

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 43+875,00 al km 44+225,00
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	RI8500	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: IN1712E12RBRI8500001A_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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 2 di 114

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	Susceptibilità 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	44
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	110
	ALLEGATO 7 – VERSIONE SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI	114

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 4 di 114

1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI85, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende dal km 43+875,00 al km 44+225,00.

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 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 5 di 114

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 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 6 di 114

[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 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 7 di 114

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

3.1 Premessa

Il rilevato ferroviario in esame si estende dal km 43+875,00 al km 44+225,00 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 43+875, si riscontra l'altezza massima del rilevato pari a 4.8 m. La sezione citata, denominata Sezione A (Figura 1) è quella ritenuta più significativa per le verifiche SLU e SLE del rilevato in esame .

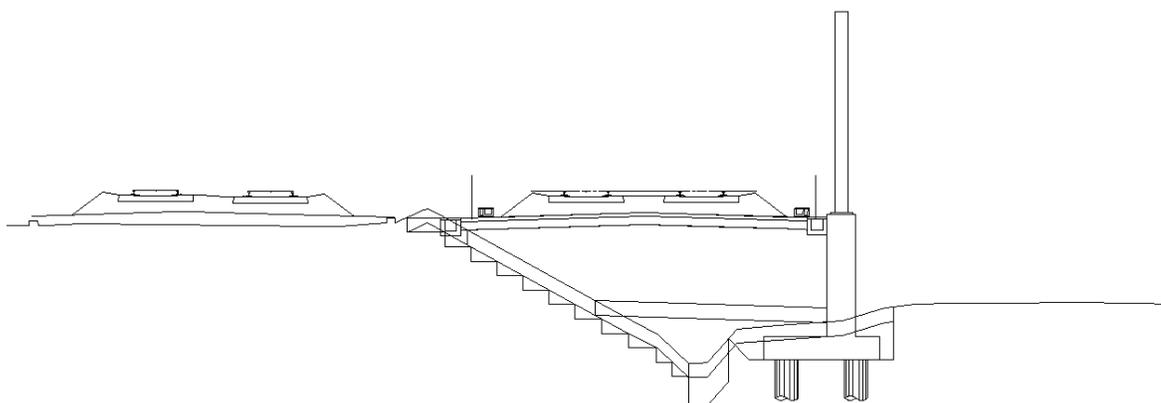


Figura 1 – Sezione di riferimento A (pk 43+875) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 8 di 114

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 43+875 e pk 44+225

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

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 fra la +27 e la +29 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 R185, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 11 di 11 (Doc. Rif. [3]).

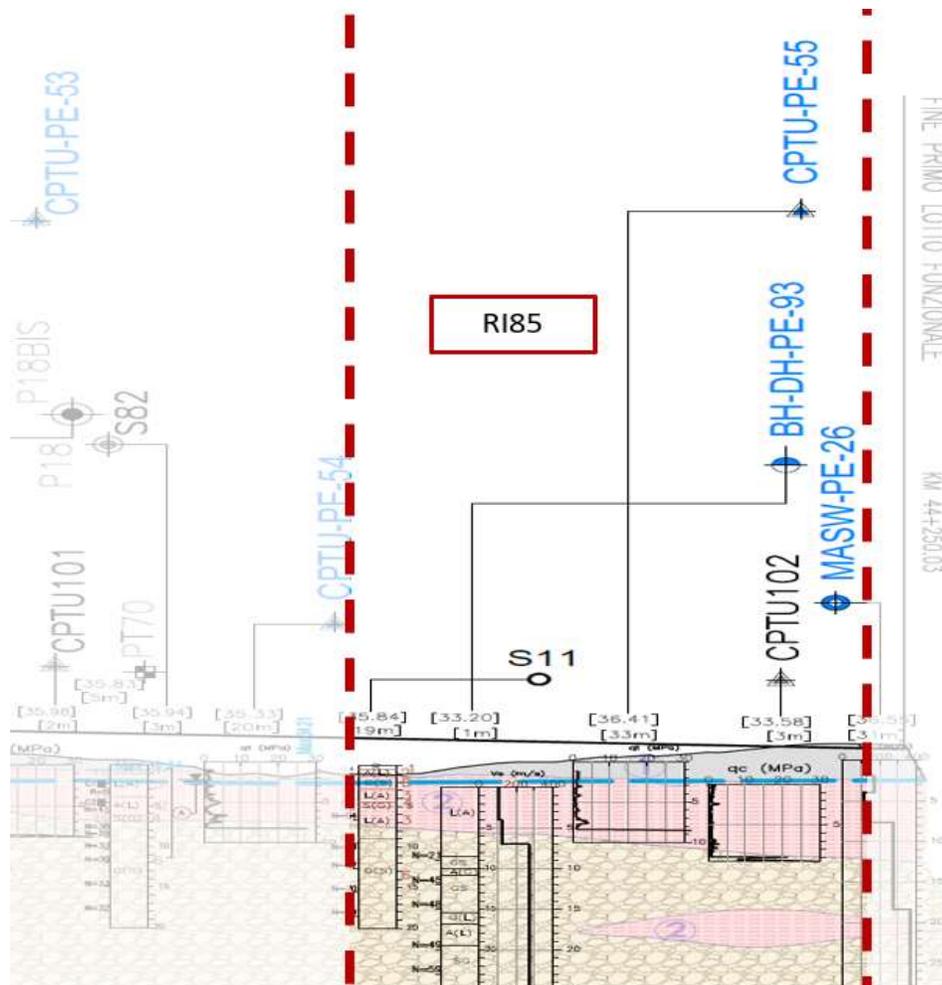


Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato R185, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI850001A

Foglio

10 di 114

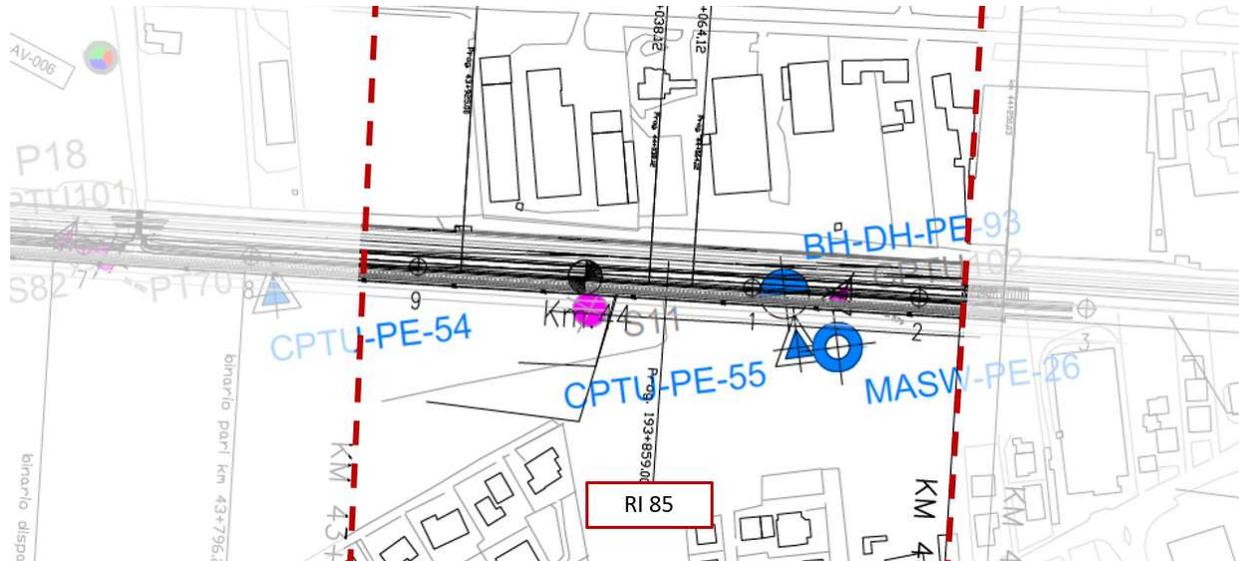


Figura 3 - Planimetria Rilevato RI85, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

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 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 11 di 114

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 posto ad una quota assoluta variabile fra la +27 e la +29 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. 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);

Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

12 di 114

- 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).

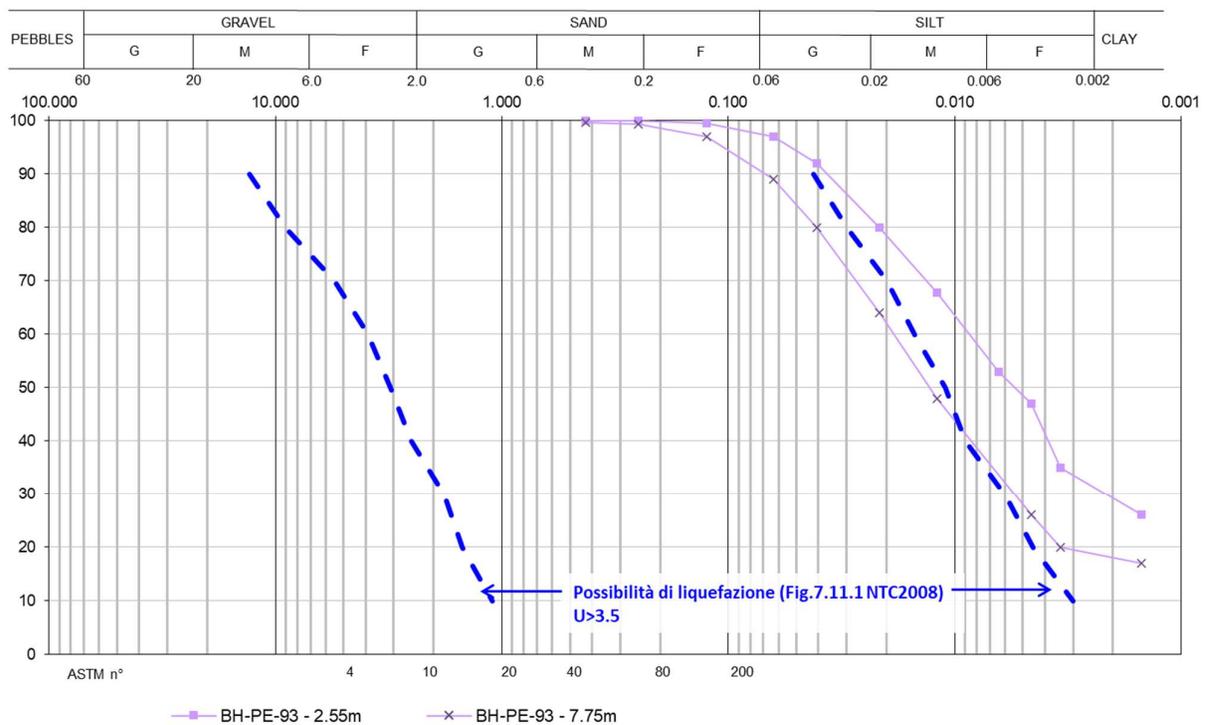


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche dei terreni superficiali e suscettibili alla liquefazione tra pk 43+875 e pk 44+225



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8500001A

Foglio
13 di 114

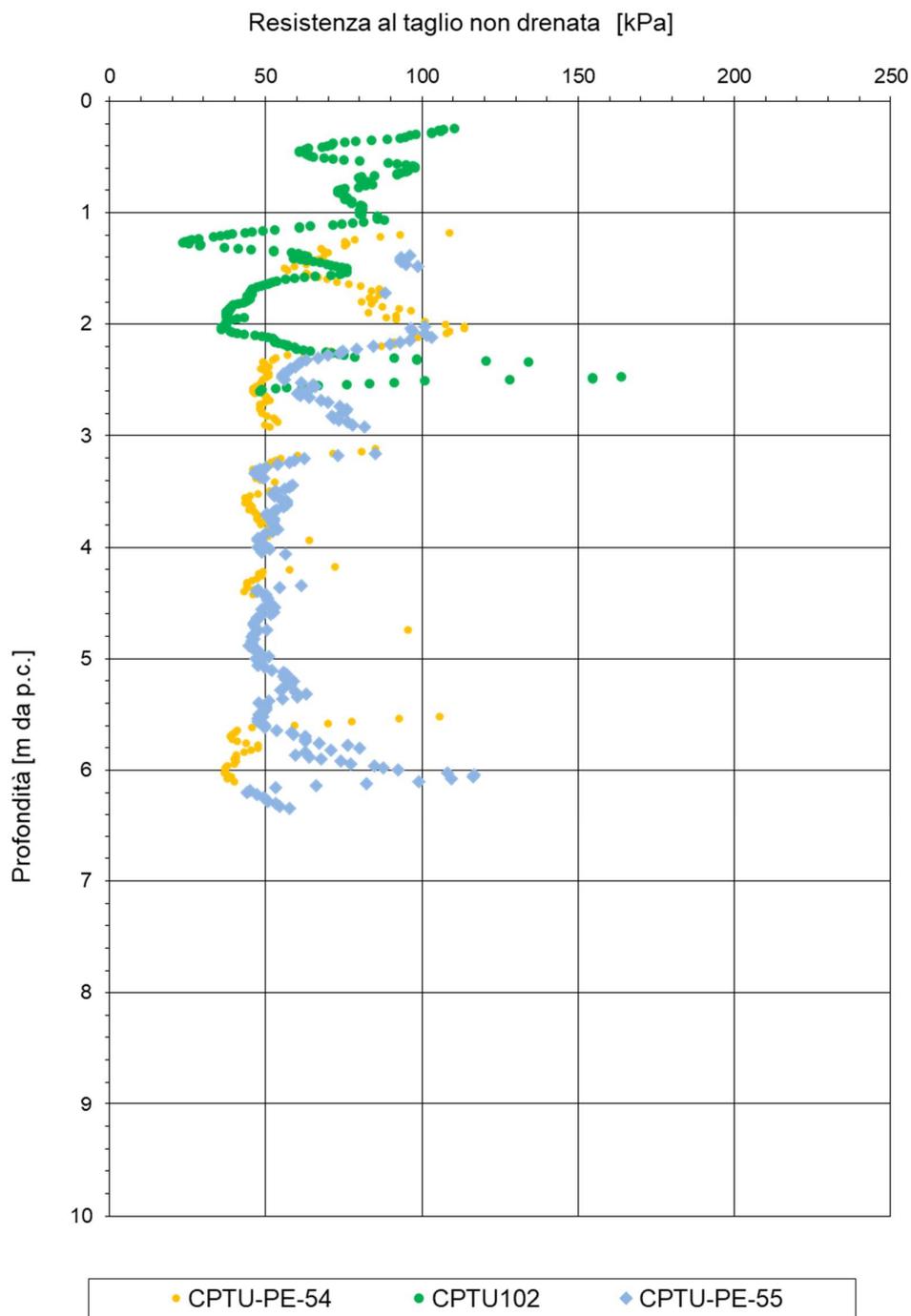


Figura 5 – Resistenza al taglio non drenata da prove CPTU tra pk 43+875 e pk 44+225



