

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 25+314,84 al km 26+065,14
GENERALE
Relazione Geotecnica**

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA
IL PROGETTISTA INTEGRATORE	Consorzio Iricav Due Ing. Paolo Carmona Data: Dicembre 2021			-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO
IN17	12	E	I2	RB	RI4000	001	A	- - - D - - -

IRICAV2	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Luca RANDOLFI	Dicembre 2021



Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	N. Valimberti	Dicembre 2021	V. Pastore	Dicembre 2021	P. Ascari	Dicembre 2021	P. Ascari
								Data: Dicembre 2021

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2RBRI4000001A_03.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato
dalla Unione Europea

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 2 di 96</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	Sintesi del modello geotecnico di riferimento	11
4.4.1	Materiale da rilevato.....	11
5	CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	12
5.1	Sollecitazione sismica di progetto.....	12
5.1.1	Vita Nominale.....	12
5.1.2	Classe d'uso	12
5.1.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica	13
5.1.4	Categorie di Sottosuolo.....	13
5.1.5	Condizioni topografiche	13
5.1.6	Accelerazione sismica di riferimento	14
5.2	Suscettibilità alla liquefazione.....	14
5.2.1	CRR da correlazione su prove CPT	16
5.2.2	CRR da correlazione su prove SPT.....	18
5.2.3	Commento ai risultati	21
6	VERIFICA GEOTECNICA DEL RILEVATO	30
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite.....	30
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU).....	30
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE).....	32
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post sismiche	32
6.2	Azioni di progetto	32
6.2.1	Azioni permanenti	32
6.2.2	Azioni variabili	32
6.2.3	Azione sismica	33

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 3 di 96</p>

6.3	Verifiche e risultati SLU	34
6.3.1	Premessa	34
6.3.2	Sezione A.....	35
6.3.2.1	Verifiche SLU in condizione statiche	35
6.3.2.2	Verifiche SLU in condizioni sismiche	36
6.3.3	Sezione alla 25-650- CPTU-PE-32.....	37
6.3.3.1	Verifiche SLU in condizione post sismica	37
6.4	Verifica e risultati SLE.....	39
6.4.1	Metodologia di calcolo	39
6.4.2	Schematizzazione e risultati	41
7	RESISTENZA DEI PALI SOGGETTI A CARICHI ASSIALI	44
7.1	Analisi agli stati limite.....	44
7.2	Metodologia di calcolo	46
7.2.1	Portata laterale.....	46
7.2.2	Portata di base.....	47
7.3	Stratigrafia di calcolo	50
7.4	Risultati	51
8	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	56
	Allegati	57
	ALLEGATO 1 - TABULATI DI SLIDE– ANALISI SLU STATICA	58
	ALLEGATO 2 - TABULATI DI SLIDE– ANALISI SLU SISMICA.....	69
	ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI POST SISMA.....	79
	ALLEGATO 4 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE	90
	ALLEGATO 5 - versioni software di calcolo utilizzati	96

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 4 di 96</p>



1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI40, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende dal km 25+314,84 al km 26+065,14.

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).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 5 di 96</p>

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di progetto

- [1] Sezioni di Progetto Esecutivo
- [2] IN1710EI2RBGE0000002A Relazione Geotecnica (da 10+050 a 21+990)
- [3] IN1710EI2LZGE0000016B Planimetria con ubicazione indagini e profilo geotecnico 11 di 11
- [4] IN1710EI2RHGE0000005A Relazione sulla modellazione sismica del sito e pericolosità sismica di base 1/2
- [5] IN1710EI2P5GE0000001A Planimetrie con classificazione sismica del territorio 1 di 11
- [6] IN1710EI2RHGE0000003A Relazione idrogeologica 1/2
- [7] IN1710EI2RHGE0000007A-8A Relazione di sintesi dei sondaggi e delle prove eseguite
- [8] IN1710EI2PRGE0000001A-2A, Risultati Indagini in sito di Progetto – SOCOTEC
- [9] IN1710EI2PRGE0000003A-4A, Risultati Indagini in sito di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING – GEOLAVORI
- [10] IN1710EI2PRGE0000005A-8A, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [11] IN1710EI2PRGE0000009A-12A, Risultati Prove di laboratorio di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING - GEOLAVORI
- [12] IN1710EI2IGGE0000001A-2A, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – SOCOTEC
- [13] IN1710EI2IGGE0000003A-4A, Risultati Indagini Geofisiche di Progetto Esecutivo – ATI GEOSERVING - GEOLAVORI

2.2 Normativa e standard di riferimento

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 6 di 96</p>

- [22] RFI DTC SICS SP IFS 001 B Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi” – RFI
- [23] RFI TCAR ST AR 01 001 D Standard di qualità geometrica del binario con velocità fino a 300 km/h
- [24] Specifiche Tecniche di interoperabilità 2015 (REGOLAMENTO (UE) N. 1299/2014 DELLA COMMISSIONE del 18 novembre 2014 relativo alle specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario dell'Unione europea)

2.3 Bibliografia

- [25] Hynes, M.E., and Olsen, R.S. (1999), “Influence of confining stress on liquefaction resistance”, Proc., Int. Workshop on Phys. And Mech. Of Soil Liquefaction, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 145-152.
- [26] Idriss, I.M. and Boulanger, R.W. (2004), “Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes”. In: Proceedings, 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake engineering, and 3d International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. D. Doolin et al., eds., Stallion press, Vol. 1, pp. 32-56.
- [27] Liao, S.C.C. and Whitman, R.V. (1986), “Overburden Correction Factors for SPT in sand”, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, No. 3, 373-377.
- [28] Robertson P.K. and Wride C.E. (1998). “Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test”. Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, 35(3), pp. 442-459.
- [29] 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”.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 7 di 96</p>

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

3.1 Premessa

Il rilevato ferroviario in esame si estende dal km 25+314,84 al km 26+065,14 per una lunghezza totale di 750 m circa. Il tratto iniziale del rilevato è in uscita dal viadotto San Bonifacio (Spalla Est) e, nei primi 40 m circa è presente un muro di contenimento sul lato nord. 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. Le sezioni nominalmente più alte sono in corrispondenza della spalla. Tuttavia, considerando appunto la presenza della spalla e del muro di sostegno, si considera comunque significativa ai fini delle verifiche geotecniche SLU e SLE la prima sezione senza muro, alla pk 25+375,00, dove il rilevato presenta un'altezza pari a 6.2 m. La sezione citata, denominata Sezione A, e riportata in Figura 1.

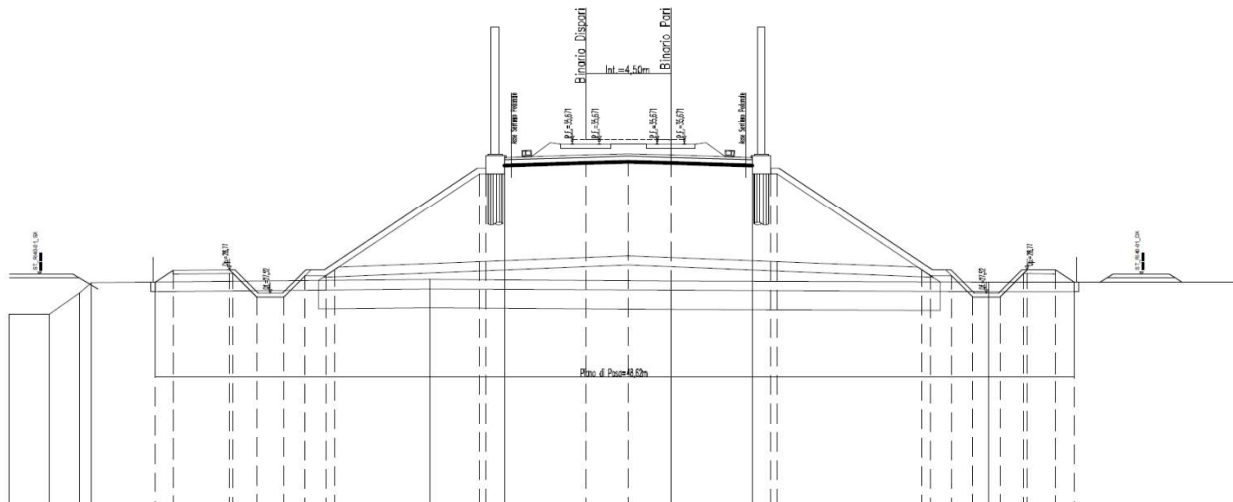


Figura 1 – Sezione di riferimento A (pk 25+375,00) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI400001A	Foglio 8 di 96

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]).

Le indagini disponibili lungo il tratto d'interesse per il rilevato in oggetto sono elencate in Tabella 1.

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 25+314 e pk 26+065

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
25+312	CPTU-PE-30	2020-2021
25+315	BH-PZ-PE-51	2020-2021
25+475	CPTU-PE-30Vbis	2020-2021
25+650	CPTU-PE-31V	2020-2021
25+650	CPTU-PE-31Vbis	2020-2021
25+820	BH26V	2015
26+001	BH-PE-53	2020-2021
26+004	CPTU-PE-32	2020-2021

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 9 di 96</p>

4.2 Inquadramento stratigrafico

Dal punto di vista stratigrafico, l'area del rilevato è interessata dalla presenza di alternanze di limi argillosi e sabbie limose (Unità 3a/b) e sabbie (Unità 4). Più in profondità, a partire da oltre 30 m da p.c. si identificano strati di argille e limi argillosi compatti (Unità 2).

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 RI40, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 6 di 11 (Doc. Rif. [3]).

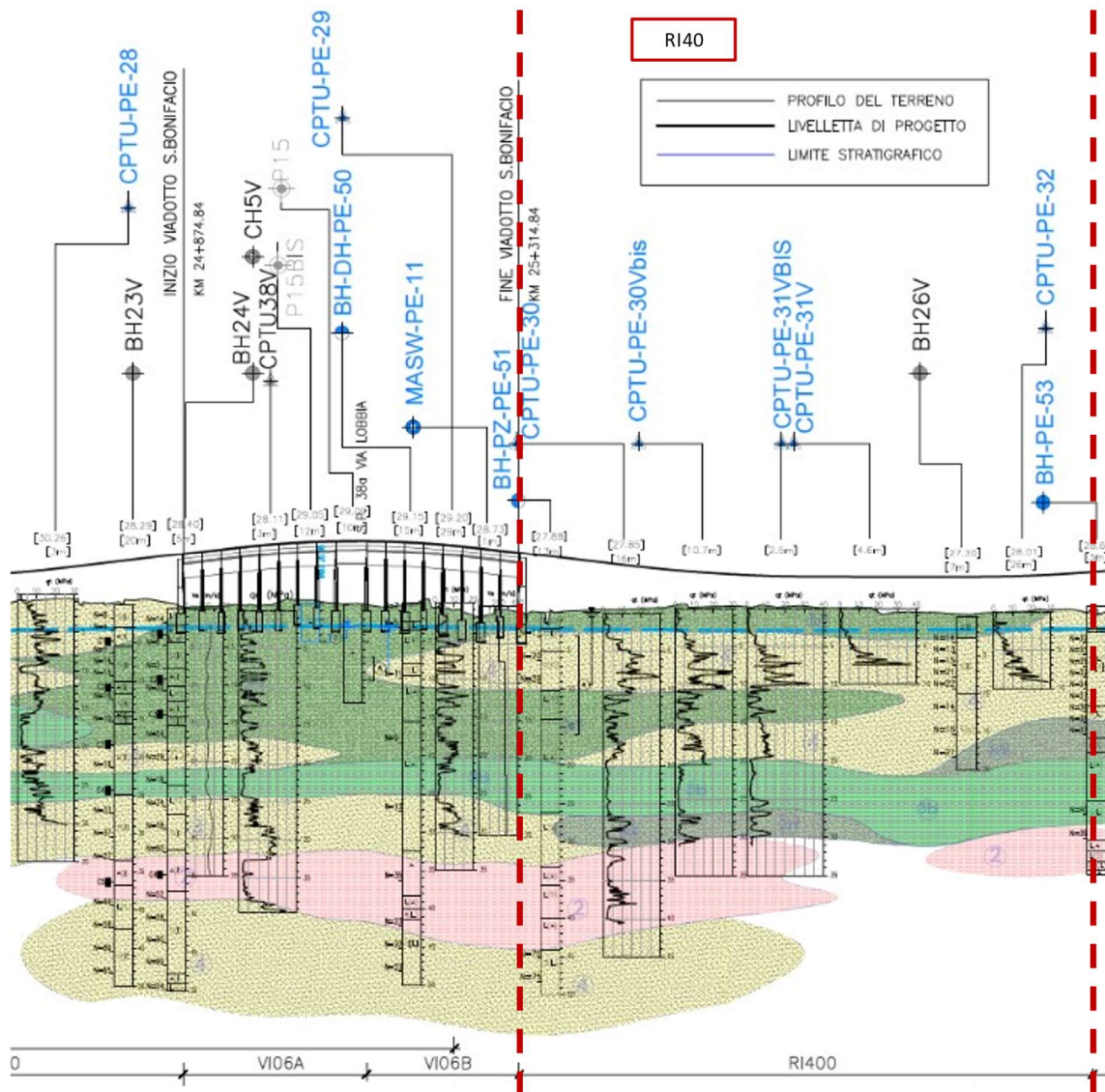


Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato RI40, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 10 di 96</p>

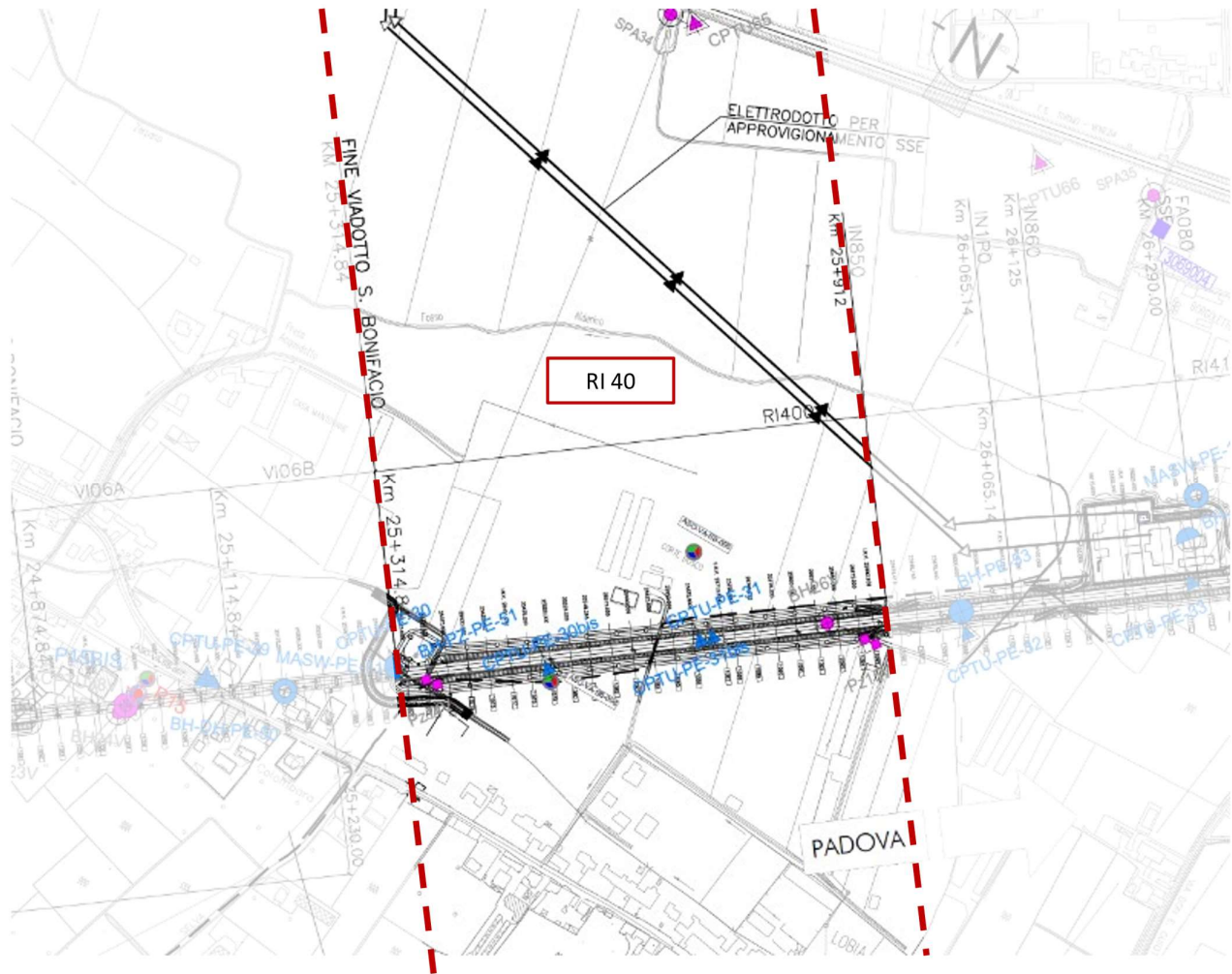


Figura 3 - Planimetria Rilevato RI40, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

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 -1.5 m da p.c. Nelle verifiche di liquefazione si assume una falda coincidente con il livello medio registrato nei piezometri, ed indicato nei profili geotecnici al 5000.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI400001A	Foglio 11 di 96

4.4 Sintesi del modello geotecnico di riferimento

Sulla base di quanto esposto al punto precedente e sulla base dei parametri definiti nella Relazione Geotecnica Generale (Doc. Ref. [2]), 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 25+314,84 a pk 26+065,14

Unità	Da m pc*	a m pc*	γ kN/m ³	φ_k °	c'_k kPa	$c_{u,k}$ kPa	OCR -	E'_{op} MPa	σ'_p kPa	RR -	CR -	cv m ² /s	$C_{\alpha\varepsilon}$ -
3a/b	0	3	18.5	30	0	50	-	10	-	-	-	-	-
4	3	11	18.5	38	0	-	-	60	-	-	-	-	-
3 a/b	11	16	18.5	32	0	100	-	15	-	-	-	-	-
4	16	20	18.5	38	0	0	-	60	-	-	-	-	-
3b	20	27	19	28	0	120	-	-	500	0.025	0.18	5.00E-07	0.10%
4	27	32	18.5	36	0	-	-	25	-	-	-	-	-
2	32	36	19	28	0	140	-	25	-	-	-	-	-
4	36	38	19	36	0	-	-	60	-	-	-	-	-
2	38	42	19	28	0	140	-	35	-	-	-	-	-
4	42	-	19	38	0	-	-	100	-	-	-	-	-

* quota piano campagna = 28.0 m s.l.m.

4.4.1 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 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI400001A	Foglio 12 di 96

5 CARATTERISTICHE SISMICHE E SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

5.1 Sollecitazione sismica di progetto

5.1.1 Vita Nominale

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

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

Tabella 4 – Vita nominale delle infrastrutture ferroviarie

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

5.1.2 Classe d'uso

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI400001A	Foglio 13 di 96

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 $V_R = V_N * C_U = 100 * 1.5 = 150$ 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 $i > 30^\circ$.*

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 14 di 96</p>

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)	0.207
Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s	1.397
Coefficiente di amplificazione topografica S_t	1.0
Accelerazione massima attesa al suolo	
a_{max} (g) ($a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$)	0.289

5.2 Suscettibilità alla liquefazione

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

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI400001A	Foglio 15 di 96

(CRR) così definiti:

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

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

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

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

dove:

a_{max} accelerazione di picco al sito

g accelerazione di gravità

τ_c valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

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

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

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

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

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI400001A	Foglio 16 di 96

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

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

5.2.1 CRR da correlazione su prove CPT

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

Il procedimento utilizzato per la stima di CRR a partire dai risultati di prove CPT si basa sulla relazione riportata in Figura 4: 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 4, 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:

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

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

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

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

dove:

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI400001A	Foglio 17 di 96

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

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

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

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

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

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

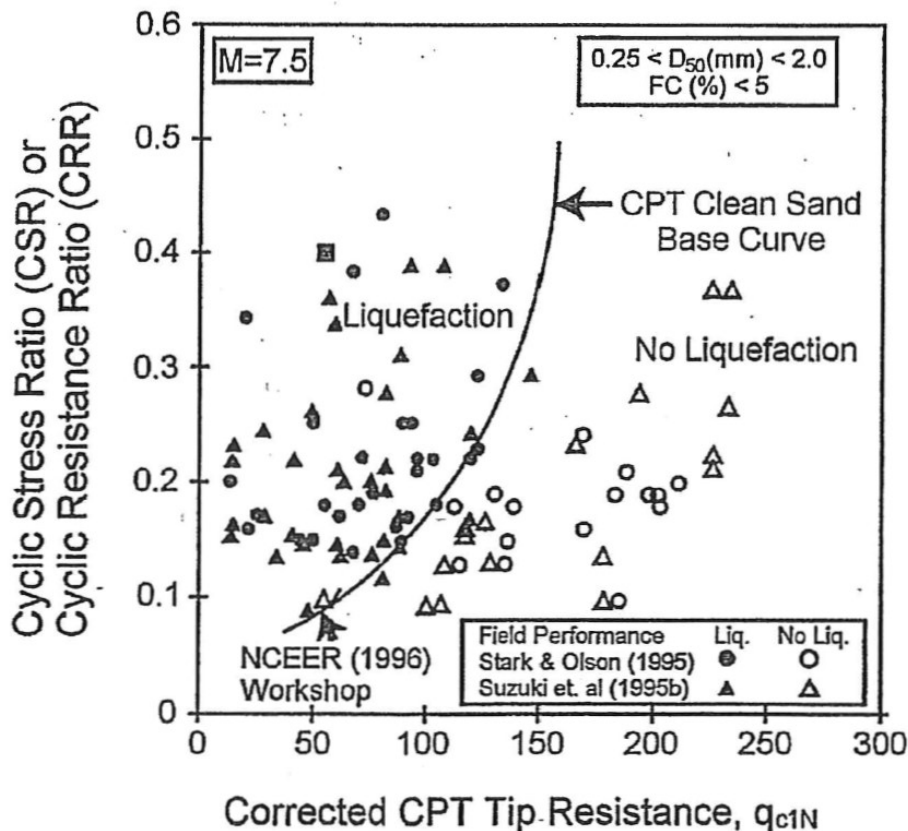



Figura 4 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 18 di 96</p>

5.2.2 CRR da correlazione su prove SPT

Il procedimento utilizzato per la stima di CRR a partire dai risultati di prove SPT si basa sulla relazione riportata in Figura 5, originariamente proposta da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), e successivamente confermata da Youd et al. (2001).

