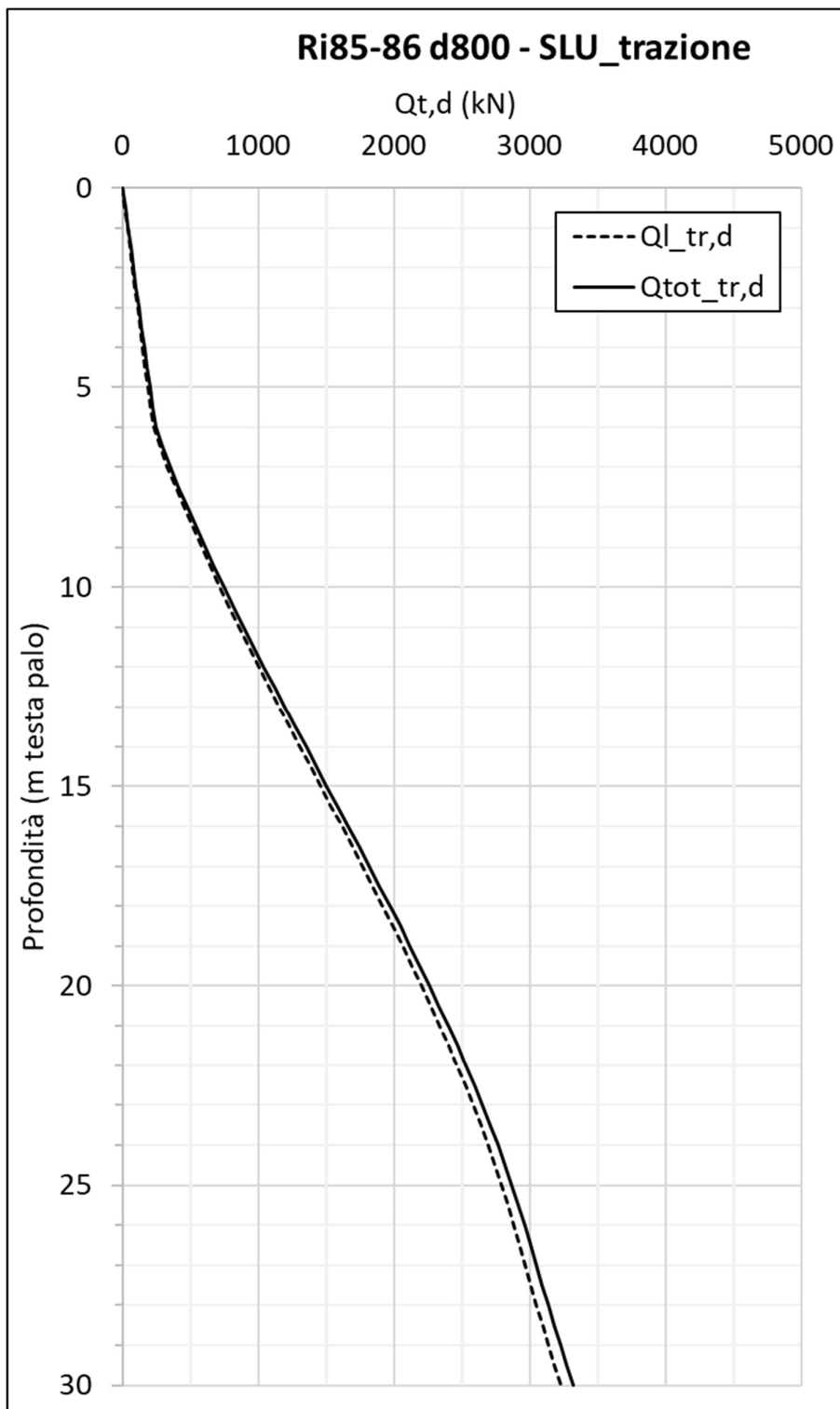




Figura 38 – Curve di capacità portante SLU, trazione per pali D=800 mm

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 68 di 109

## 8 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

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



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 69 di 109
---	------------------	-------------	-----------------------------	---------------------

## ALLEGATI

GENERAL CONTRACTOR

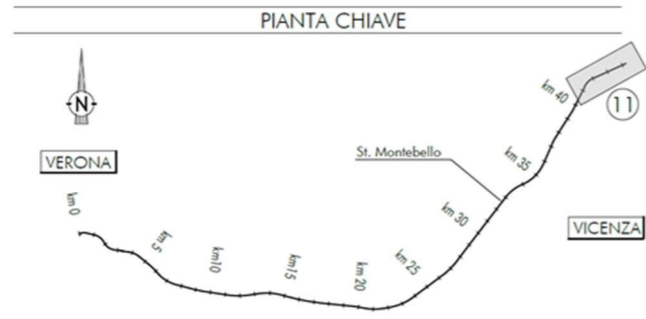
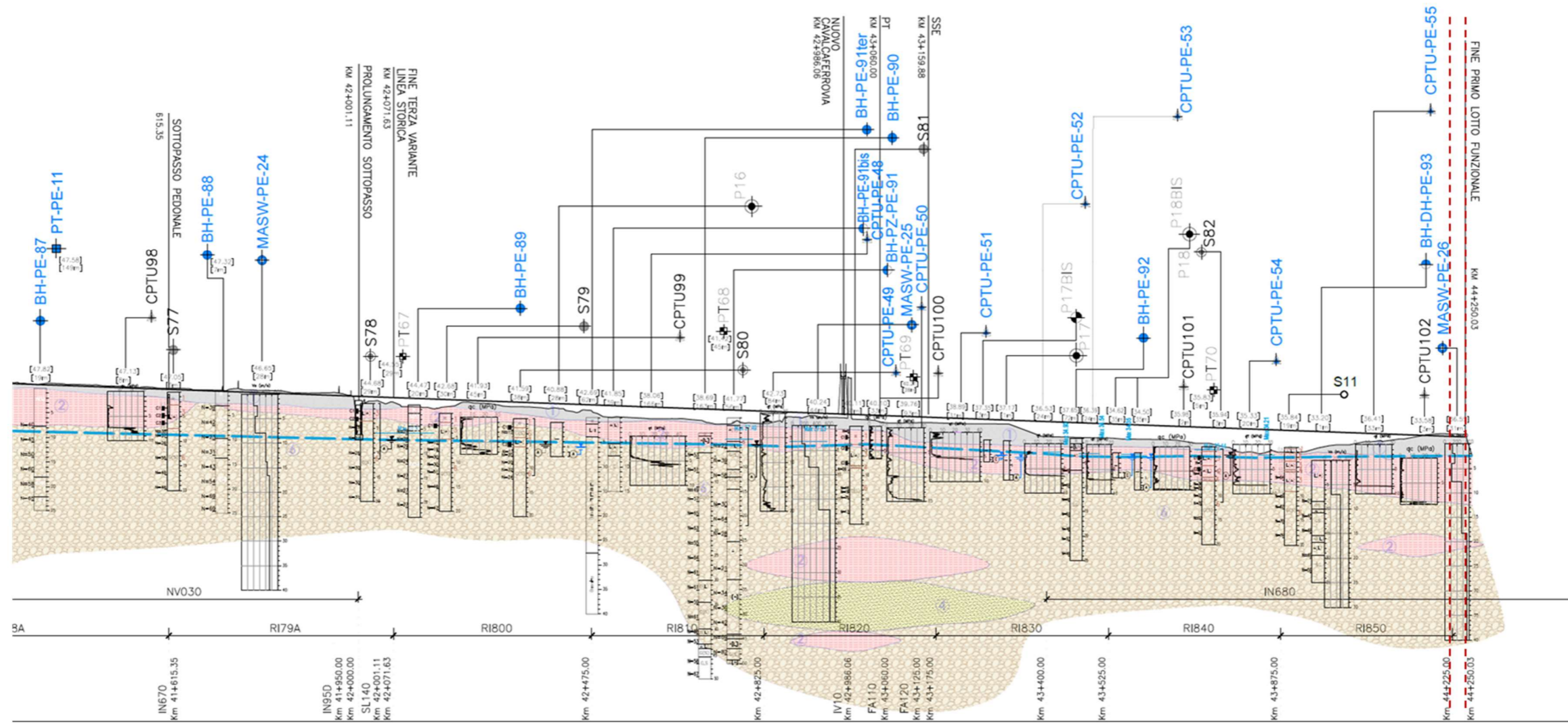


ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 70 di 109
---	------------------	-------------	-----------------------------	---------------------

## ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



- LEGENDA**
- Campagna indagini integrative PE**
- BH-PE-87: Sondaggio a carotaggio continuo
  - BH-PE-88: Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande
  - MASW-PE-24: Indagini MASW
  - CPTU-PE-50: Prova penetrometrica statica con piezometro
- Campagna indagini 2018 per CDS**
- P1+P18, P20: Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - P1+P18bis: Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)
- Campagna indagini 2015**
- SP: Sondaggio a carotaggio continuo
  - SPC: Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - SPA: Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - SOC: Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - SP4: Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
  - CPTU: Prova penetrometrica statica con piezometro (possibilità di avanzamento con trivellazione)
  - CPTU\*: Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"
- Campagna indagini 2014**
- OH: Foro a distribuzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
  - PI: Pozzetto esplorativo a 1,5 m da p.c. con prove di carico su piastra
  - Profondità delle indagini
- Indagini antiche**
- 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**
- Sondaggio geognostico (campagna 1998)
  - Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
  - ▲ CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
  - Pozzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (M) per gentile concessione Centro Idrico Novoledo s.r.l.)
- Asse di progetto**
- confine di Provincia
  - Confine Comunale
- Classi dei terreni**
- 1) Riporto
  - 2) Limi argillosi e limi da compatte a molto compatte, generalmente sovraconsolidati
  - 3a) Area con prevalenza di sabbie limose/ con limo e limi sabbiosi/ con sabbia, a comportamento drenato, da 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 altissima, 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)

