

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 27+817,02 al km 28+175,00

GENERALE

Relazione Geotecnica

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

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO
I N 1 7	1 2	E	I 2	R B	R I 4 5 0 0	0 0 1	A	- - - P - - -

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Luca RANDOLFI	Settembre 2021

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	EMISSIONE	N. Valimberti <i>N. Valimberti</i>	Settembre 2021	V. Pastore <i>V. Pastore</i>	Settembre 2021	P. Ascari <i>P. Ascari</i>	Settembre 2021	P. Ascari
								Data: Settembre 2021

CIG: 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1712EI2RBRI4500001A.DOCX
		Cod. origine:



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 2 di 83</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	Materiali 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	26
6.1	Criteri di verifica agli Stati Limite.....	26
6.1.1	Stati limite ultimi (SLU).....	26
6.1.2	Stati limite di esercizio (SLE)	28
6.1.3	Verifiche in condizioni sismiche e post sismiche	28
6.2	Azioni di progetto	28
6.2.1	Azioni permanenti	28
6.2.2	Azioni variabili	28

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 3 di 83</p>

6.2.3	Azione sismica	28
6.3	Verifiche e risultati SLU	30
6.3.1	Premessa	30
6.3.2	Verifiche SLU in condizione statiche	30
6.3.3	Verifiche SLU in condizioni sismiche	30
6.4	Verifica e risultati SLE	32
6.4.1	Metodologia di calcolo	32
6.4.2	Schematizzazione e risultati	34
7	RESISTENZA DEI PALI SOGGETTI A CARICHI ASSIALI	38
7.1	Analisi agli stati limite	38
7.2	Metodologia di calcolo	40
7.2.1	Portata laterale	40
7.2.2	Portata di base	41
7.3	Stratigrafia di calcolo	43
7.4	Risultati	43
8	CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI	52
	Allegati	53
	ALLEGATO 1 - TABULATI DI SLIDE– ANALISI SLU STATICA	54
	ALLEGATO 2 - TABULATI DI SLIDE– ANALISI SLU SISMICA	66
	ALLEGATO 3 - TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE	78
	ALLEGATO 4 - VERSIONI SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI	83

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 4 di 83

1 INTRODUZIONE

Il presente documento costituisce la Relazione Geotecnica del rilevato RI45, previsto nell'ambito del Progetto Esecutivo della sub tratta Verona – Vicenza della Linea AV/AC Verona – Padova. Tale rilevato si estende dal km 27+817,02 al km 28+175,00.

La relazione descrive in dettaglio il modello geotecnico definito per il rilevato sulla base delle indagini geognostiche eseguite nelle vicinanze dell'opera e delle caratteristiche geotecniche attribuite ai materiali rinvenuti lungo la tratta. Le verifiche discusse sono state eseguite ai sensi della Normativa vigente (v. capitolo seguente) e gli interventi proposti sono volti a garantire la stabilità dei rilevati ed il rispetto dei requisiti prestazionali previsti per le opere in oggetto.

Il documento è così organizzato:

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 5 di 83</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 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 6 di 83</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>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 7 di 83</p>

3 INQUADRAMENTO DELL'OPERA

3.1 Premessa

Il rilevato ferroviario in esame si estende dal km 27+817,02 al km 28+175,00 per una lunghezza totale di 360 m circa. Dalla pk 27+880 alla pk 27+950 sul lato sud del rilevato è presente un muro di contenimento con fondazione su pali. 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, ad esclusione del tratto con il muro di contenimento con altezza massima di 2.6 m, fondato su pali. Le sezioni nominalmente più alte sono in corrispondenza della fine della tratta. Si considera significativa ai fini delle verifiche geotecniche SLU e SLE la sezione senza muro, alla pk 28+175,00, dove il rilevato presenta l'altezza massima pari a 3.8 m. La sezione citata, denominata Sezione A, è riportata in Figura 1.

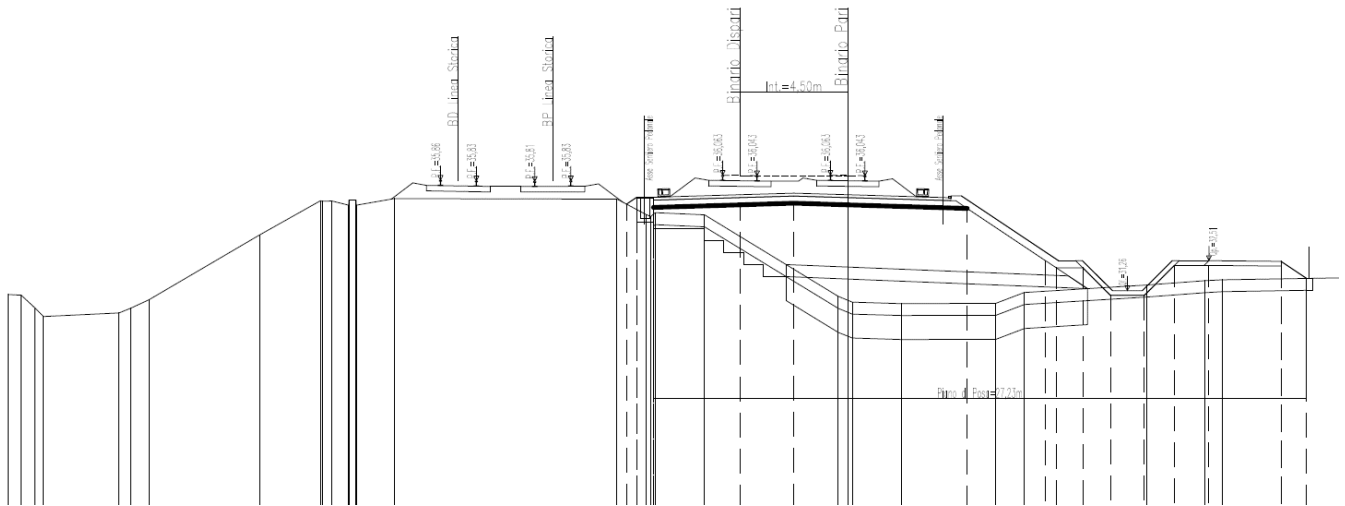




Figura 1 – Sezione di riferimento A (pk 28+175,00) estratta da sezioni PE (Doc Rif. [1])

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 8 di 83

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'aera 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 27+817 e pk 28+175

Progressiva pk	ID indagini -	Campagna anno
27+925	SPA40	2014/2015
27+990	CPTU46V	2015
28+030	CPTU75	2014/2015
28+130	BH29V	2015

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 9 di 83</p>

4.2 Inquadramento stratigrafico

Dal punto di vista stratigrafico, l'area del rilevato è interessata dalla presenza di alternanze di limi argillosi (Unità 3b) 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 RI45, estratto dalla Planimetria e Profilo Geotecnico Tav. 7 di 11 (Doc. Rif. [3]).

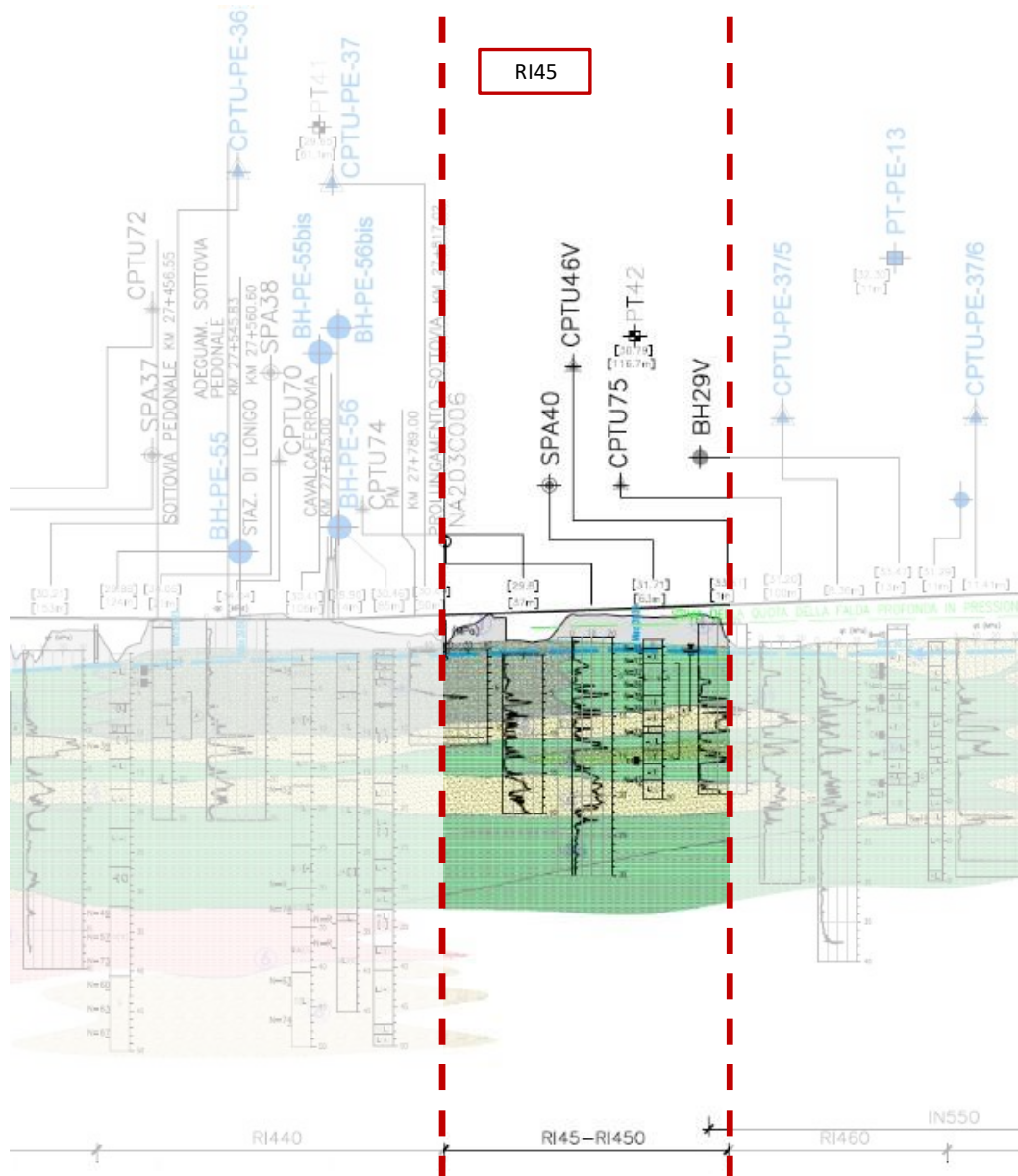




Figura 2 - Profilo Geotecnico Rilevato RI45, estratto dal Profilo Geotecnico Generale (Doc. Rif. [3])

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 10 di 83</p>

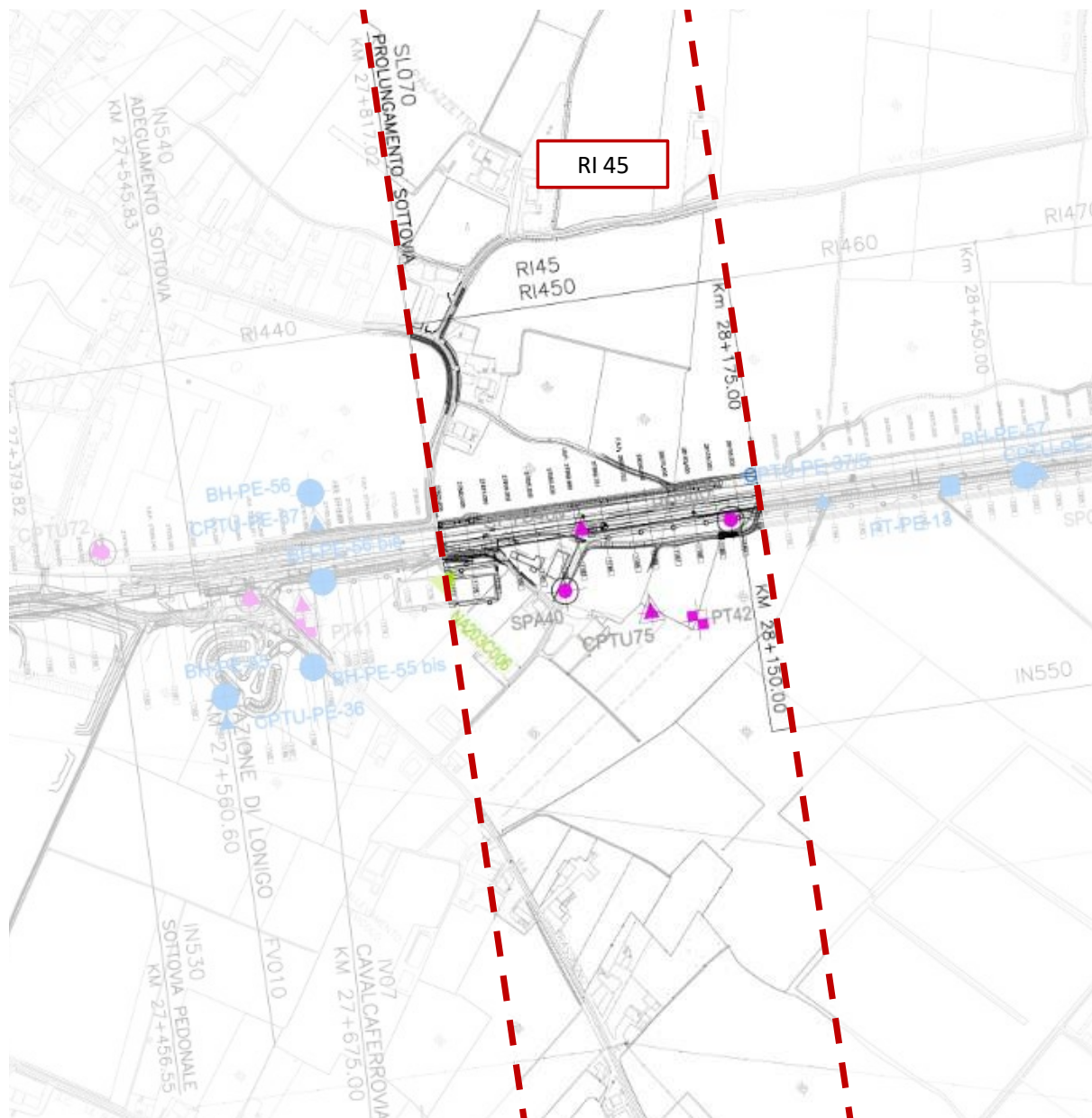


Figura 3 - Planimetria Rilevato RI45, estratto dalla Planimetria Generale (Doc. Rif. [3])

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]). Questi ultimi indicano una sostanziale stabilità nelle escursioni stagionali.

Ai fini progettuali si assume perciò una falda di progetto coincidente con piano campagna. Nelle verifiche di liquefazione si assume una falda coincidente con il livello medio registrato nei piezometri, ed indicato nel profilo geotecnici al 5000.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 11 di 83</p>

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 27+817,02 a pk 28+175,00

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	$C_{\alpha\varepsilon}$ -
3b	0	3.5	18.5	-	-	40	-	-	160	0.015	0.16	1.00E-06	-
3b	3.5	8.5	18.5	-	-	70	-	10	-	-	-	-	-
4	8.5	10.5	19	38	0	-	-	40	-	-	-	-	-
3b	10.5	12	18.5	-	-	70	-	10	-	-	-	-	-
4	12	14	19	38	0	-	-	50	-	-	-	-	-
3b	14	16	18.5	-	-	70	-	12	-	-	-	-	-
4	16	21	19	38	0	-	-	60	-	-	-	-	-
4	21	23	19	38	0	-	-	60	-	-	-	-	-
3b	23	30	19	-	-	80	-	15	-	-	-	-	-
2	30	-	19	-	-	100	-	25	-	-	-	-	-



* quota piano campagna = 31.5 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 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 12 di 83

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.