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
 Relazione Geotecnica

Progetto
 IN17

Lotto
 12

Codifica
 EI2RBRI8500001A

Foglio
 14 di 114

AV/AC VERONA VICENZA

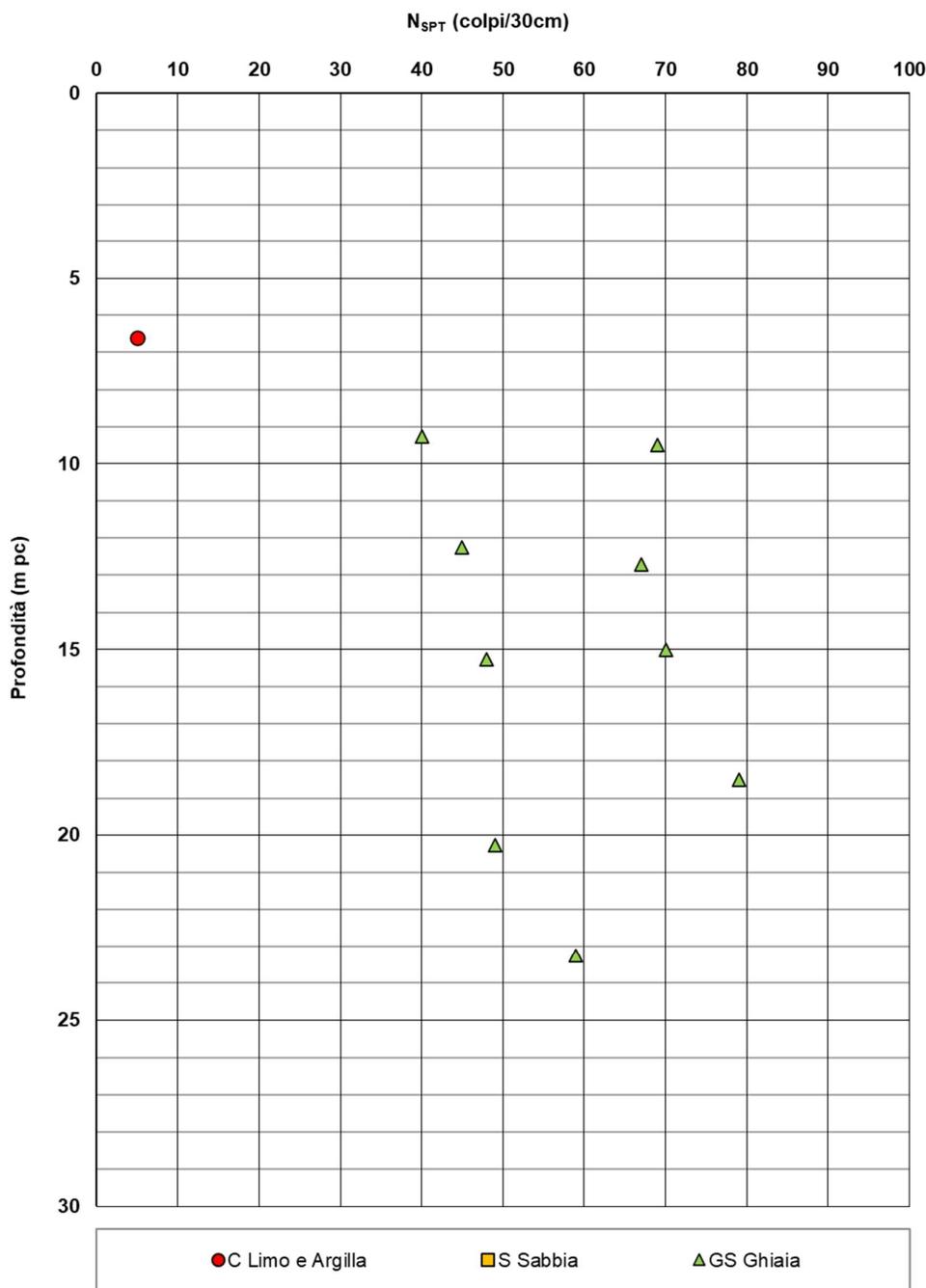


Figura 6 – Esito delle prove SPT tra pk 43+875 e pk 44+225



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

15 di 114

AV/AC VERONA VICENZA

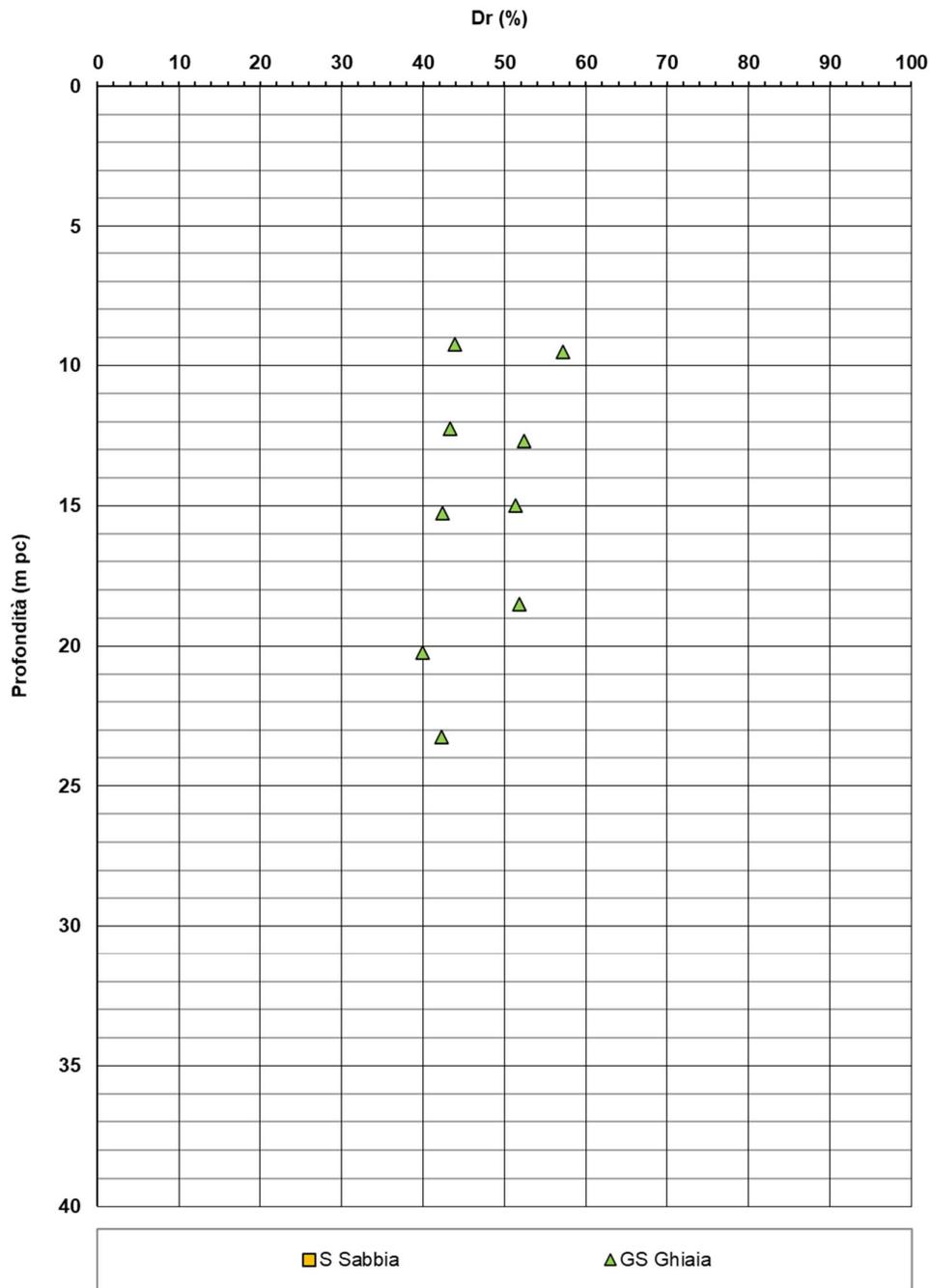


Figura 7 – Densità relativa da prove SPT tra pk 43+875 e pk 44+225



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8500001A

Foglio
16 di 114

AV/AC VERONA VICENZA

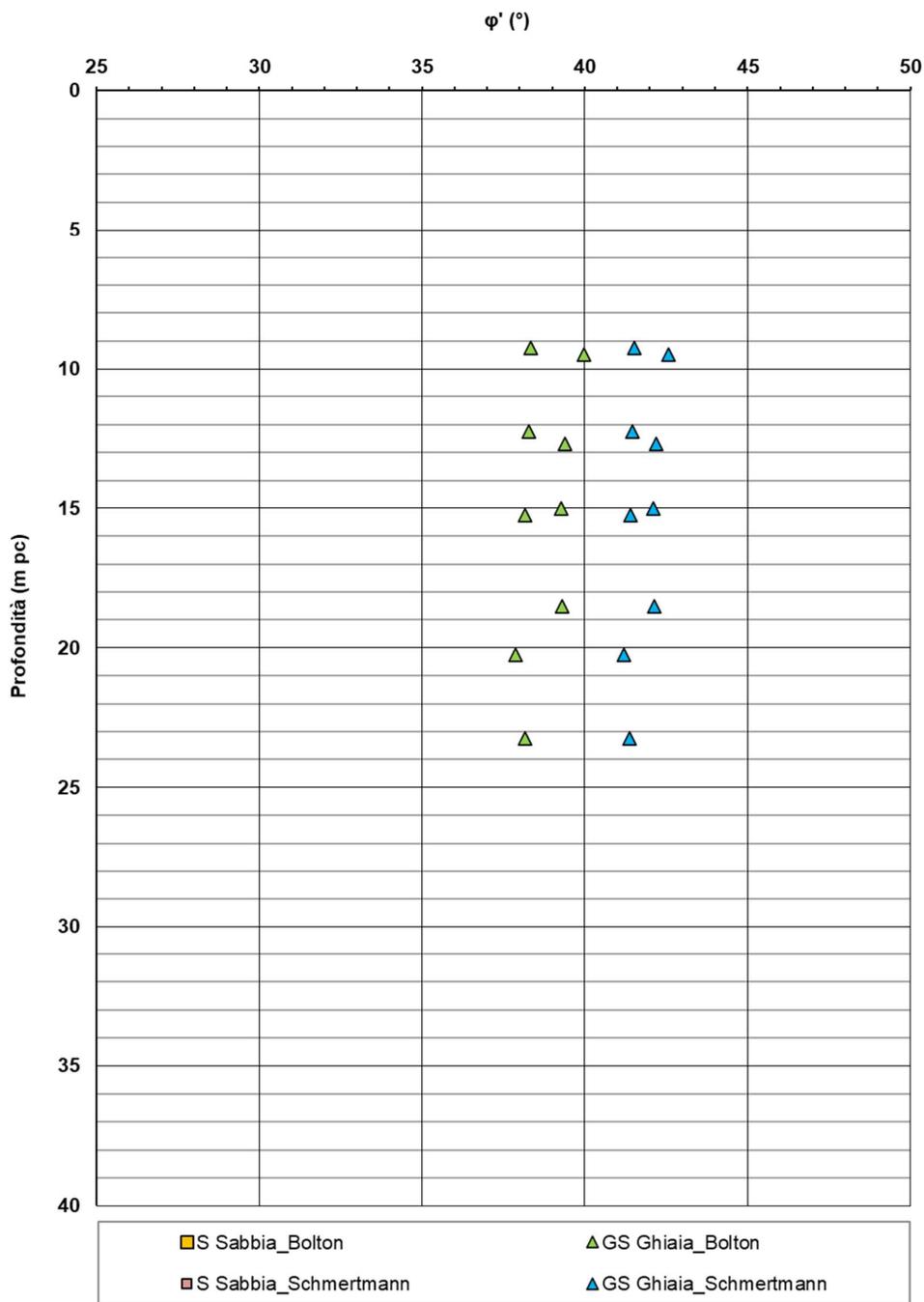


Figura 8 – Angoli di attrito da prove SPT tra pk 43+875 e pk 44+225



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8500001A

Foglio
17 di 114

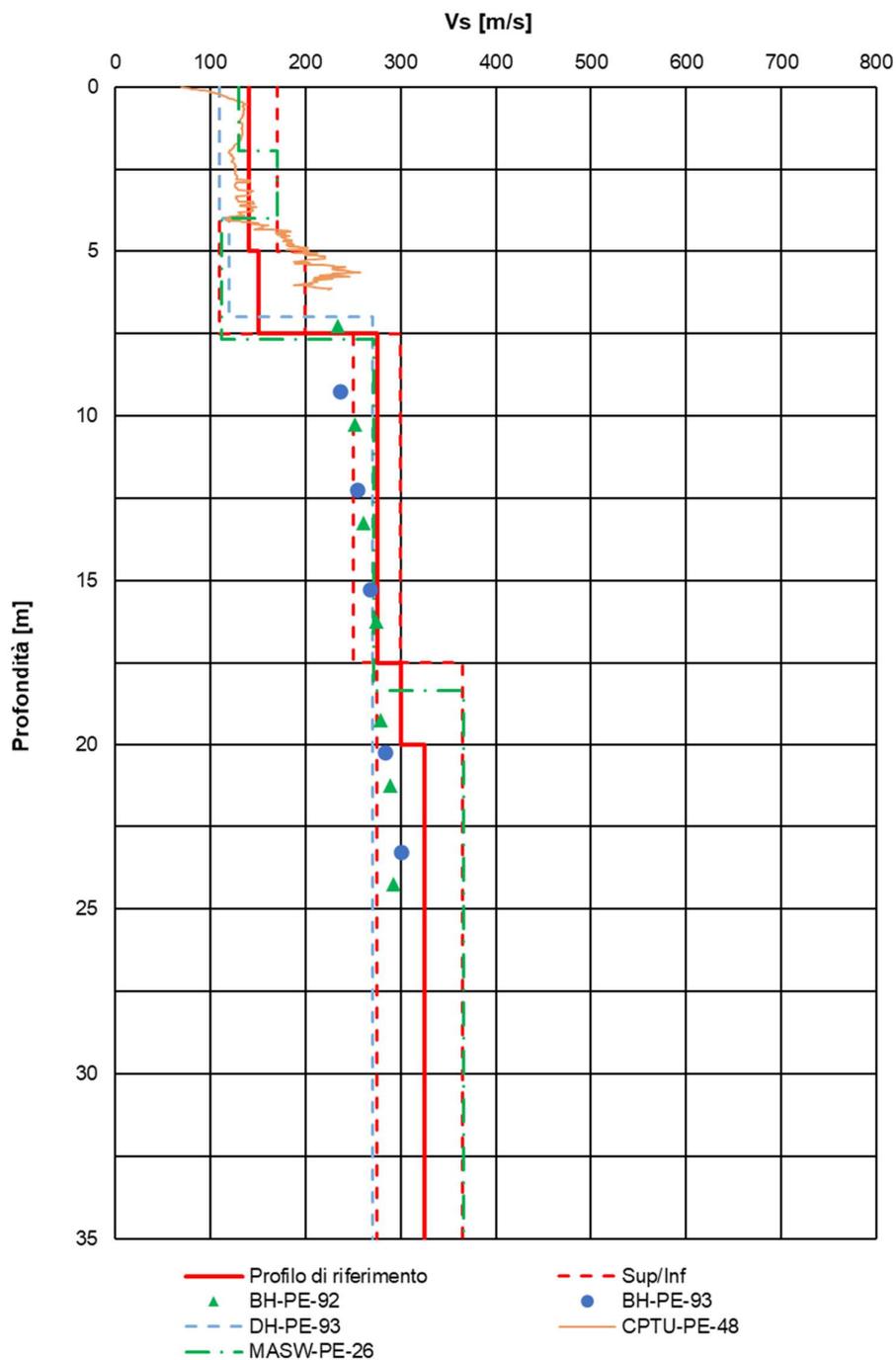


Figura 9 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW tra pk 43+875 e pk 44+225



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8500001A

Foglio
18 di 114

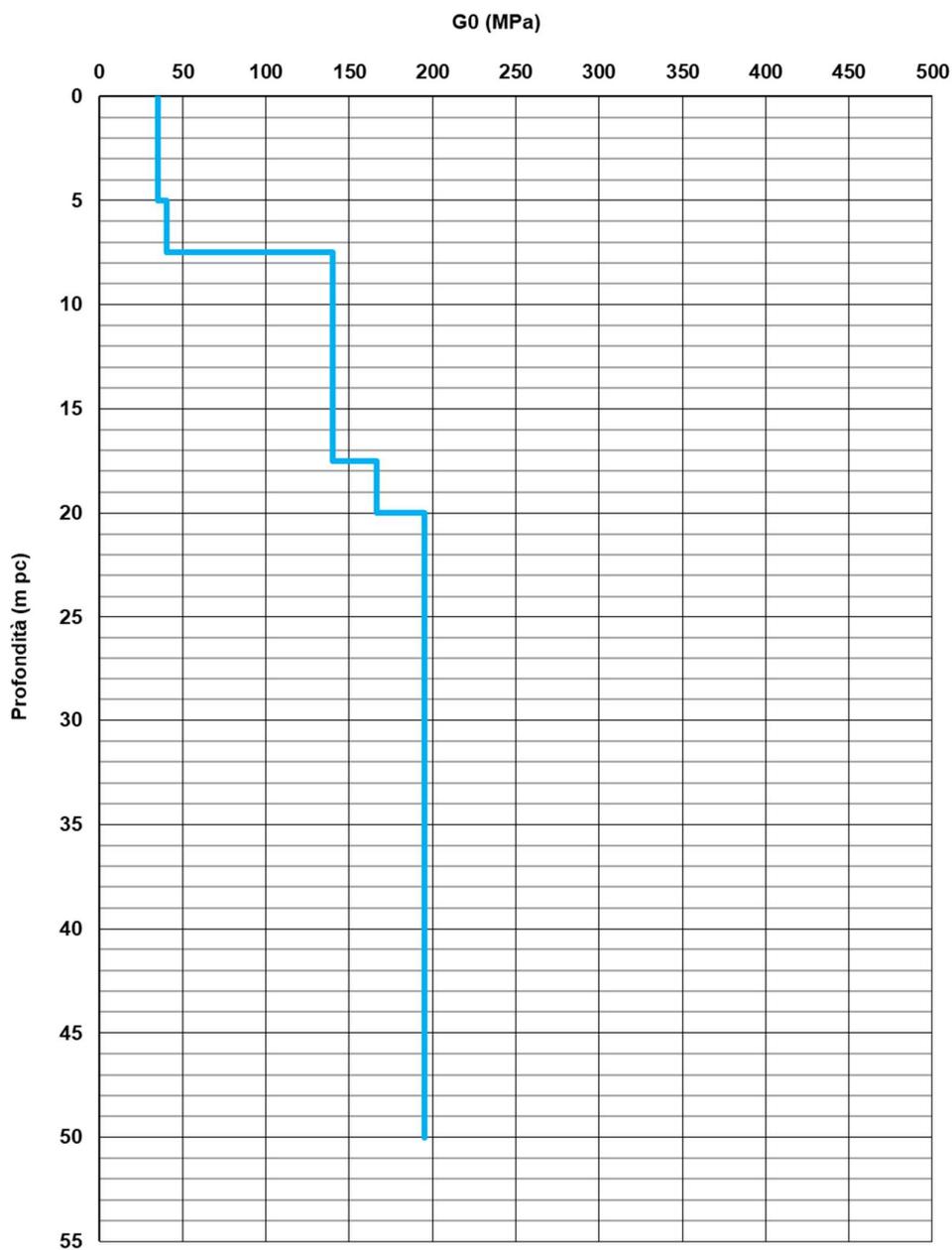


Figura 10 – Modulo di taglio G_0 tra pk 43+875 e pk 44+225

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 19 di 114

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*	γ kN/m ³	φ_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 = 34.1 m s.l.m.

quota imposta muro = 33.1 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 a quota variabile fra la +28 e la +27 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° .
 - 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

	γ kN/m ³	φ °	c' kPa
Materiale da rilevato	20	38	0

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 20 di 114

5 CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

5.1 Sollecitazione sismica di progetto

5.1.1 Vita Nominale

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

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

Tabella 4 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

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

5.1.2 Classe d'uso

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 21 di 114

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 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 22 di 114

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 espone 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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 23 di 114

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

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

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

τ_c valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

σ_{vo} tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni totali

σ'_{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 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 24 di 114

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:

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

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

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

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

dove:

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

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

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

a quello delle sabbie e terreni con contenuto di fine superiore al 35% e comportamento più simile a quello delle argille. Nel primo caso l'esponente n nella formula con cui viene determinato il parametro Q è pari a 0.5, nel secondo è pari a 1. Come detto, i valori effettivi di n e 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):

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

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

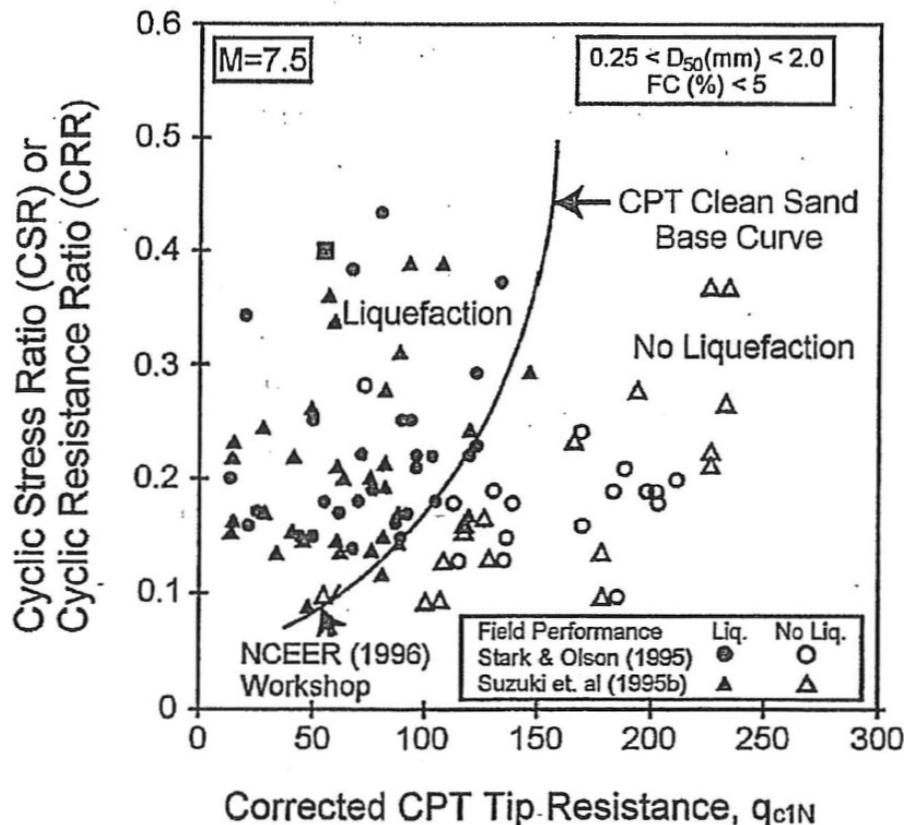


Figura 11 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 26 di 114

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):

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

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

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

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

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

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

Sempre in Figura 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 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 27 di 114

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 liquefaccibili, a causa della loro elevata densità.

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

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

In cui:

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

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

$$f = \text{fattore che dipende dalla densità relative del materiale in sito.}$$

Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

28 di 114

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):

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

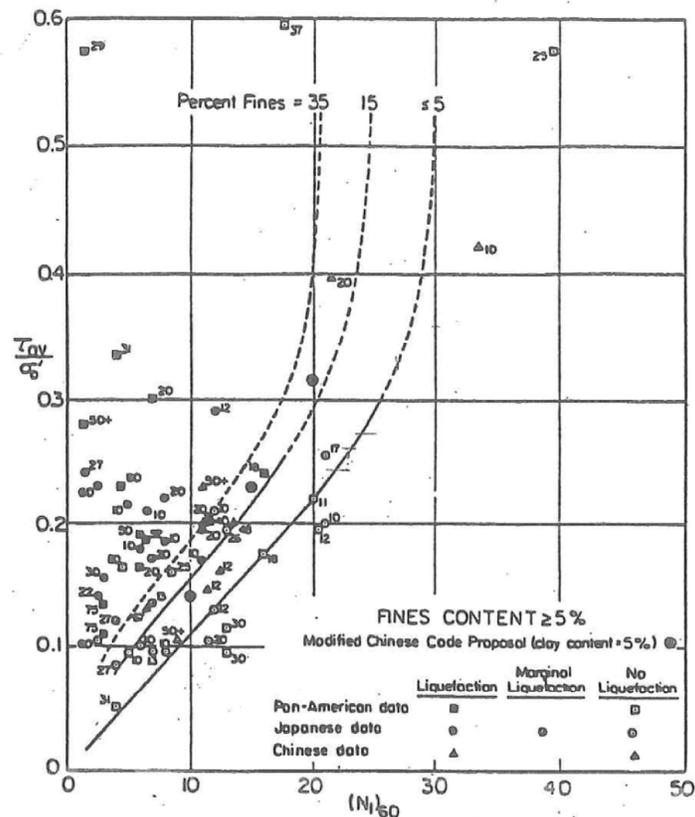


Figura 12 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 29 di 114

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 RI85.

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.

