

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+525,00 al km 43+875,00
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
I N 1 7	1 2	E	I 2	R B	R I 8 4 0 0	0 0 1	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: IN1712E12RBRI8400001A_02.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

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

<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+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI8400001A</p>	<p>Foglio 2 di 109</p>



INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1	Documentazione di progetto.....	5
2.2	Normativa e standard di riferimento.....	5
2.3	Bibliografia	6
3	INQUADRAMENTO DELL'OPERA	7
3.1	Premessa.....	7
3.2	Geometria del rilevato.....	7
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	8
4.1	Indagini disponibili.....	8
4.2	Inquadramento stratigrafico	9
4.3	Livello di falda	10
4.4	Condizioni geotecniche del sito	11
4.5	Sintesi del modello geotecnico di riferimento	19
4.5.1	Materiale da rilevato.....	19
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	20
5.1	Sollecitazione sismica di progetto.....	20
5.1.1	Vita Nominale.....	20
5.1.2	Classe d'uso	20
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	21
5.1.4	Categorie di Sottosuolo.....	21
5.1.5	Condizioni topografiche	21
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento	21
5.2	Suscettibilità alla liquefazione.....	22
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT	24
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT.....	26
5.2.3	Commento ai risultati	29
5.2.4	Soil improvement	34
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO	40
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite.....	40
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU).....	40
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE).....	42
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche.....	42
6.2	Azioni di progetto	42
6.2.1	Azioni permanenti	43



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI8400001A	3 di 109

6.2.2	Azioni variabili	43
6.2.3	Azione sismica	43
6.3	Verifiche e risultati SLU	44
6.3.1	Premessa	44
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche	45
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche	46
6.3.4	Verifiche SLU in condizioni post sismiche	47
6.4	Verifica e risultati SLE	48
6.4.1	Metodologia di calcolo	48
6.4.2	Schematizzazione e risultati	50
7	RESISTENZA DEI PALI SOGGETTI A CARICHI ASSIALI	54
7.1	Analisi agli stati limite	54
7.2	Metodologia di calcolo	56
7.2.1	Portata laterale	56
7.2.2	Portata di base	57
7.3	Stratigrafia di calcolo	59
7.4	Risultati	59
8	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	69
	Allegati	70
	ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO	71
	ALLEGATO 2 - INDAGINI	73
	ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE- ANALISI SLU STATICA	81
	ALLEGATO 4 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICA	89
	ALLEGATO 5 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU POST SISMA	97
	ALLEGATO 6 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE	105
	ALLEGATO 7 – VERSIONE SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI	109

<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+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI8400001A</p>	<p>Foglio 4 di 109</p>



1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI84, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende dal km 43+525,00 al km 43+875,00.

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+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 5 di 109



2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di progetto

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

2.2 Normativa e standard di riferimento



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

<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+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI8400001A</p>	<p>Foglio 6 di 109</p>

[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+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 7 di 109

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

3.1 Premessa

Il rilevato ferroviario in esame si estende dal km 43+525,00 al km 43+875,00 per una lunghezza totale di 350 m e risulta in affiancamento alla Linea Storica. Per la tratta in esame non si evidenziano altre interferenze con opere principali adiacenti e/o attraversate.

3.2 Geometria del rilevato

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

Alla pk 43+800, si riscontra l'altezza massima del rilevato pari a 5 m. La sezione citata, denominata Sezione A (Figura 1) è quella ritenuta più significativa per le verifiche SLU e SLE del rilevato in esame .

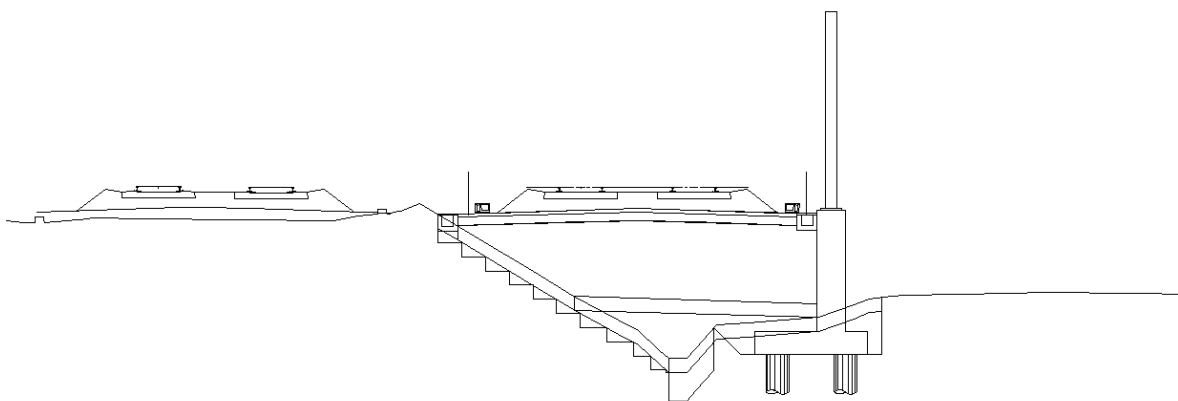




Figura 1 – Sezione di riferimento A (pk 43+800) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 8 di 109

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

4.1 Indagini disponibili

L'ubicazione delle indagini disponibili relative all'opera esaminata è illustrata nella Figura 3, estratta dalla Planimetria geotecnica con ubicazione indagini e profilo geotecnico (Doc. Rif. [3]). Per ulteriori dettagli si rimanda alle relazioni di sintesi delle indagini (Doc. Rif. [7] - [13]). Il risultato delle indagini è riportato in ALLEGATO 2.

Le indagini disponibili lungo il tratto d'interesse per il rilevato in oggetto sono elencate in Tabella 1. Per la caratterizzazione geotecnica si è considerata, tenuta in conto l'omogeneità stratigrafica dell'area, una serie di indagini non solo di stretta competenza del rilevato, ma anche quelle effettuate nelle WBS adiacenti, al fine di pervenire ad un quadro di riferimento di maggiore dettaglio e attendibilità.

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

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

Tabella 1 - Indagini tra pk 43+525 e pk 43+875

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
43+545	BH-PE-92	2020-2021
43+615	CPTU-PE-53	2020-2021
43+700	CPTU101	2015
43+710	S 82	2015
43+739	PT70	2015
43+750	P18e-18bis	2015
43+816	CPTU-PE-54	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 di 1-2 m, e seguiti terreni limoso/argillosi, generalmente debolmente sabbiosi, (Unità 2). I terreni di riporto, sulla base della descrizione dei sondaggi, sono generalmente costituiti da limi argillosi e sabbiosi, talora con clasti, e localmente con frammenti di laterizi. La descrizione risulta compatibile con la presenza di materiali scavati in posto e quindi riportati.

In termini di quote assolute, la base di questo primo strato si trova fra la +28 e la +30 m s.l.m.

Al di sotto di questa copertura si riscontra uno strato di ghiaie ben addensate (Unità 6) fino a quota di fine sondaggi.

Per una trattazione di dettaglio delle unità sopra citate si rimanda alla Relazione Geotecnica Generale del tratto in esame (Doc. Rif. [2]). Nella Figura 2 si riporta il profilo geotecnico specifico per il rilevato R184, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 11 di 11 (Doc. Rif. [3]).

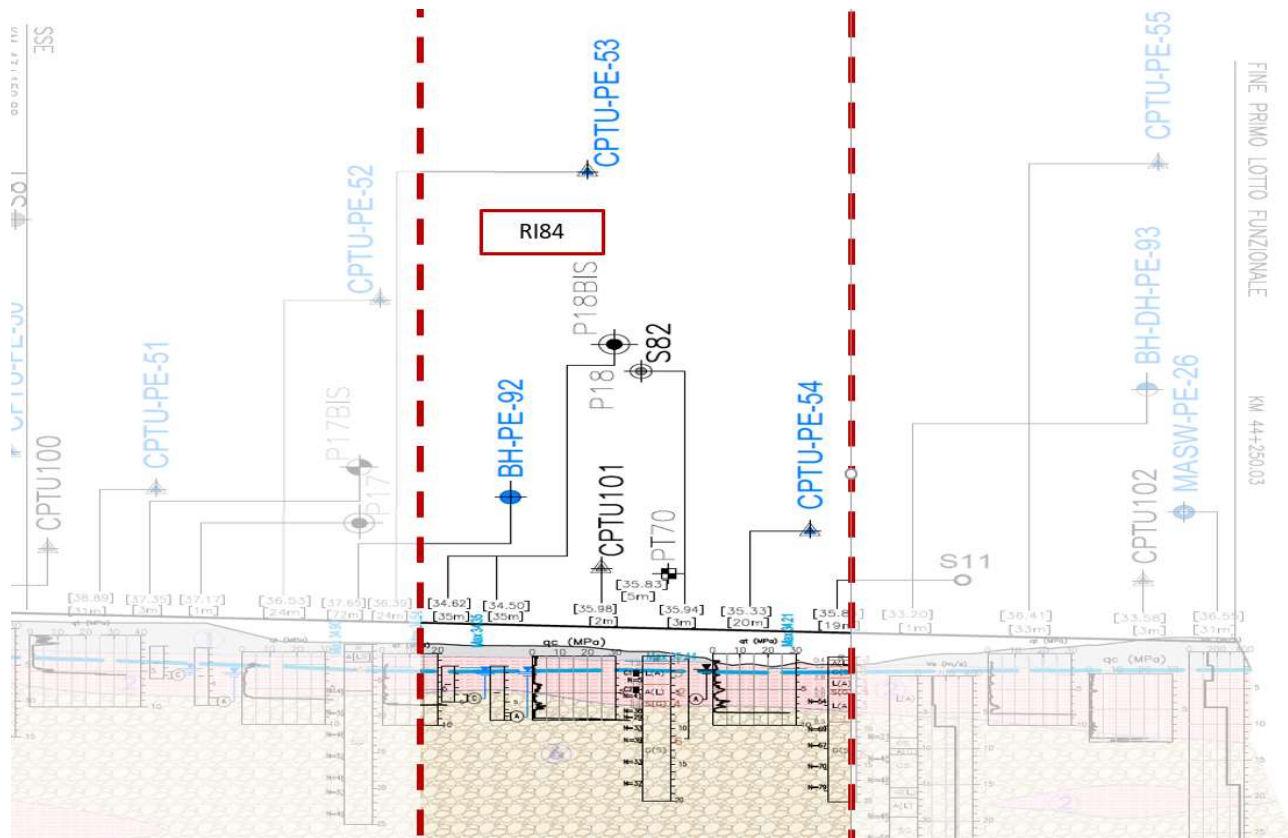


Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato R184, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

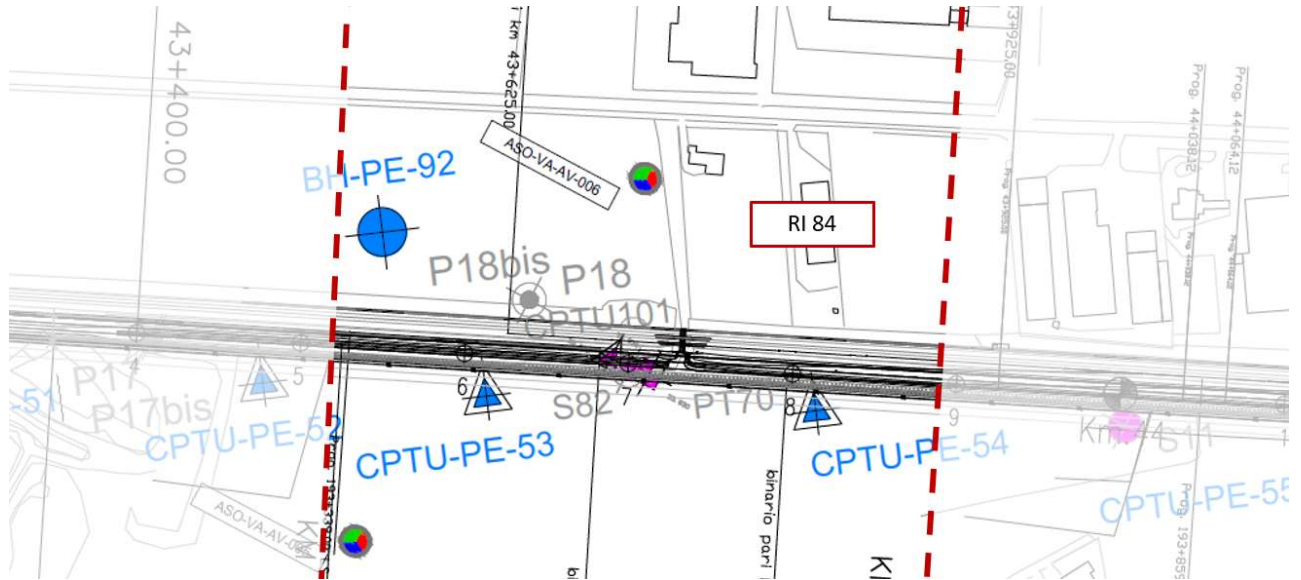




Figura 3 - Planimetria Rilevato RI84, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

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+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI840001A	Foglio 11 di 109

4.4 Condizioni geotecniche del sito

Come definito dalla sezione stratigrafica, il tratto in oggetto è caratterizzato da una copertura superficiale di limi argillosi/argille limose e sabbiose (Unità 2) per uno spessore variabile da 5 a 7 m.

All'inizio della tratta la CPTU-PE-53 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.

Proseguendo verso est, la CPTU101 e la CPTU-PE-54 indicano la presenza di materiale potenzialmente liquefacibile. Inoltre, in corrispondenza della CPTU101, si rilevano terreni coesivi con resistenze al taglio modeste, dell'ordine dei 20÷30 kPa (v. Figura 5) nei primi metri. 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.

Si evidenzia che, mentre le prova CPTU-PE-53 presentano un profilo di resistenza alla punta q_c tipico di materiali argillosi continui, la prova CPTU-101 e CPTU-PE-54 presentano un profilo di q_c tipico di alternanze argillose ad altre più sabbiose.

Come si vedrà più oltre dall'esame delle prove CPTU ai fini della determinazione del potenziale di liquefazione, lo quota di base di strati significativi, potenzialmente liquefacibili, si trova fra la +29 e la +31 m m s.l.m.

Relativamente ai dati sperimentali relativi alla granulometria dei depositi superficiali, la Figura 4 riporta i dati granulometrici dei materiali, così come ottenuti dalle determinazioni granulometriche di laboratorio delle indagini effettuate nella zona. Come si può notare, alcune prove indicano che 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 da teoria dell'elasticità a partire dal valore del modulo G_0 , ed utilizzando valori di $\nu = 0.25-0.30$. Il valore del modulo di Young operativo (E_{op}) per il calcolo di cedimenti di fondazioni superficiali e rilevati è stato calcolato ipotizzando valori del decadimento del modulo dell'ordine di 1/5 di quello iniziale per gli strati superficiali e dell'ordine di 1/3 di quello iniziale per gli strati più in profondità, dove le deformazioni attese sono minori.

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

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

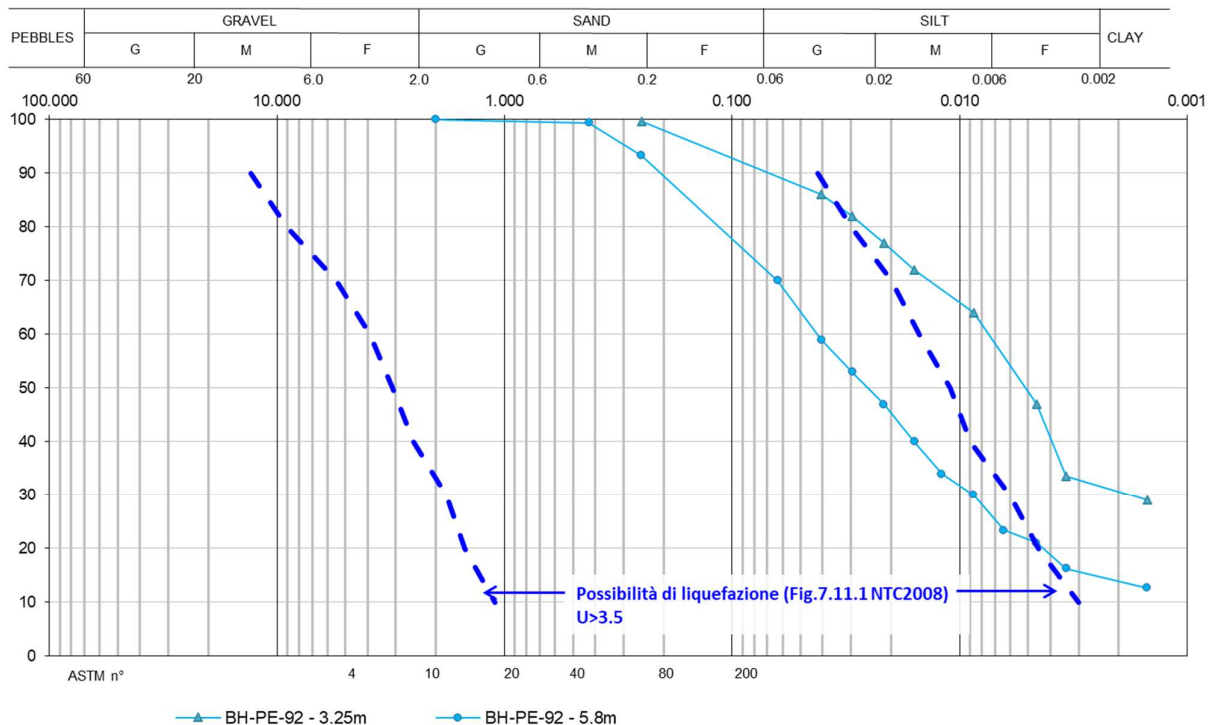


Figura 4 – Sintesi analisi granulometriche dei terreni superficiali e suscettibili alla liquefazione tra pk

43+525 e pk 43+875

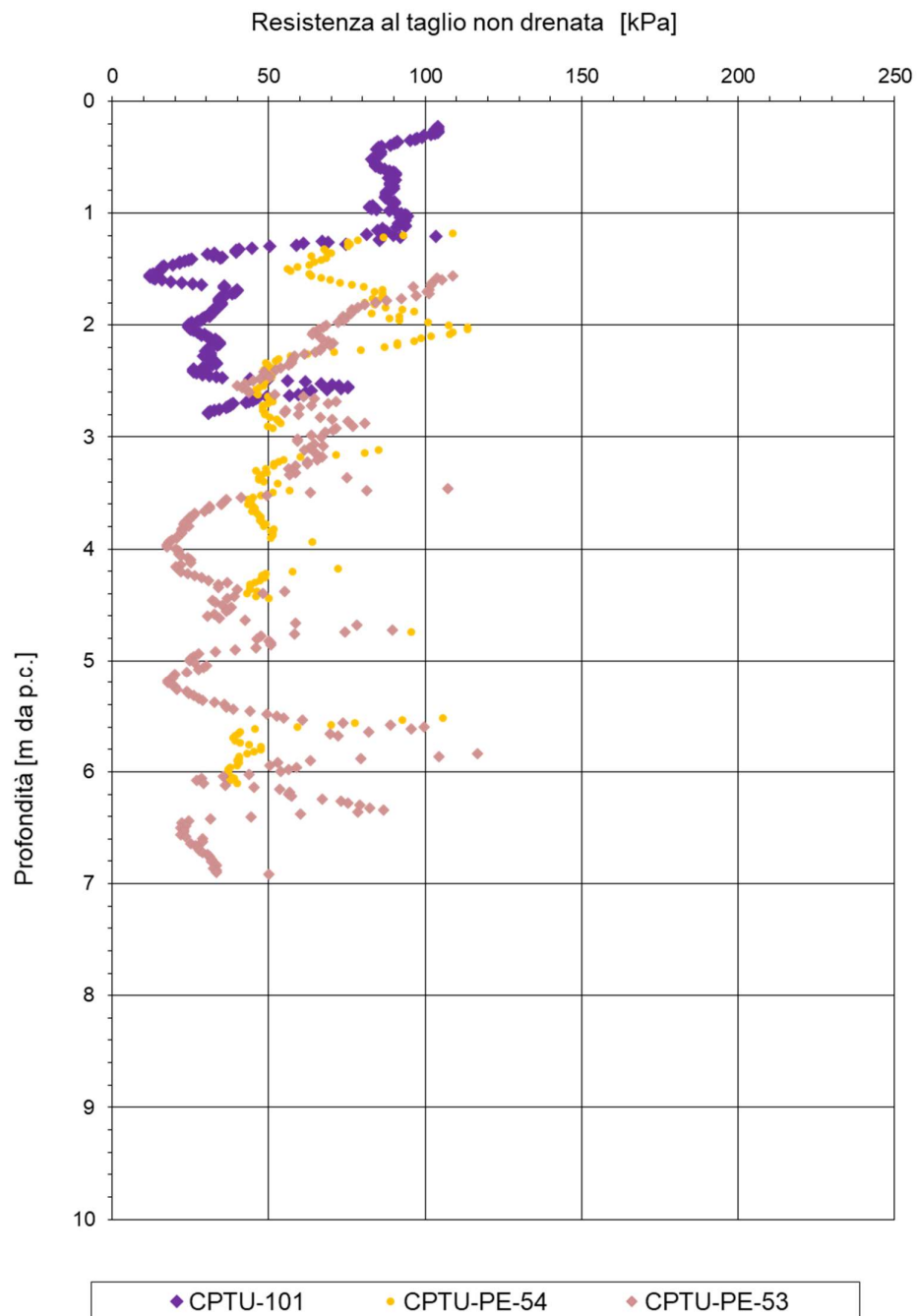


Figura 5 – Resistenza al taglio non drenata da prove CPTU tra pk 43+525 e pk 43+875