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

72 di 109

## ALLEGATO 2 - INDAGINI



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI860001A

Foglio  
73 di 109

Committente: <i>Impresa Pierobon</i> Cantiere: <i>STAZIONE F.S. VICENZA</i> Data <i>30 - 31/05/2002</i>		Sondaggio: <i>S11</i> Profondità: <i>0.00-10.00 m</i>		S.G.S. Società Geo Servizi Via Albere, 132 - 37137 Verona							
Profondità m	Colonna stratigrafica	Descrizione litologica e stratigrafica	SPT			Penetrometro tasabile kg/cm <sup>2</sup>	Scissometro tasabile kg/cm <sup>2</sup>	Dati di perforazione	Rivestimento	Livello acqua	NOTE
			Prof. m	N. colpi							
0.40		Materiale di riporto costituito da ghiaie con sabbia e laterizi fino a 0.40m									
1.20		Limi bruni con rara ghiaia									
2.80		Ghiaia in abbondante matrice limosa compatta, di colore bruno									
3.40		Limi e argille limose brune. Livello sabbioso tra 3.4 e 3.5 m									
3.50											
4.60		Sabbie fini									
5.00		Alternanze di argille limose plastiche e limi sabbiosi addensati, di colore bruno	6.45	8							
6.60			6.60	2							
6.75			6.75	3							
8.90			9.35	16							
9.50			9.50	20							
9.65			9.65	41							
10.00											

Carotiere semplice Ø = 101 mm  
Ø = 127 mm

Allineamento piczometro a tubo aperto fino a 12m.  
Penzetrato da 9 a 12 m.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
EI2RBRI860001A

Foglio  
74 di 109

Committente: Impresa Pierobon Cantiere: STAZIONE F.S. VICENZA Data 30 - 31/05/2002		Sondaggio: S11 Profondità: 10.00-20.00 m		S.G.S. Società Geo Servizi Via Albere, 132 - 37137 Verona													
Profondità m	Colonna stratigrafica	Descrizione litologica e stratigrafica	SPT		Penetrometro Lunobille kg/cm <sup>2</sup>	Scissometro tangenziale kg/cm <sup>2</sup>	Dati di perforazione	Rivestimento	Livello acqua	NOTE							
			Prof. m	N. colpi													
11		Ghiaie con sabbia debolmente limosa	12.55	11	Carotiere semplice: Ø = 101 mm  Ø = 127 mm	Carotiere semplice: Ø = 101 mm  Ø = 127 mm	Carotiere semplice: Ø = 101 mm  Ø = 127 mm	Carotiere semplice: Ø = 101 mm  Ø = 127 mm	Carotiere semplice: Ø = 101 mm  Ø = 127 mm	Allineamento piezometro a tuba aperto fino a 12m. Fenerato da 9 a 12 m.							
12			12.70	31													
13			12.85	36													
14																	
15																	
16			15.42	9													
16			15.80	27													
16			15.75	43													
17																	
18																	
18			16.30	18													
18			16.50	38													
18			16.65	47													
19																	
20			20.00														

FINE DELLA PERFORAZIONE



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



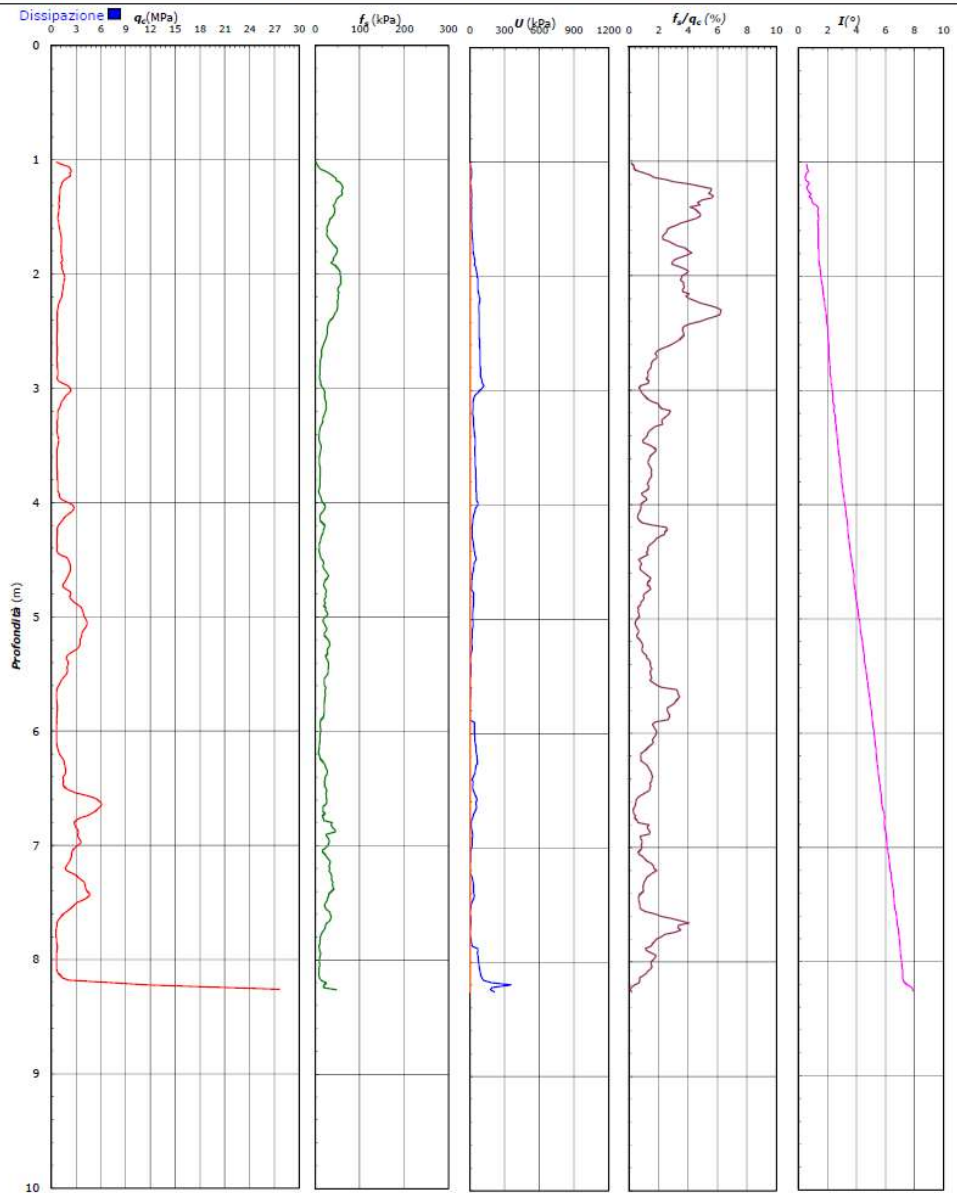
Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI860001A	75 di 109

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



**COMMITTENTE:** CONSORZIO IRICAV DUE - Via Francesco Tovaglieri 413-00155 Roma (RM)  
**CANTIERE:** Linea Alta Velocità Verona-Vicenza  
PROVA N°: CPTU 54 PROF. FALDA (m da p.c.): n.r. PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]  
DATA: 27-11-20 PREFORO (m da p.c.): 1.00 Lat.: 45.519259° Long.: 11.479798°  
COMMESSA: 22036AV/20 C. SITO N°: SFxxxxxx - 12/11/20 OPERATORE: L. Formisano



Il Direttore Tecnico SO: ing. Massimo De Iasi  
Il Responsabile Prove in Sito: dott. Massimo Romagnoli

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

76 di 109

FERRARA DEPARTMENT  
Via Annibale Zucchini, 69 - 44122 Ferrara (FE)

Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119

SOCOTEC ITALIA Srl - P.Iva 01872430648

Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)

Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0098

[www.socotec.it](http://www.socotec.it)

Azienda con Sistemi di Gestione certificati da Certquality - Qualità Ambiente Sicurezza - UNI EN ISO 9001:2008 - UNI EN ISO 14001:2004 - BS OHSAS 18001:2011



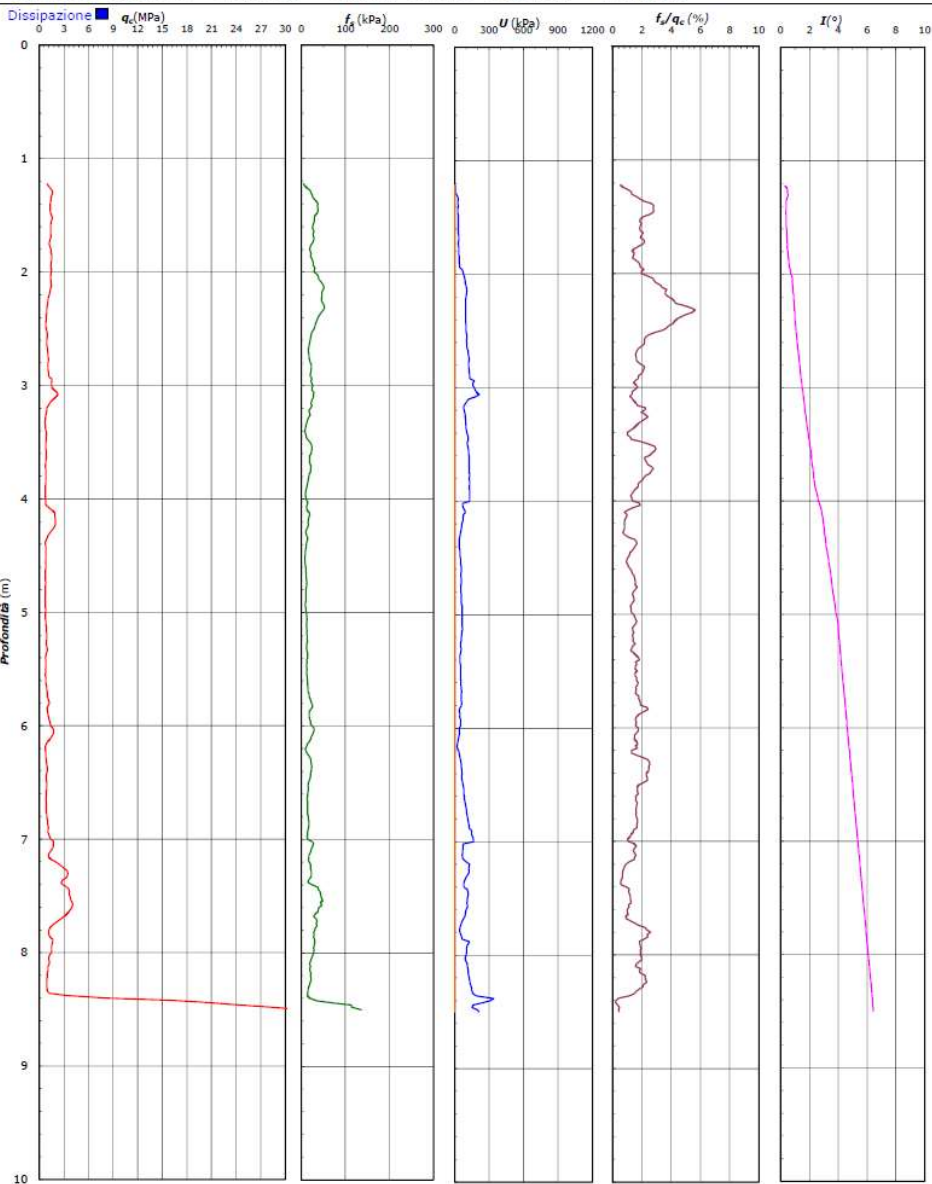
**COMMITTENTE:** CONSORZIO IRICAV DUE - Via Francesco Tovaglieri 413-00155 Roma (RM)