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 13 di 83</p>

Tabella 5 – Valori del coefficiente di uso C_u

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

5.1.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

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

5.1.4 Categorie di Sottosuolo

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

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

5.1.5 Condizioni topografiche

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 14 di 83</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)	0.212
Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s	1.390
Coefficiente di amplificazione topografica S_t	1.0
Accelerazione massima attesa al suolo	
a_{max} (g) ($a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$)	0.295

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 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 15 di 83

(CRR) così definiti:

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

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

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

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

dove:

a_{max} accelerazione di picco al sito

g accelerazione di gravità

τ_c valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

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

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



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

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

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

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 16 di 83</p>

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

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

5.2.1 CRR da correlazione su prove CPT

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

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

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

dove σ'_{vo} 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:

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

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 17 di 83</p>

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

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

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

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

per $l_c \leq 1.64$

$$K_c = 1.0$$

per $l_c > 1.64$

$$K_c = -0.403(l_c)^4 + 5.581(l_c)^3 - 21.63(l_c)^2 + 33.75(l_c) - 17.88$$

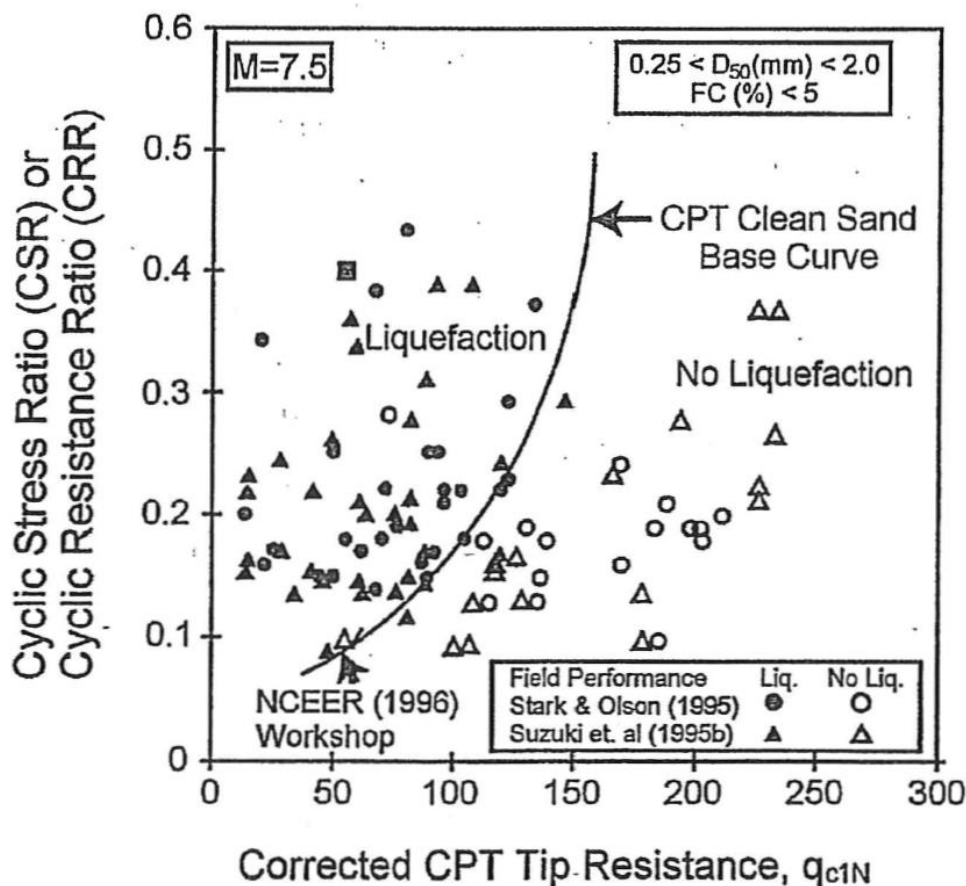


Figura 4 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e valori corretti di resistenza alla punta q_{c1N} – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Robertson & Wride, 1998)

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 18 di 83

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 campionatore, 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 campionatore) 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 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 19 di 83

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:

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

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

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 20 di 83</p>

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):

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

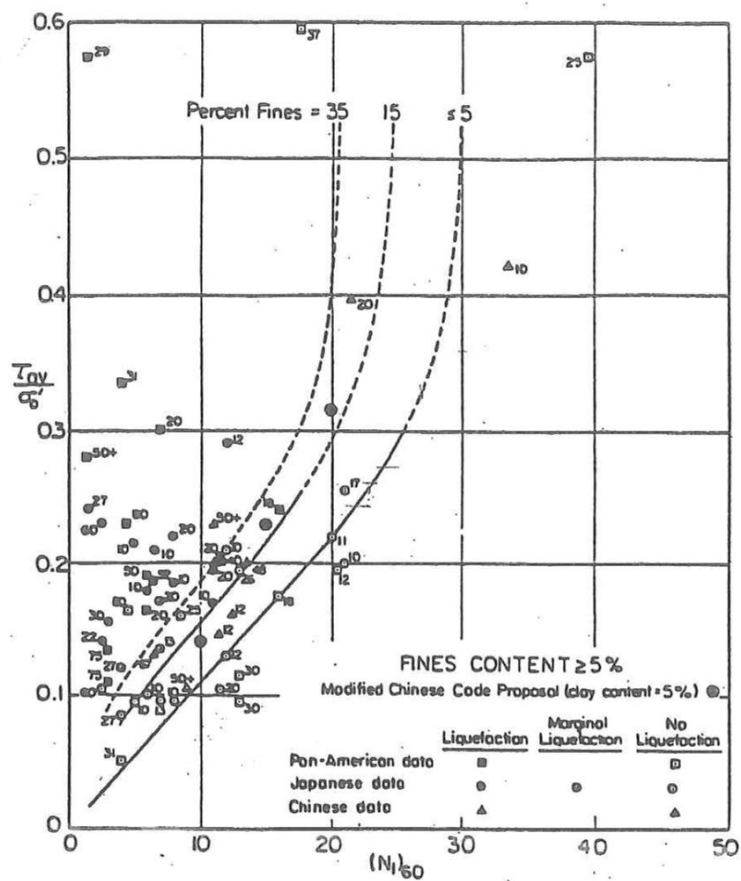


Figura 5 - Relazione tra sforzo di taglio ciclico a liquefazione e $N_{1(60)}$ – sisma di riferimento Magnitudo = 7.5 (Seed et al., 1985).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 21 di 83

5.2.3 Commento ai risultati

Sulla base delle analisi condotte, si osserva che:

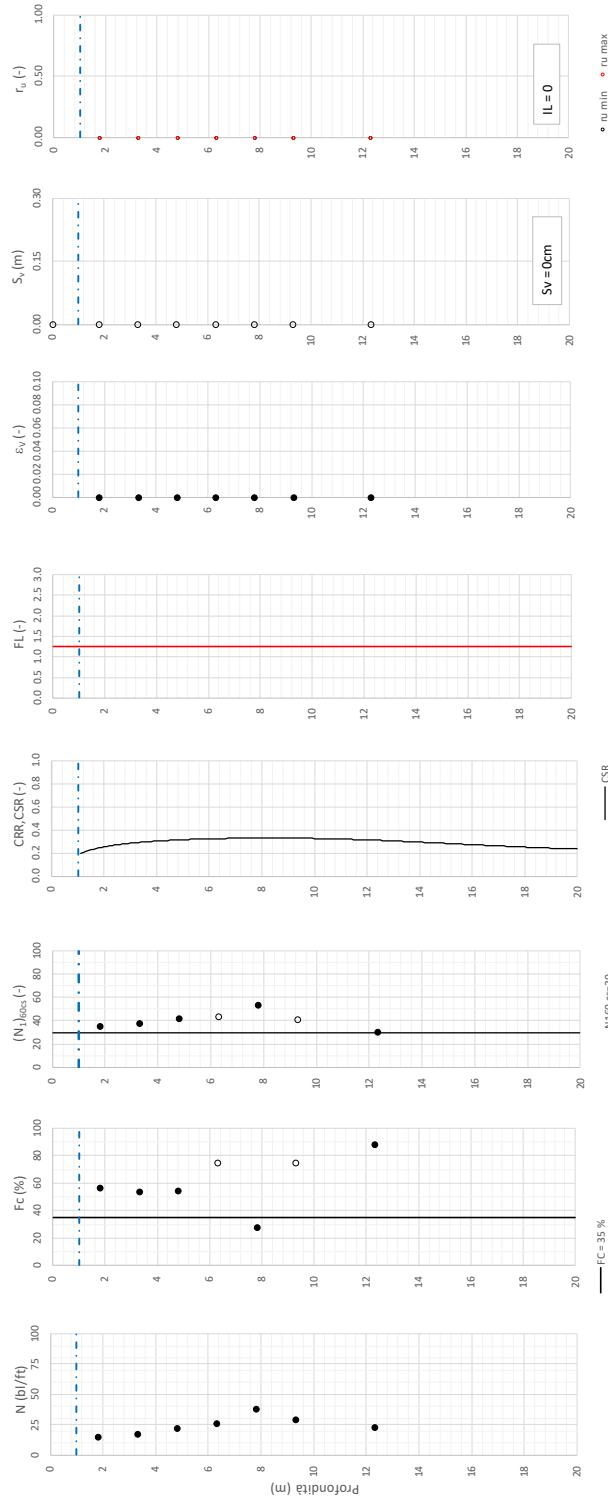
- Si è in generale fatto riferimento alle prove CPTU, che, in quanto continue, sono più adatte degli SPT (puntuali per definizione) per definire, per il caso in questione, l'ammontare degli spessori e le possibili conseguenze sul comportamento dell'opera.
- Per quanto concerne le prove CPTU46V e CPTU75, queste indicano la sporadica 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 modesto cedimento post-sisma in superficie, comunque attenuato a piano ferro dalla rigidità del corpo del rilevato

I risultati dell'interpretazione delle prove CPTU non indicano quindi rischi significativi di potenziale liquefazione, associabili a situazioni di SLU per il rilevato, nella porzione di tracciato interessata dal rilevato RI45.

Tratta AC/AV Verona-Padova - Sub Tratta Verona-Vicenza - Lotto 2 - Prova SPA40 Pr.27+925

$a_{max} = 0.289g$ $M_{calc} = 6.5$ $M_{SF} = 1.7$ Metodo NCEER 1996 - 1998 - 2001

Altezza rilevato = 0m



● Dati misurati in sito o calcolati sulla base di misure dirette
○ Dati basati sulla stima di valori tipici per lo strato

Foglio: verifica liquefazione NCEER v. 103

Figura 6 – Verifica Liquefazione da risultati SPA40

Tratta AC/AV Verona - Padova - Sub Tratta - Verona - Vicenza - Prova CPTU46V km 27+980
 Amax_calc /g = 0.289 M_calc = 6 Approccio NICEER 1996 - 1998 - 2001 MSF = 2
 Sovraccarico = 0 kPa

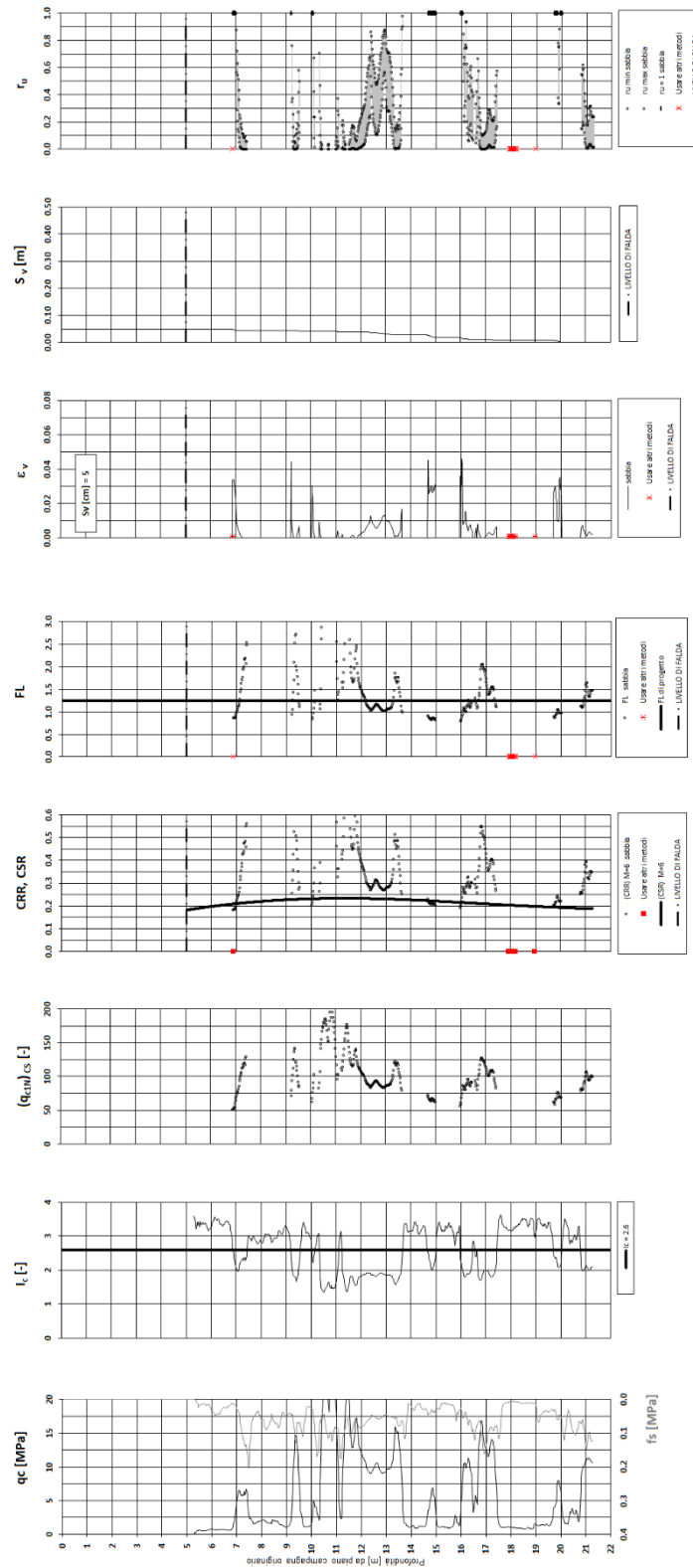


Figura 7 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU46V

Tratta AC/AV Verona - Padova - Sub Tratta - Verona - Vicenza - Prova CPTU75 Pr. 28+040

Amax_calc/g = 0.295 M_calc = 6 Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001 MSF = 2