In Figura 5, i risultati delle prove SPT sono espressi in termini di numero di colpi corretti $N_{1(60)}$, ossia i valori sono normalizzati per una pressione verticale efficace pari a 100 kPa e corretti per un valore standard di energia trasmessa (60% del valore nominale) come segue:

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

dove:

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

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

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

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

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

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

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

Sempre in Figura 5, 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 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI400001A	Foglio 19 di 96

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

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

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

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

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

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

In cui:

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI400001A	Foglio 20 di 96

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):

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

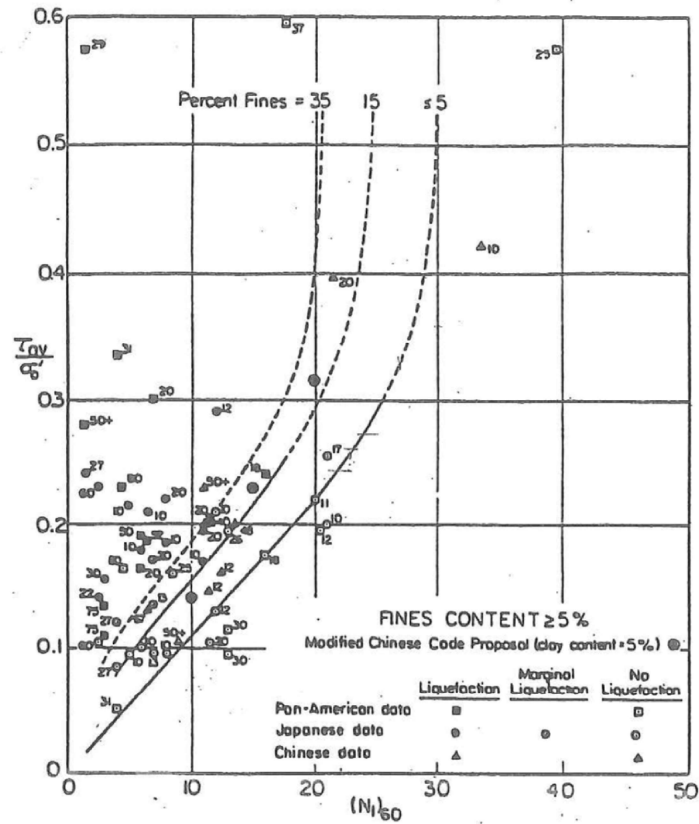


Figura 5 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 21 di 96</p>

5.2.3 Commento ai risultati

I risultati dell'interpretazione delle prove CPTU in termini di potenziale di liquefazione indicano rischi di potenziale liquefazione nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI40.

In particolare:

- Si è in generale fatto riferimento alle prove CPTU, che, in quanto continue, sono più adatte degli SPT (puntuali per definizione) per definire, per il caso in questione, l'ammontare degli spessori e le possibili conseguenze sul comportamento dell'opera. In questa luce, l'insieme delle prove CPTU indica la presenza di materiali in grado di sviluppare sovrappressioni interstiziali di un qualche rilievo lungo tutta la tratta interessata dall'opera.
- Per quanto concerne le prove CPTU PE-30 e 30Vbis, queste indicano la presenza di isolati e sottili livelli (qualche decimetro), di terreni con r_u prossimo all'unità, ma non in grado, principalmente per il loro esiguo spessore, di dare luogo a situazione di SLU con creazione di potenziali superfici di scorrimento continue. Il generale effetto del sisma di progetto potrà quindi tradursi in un cedimento post-sisma in superficie, comunque attenuato a piano ferro dalla rigidità del corpo del rilevato
- Lo stesso può dirsi della CPTU-PE-31V, dove la generazione di pressioni interstiziale è ancora meno marcata che non nelle due prove precedenti
- Nella CPTU-PE-31 Vbis, ed in particolar modo nella CPTU-PE32, si evidenziano invece strati sufficientemente continui, in particolare fra 3 e 5 m di profondità, al disotto di uno strato di materiale a comportamento prevalentemente argilloso, in grado di sviluppare (sia pure in modo non continuo), valori di r_u prossimi all'unità.

Si è quindi considerato necessario eseguire un'analisi di dettaglio in corrispondenza di tale prova, per verificare il soddisfacimento delle verifiche di tipo SLU: Il risultato dell'analisi è riportato nel capitolo seguente.



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI400001A

Foglio
22 di 96

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-30 Pr. 25+312
a_max = 0.285g M_calc = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 8m

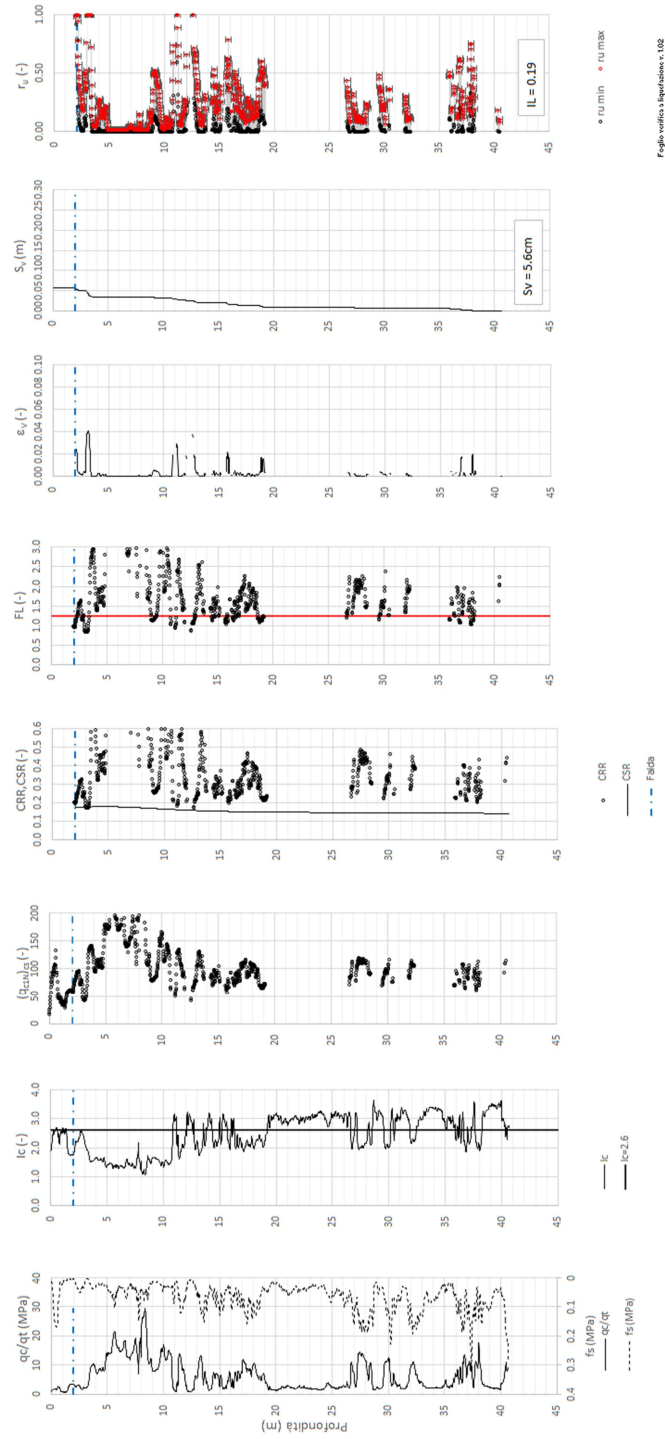


Figura 6 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-30



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

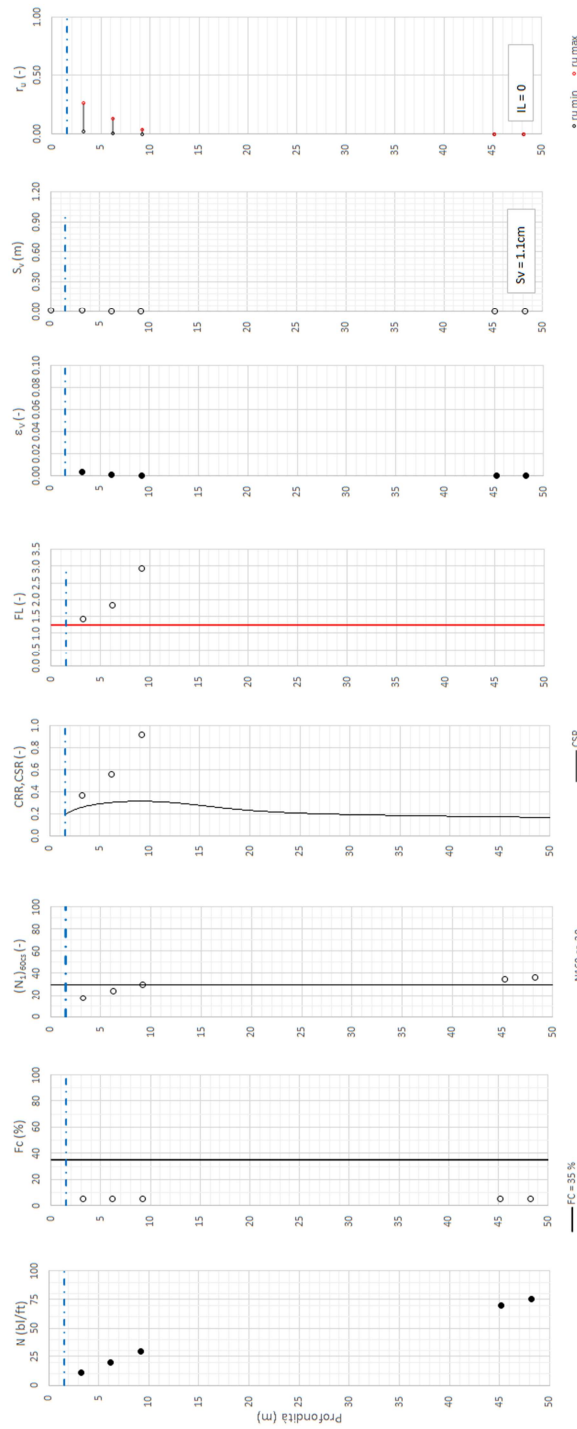
Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI400001A

Foglio
23 di 96

T tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova BH-PE-51 Pr. 25+310
a_{max} = 0.288g M_{calc} = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 0m



Legend:
 • Dati misurati in sito o calcolati sulla base di misure di fette
 ○ Dati basati sulla somma di valori tipici per lo strato
 — F_c = 35%
 — N₆₀ cpe30
 — CSR
 • r_u min • r_u max
 IL = 0
 I_p = 1.1cm

Figura 7 – Verifica Liquefazione da risultati BH-PE-51



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI400001A

Foglio
24 di 96

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-30Vbis Pr. 25+475
a_{v,max} = 0.289g M_{calc} = 6.3 MSF = 1.85 Metodo NCEER 1995 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 3.5m

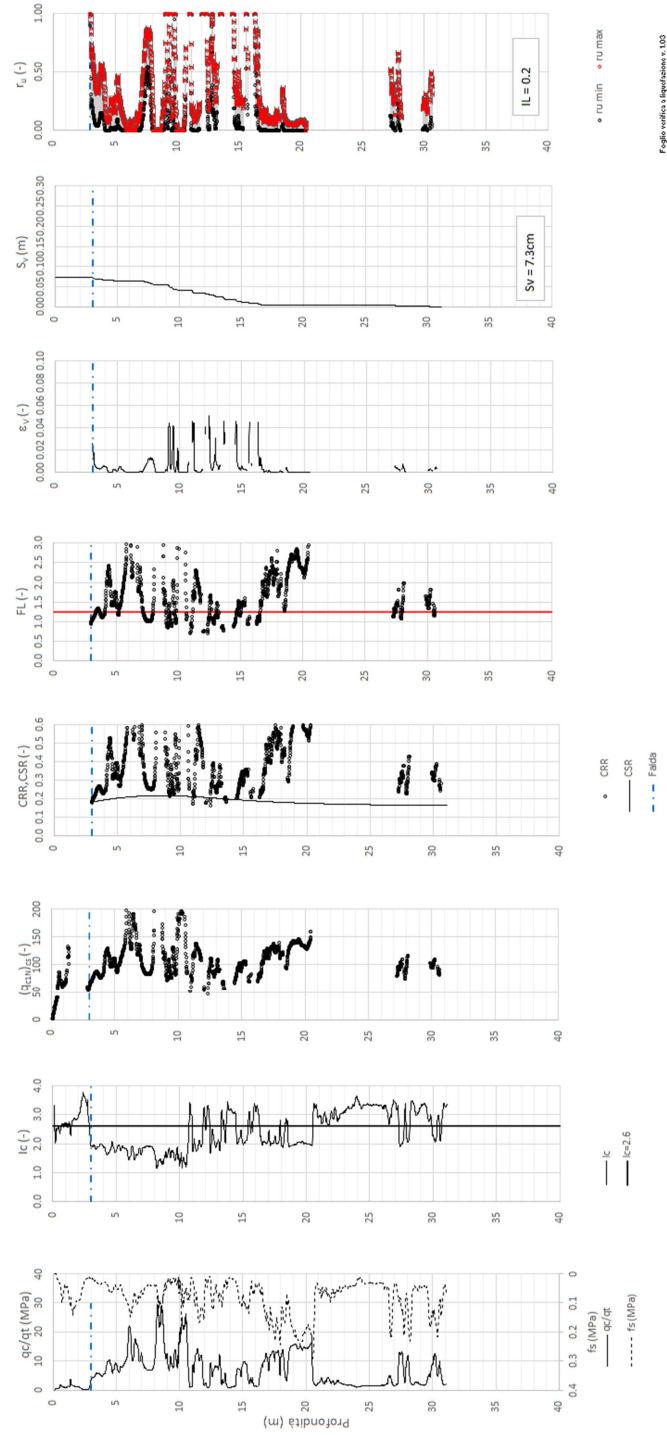


Figura 8 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-30Vbis



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI400001A

Foglio
25 di 96

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-31V Pr. 25+650
 $a_{r,max} = 0.289g$ $M_{calc} = 6.3$ $MSF = 1.85$ Metodo NCEER 1995 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 3.5m

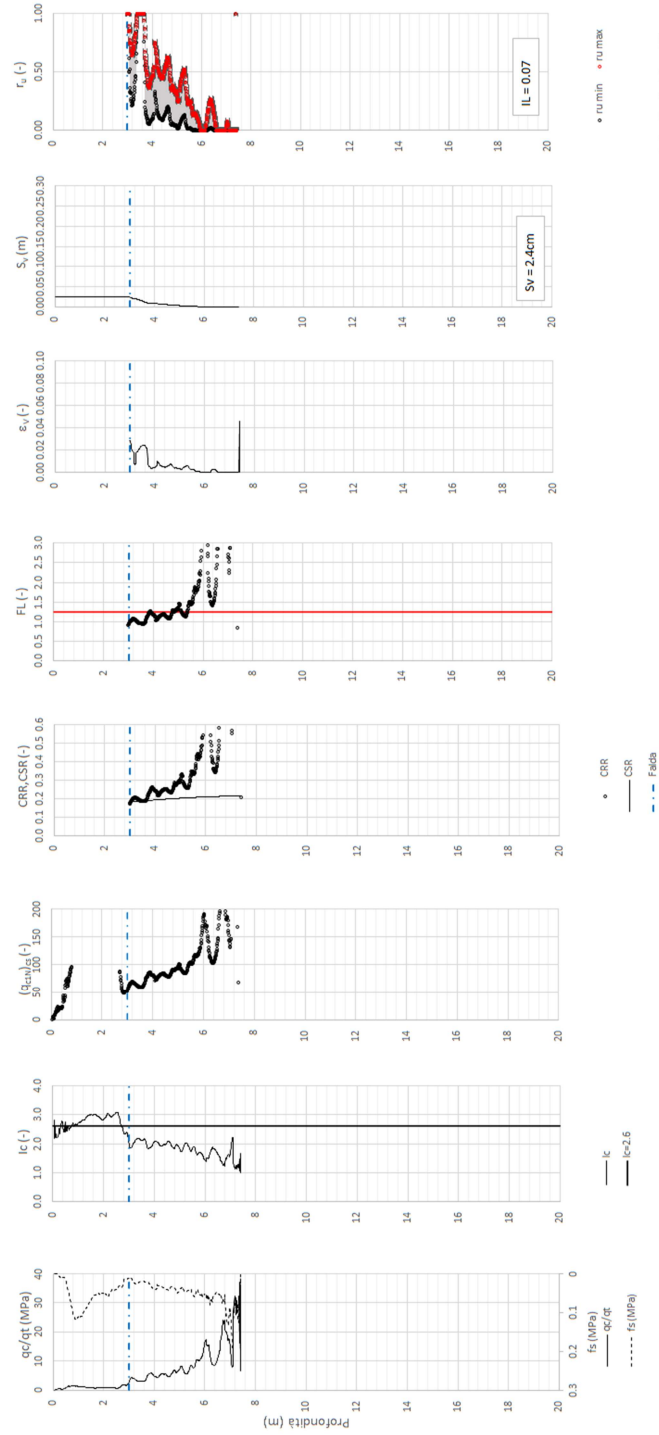


Figura 9 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-31V



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI400001A

Foglio
26 di 96

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-31Vbis Pr. 25+650
a_{r,max} = 0.289g M_{calc} = 6.3 MSF = 1.85 Metodo NCEER 1995 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 3.5m