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8400001A

Foglio
14 di 109

AV/AC VERONA VICENZA

RI 84 tra pk 43+525 e pk 43+875

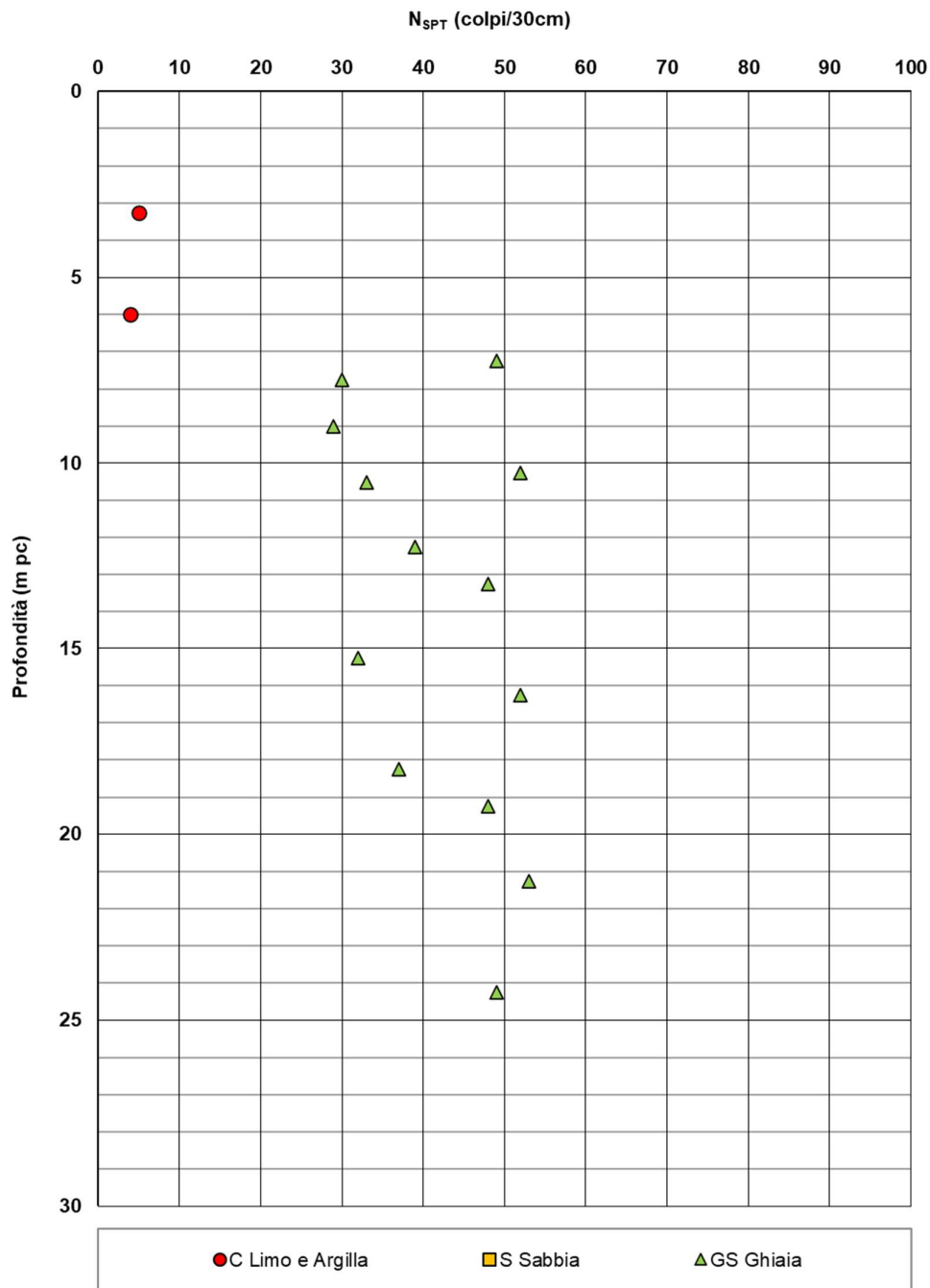


Figura 6 – Esito delle prove SPT tra pk 43+525 e pk 43+875



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

15 di 109

AV/AC VERONA VICENZA

RI 84 tra pk 43+525 e pk 43+875

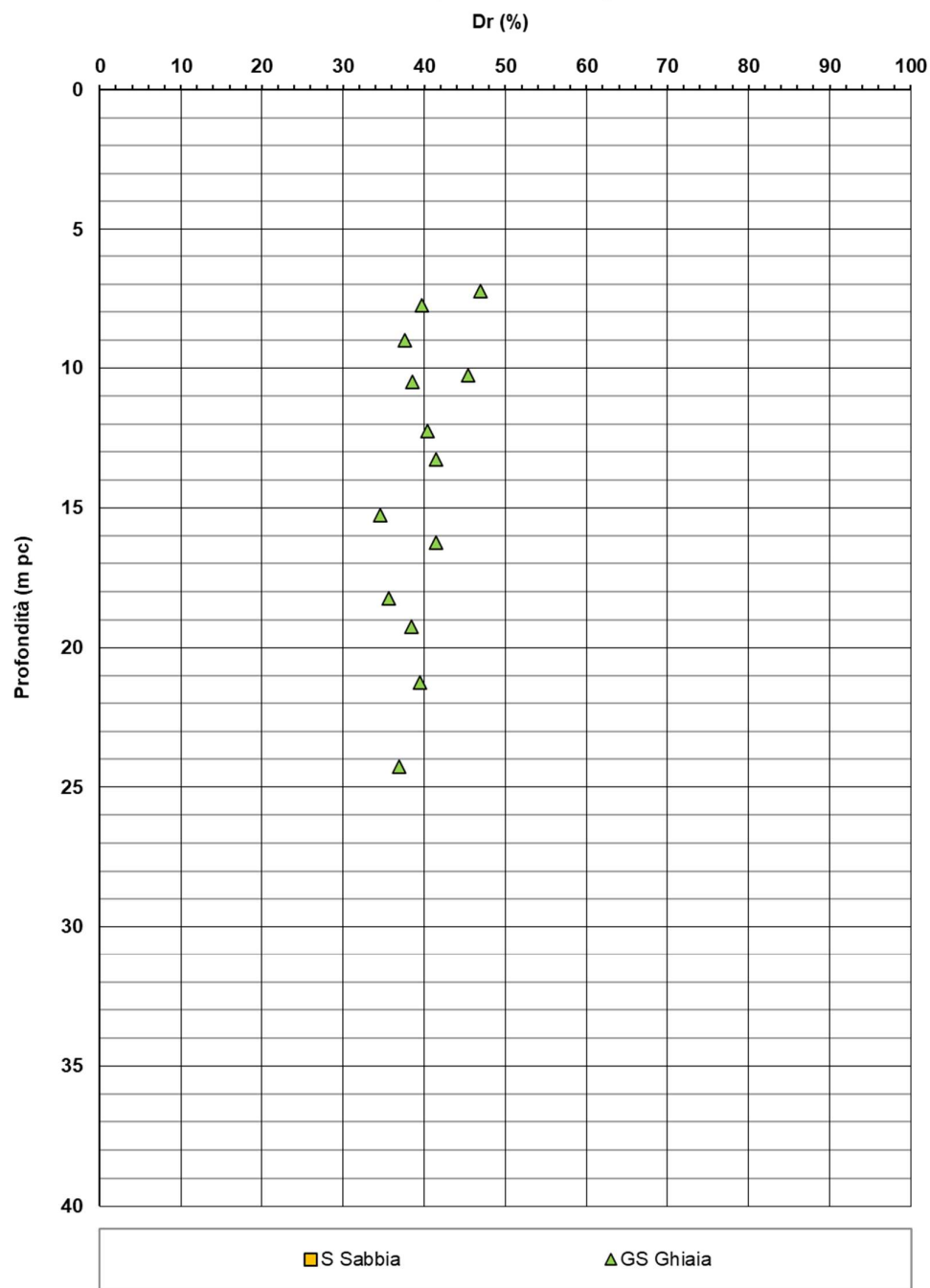


Figura 7 – Densità relativa da prove SPT tra pk 43+525 e pk 43+875



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8400001A

Foglio
16 di 109

AV/AC VERONA VICENZA

RI 84 tra pk 43+525 e pk 43+875

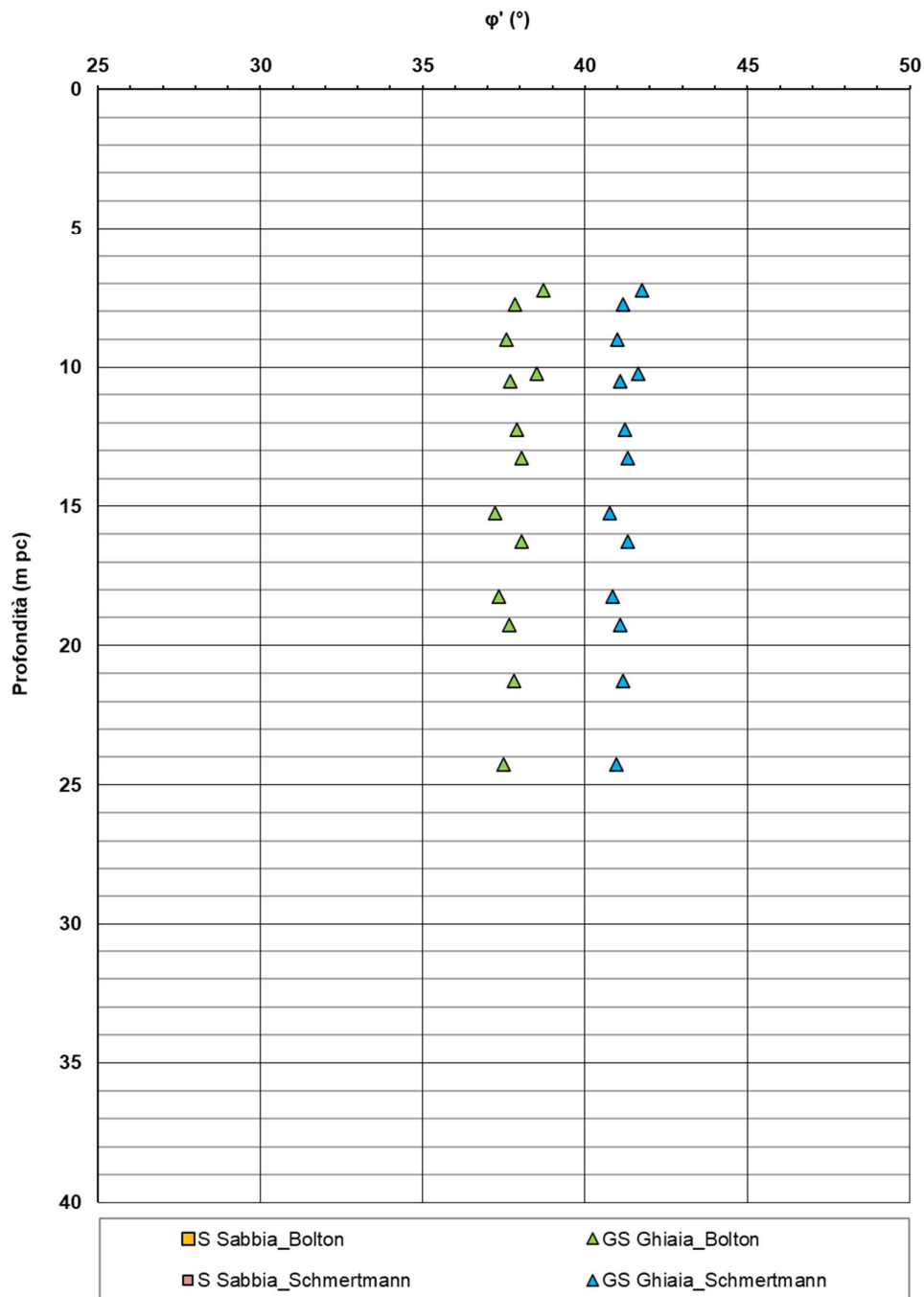


Figura 8 – Angoli di attrito da prove SPT tra pk 43+525 e pk 43+875

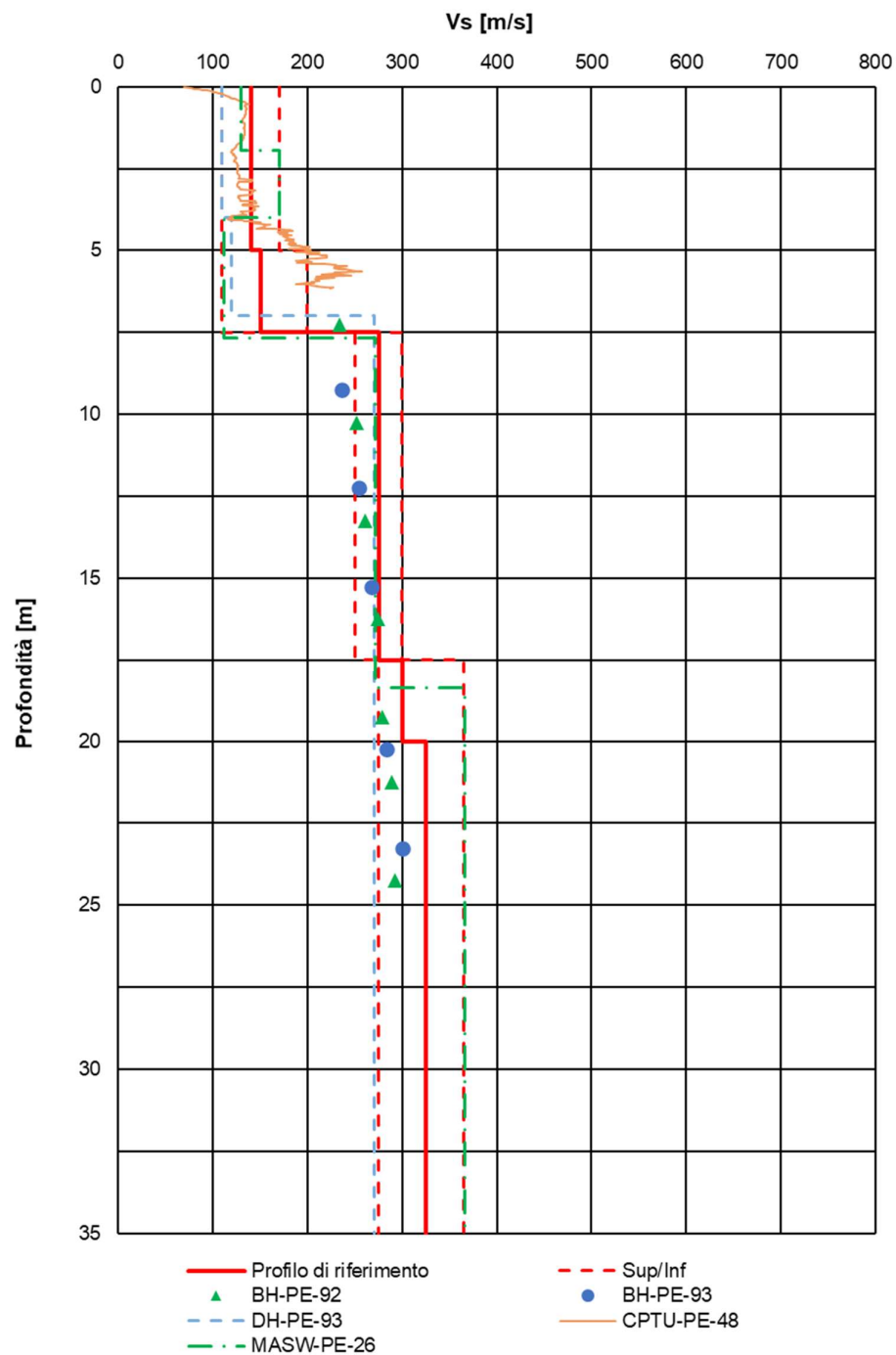


Figura 9 – Profilo di Vs di riferimento, a confronto con dati di correlazioni con SPT e prove geofisiche tipo MASW tra pk 43+525 e pk 43+875



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

18 di 109

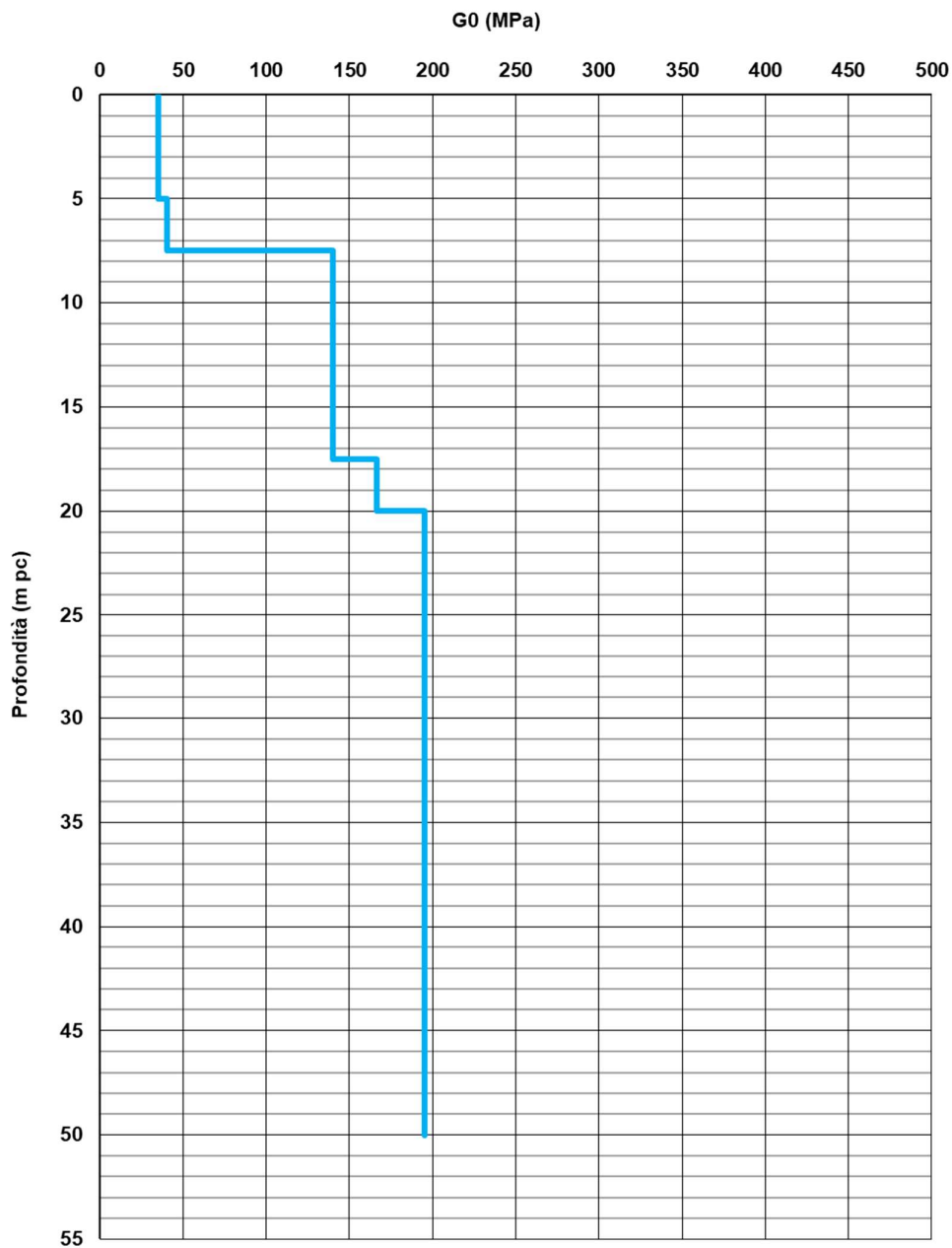




Figura 10 – Modulo di taglio G_0 tra pk 43+525 e pk 43+875

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 19 di 109

4.5 Sintesi del modello geotecnico di riferimento

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

Tabella 2 – Modello geotecnico di riferimento da pk 43+525 a pk 43+875

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 = 35.5 m s.l.m.

quota imposta muro = 33.4 m s.l.m.

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

*** la base dell'unità 2 è posta a quota variabile fra la +28 e la +30 m s.l.m.. La quota della base degli strati con potenziale di liquefazione si trova circa 1 m più in alto.

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

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



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

4.5.1 Materiale da rilevato

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

Tabella 3 - Caratteristiche materiale da rilevato

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 20 di 109

5 CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

5.1 Sollecitazione sismica di progetto

5.1.1 Vita Nominale

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

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

Tabella 4 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

<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+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 21 di 109

Tabella 5 – Valori del coefficiente di uso C_u

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

5.1.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

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

5.1.4 Categorie di Sottosuolo

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

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

5.1.5 Condizioni topografiche

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

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

5.1.6 Accelerazione sismica di riferimento

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



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

5.2 Suscettibilità alla liquefazione

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



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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 23 di 109

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

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

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

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

dove:

a_{max} accelerazione di picco al sito

g accelerazione di gravità

τ_c valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

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

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

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



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

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

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

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

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

<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+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI840001A</p>	<p>Foglio 24 di 109</p>

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:

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

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

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

a quello delle sabbie e terreni con contenuto di fine superiore al 35% e comportamento più simile a quello delle argille. Nel primo caso l'esponente n nella formula con cui viene determinato il parametro Q è pari a 0.5, nel secondo è pari a 1. Come detto, i valori effettivi di n e l_c sono determinati al termine di una procedura iterativa, ipotizzando in prima istanza $n = 1$. Se l_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 l_c è ancora inferiore a 2.6, i nuovi valori di n e l_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):

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

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

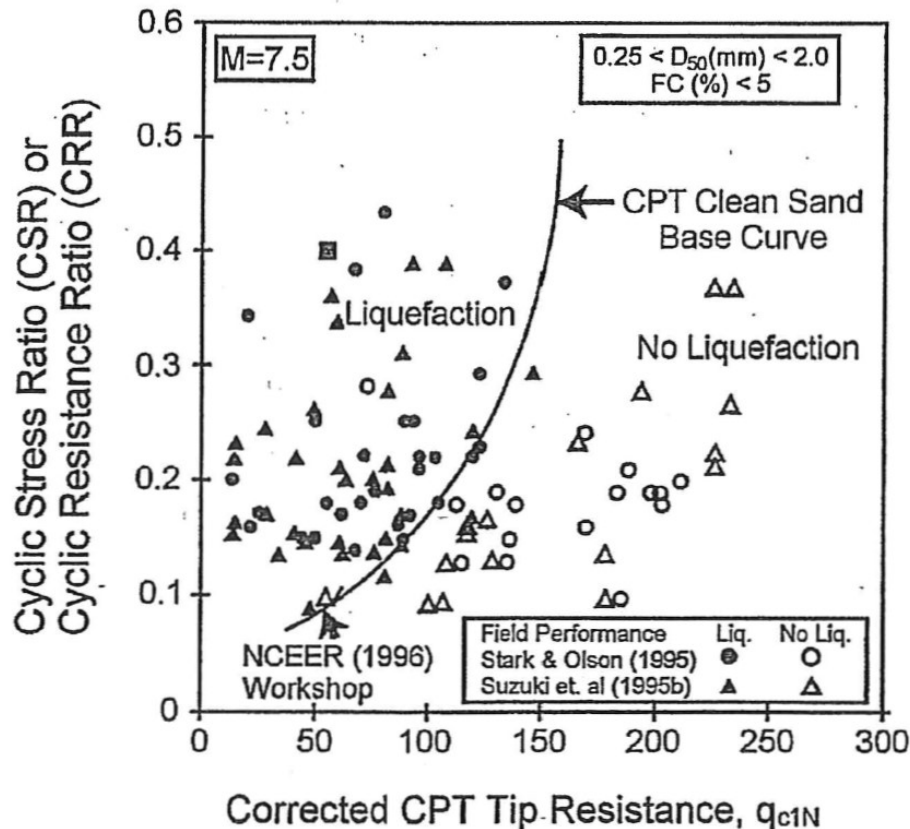




Figura 11 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI840001A	Foglio 26 di 109

5.2.2 CRR da correlazione su prove SPT

Il procedimento utilizzato per la stima di CRR a partire dai risultati di prove SPT si basa sulla relazione riportata in Figura 12, originariamente proposta da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), e successivamente confermata da Youd et al. (2001).

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

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

dove:

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

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

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

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



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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 27 di 109

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

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

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

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

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

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

In cui:

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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):

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

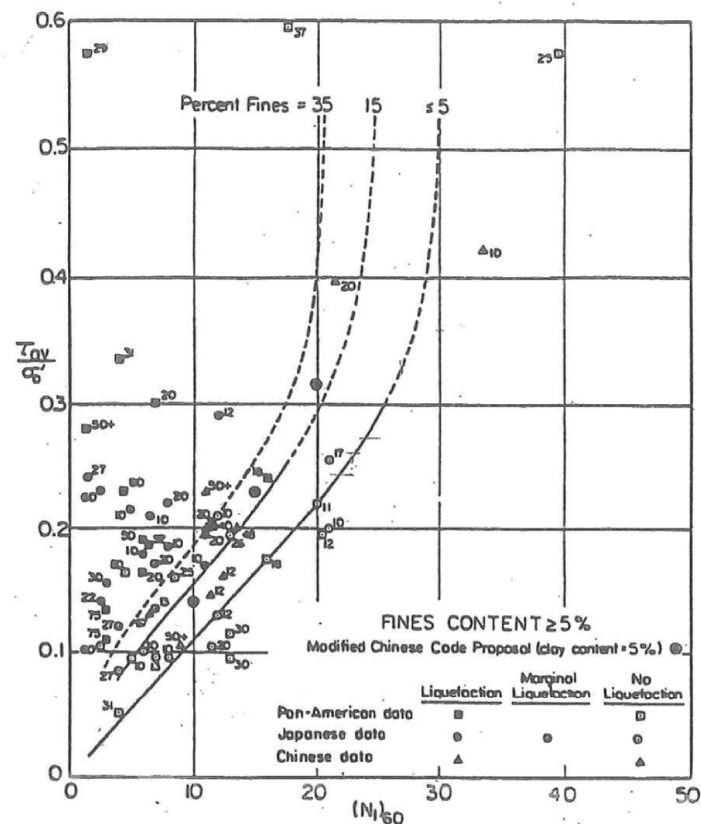




Figura 12 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 29 di 109

5.2.3 Commento ai risultati

I risultati dell'interpretazione delle prove CPTU in termini di potenziale di liquefazione indicano rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI84.

In particolare:

- dall'analisi sulla CPTU-PE-53, CPTU-PE-101 e CPTU-PE-54 si individuano livelli di spessore metrico, distribuiti a diverse quote sulla verticale indagata, di materiale potenzialmente liquefacibile, con $FL < 1.0$, fino a 6/7 m da p.c.
- procedendo da Ovest verso Est, lo spessore di materiale di scarse caratteristiche meccaniche tende ad approfondirsi.
- dall'analisi dei valori SPT del sondaggio S82 si evidenzia il rischio di liquefazione a 6 m pc.

Come si può notare, vi è una presenza di strati liquefacibili, con un certa continuità stratigrafica, fino a quote variabili fra la +29 e la +31 m s.l.m.