Sovraccarico = 0 kPa

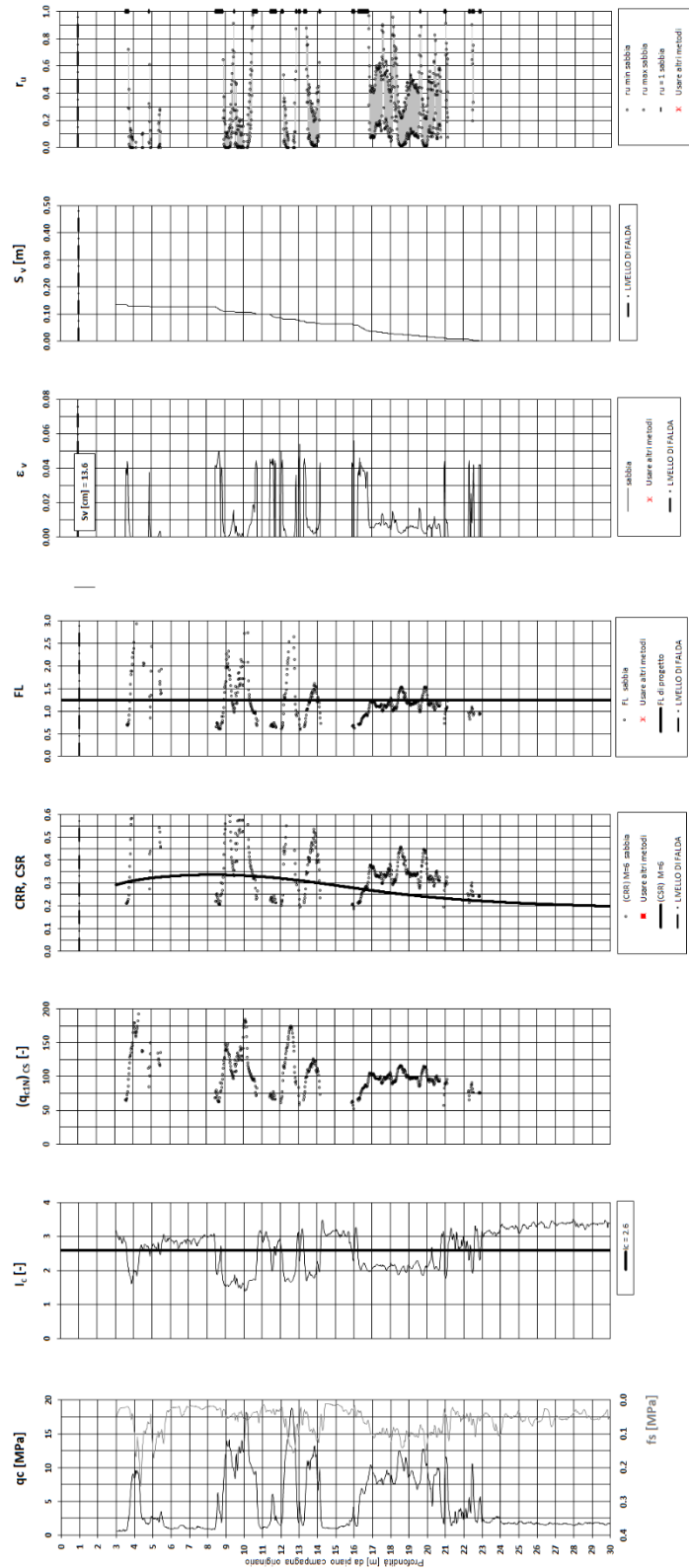


Figura 8 – Verifica Liquefazione da risultati CPTU75

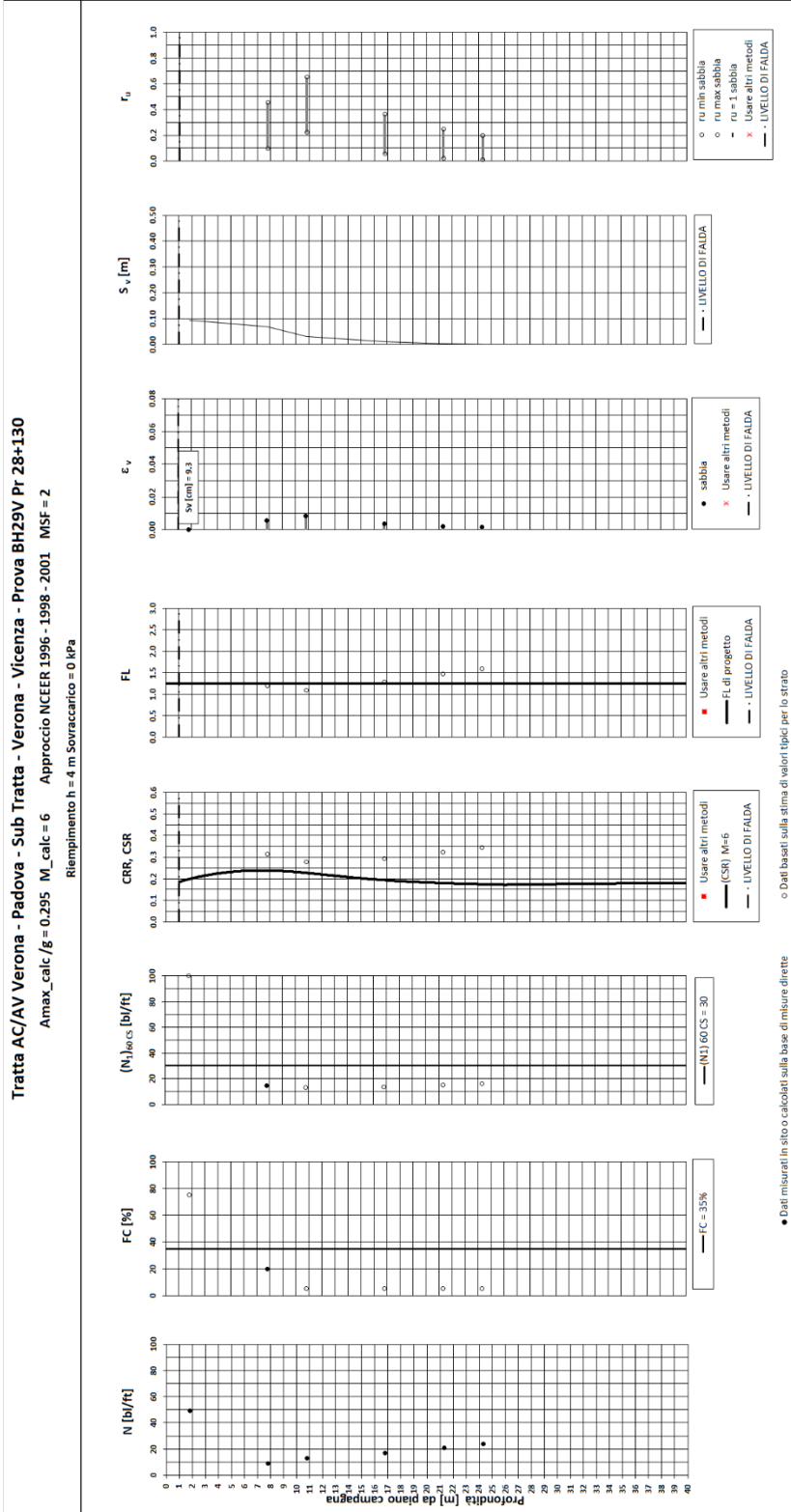




Figura 9 – Verifica Liquefazione da risultati BH29V

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 26 di 83

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:

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

GENERAL CONTRACTOR 		ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 27 di 83

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)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 8 – Coefficienti parziali per verifiche di stabilità globale

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 28 di 83

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/m ³
Peso elementi in cls	25 kN/m ³

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

6.2.2 Azioni variabili

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

6.2.3 Azione sismica

L'azione sismica di progetto è stata definita sulla base della pericolosità sismica di base ed in considerazione di quanto discusso nel capitolo 5. Nelle analisi essa è stata definita adottando un'azione statica equivalente definita dal

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 29 di 83</p>

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

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 30 di 83

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.

6.3.2 Verifiche SLU in condizione statiche

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

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

In Figura 10 sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2. Il valore minimo di FS è pari a:

$$FS_{MIN} (DA1C2) = 1.141 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

6.3.3 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 è stato preso un livello coincidente con piano campagna, come riportato nel paragrafo 4.3. Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

In Figura 11 sono riportate le superfici di rottura critiche. Il fattore di sicurezza FS è pari a:

$$FS_{MIN} = 1.152 > R2 = 1.1$$

la verifica di stabilità globale in condizioni sismiche risulta soddisfatta.

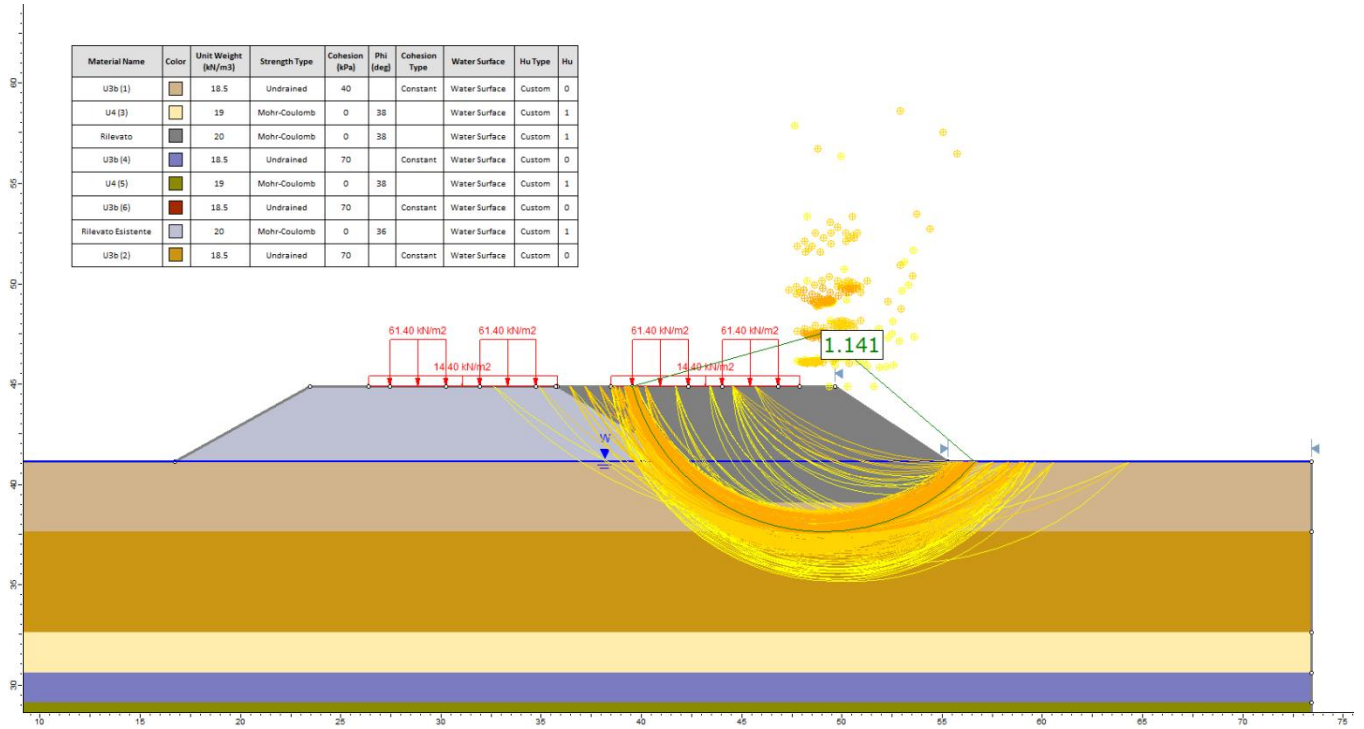


Figura 10 – Analisi SLU in campo statico DA1C2

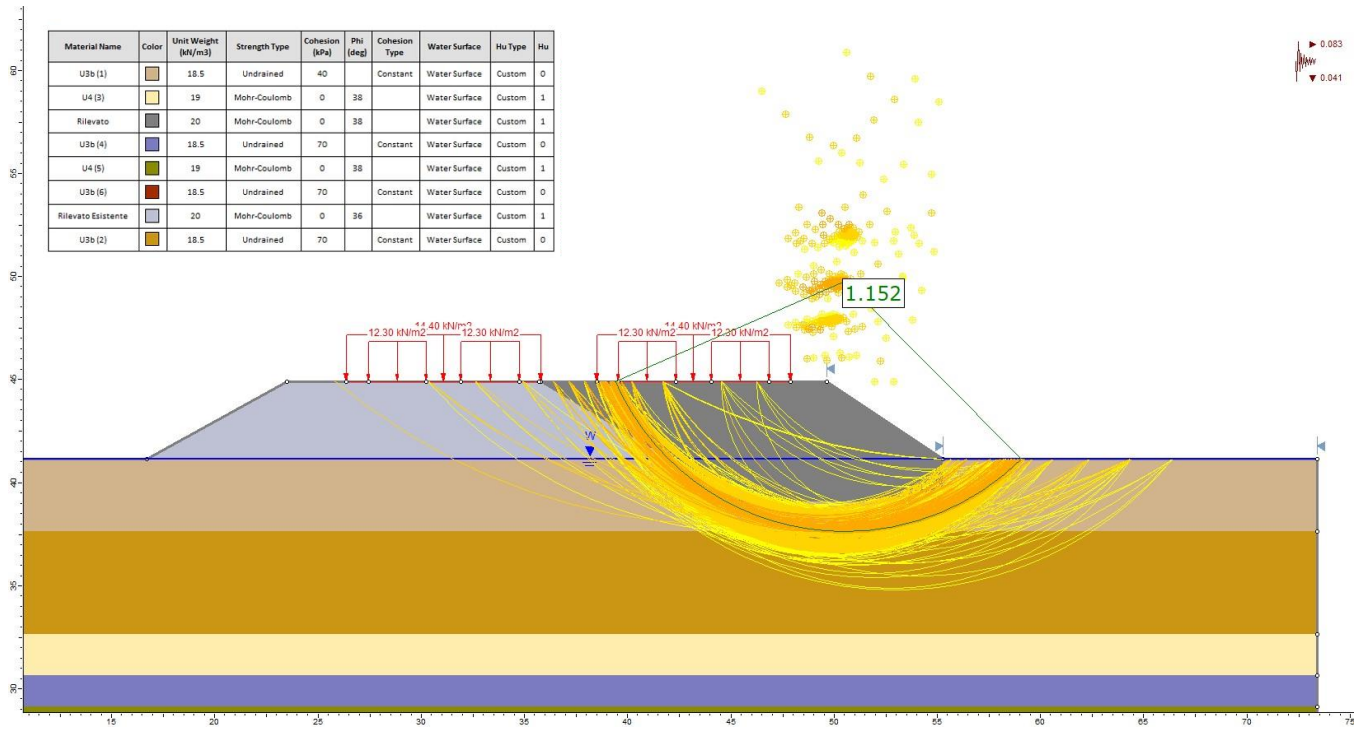



Figura 11 – Analisi SLU in condizione sismica

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 32 di 83

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>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 33 di 83</p>

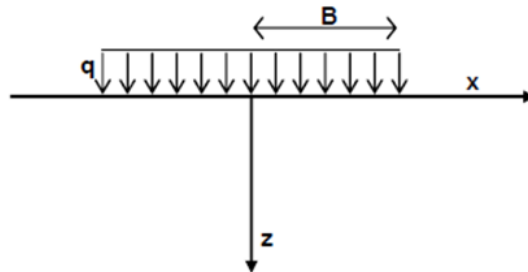


Figura 12 – Modello di calcolo Settle 3D – carico uniforme

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:

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

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

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

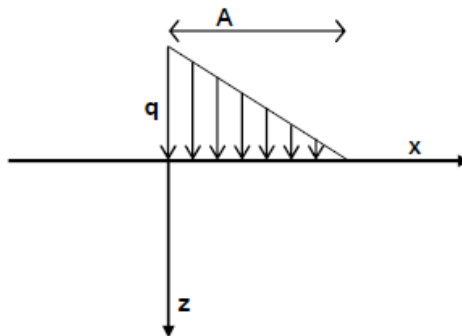


Figura 13 - Modello di calcolo Settle 3D – carico linearmente crescente

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 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 34 di 83</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 3.8 m, è riportato in Figura 12. La larghezza del rilevato esistente è pari a 25 m, quella del rilevato in affiancamento è di 10 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 massicciata ferroviaria.

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

- Rilevato esistente (linea storica), vedi Figura 14 a)
- Affiancamento e completamento rilevato nuova linea, vedi Figura 14 b)

Tenendo presenti le fitte intercalazioni sabbiose rinvenute all'interno degli strati superficiali (caratterizzati cautelativamente da una resistenza al taglio non drenata), i cedimenti sono stati calcolati in modo drenato, mediante analisi non accoppiata. Tenendo infatti in conto:

- Della fitta presenza di tali strati sabbiosi, tali per cui gli strati di terreo a grana fine continui non superano i 2/3 m di spessore
- Il rilevante atteso contributo del drenaggio in direzione orizzontale
- Il fatto che i materiali verranno comunque ricompresi nel ramo di ricarica, con conseguenti modesti sviluppi di sovrappressione interstiziale,

se ne conclude che i cedimenti saranno pressoché contestuali all'applicazione dei carichi, con decorso del cedimento nel tempo praticamente trascurabile.

I cedimenti sono stati calcolati al centro del nuovo rilevato, ed in corrispondenza dei due binari della linea storica adiacente, in modo da determinarne il cedimento differenziale dovuto alla costruzione del nuovo rilevato.

I valori calcolati sono riportati nella Figura 15 e Figura 16, dove sono anche indicate le posizioni delle rotaie della linea storica e l'asse dei binari della linea AV.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 35 di 83

Risulta quanto segue:

- Il cedimento differenziale per ciascuna delle rotaie esistenti risulta di pochi millimetri, abbondantemente inferiore del limite definito.
- I cedimenti per consolidazione massimi, calcolati sotto la nuova linea, sono di circa 11 cm. Come già descritto, a causa la presenza di fitte intercalazioni sabbiose, ed il rilevante contributo del drenaggio in senso orizzontale, tali cedimenti saranno praticamente contestuali all'applicazione del carico. I cedimenti differiti nel tempo saranno praticamente trascurabili, e comunque di gran lunga inferiori al valore ammissibile di 5 cm..

