

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+175,00 al km 43+525,00
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	RI8300	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>P. Ascari</i>	Febbraio 2022	P. Ascari
								Data: Febbraio 2022

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712E12RBRI8300001A_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+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 2 di 112

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	22
5.2	Suscettibilità alla liquefazione.....	22
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT	24
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT.....	26
5.2.3	Commento ai risultati	29
5.2.4	Soil improvement	34
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO	39
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite.....	39
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU).....	39
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE).....	41
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche.....	41
6.2	Azioni di progetto	41
6.2.1	Azioni permanenti	42



6.2.1	Azioni variabili	42
6.2.2	Azione sismica	42
6.3	Verifiche e risultati SLU	43
6.3.1	Premessa	43
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche	44
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche	45
6.3.4	Verifiche SLU in condizioni post sismiche	46
6.4	Verifica e risultati SLE	47
6.4.1	Metodologia di calcolo	47
6.4.2	Schematizzazione e risultati	49
7	RESISTENZA DEI PALI SOGGETTI A CARICHI ASSIALI	53
7.1	Analisi agli stati limite	53
7.2	Metodologia di calcolo	55
7.2.1	Portata laterale	55
7.2.2	Portata di base	56
7.3	Stratigrafia di calcolo	58
7.4	Risultati	58
8	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	68
Allegati		69
ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO		70
ALLEGATO 2 - INDAGINI		72
ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE- ANALISI SLU STATICA		79
ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU IN CAMPO SISMICO		87
ALLEGATO 5 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI POST SISMA.....		95
ALLEGATO 6 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE		108
ALLEGATO 7 – VERSIONE SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI		112

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 4 di 112



1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI83, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende dal km 43+175,00 al km 43+525,00.

La relazione descrive in dettaglio il modello geotecnico definito per il rilevato sulla base delle indagini geognostiche eseguite nelle vicinanze dell'opera e delle caratteristiche geotecniche attribuite ai materiali rinvenuti lungo la tratta. Le verifiche discusse sono state eseguite ai sensi della Normativa vigente (v. capitolo seguente) e gli interventi proposti sono volti a 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+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI830001A	Foglio 5 di 112



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+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI830001A	Foglio 6 di 112

[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  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 7 di 112

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

3.1 Premessa

Il rilevato ferroviario in esame si estende dal km 43+175,00 al km 43+525,00 per una lunghezza totale di 350 m circa. Il rilevato 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 e risulta sempre in affiancamento alla linea storica. Dalla pk 43+350 il rilevato è contenuto dal lato sud da un muro di sostegno con pali di fondazione (D=600/800 mm). Alla pk 43+525, si riscontra l'altezza massima del rilevato pari a 3.8 m. La sezione citata, denominata Sezione A (Figura 1) è quella ritenuta più significativa per le verifiche SLU e SLE del rilevato in esame.

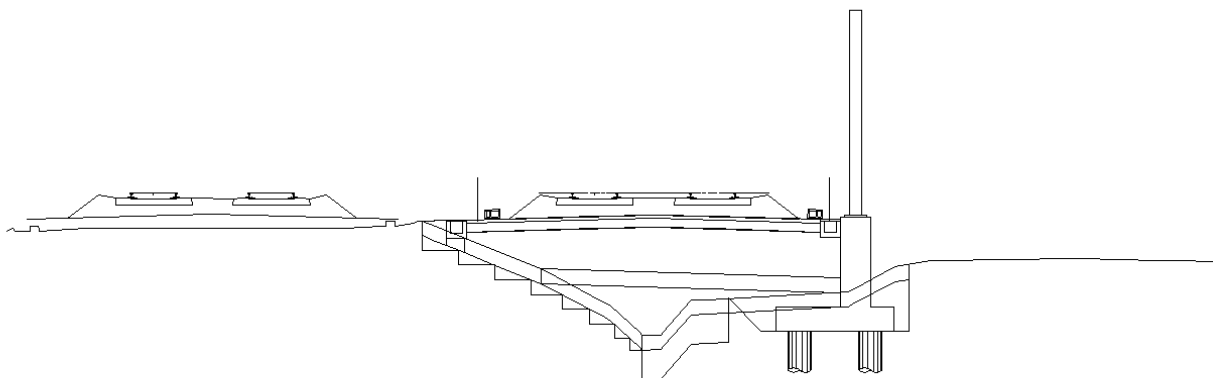




Figura 1 – Sezione di riferimento A (pk 43+525) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 8 di 112

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+175 e pk 43+525

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
43+140	CPTU-100	2015
43+226	CPTU-PE-51	2020-2021
43+478	CPTU-PE-52	2020-2021
43+545	BH-PE-92	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 6-7 m, costituita localmente da terreni di riporto, con spessore variabile da 1 fino a 3 m, e 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.

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 RI83, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 11 di 11 (Doc. Rif. [3]).

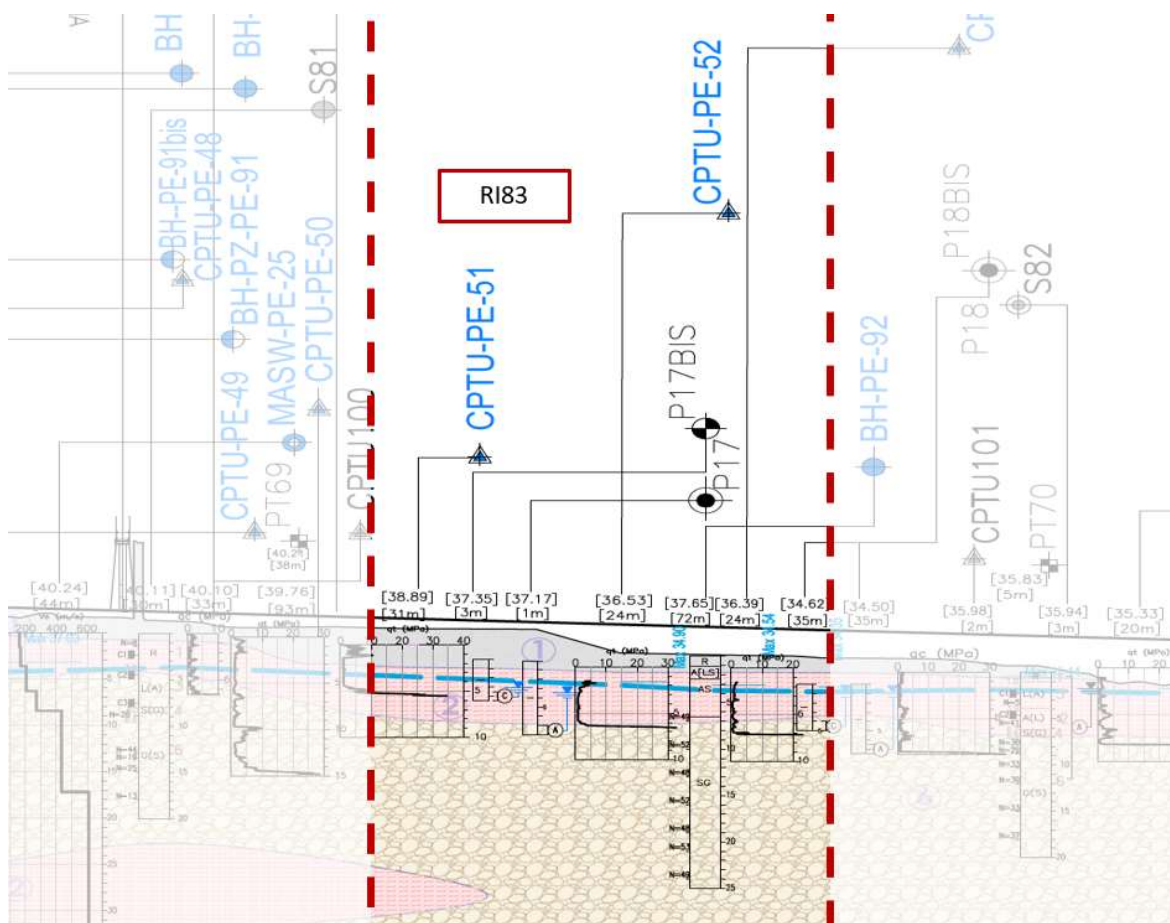


Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato RI83, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

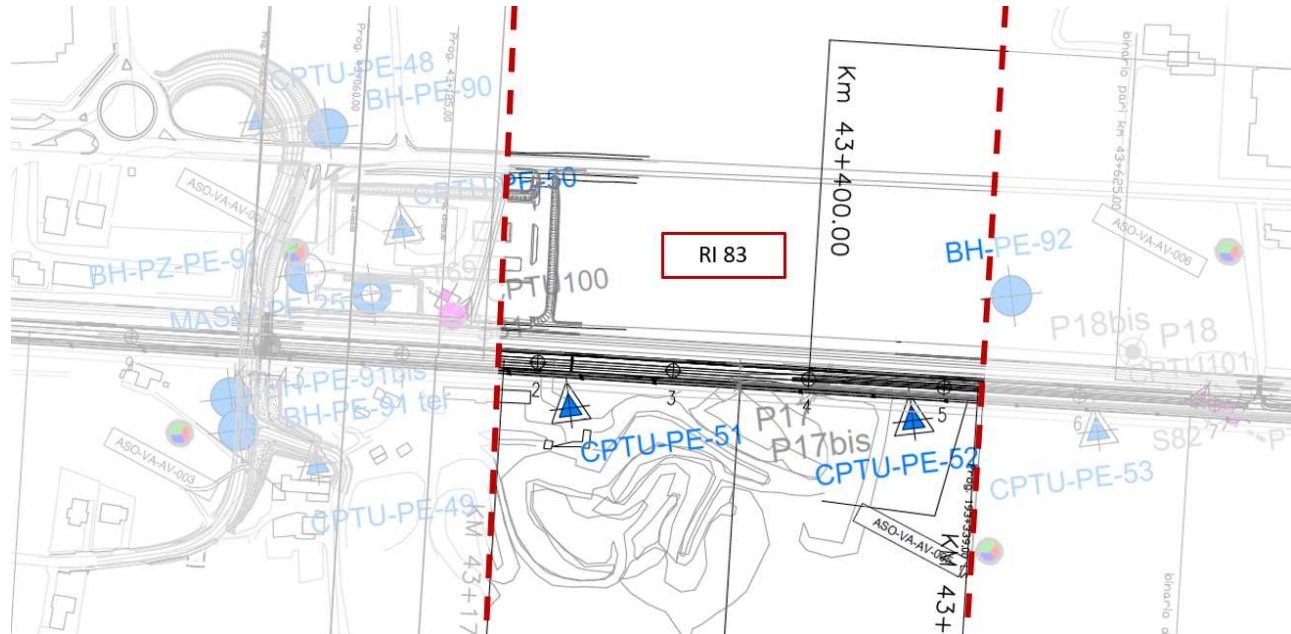




Figura 3 - Planimetria Rilevato RI83, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

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+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 11 di 112

4.4 Condizioni geotecniche del sito

All'inizio della tratta la CPTU100 e la CPTU-PE-51 indicano la presenza di materiale potenzialmente liquefacibile. Inoltre, in corrispondenza della CPTU100, si rilevano terreni coesivi con resistenze al taglio anche modeste, dell'ordine dei 20÷30 kPa (v. Figura 5). Anche tali materiali, pur non liquefacibili, possono presentare, sotto i cicli di carico, consistenti riduzioni della loro resistenza al taglio non drenata e della rigidità, associati ad un accumulo di sovrappressioni interstiziali rilevanti. 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 di circa 5-6 m.

Procedendo verso est la prova CPTU-PE-52 e il sondaggio BH-PE-92, indicano che nei primi metri di profondità prevale la componente argillosa. 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.

Si evidenzia che, mentre le prova CPTU-PE-52 presentano un profilo di resistenza alla punta q_c tipico di materiali argillosi continui, la prova CPTU-100 presenta un profilo di q_c tipico di alternanze argillose ad altre più sabbiose. Di tale differenza, e delle implicazioni progettuali, si parlerà in sede di commento dei risultati delle analisi di liquefazione e dei provvedimenti previsti in fondazione.

All'interno di questo deposito si trovano strati spessi qualche cm di materiali più sabbiosi. A tale proposito, 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, una parte dei materiali di superficie ricade nell'ambito dei terreni potenzialmente 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 la teoria dell'elasticità a partire dal valore del modulo G_0 , ed utilizzando valori di $\nu = 0.25-0.30$. Il valore del modulo di Young operativo (E_{op}) per il calcolo di cedimenti di fondazioni superficiali e rilevati è stato calcolato ipotizzando valori del decadimento del

modulo dell'ordine di 1/5 di quello iniziale per gli strati superficiali e dell'ordine di 1/3 di quello iniziale per gli strati più in profondità, dove le deformazioni attese sono minori.

Ai fini della caratterizzazione geotecnica degli strati sotto la coltre superficiale, le seguenti figure riportano i risultati delle principali prove di sito e dei parametri geotecnici dei terreni, interpretati alla luce di quanto riferito in [2] e [4].

- Distribuzione delle granulometrie da analisi di laboratorio (v. Figura 4);
- Resistenza al taglio non drenata dell'unità 2 (v. Figura 5);
- Valori N_{SPT} da prove SPT (v. Figura 6);
- Densità relativa stimata da prove SPT (v. Figura 7);
- Angolo di attrito stimato da prove SPT (v. Figura 8);
- Velocità delle onde di taglio stimata da prove in sito (v. Figura 9);
- Modulo di taglio alle piccole deformazioni valutati a partire dai valori stimati di V_s (v. Figura 10).

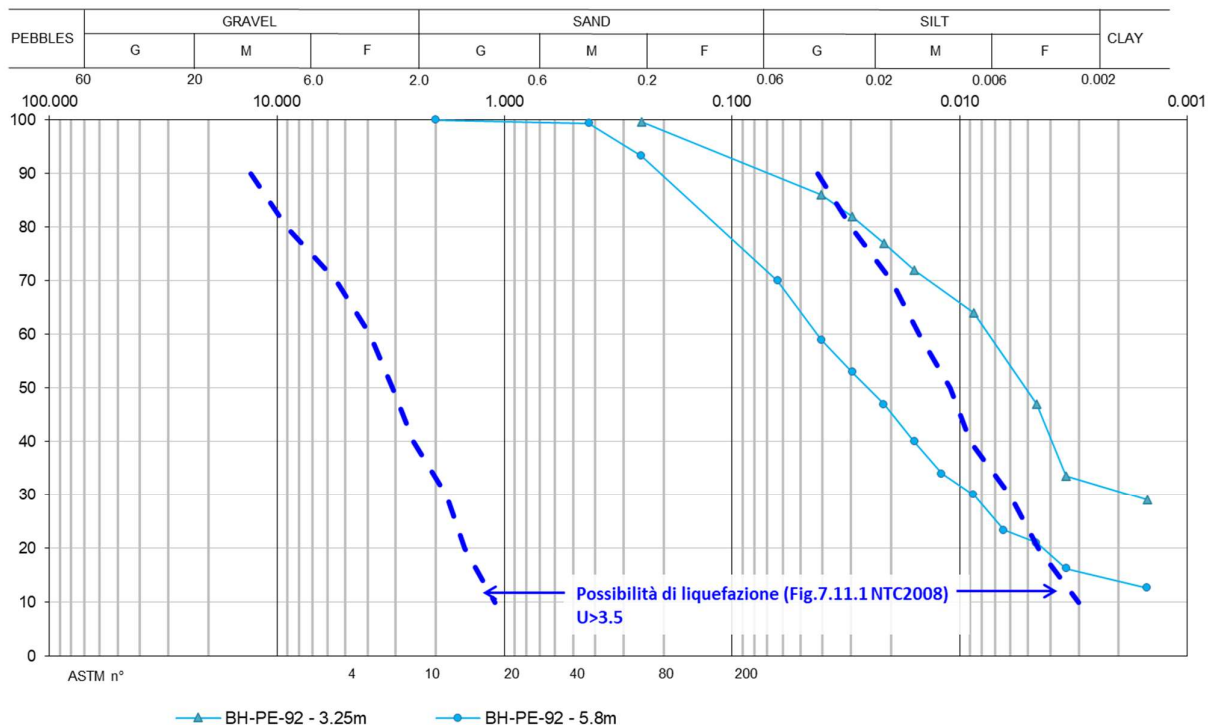


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche dei terreni superficiali e suscettibili alla liquefazione tra pk 43+175 e pk 43+525



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI830001A

Foglio

13 di 112

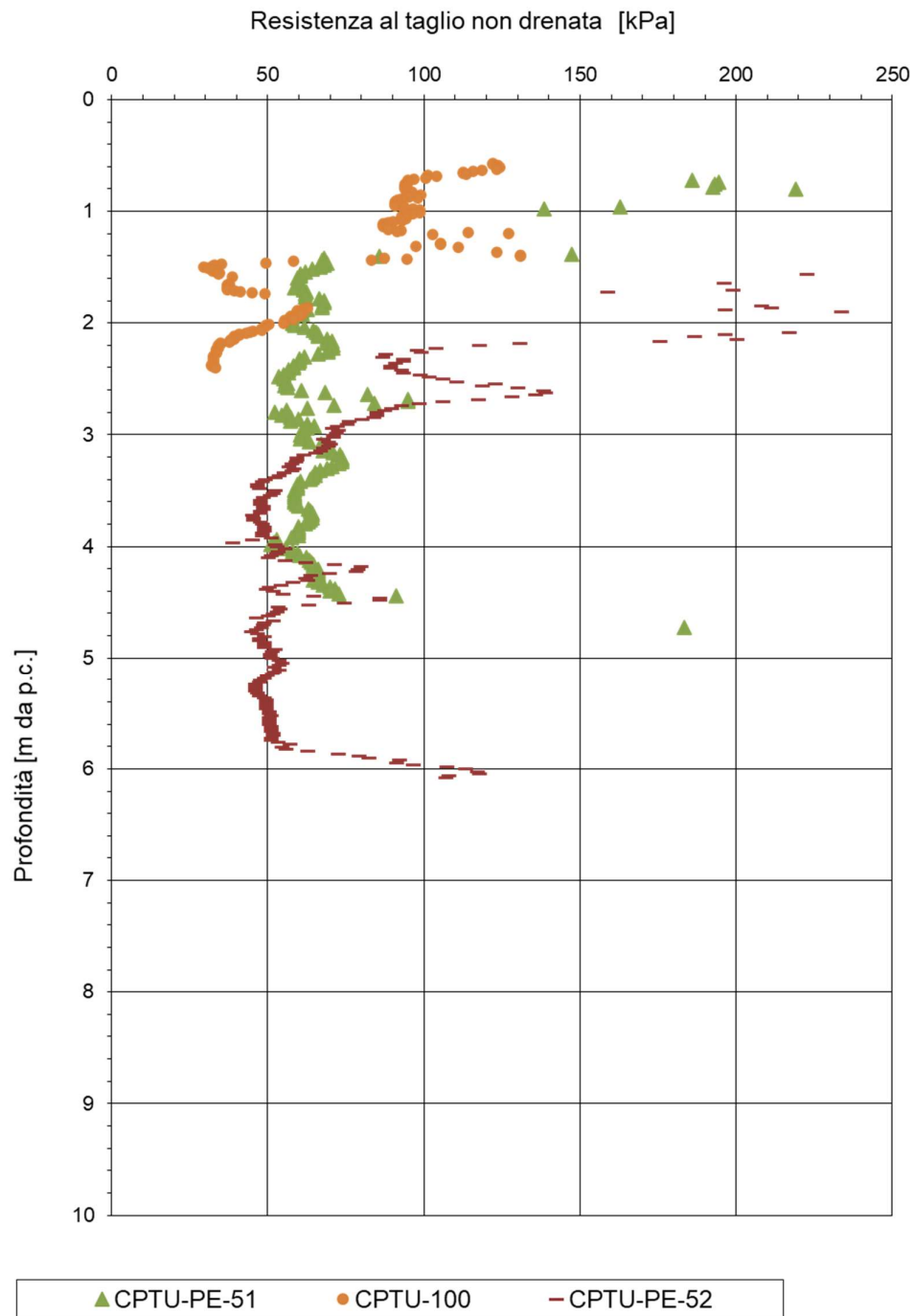


Figura 5 – Resistenza al taglio non drenata da prove CPTU tra pk 43+175 e pk 43+525