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

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



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8400001A

Foglio
30 di 109

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-53 Pr. 43+615
a_max = 0.30% M_calc = 6.5 MSF = 1.7 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 4.5m

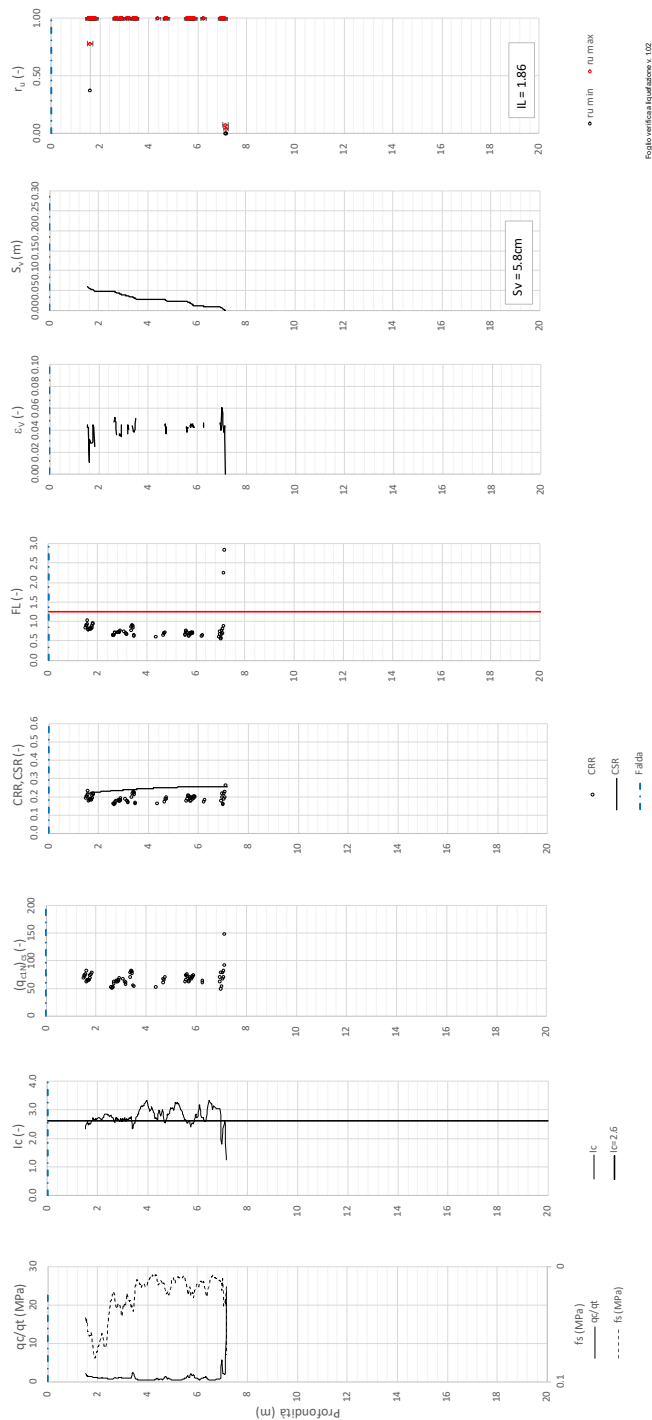


Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-53



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI840001A

Foglio
31 di 109

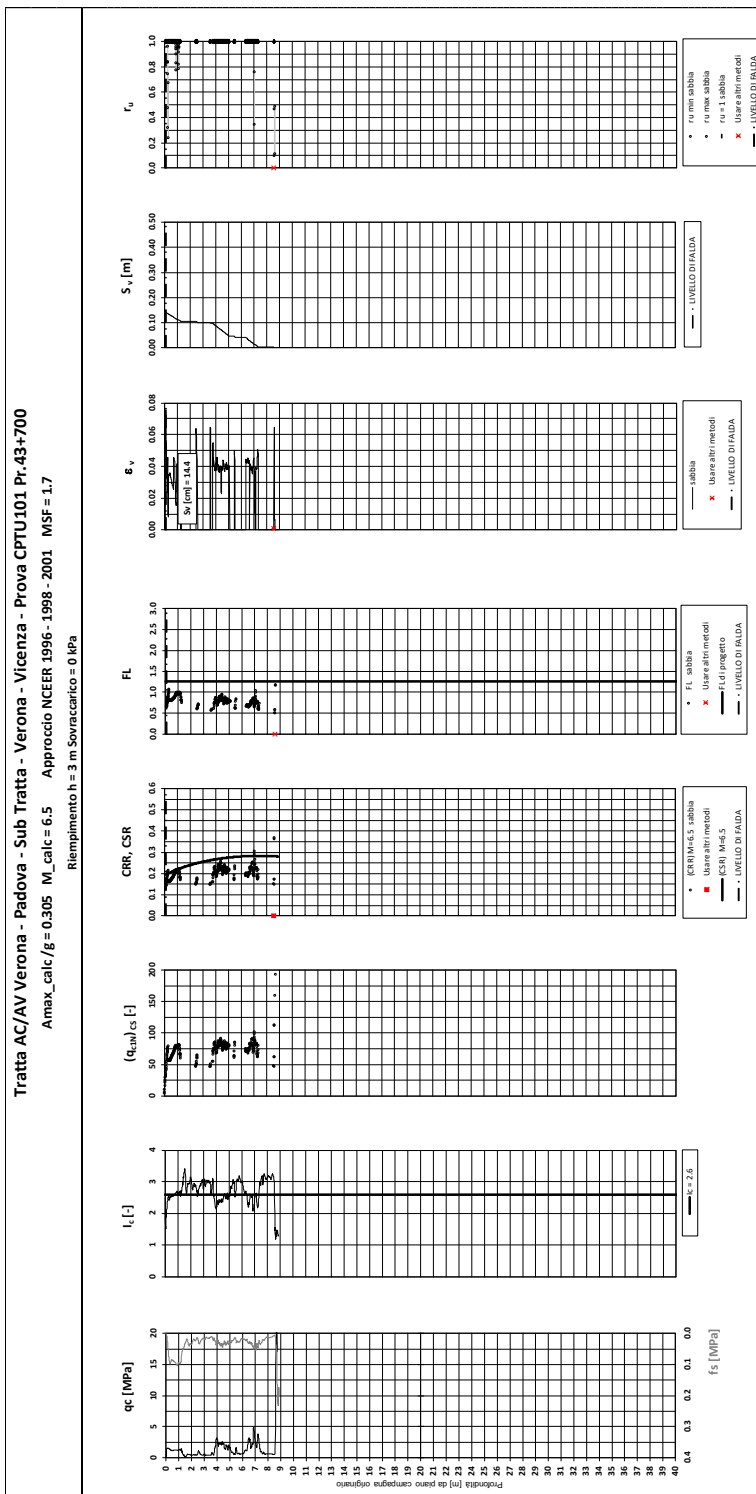


Figura 14 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU101



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8400001A

Foglio
32 di 109

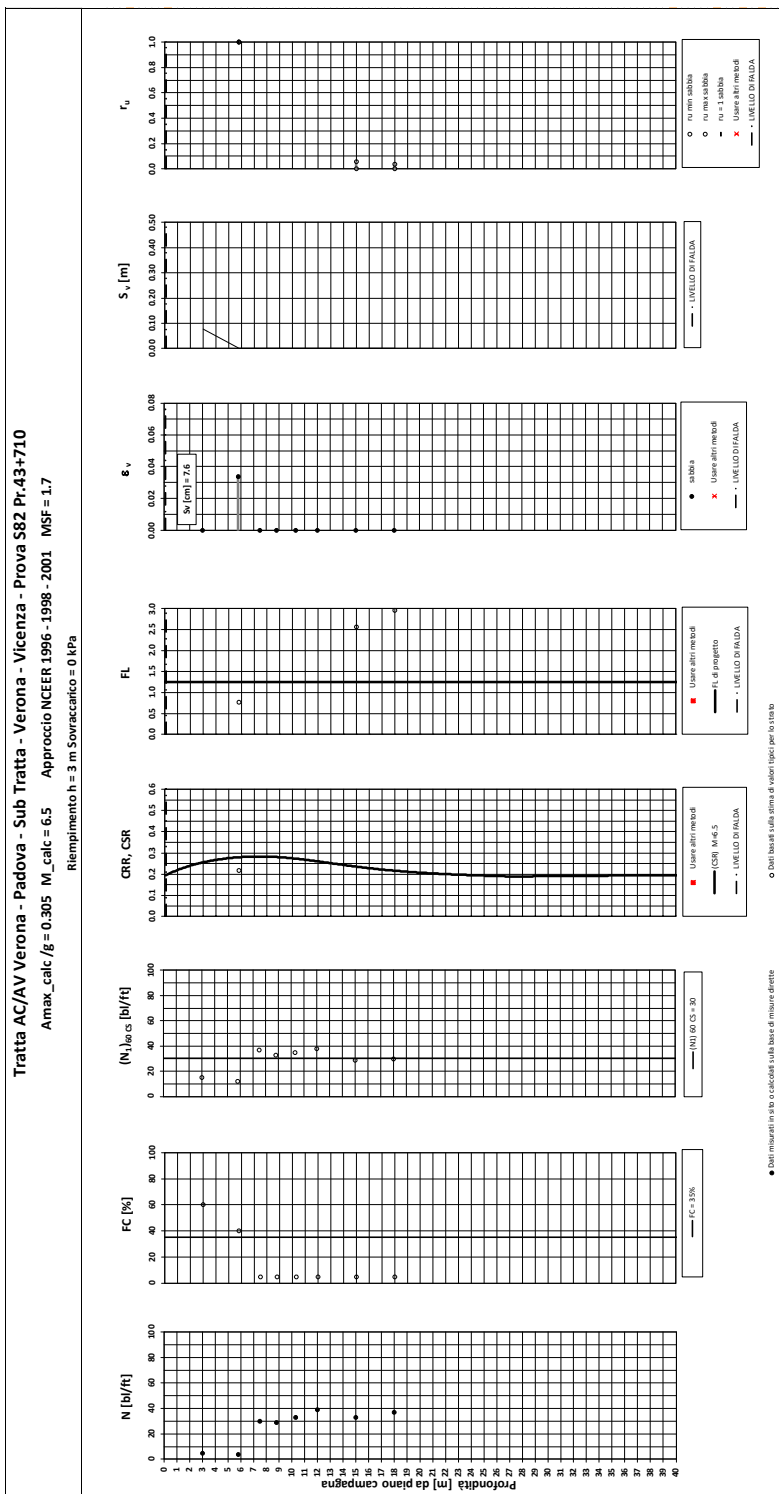


Figura 15 – Verifica Liquefazione da risultati da SPT S82



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI8400001A	33 di 109

T tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-54 Pr. 43+816
 $\sigma_{v,max} = 0.305g$ $M_{calk} = 6.5$ $MSF = 1.7$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
 Altezza rilevato = 5m

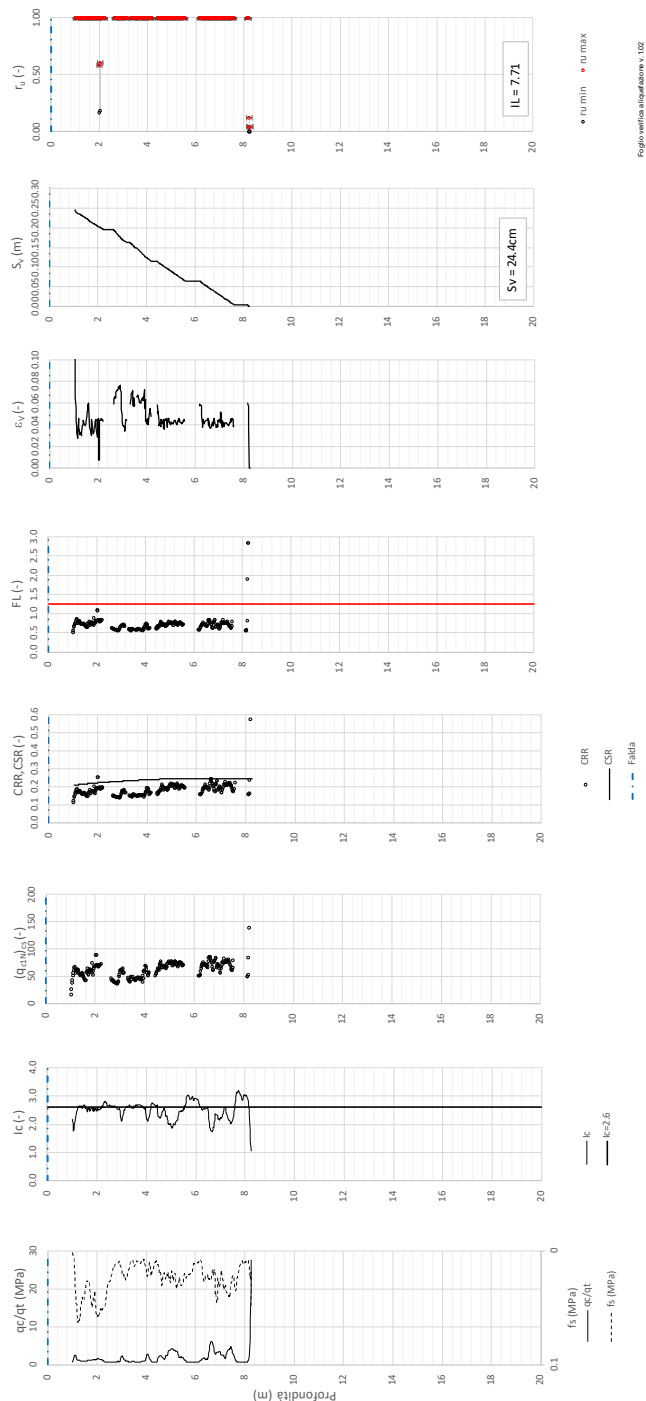




Figura 16 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-54

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 34 di 109

5.2.4 Soil improvement

Come mostrato al punto precedente, nella tratta in esame si evidenzia la presenza di materiale potenzialmente liquefacibile. 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+525 alla pk 43+875 si prescrive l'esecuzione di un trattamento di miglioramento delle caratteristiche dei terreni, mediante l'installazione di colonne in ghiaia con diametro $D=800$ mm, a maglia rettangolare $2\text{ m} \times 2.4\text{ m}$ (2 m in senso trasversale e 2.4 m in senso longitudinale all'asse delle linea).

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

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

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

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

- Si è dimensionata la spaziatura degli interventi sulla base delle indicazioni di Priebe (Doc.Rif.[35]). Il metodo proposto da Priebe consiste nel valutare, in funzione della "densità" del trattamento (i.e., la spaziatura fra le colonne), la diminuzione di azione ciclica sul terreno dovuta alla presenza delle colonne stesse. Nel grafico di Figura 17 A_c è l'area della colonna, mentre A è l'area di pertinenza della colonna stessa. A titolo di esempio, spaziando colonne $D=800$ mm su maglia quadrata $2.0\text{ m} \times 2.4$ m, si ottiene un "area ratio" $A/A_c=4.8/0.5=9.6$, che consente di ridurre l'azione ciclica sul terreno di un fattore (P_s/P nel grafico in ordinate) che può essere stimato pari a 0.65 per colonne realizzate con materiale avente angolo di resistenza al taglio dell'ordine dei 40° .
- Sulla base di tale riduzione, si è rivalutato l'effetto dell'azione ciclica ridotta sui terreni naturali. Nelle figure seguenti si riportano le verifiche di liquefazione eseguite con tale criterio. Come si può notare, per effetto della riduzione della PGA da 0.305 a 0.198 (appunto di un fattore 0.65), si assiste ad un notevole miglioramento del comportamento del materiale, con limitazione delle sovrappressioni interstiziali, e quindi riduzione di cedimenti elevati.
- Si segnala inoltre che il metodo di Priebe trascura l'effetto di addensamento dei materiali indotto dalla

realizzazione delle colonne. Inoltre, il metodo non tiene in conto dell'effetto di drenaggio indotto dalla presenza di colonne di ghiaia, con che favorisce ulteriore diminuzione delle sovrappressioni.

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

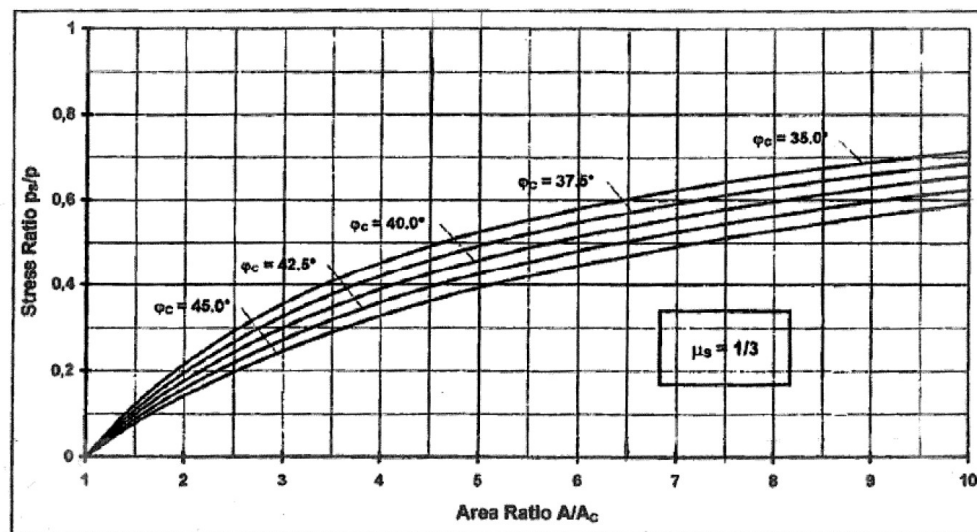


Figura 17 – Riduzione dello stress ratio sismico in funzione dell'area ratio delle colonne di ghiaia (Doc.Rif.[35])



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI840001A

Foglio
36 di 109

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-53 Pr. 43+615
a_{1,max} = 0,19825g; M_{1,calc} = 6.5 MSF = 1.7 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 4.5m

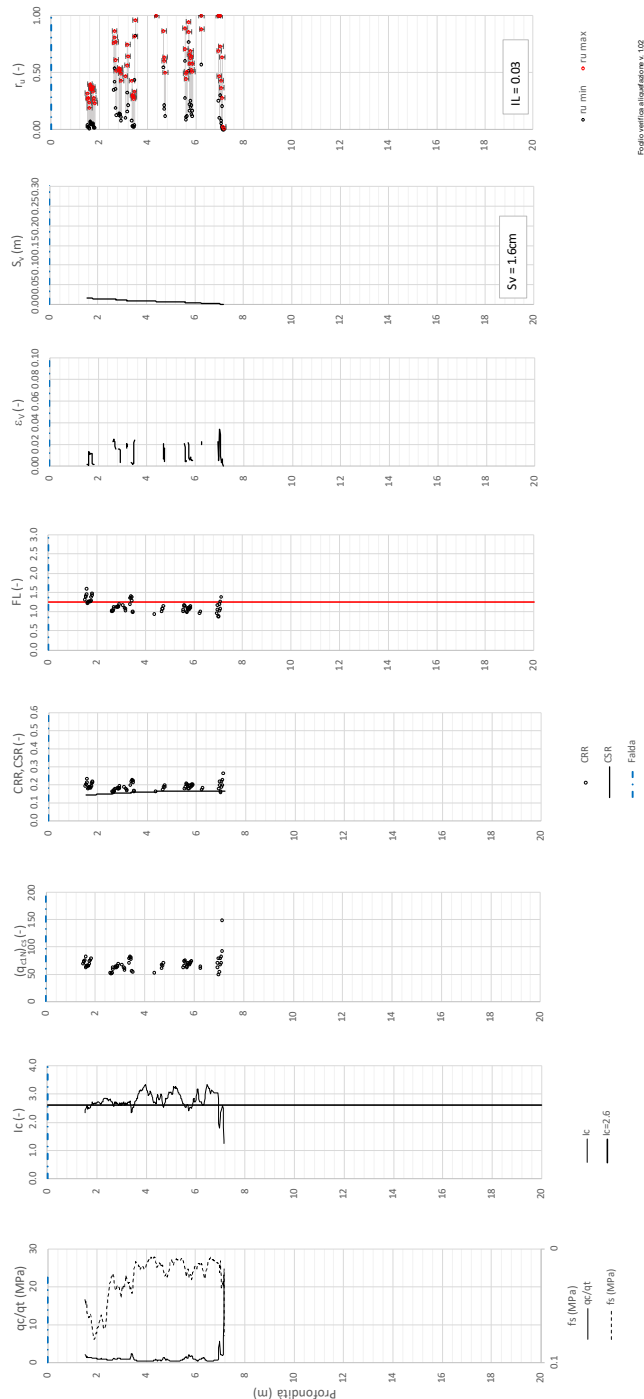


Figura 18 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-53 dopo soil improvement



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8400001A

Foglio
37 di 109

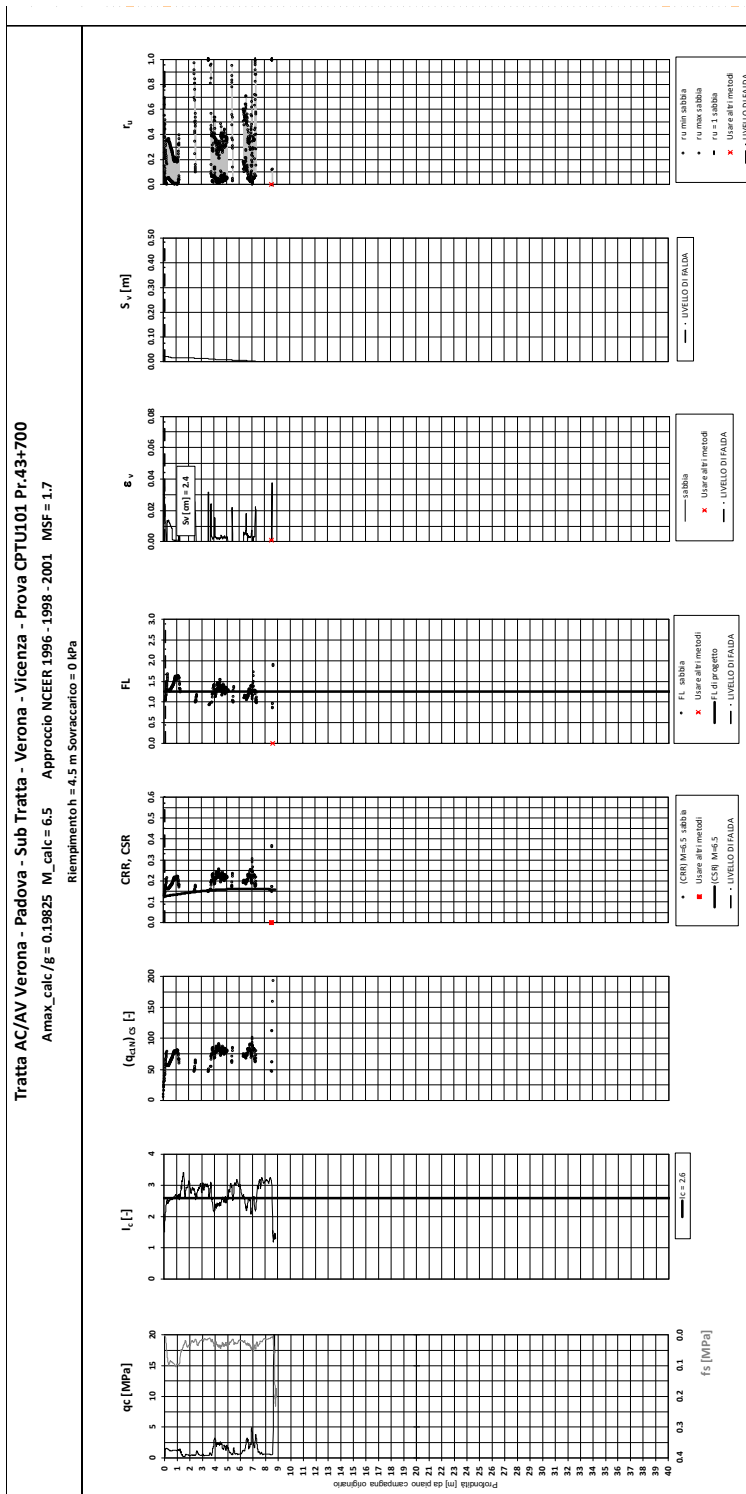


Figura 19 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-101 dopo soil improvement