**CANTIERE:** Linea Alta Velocità Verona-Vicenza

PROVA N°: CPTU 55 PROF. FALDA (m da p.c.): n.r. PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[s = 0.66]

DATA: 27-11-20 PREFORO (m da p.c.): 1,20 Lat.: 45.520040° Long.: 11.482482°

COMMESSA: 22036AV/20 C. SITO N°: SFxxxxxx - 12/11/20 OPERATORE: L. Formisano



Il Direttore Tecnico SO:  
ing. Massimo De Iasi

SFxxxxxx\_CPTU 55 - pag 2 di 3

Il Responsabile Prove in Sito:  
dott. Massimo Romagnoli



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI860001A

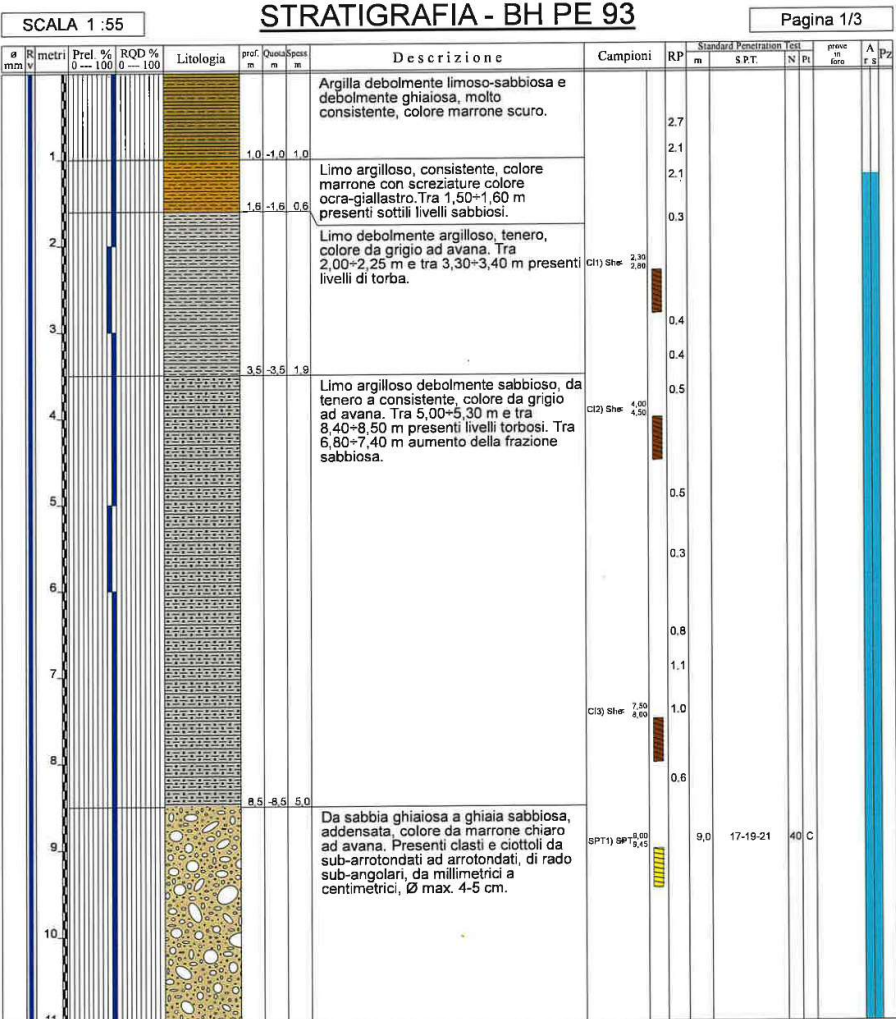
Foglio

77 di 109



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

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 93
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 01/12/2020 - 03/12/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CMV1200, prog. 44+149	



Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa  
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI860001A	78 di 109



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

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 93
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 01/12/2020 - 03/12/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CMV1200, prog. 44+149	

SCALA 1:55 **STRATIGRAFIA - BH PE 93** Pagina 2/3

Prof. m	Quota Spes. m	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test	N	Prove in situ	A	Pz
12		Da sabbia ghiaiosa a ghiaia sabbiosa, addensata, colore da marrone chiaro ad avana. Presenti clasti e ciottoli da sub-arrotolati ad arrotondati, di rado sub-angolari, da millimetrici a centimetrici, Ø max. 4-5 cm.	SPT2) SP 12,00 12,40	12,0	17-21-24	45	C		
13									
14									
15			SPT3) SP 15,00 15,45	15,0	18-22-26	48	C		
16									
17	16,8	Argilla limosa debolmente sabbiosa, consistente, colore da marrone chiaro ad ocra. Tra 18,70+19,40 presenti clasti da sub-arrotolati, Ø max 2-3 cm.		1,7					
18				1,3					
19				1,1					
20	19,4	Da sabbia ghiaiosa a ghiaia sabbiosa, da addensata a molto addensata, colore da avana ad ocra-giallastro. Presenti clasti e ciottoli da sub-arrotolati ad arrotondati, di rado sub-angolari, da millimetrici a centimetrici, Ø max. 4-5 cm.	SPT4) SP 20,00 20,45	20,0	22-24-25	49	C		
21									
22									

Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Comessa  
dott.geol. Giuseppe Pacitti

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI860001A

79 di 109

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

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 93
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 01/12/2020 - 03/12/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CMV1200, prog. 44+149	

SCALA 1 :55

## STRATIGRAFIA - BH PE 93

Pagina 3/3

e mm	R mm	metri	Prel % 0-100	RQD % 0-100	Litologia	prof. m	Quota m	Spazi m	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration m	S.P.T.	N	Pi	prova in falso	A t.s.	Pz
		23							Da sabbia ghiaiosa a ghiaia sabbiosa, da addensata a molto addensata, colore da avana ad oca-giallastro. Presenti clasti e ciottoli da sub-arrotondati ad arrotondati, di rado sub-angolari, da millimetrici a centimetrici, Ø max. 4-5 cm.	BPTS) 98-23,00 25,45		23,0	20-23-35	59	C			
		24																
101		25					25,0	25,0	5,6									

Utilizzato carotiere semplice.  
Prelevati n. 3 campioni indisturbati.  
Prelevati n. 5 campioni rimaneggiati S.P.T.  
Eseguite n. 5 prove S.P.T.  
Installato tubo down-hole 3" da p.c. a 25,00 m.  
Installato chiusino.

Il Geologo di Cantiere  
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa  
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