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

14 di 112

AV/AC VERONA VICENZA

RI 83 tra pk 43+175 e pk 43+525

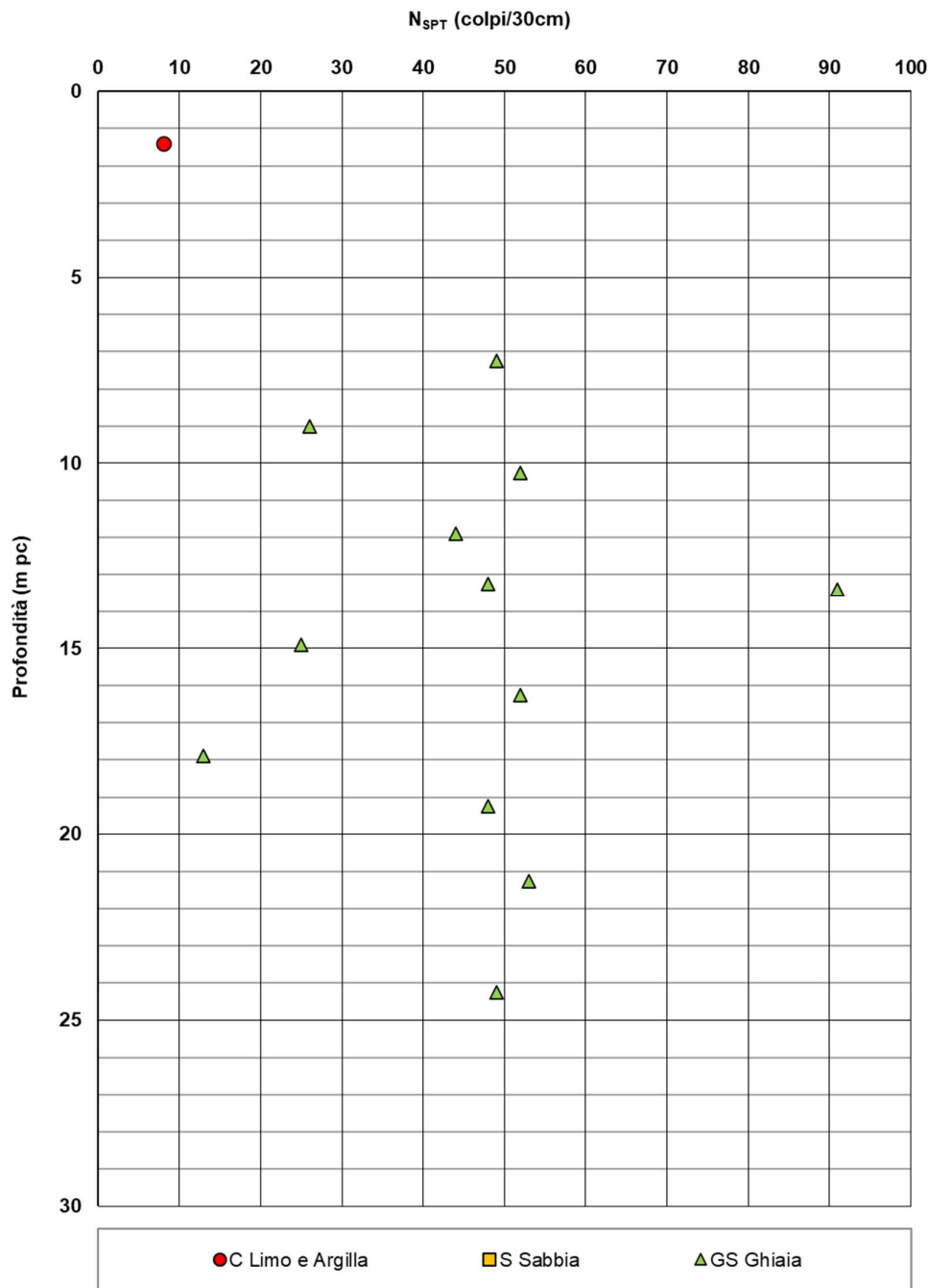


Figura 6 – Esito delle prove SPT tra pk 43+175 e pk 43+525



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

15 di 112

AV/AC VERONA VICENZA

RI 83 tra pk 43+175 e pk 43+525

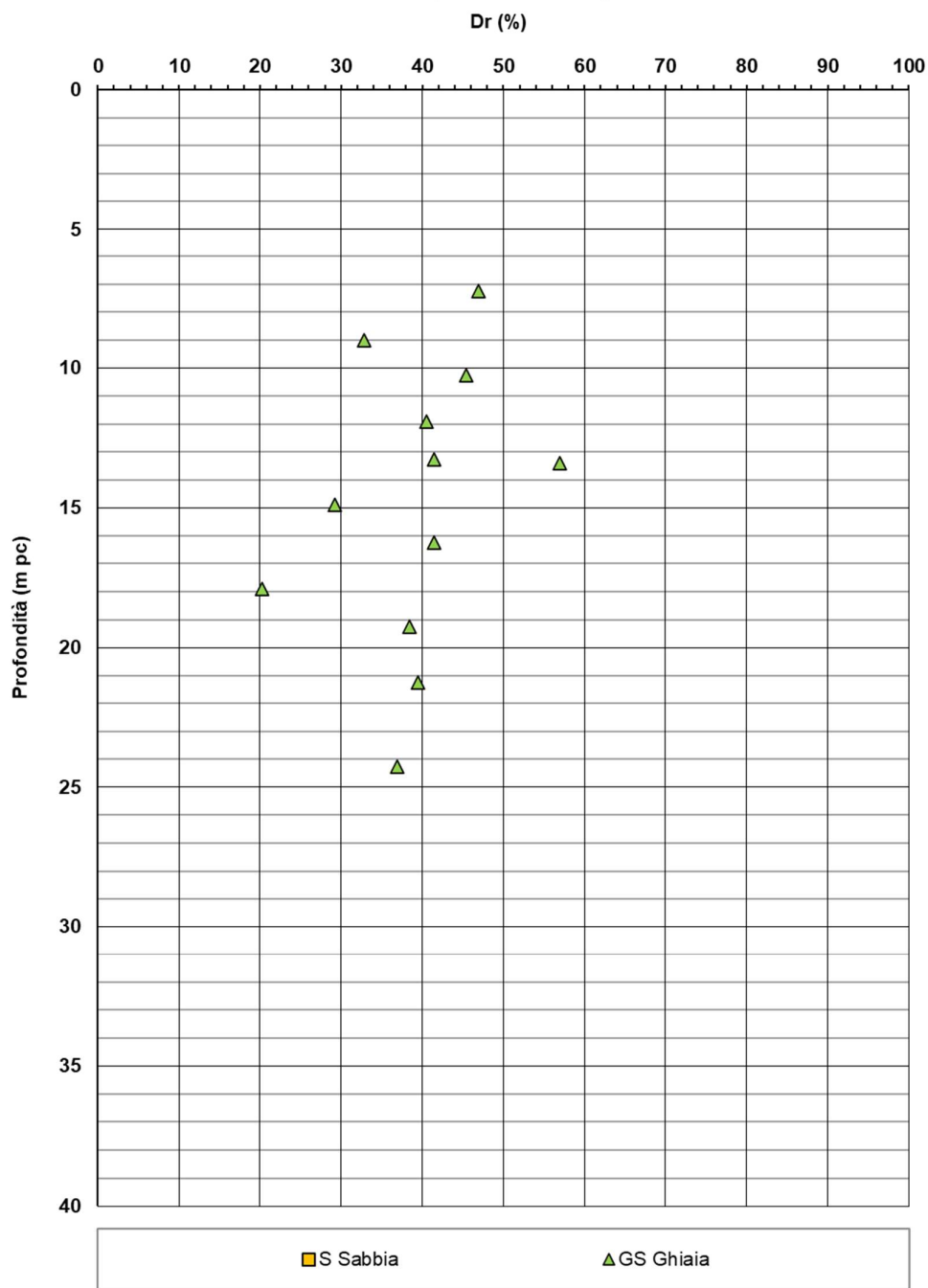


Figura 7 – Densità relativa da prove SPT tra pk 43+175 e pk 43+525



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8300001A

Foglio
16 di 112

AV/AC VERONA VICENZA

RI 83 tra pk 43+175 e pk 43+525

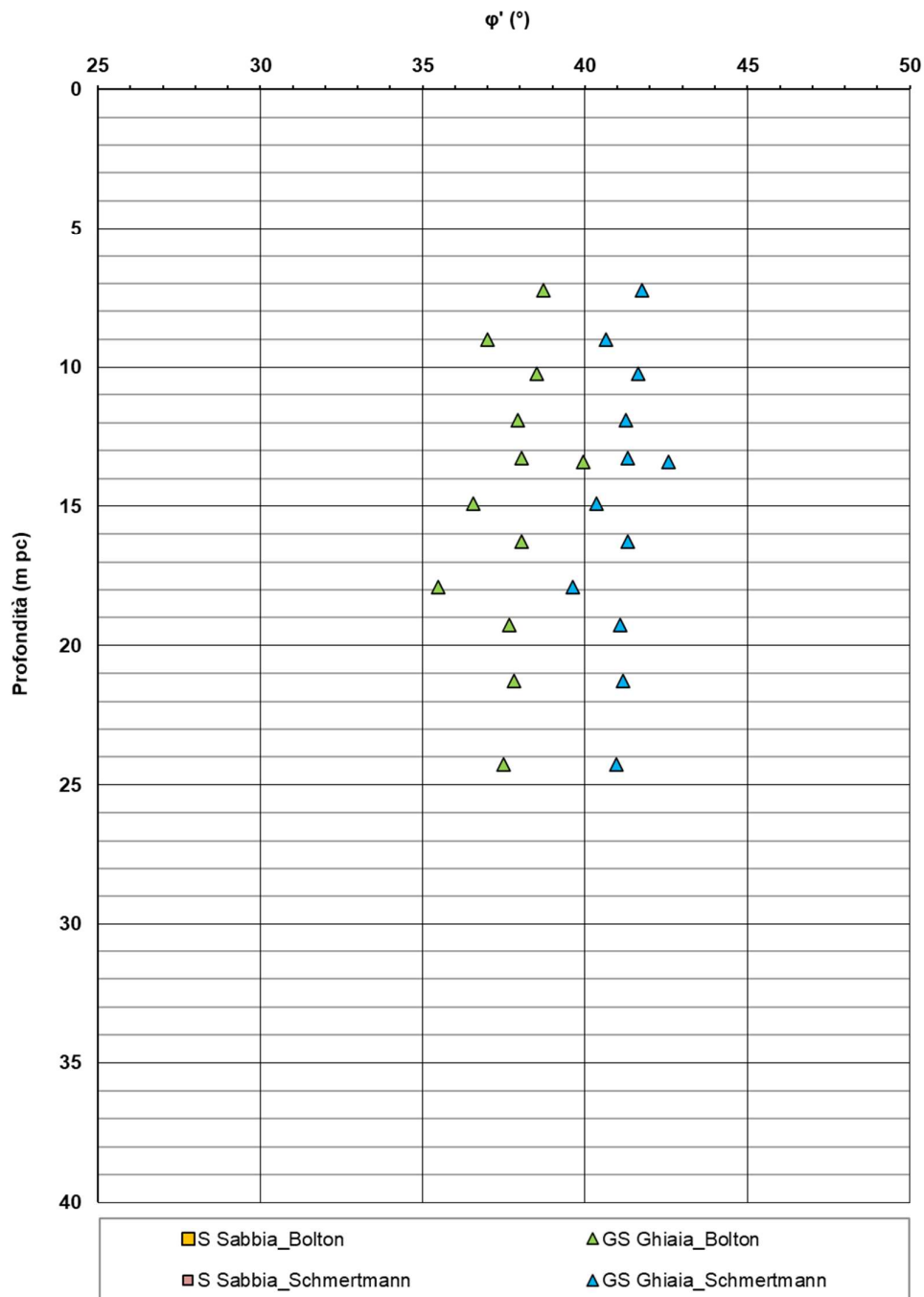


Figura 8 – Angoli di attrito da prove SPT tra pk 43+175 e pk 43+525



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8300001A

Foglio
17 di 112

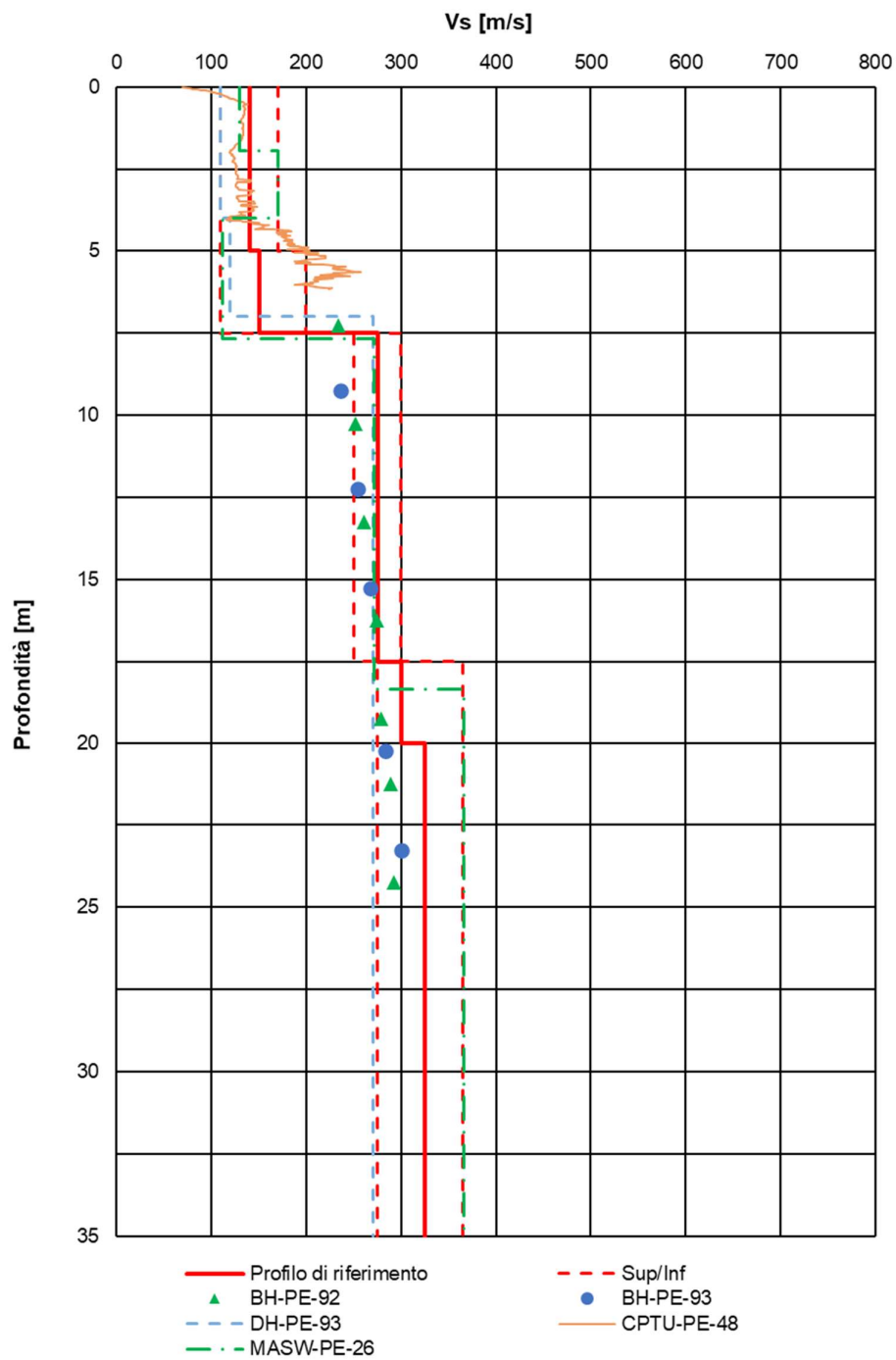


Figura 9 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW tra pk 43+175 e pk 43+525



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

18 di 112

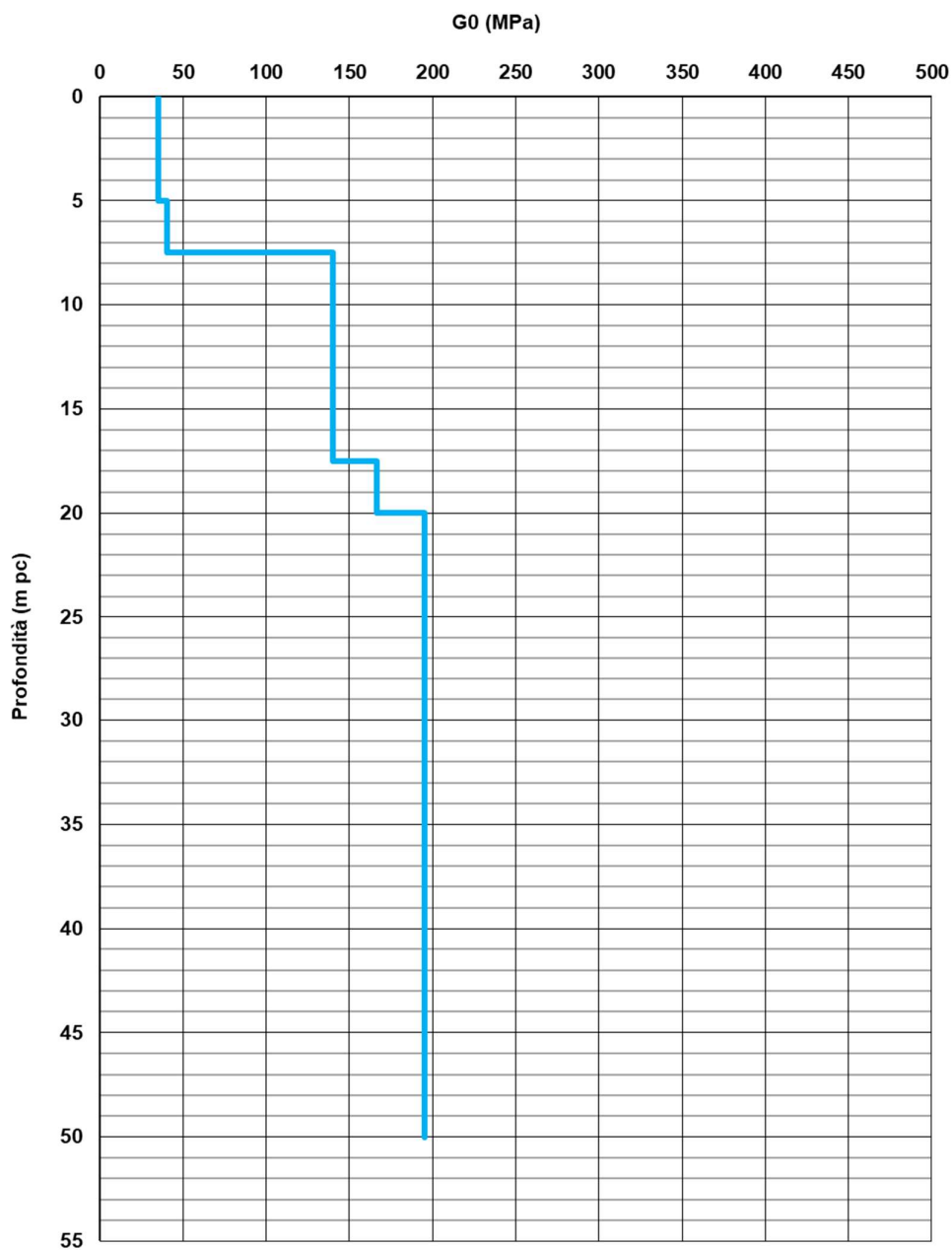




Figura 10 – Modulo di taglio G_0 tra pk 43+175 e pk 43+525

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI830001A	Foglio 19 di 112

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+175 a pk 43+525

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	6	18	28(36)**	-	50	-	5(11)**
6	6	-	19	39	-	-	140	80

* quota piano campagna = 36.6 m s.l.m.

quota imposta muro = quota testa pali = 35.6 m s.l.m.

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

*** la base dell'unità 2 è posta a quota variabile fra la +30 e la +31 m s.l.m.. La base degli strati liquefacibili individuati dalle prove CPTU si trova a quote variabili fra la +32 e la +33 m s.l.m.

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

- Come si vedrà in seguito, 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+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI830001A	Foglio 20 di 112

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+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 21 di 112

Tabella 5 – Valori del coefficiente di uso C_u

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

5.1.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

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

5.1.4 Categorie di Sottosuolo



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

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

5.1.5 Condizioni topografiche

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 22 di 112

5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

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

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

5.2 Suscettibilità alla liquefazione

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



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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 23 di 112

(CRR) così definiti:

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

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

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

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

dove:

a_{max} accelerazione di picco al sito

g accelerazione di gravità

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 $M=7.5$.

<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+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI830001A</p>	<p>Foglio 24 di 112</p>

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

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

5.2.1 CRR da correlazione su prove CPT

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

Il procedimento utilizzato per la stima di CRR a partire dai risultati di prove CPT si basa sulla relazione riportata in Figura 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 ($p_a = 100 \text{ kPa}$) e corretta (q_{c1N}) mediante la seguente relazione:

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

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

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

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

dove:

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

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

Tanto maggiore è il valore di I_c , tanto maggiore sarà il contenuto presunto di fini. Nell'analisi condotta il valore $I_c =$

2.6 è stato considerato lo spartiacque tra terreni con contenuto di fine inferiore a 35% e comportamento assimilabile 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):

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

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

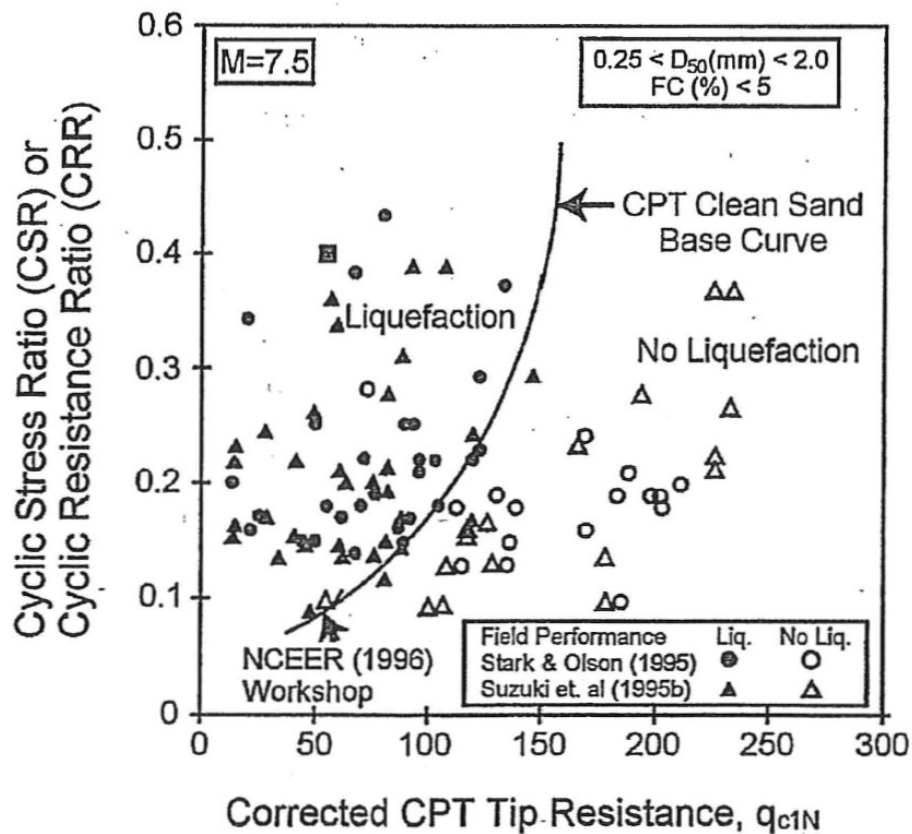




Figura 11 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

<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+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI830001A</p>	<p>Foglio 26 di 112</p>

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.

<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+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI8300001A</p>	<p>Foglio 27 di 112</p>

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

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

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60} + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

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

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

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

In cui:

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

σ'_{v0} = tensione verticale efficace

p_a = pressione atmosferica di riferimento

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

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

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

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

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

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

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

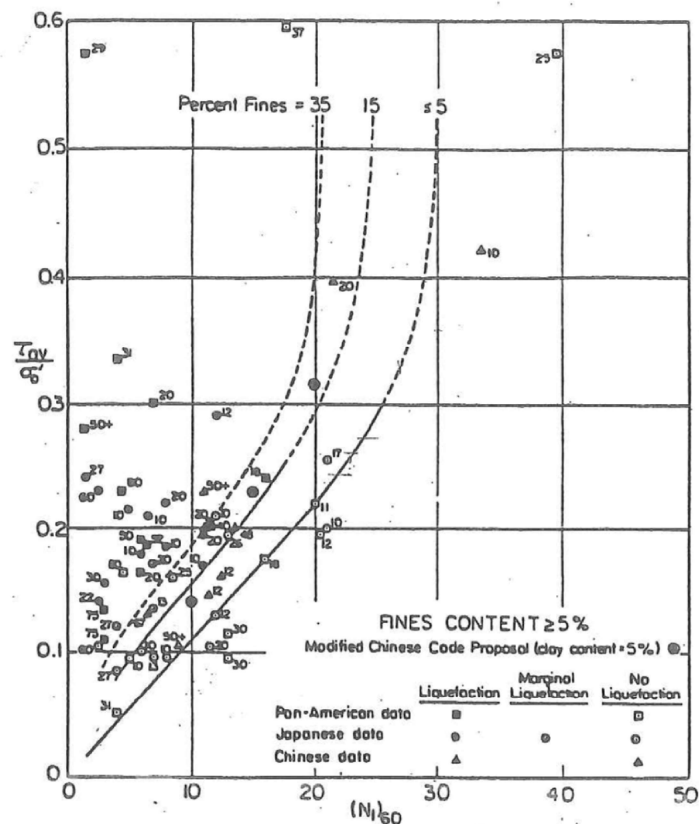




Figura 12 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

<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+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI8300001A</p>	<p>Foglio 29 di 112</p>

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 RI83.

In particolare:

- dall'analisi sulla CPTU100 si evidenzia la presenza di materiale potenzialmente liquefacibile con $FL < 1.0$. In questo caso, come già notato, i terreni si presentano più alternati, e la presenza di livelli effettivamente potenzialmente liquefacibili trova maggiore riscontro sperimentale. In aggiunta, i terreni argillosi, anche se presenti, sono caratterizzati da resistenze al taglio molto modeste. Pertanto, sotto l'effetto del carico ciclico, anch'essi in grado di sviluppare rilevanti sovrappressioni interstiziali, con conseguenti elevati cedimenti.
- dall'analisi sulla CPTU-PE-51 si evidenzia la presenza di materiale potenzialmente liquefacibile nei primi 4m di profondità, con $FL < 1.0$.
- dall'analisi sulla CPTU-PE-52 si individuano solo alcuni livelli di pochi centimetri di materiale potenzialmente liquefacibile, con $FL < 1.0$.
- dall'analisi dei valori SPT del sondaggio BH-PE-92 non si evidenzia il rischio di liquefazione. L'analisi della stratigrafia di tale sondaggio (v. ALLEGATO 2), indica che i materiali della coltre superficiale sono costituiti in gran parte da terreni di natura limoso e argillosa, pertanto non passibili di liquefazione.