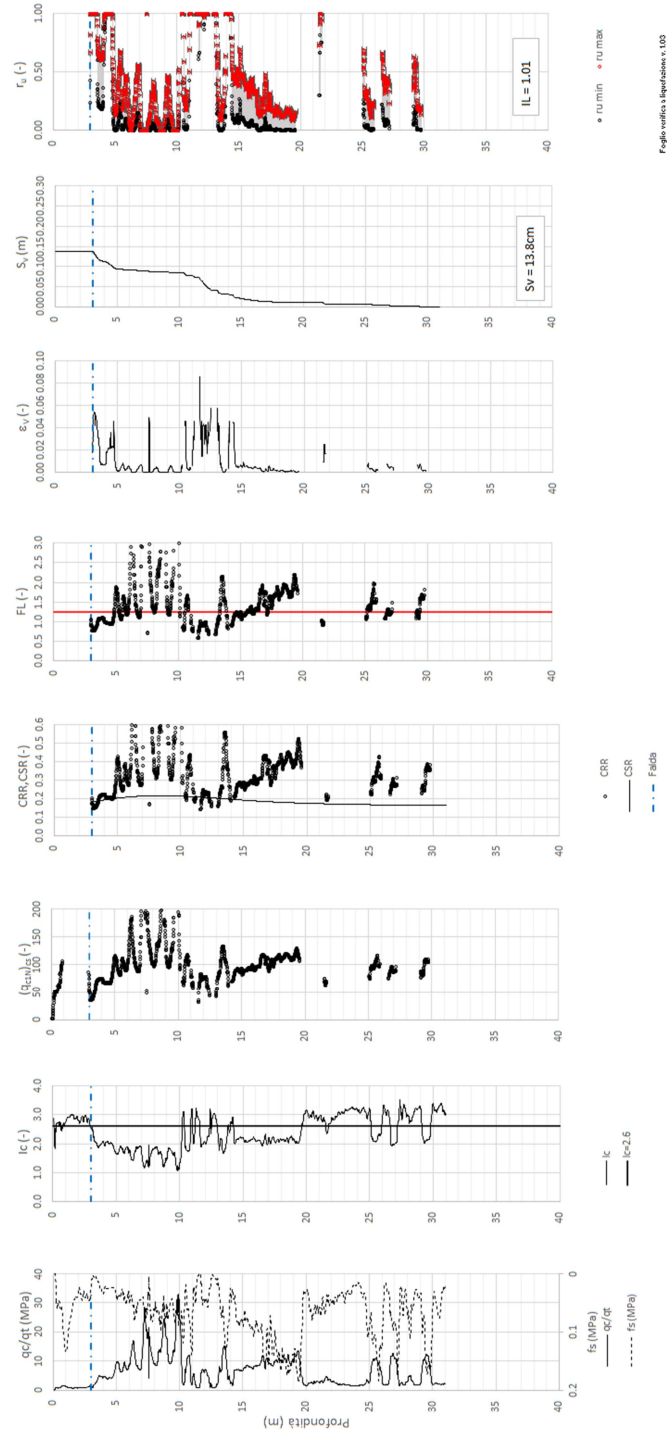


Figura 10 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-31Vbis



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI400001A

Foglio
27 di 96

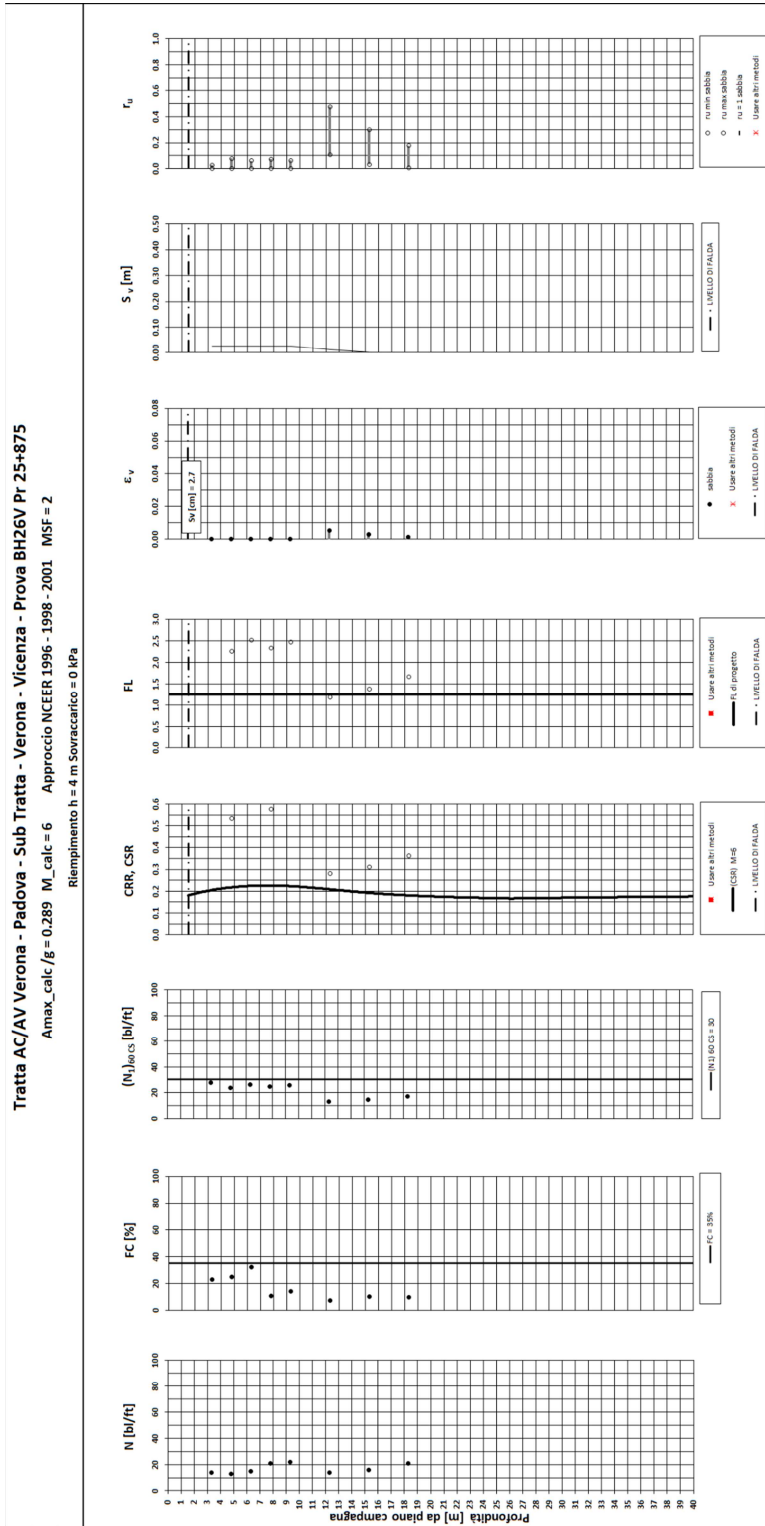


Figura 11 – Verifica Liquefazione da risultati BH26V



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

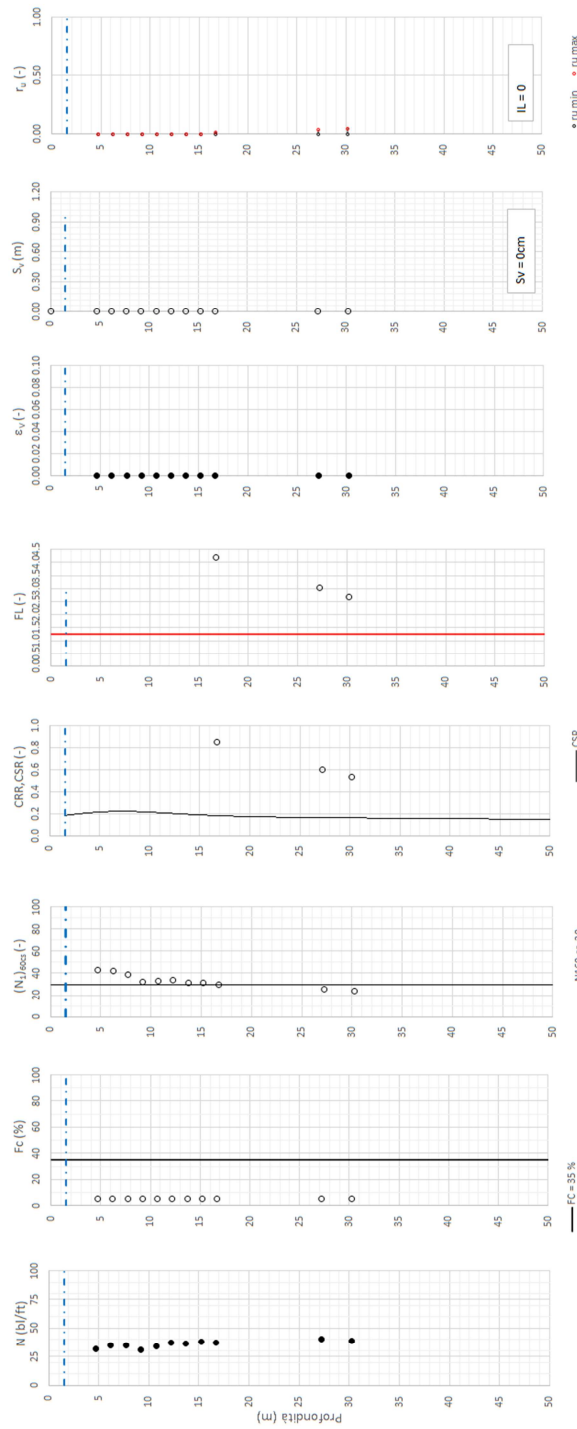
Codifica
EI2RBRI400001A

Foglio
28 di 96

T tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova BH-PE-53 Pr. 25+950

a_{max} = 0.288g M_{calc} = 6 MSF = 2 Metodo NCEER 1996-1998-2001

Altezza rilevato = 4.5m



F_c = 35 %
 • Dati misurati in sito o calcolati sulla base di misure di fette
 ○ Dati basati sulla somma di valori tipici per lo strato

Foglio verifico 3 liquidazione Napp = 102

Figura 12 – Verifica Liquefazione da risultati BH-PE-53



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI400001A

Foglio
29 di 96

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova CPTU-PE-32 Pr. 26+004
a_{r,max} = 0.289g M_{calc} = 6.3 MSF = 1.85 Metodo NCEER 1995 - 1998 - 2001
Altezza rilevato = 5m

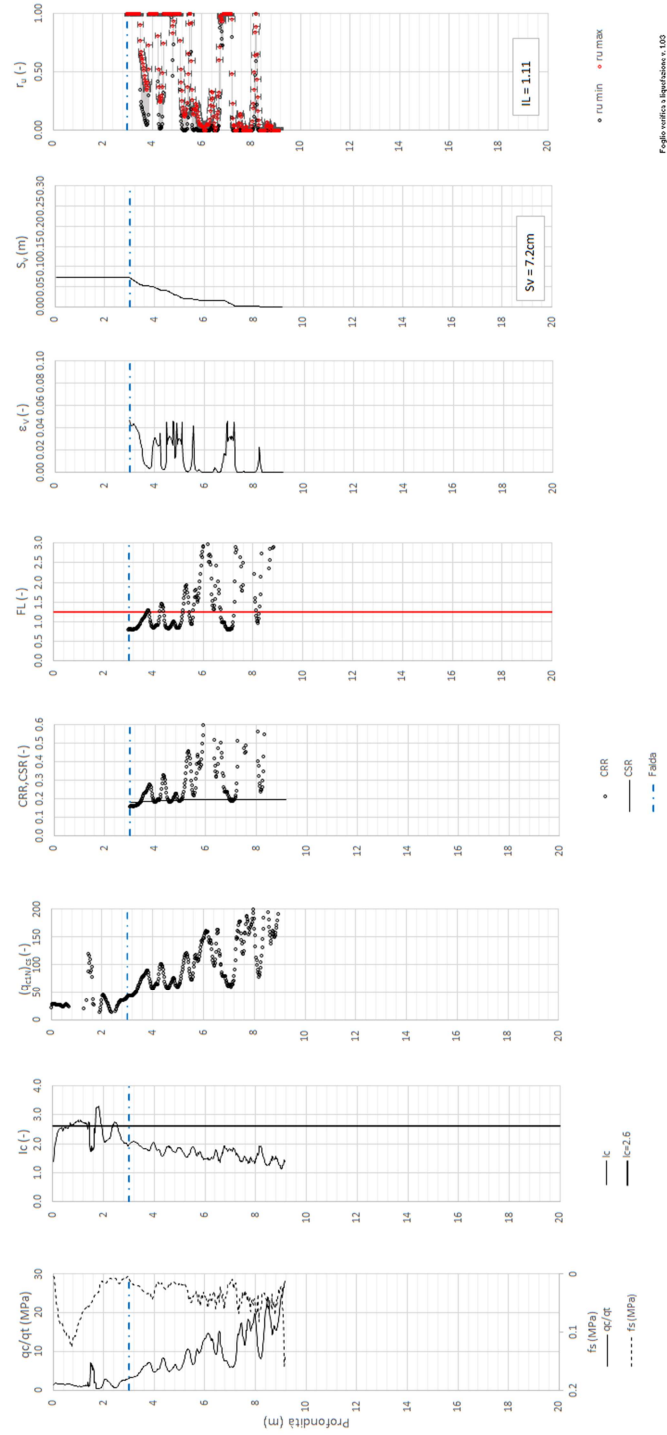


Figura 13 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU-PE-32

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 30 di 96</p>

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.

Le verifiche vengono condotte con analisi statiche o pseudo-statiche e, in accordo al MDP ITALFERR, il coefficiente di incremento dinamico delle azioni derivanti dal passaggio del treno è assunto pari all'unità.

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

6.1.1 Stati limite ultimi (SLU)

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

La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI400001A	Foglio 31 di 96

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 $R = R \left[\gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_m}; a_d \right]$.

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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 32 di 96</p>

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.

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.

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).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 33 di 96</p>

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 9)

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

g accelerazione di gravità.

Tabella 9 - 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 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 34 di 96</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 A riportata in Figura 1, secondo il metodo di Bishop modificato. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici caratteristici definiti in Tabella 2.

Inoltre, per le motivazioni riportate nel capitolo dedicato all'analisi dei risultati delle verifiche a liquefazione, si è considerato tale evento per una sezione posta in prossimità della CPTU-PE-32, ove è stata presa in considerazione la possibilità di liquefazione di uno strato posto fra 3 e 5 m di profondità dal p.c.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI400001A	Foglio 35 di 96

6.3.2 Sezione A

6.3.2.1 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, si veda al paragrafo 4.3. Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

In Figura 14 sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2. Il valore minimo di FS è pari a:

$$F_{S\text{MIN}} (\text{DA1C2}) = 1.341 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

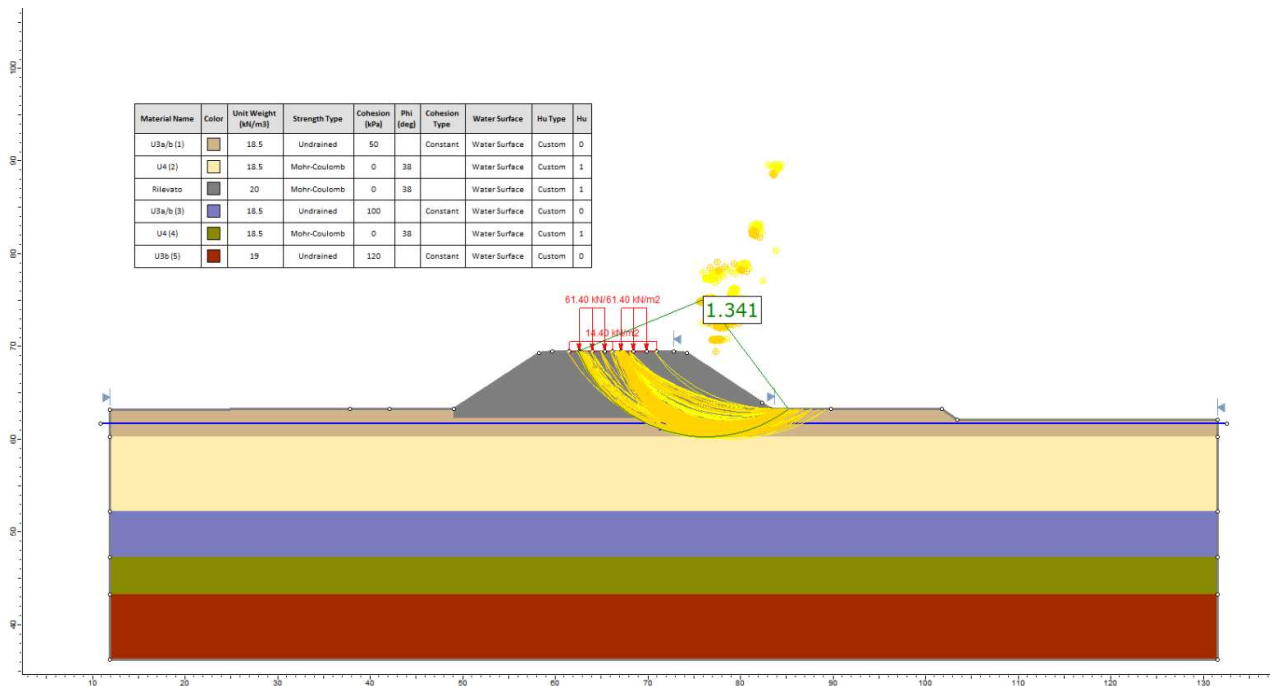


Figura 14 – Sezione A - Analisi SLU in campo statico DA1C2

6.3.2.2 Verifiche SLU in condizioni sismiche

Nel caso di analisi di stabilità in condizioni sismiche si sono introdotte le azioni sismiche definite secondo quanto riportato nel paragrafo 6.2.3, verificando l'equilibrio secondo la combinazione mostrata in 6.1.3.

Per quanto riguarda la falda si veda quanto 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 15 sono riportate le superfici di rottura critiche. Il fattore di sicurezza FS è pari a:

$$FS_{MIN} = 1.161 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in condizioni sismiche risulta soddisfatta.

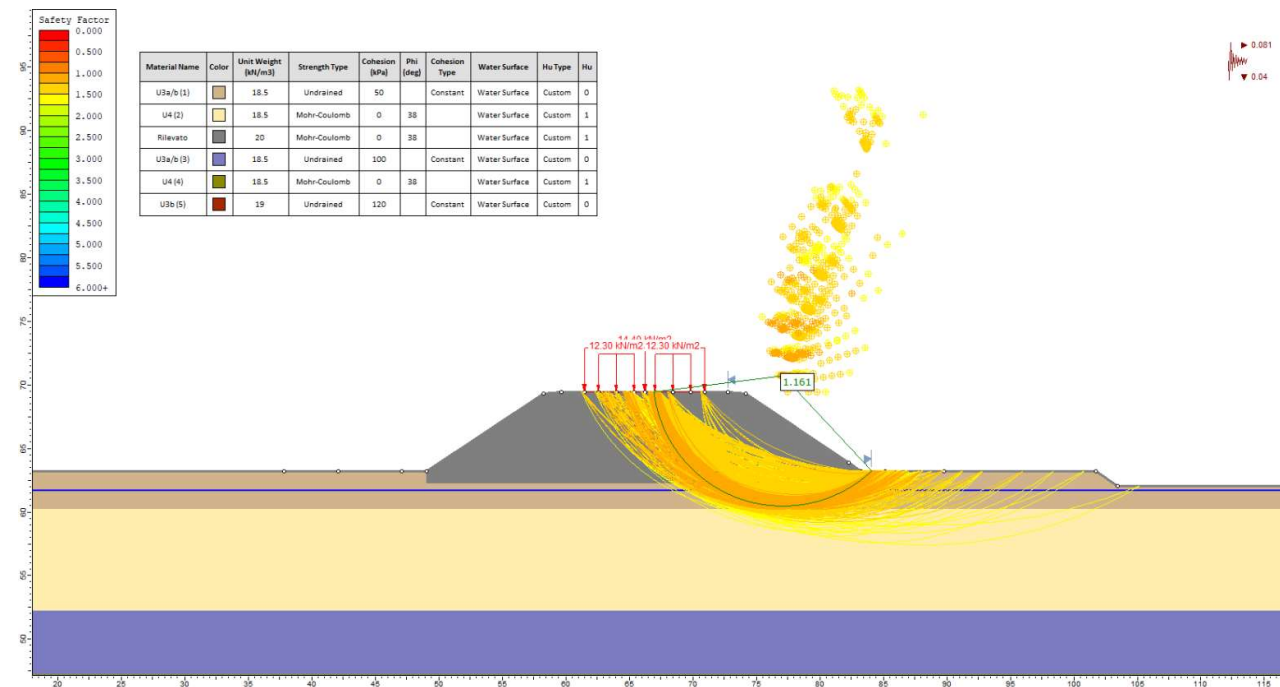


Figura 15 – Sezione A - Analisi SLU in condizione sismica

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 37 di 96</p>

6.3.3 Sezione alla 25-650- CPTU-PE-32

6.3.3.1 Verifiche SLU in condizione post sismica

Come mostrato nel paragrafo 5.2.3 dalla progressiva pk 25+650 in poi si è individuato uno strato sabbioso potenzialmente liquefacibile che si estende da 3 m p.c. a 5 m p.c. Per questo motivo è stata eseguita una verifica di stabilità considerando questo strato liquefatto (condizione post-sisma). Per la verifica si è fatto riferimento alla sezione con altezza maggiore (pari a 4m) del rilevato ricadente nel tratto potenzialmente liquefacibile. La sezione di riferimento, denominata sezione B, per la verifica in condizione post sismica è riportata in Figura 16.

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 stata considerata la profondità di 3 m da p.c., considerando il valore medio della falda, come riportato nel profilo geotecnico (Rif. Doc. [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.

La verifica è stata condotta esaminando la condizione stratigrafica riportata in Tabella 2 considerando uno strato liquefatto fra 3 e 5 m di profondità.

In Figura 17 sono riportate le superfici di rottura critiche. Il fattore di sicurezza FS è pari a:

$$F_{S_{MIN}}=1.116 > R2=1.1$$

la verifica di stabilità globale post liquefazione risulta soddisfatta.