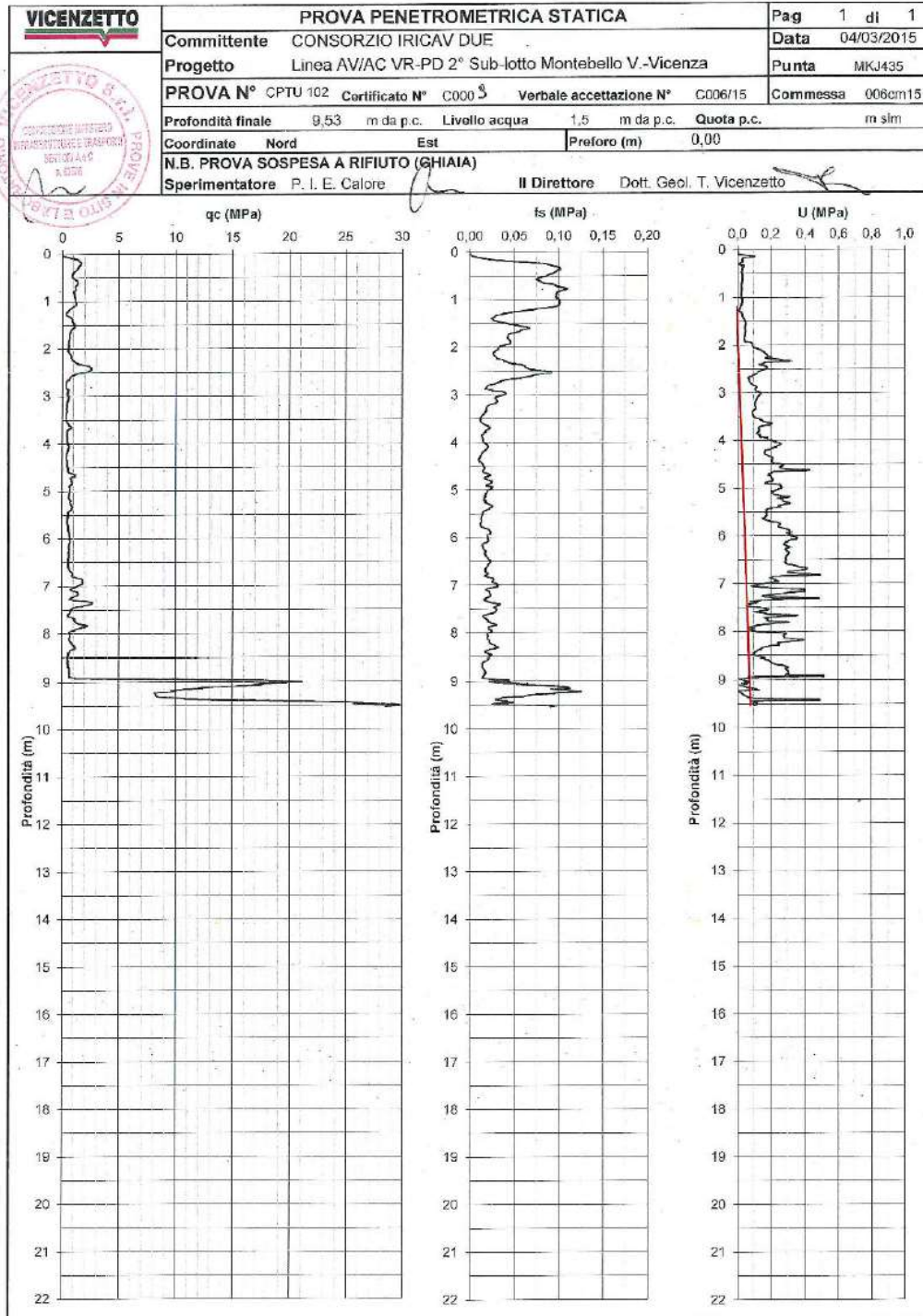
12

Codifica

EI2RBRI860001A

Foglio

80 di 109



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

81 di 109

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





Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

82 di 109

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: R186\_stat.slim  
Slide Modeler Version: 7.038  
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

#### General Settings

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

#### Design Standard

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

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

#### Analysis Options

Slices Type: Vertical

##### Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

#### Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI860001A

Foglio

83 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

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

### Random Numbers

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

### Surface Options

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

### Seismic

Advanced seismic analysis: No  
Staged pseudostatic analysis: No

### Loading

3 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

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

#### Distributed Load 2

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

#### Distributed Load 3

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

### Material Properties

Property	Rilevato	CLS	Unità6	COLONNE	Unità 2	rif esist
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Infinite strength	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	20	25	19	18	18	20
Cohesion [kPa]	0		0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38		39	36	28	36
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	0	1	1	1	1



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

84 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

### Global Minimums

#### Method: bishop simplified

	FS	1.751840
Center:	41.124, 33.367	
Radius:	11.065	
Left Slip Surface Endpoint:	31.916, 27.233	
Right Slip Surface Endpoint:	48.905, 25.500	
Resisting Moment:	6283.93 kN-m	
Driving Moment:	3587.04 kN-m	
Total Slice Area:	47.3642 m <sup>2</sup>	
Surface Horizontal Width:	16.989 m	
Surface Average Height:	2.78793 m	

### Valid / Invalid Surfaces

#### Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 700  
Number of Invalid Surfaces: 0

### Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.75184







Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto  
IN17

Lotto  
12

Codifica  
E12RBRI8600001A

Foglio  
85 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.382685	2.06212	-54.6183	Rilevato	0	32.0066	23.6603	41.4491	66.3156	0	66.3156	99.6315	99.6315
2	0.382685	5.9536	-51.3213	Rilevato	0	32.0066	16.631	29.1349	46.6137	0	46.6137	67.3885	67.3885
3	0.382685	9.42364	-48.2476	Rilevato	0	32.0066	9.94937	17.4297	27.8862	0	27.8862	39.0326	39.0326
4	0.382685	12.5468	-45.3496	Rilevato	0	32.0066	12.3705	21.6712	34.6724	0	34.6724	47.1948	47.1948
5	0.322415	12.7824	-42.8018	Rilevato	0	32.0066	14.1035	24.707	40.994	1.46453	39.5295	54.0548	52.5903
6	0.322415	14.6349	-40.5651	Rilevato	0	32.0066	27.9838	49.0232	82.7164	4.28285	78.4336	106.672	102.389
7	0.322415	16.3488	-38.4009	Rilevato	0	32.0066	38.3981	67.2674	114.513	6.89013	107.623	144.948	138.058
8	0.322415	17.9363	-36.2999	Rilevato	0	32.0066	39.7372	69.6132	120.681	9.30529	111.376	149.871	140.566
9	0.322415	19.4078	-34.2541	Rilevato	0	32.0066	41.0157	71.8529	126.503	11.5439	114.959	154.434	142.89
10	0.322415	20.7717	-32.2569	Rilevato	0	32.0066	42.2386	73.9953	132.006	13.6189	118.387	158.664	145.045
11	0.322415	22.0353	-30.3029	Rilevato	0	32.0066	43.4102	76.0478	137.212	15.5412	121.671	162.582	147.041
12	0.322415	23.2046	-28.387	Rilevato	0	32.0066	44.5341	78.0167	142.141	17.3201	124.821	166.208	148.887
13	0.322415	24.2847	-26.5053	Rilevato	0	32.0066	45.6135	79.9076	146.81	18.9634	127.846	169.557	150.594
14	0.340498	26.6721	-24.6028	COLONNE	0	30.1666	35.4253	62.0595	127.289	20.5168	106.772	143.51	122.993
15	0.340498	28.346	-22.6777	COLONNE	0	30.1666	22.0509	38.6297	88.4409	21.9794	66.4615	97.6549	75.6755
16	0.340498	29.7798	-20.7792	COLONNE	0	30.1666	23.1489	40.5531	93.0815	23.311	69.7705	101.865	78.5544
17	0.340498	30.5331	-18.9044	COLONNE	0	30.1666	23.7037	41.5251	95.9596	24.5167	71.4429	104.077	79.5605
18	0.340498	31.2104	-17.0504	COLONNE	0	30.1666	21.0855	36.9384	89.1526	25.6009	63.5517	95.6194	70.0185
19	0.340498	31.8142	-15.2146	COLONNE	0	30.1666	20.3504	35.6507	87.9035	26.5673	61.3362	93.4382	66.8709
20	0.340498	32.3465	-13.3947	COLONNE	0	30.1666	20.7807	36.4045	90.0523	27.4193	62.633	95.001	67.5817
21	0.340498	33.4776	-11.5884	COLONNE	0	30.1666	21.7961	38.1832	93.8528	28.1595	65.6933	98.3223	70.1628
22	0.340498	40.0921	-9.79382	COLONNE	0	30.1666	27.9162	48.9048	112.93	28.7903	84.1395	117.749	88.9584
23	0.340498	40.419	-8.00887	COLONNE	0	30.1666	28.337	49.6419	114.721	29.3136	85.4078	118.708	89.3948
24	0.340498	37.5439	-6.23172	COLONNE	0	30.1666	25.7853	45.1718	107.448	29.7309	77.7173	110.264	80.5329
25	0.340498	21.2899	-4.46057	COLONNE	0	30.1666	10.5054	18.4038	61.7068	30.0436	31.6632	62.5263	32.4827
26	0.340498	21.4204	-2.69369	COLONNE	0	30.1666	10.6686	18.6896	62.4073	30.2524	32.1549	62.9093	32.6569
27	0.340498	19.9408	0.929369	COLONNE	0	30.1666	9.30804	16.3062	58.4126	30.3581	28.0545	58.5636	28.2055
28	0.340498	19.5814	0.834068	COLONNE	0	30.1666	9.05071	15.8554	57.6397	30.3609	27.2788	57.5079	27.147
29	0.340498	19.5188	2.5983	COLONNE	0	30.1666	9.11647	15.9706	57.7379	30.2608	27.4771	57.3242	27.0634
30	0.340498	19.3919	4.365	COLONNE	0	30.1666	9.15466	16.0375	57.6496	30.0575	27.5921	56.9508	26.8933
31	0.340498	19.2	6.13587	COLONNE	0	30.1666	9.16459	16.0549	57.3725	29.7505	27.622	56.3873	26.6368
32	0.340498	18.9428	7.91265	COLONNE	0	30.1666	9.14536	16.0212	56.9029	29.3388	27.5641	55.6319	26.2931
33	0.340498	18.6195	9.69713	COLONNE	0	30.1666	9.09592	15.9346	56.2362	28.8213	27.4149	54.6819	25.8606
34	0.340498	18.2291	11.4912	COLONNE	0	30.1666	9.01509	15.793	55.3679	28.1964	27.1715	53.5352	25.3388
35	0.340498	17.7703	13.2967	COLONNE	0	30.1666	8.90155	15.5941	54.2915	27.4621	26.8294	52.1878	24.7257
36	0.354509	17.9385	15.1536	Unità 2	0	23.0433	6.23853	10.9289	52.2893	26.5965	25.6928	50.5997	24.0032
37	0.354509	17.2849	17.0647	Unità 2	0	23.0433	6.07755	10.6469	50.6216	25.5918	25.0298	48.756	23.1642
38	0.354509	16.5484	18.9957	Unità 2	0	23.0433	5.88707	10.3132	48.7048	24.4594	24.2454	46.6782	22.2188
39	0.354509	15.726	20.9493	Unità 2	0	23.0433	5.66533	9.92476	46.5272	23.1951	23.3321	44.3582	21.1631
40	0.354509	14.8145	22.9288	Unità 2	0	23.0433	5.41031	9.47799	44.0757	21.7938	22.2819	41.7871	19.9933
41	0.354509	13.8101	24.9377	Unità 2	0	23.0433	5.1196	8.96872	41.3345	20.2497	21.0848	38.9539	18.7042
42	0.354509	12.7083	26.98	Unità 2	0	23.0433	4.79036	8.39194	38.2847	18.5559	19.7288	35.846	17.2901
43	0.354509	11.504	29.0601	Unità 2	0	23.0433	4.41914	7.74163	34.9043	16.7045	18.1998	32.4487	15.7442
44	0.354509	10.1909	31.1831	Unità 2	0	23.0433	4.00176	7.01044	31.1668	14.6858	16.481	28.7449	14.0591
45	0.354509	8.76177	33.355	Unità 2	0	23.0433	3.53302	6.18929	27.0393	12.4888	14.5505	24.7137	12.2249
46	0.354509	7.20796	35.5826	Unità 2	0	23.0433	3.00642	5.26677	22.4818	10.1001	12.3817	20.3308	10.2307
47	0.354509	5.51899	37.8741	Unità 2	0	23.0433	2.41364	4.22831	17.4439	7.50355	9.94036	15.5667	8.06315
48	0.354509	3.6821	40.2395	Unità 2	0	23.0433	1.74375	3.05477	11.8611	4.67964	7.18148	10.3855	5.70584
49	0.354509	1.68152	42.6908	Unità 2	0	23.0433	0.982042	1.72038	5.64853	1.60406	4.04447	4.74262	3.13856
50	0.102437	0.0921934	44.3103	Unità 2	0	23.0433	0.286362	0.50166	1.17936	0	1.17936	0.899809	0.899809