Si conclude che la base degli strati liquefacibili oscilla fra la +32 e la +33 m s.l.m.

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

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



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI830001A

Foglio
30 di 112

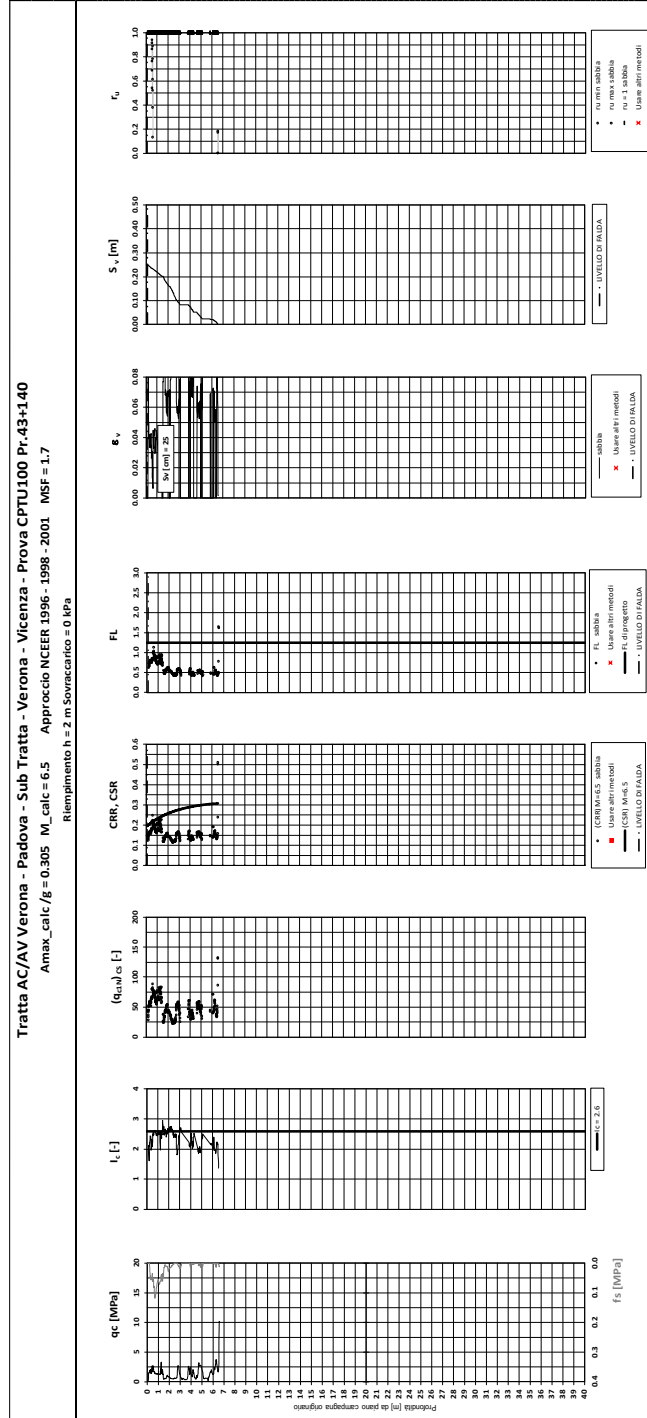


Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU100



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8300001A

Foglio
31 di 112

T tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-51 Pr. 43+226
a_{max} = 0.305g M_{lake} = 6.5 MSF = 1.7 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 2m

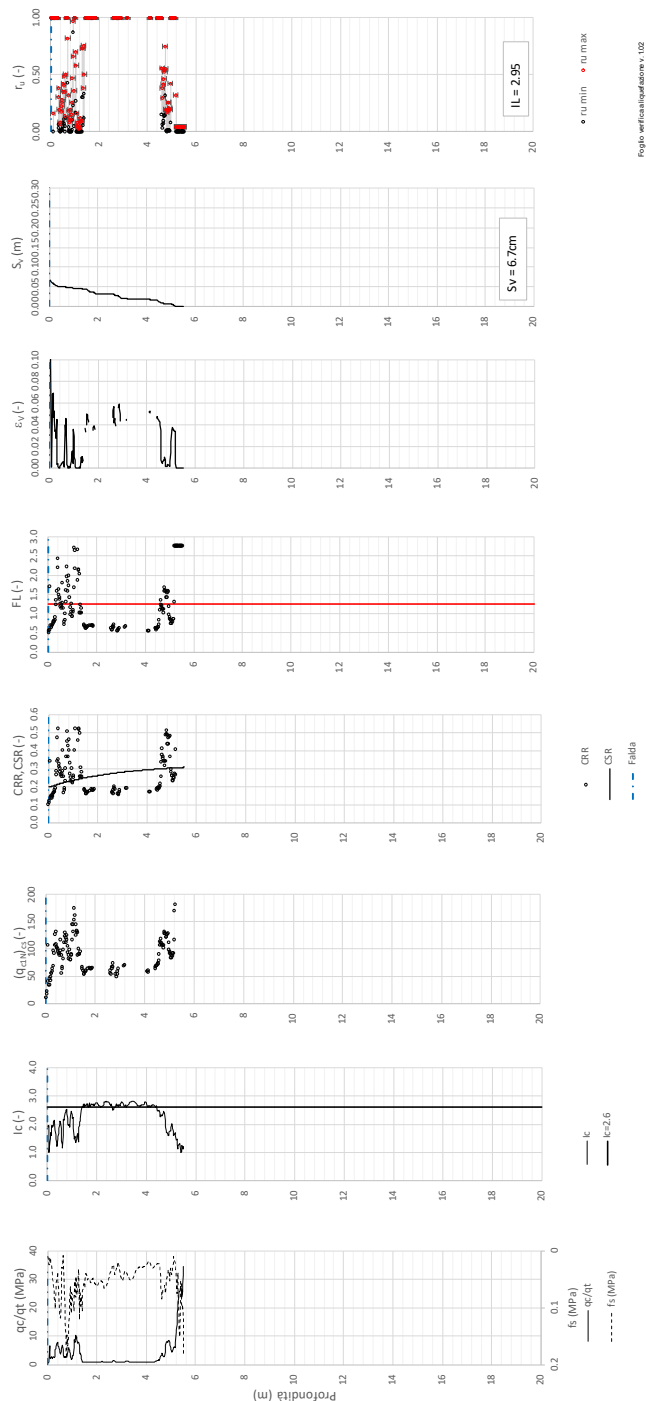


Figura 14 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-51



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8300001A

Foglio
32 di 112

T tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-52 Pr. 43+478
a_{max} = 0.305g M_{lake} = 6.5 MSF = 1.7 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 3m

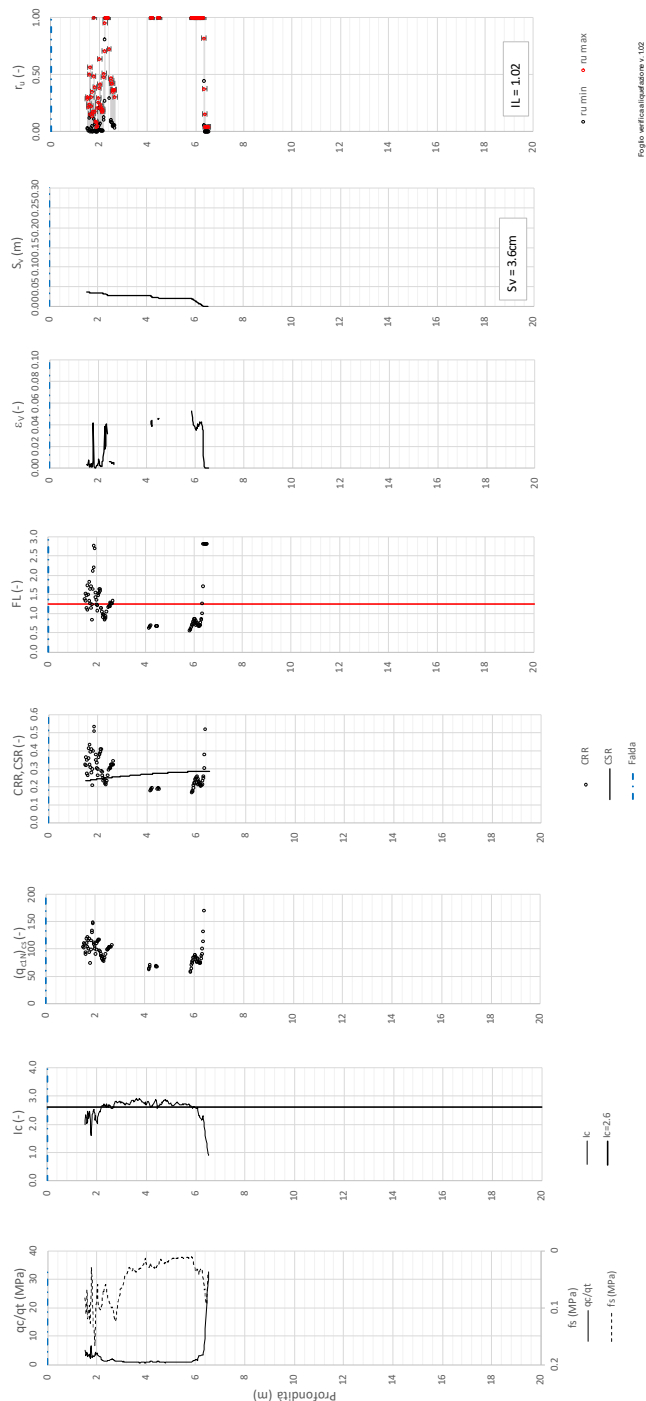


Figura 15 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-52



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

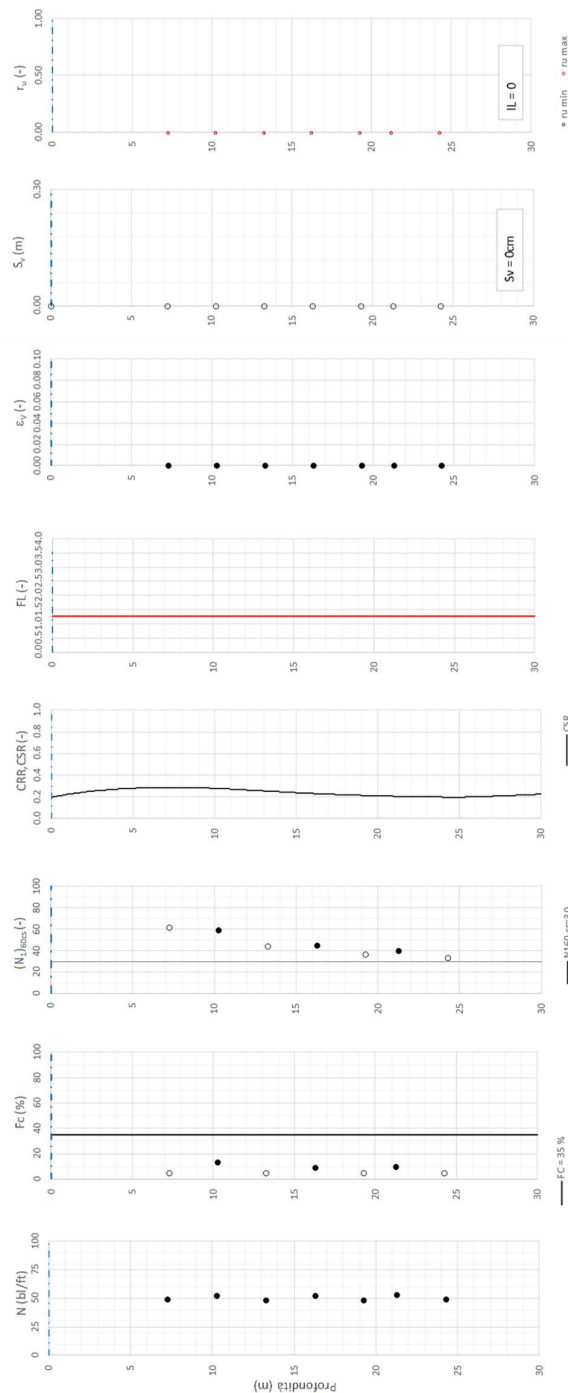
Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI830001A



Foglio
33 di 112

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova BH-PE-92 Pr. 43+500
a_max = 0.305g, M_calc = 6.5 MSF = 1.7 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 3m



Foglio verifica a liquefazione h.spt = 152

Figura 16 – Verifica Liquefazione da risultati SPT da BH-PE-92

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 34 di 112

5.2.4 Soil improvement

Come mostrato dalla CPTU100 e dalla CPTU-PE-51, all'inizio della tratta si evidenzia la presenza di 4 m di materiale a rischio di liquefazione. Anche nel proseguo della tratta, si evidenziano strati con importanti accumuli di sovrappressione interstiziale.

Pertanto, al fine di evitare importanti fenomeni di perdita di resistenza al taglio e di deformazione accumulata in prossimità della superficie, con importanti conseguenze sulla integrità e funzionalità della linea (anche tenendo in conto della modesta altezza del rilevato), dalla pk 43+175 alla pk 43+525 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, lunghezza $L=4$ m, 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).

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

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 17 Ac 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 a 0.198 (appunto di un fattore 0.65), si assiste ad un notevole miglioramento del comportamento del materiale, con limitazione delle sovrappressioni interstiziali, e quindi riduzione di cedimenti elevati.
- Si segnala inoltre che il metodo di Priebe trascura l'effetto di addensamento dei materiali indotto dalla realizzazione delle colonne. Inoltre, il metodo non tiene in conto dell'effetto di drenaggio indotto dalla presenza di colonne di ghiaia, che favorisce ulteriore diminuzione delle sovrappressioni.
- Si conclude pertanto che tale trattamento è in grado di limitare sensibilmente i danni potenziali derivanti da una elevata mobilitazione della resistenza al taglio ciclica, con considerevole riduzione dei cedimenti e dei danni localizzati.

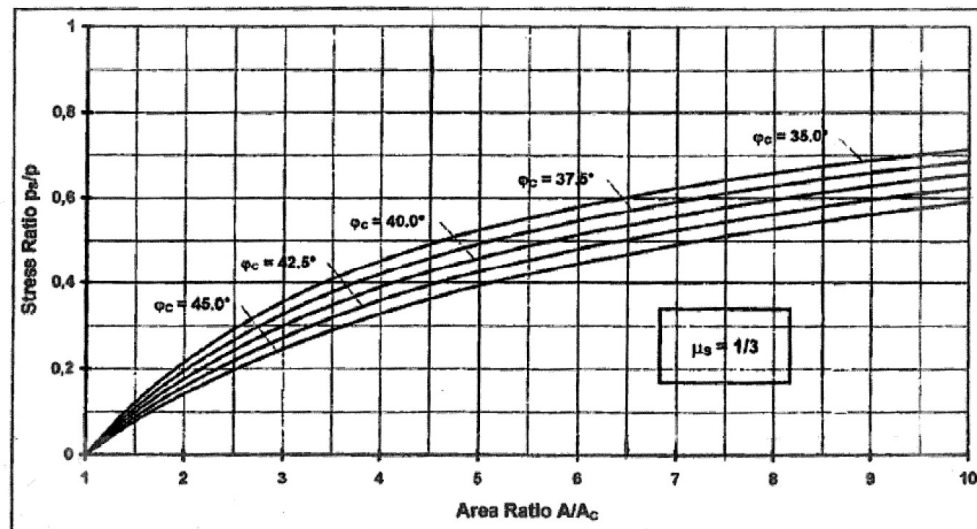


Figura 17 – Riduzione dello stress ratio sismico in funzione dell'area ratio delle colonne di ghiaia
(Doc.Rif.[35])



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI830001A

Foglio
36 di 112

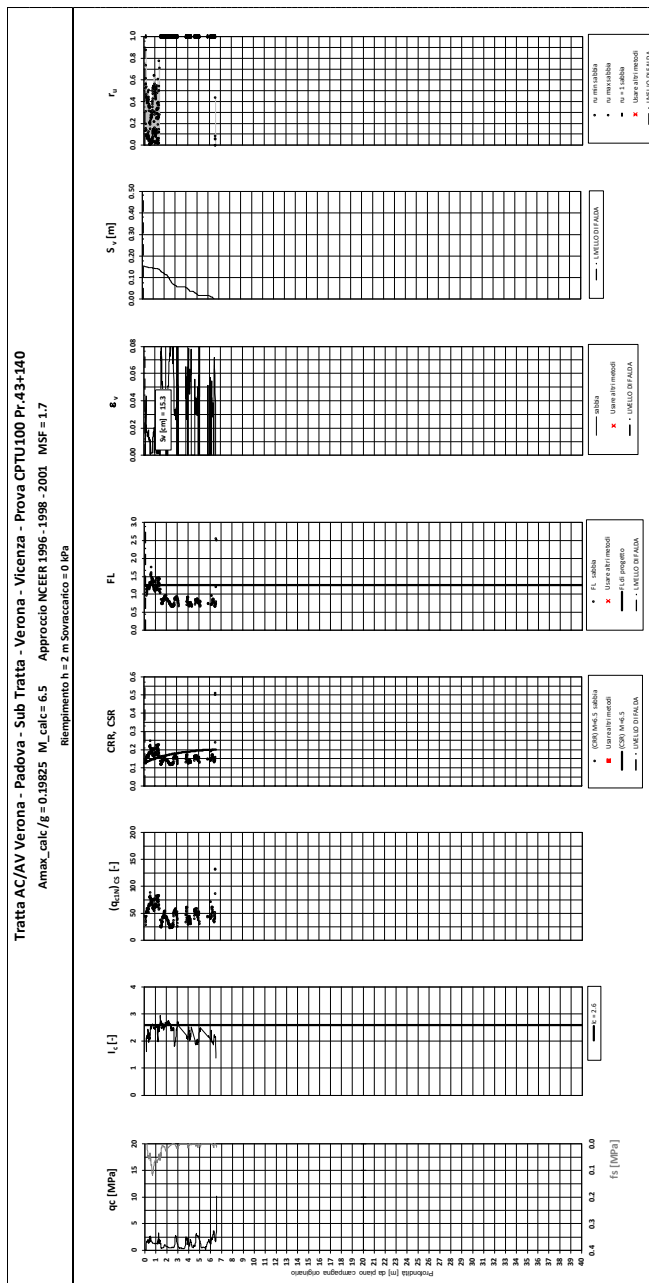


Figura 18 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU100 dopo soil improvement



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI830001A

Foglio
37 di 112

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-51 Pr. 43+226
 $\sigma_{h,max} = 0.15825g$ $M_{calc} = 6.5$ $MSF = 1.7$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
 Altezza rilevato = 2m

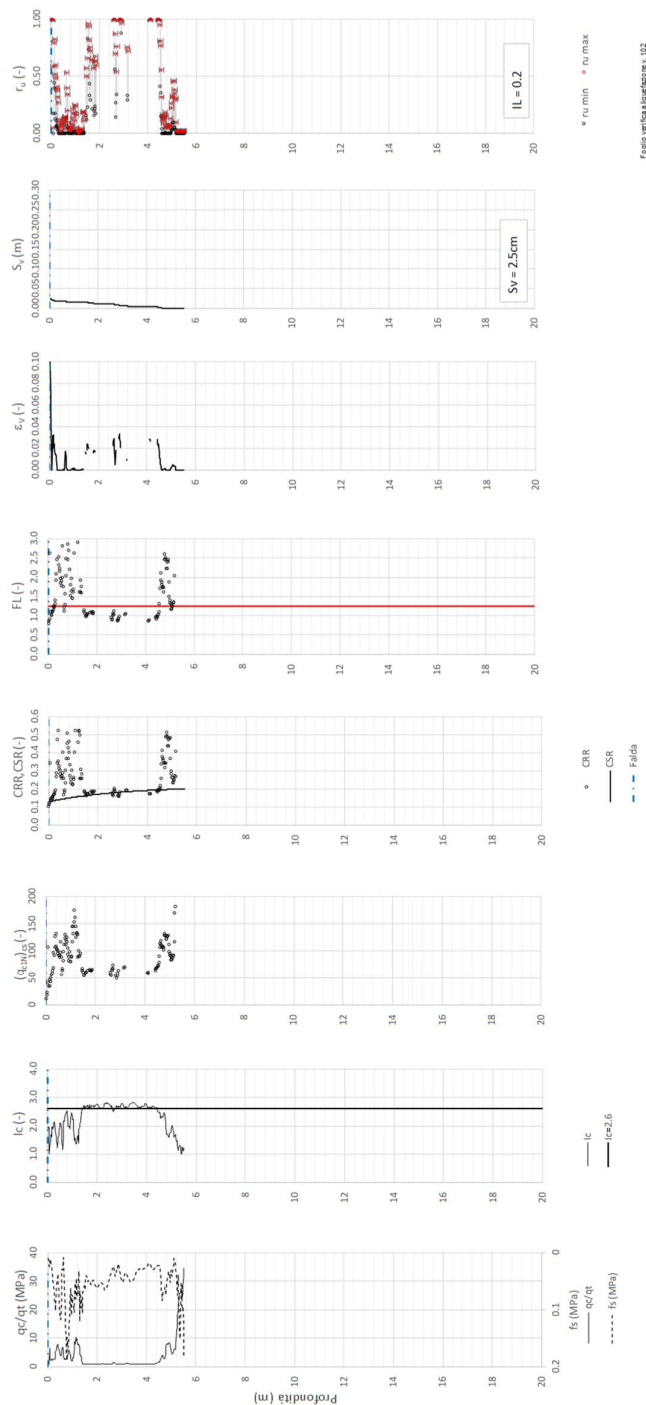


Figura 19 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-51 dopo soil improvement



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI830001A

Foglio
38 di 112

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-52 Pr. 43+478
 $s_{u,max} = 0.19825g$ $M_{i,calc} = 6.5$ $MSF = 1.7$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
 Altezza rilevato = 3m

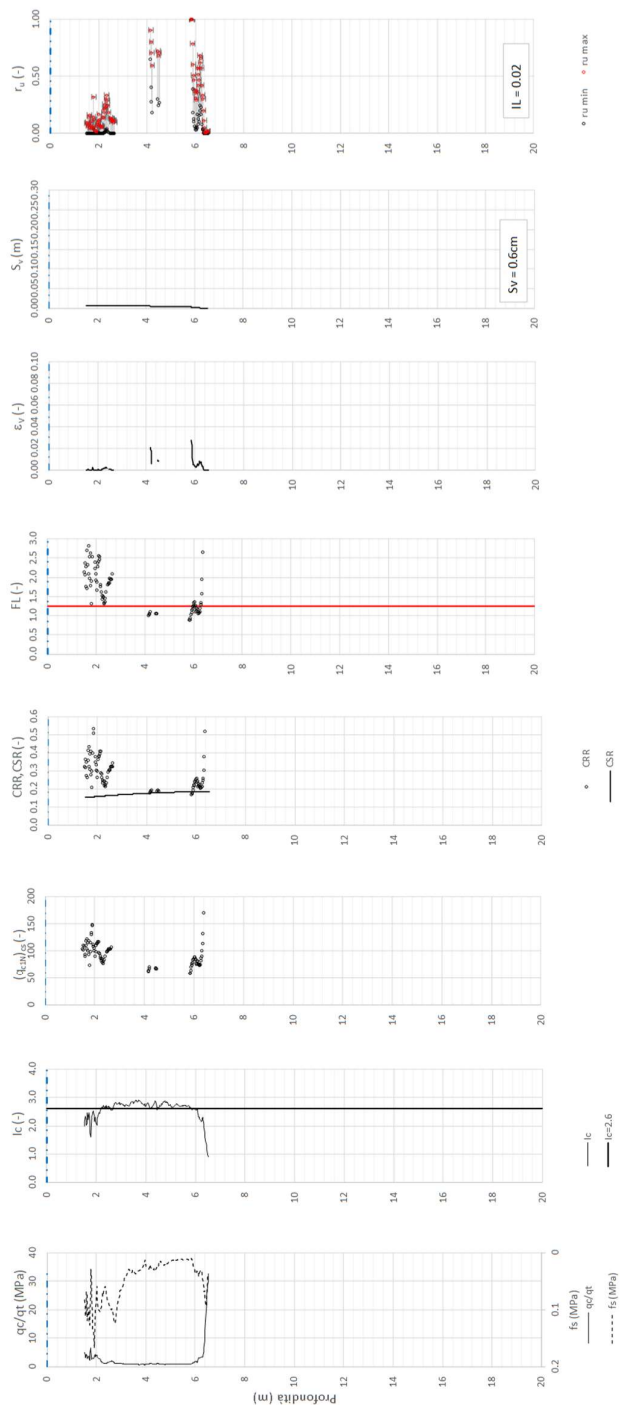




Figura 20 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-52 dopo soil improvement

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI830001A	Foglio 39 di 112

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  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI830001A	Foglio 40 di 112

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  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI830001A	Foglio 41 di 112

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 della LS e mantenendo quest'ultimo in esercizio durante i lavori, si richiede che una stima del cedimento delle due rotaie, fornendo una valutazione del loro 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.