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI840001A

Foglio
38 di 109

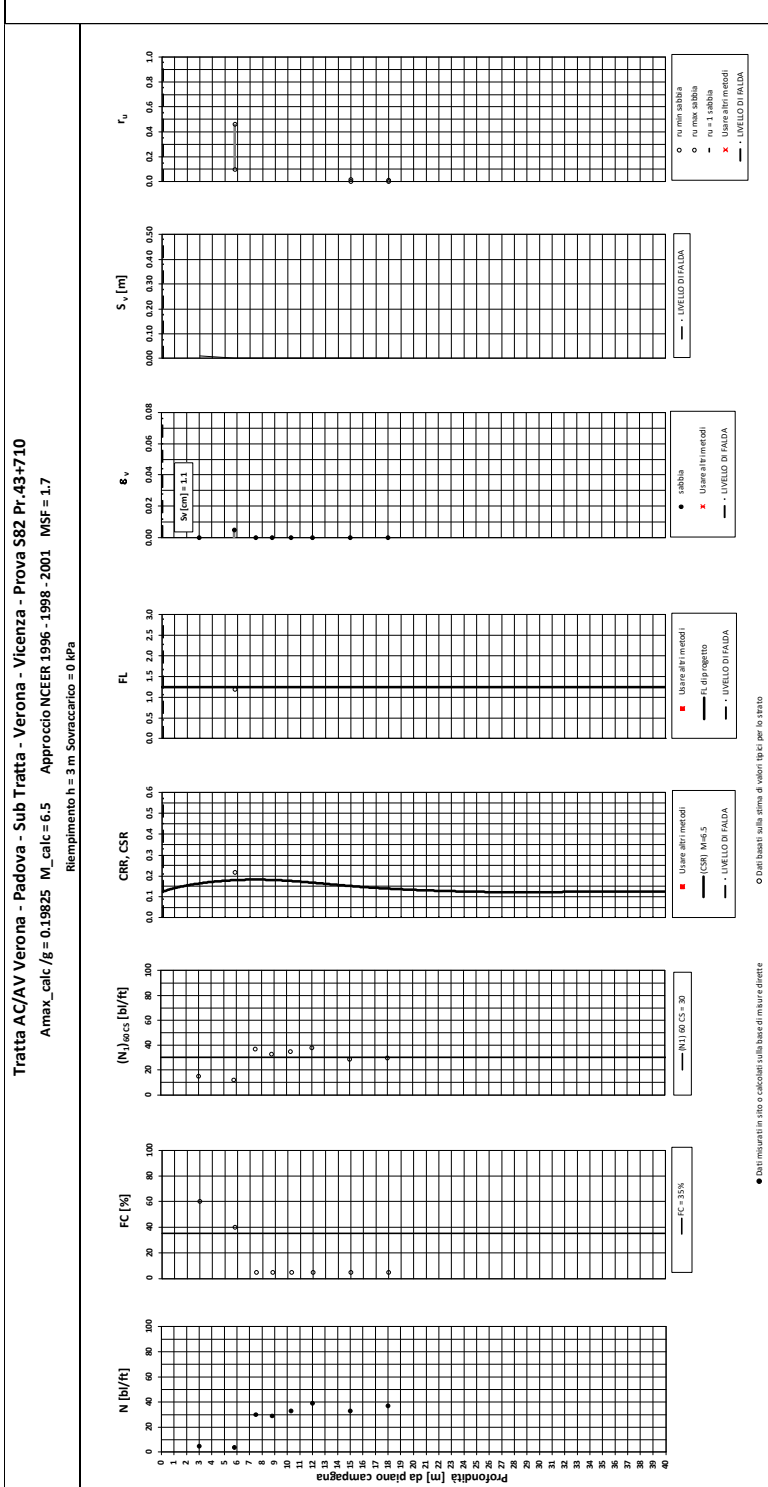


Figura 20 – Verifica Liquefazione da risultati SPT da S82 dopo soil improvement



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8400001A

Foglio
39 di 109

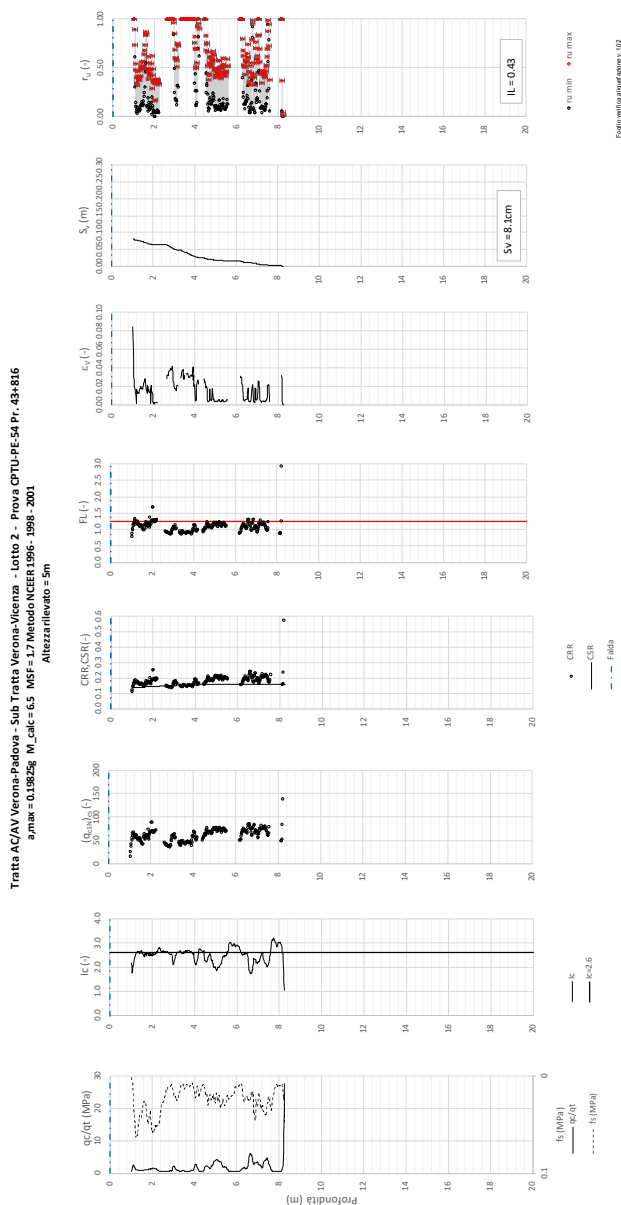




Figura 21 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-54 dopo soil improvement

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 40 di 109

6 VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO

6.1 Criteri di verifica agli Stati Limite

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

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

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

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

dove:

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

R_d valore di progetto della resistenza.

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

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

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

dove:

E_d valore di progetto dell'effetto dell'azione;

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

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

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

6.1.1 Stati limite ultimi (SLU)



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

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 41 di 109

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

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

Tabella 6 – Coefficienti parziali sulle azioni

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

dove:

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



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

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

Tabella 8 – Coefficienti parziali per verifiche di stabilità globale

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 42 di 109

6.1.2 Stati limite di esercizio (SLE)

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

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

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

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



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

6.1.3 Verifiche in condizioni sismiche e post-sismiche

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

6.2 Azioni di progetto

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 43 di 109

6.2.1 Azioni permanenti

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

Peso massicciata e armamento 18 kN/m³

Peso elementi in cls 25 kN/m³

In particolare, il peso della sovrastruttura ferroviaria è stato applicato sull'impronta del ballast, per un'altezza media fra il piano del ferro e l'estradosso del sub-ballast pari a 0.80 m.

6.2.2 Azioni variabili

Le azioni variabili sono rappresentate dai carichi da traffico ferroviario, qui determinati sulla base dello schema di carico più gravoso tra quelli previsti dalle NTC 2008, dalle Norme Europee e, conseguentemente, dal Manuale di Progettazione di RFI. In particolare, tale carico tiene conto della diffusione a partire dalla traversa e fino al piano di posa del ballast, secondo le prescrizioni di NTC e MdP. Nello specifico, è stato considerato il caso peggiore tra i tre modelli di carico previsti, ossia LM71, SW/0 ed SW/2. Per ogni binario, tale azione risulta essere pari a 61.4 kPa (LM71), da applicarsi su una superficie definita dalla larghezza della traversa e dalla larghezza di diffusione del carico nel ballast (2.8 m² in totale).

6.2.3 Azione sismica

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

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

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

dove



β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa (v. Tabella 10)

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

g accelerazione di gravità.

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

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

<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+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI8400001A</p>	<p>Foglio 44 di 109</p>

6.3 Verifiche e risultati SLU

6.3.1 Premessa

Le verifiche SLU della stabilità globale del rilevato (sia in condizioni statiche che sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo SLIDE 7.0 (Doc. Rif. [29]). Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento rispettivamente ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico e ai coefficienti parziali (M2) per le analisi sismiche. Tali coefficienti sono contenuti nella Tabella 7 della presente relazione.

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

$$FS \geq R2 = 1.1$$

è verificata sia in condizioni statiche che sismiche.

La verifica è stata condotta con riferimento alla già citata sezione di riferimento A riportata in Figura 1, secondo il metodo di Bishop modificato. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici caratteristici definiti al paragrafo 4.5.

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

6.3.2 Verifiche SLU in condizione statiche

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

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

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

$$F_{S\text{MIN}}(\text{DA1C2}) = 1.486 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

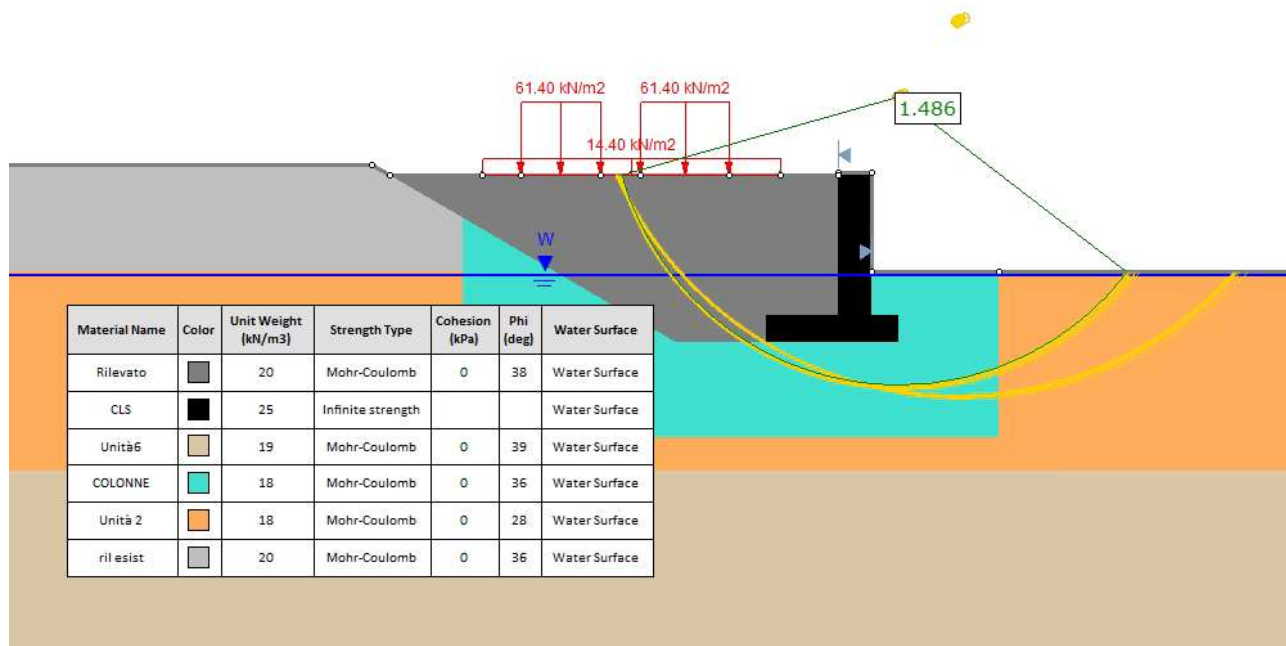




Figura 22 – Sezione A - Analisi SLU in campo statico DA1C2

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

<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+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI8400001A</p>	<p>Foglio 46 di 109</p>

6.3.3 Verifiche SLU in condizioni sismiche

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

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

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

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

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

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

$$FS_{MIN} = 1.344 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.

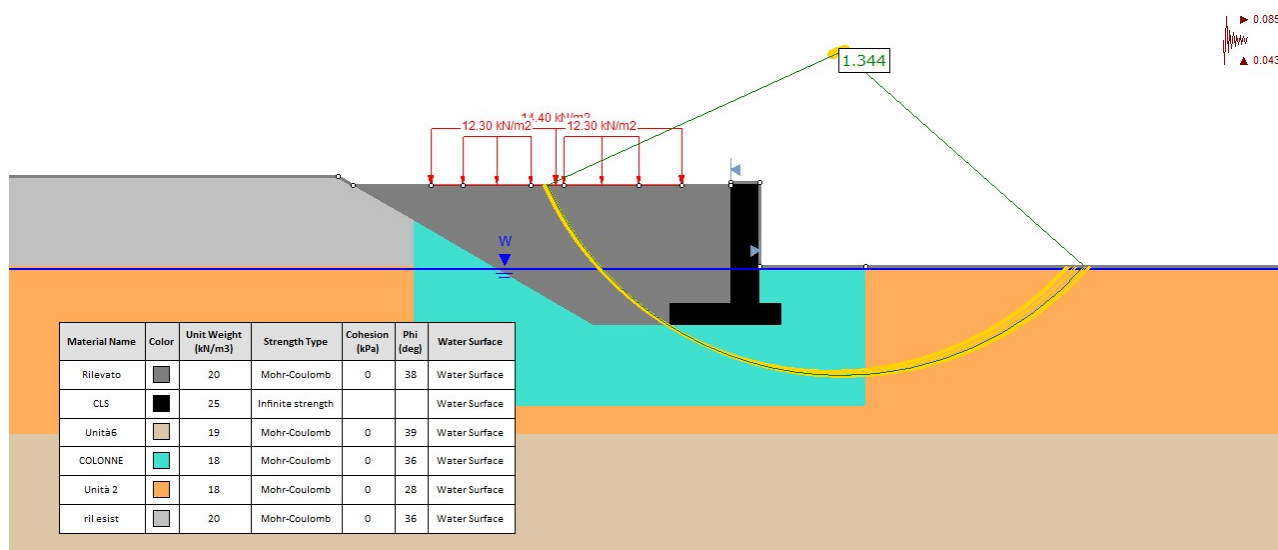




Figura 23 – Sezione A - Analisi SLU in campo sismico

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 47 di 109

6.3.4 Verifiche SLU in condizioni post sismiche

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

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

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

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

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

$$FS_{MIN} = 1.513 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale post sisma risulta soddisfatta.

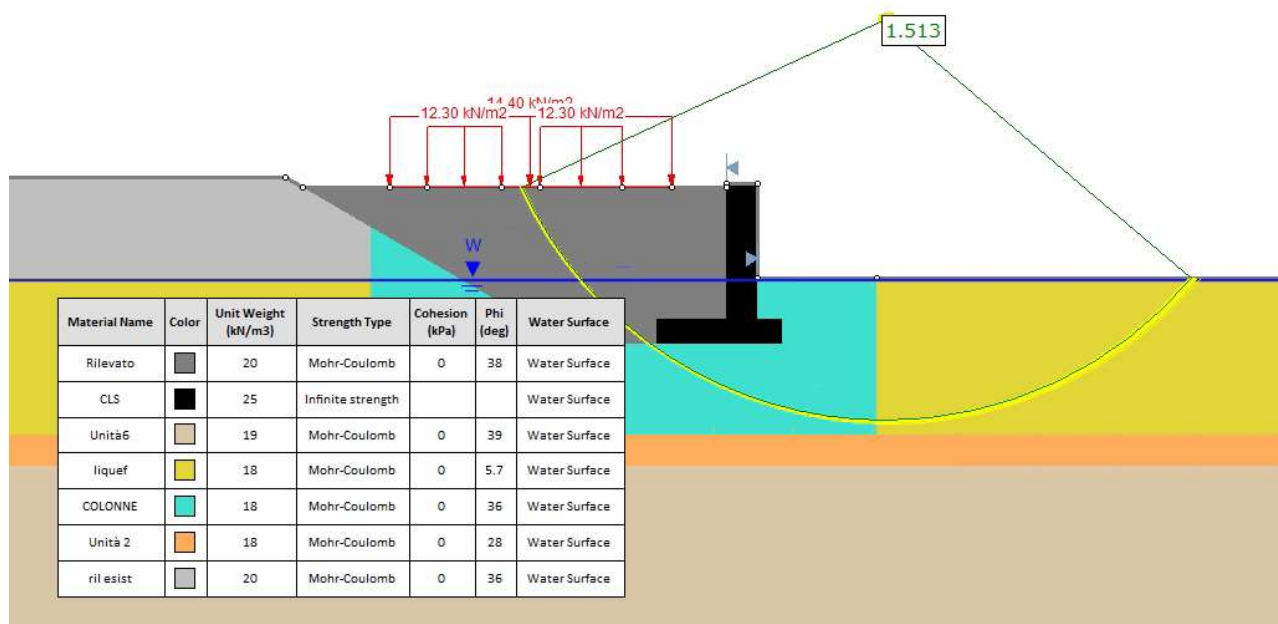




Figura 24 – Sezione A - Analisi SLU post sisma

<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+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI8400001A</p>	<p>Foglio 48 di 109</p>

6.4 Verifica e risultati SLE

6.4.1 Metodologia di calcolo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

q = carico applicato

ν = coefficiente di Poisson

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

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

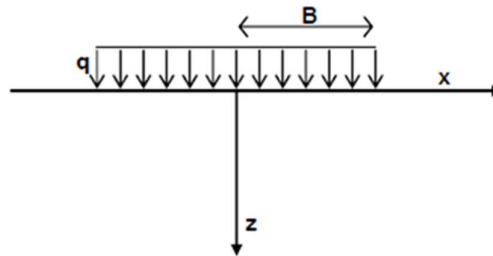


Figura 25 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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

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

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

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

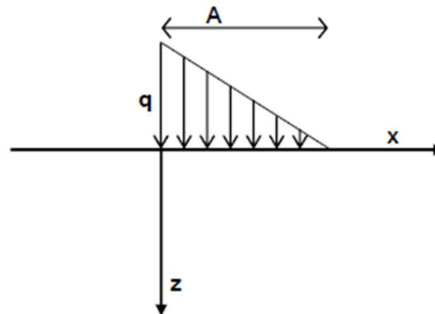




Figura 26 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 50 di 109

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

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

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

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

dove

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

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

6.4.2 Schematizzazione e risultati

La verifica è stata condotta con riferimento alla già citata sezione di riferimento A riportata in Figura 1. Il modello di calcolo implementato per il rilevato tipologico con altezza pari a 5.0 m, è riportato in Figura 25. Il rilevato esistente è largo 23.7 m e alto 5.3 m, il rilevato in affiancamento è alto 5 m e largo 14.4 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 del rilevato ferroviario.

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 51 di 109

Il cedimento calcolato in corrispondenza del centro del nuovo rilevato è di circa 8.6 cm.

Considerando che:

- La maggior parte del cedimento avviene per compressione degli strati superficiali (v. Figura 29), caratterizzati da valori di c_v elevati ($>5 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$), e spesso di natura sabbiosa,
- Considerando che le colonne agiscono in pratica come dreni verticali di diametro 80 cm,

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

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

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

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

La verifica SLE è quindi da considerarsi soddisfatta.

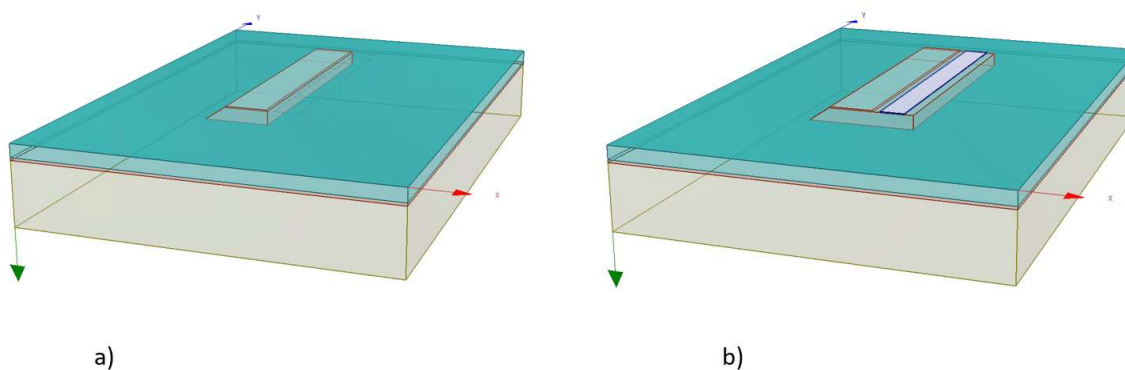


Figura 27 - Rilevato RI84 - Analisi SLE – Modello di calcolo



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

52 di 109

Ri84 : Cedimento del rilevato ferroviario linea AV

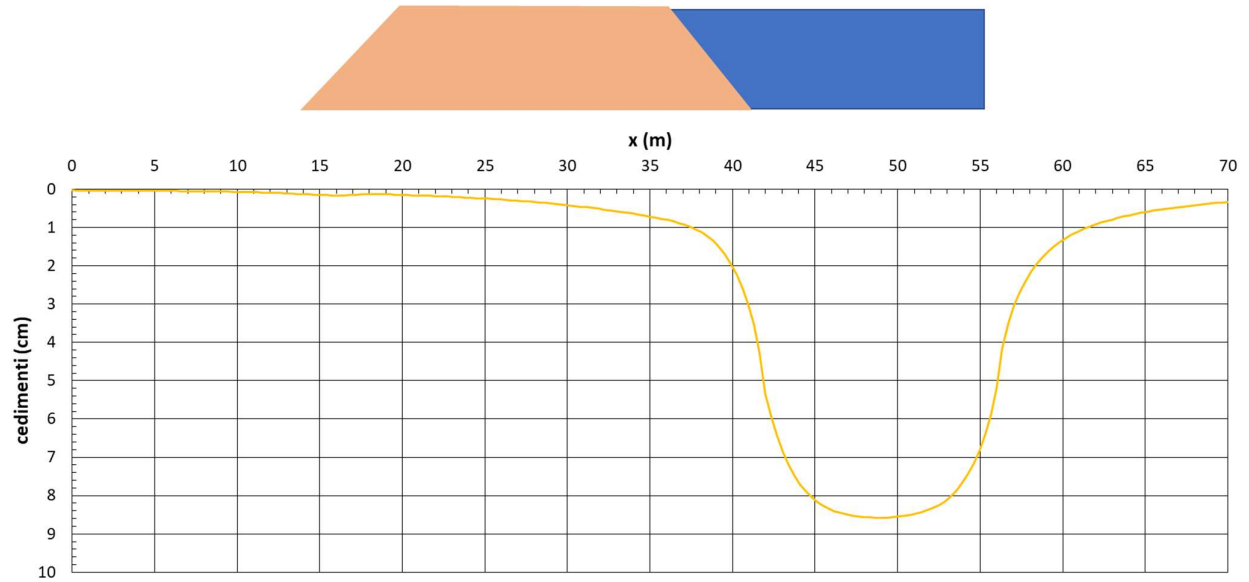


Figura 28 - Rilevato RI84 - Analisi SLE – Cedimenti



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

53 di 109

Ri84: Cedimento al centro del rilevato ferroviario Av

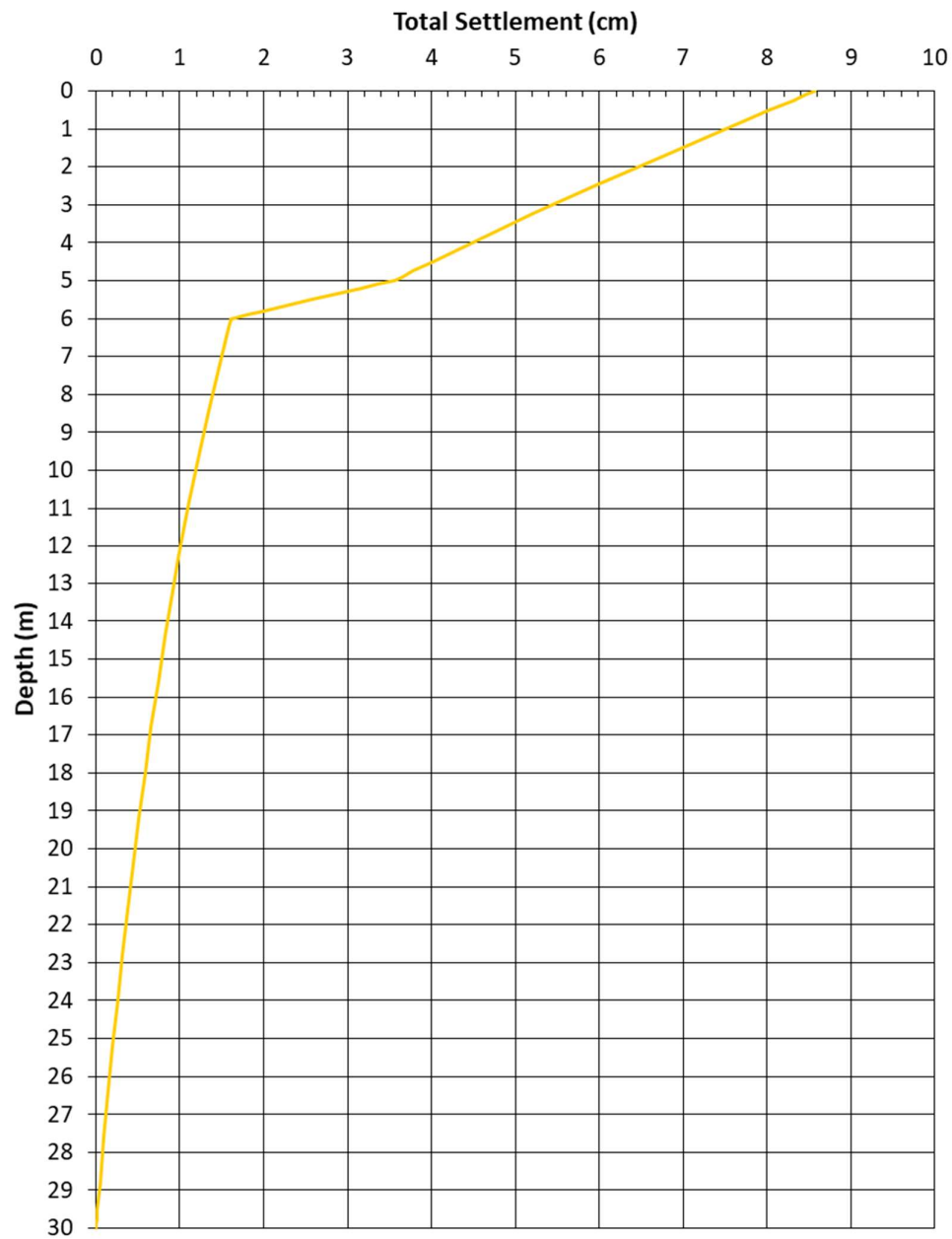




Figura 29 - Rilevato RI84 - Analisi SLE – Risultato cedimenti in profondità al centro del rilevato

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 54 di 109

7 RESISTENZA DEI PALI SOGGETTI A CARICHI ASSIALI

7.1 Analisi agli stati limite

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

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

essendo:

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

dove:

F_{cd} carico assiale di compressione di progetto;

R_{cd} capacità portante di progetto nei confronti dei carichi assiali;

R_k valore caratteristico della capacità portante limite del palo;

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+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI8400001A</p>	<p>Foglio 55 di 109</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+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 56 di 109

7.2 Metodologia di calcolo

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

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

dove:

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

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

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

dove:

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



7.2.1 Portata laterale

La portata laterale limite è valutata con la seguente relazione:

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

dove:

- D diametro palo,
- 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+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 57 di 109

7.2.1.1 Depositi coesivi

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

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

dove:

c_u resistenza al taglio non drenata.