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 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8500001A

Foglio
30 di 114

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

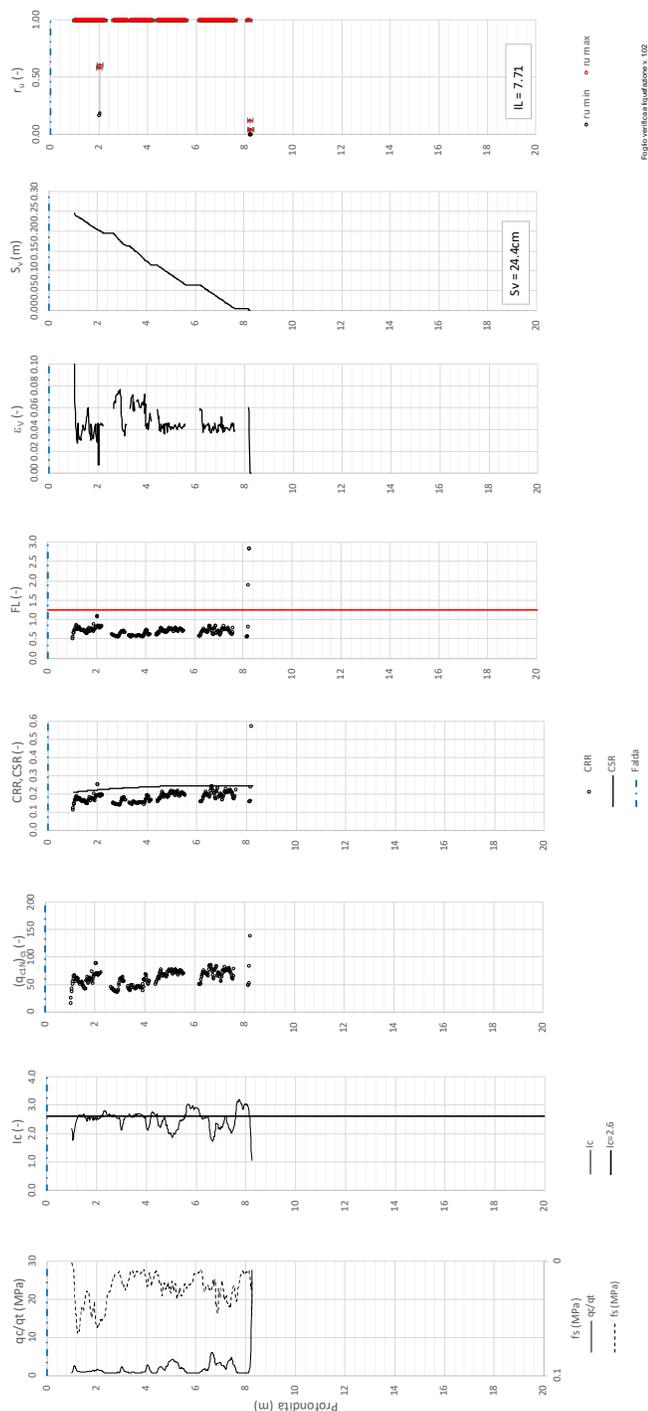


Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-54



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8500001A

Foglio
31 di 114

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

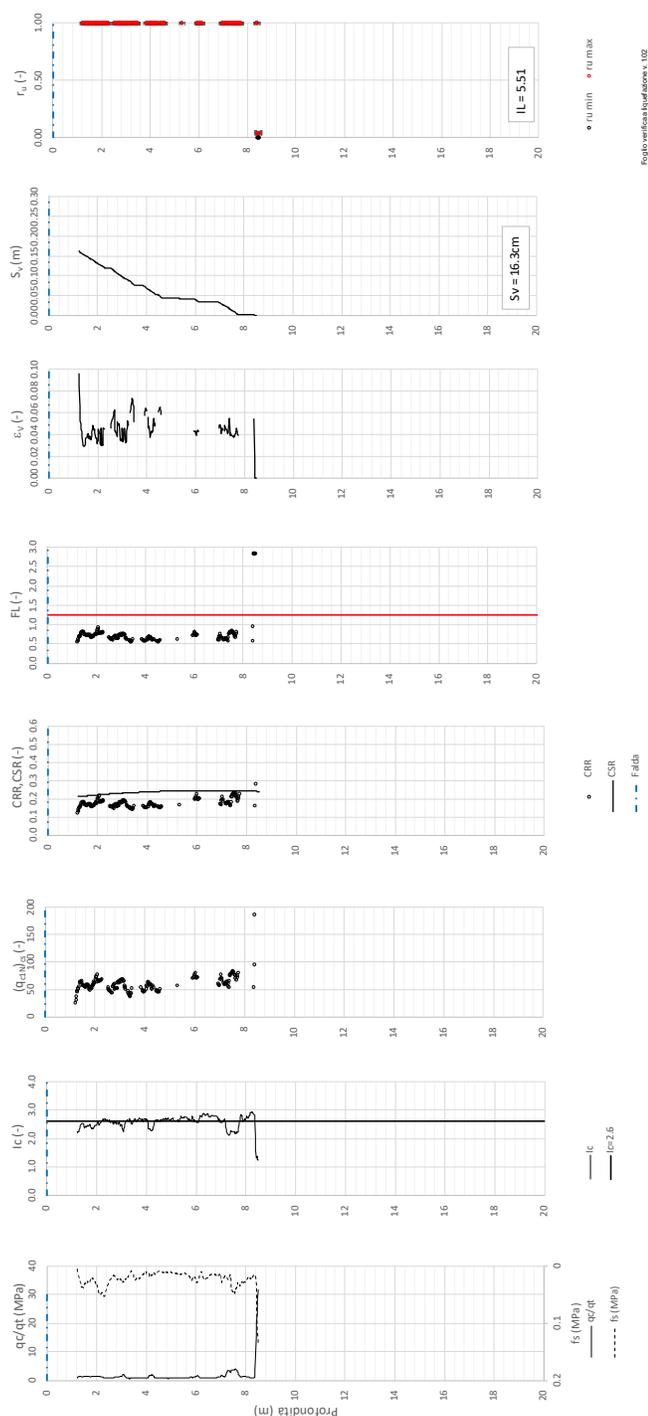


Figura 14 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-55



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8500001A

Foglio
32 di 114

Tratta AC/AV Verona - Padova - Sub Tratta - Verona - Vicenza - Prova CPTU102 Pr. 44+150
A_{max_calc}/g = 0.305 M_{calc} = 6.5 Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001 MSF = 1.7
Sovraccarico = 0 kPa

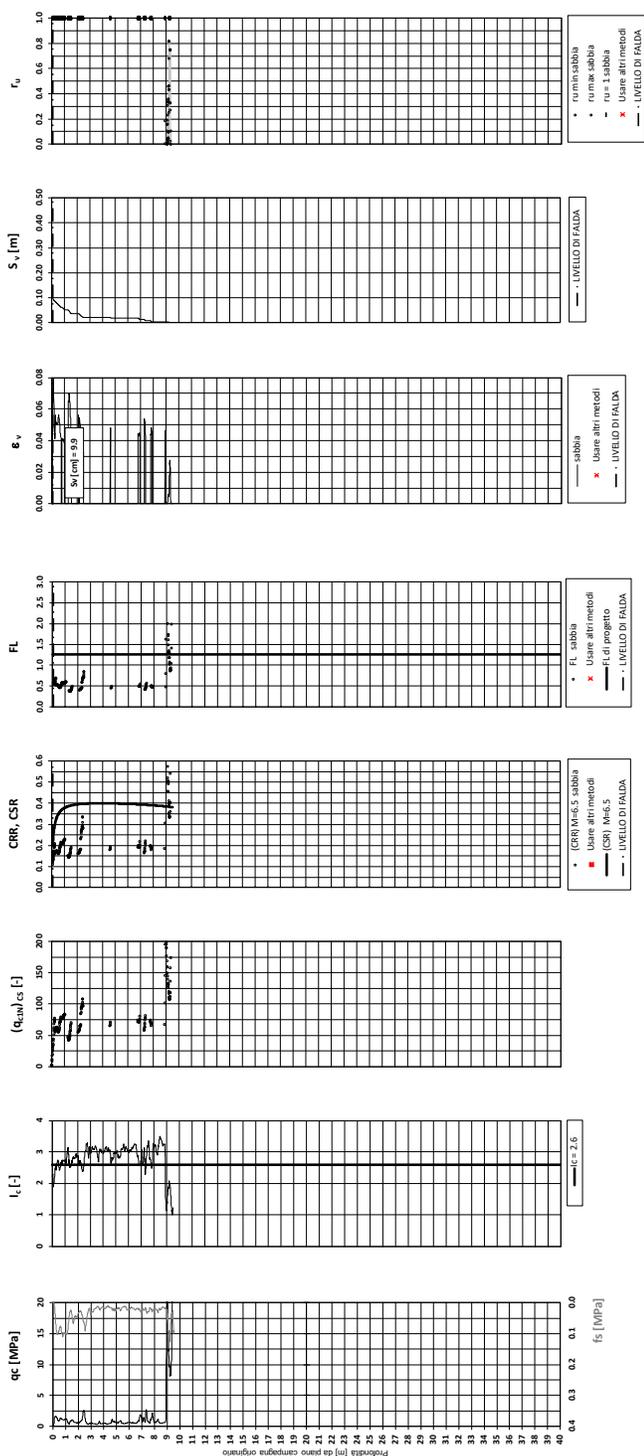


Figura 15 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU102



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8500001A

Foglio
33 di 114

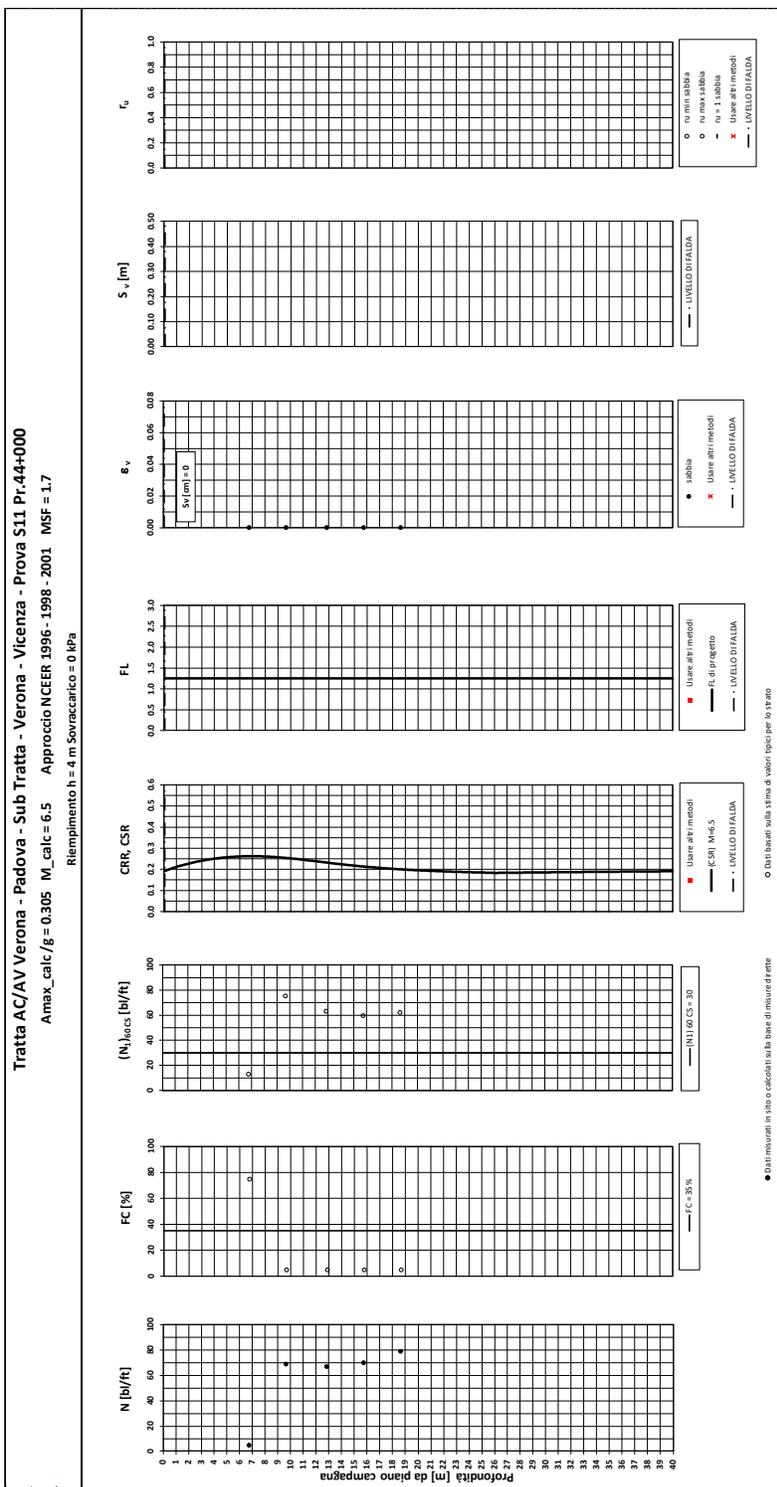


Figura 16 – Verifica Liquefazione da risultati SPT sondaggio S11



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

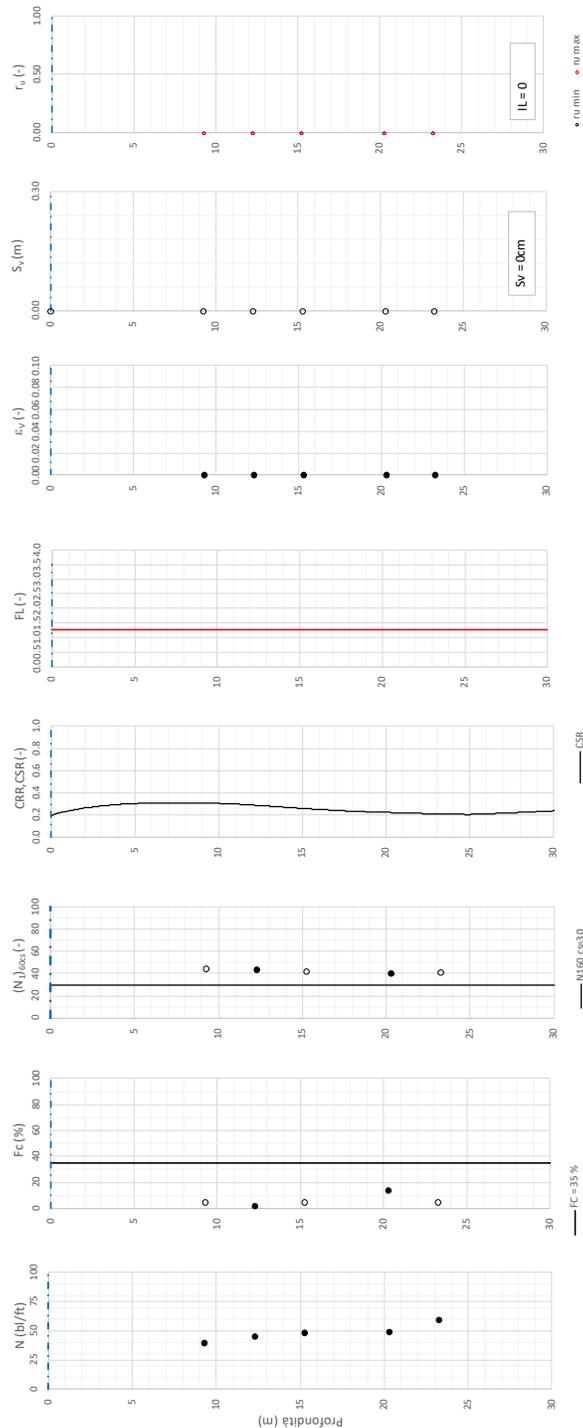
Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8500001A

Foglio
34 di 114

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



Foglio verifica liquefazione Napoli 102

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 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 35 di 114

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° .
- 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 g a 0.198 g (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, che favorisce l'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.

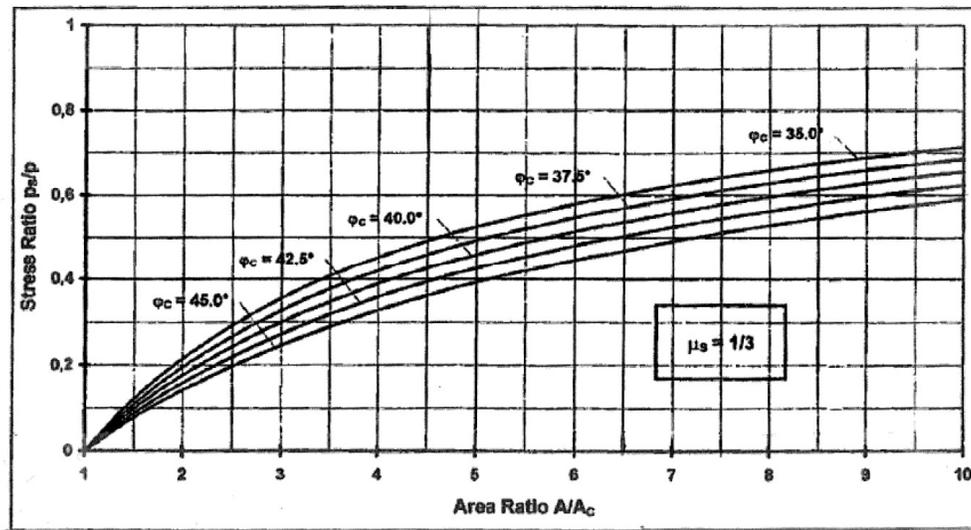


Figura 18 – Riduzione dello stress ratio sismico in funzione dell'area ratio delle colonne di ghiaia
(Doc.Rif.[35])



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8500001A

Foglio
37 di 114

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

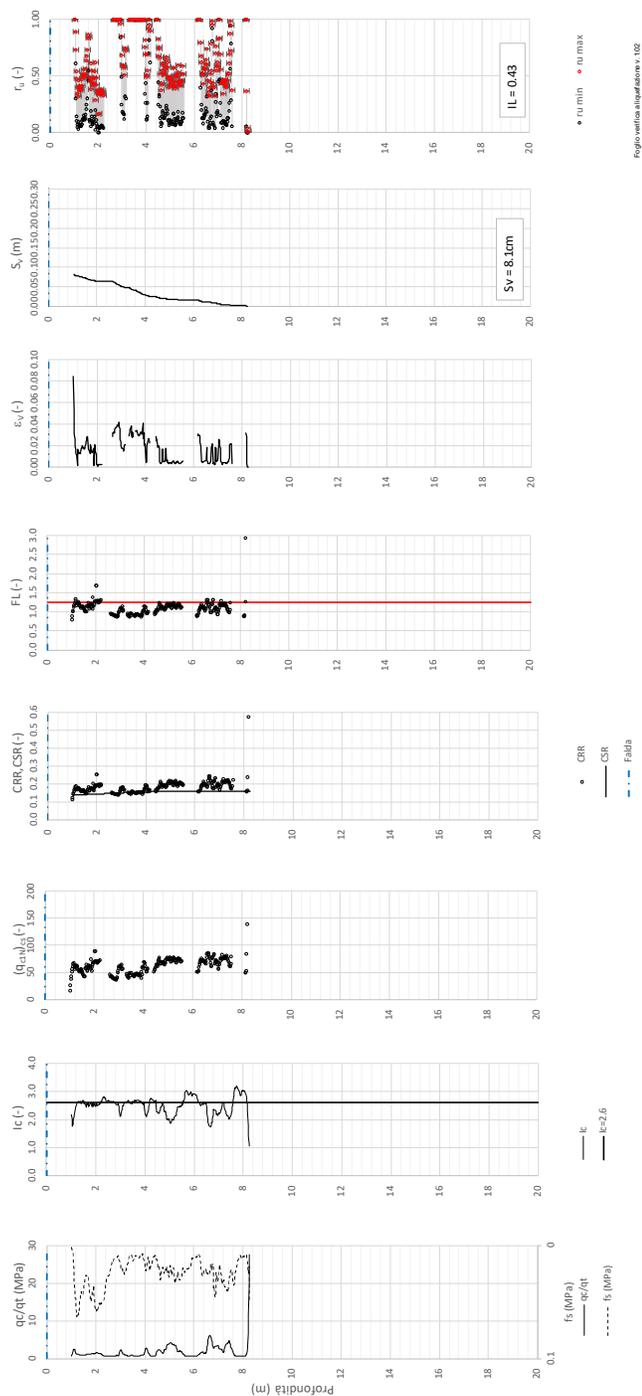


Figura 19 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-54 dopo soil improvement



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI850001A

Foglio
38 di 114

T tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-55 Pr. 44-129
 $a_{p,max} = 0,19825g$ $M_{calc} = 6,5$ $M_{SF} = 1,7$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
 Altezza rilevato = 5m

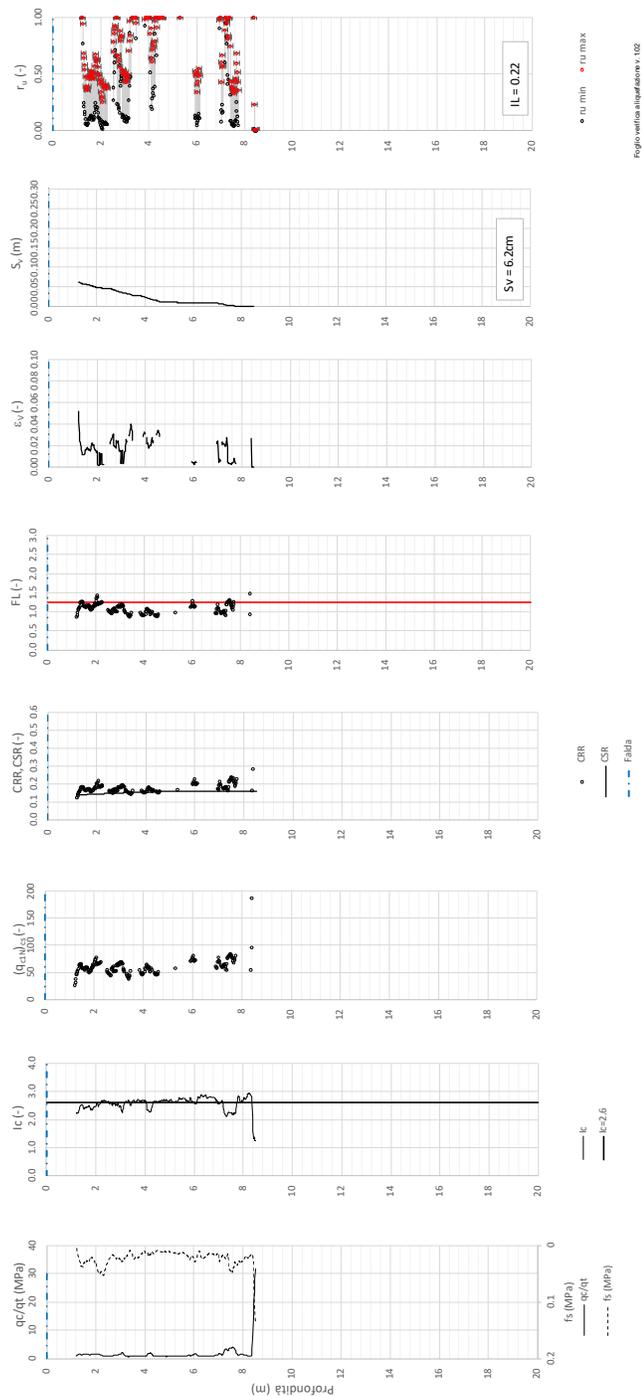


Figura 20 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-55 dopo soil improvement



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8500001A

Foglio
39 di 114

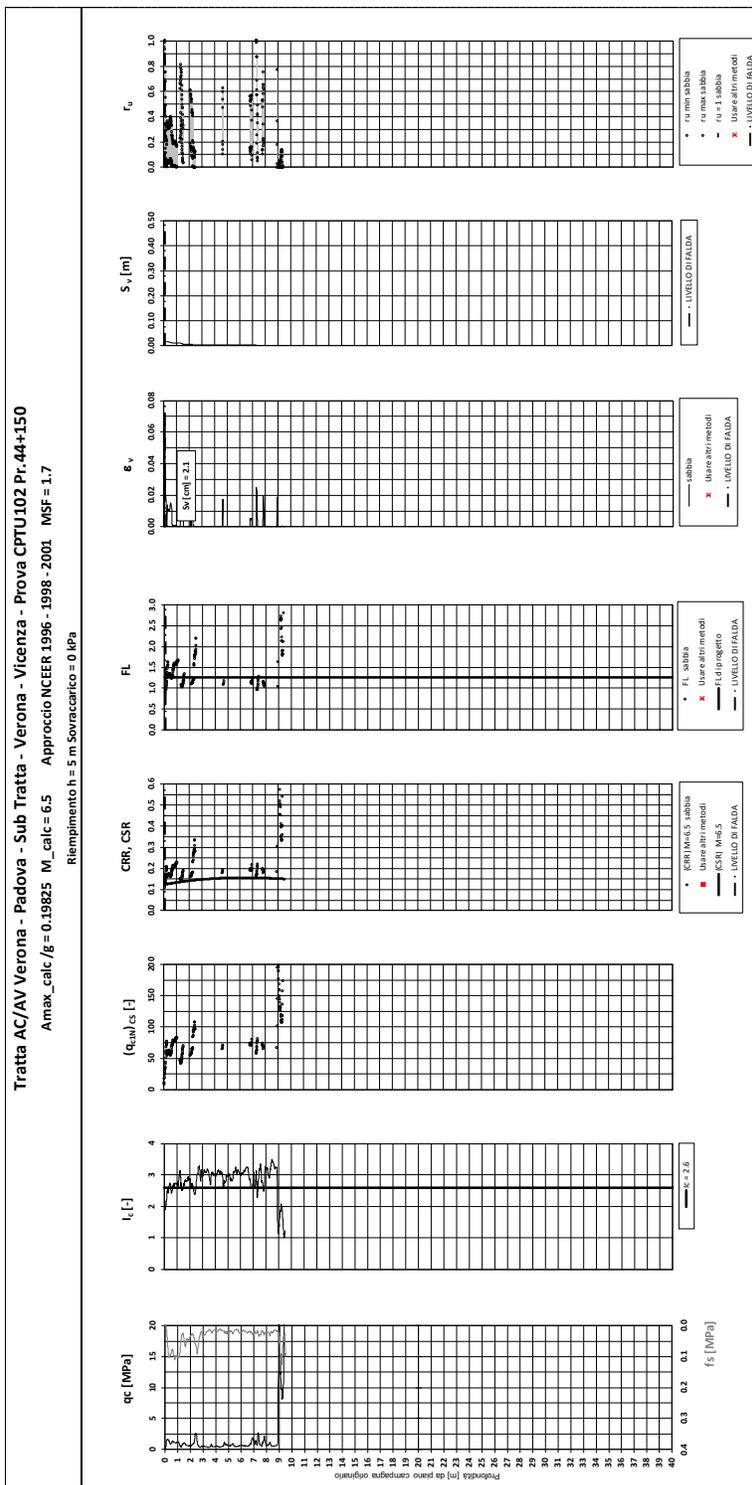


Figura 21 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU102 dopo soil improvement

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 40 di 114

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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 41 di 114

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 γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

dove:

- γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;
- γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- γ_Q coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
- γ_{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 γ_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}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 8 – Coefficienti parziali per verifiche di stabilità globale

Coefficiente	R2
γ_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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 42 di 114

6.1.2 Stati limite di esercizio (SLE)

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

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

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

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

	V ≤ 160 km/h	160 < V ≤ 300 km/h
1° livello di qualità	$\Delta H \leq 10$ 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 ΔH 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 ψ 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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 43 di 114

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/m³

Peso elementi in cls 25 kN/m³

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 m² 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

β_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
	β_s	β_s
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 44 di 114

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.