<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+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI8300001A</p>	<p>Foglio 42 di 112</p>

6.2.1 Azioni permanenti

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

Peso massicciata e armamento 18 kN/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.

6.2.1 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).

6.2.2 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+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 43 di 112

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 in Tabella 2.

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. 6.2.1) 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 21 sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2. Il valore minimo di FS è pari a:

$$F_{S\text{MIN}}(\text{DA1C2}) = 1.602 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

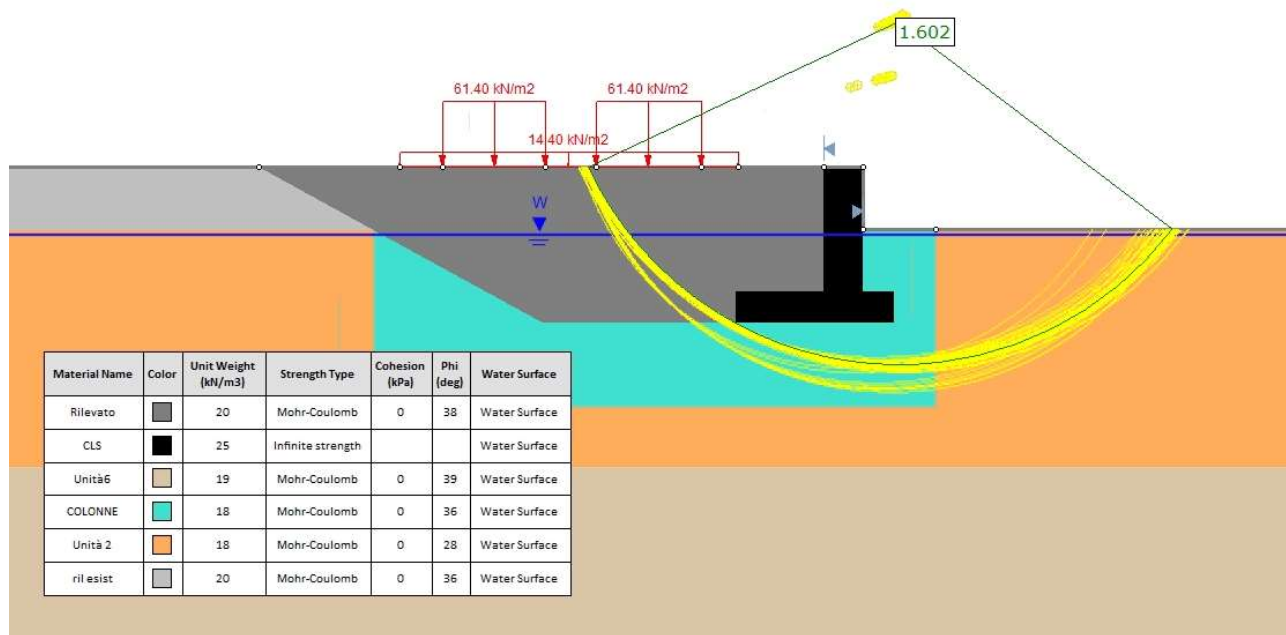


Figura 21 – Sezione A - Analisi SLU in campo statico DA1C2

6.3.3 Verifiche SLU in condizioni sismiche

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

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

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

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

$$F_{S_{MIN}} = 1.585 > R_2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.

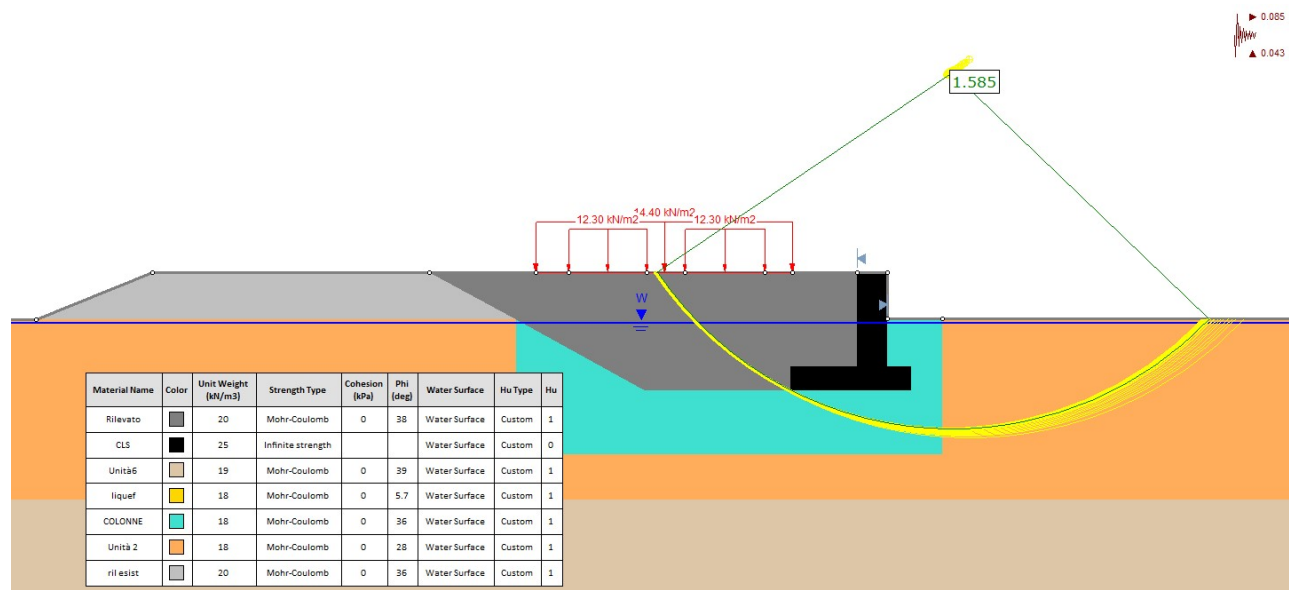


Figura 22 – Sezione A - Analisi SLU in campo sismico

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

$$FS_{\text{MIN}} = 1.79 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale post sisma risulta soddisfatta.

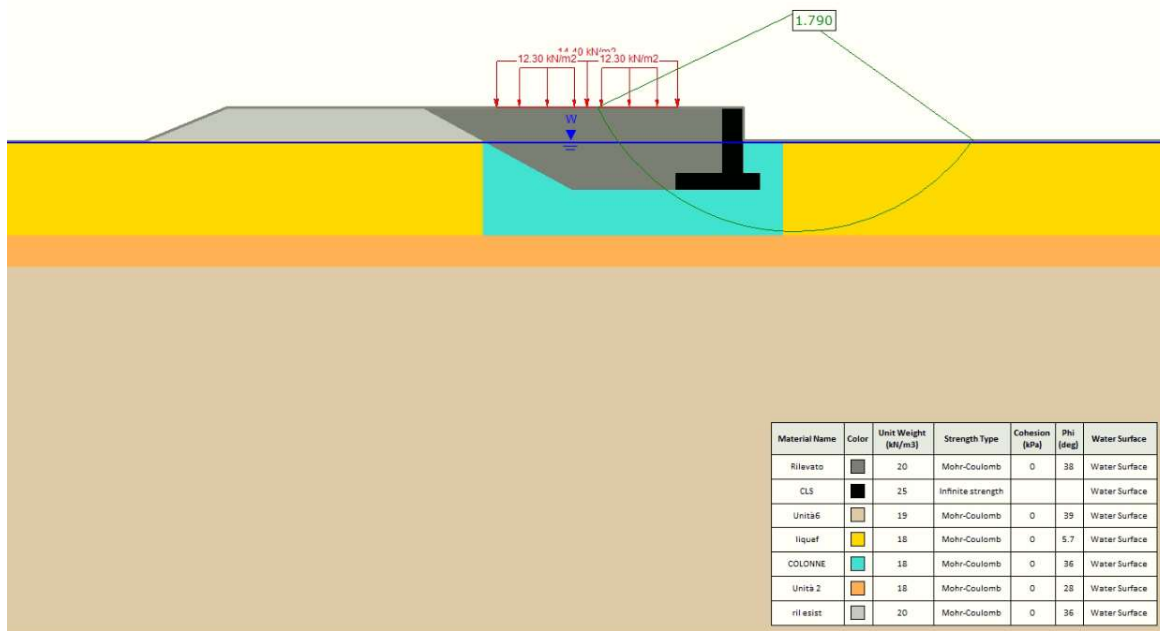




Figura 23 – Sezione A - Analisi SLU post sisma

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 47 di 112

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.

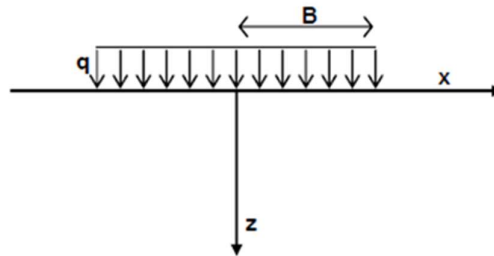


Figura 24 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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:

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

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

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

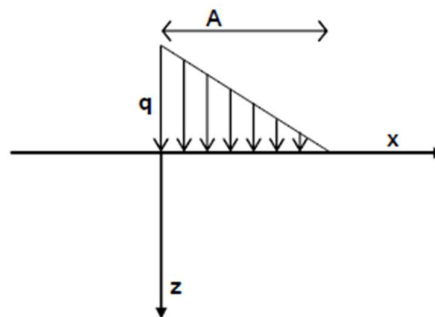




Figura 25 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 49 di 112

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

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

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

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

dove

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

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

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 3.8 m, è riportato in Figura 24. Il rilevato esistente è largo 20 m e alto 3.8 m, il rilevato in affiancamento è alto 3.8 m e largo 15 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 colone 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 27.

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

- Rilevato esistente (linea storica), vedi Figura 24 a)
- Affiancamento e completamento rilevato nuova linea, vedi Figura 24 b)

Il cedimento calcolato in corrispondenza del centro del nuovo rilevato è di circa 7.6 cm .

Considerando che:

- La maggior parte del cedimento avviene per compressione degli strati superficiali (v. Figura 28), caratterizzati da valori di c_v elevati ($>5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$), 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.

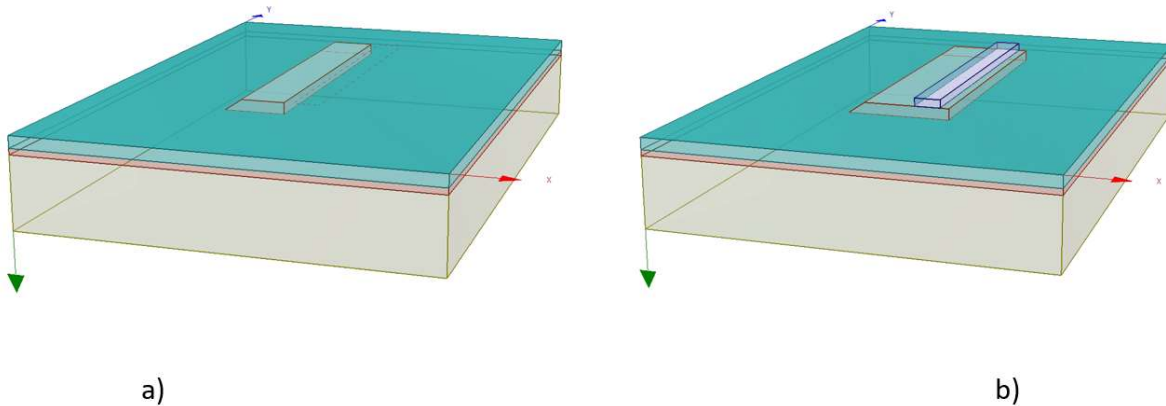


Figura 26 - Rilevato RI83 - Analisi SLE – Modello di calcolo



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
 Relazione Geotecnica

Progetto
 IN17

Lotto
 12

Codifica
 EI2RBRI8300001A

Foglio
 51 di 112

Ri83 : Cedimento del rilevato ferroviario linea AV

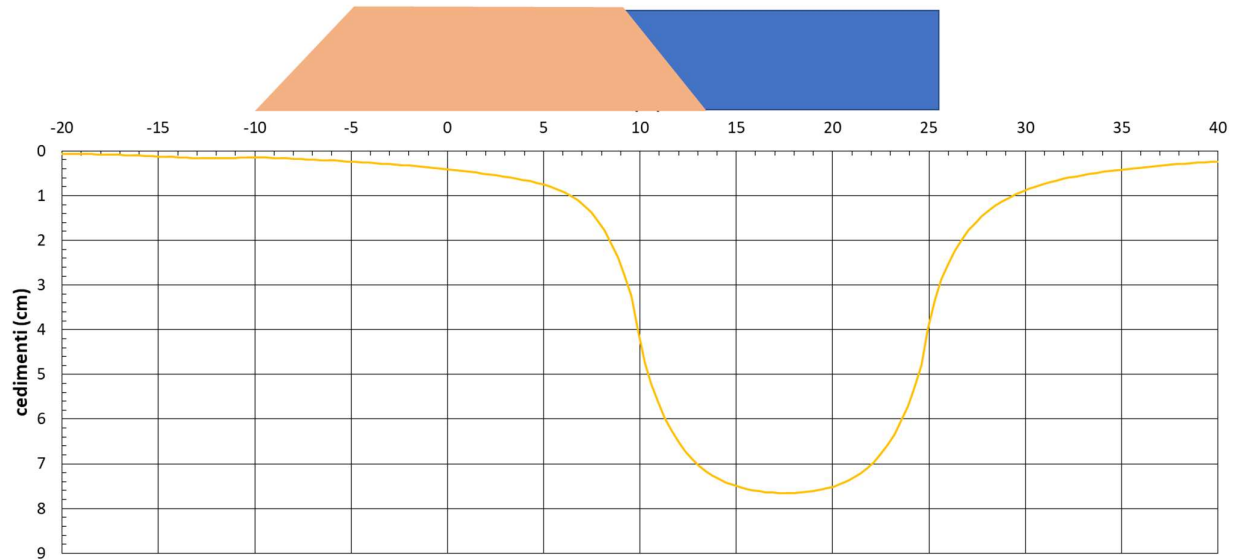


Figura 27 - Rilevato RI83 - Analisi SLE – Cedimenti



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

52 di 112

Ri83: Cedimento al centro del rilevato ferroviario Av

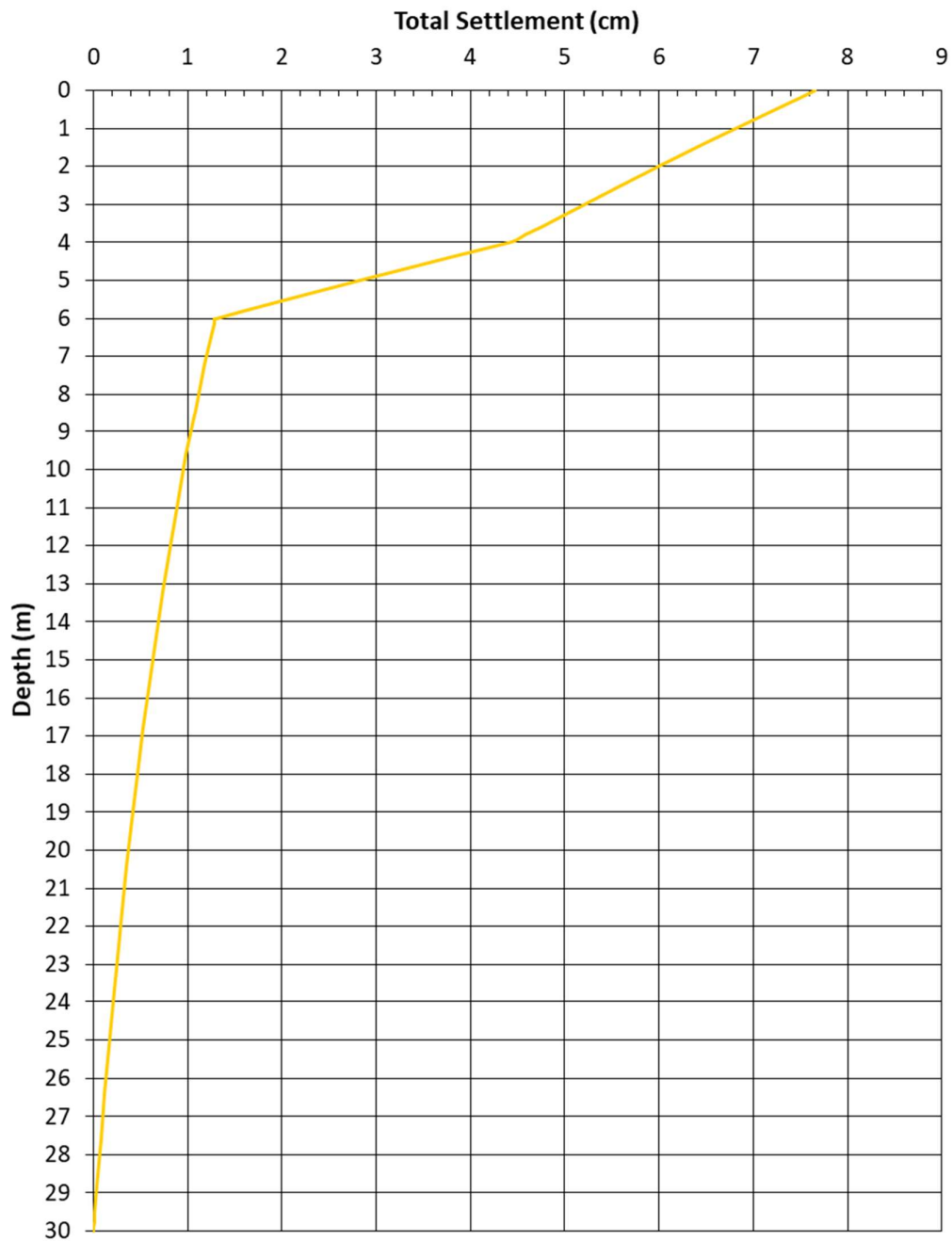




Figura 28 - Rilevato RI83 - Analisi SLE – Risultato cedimenti in profondità al centro del rilevato

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 53 di 112

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 nelle seguenti Tabella 11 e Tabella 12.



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

La resistenza di progetto a compressione $R_{c,d}$ è calcolata applicando al valore caratteristico della resistenza $R_{c,k}$ i coefficienti parziali 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:

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

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

<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+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI830001A</p>	<p>Foglio 54 di 112</p>

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+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 55 di 112

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+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 56 di 112

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 29).

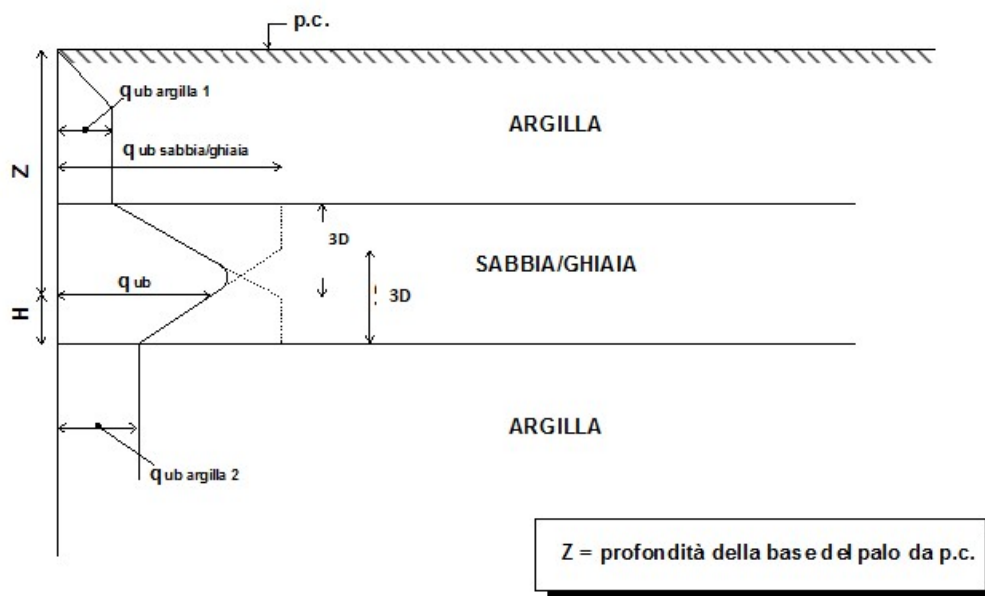




Figura 29 - Criterio di valutazione della pressione ultima di base (q_{ub}) in terreni stratificati

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 58 di 112

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+175 a pk 43+525

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	6	18	28(36)**	-	50	-	5(11)**		20000	
6	6	-	19	39	-	-	140	80	3500	$k_h \cdot z$	15000

* quota piano campagna = 36.6 m s.l.m.

quota imposta muro = quota testa pali = 35.6 m s.l.m.

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

La quota testa pali si trova quindi a 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.