α coefficiente empirico, determinato in accordo a quanto indicato nel manuale FHWA 2010:

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

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

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

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

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

dove:

σ'_{v0} tensione verticale efficace alla quota di riferimento.

7.2.1.2 Depositi incoerenti

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

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

dove:

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

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

σ'_{v0} tensione verticale efficace alla quota di riferimento.

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

7.2.2 Portata di base

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

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

dove:

A_p area della base del palo,

q_{bl} portata limite specifica di base.

7.2.2.1 Depositi coesivi

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

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

dove:

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

7.2.2.2 Depositi incoerenti

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

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

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

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

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

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

7.2.2.3 Terreni stratificati

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

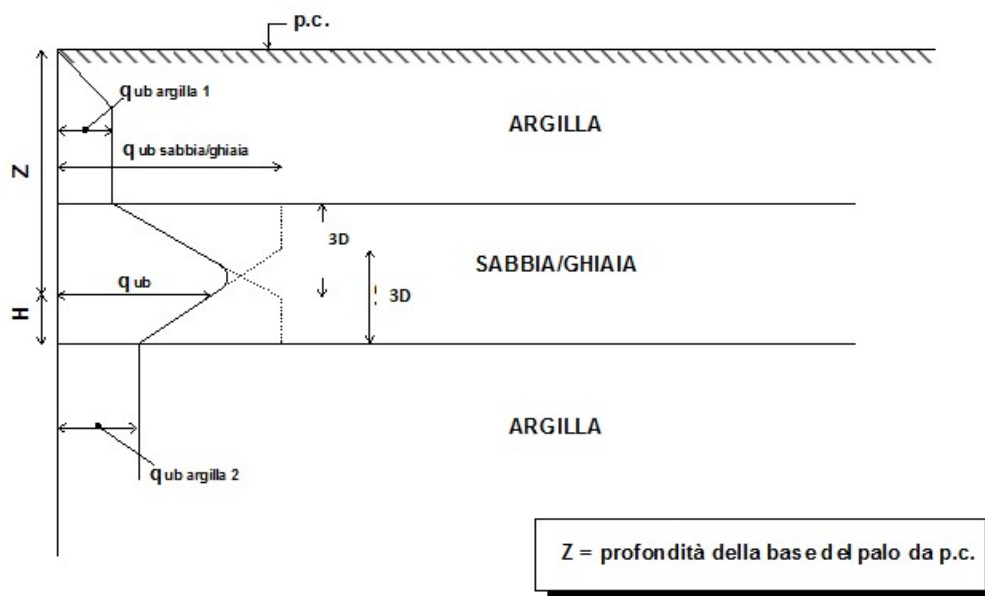




Figura 30 - Criterio di valutazione della pressione ultima di base (q_{ub}) in terreni stratificati

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 59 di 109

7.3 Stratigrafia di calcolo

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

Modello geotecnico di riferimento da pk 43+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 $k_h = 15000 \text{ kN/m}^3$, 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 $D=600 \text{ mm}$ che per pali $D=800 \text{ mm}$. Coerentemente a quanto dichiarato nel Capitolo 6, per quanto riguarda le condizioni sismiche, si faccia riferimento alle curve agli SLU.

Lpalo m	CARICO LIMITE ULTIMO			CURVE SLU				
	Q _{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 31 – Riassunto curve di capacità portante SLU/SLE per pali D=600 mm



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8400001A

Foglio
61 di 109

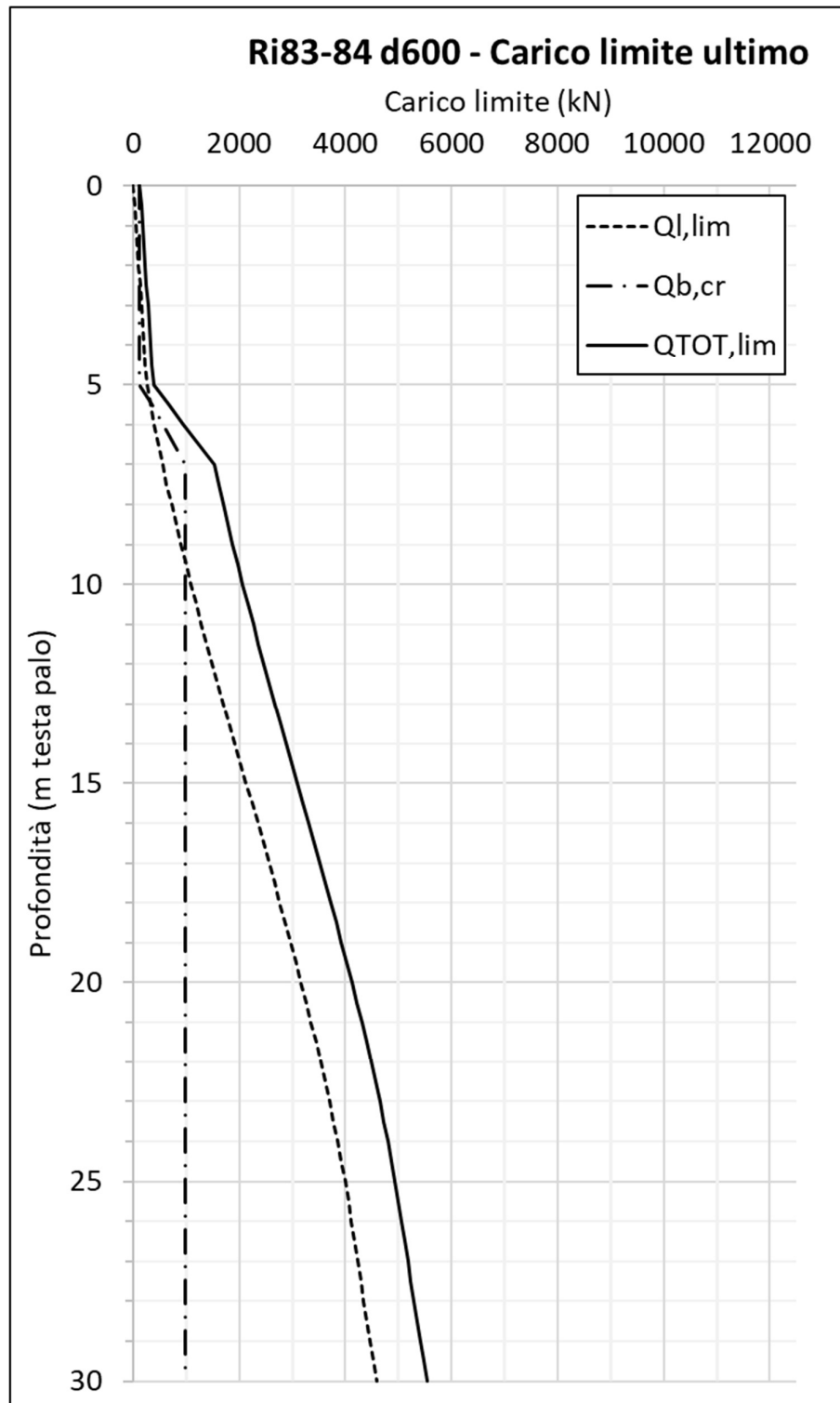


Figura 32 – Curve di carico limite ultimo per pali D=600 mm

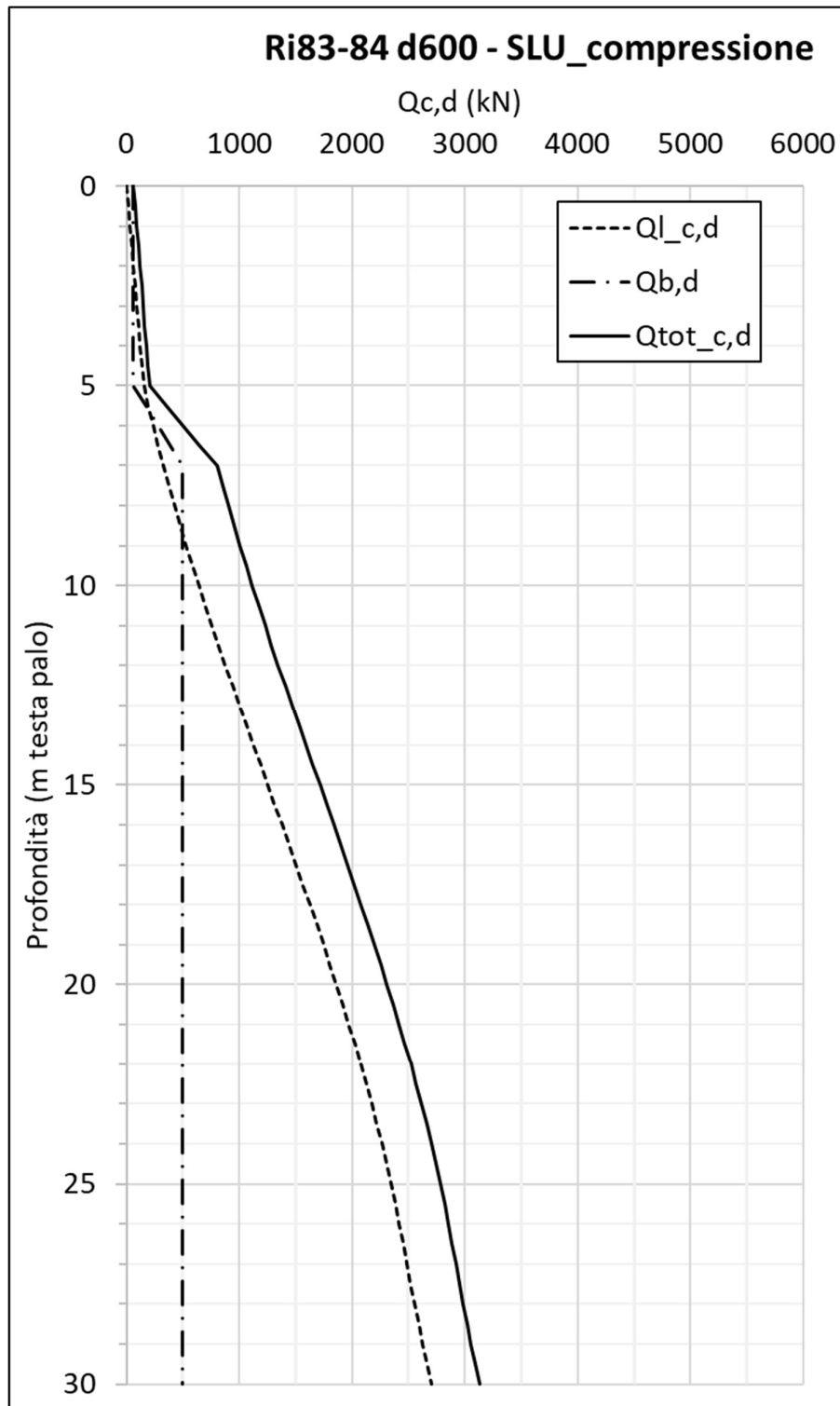


Figura 33 – Curve di capacità portante SLU, compressione per pali $D=600$ mm

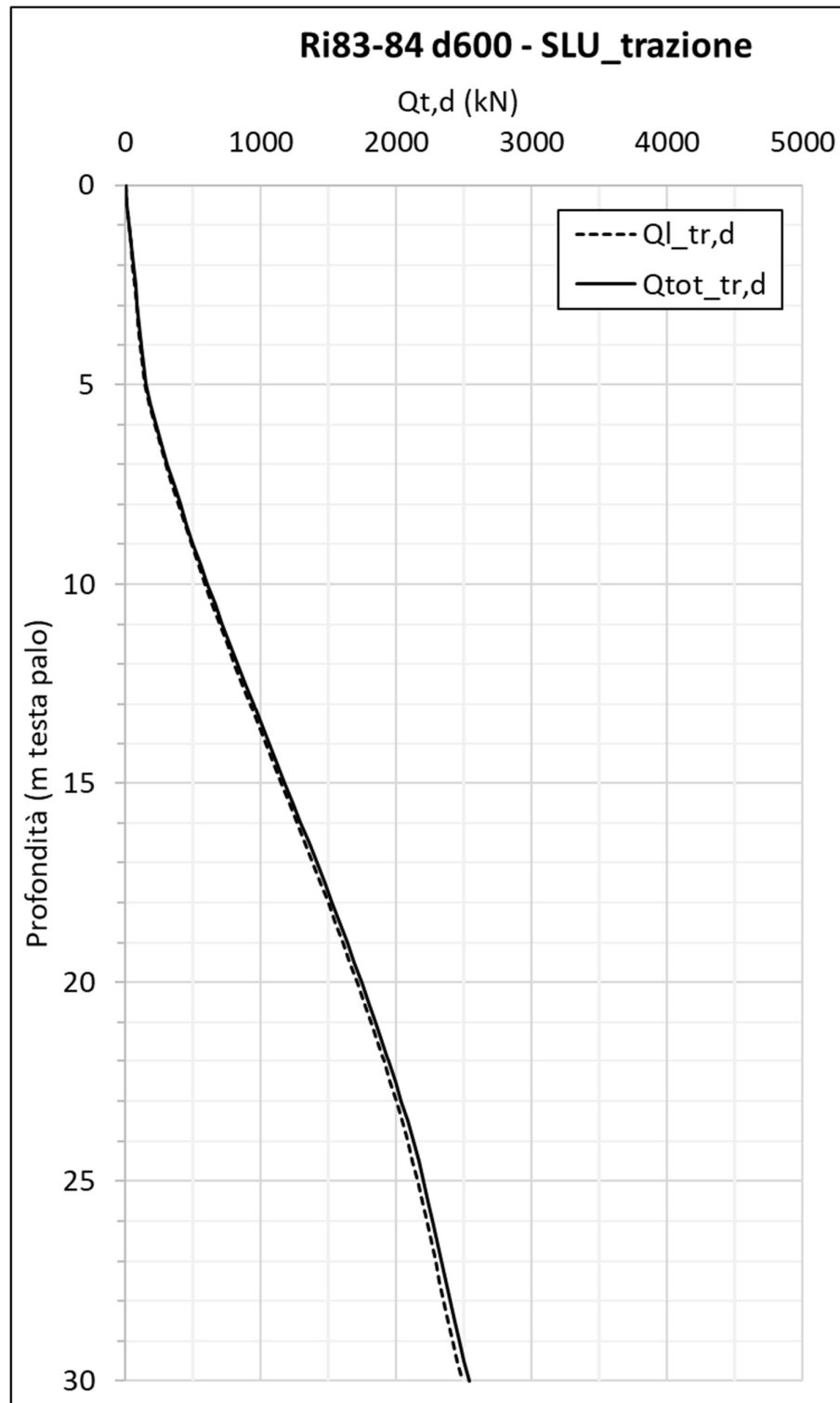


Figura 34 – Curve di capacità portante SLU, trazione per pali D=600 mm

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

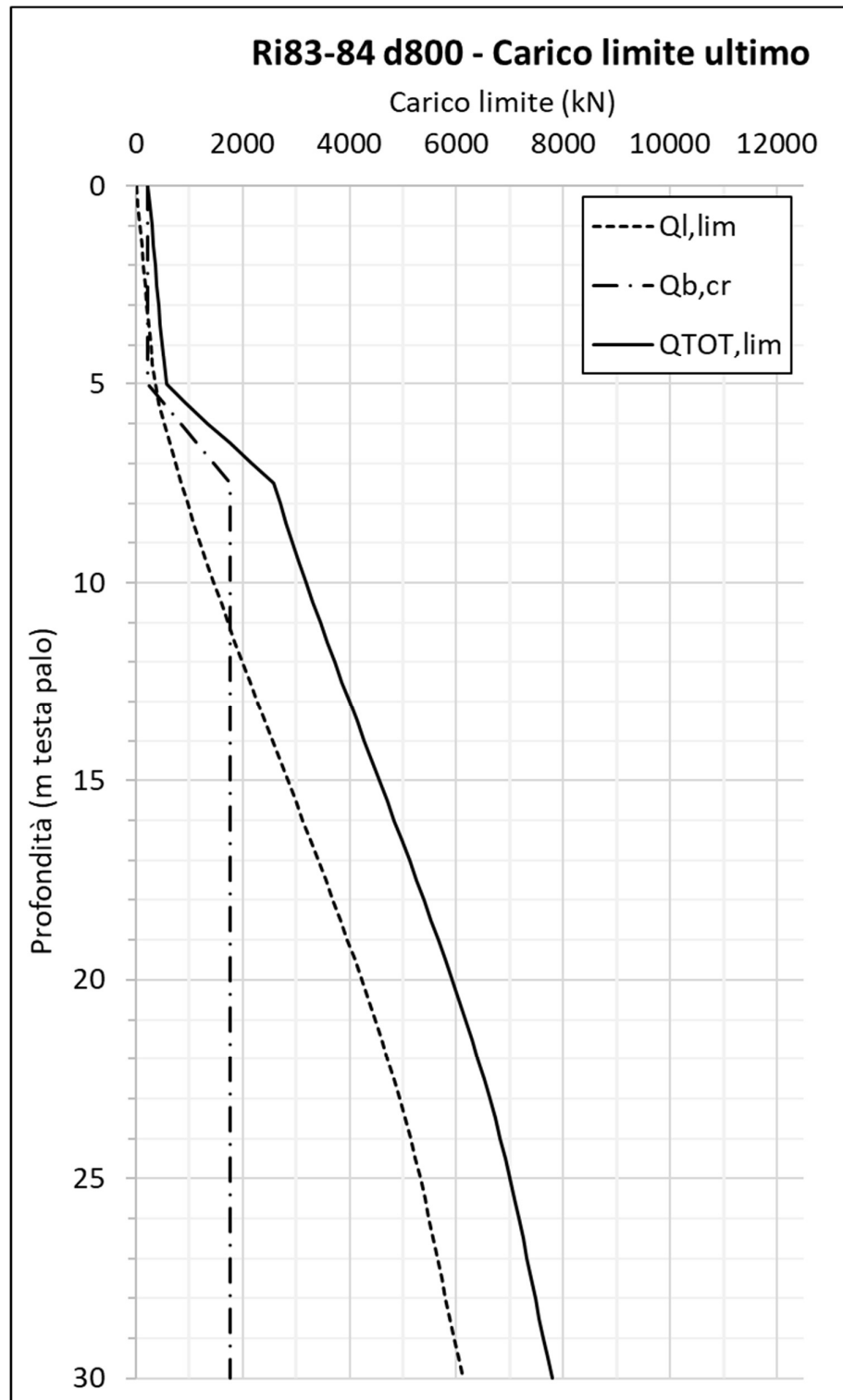


Figura 36 – Curve di carico limite ultimo per pali $D=800$ mm

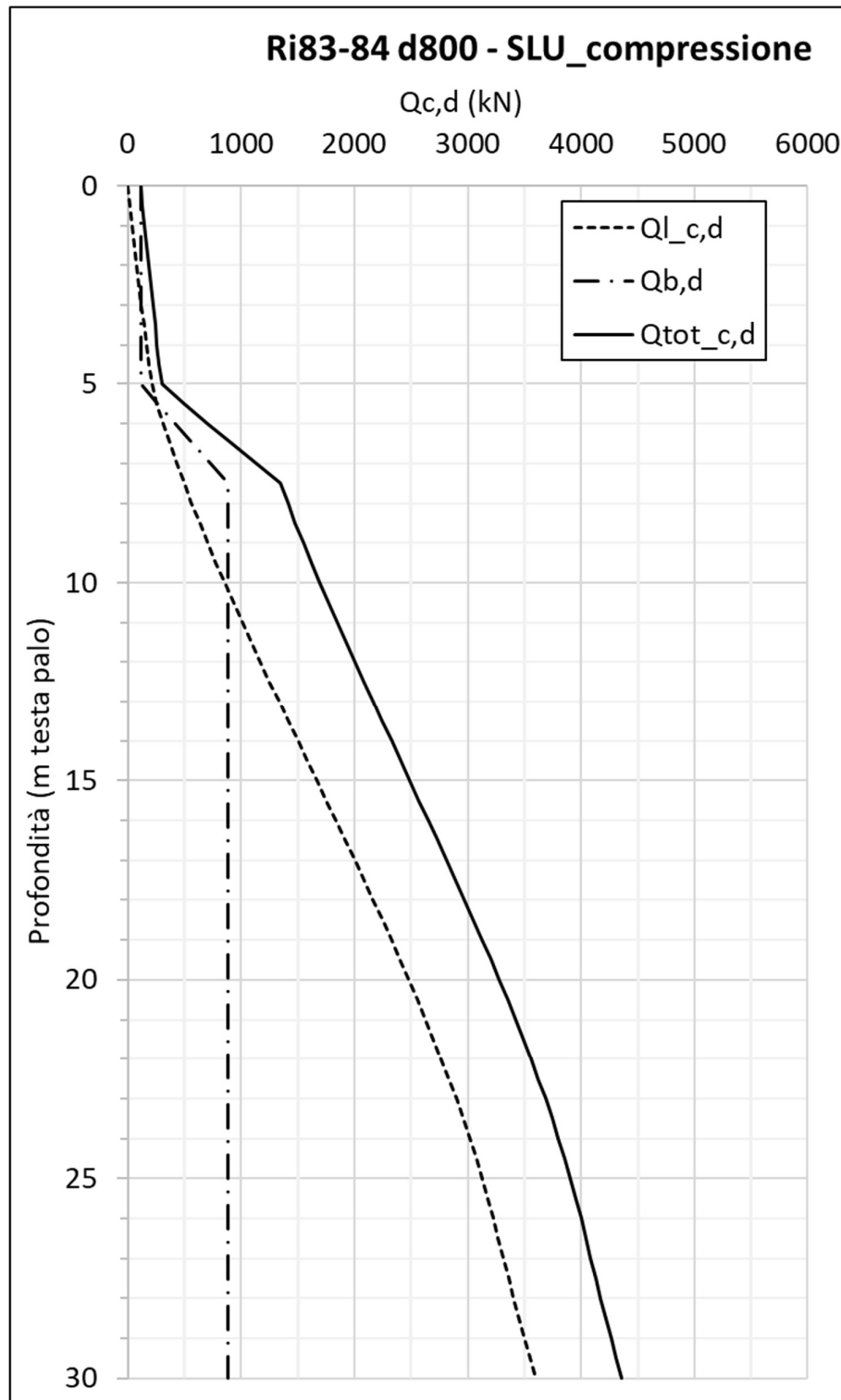


Figura 37 – Curve di capacità portante SLU, compressione per pali $D=800$ mm

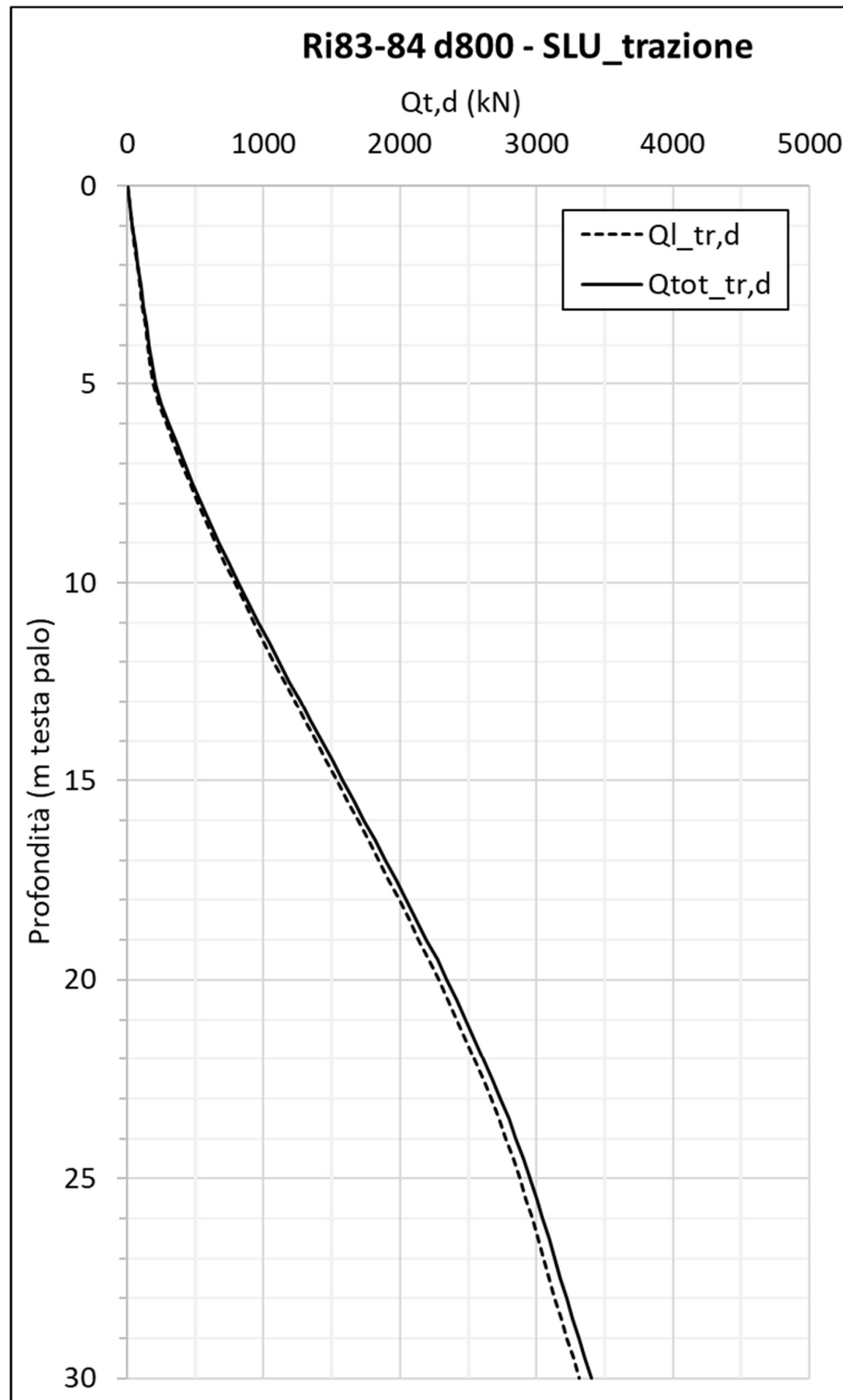


Figura 38 – Curve di capacità portante SLU, trazione per pali D=800 mm

GENERAL CONTRACTOR



IRICAV2

ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 68 di 109
---	------------------	-------------	-----------------------------	---------------------