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:

$$F_{S\text{MIN}}(DA1C2) = 1.532 > R2 = 1.1$$



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8500001A

Foglio
45 di 114

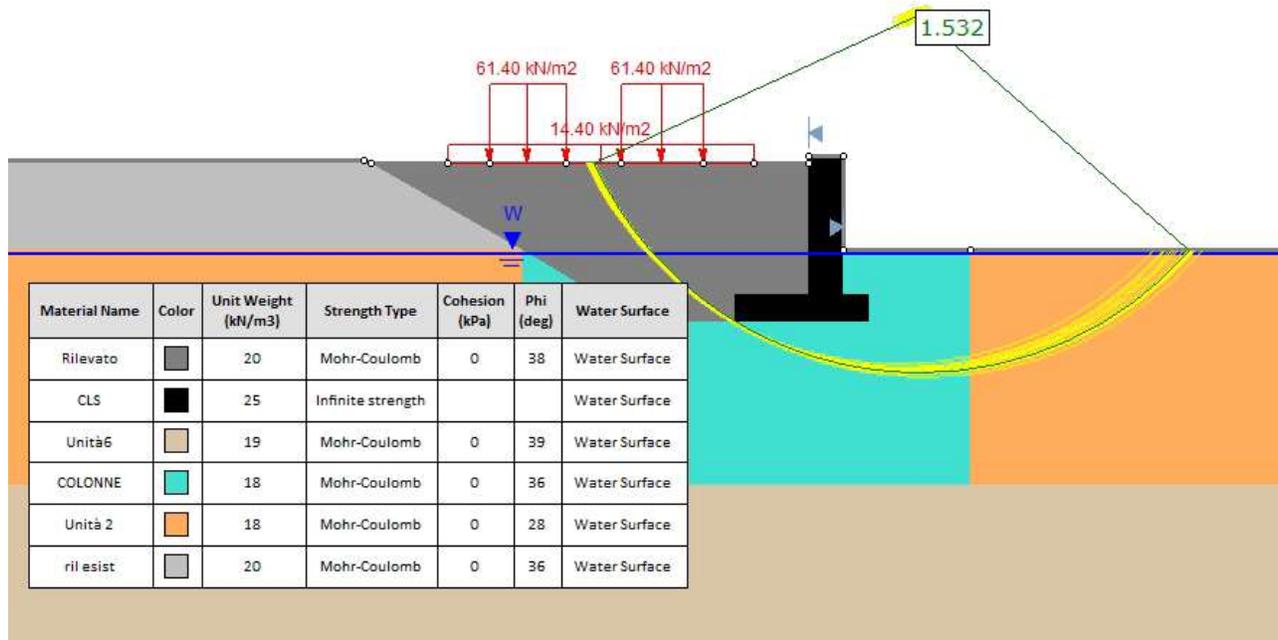


Figura 22 – Sezione A - Analisi SLU in campo statico DA1C2

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 46 di 114

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:

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

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

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

$$F_{S_{MIN}} = 1.384 > R_2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.

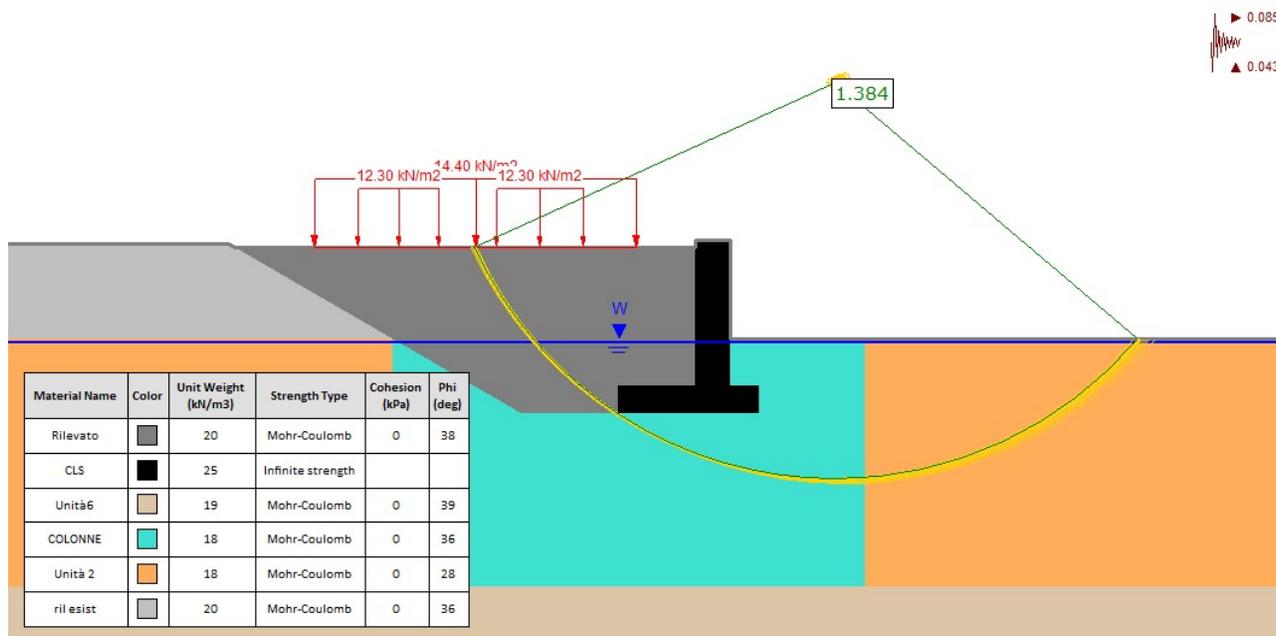


Figura 23 – Sezione A - Analisi SLU in campo sismico

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° ($\arctg. 0.1$).

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:

$$FS_{MIN} = 1.551 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale post sisma risulta soddisfatta.

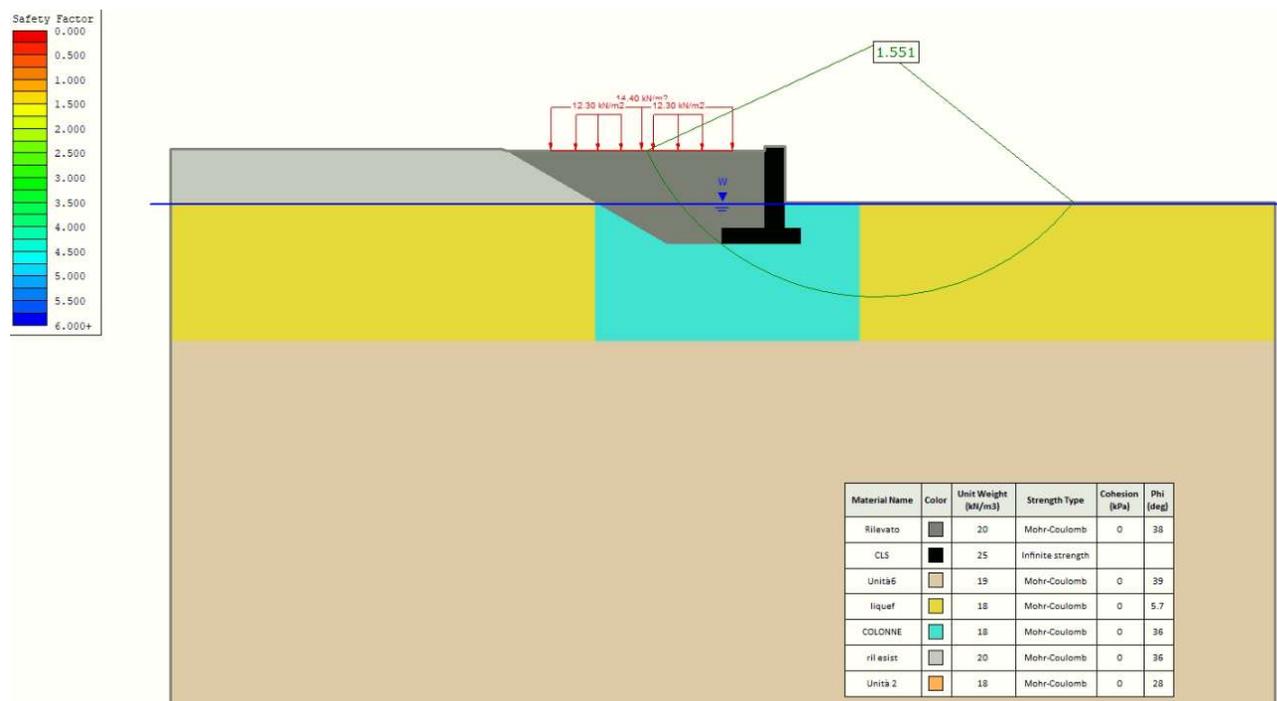


Figura 24 – Sezione A - Analisi SLU post sisma

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 48 di 114

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 rigidezza 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

ν = 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.

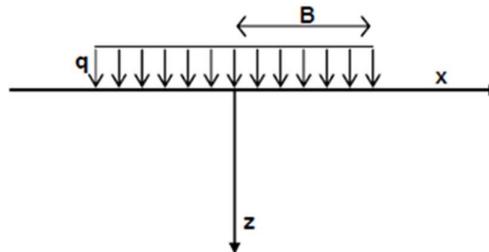


Figura 25 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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:

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

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

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

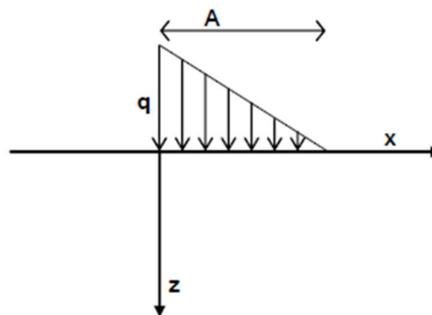


Figura 26 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 50 di 114

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 4.8 m, è riportato in Figura 25. Il rilevato esistente è largo 24 m e alto 4.8 m, il rilevato in affiancamento è alto 4.8 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 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 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)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 51 di 114

Il cedimento calcolato in corrispondenza del centro del nuovo rilevato è di circa 8 cm.

Considerando che:

- La maggior parte del cedimento avviene per compressione degli strati superficiali (v. Figura 29), caratterizzati da valori di c_v elevati ($\geq 5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$), e spesso di natura sabbiosa;
- 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.

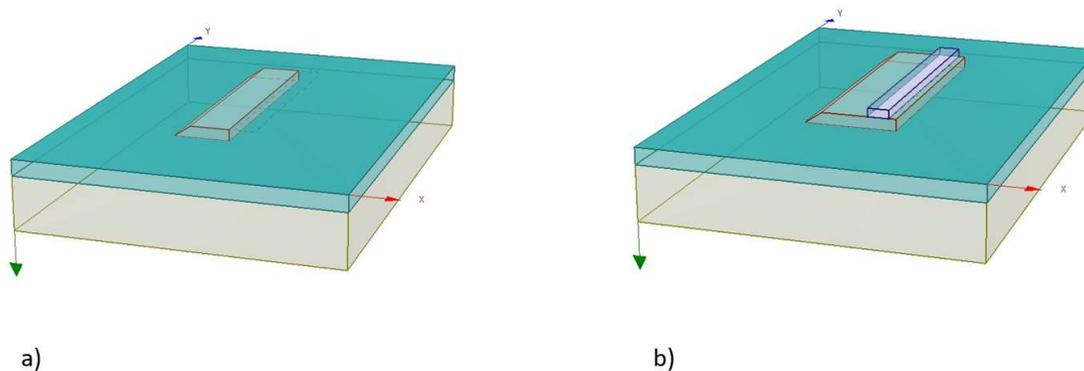


Figura 27 - Rilevato RI85 - Analisi SLE – Modello di calcolo



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

52 di 114

Ri85 : Cedimento del rilevato ferroviario linea AV

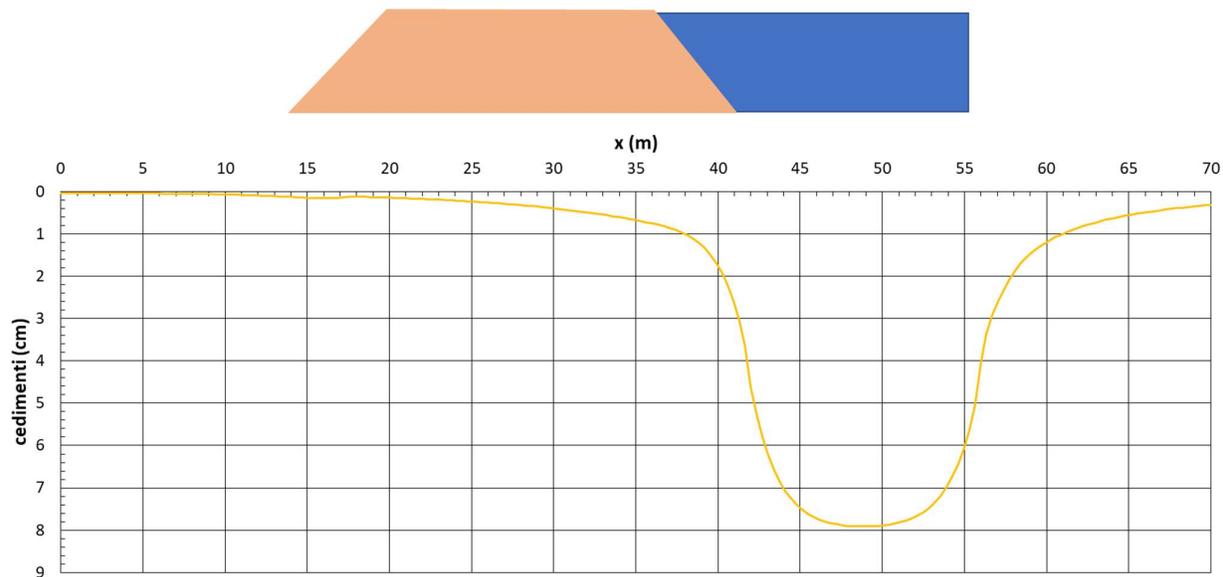


Figura 28 - Rilevato RI85 - Analisi SLE – Cedimenti



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI850001A

Foglio

53 di 114

Ri85: Cedimento al centro del rilevato ferroviario Av

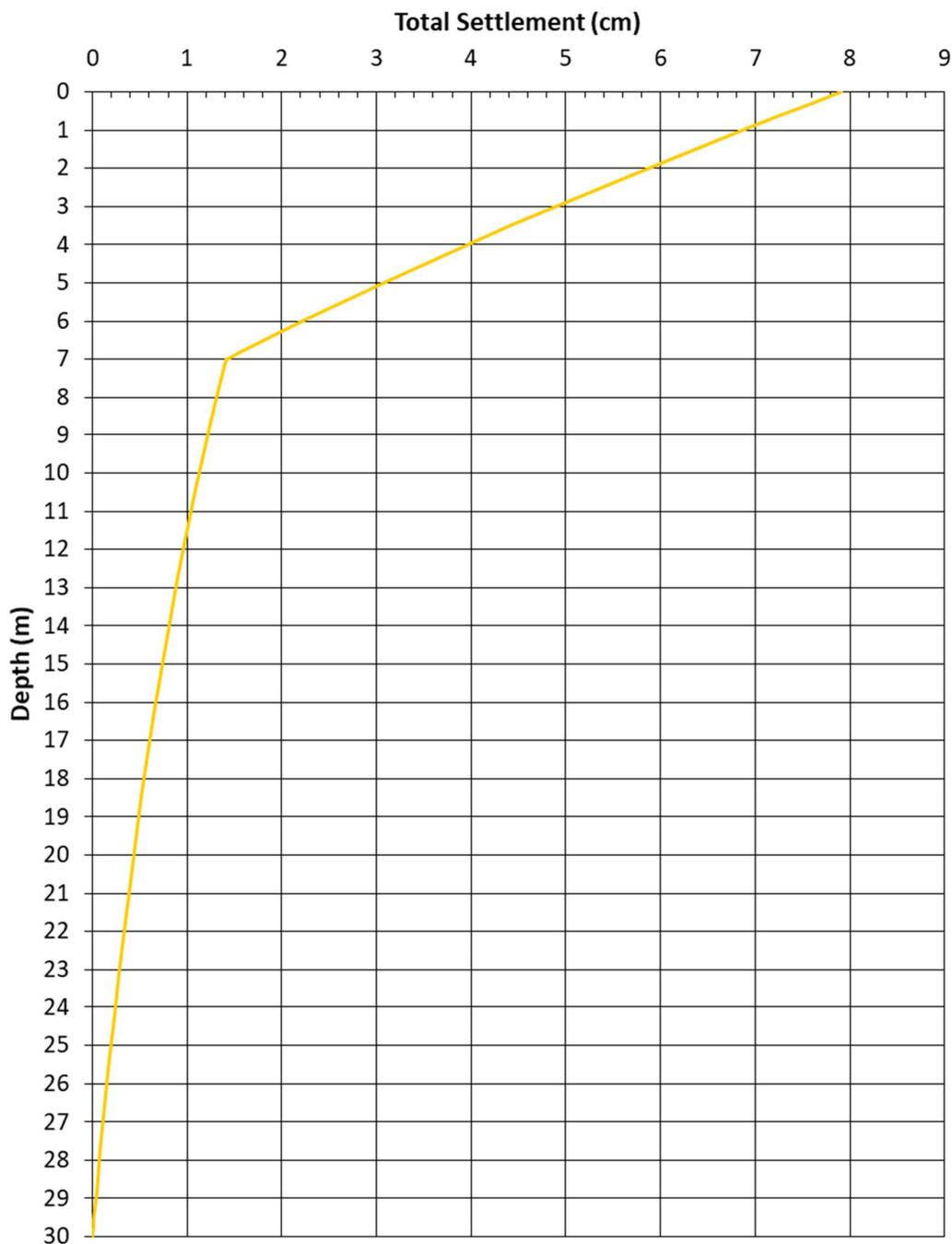


Figura 29 - Rilevato RI85 - Analisi SLE – Risultato cedimenti in profondità al centro del rilevato

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI850001A	Foglio 54 di 114

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;

γ_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 in 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 γ_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 ξ_3 e ξ_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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBR18500001A	Foglio 55 di 114

I valori di ξ_3 e ξ_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 ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO	Combinazione eccezionale	Combinazione Sismica
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{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 ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	1,00
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_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 ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25	0,20 ⁽⁵⁾	0,20 ⁽⁵⁾
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30	1,00	0,00
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁶⁾	1,00 ⁽⁷⁾	1,00	1,00	1,00

Tabella 12 – Tab. 6.4.II, NTC 2008

Tabella 6.4.II – Coefficienti parziali γ_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	γ_b	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	γ_s	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale ^(*)	γ_t	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	γ_{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 ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali d'indagine

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥ 10
ξ_3	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
ξ_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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 56 di 114

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,
- τ_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 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 57 di 114

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.