La verifica SLE è quindi da considerarsi soddisfatta.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 36 di 83</p>

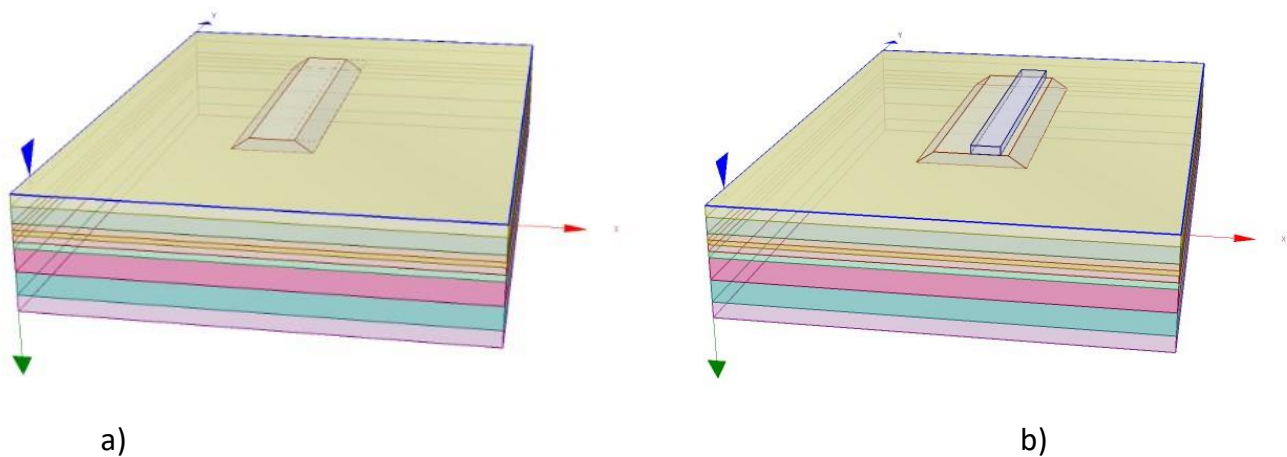


Figura 14 - Rilevato RI45 - Analisi SLE – Modello di calcolo

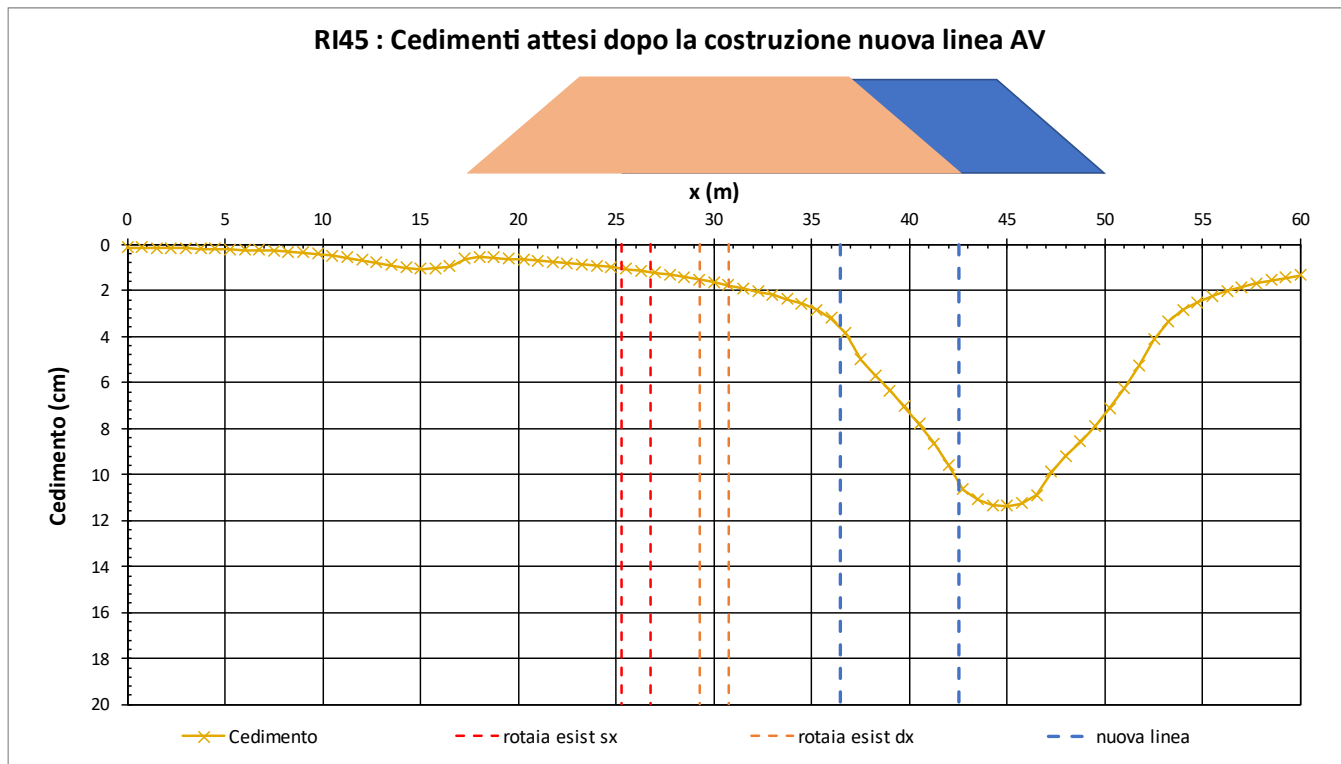


Figura 15 - Rilevato RI45 - Analisi SLE – Cedimenti

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 37 di 83</p>

Ri45: Cedimento al centro del rilevato ferroviario Av

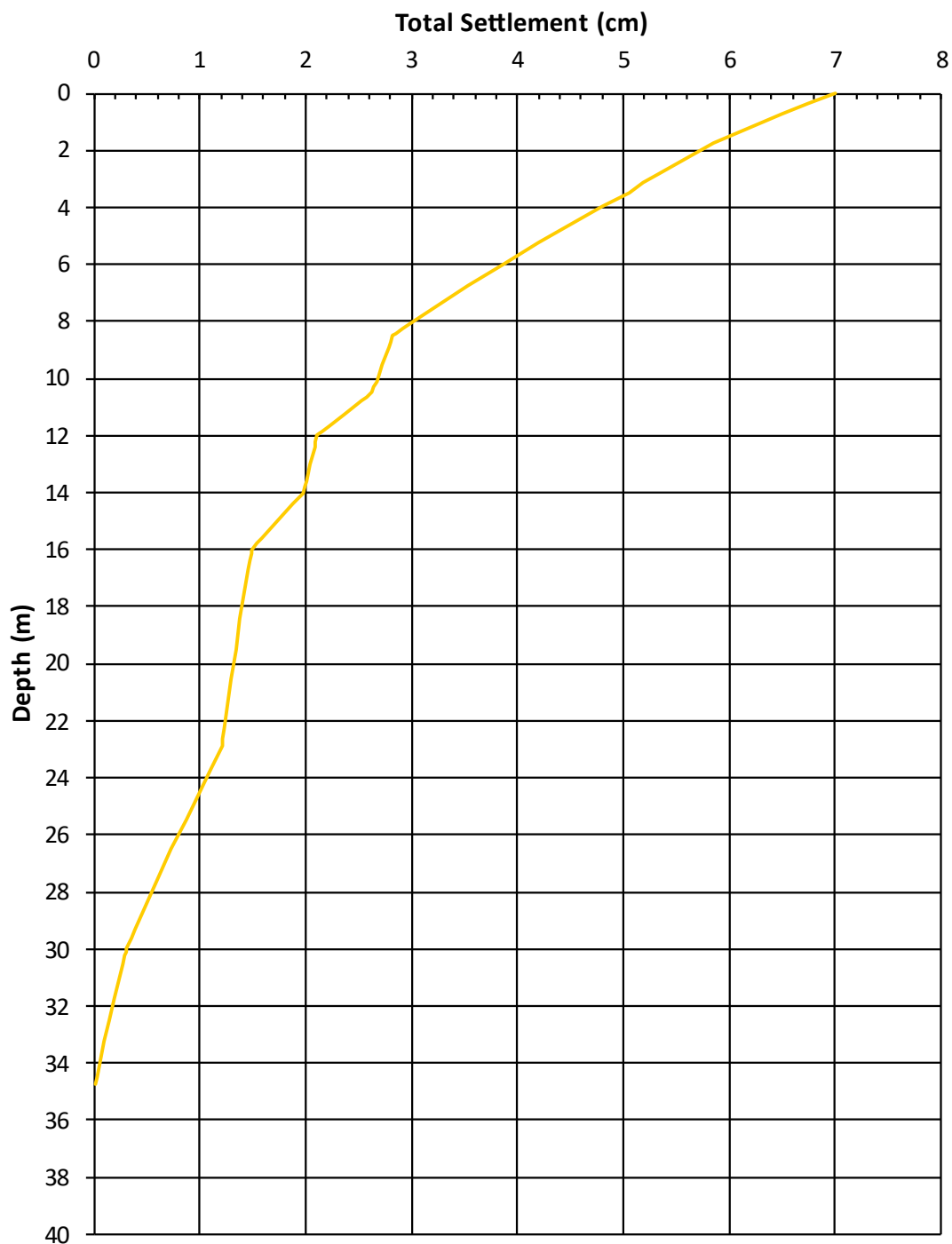




Figura 16 - Rilevato RI45 - Analisi SLE – Risultato cedimenti in profondità al centro del rilevato AV

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 38 di 83

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 		ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica		Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 39 di 83

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_G	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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 40 di 83

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 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 41 di 83</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>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 42 di 83</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).

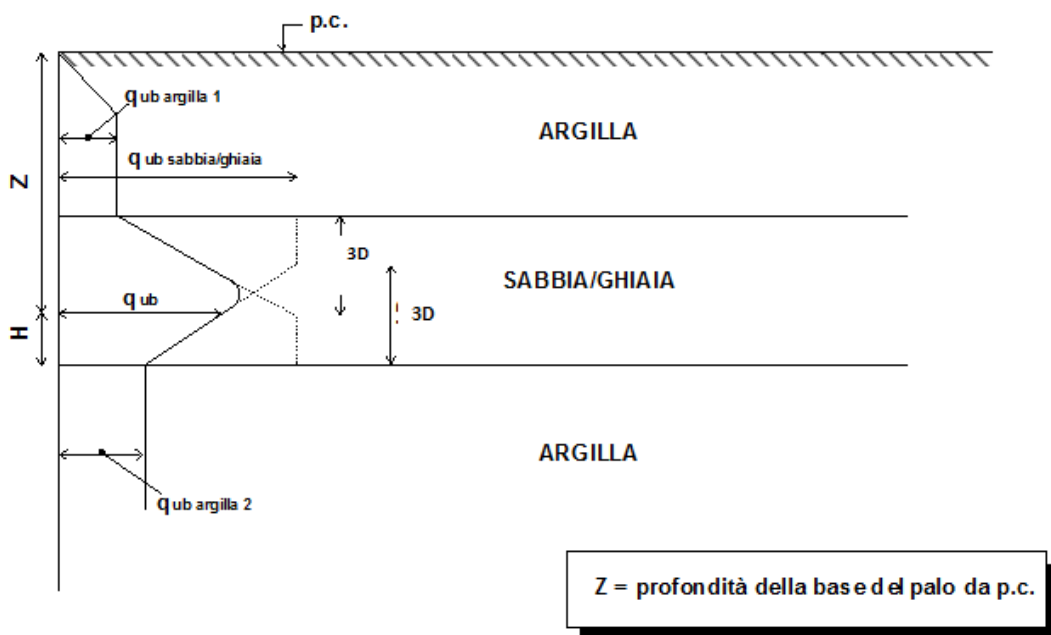




Figura 17 - Criterio di valutazione della pressione ultima di base (q_{ub}) in terreni stratificati

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 43 di 83

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 27+817,02 a pk 28+175,00

Unità	da m pc*	a m pc*	γ kN/m ³	$c_{u,k}$ kPa	$Q_{b,cr}$ (kPa)	k_n (kN/m ³)
3b	0	3.5	18.5	40	-	-
3b	3.5	8.5	18.5	70	-	15000
4	8.5	10.5	19	-	1500	-
3b	10.5	12	18.5	70	-	15000
4	12	14	19	-	1500	-
3b	14	16	18.5	70	-	15000
4	16	21	19	-	2000	-
4	21	23	19	-	1500	15000
3b	23	30	19	80	-	-
2	30	-	19	100	-	-

* quota piano campagna = 31.5 m s.l.m.

quota imposta muro = quota testa pali = 29.9 m s.l.m.

La quota testa pali si trova quindi a 1.6 metri al disotto del p.c.

Tenuto conto delle numerose indagini condotte nell'area, si è assunto un valore di $\xi_4=1.34$.

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)

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

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 e $D=1500$ mm. Coerentemente a quanto dichiarato nel Capitolo 6, per quanto riguarda le condizioni sismiche, si faccia riferimento alle curve agli SLU.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 44 di 83</p>

lpalo m	CARICO LIMITE ULTIMO			CURVE SLU				
	Q _{b,lim} kN	Q _{b,cr} kN	Q _{ROT,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	407	407	0	0	225	225	0
0.50	41	407	445	27	24	225	248	27
1.00	83	407	483	54	50	225	269	57
1.50	124	407	521	80	74	225	292	84
2.00	174	407	567	113	104	225	319	118
2.50	238	451	672	154	142	249	381	159
3.00	311	494	785	202	186	273	448	206
3.50	384	538	898	249	229	297	514	253
4.00	456	582	1011	296	272	322	581	299
4.50	529	625	1123	343	316	345	647	347
5.00	601	669	1236	390	359	370	714	393
5.50	674	713	1349	437	402	394	782	439
6.00	746	713	1418	484	445	394	823	486
6.50	819	713	1487	531	489	394	866	533
7.00	900	713	1565	584	537	394	913	585
7.50	1000	853	1803	649	597	472	1052	648
8.00	1113	994	2052	722	664	549	1199	718
8.50	1228	853	2024	797	733	472	1190	791
9.00	1335	713	1987	866	797	394	1178	858
9.50	1420	713	2068	921	848	394	1229	912
10.00	1492	713	2137	968	891	394	1271	959
10.50	1578	713	2220	1024	942	394	1322	1013
11.00	1692	853	2471	1098	1010	472	1468	1085
11.50	1822	994	2737	1182	1088	549	1627	1166
12.00	1953	853	2724	1267	1166	472	1630	1247
12.50	2070	713	2697	1343	1236	394	1623	1321
13.00	2157	713	2782	1400	1288	394	1675	1376
13.50	2230	713	2851	1447	1331	394	1717	1423
14.00	2303	713	2920	1494	1375	394	1760	1470
14.50	2391	713	3005	1552	1427	394	1813	1525
15.00	2511	934	3343	1629	1499	516	2008	1601
15.50	2646	1155	3696	1717	1580	638	2214	1685
16.00	2782	1377	4050	1805	1661	761	2419	1770
16.50	2918	1518	4323	1894	1742	839	2582	1854
17.00	3053	1659	4596	1981	1823	917	2743	1938
17.50	3187	1800	4868	2068	1903	995	2903	2022
18.00	3321	1723	4922	2155	1983	952	2943	2105
18.50	3455	1588	4917	2242	2063	878	2950	2189
19.00	3587	1453	4911	2328	2141	803	2957	2270
19.50	3717	1318	4903	2412	2219	729	2962	2351
20.00	3847	1192	4903	2496	2297	659	2972	2433
20.50	3975	1066	4902	2579	2373	589	2981	2512
21.00	4101	940	4898	2661	2448	520	2988	2591
21.50	4216	814	4884	2736	2517	450	2989	2663
22.00	4313	814	4978	2799	2575	450	3048	2724
22.50	4403	814	5064	2857	2629	450	3101	2782
23.00	4494	814	5153	2916	2683	450	3156	2839
23.50	4588	814	5243	2977	2739	450	3213	2898
24.00	4683	814	5335	3039	2796	450	3269	2959
24.50	4781	814	5429	3103	2854	450	3328	3020
25.00	4880	814	5525	3167	2913	450	3387	3083
25.50	4981	814	5622	3232	2974	450	3449	3147
26.00	5084	814	5722	3299	3035	450	3512	3211
26.50	5188	814	5823	3367	3097	450	3574	3277
27.00	5295	814	5926	3436	3161	450	3639	3344
27.50	5403	814	6031	3506	3226	450	3704	3413
28.00	5513	814	6138	3578	3291	450	3771	3481
28.50	5625	814	6246	3650	3358	450	3840	3551
29.00	5739	843	6386	3724	3426	466	3924	3623
29.50	5855	872	6527	3799	3496	482	4012	3696
30.00	5972	902	6670	3875	3565	499	4099	3769