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI830001A

59 di 112

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	269	127	388	158	145	64	211	153
5.50	326	343	660	192	176	172	351	185
6.00	398	558	946	234	215	279	500	225
6.50	473	774	1236	278	256	387	650	267
7.00	552	990	1530	324	298	495	804	310
7.50	635	990	1612	373	343	495	851	356
8.00	721	990	1697	424	390	495	900	404
8.50	809	990	1785	475	437	495	952	451
9.00	901	990	1875	529	487	495	1005	502
9.50	995	990	1969	585	538	495	1059	554
10.00	1092	990	2064	642	590	495	1114	607
10.50	1190	990	2162	699	643	495	1170	661
11.00	1290	990	2261	758	697	495	1228	716
11.50	1392	990	2362	818	752	495	1286	772
12.00	1495	990	2465	878	808	495	1347	828
12.50	1600	990	2568	940	865	495	1407	886
13.00	1705	990	2673	1002	922	495	1468	944
13.50	1812	990	2778	1065	979	495	1529	1002
14.00	1918	990	2884	1127	1037	495	1590	1061
14.50	2025	990	2990	1190	1095	495	1652	1120
15.00	2133	990	3097	1253	1153	495	1715	1178
15.50	2240	990	3203	1316	1211	495	1776	1237
16.00	2346	990	3309	1378	1268	495	1837	1295
16.50	2453	990	3414	1441	1326	495	1899	1354
17.00	2558	990	3519	1503	1383	495	1959	1412
17.50	2663	990	3623	1565	1439	495	2020	1469
18.00	2767	990	3726	1626	1496	495	2079	1527
18.50	2869	990	3827	1686	1551	495	2139	1582
19.00	2970	990	3927	1745	1605	495	2197	1637
19.50	3069	990	4025	1803	1659	495	2254	1692
20.00	3166	990	4122	1860	1711	495	2310	1745
20.50	3261	990	4216	1916	1763	495	2364	1798
21.00	3354	990	4308	1971	1813	495	2418	1849
21.50	3444	990	4397	2024	1862	495	2470	1898
22.00	3532	990	4484	2075	1909	495	2521	1946
22.50	3617	990	4568	2125	1955	495	2569	1993
23.00	3699	990	4650	2173	1999	495	2616	2038
23.50	3778	990	4727	2220	2042	495	2661	2082
24.00	3853	990	4802	2264	2083	495	2704	2124
24.50	3925	990	4873	2306	2122	495	2745	2164
25.00	3993	990	4940	2346	2158	495	2785	2200
25.50	4057	990	5003	2384	2193	495	2821	2236
26.00	4117	990	5062	2419	2225	495	2855	2269
26.50	4174	990	5119	2452	2256	495	2887	2301
27.00	4232	990	5175	2486	2288	495	2920	2334
27.50	4290	990	5233	2521	2319	495	2953	2366
28.00	4350	990	5292	2556	2351	495	2987	2399
28.50	4410	990	5351	2591	2384	495	3022	2432
29.00	4472	990	5412	2627	2417	495	3057	2466
29.50	4535	990	5474	2665	2451	495	3093	2501
30.00	4598	990	5537	2702	2485	495	3128	2536

Figura 30 – Riassunto curve di capacità portante SLU/SLE per pali D=600 mm



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

60 di 112

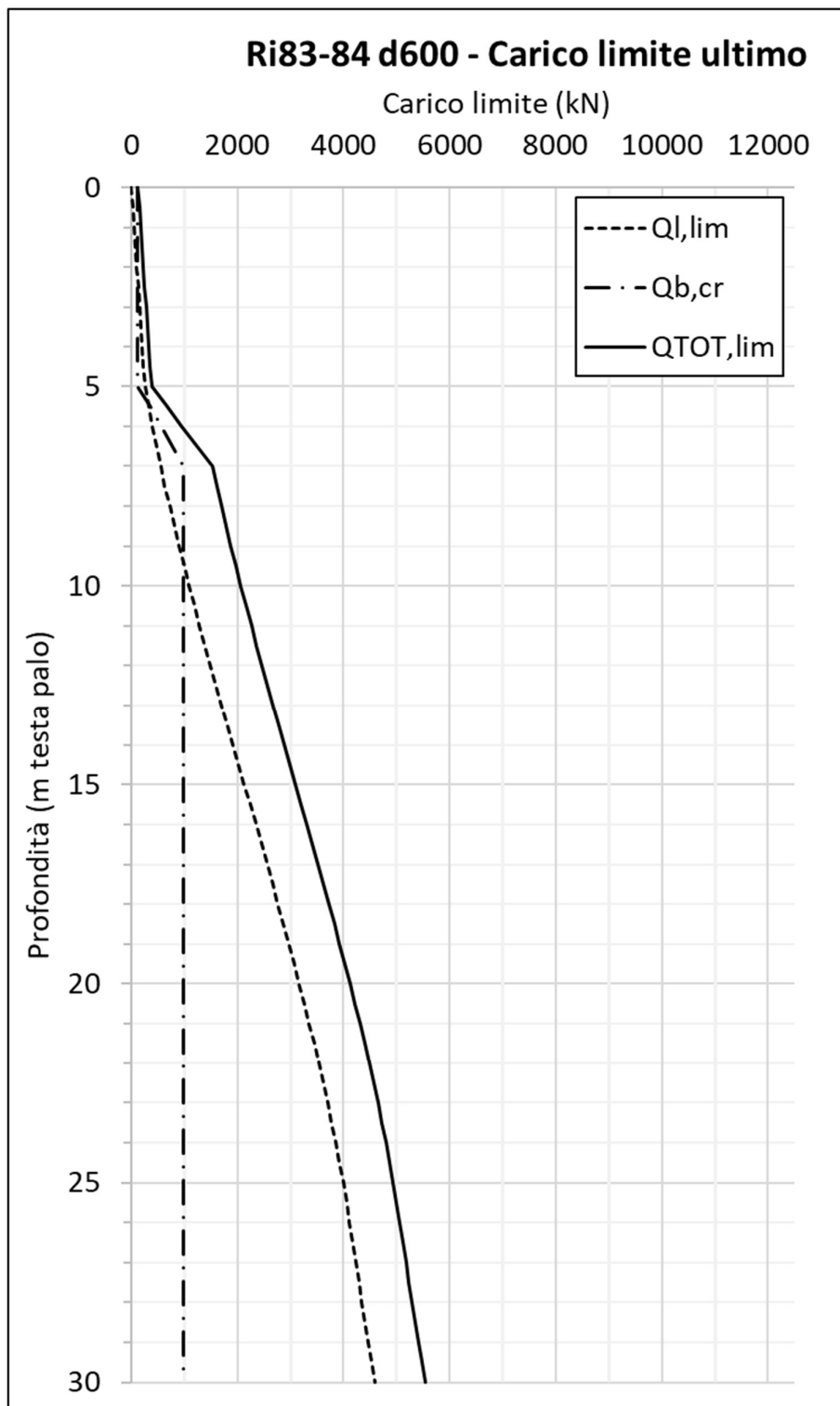


Figura 31 – Curve di carico limite ultimo per pali D=600 mm

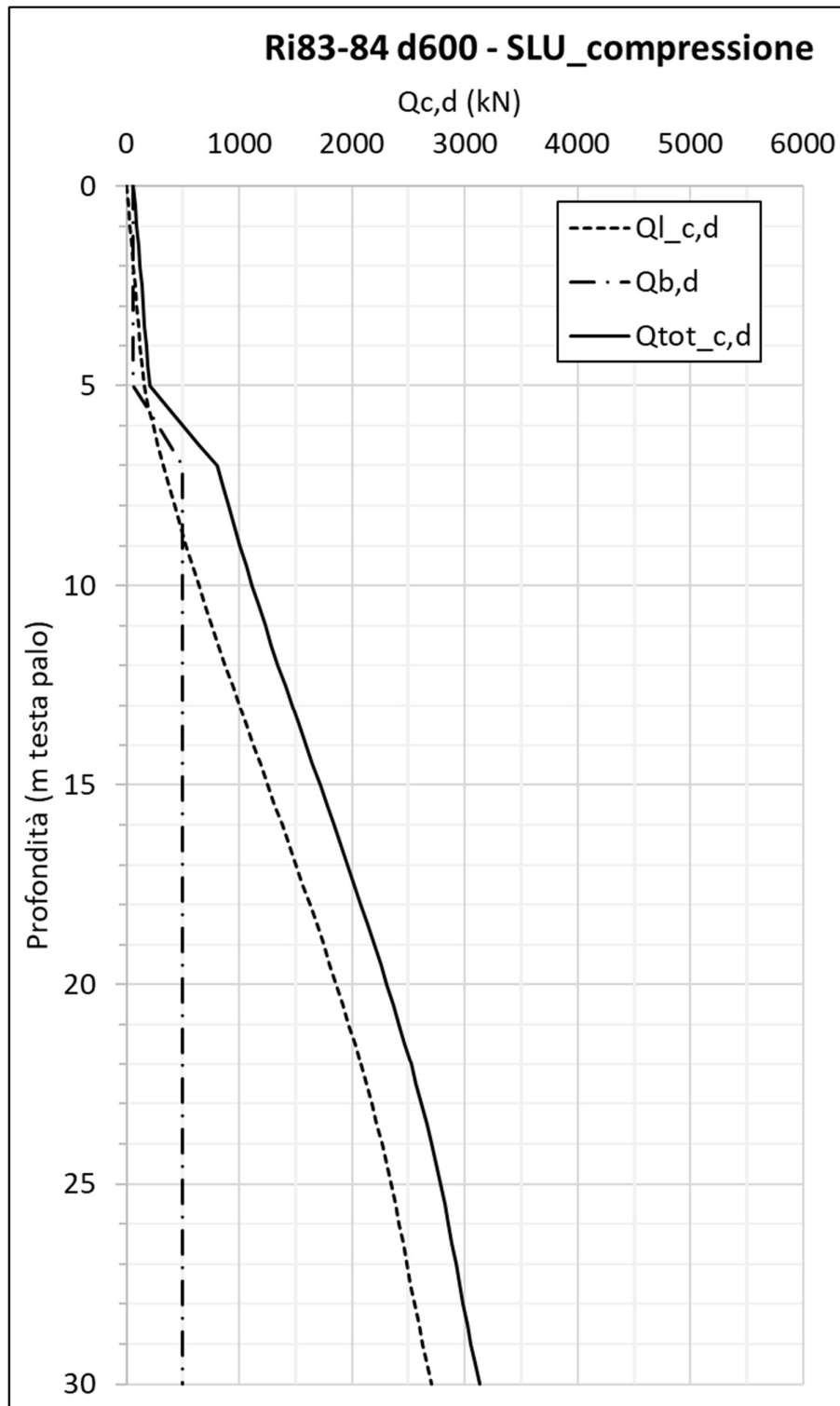


Figura 32 – Curve di capacità portante SLU, compressione per pali $D=600$ mm



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

62 di 112

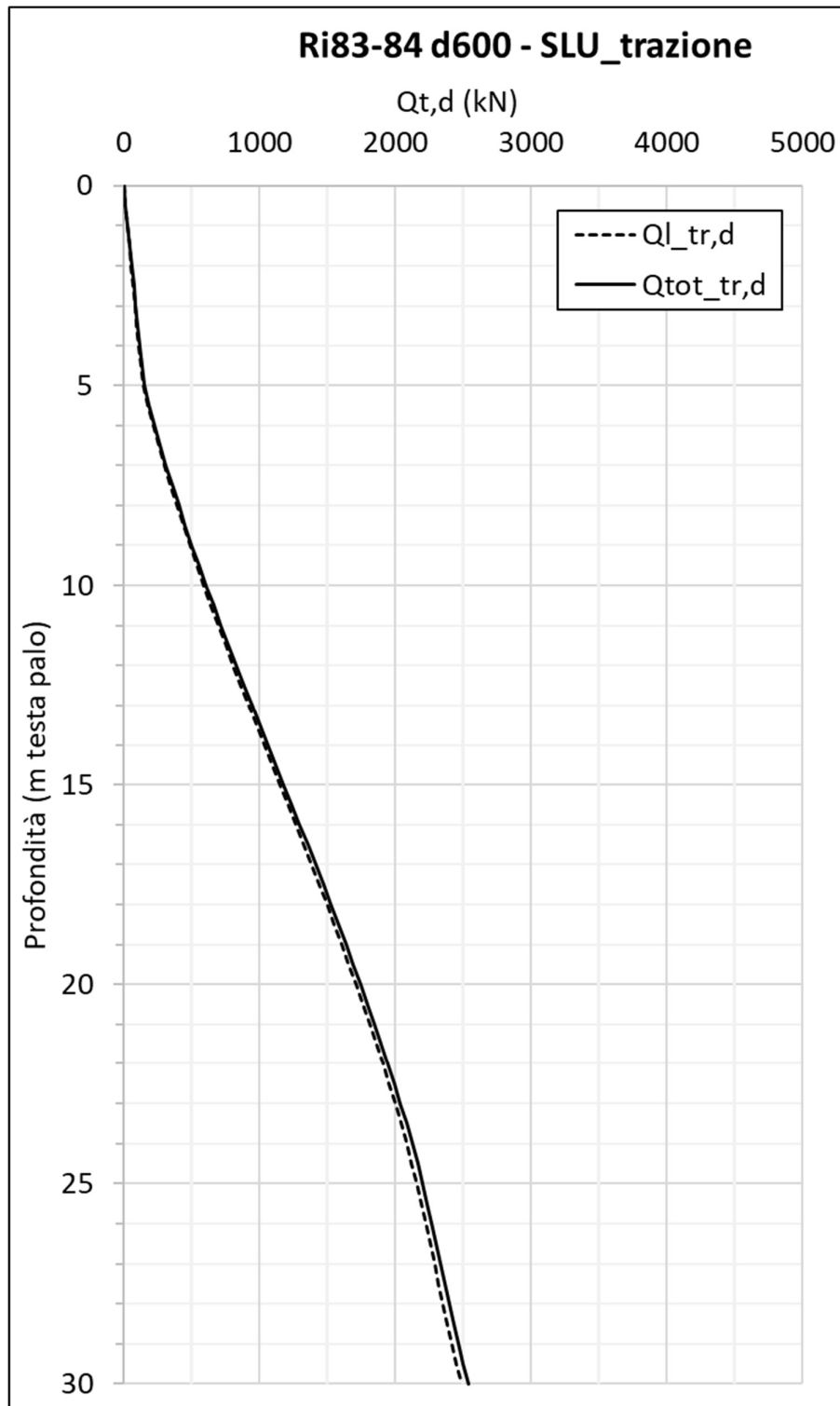


Figura 33 – Curve di capacità portante SLU, trazione per pali D=600 mm

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	359	226	570	211	194	113	304	209
5.50	435	533	951	256	235	267	499	252
6.00	530	839	1352	311	286	420	707	304
6.50	631	1146	1757	371	341	574	917	361
7.00	736	1453	2168	432	398	727	1131	419
7.50	846	1759	2583	497	457	880	1346	480
8.00	961	1759	2696	565	519	880	1413	543
8.50	1079	1759	2813	634	583	880	1479	609
9.00	1201	1759	2934	706	649	880	1550	676
9.50	1327	1759	3057	780	717	880	1621	746
10.00	1455	1759	3185	855	786	880	1695	816
10.50	1587	1759	3314	932	858	880	1770	890
11.00	1720	1759	3446	1011	930	880	1846	963
11.50	1856	1759	3581	1090	1003	880	1924	1038
12.00	1994	1759	3717	1172	1078	880	2003	1114
12.50	2133	1759	3855	1253	1153	880	2082	1191
13.00	2274	1759	3994	1336	1229	880	2164	1268
13.50	2415	1759	4134	1419	1305	880	2244	1346
14.00	2558	1759	4275	1503	1383	880	2327	1425
14.50	2700	1759	4416	1586	1459	880	2407	1503
15.00	2843	1759	4557	1670	1537	880	2490	1582
15.50	2986	1759	4699	1754	1614	880	2571	1661
16.00	3129	1759	4840	1838	1691	880	2654	1739
16.50	3270	1759	4980	1921	1768	880	2734	1818
17.00	3411	1759	5119	2004	1844	880	2816	1895
17.50	3551	1759	5257	2086	1919	880	2895	1972
18.00	3689	1759	5394	2167	1994	880	2975	2048
18.50	3825	1759	5529	2247	2068	880	3052	2124
19.00	3959	1759	5661	2326	2140	880	3130	2197
19.50	4092	1759	5792	2404	2212	880	3205	2271
20.00	4221	1759	5920	2480	2282	880	3279	2342
20.50	4348	1759	6046	2555	2350	880	3351	2412
21.00	4472	1759	6168	2627	2417	880	3423	2480
21.50	4592	1759	6287	2698	2482	880	3491	2547
22.00	4709	1759	6402	2767	2545	880	3558	2611
22.50	4823	1759	6514	2834	2607	880	3622	2675
23.00	4932	1759	6622	2898	2666	880	3685	2735
23.50	5037	1759	6725	2959	2723	880	3744	2794
24.00	5137	1759	6824	3018	2777	880	3801	2849
24.50	5233	1759	6918	3075	2829	880	3855	2903
25.00	5324	1759	7008	3128	2878	880	3907	2953
25.50	5409	1759	7091	3178	2924	880	3954	3001
26.00	5489	1759	7170	3225	2967	880	4000	3045
26.50	5565	1759	7245	3270	3008	880	4042	3088
27.00	5642	1759	7320	3315	3050	880	4086	3131
27.50	5720	1759	7396	3361	3092	880	4129	3175
28.00	5799	1759	7474	3407	3135	880	4174	3219
28.50	5880	1759	7554	3455	3178	880	4219	3264
29.00	5962	1759	7634	3503	3223	880	4266	3310
29.50	6046	1759	7716	3552	3268	880	4313	3357
30.00	6131	1759	7800	3602	3314	880	4361	3404