α 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:

σ'_{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 β 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:

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

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

σ'_{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.

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).

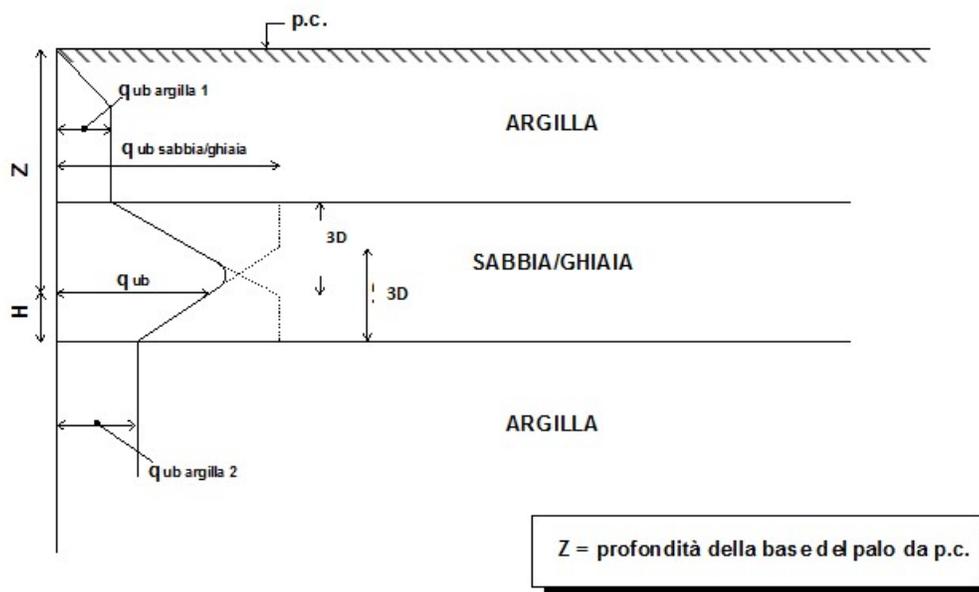


Figura 30 - Criterio di valutazione della pressione ultima di base (q_{ub}) in terreni stratificati

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 59 di 114

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*	γ kN/m ³	φ_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 ³)
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 = 34.1 m s.l.m.

quota imposta muro = quota testa pali = 33.1 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 1 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 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/m³, 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.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI8500001A

60 di 114

lpalo m	CARICO LIMITE ULTIMO			CURVE SLU				
	Q _{u,lim} kN	Q _{u,cr} kN	Q _{TOT,lim} kN	Q _{u,c,d} kN	Q _{u,tr,d} kN	Q _{b,d} kN	Q _{tot,c,d} kN	Q _{tot,tr,d} 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 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

61 di 114

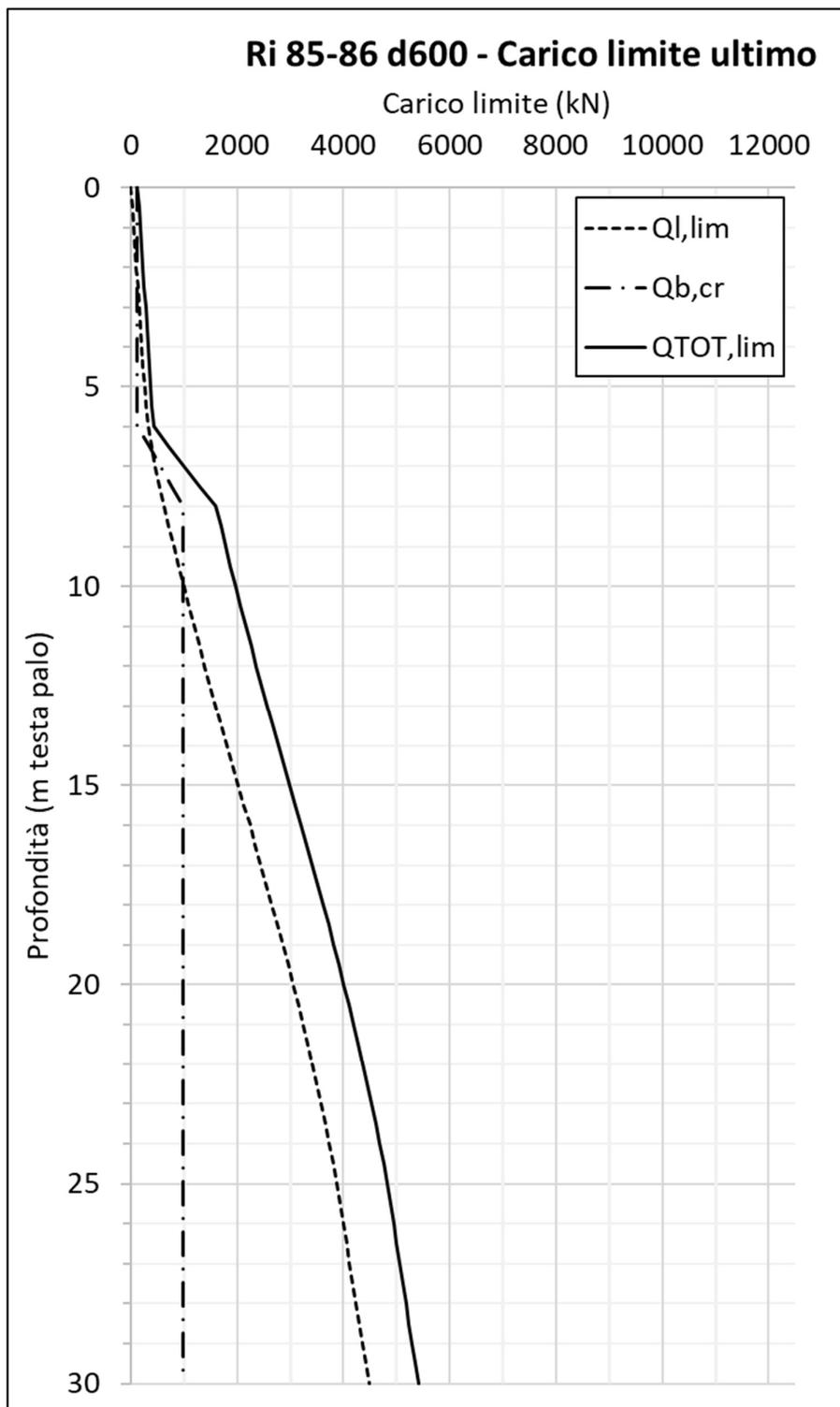


Figura 32 – Curve di carico limite ultimo per pali D=600 mm



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

62 di 114

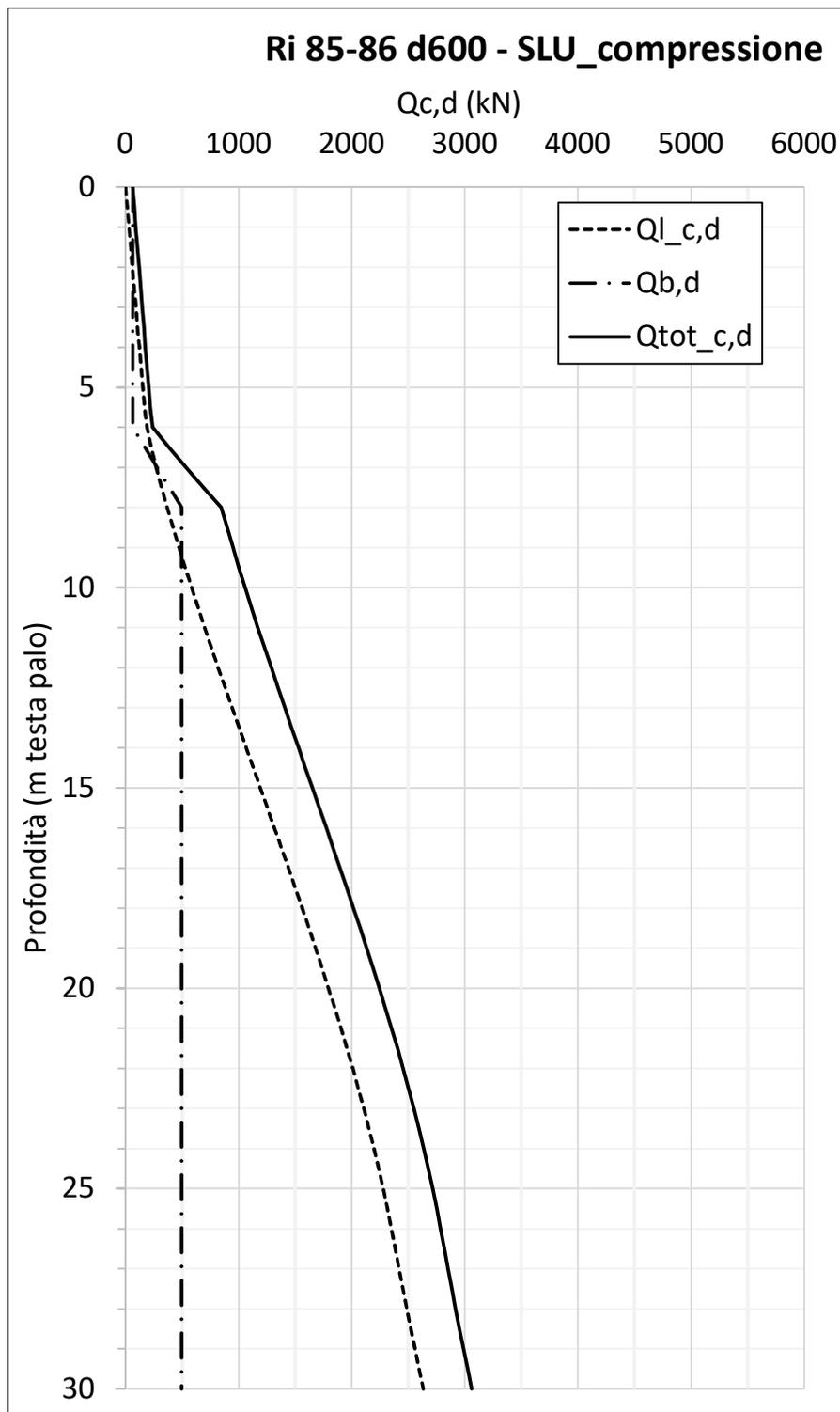


Figura 33 – Curve di capacità portante SLU, compressione per pali $D=600$ mm



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

63 di 114

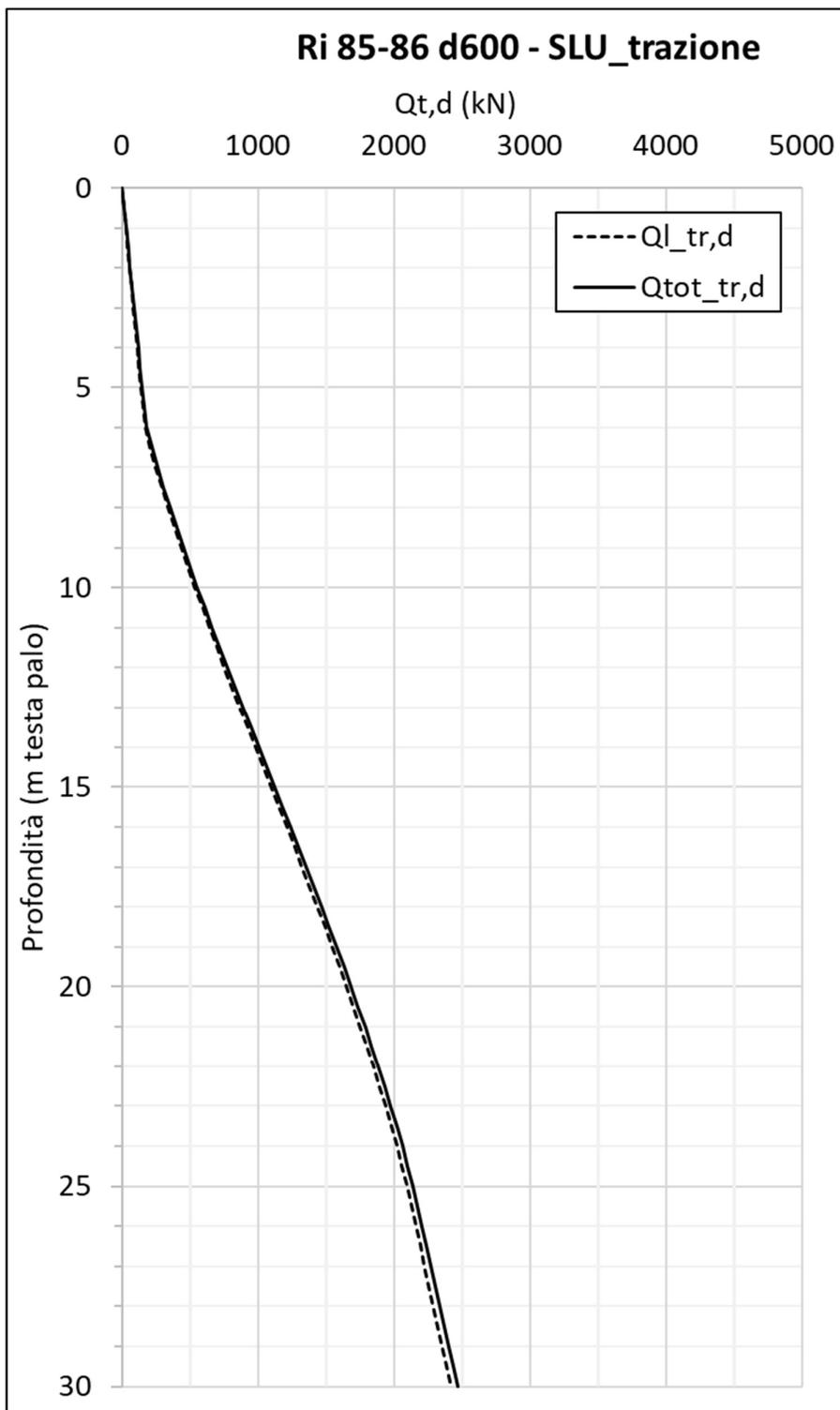


Figura 34 – Curve di capacità portante SLU, trazione per pali D=600 mm

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI8500001A

64 di 114

lpalo m	CARICO LIMITE ULTIMO			CURVE SLU				
	Q _{u,lim} kN	Q _{u,cr} kN	Q _{TOT,lim} kN	Q _{u,c,d} kN	Q _{u,tr,d} kN	Q _{b,d} kN	Q _{tot,c,d} kN	Q _{tot,tr,d} 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