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

69 di 109

8 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

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

GENERAL CONTRACTOR



IRICAV2

ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI8400001A	70 di 109

ALLEGATI

GENERAL CONTRACTOR

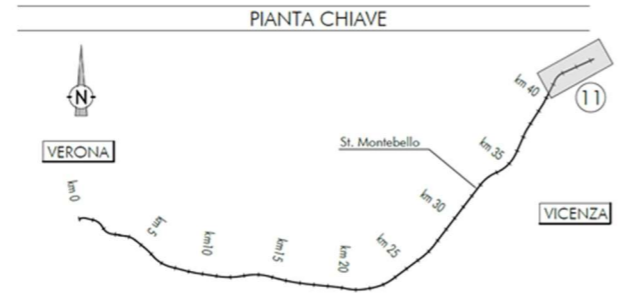
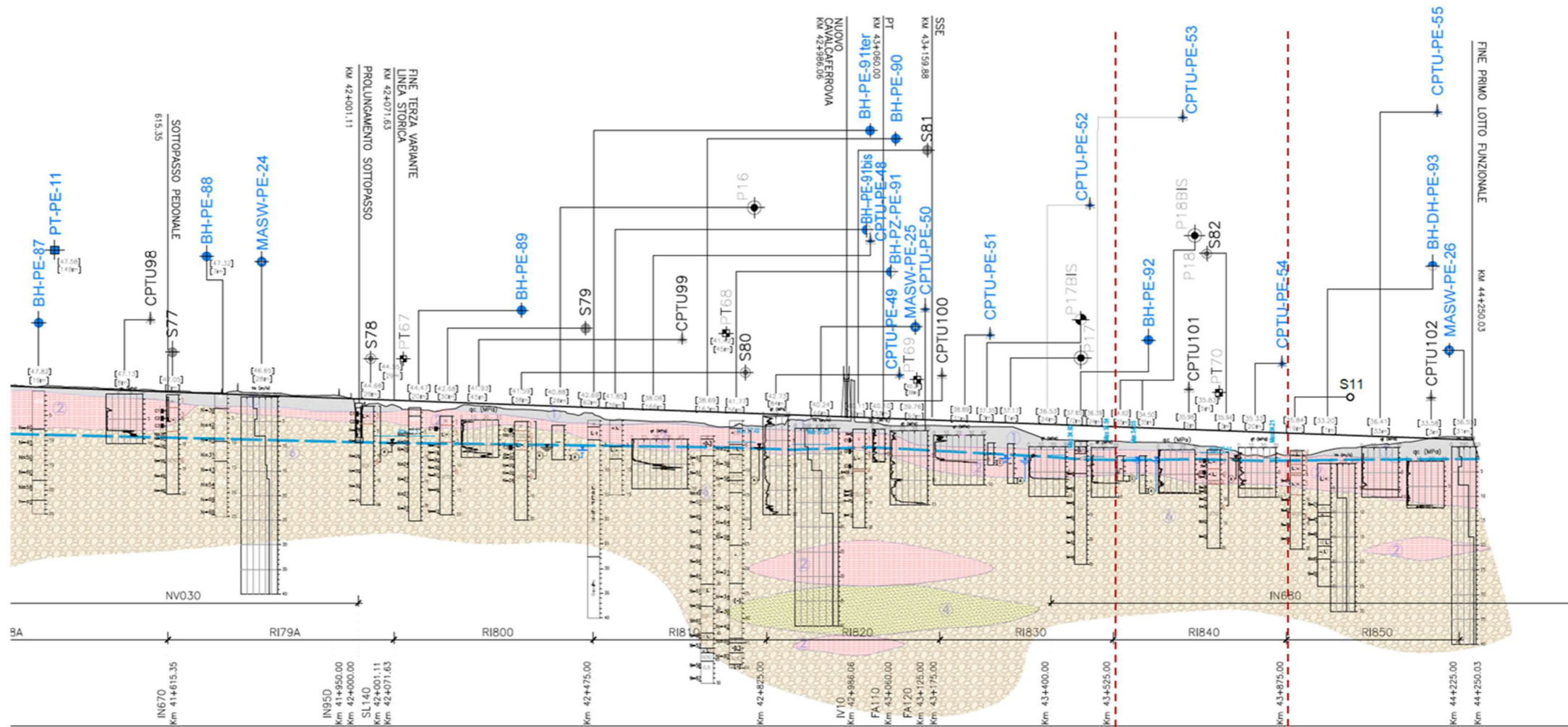


ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 71 di 109
---	------------------	-------------	-----------------------------	---------------------

ALLEGATO 1 - PROFILO STRATIGRAFICO



- LEGENDA**
- Campagna indagini integrative PE**
- BH-PE-87: Sondaggio a carotaggio continuo
 - BH-PZ-PE-91: Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di piezometro a tubo aperto a Casagrande
 - MASW-PE-24: Indagini MASW
 - CPTU-PE-48: Prova penetrometrica statica con piezometro
 - CPTU-PE-49: Sondaggio geognostico
 - P1+P15, P20: Sondaggio a carotaggio continuo con installazione di Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - P1+15Bis: Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C)
 - Campagna indagini 2015**
 - SP: Sondaggio a carotaggio continuo
 - SP1, SP2, SP3: Sondaggio a carotaggio continuo (SP) con installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - SP4: Foro a distribuzione di nucleo per installazione di Piezometro Casagrande (C) e/o Piezometro a Tubo Aperto (A)
 - CPM1: Prova penetrometrica statica con piezometro (possibilità di avanzamento con trivellazione)
 - CPM2: Prova penetrometrica statica con piezometro "tradizionale"
 - CH: Foro a distribuzione di nucleo per esecuzione prove CROSS-HOLE
 - P16: Razzetto esplorativo a 1,5 m da p.a. con prove di carico su piastra
 - P17: Profondità delle indagini
- Campagna indagini 2014**
- P16: Razzetto esplorativo
 - BH-PE-88: Sondaggio con esecuzione di prova down hole
 - CPMPE: Sondaggio con esecuzione di prova cross hole
 - Indagini orientate
 - Note 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**
- IN: Sondaggio geognostico (campagna 1998)
 - IV: Sondaggio geognostico, numero di riferimento (campagna 2002)
 - CPTU: CPTU, numero di riferimento (campagna 2002)
 - P: Pozzo con stratigrafia, numero di riferimento (Dati ex Aziende Industriali Municipalizzate (VI) per gentile concessione Centro Idrico Navoledo s.r.l.)
- Classi dei terreni**
- Asse di progetto: Confine di Provincia, Confine Comunale
- 1) Riparto
 - 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 scoli a mediamente addensati
 - 3b) Area con prevalenza di limi argillosi e argille limose, da tenere a mediamente compatte, generalmente NC o debolmente OC
 - 3c) Area di alterazione, sia in verticale che planimetrica, di materiali 3a e 3b
 - 4) Sabbie generalmente da debolmente limose a limose, da mediamente addensati a molto addensati
 - 6) Ghiaie, ghiaie con sabbie, con presenza locale di ciottoli, anche di grandi dimensioni (fino a 80/100mm)

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 73 di 109
---	------------------	-------------	-----------------------------	---------------------

ALLEGATO 2 - INDAGINI



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI840001A	74 di 109



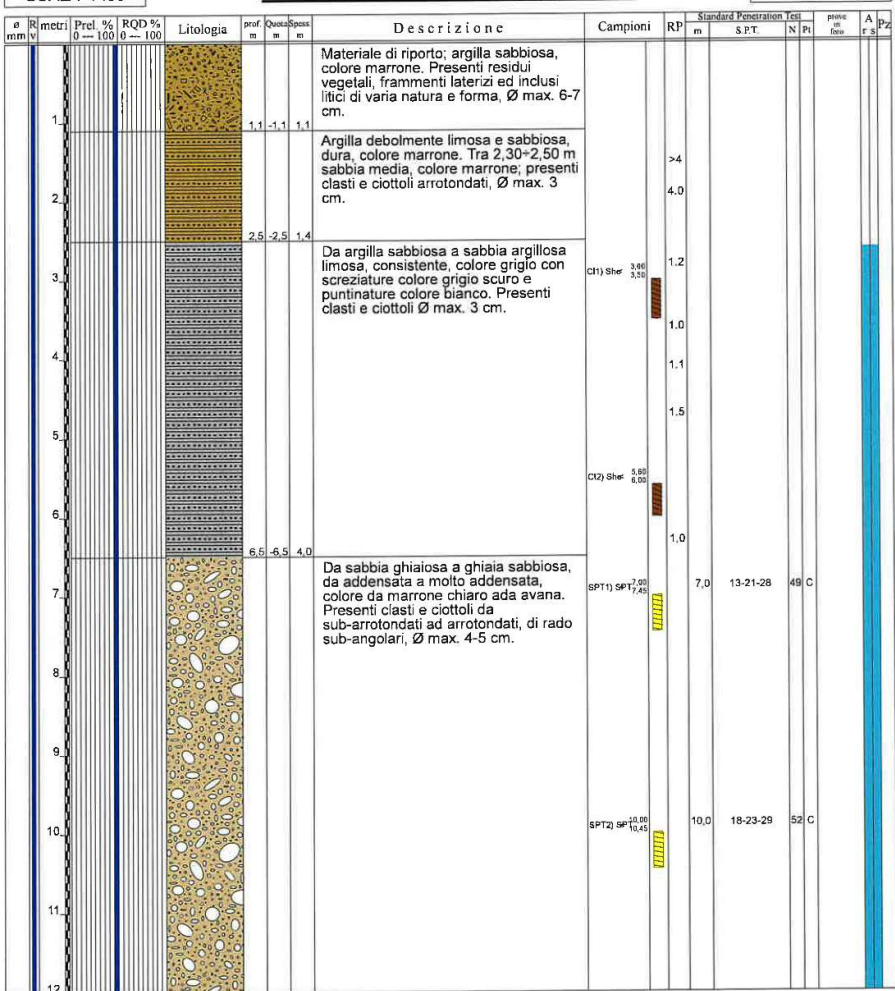
Laboratorio Sperimentale
per prove geotecniche terre, rocce e prove in situ
Via Collemarini, 3 - San Vittore del Lazio (FR)
e-mail: info@geoserving.it

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 1/3



Il Geologo di Cantiere
dott.geol. Gerardo Barrasso

Il Responsabile della Commessa
dott.geol. Giuseppe Pacitti



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI8400001A	75 di 109



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

Profondità (m)	Profondità (m)	Profondità (m)	Profondità (m)	Litologia	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test (m)	SPT	N	Pi	prove in situ	A	Pz
13.0	13.0	13.45		[Diagramma litologico: sabbia ghiaiosa a ghiaia sabbiosa, da addensata a molto addensata, colore da marrone chiaro a avana. Presenti clasti e ciottoli da sub-arrotondati ad arrotondati, di rado sub-angolari, Ø max. 4-5 cm.]	Da sabbia ghiaiosa a ghiaia sabbiosa, da addensata a molto addensata, colore da marrone chiaro a 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				
14.0	14.0				SPT4) SP 15.00 / 16.45	16.0	11-22-30	52	C					
15.0	15.0				SPT5) SP 18.00 / 19.45	19.0	13-20-28	48	C					
16.0	16.0				SPT6) SP 21.00 / 21.45	21.0	18-21-32	53	C					
17.0	17.0													
18.0	18.0													
19.0	19.0													
20.0	20.0													
21.0	21.0													
22.0	22.0													
23.0	23.0													
24.0	24.0													

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+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI8400001A	76 di 109



Laboratorio Sperimentale
per prove geotecniche terra, 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	% 100	RQD % 0-100	Litologia	prof. m	Quasi n	spazi m	Descrizione	Campioni	RP	Standard Penetration Test			prove di falso	A r S	Pz
													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



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8400001A

Foglio
77 di 109

VICENZETTO		SCHEDE DI SONDAGGIO		COMMESSA 009cm15	
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°		PAG. 1		DI 1	
Rev 0	Data	CERTIFICATO N°	SPERIMENTATORE	DIRETTORE	
COMMITTENTE Consorzio Iricav Due		534	Dot. Geol. P. Pasqualeto	Dot. Geol. T. Vianello	
PROGETTO Linea AVIAC Verona-Padova - 2° Sub-lotto Montebello Vicentino-Vicenza					
PERFORAZIONE N. S.82 DATA INIZIO 11/03/2015 ULTIMAZIONE 12/03/2015					
COORDINATE: Nord					
RESPONSABILE: Dot. P. Pasqualeto OPERATORE: L. Crocetti ATTEZZATURA: QUOTA P.C. =					
Da m. 0,00 A m. 20,00 Profondità finale m. 20,00 PAG. 1 DI 1					
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA					
1,00	Argilla limosa marrone scuro con radici fino a 0,50 m; resti di laterizi fino a 0,50 m; ghiaia bruciata grigia da 0,60 a 0,80 m	CI 1	2,00		
2,00	Argilla debolmente limosa marrone, con ossidazioni, rari ciottoli fino a 1,40 m	1SPT	3,45		
3,00	Limo argilloso debolmente sabbioso nocciola	CI 2	4,30		
3,30	Argilla da debolmente limosa a limosa grigio nocciola con piccole concrezioni calcaree	2SPT	5,80		
3,90	Limo sabbioso argilloso grigio, con lente sabbia fine da 5,65 a 5,80 m; frustoli torbosi sparsi	CR 1	7,50		
6,20	Sabbia medio fine grigia fino a 6,75 m, poi nocciola	CR 2	8,80		
6,90	Ghiaia in matrici sabbiosa talvolta abbondante. Classi eterometriche ed eterogenee da subangolari a subarrotondati 20max 4-0 cm. Da 6,60 a 6,75 m livello di argilla limosa nocciola con ossidazioni. Da 7,00 a 7,40 m e da 13,70 a 19,60 m presenza di limo	CR 3	10,30		
		CR 4	12,00		
		CR 5	15,00		
		CR 6	18,00		

RILEVIO ACQUA IN FORO DURANTE LA PERFORAZIONE				NOTE	
PROF. FORO (m DA P.C.)	PROF. RIVERA (m DA P.C.)	ORA	DATA	INIZIO (m DA P.C.)	FINE (m DA P.C.)
15,00	14,80	11:03	-0,80	12:03	-1,45

PROVE IN FORO		STRUMENTAZIONE		MATERIALE DEPOSITO IN n° 4 cassette catalogattici	
T.C.R. %	S.C.R. %	R.Q.D. %	PIEZOMETRO TUBO APERTO Ø 2"	METODO DI PERFORAZIONE	ATTREZZATURA PERFORAZIONE
100				Carotaggio continuo a secco	Carotiere semplice DMM 101 mm
					DIAM. 127 mm
					DATA 11/03/15

DIMENSIONI SPEZZIONI		PROVE	
4-6 mm	6-9 mm	NUMERO	PROFONDITÀ (m DA P.C.)

STRUMENTAZIONE		MATERIALE DEPOSITO IN n° 4 cassette catalogattici	
PIEZOMETRO TUBO APERTO Ø 2"	METODO DI PERFORAZIONE	ATTREZZATURA PERFORAZIONE	INVESTIMENTO
	Carotaggio continuo a secco	Carotiere semplice DMM 101 mm	DIAM. 127 mm
			DATA 11/03/15

Decreto di concessione n. 52506 del 11/10/2004; rilascio dei certificati di cui al settore c, prove in sito, art. 8 DPR 246/93 - D. L. 14 settembre 05 (G. U. n° 222 del 25/09/2005 - S. O. n° 159)



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI8400001A	78 di 109

FERRARA DEPARTMENT

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

SOCOTEC ITALIA Srl - P.Iva 01872430648
Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

www.socotec.it



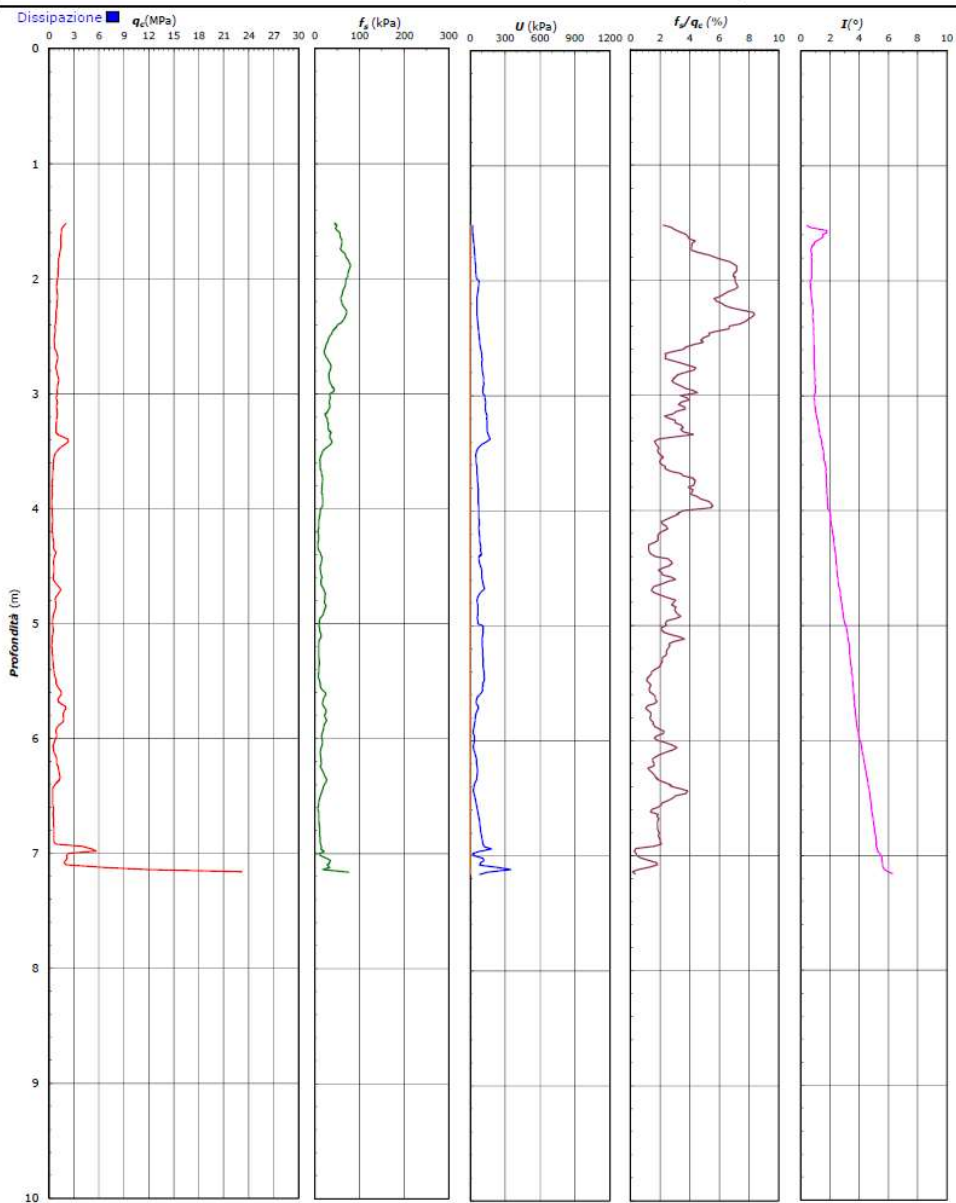
COMMITTENTE: CONSORZIO IRICAV DUE - Via Francesco Tovaglieri 413-00155 Roma (RM)

CANTIERE: Linea Alta Velocità Verona-Vicenza

PROVA N°: CPTU-PE-53 PROF. FALDA (m da p.c.): n.r. PUNTA: Tecnopenta G1-CPL2IN (matr. 121114)[a = 0.66]

DATA: 27/11/20 PREFORO (m da p.c.): 1.50 Lat.: 45° 31' 06.58" Long.: 11° 28' 38.68"

COMMESSA: 22036AV/20 C. SITO N°: SF210107 - 25/01/21 OPERATORE: L. Formisano QUOTA s.l.m.: 35.885



Il Direttore Tecnico SO:
ing. Massimo De Iasi

SF210107_CPTU-PE-53.xls - pag 2 di 3

Il Responsabile Prove in Sito:
dott. Massimo Romagnoli



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI8400001A	79 di 109

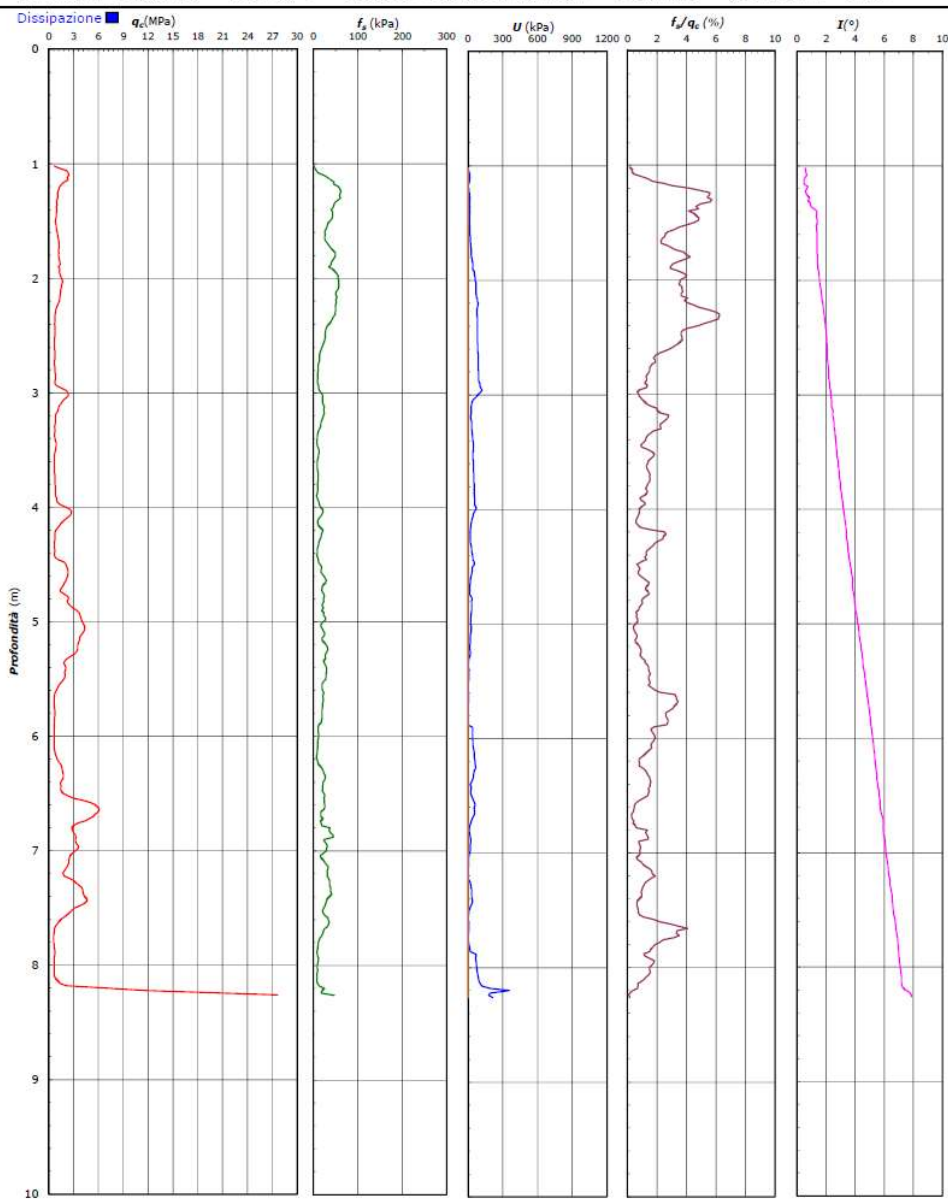
FERRARA DEPARTMENT
Via Annibale Zucchini, 69 – 44122 Ferrara (FE)
Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119