Figura 34 – Riassunto curve di capacità portante SLU/SLE per pali D=800 mm



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8300001A

Foglio
64 di 112

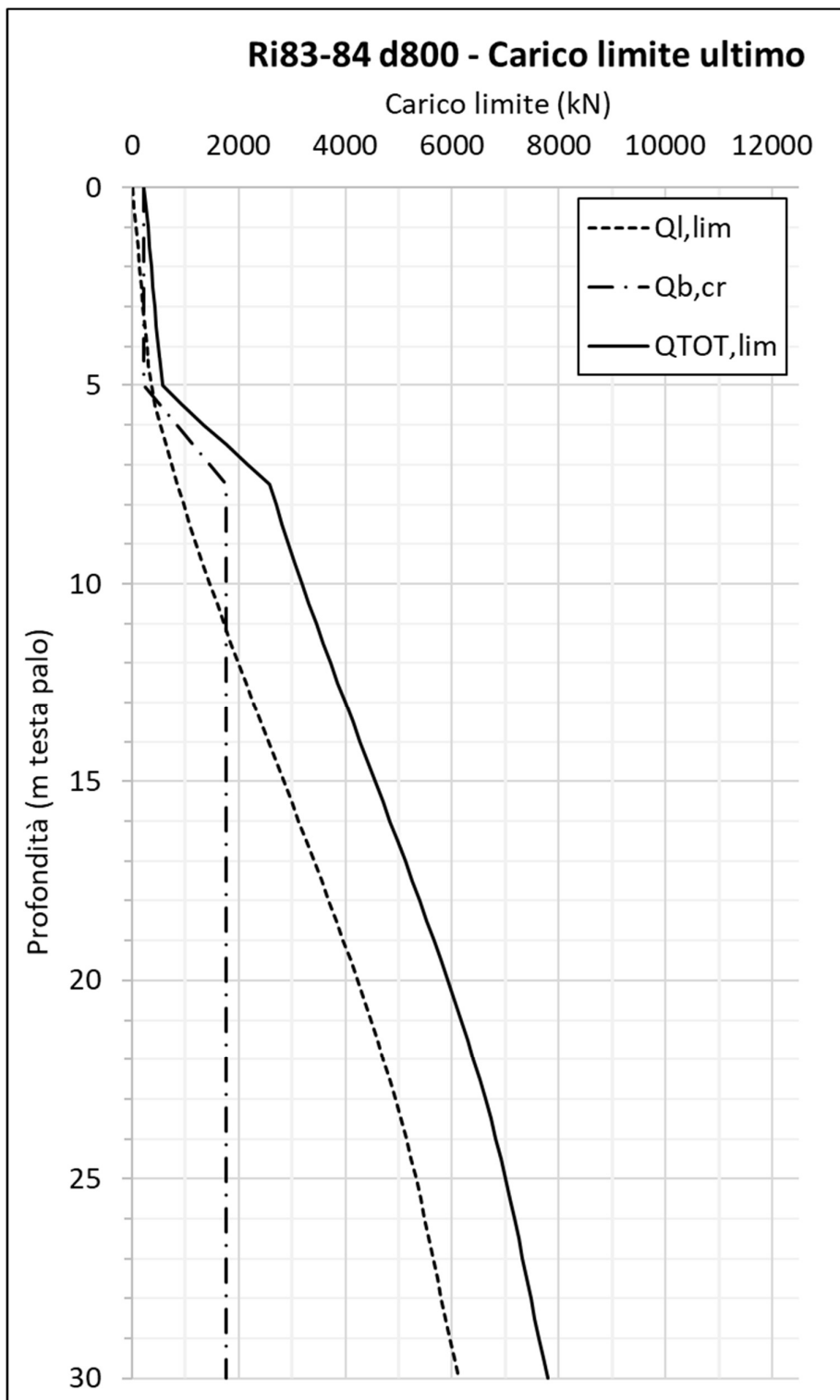


Figura 35 – Curve di carico limite ultimo per pali D=800 mm

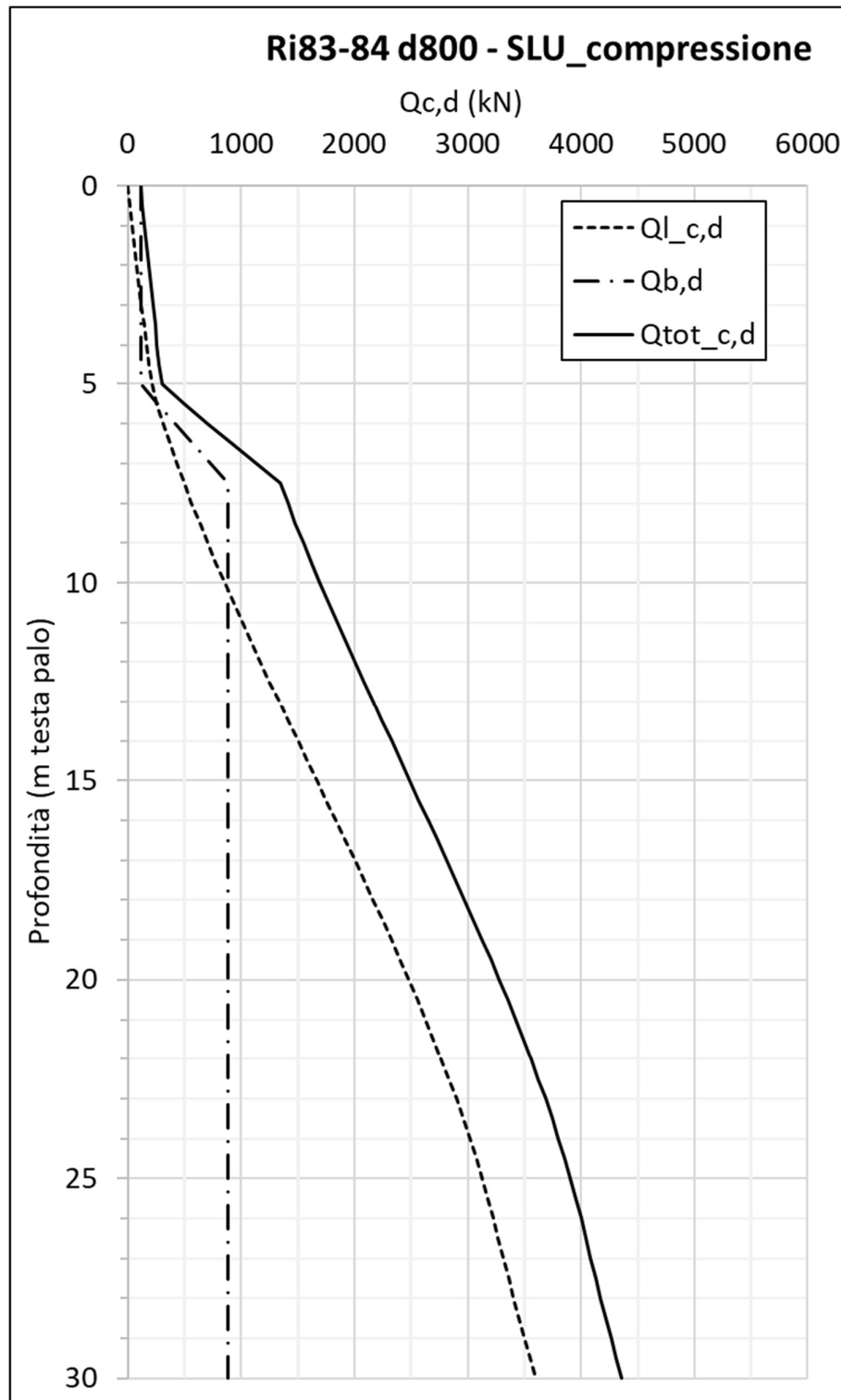


Figura 36 – Curve di capacità portante SLU, compressione per pali $D=800$ mm

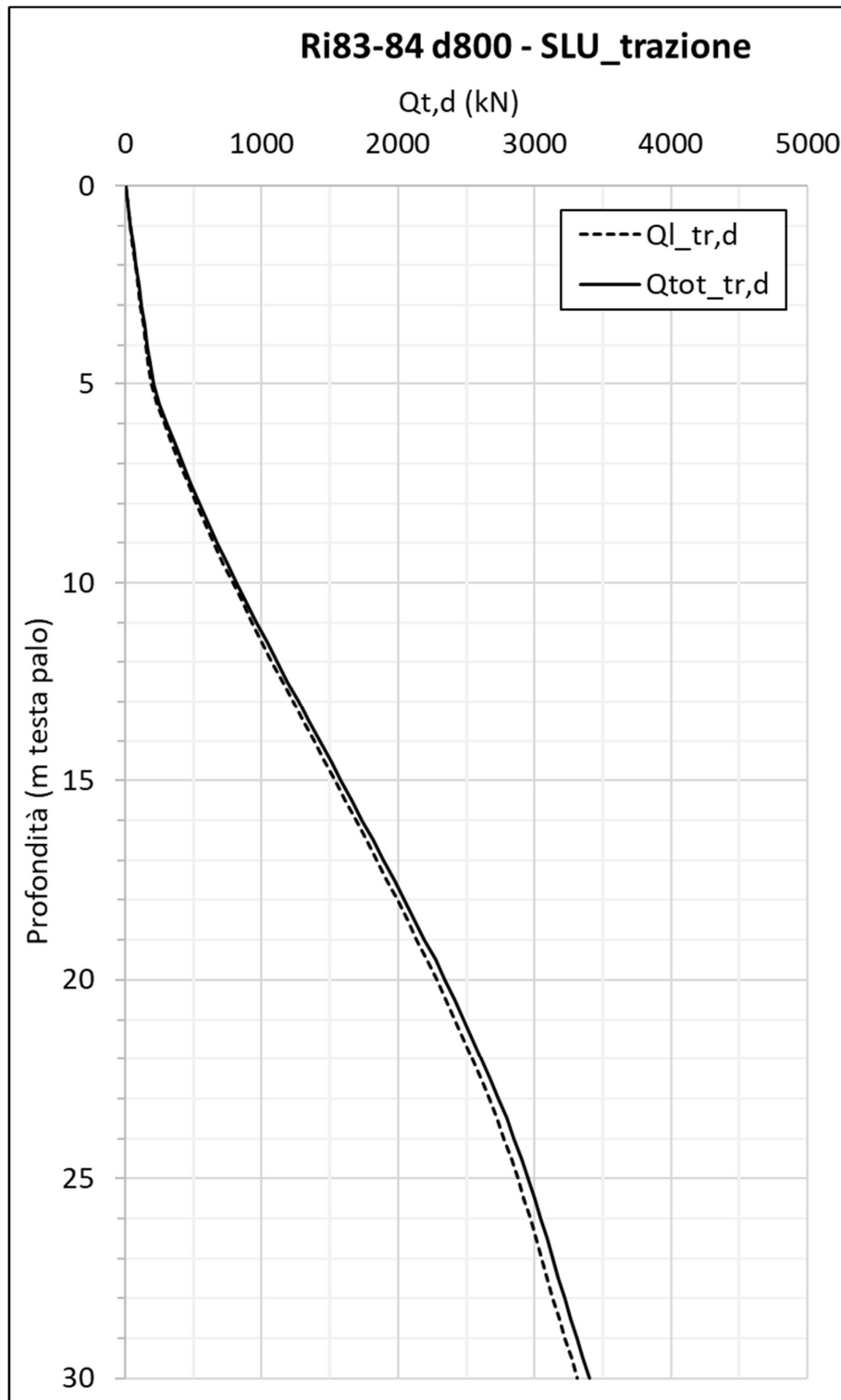


Figura 37 – Curve di capacità portante SLU, trazione per pali D=800 mm

GENERAL CONTRACTOR



IRICAV2

ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 67 di 112
---	------------------	-------------	-----------------------------	---------------------

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

68 di 112

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



IRICAV2

ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI8300001A	69 di 112

ALLEGATI

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

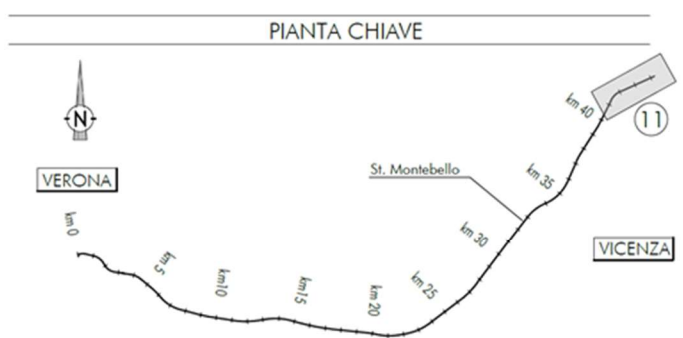
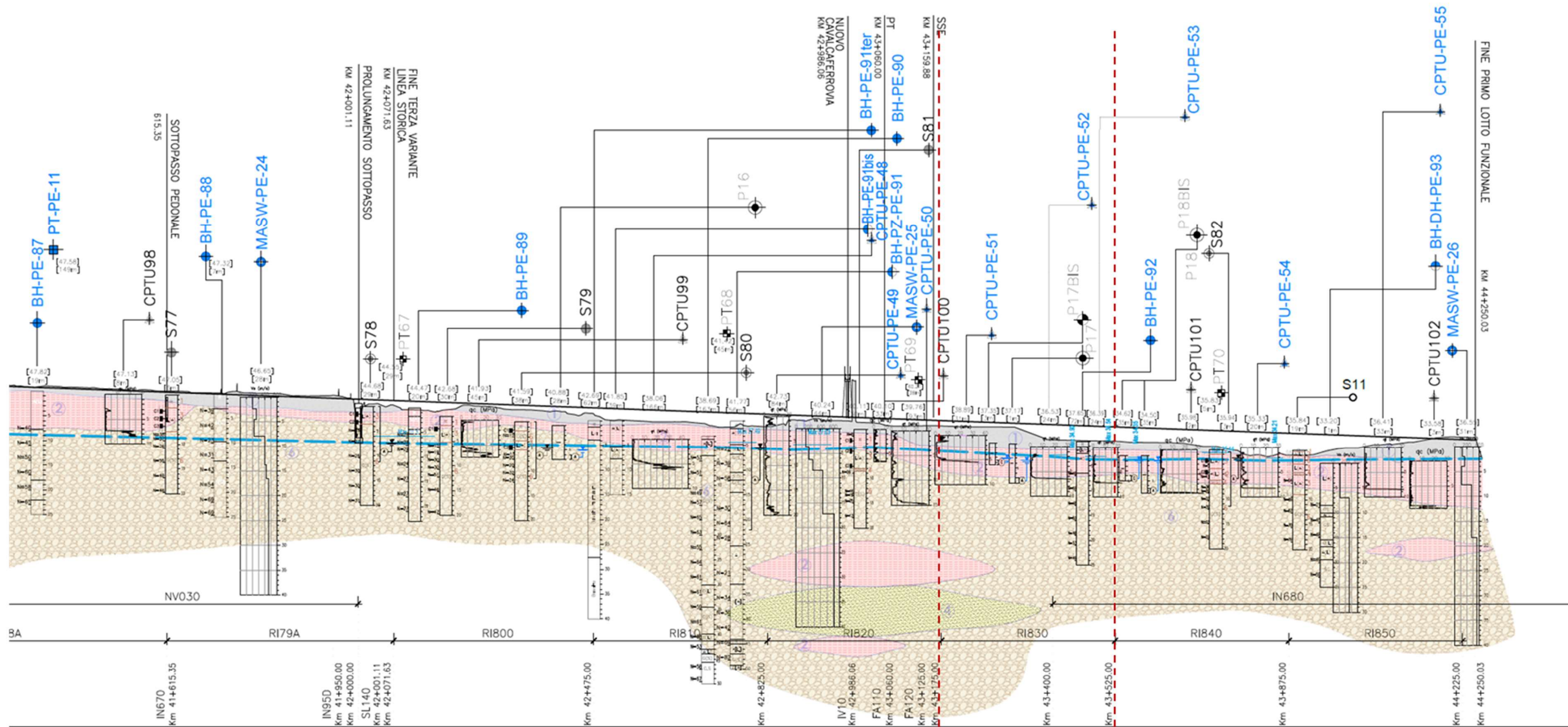
Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

70 di 112

ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



- LEGENDA**
- Campagna indagini integrative PE**
- BH-PE: Sondaggio a carotaggio continuo
 - BH-PE-PE: Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di piezometro a tubo aperto o Casagrande
 - MASW-PE: Indagini MGI
 - CPTU-PE: Prova penetrometrica statica con piezometro
- Campagna indagini 2018 per CDS**
- P15BIS: Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A) e/o Piezometro a Tubo Aperto (C)
- Campagna indagini 2015**
- SP: Sondaggio a carotaggio continuo
 - SP-C: Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SP-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-trad: Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"
 - 01: 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**
- PE-PE: Pozzetto esplorativo
 - BH-DH-PE: Sondaggio con esecuzione di prova iban hole
 - CHE-PE: Sondaggio con esecuzione di prova cross hole
 - Indagini orientati
- Nota per PE: in blu le indagini disponibili e con coordinate certe, in rosso indagini ancora non disponibili o con coordinate non note

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

GENERAL CONTRACTOR



IRICAV2

ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 72 di 112
---	------------------	-------------	-----------------------------	---------------------

ALLEGATO 2 - INDAGINI



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

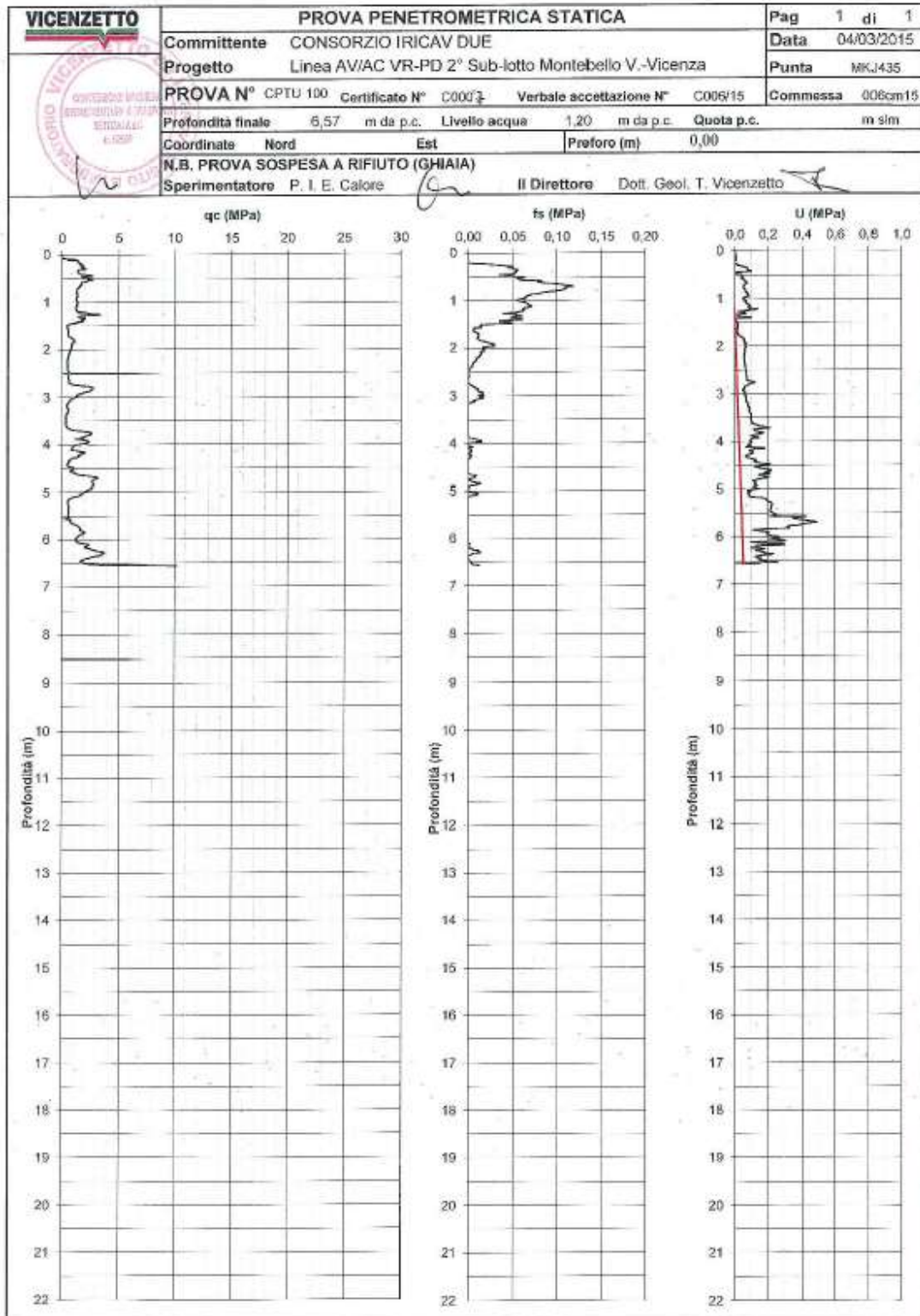
12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

73 di 112





Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI830001A

Foglio

74 di 112

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



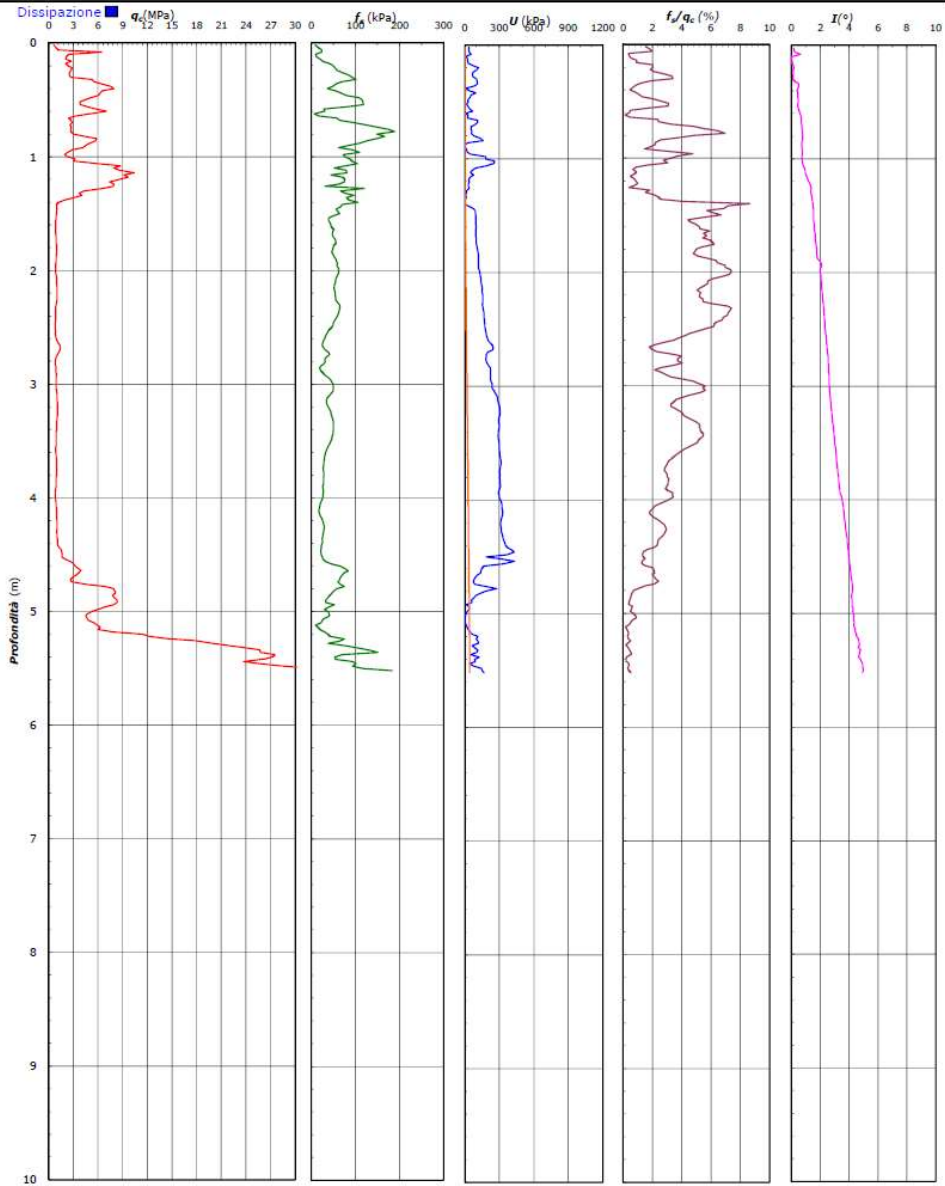
COMMITTENTE: **CONSORZIO IRICAV DUE - Via Francesco Tovaglieri 413-00155 Roma (RM)**

CANTIERE: Linea Alta Velocità Verona-Vicenza

PROVA N°: CPTU 51 PROF. FALDA (m da p.c.): 1.00 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]

DATA: 23-11-20 PREFORO (m da p.c.): Lat.: 45.517384° Long.: 11.473725°

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



Il Direttore Tecnico SO:
ing. Massimo De Iasi

SFxxxxx_CPTU 51 - pag 2 di 3

Il Responsabile Prove in Sito:
dott. Massimo Romagnoli



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI830001A

75 di 112

FERRARA DEPARTMENT

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

SOCOTEC ITALIA Srl - P.Iva 01672430648
Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099
www.socotec.it



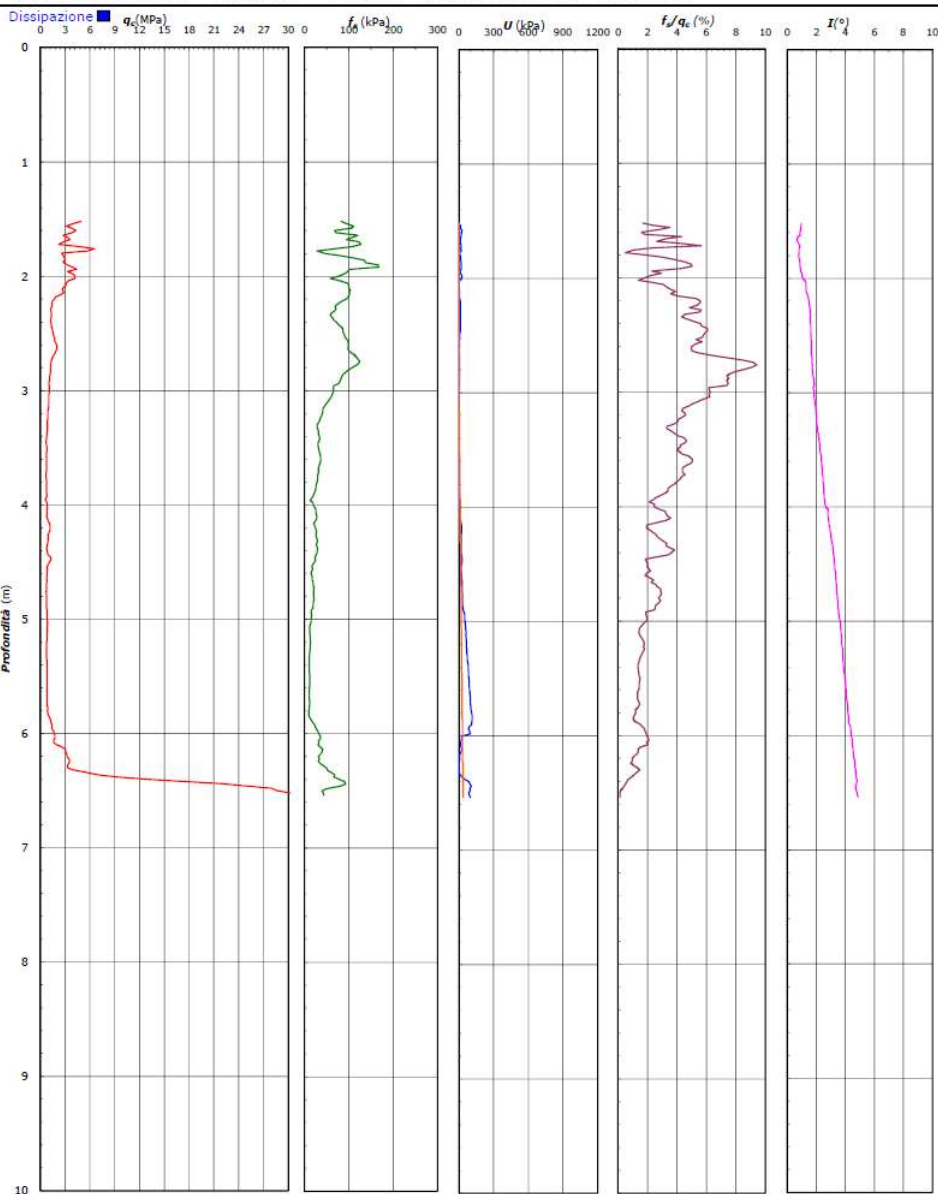
COMMITTENTE: **CONSORZIO IRICAV DUE - Via Francesco Tovaglieri 413-00155 Roma (RM)**

CANTIERE: Linea Alta Velocità Verona-Vicenza

PROVA N°: CPTU 52 PROF. FALDA (m da p.c.): 2,80 PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]

DATA: 27-11-20 PREFORO (m da p.c.): 1,50 Lat.: 45.518107° Long.: 11.475891°

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



Il Direttore Tecnico SO:
ing. Massimo De Iasi

Il Responsabile Prove in Sito:
dott. Massimo Romagnoli



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI830001A

Foglio
76 di 112



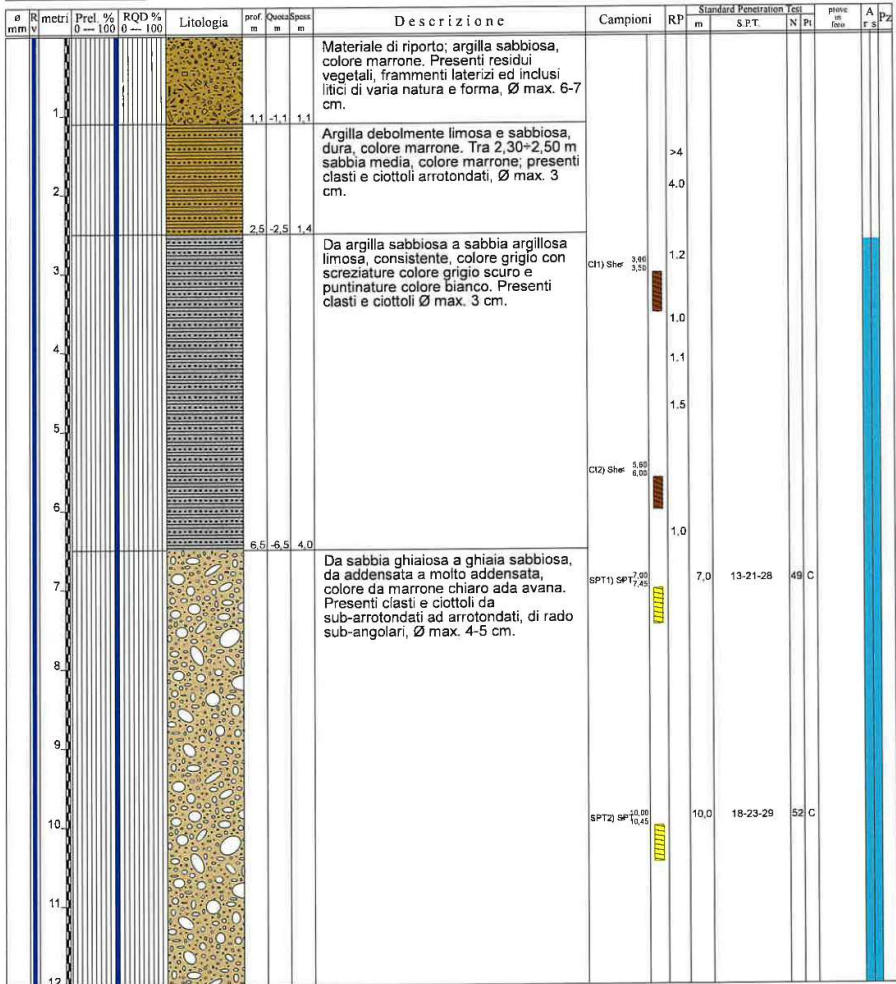
Laboratorio Sperimentale
per prove geotecniche terreni, rocce e prove in situ
Via Collemarini, 3 - San Vittore del Lazio (FR)
e-mail: info@geoservimg.it