Figura 18 – Riassunto curve di capacità portante SLU/SLE per pali D=1200 mm

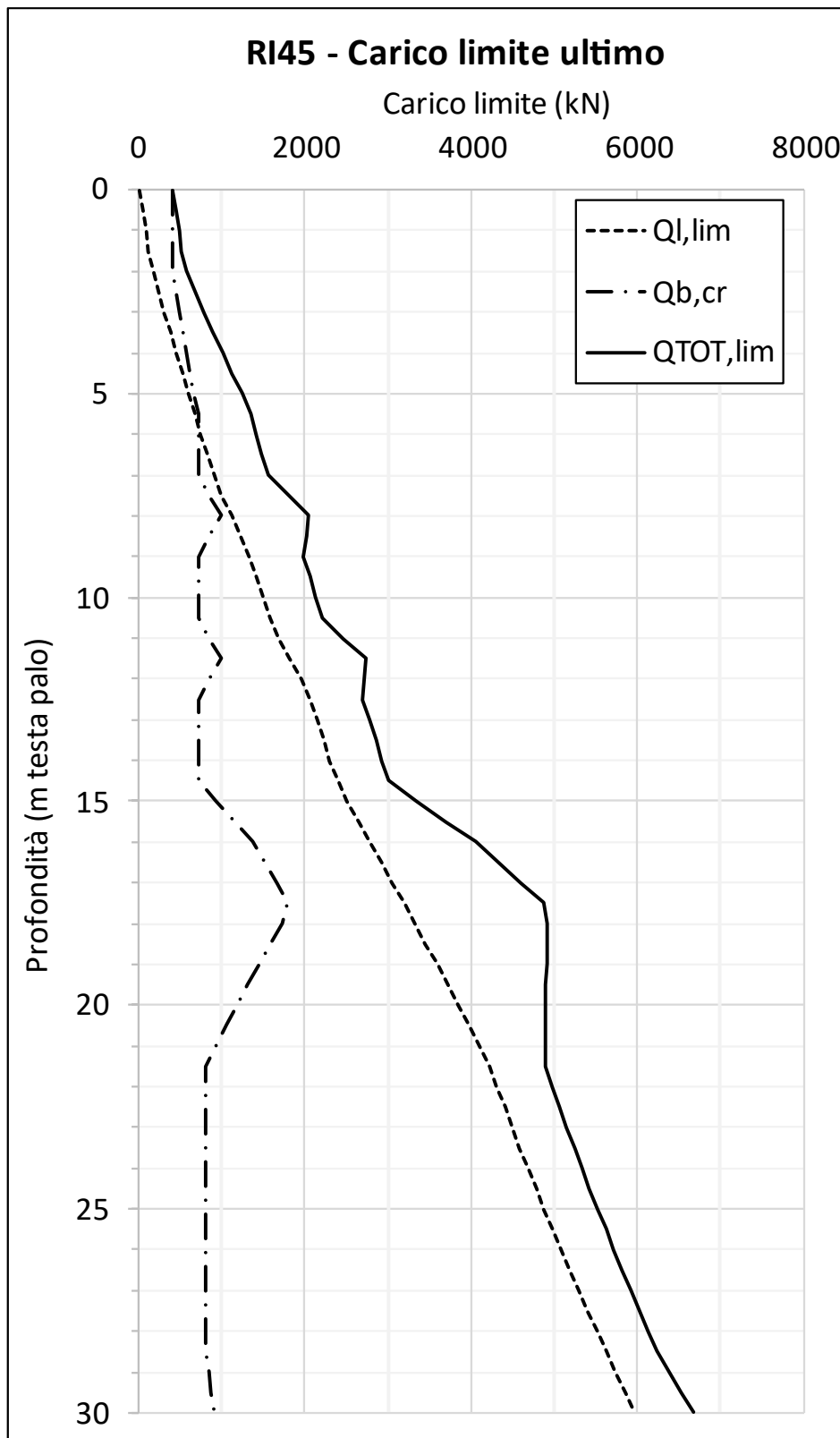


Figura 19 – Curve di carico limite ultimo per pali $D=1200$ mm



Figura 20 – Curve di capacità portante SLU, compressione per pali $D=1200$ mm

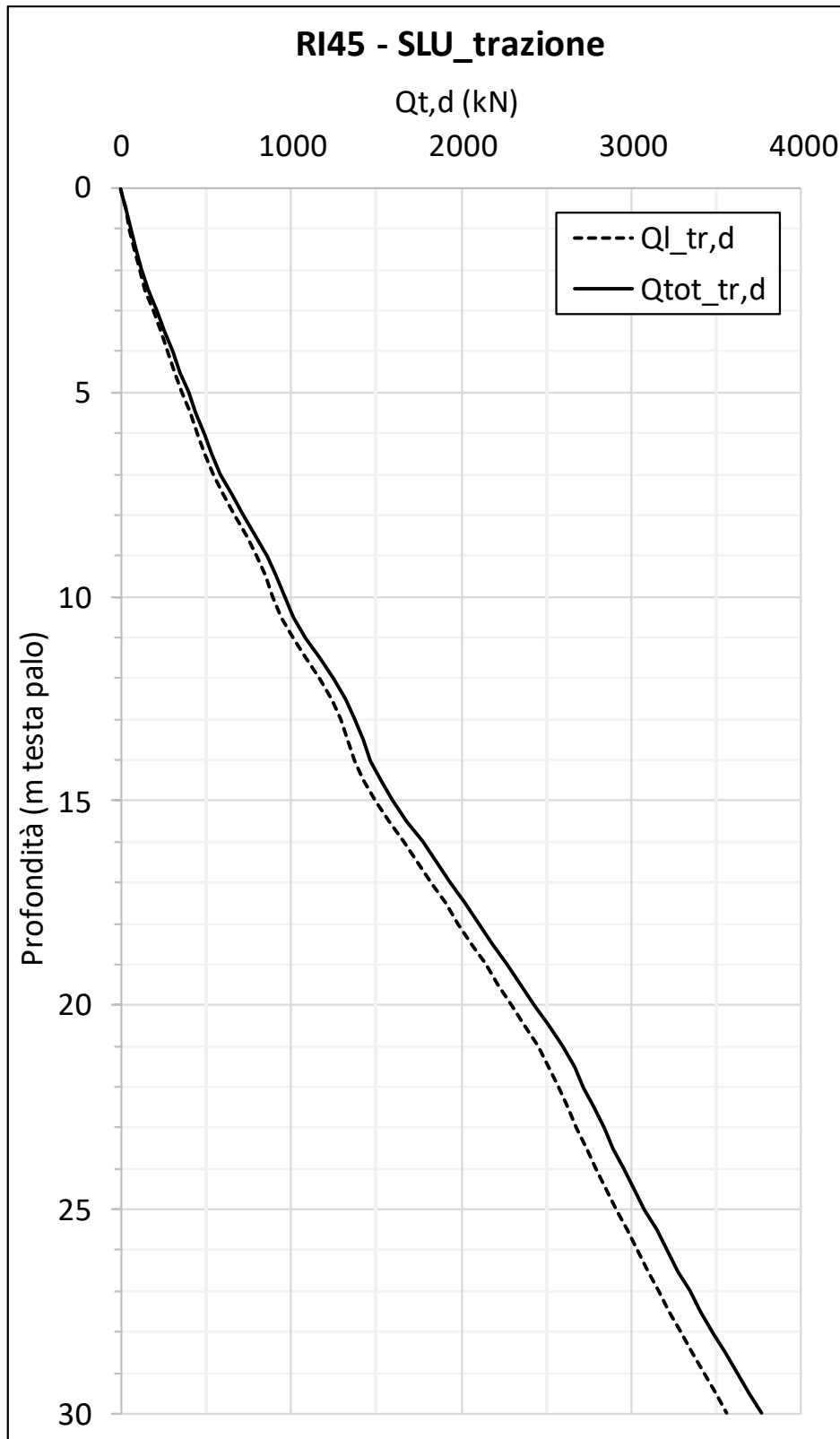




Figura 21 – Curve di capacità portante SLU, trazione per pali D=1200 mm

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 48 di 83</p>

lpalo m	CARICO LIMITE ULTIMO			CURVE SLU				
	Q _{b,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	636	636	0	0	352	352	0
0.50	52	636	683	34	31	352	379	36
1.00	104	636	729	67	62	352	404	73
1.50	156	636	776	101	93	352	431	109
2.00	217	636	832	141	130	352	464	151
2.50	298	689	961	193	178	381	538	205
3.00	389	742	1099	252	232	410	619	264
3.50	479	795	1238	311	286	439	700	323
4.00	570	848	1376	370	340	469	782	382
4.50	661	901	1514	429	395	498	862	443
5.00	752	954	1653	488	449	527	944	502
5.50	842	1007	1791	546	503	557	1025	561
6.00	933	1060	1930	605	557	586	1105	621
6.50	1024	1113	2068	665	611	615	1187	680
7.00	1125	1113	2164	730	672	615	1245	746
7.50	1251	1284	2455	812	747	710	1414	827
8.00	1391	1455	2761	903	830	804	1592	915
8.50	1536	1284	2730	997	917	710	1585	1007
9.00	1669	1113	2687	1083	996	615	1570	1091
9.50	1775	1113	2787	1152	1060	615	1631	1161
10.00	1865	1113	2873	1210	1113	615	1682	1219
10.50	1973	1113	2975	1280	1178	615	1746	1289
11.00	2115	1284	3283	1372	1263	710	1924	1380
11.50	2277	1455	3610	1478	1359	804	2117	1481
12.00	2441	1284	3598	1584	1457	710	2122	1584
12.50	2587	1113	3568	1679	1544	615	2114	1677
13.00	2697	1113	3672	1750	1610	615	2179	1748
13.50	2788	1113	3758	1809	1664	615	2231	1807
14.00	2878	1113	3843	1868	1718	615	2283	1866
14.50	2989	1113	3948	1940	1784	615	2347	1938
15.00	3138	1382	4362	2036	1873	764	2586	2032
15.50	3308	1617	4761	2147	1975	894	2819	2139
16.00	3477	1852	5160	2256	2076	1024	3051	2246
16.50	3647	2087	5559	2367	2177	1154	3284	2352
17.00	3816	2322	5958	2476	2278	1284	3517	2458
17.50	3984	2557	6356	2585	2379	1413	3748	2565
18.00	4152	2435	6396	2694	2479	1346	3783	2670
18.50	4318	2251	6373	2802	2578	1244	3782	2774
19.00	4483	2068	6350	2909	2676	1143	3781	2877
19.50	4647	1885	6325	3016	2774	1042	3778	2981
20.00	4808	1732	6328	3120	2870	957	3791	3082
20.50	4968	1579	6329	3224	2966	873	3804	3183
21.00	5126	1425	6329	3326	3060	788	3813	3283
21.50	5270	1272	6314	3420	3146	703	3815	3374
22.00	5391	1272	6430	3498	3219	703	3887	3452
22.50	5503	1272	6537	3571	3285	703	3952	3524
23.00	5618	1272	6647	3646	3354	703	4019	3598
23.50	5735	1272	6758	3722	3424	703	4089	3673
24.00	5854	1272	6872	3799	3495	703	4159	3749
24.50	5976	1272	6989	3878	3568	703	4230	3828
25.00	6100	1272	7107	3958	3642	703	4304	3907
25.50	6226	1272	7228	4040	3717	703	4379	3987
26.00	6355	1272	7351	4124	3794	703	4454	4070
26.50	6485	1272	7477	4208	3872	703	4532	4153
27.00	6618	1272	7605	4295	3951	703	4612	4237
27.50	6754	1272	7735	4383	4032	703	4692	4324
28.00	6892	1272	7867	4472	4115	703	4775	4412
28.50	7032	1272	8002	4563	4198	703	4859	4500
29.00	7174	1308	8174	4655	4283	723	4964	4590
29.50	7319	1343	8349	4750	4370	742	5069	4683
30.00	7466	1378	8526	4845	4457	762	5177	4775

Figura 22 – Riassunto curve di capacità portante SLU e carico limite ultimo per pali D=1500 mm

Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

Codifica

EI2RBRI450001A

Foglio

49 di 83

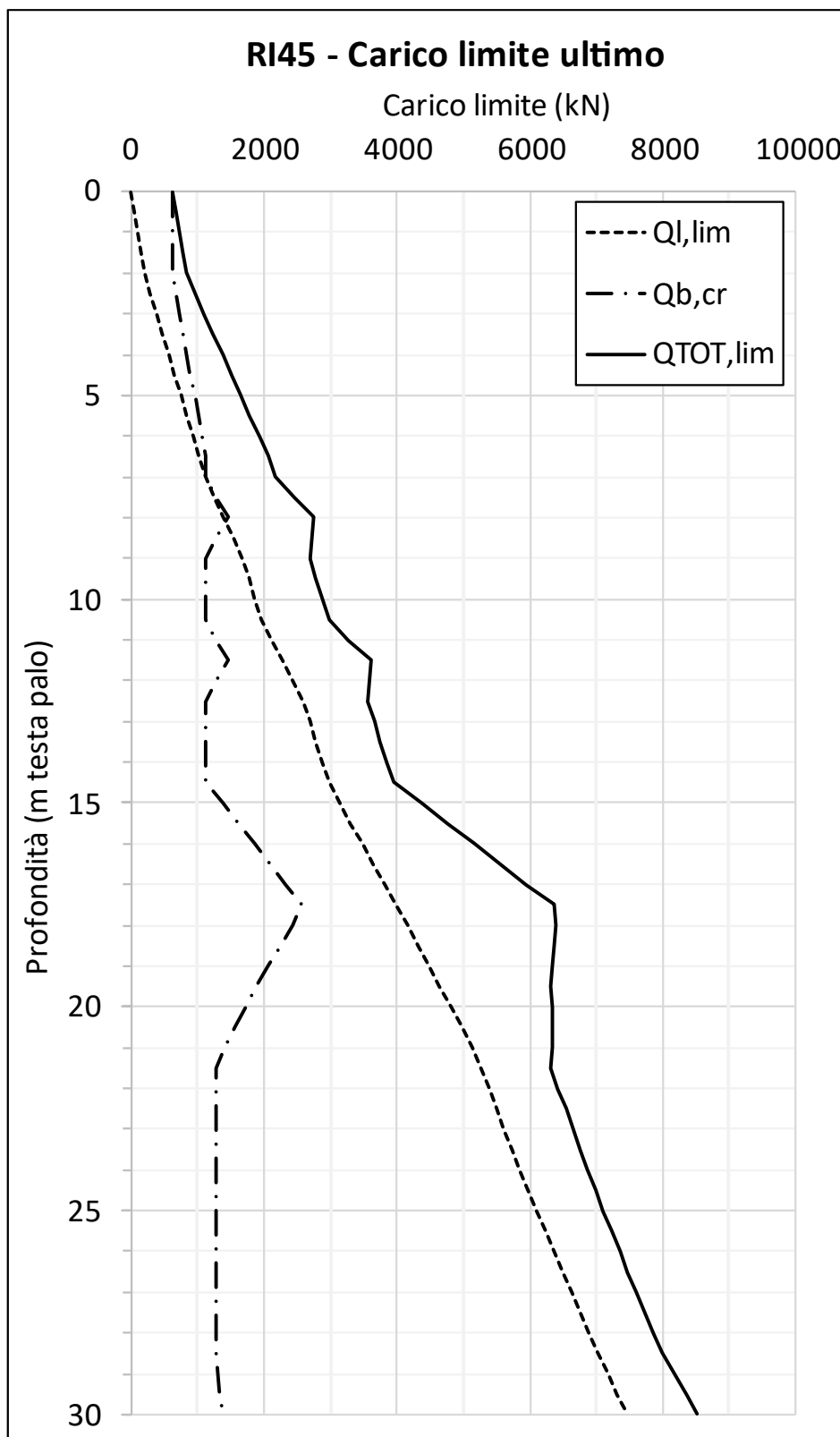


Figura 23 – Curve di carico limite ultimo per pali D=1500 mm



Figura 24 – Curve di capacità portante SLU, compressione per pali $D=1500$ mm

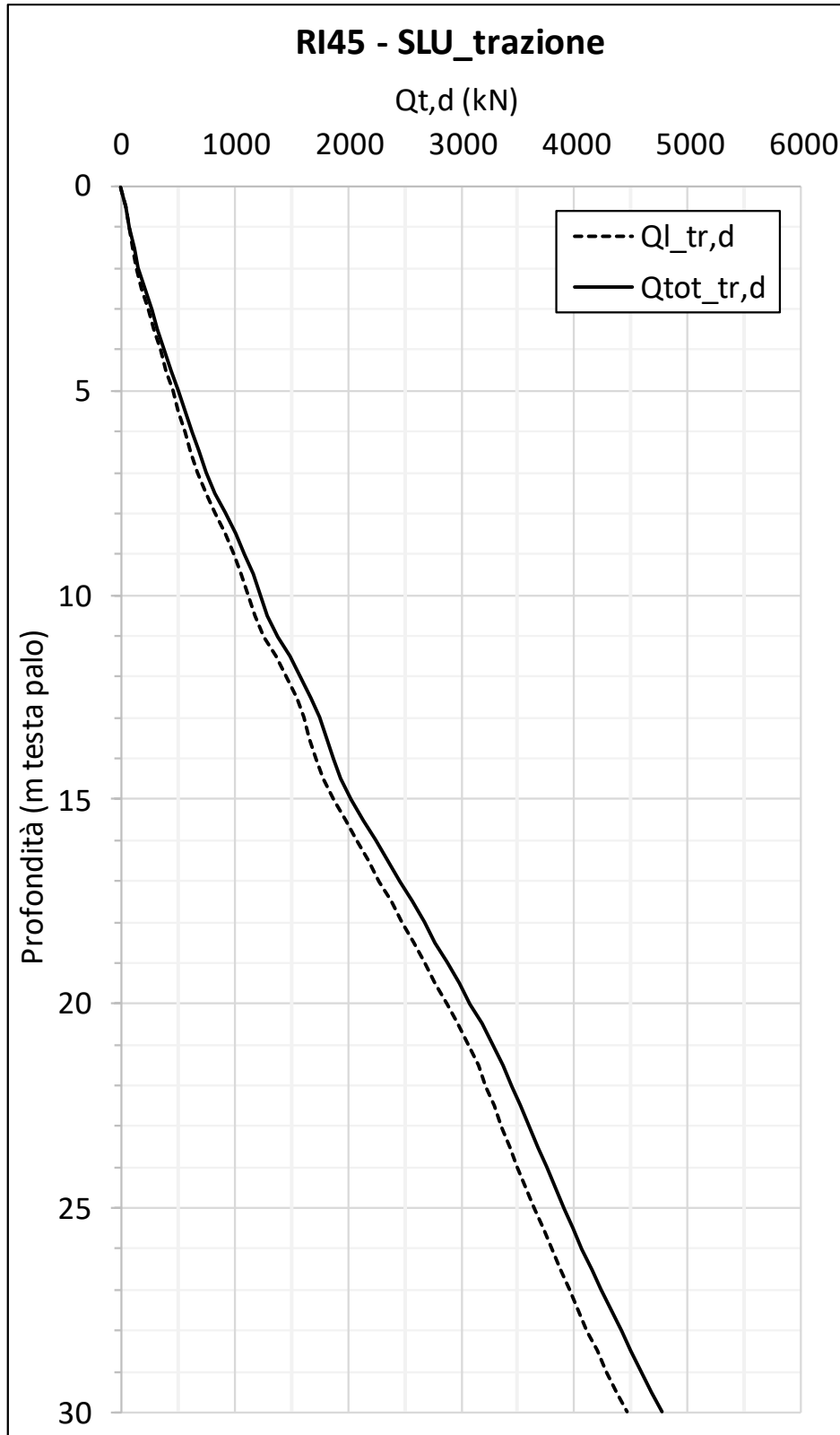


Figura 25 – Curve di capacità portante SLU, trazione per pali D=1500 mm

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 52 di 83

8 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

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

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 53 di 83</p>

ALLEGATI

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 54 di 83</p>

ALLEGATO 1- TABULATI DI SLIDE- ANALISI SLU STATICA

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 55 di 83</p>

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: Ri45_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 $m\alpha < 0.2$: Yes
Create interslice boundaries at intersections with water tables and piezos: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI450001A

Foglio
56 di 83

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

6 Distributed Loads present

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 57 di 83

Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Distributed Load 4

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









Distributed Load 5

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

Distributed Load 6

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

Material Properties

Property	U3b (1)	U4 (3)	Rilevato	U3b (4)	U4 (5)	U3b (6)	Rilevato Esistente	U3b (2)
Color								
Strength Type	Undrained	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained	Mohr-Coulomb	Undrained	Mohr-Coulomb	Undrained
Unit Weight [kN/m ³]	18.5	19	20	18.5	19	18.5	20	18.5
Cohesion [kPa]		0	0		0		0	
Friction Angle [deg]		38	38		38		36	
Cohesion Type	40			70		70		70
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	0	1	1	0	1	0	1	0

Global Minimums
Method: bishop simplified

FS	1.140650
Center:	49.072, 47.534
Radius:	9.908
Left Slip Surface Endpoint:	39.525, 44.882
Right Slip Surface Endpoint:	56.631, 41.128
Resisting Moment:	6609.13 kN-m
Driving Moment:	5794.17 kN-m
Total Slice Area:	82.2944 m ²
Surface Horizontal Width:	17.1057 m
Surface Average Height:	4.81093 m

Method: janbu simplified

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 58 di 83</p>



FS	0.980187
Center:	49.083, 47.531
Radius:	9.898
Left Slip Surface Endpoint:	39.546, 44.882
Right Slip Surface Endpoint:	56.631, 41.128
Resisting Horizontal Force:	512.103 kN
Driving Horizontal Force:	522.454 kN
Total Slice Area:	82.0836 m ²
Surface Horizontal Width:	17.0847 m
Surface Average Height:	4.80451 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1963
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: janbu simplified

Number of Valid Surfaces: 1937
Number of Invalid Surfaces: 26

Error Codes:

Error Code -108 reported for 2 surfaces
Error Code -112 reported for 24 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

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.14065

Empty table content



Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI450001A

59 di 83

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 11



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 11

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	0.306504	2.83373	-71.6585	Rilevato	0	32.0066	21.4095	24.4208	39.0716	0	39.0716	103.651	103.651
2	0.306504	7.83928	-66.6085	Rilevato	0	32.0066	30.0051	34.2253	54.7579	0	54.7579	124.124	124.124
3	0.306504	11.8126	-62.4589	Rilevato	0	32.0066	36.6291	41.781	66.8465	0	66.8465	137.087	137.087
4	0.306504	15.1671	-58.8296	Rilevato	0	32.0066	42.5613	48.5476	77.6727	0	77.6727	148.032	148.032
5	0.306504	18.0896	-55.5504	Rilevato	0	32.0066	47.9989	54.75	87.596	0	87.596	157.567	157.567
6	0.45558	31.5658	-51.8507	Rilevato Esistente	0	30.1666	51.8719	59.1677	101.797	0	101.797	167.834	167.834
7	0.350242	27.5677	-48.1984	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	149.24	0	149.24	177.253	177.253
8	0.350242	29.9955	-45.2407	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	158.925	0	158.925	184.185	184.185
9	0.350242	32.2736	-42.4303	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	116.989	0	116.989	139.885	139.885
10	0.350242	34.3636	-39.7412	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	96.0101	0	96.0101	116.836	116.836
11	0.350242	36.2763	-37.1535	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	103.316	0	103.316	122.297	122.297
12	0.350242	38.0298	-34.6517	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	109.99	0	109.99	127.303	127.303
13	0.350242	39.6387	-32.2235	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	116.109	0	116.109	131.897	131.897
14	0.350242	41.1147	-29.8587	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	184.206	0	184.206	198.585	198.585
15	0.350242	42.4674	-27.5488	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	206.727	0	206.727	219.793	219.793
16	0.350242	43.7048	-25.2865	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	211.493	0	211.493	223.326	223.326
17	0.350242	44.8334	-23.0658	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	215.882	0	215.882	226.548	226.548
18	0.350242	45.8369	-20.8812	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	219.857	0	219.857	229.413	229.413
19	0.350242	46.6617	-18.728	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	223.276	0	223.276	231.768	231.768
20	0.350242	47.3847	-16.6019	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	226.364	0	226.364	233.832	233.832
21	0.350242	48.0165	-14.4991	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	229.158	0	229.158	235.636	235.636
22	0.350242	48.5597	-12.4161	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	168.757	0	168.757	174.271	174.271
23	0.350242	49.0168	-10.3497	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	154.097	0	154.097	158.672	158.672
24	0.350242	49.3895	-8.29687	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	156.083	0	156.083	159.736	159.736
25	0.350242	49.6793	-6.2547	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	143.024	0	143.024	145.769	145.769
26	0.350242	49.8874	-4.22048	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	140.589	0	140.589	142.437	142.437
27	0.350242	50.0145	-2.19159	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	141.842	0	141.842	142.8	142.8
28	0.407454	58.2349	0	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	142.924	0	142.924	142.924	142.924
29	0.335699	47.9403	2.14947	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	143.748	0	143.748	142.807	142.807
30	0.335699	47.305	4.09393	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	142.707	0	142.707	140.915	140.915
31	0.335699	45.6383	6.04313	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	138.602	0	138.602	135.95	135.95
32	0.335699	43.8788	7.99938	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	134.228	0	134.228	130.708	130.708
33	0.335699	42.0465	9.96508	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	129.651	0	129.651	125.25	125.25
34	0.335699	40.1402	11.9427	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	124.869	0	124.869	119.571	119.571
35	0.335699	38.1559	13.9349	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	119.875	0	119.875	113.66	113.66
36	0.335699	36.0759	15.9445	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	114.62	0	114.62	107.464	107.464
37	0.335699	33.9125	17.9744	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	109.146	0	109.146	101.02	101.02
38	0.335699	31.667	20.028	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	103.461	0	103.461	94.3307	94.3307
39	0.335699	29.3363	22.1088	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	97.5631	0	97.5631	87.3875	87.3875
40	0.335699	26.9165	24.2209	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	91.4475	0	91.4475	80.1794	80.1794
41	0.335699	24.4035	26.3686	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	85.1104	0	85.1104	72.6934	72.6934
42	0.335699	21.7921	28.5571	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	78.5468	0	78.5468	64.9143	64.9143
43	0.335699	19.0762	30.7921	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	71.7511	0	71.7511	56.8239	56.8239
44	0.335699	16.2487	33.0805	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	64.7175	0	64.7175	48.4008	48.4008
45	0.335699	13.3007	35.4302	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	57.4396	0	57.4396	39.6188	39.6188
46	0.316063	9.66517	37.7777	Rilevato	0	32.0066	15.8232	18.0487	42.8425	13.9658	28.8767	30.5786	16.6128
47	0.333033	7.14971	40.1947	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	42.6298	0	42.6298	21.4663	21.4663
48	0.333033	5.33398	42.7671	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	39.1823	0	39.1823	16.014	16.014
49	0.333033	3.34283	45.4515	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	35.4812	0	35.4812	10.0349	10.0349
50	0.333033	1.1503	48.271	U3b (1)	28.5714	0	25.0483	28.5714	31.5361	0	31.5361	3.45104	3.45104

Global Minimum Query (janbu simplified) - Safety Factor: 0.980187



Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI450001A

60 di 83

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 6 of 11



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 6 of 11

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	0.309939	2.89296	-71.631	Rilevato	0	32.0066	23.556	23.0893	36.9412	0	36.9412	107.881	107.881
2	0.309939	7.99838	-66.5301	Rilevato	0	32.0066	32.1213	31.4849	50.3735	0	50.3735	124.354	124.354
3	0.309939	12.044	-62.3441	Rilevato	0	32.0066	39.5244	38.7413	61.9832	0	61.9832	137.407	137.407
4	0.309939	15.4561	-58.6848	Rilevato	0	32.0066	46.2074	45.2919	72.4636	0	72.4636	148.416	148.416
5	0.309939	18.4266	-55.3794	Rilevato	0	32.0066	52.3752	51.3375	82.1362	0	82.1362	158	158
6	0.439392	30.544	-51.7457	Rilevato Esistente	0	30.1666	56.8797	55.7527	95.9212	0	95.9212	168.062	168.062
7	0.344735	27.1144	-48.1943	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	144.601	0	144.601	177.196	177.196
8	0.344735	29.4701	-45.2791	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	154.595	0	154.595	184.029	184.029
9	0.344735	31.6832	-42.5074	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	110.845	0	110.845	137.562	137.562
10	0.344735	33.7145	-39.8539	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	92.1881	0	92.1881	116.521	116.521
11	0.344735	35.5755	-37.2996	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	99.7138	0	99.7138	121.919	121.919
12	0.344735	37.2838	-34.8296	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	106.593	0	106.593	126.874	126.874
13	0.344735	38.8532	-32.4317	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	112.905	0	112.905	131.426	131.426
14	0.344735	40.2948	-30.0961	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	177.082	0	177.082	193.976	193.976
15	0.344735	41.6179	-27.8146	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	203.888	0	203.888	219.266	219.266
16	0.344735	42.83	-25.5801	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	208.829	0	208.829	222.782	222.782
17	0.344735	43.9376	-23.3866	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	213.389	0	213.389	225.995	225.995
18	0.344735	44.9319	-21.229	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	217.556	0	217.556	228.879	228.879
19	0.344735	45.7521	-19.1025	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	221.163	0	221.163	231.258	231.258
20	0.344735	46.4689	-17.0031	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	224.424	0	224.424	233.337	233.337
21	0.344735	47.0981	-14.9269	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	227.391	0	227.391	235.162	235.162
22	0.344735	47.6424	-12.8707	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	181.465	0	181.465	188.125	188.125
23	0.344735	48.1039	-10.8312	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	152.682	0	152.682	158.259	158.259
24	0.344735	48.4845	-8.80554	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	154.848	0	154.848	159.363	159.363
25	0.344735	48.7857	-6.79091	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	146.222	0	146.222	149.693	149.693
26	0.344735	49.0086	-4.7847	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	139.724	0	139.724	142.163	142.163
27	0.344735	49.1541	-2.78436	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	141.168	0	141.168	142.585	142.585
28	0.344735	49.2226	0.787418	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	142.384	0	142.384	142.784	142.784
29	0.344735	49.2145	1.20857	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	143.375	0	143.375	142.76	142.76
30	0.344735	48.9964	3.20603	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	143.76	0	143.76	142.128	142.128
31	0.344735	47.5256	5.2074	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	140.518	0	140.518	137.861	137.861
32	0.344735	45.7016	7.21517	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	136.26	0	136.26	132.57	132.57
33	0.344735	43.7991	9.2319	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	131.789	0	131.789	127.051	127.051
34	0.344735	41.817	11.2603	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	127.105	0	127.105	121.301	121.301
35	0.344735	39.7532	13.303	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	122.207	0	122.207	115.314	115.314
36	0.344735	37.5896	15.3632	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	117.047	0	117.047	109.038	109.038
37	0.344735	35.3315	17.444	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	111.647	0	111.647	102.488	102.488
38	0.344735	32.9851	19.5488	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	106.032	0	106.032	95.6815	95.6815
39	0.344735	30.5471	21.6815	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	100.198	0	100.198	88.609	88.609
40	0.344735	28.0134	23.8463	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	94.1439	0	94.1439	81.2596	81.2596
41	0.344735	25.3796	26.0479	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	87.8663	0	87.8663	73.6192	73.6192
42	0.344735	22.6399	28.2918	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	81.3616	0	81.3616	65.672	65.672
43	0.344735	19.7879	30.5841	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	74.6263	0	74.6263	57.3986	57.3986
44	0.344735	16.8155	32.9321	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	67.6566	0	67.6566	48.7761	48.7761
45	0.344735	13.7132	35.3443	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	60.4494	0	60.4494	39.7769	39.7769
46	0.318811	9.75203	37.7345	Rilevato	0	32.0066	20.9295	20.5148	46.7833	13.9612	32.8221	30.5871	16.6259
47	0.333033	7.14241	40.1628	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	46.0444	0	46.0444	21.444	21.444
48	0.333033	5.32866	42.7367	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	42.9302	0	42.9302	15.9978	15.9978
49	0.333033	3.33957	45.4227	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	39.6069	0	39.6069	10.0247	10.0247
50	0.333033	1.1492	48.2437	U3b (1)	28.5714	0	29.1489	28.5714	36.0989	0	36.0989	3.44748	3.44748