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8500001A

Foglio
65 di 114

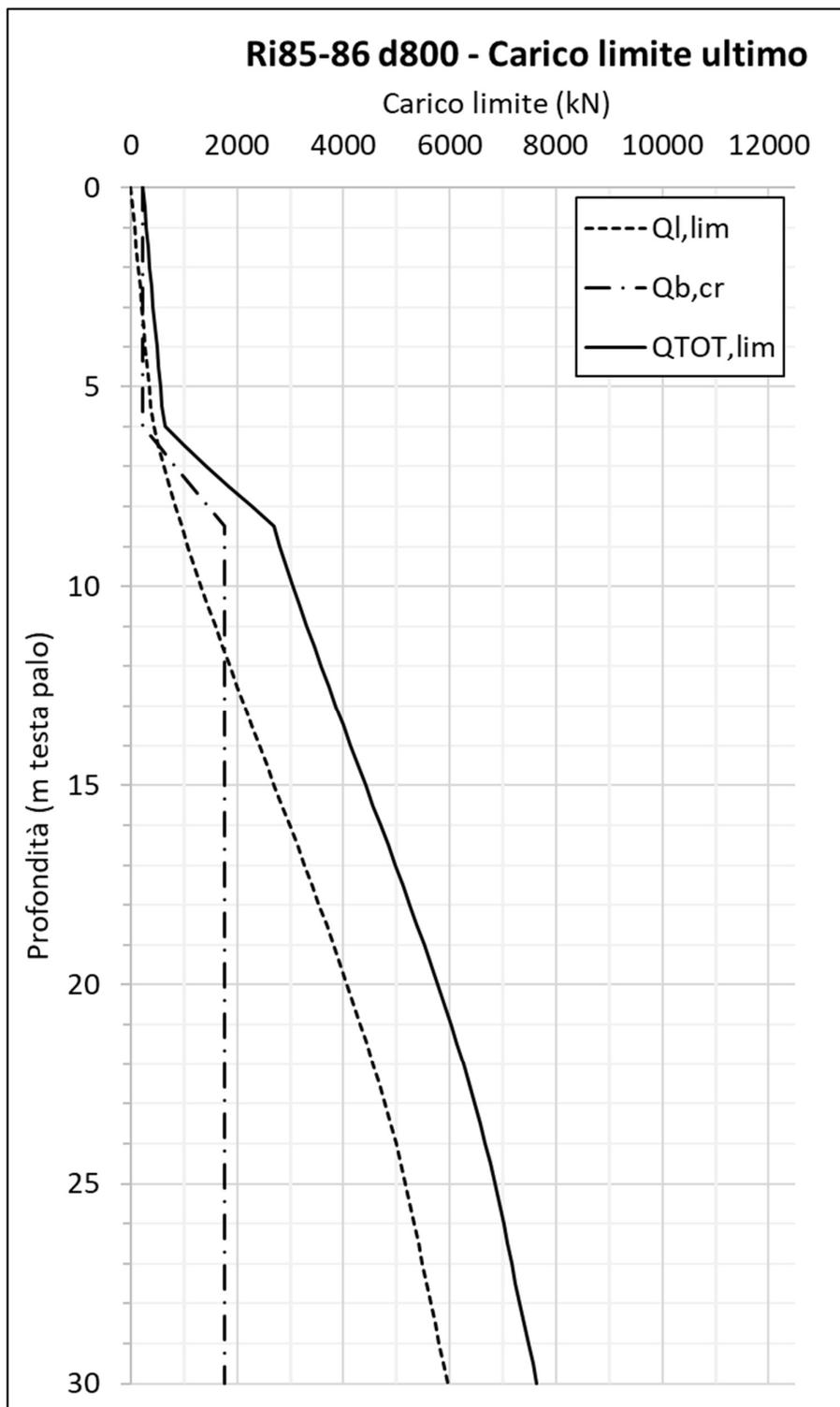


Figura 36 – Curve di carico limite ultimo per pali D=800 mm



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

66 di 114

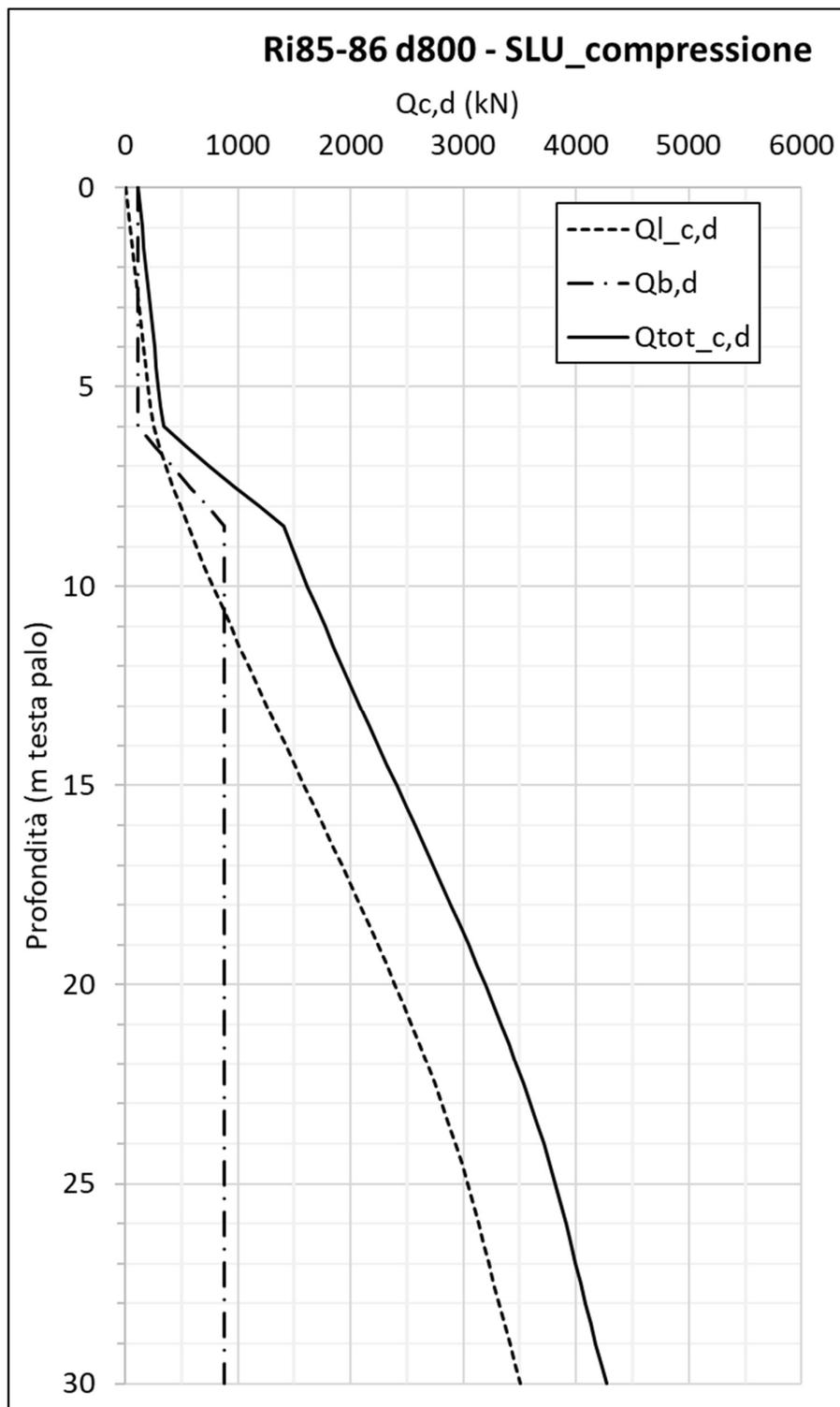


Figura 37 – Curve di capacità portante SLU, compressione per pali $D=800$ mm

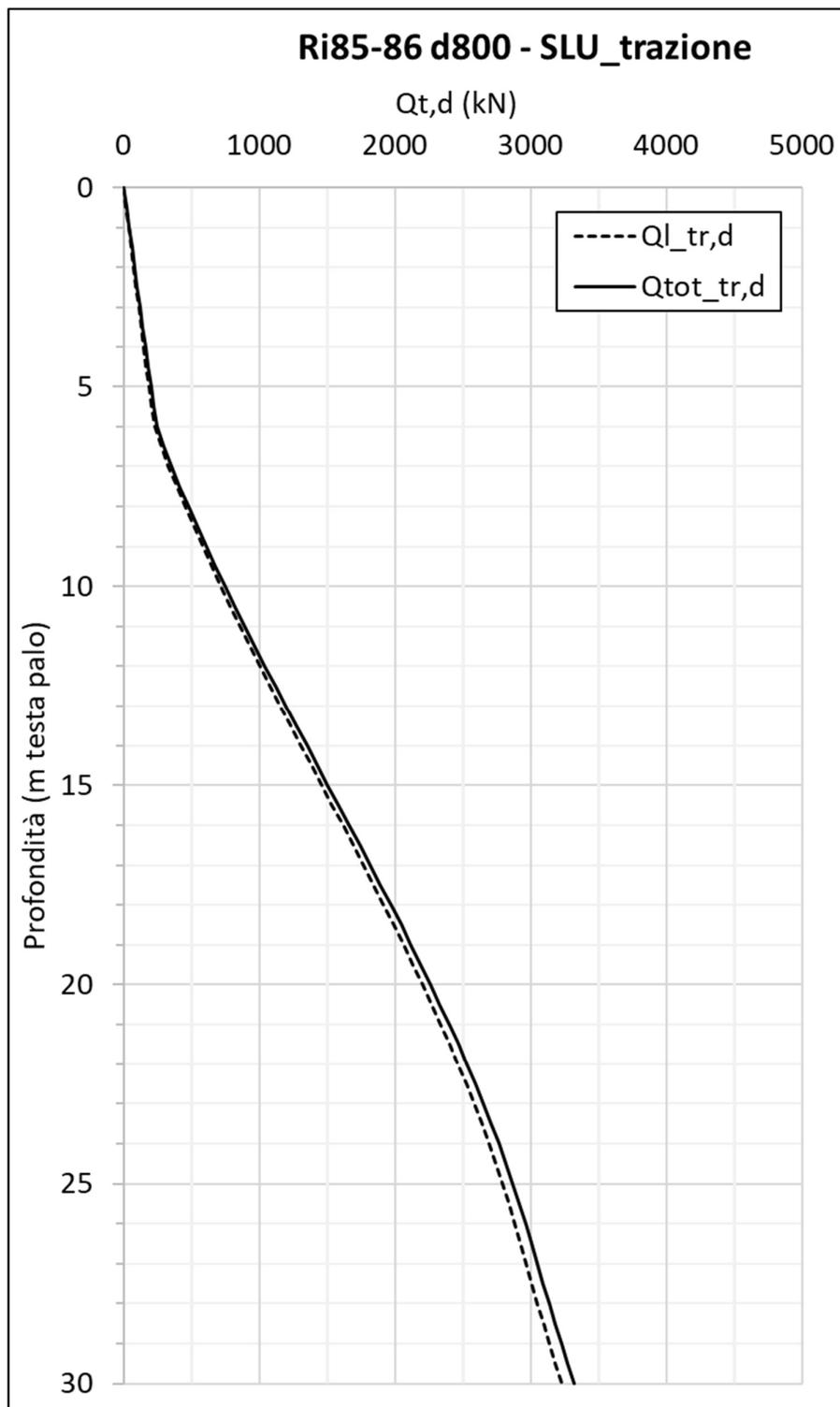


Figura 38 – Curve di capacità portante SLU, trazione per pali D=800 mm

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 68 di 114

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 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

69 di 114

ALLEGATI

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

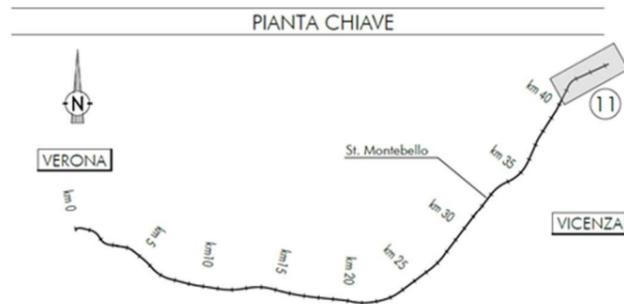
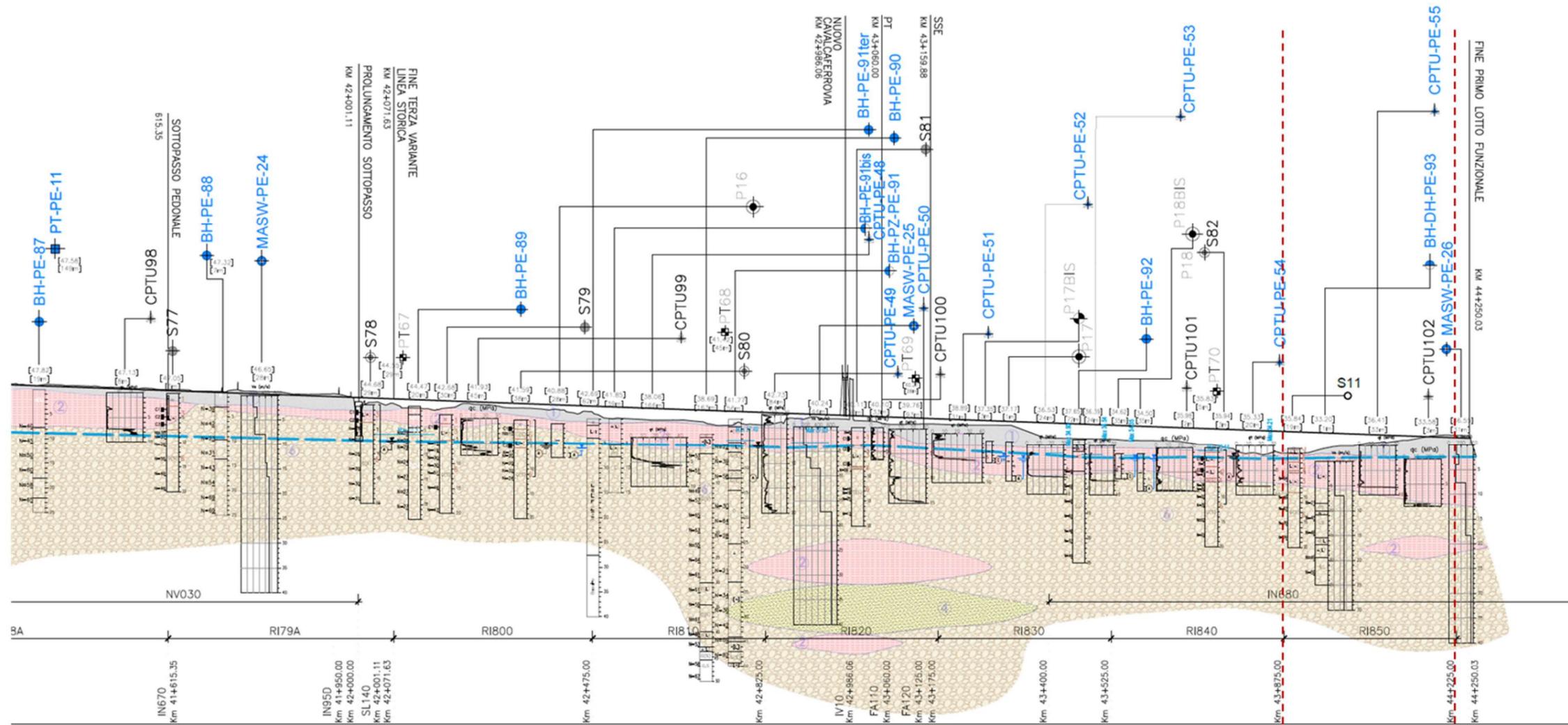
Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

70 di 114

ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



- LEGENDA**
- Campagna indagini integrative PE**
- BH-PE-4: Sondaggio a carotaggio continuo
 - BH-PZ-PE-4: Sondaggio a carotaggio continuo con l'installazione di piezometro a Tubo aperto o Casagrande
 - MASW-PE-4: Indagini MRSI
 - CPTU-PE-4: Prova penetrometrica statica con piezometro
 - CH: Foro a distribuzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
 - PE: Pozzetto esplorativo a 1,5 m da p.c. con prove di carico su piastra
 - Profondità delle indagini
- Campagna indagini 2018 per CDS**
- Campagna indagini 2015**
- 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)
 - Sondaggio a carotaggio continuo
 - Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - CPTU: Prova penetrometrica statica con piezometro (possibilità di avanzamento con trivellazione)
 - CPTU: Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"
 - CH: Foro a distribuzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
 - PE: Pozzetto esplorativo a 1,5 m da p.c. con prove di carico su piastra
 - Profondità delle indagini
- Campagna indagini 2014**
- Sondaggio a carotaggio continuo
 - Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - CPTU: Prova penetrometrica statica con piezometro (possibilità di avanzamento con trivellazione)
 - CPTU: Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"
 - CH: Foro a distribuzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
 - PE: Pozzetto esplorativo a 1,5 m da p.c. con prove di carico su piastra
 - Profondità delle indagini
- Campagna indagini pregresse**
- 1998: Sondaggio geognostico (campagna 1998)
 - 2002: Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
 - 2002: CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
 - 2002: Pozzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (VI) per gentile concessione Centro Idrico Navoledo s.r.l.)
- Classi dei terreni**
- 1) Riporto
 - 2) Limi argillosi e limi da compatte a molto compatte, generalmente sovraconsolidati
 - 3a) Area con prevalenza di sabbie limose/limi e limi sabbiosi/limi sabbiosi, 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 OC
 - 3c) Area di attanatura, 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)

- Asse di progetto**
- Asse di progetto
 - confine di Provincia
 - Confine Comune
- Classi dei terreni**
- 3a) Area con prevalenza di sabbie limose/limi e limi sabbiosi/limi sabbiosi, 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 OC
 - 3c) Area di attanatura, 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 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

72 di 114

ALLEGATO 2 - INDAGINI



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8500001A

Foglio
73 di 114

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								
			Prof. m	N. colpi	Penetrometro lascabile kg/cm ²	Scissometro lascabile kg/cm ²	Dati di perforazione	Rivestimento	Il Livello acqua	NOTE	
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									
4.60		Sabbie fini									
5.00		Alternanze di argille limose plastiche e limi sabbiosi addensati, di colore bruno	6.45	8							
			6.60	2							
			6.75	3							
8.90			9.35	16							
			9.50	28							
			9.65	41							
10.00											

Carotiere semplice Ø = 101 mm
Ø = 127 mm

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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

75 di 114

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

Adesivi con Sistemi di Gestione certificati da CertQuality - Qualità Ambiente Sicurezza - UNIEN ISO 9001:2008 - UNIEN ISO 14001:2004 - ISO OHSAS 18001:2011



SOCOTEC

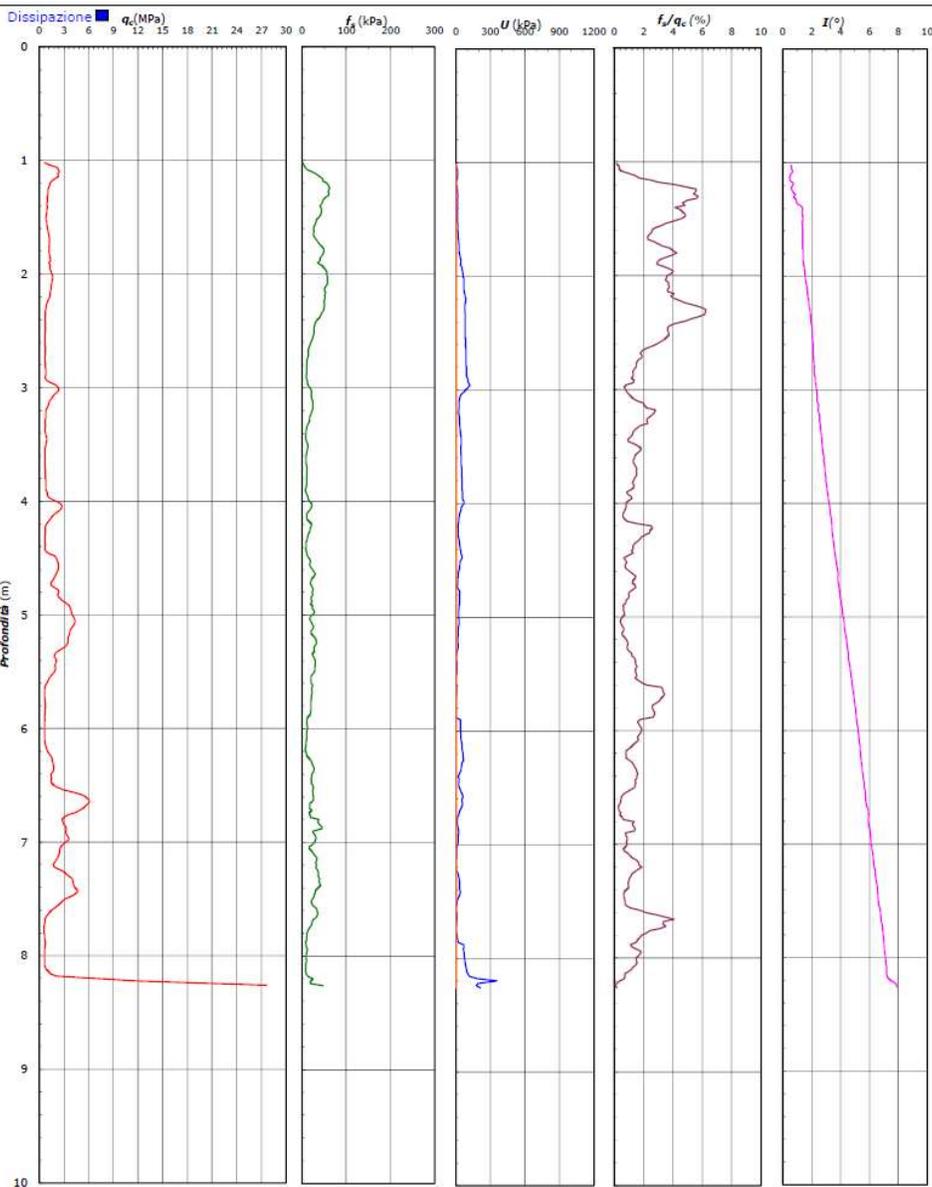
COMMITTENTE: **CONSORZIO IRICAV DUE - Via Francesco Tovaglieri 413-00155 Roma (RM)**

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

SFxxxxx_CPTU 54 - pag 2 di 3

Il Responsabile Prove in Sito:
dott. Massimo Romagnoli

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

76 di 114

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

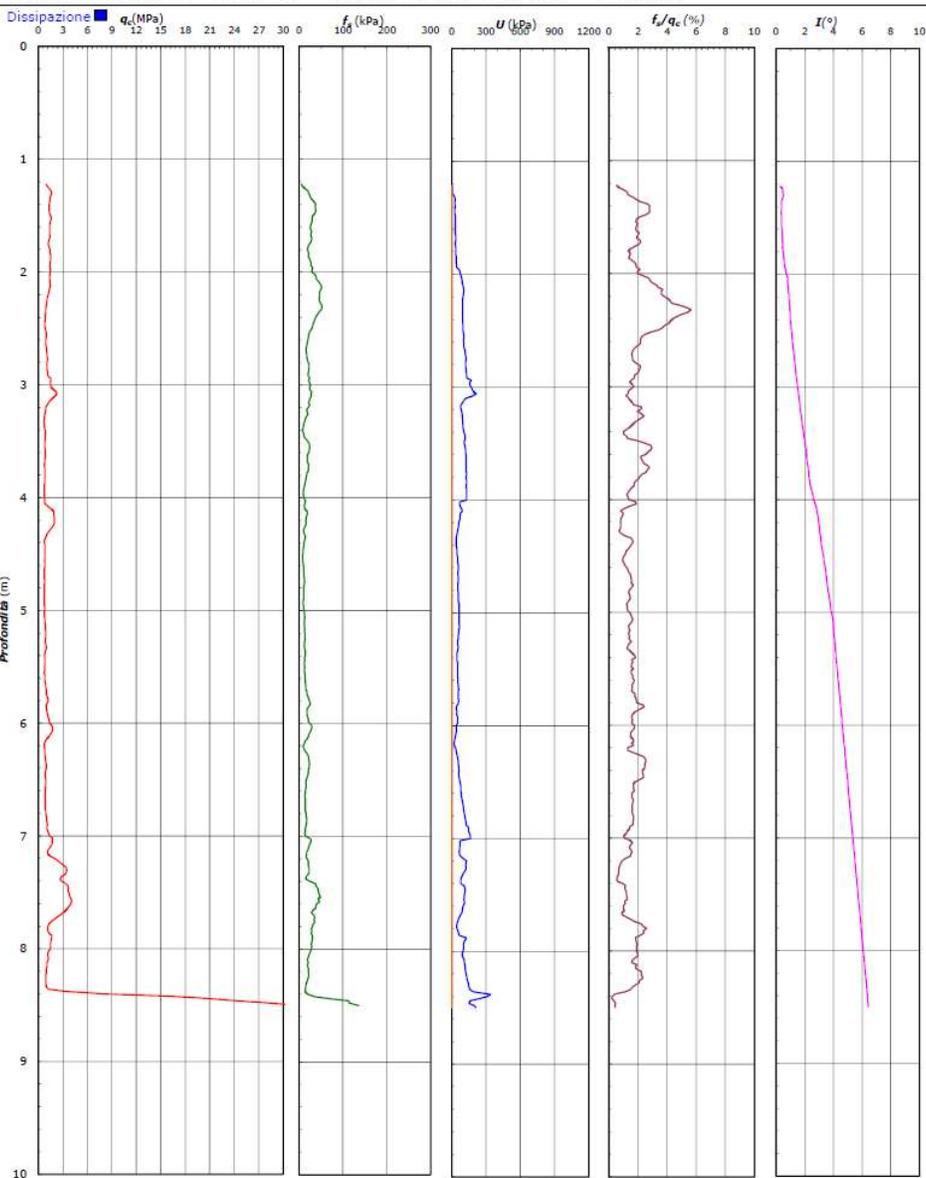
www.socotec.it



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

SFxxxxx_CPTU 55 - pag 2 di 3

Il Responsabile Prove in Sito:
dott. Massimo Romagnoli



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8500001A

Foglio
78 di 114



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 Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA

Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

79 di 114

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	Prel % 0-100	RQD % 0-100	Litologia	prof. m	Duespessi m	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test			prova in falso	A t.s.	Pz					
										m	S.P.T.	N				Pi				
	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.	SPTs) 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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

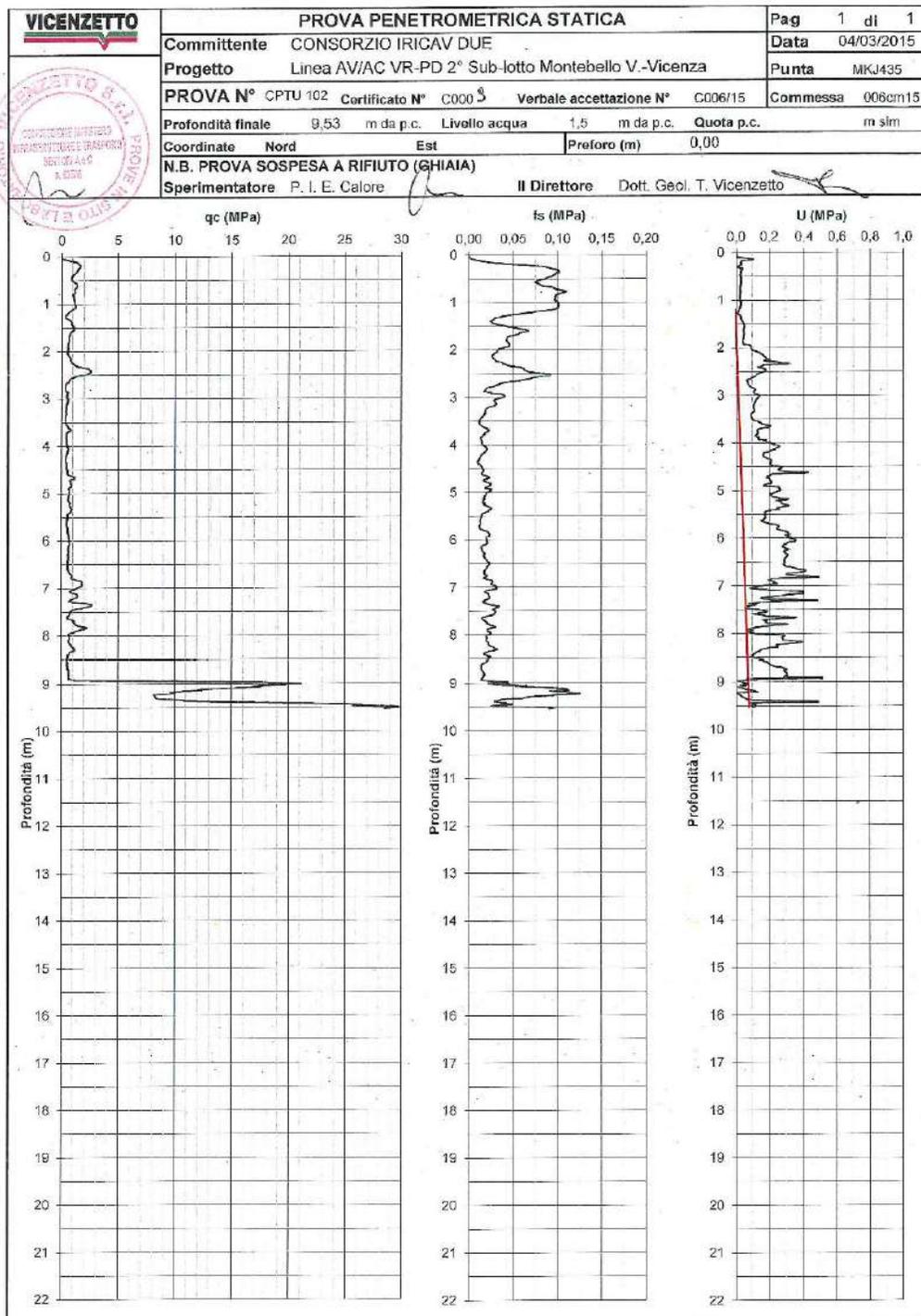
12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