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 92
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 10/12/2020 - 11/12/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CMV1200, prog. 43+500	

SCALA 1 :60

STRATIGRAFIA - BH PE 92

Pagina 1/3



Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI830001A	77 di 112



Laboratorio Sperimentale
per prove geotecniche terre, rocce e prove in situ
Via Colfemeroni, 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 92
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 10/12/2020 - 11/12/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CMV1200, prog. 43+500	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 92

Pagina 2/3

a m	R m	Prel. % 0 - 100	RQD % 0 - 100	Litologia	prof. m	Diametro m	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test			prove in foro	A r s	Pz
										m	SPT	Ni/Pi			
13							Da sabbia ghiaiosa a ghiaia sabbiosa, da addensata a molto addensata, colore da marrone chiaro ad avana. Presenti clasti e ciottoli da sub-arrotondati ad arrotondati, di rado sub-angolari, Ø max. 4-5 cm.	SPT3) SP 13,00 13,45	13,0	13-26-22	48	C			
14															
15															
16									SPT4) SP 16,00 16,45	16,0	11-22-30	52	C		
17															
18															
19								SPT5) SP 19,00 19,45	19,0	13-20-28	48	C			
20															
21								SPT6) SP 21,00 21,45	21,0	18-21-32	53	C			
22															
23															
24									24,0	19-19-30	49	C			

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+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI830001A

78 di 112



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

Certificato n° del	Acceptance note n° V5845 del 29/10/2020
Committente: IricAV Due	Sondaggio: BH PE 92
Riferimento: Linea AV/AC Verona-Padova 1° Lotto Verona-Bivio Vicenza	Data: 10/12/2020 - 11/12/2020
Coordinate:	Quota:
Perforazione: Carotaggio continuo, sonda: CMV1200, prog. 43+500	

SCALA 1:60

STRATIGRAFIA - BH PE 92

Pagina 3/3

e mm	R N	metri	Prel. 0-100	% 0-100	RQD % 0-100	Litologia	prof. m	Quasi n	Spazi m	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test			prove in situ	A r s	P z
													m	S.P.T.	N			
101		25					25,0	25,0	18,5	Da sabbia ghiaiosa a ghiaia sabbiosa, da addensata a molto addensata, colore da marrone chiaro aca avana. Presenti clasti e ciottoli da sub-arrotundati ad arrotondati, di rado sub-angolari, Ø max. 4-5 cm.	SP17 SP 24,45							

Utilizzato carotiere semplice.
Prelevati n. 2 campioni indisturbati.
Prelevati n. 7 campioni rimaneggiati S.P.T.
Eseguite n. 7 prove S.P.T.
Approvvigionamento e trasporto di acqua necessaria per la perforazione.

Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

79 di 112

ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE- ANALISI SLU STATICA



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

80 di 112

SLIDEINTERPRET 7.038



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 1 of 7

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RIB3_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 $\alpha < 0.2$: Yes
Create Interslice boundaries at intersections with water tables and piezoes: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

RIB3_stat.slim

17/03/2021, 17:14:01



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI830001A

Foglio

81 di 112

SLIDEINTERPRET 7.030



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





Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI830001A

82 di 112

SLIDEINTERPRET 7.030



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

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	1.602080
Center:	37.062, 43.269
Radius:	8.645
Left Slip Surface Endpoint:	29.240, 39.588
Right Slip Surface Endpoint:	43.946, 38.039
Resisting Moment:	4197.8 kN-m
Driving Moment:	2620.21 kN-m
Total Slice Area:	42.8573 m2
Surface Horizontal Width:	14.7057 m
Surface Average Height:	2.91434 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces:	521
Number of Invalid Surfaces:	0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.60208





Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI830001A

83 di 112

SLICEINTERPRET 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	0.26166	1.33795	-62.9003	Rilevato	0	32.0066	8.57922	13.7446	21.9903	0	21.9903	38.7558	38.7558
2	0.26166	3.8289	-59.2978	Rilevato	0	32.0066	25.6363	41.0714	65.7113	0	65.7113	108.884	108.884
3	0.26166	5.99872	-56.0465	Rilevato	0	32.0066	28.9441	46.3708	74.1898	0	74.1898	117.176	117.176
4	0.26166	7.9258	-53.051	Rilevato	0	32.0066	31.9933	51.2558	82.0055	0	82.0055	124.541	124.541
5	0.296393	11.0588	-50.0776	Rilevato	0	32.0066	34.5437	55.3417	90.2801	1.73735	88.5427	131.561	129.824
6	0.296393	13.0541	-47.1037	Rilevato	0	32.0066	36.613	58.6569	98.8863	5.03938	93.8469	138.292	133.252
7	0.296393	14.8565	-44.2882	Rilevato	0	32.0066	38.5312	61.7301	106.786	8.02219	98.7636	144.371	136.349
8	0.296393	16.4934	-41.6022	Rilevato	0	32.0066	40.3236	64.6017	114.089	10.7312	103.358	149.893	139.162
9	0.296393	17.9855	-39.0242	Rilevato	0	32.0066	42.009	67.3017	120.878	13.2003	107.678	154.925	141.725
10	0.296393	19.3484	-36.5371	Rilevato	0	32.0066	43.6014	69.853	127.216	15.4558	111.76	159.523	144.067
11	0.296393	20.5947	-34.1279	Rilevato	0	32.0066	22.1114	35.4242	74.1944	17.5183	56.6761	89.1806	71.6623
12	0.296393	21.7345	-31.7856	Rilevato	0	32.0066	21.4695	34.3959	74.4356	19.4046	55.031	87.7398	68.3352
13	0.296393	22.7759	-29.5014	Rilevato	0	32.0066	22.4111	35.9044	78.5725	21.128	57.4445	91.2528	70.1248
14	0.296816	24.8994	-27.2661	COLONNE	0	30.1666	19.6779	31.5255	76.9398	22.701	54.2388	87.0815	64.3805
15	0.296816	25.6818	-25.0734	COLONNE	0	30.1666	19.353	31.0051	77.476	24.1325	53.3435	86.5306	62.3981
16	0.296816	26.3388	-22.9193	COLONNE	0	30.1666	19.9677	31.9898	80.4668	25.4292	55.0376	88.9094	63.4802
17	0.296816	27.0244	-20.799	COLONNE	0	30.1666	20.5522	32.9262	83.2465	26.5978	56.6487	91.0531	64.4553
18	0.296816	27.5941	-18.7082	COLONNE	0	30.1666	21.1078	33.8164	85.8241	27.6438	58.1803	92.9721	65.3283
19	0.296816	28.0996	-16.6429	COLONNE	0	30.1666	21.6356	34.662	88.2073	28.572	59.6353	94.6748	66.1028
20	0.296816	28.5432	-14.5997	COLONNE	0	30.1666	22.1367	35.4647	90.4026	29.3865	61.0161	96.1687	66.7822
21	0.296816	31.6437	-12.5753	COLONNE	0	30.1666	25.6842	41.1482	100.885	30.0904	70.7946	106.614	76.5241
22	0.296816	33.8907	-10.5668	COLONNE	0	30.1666	28.3727	45.4553	108.892	30.6868	78.2049	114.185	83.4977
23	0.296816	34.1581	-8.57136	COLONNE	0	30.1666	28.8631	46.241	110.734	31.1778	79.5565	115.085	83.9069
24	0.296816	31.1698	-6.58633	COLONNE	0	30.1666	25.5764	40.9755	102.063	31.5654	70.4972	105.016	73.4503
25	0.296816	19.7526	-4.60923	COLONNE	0	30.1666	12.2307	19.3946	65.563	31.8508	33.7122	66.549	34.6982
26	0.296816	19.8531	-2.63762	COLONNE	0	30.1666	12.4364	19.9241	66.3142	32.0353	34.2789	66.8871	34.8518
27	0.296816	19.0324	0.669137	COLONNE	0	30.1666	11.5615	18.5224	63.9867	32.1194	31.8673	64.1218	32.0024
28	0.296816	18.228	1.29856	COLONNE	0	30.1666	10.7211	17.1761	61.6546	32.1034	29.5512	61.4116	29.3082
29	0.296816	18.1647	3.26779	COLONNE	0	30.1666	10.8219	17.3375	61.8161	31.9872	29.8289	61.1982	29.2111
30	0.296816	18.0467	5.24089	COLONNE	0	30.1666	10.8945	17.4539	61.7995	31.7706	30.0289	60.8002	29.0296
31	0.307241	18.4971	7.25517	Unità 2	0	23.0433	7.90266	12.6607	61.2094	31.4452	29.7642	60.2033	28.7581
32	0.307241	18.2496	9.31347	Unità 2	0	23.0433	7.88138	12.6266	60.6902	31.0062	29.684	59.3977	28.3915
33	0.307241	17.9392	11.384	Unità 2	0	23.0433	7.83494	12.5522	59.9646	30.4556	29.509	58.3871	27.9315
34	0.307241	17.5647	13.4697	Unità 2	0	23.0433	7.76241	12.436	59.0271	29.7912	29.2359	57.1679	27.3767
35	0.307241	17.1244	15.5738	Unità 2	0	23.0433	7.66266	12.2762	57.8703	29.0102	28.8601	55.7347	26.7245
36	0.307241	16.6165	17.6997	Unità 2	0	23.0433	7.53421	12.0704	56.4859	28.1092	28.3767	54.0814	25.9722
37	0.307241	16.0387	19.8511	Unità 2	0	23.0433	7.3756	11.8163	54.8631	27.0842	27.7789	52.2003	25.1161
38	0.307241	15.3881	22.0321	Unità 2	0	23.0433	7.18472	11.5105	52.9904	25.9303	27.0601	50.0829	24.1526
39	0.307241	14.6617	24.2474	Unità 2	0	23.0433	6.95933	11.1494	50.8529	24.6417	26.2112	47.7184	23.0767
40	0.307241	13.8554	26.502	Unità 2	0	23.0433	6.69654	10.7284	48.4328	23.2114	25.2214	45.0937	21.8823
41	0.307241	12.9647	28.8018	Unità 2	0	23.0433	6.39294	10.242	45.7094	21.6315	24.0779	42.1946	20.5631
42	0.307241	11.984	31.1536	Unità 2	0	23.0433	6.04423	9.68334	42.6565	19.8919	22.7646	39.0026	19.1107
43	0.307241	10.9067	33.5655	Unità 2	0	23.0433	5.64499	9.04373	39.2418	17.9809	21.2609	35.4962	17.5153
44	0.307241	9.7269	36.047	Unità 2	0	23.0433	5.18827	8.31203	35.425	15.8842	19.5408	31.649	15.7648
45	0.307241	8.42794	38.6095	Unità 2	0	23.0433	4.66492	7.47357	31.1536	13.5839	17.5697	27.4284	13.8445
46	0.307241	7.004	41.2673	Unità 2	0	23.0433	4.06248	6.50842	26.3587	11.0581	15.3006	22.7938	11.7357
47	0.307241	5.43696	44.0386	Unità 2	0	23.0433	3.36342	5.38846	20.9462	8.27836	12.6678	17.6938	9.4154
48	0.307241	3.70607	46.9649	Unità 2	0	23.0433	2.54174	4.07207	14.7811	5.20802	9.57306	12.0605	6.85246
49	0.307241	1.78339	50.0233	Unità 2	0	23.0433	1.55647	2.49359	7.65969	1.79748	5.86221	5.80322	4.00574
50	0.10804	0.135397	52.1924	Unità 2	0	23.0433	0.505648	0.810089	1.90444	0	1.90444	1.25274	1.25274

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.60208





Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI830001A

84 di 112

SLIDEINTERPRET 7.030



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	29.24	39.5885	0	0	0
2	29.5016	39.0771	9.00116	0	0
3	29.7633	38.6365	31.2534	0	0
4	30.0249	38.2479	52.516	0	0
5	30.2866	37.9	72.6786	0	0
6	30.583	37.5458	94.4246	0	0
7	30.8794	37.2268	115.125	0	0
8	31.1758	36.9377	134.586	0	0
9	31.4722	36.6745	152.668	0	0
10	31.7686	36.4343	169.263	0	0
11	32.0649	36.2147	184.288	0	0
12	32.3613	36.0138	192.644	0	0
13	32.6577	35.8301	199.956	0	0
14	32.9541	35.6624	206.495	0	0
15	33.2509	35.5094	212.429	0	0
16	33.5478	35.3706	217.447	0	0
17	33.8446	35.2451	221.623	0	0
18	34.1414	35.1323	224.913	0	0
19	34.4382	35.0318	227.279	0	0
20	34.735	34.9431	228.688	0	0
21	35.0318	34.8658	229.112	0	0
22	35.3287	34.7996	228.173	0	0
23	35.6255	34.7442	225.787	0	0
24	35.9223	34.6995	222.18	0	0
25	36.2191	34.6652	218.092	0	0
26	36.5159	34.6413	216.033	0	0
27	36.8127	34.6276	213.251	0	0
28	37.1096	34.6241	210.044	0	0
29	37.4064	34.6309	206.449	0	0
30	37.7032	34.6478	202.192	0	0
31	38	34.675	197.278	0	0
32	38.3072	34.7141	192.458	0	0
33	38.6145	34.7645	186.98	0	0
34	38.9217	34.8264	180.865	0	0
35	39.229	34.9	174.138	0	0
36	39.5362	34.9856	166.83	0	0
37	39.8434	35.0837	158.978	0	0
38	40.1507	35.1946	150.628	0	0
39	40.4579	35.3189	141.834	0	0
40	40.7652	35.4573	132.66	0	0
41	41.0724	35.6105	123.184	0	0
42	41.3796	35.7794	113.5	0	0
43	41.6869	35.9652	103.721	0	0
44	41.9941	36.169	93.9884	0	0
45	42.3014	36.3926	84.4741	0	0
46	42.6086	36.638	75.3983	0	0
47	42.9159	36.9076	67.0445	0	0
48	43.2231	37.2047	59.7888	0	0
49	43.5303	37.5335	54.1475	0	0
50	43.8376	37.9	50.8627	0	0
51	43.9456	38.0392	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	37.9
57	37.9

Distributed Load

X	Y
33.0198	39.5885
24.4887	39.5885



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI830001A

Foglio

85 di 112

SLIDEINTERPRET 7.030



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

Distributed Load

X	Y
28.1612	39.5885
25.5836	39.5885

Distributed Load

X	Y
32.0846	39.5885
29.4386	39.5885

External Boundary

X	Y
56.1548	14.5885
56.1548	32.0392
56.1548	38.0392
38	38.0392
36.1548	38.0392
36.1548	39.5885
35.1548	39.5885
20.9543	39.5885
11.7457	39.5885
7.88279	38
0	38
0	32.0392
0	14.5885

Material Boundary

X	Y
35.1548	39.5885
35.1548	36.4624
32.9548	36.4624
32.9548	35.6624
36.9548	35.6624
36.9548	36.4624
36.1548	36.4624

Material Boundary

X	Y
36.9548	35.6624
38	35.6624
38	38.0392

Material Boundary

X	Y
20.9543	33.5392
20.9543	38
20.9543	39.5885
23.8441	38
28.0967	35.6624
32.9548	35.6624

Material Boundary

X	Y
0	32.0392
56.1548	32.0392

Material Boundary

X	Y

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

86 di 112

SLIDEINTERPRET 7.030



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

X	Y
20.9543	33.5392
38	33.5392
38	35.6624

Material Boundary

X	Y
7.88279	38
20.9543	38
23.8441	38

Material Boundary

X	Y
36.1548	36.4624
36.1548	38.0392

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

87 di 112

ALLEGATO 4- TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU IN CAMPO SISMICO



Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: R183_sism.slim
 Slide Modeler Version: 7.038
 Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
 Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

General Settings

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

Design Standard

Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
 Name: Stabilità Globale_SISMA+M2+R2

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

89 di 112

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 [m]: 3
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+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI830001A

90 di 112

SLIDEINTERPRET 7.038



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

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	1.584600
Center:	38.305, 46.218
Radius:	11.835
Left Slip Surface Endpoint:	28.501, 39.588
Right Slip Surface Endpoint:	46.858, 38.039
Resisting Moment:	4671.07 kN-m
Driving Moment:	2947.79 kN-m
Total Slice Area:	54.0904 m2
Surface Horizontal Width:	18.3565 m
Surface Average Height:	2.94665 m

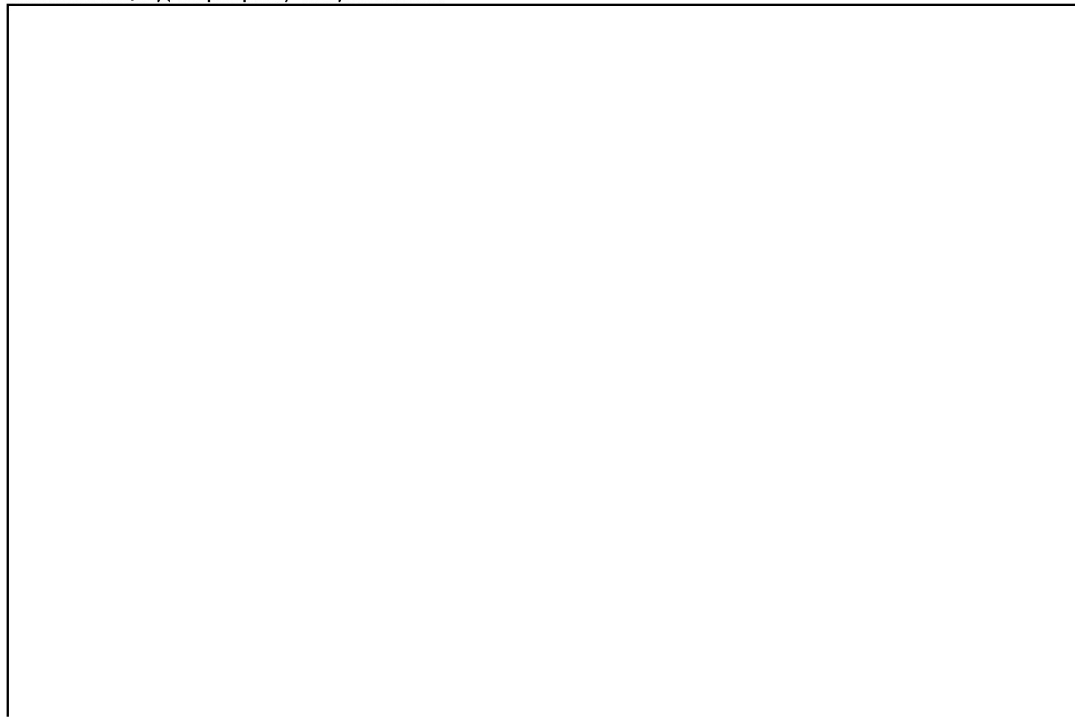
Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 677
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.5846





Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI830001A	91 di 112

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.346293	1.68036	-54.4864	Rilevato	0	32.0066	4.84112	7.67124	12.2734	0	12.2734	19.057	19.057
2	0.346293	4.87865	-51.6908	Rilevato	0	32.0066	7.34021	11.6313	18.6093	0	18.6093	27.9006	27.9006
3	0.346293	7.77897	-49.0591	Rilevato	0	32.0066	10.7197	16.9864	27.177	0	27.177	39.5343	39.5343
4	0.346293	10.4277	-46.5605	Rilevato	0	32.0066	15.468	24.5106	39.2152	0	39.2152	55.5496	55.5496
5	0.383409	14.3695	-44.0498	Rilevato	0	32.0066	17.3528	27.4973	45.813	1.81926	43.9937	62.5996	60.7803
6	0.383409	17.093	-41.5187	Rilevato	0	32.0066	18.7378	29.6919	52.8083	5.30345	47.5049	69.397	64.0936
7	0.383409	19.5884	-39.0833	Rilevato	0	32.0066	20.0539	31.7774	59.3373	8.4958	50.8415	75.625	67.1292
8	0.383409	21.8792	-36.7295	Rilevato	0	32.0066	21.3065	33.7623	65.4438	11.4265	54.0173	81.3422	69.9157
9	0.383409	23.9844	-34.4458	Rilevato	0	32.0066	22.5002	35.6538	71.1631	14.1197	57.0434	86.5958	72.4761
10	0.383409	25.9192	-32.2232	Rilevato	0	32.0066	22.6	35.8119	73.8914	16.5949	57.2965	88.1361	71.5412
11	0.383409	27.6963	-30.0537	Rilevato	0	32.0066	20.7736	32.9179	71.5348	18.8684	52.6664	83.5544	64.686
12	0.383409	29.3262	-27.9308	Rilevato	0	32.0066	21.7485	34.4627	76.0915	20.9536	55.1379	87.6217	66.6681
13	0.36044	30.3079	-25.9102	COLONNE	0	30.1666	18.7772	29.7543	74.0011	22.8095	51.1916	83.1229	60.3134
14	0.36044	31.4	-23.9851	COLONNE	0	30.1666	18.5833	29.4471	75.118	24.4549	50.6631	83.386	58.9311
15	0.36044	32.3947	-22.0884	COLONNE	0	30.1666	19.178	30.3894	78.2432	25.959	52.2842	86.0261	60.0671
16	0.36044	33.2998	-20.2169	COLONNE	0	30.1666	19.7447	31.2875	81.157	27.3275	53.8295	88.4282	61.1007
17	0.36044	34.1186	-18.3677	COLONNE	0	30.1666	20.2844	32.1426	83.8662	28.5656	55.3006	90.6012	62.0356
18	0.36044	34.8541	-16.5381	COLONNE	0	30.1666	20.7976	32.9558	86.3771	29.6776	56.6995	92.5527	62.8751
19	0.36044	40.5431	-14.7257	COLONNE	0	30.1666	25.7575	40.8154	100.889	30.6672	70.2221	107.659	76.9918
20	0.36044	41.718	-12.9283	COLONNE	0	30.1666	26.808	42.4799	104.623	31.5377	73.0857	110.777	79.2394
21	0.36044	40.0774	-11.1437	COLONNE	0	30.1666	25.3578	40.1819	101.424	32.2918	69.1321	106.419	74.1272
22	0.36044	24.7016	-9.37003	COLONNE	0	30.1666	11.2949	17.8979	63.7247	32.9318	30.7929	65.5884	32.6566
23	0.36044	25.0506	-7.60539	COLONNE	0	30.1666	11.5586	18.3157	64.9714	33.4596	31.5118	66.5147	33.0551
24	0.36044	23.5104	-5.84799	COLONNE	0	30.1666	10.0921	15.992	61.3907	33.8768	27.5139	62.4244	28.5476
25	0.36044	23.5115	-4.09609	COLONNE	0	30.1666	10.0942	15.9952	61.7039	34.1845	27.5194	62.4268	28.2423
26	0.36044	23.6432	-2.34803	COLONNE	0	30.1666	10.26	16.258	62.355	34.3836	27.9714	62.7757	28.3921
27	0.379243	24.9396	0.556636	Unità 2	0	23.0433	7.6199	12.0745	62.8599	34.4741	28.3858	62.934	28.4599
28	0.379243	24.9233	1.27978	Unità 2	0	23.0433	7.68093	12.1712	63.0639	34.4506	28.6133	62.8923	28.4417
29	0.379243	24.8239	3.11751	Unità 2	0	23.0433	7.7186	12.2309	63.0613	34.3078	28.7535	62.6409	28.3331
30	0.379243	24.6411	4.95846	Unità 2	0	23.0433	7.73236	12.2527	62.8501	34.0451	28.8005	62.1793	28.1342
31	0.379243	24.3743	6.80456	Unità 2	0	23.0433	7.7217	12.2358	62.4269	33.6617	28.7652	61.5055	27.8438
32	0.379243	24.0228	8.65779	Unità 2	0	23.0433	7.68585	12.179	61.7881	33.1565	28.6316	60.6178	27.4613
33	0.379243	23.5853	10.5202	Unità 2	0	23.0433	7.62407	12.0811	60.9294	32.5278	28.4016	59.5136	26.9858
34	0.379243	23.0605	12.394	Unità 2	0	23.0433	7.53534	11.9405	59.8447	31.7736	28.0711	58.1887	26.4151
35	0.379243	22.4465	14.2813	Unità 2	0	23.0433	7.41859	11.7555	58.5274	30.8913	27.6361	56.639	25.7477
36	0.379243	21.7413	16.1846	Unità 2	0	23.0433	7.2725	11.524	56.9696	29.8779	27.0917	54.8589	24.981
37	0.379243	20.9424	18.1065	Unità 2	0	23.0433	7.09561	11.2437	55.1625	28.7298	26.4327	52.8424	24.1126
38	0.379243	20.0467	20.0497	Unità 2	0	23.0433	6.88609	10.9117	53.0951	27.4427	25.6524	50.582	23.1393
39	0.379243	19.0509	22.0173	Unità 2	0	23.0433	6.64199	10.5249	50.7546	26.0116	24.743	48.0687	22.0571
40	0.379243	17.9508	24.0126	Unità 2	0	23.0433	6.36079	10.0793	48.1261	24.4306	23.6955	45.2924	20.8618
41	0.379243	16.7417	26.0395	Unità 2	0	23.0433	6.03956	9.57028	45.192	22.6931	22.4989	42.2411	19.548
42	0.379243	15.4181	28.1021	Unità 2	0	23.0433	5.67485	8.99236	41.9311	20.7909	21.1402	38.9007	18.1098
43	0.379243	13.9733	30.2052	Unità 2	0	23.0433	5.26238	8.33877	38.3183	18.7147	19.6036	35.2549	16.5402
44	0.379243	12.3998	32.3543	Unità 2	0	23.0433	4.79691	7.60119	34.323	16.4534	17.8696	31.2841	14.8307
45	0.379243	10.6882	34.5558	Unità 2	0	23.0433	4.27188	6.76922	29.9076	13.9938	15.9138	26.9655	12.9717
46	0.379243	8.82778	36.8174	Unità 2	0	23.0433	3.6789	5.82958	25.0251	11.3202	13.7049	22.2712	10.951
47	0.379243	6.80506	39.1481	Unità 2	0	23.0433	3.00706	4.76498	19.6154	8.41337	11.202	17.1674	8.75405
48	0.379243	4.60371	41.5589	Unità 2	0	23.0433	2.2417	3.55219	13.6007	5.24987	8.35088	11.6134	6.36348
49	0.379243	2.20333	44.0636	Unità 2	0	23.0433	1.36253	2.15907	6.87613	1.80035	5.07578	5.55742	3.75707
50	0.135357	0.169631	45.8113	Unità 2	0	23.0433	0.444436	0.704253	1.65564	0	1.65564	1.19843	1.19843

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.5846

--



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

92 di 112

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	28.5014	39.5885	0	0	0
2	28.8477	39.1032	4.42524	0	0
3	29.194	38.6649	10.4602	0	0
4	29.5403	38.2657	18.2655	0	0
5	29.8866	37.9	28.1464	0	0
6	30.27	37.5291	39.7195	0	0
7	30.6534	37.1897	51.9273	0	0
8	31.0368	36.8783	64.3963	0	0
9	31.4202	36.5922	76.8257	0	0
10	31.8036	36.3292	88.9687	0	0
11	32.187	36.0875	100.381	0	0
12	32.5704	35.8657	110.655	0	0
13	32.9538	35.6624	120.292	0	0
14	33.3143	35.4873	129.071	0	0
15	33.6747	35.327	137.101	0	0
16	34.0352	35.1807	144.401	0	0
17	34.3956	35.0479	150.901	0	0
18	34.756	34.9283	156.541	0	0
19	35.1165	34.8212	161.267	0	0
20	35.4769	34.7265	165.004	0	0
21	35.8374	34.6438	167.563	0	0
22	36.1978	34.5728	169.049	0	0
23	36.5582	34.5133	170.875	0	0
24	36.9187	34.4652	171.974	0	0
25	37.2791	34.4283	172.608	0	0
26	37.6396	34.4024	172.568	0	0
27	38	34.3877	171.808	0	0
28	38.3792	34.384	171.276	0	0
29	38.7585	34.3924	169.953	0	0
30	39.1377	34.4131	167.839	0	0
31	39.517	34.446	164.938	0	0
32	39.8962	34.4913	161.263	0	0
33	40.2755	34.549	156.827	0	0
34	40.6547	34.6194	151.655	0	0
35	41.0339	34.7028	145.776	0	0
36	41.4132	34.7993	139.226	0	0
37	41.7924	34.9094	132.051	0	0
38	42.1717	35.0334	124.305	0	0
39	42.5509	35.1718	116.054	0	0
40	42.9302	35.3251	107.375	0	0
41	43.3094	35.4941	98.3628	0	0
42	43.6886	35.6794	89.1261	0	0
43	44.0679	35.8819	79.7971	0	0
44	44.4471	36.1027	70.5334	0	0
45	44.8264	36.3429	61.5256	0	0
46	45.2056	36.6041	53.0056	0	0
47	45.5849	36.888	45.2592	0	0
48	45.9641	37.1967	38.6435	0	0
49	46.3433	37.533	33.6135	0	0
50	46.7226	37.9	30.7612	0	0
51	46.8579	38.0392	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	37.9
57	37.9

Distributed Load

X	Y
33.0198	39.5885
24.4887	39.5885



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI8300001A

93 di 112

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Distributed Load

X	Y
28.1612	39.5885
25.5836	39.5885

Distributed Load

X	Y
32.0846	39.5885
29.4386	39.5885

External Boundary

X	Y
56.1548	14.5885
56.1548	32.0392
56.1548	33.5392
56.1548	38.0392
38	38.0392
36.1548	38.0392
36.1548	39.5885
35.1548	39.5885
20.9543	39.5885
11.7457	39.5885
7.88279	38
0	38
0	33.5392
0	32.0392
0	14.5885

Material Boundary

X	Y
35.1548	39.5885
35.1548	36.4624
32.9548	36.4624
32.9548	35.6624
36.9548	35.6624
36.9548	36.4624
36.1548	36.4624

Material Boundary

X	Y
36.9548	35.6624
38	35.6624
38	38.0392

Material Boundary

X	Y
20.9543	33.5392
20.9543	38
20.9543	39.5885
23.8441	38
28.0967	35.6624
32.9548	35.6624

Material Boundary

X	Y
0	32.0392
56.1548	32.0392

Material Boundary

X	Y

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

94 di 112

SLIDEINTERPRET 7.038



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

X	Y
20.9543	33.5392
23.8441	33.5392
38	33.5392
38	35.6624

Material Boundary

X	Y
7.88279	38
20.9543	38
23.8441	38

Material Boundary

X	Y
36.1548	36.4624
36.1548	38.0392

Material Boundary

X	Y
0	33.5392
20.9543	33.5392

Material Boundary

X	Y
38	33.5392
56.1548	33.5392

Material Boundary

X	Y
23.8441	33.5392
23.8441	38

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 95 di 112
---	------------------	-------------	-----------------------------	---------------------

ALLEGATO 5 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI POST SISMA

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

96 di 112

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: RI83_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+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

97 di 112

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+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

98 di 112

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+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI8300001A	99 di 112

Property	Rilevato	CLS	Unità 6 liquef	COLONNE	Unità 2	ril esist
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Infinite	strength	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
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
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 1.789700
Center: 38.567, 44.038
Radius: 10.334
Left Slip Surface Endpoint: 29.240, 39.588
Right Slip Surface Endpoint: 46.982, 38.039
Resisting Moment: 3611.98 kN-m
Driving Moment: 2018.2 kN-m
Total Slice Area: 61.1491 m2
Surface Horizontal Width: 17.7417 m
Surface Average Height: 3.44663 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 742
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.7897



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI830001A

100 di
112

Slice	Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Material
Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.337779	2.18902	-62.4708	Rilevato	0	32.0066	5.43068	
	9.71928	15.5501	0	15.5501	25.9693	25.9693		
2	0.337779	6.25048	-58.6445	Rilevato	0	32.0066	10.0429	
	17.9738	28.7568	0	28.7568	45.2385	45.2385		
3	0.337779	9.76475	-55.2035	Rilevato	0	32.0066	12.934	23.1479
	37.0349	0	37.0349	55.6468	55.6468			
4	0.376723	14.5297	-51.8707	Rilevato	0	32.0066	15.216	27.232
	45.9233	2.35414	43.5692	65.3085	62.9544			
5	0.376723	17.9476	-48.5996	Rilevato	0	32.0066	16.904	30.2531
	55.207	6.8042	48.4028	74.3806	67.5764			
6	0.376723	21.003	-45.5292	Rilevato	0	32.0066	18.4718	33.0589
	63.6741	10.7824	52.8917	82.4903	71.7079			
7	0.376723	23.7545	-42.6189	Rilevato	0	32.0066	19.9359	
	35.6793	71.4492	14.365	57.0842	89.7934	75.4284		
8	0.376723	26.2445	-39.8393	Rilevato	0	32.0066	20.8467	
	37.3093	77.2992	17.607	59.6922	94.6923	77.0853		
9	0.376723	28.5046	-37.1684	Rilevato	0	32.0066	19.203	34.3676
	75.5354	20.5496	54.9858	90.0945	69.5449			
10	0.365758	29.551	-34.6254	COLONNE	0	30.1666	19.1083	34.1981
	82.0264	23.1894	58.837	95.2208	72.0314			
11	0.365758	32.3017	-32.1948	COLONNE	0	30.1666	18.4182	
	32.9631	82.27	25.5577	56.7123	93.8662	68.3085		
12	0.365758	34.0518	-29.8276	COLONNE	0	30.1666	17.9069	
	32.0479	82.8535	27.7159	55.1376	93.1203	65.4044		
13	0.365758	35.3693	-27.5154	COLONNE	0	30.1666	18.6226	
	33.3289	87.0207	29.679	57.3417	96.7213	67.0423		
14	0.365758	36.5644	-25.2509	COLONNE	0	30.1666	19.2993	
	34.5399	90.885	31.4597	59.4253	99.9875	68.5278		
15	0.365758	37.644	-23.0279	COLONNE	0	30.1666	19.9388	35.6845
	94.4628	33.0684	61.3944	102.938	69.8694			
16	0.365758	38.6141	-20.841	COLONNE	0	30.1666	20.5429	
	36.7657	97.7684	34.514	63.2544	105.589	71.0748		
17	0.365758	43.9323	-18.6856	COLONNE	0	30.1666	24.6761	
	44.1628	111.785	35.8037	75.9812	120.13	84.3266		
18	0.365758	45.9617	-16.5572	COLONNE	0	30.1666	26.2803	
	47.0338	117.864	36.9438	80.9206	125.678	88.7337		



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI8300001A	101 di 112

19	0.365758	45.8141	-14.4522	COLONNE	0	30.1666	26.1719
	46.8399	118.527	37.9395	80.5871	125.272	87.3323	
20	0.365758	29.0011	-12.3669	COLONNE	0	30.1666	12.2789
	21.9755	76.6037	38.7953	37.8084	79.2959	40.5006	
21	0.365758	29.4839	-10.2982	COLONNE	0	30.1666	12.6042
	22.5578	78.3248	39.5146	38.8102	80.615	41.1004	
22	0.365758	28.1205	-8.24299	COLONNE	0	30.1666	11.41 20.4204
	75.2332	40.1005	35.1327	76.8861	36.7856		
23	0.365758	28.134 -6.1984		COLONNE	0	30.1666	11.4084 20.4176
	75.6831	40.5552	35.1279	76.9222	36.367		
24	0.365758	28.3524	-4.16173	COLONNE	0	30.1666	11.624 20.8035
	76.6727	40.8806	35.7921	77.5185	36.6379		
25	0.355225	27.6638	-2.15952	liquef 0	4.56541	1.63914	2.93357
	77.8151	41.0769	36.7382	77.8769	36.8		
26	0.355225	27.7103	-0.189189	liquef 0	4.56541	1.64431	2.94283
	78.0026	41.1483	36.8543	78.008	36.8597		
27	0.355225	27.6788	1.78092	liquef 0	4.56541	1.64503	2.94411
	77.9701	41.0999	36.8702	77.919	36.8191		
28	0.355225	27.569 3.75313		liquef 0	4.56541	1.64127	2.93738
	77.7175	40.9314	36.7861	77.6098	36.6784		
29	0.355225	27.3805	5.72982	liquef 0	4.56541	1.63301	2.92259
	77.243 40.6423	36.6007	77.0791	36.4368			
30	0.355225	27.1127	7.71338	liquef 0	4.56541	1.62018	2.89963
	76.5446	40.2315	36.3131	76.3252	36.0937		
31	0.355225	26.7647	9.7063	liquef 0	4.56541	1.60272	2.86839
	75.6194	39.6974	35.922 75.3453	35.6479			
32	0.355225	26.335 11.7112		liquef 0	4.56541	1.58054	2.8287 74.4632
	39.0382	35.425 74.1356	35.0974				
33	0.355225	25.8221	13.7307	liquef 0	4.56541	1.55355	2.78038
	73.0712	38.2513	34.8199	72.6916	34.4403		
34	0.355225	25.224 15.7678		liquef 0	4.56541	1.52159	2.72319
	71.4372	37.3336	34.1036	71.0076	33.674		
35	0.355225	24.5381	17.8256	liquef 0	4.56541	1.48452	2.65685
	69.5541	36.2813	33.2728	69.0768	32.7955		
36	0.355225	23.7616	19.9075	liquef 0	4.56541	1.44215	2.58101
	67.4131	35.0901	32.323 66.8908	31.8007			
37	0.355225	22.8911	22.0172	liquef 0	4.56541	1.39425	2.49529
	65.004 33.7545	31.2495	64.4402	30.6857			
38	0.355225	21.9225	24.1588	liquef 0	4.56541	1.34056	2.3992
	62.3144	32.2684	30.046 61.7131	29.4447			
39	0.355225	20.8509	26.3371	liquef 0	4.56541	1.28078	2.29221
	59.3305	30.6243	28.7062	58.6965	28.0722		



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 102 di 112
---	------------------	-------------	-----------------------------	-------------------------

40	0.355225	19.6706	28.5572	liquef 0	4.56541	1.21453	2.17364
	56.0348	28.8135	27.2213	55.3738	26.5603		
41	0.355225	18.3749	30.8253	liquef 0	4.56541	1.14137	2.04271
	52.4072	26.8255	25.5817	51.7261	24.9006		
42	0.355225	16.9555	33.1484	liquef 0	4.56541	1.06078	1.89847
	48.4232	24.6478	23.7754	47.7304	23.0826		
43	0.355225	15.4027	35.5349	liquef 0	4.56541	0.972107	1.73978
	44.0533	22.2655	21.7878	43.359	21.0935		
44	0.355225	13.7045	37.9948	liquef 0	4.56541	0.87456	1.5652
	39.2615	19.66	19.6015	38.5784	18.9184		
45	0.355225	11.8461	40.5404	liquef 0	4.56541	0.767151	1.37297
	34.0029	16.8087	17.1942	33.3468	16.5381		
46	0.355225	9.80875	43.1871	liquef 0	4.56541	0.648611	1.16082
	28.2203	13.683	14.5373	27.6115	13.9285		
47	0.355225	7.56864	45.9544	liquef 0	4.56541	0.517297	0.925807
	21.8403	10.2461	11.5942	21.3055	11.0594		
48	0.355225	5.09412	48.8683	liquef 0	4.56541	0.370982	0.663947
	14.7645	6.4496	8.31487	14.3397	7.89008		
49	0.355225	2.34204	51.964	liquef 0	4.56541	0.206547	0.369657
	6.85661	2.22725	4.62936	6.59259	4.36534		
50	0.101022	0.126602	54.0393	liquef 0	4.56541	0.0595703	0.106613
	1.33516	0	1.33516	1.25305	1.25305		

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.7897

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]	Normal
1	29.24	39.5885	0	0	0	
2	29.5777	38.9404	8.24683	0	0	
3	29.9155	38.3861	20.8025	0	0	
4	30.2533	37.9	34.444	0	0	
5	30.63	37.4201	50.7643	0	0	
6	31.0067	36.9928	67.9994	0	0	
7	31.3835	36.609	85.4898	0	0	
8	31.7602	36.2624	102.762	0	0	
9	32.1369	35.948	119.221	0	0	
10	32.5136	35.6624	133.576	0	0	
11	32.8794	35.4099	147.318	0	0	
12	33.2451	35.1796	159.541	0	0	
13	33.6109	34.9699	170.379	0	0	

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI8300001A	103 di 112

14	33.9767	34.7794	180.162	0	0
15	34.3424	34.6068	188.796	0	0
16	34.7082	34.4514	196.204	0	0
17	35.0739	34.3121	202.318	0	0
18	35.4397	34.1884	207.139	0	0
19	35.8055	34.0797	210.363	0	0
20	36.1712	33.9854	211.983	0	0
21	36.537	33.9052	213.645	0	0
22	36.9027	33.8388	214.249	0	0
23	37.2685	33.7858	214.071	0	0
24	37.6342	33.7461	212.913	0	0
25	38	33.7195	210.711	0	0
26	38.3552	33.7061	211.172	0	0
27	38.7104	33.7049	210.681	0	0
28	39.0657	33.7159	209.237	0	0
29	39.4209	33.7392	206.844	0	0
30	39.7761	33.7749	203.512	0	0
31	40.1313	33.823	199.255	0	0
32	40.4866	33.8837	194.092	0	0
33	40.8418	33.9574	188.048	0	0
34	41.197	34.0442	181.155	0	0
35	41.5522	34.1445	173.451	0	0
36	41.9075	34.2587	164.98	0	0
37	42.2627	34.3874	155.796	0	0
38	42.6179	34.531	145.965	0	0
39	42.9731	34.6903	135.56	0	0
40	43.3284	34.8662	124.673	0	0
41	43.6836	35.0595	113.409	0	0
42	44.0388	35.2715	101.896	0	0
43	44.394	35.5035	90.2859	0	0
44	44.7493	35.7572	78.7647	0	0
45	45.1045	36.0347	67.5604	0	0
46	45.4597	36.3385	56.9575	0	0
47	45.8149	36.6719	47.3182	0	0
48	46.1702	37.0392	39.1137	0	0
49	46.5254	37.4459	32.9768	0	0
50	46.8806	37.9	29.7901	0	0
51	46.9816	38.0392	0	0	0

List Of Coordinates

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

104 di
112

Water Table

X	Y
-1	37.9
57	37.9

Distributed Load

X	Y
33.0198	39.5885
24.4887	39.5885

Distributed Load

X	Y
28.1612	39.5885
25.5836	39.5885

Distributed Load

X	Y
32.0846	39.5885
29.4386	39.5885

External Boundary

X	Y
56.1548	14.5885
56.1548	32.0392

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

105 di
112

56.1548	33.5392
56.1548	38.0392
38	38.0392
36.1548	38.0392
36.1548	39.5885
35.1548	39.5885
20.9543	39.5885
11.7457	39.5885
7.88279	38
0	38
0	33.5392
0	32.0392
0	14.5885

Material Boundary

X	Y
35.1548	39.5885
35.1548	36.4624
32.9548	36.4624
32.9548	35.6624
36.9548	35.6624
36.9548	36.4624
36.1548	36.4624

Material Boundary

X	Y
36.9548	35.6624
38	35.6624
38	38.0392

Material Boundary

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

106 di
112

X	Y
20.9543	33.5392
20.9543	38
20.9543	39.5885
23.8441	38
28.0967	35.6624
32.9548	35.6624

Material Boundary

X	Y
0	32.0392
56.1548	32.0392

Material Boundary

X	Y
20.9543	33.5392
23.8441	33.5392
38	33.5392
38	35.6624

Material Boundary

X	Y
7.88279	38
20.9543	38
23.8441	38

Material Boundary

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

107 di
112

X Y

36.1548 36.4624

36.1548 38.0392

Material Boundary

X Y

0 33.5392

20.9543 33.5392

Material Boundary

X Y

38 33.5392

56.1548 33.5392

Material Boundary

X Y

23.8441 33.5392

23.8441 38

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8300001A	Foglio 108 di 112
---	------------------	-------------	-----------------------------	-------------------------

ALLEGATO 6- TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

109 di
112

Settle3D Analysis Information

Rilevato

Project Settings

Document Name: cedim83.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: 0 seconds

Stage: Stage 1

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.0707217
Consolidation Settlement [m]	0	0
Immediate Settlement [m]	0	0.0707217
Loading Stress [kPa]	0	110.783
Total Stress [kPa]	0	589.375
Total Strain	-0	0.0148841
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.72	589.157
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	0.0828499
Consolidation Settlement [m]	0	0
Immediate Settlement [m]	0	0.0828499
Loading Stress [kPa]	8.7626e-006	110.712
Total Stress [kPa]	8.7626e-006	608.414
Total Strain	1.03662e-007	0.0166255
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	2.97576	608.201



Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI830001A

Foglio

110 di
112

Over-consolidation Ratio	1	1.21349
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: -3.8 m
Installation Stage: Stage 2

Coordinates

X [m]	Y [m]
13.2131	-50
22.0131	-50
22.0131	50
13.2131	50

Embankments

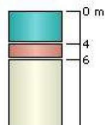
1. Embankment

Center Line: (0, -50) to (0, 50)
Number of Layers: 1
Near End Angle: 90 degrees
Far End Angle: 90 degrees
Base Width: 20

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	3.8	20	90	0

Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	COLONNE	4	0
2	u2	2	4
3	u6	24	6





Rilevato ferroviario dal km 43+175,00 al km 43+525,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8300001A

Foglio

111 di
112

Soil Properties

Property	u6	u2	COLONNE
Color			
Unit Weight [kN/m ³]	19	18	18
Immediate Settlement	Enabled	Enabled	Enabled
Es [kPa]	80000	5000	11000
Esur [kPa]	80000	5000	11000

Query Points

Point #	(X,Y) Location	Number of Divisions
1	17.6131, 0	Auto: 47

Query Lines

Line #	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	-30, 0	40, 0	200	Auto: 31

<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+175,00 al km 43+525,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI8300001A</p>	<p>Foglio 112 di 112</p>

ALLEGATO 7- VERSIONE SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI

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