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.14065

--



Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI450001A

61 di 83

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 7 of 11



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 7 of 11

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	39.525	44.8821	0	0	0
2	39.8315	43.9575	29.5616	0	0
3	40.138	43.2489	59.1661	0	0
4	40.4445	42.6612	87.2299	0	0
5	40.751	42.1545	113.542	0	0
6	41.0575	41.7077	137.97	0	0
7	41.5131	41.1277	173.382	0	0
8	41.8634	40.736	223.068	0	0
9	42.2136	40.3828	270.428	0	0
10	42.5638	40.0626	299.11	0	0
11	42.9141	39.7714	318.296	0	0
12	43.2643	39.506	336.944	0	0
13	43.6146	39.264	354.799	0	0
14	43.9648	39.0432	371.659	0	0
15	44.3151	38.8421	399.924	0	0
16	44.6653	38.6594	428.922	0	0
17	45.0155	38.494	455.143	0	0
18	45.3658	38.3448	478.568	0	0
19	45.716	38.2112	499.172	0	0
20	46.0663	38.0925	516.912	0	0
21	46.4165	37.9881	531.777	0	0
22	46.7668	37.8975	543.761	0	0
23	47.117	37.8204	548.001	0	0
24	47.4672	37.7564	549.086	0	0
25	47.8175	37.7053	548.286	0	0
26	48.1677	37.6669	545.004	0	0
27	48.518	37.6411	539.866	0	0
28	48.8682	37.6277	532.995	0	0
29	49.2757	37.6277	522.79	0	0
30	49.6114	37.6403	512.571	0	0
31	49.9471	37.6643	500.734	0	0
32	50.2828	37.6999	487.401	0	0
33	50.6185	37.747	472.66	0	0
34	50.9542	37.806	456.606	0	0
35	51.2899	37.877	439.331	0	0
36	51.6255	37.9603	420.939	0	0
37	51.9612	38.0562	401.538	0	0
38	52.2969	38.1651	381.243	0	0
39	52.6326	38.2875	360.175	0	0
40	52.9683	38.4239	338.462	0	0
41	53.304	38.5749	316.244	0	0
42	53.6397	38.7413	293.673	0	0
43	53.9754	38.924	270.914	0	0
44	54.3111	39.1241	248.152	0	0
45	54.6468	39.3427	225.592	0	0
46	54.9825	39.5816	203.466	0	0
47	55.2986	39.8266	187.97	0	0
48	55.6316	40.1079	167.634	0	0
49	55.9647	40.416	147.223	0	0
50	56.2977	40.7543	126.878	0	0
51	56.6307	41.1277	0	0	0

Global Minimum Query (janbu simplified) - Safety Factor: 0.980187





Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI450001A

62 di 83

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 8 of 11



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 8 of 11

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	39.546	44.8821	0	0	0
2	39.856	43.9487	27.1806	0	0
3	40.1659	43.2348	53.1844	0	0
4	40.4759	42.6434	77.5956	0	0
5	40.7858	42.1339	100.193	0	0
6	41.0957	41.685	120.835	0	0
7	41.5351	41.1277	149.3	0	0
8	41.8799	40.7422	194.995	0	0
9	42.2246	40.3941	238.763	0	0
10	42.5693	40.0781	263.74	0	0
11	42.9141	39.7904	280.221	0	0
12	43.2588	39.5277	296.36	0	0
13	43.6035	39.2879	311.879	0	0
14	43.9483	39.0688	326.563	0	0
15	44.293	38.869	351.897	0	0
16	44.6377	38.6872	378.93	0	0
17	44.9825	38.5221	403.344	0	0
18	45.3272	38.3731	425.109	0	0
19	45.672	38.2391	444.196	0	0
20	46.0167	38.1198	460.553	0	0
21	46.3614	38.0143	474.163	0	0
22	46.7062	37.9224	485.013	0	0
23	47.0509	37.8437	489.259	0	0
24	47.3956	37.7777	489.282	0	0
25	47.7404	37.7243	487.504	0	0
26	48.0851	37.6833	483.459	0	0
27	48.4298	37.6544	477.443	0	0
28	48.7746	37.6376	469.762	0	0
29	49.1193	37.6329	460.389	0	0
30	49.464	37.6402	449.299	0	0
31	49.8088	37.6595	436.475	0	0
32	50.1535	37.6909	422.013	0	0
33	50.4982	37.7345	406.018	0	0
34	50.843	37.7906	388.586	0	0
35	51.1877	37.8592	369.814	0	0
36	51.5324	37.9407	349.806	0	0
37	51.8772	38.0354	328.672	0	0
38	52.2219	38.1438	306.53	0	0
39	52.5666	38.2662	283.503	0	0
40	52.9114	38.4032	259.723	0	0
41	53.2561	38.5556	235.33	0	0
42	53.6009	38.7241	210.477	0	0
43	53.9456	38.9097	185.332	0	0
44	54.2903	39.1134	160.08	0	0
45	54.6351	39.3367	134.925	0	0
46	54.9798	39.5812	110.098	0	0
47	55.2986	39.8279	91.8841	0	0
48	55.6316	40.109	69.2361	0	0
49	55.9647	40.4167	46.3195	0	0
50	56.2977	40.7547	23.2265	0	0
51	56.6307	41.1277	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
2.9658	41.1277
73.424	41.1277

Distributed Load

--

X	Y
35.7909	44.8821
35.719	44.8821
34.7409	44.8821
31.9409	44.8821
30.2409	44.8821
27.4409	44.8821
26.3909	44.8821

Distributed Load

X	Y
47.8909	44.8821
46.8409	44.8821
44.0409	44.8821
42.3409	44.8821
39.5409	44.8821
38.4909	44.8821

Distributed Load

X	Y
30.2409	44.8821
27.4409	44.8821

Distributed Load

X	Y
34.7409	44.8821
31.9409	44.8821

Distributed Load

X	Y
42.3409	44.8821
39.5409	44.8821

Distributed Load

X	Y
46.8409	44.8821
44.0409	44.8821

External Boundary

--



X	Y
73.424	25.1277
73.424	25.1277
73.424	27.1277
73.424	29.1277
73.424	30.6277
73.424	32.6277
73.424	37.6277
73.424	41.1277
55.2986	41.1277
49.6673	44.8821
47.8909	44.8821
46.8409	44.8821
44.0409	44.8821
42.3409	44.8821
39.5409	44.8821
38.4909	44.8821
35.7909	44.8821
35.719	44.8821
34.7409	44.8821
31.9409	44.8821
30.2409	44.8821
27.4409	44.8821
26.3909	44.8821
23.4876	44.8821
16.7282	41.1277
2.9658	41.1277
2.9658	37.6277
2.9658	32.6277
2.9658	30.6277
2.9658	29.1277
2.9658	27.1277
2.9658	25.1277

Material Boundary

X	Y
35.719	44.8821
42.033	41.1277
45.4939	39.0698
51.475	39.0698
55.2986	39.6277
55.2986	41.1277

Material Boundary

X	Y
16.7282	41.1277
42.033	41.1277

Material Boundary

X	Y
2.9658	37.6277
73.424	37.6277


Material Boundary

X	Y
2.9658	32.6277
73.424	32.6277

Material Boundary

X	Y
2.9658	30.6277
73.424	30.6277

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI450001A

Foglio
65 di 83



Material Boundary

X	Y
2.9658	29.1277
73.424	29.1277

Material Boundary

X	Y
2.9658	27.1277
73.424	27.1277

Material Boundary

X	Y
2.9658	25.1277
73.424	25.1277

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 66 di 83</p>

ALLEGATO 2- TABULATI DI SLIDE- ANALISI SLU SISMICA

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 67 di 83</p>

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

File Name: Ri45_sisma_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_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 piezos: Yes
Initial trial value of FS: 1
Steffensen Iteration: Yes

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 68 di 83</p>

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

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.083
Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.041

6 Distributed Loads present

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica	Progetto IN17	Lotto 12	Codifica EI2RBRI450001A	Foglio 69 di 83

Distributed Load 1

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

Distributed Load 2

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

Distributed Load 3

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

Distributed Load 4

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









Distributed Load 5

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

Distributed Load 6

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

Material Properties


Property	U3b (1)	U4 (3)	Rilevato	U3b (4)	U4 (5)	U3b (6)	Rilevato Esistente	U3b (2)
Color								
Strength Type	Undrained	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained	Mohr-Coulomb	Undrained	Mohr-Coulomb	Undrained
Unit Weight [kN/m3]	18.5	19	20	18.5	19	18.5	20	18.5
Cohesion [kPa]		0	0		0		0	
Friction Angle [deg]		38	38		38		36	
Cohesion Type	40			70			70	
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	0	1	1	0	1	0	1	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS	1.151900
Center:	50.518, 49.778
Radius:	12.152
Left Slip Surface Endpoint:	39.395, 44.882
Right Slip Surface Endpoint:	59.054, 41.128
Resisting Moment:	7186.78 kN-m
Driving Moment:	6239.04 kN-m
Total Slice Area:	86.0646 m2
Surface Horizontal Width:	19.6583 m
Surface Average Height:	4.37802 m

Method: janbu simplified

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 70 di 83</p>



FS	1.036650
Center:	50.518, 49.778
Radius:	12.152
Left Slip Surface Endpoint:	39.395, 44.882
Right Slip Surface Endpoint:	59.054, 41.128
Resisting Horizontal Force:	500.915 kN
Driving Horizontal Force:	483.205 kN
Total Slice Area:	86.0646 m ²
Surface Horizontal Width:	19.6583 m
Surface Average Height:	4.37802 m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

Number of Valid Surfaces: 1982
Number of Invalid Surfaces: 0

Method: janbu simplified

Number of Valid Surfaces: 1977
Number of Invalid Surfaces: 5

Error Codes:

Error Code -108 reported for 2 surfaces
Error Code -112 reported for 3 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

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.1519

Empty table content



Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI450001A

71 di 83

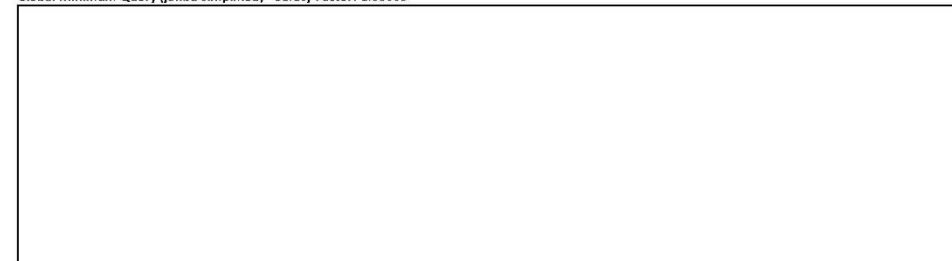
SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 11



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 5 of 11

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	0.418631	3.59199	-63.9924	Rilevato	0	32.0066	7.32335	8.43577	14.8463	0	14.8463	29.8564	29.8564
2	0.418631	10.1927	-59.7801	Rilevato	0	32.0066	13.2919	15.3109	26.9461	0	26.9461	49.7656	49.7656
3	0.418631	15.8047	-56.0515	Rilevato	0	32.0066	18.0275	20.7659	36.5463	0	36.5463	63.3251	63.3251
4	0.418631	20.7049	-52.6569	Rilevato	0	32.0066	22.5395	25.9632	45.6931	0	45.6931	75.2342	75.2342
5	0.418631	25.0544	-49.5097	Rilevato	0	32.0066	26.8439	30.9215	54.4194	0	54.4194	85.8603	85.8603
6	0.418631	28.9573	-46.5544	Rilevato	0	32.0066	30.9569	35.6593	62.7576	0	62.7576	95.4415	95.4415
7	0.0751296	5.58508	-44.8692	Rilevato Esistente	0	30.1666	31.7831	36.611	69.2871	0	69.2871	100.926	100.926
8	0.394884	31.0647	-43.3393	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	84.0588	0	84.0588	105.337	105.337
9	0.394884	33.81	-40.8289	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	82.1	0	82.1	101.583	101.583
10	0.394884	36.3391	-38.4104	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	90.5322	0	90.5322	108.411	108.411
11	0.394884	38.6725	-36.0706	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	98.2823	0	98.2823	114.707	114.707
12	0.394884	40.8278	-33.7985	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	105.428	0	105.428	120.522	120.522
13	0.394884	42.8192	-31.5854	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	121.709	0	121.709	135.573	135.573
14	0.394884	44.6587	-29.4237	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	130.441	0	130.441	143.159	143.159
15	0.394884	46.356	-27.3072	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	136.099	0	136.099	147.741	147.741
16	0.394884	47.9187	-25.2303	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	141.337	0	141.337	151.962	151.962
17	0.394884	49.2716	-23.1884	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	145.966	0	145.966	155.625	155.625
18	0.394884	50.4483	-21.1773	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	150.084	0	150.084	158.819	158.819
19	0.394884	51.5092	-19.1932	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	153.856	0	153.856	161.705	161.705
20	0.394884	52.4587	-17.2328	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	148.737	0	148.737	155.731	155.731
21	0.394884	53.3005	-15.2929	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	148.13	0	148.13	154.295	154.295
22	0.394884	54.0377	-13.3709	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	150.425	0	150.425	155.785	155.785
23	0.394884	54.6731	-11.4642	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	139.1	0	139.1	143.673	143.673
24	0.394884	55.2088	-9.57019	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	141.36	0	141.36	145.162	145.162
25	0.394884	55.6467	-7.68673	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	143.349	0	143.349	146.393	146.393
26	0.394884	55.9882	-5.8116	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	145.072	0	145.072	147.367	147.367
27	0.394884	55.9329	-3.9427	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	145.742	0	145.742	147.296	147.296
28	0.394884	54.2268	-2.07799	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	142.054	0	142.054	142.872	142.872
29	0.486284	63.9857	0	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	136.976	0	136.976	136.976	136.976
30	0.394884	49.5871	2.07799	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	131.622	0	131.622	130.804	130.804
31	0.394884	47.3555	3.9427	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	126.549	0	126.549	124.995	124.995
32	0.394884	45.0071	5.8116	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	121.173	0	121.173	118.878	118.878
33	0.394884	42.5522	7.68673	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	115.524	0	115.524	112.481	112.481
34	0.394884	40.001	9.57019	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	109.633	0	109.633	105.831	105.831
35	0.394884	37.352	11.4642	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	103.498	0	103.498	98.9247	98.9247
36	0.394884	34.6033	13.3709	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	97.117	0	97.117	91.7572	91.7572
37	0.394884	31.7527	15.2929	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	90.4886	0	90.4886	84.323	84.323
38	0.394884	28.7975	17.2328	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	83.6096	0	83.6096	76.6154	76.6154
39	0.394884	25.7347	19.1932	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	76.4758	0	76.4758	68.6265	68.6265
40	0.394884	22.5604	21.1773	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	69.083	0	69.083	60.3471	60.3471
41	0.394884	19.092	23.1884	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	60.9548	0	60.9548	51.2957	51.2957
42	0.394884	17.1044	25.2303	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	56.7779	0	56.7779	46.1527	46.1527
43	0.394884	15.68	27.3072	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	54.1411	0	54.1411	42.4992	42.4992
44	0.394884	14.1218	29.4237	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	51.217	0	51.217	38.4991	38.4991
45	0.394884	12.4214	31.5854	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	47.9951	0	47.9951	34.131	34.131
46	0.394884	10.569	33.7985	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	44.4649	0	44.4649	29.3707	29.3707
47	0.394884	8.55279	36.0706	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	40.6135	0	40.6135	24.1884	24.1884
48	0.394884	6.35847	38.4104	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	36.4275	0	36.4275	18.5489	18.5489
49	0.394884	3.96851	40.8289	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	31.8923	0	31.8923	12.4089	12.4089
50	0.394884	1.3611	43.3393	U3b (1)	28.5714	0	22.5488	25.974	26.9927	0	26.9927	5.71452	5.71452