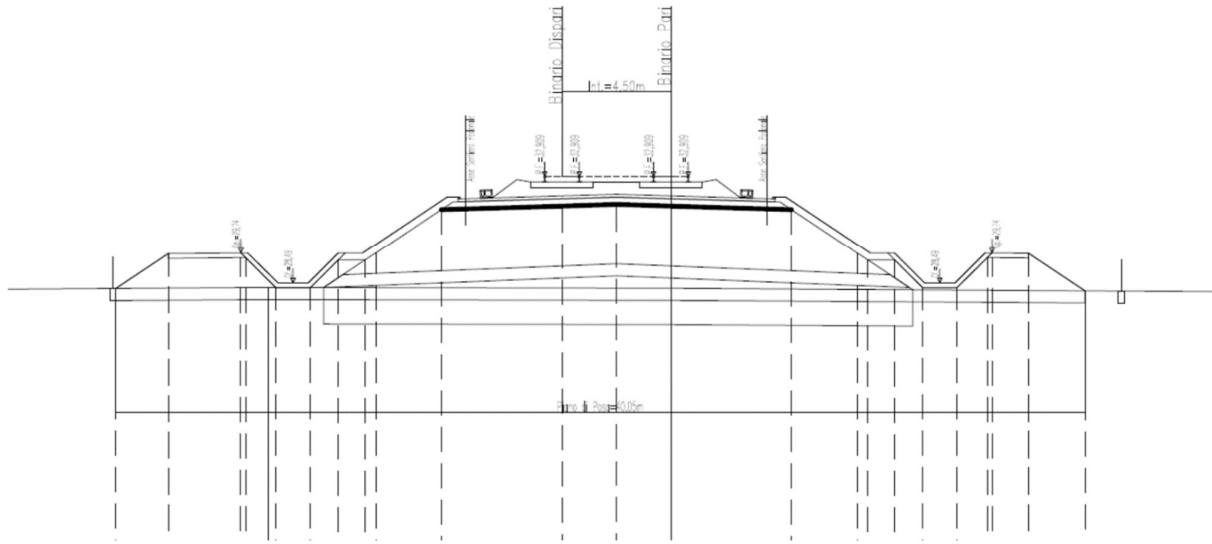


Figura 16 – Sezione di riferimento B (pk 26+025,00) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

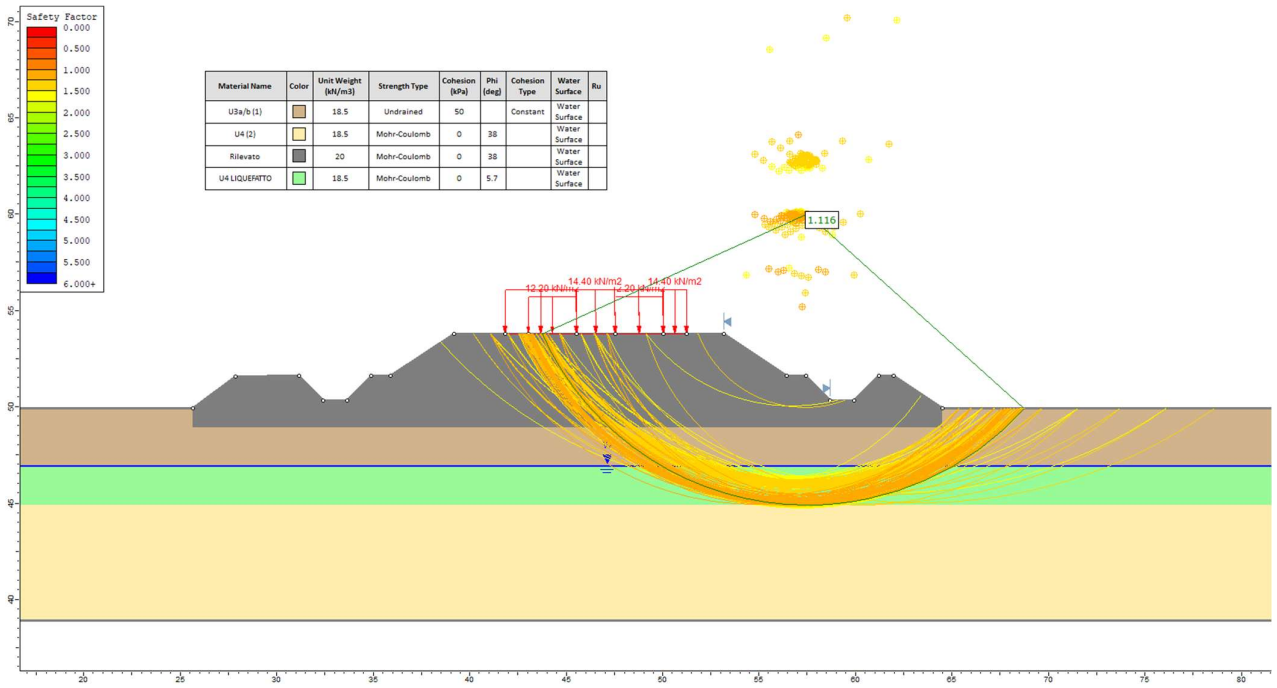


Figura 17 - Sezione B - Analisi SLU in condizione post-sismica

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI400001A	Foglio 39 di 96

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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 40 di 96</p>

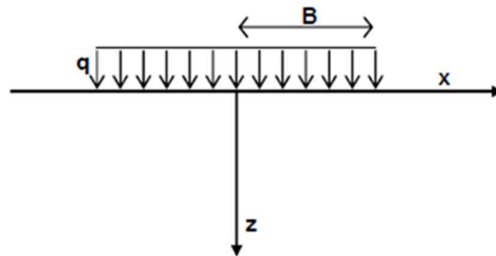


Figura 18 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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:

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

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

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

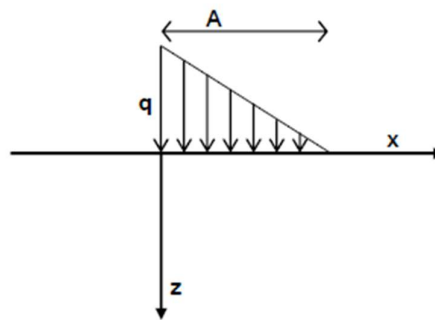


Figura 19 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 41 di 96</p>

stratigrafica in sito tenendo conto delle diverse caratteristiche di deformabilità degli strati, in accordo alla stratigrafia di progetto riportata in Tabella 2. Si sono assunti i valori caratteristici sia sulle azioni che sui materiali.

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 6.2 m, è riportato in Figura 18. Il nuovo rilevato esistente è largo 35 m e alto 6.2 m. Nel calcolo sono stati utilizzati i parametri geotecnici definiti in Tabella 2.

Il carico dato dal completamento della linea ferroviaria, assunto pari a 14.4 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza dell'impronta della massiciata ferroviaria.

I cedimenti sono stati calcolati al centro del nuovo rilevato, i valori calcolati sono riportati nella Figura 21.

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

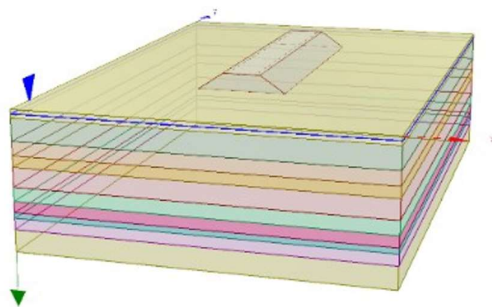
- Costruzione nuovo rilevato, vedi Figura 18 a)
- Completamento rilevato con posa del ballast per la nuova linea, vedi Figura 18 b)

L'analisi è stata svolta nel dominio del tempo, considerando i seguenti step di calcolo:

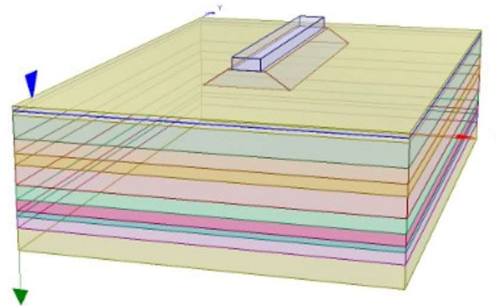
- Costruzione del rilevato = 4 mesi;
- Completamento dei servizi = 2 mesi;
- Installazione del ballast;
- Lungo termine (esaurimento delle sovrappressioni in eccesso).

Conservativamente non sono stati considerati tempi di maturazione fra il termine della costruzione del rilevato e la realizzazione dei servizi. Il cedimento calcolato in corrispondenza del centro del nuovo rilevato, maturato a partire dalla realizzazione del ballast è di circa 3.9 cm.

La verifica SLE è quindi da considerarsi soddisfatta.



a)



b)

Figura 20 - Rilevato RI40 - Analisi SLE – Modello di calcolo

Ri40 : Cedimento del rilevato ferroviario linea AV

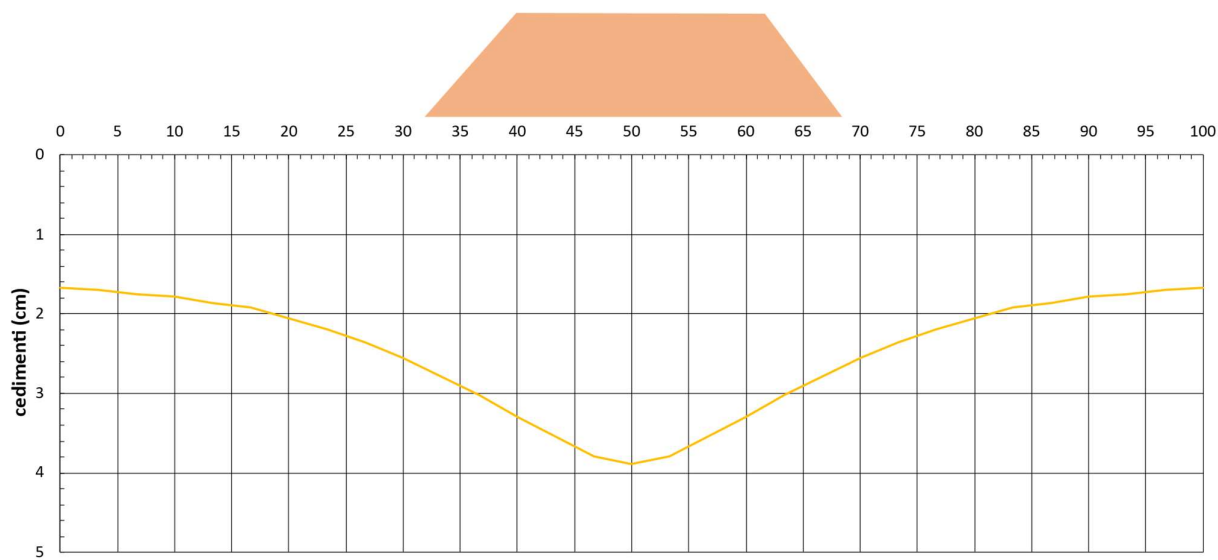


Figura 21 - Rilevato RI40 - Analisi SLE – Cedimenti



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

43 di 96

Ri40: Cedimento al centro del rilevato ferroviario Av

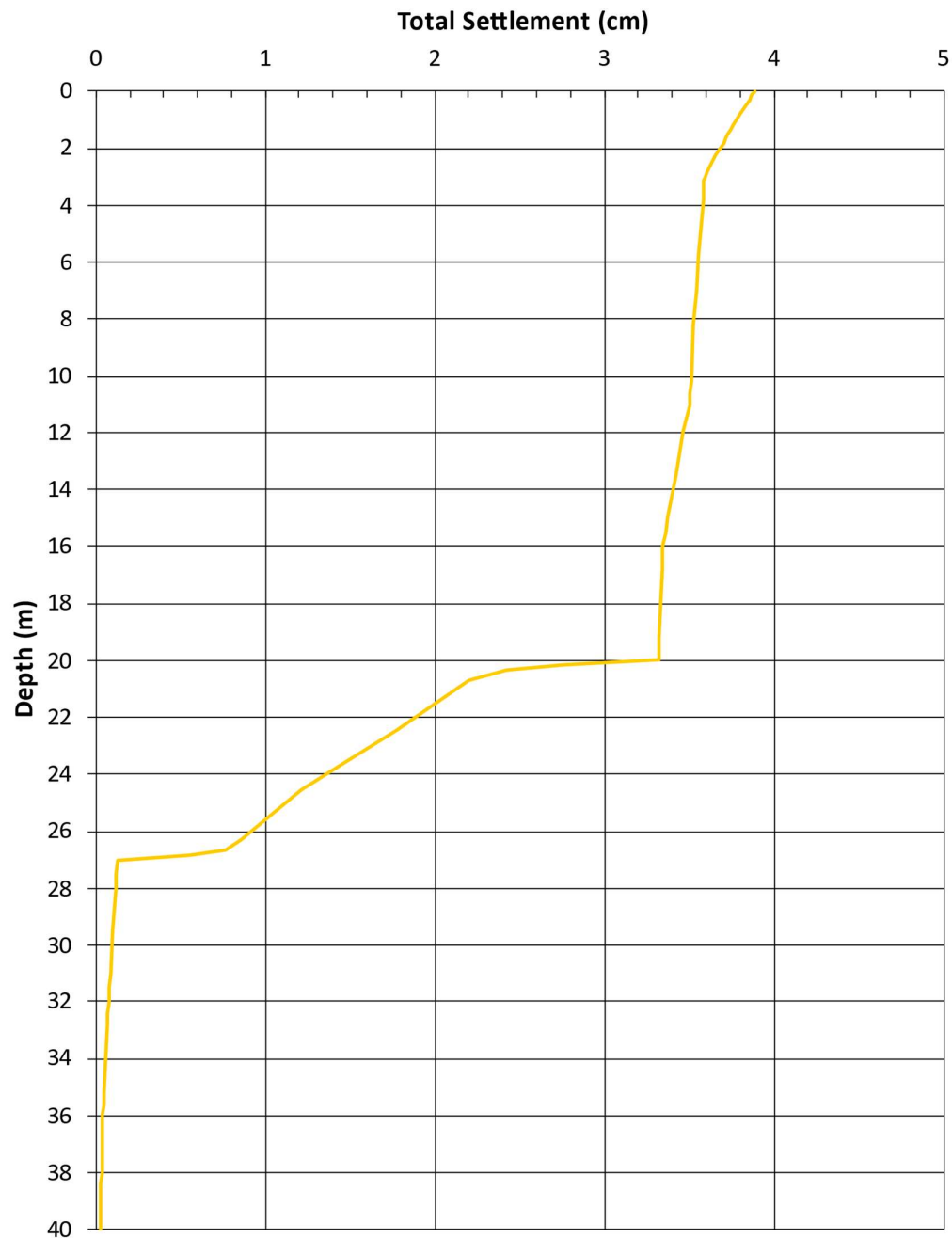


Figura 22 - Rilevato RI40 - Analisi SLE – Risultato cedimenti in profondità al centro del rilevato

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 44 di 96</p>

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 10 e Tabella 11.

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 10.

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 12) alle resistenze di calcolo R_{cal} ; tali fattori sono funzione del numero di verticali d'indagine rappresentative:

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

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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI400001A	Foglio 45 di 96

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 10 – 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 11 – 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 12 – 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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 46 di 96</p>

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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 47 di 96</p>

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.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 48 di 96</p>

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 1).

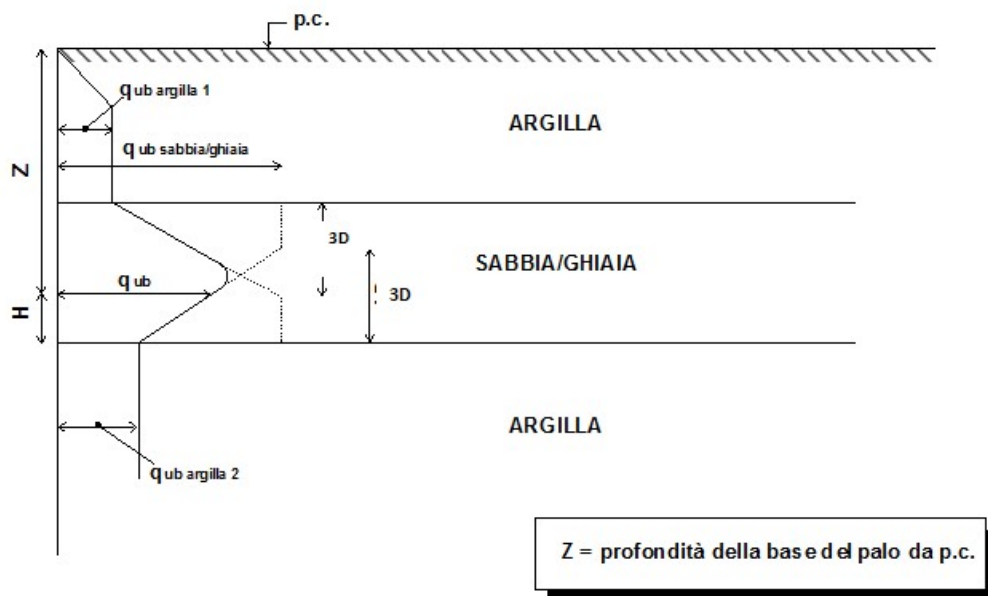


Figura 23 - Criterio di valutazione della pressione ultima di base (q_{ub}) in terreni stratificati

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

49 di 96

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI400001A	Foglio 50 di 96

7.3 Stratigrafia di calcolo

La stratigrafia di calcolo è quella riportata in 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. Si fa notare che per i parametri di resistenza relativi al primo strato dell'Unità 3a/b si è fatto riferimento al valor medio dello strato, tenendo anche conto della presenza di una crosta essiccata superficiale.

Modello geotecnico di riferimento da pk 25+314,84 a pk 26+065,14

Unità	da m pc*	a m pc*	γ kN/m ³	$c_{u,k}$ kPa	$Q_{b,cr}$ (kPa)	k_h (kN/m ³)
3a/b	0	3	18.5	80	-	-
4	3	11	18.5	-	1500	12000
3a/b	11	16	18.5	100	-	-
4	16	20	18.5	-	1500	12000
3b	20	27	19	120	-	-
4	27	32	18.5	-	1500	15000
2	32	36	19	140	-	-
4	36	38	19	-	1500	15000
2	38	42	19	140	-	-
4	42	-	19	-	-	-

* quota piano campagna = 28.0 m s.l.m.

quota imposta muro = quota testa pali = 26.5 m s.l.m.