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.75184

--



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI860001A

86 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	31.9157	27.233	0	0	0
2	32.2984	26.6941	26.6863	0	0
3	32.6811	26.2161	42.6091	0	0
4	33.0638	25.7874	50.7599	0	0
5	33.4464	25.4	59.4606	0	0
6	33.7689	25.1014	67.1565	0	0
7	34.0913	24.8254	80.9703	0	0
8	34.4137	24.5699	97.8627	0	0
9	34.7361	24.333	113.641	0	0
10	35.0585	24.1135	128.201	0	0
11	35.3809	23.91	141.453	0	0
12	35.7034	23.7216	153.321	0	0
13	36.0258	23.5473	163.738	0	0
14	36.3482	23.3865	172.647	0	0
15	36.6887	23.2306	180.439	0	0
16	37.0292	23.0883	185.519	0	0
17	37.3697	22.9591	189.669	0	0
18	37.7102	22.8425	192.793	0	0
19	38.0507	22.7381	194.928	0	0
20	38.3912	22.6455	196.144	0	0
21	38.7317	22.5644	196.375	0	0
22	39.0722	22.4946	195.512	0	0
23	39.4127	22.4358	192.65	0	0
24	39.7532	22.3879	188.504	0	0
25	40.0937	22.3507	183.725	0	0
26	40.4342	22.3242	181.79	0	0
27	40.7747	22.3082	179.16	0	0
28	41.1152	22.3026	176.315	0	0
29	41.4557	22.3076	172.95	0	0
30	41.7962	22.323	168.955	0	0
31	42.1367	22.349	164.342	0	0
32	42.4772	22.3856	159.124	0	0
33	42.8177	22.433	153.319	0	0
34	43.1581	22.4911	146.952	0	0
35	43.4986	22.5604	140.052	0	0
36	43.8391	22.6408	132.654	0	0
37	44.1937	22.7368	125.424	0	0
38	44.5482	22.8457	117.762	0	0
39	44.9027	22.9677	109.732	0	0
40	45.2572	23.1034	101.41	0	0
41	45.6117	23.2534	92.8842	0	0
42	45.9662	23.4182	84.2569	0	0
43	46.3207	23.5987	75.6504	0	0
44	46.6752	23.7957	67.2089	0	0
45	47.0297	24.0103	59.1042	0	0
46	47.3842	24.2436	51.5428	0	0
47	47.7387	24.4973	44.7754	0	0
48	48.0933	24.773	39.1107	0	0
49	48.4478	25.073	34.9346	0	0
50	48.8023	25.4	32.7395	0	0
51	48.9047	25.5	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	25.4
61.445	25.4

Distributed Load

X	Y
37.8037	27.233
28.5949	27.233



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI860001A

87 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



**Distributed Load**

X	Y
36.5647	27.233
33.902	27.233

**Distributed Load**

X	Y
32.4778	27.233
29.8899	27.233

**External Boundary**

X	Y
0	0
60.445	0
60.445	18.5
60.445	25.5
43.8391	25.5
40.0391	25.5
40.0391	27.433
39.0391	27.433
39.0391	27.233
27.5	27.233
27.299	27.333
0	27.333
0	25.5
0	18.5

**Material Boundary**

X	Y
40.0391	24.1865
40.0391	25.5

**Material Boundary**

X	Y
34.1408	23.3865
36.8391	23.3865

**Material Boundary**

X	Y
27.5	27.233
30.5088	25.5
34.1408	23.3865

**Material Boundary**

X	Y
0	18.5
30.5088	18.5
43.8391	18.5
60.445	18.5

**Material Boundary**

X	Y
0	25.5
27.7301	25.5

**Material Boundary**

X	Y

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

88 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

X	Y
39.0391	27.233
39.0391	24.1865
36.8391	24.1865
36.8391	23.3865
40.8391	23.3865
40.8391	24.1865
40.0391	24.1865

**Material Boundary**

X	Y
40.8391	23.3865
43.8391	23.3865

**Material Boundary**

X	Y
27.7301	25.5
30.5088	25.5
30.5088	18.5

**Material Boundary**

X	Y
43.8391	18.5
43.8391	23.3865
43.8391	25.5

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8600001A	Foglio 89 di 109
---	------------------	-------------	-----------------------------	---------------------

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



## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: RI86\_sism.slim  
 Slide Modeler Version: 7.038  
 Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program  
 Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

#### General Settings

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

#### Design Standard

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

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

#### Analysis Options

Slices Type: Vertical

##### Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

#### Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

91 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

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

### Random Numbers

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

### Surface Options

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

### Seismic

Advanced seismic analysis: No  
Staged pseudostatic analysis: No

### Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.085  
Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.043

3 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

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

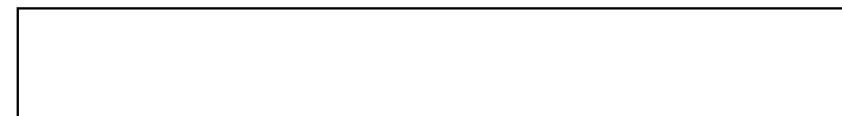
#### Distributed Load 2

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

#### Distributed Load 3

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

### Material Properties





Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI860001A

92 di 109



Property	Rilevato	CLS	Unità6	COLONNE	Unità 2	ril esist
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Infinite strength	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	20	25	19	18	18	20
Cohesion [kPa]	0		0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38		39	36	28	36
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	0	1	1	1	1

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

FS	1.538630
Center:	42.754, 34.021
Radius:	12.172
Left Slip Surface Endpoint:	32.650, 27.233
Right Slip Surface Endpoint:	51.447, 25.500
Resisting Moment:	5003.39 kN-m
Driving Moment:	3251.85 kN-m
Total Slice Area:	55.6092 m2
Surface Horizontal Width:	18.7967 m
Surface Average Height:	2.95846 m

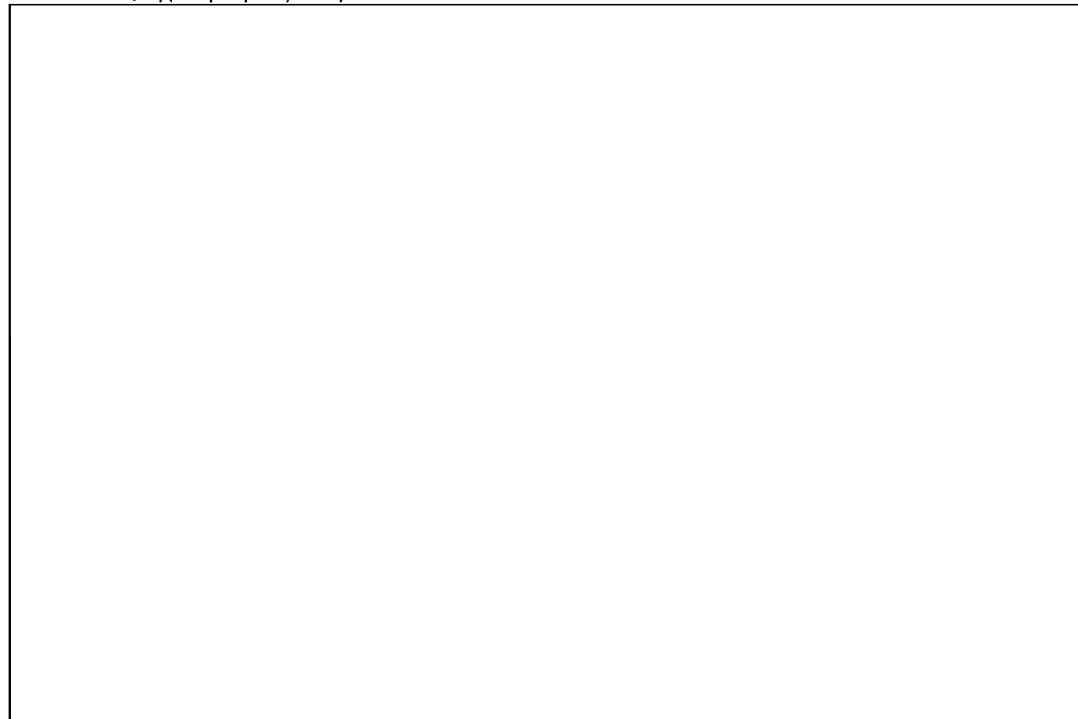
**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

Number of Valid Surfaces: 713  
Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.53863







Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI8600001A	93 di 109



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	0.377645	2.00484	-54.5736	Rilevato	0	32.0066	5.0405	7.75546	12.4082	0	12.4082	19.4939	19.4939
2	0.377645	5.8096	-51.6087	Rilevato	0	32.0066	7.82566	12.0408	19.2644	0	19.2644	29.141	29.141
3	0.377645	9.24018	-48.8272	Rilevato	0	32.0066	10.4959	16.1493	25.8377	0	25.8377	37.8385	37.8385
4	0.377645	12.3576	-46.193	Rilevato	0	32.0066	15.4571	23.7828	38.0508	0	38.0508	54.1654	54.1654
5	0.381539	15.3768	-43.6674	Rilevato	0	32.0066	18.5924	28.6069	47.5554	1.78636	45.769	65.3025	63.5161
6	0.381539	18.0421	-41.2319	Rilevato	0	32.0066	20.0037	30.7783	54.4559	5.2129	49.243	71.9875	66.7746
7	0.381539	20.4919	-38.8841	Rilevato	0	32.0066	21.3483	32.8472	60.9153	8.36229	52.553	78.1315	69.7692
8	0.381539	22.7474	-36.6117	Rilevato	0	32.0066	22.6314	34.8213	66.9734	11.262	55.7114	83.7882	72.5262
9	0.381539	24.8259	-34.4046	Rilevato	0	32.0066	23.857	36.7071	72.6627	13.934	58.7287	89.0008	75.0668
10	0.381539	26.7415	-32.2543	Rilevato	0	32.0066	25.0288	38.51	78.0098	16.3967	61.6131	93.8044	77.4077
11	0.381539	28.5058	-30.1539	Rilevato	0	32.0066	23.325	35.8885	76.0839	18.6648	57.4191	89.6343	70.9695
12	0.389328	32.2041	-28.0768	COLONNE	0	30.1666	22.8927	35.2234	81.3717	20.7707	60.601	93.5833	72.8126
13	0.389328	33.6293	-26.0185	COLONNE	0	30.1666	23.7182	36.4935	85.5078	22.7215	62.7863	97.0855	74.364
14	0.389328	34.9024	-23.9958	COLONNE	0	30.1666	22.1435	34.0706	83.1214	24.5038	58.6176	92.9784	68.4746
15	0.389328	36.061	-22.0045	COLONNE	0	30.1666	20.4933	31.5316	80.375	26.1256	54.2494	88.6567	62.5311
16	0.389328	37.1099	-20.0407	COLONNE	0	30.1666	21.1291	32.5099	83.5264	27.5939	55.9325	91.2337	63.6398
17	0.389328	40.645	-18.1013	COLONNE	0	30.1666	23.8761	36.7365	92.119	28.9147	63.2043	99.9236	71.0089
18	0.389328	46.7722	-16.1831	COLONNE	0	30.1666	28.9008	44.4677	106.599	30.0931	76.5057	114.986	84.8929
19	0.389328	47.5154	-14.2834	COLONNE	0	30.1666	29.526	45.4296	109.294	31.1335	78.1607	116.811	85.6777
20	0.389328	31.1341	-12.3996	COLONNE	0	30.1666	15.5202	23.8799	73.1244	32.0395	41.0849	76.5366	44.4971
21	0.389328	26.3223	-10.5294	COLONNE	0	30.1666	11.2572	17.3206	62.614	32.8143	29.7997	64.7064	31.8921
22	0.389328	25.2456	-8.67045	COLONNE	0	30.1666	10.2149	15.7169	60.501	33.4604	27.0406	62.0587	28.5983
23	0.389328	24.9749	-6.82067	COLONNE	0	30.1666	9.90771	15.2443	60.2074	33.9801	26.2273	61.3925	27.4124
24	0.389328	25.2569	-4.97801	COLONNE	0	30.1666	10.1344	15.5931	61.2024	34.3748	26.8276	62.0851	27.7103
25	0.389328	25.4506	-3.1405	COLONNE	0	30.1666	10.3309	15.8955	61.9938	34.6459	27.3479	62.5606	27.9147
26	0.389328	25.5565	-1.30623	COLONNE	0	30.1666	10.4968	16.1507	62.5811	34.7942	27.7869	62.8205	28.0263
27	0.389328	25.5751	0.526703	COLONNE	0	30.1666	10.6313	16.3577	62.9633	34.8202	28.1431	62.8656	28.0454
28	0.389328	25.5063	2.36018	COLONNE	0	30.1666	10.7338	16.5153	63.1381	34.724	28.4141	62.6957	27.9717
29	0.389328	25.35	4.19607	COLONNE	0	30.1666	10.8033	16.6223	63.1036	34.5052	28.5984	62.311	27.8058
30	0.375414	24.2141	6.00332	Unità 2	0	23.0433	7.84549	12.0713	62.5499	34.1714	28.3785	61.7249	27.5535
31	0.375414	23.9074	7.78356	Unità 2	0	23.0433	7.81968	12.0316	62.0111	33.7261	28.285	60.9422	27.2161
32	0.375414	23.5201	9.57141	Unità 2	0	23.0433	7.76873	11.9532	61.2647	33.1638	28.1009	59.9547	26.7909
33	0.375414	23.0512	11.3687	Unità 2	0	23.0433	7.69171	11.8347	60.3055	32.4831	27.8224	58.7589	26.2758
34	0.375414	22.4991	13.1775	Unità 2	0	23.0433	7.58766	11.6746	59.1276	31.6817	27.4459	57.3511	25.6694
35	0.375414	21.8623	14.9997	Unità 2	0	23.0433	7.45546	11.4712	57.725	30.7572	26.9678	55.7274	24.9702
36	0.375414	21.1386	16.8376	Unità 2	0	23.0433	7.29376	11.2224	56.0895	29.7065	26.383	53.8821	24.1756
37	0.375414	20.3255	18.6935	Unità 2	0	23.0433	7.10099	10.9258	54.2116	28.5262	25.6854	51.8089	23.2827
38	0.375414	19.4203	20.5701	Unità 2	0	23.0433	6.87534	10.5786	52.0813	27.2121	24.8692	49.5011	22.289
39	0.375414	18.4197	22.47	Unità 2	0	23.0433	6.61465	10.1775	49.6861	25.7595	23.9266	46.9502	21.1907
40	0.375414	17.3198	24.3964	Unità 2	0	23.0433	6.31657	9.71886	47.0109	24.1627	22.8482	44.1461	19.9834
41	0.375414	16.1162	26.3527	Unità 2	0	23.0433	5.97802	9.19796	44.039	22.4154	21.6236	41.0776	18.6622
42	0.375414	14.8036	28.3427	Unità 2	0	23.0433	5.59549	8.60939	40.7498	20.5099	20.2399	37.7316	17.2217
43	0.375414	13.3761	30.3707	Unità 2	0	23.0433	5.16468	7.94653	37.1192	18.4376	18.6816	34.0927	15.6551
44	0.375414	11.8266	32.4419	Unità 2	0	23.0433	4.68031	7.20127	33.1176	16.188	16.9296	30.1425	13.9545
45	0.375414	10.1465	34.5618	Unità 2	0	23.0433	4.13583	6.36351	28.709	13.749	14.96	25.8599	12.1109
46	0.375414	8.32602	36.7373	Unità 2	0	23.0433	3.52289	5.42043	23.849	11.1061	12.7429	21.2196	10.1135
47	0.375414	6.353	38.9765	Unità 2	0	23.0433	2.8307	4.3554	18.481	8.24184	10.2391	16.1907	7.94881
48	0.375414	4.2128	41.2891	Unità 2	0	23.0433	2.0449	3.14635	12.5316	5.13486	7.39678	10.7358	5.60098
49	0.375414	1.88732	43.687	Unità 2	0	23.0433	1.14582	1.763	5.90355	1.75888	4.14467	4.80907	3.05019
50	0.0991644	0.089248	45.2404	Unità 2	0	23.0433	0.329917	0.50762	1.19337	0	1.19337	0.86067	0.86067

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.53863

--



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI860001A

94 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	32.6499	27.233	0	0	0
2	33.0275	26.7021	4.85772	0	0
3	33.4052	26.2255	11.5836	0	0
4	33.7828	25.7937	19.5693	0	0
5	34.1605	25.4	29.7743	0	0
6	34.542	25.0358	41.3203	0	0
7	34.9235	24.7014	53.4455	0	0
8	35.3051	24.3937	65.8004	0	0
9	35.6866	24.1103	78.101	0	0
10	36.0682	23.849	90.1121	0	0
11	36.4497	23.6082	101.636	0	0
12	36.8312	23.3865	112.041	0	0
13	37.2206	23.1789	122.781	0	0
14	37.6099	22.9888	132.673	0	0
15	37.9992	22.8155	141.441	0	0
16	38.3886	22.6582	149.188	0	0
17	38.7779	22.5162	155.994	0	0
18	39.1672	22.3889	161.894	0	0
19	39.5565	22.2759	166.683	0	0
20	39.9459	22.1768	170.081	0	0
21	40.3352	22.0912	172.956	0	0
22	40.7245	22.0188	175.35	0	0
23	41.1139	21.9595	177.118	0	0
24	41.5032	21.9129	178.195	0	0
25	41.8925	21.879	178.479	0	0
26	42.2818	21.8576	177.952	0	0
27	42.6712	21.8487	176.601	0	0
28	43.0605	21.8523	174.418	0	0
29	43.4498	21.8684	171.402	0	0
30	43.8391	21.8969	167.556	0	0
31	44.2284	21.9364	164.205	0	0
32	44.6177	21.9877	160.125	0	0
33	44.9964	22.051	155.335	0	0
34	45.3751	22.1265	149.86	0	0
35	45.7538	22.2144	143.733	0	0
36	46.1325	22.315	136.991	0	0
37	46.5112	22.4286	129.682	0	0
38	46.8899	22.5556	121.863	0	0
39	47.2686	22.6965	113.6	0	0
40	47.6473	22.8518	104.972	0	0
41	48.026	23.0221	96.073	0	0
42	48.4047	23.208	87.013	0	0
43	48.7834	23.4105	77.9228	0	0
44	49.1621	23.6305	68.9585	0	0
45	49.5408	23.8692	60.3072	0	0
46	49.9195	24.1278	52.1954	0	0
47	50.2982	24.408	44.9004	0	0
48	50.6769	24.7117	38.7662	0	0
49	51.0556	25.0414	34.2266	0	0
50	51.4343	25.4	31.8407	0	0
51	51.813	25.5	0	0	0

### List Of Coordinates

#### Water Table

X	Y
-1	25.4
61.445	25.4

#### Distributed Load

X	Y
37.8037	27.233
28.5949	27.233



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

95 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



**Distributed Load**

X	Y
36.5647	27.233
33.902	27.233

**Distributed Load**

X	Y
32.4778	27.233
29.8899	27.233

**External Boundary**

X	Y
0	0
60.445	0
60.445	18.5
60.445	25.5
43.8391	25.5
40.0391	25.5
40.0391	27.433
39.0391	27.433
39.0391	27.233
27.5	27.233
27.299	27.333
0	27.333
0	25.5
0	18.5