Global Minimum Query (janbu simplified) - Safety Factor: 1.03665



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 6 of 11



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 6 of 11

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	0.418631	3.59199	-63.9924	Rilevato	0	32.0066	7.68794	7.9697	14.026	0	14.026	29.7834	29.7834
2	0.418631	10.1927	-59.7801	Rilevato	0	32.0066	14.0187	14.5325	25.5761	0	25.5761	49.6434	49.6434
3	0.418631	15.8047	-56.0515	Rilevato	0	32.0066	19.0857	19.7852	34.8203	0	34.8203	63.171	63.171
4	0.418631	20.7049	-52.6569	Rilevato	0	32.0066	23.9402	24.8176	43.6771	0	43.6771	75.0541	75.0541
5	0.418631	25.0544	-49.5097	Rilevato	0	32.0066	28.5943	29.6423	52.168	0	52.168	85.6591	85.6591
6	0.418631	28.9573	-46.5544	Rilevato	0	32.0066	33.0612	34.2729	60.3176	0	60.3176	95.2232	95.2232
7	0.0751296	5.58508	-44.8692	Rilevato Esistente	0	30.1666	34.0521	35.3001	66.8064	0	66.8064	100.703	100.703
8	0.394884	31.0647	-43.3393	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	81.4594	0	81.4594	105.103	105.103
9	0.394884	33.81	-40.8289	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	79.7198	0	79.7198	101.369	101.369
10	0.394884	36.3391	-38.4104	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	88.3481	0	88.3481	108.214	108.214
11	0.394884	38.6725	-36.0706	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	96.2757	0	96.2757	114.527	114.527
12	0.394884	40.8278	-33.7985	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	103.584	0	103.584	120.357	120.357
13	0.394884	42.8192	-31.5854	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	120.015	0	120.015	135.42	135.42
14	0.394884	44.6587	-29.4237	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	128.887	0	128.887	143.019	143.019
15	0.394884	46.356	-27.3072	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	134.677	0	134.677	147.613	147.613
16	0.394884	47.9187	-25.2303	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	140.039	0	140.039	151.845	151.845
17	0.394884	49.2716	-23.1884	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	144.786	0	144.786	155.519	155.519
18	0.394884	50.4483	-21.1773	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	149.016	0	149.016	158.723	158.723
19	0.394884	51.5092	-19.1932	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	152.897	0	152.897	161.619	161.619
20	0.394884	52.4587	-17.2328	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	147.883	0	147.883	155.654	155.654
21	0.394884	53.3005	-15.2929	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	147.376	0	147.376	154.227	154.227
22	0.394884	54.0377	-13.3709	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	149.77	0	149.77	155.726	155.726
23	0.394884	54.6731	-11.4642	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	138.541	0	138.541	143.623	143.623
24	0.394884	55.2088	-9.57019	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	140.896	0	140.896	145.12	145.12
25	0.394884	55.6467	-7.68673	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	142.977	0	142.977	146.359	146.359
26	0.394884	55.9882	-5.8116	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	144.792	0	144.792	147.342	147.342
27	0.394884	55.9329	-3.9427	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	145.552	0	145.552	147.279	147.279
28	0.394884	54.2268	-2.07799	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	141.954	0	141.954	142.863	142.863
29	0.486284	63.9857	0	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	136.976	0	136.976	136.976	136.976
30	0.394884	49.5871	2.07799	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	131.722	0	131.722	130.813	130.813
31	0.394884	47.3555	3.9427	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	126.739	0	126.739	125.012	125.012
32	0.394884	45.0071	5.8116	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	121.453	0	121.453	118.903	118.903
33	0.394884	42.5522	7.68673	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	115.896	0	115.896	112.515	112.515
34	0.394884	40.001	9.57019	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	110.098	0	110.098	105.873	105.873
35	0.394884	37.352	11.4642	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	104.056	0	104.056	98.975	98.975
36	0.394884	34.6033	13.3709	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	97.7719	0	97.7719	91.8162	91.8162
37	0.394884	31.7527	15.2929	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	91.242	0	91.242	84.3908	84.3908
38	0.394884	28.7975	17.2328	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	84.4638	0	84.4638	76.6921	76.6921
39	0.394884	25.7347	19.1932	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	77.4348	0	77.4348	68.7128	68.7128
40	0.394884	22.5604	21.1773	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	70.1501	0	70.1501	60.443	60.443
41	0.394884	19.092	23.1884	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	62.135	0	62.135	51.4021	51.4021
42	0.394884	17.1044	25.2303	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	58.0759	0	58.0759	46.2694	46.2694
43	0.394884	15.68	27.3072	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	55.5634	0	55.5634	42.6272	42.6272
44	0.394884	14.1218	29.4237	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	52.7705	0	52.7705	38.6386	38.6386
45	0.394884	12.4214	31.5854	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	49.6888	0	49.6888	34.2832	34.2832
46	0.394884	10.569	33.7985	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	46.3088	0	46.3088	29.5364	29.5364
47	0.394884	8.55279	36.0706	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	42.6201	0	42.6201	24.3689	24.3689
48	0.394884	6.35847	38.4104	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	38.6119	0	38.6119	18.7455	18.7455
49	0.394884	3.96851	40.8289	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	34.2726	0	34.2726	12.6231	12.6231
50	0.394884	1.3611	43.3393	U3b (1)	28.5714	0	25.0557	25.974	29.5922	0	29.5922	5.94844	5.94844

Interslice Data

Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.1519

--



Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00
Relazione Geotecnica

Progetto

Lotto

Codifica

Foglio

IN17

12

EI2RBRI450001A

73 di 83

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 7 of 11



Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	39.3954	44.8821	0	0	0
2	39.814	44.024	9.97114	0	0
3	40.2327	43.3053	24.6193	0	0
4	40.6513	42.6835	41.1111	0	0
5	41.0699	42.1348	58.4651	0	0
6	41.4886	41.6445	75.9907	0	0
7	41.9072	41.2025	93.1732	0	0
8	41.9823	41.1277	96.4309	0	0
9	42.3772	40.7551	121.429	0	0
10	42.7721	40.4139	143.344	0	0
11	43.167	40.1008	165.802	0	0
12	43.5619	39.8131	188.378	0	0
13	43.9567	39.5488	210.732	0	0
14	44.3516	39.306	234.933	0	0
15	44.7465	39.0833	258.788	0	0
16	45.1414	38.8794	281.479	0	0
17	45.5363	38.6933	302.852	0	0
18	45.9312	38.5242	322.729	0	0
19	46.326	38.3712	340.973	0	0
20	46.7209	38.2337	357.493	0	0
21	47.1158	38.1112	371.162	0	0
22	47.5107	38.0033	382.677	0	0
23	47.9056	37.9094	392.378	0	0
24	48.3005	37.8293	399.151	0	0
25	48.6954	37.7627	404.242	0	0
26	49.0902	37.7094	407.597	0	0
27	49.4851	37.6692	409.171	0	0
28	49.88	37.642	408.876	0	0
29	50.2749	37.6277	406.509	0	0
30	50.7612	37.6277	400.855	0	0
31	51.1561	37.642	394.181	0	0
32	51.5509	37.6692	385.764	0	0
33	51.9458	37.7094	375.726	0	0
34	52.3407	37.7627	364.197	0	0
35	52.7356	37.8293	351.314	0	0
36	53.1305	37.9094	337.222	0	0
37	53.5254	38.0033	322.075	0	0
38	53.9202	38.1112	306.036	0	0
39	54.3151	38.2337	289.282	0	0
40	54.71	38.3712	272.002	0	0
41	55.1049	38.5242	254.402	0	0
42	55.4998	38.6933	236.772	0	0
43	55.8947	38.8794	218.723	0	0
44	56.2896	39.0833	200.083	0	0
45	56.6844	39.306	180.944	0	0
46	57.0793	39.5488	161.419	0	0
47	57.4742	39.8131	141.639	0	0
48	57.8691	40.1008	121.763	0	0
49	58.264	40.4139	101.981	0	0
50	58.6589	40.7551	82.5253	0	0
51	59.0537	41.1277	0	0	0

Global Minimum Query (janbu simplified) - Safety Factor: 1.03665



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 8 of 11



SLIDE - An Interactive Slope Stability Program: Page 8 of 11

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	39.3954	44.8821	0	0	0
2	39.814	44.024	9.11504	0	0
3	40.2327	43.3053	22.475	0	0
4	40.6513	42.6835	37.4512	0	0
5	41.0699	42.1348	53.1137	0	0
6	41.4886	41.6445	68.8038	0	0
7	41.9072	41.2025	84.0284	0	0
8	41.9823	41.1277	86.9304	0	0
9	42.3772	40.7551	109.971	0	0
10	42.7721	40.4139	130.085	0	0
11	43.167	40.1008	150.87	0	0
12	43.5619	39.8131	171.88	0	0
13	43.9567	39.5488	192.758	0	0
14	44.3516	39.306	215.558	0	0
15	44.7465	39.0833	238.078	0	0
16	45.1414	38.8794	259.491	0	0
17	45.5363	38.6933	279.633	0	0
18	45.9312	38.5242	298.321	0	0
19	46.326	38.3712	315.413	0	0
20	46.7209	38.2337	330.813	0	0
21	47.1158	38.1112	343.388	0	0
22	47.5107	38.0033	353.833	0	0
23	47.9056	37.9094	362.483	0	0
24	48.3005	37.8293	368.223	0	0
25	48.6954	37.7627	372.294	0	0
26	49.0902	37.7094	374.64	0	0
27	49.4851	37.6692	375.214	0	0
28	49.88	37.642	373.925	0	0
29	50.2749	37.6277	370.568	0	0
30	50.7612	37.6277	363.696	0	0
31	51.1561	37.642	356.032	0	0
32	51.5509	37.6692	346.621	0	0
33	51.9458	37.7094	335.582	0	0
34	52.3407	37.7627	323.045	0	0
35	52.7356	37.8293	309.142	0	0
36	53.1305	37.9094	294.017	0	0
37	53.5254	38.0033	277.819	0	0
38	53.9202	38.1112	260.71	0	0
39	54.3151	38.2337	242.862	0	0
40	54.71	38.3712	224.461	0	0
41	55.1049	38.5242	205.709	0	0
42	55.4998	38.6933	186.891	0	0
43	55.8947	38.8794	167.612	0	0
44	56.2896	39.0833	147.692	0	0
45	56.6844	39.306	127.219	0	0
46	57.0793	39.5488	106.293	0	0
47	57.4742	39.8131	85.0366	0	0
48	57.8691	40.1008	63.5946	0	0
49	58.264	40.4139	42.1405	0	0
50	58.6589	40.7551	20.8834	0	0
51	59.0537	41.1277	0	0	0

List Of Coordinates


Water Table

X	Y
2.9658	41.1277
73.424	41.1277

Distributed Load

--

GENERAL CONTRACTOR



Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00
Relazione Geotecnica

ALTA SORVEGLIANZA



Progetto	Lotto	Codifica	Foglio
IN17	12	EI2RBRI450001A	75 di 83



X	Y
35.7909	44.8821
35.719	44.8821
34.7409	44.8821
31.9409	44.8821
30.2409	44.8821
27.4409	44.8821
26.3909	44.8821

Distributed Load

X	Y
47.8909	44.8821
46.8409	44.8821
44.0409	44.8821
42.3409	44.8821
39.5409	44.8821
38.4909	44.8821

Distributed Load

X	Y
30.2409	44.8821
27.4409	44.8821

Distributed Load

X	Y
34.7409	44.8821
31.9409	44.8821

Distributed Load

X	Y
42.3409	44.8821
39.5409	44.8821

Distributed Load

X	Y
46.8409	44.8821
44.0409	44.8821

External Boundary





X	Y
73.424	25.1277
73.424	25.1277
73.424	27.1277
73.424	29.1277
73.424	30.6277
73.424	32.6277
73.424	37.6277
73.424	41.1277
55.2986	41.1277
49.6673	44.8821
47.8909	44.8821
46.8409	44.8821
44.0409	44.8821
42.3409	44.8821
39.5409	44.8821
38.4909	44.8821
35.7909	44.8821
35.719	44.8821
34.7409	44.8821
31.9409	44.8821
30.2409	44.8821
27.4409	44.8821
26.3909	44.8821
23.4876	44.882
16.7282	41.1277
2.9658	41.1277
2.9658	37.6277
2.9658	32.6277
2.9658	30.6277
2.9658	29.1277
2.9658	27.1277
2.9658	25.1277

Material Boundary

X	Y
35.719	44.8821
42.033	41.1277
45.4939	39.0698
51.475	39.0698
55.2986	39.6277
55.2986	41.1277

Material Boundary

X	Y
16.7282	41.1277
42.033	41.1277

Material Boundary

X	Y
2.9658	37.6277
73.424	37.6277


Material Boundary

X	Y
2.9658	32.6277
73.424	32.6277

Material Boundary

X	Y
2.9658	30.6277
73.424	30.6277

GENERAL CONTRACTOR



Consorzio IricAV Due

ALTA SORVEGLIANZA



ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00
Relazione Geotecnica

Progetto
IN17

Lotto
12

Codifica
EI2RBRI450001A

Foglio
77 di 83

Material Boundary

X	Y
2.9658	29.1277
73.424	29.1277

Material Boundary

X	Y
2.9658	27.1277
73.424	27.1277

Material Boundary

X	Y
2.9658	25.1277
73.424	25.1277

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 78 di 83</p>

ALLEGATO 3- TABULATI DI SETTLE 3D – ANALISI SLE

Settle3D Analysis Information

Project Settings

Document Name: Project 1
Date Created: 16/09/2021, 15:43:54
Stress Computation Method: Boussinesq
Groundwater method: Water Table
Water Unit Weight: 9.81 kN/m³
Depth to water table: 0 [m]

Stage Settings

Stage #	Name
1	Stage 1
2	Stage 2

Results

Time taken to compute: 3.13718 seconds

Stage: Stage 1

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	0	13.0716
Consolidation Settlement [cm]	0	5.06601
Immediate Settlement [cm]	0	8.22981
Loading Stress [kPa]	0	110.952
Effective Stress [kPa]	-0	310.836
Total Stress [kPa]	0	654.186
Total Strain	-0	0.0280861
Pore Water Pressure [kPa]	0	343.35
Degree of Consolidation [%]	0	100
Pre-consolidation Stress [kPa]	29.5866	310.463
Over-consolidation Ratio	1	111.634
Void Ratio	0	1
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0

Stage: Stage 2

Data Type	Minimum	Maximum
Total Settlement [cm]	0	15.4821
Consolidation Settlement [cm]	0	5.22136
Immediate Settlement [cm]	0	10.4607
Loading Stress [kPa]	0	116.434
Effective Stress [kPa]	-0	323.219
Total Stress [kPa]	0	666.569

Total Strain	4.47136e-008	0.0285042
Pore Water Pressure [kPa]	0	343.35
Degree of Consolidation [%]	0	100
Pre-consolidation Stress [kPa]	29.5869	322.859
Over-consolidation Ratio	1	111.633
Void Ratio	0	1
Hydroconsolidation Settlement [cm]	0	0

Loads

1. Rectangular Load

Length: 9.4 m
Width: 100 m
Rotation angle: 0 degrees
Load Type: Flexible
Area of Load: 940 m²
Load: 14.4 kPa
Depth: -3.8 m
Installation Stage: Stage 2

Coordinates

X [m]	Y [m]
5	-50
14.4	-50
14.4	50
5	50

Embankments

1. Embankment

Center Line: (0, 50) to (0, -50)
Number of Layers: 1
Near End Angle: 90 degrees
Far End Angle: 90 degrees
Base Width: 25

Layer	Stage	Left Bench Width (m)	Left Angle (deg)	Height (m)	Unit Weight (kN/m ³)	Right Angle (deg)	Right Bench Width (m)
1	Stage 1	0	34	3.8	20	34	0

Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]
1	3b (1)	3.5	0
2	3b (2)	5	3.5
3	4 (3)	2	8.5
4	3b (4)	1.5	10.5
5	4 (5)	2	12

Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00
Relazione Geotecnica

Progetto

IN17

Lotto

12

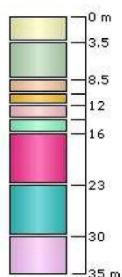
Codifica

EI2RBRI450001A










Foglio

81 di 83

6	3b (6)	2	14
7	4 (7)	7	16
8	3b (8)	7	23
9	2 (9)	5	30



Soil Properties

Property	3b (1)	3b (2)	4 (3)	3b (4)	4 (5)	3b (6)	4 (7)	3b (8)	2 (9)
Color									
Unit Weight [kN/m ³]	18.5	18.5	19	18.5	19	18.5	19	19	19
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Immediate Settlement	Disabled	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled
Es [kPa]		10000	40000	10000	50000	12000	60000	15000	25000
Esur [kPa]		10000	40000	10000	50000	12000	60000	15000	25000
Primary Consolidation	Enabled	Disabled	Disabled	Disabled	Disabled	Disabled	Disabled	Disabled	Disabled
Material Type	Non-Linear								
Cc	0.32								
Cr	0.03								
e0	1								
Pc [kPa]	160								
OCR		1	1	1	1	1	1	1	1

Query Points

Point #	(X,Y) Location	Number of Divisions
1	9.7, 1.42109e-014	Auto: 71

Query Lines

Line #	Start Location	End Location	Horizontal Divisions	Vertical Divisions
1	-30, 0	30, 0	80	Auto: 71

Field Point Grid

Number of points: 294
Expansion Factor: 2

Grid Coordinates

X [m]	Y [m]
72.5	100
72.5	-100
-62.5	-100
-62.5	100

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 			
<p>Rilevato ferroviario dal km 27+817,02 al km 28+175,00 Relazione Geotecnica</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 12</p>	<p>Codifica EI2RBRI450001A</p>	<p>Foglio 83 di 83</p>

ALLEGATO 4- VERSIONI SOFTWARE DI CALCOLO UTILIZZATI

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