La quota testa pali si trova quindi a 1.5 metri 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)

$E_h(z) = k_h \cdot z$ per terreni incoerenti.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 51 di 96</p>

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, per pali $D=1200$ mm. Coerentemente a quanto dichiarato nel Capitolo 6, per quanto riguarda le condizioni sismiche, si faccia riferimento alle curve agli SLU.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI400001A	Foglio 52 di 96

Lpalo m	CARICO LIMITE ULTIMO			CURVE SLU				
	Q _{r,lim} kN	Q _{b,cr} kN	Q _{TOT,lim} kN	Q _{l,c,d} kN	Q _{l,tr,d} kN	Q _{b,d} kN	Q _{tot,c,d} kN	Q _{tot,tr,d} kN
0.00	0	814	814	0	0	407	407	0
1.00	166	814	973	98	90	407	495	97
2.00	381	940	1308	224	206	470	675	220
3.00	677	1192	1849	398	366	597	967	386
4.00	1009	1444	2426	593	545	723	1279	572
5.00	1374	1696	3037	807	743	849	1610	777
6.00	1768	1696	3424	1039	956	849	1832	997
7.00	2187	1503	3643	1285	1182	752	1972	1230
8.00	2628	1309	3882	1544	1421	655	2126	1475
9.00	3085	1115	4139	1813	1668	558	2288	1729
10.00	3423	1018	4373	2011	1850	510	2429	1918
11.00	3630	1018	4574	2133	1962	510	2541	2037
12.00	3838	1018	4774	2255	2075	510	2655	2156
13.00	4045	1018	4975	2377	2186	510	2767	2274
14.00	4252	1018	5175	2498	2298	510	2879	2393
15.00	4508	1115	5521	2649	2437	558	3069	2539
16.00	4811	1281	5983	2827	2601	641	3321	2710
17.00	5111	1447	6443	3003	2763	724	3572	2878
18.00	5407	1297	6582	3177	2923	649	3661	3045
19.00	5678	1221	6771	3336	3069	611	3773	3198
20.00	5927	1221	7013	3482	3204	611	3910	3340
21.00	6176	1221	7255	3629	3338	611	4047	3481
22.00	6425	1221	7497	3775	3473	611	4185	3622
23.00	6673	1221	7739	3921	3607	611	4321	3763
24.00	6922	1221	7981	4067	3742	611	4458	3905
25.00	7171	1221	8223	4213	3876	611	4595	4046
26.00	7417	1289	8529	4358	4009	645	4765	4185
27.00	7661	1425	8903	4501	4141	713	4967	4324
28.00	7914	1503	9227	4650	4278	752	5146	4468
29.00	8176	1580	9559	4804	4419	791	5329	4616
30.00	8446	1477	9719	4962	4565	739	5426	4769
31.00	8729	1425	9944	5129	4718	713	5558	4928
32.00	9019	1425	10227	5299	4875	713	5719	5092
33.00	9310	1425	10511	5470	5032	713	5881	5256
34.00	9600	1425	10794	5640	5189	713	6042	5420
35.00	9901	1464	11128	5817	5352	733	6229	5590
36.00	10220	1464	11440	6005	5524	733	6408	5768
37.00	10535	1425	11709	6190	5695	713	6564	5946
38.00	10843	1425	12011	6371	5861	713	6736	6119
39.00	11159	1425	12320	6556	6032	713	6912	6297
40.00	11483	1425	12636	6747	6207	713	7094	6478

Figura 24 – Riassunto curve di capacità portante SLU/SLE per pali D=1200 mm

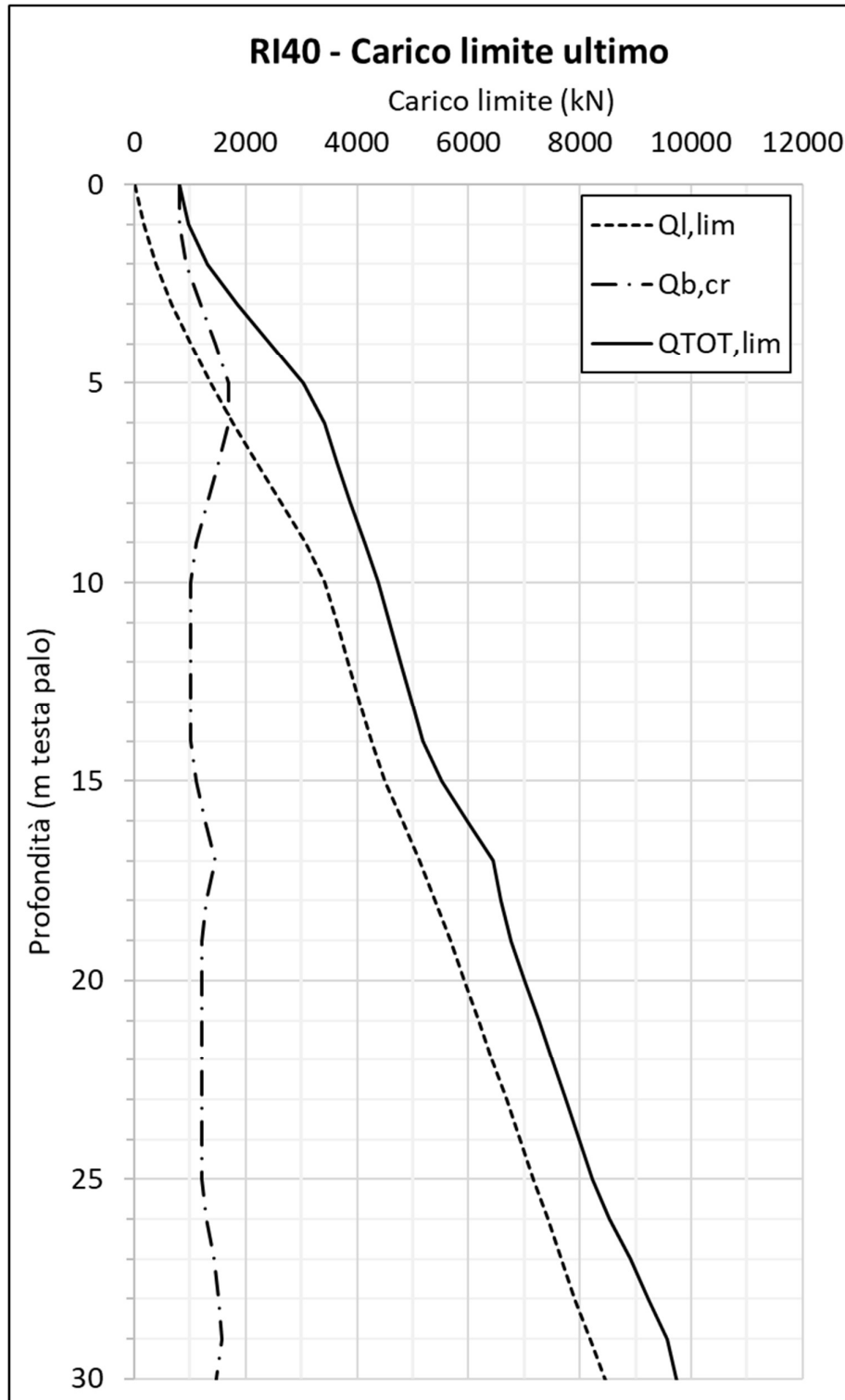


Figura 25 – Curve di capacità portante SLE per pali $D=1200$ mm



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

54 di 96



Figura 26 – Curve di capacità portante SLU, compressione per pali $D=1200$ mm

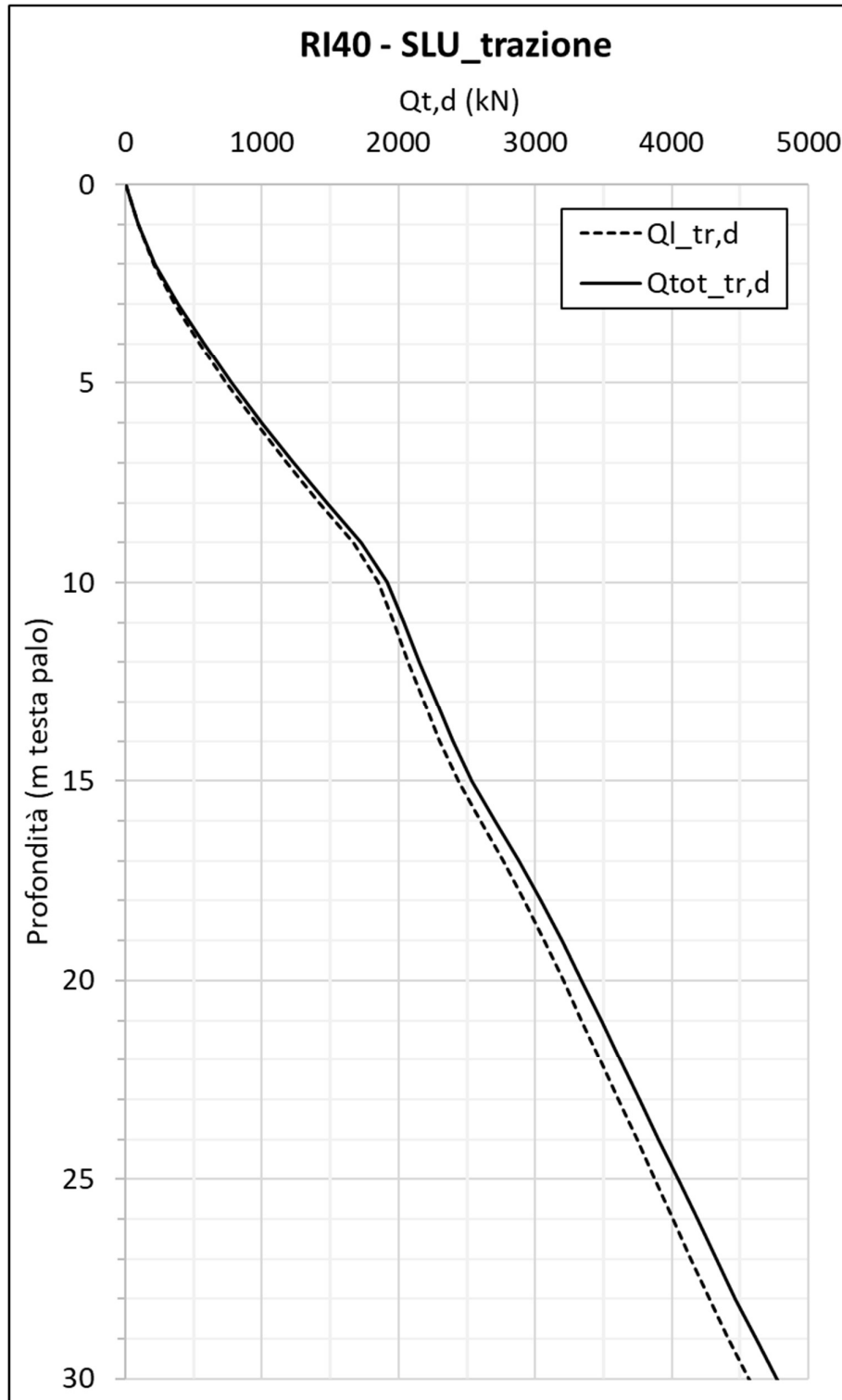


Figura 27 – Curve di capacità portante SLU, trazione per pali $D=1200$ mm

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

56 di 96

8 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

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

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica	Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
	IN17	12	EI2RBRI400001A	57 di 96

ALLEGATI

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

58 di 96

ALLEGATO 1- TABULATI DI SLIDE- ANALISI SLU STATICA



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

E12RBRI400001A

Foglio

59 di 96

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: Ri40_stat_01.slim
Slide Modeler Version: 7.038
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 08/03/2021, 16:12:54

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
Janbu 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



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

E12RBRI400001A

Foglio

60 di 96

Groundwater Analysis

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

Random Numbers

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

Surface Options

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

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

3 Distributed Loads present

Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Material Properties



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI400001A

61 di 96



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 3 of 10

Property	U3a/b (1)	U4 (2)	Rilevato	U3a/b (3)	U4 (4)	U3b (5)
Color						
Strength Type	Undrained	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained	Mohr-Coulomb	Undrained
Unit Weight [kN/m ³]	18.5	18.5	20	18.5	18.5	19
Cohesion [kPa]		0	0		0	
Friction Angle [deg]		38	38		38	
Cohesion Type	50			100		120
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	0	1	1	0	1	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.340990
Center:	76.188, 75.127
Radius:	14.889
Left Slip Surface Endpoint:	62.422, 69.452
Right Slip Surface Endpoint:	85.140, 63.230
Resisting Moment:	18713.4 kN-m
Driving Moment:	13954.9 kN-m
Total Slice Area:	124.836 m ²
Surface Horizontal Width:	22.718 m
Surface Average Height:	5.49501 m

Method: janbu simplified

FS	1.103660
Center:	76.983, 70.664
Radius:	10.012
Left Slip Surface Endpoint:	67.045, 69.452
Right Slip Surface Endpoint:	83.690, 63.230
Resisting Horizontal Force:	680.044 kN
Driving Horizontal Force:	616.174 kN
Total Slice Area:	88.3778 m ²
Surface Horizontal Width:	16.6445 m
Surface Average Height:	5.30974 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1743
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: janbu simplified

Number of Valid Surfaces: 1734
Number of Invalid Surfaces: 9

Error Codes:

Error Code -108 reported for 2 surfaces
Error Code -112 reported for 7 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

-108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).

-112 = The coefficient $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)[1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)/F] < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI400001A

Foglio
62 di 96



Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.34099

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	0.451733	4.47748	-65.4988	Rilevato	0	32.0065	19.9879	26.8036	42.8837	0	42.8837	86.7407	86.7407
2	0.451733	12.7253	-61.5762	Rilevato	0	32.0065	31.7583	42.5875	68.1369	0	68.1369	126.814	126.814
3	0.451733	19.7746	-58.1047	Rilevato	0	32.0066	37.9558	50.8984	81.4336	0	81.4336	142.423	142.423
4	0.451733	25.962	-54.946	Rilevato	0	32.0066	43.7224	58.6313	93.8059	0	93.8059	156.123	156.123
5	0.451733	31.4843	-52.02	Rilevato	0	32.0066	49.1335	65.8875	105.415	0	105.415	168.349	168.349
6	0.451733	36.4684	-49.2752	Rilevato	0	32.0066	54.2419	72.7378	116.375	0	116.375	179.382	179.382
7	0.451733	41.0024	-46.676	Rilevato	0	32.0066	45.9158	61.5726	98.5117	0	98.5117	147.195	147.195
8	0.451733	45.1502	-44.1967	Rilevato	0	32.0066	38.0825	51.0682	81.7055	0	81.7055	118.735	118.735
9	0.451733	48.9601	-41.818	Rilevato	0	32.0066	41.8299	56.0935	89.7456	0	89.7456	127.17	127.17
10	0.451733	52.4694	-39.5248	Rilevato	0	32.0066	45.4253	60.9149	97.4594	0	97.4594	134.938	134.938
11	0.451733	55.7079	-37.3052	Rilevato	0	32.0066	69.8996	93.7346	149.968	0	149.968	203.228	203.228
12	0.451733	58.6996	-35.1494	Rilevato	0	32.0066	80.2161	107.569	172.103	0	172.103	228.583	228.583
13	0.451733	61.4641	-33.0493	Rilevato	0	32.0066	83.938	112.56	180.087	0	180.087	234.7	234.7
14	0.451733	64.0178	-30.9983	Rilevato	0	32.0066	87.5174	117.36	187.767	0	187.767	240.35	240.35
15	0.503483	74.0114	-28.8779	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	230.875	0	230.875	245.564	245.564
16	0.503483	76.4833	-26.6873	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	237.084	0	237.084	250.472	250.472
17	0.459583	71.7863	-24.6302	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	178.724	0	178.724	190.934	190.934
18	0.459583	73.4992	-22.6988	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	167.525	0	167.525	178.666	178.666
19	0.459583	75.0584	-20.7943	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	162.303	0	162.303	172.416	172.416
20	0.459583	76.4698	-18.9136	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	157.28	0	157.28	166.405	166.405
21	0.459583	77.7386	-17.0539	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	160.995	0	160.995	169.164	169.164
22	0.459583	78.8692	-15.2125	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	164.381	0	164.381	171.623	171.623
23	0.459583	79.8088	-13.3871	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	167.327	0	167.327	173.666	173.666
24	0.459583	80.2629	-11.5754	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	169.197	0	169.197	174.652	174.652
25	0.459583	80.527	-9.77544	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	170.637	0	170.637	175.226	175.226
26	0.459583	80.4976	-7.98516	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	171.424	0	171.424	175.16	175.16
27	0.459583	78.6209	-6.2027	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	168.181	0	168.181	171.075	171.075
28	0.459583	76.1681	-4.42625	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	163.675	0	163.675	165.737	165.737
29	0.459583	73.5936	-2.65406	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	158.899	0	158.899	160.133	160.133
30	0.459583	70.8979	0.884404	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	153.855	0	153.855	154.266	154.266
31	0.459583	68.0816	0.884404	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	148.548	0	148.548	148.137	148.137
32	0.459583	65.1445	2.65406	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	142.979	0	142.979	141.745	141.745
33	0.459583	62.0863	4.42625	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	137.15	0	137.15	135.089	135.089
34	0.459583	58.9064	6.2027	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	131.063	0	131.063	128.168	128.168
35	0.459583	55.6036	7.98516	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	124.716	0	124.716	120.98	120.98
36	0.459583	52.1766	9.77544	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	118.111	0	118.111	113.522	113.522
37	0.459583	48.6234	11.5754	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	111.244	0	111.244	105.789	105.789
38	0.459583	44.9419	13.3871	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	104.116	0	104.116	97.7771	97.7771
39	0.459583	41.1293	15.2125	U3a/b	35.7143	0	26.6328	35.7143	96.7217	0	96.7217	89.4795	89.4795



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI400001A

Foglio
63 di 96



40	0.459583	37.1823	17.0539	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	89.0597	0	89.0597	80.8899	80.8899
41	0.459583	33.0972	18.9136	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	81.1248	0	81.1248	71.9992	71.9992
42	0.459583	28.8694	20.7943	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	72.9124	0	72.9124	62.7986	62.7986
43	0.459583	24.4939	22.6988	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	64.4162	0	64.4162	53.2761	53.2761
44	0.459583	19.9646	24.6302	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	55.6292	0	55.6292	43.4188	43.4188
45	0.419743	14.1424	26.5055	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	46.9511	0	46.9511	33.6693	33.6693
46	0.419743	10.0614	28.3255	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	38.3006	0	38.3006	23.945	23.945
47	0.419743	7.55459	30.1772	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	33.4571	0	33.4571	17.9706	17.9706
48	0.419743	5.58536	32.0645	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	29.9608	0	29.9608	13.2771	13.2771
49	0.419743	3.46486	33.9916	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	26.1813	0	26.1813	8.22286	8.22286
50	0.419743	1.18281	35.9636	U3a/b (1)	35.7143	0	26.6328	35.7143	22.1076	0	22.1076	2.78357	2.78357

Global Minimum Query (Janbu simplified) - Safety Factor: 1.10365

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	0.349397	5.82716	-78.1678	Rilevato	0	32.0065	17.6207	19.4473	31.1142	0	31.1142	115.224	115.224
2	0.349397	15.0669	-70.3163	Rilevato	0	32.0065	31.0954	34.3187	54.9074	0	54.9074	141.831	141.831
3	0.349397	21.0953	-64.982	Rilevato	0	32.0065	40.7023	44.9215	71.8711	0	71.8711	159.086	159.086
4	0.349397	25.876	-60.5813	Rilevato	0	32.0065	48.8162	53.8765	86.1984	0	86.1984	172.767	172.767
5	0.349397	29.9009	-56.7229	Rilevato	0	32.0065	56.0228	61.8301	98.9236	0	98.9236	184.285	184.285
6	0.349397	33.3947	-53.23	Rilevato	0	32.0065	62.5911	69.0793	110.522	0	110.522	194.281	194.281
7	0.349397	36.4834	-50.0039	Rilevato	0	32.0065	68.6741	75.7929	121.263	0	121.263	203.117	203.117
8	0.349397	39.2468	-46.9825	Rilevato	0	32.0065	74.3693	82.0784	131.319	0	131.319	211.022	211.022
9	0.349397	41.7391	-44.1239	Rilevato	0	32.0065	81.0068	86.2942	140.067	0	140.067	218.537	218.537
10	0.349397	43.9993	-41.3981	Rilevato	0	32.0065	87.675	90.3426	148.5436	0	148.5436	225.743	225.743
11	0.349397	46.0654	-38.7824	Rilevato	0	32.0065	94.2864	97.7036	156.521	0	156.521	232.628	232.628
12	0.349397	47.9327	-36.2598	Rilevato	0	32.0065	101.0795	104.789	164.2579	0	164.2579	239.258	239.258
13	0.349397	49.6459	-33.8163	Rilevato	0	32.0065	107.9294	111.642	171.8067	0	171.8067	245.626	245.626
14	0.312308	45.6612	-31.564	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	126.364	0	126.364	146.244	146.244
15	0.312308	46.7257	-29.4883	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	131.35	0	131.35	149.649	149.649
16	0.312308	47.7046	-27.4545	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	135.968	0	135.968	152.781	152.781
17	0.330289	51.4128	-25.401	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	140.324	0	140.324	155.69	155.69
18	0.330289	52.1379	-23.3254	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	143.929	0	143.929	157.883	157.883
19	0.330289	52.722	-21.2818	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	147.044	0	147.044	159.649	159.649
20	0.330289	53.2236	-19.2662	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	149.854	0	149.854	161.165	161.165
21	0.330289	53.646	-17.2752	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	152.378	0	152.378	162.441	162.441
22	0.330289	53.8873	-15.3054	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	154.799	0	154.799	163.465	163.465
23	0.330289	54.4484	-13.3541	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	157.129	0	157.129	164.241	164.241
24	0.330289	54.4371	-11.4184	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	149.211	0	149.211	155.746	155.746
25	0.330289	50.3551	-9.49589	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	147.055	0	147.055	152.468	152.468
26	0.330289	49.2036	-7.5841	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	144.671	0	144.671	148.98	148.98
27	0.330289	47.9837	-5.68078	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	142.066	0	142.066	145.285	145.285
28	0.330289	46.6962	-3.78373	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	139.244	0	139.244	141.384	141.384