**Material Boundary**

X	Y
40.0391	24.1865
40.0391	25.5

**Material Boundary**

X	Y
34.1408	23.3865
36.8391	23.3865

**Material Boundary**

X	Y
27.5	27.233
30.5088	25.5
34.1408	23.3865

**Material Boundary**

X	Y
0	18.5
30.5088	18.5
43.8391	18.5
60.445	18.5

**Material Boundary**

X	Y
0	25.5
27.7301	25.5

**Material Boundary**

--	--

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

96 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

X	Y
39.0391	27.233
39.0391	24.1865
36.8391	24.1865
36.8391	23.3865
40.8391	23.3865
40.8391	24.1865
40.0391	24.1865

**Material Boundary**

X	Y
40.8391	23.3865
43.8391	23.3865

**Material Boundary**

X	Y
27.7301	25.5
30.5088	25.5
30.5088	18.5

**Material Boundary**

X	Y
43.8391	18.5
43.8391	23.3865
43.8391	25.5

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI8600001A	97 di 109

**ALLEGATO 5 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU POST SISMA**



## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

File Name: RI86\_post.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



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI860001A

Foglio

99 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

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

### Random Numbers

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

### Surface Options

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

### Seismic

Advanced seismic analysis: No  
Staged pseudostatic analysis: No

### Loading

3 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

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

#### Distributed Load 2

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

#### Distributed Load 3

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

### Material Properties

Property	Rilevato	CLS	Unità6	liquef	COLONNE	ril esist
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Infinite strength	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	20	25	19	18	18	20
Cohesion [kPa]	0		0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38		39	5.7	36	36
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	0	1	1	1	1

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

100 di  
109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

### Global Minimums

Method: bishop simplified

	FS	1.867660
Center:	43.915, 34.838	
Radius:	13.559	
Left Slip Surface Endpoint:	32.690, 27.233	
Right Slip Surface Endpoint:	53.745, 25.500	
Resisting Moment:	5418.67 kN-m	
Driving Moment:	2901.32 kN-m	
Total Slice Area:	69.0679 m2	
Surface Horizontal Width:	21.0557 m	
Surface Average Height:	3.28024 m	

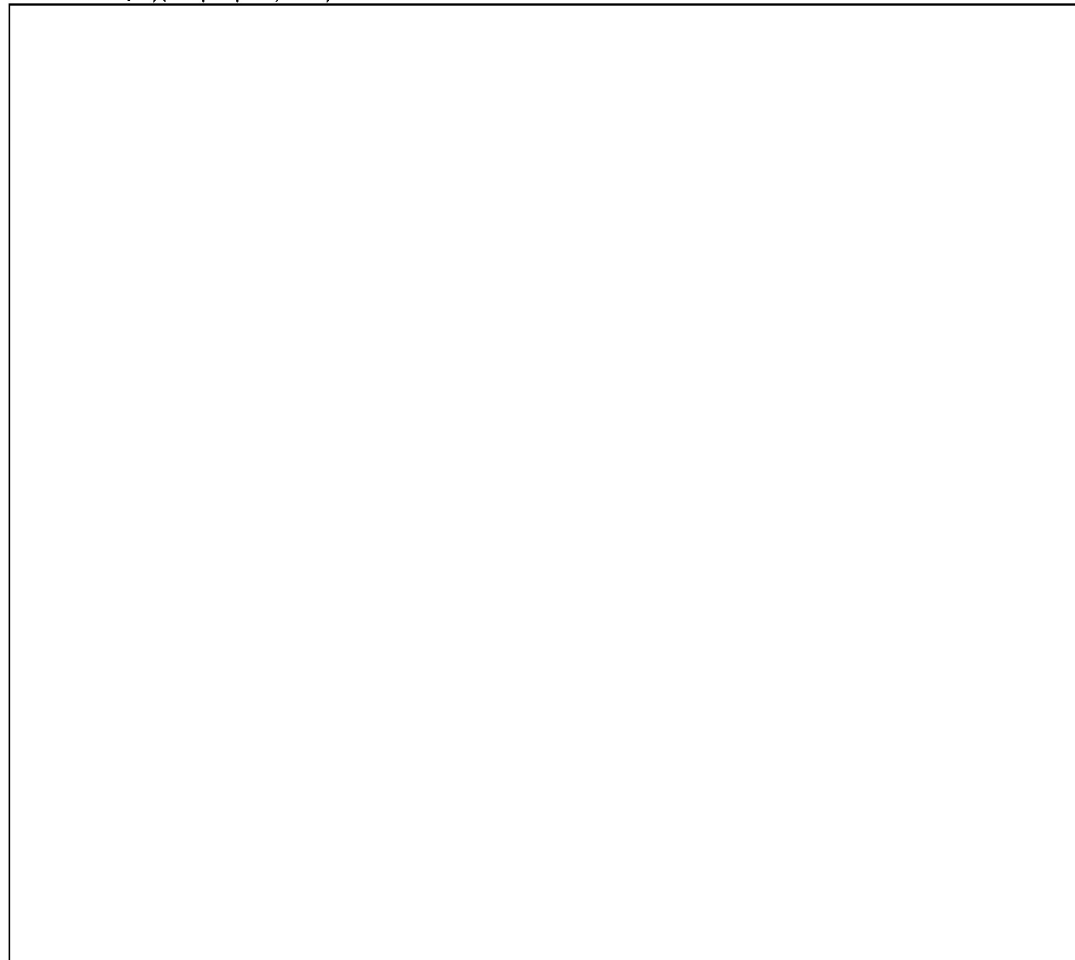
### Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 848  
Number of Invalid Surfaces: 0

### Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.86766







Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI8600001A

101 di  
109



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

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.496828	3.40892	-54.0919	Rilevato	0	32.0066	4.86866	9.09301	14.5481	0	14.5481	21.2719	21.2719
2	0.496828	9.82784	-50.6461	Rilevato	0	32.0066	8.1275	15.1794	24.286	0	24.286	34.1968	34.1968
3	0.496828	15.5258	-47.4382	Rilevato	0	32.0066	12.8912	24.0763	38.5204	0	38.5204	52.5582	52.5582
4	0.412496	16.8036	-44.6607	Rilevato	0	32.0066	16.463	30.7473	51.1928	1.99947	49.1933	67.4619	65.4625
5	0.412496	20.0311	-42.2576	Rilevato	0	32.0066	17.8225	33.2863	59.0929	5.83726	53.2557	75.2861	69.4488
6	0.412496	23.0019	-39.9431	Rilevato	0	32.0066	19.1132	35.6969	66.4824	9.36991	57.1125	82.488	73.1181
7	0.412496	25.7421	-37.7046	Rilevato	0	32.0066	20.3402	37.9885	73.4071	12.6283	60.7788	89.1303	76.502
8	0.412496	28.2726	-35.5319	Rilevato	0	32.0066	21.5077	40.1691	79.9048	15.6372	64.2676	95.2642	79.627
9	0.412496	30.6103	-33.4167	Rilevato	0	32.0066	21.8805	40.8654	83.7987	18.4171	65.3816	98.2354	79.8183
10	0.422259	34.442	-31.3271	COLONNE	0	30.1666	19.5993	36.6049	83.9916	21.0137	62.9779	95.9209	74.9072
11	0.422259	37.0568	-29.2583	COLONNE	0	30.1666	20.8485	38.9379	90.4284	23.4365	66.9919	102.108	78.6716
12	0.422259	38.7843	-27.2306	COLONNE	0	30.1666	20.5123	38.31	91.5759	25.6644	65.9115	102.132	76.4673
13	0.422259	40.369	-25.2392	COLONNE	0	30.1666	18.4096	34.3828	86.8631	27.7082	59.1549	95.5414	67.8332
14	0.422259	41.8182	-23.28	COLONNE	0	30.1666	19.0455	35.5705	90.7755	29.5772	61.1983	98.9699	69.3927
15	0.422259	46.2038	-21.3493	COLONNE	0	30.1666	21.6609	40.4552	100.882	31.2792	69.6023	109.348	78.069
16	0.422259	52.8836	-19.4436	COLONNE	0	30.1666	25.8911	48.3557	116.016	32.8211	83.195	125.156	92.3348
17	0.422259	53.9595	-17.5602	COLONNE	0	30.1666	26.4871	49.4689	119.319	34.2088	85.1101	127.701	93.942
18	0.422259	30.8032	-15.6961	COLONNE	0	30.1666	10.7172	20.0161	69.8845	35.4472	34.4373	72.8962	37.449
19	0.422259	31.2262	-13.849	COLONNE	0	30.1666	10.7971	20.1653	71.2348	36.5407	34.6941	73.8966	37.3559
20	0.422259	29.8325	-12.0164	COLONNE	0	30.1666	9.66241	18.0461	68.5409	37.493	31.0479	70.5976	33.1046
21	0.422259	30.4637	-10.1962	COLONNE	0	30.1666	9.95658	18.5955	70.3	38.307	31.993	72.0908	33.7838
22	0.422259	30.9897	-8.38644	COLONNE	0	30.1666	10.221	19.0894	71.8283	38.9854	32.8429	73.3351	34.3497
23	0.422259	31.4122	-6.58503	COLONNE	0	30.1666	10.4558	19.5278	73.1275	39.5303	33.5972	74.3346	34.8043
24	0.422259	31.7324	-4.79015	COLONNE	0	30.1666	10.6606	19.9103	74.1984	39.9432	34.2552	75.0917	35.1485
25	0.422259	31.9513	-2.99998	COLONNE	0	30.1666	10.8351	20.2362	75.0415	40.2256	34.8159	75.6093	35.3837
26	0.422259	32.0696	-1.21273	COLONNE	0	30.1666	10.9789	20.5048	75.6562	40.3781	35.2781	75.8886	35.5105
27	0.426534	32.3866	0.581673	liquef	0	4.56541	1.51968	2.83825	75.9453	40.4007	35.5446	75.9298	35.5291
28	0.426534	32.3018	2.38499	liquef	0	4.56541	1.51785	2.83483	75.7939	40.2923	35.5016	75.7307	35.4384
29	0.426534	32.1136	4.19068	liquef	0	4.56541	1.5113	2.82259	75.4003	40.0519	35.3484	75.2896	35.2377
30	0.426534	31.8215	6.00055	liquef	0	4.56541	1.49998	2.80145	74.7624	39.6787	35.0837	74.6048	34.9261
31	0.426534	31.4247	7.81646	liquef	0	4.56541	1.48385	2.77132	73.8778	39.1716	34.7062	73.6741	34.5025
32	0.426534	30.9218	9.64031	liquef	0	4.56541	1.46282	2.73205	72.7435	38.529	34.2145	72.495	33.966
33	0.426534	30.3113	11.4741	liquef	0	4.56541	1.43682	2.68349	71.3553	37.749	33.6063	71.0636	33.3146
34	0.426534	29.5912	13.3199	liquef	0	4.56541	1.40574	2.62544	69.7083	36.829	32.8793	69.3755	32.5465
35	0.426534	28.7593	15.1799	liquef	0	4.56541	1.36945	2.55767	67.7966	35.766	32.0306	67.425	31.659
36	0.426534	27.8127	17.0564	liquef	0	4.56541	1.32781	2.47989	65.6132	34.5565	31.0567	65.2058	30.6493
37	0.426534	26.7481	18.952	liquef	0	4.56541	1.28063	2.39179	63.1494	33.1962	29.9532	62.7097	29.5135
38	0.426534	25.5616	20.8695	liquef	0	4.56541	1.22773	2.29298	60.3959	31.6801	28.7158	59.9278	28.2477
39	0.426534	24.2487	22.8117	liquef	0	4.56541	1.16885	2.18302	57.3412	30.0025	27.3387	56.8496	26.8471
40	0.426534	22.804	24.7821	liquef	0	4.56541	1.10373	2.0614	53.9723	28.1566	25.8157	53.4627	25.3061
41	0.426534	21.2215	26.7843	liquef	0	4.56541	1.03205	1.92751	50.2736	26.1346	24.139	49.7527	23.6181
42	0.426534	19.494	28.8226	liquef	0	4.56541	0.953412	1.78065	46.2271	23.9273	22.2998	45.7025	21.7752
43	0.426534	17.613	30.9017	liquef	0	4.56541	0.86739	1.61999	41.8116	21.5238	20.2878	41.2924	19.7686
44	0.426534	15.5685	33.027	liquef	0	4.56541	0.773449	1.44454	37.0021	18.9115	18.0906	36.4993	17.5878
45	0.426534	13.3488	35.2049	liquef	0	4.56541	0.670963	1.25313	31.7688	16.0754	15.6934	31.2954	15.22
46	0.426534	10.9398	37.4431	liquef	0	4.56541	0.55916	1.04432	26.0755	12.9972	13.0783	25.6473	12.6501
47	0.426534	8.32412	39.7505	liquef	0	4.56541	0.437105	0.816363	19.8787	9.65507	10.2237	19.5152	9.86012
48	0.426534	5.48082	42.1382	liquef	0	4.56541	0.303637	0.567091	13.124	6.02208	7.1019	12.8493	6.82718
49	0.426534	2.38356	44.6199	liquef	0	4.56541	0.157276	0.293738	5.74315	2.06457	3.67858	5.58795	3.52338
50	0.0959672	0.0863705	46.1789	liquef	0	4.56541	0.0402702	0.075211	0.941897	0	0.941897	0.899934	0.899934