SOCOTEC ITALIA Srl – P.iva 01872430648
Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099
www.socotec.it



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

CANTIERE: Linea Alta Velocità Verona-Vicenza
PROVA N°: CPTU-PE-54 PROF. FALDA (m da p.c.): n.r. PUNTA: Tecnopenta G1-CPLZIN (matr. 121114)[a = 0.66]
DATA: 27/11/20 PREFORO (m da p.c.): 1.00 Lat.: 45° 31' 09.20" Long.: 11° 28' 47.14"
COMMESSA: 22036AV/20 C. SITO N°: SF210108 - 25/01/21 OPERATORE: L. Formisano QUOTA s.l.m.: 34.832



Il Direttore Tecnico SO:
ing. Massimo De Iasi

SF210108_CPTU-PE-54.xls - pag 2 di 3

Il Responsabile Prove in Sito:
dott. Massimo Romagnoli



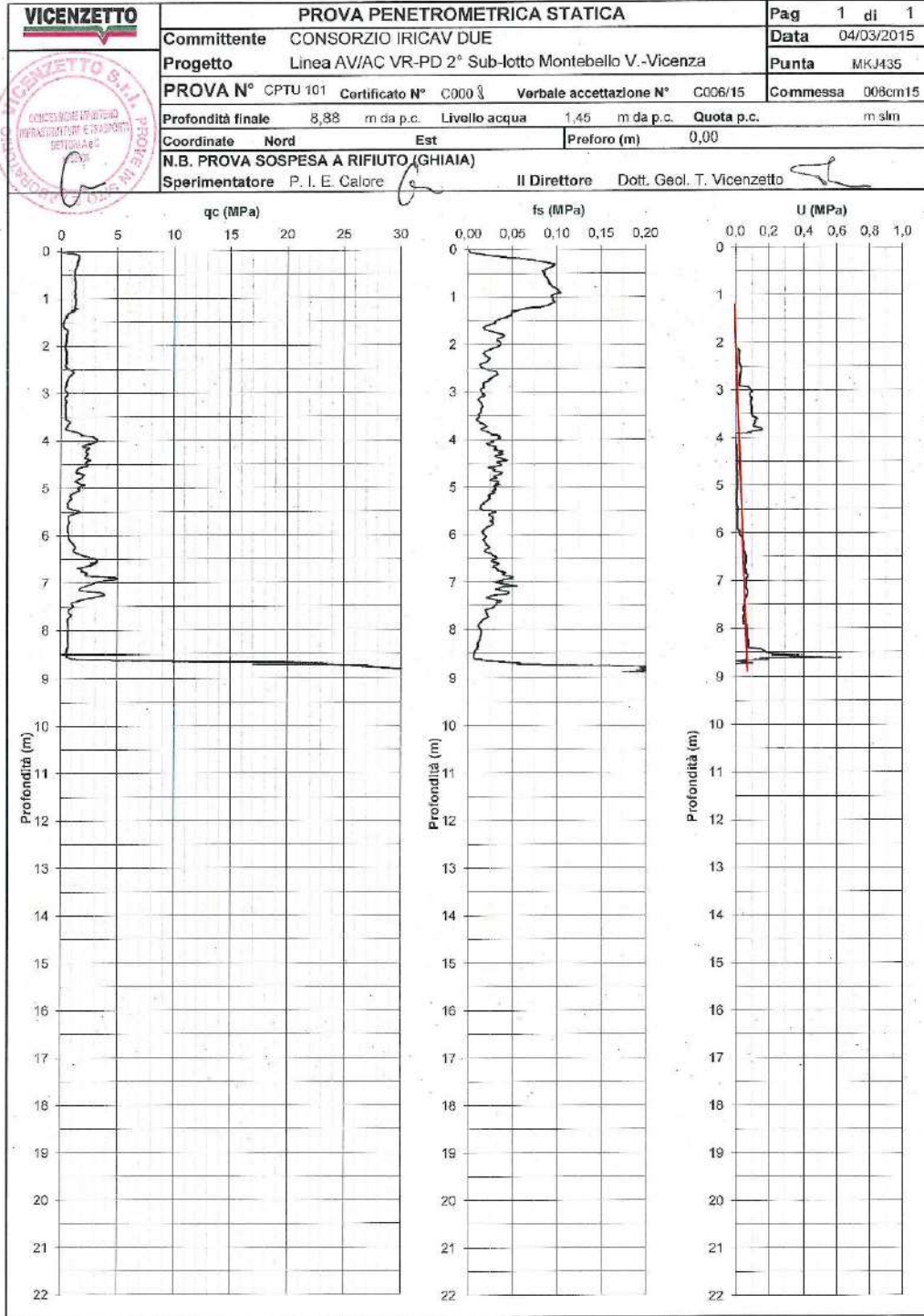
Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI8400001A

Foglio
80 di 109



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

81 di 109

ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE- ANALISI SLU STATICA



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI840001A

Foglio

82 di 109

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: R184_stat.slim
Slide Modeler Version: 7.038
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

General Settings

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

Design Standard

Selected Type: Eurocode 7 (User Defined)
Name: Stabilità Globale_A2+M2+R2

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

83 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

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

Random Numbers

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

Surface Options

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

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

3 Distributed Loads present

Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Material Properties

Property	Rilevato	CLS	Unità 6	COLONNE	Unità 2	ril esist
Color						
Strength Type	Mohr-Coulomb	Infinite strength	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m ³]	20	25	19	18	18	20
Cohesion [kPa]	0		0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38		39	36	28	36
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	0	1	1	1	1



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

84 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Global Minimums

Method: bishop simplified

	FS	1.486480
Center:	40.827, 30.755	
Radius:	8.648	
Left Slip Surface Endpoint:	32.507, 28.394	
Right Slip Surface Endpoint:	47.696, 25.500	
Resisting Moment:	5355.56 kN-m	
Driving Moment:	3602.85 kN-m	
Total Slice Area:	52.6419 m ²	
Surface Horizontal Width:	15.189 m	
Surface Average Height:	3.4658 m	

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 674
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.48648





Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

85 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038

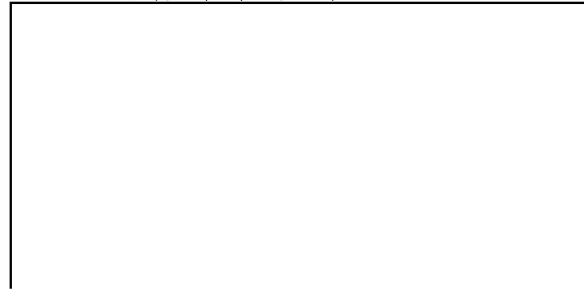


SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 7

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.305696	2.72002	-71.0392	Rilevato	0	32.0066	4.4066	6.55032	10.48	0	10.48	23.3062	23.3062
2	0.305696	7.48875	-65.4804	Rilevato	0	32.0066	10.5239	15.6435	25.0285	0	25.0285	48.1001	48.1001
3	0.305696	11.2201	-60.9535	Rilevato	0	32.0066	31.3388	46.5845	74.5318	0	74.5318	130.96	130.96
4	0.305696	14.3422	-57.0075	Rilevato	0	32.0066	36.0267	53.5529	85.6808	0	85.6808	141.173	141.173
5	0.305696	17.0421	-53.447	Rilevato	0	32.0066	40.2472	59.8266	95.7181	0	95.7181	150.004	150.004
6	0.323282	20.6044	-50.0776	Rilevato	0	32.0066	43.6835	64.9347	105.786	1.89497	103.891	157.989	156.094
7	0.323282	22.9679	-46.8429	Rilevato	0	32.0066	46.3945	68.9645	115.819	5.48106	110.338	165.298	159.817
8	0.323282	25.0845	-43.7934	Rilevato	0	32.0066	48.8916	72.6764	124.97	8.69247	116.277	171.844	163.152
9	0.323282	26.9916	-40.8929	Rilevato	0	32.0066	51.2151	76.1302	133.389	11.586	121.803	177.741	166.155
10	0.323282	28.7166	-38.115	Rilevato	0	32.0066	53.3937	79.3686	141.187	14.2032	126.984	183.076	168.873
11	0.323282	30.2803	-35.4392	Rilevato	0	32.0066	35.9535	53.4441	102.082	16.5758	85.5067	127.67	111.095
12	0.323282	31.6989	-32.8499	Rilevato	0	32.0066	30.9987	46.0789	92.4512	18.7282	73.723	112.467	93.7885
13	0.301637	30.6869	-30.4164	COLONNE	0	30.1666	30.3783	45.1568	98.3119	20.6206	77.6913	116.146	95.5258
14	0.301637	31.8548	-28.1247	COLONNE	0	30.1666	31.6102	46.9879	103.122	22.2801	80.8416	120.017	97.7374
15	0.301637	33.6468	-25.881	COLONNE	0	30.1666	33.5795	49.9152	109.667	23.7887	85.8779	125.958	102.169
16	0.301637	34.4032	-23.6793	COLONNE	0	30.1666	30.9724	46.0399	104.366	25.1553	79.2105	117.948	92.7931
17	0.301637	35.0851	-21.5142	COLONNE	0	30.1666	30.4698	45.2928	104.313	26.3874	77.9252	116.324	89.9363
18	0.301637	35.696	-19.3808	COLONNE	0	30.1666	31.2306	46.4236	107.362	27.4911	79.8708	118.348	90.8571
19	0.301637	36.2387	-17.2752	COLONNE	0	30.1666	31.9599	47.5077	110.208	28.4717	81.736	120.147	91.6752
20	0.301637	36.7157	-15.1933	COLONNE	0	30.1666	32.6593	48.5474	112.858	29.3336	83.5248	121.728	92.3941
21	0.301637	37.1291	-13.1318	COLONNE	0	30.1666	33.3304	49.545	115.322	30.0805	85.2412	123.097	93.017
22	0.301637	43.9722	-11.0875	COLONNE	0	30.1666	41.7911	62.1216	137.594	30.7156	106.879	145.784	115.068
23	0.301637	44.8803	-9.05748	COLONNE	0	30.1666	43.2676	64.3164	141.896	31.2414	110.655	148.794	117.552
24	0.301637	45.1119	-7.03883	COLONNE	0	30.1666	43.9776	65.3718	144.131	31.66	112.471	149.561	117.901
25	0.301637	30.1229	-5.02894	COLONNE	0	30.1666	25.6642	38.1493	97.608	31.9728	65.6352	99.8663	67.8935
26	0.301637	20.0432	-3.02524	COLONNE	0	30.1666	13.1277	19.5141	65.7547	32.1812	33.5735	66.4485	34.2673
27	0.301637	20.1011	-1.02524	COLONNE	0	30.1666	13.3397	19.8292	66.4017	32.2859	34.1158	66.6405	34.3546
28	0.301637	18.5043	0.97351	COLONNE	0	30.1666	11.4385	17.0031	61.5407	32.2872	29.2535	61.3463	29.0591
29	0.301637	18.3562	2.97345	COLONNE	0	30.1666	11.4427	17.0094	61.4495	32.1852	29.2643	60.8551	28.6699
30	0.301637	18.2424	4.97702	COLONNE	0	30.1666	11.5358	17.1478	61.482	31.9795	29.5025	60.4774	28.4979
31	0.301637	18.0707	6.98672	COLONNE	0	30.1666	11.5974	17.2393	61.3291	31.6694	29.6597	59.9079	28.2385
32	0.301637	17.8406	9.00511	COLONNE	0	30.1666	11.6263	17.2823	60.9874	31.2536	29.7338	59.1449	27.8913
33	0.301637	17.5512	11.0348	COLONNE	0	30.1666	11.6211	17.2746	60.4513	30.7306	29.7207	58.185	27.4544
34	0.301637	17.2012	13.0787	COLONNE	0	30.1666	11.5805	17.2142	59.715	30.0984	29.6166	57.0246	26.9262
35	0.301637	16.7894	15.1397	COLONNE	0	30.1666	11.5024	17.0981	58.7713	29.3543	29.417	55.6592	26.3049
36	0.301637	16.3141	17.221	COLONNE	0	30.1666	11.3848	16.9233	57.6117	28.4954	29.1163	54.0829	25.5875
37	0.301637	15.7731	19.326	COLONNE	0	30.1666	11.2252	16.686	56.2258	27.518	28.7078	52.2891	24.7711
38	0.314913	15.8159	21.5062	Unità 2	0	23.0433	7.68588	11.4249	53.2494	26.3905	26.8589	50.2209	23.8304
39	0.314913	15.0711	23.7674	Unità 2	0	23.0433	7.45015	11.0745	51.1365	25.1016	26.0349	47.8557	22.7541
40	0.314913	14.2414	26.0686	Unità 2	0	23.0433	7.17231	10.6615	48.7298	23.6657	25.0641	45.221	21.5553
41	0.314913	13.3219	28.4161	Unità 2	0	23.0433	6.84833	10.1799	46.0062	22.0743	23.9319	42.3009	20.2266
42	0.314913	12.3065	30.817	Unità 2	0	23.0433	6.47312	9.62217	42.938	20.3171	22.6209	39.0767	18.7596
43	0.314913	11.1883	33.2796	Unità 2	0	23.0433	6.04032	8.97882	39.4903	18.3818	21.1085	35.5257	17.1439
44	0.314913	9.9584	35.814	Unità 2	0	23.0433	5.54158	8.23745	35.6187	16.2534	19.3653	31.62	15.3666
45	0.314913	8.60612	38.4323	Unità 2	0	23.0433	4.96578	7.38153	31.2662	13.9131	17.3531	27.3258	13.4127
46	0.314913	7.11792	41.1495	Unità 2	0	23.0433	4.29764	6.38836	26.3558	11.3375	15.0183	22.6002	11.2627
47	0.314913	5.4765	43.985	Unità 2	0	23.0433	3.51525	5.22535	20.7811	8.49682	12.2843	17.3883	8.89146
48	0.314913	3.65914	46.9636	Unità 2	0	23.0433	2.58546	3.84324	14.3867	5.35163	9.0351	11.6177	6.26606
49	0.314913	1.63504	50.1194	Unità 2	0	23.0433	1.45456	2.16217	6.9317	1.84865	5.08305	5.19088	3.34223
50	0.0776633	0.0698969	52.1659	Unità 2	0	23.0433	0.407644	0.605954	1.42454	0	1.42454	0.899659	0.899659

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.48648





Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

86 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	32.5068	28.3936	0	0	0
2	32.8125	27.5038	7.97873	0	0
3	33.1182	26.8336	21.5373	0	0
4	33.4239	26.2832	52.9885	0	0
5	33.7296	25.8123	82.3265	0	0
6	34.0353	25.4	109.498	0	0
7	34.3585	25.0137	136.254	0	0
8	34.6818	24.6689	161.197	0	0
9	35.0051	24.3589	184.135	0	0
10	35.3284	24.079	204.934	0	0
11	35.6517	23.8254	223.492	0	0
12	35.975	23.5953	235.363	0	0
13	36.2982	23.3865	244.647	0	0
14	36.5999	23.2095	252.899	0	0
15	36.9015	23.0482	259.996	0	0
16	37.2031	22.9019	265.923	0	0
17	37.5048	22.7696	270.392	0	0
18	37.8064	22.6507	273.611	0	0
19	38.1081	22.5446	275.589	0	0
20	38.4097	22.4508	276.293	0	0
21	38.7113	22.3689	275.693	0	0
22	39.013	22.2985	273.761	0	0
23	39.3146	22.2394	269.297	0	0
24	39.6162	22.1913	263.077	0	0
25	39.9179	22.1541	255.189	0	0
26	40.2195	22.1275	250.043	0	0
27	40.5211	22.1116	247.134	0	0
28	40.8228	22.1062	243.472	0	0
29	41.1244	22.1113	239.708	0	0
30	41.4261	22.127	235.296	0	0
31	41.7277	22.1532	230.204	0	0
32	42.0293	22.1902	224.441	0	0
33	42.331	22.238	218.021	0	0
34	42.6326	22.2968	210.962	0	0
35	42.9342	22.3669	203.287	0	0
36	43.2359	22.4485	195.023	0	0
37	43.5375	22.542	186.205	0	0
38	43.8391	22.6478	176.873	0	0
39	44.1541	22.7719	167.847	0	0
40	44.469	22.9106	158.411	0	0
41	44.7839	23.0646	148.646	0	0
42	45.0988	23.235	138.652	0	0
43	45.4137	23.4229	128.549	0	0
44	45.7286	23.6296	118.485	0	0
45	46.0435	23.8568	108.647	0	0
46	46.3585	24.1067	99.2714	0	0
47	46.6734	24.3819	90.6658	0	0
48	46.9883	24.6858	83.2432	0	0
49	47.3032	25.0231	77.5773	0	0
50	47.6181	25.4	74.507	0	0
51	47.933	25.8	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	25.4
61.445	25.4

Distributed Load

X	Y
37.2845	28.3936
28.3166	28.3936

Distributed Load



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

87 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



X	Y
31.8826	28.3936
29.4817	28.3936

Distributed Load

X	Y
35.731	28.3936
33.083	28.3936

External Boundary

X	Y
0	0
60.445	0
60.445	19.5
60.445	25.5
43.8391	25.5
40.0391	25.5
40.0391	28.4949
39.0391	28.4949
39.0391	28.3936
25.5362	28.3936
25	28.7114
0	28.7114
0	25.5
0	19.5

Material Boundary

X	Y
40.0391	24.1865
40.0391	25.5

Material Boundary

X	Y
27.7301	20.5
43.8391	20.5
43.8391	23.3865
43.8391	25.5

Material Boundary

X	Y
34.1408	23.3865
36.8391	23.3865

Material Boundary

X	Y
25.5362	28.3936
27.7301	27.117
34.1408	23.3865

Material Boundary

X	Y
0	19.5
60.445	19.5

Material Boundary

X	Y
0	25.5
27.7301	25.5

Material Boundary

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

88 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

X	Y
27.7301	20.5
27.7301	25.5
27.7301	27.117

Material Boundary

X	Y
39.0391	28.3936
39.0391	24.1865
36.8391	24.1865
36.8391	23.3865
40.8391	23.3865
40.8391	24.1865
40.0391	24.1865

Material Boundary

X	Y
40.8391	23.3865
43.8391	23.3865

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 89 di 109
---	------------------	-------------	-----------------------------	---------------------

ALLEGATO 4- TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU SISMICA



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI840001A

Foglio

90 di 109

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: R184_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+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

91 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

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

Random Numbers

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

Surface Options

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

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

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

3 Distributed Loads present

Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Material Properties





Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

92 di 109



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

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.343540
Center:	42.981, 33.173
Radius:	11.558
Left Slip Surface Endpoint:	32.458, 28.394
Right Slip Surface Endpoint:	51.625, 25.500
Resisting Moment:	5847.98 kN-m
Driving Moment:	4352.67 kN-m
Total Slice Area:	66.1113 m2
Surface Horizontal Width:	19.1671 m
Surface Average Height:	3.4492 m

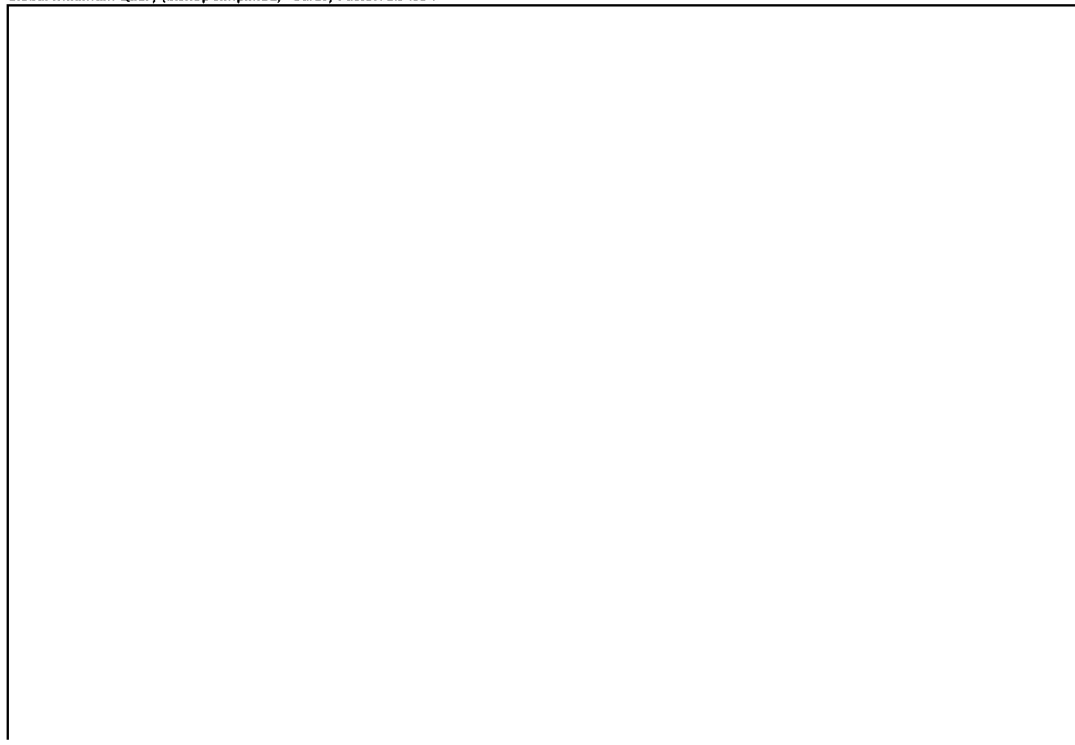
Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 569
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.34354





Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI8400001A	93 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.393921	3.09803	-63.3947	Rilevato	0	32.0066	5.29198	7.10999	11.3754	0	11.3754	21.9408	21.9408
2	0.393921	8.80961	-59.3011	Rilevato	0	32.0066	10.6691	14.3343	22.9337	0	22.9337	40.9032	40.9032
3	0.393921	13.6943	-55.6572	Rilevato	0	32.0066	16.6066	22.3116	35.697	0	35.697	60.0022	60.0022
4	0.393921	17.9751	-52.3283	Rilevato	0	32.0066	20.4385	27.46	43.934	0	43.934	70.4054	70.4054
5	0.393921	21.7848	-49.2349	Rilevato	0	32.0066	24.0709	32.3402	51.7418	0	51.7418	79.6626	79.6626
6	0.400751	25.6743	-46.3014	Rilevato	0	32.0066	26.9057	36.1489	59.8926	2.05707	57.8355	88.0492	85.9922
7	0.400751	28.8787	-43.4941	Rilevato	0	32.0066	28.9579	38.9061	68.2261	5.97912	62.247	95.7005	89.7214
8	0.400751	31.7893	-40.8121	Rilevato	0	32.0066	30.9011	41.5168	75.9654	9.54156	66.4238	102.65	93.1083
9	0.400751	34.4416	-38.2349	Rilevato	0	32.0066	29.6187	39.7939	76.4552	12.7878	63.6674	99.792	87.0042
10	0.400751	36.863	-35.7462	Rilevato	0	32.0066	30.2185	40.5997	80.7081	15.7515	64.9566	102.459	86.7077
11	0.400751	39.0753	-33.3332	Rilevato	0	32.0066	31.8037	42.7296	86.8236	18.4592	68.3644	107.741	89.2819
12	0.389295	41.3325	-31.0182	COLONNE	0	30.1666	32.6603	43.8804	96.3955	20.9002	75.4953	116.034	95.1337
13	0.389295	42.9314	-28.7911	COLONNE	0	30.1666	29.6415	39.8245	91.6149	23.0977	68.5172	107.904	84.8067
14	0.389295	44.3643	-26.6107	COLONNE	0	30.1666	29.8582	40.1157	94.1218	25.1038	69.018	109.081	83.9768
15	0.389295	45.6684	-24.4711	COLONNE	0	30.1666	30.8517	41.4505	98.2442	26.9294	71.3148	112.285	85.3559
16	0.389295	46.8504	-22.3674	COLONNE	0	30.1666	31.8048	42.731	102.102	28.5843	73.5176	115.19	86.6054
17	0.389295	50.9435	-20.2951	COLONNE	0	30.1666	35.4955	47.6896	112.125	30.0762	82.0488	125.252	95.1755
18	0.389295	58.0448	-18.2501	COLONNE	0	30.1666	42.1378	56.6138	128.815	31.412	97.4027	142.71	111.298
19	0.389295	58.8915	-16.229	COLONNE	0	30.1666	43.1076	57.9168	132.242	32.5975	99.6445	144.79	112.192
20	0.389295	34.7222	-14.2284	COLONNE	0	30.1666	20.1656	27.0933	80.2509	33.6374	46.6135	85.3642	51.7268
21	0.389295	27.55	-12.2455	COLONNE	0	30.1666	13.1275	17.6373	64.8807	34.5361	30.3446	67.7299	33.1938
22	0.389295	26.5537	-10.2773	COLONNE	0	30.1666	12.0276	16.1595	63.0988	35.2967	27.8021	65.2797	29.983
23	0.389295	26.3601	-8.32137	COLONNE	0	30.1666	11.7507	15.7876	63.0845	35.9223	27.1622	64.8032	28.8809
24	0.389295	26.712	-6.37515	COLONNE	0	30.1666	12.0717	16.2188	64.3188	36.4149	27.9039	65.6676	29.2527
25	0.389295	26.9702	-4.43629	COLONNE	0	30.1666	12.3583	16.6039	65.3431	36.7764	28.5667	66.3019	29.5255
26	0.389295	27.1357	-2.50252	COLONNE	0	30.1666	12.6102	16.9423	66.1568	37.008	29.1488	66.7079	29.6999
27	0.389295	27.2089	-0.571597	COLONNE	0	30.1666	12.8266	17.233	66.7594	37.1105	29.6489	66.8873	29.7768
28	0.389295	27.1901	1.35867	COLONNE	0	30.1666	13.0065	17.4748	67.1492	37.0843	30.0649	66.8407	29.7564
29	0.389295	27.0794	3.29049	COLONNE	0	30.1666	13.1491	17.6664	67.3238	36.9292	30.3946	66.5678	29.6386
30	0.384796	26.5672	5.21484	Unità 2	0	23.0433	9.59331	12.889	66.9481	36.6471	30.301	66.0725	29.4254
31	0.384796	26.2788	7.13389	Unità 2	0	23.0433	9.59852	12.896	66.5561	36.2386	30.3175	65.3548	29.1162
32	0.384796	25.8995	9.06103	Unità 2	0	23.0433	9.57284	12.8615	65.9375	35.7014	30.2361	64.4109	28.7095
33	0.384796	25.428	10.9986	Unità 2	0	23.0433	9.51501	12.7838	65.0872	35.0336	30.0536	63.2379	28.2043
34	0.384796	24.8626	12.949	Unità 2	0	23.0433	9.42369	12.6611	63.9979	34.2328	29.7651	61.8311	27.5983
35	0.384796	24.2012	14.9148	Unità 2	0	23.0433	9.29745	12.4915	62.6624	33.2961	29.3663	60.186	26.8899
36	0.384796	23.4414	16.8987	Unità 2	0	23.0433	9.13423	12.2722	61.0708	32.2	28.8508	58.2959	26.0759
37	0.384796	22.5803	18.9038	Unità 2	0	23.0433	8.93207	12.0006	59.2125	31.0002	28.2123	56.1537	25.1535
38	0.384796	21.6141	20.9332	Unità 2	0	23.0433	8.68824	11.673	57.074	29.6319	27.4421	53.7505	24.1186
39	0.384796	20.539	22.9906	Unità 2	0	23.0433	8.39975	11.2854	54.64	28.1091	26.5309	51.0762	22.9671
40	0.384796	19.3499	25.0798	Unità 2	0	23.0433	8.06303	10.833	51.8923	26.425	25.4673	48.1187	21.6937
41	0.384796	18.0412	27.2054	Unità 2	0	23.0433	7.67346	10.3096	48.8084	24.5714	24.237	44.8638	20.2924
42	0.384796	16.6061	29.3724	Unità 2	0	23.0433	7.22564	9.70794	45.3614	22.5389	22.8225	41.2946	18.7557
43	0.384796	15.0367	31.5867	Unità 2	0	23.0433	6.71283	9.01896	41.5188	20.316	21.2028	37.3912	17.0752
44	0.384796	13.3233	33.855	Unità 2	0	23.0433	6.12639	8.23105	37.2399	17.8893	19.3506	33.1301	15.2408
45	0.384796	11.4546	36.1854	Unità 2	0	23.0433	5.45519	7.32926	32.4729	15.2425	17.2304	28.4825	13.24
46	0.384796	9.41645	38.5875	Unità 2	0	23.0433	4.68442	6.2937	27.1517	12.3559	14.7958	23.4139	11.058
47	0.384796	7.19171	41.0731	Unità 2	0	23.0433	3.79387	5.09722	21.188	9.20488	11.9831	17.8815	8.67666
48	0.384796	4.75876	43.6568	Unità 2	0	23.0433	2.75481	3.7012	14.4602	5.759	8.70119	11.8316	6.07261
49	0.384796	2.08992	46.3573	Unità 2	0	23.0433	1.52441	2.0481	6.79391	1.97903	4.81488	5.19552	3.21649
50	0.0898114	0.0808303	48.0725	Unità 2	0	23.0433	0.420841	0.565417	1.32924	0	1.32924	0.860662	0.860662

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.34354

--



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI840001A

94 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	32.4577	28.3936	0	0	0
2	32.8516	27.6071	7.12791	0	0
3	33.2456	26.9437	18.8955	0	0
4	33.6395	26.3671	34.1075	0	0
5	34.0334	25.8569	50.0101	0	0
6	34.4273	25.4	66.0349	0	0
7	34.8281	24.9806	82.5674	0	0
8	35.2288	24.6004	99.3739	0	0
9	35.6296	24.2543	115.998	0	0
10	36.0303	23.9386	131.214	0	0
11	36.4311	23.6501	145.534	0	0
12	36.8318	23.3865	159.012	0	0
13	37.2211	23.1525	172.393	0	0
14	37.6104	22.9385	184.118	0	0
15	37.9997	22.7435	194.639	0	0
16	38.389	22.5663	203.933	0	0
17	38.7783	22.4061	211.907	0	0
18	39.1676	22.2621	218.58	0	0
19	39.5569	22.1338	223.668	0	0
20	39.9462	22.0205	226.9	0	0
21	40.3355	21.9217	229.934	0	0
22	40.7248	21.8373	232.654	0	0
23	41.1141	21.7667	234.689	0	0
24	41.5034	21.7097	235.954	0	0
25	41.8927	21.6662	236.329	0	0
26	42.282	21.636	235.79	0	0
27	42.6713	21.619	234.32	0	0
28	43.0606	21.6151	231.906	0	0
29	43.4499	21.6244	228.54	0	0
30	43.8391	21.6467	224.223	0	0
31	44.2239	21.6819	220.444	0	0
32	44.6087	21.73	215.784	0	0
33	44.9935	21.7914	210.26	0	0
34	45.3783	21.8662	203.898	0	0
35	45.7631	21.9547	196.728	0	0
36	46.1479	22.0571	188.79	0	0
37	46.5327	22.174	180.133	0	0
38	46.9175	22.3058	170.817	0	0
39	47.3023	22.453	160.915	0	0
40	47.6871	22.6163	150.512	0	0
41	48.0719	22.7964	139.714	0	0
42	48.4567	22.9942	128.644	0	0
43	48.8415	23.2107	117.455	0	0
44	49.2263	23.4474	106.33	0	0
45	49.6111	23.7055	95.4951	0	0
46	49.9959	23.987	85.232	0	0
47	50.3807	24.294	75.8956	0	0
48	50.7655	24.6294	67.9435	0	0
49	51.1503	24.9965	61.9801	0	0
50	51.5351	25.4	58.8308	0	0
51	51.6249	25.5	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	25.4
62.955	25.4

Distributed Load

X	Y
37.2845	28.3936
28.3166	28.3936

Distributed Load



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

95 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

X	Y
31.8826	28.3936
29.4817	28.3936

Distributed Load

X	Y
35.731	28.3936
33.083	28.3936

External Boundary

X	Y
0	0
61.955	0
61.955	19.5
61.955	20.5
61.955	25.5
43.8391	25.5
40.0391	25.5
40.0391	28.4949
39.0391	28.4949
39.0391	28.3936
25.5362	28.3936
25	28.7114
0	28.7114
0	25.5
0	20.5
0	19.5

Material Boundary

X	Y
40.0391	24.1865
40.0391	25.5

Material Boundary

X	Y
27.7301	20.5
43.8391	20.5
43.8391	23.3865
43.8391	25.5

Material Boundary

X	Y
34.1408	23.3865
36.8391	23.3865

Material Boundary

X	Y
25.5362	28.3936
27.7301	27.117
34.1408	23.3865

Material Boundary

X	Y
0	19.5
61.955	19.5

Material Boundary

X	Y
0	25.5
27.7301	25.5

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

96 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Material Boundary

X	Y
27.7301	20.5
27.7301	25.5
27.7301	27.117

Material Boundary

X	Y
39.0391	28.3936
39.0391	24.1865
36.8391	24.1865
36.8391	23.3865
40.8391	23.3865
40.8391	24.1865
40.8391	24.1865
40.0391	24.1865

Material Boundary

X	Y
40.8391	23.3865
43.8391	23.3865

Material Boundary

X	Y
0	20.5
27.7301	20.5

Material Boundary

X	Y
43.8391	20.5
61.955	20.5

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

97 di 109

ALLEGATO 5 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI SLU POST SISMA



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI840001A

Foglio

98 di 109

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: R184_post.slim
Slide Modeler Version: 7.038
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 17/03/2021, 17:14:01

General Settings

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

Design Standard

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

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

Analysis Options

Slices Type: Vertical

Analysis Methods Used

Bishop simplified

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

Groundwater Analysis



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI840001A

Foglio

99 di 109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Groundwater Method: Water Surfaces
Pore Fluid Unit Weight [kN/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: Dead

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Material Properties

Property	Rilevato	CLS	Unità6	liquef	COLONNE	Unità 2	ril esist
Color							
Strength Type	Mohr-Coulomb	Infinite strength	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m ³]	20	25	19	18	18	18	20
Cohesion [kPa]	0		0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]	38		39	5.7	36	28	36
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	0	1	1	1	1	1



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

100 di
109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Global Minimums

Method: bishop simplified

	FS	1.512660
Center:	44.105, 33.724	
Radius:	12.763	
Left Slip Surface Endpoint:	32.508, 28.394	
Right Slip Surface Endpoint:	53.865, 25.500	
Resisting Moment:	6285.61 kN-m	
Driving Moment:	4155.34 kN-m	
Total Slice Area:	80.9979 m ²	
Surface Horizontal Width:	21.3569 m	
Surface Average Height:	3.79258 m	

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 817
Number of Invalid Surfaces: 0

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.51266





Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI8400001A

101 di
109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Angle of Slice Base [degrees]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]	Base Vertical Stress [kPa]	Effective Vertical Stress [kPa]
1	0.480386	4.51813	-62.9436	Rilevato	0	32.0066	5.44087	8.23018	13.1677	0	13.1677	23.82	23.82
2	0.480386	12.8032	-58.5078	Rilevato	0	32.0066	12.5748	19.0214	30.4329	0	30.4329	50.9594	50.9594
3	0.480386	19.8154	-54.5822	Rilevato	0	32.0066	17.7672	26.8757	42.9992	0	42.9992	67.9836	67.9836
4	0.480386	25.911	-51.0074	Rilevato	0	32.0066	22.0705	33.3852	53.4138	0	53.4138	80.6759	80.6759
5	0.4379	28.3348	-47.8292	Rilevato	0	32.0066	25.2754	38.2331	63.5415	2.37123	61.1702	91.4449	89.0737
6	0.4379	32.3677	-44.9754	Rilevato	0	32.0066	27.4225	41.4809	73.2549	6.88852	66.3664	100.654	93.7653
7	0.4379	36.0258	-42.2576	Rilevato	0	32.0066	29.3432	44.3863	82.001	10.9861	71.0149	108.662	97.6755
8	0.4379	39.3574	-39.6527	Rilevato	0	32.0066	27.5754	41.7122	81.4543	14.7179	66.7364	104.309	89.5915
9	0.4379	42.3992	-37.1428	Rilevato	0	32.0066	29.3081	44.3332	89.0549	18.1251	70.9298	111.255	93.1298
10	0.424709	44.4756	-34.7494	COLONNE	0	30.1666	29.7165	44.9509	98.5341	21.1972	77.3369	119.149	97.9514
11	0.424709	47.5146	-32.4592	COLONNE	0	30.1666	29.6724	44.8842	101.19	23.9674	77.2222	120.063	96.0959
12	0.424709	49.493	-30.2259	COLONNE	0	30.1666	28.2723	42.7664	100.085	26.5061	73.5785	116.557	90.0505
13	0.424709	51.3035	-28.0424	COLONNE	0	30.1666	29.3412	44.3832	105.19	28.8295	76.3603	120.819	91.9891
14	0.424709	52.9566	-25.9024	COLONNE	0	30.1666	30.3611	45.926	109.965	30.9508	79.0147	124.71	93.7588
15	0.424709	57.4822	-23.8006	COLONNE	0	30.1666	33.6725	50.935	120.514	32.8813	87.6325	135.366	102.484
16	0.424709	65.8332	-21.7323	COLONNE	0	30.1666	40.1185	60.6856	139.039	34.6305	104.408	155.03	120.399
17	0.424709	67.0613	-19.6934	COLONNE	0	30.1666	41.1135	62.1908	143.204	36.2064	106.998	157.92	121.713
18	0.424709	34.3383	-17.6802	COLONNE	0	30.1666	14.8024	22.391	76.1393	37.6161	38.5232	80.8577	43.2416
19	0.424709	33.2785	-15.6894	COLONNE	0	30.1666	13.6978	20.7201	74.5139	38.8653	35.6486	78.3615	39.4962
20	0.424709	31.9038	-13.7178	COLONNE	0	30.1666	12.3531	18.6861	72.1079	39.959	32.1489	75.1233	35.1643
21	0.424709	32.6381	-11.7626	COLONNE	0	30.1666	12.7905	19.3477	74.1885	40.9013	33.2872	76.8518	35.9505
22	0.424709	33.2572	-9.82131	COLONNE	0	30.1666	13.1911	19.9536	76.0255	41.6957	34.3298	78.3091	36.6134
23	0.424709	33.7633	-7.89132	COLONNE	0	30.1666	13.5547	20.5037	77.6211	42.345	35.2761	79.4999	37.1549
24	0.424709	34.1581	-5.97031	COLONNE	0	30.1666	13.8811	20.9974	78.9772	42.8517	36.1255	80.4289	37.5772
25	0.424709	34.4429	-4.05602	COLONNE	0	30.1666	14.1699	21.4342	80.0943	43.2172	36.8771	81.099	37.8818
26	0.424709	34.6189	-2.14626	COLONNE	0	30.1666	14.4205	21.8133	80.9722	43.443	37.5292	81.5126	38.0696
27	0.432203	35.2982	-0.222058	liquef	0	4.56541	2.01298	3.04496	81.6625	43.5293	38.1332	81.6703	38.141
28	0.432203	35.2543	1.71873	liquef	0	4.56541	2.01414	3.04671	81.629	43.4739	38.1551	81.5685	38.0946
29	0.432203	35.0962	3.6615	liquef	0	4.56541	2.00894	3.03885	81.3314	43.2746	38.0568	81.2028	37.9282
30	0.432203	34.8235	5.60849	liquef	0	4.56541	1.99736	3.02132	80.7679	42.9308	37.8371	80.5718	37.641
31	0.432203	34.4353	7.56201	liquef	0	4.56541	1.97929	2.99399	79.9362	42.4412	37.495	79.6734	37.2322
32	0.432203	33.93	9.52443	liquef	0	4.56541	1.95465	2.95672	78.8322	41.8041	37.0281	78.5043	36.7002
33	0.432203	33.3059	11.4982	liquef	0	4.56541	1.92331	2.90931	77.4516	41.0171	36.4345	77.0603	36.0432
34	0.432203	32.5608	13.4859	liquef	0	4.56541	1.8851	2.85152	75.7882	40.0775	35.7107	75.3361	35.2586
35	0.432203	31.6917	15.4904	liquef	0	4.56541	1.83985	2.78307	73.835	38.9815	34.8535	73.3251	34.3436
36	0.432203	30.6952	17.5145	liquef	0	4.56541	1.78733	2.70362	71.5834	37.725	33.8584	71.0194	33.2944
37	0.432203	29.5673	19.5614	liquef	0	4.56541	1.72727	2.61277	69.0233	36.3027	32.7206	68.4096	32.1069
38	0.432203	28.3031	21.6347	liquef	0	4.56541	1.65936	2.51004	66.1427	34.7086	31.4341	65.4846	30.776
39	0.432203	26.8969	23.7383	liquef	0	4.56541	1.58322	2.39487	62.9274	32.9355	29.9919	62.2312	29.2957
40	0.432203	25.3421	25.8764	liquef	0	4.56541	1.49843	2.26661	59.3606	30.9749	28.3857	58.6337	27.6588
41	0.432203	23.6307	28.0541	liquef	0	4.56541	1.40445	2.12446	55.4223	28.8168	26.6055	54.6739	25.8571
42	0.432203	21.7532	30.2768	liquef	0	4.56541	1.3007	1.96751	51.0892	26.4494	24.6398	50.3299	23.8805
43	0.432203	19.6986	32.5513	liquef	0	4.56541	1.18641	1.79463	46.3334	23.8585	22.4749	45.5761	21.7176
44	0.432203	17.4532	34.885	liquef	0	4.56541	1.06069	1.60446	41.1205	21.0272	20.0933	40.3809	19.3537
45	0.432203	15.0009	37.2872	liquef	0	4.56541	0.922454	1.39536	35.4095	17.9349	17.4746	34.7071	16.7722
46	0.432203	12.3216	39.7688	liquef	0	4.56541	0.770325	1.16524	29.1491	14.5563	14.5928	28.508	13.9517
47	0.432203	9.39034	42.3438	liquef	0	4.56541	0.602578	0.911496	22.2751	10.86	11.4151	21.7259	10.8659
48	0.432203	6.1753	45.0292	liquef	0	4.56541	0.416965	0.630726	14.7048	6.80593	7.89883	14.2874	7.48144
49	0.432203	2.63518	47.8477	liquef	0	4.56541	0.210486	0.318394	6.32928	2.34191	3.98737	6.09676	3.75485
50	0.085142	0.0766278	49.5883	liquef	0	4.56541	0.050645	0.0766087	0.959401	0	0.959401	0.899918	0.899918

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.51266

--



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

102 di
109



Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	32.508	28.3936	0	0	0
2	32.9884	27.4531	9.77438	0	0
3	33.4688	26.6689	27.6062	0	0
4	33.9492	25.9934	48.13	0	0
5	34.4296	25.4	69.2373	0	0
6	34.8675	24.9166	88.9025	0	0
7	35.3054	24.479	108.962	0	0
8	35.7433	24.0812	128.756	0	0
9	36.1812	23.7182	146.26	0	0
10	36.6191	23.3865	162.983	0	0
11	37.0438	23.0919	179.411	0	0
12	37.4685	22.8218	194.162	0	0
13	37.8932	22.5743	206.936	0	0
14	38.3179	22.3481	218.289	0	0
15	38.7426	22.1419	228.093	0	0
16	39.1673	21.9545	236.387	0	0
17	39.5921	21.7852	242.909	0	0
18	40.0168	21.6332	247.241	0	0
19	40.4415	21.4978	251.271	0	0
20	40.8662	21.3785	254.351	0	0
21	41.2909	21.2749	256.587	0	0
22	41.7156	21.1864	257.724	0	0
23	42.1403	21.1129	257.719	0	0
24	42.565	21.054	256.539	0	0
25	42.9897	21.0096	254.16	0	0
26	43.4144	20.9795	250.562	0	0
27	43.8391	20.9636	245.735	0	0
28	44.2713	20.9619	245.003	0	0
29	44.7036	20.9749	243.075	0	0
30	45.1358	21.0026	239.959	0	0
31	45.568	21.045	235.669	0	0
32	46.0002	21.1024	230.228	0	0
33	46.4324	21.1749	223.668	0	0
34	46.8646	21.2628	216.028	0	0
35	47.2968	21.3665	207.359	0	0
36	47.729	21.4862	197.721	0	0
37	48.1612	21.6226	187.186	0	0
38	48.5934	21.7762	175.84	0	0
39	49.0256	21.9476	163.786	0	0
40	49.4578	22.1377	151.142	0	0
41	49.89	22.3473	138.05	0	0
42	50.3222	22.5777	124.679	0	0
43	50.7544	22.83	111.226	0	0
44	51.1866	23.1059	97.9315	0	0
45	51.6188	23.4072	85.0824	0	0
46	52.051	23.7363	73.0311	0	0
47	52.4832	24.096	62.2137	0	0
48	52.9154	24.4899	53.1799	0	0
49	53.3476	24.9225	46.638	0	0
50	53.7798	25.4	43.5253	0	0
51	53.865	25.5	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
-1	25.4
62.955	25.4

Distributed Load

X	Y
37.2845	28.3936
28.3166	28.3936

Distributed Load

X	Y



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

103 di
109



X	Y
31.8826	28.3936
29.4817	28.3936

Distributed Load

X	Y
35.731	28.3936
33.083	28.3936

External Boundary

X	Y
0	0
61.955	0
61.955	19.5
61.955	20.5
61.955	25.5
43.8391	25.5
40.0391	25.5
40.0391	28.4949
39.0391	28.4949
39.0391	28.3936
25.5362	28.3936
25	28.7114
0	28.7114
0	25.5
0	20.5
0	19.5

Material Boundary

X	Y
40.0391	24.1865
40.0391	25.5

Material Boundary

X	Y
27.7301	20.5
43.8391	20.5
43.8391	23.3865
43.8391	25.5

Material Boundary

X	Y
34.1408	23.3865
36.8391	23.3865

Material Boundary

X	Y
25.5362	28.3936
27.7301	27.117
34.1408	23.3865

Material Boundary

X	Y
0	19.5
61.955	19.5

Material Boundary

X	Y
0	25.5
27.7301	25.5

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

104 di
109

SLIDEINTERPRET 7.038



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

Material Boundary

X	Y
27.7301	20.5
27.7301	25.5
27.7301	27.117

Material Boundary

X	Y
39.0391	28.3936
39.0391	24.1865
36.8391	24.1865
36.8391	23.3865
40.8391	23.3865
40.8391	24.1865
40.0391	24.1865

Material Boundary

X	Y
40.8391	23.3865
43.8391	23.3865

Material Boundary

X	Y
0	20.5
27.7301	20.5

Material Boundary

X	Y
43.8391	20.5
61.955	20.5

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI8400001A	Foglio 105 di 109
---	------------------	-------------	-----------------------------	-------------------------

ALLEGATO 6- TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE



Settle3D Analysis Information

Rilevato

Project Settings

Document Name: cedim84.s3z
Project Title: Rilevato
Date Created: 08/06/2021, 14:59:10
Stress Computation Method: Boussinesq

Stage Settings

Stage #	Name
1	Stage 1
2	Stage 2

Results

Time taken to compute: 5.12856 seconds

Stage: Stage 1

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [m]	0	0.0889973
Consolidation Settlement [m]	0	0
Immediate Settlement [m]	0	0.0889973
Loading Stress [kPa]	0.00616546	149.852
Total Stress [kPa]	0.00616546	604.217
Total Strain	6.52471e-007	0.0203844
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	0.953263	604.005
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	0.0976255
Consolidation Settlement [m]	0	0
Immediate Settlement [m]	0	0.0976255
Loading Stress [kPa]	0.00619706	149.819
Total Stress [kPa]	0.00619706	626.268
Total Strain	1.15277e-006	0.0212976
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	1.70661	626.06



Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

107 di
109

Over-consolidation Ratio	1	1.19535
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: -5 m
Installation Stage: Stage 2

Coordinates

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

Embankments

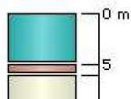
1. Embankment

Center Line: (0, -50) to (0, 50)
Number of Layers: 2
Near End Angle: 90 degrees
Far End Angle: 90 degrees
Base Width: 23.7

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	5	20	90	0
2	Stage 1	0	34	0.4	20	34	0

Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	COLONNE	5	0
2	u2	1	5
3	u6	24	6





Rilevato ferroviario dal km 43+525,00 al km 43+875,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI8400001A

Foglio

108 di
109

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	18.684, 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+525,00 al km 43+875,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI8400001A</p>	<p>Foglio 109 di 109</p>

ALLEGATO 7– VERSIONE SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI

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