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI400001A

Foglio
64 di 96

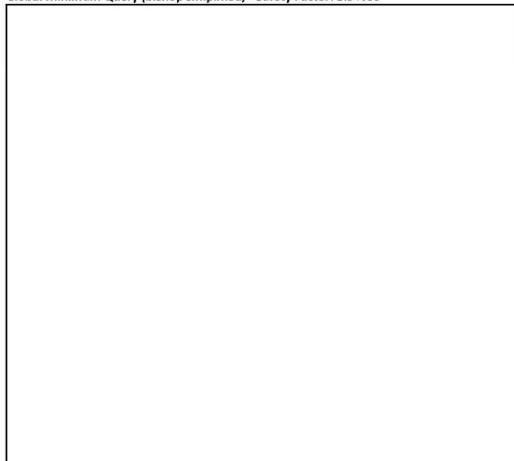


SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 6 of 10

29	0.330289	45.3417	-1.89083	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	136.213	0	136.213	137.281	137.281
30	0.330289	43.9204	0	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	132.976	0	132.976	132.976	132.976
31	0.330289	42.4325	1.89083	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	129.537	0	129.537	128.469	128.469
32	0.330289	40.8778	3.78373	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	125.9	0	125.9	123.76	123.76
33	0.330289	39.2561	5.68078	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	122.067	0	122.067	118.848	118.848
34	0.330289	37.5667	7.5841	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	118.039	0	118.039	113.731	113.731
35	0.330289	35.809	9.49589	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	113.82	0	113.82	108.407	108.407
36	0.330289	33.9818	11.4184	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	109.408	0	109.408	102.872	102.872
37	0.330289	32.0838	13.3541	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	104.806	0	104.806	97.1239	97.1239
38	0.330289	30.1135	15.3054	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	100.012	0	100.012	91.1561	91.1561
39	0.330289	28.0689	17.2752	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	95.0271	0	95.0271	84.9635	84.9635
40	0.330289	25.9478	19.2662	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	89.8499	0	89.8499	78.539	78.539
41	0.330289	23.7474	21.2818	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	84.4791	0	84.4791	71.8744	71.8744
42	0.330289	21.4646	23.3254	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	78.9137	0	78.9137	64.9603	64.9603
43	0.330289	19.0957	25.401	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	73.1518	0	73.1518	57.7855	57.7855
44	0.312243	15.7933	27.4543	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	67.3603	0	67.3603	50.5476	50.5476
45	0.312243	13.5147	29.4877	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	61.5465	0	61.5465	43.2473	43.2473
46	0.312243	11.1508	31.5628	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	55.5522	0	55.5522	35.6732	35.6732
47	0.296412	8.27231	33.6302	Rilevato	0	32.0066	25.3272	27.9526	44.7219	0	44.7219	27.8753	27.8753
48	0.296412	5.88523	35.6934	Rilevato	0	32.0066	18.9316	20.894	33.4289	0	33.4289	19.8285	19.8285
49	0.296412	3.40076	37.8115	Rilevato	0	32.0066	11.5739	12.7737	20.437	0	20.437	11.4557	11.4557
50	0.421641	1.40344	40.4713	U3a/b (1)	35.7143	0	32.3599	35.7143	30.8849	0	30.8849	3.27494	3.27494

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.34099





Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

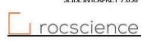
12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

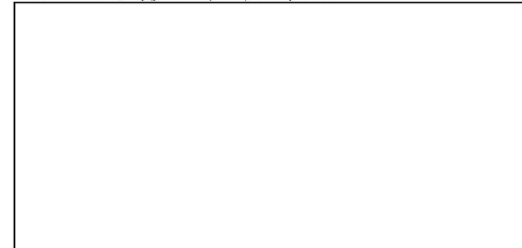
65 di 96



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 7 of 10

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	62.4224	69.4523	0	0	0
2	62.8742	68.4611	33.4924	0	0
3	63.3259	67.6265	76.0409	0	0
4	63.7776	66.9006	118.036	0	0
5	64.2294	66.2567	158.717	0	0
6	64.6811	65.6781	197.555	0	0
7	65.1328	65.1534	234.161	0	0
8	65.5846	64.6744	260.64	0	0
9	66.0363	64.2352	279.356	0	0
10	66.488	63.8311	296.764	0	0
11	66.9398	63.4583	312.604	0	0
12	67.3915	63.1142	332.702	0	0
13	67.8432	62.7961	351.27	0	0
14	68.295	62.5022	366.35	0	0
15	68.7467	62.2308	377.848	0	0
16	69.2502	61.9531	428.573	0	0
17	69.7537	61.7	475.191	0	0
18	70.2133	61.4893	500.631	0	0
19	70.6728	61.2971	520.617	0	0
20	71.1324	61.1225	536.725	0	0
21	71.592	60.9651	549.274	0	0
22	72.0516	60.8241	559.753	0	0
23	72.5112	60.6991	568.078	0	0
24	72.9708	60.5897	574.162	0	0
25	73.4303	60.4956	577.871	0	0
26	73.8899	60.4164	579.164	0	0
27	74.3495	60.3519	577.997	0	0
28	74.8091	60.302	574.179	0	0
29	75.2687	60.2664	567.784	0	0
30	75.7283	60.2451	558.951	0	0
31	76.1878	60.238	547.824	0	0
32	76.6474	60.2451	534.552	0	0
33	77.107	60.2664	519.287	0	0
34	77.5666	60.302	502.19	0	0
35	78.0262	60.3519	483.425	0	0
36	78.4858	60.4164	463.167	0	0
37	78.9453	60.4956	441.597	0	0
38	79.4049	60.5897	418.907	0	0
39	79.8645	60.6991	395.3	0	0
40	80.3241	60.8241	370.994	0	0
41	80.7837	60.9651	346.22	0	0
42	81.2433	61.1225	321.227	0	0
43	81.7028	61.2971	296.284	0	0
44	82.1624	61.4893	271.682	0	0
45	82.622	61.7	247.743	0	0
46	83.0417	61.9093	226.755	0	0
47	83.4615	62.1356	206.931	0	0
48	83.8812	62.3796	187.606	0	0
49	84.301	62.6426	168.569	0	0
50	84.7207	62.9256	150	0	0
51	85.1405	63.2302	0	0	0

Global Minimum Query (janbu simplified) - Safety Factor: 1.10366





Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI400001A

66 di 96

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	67.0451	69.4523	0	0	0
2	67.3945	67.7845	45.747	0	0
3	67.7439	66.8078	88.5317	0	0
4	68.0933	66.0591	128.146	0	0
5	68.4427	65.4395	164.532	0	0
6	68.792	64.9072	197.659	0	0
7	69.1414	64.4396	227.508	0	0
8	69.4908	64.0231	254.06	0	0
9	69.8402	63.6487	277.299	0	0
10	70.1896	63.3098	290.033	0	0
11	70.539	63.0018	300.704	0	0
12	70.8884	62.7211	309.323	0	0
13	71.2378	62.4648	315.041	0	0
14	71.5872	62.2307	318.809	0	0
15	71.8995	62.0389	332.967	0	0
16	72.2118	61.8623	346.078	0	0
17	72.5241	61.7	358.054	0	0
18	72.8544	61.5432	369.395	0	0
19	73.1847	61.4007	379.226	0	0
20	73.515	61.2721	387.476	0	0
21	73.8453	61.1566	394.109	0	0
22	74.1756	61.0539	399.093	0	0
23	74.5059	60.9635	402.237	0	0
24	74.8362	60.8851	403.42	0	0
25	75.1665	60.8184	402.706	0	0
26	75.4967	60.7632	400.163	0	0
27	75.827	60.7192	395.858	0	0
28	76.1573	60.6863	389.858	0	0
29	76.4876	60.6645	382.232	0	0
30	76.8179	60.6536	373.05	0	0
31	77.1482	60.6536	362.383	0	0
32	77.4785	60.6645	350.303	0	0
33	77.8088	60.6863	336.885	0	0
34	78.1391	60.7192	322.208	0	0
35	78.4693	60.7632	306.349	0	0
36	78.7996	60.8184	289.394	0	0
37	79.1299	60.8851	271.428	0	0
38	79.4602	60.9635	252.543	0	0
39	79.7905	61.0539	232.836	0	0
40	80.1208	61.1566	212.407	0	0
41	80.4511	61.2721	191.367	0	0
42	80.7814	61.4007	169.831	0	0
43	81.1116	61.5432	147.925	0	0
44	81.4419	61.7	125.785	0	0
45	81.7542	61.8622	104.773	0	0
46	82.0664	62.0388	83.8209	0	0
47	82.3787	62.2306	63.0806	0	0
48	82.6751	62.4278	46.7705	0	0
49	82.9715	62.6407	34.0514	0	0
50	83.2679	62.8707	25.9266	0	0
51	83.6895	63.2305	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
10.8477	61.7
132.51	61.7

Distributed Load





Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

67 di 96



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 9 of 10

X	Y
70.8958	69.4523
69.8458	69.4523
68.4458	69.4523
67.0458	69.4523
66.1958	69.4523
65.3458	69.4523
63.9458	69.4523
62.5458	69.4523
61.4958	69.4523

Distributed Load

X	Y
65.3458	69.4523
63.9458	69.4523
62.5458	69.4523

Distributed Load

X	Y
69.8458	69.4523
68.4458	69.4523
67.0458	69.4523

External Boundary

X	Y
11.8784	36.2267
131.51	36.2267
131.51	43.2267
131.51	47.2267
131.51	52.2267
131.51	60.2267
131.51	62.0398
103.446	62.0398
101.741	63.2267
89.7811	63.2292
83.2679	63.2306
82.2772	63.8911
74.1758	69.2923
72.7458	69.4523
70.8958	69.4523
69.8458	69.4523
68.4458	69.4523
67.0458	69.4523
66.1958	69.4523
65.3458	69.4523
63.9458	69.4523
62.5458	69.4523
61.4958	69.4523
59.6458	69.4523
58.2158	69.2923
49	63.231
42.0863	63.231
37.7704	63.2136
11.8454	63.1819
11.849	60.2267
11.8588	52.2267
11.8649	47.2267
11.8698	43.2267

Material Boundary

X	Y
11.849	60.2267
131.51	60.2267



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

68 di 96

Material Boundary

X	Y
11.8588	52.2267
131.51	52.2267

Material Boundary

X	Y
11.8649	47.2267
131.51	47.2267

Material Boundary

X	Y
11.8698	43.2267
131.51	43.2267

Material Boundary

X	Y
49	63.231
49	62.231
83.2679	62.2306
83.2679	63.2306

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

69 di 96

ALLEGATO 2- TABULATI DI SLIDE- ANALISI SLU SISMICA



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

70 di 96

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: R140_sisma_03.slm
Slide Modeler Version: 7.038
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 08/03/2021, 16:12:54

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: Stabilit  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	1.1
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
Janbu 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 piezoes: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

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



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

71 di 96

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 2 of 9



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 2 of 9

Random Numbers

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

Surface Options

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

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.081
Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.04

3 Distributed Loads present

Distributed Load 1

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

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	U3a/b (1)	U4 (2)	Rilevato	U3a/b (3)	U4 (4)	U3b (5)
Color						
Strength Type	Undrained	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained	Mohr-Coulomb	Undrained
Unit Weight [kN/m ³]	18.5	18.5	20	18.5	18.5	19
Cohesion [kPa]	0	0	0	0	0	0
Friction Angle [deg]		38	38		38	
Cohesion Type	50			100		120
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	0	1	1	0	1	0

Global Minimums

Method: bishop simplified



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI400001A

Foglio
72 di 96



FS	1.161440
Center:	77.056, 70.703
Radius:	10.251
Left Slip Surface Endpoint:	66.882, 69.452
Right Slip Surface Endpoint:	84.074, 63.231
Resisting Moment:	7424.61 kN-m
Driving Moment:	6392.61 kN-m
Total Slice Area:	92.1446 m2
Surface Horizontal Width:	17.1923 m
Surface Average Height:	5.35964 m

Method: janbu simplified

FS	0.965488
Center:	77.154, 70.691
Radius:	10.176
Left Slip Surface Endpoint:	67.053, 69.452
Right Slip Surface Endpoint:	84.074, 63.231
Resisting Horizontal Force:	563.698 kN
Driving Horizontal Force:	583.848 kN
Total Slice Area:	90.0397 m2
Surface Horizontal Width:	17.0208 m
Surface Average Height:	5.28998 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1614
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: janbu simplified

Number of Valid Surfaces: 1604
Number of Invalid Surfaces: 10

Error Codes:

Error Code -112 reported for 10 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

-112 = The coefficient $M\text{-}\alpha = \cos(\alpha) / (1 + \tan(\alpha) \tan(\phi) / F) < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.

Slice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.16144

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	0.338756	5.54692	-78.3115	Rilevato	0	32.0066	5.1328	5.96144	10.4917	0	10.4917	35.3021	35.3021
2	0.338756	14.3817	-70.7595	Rilevato	0	32.0066	13.6399	15.8419	27.8804	0	27.8804	66.96	66.96
3	0.338756	20.1986	-65.5939	Rilevato	0	32.0066	19.8572	23.063	40.589	0	40.589	84.3517	84.3517
4	0.338756	24.8262	-61.3287	Rilevato	0	32.0066	25.381	29.4785	51.8799	0	51.8799	98.2945	98.2945
5	0.338756	28.7322	-57.5888	Rilevato	0	32.0066	30.4315	35.3444	62.2033	0	62.2033	110.135	110.135
6	0.338756	32.131	-54.2036	Rilevato	0	32.0066	35.1213	40.7913	71.7894	0	71.7894	120.493	120.493
7	0.338756	35.1434	-51.0779	Rilevato	0	32.0066	39.5194	45.8994	80.7793	0	80.7793	129.718	129.718
8	0.338756	37.8458	-48.1518	Rilevato	0	32.0066	43.6727	50.7232	89.2688	0	89.2688	138.031	138.031
9	0.338756	40.2902	-45.3847	Rilevato	0	32.0066	46.6406	54.1703	95.3354	0	95.3354	142.607	142.607
10	0.338756	42.5139	-42.7475	Rilevato	0	32.0066	47.353	54.9977	96.7915	0	96.7915	140.56	140.56
11	0.338756	44.545	-40.2184	Rilevato	0	32.0066	50.8276	59.0332	103.894	0	103.894	146.875	146.875
12	0.338756	46.4049	-37.7807	Rilevato	0	32.0066	53.41	62.0325	109.172	0	109.172	150.573	150.573
13	0.338756	48.1106	-35.4211	Rilevato	0	32.0066	52.2636	60.701	106.829	0	106.829	144	144
14	0.289689	42.3497	-33.2908	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	131.853	0	131.853	150.21	150.21
15	0.289689	43.3328	-31.3741	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	136.823	0	136.823	153.869	153.869
16	0.289689	44.2452	-29.4957	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	141.455	0	141.455	157.268	157.268
17	0.350132	54.597	-27.4628	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	146.194	0	146.194	160.723	160.723
18	0.350132	55.7086	-25.2779	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	150.956	0	150.956	164.157	164.157
19	0.350132	56.5192	-23.1317	U3a/b	35.7143	0	27.9545	32.4675	154.748	0	154.748	166.69	166.69



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI400001A

Foglio
73 di 96



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 4 of 9

Slide No.	Top	Bottom	Angle	Material	Base	Friction	Shear	Shear	Base	Pore	Effective	Base	Effective
	[m]	[m]	[degrees]		[kPa]	[degrees]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]
20	0.350132	57.165	-21.0194	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	157.986	0	157.986	168.728	168.728
21	0.350132	57.7155	-18.9366	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	160.887	0	160.887	170.477	170.477
22	0.350132	58.1391	-16.8795	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	163.364	0	163.364	171.846	171.846
23	0.350132	57.555	-14.8447	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	162.809	0	162.809	170.218	170.218
24	0.350132	56.4791	-12.8288	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	160.761	0	160.761	167.126	167.126
25	0.350132	55.3196	-10.829	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	158.436	0	158.436	163.784	163.784
26	0.350132	54.0783	-8.84249	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	155.847	0	155.847	160.196	160.196
27	0.350132	52.7566	-6.86664	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	153.002	0	153.002	156.368	156.368
28	0.350132	51.3558	-4.89897	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	149.908	0	149.908	152.304	152.304
29	0.350132	49.8765	-2.93709	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	146.571	0	146.571	148.006	148.006
30	0.350132	48.3194	-0.978648	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	142.998	0	142.998	143.476	143.476
31	0.350132	46.6847	0.978648	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	139.193	0	139.193	138.716	138.716
32	0.350132	44.9726	2.93709	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	135.16	0	135.16	133.725	133.725
33	0.350132	43.1825	4.89897	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	130.9	0	130.9	128.504	128.504
34	0.350132	41.3141	6.86664	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	126.418	0	126.418	123.051	123.051
35	0.350132	39.3665	8.84249	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	121.713	0	121.713	117.364	117.364
36	0.350132	37.3386	10.829	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	116.787	0	116.787	111.44	111.44
37	0.350132	35.2288	12.8288	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	111.64	0	111.64	105.275	105.275
38	0.350132	33.0353	14.8447	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	106.273	0	106.273	98.8634	98.8634
39	0.350132	30.756	16.8795	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	100.682	0	100.682	92.1999	92.1999
40	0.350132	28.3883	18.9366	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	94.8683	0	94.8683	85.2774	85.2774
41	0.350132	25.9288	21.0194	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	88.8281	0	88.8281	78.0866	78.0866
42	0.350132	23.374	23.1317	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	82.5596	0	82.5596	70.6177	70.6177
43	0.350132	20.7195	25.2779	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	76.0591	0	76.0591	62.8583	62.8583
44	0.350132	17.9599	27.4628	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	69.323	0	69.323	54.7939	54.7939
45	0.289623	12.6944	29.4955	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	62.9724	0	62.9724	47.1594	47.1594
46	0.289623	10.6639	31.3734	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	57.0366	0	57.0366	39.9909	39.9909
47	0.289623	8.56285	33.2897	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	50.932	0	50.932	32.5765	32.5765
48	0.440776	0.000696503	35.7765	Rilevato	0	32.0066	0.00131296	0.00152492	0.00268374	0	0.00268374	0.00173763	0.00173763
49	0.403042	3.88224	38.739	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	34.6787	0	34.6787	12.2516	12.2516
50	0.403042	1.33837	41.6917	U3a/b (1)	35.7143	0	27.9545	32.4675	30.833	0	30.833	5.93375	5.93375

Global Minimum Query (Janbu simplified) - Safety Factor: 0.965488

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	0.341978	5.63131	-78.2678	Rilevato	0	32.0066	6.26499	6.04877	10.6454	0	10.6454	40.8124	40.8124
2	0.341978	14.5881	-70.6245	Rilevato	0	32.0066	14.7231	14.215	25.0172	0	25.0172	66.8828	66.8828
3	0.341978	20.4688	-65.4072	Rilevato	0	32.0066	21.6824	20.9341	36.8423	0	36.8423	84.2166	84.2166
4	0.341978	25.1426	-61.1007	Rilevato	0	32.0066	27.9445	26.9801	47.4828	0	47.4828	98.1057	98.1057
5	0.341978	29.0846	-57.3246	Rilevato	0	32.0066	33.7284	32.5644	57.3106	0	57.3106	109.898	109.898
6	0.341978	32.5122	-53.9065	Rilevato	0	32.0066	39.1457	37.7947	66.5157	0	66.5157	120.211	120.211
7	0.341978	35.5477	-50.7502	Rilevato	0	32.0066	44.2655	42.7378	75.2152	0	75.2152	129.394	129.394
8	0.341978	38.2686	-47.7951	Rilevato	0	32.0066	49.135	47.4393	83.4894	0	83.4894	137.669	137.669
9	0.341978	40.7277	-45.0002	Rilevato	0	32.0066	50.1229	48.3931	85.1679	0	85.1679	135.291	135.291
10	0.341978	42.9627	-42.336	Rilevato	0	32.0066	53.6991	51.8458	91.2444	0	91.2444	140.169	140.169
11	0.341978	45.0019	-39.7806	Rilevato	0	32.0066	57.8433	55.847	98.2862	0	98.2862	146.446	146.446
12	0.341978	46.8671	-37.3171	Rilevato	0	32.0066	57.5073	55.5226	97.7154	0	97.7154	141.551	141.551
13	0.341978	48.5754	-34.9321	Rilevato	0	32.0066	59.8707	57.8044	101.731	0	101.731	143.547	143.547
14	0.29628	43.3146	-32.7657	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	128.237	0	128.237	149.881	149.881
15	0.29628	44.3213	-30.8076	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	133.525	0	133.525	153.574	153.574