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.86766

--



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI860001A

Foglio

102 di  
109



Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	32.6897	27.233	0	0	0
2	33.1865	26.5469	7.56694	0	0
3	33.6833	25.941	18.2487	0	0
4	34.1801	25.4	32.6944	0	0
5	34.5926	24.9924	46.7824	0	0
6	35.0051	24.6176	61.5894	0	0
7	35.4176	24.2721	76.6826	0	0
8	35.8301	23.9533	91.7126	0	0
9	36.2426	23.6587	106.393	0	0
10	36.6551	23.3865	120.188	0	0
11	37.0777	23.1293	133.523	0	0
12	37.5003	22.8926	146.134	0	0
13	37.9229	22.6751	157.394	0	0
14	38.3455	22.4759	166.931	0	0
15	38.7681	22.2941	175.4	0	0
16	39.1907	22.1289	182.924	0	0
17	39.6132	21.9797	189.307	0	0
18	40.0358	21.846	194.088	0	0
19	40.4584	21.7272	197.865	0	0
20	40.881	21.6231	200.731	0	0
21	41.3036	21.5331	202.82	0	0
22	41.7262	21.4571	203.962	0	0
23	42.1488	21.3948	204.124	0	0
24	42.5714	21.346	203.28	0	0
25	42.994	21.3106	201.41	0	0
26	43.4166	21.2885	198.5	0	0
27	43.8391	21.2795	194.545	0	0
28	44.2657	21.2838	193.569	0	0
29	44.6922	21.3016	191.576	0	0
30	45.1187	21.3329	188.576	0	0
31	45.5453	21.3777	184.585	0	0
32	45.9718	21.4363	179.627	0	0
33	46.3983	21.5087	173.734	0	0
34	46.8249	21.5953	166.944	0	0
35	47.2514	21.6963	159.306	0	0
36	47.678	21.812	150.877	0	0
37	48.1045	21.9429	141.725	0	0
38	48.531	22.0893	131.931	0	0
39	48.9576	22.2519	121.586	0	0
40	49.3841	22.4313	110.801	0	0
41	49.8106	22.6283	99.7029	0	0
42	50.2372	22.8436	88.4389	0	0
43	50.6637	23.0783	77.183	0	0
44	51.0902	23.3336	66.1395	0	0
45	51.5168	23.6109	55.5502	0	0
46	51.9433	23.9118	45.7039	0	0
47	52.3698	24.2384	36.949	0	0
48	52.7964	24.5932	29.7109	0	0
49	53.2229	24.9791	24.5168	0	0
50	53.6494	25.4	22.0324	0	0
51	53.7454	25.5	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	25.4
61.445	25.4

Distributed Load

X	Y
37.8037	27.233
28.5949	27.233

Distributed Load

X	Y



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

103 di  
109



X	Y
36.5647	27.233
33.902	27.233

**Distributed Load**

X	Y
32.4778	27.233
29.8899	27.233

**External Boundary**

X	Y
0	0
60.445	0
60.445	18.5
60.445	25.5
43.8391	25.5
40.0391	25.5
40.0391	27.433
39.0391	27.433
39.0391	27.233
27.5	27.233
27.299	27.333
0	27.333
0	25.5
0	18.5

**Material Boundary**

X	Y
40.0391	24.1865
40.0391	25.5

**Material Boundary**

X	Y
34.1408	23.3865
36.8391	23.3865

**Material Boundary**

X	Y
27.5	27.233
30.5088	25.5
34.1408	23.3865

**Material Boundary**

X	Y
0	18.5
30.5088	18.5
43.8391	18.5
60.445	18.5

**Material Boundary**

X	Y
0	25.5
27.7301	25.5

**Material Boundary**

X	Y
39.0391	27.233
39.0391	24.1865
36.8391	24.1865
36.8391	23.3865
40.8391	23.3865
40.8391	24.1865
40.0391	24.1865

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

104 di  
109

SLIDEINTERPRET 7.030



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

**Material Boundary**

X	Y
40.8391	23.3865
43.8391	23.3865

**Material Boundary**

X	Y
27.7301	25.5
30.5088	25.5
30.5088	18.5

**Material Boundary**

X	Y
43.8391	18.5
43.8391	23.3865
43.8391	25.5

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI8600001A	105 di 109

**ALLEGATO 6- TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE**



## Settle3D Analysis Information

### Rilevato

#### Project Settings

Document Name: cedim86.s3z  
Project Title: Rilevato  
Date Created: 08/06/2021, 14:59:10  
Stress Computation Method: Boussinesq

#### Stage Settings

Stage #	Name
1	Stage 1
2	Stage 2

#### Results

Time taken to compute: 5.34274 seconds

##### Stage: Stage 1

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.075735
Consolidation Settlement [m]	0	0
Immediate Settlement [m]	0	0.075735
Loading Stress [kPa]	0.00231537	124.606
Total Stress [kPa]	0.00231537	606.923
Total Strain	2.21489e-007	0.0113243
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.164999	606.72
Over-consolidation Ratio	1	1
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [m]	0	0

##### Stage: Stage 2

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.0797108
Consolidation Settlement [m]	0	0
Immediate Settlement [m]	0	0.0797108
Loading Stress [kPa]	0.00231603	124.605
Total Stress [kPa]	0.00231603	621.885
Total Strain	6.86425e-007	0.0113245
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	1.26755	621.682



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI860001A

Foglio

107 di  
109

Over-consolidation Ratio	1	1.19647
Void Ratio	0	0
Hydroconsolidation Settlement [m]	0	0

## Loads

### 1. Rectangular Load

Length: 8.8 m  
Width: 100 m  
Rotation angle: 0 degrees  
Load Type: Flexible  
Area of Load: 880 m<sup>2</sup>  
Load: 14.4 kPa  
Depth: -4.1 m  
Installation Stage: Stage 2

#### Coordinates

X [m]	Y [m]
17.6748	-50
26.4748	-50
26.4748	50
17.6748	50

## Embankments

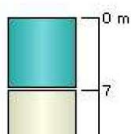
### 1. Embankment

Center Line: (0, -50) to (0, 50)  
Number of Layers: 2  
Near End Angle: 90 degrees  
Far End Angle: 90 degrees  
Base Width: 30

Layer	Stage	Left Bench Width (m)	Left Angle (deg)	Height (m)	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Right Angle (deg)	Right Bench Width (m)
1	Stage 1	0	34	4.1	20	90	0
2	Stage 1	0	34	0.5	20	34	0

## Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	COLONNE	7	0
2	u6	23	7



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03  
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8600001A

Foglio

108 di  
109

## Soil Properties

Property	u6	COLONNE
Color		
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	19	18
Immediate Settlement	Enabled	Enabled
Es [kPa]	80000	11000
Esur [kPa]	80000	11000



## Query Points

Point #	(X,Y) Location	Number of Divisions
1	22.0748, 0	Auto: 49

## Query Lines

Line #	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	-20, 0	50, 0	200	Auto: 29



<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p><b>IRICAV2</b></p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 44+225,00 al km 44+250,03 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI8600001A</p>	<p>Foglio 109 di 109</p>

## ALLEGATO 7- VERSIONE SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI

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