80 di 114



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

81 di 114

ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE- ANALISI SLU STATICA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

82 di 114

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RI85_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 malpha < 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 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

83 di 114

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	Unitàg	COLONNE	Unità 2	ril esist
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Infinite strength	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m ³]	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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

84 di 114

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Global Minimums

Method: bishop simplified

	FS	1.532340
Center:	42.327, 32.516	
Radius:	10.652	
Left Slip Surface Endpoint:	32.633, 28.100	
Right Slip Surface Endpoint:	50.342, 25.500	
Resisting Moment:	6393.37 kN-m	
Driving Moment:	4172.29 kN-m	
Total Slice Area:	57.8822 m2	
Surface Horizontal Width:	17.7087 m	
Surface Average Height:	3.26858 m	

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 707
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.53234





Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8500001A

Foglio
85 di 114



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	0.353449	2.49294	-63.3836	Rilevato	0	32.0066	4.82548	7.39428	11.8303	0	11.8303	21.4597	21.4597
2	0.353449	7.09777	-59.3941	Rilevato	0	32.0066	8.32687	12.7596	20.4144	0	20.4144	34.491	34.491
3	0.353449	11.0502	-55.8339	Rilevato	0	32.0066	26.7708	41.022	65.6322	0	65.6322	105.074	105.074
4	0.353449	14.5234	-52.5766	Rilevato	0	32.0066	36.0099	55.1794	88.2831	0	88.2831	135.342	135.342
5	0.353449	17.6211	-49.5471	Rilevato	0	32.0066	39.7597	60.9254	97.4762	0	97.4762	144.106	144.106
6	0.348407	20.1028	-46.7151	Rilevato	0	32.0066	42.7326	65.4809	106.579	1.81444	104.765	151.95	150.135
7	0.348407	22.5657	-44.0447	Rilevato	0	32.0066	44.9674	68.9053	115.525	5.28175	110.243	159.018	153.736
8	0.348407	24.8133	-41.4901	Rilevato	0	32.0066	47.0681	72.1243	123.84	8.44604	115.394	165.467	157.021
9	0.348407	26.871	-39.0328	Rilevato	0	32.0066	49.0531	75.1661	131.603	11.3429	120.26	171.372	160.029
10	0.348407	28.7585	-36.6583	Rilevato	0	32.0066	33.0962	50.7146	95.1399	14.0003	81.1396	119.772	105.771
11	0.348407	30.4917	-34.3552	Rilevato	0	32.0066	27.2678	41.7835	83.2908	16.4403	66.8505	101.93	85.4898
12	0.348407	32.0833	-32.1138	Rilevato	0	32.0066	28.5187	43.7004	88.5986	18.6811	69.9175	106.498	87.8168
13	0.368421	36.907	-29.8648	COLONNE	0	30.1666	29.2149	44.7671	97.812	20.7913	77.0207	114.587	93.7961
14	0.368421	38.2472	-27.6041	COLONNE	0	30.1666	27.9281	42.7953	96.4021	22.7739	73.6282	111.005	88.2312
15	0.368421	39.4657	-25.3891	COLONNE	0	30.1666	26.5363	40.6627	94.5356	24.5764	69.9592	107.13	82.5534
16	0.368421	40.5695	-23.2141	COLONNE	0	30.1666	27.3766	41.9502	98.3834	26.2091	72.1743	110.125	83.9159
17	0.368421	41.5641	-21.0741	COLONNE	0	30.1666	28.1774	43.1773	101.966	27.6806	74.2857	112.824	85.1438
18	0.368421	42.7138	-18.9644	COLONNE	0	30.1666	29.1767	44.7087	105.918	28.9979	76.9203	115.944	86.9464
19	0.368421	52.2963	-16.8812	COLONNE	0	30.1666	38.0253	58.2677	130.416	30.1673	100.248	141.955	111.788
20	0.368421	52.9902	-14.8207	COLONNE	0	30.1666	38.8299	59.5006	133.563	31.1938	102.369	143.837	112.644
21	0.368421	44.4207	-12.7797	COLONNE	0	30.1666	30.9074	47.3606	113.565	32.0819	81.4828	120.575	88.4932
22	0.368421	24.9229	-10.7551	COLONNE	0	30.1666	12.318	18.8753	65.3095	32.835	32.4745	67.6492	34.8142
23	0.368421	25.0481	-8.74398	COLONNE	0	30.1666	12.3766	18.9651	66.0852	33.4562	32.629	67.9889	34.5327
24	0.368421	23.612	-6.74369	COLONNE	0	30.1666	10.9427	16.7679	62.7967	33.9479	28.8488	64.0906	30.1427
25	0.368421	23.858	-4.75163	COLONNE	0	30.1666	11.1956	17.1555	63.8272	34.3118	29.5154	64.7579	30.4461
26	0.368421	24.0185	-2.76532	COLONNE	0	30.1666	11.4146	17.491	64.6422	34.5492	30.093	65.1935	30.6443
27	0.368421	24.0942	-0.782343	COLONNE	0	30.1666	11.599	17.7736	65.2402	34.6612	30.579	65.3986	30.7374
28	0.368421	24.0853	1.1997	COLONNE	0	30.1666	11.7481	18.0021	65.6203	34.648	30.9723	65.3743	30.7263
29	0.368421	23.9918	3.18318	COLONNE	0	30.1666	11.8611	18.1752	65.7798	34.5097	31.2701	65.1201	30.6104
30	0.368421	23.8133	5.1705	COLONNE	0	30.1666	11.9368	18.2913	65.7155	34.2457	31.4698	64.6354	30.3897
31	0.368421	23.5492	7.16408	COLONNE	0	30.1666	11.9742	18.3486	65.4234	33.855	31.5684	63.9183	30.0633
32	0.356328	22.444	9.13339	Unità 2	0	23.0433	8.61199	13.1965	64.3706	33.3469	31.0237	62.986	29.6391
33	0.356328	22.0365	11.0806	Unità 2	0	23.0433	8.54784	13.0982	63.516	32.7236	30.7924	61.842	29.1184
34	0.356328	21.548	13.0408	Unità 2	0	23.0433	8.45348	12.9536	62.4292	31.9765	30.4527	60.4712	28.4947
35	0.356328	20.9768	15.0168	Unità 2	0	23.0433	8.32753	12.7606	61.1018	31.1028	29.999	58.8678	27.765
36	0.356328	20.3207	17.0112	Unità 2	0	23.0433	8.16849	12.5169	59.5252	30.0992	29.426	57.0261	26.9269
37	0.356328	19.577	19.0271	Unità 2	0	23.0433	7.97447	12.2196	57.6889	28.9617	28.7272	54.9389	25.9772
38	0.356328	18.7427	21.0679	Unità 2	0	23.0433	7.74339	11.8655	55.5803	27.6857	27.8946	52.5973	24.9116
39	0.356328	17.8142	23.137	Unità 2	0	23.0433	7.47256	11.4505	53.1846	26.2656	26.919	49.9916	23.726
40	0.356328	16.7872	25.2387	Unità 2	0	23.0433	7.15892	10.9699	50.4839	24.6949	25.789	47.1093	22.4144
41	0.356328	15.6568	27.3774	Unità 2	0	23.0433	6.79875	10.418	47.4576	22.9659	24.4917	43.9368	20.9709
42	0.356328	14.417	29.5584	Unità 2	0	23.0433	6.38749	9.7878	44.0797	21.0696	23.0101	40.4573	19.3877
43	0.356328	13.0607	31.7876	Unità 2	0	23.0433	5.91952	9.07071	40.3195	18.9952	21.3243	36.651	17.6558
44	0.356328	11.5797	34.072	Unità 2	0	23.0433	5.38773	8.25583	36.1386	16.73	19.4086	32.4946	15.7646
45	0.356328	9.96369	36.42	Unità 2	0	23.0433	4.78302	7.32921	31.4887	14.2584	17.2303	27.9598	13.7014
46	0.356328	8.20045	38.8414	Unità 2	0	23.0433	4.09342	6.27251	26.3075	11.5615	14.746	23.0115	11.45
47	0.356328	6.27468	41.3485	Unità 2	0	23.0433	3.30273	5.06091	20.5138	8.61606	11.8977	17.6073	8.99125
48	0.356328	4.16722	43.9564	Unità 2	0	23.0433	2.38825	3.65961	13.9961	5.39271	8.60341	11.6933	6.30061
49	0.356328	1.85338	46.6848	Unità 2	0	23.0433	1.31666	2.01757	6.59685	1.85373	4.74312	5.20039	3.34666
50	0.0886554	0.0797899	48.4413	Unità 2	0	23.0433	0.363609	0.557172	1.30986	0	1.30986	0.899721	0.899721

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.53234

--



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI8500001A

86 di 114

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	32.6331	28.1	0	0	0
2	32.9865	27.3947	6.63971	0	0
3	33.3399	26.7972	15.8963	0	0
4	33.6934	26.2764	40.6184	0	0
5	34.0468	25.8145	68.6775	0	0
6	34.4003	25.4	95.0403	0	0
7	34.7487	25.0301	119.587	0	0
8	35.0971	24.6931	142.86	0	0
9	35.4455	24.385	164.632	0	0
10	35.7939	24.1025	184.727	0	0
11	36.1423	23.8432	197.873	0	0
12	36.4907	23.605	208.216	0	0
13	36.8391	23.3864	217.661	0	0
14	37.2076	23.1748	227.597	0	0
15	37.576	22.9822	235.885	0	0
16	37.9444	22.8073	242.645	0	0
17	38.3128	22.6493	248.112	0	0
18	38.6813	22.5073	252.214	0	0
19	39.0497	22.3807	254.881	0	0
20	39.4181	22.2689	255.462	0	0
21	39.7865	22.1715	254.186	0	0
22	40.1549	22.0879	252.297	0	0
23	40.5234	22.0179	252.332	0	0
24	40.8918	21.9612	251.521	0	0
25	41.2602	21.9177	250.227	0	0
26	41.6286	21.8871	248.06	0	0
27	41.997	21.8693	245.008	0	0
28	42.3655	21.8642	241.066	0	0
29	42.7339	21.8719	236.234	0	0
30	43.1023	21.8924	230.519	0	0
31	43.4707	21.9258	223.934	0	0
32	43.8391	21.9721	216.496	0	0
33	44.1955	22.0294	209.741	0	0
34	44.5518	22.0992	202.265	0	0
35	44.9081	22.1817	194.103	0	0
36	45.2645	22.2773	185.297	0	0
37	45.6208	22.3863	175.899	0	0
38	45.9771	22.5092	165.97	0	0
39	46.3334	22.6464	155.584	0	0
40	46.6898	22.7987	144.825	0	0
41	47.0461	22.9667	133.796	0	0
42	47.4024	23.1512	122.618	0	0
43	47.7588	23.3533	111.436	0	0
44	48.1151	23.5741	100.424	0	0
45	48.4714	23.8151	89.7962	0	0
46	48.8277	24.078	79.8147	0	0
47	49.1841	24.3649	70.8089	0	0
48	49.5404	24.6785	63.2002	0	0
49	49.8967	25.0221	57.541	0	0
50	50.2531	25.4	54.5791	0	0
51	50.3417	25.5	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	25.4
61.445	25.4

Distributed Load

X	Y
37.3913	28.1
28.2713	28.1

Distributed Load



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

87 di 114

SLIDEINTERPRET 7.038



X	Y
31.7995	28.1
29.5195	28.1

Distributed Load

X	Y
35.8935	28.1
33.4304	28.1

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	28.3
39.0391	28.3
39.0391	28.1
26.022	28.1
25.809	28.2
0	28.2
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
26.022	28.1
27.7301	27.117
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
27.7301	25.5
27.7301	27.117

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

88 di 114

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Material Boundary

X	Y
39.0391	28.1
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 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

89 di 114

ALLEGATO 4- TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

90 di 114

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: R185_sis.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 malpha < 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 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

91 di 114

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

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

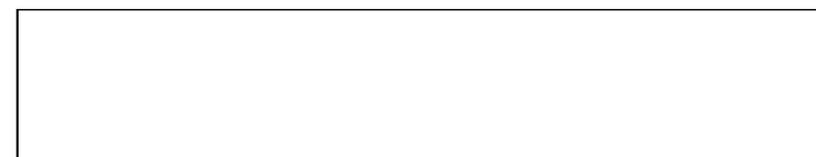
Distributed Load 2

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 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI8500001A

92 di 114



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	1.384390
Center:	43.000, 32.781
Radius:	11.232
Left Slip Surface Endpoint:	32.791, 28.100
Right Slip Surface Endpoint:	51.552, 25.500
Resisting Moment:	5374.37 kN-m
Driving Moment:	3882.13 kN-m
Total Slice Area:	63.978 m2
Surface Horizontal Width:	18.761 m
Surface Average Height:	3.41016 m

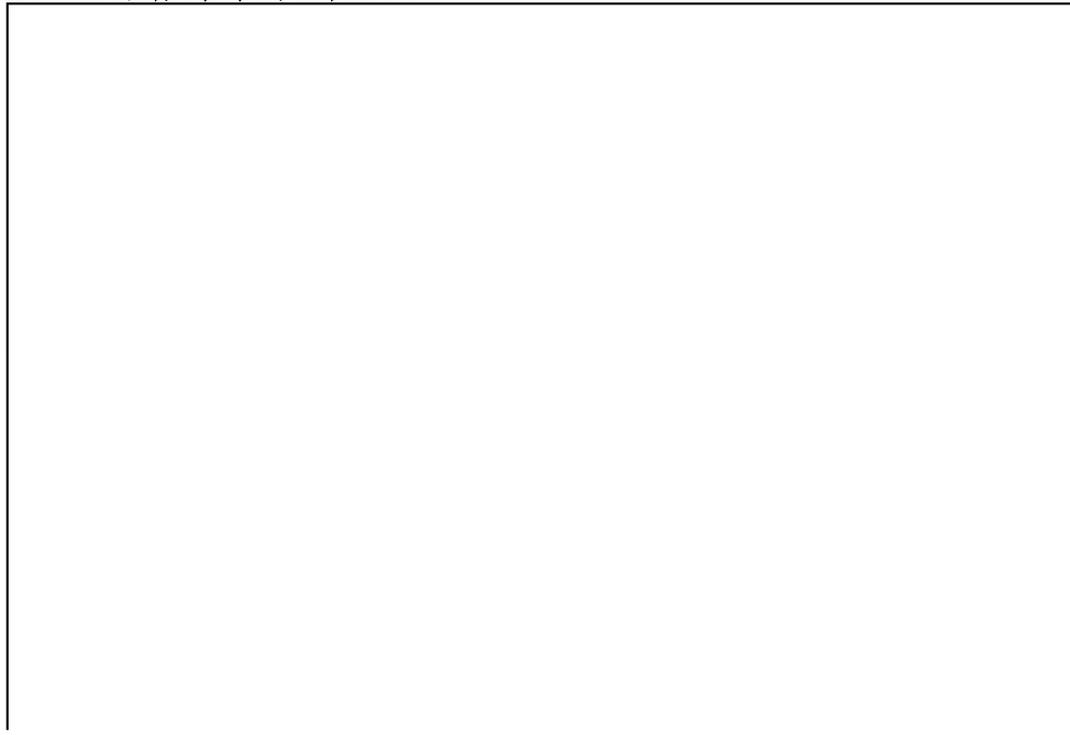
Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces:	493
Number of Invalid Surfaces:	0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.38439





Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI8500001A

93 di 114

SLIDEINTERPRET 7.030



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

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.348804	2.42757	-63.381	Rilevato	0	32.0066	5.0056	6.9297	11.087	0	11.087	21.0747	21.0747
2	0.348804	6.93173	-59.6347	Rilevato	0	32.0066	9.04904	12.5274	20.043	0	20.043	35.4881	35.4881
3	0.348804	10.8307	-56.2719	Rilevato	0	32.0066	15.2038	21.048	33.6753	0	33.6753	56.4483	56.4483
4	0.348804	14.2784	-53.1846	Rilevato	0	32.0066	18.5617	25.6966	41.1127	0	41.1127	65.9107	65.9107
5	0.348804	17.3696	-50.3066	Rilevato	0	32.0066	21.7544	30.1166	48.1844	0	48.1844	74.3939	74.3939
6	0.385055	22.4088	-47.4606	Rilevato	0	32.0066	24.3207	33.6694	55.9269	2.0583	53.8686	82.4317	80.3734
7	0.385055	25.4881	-44.6276	Rilevato	0	32.0066	26.2658	36.3621	64.1575	5.98091	58.1766	90.0841	84.1032
8	0.385055	28.2832	-41.9273	Rilevato	0	32.0066	28.104	38.9069	71.7896	9.54146	62.2482	97.0301	87.4886
9	0.385055	30.83	-39.3371	Rilevato	0	32.0066	27.9349	38.6728	74.6593	12.7856	61.8737	97.554	84.7684
10	0.385055	33.1559	-36.8398	Rilevato	0	32.0066	27.3557	37.871	76.3394	15.7485	60.5909	96.8338	81.0853
11	0.385055	35.2828	-34.4218	Rilevato	0	32.0066	28.8466	39.935	82.3509	18.4578	63.8931	102.119	83.6609
12	0.38855	39.0145	-32.0616	COLONNE	0	30.1666	29.7767	41.2226	91.8684	20.9458	70.9226	110.52	89.5737
13	0.38855	40.6611	-29.7505	COLONNE	0	30.1666	28.0289	38.8029	89.9884	23.2288	66.7596	106.009	82.7798
14	0.38855	42.1448	-27.4916	COLONNE	0	30.1666	27.053	37.4519	89.7451	25.3099	64.4352	103.823	78.5131
15	0.38855	43.4935	-25.2783	COLONNE	0	30.1666	28.0101	38.7769	93.9163	27.2017	66.7146	107.144	79.9419
16	0.38855	44.7149	-23.1046	COLONNE	0	30.1666	28.9256	40.0443	97.8101	28.9147	68.8954	110.151	81.2359
17	0.38855	49.1914	-20.9657	COLONNE	0	30.1666	32.8098	45.4215	108.605	30.4581	78.1468	121.177	90.7187
18	0.38855	56.3455	-18.857	COLONNE	0	30.1666	39.2748	54.3717	125.385	31.8393	93.5452	138.798	106.959
19	0.38855	57.2191	-16.7745	COLONNE	0	30.1666	40.2064	55.6614	128.829	33.0647	95.7642	140.948	107.884
20	0.38855	33.9854	-14.7146	COLONNE	0	30.1666	18.7465	25.9524	78.7902	34.1397	44.6505	83.7134	49.5737
21	0.38855	27.877	-12.674	COLONNE	0	30.1666	12.8886	17.8428	65.7669	35.0688	30.6981	68.6653	33.5965
22	0.38855	26.8692	-10.6497	COLONNE	0	30.1666	11.8009	16.337	63.9633	35.8558	28.1075	66.1824	30.3266
23	0.38855	26.7241	-8.63872	COLONNE	0	30.1666	11.572	16.0202	64.0661	36.5037	27.5624	65.8242	29.3205
24	0.38855	27.0887	-6.63844	COLONNE	0	30.1666	11.8912	16.4621	65.3377	37.015	28.3227	66.7217	29.7067
25	0.38855	27.3573	-4.64626	COLONNE	0	30.1666	12.1761	16.8565	66.3929	37.3917	29.0012	67.3825	29.9908
26	0.38855	27.5308	-2.65971	COLONNE	0	30.1666	12.4263	17.2028	67.2322	37.6352	29.597	67.8094	30.1742
27	0.38855	27.61	0.676349	COLONNE	0	30.1666	12.6409	17.5	67.8546	37.7462	30.1084	68.0038	30.2576
28	0.38855	27.595	1.3062	COLONNE	0	30.1666	12.8194	17.747	68.2585	37.7252	30.5333	67.9662	30.241
29	0.38855	27.4859	3.29031	COLONNE	0	30.1666	12.9607	17.9426	68.4419	37.5722	30.8697	67.6968	30.1246
30	0.38133	26.7781	5.25986	Unità 2	0	23.0433	9.45817	13.0938	68.0727	37.2904	30.7823	67.202	29.9116
31	0.38133	26.4918	7.21712	Unità 2	0	23.0433	9.46366	13.1014	67.6816	36.8814	30.8002	66.4832	29.6018
32	0.38133	26.1146	9.1829	Unità 2	0	23.0433	9.43889	13.0671	67.0619	36.3422	30.7197	65.5361	29.1939
33	0.38133	25.6448	11.1597	Unità 2	0	23.0433	9.38269	12.9893	66.2076	35.6708	30.5368	64.3566	28.6858
34	0.38133	25.0809	13.15	Unità 2	0	23.0433	9.29377	12.8662	65.1121	34.8649	30.2472	62.9409	28.076
35	0.38133	24.4206	15.1566	Unità 2	0	23.0433	9.17061	12.6957	63.7676	33.9212	29.8464	61.2834	27.3622
36	0.38133	23.6615	17.1825	Unità 2	0	23.0433	9.01133	12.4752	62.1643	32.8362	29.3281	59.3778	26.5416
37	0.38133	22.8002	19.2308	Unità 2	0	23.0433	8.81385	12.2018	60.2906	31.6053	28.6853	57.216	25.6107
38	0.38133	21.8333	21.3051	Unità 2	0	23.0433	8.57562	11.872	58.1334	30.2234	27.91	54.789	24.5656
39	0.38133	20.7564	23.409	Unità 2	0	23.0433	8.29362	11.4816	55.6764	28.6842	26.9922	52.0859	23.4017
40	0.38133	19.5643	25.5471	Unità 2	0	23.0433	7.96423	11.0256	52.9005	26.9804	25.9201	49.0937	22.1133
41	0.38133	18.2509	27.7241	Unità 2	0	23.0433	7.58298	10.4978	49.7827	25.1034	24.6793	45.7975	20.6941
42	0.38133	16.8092	29.9455	Unità 2	0	23.0433	7.14443	9.89068	46.295	23.0429	23.2521	42.1792	19.1363
43	0.38133	15.2306	32.2178	Unità 2	0	23.0433	6.64173	9.19475	42.4028	20.7867	21.6161	38.2174	17.4307
44	0.38133	13.5048	34.5485	Unità 2	0	23.0433	6.06615	8.39792	38.063	18.3202	19.7428	33.8863	15.5661
45	0.38133	11.6194	36.9466	Unità 2	0	23.0433	5.40631	7.48444	33.2207	15.6256	17.5951	29.1547	13.5291
46	0.38133	9.5593	39.423	Unità 2	0	23.0433	4.64696	6.4332	27.8051	12.6812	15.1239	23.9849	11.3037
47	0.38133	7.30544	41.9909	Unità 2	0	23.0433	3.76697	5.21496	21.7198	9.46	12.2598	18.3291	8.86911
48	0.38133	4.83384	44.6674	Unità 2	0	23.0433	2.73585	3.78749	14.8316	5.92757	8.90405	12.1273	6.19977
49	0.38133	2.11332	47.4743	Unità 2	0	23.0433	1.50719	2.08654	6.94464	2.03937	4.90527	5.30131	3.26194
50	0.0861651	0.0775486	49.2501	Unità 2	0	23.0433	0.41099	0.568971	1.3376	0	1.3376	0.860617	0.860617