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI400001A

Foglio
74 di 96



16	0.29628	45.2532	-28.8789	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	138.448	0	138.448	156.995	156.995
17	0.340413	53.0512	-26.852	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	143.352	0	143.352	160.377	160.377
18	0.340413	53.9708	-24.7227	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	147.857	0	147.857	163.34	163.34
19	0.340413	54.6522	-22.6293	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	151.55	0	151.55	165.568	165.568
20	0.340413	55.2419	-20.5673	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	154.892	0	154.892	167.51	167.51
21	0.340413	55.7441	-18.5328	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	157.906	0	157.906	169.179	169.179
22	0.340413	55.8028	-16.5224	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	159.512	0	159.512	169.487	169.487
23	0.340413	54.8944	-14.5326	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	158.121	0	158.121	166.838	166.838
24	0.340413	53.8659	-12.5607	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	156.326	0	156.326	163.818	163.818
25	0.340413	52.7602	-10.6037	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	154.264	0	154.264	160.56	160.56
26	0.340413	51.579	-8.65925	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	151.947	0	151.947	157.068	157.068
27	0.340413	50.3235	-6.72478	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	149.383	0	149.383	153.348	153.348
28	0.340413	48.9947	-4.798	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	146.58	0	146.58	149.402	149.402
29	0.340413	47.5934	-2.87664	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	143.545	0	143.545	145.234	145.234
30	0.340413	46.12	-0.958522	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	140.283	0	140.283	140.846	140.846
31	0.340413	44.5749	0.958522	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	136.8	0	136.8	136.237	136.237
32	0.340413	42.9579	2.87664	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	133.1	0	133.1	131.41	131.41
33	0.340413	41.2689	4.798	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	129.186	0	129.186	126.363	126.363
34	0.340413	39.5074	6.72478	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	125.061	0	125.061	121.096	121.096
35	0.340413	37.6726	8.65925	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	120.727	0	120.727	115.606	115.606
36	0.340413	35.7635	10.6037	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	116.186	0	116.186	109.891	109.891
37	0.340413	33.7789	12.5607	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	111.439	0	111.439	103.947	103.947
38	0.340413	31.717	14.5326	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	106.487	0	106.487	97.7698	97.7698
39	0.340413	29.5761	16.5224	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	101.33	0	101.33	91.3547	91.3547
40	0.340413	27.3536	18.5328	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	95.9676	0	95.9676	84.6943	84.6943
41	0.340413	25.0469	20.5673	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	90.3996	0	90.3996	77.7815	77.7815
42	0.340413	22.6527	22.6293	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	84.625	0	84.625	70.6068	70.6068
43	0.340413	20.1672	24.7227	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	78.6428	0	78.6428	63.1595	63.1595
44	0.340413	17.5858	26.852	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	72.4522	0	72.4522	55.4271	55.4271
45	0.296214	13.1254	28.8786	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	66.4829	0	66.4829	47.9355	47.9355
46	0.296214	11.0239	30.8019	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	60.755	0	60.755	40.7071	40.7071
47	0.296214	8.84777	32.7646	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	54.8683	0	54.8683	33.2259	33.2259
48	0.459954	0.000679111	35.344	Rilevato	0	32.0066	0.0016706	0.00161294	0.00283865	0	0.00283865	0.00165388	0.00165388
49	0.403043	3.83375	38.3792	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	39.1861	0	39.1861	12.5527	12.5527
50	0.403043	1.32184	41.3382	U3a/b (1)	35.7143	0	33.6281	32.4675	35.9484	0	35.9484	6.36565	6.36565

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.16144





Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

75 di 96



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 6 of 9

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	66.8817	69.4523	0	0	0
2	67.2205	67.8148	15.8906	0	0
3	67.5592	66.8443	39.4964	0	0
4	67.898	66.0977	64.7107	0	0
5	68.2367	65.4782	90.2656	0	0
6	68.5755	64.9447	115.477	0	0
7	68.9143	64.4749	139.91	0	0
8	69.253	64.0554	163.26	0	0
9	69.5918	63.6772	185.301	0	0
10	69.9305	63.3338	205.503	0	0
11	70.2693	63.0207	223.218	0	0
12	70.608	62.7343	239.375	0	0
13	70.9468	62.4717	253.714	0	0
14	71.2855	62.2307	265.651	0	0
15	71.5752	62.0405	286.068	0	0
16	71.8649	61.8639	305.652	0	0
17	72.1546	61.7	324.32	0	0
18	72.5047	61.518	345.563	0	0
19	72.8549	61.3527	365.25	0	0
20	73.205	61.2031	383.19	0	0
21	73.5551	61.0686	399.291	0	0
22	73.9053	60.9484	413.508	0	0
23	74.2554	60.8422	425.789	0	0
24	74.6055	60.7494	435.776	0	0
25	74.9557	60.6697	443.384	0	0
26	75.3058	60.6027	448.692	0	0
27	75.6559	60.5482	451.777	0	0
28	76.0061	60.5061	452.717	0	0
29	76.3562	60.476	451.592	0	0
30	76.7063	60.4581	448.48	0	0
31	77.0565	60.4521	443.465	0	0
32	77.4066	60.4581	436.63	0	0
33	77.7567	60.476	428.06	0	0
34	78.1069	60.5061	417.845	0	0
35	78.457	60.5482	406.077	0	0
36	78.8071	60.6027	392.852	0	0
37	79.1573	60.6697	378.27	0	0
38	79.5074	60.7494	362.438	0	0
39	79.8575	60.8422	345.467	0	0
40	80.2076	60.9484	327.477	0	0
41	80.5578	61.0686	308.596	0	0
42	80.9079	61.2031	288.961	0	0
43	81.258	61.3527	268.722	0	0
44	81.6082	61.518	248.04	0	0
45	81.9583	61.7	227.095	0	0
46	82.2479	61.8638	209.713	0	0
47	82.5376	62.0404	192.411	0	0
48	82.8272	62.2306	175.325	0	0
49	83.2679	62.5482	175.324	0	0
50	83.671	62.8716	153.162	0	0
51	84.074	63.2306	0	0	0

Global Minimum Query (Janbu simplified) - Safety Factor: 0.965488





Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI400001A

Foglio
76 di 96



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 7 of 9

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	67.0532	69.4523	0	0	0
2	67.3952	67.8056	15.8434	0	0
3	67.7372	66.8332	36.318	0	0
4	68.0792	66.086	58.0902	0	0
5	68.4211	65.4665	79.9875	0	0
6	68.7631	64.9333	101.368	0	0
7	69.1051	64.4642	121.817	0	0
8	69.4471	64.0456	141.042	0	0
9	69.7891	63.6685	158.823	0	0
10	70.131	63.3266	174.109	0	0
11	70.473	63.015	187.656	0	0
12	70.815	62.7303	199.507	0	0
13	71.157	62.4696	209.112	0	0
14	71.4989	62.2307	216.873	0	0
15	71.7952	62.04	234.872	0	0
16	72.0915	61.8634	252.085	0	0
17	72.3878	61.7	268.413	0	0
18	72.7282	61.5277	285.969	0	0
19	73.0686	61.3709	302.069	0	0
20	73.409	61.229	316.556	0	0
21	73.7494	61.1013	329.369	0	0
22	74.0899	60.9872	340.457	0	0
23	74.4303	60.8862	349.639	0	0
24	74.7707	60.7979	356.592	0	0
25	75.1111	60.7221	361.366	0	0
26	75.4515	60.6584	364.024	0	0
27	75.7919	60.6065	364.633	0	0
28	76.1323	60.5664	363.259	0	0
29	76.4727	60.5378	359.97	0	0
30	76.8132	60.5207	354.834	0	0
31	77.1536	60.515	347.923	0	0
32	77.494	60.5207	339.308	0	0
33	77.8344	60.5378	329.064	0	0
34	78.1748	60.5664	317.27	0	0
35	78.5152	60.6065	304.004	0	0
36	78.8556	60.6584	289.35	0	0
37	79.196	60.7221	273.397	0	0
38	79.5365	60.7979	256.234	0	0
39	79.8769	60.8862	237.96	0	0
40	80.2173	60.9872	218.678	0	0
41	80.5577	61.1013	198.495	0	0
42	80.8981	61.229	177.531	0	0
43	81.2385	61.3709	155.911	0	0
44	81.5789	61.5277	133.772	0	0
45	81.9194	61.7	111.264	0	0
46	82.2156	61.8634	91.5054	0	0
47	82.5118	62.04	71.7094	0	0
48	82.808	62.2306	52.0061	0	0
49	83.2679	62.5568	52.0044	0	0
50	83.671	62.876	26.2543	0	0
51	84.074	63.2306	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
10.8477	61.7
132.51	61.7

Distributed Load

X	Y
70.8958	69.4523
69.8458	69.4523
68.4458	69.4523
67.0458	69.4523
66.1958	69.4523
65.3458	69.4523
63.9458	69.4523
62.5458	69.4523
61.4958	69.4523

Distributed Load



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

77 di 96



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 8 of 9

X	Y
65.3458	69.4523
63.9458	69.4523
62.5458	69.4523

Distributed Load

X	Y
69.8458	69.4523
68.4458	69.4523
67.0458	69.4523

External Boundary

X	Y
11.8784	36.2267
131.51	36.2267
131.51	43.2267
131.51	47.2267
131.51	52.2267
131.51	60.2267
131.51	62.0398
103.446	62.0398
101.741	63.2267
89.7811	63.2292
85.153	63.2306
83.2679	63.2306
83.2678	63.2306
82.2772	63.8911
74.1758	69.2923
72.7458	69.4523
70.8958	69.4523
69.8458	69.4523
68.4458	69.4523
67.0458	69.4523
66.1958	69.4523
65.3458	69.4523
63.9458	69.4523
62.5458	69.4523
61.4958	69.4523
59.6458	69.4523
58.2158	69.2923
49	63.231
47.098	63.231
42.0863	63.231
37.7704	63.2136
11.8454	63.1819
11.849	60.2267
11.8588	52.2267
11.8649	47.2267
11.8698	43.2267

Material Boundary

X	Y
11.849	60.2267
131.51	60.2267

Material Boundary

X	Y
11.8588	52.2267
131.51	52.2267

Material Boundary

X	Y
11.8649	47.2267
131.51	47.2267

Material Boundary

X	Y
11.8698	43.2267
131.51	43.2267

Material Boundary

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

78 di 96



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 9 of 9

X	Y
49	63.231
49	62.231
83.268	62.2306
83.2678	63.2306

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

79 di 96

ALLEGATO 3 - TABULATI DI SLIDE – ANALISI POST SISMA



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

80 di 96

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: R140_liquef.slim
Slide Modeler Version: 7.038
Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Date Created: 08/03/2021, 16:12:54

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	1.1
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
Janbu 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



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

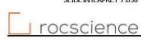
12

Codifica

E12RBRI400001A

Foglio

81 di 96



Groundwater Analysis

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

Random Numbers

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

Surface Options

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

Seismic

Advanced seismic analysis: No
Staged pseudostatic analysis: No

Loading

3 Distributed Loads present

Distributed Load 1

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 12.2
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Live

Distributed Load 2

Distribution: Constant
Magnitude [kPa]: 12.2
Orientation: Normal to boundary
Load Action: Live

Distributed Load 3

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

Material Properties



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

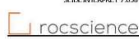
Foglio

IN17

12

EI2RBRI400001A

82 di 96



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 3 of 10

Property	U3a/b (1)	U4 (2)	Rilevato	U4 LIQUEFATTO
Color				
Strength Type	Undrained	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	18.5	18.5	20	18.5
Cohesion [kPa]		0	0	0
Friction Angle [deg]		38	38	5.7
Cohesion Type	50			
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	0	1	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.116010
Center:	57.504, 60.007
Radius:	15.075
Left Slip Surface Endpoint:	43.772, 53.789
Right Slip Surface Endpoint:	68.716, 49.930
Resisting Moment:	8034.47 kN-m
Driving Moment:	7199.29 kN-m
Total Slice Area:	126.779 m2
Surface Horizontal Width:	24.9436 m
Surface Average Height:	5.08263 m

Method: janbu simplified

FS	1.110430
Center:	57.504, 60.007
Radius:	15.075
Left Slip Surface Endpoint:	43.772, 53.789
Right Slip Surface Endpoint:	68.716, 49.930
Resisting Horizontal Force:	415.888 kN
Driving Horizontal Force:	374.53 kN
Total Slice Area:	126.779 m2
Surface Horizontal Width:	24.9436 m
Surface Average Height:	5.08263 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1753
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: janbu simplified

Number of Valid Surfaces: 1749
Number of Invalid Surfaces: 4

Error Codes:

Error Code -108 reported for 2 surfaces
Error Code -112 reported for 2 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

-108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).

-112 = The coefficient $M\text{-}\alpha = \cos(\alpha)[1 + \tan(\alpha)\tan(\phi)]/F < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.

Slice Data



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI400001A

Foglio
83 di 96



Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.11601

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	0.501137	5.03777	-63.5032	Rilevato	0	32.0066	8.78864	9.80821	17.2617	0	17.2617	34.8915	34.8915
2	0.501137	14.3376	-59.4918	Rilevato	0	32.0066	14.4124	16.0844	28.3072	0	28.3072	52.7666	52.7666
3	0.501137	22.3112	-55.9158	Rilevato	0	32.0066	19.8131	22.1116	38.9147	0	38.9147	68.1959	68.1959
4	0.501137	29.313	-52.6463	Rilevato	0	32.0066	23.3694	26.0805	45.8996	0	45.8996	76.5168	76.5168
5	0.501137	35.5548	-49.6067	Rilevato	0	32.0066	26.2064	29.2466	51.4717	0	51.4717	82.2714	82.2714
6	0.501137	41.1757	-46.7469	Rilevato	0	32.0066	30.82	34.3954	60.5331	0	60.5331	93.2921	93.2921
7	0.501137	46.2731	-44.0321	Rilevato	0	32.0066	35.2562	39.3463	69.2464	0	69.2464	103.331	103.331
8	0.545145	55.3951	-41.3276	U3a/b (1)	35.7143	0	29.0925	32.4675	94.035	0	94.035	119.618	119.618
9	0.545145	60.0086	-38.6217	U3a/b (1)	35.7143	0	29.0925	32.4675	111.114	0	111.114	134.356	134.356
10	0.545145	64.2031	-36.0147	U3a/b (1)	35.7143	0	29.0925	32.4675	121.112	0	121.112	142.26	142.26
11	0.545145	68.0203	-33.4914	U3a/b (1)	35.7143	0	29.0925	32.4675	130.202	0	130.202	149.452	149.452
12	0.545145	71.4936	-31.0399	U3a/b (1)	35.7143	0	29.0925	32.4675	138.489	0	138.489	155.997	155.997
13	0.499912	68.3466	-28.747	LIQUEFATTO	0	4.56541	9.44167	10.537	146.5	1.34508	145.155	151.679	150.334
14	0.499912	70.7722	-26.6008	LIQUEFATTO	0	4.56541	9.54821	10.6559	150.71	3.91811	146.792	155.492	151.574
15	0.499912	72.983	-24.4942	LIQUEFATTO	0	4.56541	9.24526	10.3178	148.399	6.26322	142.136	152.611	146.348
16	0.499912	74.9901	-22.4223	LIQUEFATTO	0	4.56541	8.94726	9.98523	145.946	8.39218	137.554	149.638	141.246
17	0.499912	76.8028	-20.381	LIQUEFATTO	0	4.56541	9.08083	10.1343	149.922	10.315	139.607	153.296	142.981
18	0.499912	78.4291	-18.3664	LIQUEFATTO	0	4.56541	9.20296	10.2706	153.525	12.04	141.485	156.581	144.541
19	0.499912	79.1106	-16.375	LIQUEFATTO	0	4.56541	9.21667	10.2859	155.27	13.5747	141.696	157.979	144.404
20	0.499912	77.2243	-14.4039	LIQUEFATTO	0	4.56541	8.91339	9.94743	151.958	14.9249	137.033	154.247	139.322
21	0.499912	74.9961	-12.45	LIQUEFATTO	0	4.56541	8.57561	9.57047	147.936	16.0961	131.84	149.83	133.733
22	0.499912	72.603	-10.5107	LIQUEFATTO	0	4.56541	8.22571	9.17997	143.553	17.0924	126.461	145.079	127.987
23	0.499912	70.0485	-8.5836	LIQUEFATTO	0	4.56541	7.86393	8.77622	138.816	17.9174	120.899	140.003	122.086
24	0.499912	67.3353	-6.66621	LIQUEFATTO	0	4.56541	7.49047	8.35944	133.732	18.5741	115.157	134.607	116.033
25	0.499912	64.4934	-4.7563	LIQUEFATTO	0	4.56541	7.1091	7.93383	128.359	19.0648	109.294	128.951	109.886
26	0.499912	63.538	-2.85168	LIQUEFATTO	0	4.56541	6.98101	7.79088	126.716	19.3909	107.325	127.064	107.673
27	0.499912	63.6496	0.950211	LIQUEFATTO	0	4.56541	7.00152	7.81377	127.194	19.5537	107.64	127.31	107.756
28	0.499912	60.5459	0.950211	LIQUEFATTO	0	4.56541	6.61383	7.3811	121.234	19.5537	101.68	121.124	101.57
29	0.499912	55.3941	2.85168	LIQUEFATTO	0	4.56541	5.96753	6.65982	111.135	19.3909	91.744	110.838	91.4467
30	0.499912	51.0768	4.7563	LIQUEFATTO	0	4.56541	5.43811	6.06898	102.669	19.0648	83.6046	102.217	83.1521
31	0.499912	50.2702	6.66621	LIQUEFATTO	0	4.56541	5.37766	6.00152	101.249	18.5741	82.6753	100.621	82.0468
32	0.499912	49.6923	8.5836	LIQUEFATTO	0	4.56541	5.35808	5.97967	100.292	17.9174	82.3742	99.4829	81.5655
33	0.499912	52.0144	10.5107	LIQUEFATTO	0	4.56541	5.73211	6.39709	105.217	17.0924	88.1245	104.153	87.061
34	0.499912	56.0734	12.45	LIQUEFATTO	0	4.56541	6.34924	7.08582	113.708	16.0961	97.6124	112.307	96.2106
35	0.499912	58.9819	14.4039	LIQUEFATTO	0	4.56541	6.82905	7.62129	119.914	14.9249	104.989	118.16	103.235
36	0.499912	58.0491	16.375	LIQUEFATTO	0	4.56541	6.81326	7.60367	118.321	13.5747	104.746	116.319	102.744
37	0.499912	54.7481	18.3664	LIQUEFATTO	0	4.56541	6.49461	7.24805	111.887	12.04	99.8471	109.731	97.6909
38	0.499912	49.7894	20.381	LIQUEFATTO	0	4.56541	5.96592	6.65803	102.034	10.315	91.7192	99.8178	89.5028
39	0.499912	44.6443	22.4223	LIQUEFATTO	0	4.56541	5.42307	6.0522	91.7656	8.39218	83.3734	89.5279	81.1357
40	0.499912	39.3048	24.4942	LIQUEFATTO	0	4.56541	4.86531	5.42973	81.0616	6.26322	74.7984	78.845	72.5817



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI400001A

Foglio
84 di 96

41	0.499912	33.742	26.6008	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	4.28912	4.7867	69.8584	3.91811	65.9403	67.7105	63.7924
42	0.499912	29.0126	28.747	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	3.83808	4.28334	60.3512	1.34508	59.0061	58.2458	56.9007
43	0.464073	24.5652	30.8581	U3a/b (1)	35.7143	0	29.0925	32.4675	72.0531	0	72.0531	54.6705	54.6705
44	0.464073	22.0844	32.9363	U3a/b (1)	35.7143	0	29.0925	32.4675	68.318	0	68.318	49.4711	49.4711
45	0.464073	19.3956	35.0648	U3a/b (1)	35.7143	0	29.0925	32.4675	64.2542	0	64.2542	43.8344	43.8344
46	0.464073	16.4825	37.2504	U3a/b (1)	35.7143	0	29.0925	32.4675	59.8498	0	59.8498	37.7271	37.7271
47	0.464073	13.3254	39.5014	U3a/b (1)	35.7143	0	29.0925	32.4675	55.0932	0	55.0932	31.11	31.11
48	0.464073	9.90027	41.8281	U3a/b (1)	35.7143	0	29.0925	32.4675	49.972	0	49.972	23.9347	23.9347
49	0.464073	6.17722	44.2429	U3a/b (1)	35.7143	0	29.0925	32.4675	44.475	0	44.475	16.1414	16.1414
50	0.464073	2.11853	46.7616	U3a/b (1)	35.7143	0	29.0925	32.4675	38.5946	0	38.5946	7.65584	7.65584

Global Minimum Query (Janbu simplified) - Safety Factor: 1.11043

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	0.501137	5.03777	-63.5032	Rilevato	0	32.0066	8.79822	9.76981	17.194	0	17.194	34.8431	34.8431
2	0.501137	14.3376	-59.4918	Rilevato	0	32.0066	14.4326	16.0264	28.2051	0	28.2051	52.6988	52.6988
3	0.501137	22.3112	-55.9158	Rilevato	0	32.0066	19.8459	22.0375	38.7842	0	38.7842	68.114	68.114
4	0.501137	29.313	-52.6463	Rilevato	0	32.0066	23.4133	25.9988	45.7558	0	45.7558	76.4304	76.4304
5	0.501137	35.5548	-49.6067	Rilevato	0	32.0066	26.2606	29.1606	51.3204	0	51.3204	82.1838	82.1838
6	0.501137	41.1757	-46.7469	Rilevato	0	32.0066	30.8892	34.3003	60.3657	0	60.3657	93.1983	93.1983
7	0.501137	46.2731	-44.0321	Rilevato	0	32.0066	35.3412	39.2439	69.0661	0	69.0661	103.233	103.233
8	0.545145	55.3951	-41.3276	U3a/b (1)	35.7143	0	29.2387	32.4675	93.8259	0	93.8259	119.538	119.538
9	0.545145	60.0086	-38.6217	U3a/b (1)	35.7143	0	29.2387	32.4675	110.924	0	110.924	134.283	134.283
10	0.545145	64.2031	-36.0147	U3a/b (1)	35.7143	0	29.2387	32.4675	120.939	0	120.939	142.193	142.193
11	0.545145	68.0203	-33.4914	U3a/b (1)	35.7143	0	29.2387	32.4675	130.045	0	130.045	149.391	149.391
12	0.545145	71.4936	-31.0399	U3a/b (1)	35.7143	0	29.2387	32.4675	138.346	0	138.346	155.942	155.942
13	0.499912	68.3466	-28.747	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	9.48651	10.5341	146.459	1.34508	145.114	151.663	150.318
14	0.499912	70.7722	-26.6008	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	9.59367	10.6531	150.673	3.91811	146.754	155.477	151.559
15	0.499912	72.983	-24.4942	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	9.28955	10.3154	148.366	6.26322	142.102	152.598	146.335
16	0.499912	74.9901	-22.4223	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	8.99031	9.98311	145.917	8.39218	137.525	149.626	141.234
17	0.499912	76.8028	-20.381	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	9.12466	10.1323	149.895	10.315	139.58	153.285	142.97
18	0.499912	78.4291	-18.3664	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	9.24768	10.2689	153.501	12.04	141.461	156.571	144.531
19	0.499912	79.1106	-16.375	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	9.26155	10.2843	155.249	13.5747	141.674	157.97	144.395
20	0.499912	77.2243	-14.4039	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	8.95698	9.9461	151.94	14.9249	137.015	154.24	139.315
21	0.499912	74.9961	-12.45	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	8.61771	9.56936	147.921	16.0961	131.825	149.824	133.727
22	0.499912	72.603	-10.5107	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	8.26623	9.17907	143.541	17.0924	126.448	145.074	127.982
23	0.499912	70.0485	-8.5836	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	7.90281	8.77552	138.807	17.9174	120.889	139.999	122.082
24	0.499912	67.3353	-6.66621	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	7.52764	8.35892	133.724	18.5741	115.15	134.604	116.03
25	0.499912	64.4934	-4.7563	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	7.14451	7.93348	128.354	19.0648	109.289	128.949	109.884
26	0.499912	63.538	-2.85168	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	7.0159	7.79067	126.713	19.3909	107.322	127.063	107.672
27	0.499912	63.6496	-	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	7.03664	7.8137	127.193	19.5537	107.639	127.31	107.756
28	0.499912	60.5459	0.950211	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	6.64713	7.38117	121.235	19.5537	101.681	121.124	101.571
29	0.499912	55.3941	2.85168	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	5.99768	6.66	111.137	19.3909	91.7464	110.838	91.4476
30	0.499912	51.0768	4.7563	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	5.46568	6.06925	102.673	19.0648	83.6084	102.218	83.1536
31	0.499912	50.2072	6.66621	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	5.40501	6.00189	101.255	18.5741	82.6805	100.623	82.0488
32	0.499912	49.6923	8.5836	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	5.38544	5.98015	100.298	17.9174	82.381	99.4855	81.5681
33	0.499912	52.0144	10.5107	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	5.76149	6.39773	105.226	17.0924	88.1334	104.157	87.0644
34	0.499912	56.0734	12.45	U4 LIQUEFATTO	0	4.56541	6.38192	7.08667	113.72	16.0961	97.6239	112.311	96.2149



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI400001A

Foglio
85 di 96



35	0.499912	58.9819	14.4039	LIQUEFATTO U4	0	4.56541	6.86432	7.62235	119.928	14.9249	105.003	118.165	103.24
36	0.499912	58.0491	16.375	LIQUEFATTO U4	0	4.56541	6.84859	7.60488	118.337	13.5747	104.763	116.325	102.75
37	0.499912	54.7481	18.3664	LIQUEFATTO U4	0	4.56541	6.52843	7.24936	111.905	12.04	99.8651	109.738	97.6977
38	0.499912	49.7894	20.381	LIQUEFATTO U4	0	4.56541	5.99713	6.65939	102.053	10.315	91.7378	99.8248	89.5098
39	0.499912	44.6443	22.4223	LIQUEFATTO U4	0	4.56541	5.45155	6.05357	91.7845	8.39218	83.3923	89.535	81.1428
40	0.499912	39.3048	24.4942	LIQUEFATTO U4	0	4.56541	4.89098	5.43109	81.0803	6.26322	74.8171	78.852	72.5888
41	0.499912	33.742	26.6008	LIQUEFATTO U4	0	4.56541	4.31187	4.78803	69.8766	3.91811	65.9585	67.7173	63.7992
42	0.499912	29.0126	28.747	LIQUEFATTO U4	0	4.56541	3.85854	4.28464	60.3691	1.34508	59.024	58.2525	56.9074
43	0.464073	24.5652	30.8581	U3a/b (1)	35.7143	0	29.2387	32.4675	72.1952	0	72.1952	54.7253	54.7253
44	0.464073	22.0844	32.9363	U3a/b (1)	35.7143	0	29.2387	32.4675	68.4721	0	68.4721	49.5304	49.5304
45	0.464073	19.3956	35.0648	U3a/b (1)	35.7143	0	29.2387	32.4675	64.4211	0	64.4211	43.8986	43.8986
46	0.464073	16.4825	37.2504	U3a/b (1)	35.7143	0	29.2387	32.4675	60.0306	0	60.0306	37.7967	37.7967
47	0.464073	13.3254	39.5014	U3a/b (1)	35.7143	0	29.2387	32.4675	55.2892	0	55.2892	31.1855	31.1855
48	0.464073	9.90027	41.8281	U3a/b (1)	35.7143	0	29.2387	32.4675	50.1848	0	50.1848	24.0166	24.0166
49	0.464073	6.17722	44.2429	U3a/b (1)	35.7143	0	29.2387	32.4675	44.7066	0	44.7066	16.2305	16.2305
50	0.464073	2.11853	46.7616	U3a/b (1)	35.7143	0	29.2387	32.4675	38.8475	0	38.8475	7.75323	7.75323

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.11601

[Empty table area]													
--------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI400001A

86 di 96

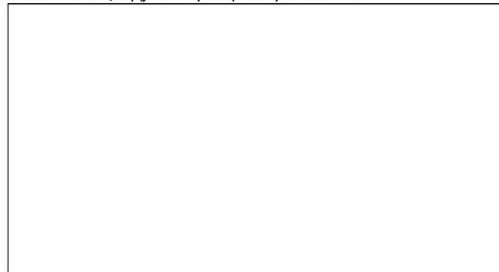
SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 7 of 10



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 7 of 10

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	43.7721	53.7891	0	0	0
2	44.2732	52.7838	12.9487	0	0
3	44.7744	51.9333	29.8016	0	0
4	45.2755	51.1927	48.6943	0	0
5	45.7766	50.5362	67.1199	0	0
6	46.2778	49.9472	84.3035	0	0
7	46.7789	49.4145	101.104	0	0
8	47.28	48.93	116.986	0	0
9	47.8252	48.4506	146.207	0	0
10	48.3703	48.0151	178.742	0	0
11	48.9155	47.6188	210.878	0	0
12	49.4606	47.2581	241.985	0	0
13	50.0058	46.9301	271.561	0	0
14	50.5057	46.6558	307.015	0	0
15	51.0056	46.4055	339.972	0	0
16	51.5055	46.1777	369.15	0	0
17	52.0054	45.9715	394.783	0	0
18	52.5053	45.7857	418.088	0	0
19	53.0052	45.6198	438.969	0	0
20	53.5052	45.4729	457.171	0	0
21	54.0051	45.3445	472.225	0	0
22	54.505	45.2341	484.266	0	0
23	55.0049	45.1413	493.469	0	0
24	55.5048	45.0659	500.013	0	0
25	56.0047	45.0075	504.082	0	0
26	56.5046	44.9659	505.868	0	0
27	57.0045	44.941	505.534	0	0
28	57.5044	44.9327	503.089	0	0
29	58.0044	44.941	498.777	0	0
30	58.5043	44.9659	493.027	0	0
31	59.0042	45.0075	486.038	0	0
32	59.5041	45.0659	477.434	0	0
33	60.004	45.1413	467.188	0	0
34	60.5039	45.2341	454.564	0	0
35	61.0038	45.3445	438.84	0	0
36	61.5037	45.4729	420.031	0	0
37	62.0037	45.6198	399.244	0	0
38	62.5036	45.7857	377.427	0	0
39	63.0035	45.9715	355.495	0	0
40	63.5034	46.1777	333.855	0	0
41	64.0033	46.4055	312.96	0	0
42	64.5032	46.6558	293.327	0	0
43	65.0031	46.9301	274.859	0	0
44	65.4672	47.2073	241.38	0	0
45	65.9313	47.508	207.341	0	0
46	66.3953	47.8337	172.912	0	0
47	66.8594	48.1866	138.292	0	0
48	67.3235	48.5692	103.715	0	0
49	67.7876	48.9845	69.4596	0	0
50	68.2516	49.4365	35.8584	0	0
51	68.7157	49.93	0	0	0

Global Minimum Query (Janbu simplified) - Safety Factor: 1.11043





Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI400001A

87 di 96

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 8 of 10



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 8 of 10

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	43.7721	53.7891	0	0	0
2	44.2732	52.7838	12.8654	0	0
3	44.7744	51.9333	29.6041	0	0
4	45.2755	51.1927	48.3599	0	0
5	45.7766	50.5362	66.641	0	0
6	46.2778	49.9472	83.6768	0	0
7	46.7789	49.4145	100.316	0	0
8	47.28	48.93	116.026	0	0
9	47.8252	48.4506	145.029	0	0
10	48.3703	48.0151	177.363	0	0
11	48.9155	47.6188	209.313	0	0
12	49.4606	47.2581	240.245	0	0
13	50.0058	46.9301	269.657	0	0
14	50.5057	46.6558	305.067	0	0
15	51.0056	46.4055	337.98	0	0
16	51.5055	46.1777	367.117	0	0
17	52.0054	45.9715	392.711	0	0
18	52.5053	45.7857	415.979	0	0
19	53.0052	45.6198	436.822	0	0
20	53.5052	45.4729	454.987	0	0
21	54.0051	45.3445	470.007	0	0
22	54.505	45.2341	482.015	0	0
23	55.0049	45.1413	491.186	0	0
24	55.5048	45.0659	497.701	0	0
25	56.0047	45.0075	501.742	0	0
26	56.5046	44.9659	503.501	0	0
27	57.0045	44.941	503.141	0	0
28	57.5044	44.9327	500.67	0	0
29	58.0044	44.941	496.334	0	0
30	58.5043	44.9659	490.561	0	0
31	59.0042	45.0075	483.552	0	0
32	59.5041	45.0659	474.928	0	0
33	60.004	45.1413	464.661	0	0
34	60.5039	45.2341	452.014	0	0
35	61.0038	45.3445	436.265	0	0
36	61.5037	45.4729	417.428	0	0
37	62.0037	45.6198	396.613	0	0
38	62.5036	45.7857	374.769	0	0
39	63.0035	45.9715	352.81	0	0
40	63.5034	46.1777	331.145	0	0
41	64.0033	46.4055	310.228	0	0
42	64.5032	46.6558	290.574	0	0
43	65.0031	46.9301	272.086	0	0
44	65.4672	47.2073	238.467	0	0
45	65.9313	47.508	204.282	0	0
46	66.3953	47.8337	169.698	0	0
47	66.8594	48.1866	134.913	0	0
48	67.3235	48.5692	100.161	0	0
49	67.7876	48.9845	65.7174	0	0
50	68.2516	49.4365	31.9113	0	0
51	68.7157	49.93	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
7.09579	46.9301
87.203	46.9301

Distributed Load

X	Y
45.55	53.7891
43.05	53.7891



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

88 di 96

**Distributed Load**

X	Y
50.05	53.7891
47.55	53.7891

Distributed Load

X	Y
51.25	53.7891
50.05	53.7891
47.55	53.7891
45.55	53.7891
43.05	53.7891
41.85	53.7891

External Boundary

X	Y
87.203	38.9301
87.203	44.9301
87.203	46.9301
87.203	48.9301
87.203	49.9301
64.4893	49.93
61.9746	51.6066
61.1898	51.6066
59.9398	50.3566
58.6898	50.3566
57.4398	51.6066
56.4399	51.6066
53.1664	53.7891
51.25	53.7891
50.05	53.7891
47.55	53.7891
45.55	53.7891
43.05	53.7891
41.85	53.7891
39.1864	53.7891
35.9128	51.6066
34.9129	51.6066
33.6629	50.3566
32.4129	50.3566
31.1629	51.6066
27.8801	51.5766
25.6717	49.93
7.09579	49.93
7.09579	46.9301
7.09579	44.9301
7.09579	38.9301

Material Boundary

X	Y
25.6717	49.93
25.6717	48.93
64.4893	48.9301
64.4893	49.93

Material Boundary

X	Y
7.09579	46.9301
87.203	46.9301

Material Boundary

X	Y

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

89 di 96



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 10 of 10

X	Y
7.09579	44.9301
87.203	44.9301

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

90 di 96

ALLEGATO 4- TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

91 di 96

Settle3D Analysis Information

Project Settings

Document Name: RI40.s3z
Date Created: 03/09/2021, 10:04:40
Stress Computation Method: Boussinesq
Time-dependent Consolidation Analysis
Time Units: days
Permeability Units: meters/second
Groundwater method: Water Table
Water Unit Weight: 9.81 kN/m³
Depth to water table: 1.5 [m]

Stage Settings

Stage #	Name	Time [days]
1	Stage 1	0
2	Stage 2	120
3	Stage 3	180
4	Stage 4	181
5	Stage 5	1500

Results

Time taken to compute: 0 seconds

Stage: Stage 1 = 0 d

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	0	0
Consolidation Settlement [cm]	0	0
Immediate Settlement [cm]	0	0
Secondary Settlement [cm]	0	0
Loading Stress [kPa]	0	0
Effective Stress [kPa]	-0	424.965
Total Stress [kPa]	0	900.75
Total Strain	-0	-0
Pore Water Pressure [kPa]	0	475.785
Excess Pore Water Pressure [kPa]	0	0
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	1.3875	470.61
Over-consolidation Ratio	1	2
Void Ratio	0	1
Permeability [m/s]	0	5.10261e-006
Coefficient of Consolidation [m ² /s]	0	0.00864
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	0

Stage: Stage 2 = 120 d

Data Type	Minimum	Maximum
-----------	---------	---------



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI400001A

92 di 96

Total Settlement [cm]	0	11.7321
Consolidation Settlement [cm]	0	0
Immediate Settlement [cm]	0	11.7321
Secondary Settlement [cm]	0	0
Loading Stress [kPa]	0	182.342
Effective Stress [kPa]	-0	424.965
Total Stress [kPa]	0	931.532
Total Strain	-0	0.0179918
Pore Water Pressure [kPa]	0	506.567
Excess Pore Water Pressure [kPa]	0	146.257
Degree of Consolidation [%]	0	0
Pre-consolidation Stress [kPa]	1.3875	470.61
Over-consolidation Ratio	1	2
Void Ratio	0	1
Permeability [m/s]	0	5.10261e-006
Coefficient of Consolidation [m ² /s]	0	0.00864
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	0

Stage: Stage 3 = 180 d

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	0	12.2767
Consolidation Settlement [cm]	0	0.574507
Immediate Settlement [cm]	0	11.7321
Secondary Settlement [cm]	0	0
Loading Stress [kPa]	0	182.342
Effective Stress [kPa]	-0	455.747
Total Stress [kPa]	0	931.532
Total Strain	-0	0.0179918
Pore Water Pressure [kPa]	0	475.785
Excess Pore Water Pressure [kPa]	0	64.7482
Degree of Consolidation [%]	0	93.9657
Pre-consolidation Stress [kPa]	1.3875	470.61
Over-consolidation Ratio	1	1.99998
Void Ratio	0	1
Permeability [m/s]	0	5.10261e-006
Coefficient of Consolidation [m ² /s]	0	0.00864
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	0

Stage: Stage 4 = 181 d

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	0	12.9278
Consolidation Settlement [cm]	0	0.579596
Immediate Settlement [cm]	0	12.3482
Secondary Settlement [cm]	0	0
Loading Stress [kPa]	0	187.193
Effective Stress [kPa]	-0	455.747
Total Stress [kPa]	0	932.979
Total Strain	6.24506e-009	0.0184782
Pore Water Pressure [kPa]	0	477.232
Excess Pore Water Pressure [kPa]	0	67.8669
Degree of Consolidation [%]	0	90.0374



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

93 di 96

Pre-consolidation Stress [kPa]	1.38756	470.61
Over-consolidation Ratio	1	1.99998
Void Ratio	0	1
Permeability [m/s]	0	5.10261e-006
Coefficient of Consolidation [m ² /s]	0	0.00864
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	0

Stage: Stage 5 = 1500 d

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	0	16.1176
Consolidation Settlement [cm]	0	2.04095
Immediate Settlement [cm]	0	12.3482
Secondary Settlement [cm]	0	1.73951
Loading Stress [kPa]	0	187.193
Effective Stress [kPa]	-0	457.194
Total Stress [kPa]	0	932.979
Total Strain	6.24506e-009	0.0312762
Pore Water Pressure [kPa]	0	475.785
Excess Pore Water Pressure [kPa]	0	8.14858
Degree of Consolidation [%]	0	99.7407
Pre-consolidation Stress [kPa]	1.38756	470.61
Over-consolidation Ratio	1	1.99915
Void Ratio	0	0.999991
Permeability [m/s]	0	5.10261e-006
Coefficient of Consolidation [m ² /s]	0	0.00864
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0
Average Degree of Consolidation [%]	0	0

Loads

1. Rectangular Load

Length: 10.5 m
Width: 100 m
Rotation angle: 0 degrees
Load Type: Flexible
Area of Load: 1050 m²
Load: 14.4 kPa
Depth: -6.2 m
Installation Stage: Stage 4 = 181 d

Coordinates

X [m]	Y [m]
-5.25	-50
5.25	-50
5.25	50
-5.25	50

Embankments

1. Embankment

Center Line: (0, 50) to (0, -50)
Number of Layers: 1



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI400001A

94 di 96

Near End Angle: 90 degrees
Far End Angle: 90 degrees
Base Width: 32.2

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 2 = 120 d	0	34	6.2	20	34	0

Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]	Drained at Bottom
1	3a/b (1)	3	0	No
2	4 (2)	8	3	No
3	3a/b (3)	5	11	No
4	4 (4)	4	16	No
5	3b (5)	7	20	Yes
6	4 (6)	5	27	No
7	2 (7)	4	32	No
8	4 (8)	2	36	No
9	2 (9)	4	38	No
10	4 (10)	8	42	No

Ground Surface Drained: Yes



Soil Properties

Property	3a/b (1)	4 (2)	3a/b (3)	4 (4)	3b (5)	4 (6)	2 (7)	4 (8)	2 (9)	4 (10)
Color										
Unit Weight [kN/m ³]	18.5	18.5	18.5	18.5	19	18.5	19	19	19	19
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Immediate Settlement	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled	Disabled	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled
Es [kPa]	10000	60000	15000	60000		25000	25000	60000	35000	100000
Esur [kPa]	10000	60000	15000	60000		25000	25000	60000	35000	100000
Primary Consolidation	Disabled	Disabled	Disabled	Disabled	Enabled	Disabled	Disabled	Disabled	Disabled	Disabled
Material Type	Non-Linear									
Cc	0.36									



Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI400001A

Foglio

95 di 96

Cr												0.05
e0												1
OCR	1	1	1	1			2	1	1	1	1	1
Cv [m ² /s]							5e-007					
B-bar							1					
Secondary Consolidation	Disabled	Disabled	Disabled	Disabled	Enabled	Disabled	Disabled	Disabled	Disabled	Disabled	Disabled	
Cae/Ca							0.1					
Car/Caer							0.1					

Query Points

Point #	(X,Y) Location	Number of Divisions
1	1.77636e-015, -7.10543e-015	Auto: 79

Query Lines


Line #	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	-50, 0	50, 0	30	Auto: 79

Field Point Grid

Number of points: 294
Expansion Factor: 2

Grid Coordinates

X [m]	Y [m]
66.1	100
66.1	-100
-66.1	-100
-66.1	100

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>Rilevato ferroviario dal km 25+314,84 al km 26+065,14 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI400001A</p>	<p>Foglio 96 di 96</p>

ALLEGATO 5- VERSIONI SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI

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