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.38439

--



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

94 di 114

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	32.7909	28.1	0	0	0
2	33.1397	27.404	6.17908	0	0
3	33.4885	26.8087	15.549	0	0
4	33.8373	26.2862	28.7678	0	0
5	34.1861	25.8202	42.6746	0	0
6	34.5349	25.4	56.8226	0	0
7	34.92	24.9804	72.8447	0	0
8	35.305	24.6003	89.297	0	0
9	35.6901	24.2545	105.721	0	0
10	36.0751	23.9389	121.162	0	0
11	36.4602	23.6504	135.484	0	0
12	36.8453	23.3865	149.121	0	0
13	37.2338	23.1432	163.242	0	0
14	37.6224	22.9211	175.808	0	0
15	38.0109	22.7189	187.04	0	0
16	38.3995	22.5354	197.101	0	0
17	38.788	22.3696	205.893	0	0
18	39.1766	22.2208	213.513	0	0
19	39.5651	22.0881	219.703	0	0
20	39.9536	21.9709	224.056	0	0
21	40.3422	21.8689	227.711	0	0
22	40.7307	21.7815	230.826	0	0
23	41.1193	21.7084	233.205	0	0
24	41.5078	21.6494	234.768	0	0
25	41.8964	21.6042	235.412	0	0
26	42.2849	21.5726	235.11	0	0
27	42.6735	21.5546	233.842	0	0
28	43.062	21.55	231.595	0	0
29	43.4506	21.5588	228.362	0	0
30	43.8391	21.5812	224.141	0	0
31	44.2205	21.6163	220.426	0	0
32	44.6018	21.6646	215.806	0	0
33	44.9831	21.7262	210.297	0	0
34	45.3645	21.8014	203.924	0	0
35	45.7458	21.8905	196.716	0	0
36	46.1271	21.9938	188.713	0	0
37	46.5085	22.1117	179.963	0	0
38	46.8898	22.2448	170.525	0	0
39	47.2711	22.3935	160.47	0	0
40	47.6524	22.5586	149.884	0	0
41	48.0338	22.7408	138.873	0	0
42	48.4151	22.9412	127.56	0	0
43	48.7964	23.1609	116.098	0	0
44	49.1778	23.4012	104.674	0	0
45	49.5591	23.6638	93.5184	0	0
46	49.9404	23.9506	82.9198	0	0
47	50.3218	24.2641	73.2464	0	0
48	50.7031	24.6073	64.9778	0	0
49	51.0844	24.9842	58.7564	0	0
50	51.4657	25.4	55.4747	0	0
51	51.847	25.5	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
8.114	25.4
65.691	25.4

Distributed Load

X	Y
37.3913	28.1
28.2713	28.1



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

95 di 114

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Distributed Load

X	Y
31.7995	28.1
29.5195	28.1

Distributed Load

X	Y
35.8935	28.1
33.4304	28.1

External Boundary

X	Y
9.114	0
64.691	0
64.691	18.5
64.691	25.5
43.8391	25.5
40.0391	25.5
40.0391	28.3
39.0391	28.3
39.0391	28.1
26.022	28.1
25.809	28.2
9.114	28.2
9.114	25.5
9.114	18.5

Material Boundary

X	Y
40.0391	24.1865
40.0391	25.5

Material Boundary

X	Y
34.1408	23.3865
36.85	23.3865

Material Boundary

X	Y
26.022	28.1
27.7301	27.117
30.5088	25.5
34.1408	23.3865

Material Boundary

X	Y
9.114	18.5
30.5088	18.5
43.8391	18.5
64.691	18.5

Material Boundary

X	Y
9.114	25.5
27.7301	25.5

Material Boundary

X	Y
27.7301	25.5
27.7301	27.117

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

96 di 114

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Material Boundary

X	Y
39.0391	28.1
39.0391	24.1865
36.85	24.1865
36.85	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 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

97 di 114

ALLEGATO 5 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU POST SISMA

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 98 di 114
---	------------------	-------------	-----------------------------	---------------------

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RI85_post_AM.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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

99 di 114

Compressive strength 1

Bond strength1

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 malpha < 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

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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI8500001A	100 di 114

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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

101 di 114

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/m3]	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	Water Table
Hu Value	1	0	1	1	1	1	

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS 1.551370
Center: 44.646, 33.475
Radius: 12.750
Left Slip Surface Endpoint: 33.084, 28.100
Right Slip Surface Endpoint: 54.594, 25.500
Resisting Moment: 5791.5 kN-m
Driving Moment: 3733.14 kN-m
Total Slice Area: 82.4941 m2
Surface Horizontal Width: 21.5104 m
Surface Average Height: 3.83508 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 716
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.55137



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI8500001A

102 di 114

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	0.423649	3.51828	-62.9724	Rilevato	0	32.0066	5.61962							
	8.71811	13.9484	0	13.9484	24.9644	24.9644								
2	0.423649	10.0268	-59.0273	Rilevato	0	32.0066	12.1502							
	18.8494	30.1576	0	30.1576	50.4007	50.4007								
3	0.423649	15.6282	-55.4967	Rilevato	0	32.0066	16.1618							
	25.073	40.115	0	40.115	63.6277	63.6277								
4	0.423649	20.5582	-52.2607	Rilevato	0	32.0066	19.9434							
	30.9396	49.5011	0	49.5011	75.2683	75.2683								
5	0.41406	24.351	-49.2791	Rilevato	0	32.0066	22.8315	35.4201						
	59.0291	2.35947	56.6696	85.5535	83.1941									
6	0.41406	28.1495	-46.5012	Rilevato	0	32.0066	24.8501							
	38.5517	68.5391	6.85922	61.6799	94.7267	87.8675								
7	0.41406	31.6037	-43.8591	Rilevato	0	32.0066	25.656	39.802						
	74.6315	10.9511	63.6804	99.2857	88.3346									
8	0.41406	34.759	-41.3298	Rilevato	0	32.0066	24.8975	38.6253						
	76.4866	14.6889	61.7977	98.3826	83.6937									
9	0.41406	37.6499	-38.8953	Rilevato	0	32.0066	26.5291							
	41.1565	83.9608	18.1135	65.8473	105.364	87.25								
10	0.43689	44.1986	-36.479	COLONNE	0	30.1666	27.6554							
	42.9037	95.1513	21.3365	73.8148	115.599	94.263								
11	0.43689	46.635	-34.0729	COLONNE	0	30.1666	25.6702	39.824						
	92.8867	24.3704	68.5163	110.249	85.8787									
12	0.43689	48.8593	-31.7335	COLONNE	0	30.1666	25.7687							
	39.9768	95.9243	27.1451	68.7792	111.86	84.7151								
13	0.43689	50.8917	-29.4519	COLONNE	0	30.1666	26.8512							
	41.6562	101.349	29.6804	71.6685	116.511	86.8304								
14	0.43689	52.7454	-27.2205	COLONNE	0	30.1666	27.8814							
	43.2543	106.411	31.9927	74.4181	120.753	88.7598								
15	0.43689	65.0227	-25.0331	COLONNE	0	30.1666	36.594	56.7708						
	131.769	34.0958	97.6728	148.858	114.763									
16	0.43689	66.6919	-22.8841	COLONNE	0	30.1666	37.7448							
	58.5561	136.746	36.0011	100.744	152.677	116.676								
17	0.43689	43.9239	-20.7687	COLONNE	0	30.1666	20.6119							
	31.9767	92.7336	37.7183	55.0153	100.55	62.8321								
18	0.43689	34.7016	-18.6825	COLONNE	0	30.1666	13.3612							
	20.7282	74.9179	39.2556	35.6623	79.4359	40.1803								
19	0.43689	33.6748	-16.6217	COLONNE	0	30.1666	12.2874							

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI8500001A	103 di 114

	19.0623	73.4163	40.6199	32.7964	77.0844	36.4645	
20	0.43689	34.3084	-14.5829	COLONNE	0	30.1666	12.5345
	19.4457	75.2731	41.8172	33.4559	78.5341	36.7169	
21	0.43689	35.1382	-12.5627	COLONNE	0	30.1666	12.9949
	20.1599	77.5368	42.8522	34.6846	80.4326	37.5804	
22	0.43689	35.8412	-10.5584	COLONNE	0	30.1666	13.4169
	20.8146	79.5403	43.7292	35.8111	82.0411	38.3119	
23	0.43689	36.4202	-8.56706	COLONNE	0	30.1666	13.8006
	21.4099	81.2867	44.4514	36.8353	83.3657	38.9143	
24	0.43689	36.8773	-6.58611	COLONNE	0	30.1666	14.1458
	21.9453	82.7781	45.0217	37.7564	84.4113	39.3896	
25	0.43689	37.2143	-4.61305	COLONNE	0	30.1666	14.4519
	22.4203	84.0156	45.442 38.5736	85.1817	39.7397		
26	0.44476	38.1075	-2.62777	liquef 0	4.56541	2.05224	3.18378
	85.5868	45.7151	39.8717	85.681 39.9659			
27	0.44476	38.2087	-0.627935	liquef 0	4.56541	2.06125	3.19776
	85.8858	45.8391	40.0467	85.9084	40.0693		
28	0.44476	38.1856	1.37113	liquef 0	4.56541	2.06373	3.20161
	85.9059	45.8108	40.0951	85.8565	40.0457		
29	0.44476	38.0381	3.37187	liquef 0	4.56541	2.05966	3.1953
	85.646 45.63	40.016 85.5246	39.8946				
30	0.44476	37.7656	5.37675	liquef 0	4.56541	2.04899	3.17874
	85.1047	45.2962	39.8085	84.9119	39.6157		
31	0.44476	37.3672	7.38825	liquef 0	4.56541	2.03164	3.15182
	84.2795	44.808 39.4715	84.016 39.208				
32	0.44476	36.8413	9.40897	liquef 0	4.56541	2.00751	3.11439
	83.1663	44.1636	39.0027	82.8336	38.67		
33	0.44476	36.186 11.4416	liquef 0	4.56541	1.97646	3.06622	
	81.76 43.3606	38.3994	81.36 37.9994				
34	0.44476	35.3986	13.4889	liquef 0	4.56541	1.93834	3.00708
	80.0545	42.3957	37.6588	79.5895	37.1938		
35	0.44476	34.4761	15.554 liquef 0	4.56541	1.89294	2.93665	
	78.0421	41.2652	36.7769	77.5152	36.25		
36	0.44476	33.4144	17.64 liquef 0	4.56541	1.84003	2.85457	
	75.7131	39.9643	35.7488	75.128 35.1637			
37	0.44476	32.2091	19.7505	liquef 0	4.56541	1.77932	2.76039
	73.0568	38.4873	34.5695	72.4179	33.9306		
38	0.44476	30.8546	21.8894	liquef 0	4.56541	1.71049	2.6536
	70.0595	36.8275	33.232 69.3723	32.5448			
39	0.44476	29.3444	24.0609	liquef 0	4.56541	1.63312	2.53358
	66.7059	34.977 31.7289	65.9767	30.9997			
40	0.44476	27.6707	26.2698	liquef 0	4.56541	1.54676	2.39959

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 104 di 114
---	------------------	-------------	-----------------------------	----------------------

	62.9772	32.9261	30.0511	62.2137	29.2876		
41	0.44476	25.8245	28.5217	liquef 0	4.56541	1.45083	2.25077
	58.8511	30.6638	28.1873	58.0627	27.3989		
42	0.44476	23.7948	30.8229	liquef 0	4.56541	1.34466	2.08607
	54.3012	28.1766	26.1246	53.4989	25.3223		
43	0.44476	21.5684	33.1807	liquef 0	4.56541	1.22744	1.90422
	49.2957	25.4485	23.8472	48.4931	23.0446		
44	0.44476	19.1295	35.6039	liquef 0	4.56541	1.09818	1.70369
	43.7958	22.4599	21.3359	43.0095	20.5496		
45	0.44476	16.4586	38.1031	liquef 0	4.56541	0.955652	1.48257
	37.7539	19.1871	18.5668	37.0045	17.8174		
46	0.44476	13.5317	40.6912	liquef 0	4.56541	0.798294	1.23845
	31.11	15.6005	15.5095	30.4235	14.823		
47	0.44476	10.3182	43.3845	liquef 0	4.56541	0.624123	0.968246
	23.7885	11.6628	12.1257	23.1986	11.5358		
48	0.44476	6.77888	46.2036	liquef 0	4.56541	0.430515	0.667888
	15.69	7.3257	8.36427	15.241	7.91527		
49	0.44476	2.86136	49.1765	liquef 0	4.56541	0.213884	0.331813
	6.68067	2.52525	4.15542	6.43309	3.90784		
50	0.0809945	0.072895	50.9944	liquef 0	4.56541	0.0494621	0.076734
	0.960966	0	0.960966	0.899898	0.899898		

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.55137

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]	Normal
1	33.084	28.1	0	0	0	
2	33.5077	27.2695	9.20681	0	0	
3	33.9313	26.5637	25.354	0	0	
4	34.355	25.9474	43.2425	0	0	
5	34.7786	25.4	61.9023	0	0	
6	35.1927	24.919	80.859	0	0	
7	35.6067	24.4826	100.493	0	0	
8	36.0208	24.0847	119.582	0	0	
9	36.4348	23.7206	137.142	0	0	
10	36.8489	23.3865	154.222	0	0	
11	37.2858	23.0635	172.897	0	0	
12	37.7227	22.768	189.148	0	0	
13	38.1596	22.4978	203.825	0	0	
14	38.5965	22.2511	217.115	0	0	

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8500001A	Foglio 105 di 114
---	------------------	-------------	-----------------------------	----------------------

15	39.0334	22.0264	228.868	0	0
16	39.4702	21.8224	239.791	0	0
17	39.9071	21.638	248.545	0	0
18	40.344	21.4723	254.919	0	0
19	40.7809	21.3245	260.159	0	0
20	41.2178	21.1941	264.374	0	0
21	41.6547	21.0805	267.463	0	0
22	42.0916	20.9831	269.343	0	0
23	42.5285	20.9017	269.968	0	0
24	42.9654	20.8359	269.299	0	0
25	43.4023	20.7854	267.304	0	0
26	43.8391	20.7502	263.962	0	0
27	44.2839	20.7297	264.798	0	0
28	44.7287	20.7249	264.302	0	0
29	45.1734	20.7355	262.471	0	0
30	45.6182	20.7617	259.312	0	0
31	46.0629	20.8036	254.839	0	0
32	46.5077	20.8613	249.077	0	0
33	46.9525	20.935	242.056	0	0
34	47.3972	21.025	233.819	0	0
35	47.842	21.1317	224.417	0	0
36	48.2868	21.2555	213.916	0	0
37	48.7315	21.3969	202.39	0	0
38	49.1763	21.5566	189.934	0	0
39	49.621	21.7353	176.655	0	0
40	50.0658	21.9339	162.683	0	0
41	50.5106	22.1534	148.171	0	0
42	50.9553	22.3951	133.302	0	0
43	51.4001	22.6605	118.295	0	0
44	51.8448	22.9513	103.414	0	0
45	52.2896	23.2697	88.9787	0	0
46	52.7344	23.6185	75.3868	0	0
47	53.1791	24.001	63.1347	0	0
48	53.6239	24.4213	52.8578	0	0
49	54.0686	24.8852	45.3889	0	0
50	54.5134	25.4	41.8545	0	0
51	54.5944	25.5	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

106 di 114

X Y

8.114 25.4

65.691 25.4

Distributed Load

X Y

37.3913 28.1

28.2713 28.1

Distributed Load

X Y

31.7995 28.1

29.5195 28.1

Distributed Load

X Y

35.8935 28.1

33.4304 28.1

External Boundary

X Y

9.114 0

64.691 0

64.691 18.5

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

107 di 114

64.691 25.5
43.8391 25.5
40.0391 25.5
40.0391 28.3
39.0391 28.3
39.0391 28.1
26.022 28.1
25.809 28.2
9.114 28.2
9.114 25.5
9.114 18.5

Material Boundary

X Y
40.0391 24.1865
40.0391 25.5

Material Boundary

X Y
34.1408 23.3865
36.85 23.3865

Material Boundary

X Y
26.022 28.1
27.7301 27.117
30.5088 25.5
34.1408 23.3865

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

108 di 114

Material Boundary

X	Y
9.114	18.5
30.5088	18.5
43.8391	18.5
64.691	18.5

Material Boundary

X	Y
9.114	25.5
27.7301	25.5

Material Boundary

X	Y
27.7301	25.5
27.7301	27.117

Material Boundary

X	Y
39.0391	28.1
39.0391	24.1865
36.85	24.1865
36.85	23.3865
40.8391	23.3865
40.8391	24.1865
40.0391	24.1865

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

109 di 114

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 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

110 di 114

ALLEGATO 6- TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

111 di 114

Settle3D Analysis Information

Rilevato

Project Settings

Document Name: cedim85.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: 3.98564 seconds

Stage: Stage 1

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.0784309
Consolidation Settlement [m]	0	0
Immediate Settlement [m]	0	0.0784309
Loading Stress [kPa]	0	140.341
Total Stress [kPa]	0	600.318
Total Strain	-0	0.0127518
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.126	600.114
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	0.089065
Consolidation Settlement [m]	0	0
Immediate Settlement [m]	0	0.089065
Loading Stress [kPa]	3.29345e-005	140.322
Total Stress [kPa]	3.29345e-005	620.985
Total Strain	2.59698e-007	0.0127514
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	1.26286	620.783



Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

112 di 114

Over-consolidation Ratio	1	1.21164
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 m²
Load: 14.4 kPa
Depth: -4.8 m
Installation Stage: Stage 2

Coordinates

X [m]	Y [m]
14.284	-50
23.084	-50
23.084	50
14.284	50

Embankments

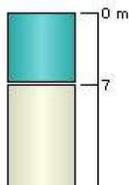
1. Embankment

Center Line: (0, -50) to (0, 50)
Number of Layers: 1
Near End Angle: 90 degrees
Far End Angle: 90 degrees
Base Width: 24

Layer	Stage	Left Bench Width (m)	Left Angle (deg)	Height (m)	Unit Weight (kN/m ³)	Right Angle (deg)	Right Bench Width (m)
1	Stage 1	0	34	4.8	20	90	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 43+875,00 al km 44+225,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8500001A

Foglio

113 di 114

Soil Properties

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

Query Points

Point #	(X,Y) Location	Number of Divisions
1	18.684, 0	Auto: 49

Query Lines

Line #	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	-30, 0	40, 0	200	Auto: 29

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 43+875,00 al km 44+225,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI8500001A</p>	<p>Foglio 114 di 114</p>

ALLEGATO 7- VERSIONE SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI

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